



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

# DBU Abschlussbericht

Typologische und energetische Sanierung  
eines Mehrfamilienwohnhauses aus den 50er Jahren - Punkthaus

gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt  
unter dem Aktenzeichen 28538

TU Darmstadt Fachbereich Architektur  
Fachgebiet Entwerfen und Stadtentwicklung  
Fondation Kybernetik  
El-Lissitzky-Strasse 1  
64287 Darmstadt

Verfasser

Prof. Dr.-Ing. Annette Rudolph-Cleff

Prof. Günter Pfeifer

Dipl.-Ing. Simon Gehrmann

Dipl.-Ing. Sarah Hantke (geb. Bein)

*überarbeitete Version, April 2015*

### **Bezugsmöglichkeit des Abschlussberichts**

TU Darmstadt Fachbereich Architektur  
Fachgebiet Entwerfen und Stadtentwicklung  
Prof. Dr.-Ing. Annette Rudolph-Cleff  
Fondation Kybernetik  
Prof. Günter Pfeifer  
El-Lissitzky-Strasse 1  
64287 Darmstadt

Telefon +49 6151 16 6686  
Telefax +49 6151 16 4859  
info@fondation.tu-darmstadt.de

### **Projektbeteiligte**

Prof. Dr.-Ing. Annette Rudolph-Cleff  
Prof. Günter Pfeifer  
Dipl.-Ing. Sarah Bein  
Dipl.-Ing. Doris Arnold  
Simone Guby-Wuttke

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	Referat	Fördersumme	
<b>Antragstitel</b>	<i>Typologische und Energetische Sanierung eines Mehrfamilienhauses aus den 50er Jahren</i>		
<b>Stichworte</b>	Fassade aus Lichtbauelementen		
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>2 Jahre</b>	<b>Juli 2010</b>	<b>September 2012</b>	<b>1</b>
Zwischenberichte	nach vier Monaten		
<b>Bewilligungsempfänger</b>	TU Darmstadt Fachbereich Architektur El-Lissitzky Straße 1 64287 Darmstadt		Tel 06151 16 75657
	Fachgebiet Entwerfen und Stadtentwicklung Prof. Dr.-Ing. Annette Rudolph-Cleff		Fax 06151 16 4859
	Fondation Kybernetik Prof. Günter Pfeifer		Projektleitung Günter Pfeifer
			Bearbeiter Sarah Hantke, geb. Bein Simon Gehrmann
<b>Kooperationspartner</b>	GBG Mannheimer Wohnungsbaugesellschaft mbh Ulmenweg 7 68167 Mannheim		

### ***Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens***

Die typologische und energetische Erneuerung eines Wohngebäudes in Mannheim-Schönau stand im Mittelpunkt der Projektarbeit. Am Beispiel einer Sanierung eines Mehrfamilienhauses im sozialen Wohnungsbau wurden exemplarisch die Möglichkeiten eines kybernetischen Gebäudemodells untersucht. In dynamischen Modellen wurden zunächst solarenergetische Gewinne an Dach- und Fassadenflächen optimiert, um zur Energiegewinnung für das Gebäude genutzt werden zu können. Im Zusammenspiel von aktiven und passiven energetischen Maßnahmen nimmt die Gestaltung einer klimaaktiven Fassade mit Loggien und Luftkollektoren eine ebenso bedeutende Rolle ein wie die Bauteilaktivierung und die Einbindung von Speicher Massen.

### ***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

Die Arbeitsschritte des Projektes gliedern sich in folgende Phasen:

#### **Phase 1: Konzeption**

Die Ausarbeitung der Konzeptidee erfolgte an der TU Darmstadt in Zusammenarbeit mit der GBG Mannheimer Wohnungsbaugesellschaft und bildete die Grundlage für das Forschungsprojekt: Im Mittelpunkt stand die Entwicklung einer Kollektorfassade, integriert in eine Energiekonzept bestehend aus typologischer Optimierung, klimaaktiver Gebäudehülle mit Steinspeicher, kontrollierter Lüftung und Wärmerückgewinnung und Solarthermie am Beispiel eines Mehrfamilienwohnhauses im sozialen Wohnungsbau in Mannheim Schönau.

## **Phase 2: Planung und Entwicklung**

*Die zweite Phase des Projektes gliedert sich in zwei Arbeitspakete:*

### **Arbeitspaket I: Bauaufnahme**

Eine umfangreiche Bestandsaufnahme und Bestandsanalyse stand am Anfang des Forschungsprojekts: Das Mehrfamilienwohnhaus wurde in einem 3-D-Gutachten und einer Fotoserie zum Projektstart dokumentiert. Der bestehende Energieverbrauch, Wartungsverträge und Bilder mit der Wärmebildkamera belegen das energetische Verhalten des bestehenden Wohngebäudes. Verschiedene Materialproben wurden genommen. Dübelauszugsversuche, Druckfestigkeitsprüfungen und Schadstoffgutachten ergänzten die Bestandsaufnahme. Während das energetische Verhalten des Bestandsgebäudes nicht überraschte, war die vorgefundene Qualität der Außenwände und der Stahlbeton-Decken schlechter als aus Vergleichsobjekten der Bauzeit zu vermuten.

### **Arbeitspaket II: Typologische und energetische Sanierung**

Das Arbeitspaket gliederte sich in drei wesentliche Bausteine: Der erste Baustein war die typologischen Neuorganisation der Grundrisse, die Ausbildung von Pufferzonen und die Optimierung der Belichtungssituation. Die Planung und Entwicklung der Kollektorfassade stellte im zweiten Baustein die größte Herausforderung in diesem Forschungsprojekt dar, denn Kollektorfassaden sind bei einem fünfgeschossigen Wohngebäude in dieser Form noch nicht realisiert worden. Der dritte Baustein unterstrich das energetische Konzept mit einer kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung.

In thermodynamischen Simulationen wurde die Luftkollektorfassade schrittweise entwickelt. Als Ergebnis der energetischen Optimierung von Kollektorfassade und Steinspeicher wurde in der weiteren Planung auf den Einsatz von Solarthermie verzichtet, der in der ursprünglichen Planung einen weiteren Baustein darstellte. Vom barrierefreien Wohngebäude wurden im Planungsverlauf die Nutzungsanforderungen von Seiten des Bauherrn auf ein „barrierearmes“ Wohngebäude geändert.

## **Phase 3: Dokumentation**

Die Auswertung der Ergebnisse und die Dokumentation der Forschungserkenntnisse sind im Abschlussbericht zusammengefasst. Als Anlage sind Unterlagen der Bestandsanalyse und des sanierten Objektes beigefügt. Eine Veröffentlichung des Projektes ist von Seiten des Bauherrn GBG Mannheim im Rahmen eines Buches geplant.



## **Ergebnisse und Diskussion**

### **Integriertes Energiekonzept**

Das als Prototyp für eine energetische Sanierung ausgewählte Mehrfamilienwohnhaus in Mannheim hat seit seinem Erstbezug in den 1950er Jahren keine grundlegenden Umbau- und Sanierungsmaßnahmen erfahren. Das Bestandsgebäude hatte aufgrund nicht gedämmter Dach-, Fassaden- und Balkonflächen einen Heizenergiebedarf von rund 273 kWh/a auf. Neben einem sinnvollen typologischen Ansatz setzt sich das energetische Konzept aus vier Bausteinen (klimaaktive Fassade, Steinspeicher, kontrollierte Lüftung und Wärmerückgewinnung) zusammen, die in wechselseitigem Zusammenspiel funktionieren und so im Gesamtergebnis den jährlichen Heizenergiebedarf auf ca. 10-14 kWh/a reduzieren. Das energetische Konzept ist als Low-Tech-Lösung zu verstehen. Die Ergebnisse der Simulationen werden im Monitoring überprüft.

### **Fassadenentwicklung:**

Die klimaaktive Gebäudehülle, bestehend aus einer zweischaligen Fassade mit einem Luftkollektor aus einer Polycarbonatplatte mit dem U-Wert von 0,83 W/m<sup>2</sup>K, kann als energetisch sinnvolle, wirtschaftliche und gestalterische Alternative zum passiven Wärmeschutz und der herkömmlichen Dämmung mit WDVS gesehen werden.

Die Luftkollektorfassade ist von ihrer Bauart eine nicht wärmegeämmte, vorgehängte, hinterlüftete Fassadenbekleidung nach DIN 18516-1. Die Luftströmung im geschlossenen Luftkollektor im Umluftbetrieb wird unterstützt durch einen Umluftventilator.

Die Fassadenkonstruktion genügt als Außenwandbekleidung eines Gebäudes mittlerer Höhe nach § 29 der LBO den Anforderungen an schwerentflammbare Baustoffe (DIN 4102-B1). Das Brandverhalten der Kollektorfassade wurde in Baustoffklassifizierung und Originalbrandversuch untersucht. Vorkehrungen gegen Brandausbreitung nach § 27 LBO sind im Einzelfall nachgewiesen.

Die Baukosten für die Luftkollektorfassade betragen ca 280pro qm Fassadenfläche, und ist damit problemlos vergleichbar mit einen klassischen, Vollwärmeschutz

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Das Ergebnis des Forschungsvorhaben kann in Mannheim, in der Lilienthalstraße besichtigt werden. Der Bezug des Prototypen ist derzeit auf den 01.Juli 2013 terminiert. Außerdem wird das Projekt in Fachzeitschriften und Presse veröffentlicht. Zukünftige Projekte werden auf den Erfahrungen die bei diesem Projekt gesammelt werden aufbauen. Bereits jetzt gibt es Anfragen, um dieses Projekt auf Fachkonferenzen und Tagungen vorzustellen.

x

## **Fazit**

Das einfache Energiekonzept und die doppelschalige Kollektorfassade bieten eine energetische und wirtschaftliche Alternative zu Standardsanierungen im Wohnungsbau. Die architektonischen Möglichkeiten in der Fassadengestaltung sind sehr groß und können die Charakteristika der Bauzeit aufnehmen und gestalterisch weiterentwickeln, wie beispielsweise in der feinen Fassadengliederung, in den zu Loggien umgebauten Balkonen oder den Anschlüssen an Sockel und Dachrand sichtbar wird.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	9
Einleitung	11
der Hintergrund .....	11
Zusammenfassung .....	12
Zeitzeuge der Wohnungsnot: Das Punkthaus .....	13
Das Forschungs-vorhaben	15
Projektkenndaten .....	15
Projektansatz .....	15
Projektbeteiligte .....	18
Gliederung des Forschungsprojektes	20
Thermodynamische Simulationen .....	20
Wissenschaftliches Arbeitskonzept.....	20
Bauaufnahme	23
Wände aus Schüttbodyen.....	23
Schallschutz .....	25
Wärmeschutz.....	25
Energetisches & Typologisches Konzept	26
Baustein 1: typologische Optimierung .....	27
Baustein 2: Gebäudehülle aus Lichtbauelementen .....	30
Baustein 3: Kontrollierte Lüftung und Wärmerückgewinnung .....	33
Solarthermie .....	33
Vergleich der Heizungssysteme .....	33
Photovoltaik.....	34
Planung der Gebäudehülle	36
Thermodynamische Simulationen .....	36
Analyse der freien Konvektionsströmung im Luftkanal .....	41
Fassadenaufbau und Brandschutzkonzept .....	45
Die Herausforderungen im Gebäudebestand	50
Verankerung der Fassade in Aussenwänden aus Schüttbodyen.....	50
Decken aus Stahlbeton .....	51
Fazit	54

Projektfortschritt.....	54
Monitoring.....	54
Schlussbetrachtung.....	54
Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die ursprüngliche Zielsetzung.....	56
Energetische Ziele.....	56
Wirtschaftliche Ziele:.....	56
Gestalterische Ziele:.....	57
<b>Anlagen- und Baubeschreibung des Punkthauses im sanierten Zustand</b>	<b>58</b>
<b>Baukosten nach DIN 276</b>	<b>65</b>
Kostenschätzung vom 23.08.2011:.....	65
Probleme mit der Fassade:.....	65
Probleme mit dem Dachaufbau.....	66
aktualisierte Kostenberechnung nach DIN 276 vom 03.02.2012.....	66
mangelnder Schallschutz.....	66
barrierearme Erschliessung.....	67
Attikaverkleidung.....	67
Fazit.....	67
<b>Nachträge, Juli 2014</b>	<b>68</b>
Nachtrag 1: Vergleichbarkeit der Fassadenkonstruktion.....	68
Nachtrag 2: Details Dachanschluß.....	71
Nachtrag 3: Ventilationskonzept.....	73
Nachtrag 4: Monitoring.....	76
Nachtrag 5: Energieausweis.....	77
<b>Quellennachweis</b>	<b>79</b>
<b>Anlagen</b>	<b>80</b>
1. ursprüngliche Kostenschätzung vom 23.08.2011.....	80
2. Kostenverfolgung.....	80
3. Plan Untergeschoss, mit Steinspeicher und Lüftungsanlagen, M 1:50.....	80

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Bestandsgebäude Ansicht Südwest	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 2: Punkthaus nach der Sanierung	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 3: Luftbild	Quelle: <a href="http://www.bing.de">www.bing.de</a>
Abb. 4: Bestandsgebäude	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 5: Bestandsgebäude Ansicht Nordost	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 6: Rendering nach der Sanierung	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 7: Entnommene Bohrkerne	Quelle: Prüfbericht zur Bohrkernentnahme zur Bestimmung der Bauwerksfestigkeit, Knecht Beton- Bodenprüfstelle
Abb. 8: Detail Ziegelsplitbeton	Quelle: Prüfbericht zur Bohrkernentnahme zur Bestimmung der Bauwerksfestigkeit, Knecht Beton- Bodenprüfstelle
Abb. 9: Wand aus Schüttnbeton	Quelle: Prüfbericht zur Bohrkernentnahme zur Bestimmung der Bauwerksfestigkeit, Knecht Beton- Bodenprüfstelle
Abb. 10: Lageplan nach Sanierung	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 11: Perspektive Innenraum	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 12: Grundriss links Sanierung, rechts Bestand	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 13: Loggia Südseite	Quelle: Claudius Pfeifer, Berlin
Abb. 14: Blick aus dem Essplatz auf die Loggia Westseite	Quelle: Claudius Pfeifer, Berlin
Abb. 15: Essplatz	Quelle: Claudius Pfeifer, Berlin
Abb. 16: Essplatz und Wohnraum	Quelle: Claudius Pfeifer, Berlin
Abb. 17: Winterfall vor der Sanierung	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 18: Winterfall nach der Sanierung	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 19: Sommerfall vor der Sanierung	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 20: Sommerfall nach der Sanierung	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 21: Foto der Steinspeichers	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 22: Schichtungsprinzip Steinspeicher	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 23: Foto der Luftverteilsystemes auf dem Dach	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 24: Lüftungselement	Quelle: Schüco, <a href="http://www.schueco.de">www.schueco.de</a>
Abb. 25: Vergleich der Heizsysteme	Quelle: Balck+Partner
Abb. 26: Speichermassen	Quelle: Ergebnisbericht Computersimulation zur Entwurfsoptimierung; Balck+Partner
Abb. 27: Nutzungsprofil	Quelle: Ergebnisbericht Computersimulation zur Entwurfsoptimierung; Balck+Partner
Abb. 28: Luftwechsel	Quelle: Ergebnisbericht Computersimulation zur Entwurfsoptimierung; Balck+Partner
Abb. 29: Transparente Bauteile	Quelle: Ergebnisbericht Computersimulation zur Entwurfsoptimierung; Balck+Partner
Abb. 30: Wandaufbauten	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 31: Simulationsergebnisse Entwurf	Quelle: Ergebnisbericht Simulation Hausummantelung in Varianten, Ansys Germany GmbH
Abb. 32: Auswertung Simulationen a - f als Kennwerte	Quelle: Ergebnisbericht Simulation Hausummantelung in Varianten, Ansys Germany GmbH
Abb. 33: Instationäre Simulation	Quelle: Ergebnisbericht Simulation Hausummantelung in

Abb. 34: Volle 3D instationäre Simulation	Varianten, Ansys Germany GmbH Quelle: Ergebnisbericht Simulation Hausummantelung in Varianten, Ansys Germany GmbH
Abb. 35: Wirbel 2D; Schlieren und Strähnen 3D	Quelle: Ergebnisbericht Simulation Hausummantelung in Varianten, Ansys Germany GmbH
Abb. 36: Luftzirkulation	Quelle: Ergebnisbericht Simulation Hausummantelung in Varianten, Ansys Germany GmbH
Abb. 37: Wandaufbauten Aussenwand	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 38: Sockeldetail - Zuluftklappe	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 39: Prüfaufbau (oben) / Prüfminute(unten)	Quelle: Untersuchungsbericht zum Brandversuch nach den Zulassungsgrunds. des DIBt,MFPA Leipzig
Abb. 40: Prüfaufbau (oben)/Prüfminute(unten)	Quelle: Untersuchungsbericht zum Brandversuch nach den Zulassungsgrunds. des DIBt,MFPA Leipzig Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 41: Dübelauszugsversuche Aussenwand Bestand	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 42: Prüfbohrung Bestandsdecke	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 43: Fensterdetail Horizontalschnitt	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 44: Fensterdetail Vertikalschnitt	Quelle: TU Darmstadt, Fondation Kybernetik
Abb. 45: Fassade des Punkthauses nach der Sanierung	Quelle: Claudius Pfeifer, Berlin
Abb. 46: Innenraumfotos	Quelle: Claudius Pfeifer, Berlin
Abb. 47: Detail des Dachanschlusses M 1 : 10	Quelle: Fondation Kybernetik
Abb. 48: Detail des Dachanschlusses M 1 : 10	Quelle: Fondation Kybernetik
Abb. 49: Detail des Dachanschlusses M 1 : 10	Quelle: Fondation Kybernetik
Abb. 50: Schematische Darst. der Fassade im Winter	Quelle: Balck+Partner
Abb. 51: Schematische Darst. der Fassade im Sommer	Quelle: Balck+Partner
Abb. 52: Artikeldatenblatt des eingesetzten Ventilators.	Quelle: Balck+Partner

## Abkürzungsverzeichnis

Punkthaus:	Eigenname des Gebäudes, Arbeitstitel des Projektes
WRG	Wärmerückgewinnungsanlage
EnEv 2009	Energieeinsparverordnung 2009
PHPP	Berechnungstool für Passivhäuser des Passivhausinstitutes; Passivhaus Projektierungspaket
PV	Photovoltaik
MVV	MVV Energie AG; Mannheimer Energieversorgung
U	Wärmedurchgangskoeffizient
$H_T'$	Transmissionswärmeverlust



Abb. 1: Bestandsgebäude Ansicht Südwest



Abb. 2: Punkthaus nach der Sanierung

## Einleitung

### der Hintergrund

Solare Luftheizsysteme sind seit langem bekannt, doch erst seit Mitte der 1980er Jahre ist man in der Lage, dreidimensionale Luftströme zu messen und zu simulieren<sup>1</sup>. Verschiedene Versuche in den 1980er und 1990er Jahren wurden vom Verlag CF Müller, Karlsruhe dokumentiert<sup>2</sup>.

Konstruktionshinweise und genaue Bilanzierungsvorschläge liegen mit den Abschlußarbeiten der Task 19, der internationalen Energieagentur vor, die fünf Grundtypen beschreiben und einen umfangreichen Bauteilkatalog ergänzen ohne jedoch auf architektonische, bzw. gestalterische Aspekte einzugehen. Wichtige Grundlagen im Sinne architektonisch basierter Systemuntersuchungen bilden die Arbeit von Thomas Herzog und Julius Natterer von 1985: „Gebäudehüllen aus Glas und Holz“<sup>3</sup>.

Für die technischen Betrachtungen von Solarkollektorsystemen ist Robert Hastings zu erwähnen, der verschiedenen Grundtypen kategorisiert hat nach Heizungsart<sup>4</sup>. Charles Filleux und Andreas Gütermann unterscheiden darüber hinaus in Systeme zur Vorwärmung der Außenluft, zur Raumheizung und zur Warmwasserbereitung. Einen aktuellen Einblick in Planung und Bewertung wärmegewinnender, energetisch-dynamischer Bauteil- und Raumstrukturen im Wohnungsbau vermittelt die Arbeit von Angèle Tersluisen, die technische Möglichkeiten und architektonische Gestaltung hinterfragt.

---

1 Hegger, M et al. : Energieatlas. Nachhaltige Architektur, Basel, Boston, Berlin 2008, S.39

2 Kiraly, Josef: Architektur mit der Sonne, 1 mal 1 der passiven Sonnenheizsysteme, Karlsruhe, 1996;

3 Herzog, Thomas; Natterer, Julius: Gebäudehüllen aus Glas und Holz: Maßnahmen zur energiebewussten Erweiterung von Wohnhäusern. 2. Ausgabe. Lausanne 1985

4 Hastings, Robert: solar air systems: a design handbook. London 2000; Hastings, Robert: solar air systems: built examples, London 1999; Hastings, Robert: solar air systems: product catalogue, London 1998



Solare Luftheizsysteme sind im Architektenkreis insbesondere diskutiert worden an Projekten von Florian Nagler (Wohnhaus und Atelier Lang-Kröll), Werner Grosse (Kinderreitschule Weillimdorf), Pfeifer Roser Kuhn (Patchworkhaus, Freiburg), Gassner und Zarecky (Haus Kellner, Glonn), sowie agps (Wohnhaus B35, Zürich).

Die Fondation Kybernetik hat sich an der TU Darmstadt das Ziel gesetzt kybernetische Gebäudestrukturen zukünftig intensiv zu erforschen, und die daraus gewonnenen Erkenntnisse in Demonstrativ Bauvorhaben zu evaluieren.

### **Zusammenfassung**

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde von der TU Darmstadt die typologische und energetische Sanierung eines Wohngebäudes aus den 1950er Jahren in Kooperation mit der GBG Mannheimer Wohnungsbau-gesellschaft mbH realisiert. Dieses Forschungsvorhaben wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter dem Aktenzeichen 28538 gefördert.

Im Blick auf typologische, energetische und gebäudetechnologische Eigenschaften entspricht der hohe Anteil an Gebäuden der Nachkriegszeit, den wir derzeit in Deutschland vorfinden, keineswegs mehr den Anforderungen an heutige Bedürfnisse. Bauherren, Planer und Entscheidungsträger stehen immer wieder vor der Frage: Abriss und Neubau oder Sanierung. Die heutigen Anforderungen an den Energieverbrauch der jeweils gültigen Energieeinsparverordnung (ENEV) - die ohnehin im Rhythmus einiger Jahre wieder verschärft wird - zwingt Planer und Bauherren in schnelle, einfache und gebrauchsfertig erprobte Sanierungsmethoden die in den meisten Fällen mit entsprechend dicken Wärmedämmverbundsystemen umgesetzt werden. Häufig zielt die Sanierung auf die Mindestanforderung der ENEV ab und der Ehrgeiz diese zu unterschreiten ist relativ gering. Nur das so genannte Passivhaus mit seinen schwierigen Bedingungen und Berechnungsmethoden nach dem PHPP- Verfahren bildet ein ernst zunehmendes Konzept zur Unterschreitung der ENEV. Doch genau diese Art der energetischen Sanierung kommt für gemeinnützige Bauherren - gerade im Bereich solcher Sozialbauten - nicht in Betracht. Der Grund mag in den hohen Planungskosten und dem technischen Aufwand liegen.

Das vorliegende Projekt hat deshalb zum Ziel, energetische Werte zu erzielen, die angelehnt an den Passivhausstandard auf den üblichen Vollwärmeschutz verzichten und mit wenig technischer Unterstützung gleiche oder bessere Energiekennwerte erzielen.



