

Energetische Stadtsanierung
Aufzüge energetisch modernisieren
Die Ökobilanz von Sanierungen

DETAIL

01/15 Zeitschrift für nachhaltige Architektur und energetische Sanierung
Review of Sustainable Architecture and Energy-Efficient Refurbishment



Sanierung eines Wohnhauses in Mannheim

Refurbishment of a residential building in Mannheim

Dreifache Gewinnstrategie

Threefold strategy for energy efficiency

Der Stadtteil Schönau ganz im Norden Mannheims gehört zu jenen vermeintlichen »Problemvierteln« in Deutschland, deren Ruf schlechter ist als die Realität. Seine Wurzeln reichen in die NS-Zeit zurück; ein regelrechter Bauboom setzte jedoch vor allem in den 50er- und 60er-Jahren ein. Das städtebauliche Erbe der Nachkriegszeit wird vor allem im Zentrum von Schönau sichtbar: Breite Grünflächen trennen die vier- bis fünfgeschossigen Wohngebäude von den Straßen. Sie geben dem Viertel einen relativ anonymen, aber keineswegs heruntergekommenen Charakter. Viele der Gebäude im Quartier wurden in den vergangenen Jahren sukzessive saniert. Ein Beispiel sind die 15 baugleichen Wohnhäuser mit T-förmigen Grundrissen, die die Lilienthalstraße und ihre Nachbarstraßen säumen. Sie datieren vom Ende der 50er-Jahre und erhielten zumeist verputzte Wärmedämmverbundsysteme, um sie energetisch auf einen zeitgemäßen Stand zu bringen. Für das Haus Lilienthalstraße 232 verfolgte die Gemeinnützige Baugesellschaft (GBG) Mannheim als Eigentümerin eine andere Strategie. Das Haus liegt zentral im Quartier und sollte sich nicht nur gestalterisch von seinem Umfeld abheben, sondern mit geringfügig höheren Mieten auch eine etwas zahlungskräftigere Mieterklientel ansprechen.

Mit der Planung beauftragte die Wohnungsbaugesellschaft die beiden Darmstädter Hochschulprofessoren Günter Pfeifer und Annette Rudolph-Cleff. Beide hatten für die GBG bereits 2010 eine Sanierungsstudie für die Siedlung »Aubuckel« im Osten Mannheims erstellt. Dabei schlugen sie vor, den dort vorhandenen Gebäudebestand nicht einfach zu dämmen, sondern typologisch so zu überformen, dass Wohnqualität und Energieeffizienz gleichermaßen profitierten.

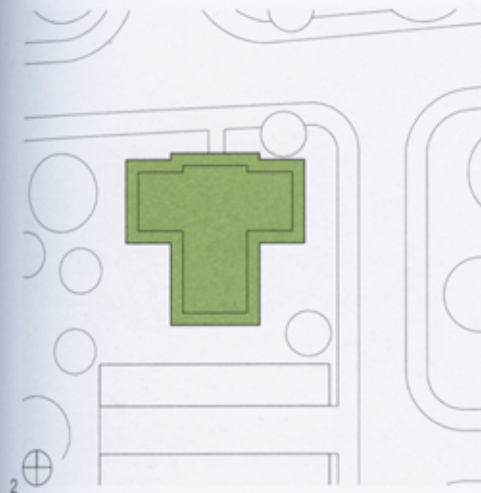
Typologisch und energetisch erneuert

Das Konzept blieb seinerzeit unrealisiert, gab jedoch indirekt den Anstoß für die Sanierung in der Schönauer Lilienthalstraße. Zusätzliche Fördermittel steuerte die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) bei. Die typologische Aufwertung begann mit der Umgestaltung der Wohnungsgrundrisse: Vor dem Umbau beherbergte das Gebäude pro Geschoss vier Zweizimmerwohnungen, die überaus flächeneffizient durch ein Treppenhaus an der Nordseite erschlossen wurden. Mit je 45 Quadratmeter waren sie jedoch für heutige Standards deutlich zu klein.

Die Architekten behielten die Erschließungsstruktur bei, legten jedoch je zwei Kleinstwohnungen zu großzügigeren Dreizimmerwohnungen mit je 90 Quadratmetern zusammen. Zudem erlaubt nun ein Aufzug den barrierefreien Zugang zu allen Etagen. Die zuvor innen liegenden Bäder wurden an die Nordfassade verlegt; stattdessen bilden nun die Küchen das »warme Zentrum« der Wohnungen und den Auftakt zu einer dreiteiligen Raumsequenz Kochen-Essen-Wohnen. Darin sind die einzelnen Bereiche durch breite Durchgänge miteinander verbunden, die ursprünglich kleinteilige Raumstruktur bleibt aber noch ablesbar. Die Balkone wurden mittels einfacher Faltverglasungen zu Loggien umfunktioniert. Günter Pfeifer nennt diese Bereiche »Energiegärten«: Indem sie solare Wärmegewinne nutzen, sollen sie auch im Winter zumindest bei sonnigem Wetter als Aufenthaltsräume im Freien dienen.

