

# Passivhaussporthalle Sande - Vorbildlich auf Sand bauen?

Dr. Bernd Steinmüller Sustainability Management Consulting, BSMC, Kleinenberger Weg 8, D-33100 Paderborn, [info@bsmc.de](mailto:info@bsmc.de)



## 1 Einleitung

Die Stadt Paderborn will mit ihrem Eigenbetrieb für Gebäudemanagement GMP den Energie- und Ressourcenverbrauch im Gebäudebereich nachhaltig senken und die breite Einführung der Passivhaustechnologie anhand eines Pilotprojektes vorbereiten. Hierfür wurde 2009 der anstehende Neubau einer Zweifach-Sporthalle im Ortsteil Sande ausgewählt, für den zwei kürzlich errichtete Referenzobjekte in verbessertem EnEV-Standard existieren. Bei vergleichbarem Budget sollen der Wärmebedarf nochmals halbiert, ein Kältebedarf vermieden und Passivhaus-Standard erreicht werden. Zur Erarbeitung einer nachhaltigen Lösung zog die Stadt das Beratungsbüro des Autors hinzu.



Abbildung 1: Architektur

Anknüpfend an das vorliegende Architekturkonzept sollten dabei einerseits charakteristische Merkmale der Vergleichsbauten (wie Hallen-/Nebenraum-Geometrie, Vorhangfassade, Beleuchtung über Lichtkuppeln) beibehalten, andererseits lokalen Randbedingungen (Erhalt neu gepflanzter schattenwerfender Bäume auf der Südseite der Halle und Bauen auf Sand) Rechnung getragen werden. Der Sandboden implizierte eine wärmebrückenträchtige Gründung, für die im Rahmen des Passivhausansatzes - ggf. im Trade-Off mit anderen Komponenten - kostengünstige Dämm-lösungen zu finden waren.

Für den Passivhaus-Standard werden die einschlägigen Anforderungen für Sporthallen zu Grunde gelegt [Kah2009]. Als zentrales Beurteilungskriterium und Kompass für die Wirtschaftlichkeit wird der Kapitalbarwert über die Lebensdauer herangezogen, der auch als Instrument für nachhaltige Maßnahmenoptimierung genutzt werden kann [Steinmüller2008]. Nutzergerechtigkeit und Nutzungskomfort bilden den Kern der sozialen, Energieeffizienz und Offenheit für Erneuerbare den Kern der ökologischen Kriterien.

Im Lösungsprozess werden zunächst die kritischen Gebäudeparameter für den Winter- und Sommerfall samt ihrer maßgeblichen Empfindlichkeiten identifiziert, der vorgegebene Aus-

gangsfall in einen passivhauskompatiblen Basisfall transformiert, welcher wiederum in einem iterativen Prozess verfeinert und optimiert wird. Zur Qualitätssicherung wird ein Zertifizierungsprozess nach den Richtlinien des Passivhausinstitutes durchgeführt [Feist 2009].

## 2 Optimierung der Gebäudehülle

Hüllflächen sind thermische Verlustflächen und kosten Invest, so dass sie aus ökonomischer wie energetischer Sicht möglichst „kompakt“ gehalten werden sollten. Da die Gebäudegeometrie im vorliegenden Projekt weitgehend vorgegeben ist, waren Flächenoptimierungen nur begrenzt realisierbar. Im Fokus der Optimierung stehen Bodenabschluss, Fassaden- und Dachkonstruktion sowie Oberlichter, Fenster, Wärmebrücken und Luftdichtheit.

