

# Das Passivhaus im Thiepvalareal

Johannes Werner, Ulrich Rochard, Ing.-Büro ebök GbR, Postfach 1350,  
D 72003 Tübingen, Tel. +49 7071 9394-0, Fax: -99, [mail@eboek.de](mailto:mail@eboek.de)

## 1 Einleitung

Die Lage des Objekts im Areal der denkmalgeschützten Thiepvalkaserne in unmittelbarer Nähe des Tübinger Hauptbahnhofes ist sehr attraktiv. Hier gibt es eine optimale Anbindung an öffentlichen Personen- Nah- und Fernverkehr sowie das Radwegnetz.



Abb. 1: Vor der Sanierung

Das Umfeld wird durch einen öffentlichen Park, den ehemaligen Exerzierplatz, bestimmt, die Tübinger Altstadt ist zu Fuß erreichbar.

Das Haus wurde in den 50er Jahren erbaut und zunächst vom französischem Militär, später von deutschen Behörden als Verwaltungsgebäude genutzt. Bei der notwendigen, grundlegenden Sanierung waren Auflagen des Denkmalschutzes (Ensembleschutz) zu beachten.

## 2 Zwischen Mindestforderung und Passivhaus

### Gesetzlicher Mindeststandard

Gemäß EnEV wären Energiesparmaßnahmen nur beim Ersatz der defekten Fenster und beim Ausbau des Dachgeschosses zu beachten gewesen. Fußböden im Erdgeschoss sowie Außenwände wären nur ausgebessert und nicht gedämmt, die neuen Fenster mit Schlitzdurchlässen zur Grundlüftung ausgestattet worden; die bestehende Wärmeverteilung wäre um einem neuen Heizkessel ergänzt worden. Mit ungeämmten Außenwänden und Fußböden und ohne mechanische Lüftung wären – abgesehen vom hohen Energieverbrauch – bedeutende Raumklimaprobleme durch kalte Oberflächen und Schimmelrisiko im Bereich der Wärmebrücken verblieben.

### Mindestkomfort - die Referenzvariante

Zur energetischen und wirtschaftlichen Beurteilung wurde eine Referenzvariante festgelegt, die im Hinblick auf Lufthygiene, Raumklima und thermische Behaglichkeit heute üblichen Mindestkomfort einhält. Beim vorhandenen Gebäude erfordert dies zusätzlich (s.o.) eine Dämmung der Außenwände und Fußböden. Eine Abluftanlage sichert, unabhängig vom Nutzer, den hygienisch erforderlichen Mindestluftwechsel in der Heizperiode. Diese Referenzvariante (Tab. 1) erfüllt neben den Anforderungen

des EnEV-Bilanzverfahrens auch die baurechtlichen Mindestanforderungen nach DIN 4108-2 (Taufwasserschutz an Wärmebrücken, planerisch gesicherter Mindestluftwechsel). Der Primärenergiebedarf liegt bei 140% des EnEV-Grenzwerts an einen Neubau gleicher Kubatur.

### Passivhaus – Effizienz und Wirtschaftlichkeit

Die energetische Qualität wurde nach PhPP bilanziert. Für die später ausgeführte Variante ergab sich ein Jahresend energiebedarf für Heizung und Warmwasser von ca. 20 und ca. 7 kWh/(m²a) an Strom für Beleuchtung und Haustechnik. Umgerechnet in Primärenergie entspricht dies in der Summe 43 kWh/(m²a) (Abb. 4); und damit nur 15% eines gleichwertig ausgestatteten, typischen Bürogebäudes aus dem Bestand. Bezogen auf den Primärenergiegrenzwert des Solarbaumonitor-Programms ([www.solarbau.de](http://www.solarbau.de)) für neue effiziente Bürogebäude sind es ca. 40%. Das

