

Dänischer Expo-Pavillon

Ökologische Sanierung
zum Plusenergiegebäude unter
Verwendung einer innovativen
PVT-Wärmepumpenanlage



Abschlussbericht

Projektförderung der Deutschen
Bundesstiftung Umwelt
Az 34646/01

Dänischer Expo-Pavillon
Boulevard der EU 11
30539 Hannover

Architektur- und TGA-Planungsbüro
Carsten Grobe Passivhaus
Boulevard der EU 11
30539 Hannover
www.passivhaus.de

PASSIVHAUS.DE

 **CARSTEN GROBE
ARCHITEKTUR
GEBÄUDETECHNIK**

Abschlussbericht „Dänischer Expo-Pavillon - Ökologische Sanierung zum Plusenergiegebäude unter Verwendung einer innovativen PVT-Wärmepumpenanlage“

Objekt: Dänischer Expo-Pavillon
Boulevard der EU 11
30539 Hannover

Eigentümer: Architektur- und TGA-Planungsbüro Carsten Grobe Passivhaus
Boulevard der EU 11
30539 Hannover
Tel.: 0511 / 400 649-0
e-mail: info@passivhaus.de
www.passivhaus.de

**Antragsteller
Förderung:** Architektur- und TGA-Planungsbüro Carsten Grobe Passivhaus
Boulevard der EU 11
30539 Hannover
Tel.: 0511 / 400 649-0
e-mail: info@passivhaus.de
www.passivhaus.de

Stand: Hannover, 10.08.2021

Copyright Architektur- und TGA-Büro Carsten Grobe Passivhaus

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	34646/01	Referat	24	Fördersumme	125.000 €
----	-----------------	---------	-----------	-------------	------------------

Antragstitel **Dänischer Expo-Pavillon Hannover – Ökologische Sanierung zum Plusenergiegebäude unter Verwendung einer innovativen PVT-Wärmepumpenanlage**

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
2 Jahre und 6 Monate	08.06.2018	31.12.2020 (verlängert)	1

Zwischenberichte 15.11.2018 / 20.12.2018 /
22.02.2019 / 16.08.2019

Bewilligungsempfänger

Architektur- und TGA-Planungsbüro
Carsten Grobe
Passivhaus
Boulevard der EU 11
30539 Hannover

Tel	+49 511 400 649 0
Fax	+49 511 400 649 70
Projektleitung	
Carsten Grobe	
Bearbeiter	

Kooperationspartner

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Für die Weltausstellung Expo 2000 wurde 1999 der Dänische Pavillon errichtet. Für die temporäre Nutzung als Ausstellungsgebäude konzipiert, wies der Gebäudekomplex erhebliche Defizite für eine ökonomische, sowie ökologische Nachnutzung auf.

Ziel des Projekts war die Sanierung des ehemaligen Dänischen Expo-Pavillon und heutigem Unternehmenssitz des Architektur- und TGA-Planungsbüros Carsten Grobe zu einem Plusenergiegebäude unter Einhaltung der Kennwerte des Passivhaus-Standards EnerPHit.

Durch eine umfassende Ertüchtigung der Gebäudehülle und Umstellung der Versorgungstechnik auf erneuerbare Energien sollte der zukünftige Endenergie- und Primärenergieverbrauch deutlich reduziert und damit die Umwelt entlastet werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die einzelnen Sanierungsmaßnahmen wurden durch das Büro Carsten Grobe ermittelt, analysiert und geplant. Die anlagentechnischen Komponenten wurden unter den Gesichtspunkten der Energieeffizienz und des Nutzerkomforts ausgelegt und dimensioniert. Während des gesamten Projektablaufs wurde die Ausführung überwacht und überprüft, um eine hohe Ausführungsqualität sicherzustellen.

Das Monitoringkonzept wurde von Beginn an mitgedacht und bei der TGA-Planung berücksichtigt. Die integrale Planung führte zu einer fein abgestimmten Ausführung und einem ganzheitlichen Gebäudekonzept.

Ergebnisse und Diskussion

Die Sanierung der Gebäudehüllen des Bürogebäudes und seiner Nebengebäude konnte abgeschlossen werden. In Verbindung mit dem Einsatz der Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung wurden die Wärmeverluste durch Transmission und Lüftung minimiert. Gleichzeitig konnte die Architektur und die Außenwirkung erhalten werden.

Durch konjunkturbedingte lange Lieferzeiten des PVT-Materials und notwendige Anpassungen bei der Montage, sowie ein längeres Genehmigungsverfahren der Erdwärmesonden kam es zu Verzögerungen im Zeitplan der hydraulischen Anbindung der Wärmequellen an das Wärmepumpensystem. Der Zeitplan für die Erstellung der Anlagenregelung wurde durch den Wechsel des ausführenden Unternehmens und durch die Komplexität des Regelungskonzepts gestört. Der manuelle Betrieb der Wärmepumpenanlage konnte erfolgreich aufgenommen werden. Alle Hardwarekomponenten der Steuerung sind installiert, die Regelung muss noch angepasst werden, sodass die Anlage den vollumfänglichen automatischen Betrieb ohne händische Nachsteuerung aufnehmen kann.

Durch seine Vielzahl an Wärmequellen, bzw. -senken und die Einbindung der PVT-Felder kann die Anlage als Prototyp angesehen werden. Diverse Anpassungen und Sonderlösungen während der Montagearbeiten der PVT-Felder haben daher zu Mehrkosten geführt. Die größte Kostensteigerung fällt allerdings auf die Eigenleistung. Umplanungen und eine enge, direkte Zusammenarbeit mit den ausführenden Unternehmen waren notwendig, um das Projekt erfolgreich abschließen zu können.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Der sanierte Gebäudekomplex steht der Öffentlichkeit wieder zur Verfügung. Durch den bewussten Verzicht auf Sichtbarrieren an den Grundstücksgrenzen wird der integrative Charakter des Pavillons erhalten und bietet Interessierten einen ungehinderten Blick auf die einzigartige EXPO-Architektur. Die Nebengebäude sowie der eingefasste Innenhof können als Schulung-, Veranstaltungs- und Eventlocation angemietet werden.

