

1. Schweizerischer Wohn- und Gewerbebau im Passivhausstandard



Ausgearbeitet durch

Werner Setz, Architekturbüro Setz, Obermatt 33, 5102 Rupperswil

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

Dezember 2003

Auftraggeber:

Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden
Bundesamtes für Energie

Auftragnehmer:

Architekturbüro Setz
Obermatt 33
5102 Rapperswil
062 889 22 60
info@setz-haus.ch

Autoren:

Werner Setz

Begleitgruppe:

H. Bertschinger, P&D Verantwortlicher Programm Gebäude, EMPA/ZEN
A. Eckmanns, Bereichsleiter Gebäude BFE
H. Huber, HTA Luzern, 6048 Horw (Erfolgskontrolle)

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogrammes „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“ des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Vertrieb: BBL/EDMZ, 3003 Bern, www.admin.ch/edmoz

BBL/EDMZ Bestellnummer: 805.xxx (offen lassen)

Inhaltsverzeichnis

Seite

Inhaltsverzeichnis	3
1. Zusammenfassung	5
1.1. Einleitung	5
1.2. Hauptergebnisse	5
2. Ausgangslage	7
2.1. Zielvorgabe des Bauherrn	7
2.2. Grundstückssituation	7
2.3.1. Situation der Grundstückslage	8
3. Lösungsweg	9
3.1. Aussenraumkonzept	9
3.1.1. Umgebungsplan zum Aussenraumkonzept	10
3.2. Fassadenkonzept	11
3.3. Innenraumkonzept	12
3.4. Konstruktives Konzept	13
3.5. Bauphysikalisches Konzept	14
3.5.1. Lärmschutz	14
3.5.2. Baukonstruktion/Wärmeschutz	14
3.5.3. Fenster	16
3.5.4. Konstruktive Details	17
3.6. Energie und Haustechnik	19
3.6.1. Energiekonzept und Energiekennzahlen	19
3.6.2. Heizung und Lüftung	20
3.7. Pläne	21
3.7.1. Grundrissplan Untergeschoss	21
3.7.2. Grundrissplan Erdgeschoss	22
3.7.3. Grundrissplan Obergeschoss	23
3.7.4. Grundrissplan Attikageschoss	24
3.7.5. Gebäudeschnitte	25

4.	Hauptergebnisse	27
4.1.	Vermietbarkeit	27
4.2.	Energieverbrauchsmessungen	27
4.3.	Nutzererfahrungen	27
4.3.1.	Innenraumtemperatur Winterfall	27
4.3.2.	Innenraumtemperatur Sommerfall	28
4.3.3.	Luftfeuchtigkeit	28
4.3.4.	Luftqualität	28
4.3.5.	Solare Energiegewinnung	28
4.3.6.	Aussenlärmbelastung	29
4.3.7.	Gemessener Energieverbrauch Heizung	29
4.3.8.	Mehrkosten	29
5.	Schlussfolgerungen	30
6.	Verzeichnisse	31
6.1.	Abbildungsverzeichnis	31
6.2.	Planverzeichnis	31
6.3.	Tabellenverzeichnis	32
6.4.	Schemaverzeichnis	32
7.	Anhang	33
	Erfolgskontrolle Energieverbrauch	
	Bericht Nr.: 414782 HTA Luzern	

1. Zusammenfassung

1.1. Einleitung

In Rapperswil steht das im Jahr 2000/2001 erstellte erste mehrgeschossige Passivhaus der Schweiz mit einer gemischten Nutzung (Wohnen/Büro).

Die Berechnungen zum Energieverbrauch wurden nach dem deutschen Passivhausstandard (Dr. Feist Darmstadt) erstellt.

Das dreigeschossige Wohn- und Bürogebäude steht an einer stark lärm- und luftschadstoffbelasteten Lage auf einem über lange Zeit scheinbar unverkäuflichem Grundstück.

Ziel war es, aufzuzeigen, dass der Passivhausstandard die Nutzer durch erhöhten Wohnkomfort und geringere Betriebskosten begünstigt und der Investor durch eine bessere Vermietbarkeit profitiert.

Das Ziel, vermietbare Wohnungen mit einer üblichen Rendite zu erstellen, wurde folgendermassen erreicht:

- Ungewöhnliche geographische Ausrichtung der Wohnungen Richtung Norden.
- Passivhausbauweise mit luft- und „schalldichter“ Gebäudehülle und der Komfortlüftung, verbunden mit geringen Betriebskosten.

1.2. Hauptergebnisse

- Das aus Sicht des Investors wichtigste Ziel, die Mieteinheiten vermieten zu können und dabei eine Rendite von 5.5% zu erzielen, kann als sehr positiv gewertet werden. Wurden doch an dieser problematischen Lage alle Wohneinheiten mit zwei Inseraten vermietet. Ausserdem ist in den vergangenen 2 ½ Jahren noch kein Mieterwechsel zu verzeichnen.
- Die ungewöhnliche Hauptorientierung der Wohnungen nach Norden hat sich bewährt und wird von den Wohnungsmietern nicht als Nachteil empfunden. Für die Büronutzer bringen die nordorientierten Wohnungen nur Vorteile.
- Die Innenraumtemperaturen bewegten sich im Winter- und Sommerfall immer innerhalb der Behaglichkeitsgrenze. In den Büroeinheiten war an heissen Sommertagen eine nächtliche Auskühlung durch querlüften erforderlich.
- Die Luftqualität und die vor Aussenlärm geschützten Innenräume sind für die Nutzer die wahrnehmbarsten Qualitätssteigerungen im Vergleich zu üblichen Wohnungen. Die tiefe Luftfeuchtigkeit (siehe Bericht HTA Kapitel 3.8. Tabelle 8) wurde von keinem Nutzer beanstandet.

- Eigentlicher Nachteil ist das fehlende Bewusstsein der Mieter zur Passivhaustechnik. Die Mieter bringen wenig bis gar kein Verständnis auf für solaren Energiegewinn und energieeffizient gebaute Wohnungen.
Dies zeigt sich an dem viel zu hoch ausgefallenen Energieverbrauch Heizung. Der Passivhaus-Kennwert von 15 kWh/m²a wurde mit 59 kWh/m²a deutlich überschritten (siehe Bericht HTA Kapitel 4.2.).
Es ist unumgänglich die Mieter über die in ihren Augen ungewöhnliche Gebäudetechnik gut zu informieren und sie auch zu begleiten.
- Die Daten und Erkenntnisse der Erfolgskontrolle zum Energieverbrauch findet sich im Anhang. Bericht Nr. 4/4782 der HTA Luzern, 6048 Horw.

2. Ausgangslage

2.1. Zielvorgabe des Bauherrn

Die Anforderungen an das Gebäude wurden vom Bauherrn folgendermassen definiert:

Zukunftsgerichteter Wohn- und Gewerbebau

- mit rund 1000 m² Geschossfläche
- mit Büro- und Wohneinheiten (gemischte Nutzung)
- mit einer Nutzungsflexibilität für Wohnung oder Büro
- in 2 Etappen realisierbar
- in preisgünstiger Ausführung
- in energieeffizienter Bauweise mit dem Ziel Passivhausstandard

2.2. Grundstücksituation

Das Grundstück liegt in einer stark Lärm- und Luftschadstoff belasteten Zone. Verschiedene Versuche, das Grundstück zu verkaufen schlugen fehl. Es galt praktisch als nicht verkäuflich.

Die Immissionen erfolgen südlich von der direkt am Grundstück angrenzenden Autobahn T5 mit einer Frequenz von täglich 34000 Fahrzeugen und von der nahe gelegenen Autobahn A1 Bern-Zürich. Östlich von der 4 Meter höher gelegenen 4-spurigen Verbindungsstrasse Rapperswil-Hunzenschwil, sowie süd-östlich vom gesamten Verkehrsknotenpunkt.

Nord- und westseitig jedoch ist freie Sicht auf den Grüngürtel der Landwirtschaftszone, einen nahegelegenen Wald, ein locker bebautes Einfamilienhausquartier und auf die Jurakette.

Diese aussergewöhnliche Grundstücksituation tragen dazu bei, in Bezug auf die Aussen- und Innenraumgestaltung von Gewohntem Abstand zu nehmen und Neues zu wagen.

Wir wollten uns dieser Herausforderung stellen um beispielhaft aufzuzeigen, dass auch bei kritischen Grundstücklagen durchwegs Projekte realisiert werden können, die die Wohnqualität nicht mindern sondern sogar erhöhen.