### Zeitzeuge der Wohnungsnot: Das Punkthaus

Unter dem Aspekt, die Gebäude der 1950er- und 1960er Jahre als Teil unserer deutschen Geschichte zu betrachten und somit als Zeitzeuge einer Epoche, galt es energetisch, typologisch und auch gestalterisch nach einem Weg der Transformation zu suchen und exemplarisch ein Wohngebäude mit all seinen Mängeln den heutigen Bedürfnissen anzupassen. Solare Einträge, die über eine Kollektorfassade gewonnen, gespeichert und wieder verteilt werden und somit eine dynamische Wärmedämmung erzeugen, spielten neben der typologischen Neuordnung des Wohngebäudes die zentrale Rolle in dem vorliegenden Energiekonzept.

Als Schwerpunkt des Forschungsvorhabens stellte sich die Entwicklung der Kollektorfassade, die Speicherung der gewonnenen Energie und die gleichmäßige Verteilung der Wärmeenergie über die gesamte Fassade heraus.

Eine Fassade aus transluzenten Lichtbauelementen aus Polycarbonatplatten wurde bisher im mehrgeschossigen Wohnungsbau noch nicht realisiert. Für die Zulassung bei der Bauaufsicht wurde das verwendete Material in einem originalmaßstäblichen Brandversuch von der Materialprüfanstalt Leipzig getestet und für unkritisch im geplanten Ausführungsfall befunden. In Kooperation mit BALCK+PARTNER facility engineering wurden in verschiedenen Varianten Computersimulationen zur Entwurfsoptimierung durchgeführt. Um die Strömungsverläufe innerhalb des Kollektorzwischenraums zu untersuchen und zu optimieren wurden in Kooperation mit ANSYS Germany GmbH CFD-Simulationen eines Gebäudeabschnitts durchgeführt.

Die Ergebnisse der verschiedenen Simulationen und Versuche sowie die



Abb. 3:Luftbild

Entwicklung des vorgeschlagenen Konzepts bis hin zur Realisierung, auch unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit im Rahmen des sozialen Wohnungsbaus, wurden in diesem Abschlussbericht dokumentiert.



Abb. 4: Bestandsgebäude

## Das Forschungs- vorhaben

### Projektkenndaten

Projektgesamtkosten	2,4 Mio. Euro
Bewilligter Fördermittelanteil	93.178 Euro (49,72 %)
Eigenanteil	94,212 Euro (50,28 %)
Projektlaufzeit	
Planung und Entwicklung	09   2009 - 12   2010
Realisierung	01   2011 - 02   2013

### Projektansatz

Bei dem vorliegenden Demonstartiv Bauvorhaben wurde ein Bestandsgebäude des sozialen Wohnungbaus, von 1957 energetisch saniert.

In dynamischen Modellen wurden solarenergetische Gewinne an Fassadenflächen optimiert, um zur Energiegewinnung und -speicherung für das Gebäude genutzt werden zu können. Im Zusammenspiel von aktiven und passiven energetischen Maßnahmen nahm die Gestaltung einer klimaaktiven Fassade mit Loggien und Luftkollektoren eine ebenso bedeutende Rolle ein wie die Einbindung von Speichermassen. Letzterer wurden im Kellergeschoss in Form eines Steinspeichers integriert, der realisiert werden konnte, da durch die geänderten wohnungsgrundrisse abstellflächen im KG entfallen konnten.

Das Punkthaus mit 912 m<sup>2</sup> Nutzfläche wies eine unattraktive Eingangssituation, sowie minimal dimensionierte Öffnungen und enge, dunkle Erschließungsbereiche auf. Die Nord-Südausrichtung des Gebäudes wurde durch die Anordnung der Wohnräume nicht optimal ausgenutzt. Weiterhin konnte das fünfgeschossige Bestandsgebäude ohne Aufzugsanlage und ohne Veränderung der Grundrisse nicht barrierefrei ausgeführt werden. Der Bestand war mit einer klassischen Heizungsanlage versehen,

welche über Fernwärme betrieben wurde. Aufgrund der Wandkonstruktion aus 25cm Schüttbodyen sowie den einfach verglasten Fenstern sowie den aus der Nachkriegszeit bekannten bauphysikalischen Mängeln wies das Gebäude einen Heizenergiebedarf von ca. 273 kWh/m<sup>2</sup>a auf.

Neben einer typologischen Neustrukturierung der Wohneinheiten, angepasst an Himmelsausrichtung und Nutzerbedürfnisse im Zusammenspiel mit einem nachhaltigen energetischen Konzept, sollte das sanierte Gebäude auch ästhetisch nachhaltigen Gesichtspunkten Rechnung tragen. Durch aktive und passive Maßnahmen auf allen Ebenen (Wärme, Kälte, Luft, Licht, Strom, Wasser, Abwasser) konnte der Energiebedarf in Simulationen auf ca. 11 kWh/m<sup>2</sup>a minimiert und zugleich die Energieversorgung optimiert werden. Jede einzelne Komponente wurde in ein Gesamtsystem integriert.

Im Mittelpunkt standen hierbei Überlegungen zur aktiven Speicherung von Wärme und das Verknüpfen von unterschiedlichen energetischen Komponenten. Zur Berechnung des optimal benötigten Wärmebedarfs wurde in einem thermischen Simulationsverfahren die Wärmebilanz erstellt.

Gerechnet wurde ein Mehrzonenmodell mit kapazitiven Luftknoten (Räume). In der Berechnung sind nach festzulegenden Zeitschritten zu berücksichtigen:

Q <sub>sol</sub> :	Solare Gewinne der Zone durch Einstrahlung
Q <sub>sp</sub> :	Wärmeströme aus bzw. in Speichermassen
Q <sub>konv</sub> :	Konvektive Wärmeströme
Q <sub>int</sub> :	Interne Wärmelasten
Q <sub>H,K</sub> :	Wärmezufuhr durch Heizung oder Wärmeabfuhr durch Kühlung
Q <sub>T</sub> :	Transmissionswärmeströme
c <sub>L</sub> ρ <sub>L</sub> :	Spezifische Wärmekapazität und Dichte der Raumluft
V:	Raumvolumen
Δθ / Δt:	Temperaturanstieg bzw. -abfall pro Zeitschritt

Die Simulationsergebnisse ermöglichten eine Entscheidung für die Auswahl des effizientesten Anlagenkonzeptes. Die thermodynamische Simulation diente auch als Schutz vor Überdimensionierung!

Ein weiteres Ziel war es, charakteristische Elemente des Bestandsgebäudes auch nach der energetischen Sanierung bewahren zu können. Dazu gehörten in erster Linie die feingliedrigen auskragenden Betonplatten der Balkone oder Dachkanten. Die Fenster wurden durch Entfernen der Brüstungen zu Fenstertüren mit Absturzsicherung vergrößert. Den bauphysikalischen Schwachpunkten an den Balkonen wurden durch den Einsatz





Abb. 5: Bestandsgebäude Ansicht Nordost



Abb. 6: Rendering nach der Sanierung

von verglasten Schiebeelementen begegnet, die den Balkon als Loggien in den Übergangszeiten umschliessen. Die neue Fassade mit der Unterkonstruktion bekam eine Stärke von 12 - 15 cm. Im Zusammenspiel mit den neuen Fenstern und den weißen Stahlzargen wurde der Eindruck der Schlankheit und damit die Eleganz dieser Architektur bewahrt.

### **Projektbeteiligte**

#### **Antragsteller**

TU Darmstadt Fachbereich Architektur  
El-Lissitzky-Strasse 1  
64287 Darmstadt

Fachgebiet Entwerfen und Stadtentwicklung  
Prof. Dr.-Ing. Annette Rudolph-Cleff

Fondation Kybernetik  
Prof. Günter Pfeifer

#### **Projektleitung**

Dipl.-Ing. Sarah Bein  
Telefon +49 6151 16 6686  
Telefax +49 6151 16 4859  
info@fondation.tu-darmstadt.de

#### **Kooperationspartner**

GBG Mannheimer Wohnungsbaugesellschaft mbH  
Ulmenweg 7  
68167 Mannheim

Projektleitung  
Prokurist Dipl.-Ing. Bernd Klotter  
Telefon +49 621 3096 0  
Telefax +49 621 3096 298  
mail@gbg-mannheim.de

#### **Bauleitung**

Gerber Baumanagement (bis 01/2012)  
Darmstadt

Peter Schreibweis, Dipl. Ing für Hochbau (FH) (ab 01/2012)  
Birkenau

Da die detaillierte Planung und Umsetzung des energetischen und typologischen Konzepts nur in Abstimmung und enger Zusammenarbeit mit engagierten Fachingenieuren möglich ist, waren an den Projekt des Weiteren folgende Firmen beteiligt:

**Tragwerksplanung für die Umbaumaßnahmen.**

IBT Ing.-Büro für Tragwerksplanung GmbH & Co.KG  
Dipl.-Ing. V. Stanomir

**Tragwerksplanung der Fassade**

Medzech-Krück Ingenieure GmbH  
Dipl.-Ing. Jürgen Medzech

**Thermodynamische Simulation und technische Konzeption der energetischen Maßnahmen**

Balck+Partner Facility Engineering  
Dipl.-Ing. Gerhard Kuder

**Bauphysik und Akustik**

vRP Ingenieurbüro für Bauphysik  
Dipl.-Ing. Klaus Janke

**Brandschutzberatung und Gutachten**

Ingenieurbüro Wagner Zeitter  
Dipl.-Ing. Helmut Zeitter  
und  
BESAG Sachverständigenbüro  
Dr.-Ing. Jürgen Sesselmann

**Brandschutzgutachter für die Polycarbonatfassade**

IBF Ingenieurbüro für Brandschutz  
Dipl.-Phys. Ingolf Kotthoff  
MFPA Leipzig Anerkannte Prüfstelle für Baustoffe  
Dipl.-Ing. K. Hegemann

### **Dübelauszugsversuche und Materialproben**

TU Darmstadt Institut für Massivbau  
Dipl.-Ing. Ralph Anhalt

### **Thermodynamische Simulationen**

Ansys Germany GmbH  
Dipl.-Ing. Ralph Kröger

## **Gliederung des Forschungsprojektes**

### **Wissenschaftliches Arbeitskonzept**

Die Arbeitsschritte dieser Maßnahme gliederten sich in drei Einzelphasen:

#### **Phase 1: Konzept**

Die Ausarbeitung der Konzeptidee erfolgte an der TU Darmstadt in Zusammenarbeit mit der GBG Mannheimer Wohnungsbaugesellschaft und bildete die Grundlage für das Forschungsprojekt: Im Mittelpunkt stand die Entwicklung einer Kollektorfassade, integriert in ein Energiekonzept bestehend aus typologischer Optimierung, klimaaktiver Gebäudehülle mit Steinspeicher, kontrollierter Lüftung und Wärmerückgewinnung und Solarthermie am Beispiel eines Mehrfamilienwohnhauses im sozialen Wohnungsbau in Mannheim Schönau.

#### **Phase 2: Planung und Entwicklung**

Die zweite Projektphase gliederte sich in zwei Arbeitspakete. Nach einer ausführlichen Bestandsanalyse wurde im zweiten Arbeitspaket die energetische Optimierung vorangetrieben.

#### **Arbeitspaket 1: Bauaufnahme**

Eine umfangreiche Bestandsaufnahme und Bestandsanalyse stand am Anfang des Forschungsprojekts: Das Mehrfamilienwohnhaus wurde in einem 3-D-Gutachten und einer Fotoserie zum Projektstart dokumentiert.



Der bestehende Energieverbrauch, Wartungsverträge und Bilder mit der Wärmebildkamera belegten uns das energetische Verhalten des bestehenden Wohngebäudes. Verschiedene Materialproben wurden genommen. Dübelauszugsversuche, Druckfestigkeitsprüfungen und Schadstoffgutachten ergänzten die Bestandsaufnahme. Während das energetische Verhalten des Bestandsgebäudes nicht überraschte, war die vorgefundene Qualität der Aussenwände und der Stahlbeton-Decken schlechter als aus Vergleichsobjekten der Bauzeit zu vermuten.

Aufgrund unvorhersehbarer Probleme mit der Bausubstanz hat sich das Projekt sowohl zeitlich als auch finanziell anders entwickelt als ursprünglich kalkuliert. Die Probleme werden am Ende des Berichtes erläutert.

## **Arbeitspaket 2: typologische und energetische Optimierung**

Im Rahmen der typologischen Optimierung des Bestandgebäudes wurde eine komplette Neuorganisation der Grundrisse angestrebt, in dessen Mittelpunkt sowohl sinnvolle Grundriss-Zuschnitte standen als auch bauphysikalische Eigenschaften.

- Das Raumangebot wurde verbessert und die Wohnqualität optimiert
- Grundrisse wurden nutzungsneutraler gestaltet
- Pufferzonen wurden ausgebildet
- Belichtung und Belüftung wurden erneuert
- Kunst- und Tageslichteinsätzen wurden optimiert
- 

Im Rahmen der energetischen Optimierung des Gebäudes wurden insbesondere die Hüllflächen betrachtet und optimiert:

- Planung, Entwicklung und Simulationen einer Luftkollektorfassade
- Planung und Entwicklung eines Steinspeichers
- Thermodynamische Gesamtsimulationen
- Gutachten der Fassadenstatik
- Brandschutzbegutachtung der Polycarbonatplatten
- kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Vakuumröhrenkollektoren und Wasserspeichertechnologien
- Mikroklimatische Überlegungen
- Grauwasser und Regenwasserkonzept wurden im Rahmen der Planung ebenfalls intensiv betrachtet.

## **Phase 3: Dokumentation**

- Auswertung der Ergebnisse
- Dokumentation der Forschungserkenntnisse

Gemeinsam mit der GBG Mannheimer Wohnungsbaugesellschaft mbH, welche umfangreiche Erfahrungen in der Sanierung (u.a. auch im Passivhausstandard) gesammelt hat, wurde mit dem vorliegenden Konzept ein

neuer Weg im Hinblick auf das Nutzerverhalten und die Anforderungen, die sich aus der immer komplexer werdenden Gebäudetechnik für Betrieb und Wartung ergeben, beschritten.

Das Modellprojekt wurde von den Projektbeteiligten als wichtiger Prüfstein verstanden, inwieweit Alternativen zu den gängigen Verfahren und Standards in der Sanierung des (sozialen) Wohnungsbestandes wirtschaftlich und gestalterisch umsetzbar sind.

## Baufaufnahme

### Wände aus Schüttbeton

Das der TU Darmstadt für diese Forschungsarbeit zur Verfügung gestellte Bestandsgebäude wies die für die 50-er Jahre typischen Wände aus Ziegelsplittbeton auf. Aus energetischer Sicht hatte der hohe Anteil an Luft-einschlüssen in der Schüttbetonstruktur den Vorteil, für Beton ungewöhnlich gute Dämmwerte aufzuweisen.

Um für die weiteren Berechnungen des Tragwerkplaners Kenngrößen, wie die Bauwerksdruckfestigkeit zu ermitteln, wurde eine Beton- und Bodenprüfstelle mit der Entnahme von Bohrkernen zur Bestimmung der Druckfestigkeit beauftragt. Insgesamt wurden sechs Bohrkern mit einem Durchmesser von 129 mm aus den Wänden entnommen. Die Lage der Prüfstellen wurde durch die TU Darmstadt angegeben und dokumentiert.

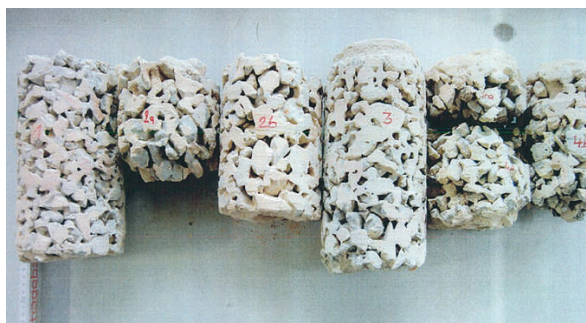


Abb. 7: Entnommene Bohrkern



Abb. 8: Detail Ziegelsplittbeton

Bei den überprüften Bauteilen handelte es sich um einen Trümmerverwertungs-beton aus Ziegelsplitt, der sich keiner aktuell gültigen Norm zuordnen ließ. So war bedingt durch die geringen Festigkeiten auch keine Zuordnung in eine Druckfestigkeitsklasse nach alter bzw. neuer DIN 1045 oder Leichtbetonklasse möglich.

Anhand der ermittelten durchschnittlichen Druckfestigkeit konnten alle weiteren Planungsschritte statisch überprüft werden.

Auftraggeber: TU Darmstadt  
Objekt: Lilienthalstraße Mannheim

Prüfbericht: 481 / 11  
Anlage: 1

Probe Nr.	Abmessungen vor/nach Abgl.				h/d	Faktor für Umrechnung Würfel - Bohrkern	Faktor für Berücksichtigung der Schlankheit	BK-Gewicht mit Stahl [g]	Gewicht Stahl [g]	Rohdichte ohne Stahl [kg/m³]	Druckfläche A [1000 mm²]	Bruchlast F [kN]	Druckfestigkeit		
	d [mm]	h <sub>1</sub> [mm]	h <sub>2</sub> [mm]	k <sub>1</sub>									k <sub>2</sub>	$f_{c,1s} \text{ Würfel} = k_1 * f_{c,1s} \text{ Bohrkern} / k_2$ [N/mm²]	Mittelwert
1	129,0	121,0	128,0	1,00	0,99	1,00	2073			1311	13,069	48	3,7	<b>2,9</b>	
2a	129,0	130,0	133,0	1,00	1,03	1,00	1999			1177	13,069	25	1,9		
2b	129,0	122,0	129,0	1,00	1,00	1,00	2042			1281	13,069	51	3,9		
3	129,0	121,0	128,0	1,00	0,99	1,00	2065			1306	13,069	56	4,3		
4a	129,0	129,0	132,0	1,00	1,02	1,00	1857			1101	13,069	17	1,3		
4b	129,0	121,0	127,0	1,00	0,98	1,00	1880			1189	13,069	28	2,1		
Probenvorbereitung: sägen und abgleichen											kleinster Einzelwert:		1,3		
											Mittelwert:		2,9		
											Anzahl Ergebnisse		6,0		

Prüfdatum: 09.05.11  
Prüfalter: V.Knecht

Feuchtezustand der Oberfläche bei Prüfung :  trocken  nass

## Schallschutz

Zur Überprüfung der Akustik in den bestehenden Wohnräumen wurden Luft- und Trittschallmessungen an Wohnungstrennwänden und Decken durchgeführt. Die Anforderungen an Wohnungstrennwände, an Decken sowie an die Aufzugsschachtwand konnten von den Bestandswänden und Decken nicht erfüllt werden. Es mussten in der Planung entsprechende Ertüchtigungen der Bauteile vorgenommen werden.

Die Decken wurden um eine abgehängte Decke als biegeweiche Vorsatzschale an Schwinghängern erweitert geplant. Die Wohnungstrennwände wurden um eine freistehende Vorsatzschale mit Metallunterkonstruktion mit 10 mm Wandabstand erweitert geplant. Im Bereich der geplanten Aufzugsanlage wurde jeweils eine Tragschale aus Kalksandstein innenseitig der bestehenden Wand aus Schüttbodyeton angeordnet geplant.

## Wärmeschutz

Um die Wärmedämmeigenschaften der Aussenwände aus Schüttbodyeton als Grundlage für weitere Simulationen und Berechnungen bestimmen zu können, wurden Temperaturmessungen an der Innenseite sowie an der Aussenseite der Aussenwände durchgeführt.

Die Schüttbodyetonwände wiesen aufgrund des hohen Lufteinschlusses in den Hohlräumen des Materials einen ermittelten vergleichsweise guten Wärmedurchgangskoeffizienten von  $U = 1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$  auf.



Abb. 9: Wand aus Schüttbodyeton



## Energetisches & Typologisches Konzept

Neben einem nachhaltigen energetischen Konzept, dass sich aus verschiedenen Bausteinen zusammen setzt, sollte das sanierte Gebäude auch ästhetisch nachhaltigen Gesichtspunkten Rechnung tragen. Verwendet wurden dabei passive, simple Prinzipien, die ohne großen technischen Aufwand allein aus ihrer physikalischen Logik heraus funktionieren. Das hier angewandte energetische Konzept setzt sich aus mehreren Bausteinen zusammen, die immer in einem wechselseitigen Verhältnis stehen und im Zusammenspiel ein behagliches Klima für die Bewohner schaffen.

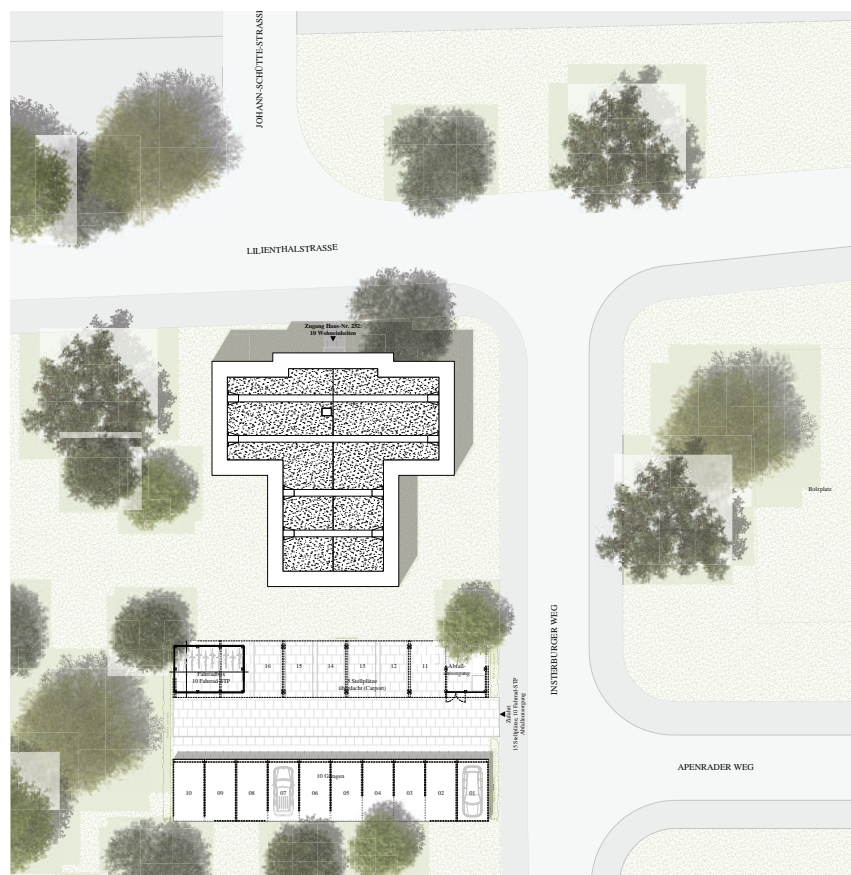


Abb. 10: Lageplan nach Sanierung

### **Baustein 1: typologische Optimierung**

Der erste Baustein des kybernetischen Ansatzes war die typologische Optimierung unter dem Aspekt heutiger Wohnbedürfnisse. Vier ehemals minimal dimensionierte ca. 45 m<sup>2</sup> große Wohnungen, von denen zwei rein Nord-Ost- bzw. Nord-West-orientiert waren, wurden zu zwei großen 90 m<sup>2</sup> Wohneinheiten zusammengelegt. Der neue Kochbereich bildet das „warme Zentrum“ der Wohnungen, um den sich vier Individualräume anordnen. Die Erschließung und die Bäder bilden eine energetische Pufferzone nach Norden.

Das fünfgeschossige Gebäude wurde um eine innenliegende Aufzugsanlage ergänzt die je zwei Wohnungen pro Geschoss erschließt. Die bestehenden Brüstungen wurden entfernt und somit lichte Raumeindrücke durch raumhohe Fensterelemente geschaffen.