Auf dem Webauftritt des Architektur- und TGA-Planungsbüro Grobe www.passivhaus.de sind das Projekt und Impressionen, sowie Informationen zur Vermietung zu finden.

Diverse Presseberichte beleuchteten bereits die aufwendige Sanierung des Dänischen Pavillons zum Plusenergiegebäude, so auch ein Beitrag der Sendung „Hallo Niedersachsen“ vom 01.06.2020 anlässlich des 20-jährigen Jubiläums der Expo 2000.

Die Sanierung des ehemaligen Dänischen Expo-Pavillons wird auch in dem Buch „Klimaschutz und Energiewende in Deutschland“, herausgegeben von Udo Sahling, dargestellt. Das Buch wird als Print- und eBook-Ausgabe voraussichtlich im Januar 2022 erscheinen.

Des Weiteren war das Projekt Inhalt u.a. folgender Vorträge und Präsentationen, vorgestellt durch Herrn Grobe:

- 2019-11-22 EffizienzTagung Bauen+Modernisieren „Sanierung des Dänischen Pavillons zum Plusenergiegebäude mit Photovoltaisch-Thermischer-Hybrid-Anlage“
- 2020-02-27 Bremer Energie-Konsens „Klimaneutrales Heizen“ demonstriert am Dänischen Pavillon
- 2020-09-01 Stadt Gehrden „Umsetzung hochenergetische Nicht-Wohngebäude“
- 2020-10-06 Flecken Langwedel „Versorgung Gebäude mit ausschließlich regenerativen Energieträgern“
- 2020-10-08 Passivhaustagung „Sanierung des Dänischen Expo-Pavillons zum Plusenergiegebäude mit PVT-Wärmepumpen-Anlage“
- 2020-09-22 Klimaschutzagentur Beratertreffen mit Führung Dänischer Pavillon
- 2020-09-23 proKlima Beiratssitzung mit Führung Dänischer Pavillon
- 2021-04-14 Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen „Hochenergetische kommunale Gebäude“
- 2021-06-08 Hannover stromert Pressetermin mit Führung Dänischer Pavillon
- 2021-06-24 Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen „Nichtwohngebäude hocheffizient sanieren“
- 2021-06-25 Betriebsfeier Klimaschutzagentur mit Führung Dänischer Pavillon

Beiträge in folgenden Fachzeitschriften:

- 2020-01-07 Hannoversche Allgemeine Zeitung EXPO Park Journal 01/2020
- 2020-07-07 Hannoversche Allgemeine Zeitung EXPO Park Journal 07/2020
- 2021-06 BWI Bauen Wohnen Immobilien Nr. 3

Fazit

Die Sanierung zu einem Plusenergiegebäude unter Einhaltung der Passivhaus EnerPHit Kriterien konnte rechnerisch nachgewiesen werden. Eine detaillierte Bestandsanalyse, eine Kosten-Nutzen-Rechnung jeder Maßnahme und kreative und innovative Ideen haben zu einem hocheffizienten Bestandsgebäudekomplex geführt, der den aktuellen gesetzlichen Neubaustandard weit übersteigt.

Durch die Verzögerungen in der Ausführung der Gebäudeautomation, geschuldet der Komplexität der innovativen Anlagentechnik, konnte die Wärmepumpenregelung in der Projektlaufzeit nicht vollumfänglich automatisiert in Betrieb genommen werden. Ein Monitoring über ein volles Betriebsjahr und somit ein Abgleich der ermittelten Bedarfswerten mit den tatsächlichen Verbrauchswerten konnte bisher noch nicht durchgeführt werden.

Die Durchführung eines wissenschaftlichen Monitorings, sowie die betriebseigene, kontinuierliche Anlagen- und Verbrauchsüberwachung sollen zukünftig zu einer iterativen Optimierung der Anlage genutzt werden.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt	III
Abbildungsverzeichnis	VII
1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung	2
3 Projektablauf	3
3.1 Gebäudehülle	4
3.2 Beleuchtung und Verschattung	7
3.3 Gebäudetechnik	8
3.4 Batteriespeicher und E-Mobilität	9
3.5 Photovoltaisch-Thermische Kollektoren	10
3.6 Energiemanagement und Monitoring	12
3.7 EnerPHit-Nachweis	14
4 Fazit	14

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Plusenergiebilanz Dänischer Pavillon auf Basis von Simulationsberechnungen	3
Abbildung 2:	Detail: Sanierung Nordfassade und horizontale Dämmschürze	4
Abbildung 3:	Detail: Sanierung Dach- und Fassadendämmung	5
Abbildung 4:	Ertüchtigung der Bestands-PR-Fassade mit dem eigens entwickeltem Aufdopplungsprofil der Fa. ENERsign	6
Abbildung 5:	Dachaufsicht links vor der Sanierung, rechts nach der Sanierung und Fertigstellung der PVT-Dachunterkonstruktion	6
Abbildung 6:	LED-Beleuchtung im Bürogebäude	7
Abbildung 7:	Technikkeller, links: Wärmepumpe und Kälte-/Quellenspeicher, rechts: Heiz- und Kühlverteiler	9
Abbildung 8:	Sanierter Dänischer Pavillon mit Indach-PVT-Kollektoren	10
Abbildung 9:	Dachaufsicht nach Installation von Tragschienen und Wärmeübertragerprofilen	11
Abbildung 10:	Hydraulische Anbindung der PVT Felder, Hydraulischer Abgleich mit Strangregulierventilen	12
Abbildung 11:	Energiekonzept sanierter Dänischer Pavillon	13

1 Zusammenfassung

Das Architektur- und TGA-Planungsbüro Carsten Grobe Passivhaus sanierte den Dänischen Expo-Pavillon in Hannover zu einem hoch energieeffizienten Büro- und Veranstaltungsgebäude sowohl für die eigene Nutzung als auch zur öffentlichen Vermietung. Die Integration von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien in Architektur und Gebäudetechnik soll den Klimaschutz bei gleichzeitiger Komfort-erhöhung auf ein wirtschaftliches Fundament stellen.