2.3.1. Situation der Grundstückslage

Abbildung 2-1

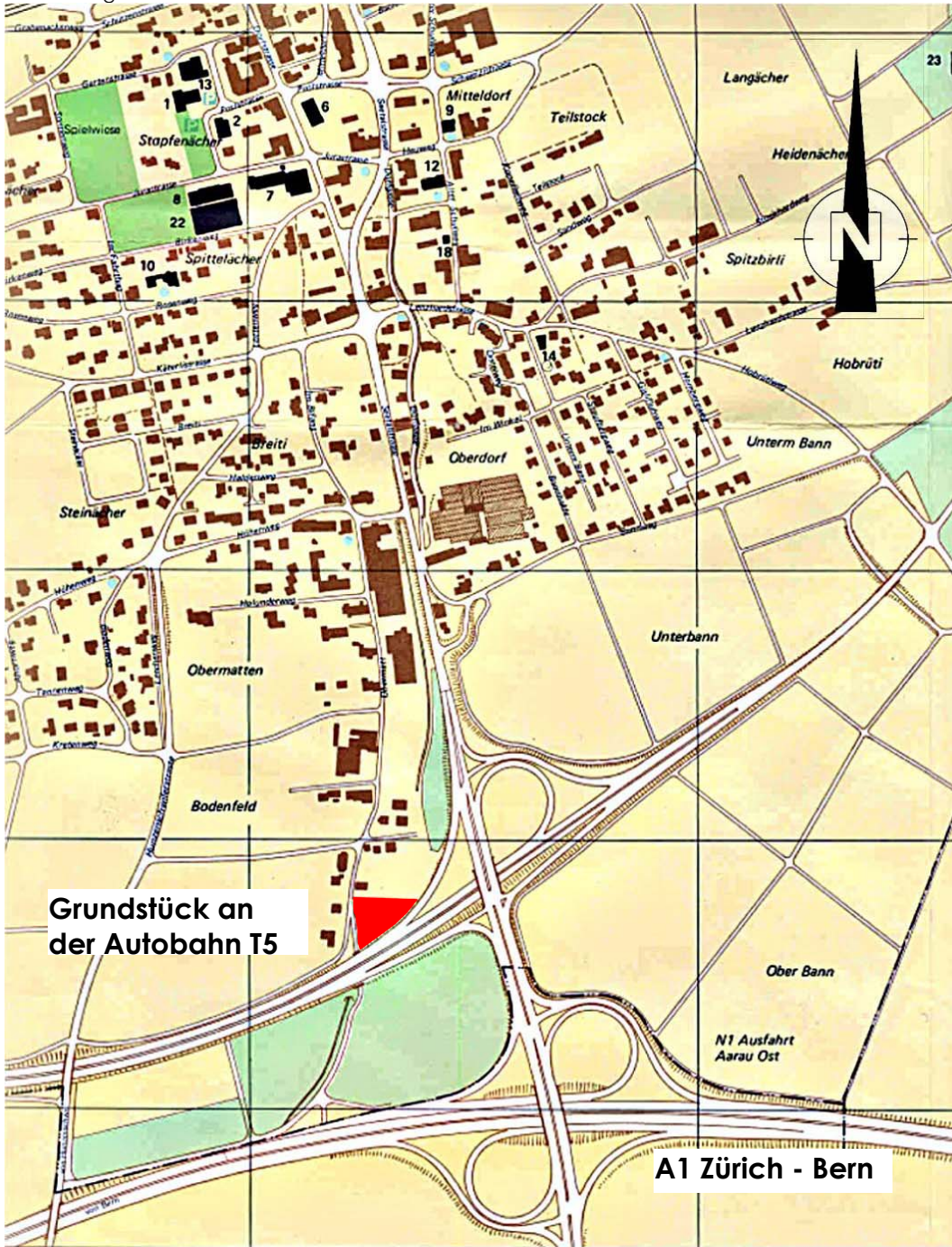


Abbildung 2-2



Blick nach Süden

Abbildung 2-3



Blick nach Norden

Abbildung 2-4



Blick nach Norden

3. Lösungsweg

3.1. Aussenraumkonzept

Das in ländlichen Gebieten des Kantons Aargau übliche Aussenraumkonzept sieht vor (wird teils auch von den Bauordnungen vorgeschrieben), dass der Grünflächenanteil (Garten) sowie die Aussenbereiche der Wohnungen (Balkone) auf der Süd- bis Südwestseite geplant werden.

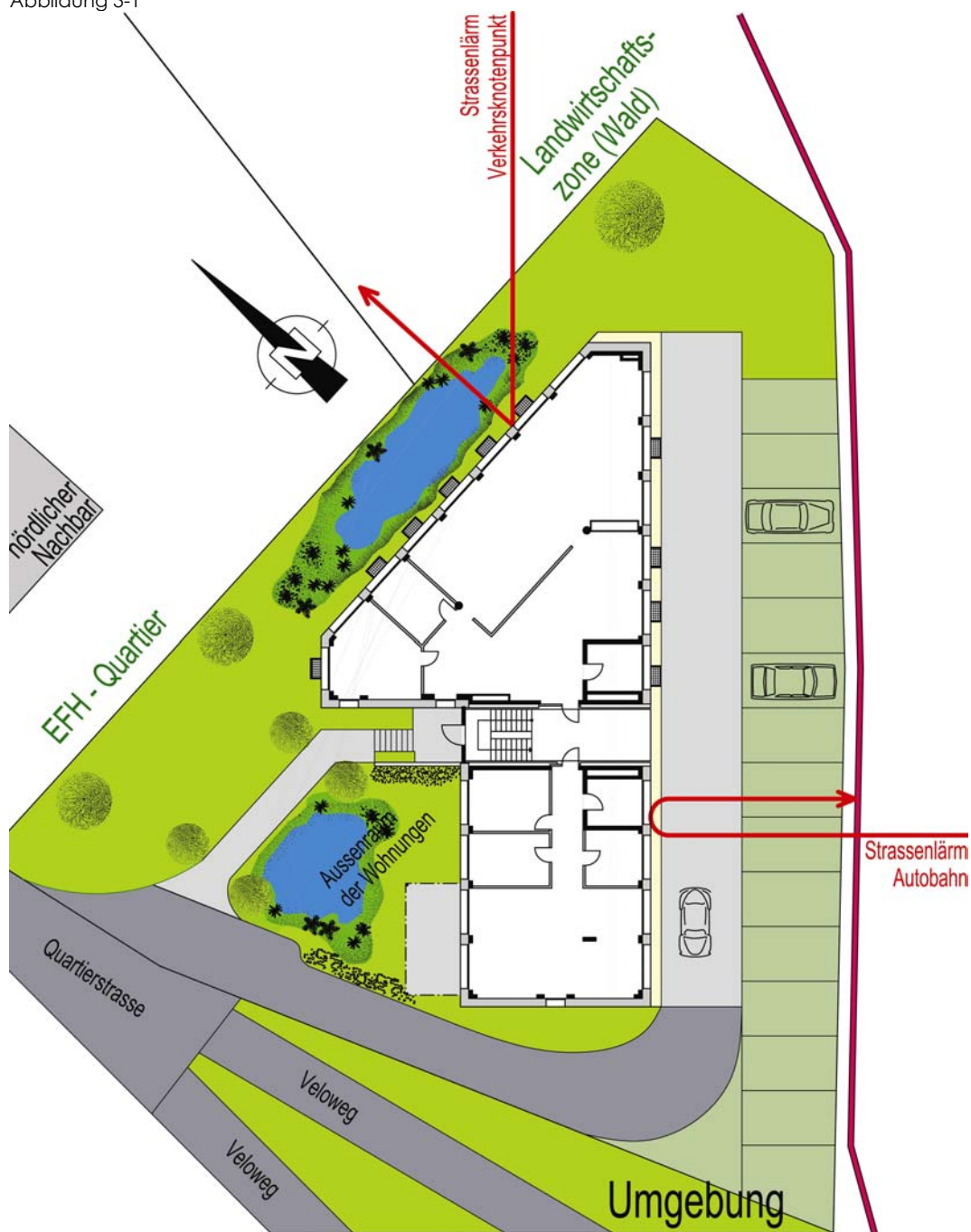
Durch die aussergewöhnliche Immissionen der südseitigen Autobahn wurden die Aussenräume Garten und Balkone auf der Nordseite und die Verkehrswege sowie die Parkierung der Fahrzeuge auf der Südseite vorgesehen.

Um den Lärmschutz in den Aussenraumzonen Garten und Balkone zu optimieren wurde das Gebäude als Winkelbau geplant. Dadurch wirkt das Gebäude gegenüber den umliegenden Strassen als eigentliche "Schallschutzmauer" und schützt die eigenen Aussenräume vor den Strassenlärmimmissionen.

Der Vorteil dieser Anordnung wirkt sich ebenfalls auf den nördlichen Nachbarn aus. Zusätzlich erhöht sich durch die Zusammenlegung des eigenen Grünflächenanteils mit dem des nördlichen Nachbarn die Qualität der Aussenräume für beide Parteien erheblich.

3.1.1. Umgebungsplan zum Aussenraumkonzept

Abbildung 3-1



Umgebungsplan

Abbildung 3-2



Nördlicher Nachbar

Abbildung 3-3



Aussenraum der Wohnungen auf der Nordseite

3.2. Fassadenkonzept

Wie im Aussenraumkonzept musste auch in der Fassadengestaltung auf die besondere Grundstückslage Rücksicht genommen werden.

Um mit dem neuen Gebäude die weiteren Nachbargrundstücke nicht mit Schallreflektionen zu belasten, wurde die opaken Aussenwandflächen mit einer schallabsorbierenden Holzverkleidung in unbehandeltem Douglasien mit offenen Fugen ausgestattet.

Die Fensterflächen weisen, ausgehend von der Grundstücksituation (Artikel 2.2.), südseitig beträchtlich kleinere Anteile auf, als die an die Landwirtschaftszone grenzende Nordseite. Für Passivhäuser ist eine solche Fensterflächenverteilung völlig unüblich.

Wir prüften daher in der Anfangsphase die Fassadengestaltung mit anderen Wärmeverteilsystemen vorzusehen als nur über passive Solarnutzung mit den vorgesehenen Nordfenstern.

Eines davon war eine auf der Südseite vorgehängte geschlossene Glas-Solarfassade, kombiniert mit einem Hypokaustdeckensystem, das die solare Energie von der Südfassade in das Gebäudeinnere transportiert hätte. Die Systeme waren jedoch alle zu teuer. So entschlossen wir uns, das Ziel Passivhausstandard trotz der unüblichen Fensterflächenverteilung zu prüfen. Zu unserer Überraschung erreichten wir nach näheren Berechnungen den Passivhausstandard indem wir ca. 6 bis 10 cm mehr Wärmedämmung anwendeten und den U-Wert der Gebäudehülle um durchschnittlich 0.3 bis 0.4 W/m²K erhöht haben.