### Bodenabschluss und Gründung

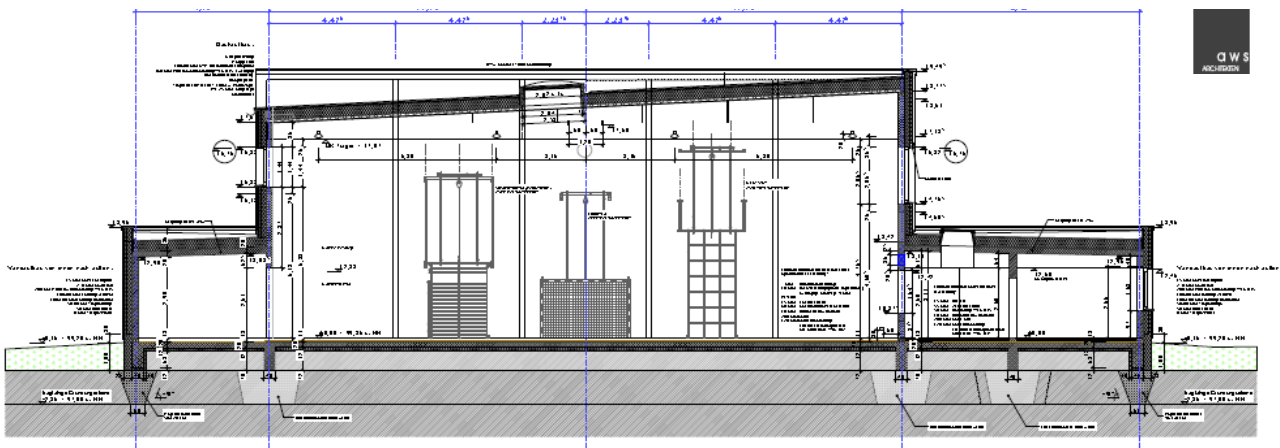


Abbildung 2: Querschnitt Gebäudehülle mit Gründung

Als Bodenabschluss war analog zu den Vergleichsbauten zunächst eine flach gegründete Bodenplatte angesetzt, deren Dämmung zur Vermeidung von Wärmebrücken unter die Bodenplatte gelegt und auf etwa 20cm erhöht war. Die statische Analyse zeigte jedoch, dass eine tiefe Gründung nötig ist, welche unter der Bodenplatte ein „Betongebirge“ mit 5 „Gebirgskämmen“ (Streifenfundamenten) und 22 „Gipfeln“ (Brunnenfundamenten) zur Folge hat. Die umfassende Dämmung des Gebirges würde eine hohe fünfstellende Zahl an Kosten verursachen, so dass überlegt wurde, wie man die Kosten begrenzen könne, ohne das Passivhauskonzept in Frage zu stellen.

Es wurde erwogen, zwischen Brunnen- und Streifenfundamente eine druckfeste Dämmlage einzubringen, um auf diese Weise das „Gebirge“ und mit ihm Dämmkosten und Wärmeverluste zu reduzieren. Überschlagrechnungen zeigten jedoch, dass auch dieses Gebirge noch erhebliche Mehrkosten und Wärmeverluste zur Folge haben würde, wobei zudem die Lieferbarkeit entsprechend druckfesten Dämmmaterials in Frage stand.

Als radikale Alternative wurde der völlige Verzicht der Bodenplattendämmung vorgeschlagen. Hierdurch würden neben der Dämmung der „Gebirgskämme“ auch die Dämmkosten für ca. 1400m<sup>2</sup> Bodenfläche, d.h. insgesamt rund 50.000 € gespart, die dann unter Nutzung

der Dämmwirkung des Sandes für eine wesentlich kostengünstigere Randdämmung und kompensatorische Maßnahmen in der übrigen Gebäudehülle investiert werden können.

Nachrechnung zeigte, dass dieses Alternativkonzept in der Tat die kostengünstigste Variante war und nur ein geringer Teil der Kosteneinsparungen für kompensatorische Maßnahmen benötigt würde. Trotz grundsätzlicher Befürwortung plädierten Bauherr und Architekt jedoch für eine weniger radikale Umsetzung mit einer Minimaldämmung als „Sicherheitspolster“. Als goldene Brücke erwies sich, dass schon bei Einbringen einer dünnen Dämmschicht unter der Bodenplatte kostenmindernd auf die Sauberkeitsschicht verzichtet werden kann. In der realisierten Variante wurde daher in den flachen Bereichen der Bodenplatte unter Aussparung des „Gründungsgebirges“ eine auf 12cm reduzierte Dämmschicht gelegt, so dass oben genannte Ersparnisse zwar nicht voll, aber gut zur Hälfte realisiert werden konnten.