Das Sanierungskonzept basiert auf dem bewährten Passivhauskonzept: Der Reduzierung des Energiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Warmwasserbereitung ohne Komfortverzicht mit passiven Maßnahmen (hochwertiger Wärmeschutz, hocheffiziente Wärmerückgewinnung etc.) auf ein Minimum. Der sehr geringe Restenergiebedarf kann dann nahezu vollständig über Erneuerbare Energien – insbesondere über eine innovative, gebäudeintegrierte Solar-Hybrid-Wärmepumpenanlage gedeckt werden. Dadurch ergeben sich neben der hohen Energieeinsparung auch positive Effekte in der Außenwirkung, da das Gebäude als Planungsbüro sowie als Schulungs-, Veranstaltungs- und Ausstellungsgebäude eine große Multiplikatorwirkung erzielt.

Im Projekt konnte gezeigt werden, wie zukünftig ganzheitliche Gebäudesanierungen gelingen können und der Gebäudebestand im Sinne des Klimaschutzes CO₂-neutral gestaltet werden kann. Dabei schafft das Konzept einen guten Einblick in die gesamte Breite der Sanierungs- und Optimierungsmöglichkeiten im Gebäudesektor und bietet auch mit innovativen Sonderanfertigungen und Prototypen Inspirations- und Nachahmungspotential.

2 Einleitung

„Mensch-Natur-Technik – Eine neue Welt entsteht“ so lautete das Motto der Weltausstellung Expo 2000 in Hannover. 20 Jahre später scheint es noch entscheidender innovative technische Konzepte zu entwickeln, zu fördern und zu realisieren, um die Natur zu schützen und den Menschen gleichzeitig mehr Komfort zu ermöglichen.

Der Dänische Pavillon ist einer der wenigen noch bestehenden Expo-Pavillons auf dem ehemaligen Gelände der Weltausstellung. Er diente in der Zwischenzeit bereits als Museum, Eventlocation, Schulungszentrum und Firmensitz. Ab 2014 stand das Gebäudeensemble leer, bis Herr Grobe es 2018 erwarb mit dem Ziel es zu einer attraktiven und energieeffizienten Immobilie mit Vorzeigecharakter aufzuwerten. Der Dänische Pavillon besteht aus vier Gebäuden: Das zweigeschossige Hauptgebäude inkl. Teilkellergeschoss und drei Nebengebäude – Pyramide, Kubus und Halbkugel.

Das Hauptgebäude erstreckt sich in Ost-West-Richtung über das Grundstück. Der Grundriss wird durch ein rechtwinkliges Trapez gebildet, sodass die Westseite, mit dem Haupteingang, sich über eine breite Glasfront zur Straße öffnet, das Gebäude hingegen zur Ostseite schmal zuläuft. Im Norden stellt die Holzverkleidung eine geschlossene, einheitliche Fläche dar und steht damit im Kontrast zu der Südseite, die durch die Pfosten-Riegel-Fassade mit großen Glasflächen das Gebäude mit viel Tageslicht versorgt. Unterstützt wird die natürliche Beleuchtung zusätzlich durch ein Band aus Oberlichtern, die parallel zur Nordseite in das Flachdach eingelassen sind.

Im Inneren bietet die Ebene des Obergeschosses zusätzliche Flächen. Sie verläuft an der Nordseite und wird über zwei Treppenhäuser erschlossen. Hinter der Glasfassade im Süden sorgt ein Luftraum für den ungehinderten Einfall des Sonnenlichtes.

Zur Expo 2000 wurde der Pavillon als temporäres Gebäude genehmigt. Erst zur Umnutzung im Anschluss an die Ausstellung wurde der Wärmeschutz näher untersucht. Die Ausführung der Gebäudehülle entsprach der damalig gültigen Wärmeschutzverordnung 1995 und damit bei weitem nicht den heute gültigen gesetzlichen Anforderungen der EnEV, bzw. des GEG.

Es galt somit zunächst energetische Schwachstellen in der Gebäudehülle zu erfassen und anschließend zu ertüchtigen, um das Ziel der Sanierung auf Passivhausniveau erreichen zu können.

Die Anlagentechnik beruhte auf einer Gasheizung, einer Lüftungsanlage und einer Kältemaschine. Viele Komponenten waren veraltet und für die zukünftige Gebäudenutzung und den zukünftigen Energiebedarf deutlich überdimensioniert. Lediglich das verbaute Luftkanalnetz konnte mit Anpassungen weiter genutzt werden.

Ziel war die wirtschaftliche Sanierung des Gesamtkomplexes zu einem Maximum an Energieeffizienz bei gleichzeitiger Komfortsteigerung für die Nutzer.

3 Projektlauf

Die energetische Sanierung des Dänischen Pavillons auf dem Expo-Gelände in Hannover wurde soweit möglich mit Passivhauskomponenten ausgeführt. Jede Maßnahme wurde individuell geprüft hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Umsetzbarkeit und ihres Energieeinsparpotentials.

Im Zuge der Planung wurden mehrere Gebäudesimulationen durchgeführt. Die Ergebnisse zur möglichen Einsparung an End- und Primärenergie zeigt die Abbildung 1.

Die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen zum Erreichen der Plusenergiebilanz werden im Folgenden dargestellt. Die tatsächlichen Verbräuche sollen in einem umfangreichen Anlagenmonitoring erfasst, ausgewertet und das Gebäudekonzept hinsichtlich seiner Energieeffizienz bewertet werden.