		Referenz	Passivhaus	Bauteilaufbau der PH-Variante
U-Wert [W/(m²K)]	Wand	0,63	0,14	24cm Wärmedämmverbundsystem Polystyrol, WLG 035
	Dach	0,53	0,14	30cm Zellulosedämmung WLG 040 in TJI-Trägern
	Boden	0,93	0,36	3 cm Bläherlite WLG 050 (Ausgleichsschicht) plus 4,5 cm Polyurethan WLG 025 plus
	Perimeter	0,63	0,18	Thermisch getrenntes Sockelabschlussselement mit anschließender Schürzendämmung im Sockel- und Perimeterbereich
	Fenster	1,70	0,83	Holz-PU-Mehrschichtrahmen, dreifache Wärmeschutzverglasung mit thermisch getrenntem Glasrandverbund aus Poly-carbonat
Lüftung		Abluftanlage	Zu/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung	Eigenkonstruktion der Zentrale aus hocheffizienten innovativen Komponenten, Sole-EWT
Heizung		Gas-Brennwerttechnik	Gas-Brennwerttechnik	Niedertemperatur-Heizkörper

Tab. 1: Wärmetechnische Kennwerte von Referenz- und Passivhausvariante (realisiert)

Gebäude unterschreitet die Grenzwerte der EnEV für Altbausanierungen um rund 85%, die Neubaugrenzwerte um rund 77%.

<b>Betrachtungszeitraum</b>	30 a
<b>Kapitalzins</b>	5 %
<b>Energiepreissteigerungsrate</b>	3 %
<b>Aktueller Strompreis (netto)</b>	14,1 ct / kWh
<b>Aktueller Wärmepreis (netto)</b>	3,4 ct / kWh

Tab. 2: Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Baukosten (KG 300+400) betragen 810.000 EUR (netto). Darin sind Mehrinvestitionen für rein energetisch begründete zusätzliche Maßnahmen (ohne sommerliche Kühlung und ohne Beleuchtung) gegenüber einem funktionell erforderlichen Mindeststandard (Referenzvariante Tab. 1) in Höhe von 60.000 EUR enthalten. Die wirtschaftliche Bewertung wurde nach dem Annuitätenverfahren durchgeführt (Randbedingungen Tab. 2). Nach 30 Jahren resultiert

ein Barwertüberschuss von rund 20.000 EUR, die Amortisationszeit beträgt 26 Jahre. Unter Berücksichtigung der erhaltenen Förderung<sup>1</sup> von 47.200 EUR beträgt der Barwertüberschuss 112.000 EUR bei 6 Jahren Amortisationszeit. Insbesondere unter Berücksichtigung der langen Nutzungszeit ist eine Investition in Energiesparmaßnahmen auf Passivhausniveau wirtschaftlich durchaus sinnvoll.

### 3 Umgesetzte Sanierung



Abb. 2: Nach der Sanierung

Im Gegensatz zu einem Neubau liegen beim Altbau Außen- und Tragwände, Deckenhöhen usw. schon fest und bestimmen die Möglichkeiten von Gestaltung und Ausführung mit. Darüber hinaus waren bei dem Bauvorhaben Auflagen des Denkmalschutzes an Fassaden und Dach zu beachten, da das Gebäude zum Ensemble der denkmalgeschützten ehemaligen Thiepval-Kaserne gehört.

#### 3.1 Gebäudehülle

Auf das massiv gebaute alte Erdgeschoss wurde ein neuer Dachstuhl mit Gaupen aufgesetzt, um das Dachgeschoss nutzen zu können. Das gesamte Gebäude erhielt einen hochwertigen Wärmeschutz (Tab. 1). Verbleibende Wärmebrücken am Fußpunkt der tragenden Wände wurden durch verstärkte Perimeterdämmung kompensiert [Lude, Werner 2003].

