Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 111 (1993)

Heft: 49

Artikel: Architektur und Energiekonzept: Gesamtkonzept schafft neue Gestaltungsmöglichkeiten in der Architektur und Haustechnik

Autor: Baumgartner, Thomas / Lüthi, Rolf / Wick, Bruno

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-78293

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bild 11. Die Wintergärten haben eine Fläche von 12,5m² und sind doppelgeschossig (Bilder 11 und 12: Klaus Kinold, Gaston Wicky)

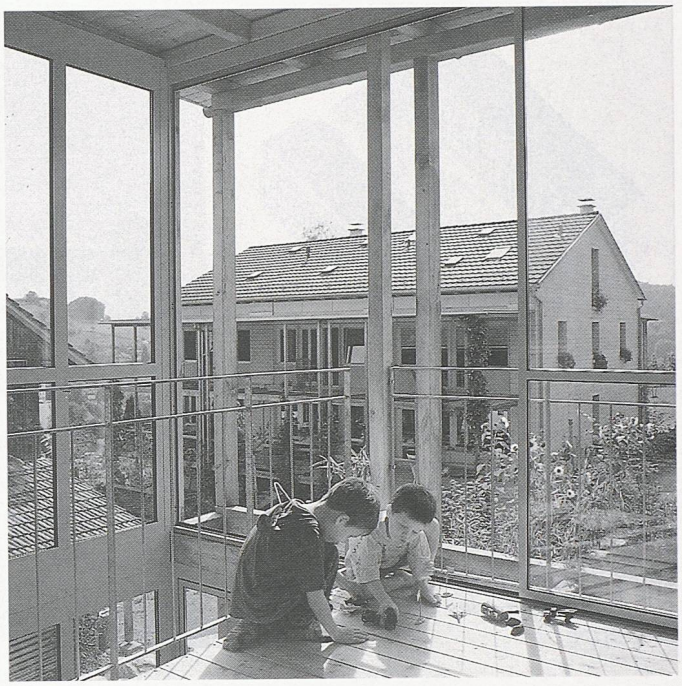

Bild 12. Die Familienwohnungen konnten dank freiem Grundriss von den Baurechtnehmern mitgeplant und in Eigenleistung realisiert werden

Raumheizungen und der Warmwasserversorgung der einzelnen Wohnungen (vgl. Bild 8)
Der Hausheizungsspeicher ist dreischichtig ausgelegt. Im Sommer gelten alle drei Temperaturschichten für die Warmwassernutzung ab Sonnenenergie (grosses Speichervolumen). Im Winter gilt die unterste Temperaturschicht dem Solarkreislauf für die zumindest Vorwärmung der Rücklauftemperatur. Die mittlere Temperaturschicht gilt für das Heizungsniveau und die oberste Temperaturschicht für die Erwärmung der zwei integrierten Brauchwasserboiler (vgl. Bild 8).

Adresse der Verfasser: *Peter und Beatrice Weber*, Architekten SIA, Stigweidstrasse 21, 8636 Wald (ZH).

Preisträger SIA-Energiepreis 1992

Architektur und Energiekonzept

Gesamtkonzept schafft neue Gestaltungsmöglichkeiten in der Architektur und Haustechnik

Anhand des Beispiels «Schwerzenbacherhof» – ein Büro- und Gewerbehaus, welches mit dem SIA-Energiepreis 1992 ausgezeichnet wurde – möchten wir den Nachweis erbringen, dass energiegerechtes Bauen keine gestalterischen Nachteile, sondern kreatives Denken und Gestalten umfasst.

VON THOMAS BAUMGARTNER, DÜBENDORF, ROLF LÜTHI, REGENSBERG, UND BRUNO WICK, WIDEN

Vom Büro- und Gewerbehaus «Schwerzenbacherhof» ist zurzeit die Hälfte des Bauvolumens realisiert. In einer letzten, bereits bewilligten Bauetappe soll der heute andeutungsweise existierende, begrünte und verkehrsfreie Innenhof von 1200 m² umschlossen werden. Die äussere Erschliessung umfasst die Anlieferungszonen mit Ladedocks und den dazugehörenden, erdgeschossigen Stauräumen und Warenliften sowie das Parking für die Besucher. Im Vollausbau werden insgesamt 20 500 m² Nutzfläche zur Verfügung stehen, 6500 m² als Gewerbenutzung im Erd- und 1. Obergeschoss, 3600 m² als Gewerbe- und Büronutzung im 2. Obergeschoss und 6200 m² als reine Büronutzung im 3. und 4. Obergeschoss. 3600 m² dienen als Lager in den zwei Untergeschossen, wo unter dem Innenhof auch die Personalparkplätze angeordnet sind. Die zweigeschossige Unterkellerung liegt vollständig im Grundwasserbereich. Das Gebäude ist auf einer Ortbeton-Pfählung fundiert.

Projektablauf

Ausgangslage dieses Projektes war eine gründliche Analyse der gestellten Aufgabe. Obwohl für die Planungsphase die Terminvorgaben äusserst knapp waren – der Bezug der ersten Etappe war bereits vorgegeben –, wurde bereits im Vorprojektstadium ein aus den Autoren bestehendes Projektteam gebildet mit dem Ziel, ein Gesamtkonzept zu erarbeiten, das unter anderem nachfolgende typische energie- und architekturrelevante Themen detailliert untersuchte:

- Fragen zum Raumklima, unter Berücksichtigung der anfallenden internen Lasten sowie der passiven Solargewinne.

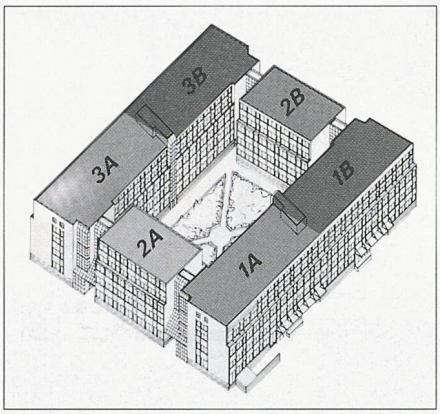

Bild 1. Gesamtansicht des Büro- und Gewerbehauses «Schwerzenbacherhof» mit Darstellung der Bauetappen (fertiggestellt sind Haus 1A/B und 2A)