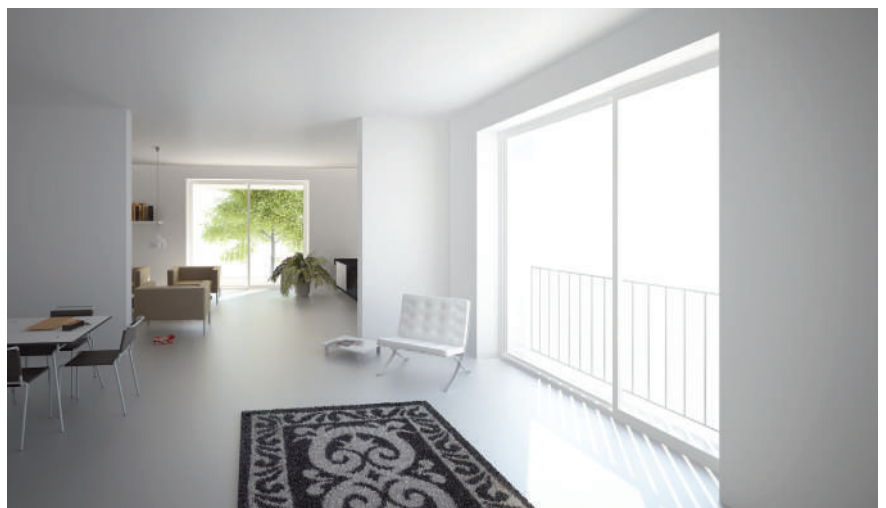


Abb. 11: Perspektive Innenraum

Die Neugestaltung des ursprünglichen Grundrisses bietet vielseitige und großzügige Raumsequenzen. Ein kontinuierlicher Raumfluss entwickelt und öffnet sich in Richtung Süden und erweitert sich auf einen ganzjährig nutzbaren Außenbereich in Form einer verglasten Loggia. Gut geschnittene Individualbereiche mit einem zusätzlichen Außenbereich ergänzen die Wohnung und machen sie für unterschiedliche Zielgruppen und Nutzer flexibel nutzbar.

Durch eine zeitlose Ästhetik und eine differenzierte Raumaufteilung bietet die 3-Zimmer-Wohnung mit unterschiedlichen Raumqualitäten auf ca. 90 m<sup>2</sup> Wohnfläche Platz für Familien oder Paare in allen Altersklassen.



Abb. 12: Grundriss links Sanierung und rechts Bestand





Abb. 13:Loggia Südseite



Abb. 14:Blick aus dem Essplatz auf die Loggia Westseite



Abb. 15:Essplatz



Abb. 16:Essplatz und Wohnraum

Der als Prototyp für eine energetische Sanierung ausgewählte Gebäudebestand in Mannheim Schönau wies aufgrund nicht gedämmter Fassaden-, Dach- und Balkonflächen einen Heizenergiebedarf von rund 273kWh/a auf. Neben einem sinnvollen typologischen Ansatz, der die Schlaf- und Nebenfunktionen der Wohneinheiten an der Nordseite des Gebäudes als Pufferzone platziert, setzt sich das energetische Konzept aus drei weiteren Bausteinen zusammen:

### **Baustein 2: Gebäudehülle aus Lichtbauelementen**

Die bestehende Außenwand wurde um eine transluzente Haut aus Polycarbonat mit einem U-Wert von  $0,83\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  und eine dahinter liegende zirkulierende Luftschicht ergänzt.

Dieser „Kamin“ wurde über ein Leitungssystem mit einer locker geschichteten Speichermasse im Keller und über das Dach verbunden. Da so entstandene geschlossenes Luftsystem, verteilt ohne mechanischen Antrieb die Energie der Sonneneinstrahlung im Winterfall morgens (Sonne im Osten) und abends (Sonne im Westen) auf die gesamte Gebäudeaußenfläche. Im Sommerfall kann durch die im Keller eingelagerte Speichermasse Erdkühle über die gesamte Gebäudeaußenfläche gleichmäßig verteilt werden.

Als Material wurde eine 9-Kammer-Polycarbonatplatte verwendet. Das kostengünstige Material erlaubte auch bei einem knappen Budget wie hier im sozialen Wohnungsbau eine innovative energetische Fassadengestaltung. Energiedurchlass und ein geringer Wärmeverlust standen bei diesem Material in einem für diesen Ansatz optimalen Verhältnis. Die neue Gebäudehülle hat sich wie eine Haut über den gesamten Bestand gelegt. Die Tiefe der Fassade bleibt dennoch durch die Wahl des Materials als ein Spiel aus Licht und Schatten erlebbar. Das Material ist auch wegen des geringen Gewichts der Polycarbonatplatten für Fassadenkonstruktionen interessant.

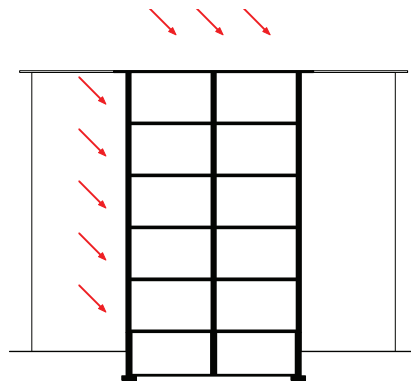


Abb. 17: Winterfall vor der Sanierung

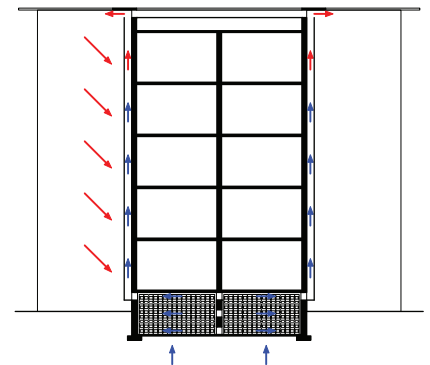


Abb. 18: Winterfall nach der Sanierung  
(Erwärmung der Fassade über Kollektorwand und Speicher)

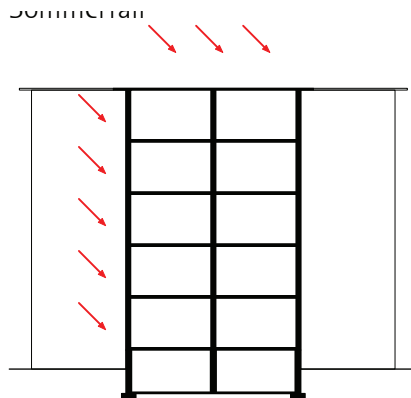


Abb. 19: Sommerfall vor der Sanierung

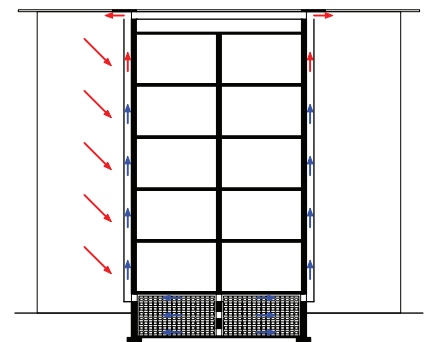


Abb. 20: Sommerfall nach der Sanierung  
(Kühlung der Fassade über Kollektorwand und Speicher)



Abb. 21: Foto der Steinspeichers

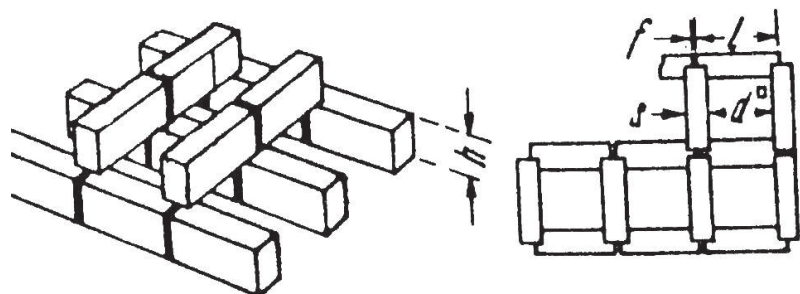


Abb. 22: Schichtungsprinzip Steinspeicher



Abb. 23:Foto der Luftverteilsystemes auf dem Dach

### Baustein 3: Kontrollierte Lüftung und Wärmerückgewinnung

Die alten Fenster wurden durch neue Fenster ersetzt und um ein Kastenfenster in der Ebene der transluzenten Haut ergänzt. Durch Schlitze in den Rahmen der Kastenfenster wird den Wohneinheiten vortemperierte Frischluft aus dem Fassadenzwischenraum zugeführt. Über die Individualräume, die Küchen, die Bäder und anschließend die WC-Räume werden die Wohneinheiten mechanisch entlüftet. Der Luftwechsel wird über ein Regelungssystem gesteuert. Die Abluft wird über Wärmerückgewinnung Wärme entzogen und die Zuluft zugeführt. Die Fenster sind mit einer Sensorik ausgestattet, die bei „Kipp“-Stellung die Heizung ausschaltet.



Abb. 24:Lüftungselement

### Solarthermie

Der dritte Baustein basierte in der ursprünglichen Konzeption auf einer solarthermischen Nutzung der Sonnenenergie um einen Heißwasserspeicher von 80 m<sup>3</sup> zu laden. Es sollten ursprünglich ca. 120m<sup>2</sup> Solarthermiepaneele auf dem Dach installiert werden. Geplant war das Niedertemperatursystem für die Fußbodenheizung und die Warmwasserbereitung zu nutzen. Die Solaranlage wurde in Abstimmung mit den Fachplanern so abgestimmt, dass sie gemeinsam mit einem Wasserspeicher den Energiebedarf für Heizung und Warmwasser von ca. 10-14 kWh/a abdecken könnte.

### Vergleich der Heizungssysteme

In einem ausführlichen Vergleich der Heizungssysteme wurden mögliche Varianten untersucht:

Die geplante Fußbodenheizung Heizung mit oberflächennaher Wärme-

verteilung, erlaubt eine schnelle Regelbarkeit auf Grund nicht vorhandener Verzögerung durch Estrichmassen. Durch die Forderung einen Estrich zur Schalldämmung einzubauen, ist auch eine Fußbodenheizung mit Heizleitungen möglich, die im Estrich eingebaut sind. Dies ist jedoch im Interesse der schnellen Regelbarkeit nicht sinnvoll. Da die Fußbodenheizungen mit niedrigeren Temperaturen als die Warmwasserstationen gefahren werden müssen, ist je eine Vorlauftemperaturregelung pro Wohnung notwendig. Bei der Untersuchung wurde deshalb ein Fußboden Aufbau mit wenig Speichermasse innerhalb der Heizung berechnet. Für die Regelung wurden drei verschiedene Systeme berechnet und verglichen: Kleinpumpen System GeniAx, elektrische Einzelraumregelung, programmierbare Thermostate.

Durch die Nutzung des bestehenden Fernwärmeanschlusses jedoch und der daraus resultierenden höheren Vorlauftemperaturen können alternativ Standardheizkörper eingesetzt werden. Diese können ohne Vorlauftemperaturregelung pro Wohnung betrieben werden. Aufgrund der hohen Temperaturen im Heizkörper, resultieren vor allem bei geringen Leistungen große Temperaturschichtungen im Heizkörper, die insbesondere in niedrigen Durchflussbereich sehr fein geregelt werden.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung hat sich gezeigt, dass die Kosten für Solarthermie und den Langzeitspeicher nicht konkurrenzfähig zur Fernwärmelieferung über den bereits bestehenden Fernwärmeanschluss sind. Der Energieverbrauch könnte zwar entscheidend gesenkt werden, die Überbrückung der sonnenarmen Wintermonate wäre jedoch mit dem eingesetzten Speicher nicht möglich.

Mit dem Verzicht auf den Einsatz von Solarthermie ergaben sich verschiedene Änderungen: Zum einen ist das Niedertemperaturheizsystem nicht sinnvoll, da von der Fernwärme immer hohe Vorlauftemperaturen zur Verfügung stehen, zum anderen müssen die Steigstränge nicht mehr in Niedertemperatur für Heizung und höhere Temperaturen für Warmwasserbereitung aufgeteilt werden.

### **Photovoltaik**

In der Planung wurde der Einsatz von Photovoltaik als Back-up für die Heizperiode im Winter überprüft. Die Integration einer Modulfläche von 25 m<sup>2</sup> würde ausreichen um den verbleibenden Energiebedarf zu decken. In Absprache mit dem Bauherren wurde die Installation von PV Elementen auf der Dachfläche vorbereitet, die Montage und der Betrieb dieser Elemente wird jedoch in einem eigenen Betreibermodell erfolgen, das weitere Gebäude der GBG Mannheim einschliesst.



Heizung	Vor- Nachteile	Regelung	Vor- Nachteile	Kosten Raumheizung gesamt	Anteil Kosten Regelung	Anteil Kosten Heizung
Fußbodenheizung mit schneller Regelbarkeit System Danfoss	Nedrige Temperaturen; kein Platzbedarf; keine Luftbewegung	Kleinpumpen Wilo GeniAx mit Zentrale	Genauere Regelung, geringer Energiebedarf; Erkennen von geöffneten Fenstern; Zentrale mit Weiterleitung der Daten	100.676,00	20.956,00	79.720,00
		Elektrische Einzelraumregelung mit zentraler Aufschaltung	Erkennen von geöffneten Fenstern; Zentrale Überwachung möglich	97.800,00	26.300,00	71.500,00
		programmierbare Thermostate	keine Aufschaltung auf Zentrale mit Überwachung und Monitoring möglich	88.500,00	14.000,00	74.500,00
Örtliche Heizkörper in jedem Raum	keine Sekundärregelung notwendig deshalb immer hohe Vorlauftemperaturen geringe Wassermengen und große Temperaturschichtung im HK; Feinventile mit genauer Einregulierung notwendig	Kleinpumpen Wilo GeniAx mit Zentrale	Genauere Regelung, geringer Energiebedarf; Erkennen von geöffneten Fenstern; Zentrale mit Weiterleitung der Daten	100.176,00	20.956,00	79.220,00
		Elektrische Einzelraumregelung mit zentraler Aufschaltung	Erkennen von geöffneten Fenstern; Zentrale Überwachung möglich	89.300,00	18.300,00	71.000,00
		programmierbare Thermostate	keine Aufschaltung auf Zentrale mit Überwachung und Monitoring möglich	80.000,00	6.000,00	74.000,00

Abb. 25: Vergleich der Heizsysteme

## Planung der Gebäudehülle

### Thermodynamische Simulationen

Mit Hilfe von thermodynamischen Simulationen konnte anhand verschiedener Varianten der Gebäudeentwurf energetisch optimiert werden. Dazu wurde das Gebäude in drei Zonen unterteilt.

Zone 1: Wohnungen mit Ostausrichtung

Zone 2: Wohnungen mit Westausrichtung

Zone 3: Keller

Die Berechnung der internen Wärmelasten durch Geräte und Speichermassen von Inneneinrichtungen beruhten auf Erfahrungswerten, die von Variante zu Variante unverändert blieben. In diesen internen Wärmelasten waren Personen und Beleuchtung nicht enthalten. Die Beleuchtung der Wohnräume wurde als geregelt angesetzt. Dies blieb innerhalb der Varianten unverändert.

Zone	Seite	Massen	Wärmelasten während der Betriebszeit	Wärmelasten außerhalb der Betriebszeit
Zone 1	Ostseite	239 kg/m <sup>2</sup>	18,3 kWh/m <sup>2</sup>	1,8 kWh/m <sup>2</sup>
Zone 2	Westseite	239 kg/m <sup>2</sup>	18,3 kWh/m <sup>2</sup>	1,8 kWh/m <sup>2</sup>
Zone 3	Keller	26 kg/m <sup>2</sup>	-	-

Abb. 26: Speichermassen, interne Wärmelasten, Beleuchtungsleistung

Die Raumtemperaturen waren bei den Wohnräumen nach der Empfindungstemperatur auf 20°C geregelt, wobei ein Strahlenaustausch der Wandflächen berücksichtigt wurde. Es wurde ein außen angebrachter Sonnenschutz berücksichtigt. Die Nutzungsprofile sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.



	Wochenprogramm			Wochenendprogramm		
	Ostseite	Westseite	Keller	Ostseite	Westseite	Keller
Tagesbeginn	15:00	15:00	16:00	10:00	10:00	00:00
Tagesende	00:00	00:00	17:00	22:00	22:00	00:00
Solltemperatur tags	20	20	0	20	20	0
Absenkttemperatur nachts	15	15	0	15	15	0
Personen tags*	15	15	1	15	15	0
Personen nachts	10	10	0	20	20	0

Abb. 27:Nutzungsprofil

\* Unter diesem Eingabefeld sind permanent anwesende Personen zu verstehen, weshalb die Belegung auf die Tagesdauer umgerechnet wurde.

Es wurden keine aktiven Kühlmaßnahmen vorgesehen. Bei den Wohnungen wurde eine Fensterlüftung am Tag und in der Nacht berücksichtigt (Luftaustausch: 3-facher Luftwechsel; entspricht Fenster in Kippstellung). Es wurde dabei eine Regelung nach dem menschlichen Empfinden nachgestellt, d.h. wenn die Inneraumtemperatur im Sommer höher als die im Außenraum ist, wird zur Kühlung das Fenster geöffnet. Lüftungselemente mit Wärmerückgewinnung wurden ebenfalls in der Simulation berücksichtigt .

Für die Lüftung wurden folgende Werte angesetzt:

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Treppenhaus
kontrollierter Luftwechsel tags [1/h]*	1,0	1,0	0	0
kontrollierter Luftwechsel nachts [1/h]*	1,0	1,0	0	0
unkontrollierter Luftwechsel tags [1/h]**	0,3	0,3	0,15	0,4
unkontrollierter Luftwechsel nachts [1/h]**	0,05	0,05	0,05	0,05
W-Grad WRG [%]	85%	85%	-	-
Fensterlüftung [1/h]***	3	3	0	0
Nachtlüftung [1/h]***	3	3	0	0

Abb. 28:Luftwechsel

\* Hier wird die Luftwechselrate jeder Zone als Vielfaches des Rauminhalts eingegeben, die tagsüber/nachts in einer Stunde über eine mechanische Be- und Entlüftung eingestellt ist.

\*\* Hier wird die Luftwechselrate jeder Zone als Vielfaches des Rauminhalts eingegeben, die tagsüber/nachts durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle oder durch Öffnen von Fenstern oder Außentüren entsteht.

\*\*\* Luftwechselrate wenn die Raumtemperatur eine festgelegte Grenztemperatur von 23°C überschreitet und die Umgebungstemperatur unter der Raumtemperatur liegt. (Lüftung nach menschlichem Empfinden)

Fenster ohne Sonnenschutz (kleine Fenster)	U-Wert Glas	1,1
	U-Wert Rahmen	1,1
	g-Wert	0,48
	t-Wert	0,71
	b-Wert	1
Fenster mit Sonnenschutz (Wohnräume)	U-Wert Glas	0,99
	U-Wert Rahmen	0,99
	g-Wert	0,48
	t-Wert	0,71
	b-Wert	0,3
Fenster zur Nordfassade	U-Wert Glas	0,99
	U-Wert Rahmen	0,99
	g-Wert	0,48
	t-Wert	0,71
	b-Wert	1

Abb. 29: Transparente Bauteile

Element	Bestand			Variantenrechnungen		
	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	Material	Dicke [mm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	Material	Dicke [mm]
Bodenplatte	1,95	Estrich	20	1,95	Estrich	20
		Beton	90		Beton	90
		Kies	200		Kies	200
Dach	4,2	Beton	100	0,22	Beton	100
		Folie	1		Dämmung 035	150
					Folie	1
Wand gegen Erdreich	1,3	Vollziegel 0.50	300	1,3	Vollziegel 0.50	300
Aussenwand hinter Polycarbonatplatte	1,46	Putz	15	1,13	Putz	15
		Vollziegel 0.50	250		Vollziegel 0.50	250
					Luft- schicht	100
					Polycar- bonat	50
Aussenwand Nord	1,46	Putz	15	0,16	Putz	15
		Vollziegel 0.50	250		Vollziegel 0.50	250
					Dämmung 035	200
Aussenwand zum Treppenbereich	3,09	Putz	15	3,09	Putz	15
		Stahlbeton	250		Stahlbeton	250
		Putz	15		Putz	15
Aussenwand Nord zum Treppenbe- reich	3,09	Putz	15	0,15	Putz	15
		Vollziegel 0.50	250		Vollziegel 0.50	250
					Dämmung 035	200
Kellerdecke	1,32	Estrich	45	0,28	Estrich	45
		Tritt- schall- dämmung 040	20		Tritt- schall- dämmung 040	20
		Beton	120		Beton	120
					Dämmung 035	100

Abb. 30: Wandaufbauten

Die Darstellung der Entwurfsoptimierung erfolgte in zwei Schritten. Im ersten Schritt wurde das Bestandsgebäude (Nr. 0) mit einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade aus transluzenten Polycarbonatplatten ( $U_w = 0,83 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) (Nr. 1) versehen. Anschließend wurden schrittweise die Dämmung des Daches, der Kellerdecke sowie der Nordfassade simuliert. Die nachfolgenden Ergebnisse wurden mit der thermodynamischen Simulationssoftware dksolar erarbeitet. Darin dargestellt werden die Summen der Energieströme aller Zonen (kWh/a), bzw. die Höchst- und Tiefsttemperaturen aus den drei Zonen.

Nr.	0	1	2	3
	Bestand	PC-Fassade	PC-Fassade + Dämmung Dach	PC-Fassade + Dämmung AW Nord
Lüftungsverluste [kWh/a]	86.234	65.485	26.590	56.840
Wandverluste [kWh/a]	111.851	24.127	28.768	2.376
Dachverluste [kWh/a]	106.270	103.038	4.071	100.554
Erdreichverluste [kWh/a]	2.095	2.064	2.055	2.307
Fensterverluste [kWh/a]	11.877	1.695	2.110	2.110
Solare Gewinne [kWh/a]	6.419	1.432	1.041	1.319
Interne Gewinne [kWh/a]	30.747	25.497	19.005	23.882
Heizenergiebedarf [kWh/a]*	272.522	162.212	42.068	128.234
Max. Heizleistung [kW]	131	110	65	99
Kühlenergiebedarf [kWh/a]	-	-	-	-
Lichtenergiebedarf [kWh/a]	5.011	5.708	5.696	5.708
Minimaltemperatur [°C]	12,3	12,6	12,8	13,7
Maximaltemperatur [°C]	26,5	27,5	26,6	27,4
h > 26,00 °C	7	35	18	34

Nr.	4	5	6	7
	PC-Fassade + Dämmung Kellerdecke	PC-Fassade + Dach + AW Nord	PC-Fassade + AW Nord + Kellerdecke	PC-Fassade + AW Nord + Kellerdecke + Dach
Lüftungsverluste [kWh/a]	65.347	20.237	56.777	19.102
Wandverluste [kWh/a]	21.879	8.074	3.868	7.796
Dachverluste [kWh/a]	102.824	3.423	100.425	3.217
Erdreichverluste [kWh/a]	510	2.226	846	981
Fensterverluste [kWh/a]	1.576	2.544	1.998	2.390
Solare Gewinne [kWh/a]	1.444	843	1.349	882
Interne Gewinne [kWh/a]	25.274	14.847	23.744	13.909
Heizenergiebedarf [kWh/a]*	158.100	19.962	125.041	17.745
Max. Heizleistung [kW]	108	35	97	32
Kühlenergiebedarf [kWh/a]	-	-	-	-
Lichtenergiebedarf [kWh/a]	5.709	5.699	5.712	5.701
Minimaltemperatur [°C]	8,1	13,9	9,4	9,5
Maximaltemperatur [°C]	27,5	26,6	27,5	26,6
h > 26,00 °C	38	18	36	19

Abb. 31: Simulationsergebnisse Entwurf

\* Nach DIN V 18599 wurde hier der Nutzenergiebedarf zum Heizen ausgewiesen.