Die gleiche solare Gewinnstrategie bestimmte auch viele andere Entwurfsentscheidungen. Die Fenster wurden bis zum Boden vergrößert und die Außenwände mit transluzenten Polycarbonat-Steckplatten verkleidet. Abgesehen von ihrer Funktion als solarer Warmluftkollektor – dazu später mehr – ist die Kunststoffhülle auch ein ästhetischer Zugewinn. Selbst an einem trüben Novembertag mit bedecktem Himmel reflektiert sie noch einen Rest Tageslicht, während die Putzfassaden der Häuser ringsum längst stumpf und trist wirken. Die Nordfassade ist als Einzige mit 14 Zentimeter Mineralwolle gedämmt, die außen weiß gestrichen wurde, um das einheitlich helle Fassadenbild nicht zu stören. An den drei übrigen Fassaden verzichteten die Architekten ganz auf eine Dämmung, um die solaren Energiegewinne durch die Polycarbonathülle in vollem Umfang nutzen zu können. Außen- wie Innenwände des Bestandsbaus bestehen aus 25 Zentimeter starkem Schüttrbeton – oder auch »Trümmerverwertungsbeton«, wie ihn ein Bauhandbuch aus dem Jahr 1946 nannte. In diesem porösen Baustoff verwendeten die Baumeister der ersten Nachkriegsjahre alles, was in den kriegszerstörten Städten Deutschlands als Baumaterial zur Verfügung stand: Ziegeltrümmer, kleinere und größere Gesteinsbrocken, etwas frischen Kies und für heutige Verhältnisse nur sehr wenig Zement. Die Architekten ließen aus den Bestandswänden Bohrkerne entnehmen und in den Labors der TU Darmstadt auf ihre bauphysikalischen Werte hin untersuchen. Dabei ergab sich für die





- 1 Nordostansicht vor dem Umbau
- 2 Lageplan
- 3 Maßstab 1:1000
- 3 Ostansicht nach dem Umbau. Die Fenster wurden vergrößert und die Balkone zu Loggien mit Faltverglasung umgebaut.

- 1 Northwest view prior to refurbishment
- 2 Site plan
- 3 Scale 1:1000
- 3 East view after the refurbishment. Most windows have been enlarged and the balconies converted into glazed loggias.

Bauherr/Client:

GBG Mannheimer Wohnungsbaugesellschaft, Mannheim

Architekten/Architects:

Technische Universität Darmstadt

Günter Pfeifer, Annette Rudolph-Cleff

Tragwerksplaner/Structural engineers:

IBT Ingenieurbüro für Tragwerksplanung, Mannheim

Medzech Krück Ingenieure, Bad Homburg

Thermodynamische Simulation, TGA-Planung/

Thermodynamic simulation, building services engineering:

Balck + Partner, Heidelberg

Bauphysik/Building physics:

vRP Ingenieurbüro für Bauphysik, Weinheim

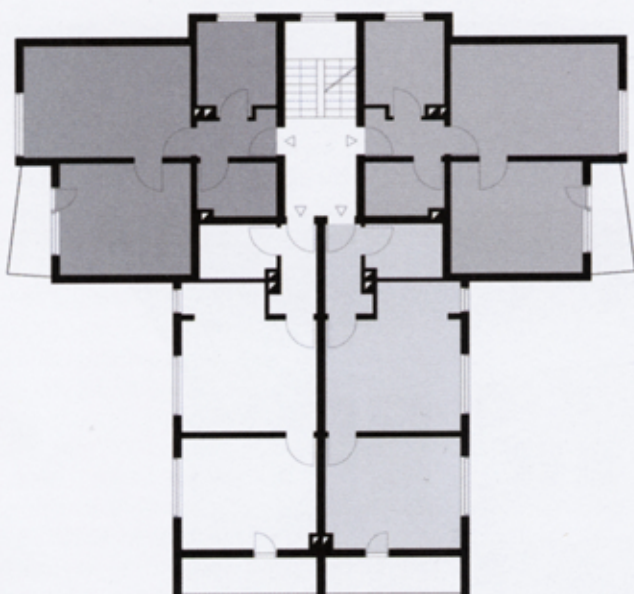
Brandschutz/Fire protection:

Ingenieurbüro Wagner Zeitter, Wiesbaden

BESAG Sachverständigenbüro, Darmstadt



- | | |
|--|--|
| 4 Südostansicht vor dem Umbau | 4 Southeast view prior to refurbishment |
| 5 Grundriss Regelgeschoss vor dem Umbau Maßstab 1:250 | 5 Typical floor plan prior to refurbishment Scale 1:250 |
| 6 Grundriss nach dem Umbau. Je zwei der 45 m ² großen Wohneinheiten wurden zu 90 m ² großen Dreizimmerwohnungen zusammengefasst. | 6 Floor plan after refurbishment. The four 45-m ² residential units on each floor have been converted into two larger, 90-m ² three-room apartments. |
| 7 Ansicht von Südosten nach dem Umbau | 7 Southeast view after refurbishment |
| 8 Küche, Ess- und Wohnbereich (von vorn) in einer der Wohnungen | 8 Kitchen, dining and living area (from front to back) in one of the apartments |
| 9 Blick aus dem Obergeschoss nach Westen. Die von Aluminiumprofilen gehaltene Fassadenverkleidung aus Polycarbonat ist zerstörungsfrei rückbaubar. | 9 View from the uppermost storey to the west. The polycarbonate cladding is held by aluminium profiles and can be dismantled without destroying it. |