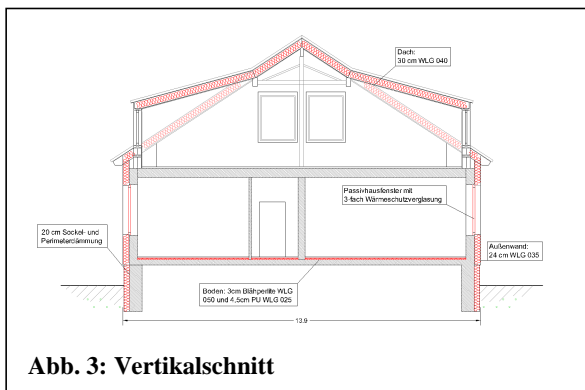


Abb. 3: Vertikalschnitt

Luftdichte Schichten sowie deren Anschlussdetails wurden geplant und mit der ausführenden Firma besprochen. Ohne besonderen Aufwand in der Bauüberwachung wurde auf Anhieb ein Drucktestergebnis  $n_{50} = 0,2 \text{ l/h}$  erzielt. Dies zeigt, dass gute Planung sowie Information und Kontrolle der beteiligten Gewerke lohnend und erfolgreich sind.

<sup>1</sup> Klimaschutz-Plus-Programm Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg

### 3.2 Haustechnik

Arbeits- und Besprechungsräume werden durch die Lüftungsanlage mit Frischluft versorgt, während Abluft aus Funktionsräumen wie WC, Teeküche, Serverraum abgesaugt wird; Flure sind Überströmzonen. Nur Besprechungsräume erhalten Zu- und Abluftversorgung. Die Lüftung der Büroräume wird über ein Zeitprogramm geregelt; die gemessenen Kennwerte enthält Tab. 3. In den Besprechungsräumen kann der Volumenstrom mit Hilfslüftern bis 270 bzw. 400 m<sup>3</sup>/h vergrößert werden. Die mechanische Sommernachtlüftung wird in Abhängigkeit von Abluft- und Außentemperaturen gesteuert.

Betriebszustände der Lüftungsanlage	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	Luftwechselrate [1/h]	Elektr. Antriebsleistung [W]
Grundlüftung nachts	250	0,25	25
Regellüftung Winter	1000	0,50	150
Regellüftung Sommer	2000	1,0	300
Nachtlüftung Sommer	4000	2,0	1100

**Tab. 3: Gemessene Betriebszustände der Lüftungsanlage**

Der effektive Wärmebereitstellungsgrad der Lüftungsanlage (PhPP-Planwert) beträgt im Regelbetrieb 80%, die elektrische Leistungsaufnahme ist sehr gering (Mess-

werte Tab. 3). Durch Einsatz von Lüftern mit integrierten Mess- und Regelfunktionen ist die Regelung einfach. Der Außenluftventilator (Master) hält den zentralen Zuluftverteiler auf vorgegebenem Druckniveau; der Volumenstrom kann so an den Raumluftdurchlässen einreguliert oder variiert werden. Der Fortluftventilator als Slave fördert den vom Master vorgegebenen Massenstrom. Auf diese Weise arbeitet die Anlage in allen Betriebszuständen balanciert. Mittels Gegenstrom-Plattenwärmetauscher wird Wärme aus der Abluft rückgewonnen, im Sommer wird er beidseitig umgangen. Durch einen vorgeschalteten Sole-Luft-Wärmeübertrager mit Solekreislauf im Erdreich kann im Sommer Außenluft vorgekühlt und im Winter der Frostschutz des Platten-Wärmetauschers gesichert werden. Die Soleleitungen wurden kostengünstig im Arbeitsraum rund um das Gebäude verlegt.

Die Anlage wurde von ebök als Prototyp mit hocheffizienten Komponenten umgesetzt. Die Lüftungszentrale befindet sich in einer Abseite des Dachraums.