Für die weitere Planung wurde entschieden Variante 7 zu realisieren, bestehend aus:

- Vorgehängte, hinterlüftete Fassade aus transluzenten Polycarbonatplatten
- Dämmung des Daches
- Dämmung der Aussenwand Nord
- Dämmung der Kellerdecke

Im zweiten Schritt wurden Simulationen für die Verwendung einer Solaranlage erstellt. Dabei wurde der Kollektor zur Deckung des Warmwasserbedarfs und zur Deckung des Heizenergiebedarfs verwendet. Als Ausgangssituation wurden folgende Daten verwendet:

Kollektorart:	Vakuurröhrenkollektor	
Kollektorfläche:	170 m <sup>2</sup>	
Speichergröße:	WW	10.000 Liter
	Heizung	100.000 Liter
WW-Bedarf:	340.000 Liter/Jahr	

Die zu Beginn beschriebenen Bausteine wurden anhand von weiteren Simulationen (zu Variante 7) verglichen.

**Simulation a:** *Bestand*

**Simulation b:** *Typologisch überformter Grundriss*

**Simulation c:** *Typologisch überformter Grundriss*

- Wärmerückgewinnung 85%

**Simulation d:** *Typologisch überformter Grundriss*

- Wärmerückgewinnung 85%
- Umluft Fassade

**Simulation e:** *Typologisch überformter Grundriss*

- Wärmerückgewinnung 85%
- Umluft Fassade
- Steinspeicher

**Simulation f:** *Typologisch überformter Grundriss*

- Wärmerückgewinnung 85%
- Umluft Fassade
- Steinspeicher
- Solaranlage

	Heizwärme		Warmwasser		Bezugsfläche NGF [m <sup>2</sup> ]	Primärenergiebedarf Heizwärme		
	Energiebe- darf [kWh/a]	Kennwert [kWh/m <sup>2</sup> a]	Energiebe- darf [kWh/a]	Kennwert [kWh/m <sup>2</sup> a]		Primärener- giefaktor	Kennwert	Primärener- giefaktor für
Simulation a	272.522	292	11.880	12,7	934,5	0,7	204	Fernwärme
Simulation b	59.561	64	11.880	12,7	934,5	0,7	45	Fernwärme
Simulation c	17.747	19	11.880	12,7	934,5	0,7	13	Fernwärme
Simulation d	16.393	18	11.880	12,7	934,5	0,7	12	Fernwärme
Simulation e	11.925	13	11.880	12,7	934,5	0,7	9	Fernwärme
Simulation f*	10.163	11	646	0,7	934,5	0,7	8	Fernwärme
						2,6	28	Elektro
Vergleich Passivhaus		15						

Abb. 32: Auswertung Simulationen a - f als Kennwerte

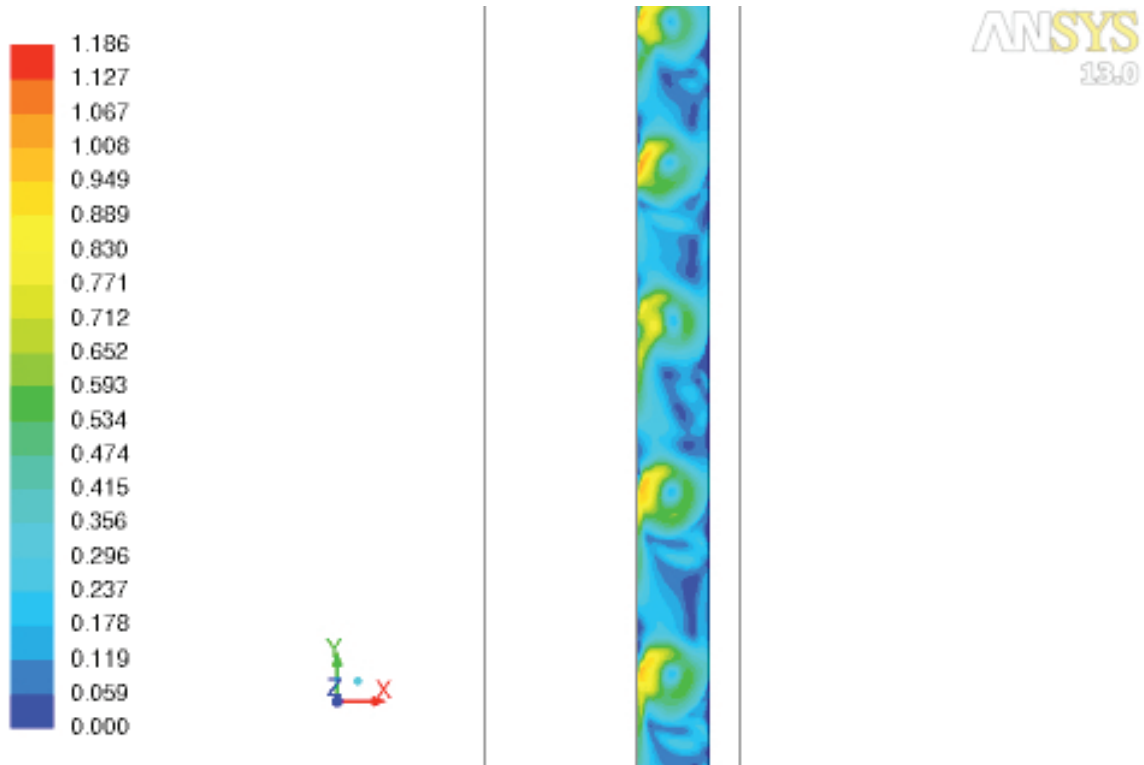
\* Die Solaranlage dient hauptsächlich zur Warmwassererzeugung und trägt nur zu einem Teil zum Heizenergiebedarf bei. Fläche Solaranlage 170 m<sup>2</sup>.

Nach dem Vergleich der einzelnen Maßnahmen/Bausteine und dem resultierenden Nutzen unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Budgets und des Kosten-Nutzen-Faktors, entschied sich die GBG Mannheimer Wohnungsbaugesellschaft gegen den Einsatz der Solaranlage. Da die Solaranlage nicht Bestandteil der weiteren Planung und Realisierung wurde, wird in diesem Abschlussbericht nicht detailliert auf die Simulationsergebnisse der Solaranlage eingegangen.

*Auf Grundlage der Auswertung wurde entschieden für alle weiteren Planungsschritte mit der Variante e weiterzuplanen.*

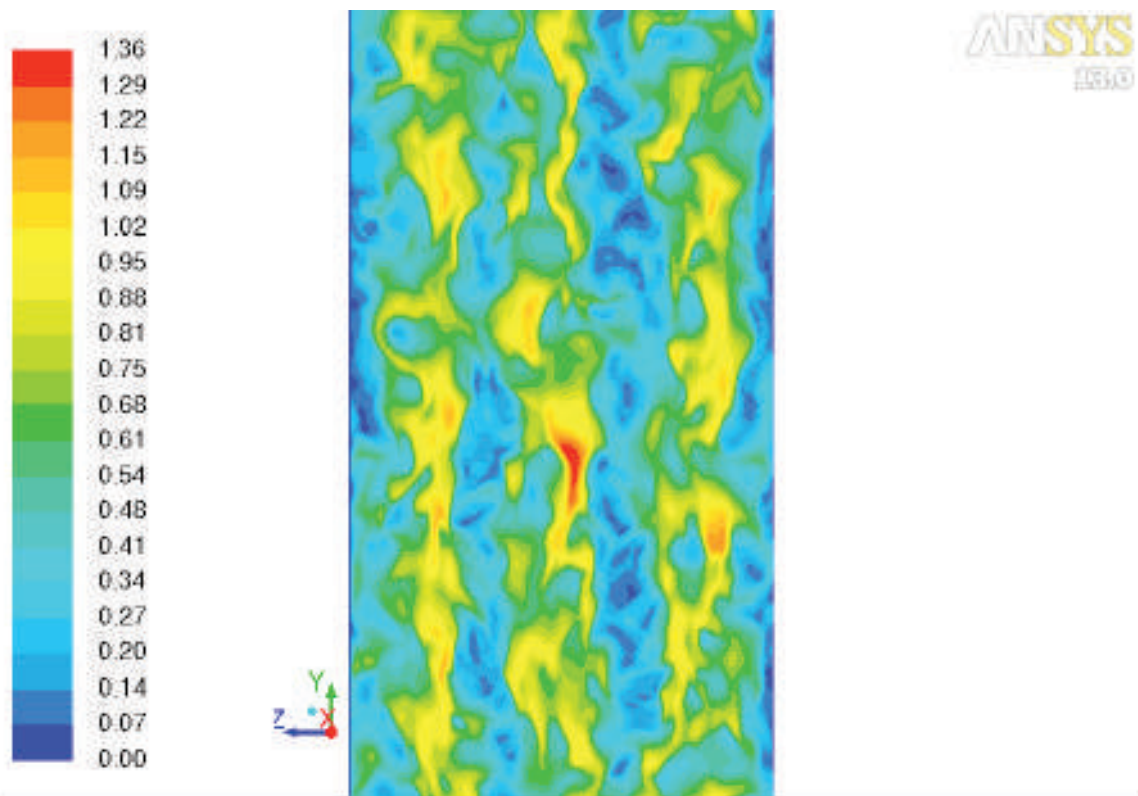
### **Analyse der freien Konvektionsströmung im Luftkanal**

Zur Analyse der freien Konvektionsströmung in dem das Haus umschließenden Luftkanal wurden weitere CFD-Simulationen durchgeführt. Die senkrechten Teile des Kanals wurden von der Betonhauswand und der Polycarbonatplatte begrenzt. In der zweidimensionalen Simulation wurde ein Schnitt durch ein 1 m breites Element betrachtet. Der horizontale Teil des Kanals auf dem Dach (das Verbindungsrohr) wurde in der Simulation durch einen entsprechenden rechteckigen Kanal mit gleichem hydraulischem Durchmesser (also gleichem Druckverlust) dargestellt. Für die Durchführung des Kellers wurde vereinfacht der gleiche Kanal verwendet. Die Wände der Verbindungskanäle auf dem Dach und im Keller wurden als adiabat betrachtet. Die Räume im Inneren des Gebäudes wurden nicht einzeln abgebildet. Es wurde lediglich eine gleichbleibende Wohnraumtemperatur TWR vorgegeben. Über den Wärmeübergangskoeffizienten Alpha tauschte der Wohnraum mit der Innenseite der Betonwand Wärme aus, die über Wärmeleitung die Wand durchdrang. Außerhalb der PC-Platte wurde eine konstante Umgebungstemperatur vorgegeben, die über den Wärmedurchgangskoeffizienten Alpha mit der PC-Platte Wärme austauscht. Da von der PC-Platte nur der Wärmedurchgangskoeffizient U



Profiles of Velocity Magnitude (m/s) (Time=2.0000e-01) Dec 28, 2010  
 ANSYS FLUENT 13.0 (2d, dp, pbns, lam, transient)

Abb. 33: Instationäre Simulation, die zirkulierende Luftmenge war sehr gering, Wirbelbildung



Profiles of Velocity Magnitude (m/s) (Time=0.0000e+00) Dec 29, 2010  
 ANSYS FLUENT 13.0 (3d, dp, pbns, lam, transient)

Abb. 34: Volle 3D instationäre Simulation, die Wirbel wandelten sich in 3D in Schlieren oder Strähnen



bekannt war, wurde die PC-Platte selbst als Festkörper mit einer effektiven Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  abgebildet. Bezüglich der Sonneneinstrahlung wurde folgende Annahme getroffen:

Die PC-Platte hat für Sonnenstrahlen einen Transmissionsgrad von 52 % und einen Reflexionsgrad von 48 %, d.h. die PC-Platte absorbiert keine Sonneneinstrahlung und wird allein dadurch auch nicht wärmer. Die Betonaussenwand hat einen Emissionsgrad von z.B. 40%, der dem Absorptionsgrad entspricht. Dies bedeutet, dass an der Oberfläche der Betonwand 40 % der von der PC-Platte transmittierten Sonnenstrahlen in Wärme umgesetzt werden. Der Strahlungsaustausch zwischen den in etwa gleichwarmen Oberflächen der Betonaussenseite und der PC-Platten Innenseite wurde vernachlässigt. Die Simulation wurde zunächst zweidimensional,

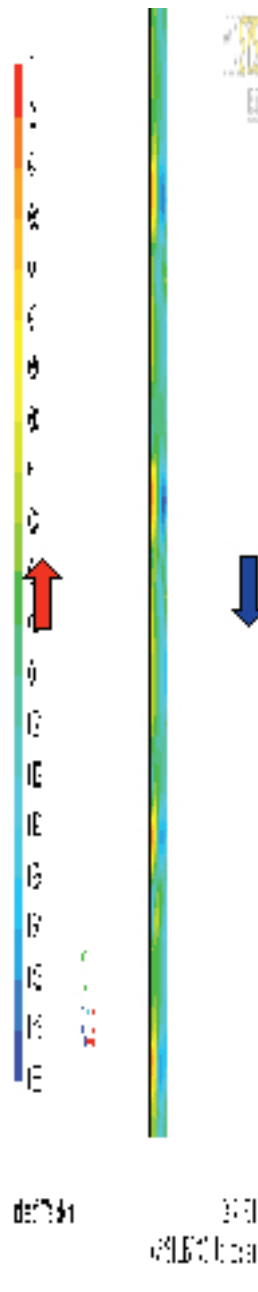
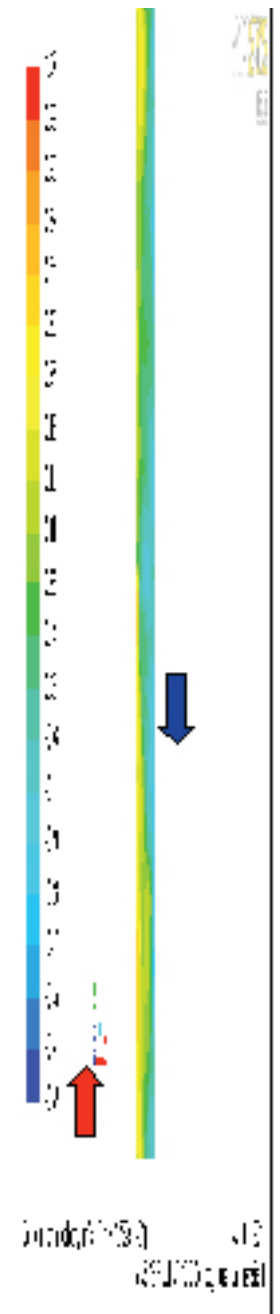


Abb. 35:links Wirbel 2D



rechts Schlieren und Strähnen 3D

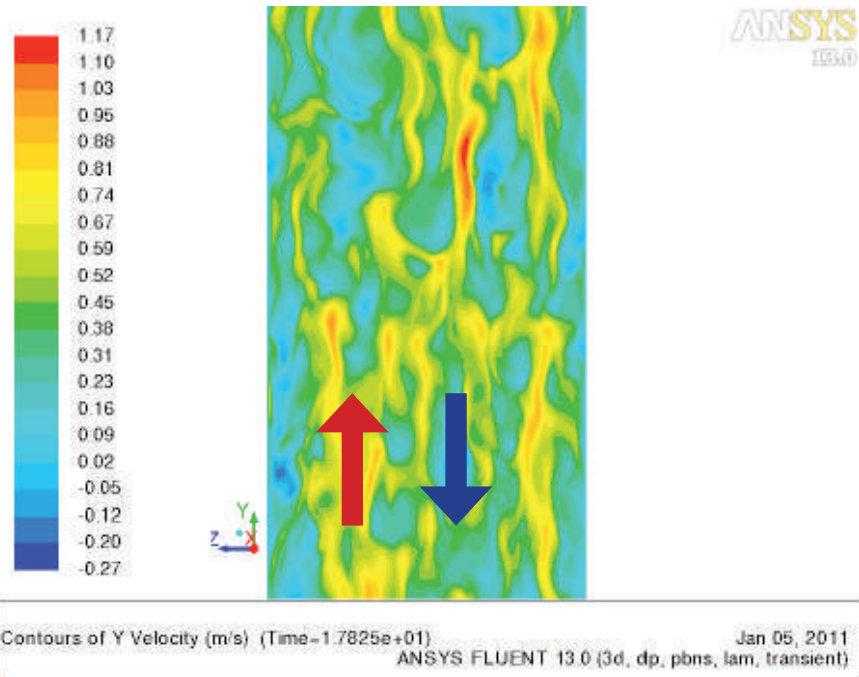


Abb. 36: Die Luft will lieber an der kalten Wand nach unten als über das Dach zur anderen Seite

turbulent und stationär durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulation waren der sich einstellende Volumenluftstrom der Luftzirkulation, die Temperaturverteilungen im Luftspalt sowie in der PC-Platte und der Betonwand und die sich ergebenden Wärmeströme über die Wände. Die Temperaturverteilung und die Geschwindigkeit wurden graphisch dargestellt. In einer ersten stationären Simulation traten multizelluläre Strukturen auf. In einer weiteren instationären Simulation des Luftzwischenraums wurde erkennbar, dass sich die Wirbel langsam nach oben bewegten (Abb. 24). Beide Simulationen (stationär und instationär) lieferten jedoch vergleichbare Temperaturen und einen Luftmassenstrom von etwa 0.014 kg/s, was einer mittleren Aufwärtsgeschwindigkeit von 0.1 m/s entspricht. Die Reynoldszahl lag bei 800, die Strömung war laminar.

Es stellte sich die Frage, ob die stationäre Lösung bzw. die instationäre Lösung, die ja vergleichbare Ergebnisse lieferten, mit der Einschränkung auf 2D wirklich richtig war. Deshalb wurde eine volle 3D instationäre Simulation durchgeführt (Abb. 25 und Abb. 27). Die Wirbel wandelten sich in 3D in Schlieren oder Strähnen. Die regelmäßigen Wirbel in der 2D-Simulation wandelten sich in der 3D-Simulation in Schlieren. Diese Freiheit konnte in 2D nicht auftreten. Es ergaben sich jedoch in beiden Simulationen vergleichbare Luftmassenströme und vergleichbare Temperaturen. Die vereinfachte 2D-stationäre Simulation war daher brauchbar. Die Wirbel/Strähnen konnte man sich so erklären, dass die Luft immer lieber an der kalten Wand nach unten als über das Dach zur anderen Seite wandern wollte.

Verschiedene Simulationen zeigten, dass die beobachteten 2D-Wirbel bei den hier relevanten Rayleigh-Zahlen und Aspect-Ratios immer auftraten.

Real treten instationäre 3D Schlieren u. Strahlen auf. Im Vergleich zur vollen 3D instationären Simulation lieferte die vereinfachte und sehr viel weniger aufwendige stationäre 2D Simulation vergleichbare Ergebnisse für die Temperaturen und den Luftmassenstrom. Der sich durch freie Konvektion im günstigsten Fall einstellende Luftmassenstrom von etwa 0.014 kg/s pro 1m-Element ist sehr gering. Es war fraglich, ob der gewünschte Effekt (freie Konvektion im Luftzwischenraum der Kollektorfassade) würde erzielt werden können. Die freie Konvektion wurde durch eine erzwungene Konvektion und damit Erhöhung des Wärmeübergangs durch die schnellere turbulente Strömung ersetzt. In der Kellerzwischenwand des Speichers wurden zwei kleine Ventilatoren zum Antrieb der Luftmassenstroms geplant.

### **Fassadenaufbau und Brandschutzkonzept**

Als Aussenwandbekleidung musste die Fassadenkonstruktion des Forschungsvorhabens als ein Gebäude mittlerer Höhe nach § 29 der Landesbauordnung den Anforderungen an schwerentflammbare Baustoffe (DIN 4102-B1) genügen. Dieser Anforderung genügte die beabsichtigte Bekleidungsplatte Polycarbonat 12-fach-Stegplatte, wird aber in den zugrunde liegenden Laborprüfungen als „brennend abtropfend“ eingestuft. In einem originalmaßstäblichen Brandversuch nach den Zulassungsgrundsätzen des DIBt wurde überprüft, ob das Fassadenbekleidungssystem als Luftkollektorfassade unter Verwendung von Bekleidungsplatten aus Polycarbonat PC 1550-10 auf einer Aluminium-Unterkonstruktion den allgemeinen Anforderungen „schwerentflammbar“ genügt. Die MFPA Leipzig wurde durch die technische Universität Darmstadt mit einem entsprechenden Brandversuch beauftragt.

Als Aussenwandbekleidung musste die Fassadenkonstruktion bei dem betrachteten Gebäude der Gebäudeklasse 4 nicht nur den Anforderungen an schwerentflammbare Baustoffe genügen, sondern zusätzlich sind bei Aussenwandkonstruktionen mit geschossübergreifenden Hohlräumen gegen die Brandausbreitung besondere Vorkehrungen erforderlich. Besondere Vorkehrungen gegen die Brandausbreitung im Hinterlüftungszwischenraum in Form von horizontalen Brandsperren mit einer Begrenzung des freien Strömungsquerschnitts waren nicht installierbar, da sie den erforderlichen barrierefreien Luftstrom stören würden. Das geplante Fassadensystem erfüllte demnach formal zwei baurechtliche Brandschutzforderungen - kein brennendes Abtropfen und besondere Vorkehrungen gegen die Brandausbreitung im geschossübergreifenden Hohlraum (Hinterlüftungsspalt) - nicht. Gleichzeitig sollte die Fassade als geschlossener Luftkollektor im Umluftprinzip betrieben werden, das heißt im Fassadenzwischenraum der Ostfassade erwärmte Luft strömt am oberen

Fassadenabschluss unterhalb einer auskragenden Attika über Lüftungsleitungen über das Dach zur Westfassade, kühlt sich dort ab und wird dann über einen Wärmetauscher im Keller (Steinspeicher) weiter abgekühlt und anschließend wieder in den Fassadenzwischenraum eingeblasen.

Auch diese Situation musste im Zuge der brandschutztechnischen Fassadenplanung berücksichtigt werden. Die TU Darmstadt beauftragte das Ingenieurbüro für Brandschutz und Fassaden (IBF) gutachterlich zu bewerten, ob das Brandverhalten des Fassadensystems auf der Grundlage der gewonnenen experimentellen Ergebnisse (Baustoffklassifizierung und Originalbrandversuch) und der objektkonkreten Gegebenheiten, trotz formaler Abweichungen von baurechtlichen Forderungen, dennoch dem allgemeinen Schutzziel an der Gebäudeausenwand nach § 27 LBO - *„Aussenwände und Aussenwandteile wie Brüstungen und Schürzen sind so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lange begrenzt ist.“* - in diesem Einzelfall genügen konnte, und die Auflagen der Baugenehmigung zur Ausführung der Fassade erfüllt wurden.

Die geplante Luftkollektorfassade war von ihrer Bauart als nicht wärme-gedämmte, vorgehängte, hinterlüftete Fassadenbekleidung nach DIN 18516-1 einzuordnen und hatte folgenden Aufbau von außen nach innen.

- 50 mm Polycarbonat-Mehrfach-Stegplatte
- 30/120 mm horizontale Aluminium-Unterkonstruktion
- 80/80 mm vertikale Aluminium-Unterkonstruktion als Tragprofile
- 15 mm Aussenputz
- 250 mm Schüttnbetonwand

Die Fensterleibungen bilden eine komplett abschließende Zarge aus gekantetem Aluminiumblech 2 mm von der Rohbauwand bis zur Vorderseite der Bekleidung, diese um ca. 50 mm überkragend.