5

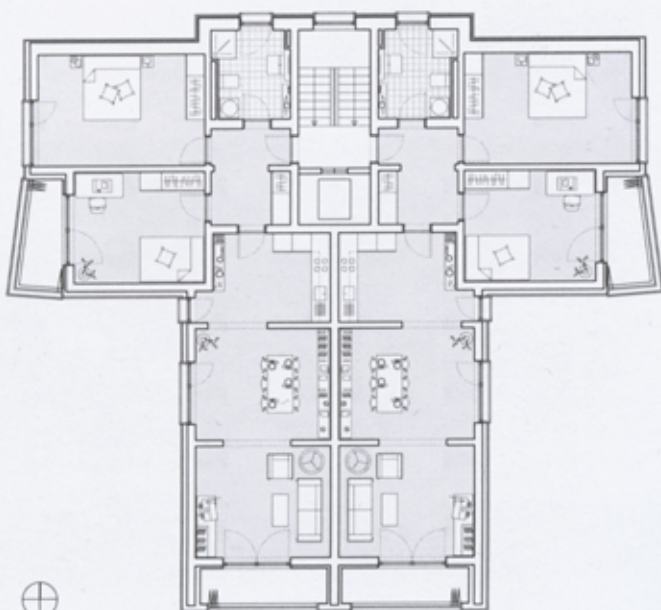


4

Wände ein überaus passabler U-Wert von 1,42 W/m²K – eine gleich starke Massivbetonwand hätte nur einen Wert von 3,0 W/m²K erreicht. Die Tragfähigkeit des Materials war freilich vernachlässigbar – die Tests ergaben eine Druckfestigkeit von 2,9 N/mm², das ist weniger als ein Siebtel von Normalbeton. Auch um den Schallschutz stand es nicht besonders gut. Daher ließen die Architekten die bestehenden Geschossdecken um abgehängte Unterdecken aus Gipskarton ergänzen; die Wohnungstrennwände wurden durch frei stehende Gipskarton-Vorsatzschalen auf einer Metallunterkonstruktion aufgedoppelt.

Die Fassade als Warmluftkollektor

Die Schüttbeton-Außenwände und ihre neue, transluzente Verkleidung bilden gemeinsam einen Warmluftkollektor, in dem sich die eingeschlossene Luft unter Sonneneinstrahlung erwärmt. Die Ursprünge dieses Fassadentyps reichen fast 100 Jahre zurück: Bereits in den 20er-Jahren formulierte Le Corbusier seine Idee der »Mur neutralisant«, einer Doppelfassade mit transparenter Außenhülle als solarem Luftkollektor. Entscheidend für ihre Funktionsfähigkeit sollte die permanente, durch Ventilatoren angetriebene Luftumwälzung im Fassadenzwischenraum sein. Nach diesem Prinzip funktioniert auch das Haus in Mannheim-Schönau. Seine Fassadenzwischenräume sind durch Luftkanäle im Keller und auf dem Flachdach miteinander verbunden. Die Idee dahinter ist einfach: Morgens erwärmt sich die Luft innerhalb der Ostfassade, strömt anschließend in die übrigen Fassaden über und verteilt die Warmluft so über die gesamte Gebäudehülle. Abends verläuft die Luftzirkulation genau andersherum. Da die natürlichen Auftriebskräfte allein hierfür nicht ausreichen, sind im Keller zwei Ventilatoren mit je 3800 m³/h Volumenstrom (0,15–0,81 kW Leistung) installiert, die die Luft umwälzen. Im Keller befindet sich außerdem ein zwei Meter hoher Stapel aus kreuzweise geschichteten Kalksandsteinen mit fünf Zentimeter breiten Vertikalfugen, in denen die Luft zirkuliert. Die Steine dienen als thermischer Speicher, in dem im Winter die Sonnenwärme des Tages für die Nacht »eingelagert« wird. Im Sommer wird der Steinspeicher nachts durch die kühle Außenluft heruntergekühlt und steht dann tagsüber als »Kältebatterie« für das Haus zur Verfügung. Bei besonders warmem Wetter wird überdies der Umluftbetrieb abgeschaltet, um eine Überhitzung des Gebäudes zu verhindern. Dann entweicht die erwärmte Luft durch Öffnungen unter dem Dach wieder direkt ins Freie. Die Warmluft aus den Fassaden gelangt nirgends in die Wohnungen; die Überlegung lautet vielmehr: Wenn die Betonaußenwände die Wohnungen im Winter nicht mehr gegen die kalte Außenluft abschirmen müssen, sondern gegen das deutlich wärmere Luftpolster im Fassadenzwischenraum, wird weniger Heizenergie gebraucht. In der Tat haben Messungen ergeben, dass die Lufttemperaturen im Fassadenzwischenraum um sechs bis zehn Grad höher lagen als die Temperatur der Außenluft.