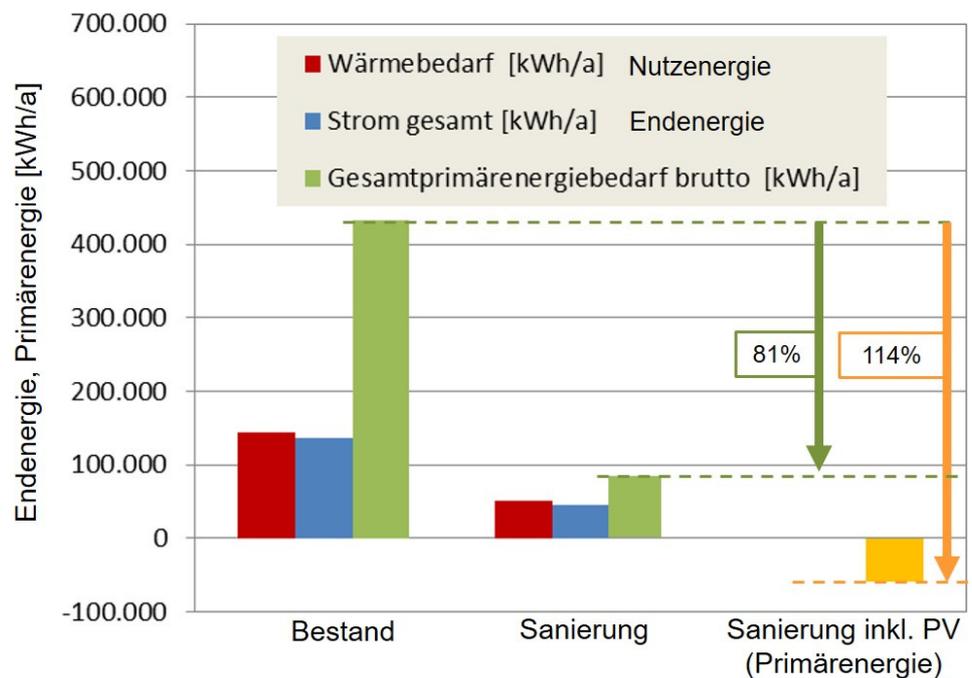


Abbildung 1: Plusenergiebilanz Dänischer Pavillon auf Basis von Simulationsberechnungen

3.1 Gebäudehülle

Die Außenwände und das Dach des Bürogebäudes wurden aufwendig saniert. Dabei wurde sowohl der Dämmstandard als auch die Luftdichtheit des Gebäudes deutlich angehoben. Individuelle Konstruktionen und Sonderanfertigungen kamen dort zum Einsatz, wo herkömmliche Lösungen nicht anwendbar oder nicht den gewünschten Effekt hätten erzielen können. Die Materialien und Komponenten wurden so gewählt, dass kaum in das architektonische Erscheinungsbild eingegriffen werden musste.

Die bestehenden Außenwände an der Nordseite wurden mit Polyisocyanurat-Hartschauplatten (kurz: PIR, $\lambda = 0,023 \text{ W}/(\text{mK})$) verstärkt. Hierfür mussten zunächst sämtliche Holzpaneele entfernt werden. Nach der Montage der zusätzlichen Dämmplatten wurde mit einer diffusionsoffenen Folie eine neue außenliegende luftdichte Ebene erstellt.

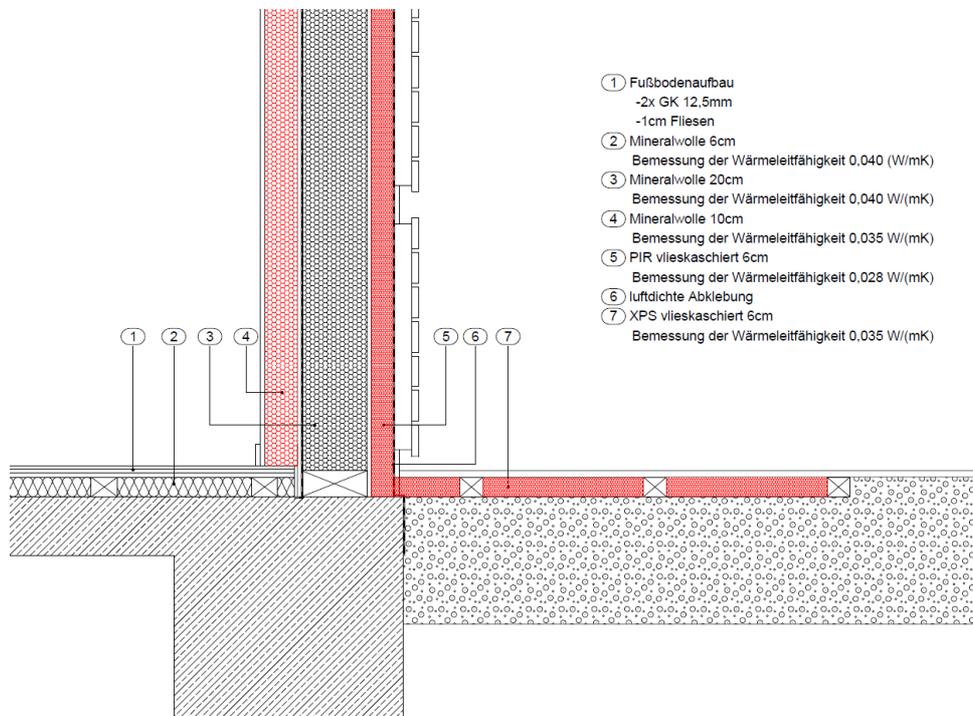


Abbildung 2: Detail: Sanierung Nordfassade und horizontale Dämmschürze

Eine zusätzliche Dämmung der Bodenplatte ließ sich nicht realisieren, daher wurde eine horizontale Dämmschürze aus 6 cm extrudiertem Polystyrol-Hartschaum (kurz: XPS, $\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{mK})$) verlegt.

