

Das ChristophorusHaus – ein multifunktionales Verwaltungsgebäude in Passivhausbauweise

Ing. Christian Fink*¹, Dipl.-ing. Ernst Blümel*¹, Dipl.-Ing. Thomas Mach*²

*¹AEE INTEC

Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf
Tel.: +43(0)3112 / 5886 Fax: DW-18
c.fink@aee.at www.aee.at

*²TU Graz, Inst. für Wärmetechnik
Inffeldgasse 25, A-8010 Graz
Tel.: +43(0)316 / 873 7814

Die konsequente Entwicklung von Niedrigenergie- und Passivhausstandards im Wohnbau machte es möglich, dass mittlerweile auch zahlreiche Büro- und Verwaltungsbauten mit geringstem Wärmebedarf errichtet wurden. Im Vergleich zu Wohngebäuden benötigen Büro- und Verwaltungsgebäude bei meist geringerem Wärmebedarf (höhere interne Lasten), durch die Anforderungen an Beleuchtung, EDV und Klimatisierung, aber wesentlich mehr elektrische Energie. Somit müssen in Büro- und Verwaltungsgebäuden grundsätzlich andere bzw. zumindest ergänzende Ansätze zur Reduktion des Primärenergiebedarfs und zur Schaffung von behaglichen Raumbedingungen verfolgt werden. Sämtliche Maßnahmen müssen nicht nur für den Winterfall, sondern auch für den Sommerfall betrachtet werden, da vielfach kontraproduktive Auswirkungen auftreten. Lastenreduktion für Heizung und Kühlung sowie Deckung der verbleibenden Heiz- und Kühllasten mit möglichst erneuerbaren Energieträgern in Kombination mit einfacher Gebäudetechnik zeichnen innovative Energiekonzepte aus, erfordern aber integrale Planungs- und Bauabläufe bei frühzeitiger Einbindung von Energietechnikern.



Anforderungen des Bauherrn an das Gebäude

Das in Stadl Paura (OÖ) errichtete ChristophorusHaus beherbergt mit der MIVA und dem Beschaffungsbetrieb der MIVA (BBM) zwei eigenständige Betriebe. Die österreichische MIVA (Missions-Verkehrs-Arbeitsgemeinschaft) ist ein Hilfswerk der katholischen Kirche mit dem Ziel, Fahrzeuge aller Art für den Einsatz in Mission und Entwicklungshilfe zu finanzieren. Der BBM sorgt einerseits für die kostengünstige Beschaffung der Produkte und andererseits dafür, dass die Produkte auch beim bedürftigen Empfänger ankommen bzw. die Nutzungsmöglichkeit gewährleistet ist. In den letzten zehn Jahren beschäftigte sich der BBM zusätzlich zur

Bereitstellung von Mobilität mit dem Thema der ökologisch verträglichen Energie- und Wasserversorgung in dritte Welt Ländern.

Die somit gegebene Identifikation mit der Thematik war schlussendlich auch ausschlaggebend, dass das neue Verwaltungsgebäude für die knapp 40 Personen umfassende Belegschaft nach besonders innovativen und ökologischen Aspekten errichtet wird. Motiviert durch das sehr früh involvierte Planungsteam (Architekten, Energietechniker, Holzbautechniker) entschied sich die Geschäftsführung zum Bau eines multifunktionalen Gebäudes mit Büro-, Logistik- Geschäfts- und Veranstaltungsräumlichkeiten in Passivhausbauweise. Die Zielvorgaben für das Planungsteam wurden wie folgt festgelegt:

- Multifunktionale Nutzung (Büro, Veranstaltungen, Minni-Shop, Schauräume, Lager- und Logistikzentrale)
- Holzkonstruktion
- Heizwärmebedarf $< 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Drucktestluftwechsel $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$
- Energiekennwert Primärenergie $< 80 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (inkl. Strombedarf der Haustechnik)
- Keine Kompressionskältemaschine für Kühlzwecke bei gleichzeitig maximalen Raumtemperaturen von 26°C
- Deckung des verbleibenden Energiebedarfes mit möglichst erneuerbaren Energieträgern
- Höchste Behaglichkeit für MitarbeiterInnen bei geringsten Betriebskosten
- Zertifizierung des Gebäudes als „qualitätsgeprüftes Passivhaus“ durch das Passivhausinstitut in Darmstadt

Diese ambitionierten Vorgaben stellten für das gesamte Planungsteam eine große Herausforderung dar, konnten aber im Zuge eines integralen Planungsprozesses erreicht werden.