6





Nutzfläche: 912 m² | Gesamtkosten: 2,4 Mio. € |
Heizwärmebedarf gemäß Simulation: vor der
Sanierung 292 kWh/m²a; nach der Sanierung
13 kWh/m²a | U-Werte: Außenwand Süd/West/Ost
1,13 W/m²K; Außenwand Nord 0,16 W/m²K; Dach
0,22 W/m²K; Kellerdecke 0,28 W/m²K

Useful area: 912 m² | Total costs: € 2,4 mio. |
Heating demand according to simulation: prior
to refurbishment 292 kWh/m²a; after refurbish-
ment 13 kWh/m²a | U-values: external wall
south/west/east 1,13 W/m²K; external wall
north 0,16 W/m²K; roof 0,22 W/m²K; floor to
unheated basement 0,28 W/m²K

Doppelverglasung als Gewinnstrategie

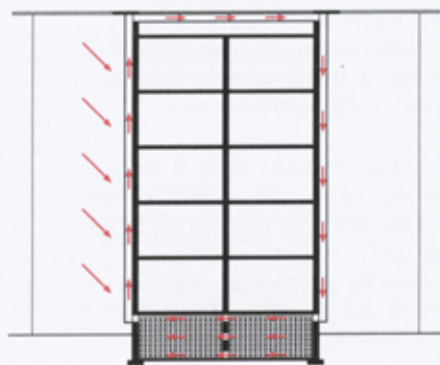
Die Wohnungsfenster sind durch umlaufende Aluminiumzargen luftdicht gegen den Fassadenzwischenraum abgeschottet und lassen sich manuell öffnen. Unbedingt notwendig ist eine Bedienung durch die Nutzer freilich nicht: Unterhalb jedes Fenstersturzes ist ein dezentrales Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung eingebaut, das bedarfsgerecht frische Luft zur Verfügung stellt. Die Fenster sind überdies mit Kontakten versehen, die beim Öffnen der Fenster im betreffenden Raum automatisch die Heizung (Radiatoren, versorgt mit Fernwärme) abschalten. Konsequenz ihrer Gewinnstrategie folgend, entschieden sich die Architekten für eine herkömmliche Zweifachverglasung, obwohl dreifach verglaste Fenster nicht viel teurer gewesen wären. Aber durch zwei Scheiben Glas gelangt nun einmal mehr Sonnenwärme ins Haus als durch drei. Selbst an der Nordseite, so Günter Pfeifer, führte die diffuse Sonneneinstrahlung zu erheblichen Wärmegewinnen, die oft unterschätzt würden. Im Gegensatz zur landläufigen Kombination aus Putz und EPS-Dämmung ist die hier gewählte Fassade voll recyclingfähig. Die Kunststoffplatten sind untereinander mittels Nut und Feder verbunden; oben und unten werden sie durch Aluminiumprofile

gehalten. In der Höhe reichen sie über bis zu vier Geschosse. Lediglich in der untersten Etage ist die Verkleidung nur ein Geschoss hoch, damit die hier angebrachten Paneele bei Beschädigungen separat ausgetauscht werden können. Die Kosten für die Fassadenkonstruktion betrugen in etwa das Dreifache eines Wärmedämmverbundsystems. Das lag jedoch vor allem an der aufwendigen Unterkonstruktion: Aufgrund der geringen Tragfähigkeit der Außenwände musste die Aluminiumkonstruktion über zusätzliche vertikale Tragprofile an den (stabileren) Geschossdecken rückverankert werden. Bei anderen Sanierungen von tragfähigerer Bausubstanz, berichtet Günter Pfeifer, hat sein Büro bereits Polycarbonatverkleidungen mit Holzunterkonstruktion zum Preis einer WDVS-Fassade errichtet.

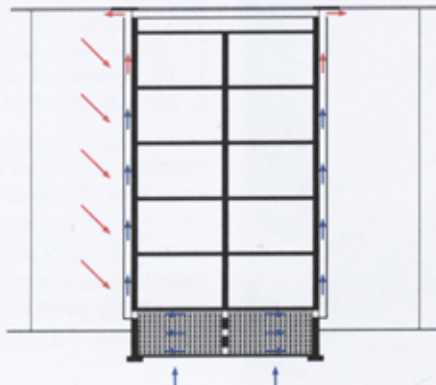
Nur mit dynamischen Simulationen zu berechnen

Die deutsche Energieeinsparverordnung (EnEV) erlaubt es, den Energiebedarf von Wohngebäuden wahlweise mit einer von zwei Normen zu berechnen: der DIN 4108 und der DIN 18599. Keines der beiden Rechenverfahren ist jedoch geeignet, Energiegewinne durch Doppelfassaden oder Wintergärten adäquat zu berücksichtigen. Daher gleichen die Rechenergebnisse des





10



11

- 10 Klimakonzept im Winter
- 11 Klimakonzept im Sommer
- 12 Ansicht von Norden
- 13 Flachdach mit Warmluftleitungen und Photovoltaik
- 14 Variantenvergleich der energetischen Simulationen
- 15 Loggia mit Faltverglasung

EnEV-Nachweises in diesem Fall einem realitätsfernen Worst-Case-Szenario, in dem das ganze Jahr lang keine Sonne auf die Polycarbonatfassade fällt.