Der obere Gebäudeabschluss wurde durch eine zusätzliche Dachkonstruktion mit 35 cm Zellulosedämmung ($\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{mK})$) aufgestockt, die als Unterkonstruktion für das Indach-PVT-System dient. Im Randbereich mit den Oberlichtern wurde die Einblasdämmung dagegen in einen 10 cm hohen Zwischenraum auf die bestehende Dämmung aus Mineralwolle aufgebracht und zusätzlich expandierter Polystyrol-Hartschaum (kurz: EPS, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$) verlegt.

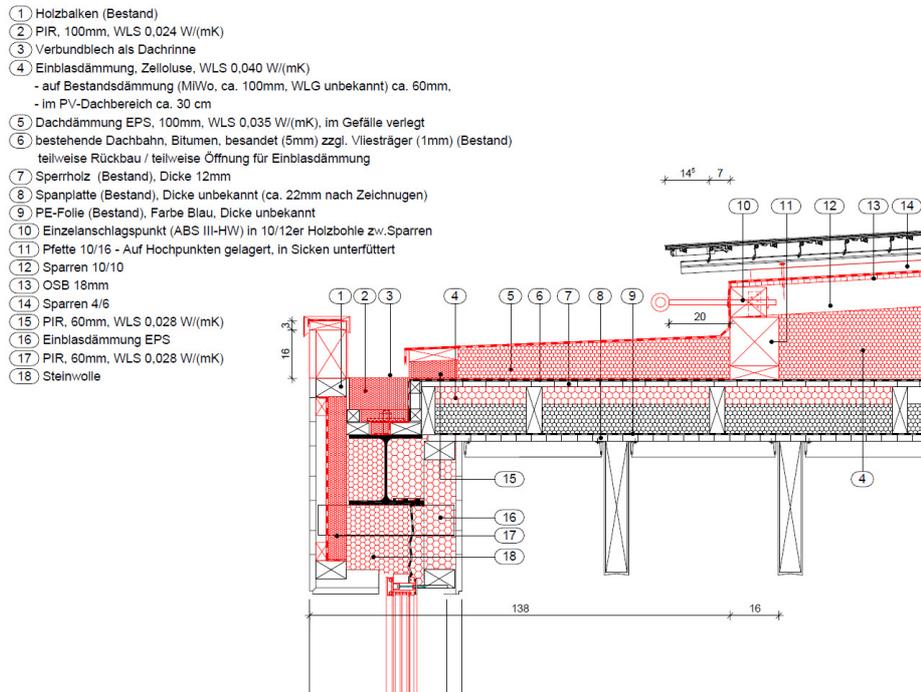


Abbildung 3: Detail: Sanierung Dach- und Fassadendämmung

Die Pfosten-Riegel-Fassade des Bürogebäudes wurde ebenfalls energetisch optimiert ohne das Erscheinungsbild zu verändern. Dazu wurden auf die vorhandene Tragkonstruktion speziell für dieses Projekt entwickelte Profile aus dem Werkstoff ENERcell der Firma ENERsign ($\lambda = 0,06 \text{ W}/(\text{mK})$) und Hart-Kunststoff ($\lambda = 0,15 \text{ W}/(\text{mK})$) zur Verstärkung aus statischen Gründen in den Eckbereichen aufgebracht. Es konnte ein U_f -Wert inklusive des Schraubeneinflusses von $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für die Profile erreicht werden. Die bestehenden Glasflächen wurden gegen eine 3-fach Verglasung mit Argonfüllung und thermischen Abstandshaltern SWISSPACER Ultimate getauscht. ($U_g = 0,58 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)



Abbildung 4: Ertüchtigung der Bestands-PR-Fassade mit dem eigens entwickeltem Aufdopplungsprofil der Fa. ENERsign

Die vorhandenen Oberlichter wurden vollständig zurückgebaut und durch Passivhaus-zertifizierte Oberlichter ersetzt. (Firma Lamilux, $U_g = 0,84 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $U_f = 0,61 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)



Abbildung 5: Dachaufsicht links vor der Sanierung, rechts nach der Sanierung und Fertigstellung der PVT-Dachunterkonstruktion

Zur Leckageortung sowie als Qualitätssicherung der ausgeführten Arbeiten wurden Luftdichtheitsmessungen durchgeführt. An schwer zugänglichen Stellen wurde ein neuartiger, faserarmerter Streichdichtstoff mit feuchtevariablem s_d -Wert eingesetzt. So konnte für das Bürogebäude ein n_{50} -Wert von 1,0 1/h erreicht werden.

3.2 Beleuchtung und Verschattung

Die hochwertigen Design-Bestandsleuchten in den Bürobereichen wurden aufgrund des hohen Gestaltungseinflusses nicht ausgetauscht. Es erfolgte jedoch ein Austausch der Vorschaltgeräte und der Leuchtmittel gegen LED mit einer Leistungsaufnahmen von je 6W inkl. Vorschaltgerät. In einzelnen Bereichen wurden ergänzend LED-Arbeitsplatzleuchten eingebaut. Es gibt separat schaltbare Beleuchtungsbereite mit Präsenzmeldern. Eine tageslichtabhängige Steuerung wurde nicht realisiert.

Neue Leuchten wurden grundsätzlich als LED installiert. In untergeordneten Räumen werden die Bestandsleuchten vorerst weiter genutzt und später bei Bedarf gegen LED getauscht.