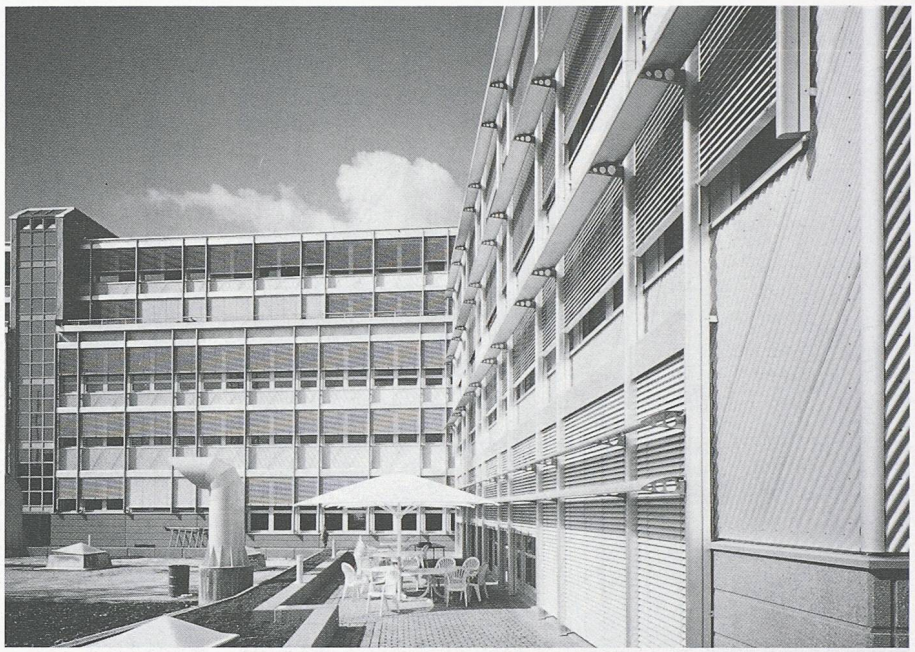

Bild 2. Fassadenansicht des Innenhofes mit Luftansaug des Erdregisters der 2. Etappe

- Komfortfragen betreffend sommerlicher Überhitzung und der Fluglärmeinwirkungen.
- Anwendungsmöglichkeiten für eine intensive Tageslichtnutzung in Verbindung mit einem optimalen sommerlichen Wärmeschutz.
- Art der Aussenluftversorgung und Möglichkeiten der passiven Kühlung.
- Auswirkungen auf die Haustechnik bezüglich noch nicht bekannter Etappengrössen.
- Welche haustechnischen Vorleistungen im Grundausbau sind sinnvoll, bei zum grössten Teil unbekannten zukünftigen Benutzern.

Analyse

Mit einem dynamischen Simulationsprogramm wurde die Raumlufttemperatur typischer Räume und Orientierungen unter verschiedenen Randbedingungen untersucht. Die Ergebnisse der Simulation bestätigten eine wichtige Erkenntnis: Gutisolierte Bürogebäude haben einen geringen Wärmebedarf. Das Problem liegt kaum beim Heizenergieverbrauch im Winter, sondern bei den zu hohen Raumlufttemperaturen und den damit verbundenen Komfortproblemen in den Sommermonaten.

Mit einer «normalen» Fensterlüftung tagsüber würden während 400 bis 800 Arbeitsstunden die Raumlufttemperaturen in der Grössenordnung auf 30 °C und mehr ansteigen. Der sommerliche Wärmeschutz hat somit einen sehr hohen Stellenwert. Es sind weitere Massnahmen erforderlich, sofern auf eine mechanische Kühlung (Klimaanlage) verzichtet werden kann. Evaluiert wurden nebst der nicht immer machbaren Fensterlüftung (Tag und Nacht) ein nächtliches Free-Cooling sowie die Vorkonditionierung der Zuluft über ein Erdregister, beides Massnahmen, die nur mit einer Ersatzluftanlage zu kombinieren sind. Insbesondere wurden auch die notwendigen Lüftungsraten während den unterschiedlichen Jahreszeiten untersucht, da sie grossen Einfluss auf den Energieverbrauch haben.

Bei normaler Büronutzung erfordern die tagsüber anfallenden internen und externen Lasten nur eine Wärmezufuhr bei tiefen Aussentemperaturen, nach Wochenenden und während der Ferien. Eine konsequente Wärmerückgewinnung aller Abwärme aus den Lüftungsanlagen deckt energetisch einen hohen Anteil der Lüftungsverluste bei einer motivierten Fensterlüftung ab, vorausgesetzt, die Bauhülle ist dicht. Eine rasche und individuell raumregulierte Wärmeabgabe schützt vor zu grosser Überwärmung der Räume auch im Winter und spart mit einer Abschaltung der Wärmezufuhr im unbenutzen Zustand und einem optimierten Aufheizbetrieb viel Heizenergie.

Der Energiebedarf wurde mit einem stationären Berechungungsprogramm ermittelt, wobei 16 Gebäude- und Systemvarianten gegenübergestellt wurden. Der erwartete, tiefe Heizenergiebedarf kann in Anbetracht der baulichen Etappierung in dezentralen Dachzentralen mittels kondensierenden Gasheizkesseln abgedeckt werden. Die im Detail untersuchten Massnahmen für eine intensive Tageslichtnutzung zeigten, dass äussere Lichtumlenkungen problematisch und teuer sind, im Rauminnern nur bedingt durchzusetzen wären, da der Mieterausbau individuell erfolgte. Massnahmen für eine möglichst optimale Nutzung des Tageslichtes und der Ergänzung mit Kunstlicht wurden jedoch ausgewiesen und empfohlen.

Bauprojekt und Ausführung

Vor Inangriffnahme des detaillierten Bauprojektes wurden mit der Bauherrschaft Grundsatzfragen und Lösungsvorschläge (samt Grobkostenschätzungen) des Projektteams erörtert und Grundsatzentscheide getroffen, deren Konsequenzen einen grossen Einfluss auf die gestalterische Weiterbearbeitung hatten.

Gebäudehülle

Der auf einem Raster von 1.50 m aufgebaute Baukörper wurde mit einer

Gebäudekenngrössen 1. Etappe «Schwerzenbacherhof»

Höhe über Meer:	440 m
Heizgradtage	3616 (20/12 °C)
Baujahr:	1989/90
Anzahl Arbeitsplätze:	rund 190
Energiebezugsfläche	8050 m²
Beheiztes Volumen	27 060 m³
Gaskondensationskessel	240 kW
Wassererwärmung:	dezentral elektrisch
Kosten Lufterdregister:	rund Fr. 265 000.– (inkl. baulicher Massnahmen)
Subvention Kt. Zürich:	Fr. 44 000.–
Ersatzluftanlagen:	Fr. 670 000.– (5% der Gebäudekosten)