Ein ganz anderes Bild ergibt sich, wenn man das thermische Verhalten der Fassade über das Jahr hinweg dynamisch am Rechner simuliert. Dann ergibt sich für das Haus ein Heizwärmebedarf von 11 bis 14 kWh/m²a, der es locker mit Passivhäusern aufnehmen könnte. Die Simulationsergebnisse sind auch insofern aufschlussreich, als sie den jeweiligen Beitrag der einzelnen Dämm- und Energiegewinnmaßnahmen anschaulich machen (Abb. 14). Demnach bewirkt die Polycarbonathülle – verglichen mit dem ungedämmten Altbau – eine 40%-ige Senkung des Heizwärmebedarfs. Weitere rund 22 % spart man durch die Dämmung der Nordfassade. Den weitaus größten Beitrag leistet jedoch die Dachdämmung, die den Heizwärmebedarf gegenüber den übrigen Varianten um rund drei Viertel reduziert. Nur

noch geringfügig ins Gewicht fällt die unterseitige Dämmung der Kellerdecke mit 10 Zentimeter Mineralwolle.

Eine ähnliche Simulation mehrerer Varianten führten die Architekten für die Haustechnik durch. Demnach ist vor allem die Wärmerückgewinnung aus der Abluft ein entscheidender Faktor für die Energieeffizienz: Ohne sie läge der Heizwärmebedarf im Haus mehr als dreimal so hoch. Ließe man den Steinspeicher fort, stiege der Energiebedarf immerhin um ein Drittel. Vergleichsweise gering fällt mit etwa 8 % hingegen der Beitrag der Luftumwälzung in den Fassaden aus.

Die »Intelligenz« des Gebäudebestandes

Mit ihrer Sanierung in Mannheim-Schönau haben Annette Rudolph-Cleff und Günter Pfeifer eine dreifache Gewinnstrategie verfolgt: ästhetisch, solarenergetisch und in Bezug auf den Lebenszyklus der verwendeten Baustoffe. In einem kurz nach





13

Baufertigstellung publizierten Buch schreiben sie: »Wir werden uns angewöhnen müssen, das Zusammenwirken von Raum- und Volumenzonierung, Speichermassen und Fensteröffnungen thermodynamisch exakt zu analysieren, um ähnlich einem DNA-Abdruck in der Medizin einen energetischen Abdruck zu erhalten. Dann würden wir erkennen, dass darin meist schon das alte klimatische Urwissen abgebildet ist und wir nur mit minimalen Interventionen eingreifen müssten. Dann werden große Dachstühle zu Luftkollektoren, die Treppenträume zu thermodynamischen Transportwegen, die Fensterflächen zu Energiefallen und die Masse der Konstruktion zur idealen Speicherung.« Ob diese Einzelelemente tatsächlich so reibungslos zusammenwirken wie erwartet, wird sich indes noch zeigen müssen. Anfang 2015 ist ein Monitoringprogramm angelaufen, bei dem die Strom- und Wärmeverbräuche im Haus sowie die wichtigsten raumklimatischen Werte zwei Jahre lang aufgezeichnet werden.

The centre of the Mannheim district of Schönau is a product of the urban planning principles of the 1950s: large, green spaces divide the four to five-floor residential buildings from the streets. They give the quarter a relatively anonymous, but in no way run down character. In recent years, many of the buildings have been renovated. In order to improve their energy efficiency, external thermal insulation composite systems were used on most of the houses. As the owner of the apartment building located in Lilienthalstrasse the Mannheim Gemeinnützige Baugesellschaft (GBG or Non-profit Building Association) pursued a different strategy. The building, which was originally constructed in 1957 and is centrally located in the neighbourhood, is not only intended to be visually prominent in its surroundings, but is also intended to attract somewhat more affluent tenants who can afford to pay the slightly higher rents. The Housing Association commissioned two Darmstadt university professors, Günter Pfeifer and Annette Rudolph-Cleff to design the scheme. The two architects recommended that the building not simply be insulated, but that the function also be altered, so that comfort and energy efficiency benefit equally. The change of function began with changing the apartment floor plans: before the renovation the building had four two-room apartments per floor, which were efficiently accessed by a stairway on the northern side. However, at only 45-square metres each, these apartments were far too small by today's standards. The architects retained the circulation, but combined pairs of the undersized apartments into larger, three-room apartments with an area of 90 square metres each. Additionally, a new lift provides barrier-free access to all floors. The previously centrally-located bathrooms were moved to the northern facade and instead, the kitchens now form the 'warm core' of the apartments. The kitchens are also the beginning of a tri-part sequence comprising: cooking/ dining/living spaces. The individual areas are connected to each other by wide passages but the original small-scale dimensions of