Abbildung 6: LED-Beleuchtung im Bürogebäude

Vor der Glasfassade wurden zusätzlich zu den horizontalen stoffbezogenen Verschattungselementen vertikale Sonnensegel installiert. Ausgestattet mit motorisiertem Antrieb und in Kombination mit einem Windwächter können die Sonnensegel zur Verschattung oder als Blendschutz manuell über Taster mit Touchscreen von den Arbeitsplätzen aus bedient werden. Der Kühlenergiebedarf für das Bürogebäude konnte dadurch deutlich reduziert werden.

Grundsätzlich wurde die Steuerung der Beleuchtung, Verschattung, der Oberlichter, sowie der Temperaturreglung (Heizen und Kühlen) auf den Kommunikationsstandard KNX umgestellt. Dadurch können unter anderem alle unnötigen elektrischen Verbraucher am Ende des Tages komfortabel durch den Feierabend-Modus ausgeschaltet werden.

3.3 Gebäudetechnik

Die gesamte Anlagentechnik wurde von fossilen auf erneuerbare Energieträger umgestellt. So wird mit einem Wärmepumpensystem mit drei unterschiedlichen Wärmequellen/-senken vorrangig Umweltwärme/-kälte aus dem Erdreich, der Außenluft und der solaren Einstrahlung genutzt. Der restliche Energiebedarf ist vollständig elektrisch und kann zu einem großen Teil durch den elektrischen Ertrag der PVT-Felder gedeckt werden.

Um den Heizwärmebedarf weiter zu minimieren und damit das Sanierungskonzept der Gebäudehülle auch in der Technik konsequent fortzuführen, wurde ein hocheffizientes, Passivhauszertifiziertes Lüftungsgerät der Firma Menerga verbaut. Durch den Einsatz eines Polypropylen-Wärmeübertrager konnte der Wärmebereitstellungsgrad nach PHI-Kriterien gegenüber dem Zertifikat noch einmal gesteigert werden und liegt im Auslegungsbetriebspunkt bei 90 %. (Stromeffizienz = $0,36 \text{ Wh/m}^3$)

Das bestehende Luftkanalnetz konnte teilweise weitergenutzt und somit Kosten und Ressourcen eingespart werden. Durch die Anpassung des Volumenstroms auf die Gebäudenutzung konnten weitere Energieeinsparungen erzielt werden. Da das Luftkanalnetz ursprünglich nicht für diesen geringeren Volumenstrom ausgelegt worden ist, wurden diverse Auslässe verschlossen, Volumenstrombegrenzer eingebaut und zwei Bestandsdrosseln neu eingestellt. Nach der Inbetriebnahme wurden die Luftmengen an den einzelnen Auslässen gemessen und mit den Auslegungswerten abgeglichen. So konnte sichergestellt werden, dass die Luftqualität im gesamten Gebäude zu jeder Zeit gewährleistet ist.

In den Nebengebäuden Pyramide und Kuppel wurden ebenfalls neue Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung (Wärmebereitstellungsgrad nach PHI: 77%, bzw. 88 %) installiert. Die Geräte werden über CO₂-Sensoren bedarfsgesteuert.

Kernstück der neuen Heiz- und Kühltechnik ist eine Sole/Wasser-Wärmepumpe (Firma: BES, Fabrikat: IS-WP PRIME solo SW) mit einer Heizleistung von 58,6 kW bei einer Leistungszahl von 4,8. (B0/W35) Als Wärmequellen und -senken dienen 6 Erdsonden à 100 m, ein Erdwärmekollektorfeld mit einer Gesamtfläche von ca. 700 m² in doppellagiger Ausführung, sowie ca. 230 m² thermische Absorber unterhalb der PV-Module (PVT-Kollektoren). Weiterhin besteht das System aus zwei 3000 l Speichern, die als Kälte-, bzw. Heizungspufferspeicher eingesetzt werden. Der Kältespeicher dient dabei als Speicher für die drei Wärmequellen und bedient damit die Primärseite (Verdampfer) der Wärmepumpe mit Wärmeenergie. Auch die Gebäudekühlung, sowie die ganzjährige Kühlanforderung des Serverraums wird aus dem Kältespeicher bedient, wodurch ein Synergieeffekt im Heizfall erzielt wird.



Abbildung 7: Technikkeller, links: Wärmepumpe und Kälte-/Quellenspeicher, rechts: Heiz- und Kühlverteiler

Je nach Anforderung in den Gebäuden kann das System zwischen Heiz- und Kühlbetrieb umschalten. Der Verteiler im Heizungskeller versorgt die Heiz- und Kühlkreise im Bürogebäude sowie in den Nebengebäuden.

Für die Übergabe konnten die Bestandsheizkörper und Unterflurkonvektoren mit niedrigeren und damit effizienteren Vorlauftemperaturen weitergenutzt werden, da durch die Sanierung die Heizlast des Gebäudes entscheidend gesenkt werden konnte.

3.4 Batteriespeicher und E-Mobilität

Zur Erhöhung des PV-Eigenstromanteil und der Autarkie wurde ein Batteriespeichersystem von ads-tec mit einer Nennkapazität von 54 kWh eingebunden. Gemeinsam mit 4 Ladesäulen (insgesamt 8 Ladepunkte) mit jeweils bis zu 22 kW Ladeleistung und einem Lastmanagementsystem werden Lastspitzen der PV-Anlage gepuffert und das Stromnetz entlastet. 4 der errichteten Ladepunkten dienen der firmeneigenen Fahrzeugflotte, die schrittweise elektrifiziert wird, die restlichen Ladepunkte unterstützen das öffentliche Ladesystem für Elektroautos.

3.5 Photovoltaisch-Thermische Kollektoren

Ein herkömmliches Photovoltaikmodul kann nur einen geringen Teil der eingestrahnten solaren Energie nutzbar machen, ein Großteil wird in Wärme umgewandelt oder reflektiert. So erreichen aktuelle PV-Module Wirkungsgrade von weniger als 20 %. Solar-Hybridanlagen gewähren Zugriff auf einen Teil der absorbierten Wärmeenergie, indem sie wie ein herkömmlicher Solarthermie-Kollektor die Wärme über ein Medium aufnehmen und der weiteren Anlagentechnik zuführen. So kann auf derselben Fläche sowohl Strom als auch Wärmeenergie gewonnen werden.