Abbildung 3-4



Südfassade mit kleinem Fensterflächenanteil

Abbildung 3-5



Nordfassade mit grossem Fensterflächenanteil

3.3. Innenraumkonzept

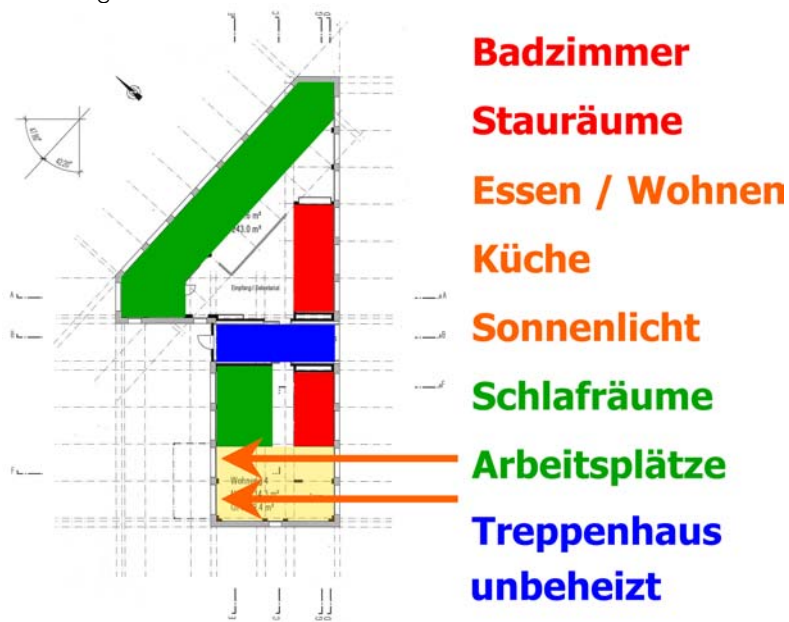
Wieder ausgehend von der südseitigen lärmintensiven Autobahn, wurden die Nebenräume wie Badzimmer, Stauräume, Küche und Essen als Lärmpuffer auf der Südseite vorgesehen.

Das Wohnzimmer wurde mit dem Essen und der Küche als von Süden nach Norden durchgehender Raum geplant. Somit muss der Bewohner nicht auf die Sonneneinstrahlung in seine Wohnung verzichten, hat aber die Möglichkeit, diese Räume nur von der ruhigen Nordseite her zu lüften und hat ebenso den Blick frei in den schönen nordseitigen Grüngürtel mit Blick auf den Jura.

Die Schlafzimmer, sowie die Büroarbeitsplätze wurden konsequent auf der lärmabgewandten Nordseite platziert.

Das Treppenhaus wurde in den beiden Varianten geschlossen/beheizt und offen/unbeheizt geprüft. Es stellte sich dabei heraus, dass das unbeheizte Treppenhaus nur 436 kWh/a oder 1.3 % mehr Energie benötigt, jedoch Kosten von ca. 60'000.- erspart hat.

Abbildung 3-6



Schema Innenraumkonzept

3.4. Konstruktives Konzept

Die Mischbauweise, bestehend aus einem Stahlbetonskelettbau mit wärmedämmenden Aussenwandelementen in Holzrahmenbauweise, hat sich als die ideale Bauweise herausgestellt. Die Betondecken eigneten sich als horizontale Verteilebene sämtlicher Haustechnikleitungen, im besonderen der vielen Lüftungsleitungen. Die durch die Lüftungsleitungen erforderliche Betondeckenstärke von 25 cm ermöglichte ohne zusätzliche Massnahmen die Einhaltung der erforderlichen Schalldämmwerte und Brandschutzauflagen. Ausserdem wurde dadurch die Wärmespeicherfähigkeit verbessert, was die für Passivhäuser angenehme Wärmeträgheit der Räume positiv beeinflusst. Die grossen Stützenweiten ermöglichten flexible Büro- und Wohneinheiten. Die Aussenwände wurden als Holzelemente vorfabriziert; was eine schnelle und witterungsunabhängige Bauweise erlaubte. Die Aussenwandelemente weisen keine Leitungen auf. Sämtliche Steckdosen wurden in Sockelkanälen, mit in diesen integrierten Anschlussdosen, ausgeführt.

Als Nachteile der Mischbauweise stellten sich folgende Punkte heraus: Die Schnittstellen zwischen der Massiv- und Leichtbauweise bewirkte aus Sicht von Planung und Bauführung einen erheblichen Mehraufwand. Zu erwähnen ist hier im besonderen die Luftdichtigkeitsschicht und die statisch nicht vermeidbaren Wärmebrücken im Bereich des Wärmedämmperimeters Decke über Untergeschoss. Es resultiert ein Wärmeverlust von 0,7 kWh/m²a.

Abbildung 3-7



Stahlbetonskelettbau

Abbildung 3-8



Der mit Holzelementen verkleidete
Stahlbetonskelettbau

Abbildung 3-9



Sockelkanal für El. und EDV
Vernetzung

Abbildung 3-10



Betondecke als Verteilerebene der
Lüftungsleitungen

3.5. Bauphysikalisches Konzept

3.5.1. Lärmschutz

Die Parzelle befindet sich in der Wohn- und Gewerbezone und liegt an der Autobahn T5. Aufgrund der vorhandenen Lärmbelastung von der nahen Autobahn war zur Erlangung der Baubewilligung ein Lärmschutz-Nachweis erforderlich.

Durch geschickte Situierung der lärmempfindlichen Räume, sowie den Einbau der Fenster in der weniger lärmexponierten Fassade, konnten die Anforderungen gemäss Lärmschutz-Verordnung erfüllt werden.

In der Nutzung erweist sich eine Komfortlüftung bei lärmexponierten Räumen als sehr effiziente Massnahme. Bei der Bewilligungspraxis von Lärmschutz-Nachweisen wird dieser Massnahme noch kaum Rechnung getragen, sie kann jedoch in Grenzfällen als zusätzliches Argument für eine Bewilligung dienen.

Aus der Lärmbelastung «stark» bis «sehr stark» (aus Norm SIA 181) ergibt sich bei lärmempfindlichen Räumen (Wohnen, Schlafen, Büros) eine Schallschutzanforderung an die Gebäudehülle von $D_{nT,w} \geq 40$ bis 45 dB. Bei einem Schalldämmvermögen der Aussenwand von $R'_{w,a} 50$ dB ergibt sich ein vom Fenster zu erreichendes Bauschalldämmmass von 35 bis 39 dB. Mit dem gewählten zertifizierten Passivhausfenster (siehe 3.5.3) und der gewählten Aussenwandkonstruktion konnten die Schallschutzanforderungen erfüllt werden.

3.5.2. Baukonstruktion/Wärmeschutz

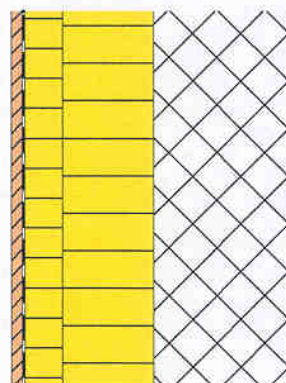
Damit die Passivhausanforderungen erfüllt werden konnten (vgl. Energiekennzahlen Seite 25) wurden im wesentlichen folgende Bauteile verwendet:

Aussenwand im Sockelbereich

- Fermacell-Platte, 15 mm
- Dampfbremse/Luftdichtung
- Flumroc Typ 1, 50 mm
- Wärmedämmschicht Alpur Alu, 120 mm
- Stahlbeton, 180 mm

U-Wert = 0,15 W/m²K

Abbildung 3-11



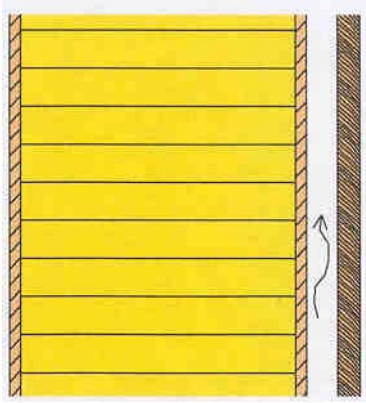
Aussenwand im Sockelbereich

Aussenwand Holzsystembau

- Fermacell-Platte, 15 mm
- Holzrahmen/Flumroc Typ 1, 360 mm (etwa 10 % Holzanteil)
- Hinterlüftung
- Fassadenbekleidung

U-Wert = 0,12 W/m²K

Abbildung 3-12



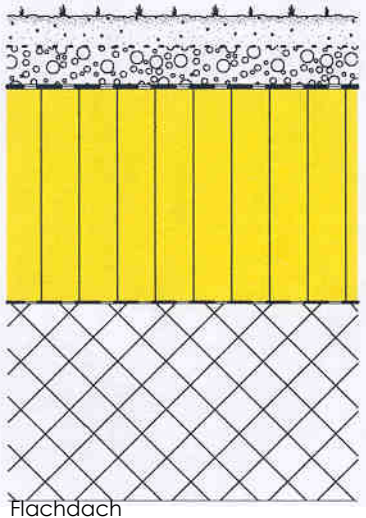
Aussenwand Holzsystembau

Flachdach

- Stahlbeton, 260 mm
- Dampfbremse
- Wärmedämmschicht Alpur Alu, 280 mm
- Flachdachabdichtung
- Dränageflies
- Erds substrat/Extensivbegrünung