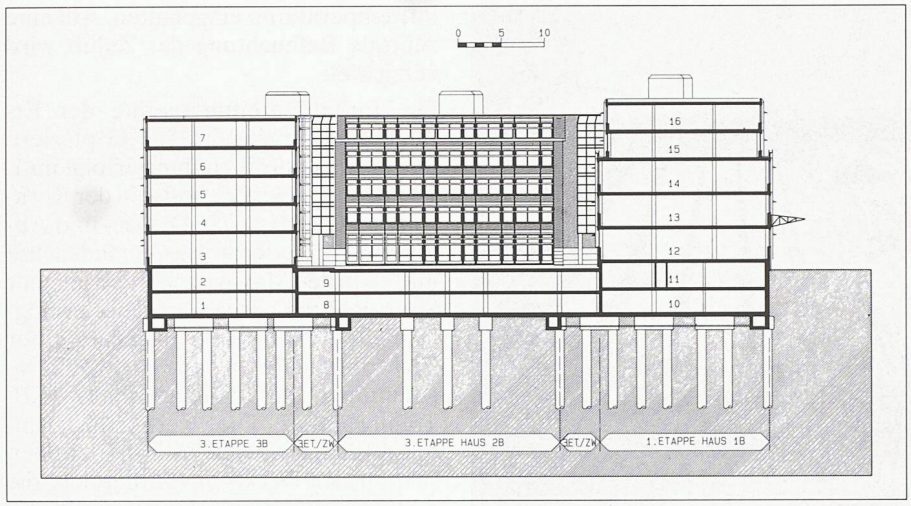

Bild 3. Schnitt und Fassadenansicht «Schwerzenbacherhof»

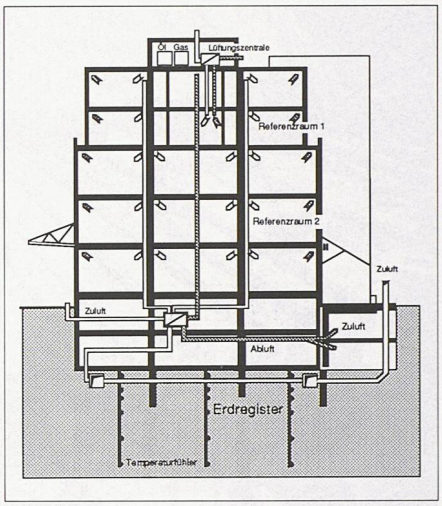

Bild 4. Prinzipschema der Ersatzluftanlage mit Lufterdregister

äusseren, gutisolierten und weitgehend winddichten Hülle in Glas und Aluminium eingepackt. Die Isolationsstärken entsprechen den SIA-Richtlinien. Wärmebrücken sind bis auf die unvermeidliche Montagebefestigungen ausgeschaltet. Für die Fenster wurden 2IV-IR-Verglasungen verwendet (k_{glas} = 1.3 W/m²K).

Sommerlicher Wärmeschutz

Eine automatisch gesteuerte Rafflamellen-Storenanlage schattiert das gesamte Gebäude, wobei über eine Zentralsteuerung jede Fassade unabhängig und unter Berücksichtigung des Sonnenstandes bedient wird. Aus jeder zweiten Raumachse sind die Storen zudem durch die Benutzer individuell verstellbar. Die Storenanlage ist vorgehängt, damit die an der Fassade aufsteigende Wärme einwandfrei abgelüftet werden kann. Weitergehende Verdunklungsmassnahmen für spezielle Raumnutzungen erfolgen durch die Mieter raumseitig.

Um auch bei Sonnenschein einen ungehinderten Ausblick zu ermöglichen, wurde eine zusätzliche fixe Schattierung in die Fassadenstruktur integriert. Die Höhe der automatisch heruntergelassenen Storen richtet sich wie erwähnt nach dem Sonneneinfallswinkel und schliesst die Fensteröffnung nie vollständig. Zudem verhindert die fixe Schattierung eine übermässige Überhitzung bei falscher individueller Bedienung. Die «Standard»-Innenausbau-Lösung mit der Wahl von hellen Farben ermöglicht eine gute Nutzung des Tageslichtes. Auf das Kunstlicht kann vielfach verzichtet werden, womit die inneren thermischen Lasten reduziert werden können. Die Gebäudemasse wird freigelegt (Decke, Innenwände der Kernzone), um die täglichen Schwankungen der Raumlufttemperatur zu reduzieren. Allfällige Doppeldecken (Mieterausbau) sind mit mindesten 30% freier Fläche auszuführen.

Mittels nachfolgend beschriebener Ersatzluftanlage werden im Sommerhalbjahr über Nacht die Räume ausgekühlt, sofern die Temperaturdifferenzen zwischen Raumluft- und Aussenlufttemperatur mehr als 4 °C beträgt. Tagsüber übernimmt vorkonditionierte, kühle Zuluft aus dem Erdregister das sonst übliche Fensterlüften. Zudem kann die «Starttemperatur» am Morgen in den Sommermonaten durch das Öffnen der Fenster beim Betreten des Büros deutlich gesenkt werden. Die Kombination von Ersatzluftanlage und individueller Fensterlüftung ist auch aus psychologischen Gründen (Akzeptanz) empfehlenswert, bedingt aber eine gute Benutzerinformation.

Fassadengestaltung

Die Kombination der fixen und beweglichen Schattierung erlaubt im Winterhalbjahr die passive Energienutzung. Die vorgehängte, filigrane Konstruktion für die Schattierungsmassnahmen prägen das Erscheinungsbild des gewaltigen Bauvolumens positiv. Die Treppenhausanlagen, sofern es sich um Haupterschliessungen handelt, werden weitgehend nur solar beheizt. Diese vollverglasten Zonen sind ein markanter Bestandteil des Projektes. Die Gelenke der vier gekoppelten Hauptkörper können polyvalent genutzt werden und dienen bei übergreifenden Belegungen als Verkehrs- bzw. Aufenthaltszone. Auch diese Gebäudeteile sind transparent gestaltet und werden je nach Nutzung unbeheizt belassen. Die passive Solarbeheizung vorerwähnter Gebäudeteile erfordert andererseits eine einwandfreie, natürliche Belüftung im Sommer. Die auf den Dachflächen angeordneten Heizräume ergaben in Verbindung mit den bis aufs Dach geführten Nottreppenhäusern eine willkommene Strukturierung des Gebäudevolumens. Insgesamt haben sich die Forderungen nach sinnvollem Sonnenschutz und passiver Energienutzung äusserst spannend umsetzen lassen.

Ersatzluftanlage

Ersatzluftanlagen sind einfache Lüftungsanlagen, die mit geringem Energieaufwand die Aussenluftversorgung der Räume und damit die Luftqualität sicherstellen. Im Winter wird die Raumlufttemperaturregelung weiterhin durch das Heizsystem (Radiatoren) übernommen. Im Sommer werden dank der passiven Kühlung (Lufterdregister und Nachtlüftung) komfortabler Raum-

Betriebsart	*Gruppe Gewerbe*		*Gruppe Büro*	
	Luftwechsel 1/h	*Luftmenge m³/h*	*Luftwechsel 1/h*	*Luftmenge m³/h*
Sommer Tag	0.75	11400	1.00	5750
Sommer Nacht	1.50	22800	2.00	11500
Winter Tag	0.50	7600	0.75	4310
Winter Nacht	–	–	–	–

Tabelle 1. Betriebsarten und Aussenluftwechsel der Ersatzluftanlagen der 1. Etappe (ohne Büro-Kernzonenlüftung)