Heizwärmebedarf gemäß Simulation (Variantenvergleich)/ Heating demand according to simulation (comparison of variants)

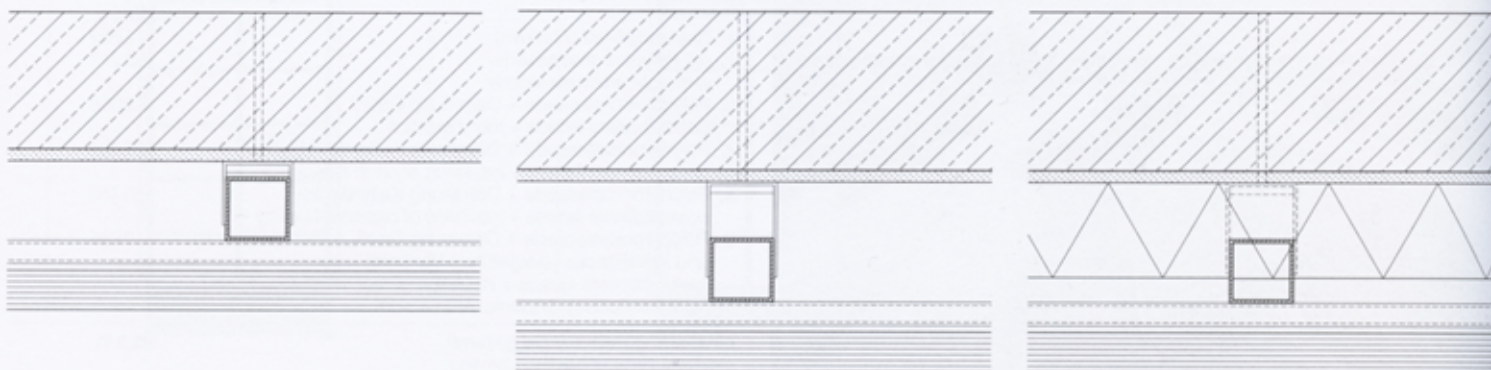
	kWh/a
1. Bestand/Existing building	272 522
2. mit Polycarbonatfassade/ with polycarbonate facade	162 212
3. Polycarbonatfassade + Dämmung Dach/ polycarbonate facade + roof insulation	42 068
4. Polycarbonatfassade + Dämmung Außenwand Nord/ polycarbonate facade + insulation of north facade	128 234
5. Polycarbonatfassade + Dämmung Kellerdecke/ polycarbonate facade + insulation of basement ceiling	158 100
6. Polycarbonatfassade + Dämmung Dach, Außenwand Nord und Kellerdecke (ausgeführte Variante) /polycarbonate facade + insulation of roof, north facade and basement ceiling (implemented version)	17 745
Einsparung Heizenergie gesamt/ total reduction of heating demand	93,5%

14

the rooms still remains legible. The balconies can now be enclosed by means of new, simple folding glass doors. Günter Pfeifer calls these areas 'energy conservatories', since they collect solar heat gain, they can also provide an extra usable room during winter at least in sunny weather. The same solar heat gain strategy informed many other design decisions. The windows were extended to the floor and the outer walls were clad with translucent polycarbonate multiwall panels. The north facade is the only outer wall insulated with 14 centimetres of mineral wool, the exterior of which was painted white in order not to disturb the overall light appearance of the facade. The architects decided to dispense with insulation on the three remaining facades in order to maximise the solar heat gain captured by the polycarbonate shell. The exterior and the interior walls of the existing building consist of 25-centimetre-thick poured concrete. The builders of the early



15



16

post-war years created this porous building material out of everything that was available in the war-wrecked cities of Germany: building rubble, broken stones, fresh gravel, but only very little cement. Although the building's existing walls had a quite reasonable U-value of $1.42 \text{ W/m}^2\text{K}$, they were not very stable, and offered little noise protection. To improve the acoustic insulation the architects sheathed the existing partition walls between apartments with gypsum plasterboard on metal studs and added gypsum plasterboard suspended ceilings.

The facade as a warm air collector

The poured concrete exterior walls and their new translucent cladding together form a warm air collector in which trapped air is heated by the sun. The facade cavity is connected to air ducts in the basement and to the flat roof. The idea behind this is very simple: during the morning the air inside the eastern facade heats up and subsequently flows into the other facades so that the heat is distributed over the entire building shell.

In the evenings, the air circulation flows in the opposite direction. Because the stack effect in the facade cavities is not strong enough to move the air around the building envelope, two ventilators have been installed in the basement. Furthermore, in the basement there is a two-metre-high stack of crisscross-stacked calcium silicate blocks, between which the air circulates. The blocks serve

as thermal storage in which, during winter, the solar heat gain of the day is stored for the night. In the summer, the blocks are cooled during the night by the cool outside air and can be used as a 'cold battery' for the building throughout the day. During especially warm weather the air recirculation can be reduced in order to prevent the building from overheating. The heated air dissipates through openings below the roof directly to the outside.