Integrale Gebäudeplanung

Die integrale Gebäudeplanung vereint alle Aspekte zur Schaffung höchster Behaglichkeit und höchster ökologischer Vertretbarkeit bei gleichzeitig definierten ökonomischen Rahmenbedingungen. Aus energetischer Sicht wird in integralen Planungsprozessen die Wechselwirkung zwischen dem Gebäude, dem Nutzer und der Bereitstellung behaglicher Arbeitsbedingungen (Temperatur, Luft, Licht, Arbeitsbehelfe, etc.) behandelt und optimiert. Erfolgt in konventionellen Planungsprozessen die Einbindung der einzelnen Experten nach vorgegebenen Zeitabschnitten, was häufig vollendete Rahmenbedingungen bedeutet, so zeichnen sich integrale Planungsprozesse durch die praktisch zeitgleiche Einbindung aller wesentlichen Planungsgewerke sowie einen daraus resultierenden Diskussions- und Optimierungsprozess aus.

Die Erfahrung zeigte bei derart innovativen Bauprojekten die Notwendigkeit eines übergeordneten „Energieverantwortlichen“ deutlich auf. Dieser behandelt nicht nur, wie in konventionellen Planungsprozessen üblich, die Haustechnik, sondern besitzt den Überblick über alle energierelevanten Bereiche und ist das Bindeglied zwischen den Einzelgruppen (Bauherr, Architekt, Haustechnikplaner, Elektroplaner, Statiker, Bauphysiker, Bauleitung, etc.).

Energetischer Optimierungsprozess des ChristophorusHauses

Im Zuge der Planungsarbeiten zum ChristophorusHause wurde ein integraler Planungsprozesses umgesetzt. Die „Energieverantwortung“ in diesem Planungsprozess wurde der AEE INTEC (in Kooperation mit dem IWT der TU Graz) übertragen. Vom Energie-Planungsteam wurde als Werkzeug zur Optimierung des Gebäudeverhaltens bei klimatischen Spitzenbelastungen die dynamische Simulationsumgebung TRNSYS gewählt. Zur verbesserten Übersicht und Analyse des thermischen Verhaltens wurde das im Entwurfsstadium befindliche Gebäude in 20 thermische Zonen geteilt und in dieser Form in der dynamischen Simulationsumgebung, unter Berücksichtigung von Geometrien und thermischen Stoffdaten, modelliert.

Um die Belastbarkeit der Ergebnisse der dynamischen Gebäudesimulation zu verbessern, wurde jede einzelne Variation (Wandaufbauten, Speichermassen, Luftwechsel, externe Lasten, interne Lasten, etc.) für zwei unterschiedliche Klimate durchgeführt. Einmal für das Extrem „Heizen“ (1996 war für den Standort das kühlfste Jahr der letzten Dekade) und einmal für das Extrem „Kühlen“ (1994 war für den Standort das heißeste Jahr der letzten Dekade). Des weiteren muss die Gebäudenutzung in entsprechender Detaillierung festgelegt werden. Dazu zählt die:

- Definition der Gebäudebelegung (Tages-, Wochen- und Monatsprofile)
- Definition der Luftwechselraten (der hygienisch erforderliche Luftwechsel für Nichtraucherbüros kann mit etwa 30 m³/h und Person angesetzt werden)
- Definition der Beleuchtungslasten- und Zeiträume (die Bandbreite der Lasten reicht hier von der konventionellen Bürobeleuchtung von 20 W/m² bis zur innovativen Bürobeleuchtung mit etwa 5 W/m²a)
- Definition von EDV-Nutzungszeiten (die Bandbreite der Lasten reicht hier von der konventionellen EDV-Station mit rund 230 W/Arbeitsplatz bis zur zeitgemäßen EDV-Station mit Flachbildschirm und rund 140 W/Arbeitsplatz)
- Definition von Verschattungsgraden
- Regelungskriterien für alle haustechnischen Systeme