## Fassaden- und Dachkonstruktion

Für Vorhangfassaden werden häufig Aluminiumunterkonstruktionen verwendet, die im vorliegenden Fall wärmebrückenbedingt den Hüllkennwert um 20 % und den Kapitalbarwert des Energieverbrauchs um über 20.000 € erhöht hätten. Als wärmebrückenarme Alternativen bieten sich Holzunterkonstruktionen sowie seit Kurzem auch optimierte Metallaufhängungen an. Erstere sind bewährt und flexibel handhabbar, so dass die Wahl auf sie fiel. Mit 28cm Mineralwolldämmung WLG035 werden U-Werte von  $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$  erzielt,



Abbildung 3: Fassadenkonstruktion

die sich an den Stirnseiten der Halle durch die innenliegende, 8cm gedämmte Prallwandkonstruktion auf  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  reduzieren. Im Dach wurde die klassische Kalzip-Konstruktion durch eine verbesserte, fast wärmebrückenfreie holzgestützte Variante ersetzt, die mit 36 cm WLG035 Mineralfaserdämmung einen U-Wert von  $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$  erreicht.

## Lichtkuppeln, Fenster

Lichtkuppeln und Fenster erfüllen mit Beleuchtung, Solarwärmenutzung, Belüftung, Entrauchung und Dämmung eine Mehrfachfunktion, so dass hier mehrere Ansprüche gegeneinander abzuwägen und zu optimieren sind.

Dies gilt insbesondere für die wärmetechnisch nicht unproblematischen Lichtkuppeln. Hier wurde nach verbesserten Systemlösungen gesucht, die zusammen mit den Fenstern in effizienter Weise obige Mehrfachfunktionen wahrnehmen können. Neben 3-fachverglasten Oberlichtern werden zurzeit 5- und 6-fach Acryl-Kuppeln angeboten. Die U-Werte dieser Elemente sind in den letzten Jahren zwar gesunken, liegen aber in der Regel immer noch über  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , wobei die in Rechnung zu stellenden Bezugsflächen und Einbauwärmebrücken oft klärungsbedürftig sind, so dass U-Werte die analog zu Fenstern auf die Rohbau-

öffnung projiziert sind, deutlich höher ausfallen können. Die  $g$ -Werte liegen zwischen ca. 30 und 55%, die Lichttransmission zwischen 40 und 70%.



Abbildung 4: Lichtkuppeln, Licht

In die engere Wahl kamen zunächst 5-fach Lichtkuppeln mit  $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g = 52\%$ , 10cm stark gedämmten Rand und einem U-Wert in eingebautem Zustand von ca.  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Lieferbar waren schließlich 6-fach Acrylkuppeln mit  $U_g = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g=34\%$  und 15cm stark gedämmten Rand, deren U-Wert eingebaut  $0,99 \text{ W/m}^2\text{K}$  beträgt [Krick 2011]. Mit dieser Kuppel können die erstrebten Funktionen bewältigt werden. Die technischen Werte, sowie der durchlaufene Auswahl-, Liefer- und Nachweisprozess deuten jedoch an, dass in diesem Bereich weiteres Optimierungspotential steckt.

Für die Fenster und vertikalen Verglasungen kann dagegen auf eine Vielzahl passivhausgeeigneter Bauteile zurückgegriffen werden. Im oberen Hallenbereich kommen weitgehend Festverglasungen mit geringem Rahmenanteil (Mittel 20%), im Umkleide- und Ein-

gangsbereich bewegliche Fensterelemente und -türen zum Einsatz. Die U-Werten liegen zwischen  $0,7$  und  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , die  $g$ -Werte bei 48% (klar) bzw. 44% (matt).