Warm air does not enter the apartments anywhere from the facades. Rather, the consideration behind the energy concept is: if the concrete outer walls no longer need to be protected from the cold outside air, but rather against the significantly warmer air in the facade cavity, then less energy is consumed for heating. In fact, measurements have shown that the air temperature in the facade cavity is between six to ten degrees higher than the temperature of the outside air.

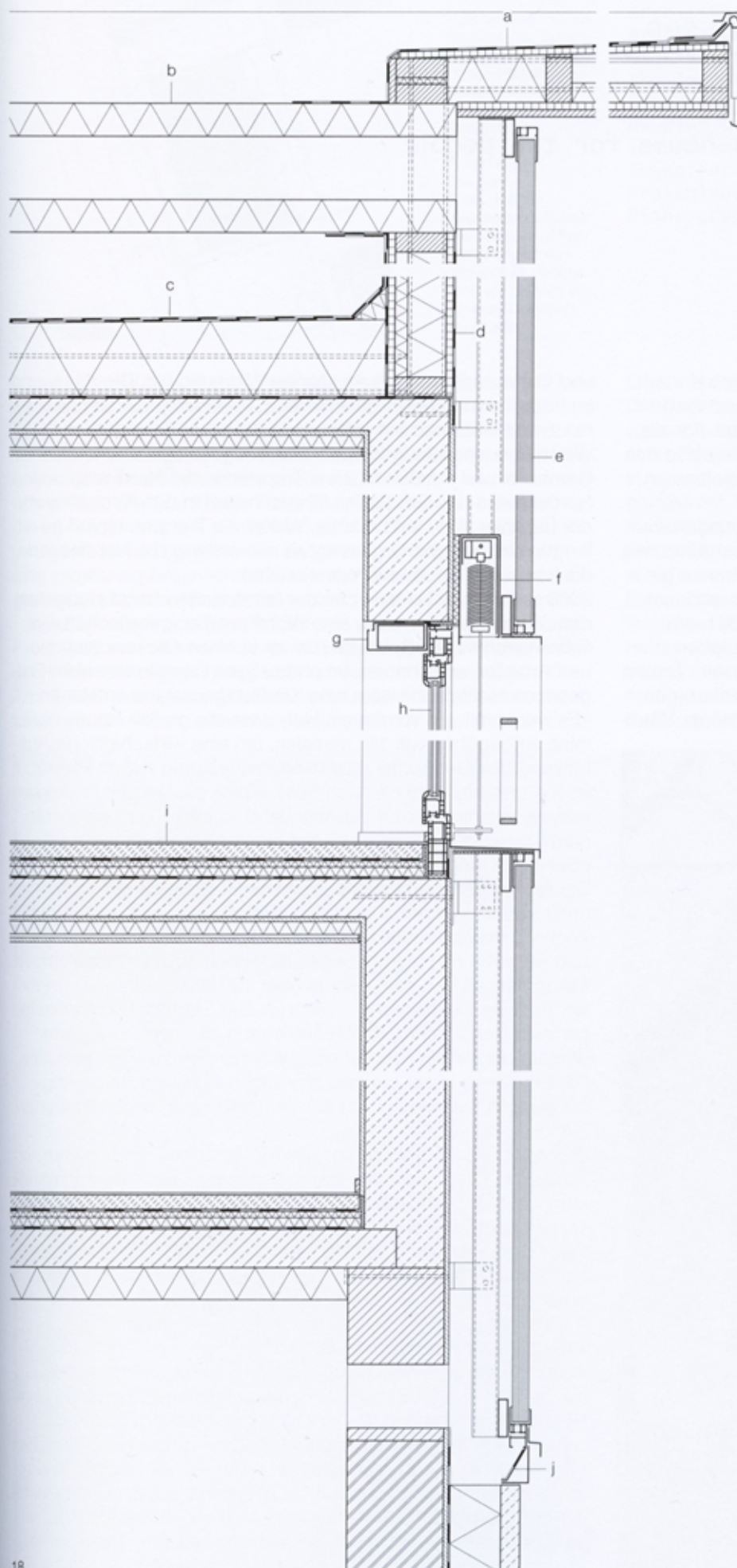
The apartment windows are sealed airtight against the facade cavity by aluminium window reveals and have manually operable casements. Furthermore, below each window lintel is a decentralised ventilation unit with built-in heat recovery, which provides fresh air when needed. The windows are fitted with contacts which automatically turn off the local-heating, grid-supplied radiators when a window is opened.

Simulations provide the only means to calculate performance. In contrast to common composite systems of plaster and EPS thermal insulation, the facade system chosen here can be completely recycled. The plastic panels are connected by tongue and groove and are held at the top and the bottom with aluminium profiles. They extend up to four storeys on the upper floors. On the ground floor, however the cladding is only single-storey high so that the panels can be replaced if they are damaged.