Die erste vollständige Simulation des Christophorus Hauses (Berechnungsvariante E) zeigte eine hohe Überhitzungssensibilität des Gebäudes mit Spitzentemperaturen über 50°C in exponierten Zonen des Gebäudes (Galerie 2.OG, Besprechungsräume im 1. und 2. OG, etc.) bei gleichzeitig relativ geringem spezifischen Heizwärmebedarf (ca. 30 kWh/m²a). Zugrundegelegt wurden dieser Berechnung der Klimadatensatz 1994 (Kühlextrem) sowie die definierten Maxima der internen und externen Lasten.

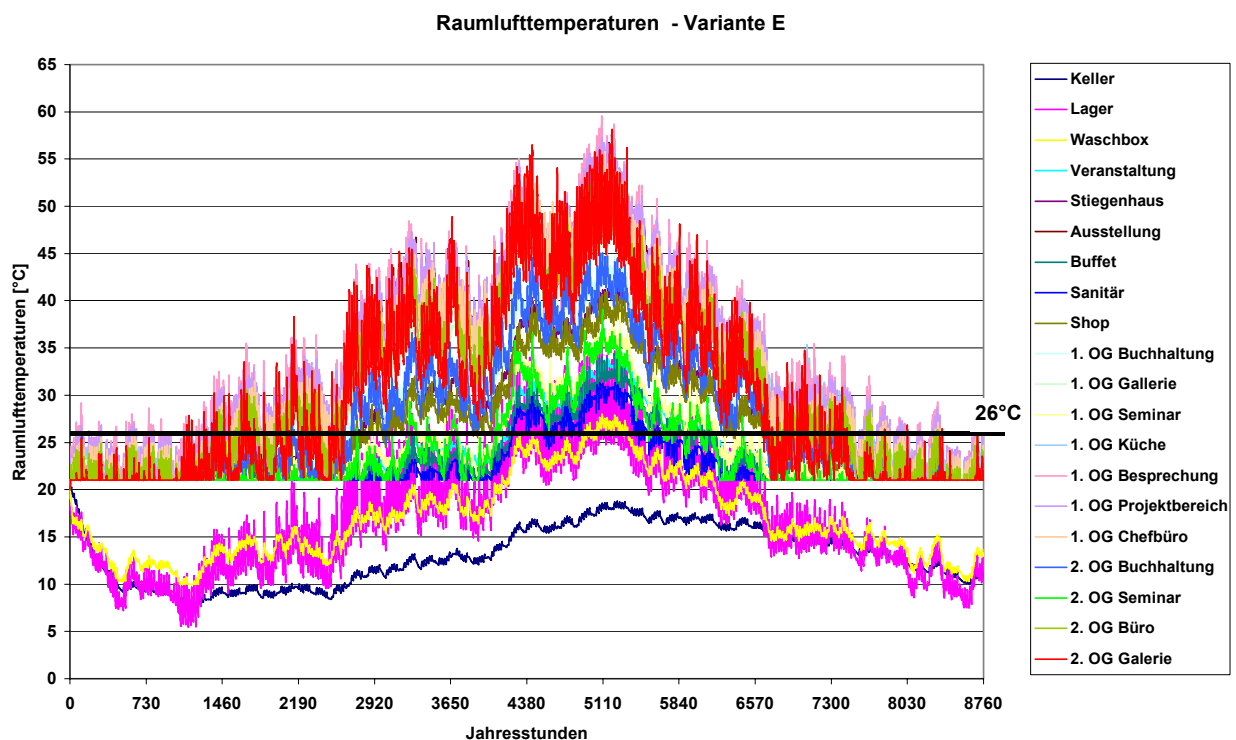


Abbildung 1: Ausgangssituation - Zonentemperaturen im Christophorus Haus zu Beginn des integralen Planungsprozesses

In der Folge war es die Aufgabe des Energie-Planungsteams, in Kooperation mit den anderen beteiligten Fachplanern durch gezielte Einflussnahme auf Architektur, Bauphysik, Speichermassen

und Ausstattung, die geforderte Behaglichkeit sowohl im Winter als auch im Sommer bei geringstem Energieverbrauch sicherzustellen.