### Luftdichtheit und Restwärmebrücken

Nach Passivhaus-Standard ist ein  $n_{50}$ -Wert von  $0,6 \text{ h}^{-1}$  zu erreichen, der in der Wärmebilanz mit gut  $3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  bzw. 20% des Heizwärmegrenzwertes zu Buche schlägt. Das A/V-Verhältnis von 42% signalisiert Reduktionspotentiale von einem Faktor 3 im Vergleich zu Einfamilienhäusern, so dass als adäquater hallenbezogener Grenzwert  $0,2 \text{ h}^{-1}$  und als Zielwert  $0,1 \text{ h}^{-1}$  angestrebt werden sollten. Tatsächlich wurde kurz vor der Fertigstellung (mit deutlichen Leckagen von Türen, die noch zu justieren waren) ein Wert von  $0,13 \text{ h}^{-1}$  gemessen. Die Luftdichtheit der Halle liegt daher mehr als ein Faktor 4 unter den derzeitigen Passivhaus- und mehr als ein Faktor 10 unter den EnEV-Anforderungen.

Wärmebrücken wurden wo möglich konstruktiv vermieden bzw. durch geeignete Maßnahme stark reduziert. Sie tragen in Summe rund 10% zum gewichteten Hüllkennwert bei, wobei etwa 4% auf die bewusst in Kauf genommenen Wärmebrücken der Bodenplatte sowie je 3% auf vorwiegend holzbezogene Restwärmebrücken in Fassade und Dach entfallen.

## 3 Gebäudetechnik und -betrieb

Die Technikzentrale ist in der Mitte des Umkleidetrakts untergebracht, so dass Halle und Umkleiden auf kurzen Wegen mit Luft und Wärme versorgt werden können.

Für die Lüftung kommt ein hocheffizienter Rotationswärmetauscher zum Einsatz, dessen Wärmerückgewinnungsgrad - nach Abgleich mit dem PHI - zu 80% ermittelt wurde. Die Regelung erfolgt temperatur-, feuchte- und CO<sub>2</sub>-abhängig, wobei im Sommer - mit Ausnahme der WC- und Duschaumentlüftung - auf automatische nutzerbeeinflussbare Fensterlüftung umgestellt wird.

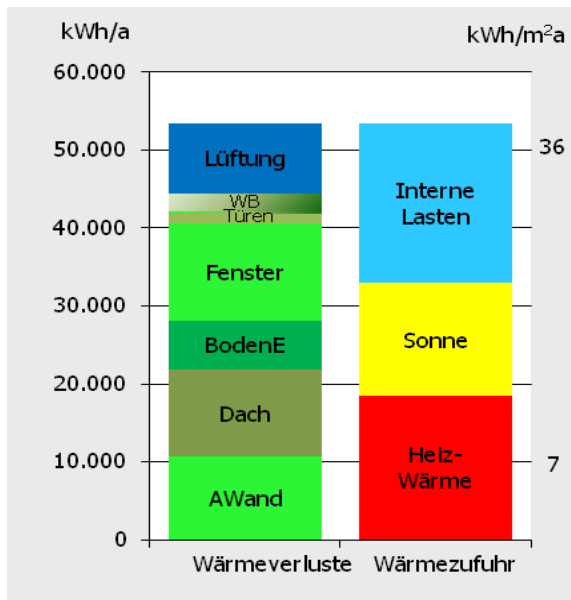


Abbildung 5: Jahreswärmebilanz

Oben genannte Effizienzmaßnahmen reduzieren die Wärmeverluste so stark, dass sie etwa zu 2/3 passiv durch freie Wärme gedeckt werden können und nur noch 1/3 aktiv an Heizwärme zuzuführen ist.

Die Restwärmeversorgung erfolgt über Brennwerttechnik, die in Kürze durch eine vorinstallierte thermische Solaranlage ergänzt wird. Das erd-kollektorbasierte „aktive“ Kühlsystem des Vergleichsgebäudes entfällt. Gekühlt wird „passiv“, wobei drei öffnbare RWA-/Licht-kuppeln und 2 x 4 gegenüberliegende Kippfenster Wind- und thermische Auftriebskräfte zur wirkungsvollen Tag- und Nachtlüftung nutzen. Die südlichen Hallfenster können durch verstellbare Außenjalousien verschattet werden. Die Beleuchtung wird bei ungenügendem Tageslicht über mit T8-

Lampen bestückte, automatisch dimmbare Spiegelrasterleuchten sicher gestellt.

Zur regenerativen Stromerzeugung ist das Dach für Fotovoltaik vorbereitet.