According to the requirements of the German Energy Saving Ordinance (Energieeinsparverordnung/EnEV), the energy demand of residential buildings must be calculated according to a static calculation method, which does not adequately consider the solar energy gains of double facades and conservatories. For this reason the calculation results according to the EnEV certificate in this case seem like an improbable worst-case scenario, where no sun shines on the polycarbonate facade for the entire year.

The results are completely different if the thermal behaviour of the facade is dynamically simulated on a computer. In this case, the heating demand amounts to 11 to 14 kWh/m²a, which easily puts the building on par with Passivhaus Standard. In order for this energy efficiency level to be attained in reality, however, it is absolutely necessary that all of the building's mechanical services function in tandem without any complications. Therefore a monitoring programme has been started for the building in the beginning of 2015 in which electricity and heat consumption, as well as the most important indoor climate conditions are recorded and evaluated for a period of two years.





- 16 Horizontalschnitte Südfassade, West-/Ost-fassade und Nordfassade (von links)
Maßstab 1:10
- 17 Innenecke an der Südostseite
- 18 Vertikalschnitt Nordfassade Maßstab 1:20
- a Dachrand:
Abdichtung bituminös, zweilagig; OSB-Platte, 22 mm; Stahlprofil IPE 100 als Kragträger; dazwischen Holzbohlen 80/140 mm/Wärmedämmung Mineralwolle, 140 mm; OSB-Platte, 22 mm; Holzschalung, weiß lackiert, 22 mm
- b Lüftungsrohr (Verbindung West-/Ostfassade)
- c Flachdach:
Abdichtung bituminös; zweilagig; Wärmedämmung EPS, ≥ 150 mm; Dampfsperre; Stahlbetondecke, 100 mm (Bestand)
- d Attikaelement:
Dampfsperre; OSB-Platte, 22 mm; Stahlträger HEB 120; dazwischen Querriegel Holz, 160/60 mm/Wärmedämmung Mineralwolle, 160 mm; Holzschalung (Rauspund), 22 mm; Abdichtung bituminös, 2-lagig
- e Außenwand:
Polycarbonatstegplatte (9 Kammern), 50 mm; Unterkonstruktion Aluminium horizontal, $\square 120/30/3$ mm; Unterkonstruktion Aluminium vertikal, $\square 80/80/3$ mm; dazwischen Luftschicht, 150–160 mm; Außenputz, ca. 15 mm (Bestand); Außenwand Schüt beton, 250 mm (Bestand); Gipsputz, 15 mm (Bestand)
- f Lamellenraffstore mit U-Blende; Wärmedämmung Polyurethan, 20 mm
- g Lüftungselement mit Wärmerückgewinnung
- h Fenster: Zweifach-Isolierverglasung in Kunststoffrahmen
- i Geschossdecke:
Linoleum 0,5 cm; Anhydritestrich, 45 mm; Trennlage; Trittschalldämmung Mineralwolle, 20 mm; Trittschalldämmung EPS, 30 mm; Stahlbetondecke (Bestand), 120 mm; Innenputz, 15 mm (Bestand), abgehängte Decke als biege weiche Vorsatzschale, 75 mm
- j Zuluftklappe PE-Folie, 2 mm
- 16 Horizontal sections of south facade, west/east facade and north facade (from left)
Scale 1:10
- 17 Inner corner on the southeast side
- 18 Vertical section, north facade Scale 1:20
- a Roof perimeter:
Bituminous sealant, two-ply; OSB panel, 22 mm; IPE 100 steel profile as cantilevered beam; timber planks 80/140 mm with mineral wool insulation in-between; OSB panel, 22 mm; timber formwork, painted white, 22 mm
- b Ventilation duct (connection west/east facade)
- c Flat roof:
Bituminous sealant, two ply; EPS thermal insulation, ≥ 150 mm; vapour barrier; reinforced concrete floor, 100 mm (existing)
- d Roof parapet element:
Vapour barrier; OSB panel, 22 mm; steel stud HEB 120; timber cross brackets, 160/60 mm with mineral wool insulation in-between; timber formwork (tongued and grooved rough boarding), 22 mm; bituminous sealant, two-ply
- e Outer wall:
Polycarbonate multiwall panel (9 chambers), 50 mm; horizontal aluminium frame, $\square 120/30/3$ mm; vertical aluminium frame, $\square 80/80/3$ mm; air cavity in-between, 150–160 mm; external plastering, ca. 15 mm (existing); poured concrete outer wall, 250 mm (existing); gypsum plaster, 15 mm (existing)
- f External venetian blinds with U-shaped cover panel; polyurethane thermal insulation, 20 mm
- g Ventilation unit with thermal recovery
- h Window: double glazing in plastic frame
- i Floor:
Linoleum 0,5 cm; anhydrite screed, 45 mm; separation layer; mineral wool impact sound insulation, 20 mm; EPS impact sound insulation, 30 mm; reinforced concrete floor (existing), 120 mm; internal plastering, 15 mm (existing), suspended ceiling as flexible facing shell, 75 mm
- j Air inlet flap, PE foil, 2 mm