Innerhalb von mehr als 20 Variationsrechnungen wurde das Gebäude hinsichtlich Behaglichkeit und Energiebedarf mittels dynamischer Gebäudesimulation optimiert. Der gesamte Optimierungsprozess bzw. die Auswirkungen einzelner Veränderungen sind in Abbildung 2 dargestellt. Dabei wurden folgende Optimierungen in den Variationsrechnungen berücksichtigt:

- Gezielte U-Wert Verbesserungen an opaken Bauteilen (Ausführungsvariante: U_{AW} und $U_{Dach} < 0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Aufgrund der Ausführung als Holzkonstruktion mussten gezielt nutzbare Speichermassen eingebracht werden (über Estriche, massive Innenwände und Stiegenhaus etwa 100 Tonnen)
- Gezielte Reduktion des Glasflächenanteils der Atriumverglasung (Reduktion um etwa 50 %) sowie Änderung der Orientierung
- Gezielter Einsatz von Sonnenschutzverglasungen vs. Wärmeschutzverglasungen (Bandbreite der g-Werte zwischen 0,3 und 0,6)
- Gezielte Reduktion von Verglasungsanteilen (öffenbar und fix verglast, Ausführungsvariante: $U_{W, eingebaut} \leq 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Vermeidung von Wärmebrücken
- Maßnahmen zur Reduktion des Fugenluftwechsels (Infiltration)
- Optimierte Beleuchtungsstrategien (Tageslichtnutzung über Oberlichten und energiesparende Beleuchtungskörper – Einbaudownlights; Konstantregelung der Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz durch Lichtsensor)
- Optimierte Beschattungsstrategien (Kombination aus Gebäudeanforderung und vorherrschender Einstrahlung)
- Integration einer hochwertigen Wärmerückgewinnung in der mechanischen Lüftungsanlage (Wärmerückgewinnungsgrade zwischen 0,78 und 0,86)
- Berücksichtigung eines freien Nachtlüftungskonzeptes
- Optimierung der Regelungsstrategie sämtlicher haustechnischer Anlagen

Wie in

Abbildung 2 dargestellt, konnte durch die Variationsrechnungen eine stetige Reduktion des Heiz- und Kühlenergiebedarfes erreicht werden.

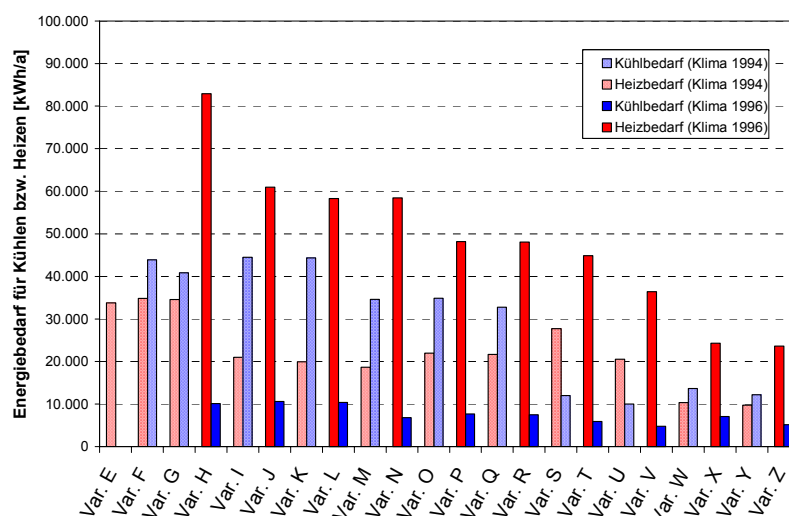


Abbildung 2: Jährliche Heiz- und Kühlenergieverbräuche - Darstellung des Optimierungsprozesses (Varianten E und F basieren auf dem Klimadatensatz 1994 - Extrem „Heizen“, ab Variante G jeweils Klimadatensatz 1994 und Klimadatensatz 1996 abwechselnd)

Theoretischer Heiz- und Kühlenergiebedarf in der Ausführungsvariante

Die Varianten „Y“ (Sommerextrem – Klimadatensatz 1994) und „Z“ (Winterextrem – Klimadatensatz 1996) stellen das Endergebnis des Optimierungsprozesses für das Christophorus-Haus dar. Der Lastenverlauf für Heizung und Kühlung für diese beiden Klimaextreme der letzten zehn Jahre ist in Abbildung 3 dargestellt.