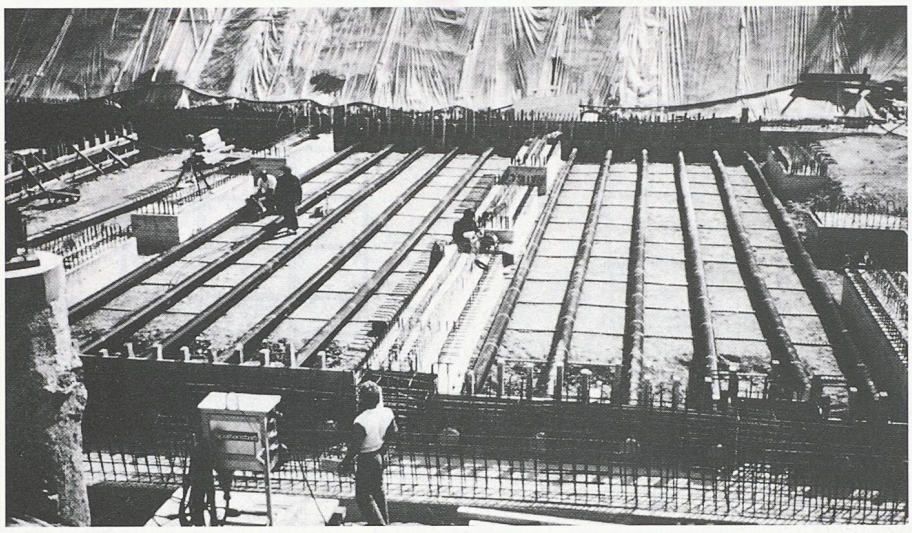

Bild 5. Ansicht des im Bau befindlichen Lufterdregisters der 1. Etappe. Vorn und hinten sind die bekriechbaren Verteilkanäle erkennbar, rechts oben ist das Erdregister bereits mit Geröll und Wandkies zugeschüttet

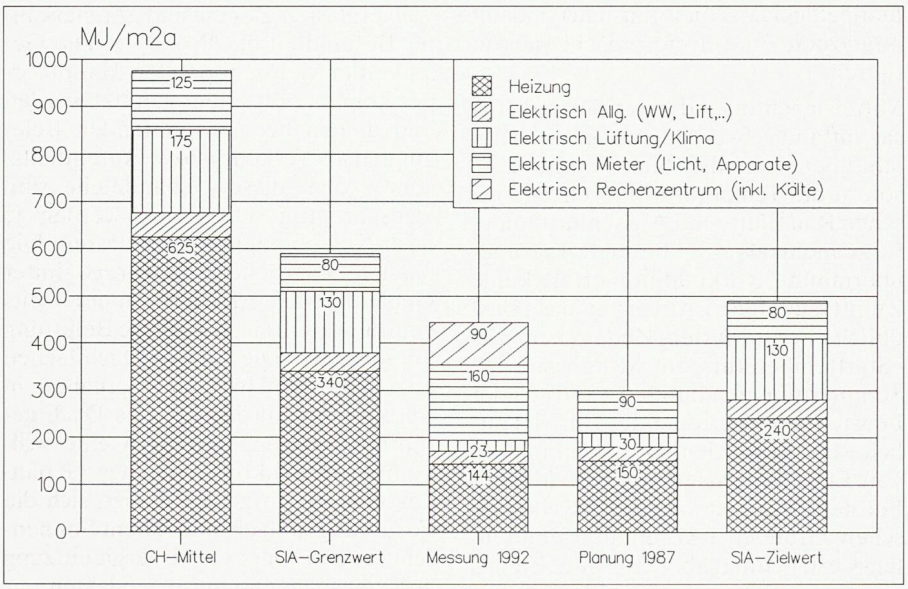

Bild 6. Energiekennzahlvergleich von Bürobauten (CH-Mittelwerte, SIA-Grenz- und Zielwerte) mit Messwerten des «Schwerzenbacherhofes»

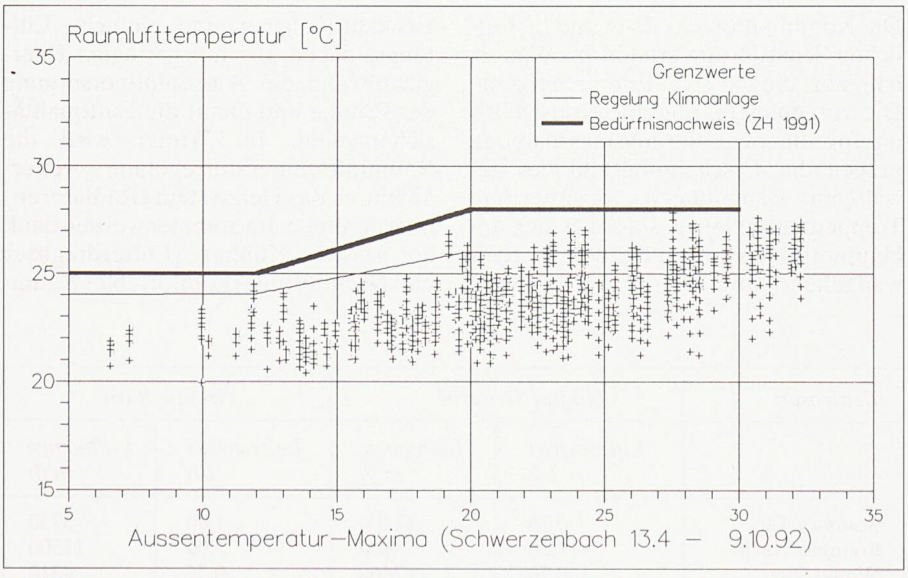

Bild 7. Messwerte der Raumlufttemperaturen eines typischen südorientierten Grossraumbüros im 4. OG während der Nutzungszeit (Montag–Freitag) in Abhängigkeit der max. Aussenlufttemperatur für die Periode 13.4. bis 9.10.1992. Es traten keine Grenzwertüberschreitungen (ZH 1991) auf

lufttemperaturen eingehalten. Auf eine zentrale Befeuchtung der Zuluft wird verzichtet.