Am Vormittag wird die Ostfassade bei Sonneneinstrahlung erwärmt und die Strömungsrichtung der Luftzirkulation verläuft von Ost nach West. In den Nachmittagsstunden, bei Sonnenbeaufschlagung der Westseite, verläuft die Luftbewegung von West nach Ost und der Umluftventilator wird in Gegenrichtung betrieben. Im Sommerfall wird die erhitzte Luft im Fassadenzwischenraum der Ost,- Süd,- und Westfassade aufsteigen und über die vollständig geöffneten Abluftklappen seitlich der über das Dach verlaufenden Lüftungsrohre entlüftet. Damit sich eine Strömung einstellen kann, wurden am unteren Fassadenabschluss (im Sockelbereich) umlaufend Zuluftklappen installiert, die auf den entstehenden Unterdruck (5 - 8 Pa) ansprechen. Der Umluftventilator ist in diesem Fall ausgeschaltet. Im Keller wurde der südliche Bereich des Gebäudes feuerwiderstandsfähig und rauchdicht von den anderen Räumen abgetrennt. In diesen beiden Räumen befinden sich insgesamt vier Speichermassen in Form

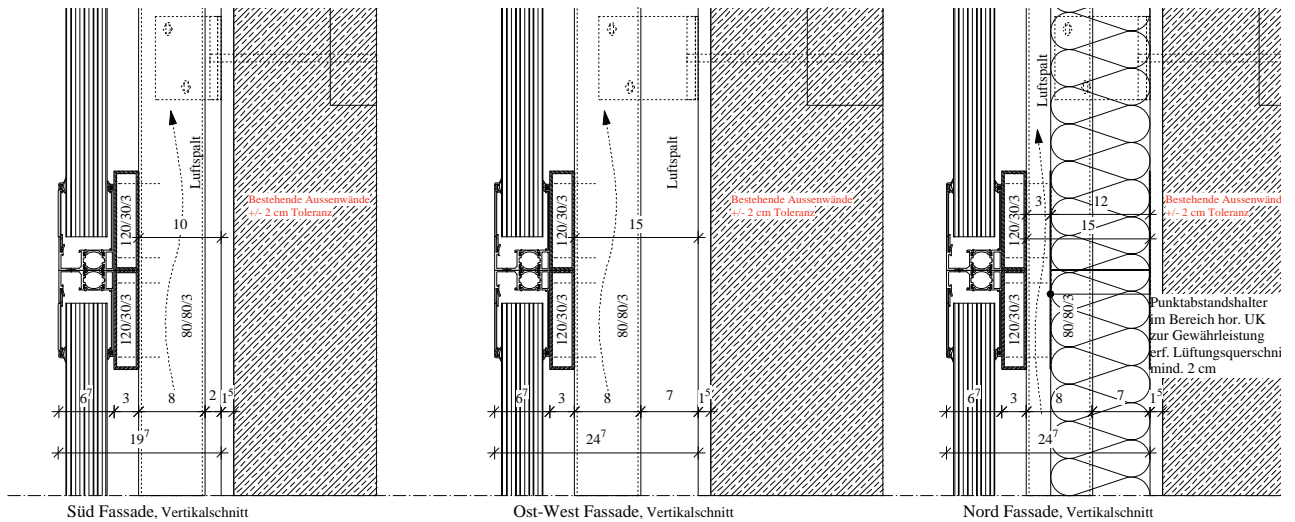


Abb. 37: Wandaufbauten Aussenwand Nord-, Ost-, Süd- und Westseite

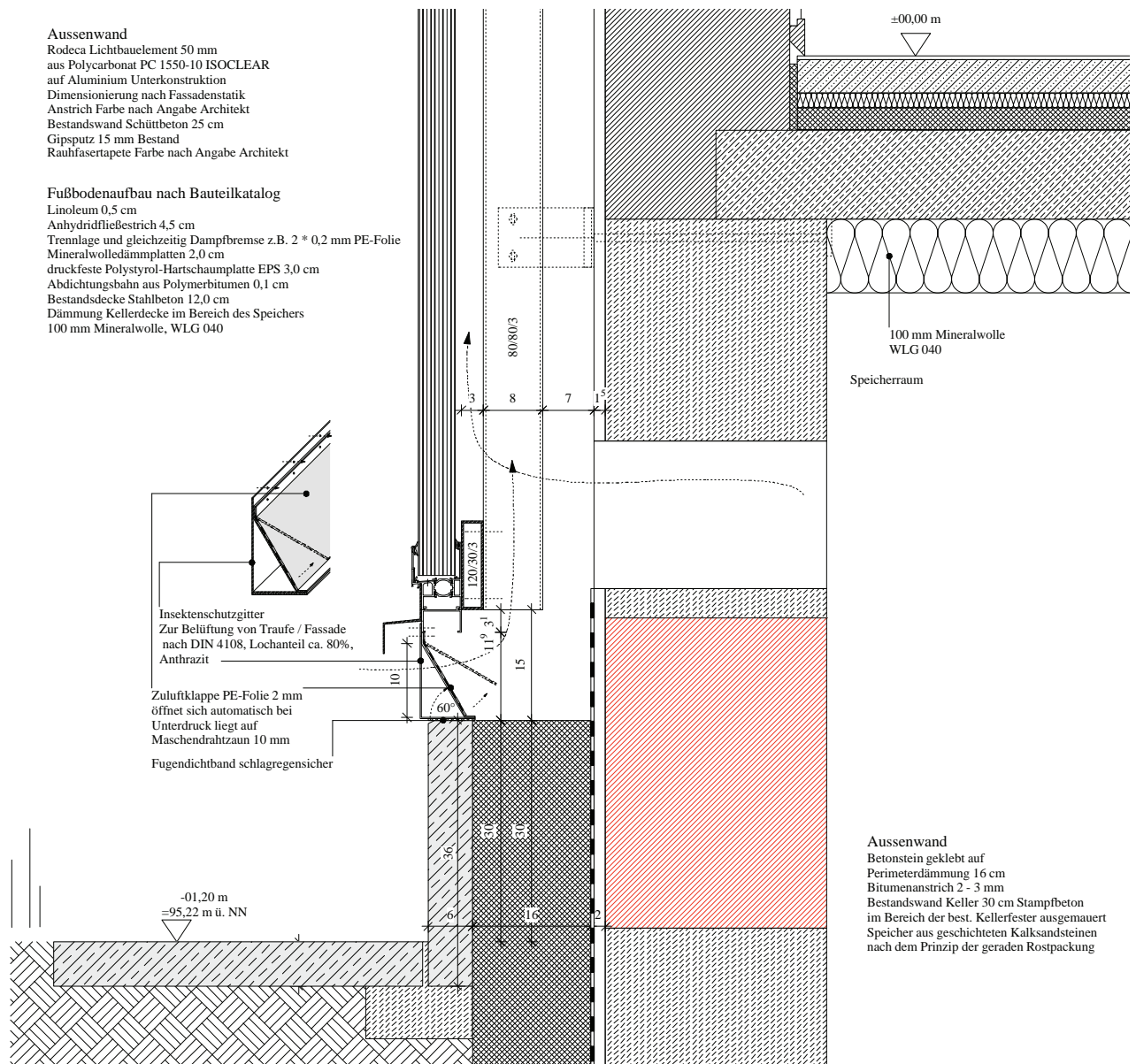


Abb. 38: Sockeldetail - Zuluftklappe

von kreuzweise gestapelten Kalksandsteinen. Zur Entwärmung des Fassadenzwischenraums wurden seitlich der Lüftungsrohre auf dem Dach Entrauchungsklappen installiert, die elektrisch ansteuerbar sind und elektromotorisch öffnbar sind.

Bei Umstellung der Luftkollektorfassade auf Entlüftungsbetrieb im Sommer werden die Abluftklappen vollständig geöffnet und der Richtungsventilator abgeschaltet. Bedingt durch den beim Öffnen der Abluftklappen entstehenden Unterdruck i.H.v 5-9 Pa öffnen sich die Zuluftklappen am Fassadenfuß. Frischluft tritt in den Fassadenzwischenraum ein und die Luft strömt nach (Abb. 29). Als Zuluftklappen fungieren hier Folienstreifen aus einer 2 mm dicken PE-Folie, die auf das untere, horizontale Fassadenprofil aufgelegt und einseitig mechanisch fixiert werden. Der freie Strömungsquerschnitt beträgt bei vollständiger Öffnung ca. 5 cm (500 cm<sup>2</sup>/lfm). Diese Zuluftklappen werden durchgängig an allen Gebäudeseiten installiert.

Für das Gebäude wurde aufbauend auf die Erfahrungen des originalmaßstäblichen Brandversuchs ein Entrauchungskonzept für die Fassade erstellt. Zur Entrauchung des Fassadenzwischenraums und zur Abführung von Heißgasen sollen die bereits beschriebenen Wirkprinzipien im Abluftbetrieb der Fassaden genutzt werden. Im oberen Fassadenbereich unterhalb des Dachrandes werden Rauchmelder installiert. Bei Brandalarm werden automatisch die Abluftöffnungen, die dann der Entrauchung dienen, geöffnet, wodurch die Frischluftöffnungen am Fassadenfuß ebenfalls automatisch aktiviert werden. Das Öffnungsverhältnis zwischen Abluft- und Zuluftöffnungen beträgt dabei ca. 3:1. Gleichzeitig wird der Umluftventilator im Keller ausgeschaltet und die maschinell gesteuerte Luftzirkulation unterbunden.

Im originalmaßstäblichen Brandversuch wurde auf einem Versuchsstand die Fassadenbekleidung im originalen Einbauzustand eingebracht und mittels Gasbrenners bei natürlichen Lüftungsbedingungen über eine Dauer von 20 Minuten thermisch beansprucht. Die Anordnung des Gasbrenners in der Brandkammer simulierte dabei ein Szenario, wie es für den Feueraustritt aus einem offenen Fenster eines sich im Vollbrand befindlichen Wohnraumes auf eine Fassade typisch ist. Die Brandschädigung der thermoplastischen Bekleidungsplatten war im wesentlichen durch ein lokal begrenztes Ab- bzw. Ausschmelzen gekennzeichnet, wodurch sich die Fassade im unteren Bereich, d.h. im unmittelbaren Einflussbereich der Flammen des Primärfeuers öffnete. Dieses Öffnen der Bekleidungsfläche ermöglichte dort, wo eine Flammenbeaufschlagung der Fassade erfolgte, d.h. im Bereich der Brandausbruchsstelle, einen zusätzlichen Eintritt von Frischluft in den Fassadenzwischenraum. Oberhalb der Brandausbruchsstelle erfolgte die Öffnung der PC-Paneele durch den vor der Fassadenbekleidung aufsteigenden Konvektionsstrom, seitlich davon lediglich noch durch Strahlung.



Aus Sicht des baulichen Brandschutzes bestanden unter Berücksichtigung der Versuchsergebnisse keine brandschutztechnischen Bedenken gegen die Verwendung der beabsichtigten Luftkollektorfassade. Dem allgemeinen Brandschutzziel an der Gebäudeausseiwand nach § 28 MBO wurde Genüge getan.



Abb. 40: Prüfaufbau (oben)/  
Prüfminute(unten)

Abb. 39: Prüfaufbau (oben) /  
Prüfminute(unten)

## Die Herausforderungen im Gebäudebestand

### Verankerung der Fassade in Aussenwänden aus Schüttbeton

Mit dem Institut für Massivbau der TU Darmstadt wurden Dübelauszugsversuche in den Aussenwänden durchgeführt, um Kennwerte für die Belastbarkeit der Bestandsaussenwände für die Befestigung der vorgehängten hinterlüfteten Fassade zu ermitteln. Es stellte sich überraschend heraus, dass die Bestandswände den zu erwartenden Lasten der vorgehängten Fassade nicht würden standhalten können.

Es musste nach einer Lösung gesucht werden, die Fassade unabhängig von den nicht tragfähigen Aussenwänden vor der Aussenwand aus Schüttbeton zu befestigen.



Abb. 41: Dübelauszugsversuche Aussenwand Bestand



## Decken aus Stahlbeton

Aufgrund der bereits beschriebenen ungewöhnlichen und nicht den heutigen DIN-Klassifizierungen entsprechenden Substanz der Aussenwände des Bestandsgebäudes, stellte sich die detaillierte Planung und Befestigung einer vorgehängten energieaktiven Fassade aus Lichtbauelementen schwieriger dar als ursprünglich vermutet.

Man kann von einer Meisterleistung sprechen, die in den 50-er Jahren die Tragwerksplaner vollbrachten, indem Sie mit sparsamstem Einsatz der verwendeten Materialien größtmögliche Räumlichkeiten für viele Menschen planten.

Anhand von Probebohrungen in den Decken, konnte der Tragwerksplaner die Betongüte der Decken bewerten. Die bestehenden Decken bestanden aus einem sehr guten Beton B225 der durchschnittlichen Stärke von 12 cm mit Bewehrungsmatten BSt 4 und unten Q 29 (0,29 cm<sup>2</sup>/m) kreuzweise. Diesem Umstand war zu verdanken, dass die vorgehängte Fassade sowie die geplanten Geländer über die vertikale in den Bestandsdecken verschraubte Unterkonstruktion indirekt befestigt werden konnten und die nicht tragfähigen Aussenwände von Belastungen verschont werden konnten.



Abb. 42: Prüfbohrung Bestandsdecke

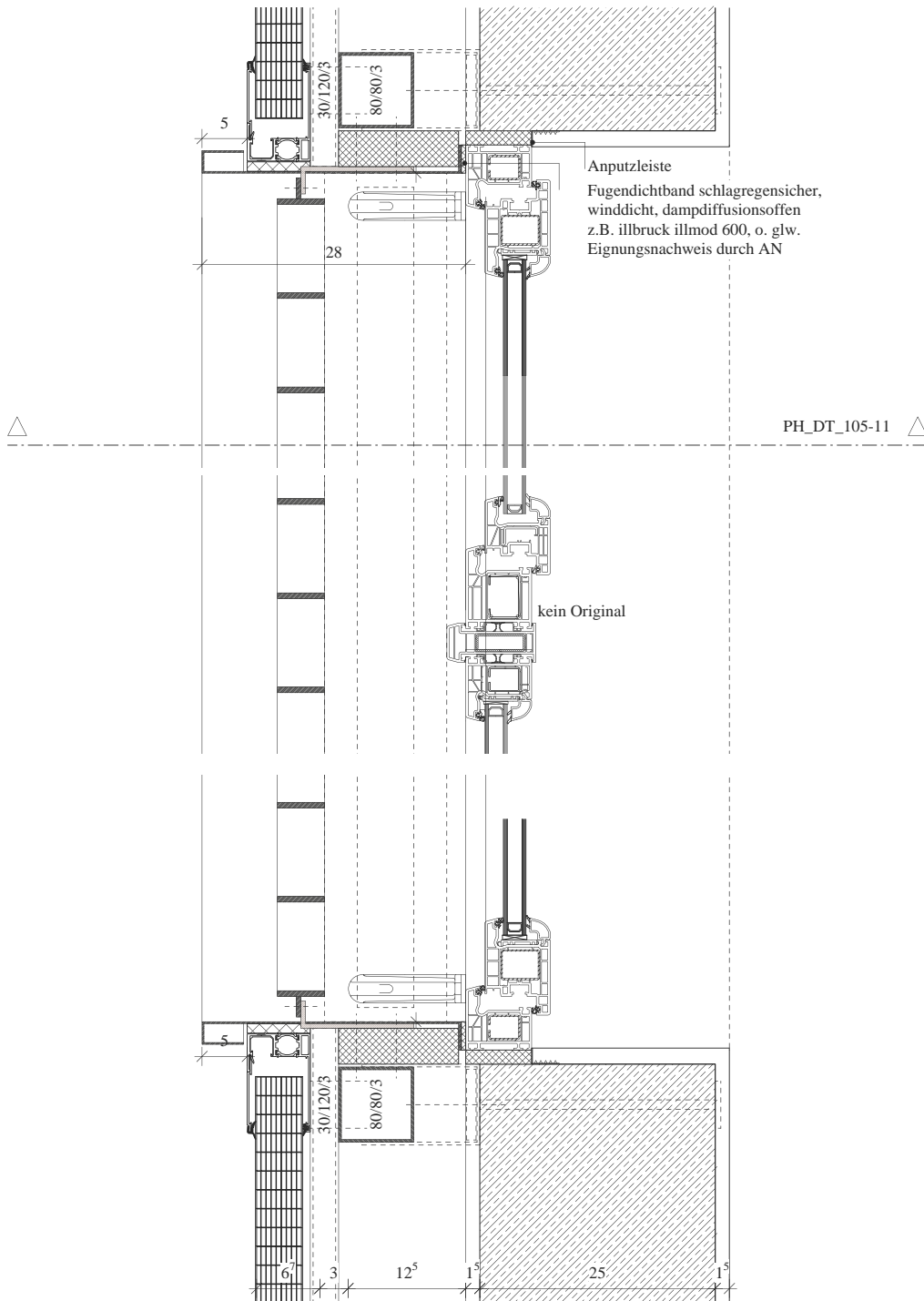


Abb. 43: Fensterdetail Horizontalschnitt

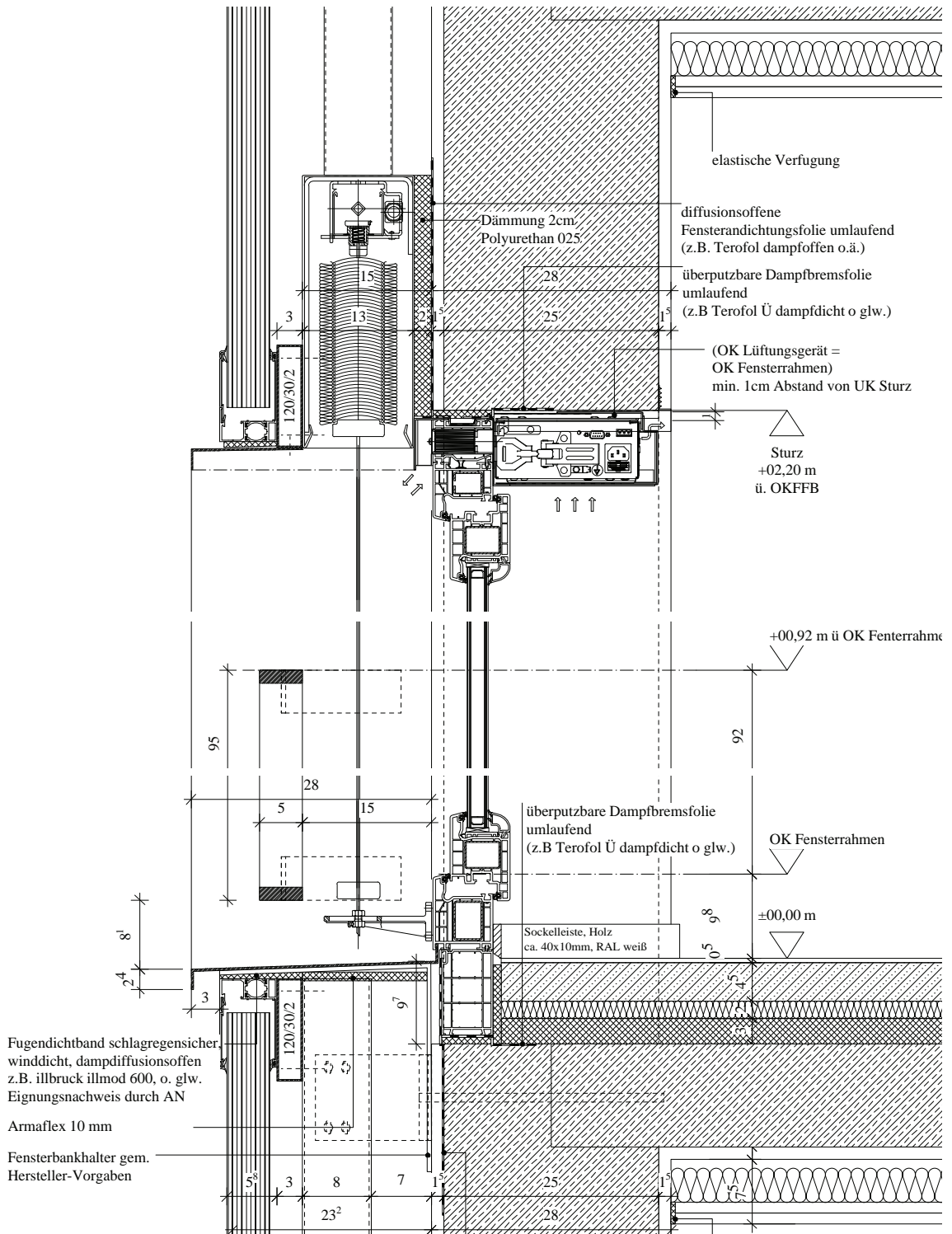


Abb. 44: Fensterdetail Vertikalschnitt - Befestigung Zargen und Geländer über die Decken aus Stahlbeton

## Fazit

### Projektfortschritt

Neben einer sehr intensiven Planungs- und Entwicklungsphase haben insbesondere die unvorhersehbaren baulichen Mängel des Betandsgebäudes zu einer langen Bauzeit geführt. Der Wechsel in der Bauleitung während der Bauphase und ein Wechsel in der Verantwortlichkeit der Bauherrenschaft haben zu weiteren Verzögerungen geführt. Das realisierte Gebäude wurde im Juli 2013 fertiggestellt und übergeben.

### Monitoring

Ein anschließendes Monitoring soll das realisierte Energiekonzept validieren. Alle wichtigen Kenndaten werden systematisch überwacht, erfasst und ausgewertet, um in bestmöglicher Art und Weise das Forschungsvorhaben zu dokumentieren und im Notfall steuernd eingreifen zu können. *(siehe hierzu: Beschreibung der technischen Anlagen, Gebäudeautomation S.59f).*

Da hier in der Forschung und Planung Verfahren angewendet wurden, die bisher im Markt nicht üblich sind, wurden Berechnungen für das Gebäude erstellt, die den Betrieb des Gebäudes darstellen. Im Betrieb soll gemessen und nachvollzogen werden, ob die hier errechneten Werte mit den tatsächlichen Verbräuchen übereinstimmen. Zur Steuerung der Anlage können verschiedene Parameter verändert werden.

### Schlussbetrachtung

Gebäude stellen wirtschaftlich das wertvollste Gut unserer Gesellschaft dar. 100 Jahre werden Häuser im Schnitt genutzt aber nur alle 30-60 Jahre modernisiert. Rund drei Viertel des Wohngebäudebestands in Deutschland gelten als sanierungsbedürftige bzw. energetische Altbauten. (Hegger et al. 2008, S.39)



Vor allem die Gebäudehülle rückt mehr und mehr in den Fokus von gestalterischen und technischen Denkprozessen in der Betrachtung des steigenden Energieverbrauchs von Bauwerken, weil das energetische Verhalten von Gebäuden maßgeblich durch seine Außenflächen bestimmt wird. Die energetische Verbesserung bestehender Gebäudehüllen stellt im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung eine der herausragenden Aufgaben dar. (Hegger et al. 2008, S.82) Es ist insbesondere die große Masse der Bestandsgebäude im Wohnungsbau, die den Energiebedarf der nächsten Jahrzehnte bestimmen wird. Eine energieeffiziente Planung von Gebäudehüllen setzt eine genaue Analyse der Gegebenheiten wie zum Beispiel den klimatischen Randbedingungen und dem Nutzerprofil voraus.

Energie optimiert ist eine Hülle dann, wenn sichergestellt ist, dass die Randbedingungen im Zusammenspiel ganzjährig mit wenig zusätzlichem Energiebedarf oder aufwendiger Energieversorgungstechnik auskommt. Diese passive Leistungsfähigkeit von neuen energetischen Gebäudehüllen bietet das Fundament zukunftsfähiger Energiekonzepte.

Hier wurde die Gebäudehülle als thermodynamisches System verstanden, welches durch die begleitende Simulationstechnik im Planungsprozess optimiert werden konnte. Im Rahmen dieses Antrags wurde ein „kybernetisches“ Konzept zur Steuerung und Regulation von Systemen am Beispiel eines Mehrfamilienwohnhauses im Sozialen Wohnungsbau erforscht und im Bauwerk umgesetzt. Eine besondere Herausforderung stellte sich durch den Umgang mit einem Trümmerverwertungsbeton aus Ziegelsplitt, der sich keiner aktuell gültigen Norm zuordnen ließ, sowie durch den Einflussfaktor der Wirtschaftlichkeit im sozialen Wohnungsbau.

Das Sanierungsprojekt sollte mit seinem Ansatz einen Forschungsbeitrag zu neuen energetisch-optimierten und solar aktivierten Gebäudehüllen und zum Ausbau zukunftsfähiger Energiekonzepte leisten.