## 4 Passivhaus-Standard und Plus-Energie

Sämtliche Kennwerte des Passivhaus-Standards wurden erreicht bzw. teilweise deutlich unterboten. Der Heizwärmebedarf liegt mit 13 kWh/m<sup>2</sup>a gut 10%, der Primärenergie-Kennwert mit 70 kWh/m<sup>2</sup>a gut 40% unter dem Anforderungswert.

Solarthermie wird den Primärenergiekennwert um weitere 10% senken. Mit PV kann schließlich der gesamte Jahresprimärenergiebedarf des Gebäudes gedeckt und darüber hinaus noch einmal die gleiche Menge als „Plus-Energie“ zur Verfügung gestellt werden.

## 5 Schlussfolgerungen

Die Vorteilhaftigkeit der Passivhaustechnologie konnte im vorliegenden Projekt überzeugend demonstriert werden. Die Gründung auf Sand führte dabei trotz wärmebrückenträchtiger Fundamente nicht zu Dämmkostensteigerungen, sondern mit passivhausgerechtem Alternativkonzept zu Einsparungen. Im Bereich der Vorhangfassade kann die übliche wärme-

brückenträchtige Aufhängung bei nur geringen Mehrkosten durch nahezu wärmebrückenfreie Konstruktionen ersetzt werden. Analoges gilt für das Dach. Lichtkuppeln übernehmen eine attraktive Mehrfachfunktion, bergen jedoch weiterhin Optimierungspotential. Der  $n_{50}$ -Anforderungswert für Luftdichtheit von  $0,6h^{-1}$  ist in Hallen leicht um einen Faktor zu unterbieten. Um eine konsequente Ausschöpfung dieses Potentials zu ermutigen, sollte dieses Faktum noch stärker - ggf. über einen A/V-unabhängigen, außenflächenbezogenen Zielwert - propagiert werden.

Hervorragende Energiekennwerte sind für Sporthallen erheblich schwerer zu erreichen als für andere großvolumige Gebäude, da die Wärmeverluste bei ihnen lediglich auf die Energiebezugsfläche einer statt mehrerer Etagen umgelegt werden. Ein gelungener Test an einem derartig ungünstigem Gebäude ist daher höher einzuschätzen als ein analoger Test an einem kommunalen Durchschnittsgebäude, zumal auf Grund der Vorgaben im vorliegenden Pilotprojekt eine Reihe von Optimierungsstellschrauben nicht genutzt werden konnten.

Der Erfolg hat die Stadt und das GMP bewogen, die Passivhaustechnologie bereits parallel in laufenden Projekten zur Anwendung zu bringen und für alle künftigen kommunalen Neubauten verbindlich zu machen. Darüber hinaus soll die Passivhaustechnik auch bei der umfassenden Sanierung von Altbauten Eingang finden und über die Vorbildwirkung in den privaten und gewerblichen Bereich ausstrahlen.

## 6 Danksagung

Besonderer Dank gilt dem GMP Paderborn mit seinem Leiter V. Hermann und seiner Stellvertreterin H. Voss, die dieses Pilotprojekt ins Leben gerufen haben, sowie den GMP-Mitarbeitern, der Architektur-Werk-Stadt Balhorn, Wewer, Karhoff, den Planungsbüros Bähr und Driller, die unterstützt durch BSMC dieses Pilotprojekt umgesetzt haben.

## 7 Quellenverzeichnis

- [Kah 2009] Kah, O., Schnieders J.: Randbedingungen u. Planungsaspekte von Passivhaus-Sporthallen, 13. Int. Passivhaustg., Frankfurt, PHI 2009
- [Feist 2009] Feist, W.: Zertifizierung als „Qualitätsgeprüftes Passivhaus“ - Kriterien für Passivhäuser mit Nicht-Wohnnutzung (NiWo), PHI 2009
- [Steinmüller 2008] Steinmüller, B.: Reducing Energy by a Factor of 10 - Promoting Energy Efficient Housing in the Western World, ISBN 978-3-935630-66-5, Center for Sustainability Management, Lüneburg 2008
- [Krick 2011] Krick, B.: Lichtkuppelberechnungen, PHI Darmstadt 2011.