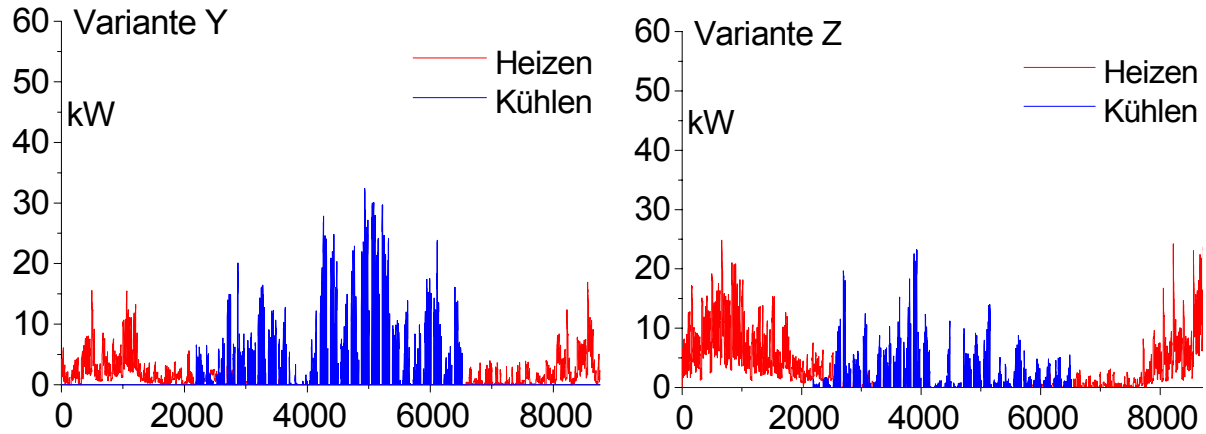


Abbildung 3: Überblick über den Jahresverlauf der Heiz- bzw. Kühllasten der Ausführungsvariante bei den extremen Klimadatensätzen (Y-Extrem „Kühlen“ und Z-Extrem „Heizen“)

Die Nettogeschossflächen betragen für den Bürotrakt etwa 1.215 m² (Raumtemperatur: 20°C), für den Lagerbereich etwa 255 m² (Raumtemperatur: 10°C), für die Fahrzeug-Waschbox etwa 70 m² (Raumtemperatur: 5°C) und für den unbeheizten Keller etwa 550 m². Die Kühlgrenztemperatur wurde entsprechend der Vorgaben des Auftraggebers mit 26°C definiert. Für die zwei unterschiedlichen Klimate liegt der spezifische Heizenergiebedarf zwischen 8 und 19 kWh/m²a und der Kühlenergiebedarf zwischen 4,5 und 10 kWh/m² (Tabelle 1).

Tabelle 1: Theoretischer Heiz- und Kühlenergiebedarf für die gewählten Klimaextreme der Jahre 1994 und 1996

	Klimadatensatz 1996 (Heizextrem)	Klimadatensatz 1994 (Kühlextrem)
Heizenergiebedarf	23.640 kWh/a	9.740 kWh/a
Spezifischer Heizenergiebedarf	19 kWh/m ² _{NGFA}	8 kWh/m ² _{NGFA}
Kühlenergiebedarf	5.140 kWh/a	12.150 kWh/a
Spezifischer Kühlenergiebedarf	4,5 kWh/m ² _{NGFA}	10 kWh/m ² _{NGFA}