Wärmeerzeuger ist eine modulierende Gasbrennwerttherme, die bei Bedarf auch über einen Durchlauferhitzer auf kurzem Weg Teeküche, Dusche und Putzwaschbecken mit warmem Wasser versorgt. Für eine Frischluftheizung wären (bei einer Gebäudelänge von 30 m) zahlreiche dezentrale Nachheizregister notwendig geworden, wodurch sich gegenüber der realisierten Lösung mit Heizkörpern (65/45°C) keine wirtschaftlichen oder energetischen Vorteile ergeben hätten. Eine solare Nutzung der Dachflächen war aufgrund des Ensembleschutzes im Thiepvalareal nicht möglich.

### **3.3 Arbeitsplätze**

Die fensternah angeordneten Arbeitsplätze bieten gute Tagesbelichtung. Der Fensterflächenanteil (bezogen auf die Nutzfläche) beträgt im Mittel 23%. Sonnen- und Blendschutz wird durch innenliegende Lamellenraffstores bewerkstelligt. Ergänzt wird die Tagesbelichtung durch effiziente Beleuchtung mittels Leuchtstofflampen mit elektronischem Vorschaltgerät. Sie ist tageslichtabhängig stufenlos geregelt und wird über Bewegungsmelder gegebenenfalls automatisch ausgeschaltet.

Bei Ersatz- oder Neubeschaffung von Computer- und Bürogeräten wird auf geringen Strombedarf geachtet (z.B. LCD-Flachbildschirm statt Röhrenmonitor); außerdem ist die Nutzung der geräteeigenen Spartechnik Pflicht (Stand-By statt Bildschirmschoner). Bauseitige schaltbare Steckdosen mit Kontrollleuchten ermöglichen eine komplette Netztrennung von Computern und Druckern. Stromverbrauch ohne Dienstleistung wird so vermieden und die Geräte sind besser vor Blitzschlag geschützt.

### **3.4 Sommerliche Maßnahmen**

Gutes sommerliches Raumklima erfordert akzeptable solare Lasten, d.h. funktionalen Sonnenschutz bei angepassten Fensterflächen. In Büros ist wegen erhöhten inneren Wärmelasten (gegenüber Wohnnutzung) in der Regel mindestens eine „sanfte“ Kühlung vornehmlich über Nachtlüftung notwendig. Eine funktionsoptimierte Neugestaltung der Fensterteilung (horizontale Teilung mit Oberlicht) war jedoch aus Gründen des Ensembleschutzes nicht möglich. Daher wurde die Lüftungsanlage auf den Betrieb als mechanische Nachtlüftung ausgelegt. Zusammen mit ausreichend hohen inneren Wärmekapazitäten kann so die Häufigkeit hoher Raumtemperaturen stark verringert werden.

Allerdings sind in dem aus statischen Gründen komplett als Leichtbau errichteten Dachgeschoss nur relativ geringe Kapazitäten verfügbar, wie dies auch sonst in Bürogebäuden aus verschiedensten Gründen häufig der Fall ist. Zur Erhöhung der Wärmekapazitäten wurden die raumseitigen Dachflächen durch Gipsbauplatten mit eingebetteten mikroverkapselten Paraffinen (PCM) bekleidet. Wegen der Schmelzwärme beim Phasenübergang weisen diese Platten im Bereich raumüblicher Oberflächentemperaturen Wärmekapazitäten vergleichbar einer ca. 3–5 cm starken Betonplatte auf. Das Erdgeschoss besitzt von sich aus ausreichende Wärmekapazitäten, dabei wurde darauf geachtet, dass diese auch zugänglich sind: Die notwendige raumakustische Bedämpfung von Foyer und Besprechungsräumen wurde ohne großflächige Abhängung der Decken gelöst.