Das eingesetzte PV-Indach-System der Firma blue energy systems wurde gemeinsam mit dem Hersteller zu einem PVT-Hybridssystem weiterentwickelt. Dabei bleiben die Vorteile einer Indach-Photovoltaikanlage, wie eine einheitliche, ästhetische Optik, sowie eine regendichte und langlebige Dacheindeckung erhalten und werden durch die Funktion der thermischen Nutzung ergänzt.

Hierfür werden die PV-Module auf eine Unterkonstruktion aus Aluminiumprofilen verschraubt. Die Durchströmung der Aluminiumprofile mit einem Wärmeträgerfluid ermöglicht das Abführen der Wärme und somit eine Kühlung, die wiederum den Wirkungsgrad der PV-Module anhebt. Gleichzeitig kann die gewonnene thermische Energie zusätzlich genutzt werden. Da bei diesem System bewusst auf eine Dämmung der Komponenten verzichtet wird, hängt die Systemtemperatur stark von der Außenluft ab und kann damit gut als Quelle einer Wärmepumpe eingesetzt werden.

Im Vergleich zu einer Luft/Wasser-Wärmepumpe, die ebenfalls die Außenluft als Wärmequelle nutzt, arbeitet das PVT-System völlig geräuschfrei.



Abbildung 8: Sanierter Dänischer Pavillon mit Indach-PVT-Kollektoren

Die Sanierung der Dachfläche wurde dazu genutzt eine zusätzliche Tragkonstruktion für die PVT-Kollektoren zu schaffen. Aufbauend auf das neue L-förmige Satteldach mit flachem Neigungswinkel wurde die Unterkonstruktion montiert. Die Wärmeübertragerprofile aus Aluminium Strangpressprofilen mit einer Breite von 16 cm wurden in die Tragschienen eingehängt und bilden die Auflagefläche für die rahmenlosen PV-Module, welche nicht verklebt, sondern mittels Klemmleisten verschraubt wurden. Alle PV-Module und Wärmeübertragerprofile inklusive Rohrsammler sind dadurch einzeln reversier- und austauschbar.



Abbildung 9: Dachaufsicht nach Installation von Tragschienen und Wärmeübertragerprofilen

Die einzelnen Wärmeübertragerfelder münden jeweils in einem Rohrsammler bevor die Anbindung an die Anschlussleitung erfolgt. Durch den Einsatz von Strangregulierventilen ließen sich die Felder hydraulisch abgleichen, um eine gleichmäßige Durchströmung sicherstellen zu können. Der nötige Raum zwischen den Absorberfeldern dient dabei gleichzeitig als Wartungsgang und ist durch die einfache Demontage der PV-Module schnell zugänglich. Ist der Wartungsgang im Normalfall durch die PV-Module verdeckt, ist die einheitliche Optik des Indach-Systems hergestellt.

Der modulare Aufbau des Systems ließ es zu, auch die aufwendige geometrische Form, bestehend aus Dreieckflächen mit unterschiedlichen Ausrichtungen vollständig einzudecken. Flächen, die an den Grat angrenzen und keinem PV-Modul mehr Platz boten wurden für ein einheitliches Erscheinungsbild mit schwarzglänzenden Aluminiumblechen belegt.



Abbildung 10: Hydraulische Anbindung der PVT Felder, Hydraulischer Abgleich mit Strangregulierventilen

3.6 Energiemanagement und Monitoring

Um die Potentiale des Gesamtsystems ausschöpfen und gleichzeitig einen verlässlichen Betrieb gewährleisten zu können, bedarf es einer umfangreichen und komplexen Monitoring- und Regelungstechnik. Dafür wurden unter anderem 6 modbusfähige Wärmemengenzähler und mehr als 50 Temperatursensoren verbaut, um Energieverbräuche und aktuelle Systemtemperaturen zu erfassen, zu speichern und der Regelung zur Verfügung zu stellen. Die Quellenregelung soll zukünftig zwischen 11 Betriebsmodi umschalten und dabei die Bereiche Serverkühlung, passive Gebäudekühlung, aktive Gebäudekühlung, Heizbetrieb und Quellenregeneration nach aktuellem Energieangebot und Gebäudeanforderung bedienen und dabei den energieeffizientesten Modus wählen.

Die höchste Priorität in der Regelung weist die Serverkühlung auf, vorrangig muss sichergestellt sein, dass hier die Vorlauftemperatur bei 14 °C gehalten werden kann.

Bei einer Kühlanforderung im Gebäude wird priorisiert die passive Kühlung über die PVT-Kollektoren und das Erdreich gewählt, um den elektrischen Verbrauch der Wärmepumpe möglichst gering zu halten. Erst bei größeren Kühllasten wird die Wärmepumpe aktiv zur Abkühlung des Kältespeichers genutzt. Die Abwärme speist die Wärmepumpe in diesem Fall entweder in den Heizungspufferspeicher ein oder sie wird dem Erdreich zugeführt und dient der zusätzlichen Regeneration des Erdreiches, wobei stets die maximal zulässige Temperatur des Erdreiches von 25 °C (Genehmigungsaufgabe der Erdwärmesonden) eingehalten wird. Der erwärmte Heizungspufferspeicher kann in der Kühlperiode nachts über das PVT-System ausgekühlt werden.

Im Heizbetrieb entzieht die Wärmepumpe dem Kältespeicher die Energie und stellt dadurch die benötigte Temperatur von maximal 47 °C im Heizungsspeicher zur Verfügung. Der Kältespeicher wird zugleich durch die Wärmequellen regeneriert. Eine Vereisung des Erdreichs wird durch die Systemgrenztemperaturen unterbunden.