Energie- und Frischluftversorgung

Die schrittweise Reduktion des Energiebedarfes für Heizen und Kühlen war die Voraussetzung für die Definition eines nachhaltigen und gleichzeitig kostengünstigen Systems zur Energieversorgung. Aufgrund des doch erheblichen Kühlenergiebedarfes spielte hier vor allem die Kälteversorgung eine entscheidende Rolle. Neben den Vorgaben einer Energieversorgung aus erneuerbaren Energieträgern bzw. Umweltenergien, galt es auch den betriebswirtschaftlichen Vorgaben zu entsprechen. Um diese Vorgaben zu erfüllen, wurde vom Energie-Planungsteam ein

monovalentes System ausgearbeitet, das sowohl Wärme- als auch Kälteversorgung in einem ermöglicht. Das Blockschaltbild hierzu ist in Abbildung 4, das Funktionsprinzip in Abbildung 5 dargestellt.

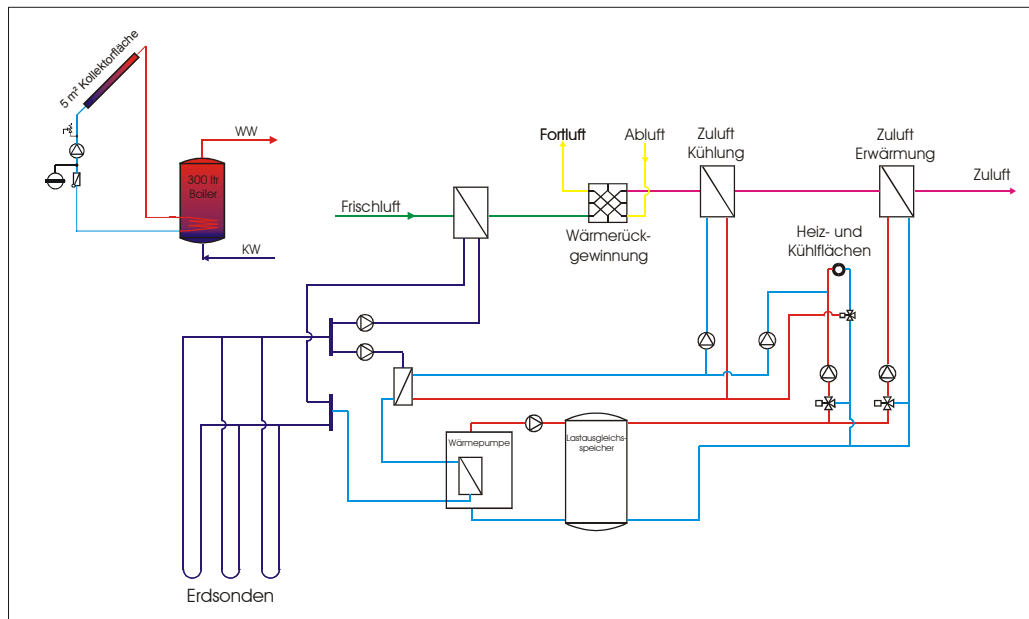


Abbildung 4: Blockschaltbild zur Wärme-, Kälte- und Frischluftversorgung des ChristophorusHauses

Wärmequelle, Wärmesenke und Bereitstellung der nötigen Antriebsenergie

Heizen

Als Wärmequelle (Heizbetrieb) und als Wärmesenke (Kühlbetrieb) dient das Erdreich, das über 8x100 m lange Duplex-Erdsonden (Doppel-U-Rohre, DN 32) aktiviert wird. Im Heizbetrieb dienen die Tiefensonden als Wärmequelle für eine Wärmepumpe (Produkt IDM, Nennleistung 43 kW bei einem COP von 4,03). Dabei wird dem Erdreich Wärme entzogen und somit ein günstiges Temperaturprofil im Erdreich für den sommerlichen Kühlfall hergestellt.