Während dem Projekt wurde wiederholt versucht Förderungen im Sinne eines kfw-40 Hauses zu bekommen, dieses ist jedoch aufgrund der schlechten Korrelation des Projektes mit der derzeit gültigen EnEv 2009 gescheitert. Insbesondere der  $H_T'$ -Wert konnte aufgrund des klimaaktiven Fassadenaufbaus nicht erreicht werden, außerdem bietet die derzeitige Fassung der EnEv keine Möglichkeit solare Energieerträge so zu berücksichtigen, wie Sie bei diesem Projekt tragend sind.

## **Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die ursprüngliche Zielsetzung.**

Die technischen Ziele der typologischen und energetischen Sanierung wurden erreicht. Der Fassadenaufbau konnte trotz Schwierigkeiten, die aufgrund der schlechten Bausubstanz nicht abzusehen waren, realisiert werden. Die Simulationsergebnisse sind außergewöhnlich gut. Erfahrungsgemäß beläuft sich die Abweichung zwischen Simulation und tatsächlich erzielte Meßergebnissen in einem Toleranzbereich unter 3 %.

### **Energetische Ziele**

Das als Prototyp für eine energetische Sanierung ausgewählte Mehrfamilienwohnhaus in Mannheim hat seit seinem Erstbezug in den 1950er Jahren keine grundlegenden Umbau- und Sanierungsmaßnahmen erfahren. Das Bestandsgebäude hatte aufgrund nicht gedämmter Dach-, Fassade- und Balkonflächen einen Heizenergiebedarf von rund 273 kWh/a auf. Neben einem sinnvollen typologischen Ansatz setzt sich das energetische Konzept aus vier Bausteinen (klimaaktive Fassade, Steinspeicher, kontrollierte Lüftung und Wärmerückgewinnung) zusammen, die in wechselseitigem Zusammenspiel funktionieren und so im Gesamtergebnis den jährlichen Heizenergiebedarf auf ca. 10-14 kWh/a reduzieren. Das energetische Konzept ist als Low-Tech-Lösung zu verstehen. Die Ergebnisse der Simulationen werden im Monitoring überprüft.

Die klimaaktive Gebäudehülle, bestehend aus einer zweischaligen Fassade mit einem Luftkollektor aus einer Polycarbonatplatte mit dem U-Wert von 0,83 W/m<sup>2</sup>K, kann als energetisch sinnvolle, wirtschaftliche und gestalterische Alternative zum passiven Wärmeschutz und der herkömmlichen Dämmung mit WDVS gesehen werden.

### **Wirtschaftliche Ziele:**

Die schlechte Bausubstanz des Bestandsgebäudes hat dem Ziel, im Kostenrahmen der Standardsanierung im sozialen Wohnungsbau am Standort zu bleiben, einen Strich durch die Rechnung gemacht. Abweichungen von der Kostenschätzung ergaben sich aufgrund von baulichen Mängeln. Der fehlende Brandschutz der Decken, Anforderungen an den Schallschutz der Wände, und die schlechten Kennwerte für die statische Belastbarkeit der Außenwände waren in dieser Form nicht absehbar zum Zeitpunkt der Antragstellung. In Dübelauszugsversuchen erwiesen sich die Außenwände als nicht belastbar für die Befestigung der Fassade. Die Unterkonstruktion für die vorgehängte Fassade musste aufwendig über die Stirnseiten der Betondecken befestigt werden. Aus heutiger Sicht ist die Entscheidung für eine Sanierung dieses Gebäudes wohl zu hinterfragen.

Planungsänderungen des Bauherren und neue Nutzeranforderungen

fürten zu einer weiteren Erhöhung der Baukosten.

Ohne die aufwändige Fassadenbefestigung, die letztlich nur eine Folge der schlechten statischen Belastbarkeit der Bestandsaußenwand darstellt, wären die Kosten der Fassade i.H.v 131.000 € durchaus vergleichbar gewesen mit den Kosten eines klassischen Wärmedämmverbundsystemes.

**Gestalterische Ziele:**

Die optische Anmutung der Luftkollektorfassade, sowie die Wohnqualität innerhalb der Räume jedoch übertrifft die Erwartungen der Planer, Bauherren und allen beteiligten Fachfirmen jedoch bei weitem. Bereits jetzt stellt sich heraus, dass diese Fassade viel Aufmerksamkeit hervorruft. Sie wird als als Blickfang zukünftig in der Lilienthalstraße ein zusätzliches Highlight darstellen. Sie verändert sich wetterabhängig: spiegelt, schillert, changiert die Farbe und erzeugt einmalige Stimmungen. Mit diesen eigenschaften transportiert sie das Bild von Luftigkeit, Ökologie und verdeutlicht, was es heisst Licht und Luftdurchflutet zu leben.

Umfangreiche Publikationen in Fachzeitschriften und der Tagespresse sind geplant und zum Teil bereits terminiert. Bereits jetzt gibt es Anfragen an unsere Institution das Punkthaus auf Tagungen und Fachkongressen vorzustellen, und vertiefend zu erläutern.



Abb. 45:Fassade des Punkthauses nach der Sanierung

## **Anlagen- und Baubeschreibung des Punkthauses im sanierten Zustand**

### **Öffentliche Erschließung**

Die Haupteerschließung des Gebäudes mit öffentlicher Ver- und Entsorgung erfolgt auf der Südseite. Die Hausübergaberäume sind im Untergeschoss, in einem Technikraum untergebracht.

### **Abwasserentsorgung**

Das bestehende Abwassernetz bleibt bestehen. Die Fallleitungen werden in den Außenanlagen gesammelt und an den bestehenden Sammel-schacht neu angeschlossen.

Schmutzwasser

Das Schmutzwasser wird im Untergeschoss gesammelt. Alle Bereiche unter der Rückstauenebene werden mit einer geschlossenen Schmutzwasser-hebeanlage geführt und über eine Druckschleife in den städtischen Kanal entsorgt.

### **Wasserversorgung**

Die Wasserversorgung bleibt im Bestand erhalten.

### **Fernwärmeversorgung**

Das Gebäude ist bereits an die Fernwärmeversorgung der Stadt Mannheim (MVV) angeschlossen. Der Anschluss erfolgt indirekt. Die Übergabe-station wird belassen.

Das Gebäude ist bereits niederspannungsseitig an das Netz der Stadt Mannheim angeschlossen. Die Einführung erfolgt auf der Südseite über einen Übergabeklemmkasten mit Hauptvorsicherung in dem Raum Nie-derspannungshauptverteilung.

### **Telekommunikation**

Die Anschlüsse für Daten, Telefon und Kabel sind bereits vorgesehen.

### **Regenwasser**

Die Dachentwässerung des Hauptgebäudes, wird über Dacheinläufe gesammelt und über den Fassadenzwischenraum nach unten geführt und anschließend in den städtischen Kanal geleitet. Die Entwässerung der Balkone wird ebenfalls innerhalb der Fassade ins UG geführt.

Die Möglichkeiten der Versickerung durch Mulden auf dem Grundstück wurde untersucht. Es ergab sich jedoch keine geeigneten Flächen. Für die Ableitung des Regenwassers ist eine Freispiegelentwässerung geplant. Die Fallleitungen werden innerhalb der Fassade verzogen. Die Verrohrung erfolgt in HDPE incl. einer Schwitzwasserdämmung. Eine zusätzlich erforderliche Schalldämmung wurde mit dem Bauphysiker abgestimmt.

### **Schmutzwasser**

Die Schmutzwässer aus Erd- und Obergeschossen werden unter der Decke des Untergeschosses gesammelt und direkt in den städtischen Kanal geleitet.

Die Rinnen im Außenbereich werden als Freispiegelentwässerung an den bestehenden Kanal auf dem Grundstück angeschlossen.

### **Bauteile und Rohrleitungen:**

Grundleitungen: Die Freispiegelleitungen erhalten ein Gefälle nach DIN EN 752/DIN 1986-100/DIN EN 12056 und sind im Frost gefährdeten Bereich frostsicher zu verlegen. Als Rohrleitungsmaterial ist KG-Rohr vorgesehen. Sammelanschluss- und Fallleitungen: Die Verrohrung innerhalb des Gebäudes ist als SML ausgeführt, Einzelanschlussleitungen wurden in HT-Rohr verlegt.

### **Wasser**

Die Wasserversorgung erfolgt aus dem städtischen Netz. An der Südseite wurde die Wasserleitung eingeführt und über einen Rückspülfilter geführt.

Die Warmwasserbereitung wird über dezentrale Durchlauferhitzer gestellt, die an das Heizungsnetz angeschlossen sind. Die dezentrale Versorgung hat gegenüber der zentralen Variante folgende Vorteile:

- geringere Bereitschaftsverluste
- geringere Wärmeverluste in der Verrohrung
- keine Legionellenproblematik
- kein Aufheizen des Netzes über 70° notwendig

Für die Trinkwasserleitungen wurde als Rohrmaterial Edelstahl vorgesehen (Steigleitungen). Die Verrohrung innerhalb der Wohnungen erfolgte in PEX-Rohr.

Bei Leitungsführung im sichtbaren Bereich wurden die Leitungen mit Mineralfaserschalen nach Energieeinsparverordnung bzw. DIN 1988 gedämmt und in der Technikzentrale bis zu einer Montagehöhe von 2 m mit Blech ummantelt. Bei Leitungsführungen im Estrich, Mauerwerk und Vor-

satzschalen wurden Isolierschläuche eingesetzt. Bei den Armaturen am Trinkwasserverteiler wurden Isolierkappen mit Blechmantel und Spannbänder eingesetzt. Rohrdurchführungen durch Wände und Decken mit Brandschutzanforderungen erhielten Brandschotts entsprechend der Leitungsanlagenrichtlinie (LAR). In jeder Wohnung sind Wasserzähler für Kaltwasser installiert, sodass verbrauchsgerecht abgerechnet werden kann.

### **Wärmeversorgungsanlagen**

Das Gebäude wird energetisch saniert, so dass die notwendige Heizleistung minimiert wird. Das Gebäude wurde mit einer Polycarbonathülle umkleidet, die sowohl als Dämmung als auch Kollektor funktioniert. Die eingestrahlte Energie wird in den massiven Bauteilen gespeichert und über die Luft auf die Fassaden verteilt. Zusätzlich wird zu Tag- Nacht Ausgleich ein Massivspeicher in UG eingebaut.

### **Wärmeerzeugung**

Zur Wärmeerzeugung ist bereits ein Fernwärmeanschluss vorhanden. Es wird eine Druckhalteanlage als Membran-Ausdehnungsgefäß vorgesehen. Die Aufstellung der Heizlast ist im Anhang aufgeführt.

### **Wärmeverteilnetz**

In der Technikzentrale wird die Hauptleitung auf separate Heizgruppen aufgeteilt. Es sind folgende Abgänge vorgesehen:

- FB-Heizung (40°/30°C)
- WWB (60°/30°C)

Über die zentralen Installationsversorgungsschächte werden die einzelnen Geschosse erschlossen.

Jeder Heizkreis an der Verteileranlage besteht aus folgenden Komponenten:

- Absperrklappen
- Strangreguliertventil (RL)
- Schmutzfänger
- Rückschlagklappe
- Thermometer
- Manometer
- stufenlos regelbare Pumpe
- Regelventil
- Fühler

Die Vorlauftemperatur für des FB Heizkreises wird witterungsabhängig nach der Außentemperatur geregelt. Vom Heizungsverteiler aus werden



die Leitungen über den zentralen Installationsversorgungsschacht zu den einzelnen Geschossen geführt. Innerhalb der Geschosse werden die FB Heizflächen über Verteiler angeschlossen. Die einzelnen Stränge werden über Regulierventile hydraulisch abgeglichen. Als Rohrleitungsmaterial wird nahtloses schwarzes Stahlrohr bzw. Gewinderohr eingesetzt.

Für die Fb Heizung wird mit einem Trockensystem mit Wärmeverteilterblechen für Trockenausbau und damit niedriger Aufbauhöhe eingesetzt. Für die Heizkreise werden Kleinpumpen pro Kreis eingesetzt, die über die Raumtemperaturregelung die notwendige Wassermenge transportieren ( System GeniAx Fa. Wilo)

Im sichtbaren Bereich werden die Leitungen mit Mineralfaserschalen gemäß Energieeinsparverordnung gedämmt und bis zu einer Montagehöhe von 2 m mit Blech ummantelt. Bei Leitungsführungen im Estrich, Mauerwerk und Vorsatzschalen werden Isolierschläuche eingesetzt. Im Bereich von abgehängten Decken werden die Leitungen mit alukaschierten Mineralfaserschalen gedämmt. Die Armaturen am Heizungsverteiler erhalten Isolierkappen mit Blechmantel und Spannbändern.

Rohrdurchführungen durch Wände und Decken mit Brandschutzanforderungen gemäß Brandschutzgutachten erhalten Rohrschotte nach der Leitungsanlagenrichtlinie (LAR). Das Verschließen wurde durch das Gewerk Rohbau bzw. Ausbau durchgeführt.

### **Raumheizflächen**

Die Raumtemperaturen wurden in Anlehnung an die EN 12831 und die ASR festgelegt:

- Wohnräume, Aufenthaltsräume 20°C
- Beheizte Nebenräume 15°C
- Unbeheizte Nebenräume 10°C
- Sanitärräume 24°C
- WC 20°C

Jede Wohnung erhält einen Wärmehähler.

### **Solaranlage:**

Auf dem Dach werden Kollektoren installiert, die Sonnenenergie in das Heizungsnetz einspeisen.

### **Gebäudeautomation**

- Einzelraumsteuerung mit zentraler Überwachung und Messdatenerfassung für Monitoring (Messpunkte in Fassade und Steinspeicher) Steuerung wird auf das Monitoring der GBG Mannheim aufgeschaltet und kann so fortlaufend überwacht und dokumentiert werden.

Die Einzelraumregelungen in den Wohnungen werden über eine Buslei-

tung mit einem zentralen Server verbunden. Hier können die einzelnen Vorgaben programmtechnisch geändert werden. Die Heizzentrale und Speicherbeschickung wird über eine DDC-Anlage geregelt.

Es wird ein Informationsschwerpunkt (ISP) in der Technikzentrale vorgesehen.

Die Automationsstation wird in digitaler Technik (DDC- Technik) ausgeführt.

Die einzelnen Räume erhalten eine Einzelraumregelung. An einem zentralen Bedientableau können Temperaturen, Zeitprogramme etc. vorgewählt werden. Um eine Auskühlung durch geöffnete Fenster zu vermeiden, werden die Fenster über einen Kontakt auf die Anlage aufgeschaltet. Für den Abluftventilator der Toiletten und Bäder ist keine Aufschaltung des Abluftventilators vorgesehen. Die Regelung erfolgt autark.

Die Regelung der Fassadenlüftung erfolgt in Abhängigkeit des Wärmeangebotes in den Fassaden. Die Ventilatoren werden in Luftrichtung und Volumenstrom geregelt, um die Wärme auf die Fassaden zu verteilen und den Speicher zu be- und entladen.

#### Messwerte

- Mittelwertbildung je Fassadenseite und oben/unten
- Mittelwertbildung Raumtemperatur Steinspeicher
- Außentemperatur
- Zähler Kalt-/Warmwasser und Wärme

#### Winterfall ( $T_a < 15^\circ\text{C}$ ):

- Temperaturdifferenz zwischen Fassade 1 und Fassade 2 oder Steinspeicher  $> 10\text{ K}$ ; Fassade wärmer

Temperatur Fassade  $> T$  außen

Wärmeverteilung auf beide Fassaden und Laden des Steinspeicher:

Luftrichtung von warmer Fassadenseite zur kalten Fassadenseite

Ventilator aus bei Temperaturdifferenz Fassade 1 und Fassade 2 oder Steinspeicher  $< 5\text{ K}$

- Wenn Fassade 2 wärmer als Fassade 1 wird die Strömungsrichtung umgekehrt

- Temperaturdifferenz zwischen Fassade und Steinspeicher  $> 5\text{ K}$ ; Fassade kälter

Temperatur Fassade  $< 15^\circ\text{C}$

Entladen des Steinspeichers:

Luftrichtung von warmer Fassadenseite zum Keller

Ventilator aus bei Temperaturdifferenz Fassade und Steinspeicher  $< 2\text{ K}$

#### Sommerfall ( $T_a > 18^\circ\text{C}$ ):

- Temperaturdifferenz zwischen Fassade und Außen  $> 10\text{ K}$  und Fassade und

Keller > 5 K; Keller kälter als Fassade

Ventilator in Betrieb

- Temperaturdifferenz zwischen Fassade und Außen > 10 K und Fassade und

Keller > 5 K; Keller wärmer als Fassade

Öffnen der Lüftungsklappen, Abkühlung der Fassade durch thermischen Auftrieb, Nachströmung der Außenluft über selbsttätige Klappen im Sockelbereich der Fassade

Sommerfall Nacht (Ta Tag > 25°C):

- Temperaturdifferenz zwischen Fassade und Außen > 10 K und Fassade und

Keller > 5 K; Keller wärmer als Fassade

Öffnen der Lüftungsklappen, Abkühlung der Fassade durch thermischen Auftrieb, Nachströmung der Außenluft über selbsttätige Klappen im Sockelbereich der Fassade

- Ventilator an zur Auskühlung des Steinspeichers

Brandfall (Auslösung Rauchmelder):

- Öffnen der Klappen auf dem Dach
- Klappen stromlos offen
- Störmeldung an externer Stelle

Zählkonzept:

- Aufschaltung der M-Bus-Zähler Kaltwasser, Warmwasser, Wärme

Lufttechnische Anlagen

Es werden die WC- und Badbereiche mit einer Abluftanlage ausgestattet, um Feuchteschäden vorzubeugen. Die Küchen erhalten keinen Außenluftanschluss für eine Dunstabzugshaube. Es müssen nutzerseitig Umluft-Dunstabzugshauben eingesetzt werden. Es werden dezentrale Abluftventilatoren für die Bäder vorgesehen.

Die Luftverteilung erfolgt über Geberit Aero-Rohre. Die Revisionsöffnungen sind nach VDI6022 vorzusehen. Fortluftauslass erfolgt über Dach über eine Deflektorhaube mit Rückschlagklappe. Es werden für die Luftverteilung innerhalb der Fassade zwei Ventilatoren im UG vorgesehen. Die Luftverteilung erfolgt über verzinkte Blechkanäle und Wickelfalzrohre.

Starkstromanlage

Die Elektroversorgung erfolgt aus dem Netz der Stadt. Im Untergeschoss ist ein Gebäudehauptverteiler eingebaut an dem alle Zähler für die Mieter eingebaut sind. Von den Zählern werden Steigeleitungen zu den Wohnungen geführt, dort wird ein Unterverteiler aufgebaut, in dem die notwendigen Sicherungen und die FI-Schutzschalter eingebaut sind. Für

die Allgemeinversorgung wird ein separater Zähler für die Wärmeversorgungsanlagen ein zweiter Allgmeinzähler eingebaut. Für die Versorgung der Waschmaschinen wird von der jeweiligen Wohnung ein separates Kabel mit Schalter und Steckdose geführt. Die Schalter sind verschließbar, sodass eine Fremdnutzung nicht möglich ist. Für die Beleuchtung sind jeweils im Treppenhaus Wandleuchten vorgesehen und im Außenbereich Im Eingangsbereich Wand- Aufbauleuchten. Die Technikräume erhalten Feuchtraumleuchten.

#### Fernmelde- und informationstechnische Anlagen

Telefonanlage: Im Untergeschoss ist eine Einspeisung mit entsprechendem Verteiler vorgesehen. Von dort erfolgt eine Verkabelung mit Leerrohr zu den einzelnen Wohnungen. In den Wohnungen sind Anschlüsse vorgesehen, die für Telefon oder für DSL-Anschlüsse verwendet werden können.

#### Fernseh- und Antennenanlage

Im Übergaberaum wird ein Breitbandanschluss installiert und jede Wohnung über entsprechende Leitungsverlegung angeschlossen.

#### Brandmeldeanlage

Es wird keine Brandmeldeanlage vorgesehen.



Abb. 46:Innenraumfotos

## **Baukosten nach DIN 276 Kostenschätzung vom 23.08.2011:**

Mit Kostenschätzung 23.08.2011, wurden für die Kostengruppen 300-700 Baukosten in Höhe von 2.172.000,00 € ermittelt (vgl. Anlage). Bei dieser Summe handelte es sich um eine Schätzung der Baukosten, auf Grundlage der Planung des Gebäudes. Da es sich bei diesem Proejkt um einen Umbau handelte, spielte insbesondere die von allen Projektbeteiligten erwartete Qualität des Bestandsgebäudes eine große Rolle. Diese erachteten wir als solide, da die GBG als Bauherr bereits etliche Vergleichbauten in der direkten Umgebung saniert hat.

Dass die bei den Abrissmaßnahmen vorgefunden Bausubstanz nicht derjenigen entsprach, die wir vermutet haben, hat essentiellen Einfluss auf die Kostensituation.

### **Probleme mit der Fassade:**

Das Gebäude wurde aus Ziegelsplitbeton hergestellt. Da Erfahrungen mit Vergleichsbauten vorlagen, sind wir davon ausgegangen, dass die Fassadenbefestigung an den Außenwänden möglich ist. Im Rahmen der Bauvorbereitung fanden Dübelauszugsversuche, unter Begleitung des Institutes für Massivbau der TU Darmstadt statt, sowie eines Herstellers der Dübelindustrie, mit verheerendem Ergebnis:

Es gab keine Dübelart, die in der Wand verankert werden konnte, um die Fassade hinreichend zu befestigen, insbesondere hinsichtlich Sogwirkungen und Windlasten.

Nachdem die Fassade in allen Teilen durchgeplant und vor allem das energetische Konzept vollkommen auf die klimaaktive Fassade abgestimmt wurde, hat uns die mangelnde Eignung des Ziegelsplitbetons überrascht. Wir mussten deshalb zu einem konstruktiven Umweg greifen und befestigen die Fassade nunmehr geschossweise mit einer durch die Wand gehenden Verankerung in die Geschossdecke. Diese Verankerung liegt oberhalb der Decken im Bereich des Bodenaufbaues. Das bedingt, dass

wir die Fassade mit einem zusätzlichen senkrechten Rost aus Alu-Rohren versehen mussten. Die Fassadenarbeiten wurden dann zu einem weitaus höheren Preis vergeben als ursprünglich kalkuliert. Die Größenordnung der Kostenüberschreitung kann hier in den Gewerken Stahlbau mit ca. 160.000€ beziffert werden gegenüber der ursprünglichen Kostenschätzung. Das gleiche Problem trat auch bei sämtlichen Geländern der Fenster und Loggien auf - auch hier musste eine aufwändige Unterkonstruktion entwickelt werden.

In den technischen Vergabegesprächen wurden später seitens der Bauleitung, Herrn Peter Schreibweis, Bedenken hinsichtlich der Tragfähigkeit der Fassadenkonstruktion geäußert. Nach ausgiebiger Prüfung der Konstruktion räumte der verantwortliche Statiker Herr Stanomir ein, dass die von ihm gewählte Konstruktion tatsächlich Mängel hinsichtlich der erforderlichen Stabilität aufweise. Nach Ertüchtigung der bisher geplanten Konstruktion ergaben sich erneut Mehrkosten i.H.v. 110.000 €.

#### **Probleme mit dem Dachaufbau**

Beim Öffnen des Flachdaches fanden wir statt erwarteter Dämmungen diverse Schichten von Sand und Splittschüttungen, die zunächst abgetragen werden mussten. Um das Dach entsprechend vorzubereiten, wurden weitere Arbeiten nötig die mit ca. 30.000 € zu beziffern sind.

Im gleichen Gewerk hatte Gerber Baumanagement die Dämmung, sowie die Holz-Verkleidung im Bereich der geplanten Loggien nicht ausgeschrieben. Durch diesen zeitlichen Verzug fielen erneut ca 60.000 € zusätzlich an.