Die Luftaufbereitungsgeräte der Ersatzluftanlage sind im 1. UG plaziert. Die horizontale Verteilung erfolgt im 1. UG sowie stockwerksweise in der Kernzone im Gangbereich. Die Zu- und Abluft wird für jede zweite Gebäudeachse mittels in den Massivdecken eingelegter Spiro-Rohren ausgeführt. Dies ermöglicht die Planung und Installation der Ersatzluftanlage ohne detaillierte Kenntnisse des Mieterausbaus (z.B. Trennwände). Die vertikalen Einblasöffnungen (Drallauslässe) befinden sich an der Decke im Türbereich, die Abluftöffnungen an der Decke in der Fensterzone der Zellen- oder Grossraumbüros (Bild 4). In der Zentrale wird die Zuluft auf einem Sollwert von 16 °C geregelt. Die Einblastemperaturen in den Büros und Gewerberäumen beträgt infolge passiver Nachwärmung midestens 18 °C. Diese unüblich tiefe Einblastemperatur stört nicht, da tagsüber die Luftrate klein und die Luftgeschwindigkeit niedrig ist. Die Zuluft wird, dank dem Lufterdregister, im Sommer und Winter mit Untertemperatur dem Raum zugeführt. Es werden ähnliche Ergebnisse wie bei einer Quellüftung erreicht. Die Auslegung der Lüftungsanlage erfolgte nach Personenluftraten für den Sommerbetrieb (rund 25–30 m³/hPerson). Die daraus resultierenden Aussenluftwechsel und Luftmengen sind für die 1. Etappe in der Tabelle 1 zusammengestellt. Diese geringen Aussenluftraten sind nur möglich, wenn auf einen schadstoffarmen Innenausbau geachtet wird. Allfällig notwendige grössere Aussenluftwechsel (z.B. intensive Raucher, evtl. Sitzungszimmer) können nach wie vor mit kontrolliertem Fensterlüften korrigiert werden. Der Luftansaug erfolgt je nach Aussenlufttemperatur direkt oder über das Lufterdregister.

Lufterdregister

Lufterdregister bestehen aus einer Anzahl von Lüftungsrohren, die im Fall «Schwerzenbacherhof» unter dem Gebäude zwischen den Fundamentrippen der Bohrpfähle verlegt sind. Sie dienen im Winter zur Vorwärmung und im Sommer zur Kühlung der Aussenluft. Der Ansaug der Aussenluft erfolgt tagsüber bei Aussenlufttemperaturen > 22 °C und < 7 °C über das Lufterdregister.

Die Aussenluft wird im Winter über einen 2geschossigen, innerhalb der Einstellhalle liegenden Ansaugschacht zum Erdregister geführt. Der für Kontrollzwecke bekriechbare horizontale Verteilschacht unterhalb der Boden-

platte bewirkt bereits eine Vorwärmung der Aussenluft. Die rund 1 Meter unterhalb der Bodenplatte und im Abstand von 1.15 m verlegten HDPE-Rohre mit einem Innendurchmesser von 23 cm sind von stehendem Grundwasser umgeben. Die Gesamtlänge des Registers der ersten Bauetappe beträgt 990 m (43 Rohre à 23 m). Im anschliessenden Sammelschacht wird die Luft zusammengeführt und dem Luftaufbereitungsgerät zugeführt (Bild 5). Die Messungen belegen, dass auch bei tiefen Aussenlufttemperaturen von –11 °C die Austrittstemperaturen des Erdregisters nie unter +6 °C gesunken ist! Mit der nachfolgenden Wärmerückgewinnung aus der Abluft (rotierender Wärmetauscher) konnte die gewünschte Zulufttemperatur von 16 °C auch ohne Nachwärmung mittels Heizung immer erreicht werden. Es besteht auch nie die Gefahr der Eisbildung in der Warmerückgewinnung.

Die Vorkonditionierung der Zuluft im Sommer erfolgt ab +22 °C. Nun wird über die gleiche Anlage eine wirksame Kühlleistung erbracht, die zusammen mit der Nachlüftung einen guten Raumkomfort in den Büros mit «normalen» internen Lasten ermöglicht. Das Lufterdregister im «Schwerzenbacherhof» erbringt rund 1/3, die intensive Nachtlüftung 2/3 der erforderlichen Kühlleistung. Die Luftaustrittstemperatur des Erdregisters betrug am Ende des Sommers maximal 23 °C bei Aussenlufttemperaturen von 32 °C .

Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung

Die Wärmeerzeugung erfolgt dezentral je Etappe mit einem kondensierenden Gaskessel, die Wärmeabgabe mittels einzelraumregulierten Radiatoren. Die programmierbare Einzelraumregelung (WICOS) übernimmt neben der Raumregelung die Heizkostenabrechnung und auch noch die Steuerung und Freigabe der verschiedenen Stufen der Ersatzluftanlage und des Lufterdregisters.

Pilot- und Forschungsprojekt

Der Kanton Zürich unterstützte den Einbau des Erdregisters mit einem Beitrag von Fr. 44 000.–. Der Nationale Energieforschungsfond (NEFF) unterstütze dieses Pilotprojekt mit der Finanzierung eines umfangreichen Messprojektes (NEFF 390: Schwerpunkt passive Kühlung mittels Lufterdregister). Die Resultate dieses Projektes werden Ende 1993 im Schlussbericht publiziert werden [3]. Zudem wird ein Computermodell in Zusammenarbeit mit der EMPA, Abteilung Bauphysik, erarbeitet, das eine Dimensionierung

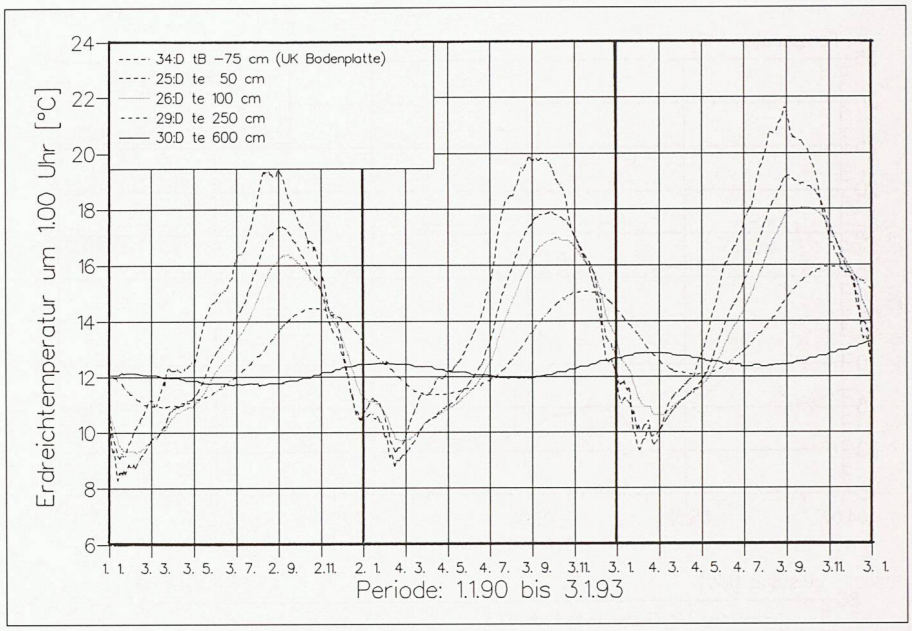

Bild 8. Verlauf der Erdreichtemperaturen in unterschiedlichen Tiefen über und unterhalb der Rohrmitte des Rohres Nr. 32 (1990–1992)