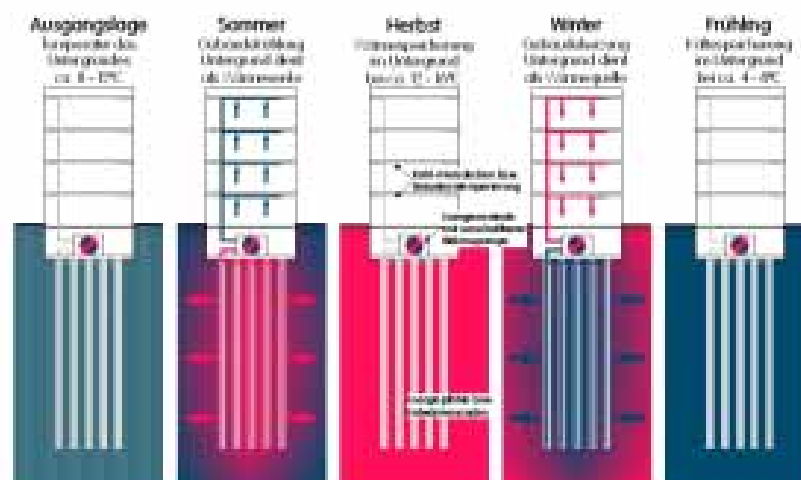


Abbildung 5: Funktionsprinzip der saisonal bedingten Wärme- und Kälteversorgung des ChristophorusHauses

Kühlen

Im Sommer wird dann zu Kühlzwecken das Erdreich über das selbe System als Wärmesenke genutzt. Dabei wurden die Tiefensonden so dimensioniert, dass die Austrittstemperaturen aus dem Erdreich im Kühlfall ein sogenanntes „direct cooling“ ermöglichen und somit ein passives Kühlsystem ohne Einsatz von Energie zum Betrieb des Kompressors erreicht wird. Falls nötig, könnte die Wärmepumpe aber auch reversibel betrieben werden.

Unterstützt wird das auf der Nutzung von Erdkälte basierende Kühlsystem durch eine natürliche Massentwärmung des Atriums während der Nachtstunden. Diese Massentwärmung erfolgt ausgelöst durch eine freie Luftströmung hervorgerufen durch Dichteunterschiede zwischen warmer und kalter Luft sowie dementsprechend geöffnete Strömungsquerschnitte.



Abbildung 6: Einbringen der Tiefensonden - vier Rohre je Sonde, über das fünfte Rohr wird das Bohrloch hinterfüllt. Beim ChristophorusHaus wurde das spezielle Hinterfüllmaterial „Stüwatherm“ verwendet, das die Wärmeleitfähigkeit durch Zugabe von Quarzkorn im Vergleich zu konventionellen Bentonit-Zement-Gemischen um bis zu zehn Prozent erhöht.

Brauchwasser

Der Brauchwasseranteil ist in Büro- und Verwaltungsgebäuden grundsätzlich gering. Im ChristophorusHaus wurde zur Deckung des Brauchwasserbedarfes eine 6 m² große thermische Solaranlage mit einem solaren Deckungsanteil von über 70% installiert. Die Nachheizung an sonnenarmen Tagen erfolgt mittels elektrischem Strom.

Elektrischer Strom

Um den Strombedarf für die Wärmepumpe bzw. für die Antriebsenergie von Pumpen und Ventilatoren im Jahresschnitt größtenteils CO₂-neutral bereitzustellen, wurde eine netzgekoppelte Photovoltaikanlage mit einer Spitzenleistung von 9,8 kW_{peak} installiert. Dabei wurden etwa 3,6 kW_{peak} in der Fassade (Abbildung 7) und etwa 6,2 kW_{peak} um 40° geneigt am Dach der Lagerhalle angebracht.



Abbildung 7: 90° geneigtes Sonnensegel ($3,6\text{kW}_{\text{peak}}$)