U-Wert = 0,084 W/m²K

Abbildung 3-13



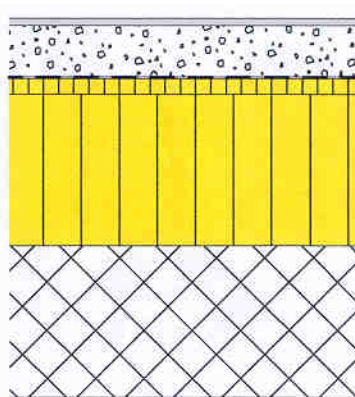
Flachdach

Decke über Untergeschoss

- Bodenbelag
- Zementüberzug, 70 mm
- Trenn- und Gleitlage
- Trittschalldämmschicht, 20 mm
- Wärmedämmschicht Alpur Alu, 200 mm
- Stahlbeton, 200 mm

U-Wert = 0,107 W/m²K

Abbildung 3-14



Decke über Untergeschoss

3.5.3. Fenster

Beim verwendeten Fenster handelt es sich um ein Holz/Metall-Fenster vom Typ DW-Plus-Passiv-Fenster, mit folgenden Kennwerten:

- Rahmen aus Sandwichelement Holz/PUR/Holz, mit hinterlüfteter Aluminiumschale, $U = 0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 3fach-IV mit $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $g = 55 \%$
- Randverbund mit $Y_g = 0,024 \text{ W/mK}$
- Bei den objektspezifischen Fenstergrößen resultieren für das Fenster U-Werte um etwa $0,77 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Berücksichtigung der äusseren Projektion, ohne Wärmebrückenverlustkoeffizient Y_e (Einbau)).