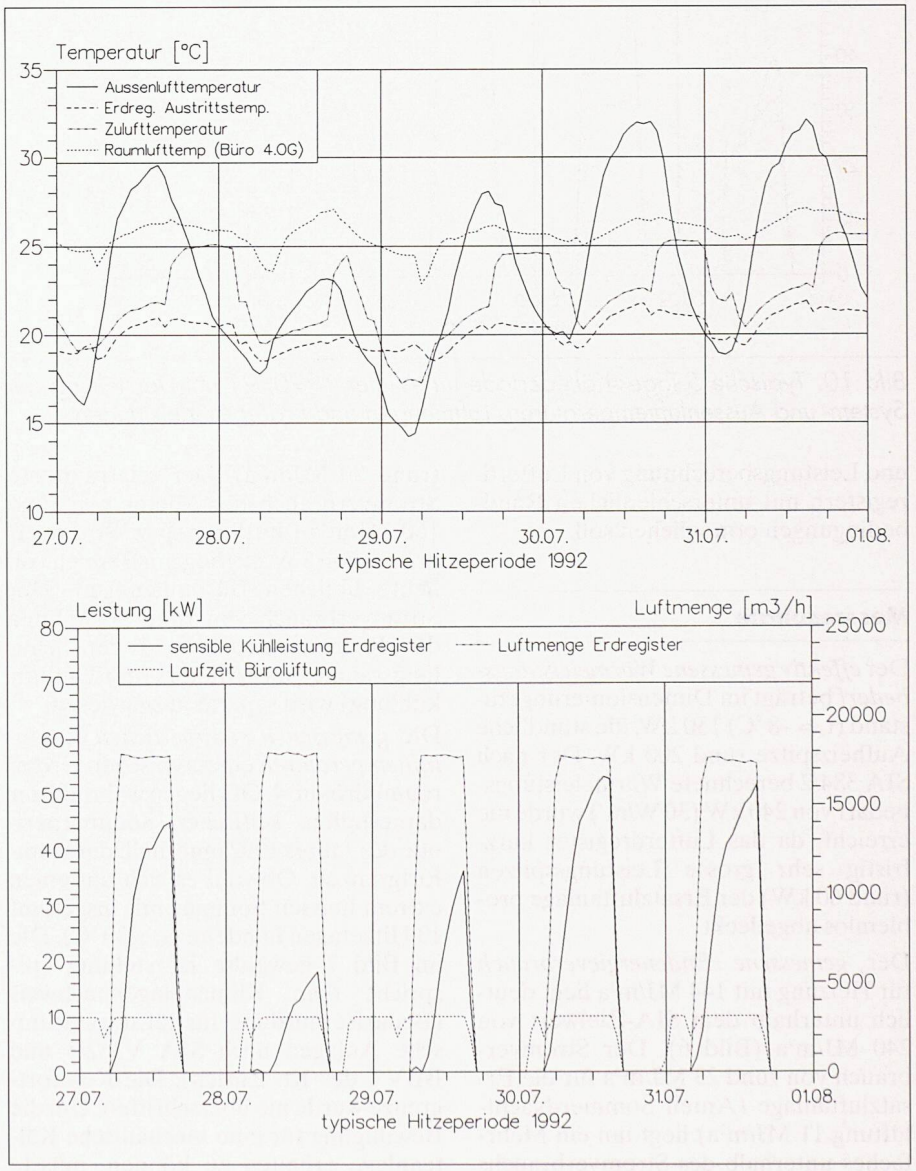

Bild 9. Typische 5-Tages-Hitzeperiode im Sommer 1992 mit Darstellung der System- und Aussenlufttemperaturen, Luftmengen und Erdregisterleistungen

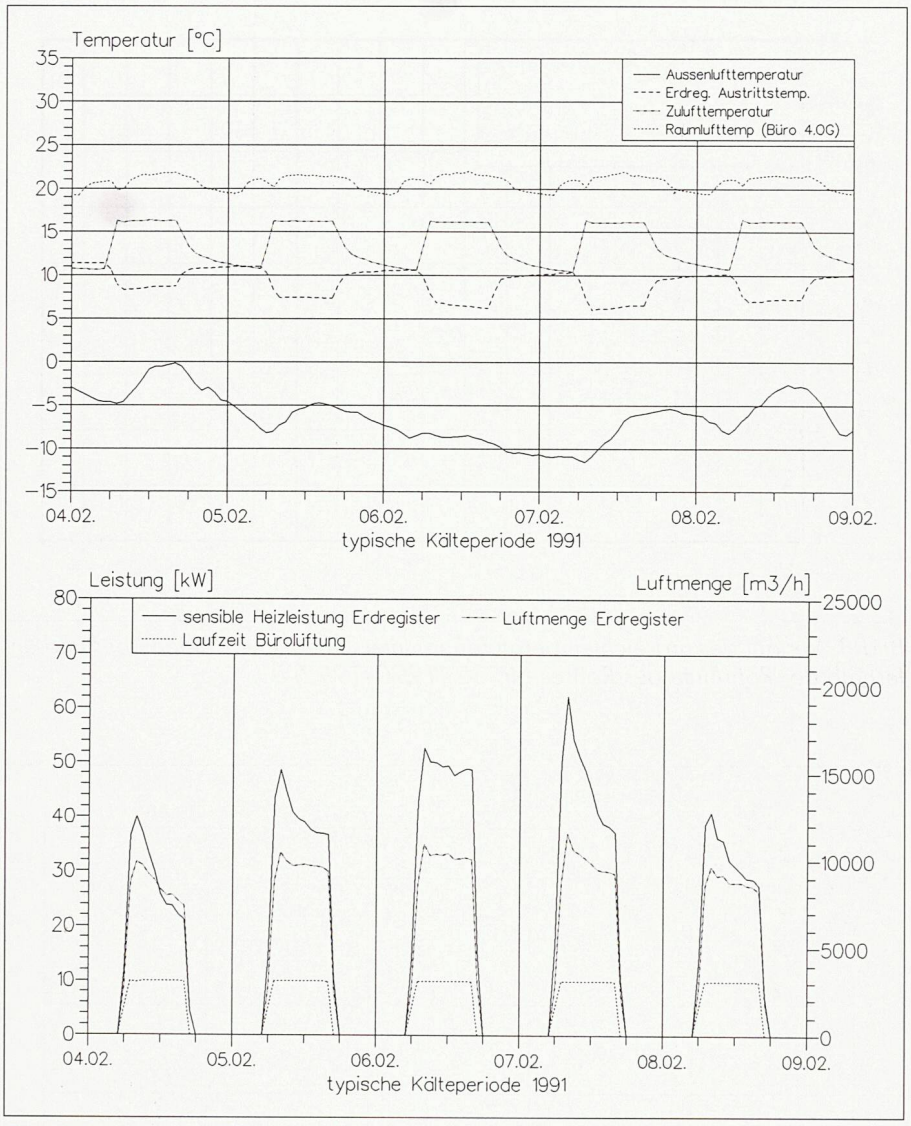

Bild 10. Typische 5-Tages-Kälteperiode im Winter 1990/91 mit Darstellung der System- und Aussenlufttemperaturen, Luftmengen und Erdregisterleistungen

und Leistungsberechnung von Lufterdregistern mit unterschiedlichen Randbedingungen ermöglichen soll.