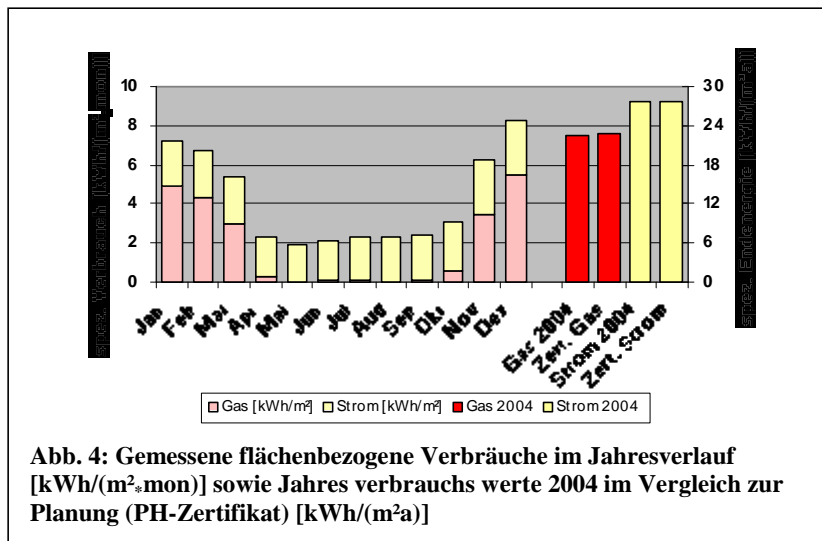
In den Büroräumen wird die Zuluft über Weitwurfdüsen unter der Decke eingeblasen. Dies führt im Vergleich zur freien Nachtlüftung über Fenster zu einem besseren Wärmeübergang, so dass die Speichermassen über Nacht besser entwärmt werden.

## 4 Erste Messergebnisse und weitere Untersuchungen

Seit September 2003 ist das Gebäude bezogen. Die im Jahr 2004 vom Versorgungsunternehmen bezogenen Gas- und Strommengen<sup>2</sup> stimmen gut mit dem für die Zertifizierung berechneten Gas- und Strombedarf (Abb. 2) überein. Raumklima und Luftqualität im Gebäude werden von den Nutzern als ausgeglichen und angenehm bezeichnet.

Gewöhnungsbedürftig war die Kunstlichtregelung: Es kann vorkommen, dass die Beleuchtung bei ruhiger Arbeit gedimmt wird, hier hilft jedoch Winken zum Sensor.

Dies Ergebnis bietet eine gute Grundlage für die jetzt angelaufene Untersuchung<sup>3</sup> im Rahmen des EnSan-Programms ([www.ensan.de](http://www.ensan.de)), die von der Hochschule für Technik, Stuttgart in Zusammenarbeit mit dem Ing.-Büro ebök bis 2007 durchgeführt wird. Wesentliche Punkte dieser Untersuchung sind Differenzierung der Energiebilanzen auf verschiedene Anwendungsarten; detaillierte Untersuchung von mechanischer



Lüftung und Sole-Erdwärmetauscher; Untersuchung des Wärmeabflusses zum Erdreich und Vergleich mit Planungsverfahren; Einfluss der mechanischen Lüftung auf Luftqualität sowie sommerliches Klima in Räumen mit Massiv- bzw. Leichtbaudecken mit PCM.

Weitere Angaben zum Gebäude finden Sie unter <http://www.eboek.de/literatur.html>

[Lude, Werner 2003] Lude, Gerhard, J. Werner, Th. Kirtschig: Wärmebrücken am Fuß des Gebäudes – Neue Lösungsmöglichkeiten für Sockelanschluss und erdberührte Flächen bei Neubau und Sanierung. In Tagungsband 7. Internationale Passivhaustagung, 21.-22. Februar 2003, Hamburg.

<sup>2</sup> Der gemessene Stromverbrauch wurde auf die noch nicht genutzte Teilfläche extrapoliert.

<sup>3</sup> Für die finanzielle Förderungen der Untersuchungen im Rahmen des EnSan-Programms bedanken wir uns bei folgenden Firmen: AEREX Haustechnik, Eisdorf - Ensinger GmbH, NL Ravensburg, Thermix - Fenster Striegel GmbH, Saulgau - Knauf Gips KG, Iphofen - Marmorit GmbH, Bollscheil - NIBE Systemtechnik, Celle