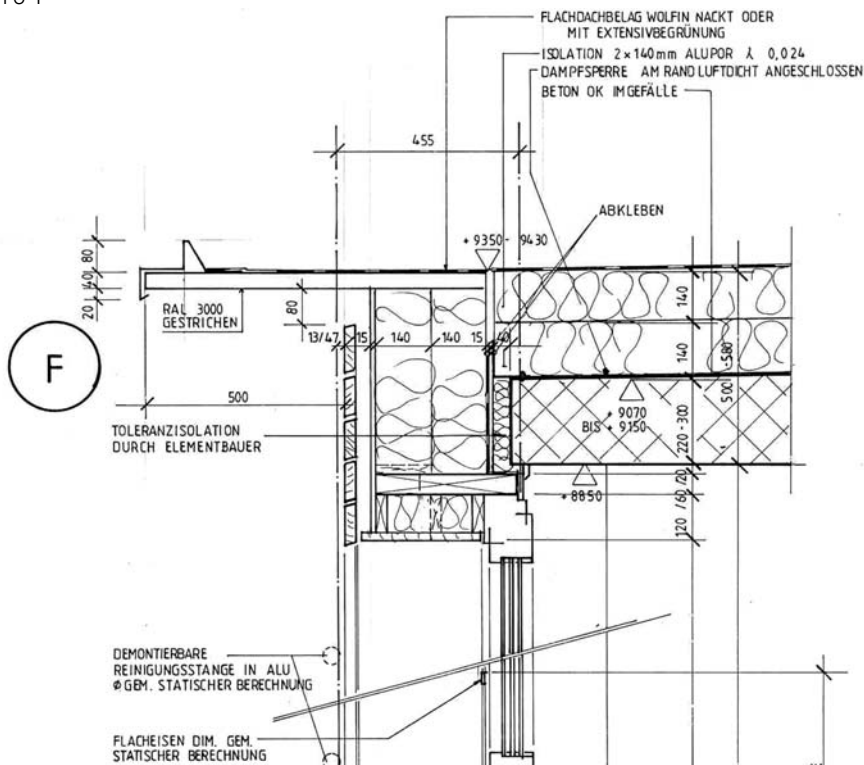
Abbildung 3-15



Fenster

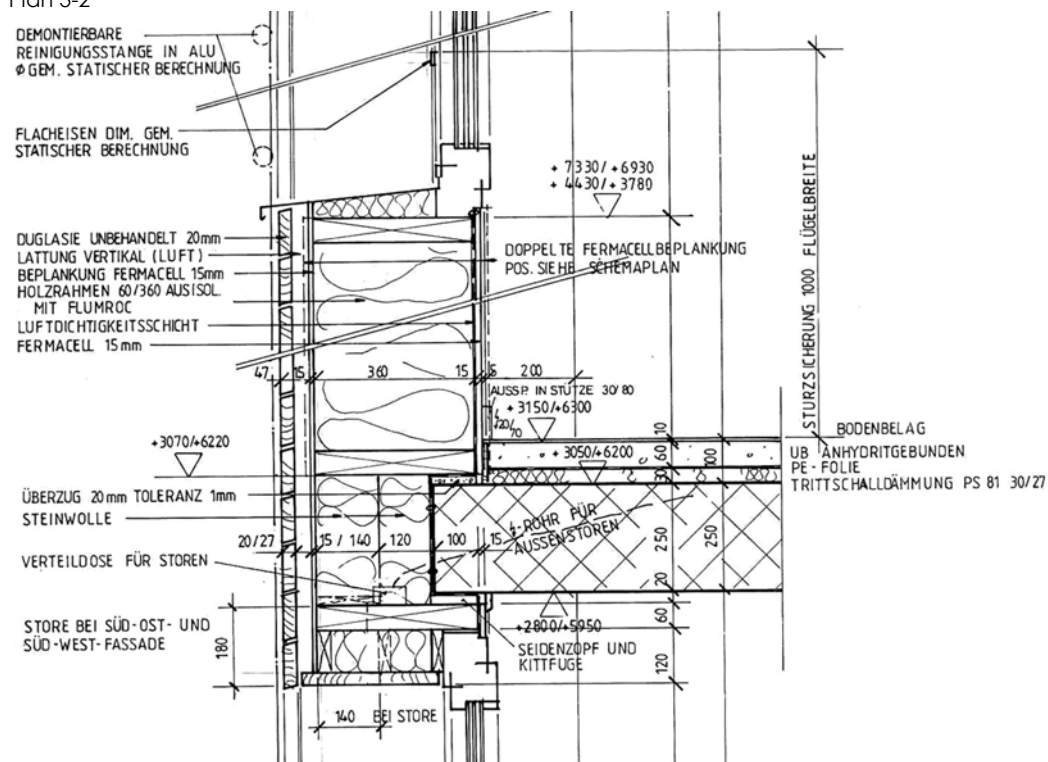
3.5.4. Konstruktive Details

Plan 3-1



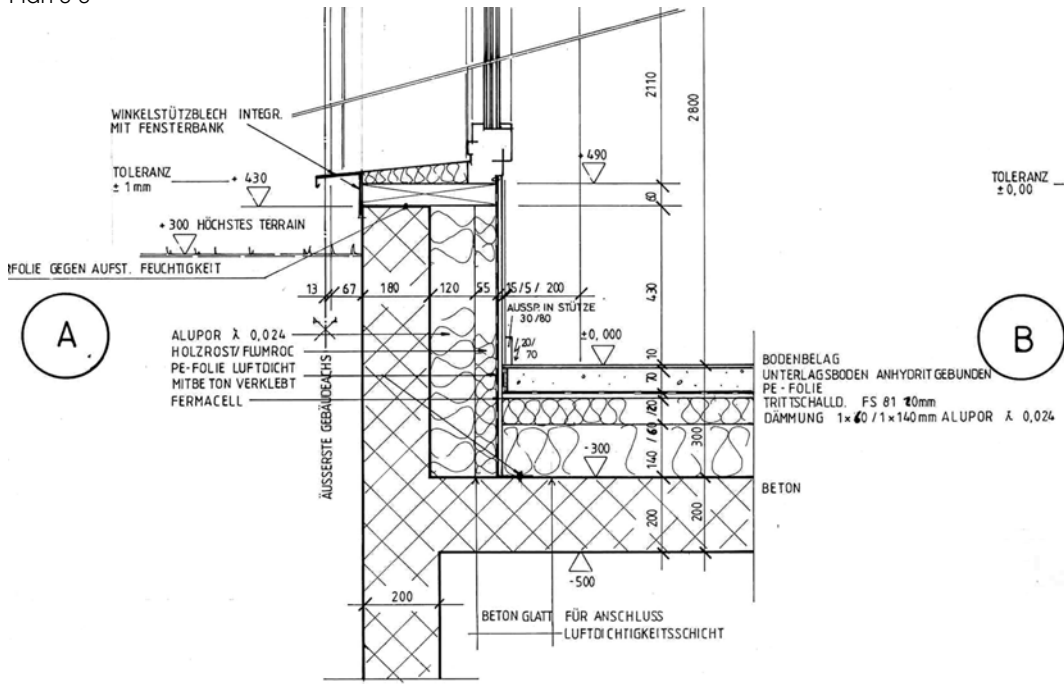
Dachrand

Plan 3-2



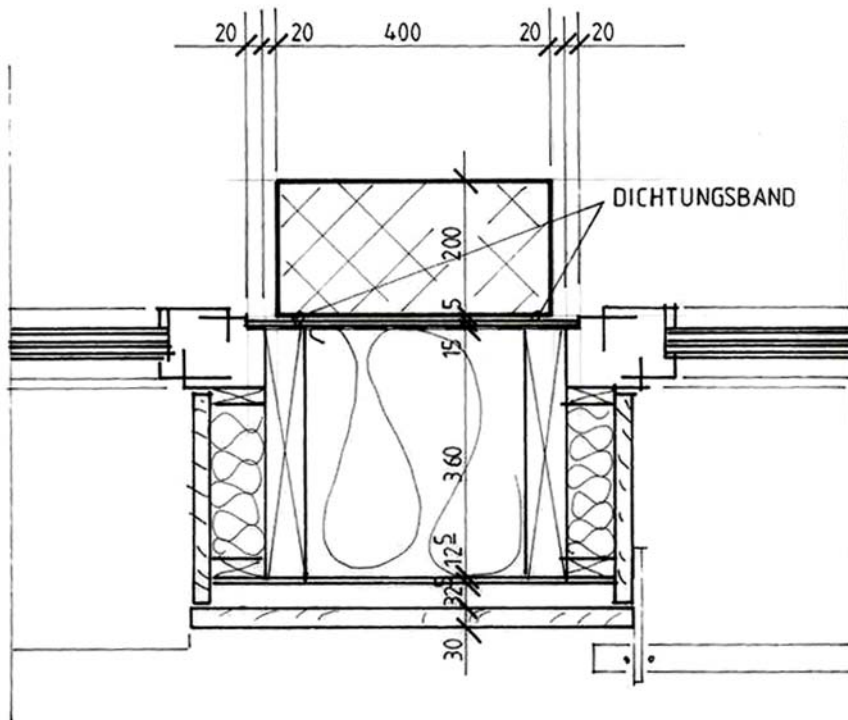
Deckenaufleger

Plan 3-3



Sockel

Plan 3-4



Stütze / Fensteranschlag

3.6. Energie und Haustechnik

3.6.1. Energiekonzept und Energiekennzahlen

Klares Ziel des Bauherrn war die Erreichung des Passivhaus-Standards. Die Hauptforderung dieses Standards ist die Unterschreitung eines Heizwärmebedarfes von 15 kWh/m²a, wobei auf die Netto-Geschossfläche bezogen wird. Diese Aufgabe war insbesondere deshalb sehr anspruchsvoll, da die Hauptausrichtung des Gebäudes - mit grossen Fensterflächen - nach Norden orientiert ist. Es zeigte sich, dass dieser Standard nur mit einer hervorragenden Verglasung, guten Wärmedämmwerten in Dach, Böden und Fassaden sowie einer effizienten Lüftung mit Wärmerückgewinnung erreicht werden kann. Mit Hilfe des Passivhaus-Projektierungspaketes wurden sämtliche Berechnungen durchgeführt. Die resultierenden Gebäudehüllen-Qualitäten für diesen Standard sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 3-1

	Notwendige U-Werte in W/m ² a
Aussenwände (Systembau)	0.120
Flachdach	0.084
Boden gegen unbeheizt/Erdreich	0.107
Fenster (g=0.55)	0.775

Wärmedämmwerte der Gebäudehülle zur Erreichung der Passivhausqualität

Tabelle 3-2

	kWh/m ² a *)
Transmissionswärmeverluste	37.4
Lüftungswärmeverluste	7.9
Wärmegewinne (Nutzungsgrad: 0.926)	31.7
resultierender Heizwärme-Verbrauch	13.6
Passivhaus-Anforderung: erfüllt	15.0

Energiebilanz

*) die Quadratmeter beziehen sich auf die beheizte Netto-Geschossfläche von 904 m²; die Energiebezugsfläche nach SIA beträgt 1068 m² (=+ 18%).

Der Primärenergiekennwert beträgt 117.0 kWh/m²a. Die Passivhaus-Anforderung von 120 ist damit auch erfüllt.

Der MINERGIE-Standard wird mit einer Energiekennzahl Wärme (MINERGIE-Spezifikation) von 34.6 kWh/m²a problemlos erreicht (Grenzwert: 42.7).

3.6.2. Heizung und Lüftung (vgl. Schema Luftheizung)

Ein Lufterdregister (bauseits) wärmt die dem Gebäude gesamthaft zugeführte Aussenluft auf mindestens 0°C vor. Das Erdregister ist 60 m lang und aufgeteilt auf 5 HDPE-Rohre mit Durchmesser 20 cm. Eine zentrale, mit konstanter Drehzahl betriebene Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Rotationswärmetauscher mit 85% Rückgewinnungsgrad) stellt für sämtliche Räume die nötige Frischluft zur Verfügung. Diese Zuluft wird erwärmt über Deckendurchlässe jedem Büro / Zimmer zugeführt. Die Abluft wird in den Nassräumen abgesogen und über Schachtzonen der Wärmerückgewinnung im UG zugeführt. Die Luftmenge beträgt 1340 m³/h (variierbar). Als mittleren notwendigen Volumenstrom wurde in der Berechnung 1110 m³/h eingesetzt.

Die Raumlufttemperaturen werden pro Zone über einen Raumtemperaturfühler und hydraulische Luftheizregister geregelt. Die Bürobereiche des östlichen Traktes sind in eine Nord- und Südzone aufgeteilt, welche separate Raumfühler erhalten. Es sind insgesamt 8 Zonen für das ganze Gebäude vorgesehen.

Das ganze Gebäude wird grundsätzlich mit Luft beheizt. Die Heizregister befinden sich auf jeder Etage. Einzig in den Nasszellen werden aus Komfortgründen einzelne Radiatoren installiert.

Die Heizleistung für die Raumheizung gemäss Passivhausprojektierungs-Tool beträgt 11.6 kW oder 13 Watt pro Quadratmeter (netto). Ein Warmwasserspeicher (800 Liter) wird einmal nachts aufgeladen. Während dieser Zeit wird die Raumheizung für ca. 1.5 Stunden unterbrochen. Eine solare Warmwasser-Erwärmung wurde nicht realisiert, ist aber grundsätzlich nachrüstbar.

Abbildung 3-16



Frischluft-Ansaugeschacht

Abbildung 3-17



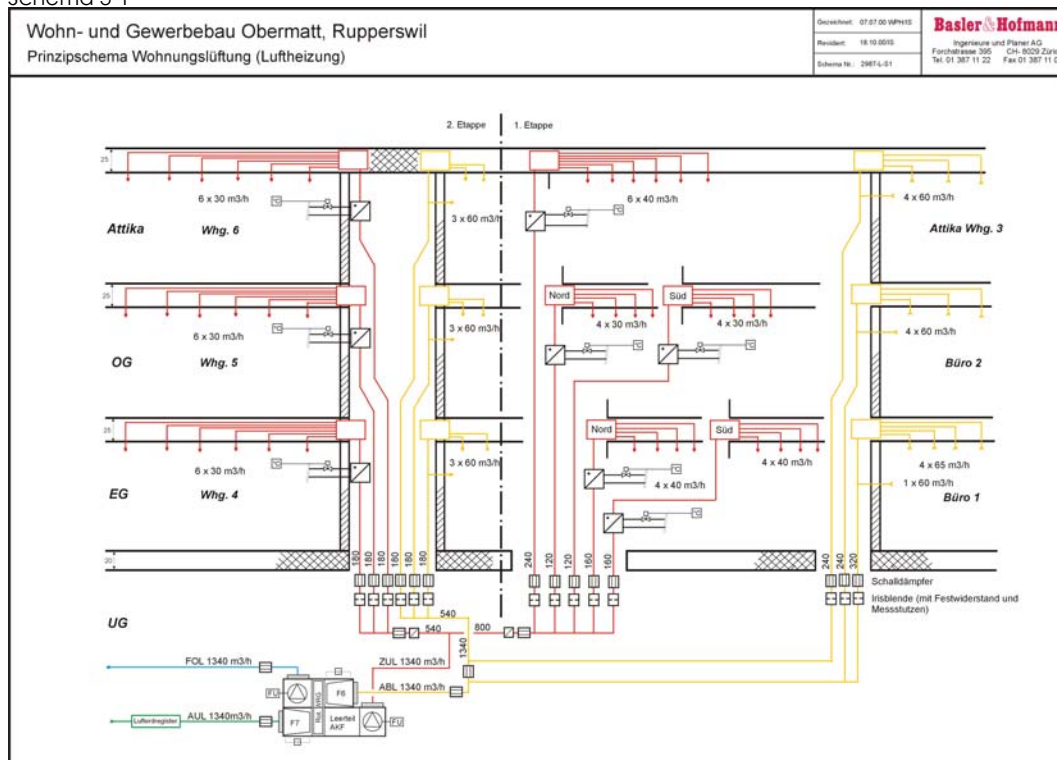
Erdregister verlegt in vorhandener Baugrube