#### **aktualisierte Kostenberechnung nach DIN 276 vom 03.02.2012**

Eine aktualisierte Kostenberechnung wurde am 03.02. 2013 an die Bauherrenschaft übergeben. In dieser waren nun Geamtkosten i.H.v. 2.388.958 € beschrieben, entsprechend einer Differenz gegenüber der ursprünglichen Schätzung von ca 215.000 €.

#### **mangelnder Schallschutz**

Im weiteren Projektverlauf ergaben sich erneute Kostensteigerungen aufgrund eines exorbitant schlechten schalltechnischen Zustandes der Wohnungen. Während der Bauarbeiten wurde deshalb gemeinsam mit der GBG entschieden an sämtlichen Innenwänden den Putz abzuschlagen, um diese z.T. mit Vorsatzschalen und speziellen Putzaufträgen zu ertüchtigen. durch diese Maßnahmen erhöhten sich die Abrissarbeiten sowie Trockenbauarbeiten empfindlich gegenüber der Gesamtsumme um ca. 180.000€. Nötig war diese Maßnahme vor allem, weil der bestehende Schallschutz nicht dem heutigen Stand der Technik entspricht. Eine hohe Schallüber-



tragung zwischen den Wohnungen sollte unbedingt vermieden werden. Aus ähnlichen Gründen resultierte auch eine Änderung des Estrich-Aufbaus, sowie des Bodenbelages. Elektroleitungen mussten z.T. auf dem Rohboden verlegt werden, da ein Verlegen in der Wand nicht zielführend gewesen wäre, aufgrund der Probleme des Schallschutzes. Die Anpassung des Bodenaufbaus erhöhte die Kosten um ca 20.000 €.

### **barrierearme Erschliessung**

Im Haus befindet sich ein Aufzug, der die Wohngeschosse barrierearm erschliesst, nicht jedoch den Niveau-Unterschied zwischen Straße und Erdgeschoss ausgleicht. Ein zweiter Aufzug vor dem Haus, der den barrierearmen Zugang zum Haus ermöglicht, kam nach Baugbeginn.

Der Schacht und die zugehörigen Rohbauarbeiten für diesen Anbau belaufen sich auf ca. 50.000 € und waren ausdrücklicher Wunsch der Bauherrenschaft, auch im Hinblick auf mögliche Vermarktungsstrategien für dieses Projekt. Die Wohnung sind barrierearm.

### **Attikaverkleidung**

Ebenso wurde seitens der Bauherrenschaft der Wunsch geäußert, die Attikaverkleidung mit Trespa auszuführen. Dies erzeugte Mehrkosten von ca 10.000 €

### **Fazit**

Die Mehrkosten von 499.748,34 € im Vergleich zu der mit der Bauherrenschaft abgestimmten Kostenkalkulation vom 03.03.2011 sind Neu- und Umplanungen in Kostengruppe 300 geschuldet. Mehrkosten durch die schlechte Bausubstanz fielen an in der Fassadenkonstruktion, bei Dacharbeiten, Estrich- und Gipserarbeiten. Mehrkosten durch Planänderungen ergaben sich durch die Aufzugsanlagen, den Eingangsbereich und großzügigere Wanddurchbrüche. Die Kosten für die Gebäudetechnik in Kostengruppe 400 weichen nicht von der ursprünglichen Kostenschätzung ab.

Ohne die aufwändige Fassadenbefestigung, die letztlich nur eine Folge der schlechten statischen Belastbarkeit der Bestandsaußenwand darstellt, wären die Kosten der Fassade i.H.v 131.000 € durchaus vergleichbar gewesen mit den Kosten eines klassischen Wärmedämmverbundsystemes.

### Nachtrag 1: Vergleichbarkeit der Fassaden- konstruktion

#### Die Fassade am Punkthaus

Die Fassade am Punkthaus ist nur schwer mit einer anderen Fassade vergleichbar. Es handelt sich bei der Polycarbonatfassade um Luftkollektoren, die die Sonnenenergie einsammeln und als Wärme nutzbar machen. Ein direkter Vergleich dieser Konzeption mit z.B. einem WDVS ist sehr schwer herstellbar, insbesondere bei dem Projekt in Mannheim, da die Baukosten aufgrund der schlechten Bausubstanz bei ca 310 €/m<sup>2</sup> lagen, anstatt den ursprünglich kalkulierten 138,45 €/m<sup>2</sup>.

Rein rechnerisch ist es möglich ein Referenzgebäude zu betrachten, welches mit dem Punkthaus in seinen Dimensionen identisch ist und als Passivhaus errichtet wurde. Ein solcher Vergleich ist jedoch nur bedingt belastbar, da im Rahmen des Forschungsprojektes kein Passivhaus modelliert werden kann und somit starke, theoretische Vereinfachungen in der Gebäudekonzeption unausweichlich sind.

Die simulierten 11 kw/m<sup>2</sup>a Heizwärmebedarf werden beim Mannheimer Punkthaus über einen Fernwärmeanschluß gedeckt, weil sich dies in Mannheim anbot. Ein Passivhaus basiert im Regelfall auf einer Wärmepumpen Konzeption, die die Wärme aus einer Umweltenergie gewinnt, z.B. Geothermie, Eisspeicher. Um die Vergleichbarkeit des Punkthauses mit einem Passivhaus besser herstellen zu können, ist es sinnvoll das Punkthaus statt als Fernwärmekonzeption, ebenfalls als Wärmepumpenbasiertes Konzept zu betrachten, da hier die Auslegung der Anlage, sowie die Technik in etwa identisch wäre. Die Energiebereitstellung wird als Blackbox betrachtet. Die Luftkollektor-Fassade des Punkthauses könnte dann mit 138,45 €/m<sup>2</sup> Gegenüber einer Passivhausfassade mit ca 130 €/m<sup>2</sup> betrachtet werden, wobei bei beiden Varianten die Fassade komplett zu sehen ist, also inklusive Montage, Abdichtungen, Aufhängungen usw.. Für den Vergleich gehen wir des Weiteren davon aus, dass die Fenster

sich neutral verhalten: Die Mini-Wärmerückgewinnungsanlagen die über jedem Fenster sitzen gleichen den Kostenfaktor zu den teureren Passivhausfenstern aus.

Auf Grundlage dieser Konzeption kann man nun den Energiebedarf des Punkthauses, sowie den des Referenzhauses über die nächsten Jahre ermitteln. Der Kostenvorteil der Luftkollektorfassade wird rein rechnerisch nach 22 Jahren sichtbar, wobei die Realität vermutlich besser aussieht, weil das Passivhaus stark vereinfacht betrachtet wurde.

### 1. Flächenermittlung

Wohnfläche	908,1 m <sup>2</sup>
Energiebezugsfl. A <sub>N</sub>	1102 m <sup>2</sup>
Fassadenfläche:	1323,2 m <sup>2</sup>
Fassadenfläche. o. F.	1091 m <sup>2</sup>

<b>2. Kosten der Fassade:</b>	ursprünglich	tatsächlich:
Fassade+Unterkonstruktion	131.550,00 €	214.377,79 €
<i>Metallbau Nachtrag (Pos. N1-N6, N9, N10)</i>		<i>96.584,00 €</i>
Dämmung Nordseite	19.500,00 €	24.923,00 €
<b>Gesamtkosten Fassade:</b>	<b>151.050,00 €</b>	<b>335.884,79 €</b>

### 3. Vergleich mit einem klassischen WDVS und dem Passivhausstandard

	Kosten, Fassade		Heizwärmebedarf	Heizenergie	Endenergie	Anteil COP	Anteil Strom	Kosten	10 Jahre	20 Jahre	Gesamtkosten
EnEv 2012/WDVS	65 €/m <sup>2</sup>	70.915,00 €	60 kW/m <sup>2</sup> a	66120 kW/a	79344,0 kW/a	3,2	24795,00 kWh/a	5950,80 €/a	127.222,73 €	195.994,89 €	
Passivhaus Variante	130 €/m <sup>2</sup>	141.830,00 €	15 kW/m <sup>2</sup> a	16530 kW/a	19836,0 kW/a	3,2	6198,75 kWh/a	1487,70 €/a	155.906,93 €	173.099,97 €	
Punkthaus	307,87 € €/m <sup>2</sup>	335.884,79 €	11 kW/m <sup>2</sup> a	12122 kW/a	14546,4 kW/a		<i>Fernwärme</i>	<i>858,24 €/a</i>	343.997,03 €	353.915,51 €	
<b>Punkthaus**</b>	<b>138,45 € €/m<sup>2</sup></b>	<b>151.050,00 €</b>	<b>11 kW/m<sup>2</sup>a</b>	<b>12122 kW/a</b>	<b>14546,4 kW/a</b>		<i>Fernwärme</i>	<i>858,24 €/a</i>	159.162,24 €	169.080,72 €	
<b>Punkthaus mit WP***</b>	<b>138,45 € €/m<sup>2</sup></b>	<b>151.050,00 €</b>	<b>11 kW/m<sup>2</sup>a</b>	<b>12122 kW/a</b>	<b>14546,4 kW/a</b>	<b>3,2</b>	<b>4545,75 kWh/a</b>	<b>1090,98 €/a</b>	<b>169.530,89 €</b>	<b>173.981,31 €</b>	
Faktor Nutz zu Endenergie:	1,2										
angenommener Strompreis:	0,24 €/kwh		Teuerung:	1 % p.a.							
angenommener Fernwärmepri:	0,059 €/kwh										

\*) Der Vergleich betrachtet die reinen Fassadenkosten bei verschiedenen Konzepten und vergleicht sie mit den Energiekosten in den nächsten 10/20/30 Jahren..

\*\*) Die Fassadenkosten wurden hier mit den ursprünglich kalkulierten 131000 € angesetzt. Aufgrund der unvorhersehbaren schlechten Bausubstanz konnten diese Kosten nicht gehalten werden.

Zur Vergleichbarkeit wurde angenommen, dass sowohl das Passivhaus, als auch das EnEv Haus den Heizenergiebedarf mittels Wärmepumpe decken. Es wurden außerdem keine Kosten für Fenster & Gebäudetechnik berücksichtigt.

### 4. Amortisationszeiten, bei einem Fassadenpreis von: 138,45 €/m2

a) Punkthaus mit Fernwärme vs EnEv	b) Punkthaus mit Fernwärme vs EnEv	c) Punkthaus mit WP vs Passivhaus
<b>Mehrinvestition Fassade</b>	<b>Mehrinvestition ggüber Passivhaus</b>	<b>Mehrinvest Passivhaus, mit WP</b>
<b>80.135,00 €</b>	<b>9.220,00 €</b>	<b>9.220,00 €</b>

Energiekostensparnis nach Jahren:

1	5.152,07 €	644,34 €	400,69 €
2	10.346,99 €	1.286,45 €	805,38 €
3	15.593,87 €	1.934,99 €	1.214,12 €
4	20.893,21 €	2.590,01 €	1.626,95 €
5	26.245,54 €	3.251,58 €	2.043,91 €
6	31.651,40 €	3.919,77 €	2.465,03 €
7	37.111,31 €	4.594,64 €	2.890,37 €
8	42.625,83 €	5.276,26 €	3.319,96 €
9	48.195,49 €	5.964,69 €	3.753,85 €
10	53.820,85 €	6.660,01 €	4.192,07 €
11	59.502,46 €	7.362,28 €	4.634,68 €
12	65.240,88 €	8.071,57 €	5.081,72 €
13	71.036,70 €	8.787,96 €	5.533,22 €
14	76.890,46 €	<b>9.511,51 €</b>	5.989,24 €
15	<b>82.802,77 €</b>	10.242,30 €	6.449,82 €
16	88.774,20 €	10.980,39 €	6.915,01 €
17			7.384,84 €
18			7.859,38 €
19			8.338,66 €
20			8.822,73 €
21			<b>9.311,65 €</b>
22			9.805,45 €

**Nachtrag 2:  
Details Dachanschluß**

Nachfolgend sind die Details zum Dachanschluß im Maßstab 1:10. Der Originalmaßstab der Pläne beträgt 1:5.

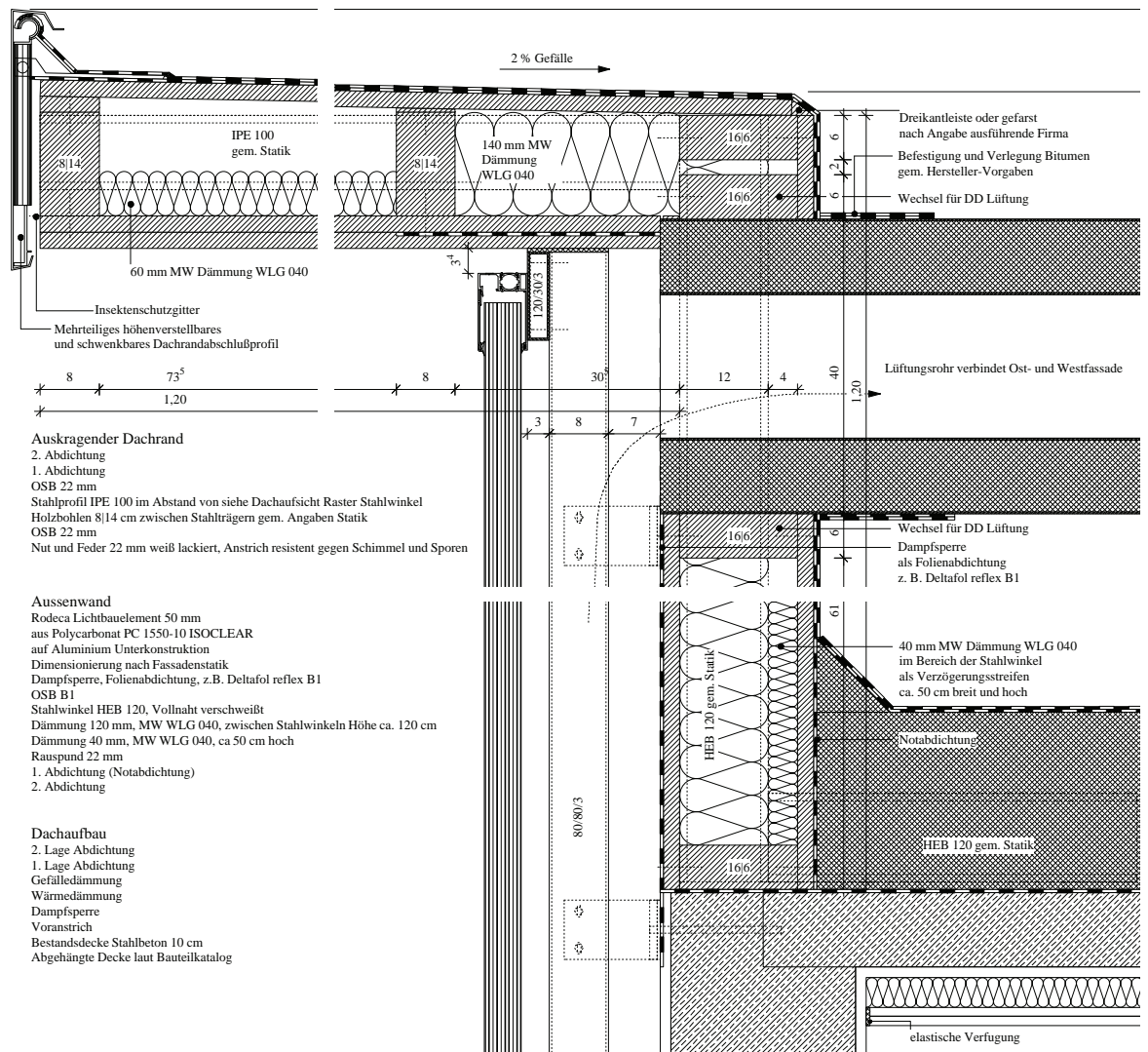


Abb. 47:  
Detail des Dachanschlusses  
mit Lüftungsleitung

M 1 : 10  
Quelle:  
Fondation Kybernetik

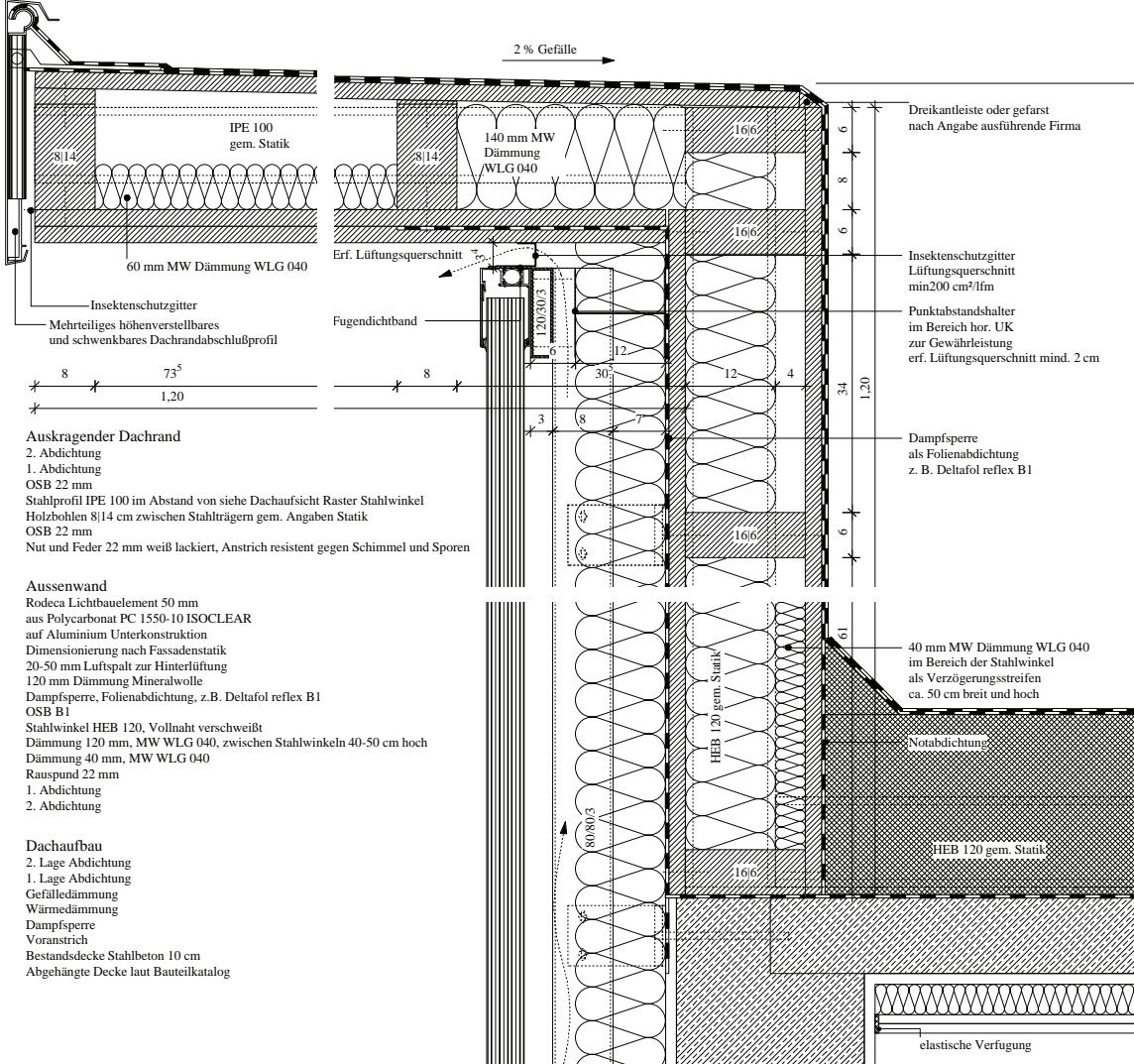


Abb. 48:  
Detail des Dachanschlusses mit geschlossenem Anschlusspunkt

M 1 : 10

Quelle:  
Fondation Kybernetik

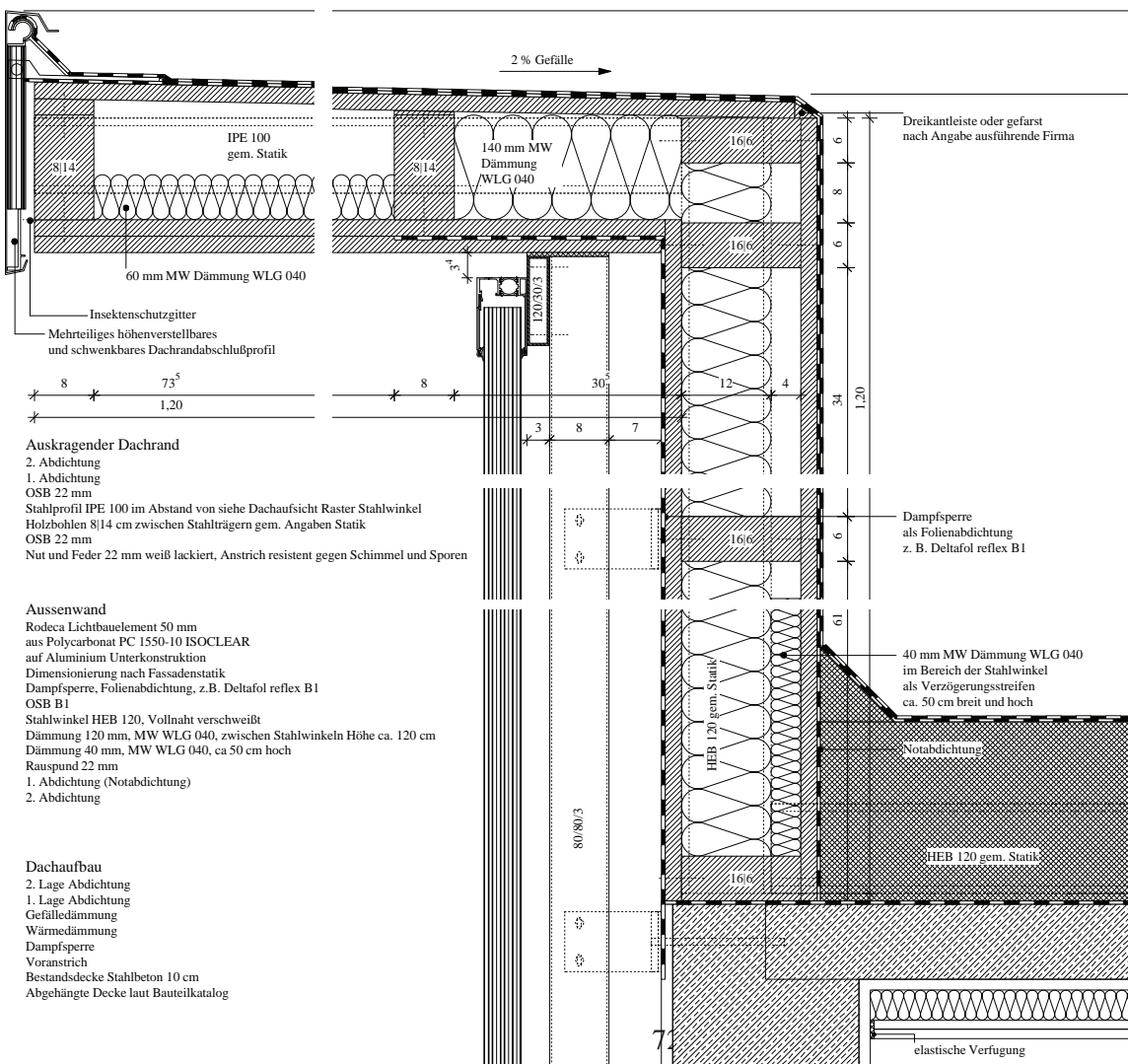


Abb. 49:  
Detail des Dachanschlusses mit Entlüftungsschlitz an der Fassade

M 1 : 10

Quelle:  
Fondation Kybernetik



**Nachtrag 3:  
Ventilationskonzept**

**Winterlüftung**

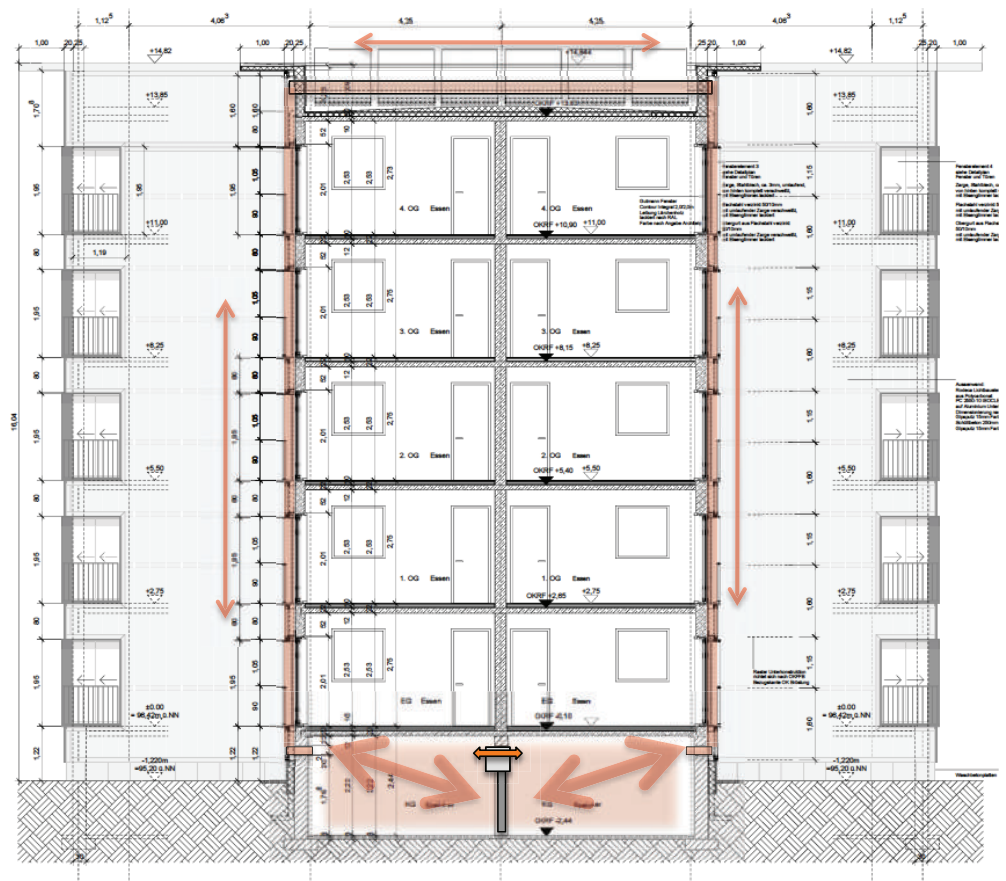


Abb. 50:  
Schematische Darstellung  
der Fassade im Winter

Quelle: Balck+Partner

Die bestehende Außenwand wird um eine transluzente Haut aus Polycarbonat mit einem UWert von  $0,83W/m^2K$  und eine dahinter liegende zirkulierende Luftschicht ergänzt.