Sollte in der Heizperiode keine Anforderung zur Erwärmung des Kältespeichers bestehen, können die geothermischen Wärmequellen durch das PVT-System regeneriert werden.

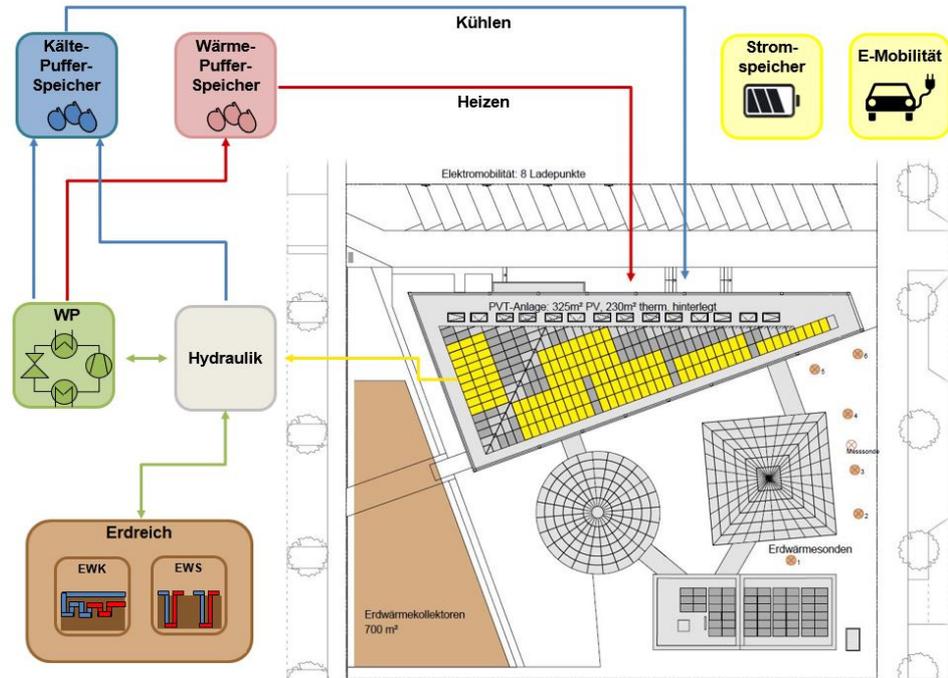


Abbildung 11: Energiekonzept sanierter Dänischer Pavillon

Das begleitende Anlagenmonitoring überwacht dabei die Performance des Systems und bietet die Möglichkeit die Energieeffizienz im Betrieb zu optimieren. Besonderes Augenmerk liegt dabei auch auf dem Temperaturniveau der Erdwärmesonden. Durch die richtige Balance aus Heizanforderung, Kühlbedarf und Regeneration soll langfristig eine stabile durchschnittliche Erdreichtemperatur erreicht werden, die einen besonders energieeffizienten Gebäudebetrieb ermöglicht.

Leider konnte aufgrund eines Wechsels des Regelungssystems im Projektablauf und aufgrund der komplexen Anforderungen die Regelung erst im August 2021 in Betrieb genommen werden. Monitoringergebnisse liegen daher zum Zeitpunkt dieses Berichtes noch nicht vor.

Zusätzlich zu dem betriebseigenen technischen Monitoring wird die Wärmepumpenanlage im Zuge des Verbundprojekts integraTE des Instituts für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE) der Universität Stuttgart und des Instituts für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) vermessen. Ziel des Projektes ist es den Bekanntheitsgrad sowie die Marktdurchdringung von PVT-Systemen zu steigern. Durch die wissenschaftliche Begleitung sollen die komplexen Regelungsstrategien optimiert werden. Außerdem soll das PVT-System in der Praxis und in Grenzbereichen untersucht werden, um die Erkenntnisse in zukünftige Projekte einfließen lassen zu können.

3.7 EnerPHit-Nachweis

Nach Abschluss aller relevanten Arbeiten konnte die Bilanzierung mit dem Passivhausprojektierungspaket (kurz: PHPP) abgeschlossen werden. Die Ergebnisse wurden durch ein externes Qualitätssicherungsbüro überprüft und bestätigt.

n ₅₀ -Wert:	Bürogebäude:	0,995 h ⁻¹
	Kugel:	0,96 h ⁻¹
Heizwärmebedarf:		25,4 kWh/m ² a
Primärenergiekennwert:		58,76 kWh/m ² a

4 Fazit

Die geplanten Sanierungsmaßnahmen konnten weitestgehend umgesetzt werden. Gravierende Änderungen in der Ausführung traten dabei nicht auf.

Die Gebäudehülle konnte fertiggestellt werden und entspricht gemäß EnerPHit-Nachweis den Anforderungen an eine Sanierung im Passivhaus-Standard. Dabei konnte die Originalarchitektur erhalten werden.

Die wesentlichen Komponenten der Anlagentechnik wurden errichtet und in Betrieb genommen. Dabei konnte der photovoltaische Teil der PVT-Anlage bereits störungsfrei den Betrieb aufnehmen. Der thermische Teil der Anlage konnte erfolgreich getestet werden.

Zum jetzigen Zeitpunkt kann die Gesamteffizienz des Gebäudekomplexes noch nicht abschließend beurteilt werden. Die initialisierten Monitoringsysteme werden in der Zukunft die Möglichkeit bieten, das System zu untersuchen und vor allem zu optimieren.

Der ehemalige Dänische Expo-Pavillon konnte von einem leerstehenden Objekt in eine Immobilie mit höchsten Anforderungen an Komfort und Energieeffizienz verwandelt werden und erreicht als Plusenergiegebäude nun eine neue Strahlkraft und Außenwirkung.

Hannover, 10.08.2021



Dipl.-Ing. Architekt Carsten Grobe