Abbildung 3-18



Rotationswärmetauscher

Schema 3-1

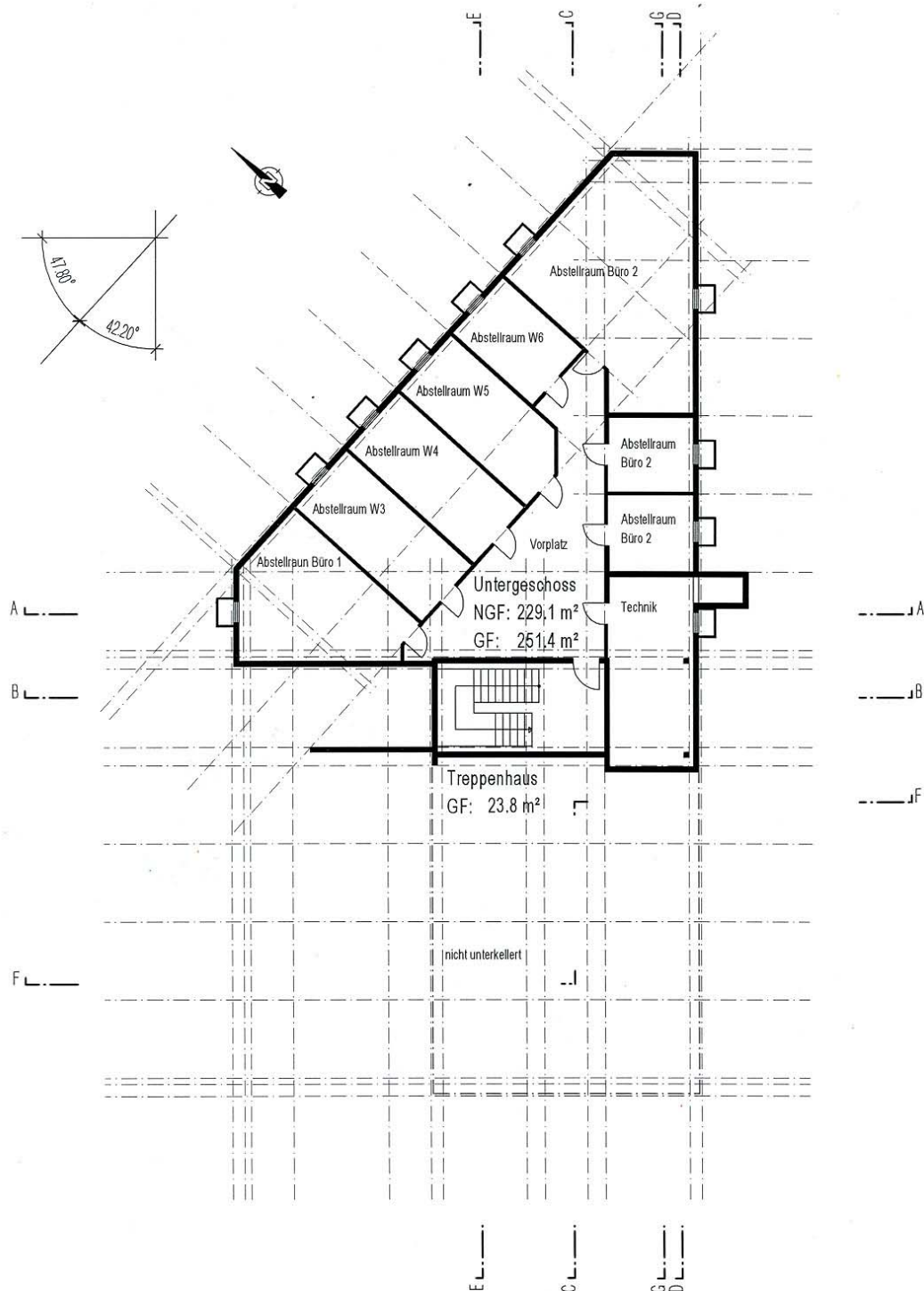


Prinzipschema Wohnungslüftung

3.7. Pläne

3.7.1. Grundrissplan Untergeschoss

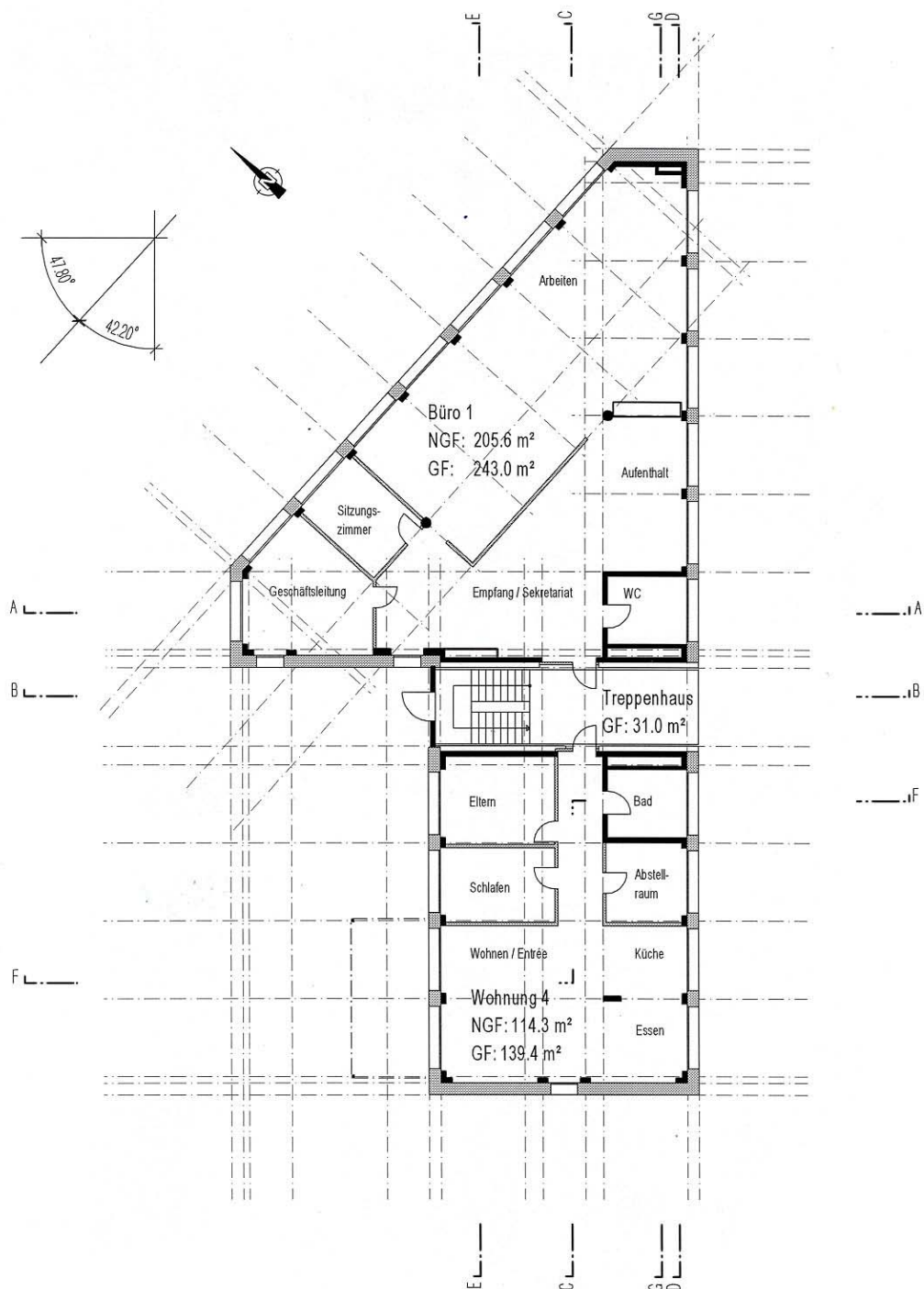
Plan 3-5



Untergeschoss

3.7.2. Grundrissplan Erdgeschoss

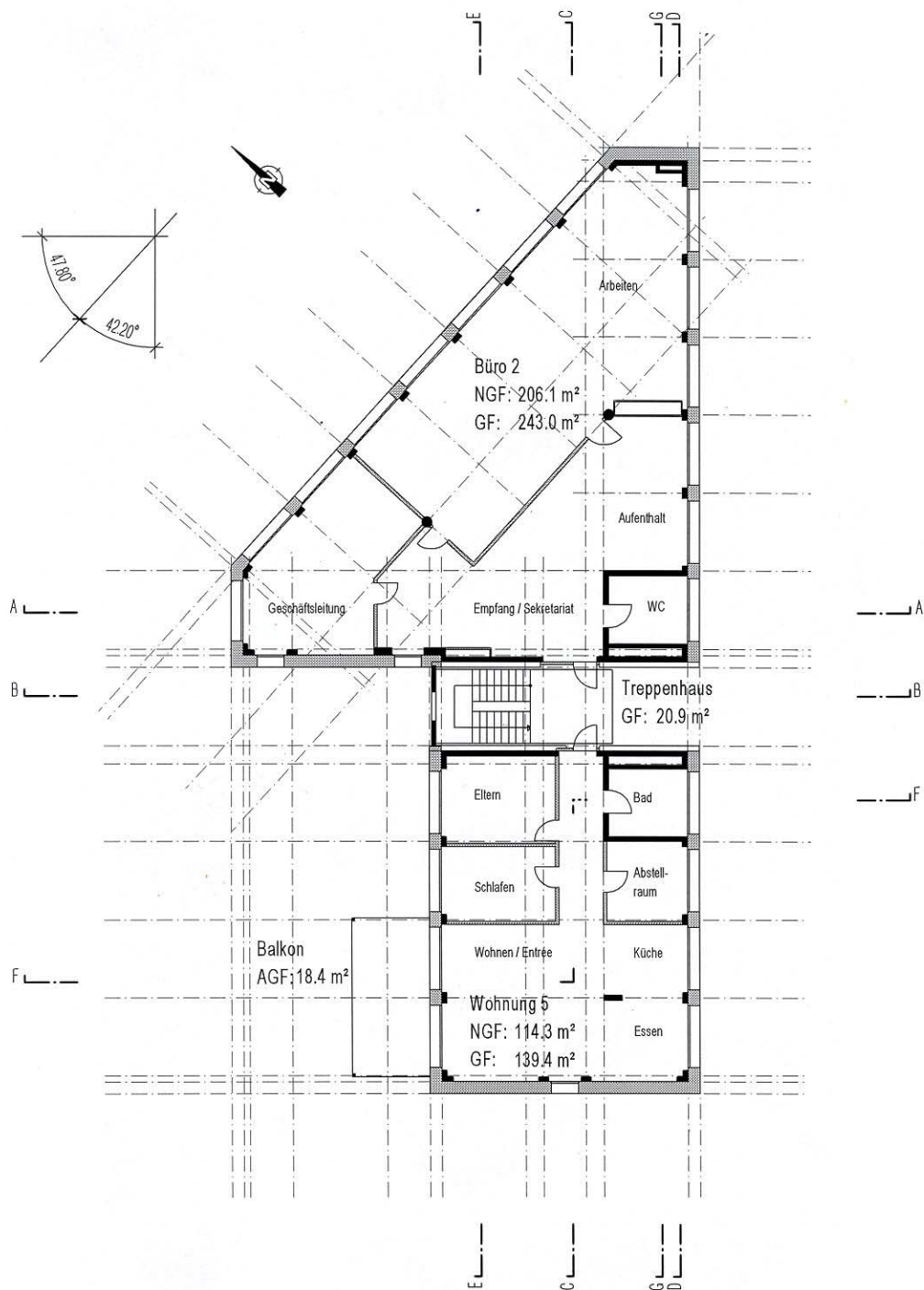
Plan 3-6



Erdgeschoss

3.7.3. Grundrissplan Obergeschoss

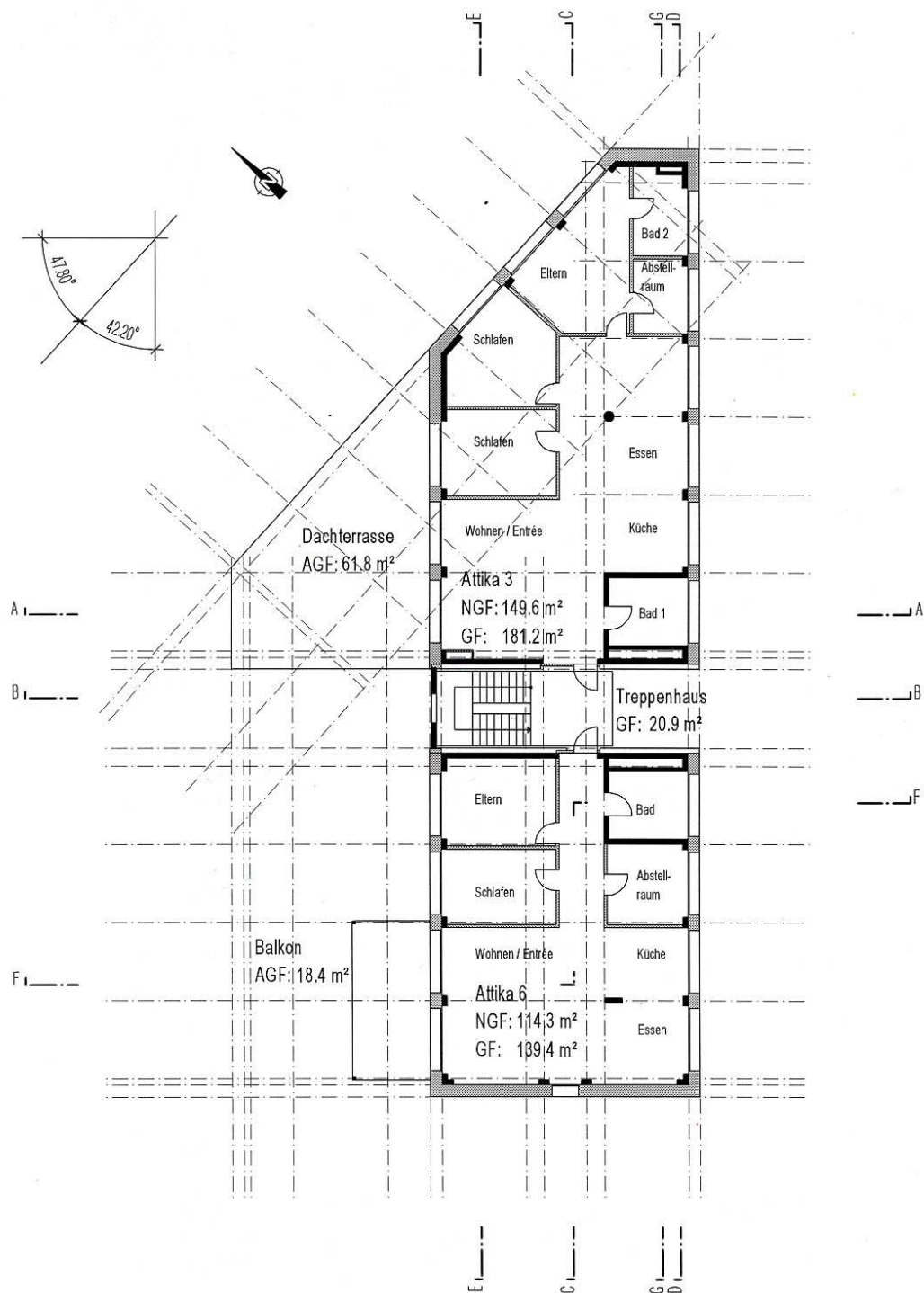
Plan 3-7



Obergeschoss

3.7.4. Grundrissplan Attikageschoss

Plan 3-8



Attikageschoss

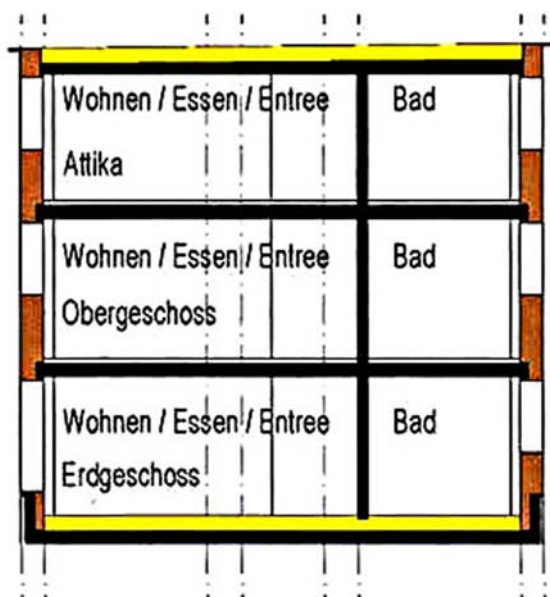
3.7.5. Gebäudeschnitte

Plan 3-9



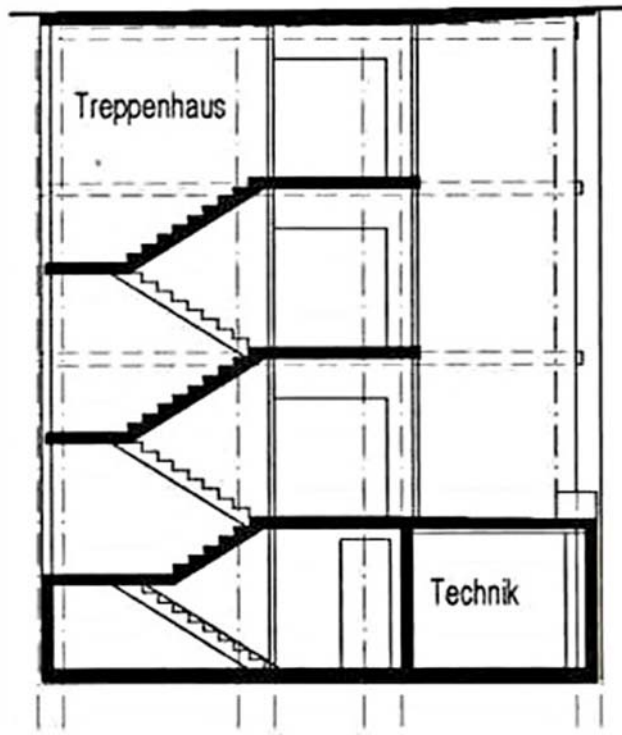
Schnitt A-A

Plan 3-10



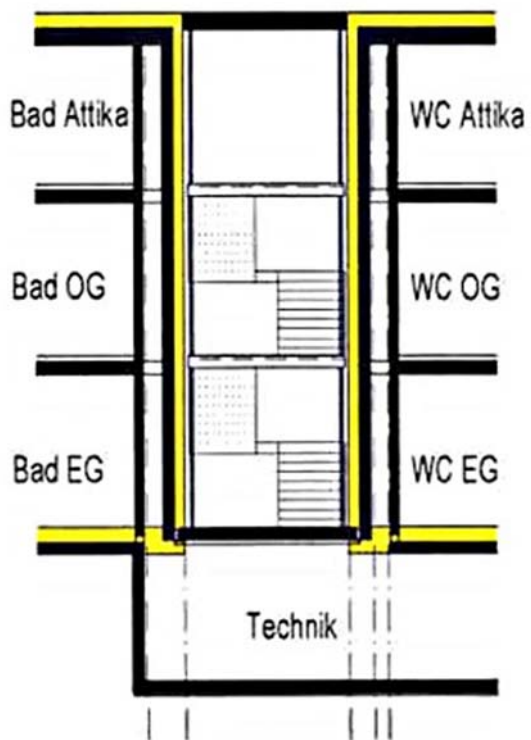
Schnitt F-F

Plan 3-11



Schnitt B-B

Plan 3-12



Schnitt G-G

4. Hauptergebnisse

4.1. Vermietbarkeit

Trotz der für Wohnungen sehr ungünstigen Lage mit südseitig angrenzender Autobahn, mit einer Tages-Fahrzeugfrequenz von 34000, mit sehr hoher Lärm- und Luftschadstoffbelastung konnten die Mieteinheiten mit zwei Inseraten vollumfänglich vermietet werden.

Wesentlicher Grund für diese gute Vermietbarkeit war ausschliesslich die energieeffiziente Bauweise mit der kontrollierten Wohnraumlüftung und die sehr geringe, im EG und OG nicht hörbare Lärmbelastung der Autobahn, in Folge der dickem schalldämmenden Aussenwände und den 3-fach verglasten Fenstern.