Dieser „Kamin“ ist über ein Leitungssystem mit einer locker geschichteten Speichermasse im Keller und über das Dach verbunden. So entsteht eingeschlossenes Luftsystem, welches unterstützt durch Ventilatoren als Schwerkraftbeschleuniger die Energie der Sonneneinstrahlung im Winterfall morgens (Sonne im Osten) und abends (Sonne im Westen) auf die gesamte Gebäudeaußenfläche gleichmäßig verteilt.

## Sommerlüftung

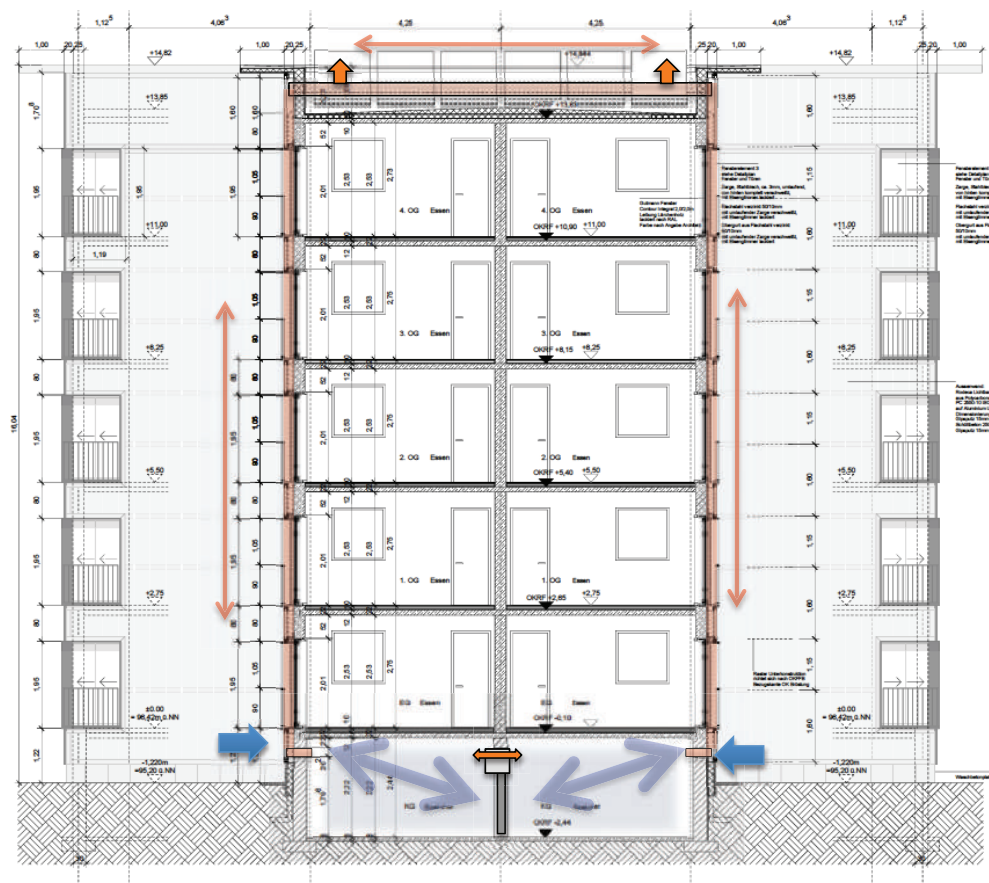


Abb. 51:  
Schematische Darstellung  
der Fassade im Sommer

Quelle: Balck+Partner

Am Fuß der Fassade wird Außenluft über Folienklappen in den Fassadenzwischenraum eingesaugt und auf dem Dach über geöffnete Klappen entlüftet.

Die Speichermasse im Keller (der geschichtete Stinspeicher, vgl. Abschlussbericht S.31f) kann die bei Nacht eingelagerte Erdkühle über die gesamte Gebäudeaußenfläche zur Kühlung über das System verteilen. Durch die Ventilatoren wird die Luft im Fassadenzwischenraum bewegt.

### Die eingesetzten Ventilatoren

Es wurden im Untergeschoss zwei Ventilatoren eingebaut mit variabler Luft- richtung. Die Ventilatoren werden im Winter eingesetzt, wenn die Tempera- tur auf einer Seite der Fassade höher ist als auf der gegenüberliegenden.

Die Leistung ist pro Ventilator 0,15/0,81 kW

Bei einer Betriebszeit von je 100 h/a ergibt dies einen Elektroenergiebedarf von ca. 100 kWh/a und einen Primärenergiebedarf von 240 kWh/a



Abb. 52:  
Artikeldatenblatt & Foto  
des eingesetzten Ventila-  
tors.

Quelle: Balck+Partner

Artikelnummer	407								
Artikeltyp	HRFD 500/8/4								
Artikelbezeichnung	Axial-Hochleistungsventilator 3-PH, polumschaltbar,Dahlander								
Ist Druck	statisch								
Ist Volumen									
Max.Volumen	8140 m³/h								
Drehzahl	690 / 1380 min-1								
Strom unregelt	0.55 / 1.60 A								
Anlaufstrom unregelt	6.4 A								
Leistung	0.15 / 0.81 kW								
Spannung	400 V / 3 ph / 50 Hz								
Max. Temp.	40 °C								
Anschlußschemanr.	472								
Gewicht	18.20 kg								
Lieferzeit	Ab Lager								
<b>Geräuschangaben:</b>									
Luftgeräusch	65 in 4 m								
Gehäuseabstrahlung									
<b>Schallspektrum</b>	<b>Hz</b>	<b>Ges.</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1k</b>	<b>2k</b>	<b>4k</b>	<b>8k</b>
Lwa Saugseite	dB(A)	85	71	75	82	79	77	72	63
Lwa Druckseite	dB(A)	0	0	0	0	0	0	0	0
Lwa Abstrahlung	dB(A)	0	0	0	0	0	0	0	0

#### **Nachtrag 4: Monitoring**

##### **Vorbereitungen zum Monitoring**

Um ein belastbares Monitoring-Konzept aufzustellen, bedarf es einer intensiven Planung. Insbesondere die Mess- und Regelechnik spielt hier eine entscheidende Rolle, da der Wasserverbrauch in die einzelnen Positionen aufgesplittet werden muss: Warmwasserverbrauch für die Heizung, sowie (Warm-)wasserverbrauch für die Nutzung durch Mieter. Dazu ist es nötig komplexe Messtechnik in der Gebäudetechnik zu installieren, deren exakte Position derzeit in Zusammenarbeit mit der Fa. Diephold Mess und Regeltechnik, Haßloch ermittelt wird.

In regelmässig stattfindenden internen Projektsitzungen werden mögliche Konzepte derzeit besprochen und unter Hinzunahme aller Beteiligten diskutiert und erörtert.

## Nachtrag 5: Energieausweis

# ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

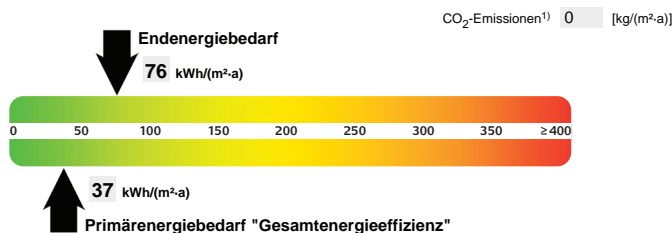
gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

Berechneter Energiebedarf des Gebäudes

Lilienthalstraße 232, 68307 Mannheim

2

### Energiebedarf



#### Anforderungen gemäß EnEV<sup>2)</sup>

##### Primärenergiebedarf

Ist-Wert 37 kWh/(m<sup>2</sup>·a) Anforderungswert 140 kWh/(m<sup>2</sup>·a)

##### Energetische Qualität der Gebäudehülle H<sub>T</sub>

Ist-Wert 0,48 W/(m<sup>2</sup>·K) Anforderungswert 0,70 W/(m<sup>2</sup>·K)

Sommerlicher Wärmeschutz (bei Neubau)  eingehalten

#### Für Energiebedarfsberechnungen verwendetes Verfahren

Verfahren nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10

Verfahren nach DIN V 18599

Vereinfachungen nach § 9 Abs. 2 EnEV

### Endenergiebedarf

Energieträger	Jährlicher Endenergiebedarf in kWh/(m <sup>2</sup> ·a) für			Gesamt in kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
	Heizung	Warmwasser	Hilfsgeräte <sup>4)</sup>	
KWK Fernwärme Stadtwerke	60,1	15,6	0,0	75,7
Strom-Mix	0,0	0,0	0,2	0,2

### Ersatzmaßnahmen<sup>3)</sup>

#### Anforderungen nach § 7 Nr. 2 EEWärmeG

Die um 15% verschärften Anforderungswerte sind eingehalten.

#### Anforderungen nach § 7 Nr. 2 i.V.m. § 8 EEWärmeG

Die Anforderungswerte der EnEV sind um % verschärft.

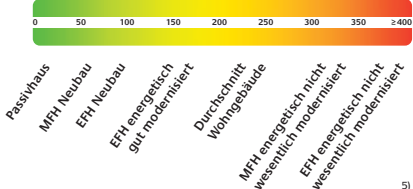
##### Primärenergiebedarf

Verschärfter Anforderungswert: 119 kWh/(m<sup>2</sup>·a)

Transmissionswärmeverlust H<sub>T</sub>

Verschärfter Anforderungswert: 0,60 W/(m<sup>2</sup>·K)

### Vergleichswerte Endenergiebedarf



### Erläuterungen zum Berechnungsverfahren

Die Energieeinsparverordnung lässt für die Berechnung des Energiebedarfs zwei alternative Berechnungsverfahren zu, die im Einzelfall zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Insbesondere wegen standardisierter Randbedingungen erlauben die angegebenen Werte keine Rückschlüsse auf den tatsächlichen Energieverbrauch. Die ausgewiesenen Bedarfswerte sind spezifische Werte nach der EnEV pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche (A<sub>N</sub>).

<sup>1)</sup> Freiwillige Angabe <sup>2)</sup> bei Neubau sowie bei Modernisierung im Fall des § 16 Abs. 1 Satz 2 EnEV <sup>3)</sup> nur bei Neubau im Falle der Anwendung von § 7 Nr. 2 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz <sup>4)</sup> Ggf. einschließlich Kühlung <sup>5)</sup> EFH: Einfamilienhäuser, MFH: Mehrfamilienhäuser





## Quellennachweis

Robert Häusser: 75 Jahre GBG - Mannheimer Wohnungsbaugesellschaft mbH: 1926 - 2001. Mannheim: Edition Quadrat, 2001

Hegger, M. et al.: Energie Atlas. Nachhaltige Architektur. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser, 2008

Pfeifer, Günter: Freistehende Häuser. Eine Wohnbautypologie. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag AG, 2010

Pfeifer, Günter: Stadthäuser. Eine Wohnbautypologie. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag AG, 2008

Schittlich, Christian (Hrsg.): Gebäudehülle. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag, 2001

Prüfbericht zur Bohrkernentnahme zur Bestimmung der Bauwerksfestigkeit, Knecht Beton- und Bodenprüfstelle

Ergebnisbericht Computersimulation zur Entwurfsoptimierung, Balck + Partner FacilityEngineering

Untersuchungsbericht zum Originalbrandversuch nach den Zulassungsgrundsätzen des DIBt, MFPA Leipzig GmbH

## **Anlagen**

**1. ursprüngliche Kostenschätzung vom 23.08.2011**

**2. Kostenverfolgung**

**3. Plan Untergeschoss, mit Steinspeicher und Lüftungsanlagen, M 1:50**

Punkthaus Mannheim  
Lilienthalstrasse 232  
BGF: 1562,7 m<sup>2</sup>  
WFL: 908,1 m<sup>2</sup>

Ausführungsarten-bezogene Kostenkennwerte für die Kostengruppen der 3. Ebene DIN 276 KG 300+400+500

A	B	H	I	J	L	M
Nummer	Kostengruppe	Kostenschätzung brutto	Stand 03.02.2012 brutto	Stand 22.06.2012 brutto	Stand 08.11.2012 brutto	Mehr- und Minderkosten bezogen auf 03.02.2012
1						
2	<b>Bauwerk – Baukonstruktionen</b>	<b>1.122.858,76 €</b>	<b>1.434.274,33 €</b>	<b>1.583.573,09 €</b>	<b>1.841.139,13 €</b>	<b>-406.864,80 €</b>
3	Abbruch- und Rohbauarbeiten	260.680,58 €	260.680,58 €	254.351,41 €	254.351,41 €	6.129,17 €
52	Abbruch- und Rohbauarbeiten – Nachtrag 1		30.000,00 €	83.877,45 €	83.877,45 €	-53.877,45 €
54	Abbruch- und Rohbauarbeiten – Nachtrag 2				51.571,14 €	-51.571,14 €
55	Gebäudereinigung				3.253,26 €	-3.253,26 €
56	Gerüst	12.935,00 €	40.000,00 €	40.000,00 €	40.000,00 €	0,00 €
59	Auflzug	62.000,00 €	55.000,00 €	62.951,00 €	62.951,00 €	-7.951,00 €
63	Energieartenverglasung	54.000,00 €	62.877,30 €	61.447,91 €	62.677,30 €	0,00 €
66	Fassade	131.550,00 €	208.849,76 €	208.324,26 €	214.377,79 €	-5.528,03 €
69	Abbruch Dach	10.114,20 €	30.000,00 €	0,00 €	0,00 €	30.000,00 €
74	Fenster	191.610,00 €	131.026,14 €	154.963,55 €	154.963,55 €	-23.937,41 €
82	Dachabdichtung, Dachdeckung	89.387,50 €	117.308,25 €	96.565,56 €	96.565,56 €	20.742,69 €
89	Dachdecker Grünwald – Nachtrag				8.000,00 €	-8.000,00 €
90	Dachabdichtung, Dachdeckung – Nachtrag				10.210,66 €	-10.210,66 €
91	Abdichtung Loggien			50.000,00 €	75.000,00 €	-75.000,00 €
97	Maler Dämmung Fassade	19.500,00 €	24.923,36 €	24.923,36 €	24.923,36 €	0,00 €
100	Metalbau Teil 1	37.320,00 €	122.719,94 €	254.051,91 €	256.604,46 €	-133.884,52 €
104	Metalbau Teil 2	2.100,00 €		16.222,08 €	16.222,08 €	-16.222,08 €
107	Metalbau Teil 2 – Nachtrag 1				16.127,24 €	-16.127,24 €
108	Metalbau Teil 2 – Nachtrag 2				2.000,00 €	-2.000,00 €
109	Trockenbauarbeiten	75.243,00 €	140.000,00 €	119.964,86 €	119.964,86 €	20.035,14 €
115	Trockenbauarbeiten – Nachtrag 1				80.000,00 €	-80.000,00 €
116	Fliessen	14.916,75 €	30.000,00 €	14.925,28 €	14.925,28 €	15.074,72 €
120	Fliessen Nachtrag 1				6.000,00 €	-6.000,00 €
121	Estrich	22.673,00 €	22.673,00 €	30.229,36 €	35.229,36 €	-12.556,36 €
125	Bodenbelag	50.100,00 €	50.100,00 €	66.316,00 €	30.643,39 €	19.456,61 €
128	Tischlerarbeiten	66.316,00 €	66.316,00 €	66.316,00 €	26.465,60 €	39.850,40 €
135	Beschläge	646,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €	0,00 €
139	Maler- und Tapezierarbeiten innen	21.766,73 €	40.000,00 €	25.759,10 €	25.759,10 €	14.240,90 €
146	Unvorhergesehenes			16.500,00 €	36.275,28 €	-36.275,28 €
147	Kellertrennwände			Angebot Braun	4.652,90 €	
148	Betonwerksteinarbeiten			Angebot Klemmer	9.522,38 €	
149	Fensterbänke Treppenhaus neu			Angebot Klemmer enth.	0,00 €	
150	Treppenhänge polieren und schleifen			Angebot Klemmer enth.	0,00 €	
151	Türschwellen Eingangsbereich			Angebot Klemmer enth.	0,00 €	
152	Revisionsöffnung Badwand			Angebot Herrwerth	12.500,00 €	
153	Stahltüren KG				6.000,00 €	
154	Decken verputzen in Q3 oder Raufasertapete				3.600,00 €	
155	Geländerverbesserung Treppenhaus			im NA enth.	0,00 €	
156	Stahlstützen Verkleidung			im NA enth.	0,00 €	
157	Lüftungsklappe Börner			im HA enth.	0,00 €	
158	Deckel im Bereich Attika			im NA enth.	0,00 €	
159	<b>Unvorhergesehene Maßnahmen</b>				<b>30.000,00 €</b>	<b>-30.000,00 €</b>
160						

Punkthaus Mannheim  
Lilienthalstrasse 232

BGF: 1562,7 m²

WFL: 908,1 m²

Ausführungsarten-bezogene Kostenkennwerte für die Kostengruppen der 3. Ebene DIN Z76 KG 300-400+500

	A	B	H	I	J	L	M
161	<b>400</b>	<b>Bauwerk – Technische Anlagen</b>	<b>449.961,79 €</b>	<b>449.961,79 €</b>	<b>400.154,54 €</b>	<b>438.489,97 €</b>	<b>11.471,82 €</b>
162		Sanitär – Fa. Kiss – vergeben	118.019,98 €	140.443,77 €	81.270,03 €	81.270,03 €	
163		Wärmeversorgung – Fa. Ermy – vergeben	129.177,76 €	153.721,54 €	118.050,44 €	118.050,44 €	
164		RLT – Fa. IMV – vergeben	60.739,74 €	72.280,29 €	66.832,99 €	66.832,99 €	
165		Elektro	98.239,74 €	116.905,29 €	90.216,51 €	90.216,51 €	
166		MSR Gebäudeautomation	43.784,57 €	52.103,64 €	43.784,57 €	57.120,00 €	
167		Beleuchtung außen				25.000,00 €	
168							
169	<b>500</b>	<b>Außenanlagen</b>	<b>50.000,00 €</b>	<b>50.000,00 €</b>	<b>50.000,00 €</b>	<b>50.000,00 €</b>	<b>0,00 €</b>
190	<b>700</b>	<b>Baunebenkosten</b>	<b>454.722,68 €</b>	<b>454.722,68 €</b>	<b>515.772,68 €</b>	<b>559.078,04 €</b>	<b>-104.355,36 €</b>
191	720	Vorbereitung der Objektplanung – DBU-Anteile	23.767,57 €	23.767,57 €	23.767,57 €	23.767,57 €	0,00 €
205	730	Architekten- und Ingenieurleistungen	430.955,11 €	430.955,11 €	492.005,11 €	535.310,47 €	-104.355,36 €
206		TU Darmstadt Teil 1+2	229.000,00 €	229.000,00 €	155.000,00 €	155.000,00 €	74.000,00 €
207		TU Darmstadt Bauleitung			39.900,00 €	39.900,00 €	-39.900,00 €
208		TU Darmstadt Teil 1b+c			60.150,00 €	60.150,00 €	-60.150,00 €
209		Bauleitung Schreibweis			35.000,00 €	73.936,54 €	-73.936,54 €
210		HLSE	113.345,73 €	113.345,73 €	113.345,73 €	113.345,73 €	0,00 €
211		Statik	38.299,00 €	38.299,00 €	38.299,00 €	38.299,00 €	0,00 €
212		Prüfstatik	35.000,00 €	35.000,00 €	35.000,00 €	15.000,00 €	20.000,00 €
213		Genehmigungsgebühr	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €	0,00 €
214		Akustik	5.310,38 €	5.310,38 €	5.310,38 €	5.310,38 €	0,00 €
215		Sigeko				2.975,00 €	-2.975,00 €
216		Vermessung				2.975,00 €	-2.975,00 €
217		Vermessung Fassade				3.808,00 €	-3.808,00 €
218		Vermessung Fassade				3.498,60 €	-3.498,60 €
219		Vermessung Aufzug				1.516,06 €	-1.516,06 €
220		Abslimmung Kfz Antrag				4.599,35 €	-4.599,35 €
221		Rücknahme Baugenehmigung				856,80 €	-856,80 €
222		Baugenehmigung				2.259,81 €	-2.259,81 €
223		VOB Elektro MSR				1.880,20 €	-1.880,20 €
224							
227	<b>IST</b>	<b>Bausumme 300+400+500+700</b>	<b>2.172.000,00 €</b>	<b>2.388.958,79 €</b>	<b>2.549.500,31 €</b>	<b>2.888.707,14 €</b>	<b>-499.748,34 €</b>
228		<b>Bausumme 300+400+500+700/WFL (908,1 m²)</b>	<b>2.391,81 €</b>	<b>2.630,72 €</b>	<b>2.807,51 €</b>	<b>3.181,05 €</b>	<b>-33,00%</b>