Messresultate

Der *effektiv gemessene Wärmeleistungsbedarf* beträgt im Dimensionierungszustand ($t_a = -8$ °C) 150 kW, die stündliche Aufheizspitze rund 200 kW. Der nach SIA 384/2 berechnete Wärmeleistungsbedarf von 240 kW (30 W/m²) wurde nie erreicht, da das Lufterdregister kurzfristig sehr grosse Leistungsspitzen (rund 60 kW) der Ersatzluftanlage problemlos abgedeckt.

Der *gemessene Endenergieverbrauch* für Heizung mit 144 MJ/m²a liegt deutlich unterhalb dem SIA-Zielwert von 240 MJ/m²a (Bild 6). Der Stromverbrauch von rund 23 MJ/m²a für die Ersatzluftanlage (Anteil Sommer-Nachtlüftung 11 MJ/m²a) liegt um ein Mehrfaches unterhalb des Stromverbrauchs von vergleichbaren Gebäuden mit modernen Lüftungs- und Klimaanlagen (rund 90 MJ/m²a). Der relativ grosse Stromverbrauch der Mieter von rund 160 MJ/m²a (mittlerer spez. Stromverbrauch von 5 W/m²) liegt im Bereich von heute üblichen Büronutzungen. Der Stromverbrauch von rund 90 MJ/m²a des Rechenzentrums und der Schulungsräume eines Mieters (mit Umluftkühlung) wird seperat ausgewiesen.

Die *gemessenen sommerlichen Raumlufttemperaturen* eines typischen Grossraumbüros im 4. OG liegen während der dargestellten kritischen Sommerperiode des Jahres 1992 innerhalb der Komfortgrenzen. Obwohl es sich um einen extrem heissen Sommer mit insgesamt 13 Hitzetagen handelte ($t_a > 30$ °C). Die im Bild 7 gewählte Darstellung entspricht dem Klimaanlagennachweis (Bedarfsermittlung für lüftungstechnische Anlagen nach SIA V382/3 und BBV I des Kt. Zürich). Die Komfortgrenze wurde nie überschritten. Um die Bewilligung für eine mechanische Kälteanlage erhalten zu können, müsste während 30 Kh/a der Grenzwert (ZH 1991) überschritten werden.

Betriebserfahrungen

Das im Grundwasser liegende *Lufterdregister* stellte hohe Anforderungen an die Bautechnik, da das System dicht sein muss. Die saisonale Temperaturschwankungen bewirken ein beachtliches Mass an Kriechen und Schwinden der HDPE-Rohre und ergeben zum Teil Dichtigkeitsprobleme beim Anschluss an den Verteilkanal.

Eine umfassende *Mieterinformation* hat sich als notwendig erwiesen, damit kein Fehlverhalten auftritt (Fensterlüftung, individuelle Storenbedienung, künstliche Beleuchtung). Die Mieter mussten zudem über die Ersatzluftanlagen und das Lufterdregister informiert werden, damit das Verständnis für die Raumlufttemperaturschwankungen im Sommer vorhanden war.

Der *Ausfall der Nachtlüftung* während 14 Tagen Angang Juli 1991 führte zu Raumlufttemperaturen von rund 30 °C. Dieses Ereignis deutet darauf hin, dass trotz optimalem äusseren Sonnenschutz eine Taglüftung allein nicht ausreicht, um die Raumlufttemperaturen im Sommer in komfortablen Grenzen zu halten.

Die *Erdtemperatur* wird massgeblich durch den Wärmefluss des Gebäudes in das Erdreich beeinflusst. Der Wärmefluss ist abhängig von der Wärmedämmung der Bodenplatte und der Lufttemperatur des darüberliegenden Raumes. Über die Messperiode von 3 Jahren (1990–1992) ist die mittlere Erdtemperatur 6 m unterhalb des Erdregisters (rund 13 m unterhalb der Erdoberfläche) von 12 °C auf 13 °C gestiegen (Bild 8). Die Erdreichtemperatur um die Rohre schwankt beim Luftansaug zwischen 5 °C (Anfang Februar) und 22 °C (Ende August).

Die *Leistungen und Luftaustrittstemperaturen des Erdregisters* sind in den Bildern 9 und 10 für je eine typische 5-Tages-Sommer- und Winterperiode dargestellt. Am Donnerstagnachmittag des 30.7.1992 ($t_a = 32$ °C) liegt die Erd-

Literatur

[1] *T. Baumgartner et al:* Erdwärmenutzung für die Raumklimatisierung; Messprojekt «Schwerzenbacherhof», Tagungsband 6. Schweiz. Statusseminar: Energieforschung im Hochbau», EMPA, 1990.

[2] *K. Ghazi Wakili et al:* Erdwärmenutzung für die Raumklimatisierung; Rechenmodell für Lufterdregister, Tagungsband 7. Schweiz. Statusseminar: Energieforschung im Hochbau», EMPA, 1992.

[3] *T. Baumgartner et al:* Erdwärmenutzung für die Raumklimatisierung; NEFF-Schlussbericht (NEFF-Projekt 390), Dübendorf, 12.1993.

registeraustrittstemperatur bei rund 22 °C. Dies entspricht einer sensiblen Kühlleistung von rund 54 kW. Die Zulufttemperatur beträgt zu diesem Zeitpunkt 23 °C, die Raumlufttemperatur im 4. OG liegt bei rund 26.5 °C.

Am Donnerstagmorgen des 7.2.1991 (t_a = –11 °C) liegt die Erdregisteraustrittstemperatur bei rund 6 °C. Dies entspricht einer sensiblen Heizleistung von rund 62 kW. Die Zulufttemperatur beträgt zu diesem Zeitpunkt 16°C, die Raumlufttemperatur in 4. OG liegt bei rund 20 °C.

Schlussbemerkungen

In den Räumen des «Schwerzenbacherhofes» können dank der optimalen Abstimmung des Gebäudes und der einfachen Haustechnik während des ganzen Jahres komfortable Raumluftzustände mit geringem Energieaufwand eingehalten werden. Den Firmen Wohlgroth und Spaltenstein Immobilien sei hier der Dank und die Anerkennung ausgesprochen, den Mut gehabt zu haben, als Bauherr und Bauherrn-Treuhand dieses unkonventionelle Gesamtkonzept zu realisieren. Die Verleihung des SIA-Energiepreises 1992 und die Zufriedenheit des Bauherrn und der Mieter hat alle am Bau Beteiligten bestärkt, auf dem richtigen Weg zu sein.

Adressen der Verfasser: *Thomas Baumgartner,* Ing. SIA, HLK-Ing. HTL, Bettlistr. 35, 8600 Dübendorf, *Rolf Lüthi,* Architekt, Unterburg, 8158 Regensberg, und *Bruno Wick,* dipl. Ing ETH/SIA, Kesslernmattstr. 3, 8967 Widen.