Wärme- und Kälteabgabe sowie Frischluftversorgung

Frischluftversorgung

Die Frischluftversorgung der Büro- und Verwaltungsräumlichkeiten des Christophorushauses erfolgt mit zwei getrennten, kontrollierten Be- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung über Rotationswärmetauscher. Dabei ist eine Lüftungszentrale für die Büroräumlichkeiten (Nennvolumenstrom von $2.800\text{ m}^3/\text{h}$, Wärmerückgewinnungsgrad 78 %) und eine Lüftungszentrale für die Seminar- und Veranstaltungsräumlichkeiten ($1.000\text{ m}^3/\text{h}$, Wärmerückgewinnungsgrad 86%) konzipiert. Die gemeinsame Außenluftansaugung erfolgt über einen Erdkollektor aus Polyethylen, DN 500 und einer Länge von 25 m. Zusätzlich zu dieser Vorkonditionierung, existiert eine Erdsondenauskopplung zur Vorwärmung der Frischluft im Winter (siehe Abbildung 4). Nach dem Austritt aus der Lüftungszentrale ist je nach Erfordernis ein Heiz- bzw. Kühlregister in Verbindung mit dem Erdsondenkreislauf vorgesehen, sodass die Frischluftzufuhr sowohl im Winter als auch im Sommer keine zusätzlichen Lasten (Heizen bzw. Kühlen) für die Flächenabgabesysteme mit sich bringt. Die Ablufführung aus den Toiletten erfolgt über dezentrale Abluftventilatoren.

Heiz- und Kühlflächen

Aufgrund des erreichten Passivhausstandards (spezifische Heizleistungen im Bereich von $10\text{ W}/\text{m}^2$) wäre für die Wärmeversorgung eine ausreichende und behagliche Beheizung des Gebäudes über die Lüftungsanlage möglich gewesen. Da für den Kühlfall einerseits aus Behaglichkeitsgründen die Absenkung der Zulufttemperaturen begrenzt ist und andererseits das „direct-cooling“ auch bei Sondenvorlauftemperaturen knapp unter den maximalen Raumtemperaturen (26°C) möglich ist, wurden als Wärmesenke des Raums wasserdurchströmte Kühlflächen vorgesehen. Diese sind je nach Zonenbelastung und konstruktiven Rahmenbedingungen als Deckenpaneele (siehe Abbildung 8) bzw. als Fußbodenelemente (Aktivierung der Estrichmassen) ausgeführt. Die durchschnittliche erzielbare Kühlleistung liegt beim „direct-cooling“ in Kombination mit Kühldecken etwa bei $25\text{ W}/\text{m}^2$.

Um die Behaglichkeit in den Büroräumen im Heizbetrieb zu steigern, erfolgt nun selbstverständlich auch teilweise die Wärmeversorgung – in Abstimmung mit dem zentralen Lüftungssystem – über die Flächenelemente. Sowohl die Regelung des Heiz- als auch des Kühlbetriebs erfolgt getrennt für zwei thermische Zonen. So bilden bei der Ermittlung der nötigen Vorlauftemperatur beispielsweise die südorientierten und die nordorientierten Räumlichkeiten jeweils eine eigene thermische Zone.



Abbildung 8: Heiz- und Kühldecken (Produkt „RCS“) im ChristophorusHaus

Ausblick

Das ChristophorusHaus wurde im Oktober 2003 von den rund 40 Mitarbeitern der MIVA und dem BBM bezogen. Die Gesamtkosten für das Gebäude beliefen sich auf rund 2,4 Millionen EURO, die haustechnischen Anlagen auf etwa 0,31 Millionen Euro. Bezogen auf eine Nutzfläche von etwa 1.550 m² (ohne Kellergeschoss) ergeben sich spezifische Gesamtbaukosten von rund 1.548 EURO/m²_{NGF}.

Anhand eines umfangreichen Monitoringkonzeptes, das vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie finanziert wird, soll einerseits das Zusammenspiel aller wesentlichen haustechnischen und nutzerspezifischen Parametern gezeigt sowie andererseits eine Validierung des gesamten Energiekonzeptes durchgeführt werden.

Einen Erfolg konnte das Planungsteam des ChristophorusHauses mittlerweile bereits verbuchen: Das ChristophorusHaus wurde mit einem durchschnittlichen Heizwärmebedarf von 14 kWh/m² a, einem gesamten Primärenergiebedarf von 49kWh/m²_{NGF} (alle Ergebnisse aus PHPP) und einer Luftwechselzahl n_{50} von 0,4 h⁻¹ (50 Pascal Druckdifferenz, bezogen auf das Gebäudeluftvolumen) vom Passivhausinstitut in Darmstadt als „qualitätsgeprüftes Passivhaus“ zertifiziert.