4.2. Energieverbrauchsmessungen

Die Energieverbrauchsmessungen wurden im Juli 2001 aufgenommen und am 28.02.2003 beendet. Die Auswertungen mit dem Bericht Nr. 414782 der HTA Luzern sind diesem Schlussbericht angefügt.

4.3. Nutzererfahrungen

Die nachfolgend aufgezählten Erfahrungen beruhen auf Beobachtungen des Autors (Mieter der Büroeinheit Nr. 1).

Sie sind nicht wissenschaftlich belegt und als subjektive Wahrnehmung zu betrachten.

4.3.1. Innenraumtemperatur Winterfall

Die von den Benutzer gewünschten unterschiedlichen Raumtemperaturbedürfnisse wurden auch bei der einmonatigen kalten Winterzeit mit Dauerfrost und Temperaturen bis -10 C (Dezember/Januar 2001/2002) immer erreicht.

Es wurde jedoch schnell festgestellt, dass die Behaglichkeitsgrenze nicht bei $21/22\text{ C}$ liegt, sondern je nach Nutzerbedürfnis bei $23/24\text{ C}$ (siehe Bericht HTA Kapitel 3.9.2.). Es wird vermutet, dass dies mit den grossen, nach Norden orientierten Fenstern zu tun hat.

Sobald die Temperatur in unserem Büro (Büro 1) unter 23 C fiel, führte die Kältestrahlung der grossen Nordfenster zu Unbehaglichkeit. Diese Erfahrung zeigt, dass bei nordorientierten grossflächigen Verglasungen ohne statische Heizung, Fenstergläser einen besseren k-Wert von ca. $0.5\text{ W(m}^2\text{K)}$ aufweisen müssten und nicht nur die nach Passivhausstandard vorgesehenen $0.8\text{ W(m}^2\text{K)}$.

4.3.2. Innenraumtemperatur Sommerfall

In den Wohnungen konnte keine Überhitzung festgestellt werden.

Im Büro 1 EG wurde während der Messperiode in der Nacht durch das Kippen der Fenster quergelüftet und abgekühlt. Im Büro 2 OG blieben die Fenster konsequent geschlossen.

Die Messungen der HTA (siehe Bericht HTA Kapitel 3.8.) haben ergeben, dass im Büro 2 OG an 10% der Jahresstunden eine Überhitzung aufgetreten war. Im Büro 1 EG konnte mittels der Nachtabkühlung keine Überhitzung festgestellt werden.

4.3.3. Luftfeuchtigkeit

Die Messungen der HTA (siehe Bericht HTA Kapitel 3.8. Tabelle 8) wurden als sehr tief registriert. Sie liegt in Büros und Wohnungen während 20 bis 50% der Jahresstunden unter Werten von 30%. Die Tiefstwerte lagen bei 10%.

Trotzdem war nie ein Bedürfnis nach einer höheren Luftfeuchtigkeit feststellbar. Es waren keine Beanstandungen der Nutzer eingegangen. Auch eine wohnungsinterne Luft-Befeuchtung war kein Bedürfnis.

4.3.4. Luftqualität

Die Luftqualität ist der eigentliche Aufhänger für die gute Vermietbarkeit dieser Wohnungen. Ein Mieter verzeichnete im Frühling 2001 verminderte allergische Reaktionen und verminderte Atemwegserkrankungen.

Nachteil ist die Eigenschaft des zentralen Rotationswärmetauschers, dass starke Gerüche, die beim kochen entstehen, in den anderen Wohnungen wahrgenommen werden können.

4.3.5. Solare Energiegewinnung

Diese wurde von den Mietern oft zunichte gemacht, indem die Storen den ganzen Tag unten blieben. Auch eine Intervention seitens des Vermieters mit angedrohten finanziellen Konsequenzen hat nur zu einer kurzen Besserung beigetragen. Die Konsequenz für weitere Bauten ist die Automatisierung über Innenraumthermostat und Sonnenwächter.

4.3.6. Aussenlärmbelastung

Die meisten Mieter wohnen trotz angrenzender Autobahn ruhiger als in der vorhergehenden Wohnung. Dies bestätigt die hervorragenden Eigenschaften einer kontrollierten Wohnraumlüftung, 3-fach Verglasung der Fenster und dick isolierten Aussenwänden.

4.3.7. Gemessener Energieverbrauch Heizung

Gemäss dem Bericht der HTA (siehe Kapitel 4.2.) wird der Passivhaus-Kennwert für die Heizung von 15 kWh/m²a mit 59 kWh/m²a deutlich überschritten.

Die **Erfahrungen** und **Beobachtungen** des Autors lassen folgendes vermuten:

- Die Mieter haben die Fenster in der Nacht geöffnet. (unkontrollierte Wärmeenergieverluste)
- Der Bauherr hat den Drucktest nach Rohbauvollendung nicht ausführen lassen. (unkontrollierte Wärmeenergieverluste)
- Die Badzimmerfenster mit der darunter liegenden Heizwand mit Thermostatenventil sind meist gekippt. Das heisst, die sechs Heizkörper erzeugen unnötig Wärmeenergie auf Volleistung, die durch die geöffneten Fenster verloren geht.
- Die Storen sind trotz Intervention des Vermieters auf der Südseite geschlossen. Der solare Energiegewinn fehlt.
- Die Raumtemperatur ist mit durchschnittlichen 24 C ungewöhnlich hoch.
- Eine starke Unterbelegung der Personenzahl gegenüber der Passivhausberechnung.

4.3.8. Mehrkosten

Die Mehrkosten BKP 2 beliefen sich auf rund Fr. 350'000.-. Dies entspricht 16 % Mehrkosten auf BKP 2 oder 12% Mehrkosten auf BKP 0 -5.

5. Schlussfolgerungen

Die wesentlichen Erkenntnisse aus dem Bericht der HTA und den Erfahrungen und Beobachtungen des Autors können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Entscheidung der Investoren, ob weitere solche Objekte gebaut werden können, liegt zur Hauptsache daran, ob die Wohnungen durch den Passivhausstandard besser vermietet werden können und somit das Risiko des Investors vermindert wird.
- Der Passivhausstandard mit seiner Technik hat bei diesem Objekt wesentlich dazu beigetragen, dass die Mieteinheiten trotz schlechter Wohnlage gut vermietet werden konnten und drei Jahre später noch kein Mieterwechsel stattgefunden hat.
- Die ungewöhnliche Hauptorientierung der Wohnungen nach Norden hat sich bewährt und wird von den Mietern nicht als Nachteil empfunden. Weiter bringt die Nordorientierung für das Arbeiten an Bildschirmen nur Vorteile.
- Der vorgegebene Energieverbrauch von 15kWh/m²a wird bei nordorientierten Mietwohnungen aus folgenden Gründen nicht erreicht werden können:
 - Behaglichkeitsgrenze liegt bei 23 -25 C.
 - Mieter nutzen die Technik nicht gleich effizient wie Eigentümer.
- Die Mieter müssen über die Nutzung der Passivhaustechnik gut informiert und über längere Zeit begleitet werden.
- Rotationswärmetauscher können den Nachteil von Geruchsbelästigungen haben.
- Besser dezentrale Lüftungsgeräte wählen als Zentrale.
- Sonnenschutz automatisieren.

6. Verzeichnisse

6.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Situation der Grundstückslage	8
Abbildung 2-2:	Blick nach Süden	8
Abbildung 2-3:	Blick nach Norden	8
Abbildung 2-4:	Blick nach Norden	8
Abbildung 3-1:	Umgebungsplan	10
Abbildung 3-2:	Nördlicher Nachbar	10
Abbildung 3-3:	Aussenraum der Wohnungen auf der Nordseite	10
Abbildung 3-4:	Südfassade mit kleinem Fensterflächenanteil	11
Abbildung 3-5:	Nordfassade mit grossem Fensterflächenanteil	11
Abbildung 3-6:	Schema Innenraumkonzept	12
Abbildung 3-7:	Stahlbetonskelettbau	13
Abbildung 3-8:	Der mit Holzelementen verkleidete Stahlbetonskelettbau	13
Abbildung 3-9:	Sockelkanal für El. Und EDV Vernetzung	13
Abbildung 3-10:	Betondecke als Verteilerebene der Lüftungsleitungen	13
Abbildung 3-11:	Aussenwand im Sockelbereich	14
Abbildung 3-12:	Aussenwand Holzsystembau	15
Abbildung 3-13:	Flachdach	15
Abbildung 3-14:	Decke über Untergeschoss	15
Abbildung 3-15:	Fenster	16
Abbildung 3-16:	Frischluff-Ansaugeschacht	20
Abbildung 3-17:	Erdregister verlegt in vorhandener Baugrube	20
Abbildung 3-18:	Rotationswärmetauscher	20

6.2. Planverzeichnis

Plan 3-1:	Dachrand	17
Plan 3-2:	Deckenaufleger	17
Plan 3-3:	Sockel	18
Plan 3-4:	Stütze / Fensteranschlag	18
Plan 3-5:	Untergeschoss	21
Plan 3-6:	Erdgeschoss	22
Plan 3-7:	Obergeschoss	23
Plan 3-8:	Attikageschoss	24
Plan 3-9:	Schnitt A-A	25
Plan 3-10:	Schnitt F-F	25
Plan 3-11:	Schnitt B-B	26
Plan 3-12:	Schnitt G-G	26

6.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Wärmedämmwerte der Gebäudehülle zur Erreichung der Passivhausqualität	19
Tabelle 3-2:	Energiebilanz	19

6.4. Schemaverzeichnis

Schema 3-1:	Prinzipschema Wohnungslüftung	20
-------------	-------------------------------	----

7. Anhang

Zum Anhang gehört:

- Erfolgskontrolle Energieverbrauch
Bericht Nr.: 414782 HTA Luzern