Tagungsberichte

Kolloquium «Glasfaserbeton»

Unter der Leitung von Prof. Dr. P. Marti fand am 1. Oktober 1993 an der ETH Zürich ein Kolloquium zu diesem vielseitigen Werkstoff mit weiterem grossen Entwicklungspotential statt. Organisiert vom Institut für Baustatik und Konstruktion (ETH) in Verbindung mit der Fachvereinigung Faserbeton e.V. (Düsseldorf) fand die Veranstaltung das Interesse von rund 200 Personen aus dem In- und Ausland, darunter vielen Bauingenieuren und Bauherrenvertretern.

In seiner Einleitung verwies Prof. *Peter Marti* auf die wachsende Bedeutung des noch relativ jungen Werkstoffs Glasfaserbeton, dem sich dank Weiterentwicklungen in verschiedenen Bereichen laufend neue Anwendungsbereiche erschliessen. Schwerpunkte der technischen Verfeinerungen bilden insbesondere die Glasfasern selbst, die Rezepturen der Matrizes (hochwertige Feinbetone), die Methoden von Formgebung, Konstruktion und Bemessung sowie schliesslich die verschiedenen Herstellungsverfahren im gewerblichen und industriellen Umfeld.

Mit seinem Engagement dokumentiert Prof. Marti zusammen mit den Mitarbeitern seines Instituts, dass auch die Hochschule gewillt ist, einen Teil ihres Forschungspotentials diesem spannenden und entwicklungsträchtigen Thema zu widmen.

Glasfaserbeton – anspruchsvoll in der Werkstofftechnologie

Dr. *J. Majumdar* (Building Research Establishment, Garston, Watford, GB) schilderte als einer der «Väter des Glasfaserbetons» die Entwicklung dieses Werkstoffs seit den Anfängen in den sechziger Jahren.

In den ersten Jahren wurden E-Glasfasern verwendet, die vor allem bei bewitterten Bauteilen eine geringe Beständigkeit in normalen Zementmatrizes aufwiesen. Eine Verbesserung wurde durch spezielle Zemente oder die Beigabe von Polymerdispersionen angestrebt. Anfang der siebziger Jahre gelang es, alkaliresistente Glasfasern zu entwickeln und mit Matrizes auf Portlandzement-Basis ein breites Anwendungsfeld für diesen Werkstoff zu eröffnen.

Die Glasfasern werden nicht als Filamente, sondern gebündelt in die Matrix eingebettet. Damit wird ein verblüffend günstiges Duktilitätsverhalten erreicht. Massgeblich hierfür ist der Umstand, dass bei der Verformung des Querschnitts die Fasern langsam aus dem Faserbündel bzw. aus der Matrix ausgezogen werden und dabei die Zugkraft in den Fasern erhalten bleibt.

Die Veränderung dieses Verhaltens in feuchter Umgebung und eine noch detailliertere Modellbildung hierzu sind weiterhin Gegenstand der Forschung.

Trotz des guten technischen Standes wurde für die praktische Anwendung der Werkstoffe erfolgreich an weiteren Optimierungsschritten gearbeitet – jetzt wieder verstärkt auf der Seite der Rezepturen und Verfahren. Die zweite Generation Glasfaserbeton, mit optimierter Abstimmung von alkaliresistenten Glasfasern und Matrix, zeichnet sich aus durch ein duktiles Verhalten des Werkstoffs über die Nutzungsdauer auch unter ungünstigen Bedingungen.

Eigenschaften, Verfahren und Anwendung von Glasfaserbeton

Prof. Dr. Ing. *J. Dahms* (Fachhochschule Kiel, Leiter Materialprüfanstalt Eckernförde, BRD) erläuterte die Funktionsweise von Faserbewehrung mit hohem E-Modul der Fasern (Stahl- und Glasfasern) und mit niedrigem (Kunststoffasern). Fasern mit niedrigem E-Modul beeinflussen das Materialverhalten nur in den ersten Stunden der Grünphase des Faserbetons. Fasern mit hohem E-Modul haben demgegenüber den Charakter einer Bewehrung.

Zur Verarbeitung von Glasfaserbeton stehen heute zwei Standardverfahren im Vordergrund: Beim Mixbetonverfahren werden die geschnittenen Glasfasern vor der eigentlichen Verarbeitung in die fertige Matrix eingemischt. Beim Spritzverfahren werden die Glasfasern während des Spritzvorgangs der Matrix beigemischt. Die Fasern werden dabei in der Regel in zwei Dimensionen ausgerichtet, was namentlich bei dünnwandigen flächigen Bauteilen erwünscht ist. Für nach diesen Verfahren hergestellte Betone bestehen normierte Prüfverfahren und Kennwerte.

In der von ihm geleiteten Diskussion zeigte Prof. Marti die Analogien auf, die zwischen verschiedenen Betonbewehrungen bestehen, soweit gewisse Verhältnisse zwischen Faserlänge und Faserdurchmessern sowie Bauteilabmessungen bestehen. Der Bogen spannt sich vom Armierungsstahl (als sehr grober «Faser» in Bauteilen grosser Abmessungen) über Glasfasern bis hin zu Asbestfasern (die heute nicht aus technischen, sondern aus gesundheitlichen Gründen nicht mehr zur Anwendung gelangen).

Konstruieren und Bemessen von Glasfaserbeton-Bauteilen

P. Curiger (dipl. Ing. ETH, StahlTon AG, Mitglied der CEN-Normenkommission für Glasfaserbeton) stellte die Methoden der Konstruktion und Bemessung von Bauteilen aus Glasfaserbeton dar, wie sie in der praktischen Anwendung üblich sind.

Auf der Basis eines gesicherten Wissensstandes ist heute auch auf europäischer Ebene eine breite Normierung dieses Werkstoffs möglich. Dank ihres sehr guten technischen Standes konnte die Schweiz bei den bisherigen Arbeiten im CEN eine führende Rolle spielen.

Die Bemessung von faserbewehrtem Feinbeton erfolgt nach den gleichen Regeln wie beim stahlbewehrten Beton, da die gleiche Art von Verbundwerkstoff vorliegt. Der Ingenieur kann allerdings nicht einfach Materialqualitäten vorschreiben, da diese je nach Verarbeitungsmethode und Anwendung unterschiedlich sind.

Das vorgestellte Bemessungskonzept basiert auf den Nachweisen von Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Das bisher für Glasfaserbeton-Bauteile übliche Verfahren einer Bemessung auf zulässige Spannungen kann alternativ nach wie vor angewendet werden.

Der Tragsicherheitsnachweis umfasst drei Sicherheitsbeiwerte. Die von anderen Werkstoffen bekannten Beiwerte für Einwirkungen und Widerstand werden ergänzt durch einen Sicherheitsbeiwert bez. An-