

*Internationales Bildungs- und Begegnungswerk gem. GmbH
Und Internationale Bildungs- und Begegnungsstätte
„Johannes Rau“ Minsk*

Integraler Planungsprozess:“ Zukunftswerkstatt Minsk“
Zeichen: 28463-25

Abschlussbericht

Von

Dipl.-Ing. Klaus Beck,
Dipl.-Ing. Jörg Hannemann,
Dipl.-Ing. Patrick Jung,
Dipl.-Ing. Heli Kasa,
Dipl.-Ing. Ernst Merkschien,
Dipl.-Ing. Werner Murken,
Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jörg Probst,
Dipl.-Ing. Jörg Rogowski,
Peter Junge-Wentrup
Dr. Astrid Sahm
Martin Schön

Essen, Dezember 2011

Herausgeber:

*IBB gem. GmbH Dortmund
Peter Junge-Wentrup
Bornstr. 66*

44145 Dortmund

Tel: 0231-952096-0
Fax: 0231-521233

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
1 Zusammenfassung	6
2 Einleitung	7
3 Vorplanung/Entwurfsplanung	10
3.1 Architektur - Erarbeitung Entwurfsvarianten	10
3.2 Erarbeitung Versorgungskonzept	13
3.3 Energiekonzept Wärme - Kälte	26
4 Passivhausstandard Weißrusland (PH-St)	30
4.1 Datensammlung lokale Gegebenheiten	30
4.2 PHPP-Berechnungen	33
4.3 Gebäudesimulation	40
4.4 Variantenvergleich Baukonstruktion	49
4.5 Ökobilanz Baustoffe	57
4.6 Didaktische Aufbereitung des konstruktiven Variantenvergleichs	60
4.7 Energiekonzept - Technische Gebäudeausrüstung	61
5 Didaktik	62
5.1 Evaluations- und Qualitätssicherungsprogramm	62
5.2 Planer-Workshops	63
5.3 Erarbeitung eines „Leitfadens Integrales Planen“	63
5.4 Erarbeitung eines didaktischen Gesamtkonzepts zur Nutzung des Gebäudes als Lehrbaustelle	63
5.5 Erstellung einer Internetpräsentation	64
5.6 Durchführung einer eintägigen Abschlusskonferenz in Minsk	65
6 Fazit	65
7 Anhang	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Lageplan aktuelle Bebauung	10
Abbildung 2	Lageplan Einbin-dung in bestehende Bebauung	10
Abbildung 3	Verschattungssimulation im Rahmen der dynamischen Gebäudesimulation	13
Abbildung 4	Jahresdauerlinie mit Grundlast 33 kW, einfache Simulation nach Klimadaten	22
Abbildung 5	neue Jahresdauerlinie Wärme mit Grundlast 33kW, auf Grundlage der dynamischen Gebäudesimulation	22
Abbildung 6	Heizkostenvergleich für 10 Systeme, Planungsphase 1	23
Abbildung 7	Heizkostenverteilung für 10 Systeme, Planungsphase 2	23
Abbildung 8	Jahresdauerlinie Kälte, auf Grundlage der dynamischen Gebäudesimulation	25
Abbildung 9	typische Tageslastgänge im Januar	27
Abbildung 10	Energieflussdiagramm für den Heizfall	28
Abbildung 11	Energieflussdiagramm für den Kühlfall	29
Abbildung 12	Monatlicher Temperaturverlauf	30
Abbildung 13	Temperaturdifferenzen zu Deutschland	31
Abbildung 14	Veränderung des Primärenergiebedarfs	35
Abbildung 15	Aufteilung Heizwärmebedarf	36
Abbildung 16	Variation Dämmqualität	37
Abbildung 17	Heizwärmebedarf und Personenbelegung	38
Abbildung 18	Primärenergiebedarf und Personenbelegung	39
Abbildung 19	Vergleich gemessene Wetterdaten und PHPP-Wetterdaten	41
Abbildung 20	V1 - Tagesgang der Empfindungstemperaturen Büros	43
Abbildung 21	V1 - Tagesgang der Empfindungstemperaturen Ausstellung	43
Abbildung 22	V1 - Tagesgang der Empfindungstemperaturen Seminarräume	44
Abbildung 23	V2.1 bis V2.3 - Jährliche Energieerträge für drei architektonische Varianten	45
Abbildung 24	Bauphysikalischer Vergleich Varianten BK1 bis BK6	57
Abbildung 25	Grundriss Technikzentrale	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Erzeugungsanlage mit Leistungsangaben	27
Tabelle 2	Grenzwerte Passivhaus	33
Tabelle 3	U-Werte der eingesetzten Bauteile	34
Tabelle 4	Randbedingungen Lüftungswärmeverluste	34
Tabelle 5	Ergebnisse Heizwärmebedarf	35
Tabelle 6	Variation Dämmqualität	36
Tabelle 7	Temperaturstatistik - Büros	41
Tabelle 8	Temperaturstatistik - Ausstellung, Kongress, Seminar	42
Tabelle 9	V2.1 bis V2.3 Variantenvergleich	45
Tabelle 10	V2.1 bis V2.3	46
Tabelle 11	V2.1 bis V2.3 Variantenvergleich	47
Tabelle 12	Variantenmatrix Baukonstruktionen	52
Tabelle 13	Energiebilanz Bauteile Variante BK3	54
Tabelle 14	Energiebilanz Bauteile Variante BK4	54
Tabelle 15	Energiebilanz Bauteile Variante BK5	54
Tabelle 16	Energiebilanz Bauteile Variante BK6	56
Tabelle 17	Auszug Baustoffbilanz	59

1 Zusammenfassung

Anhand der Planungsaktivitäten für den Neubau des Kompetenzzentrums „Zukunftswerkstatt“ der Internationalen Bildungs- und Begegnungsstätte Johannes Rau (IBB) in Minsk soll ein erweiterter integraler Planungsprozess aufgezeigt werden. Es gilt eine übertragbare Planungsmethodik unter Einbeziehung regionaler und lokaler Standortbedingungen zu entwickeln. Eine variable Gegenüberstellung und Untersuchung verschiedener realisierbarer Konzepte für Baukonstruktion und Technischen Ausbau wird erarbeitet und einer dynamischen Gebäudesimulation ganzheitlich übergeprüft und energetisch bewertet.

Bei der Planung der „Zukunftswerkstatt“ stand des Weiteren die Frage im Vordergrund, ob sich die Zielvorgaben des Passivhaus-Instituts Darmstadt unter den lokalen klimatischen Bedingungen sowie der komplexen Nutzungsstruktur des Gebäudes realisieren lassen und damit der unter mitteleuropäischen Bedingungen entwickelte Passivhausstandard mit vertretbarem Aufwand in Weißrussland verwirklicht werden kann.

Der integrale Planungsprozess wurde in einem Leitfaden „Bau & Energie“ beschrieben. Die Untersuchung zur Übertragung des in Deutschland entwickelten Passivhausstandards für Gebäude mit monofunktionaler Nutzung auf ein Gebäude in Weißrussland mit einer Mischnutzung und zeitweise sehr hohen Belegungszahlen kann nicht direkt übertragen werden. Die Gebäudesimulation zeigte, dass die Personenbelegung gravierende Auswirkungen auf das energetische Verhalten des Gebäudes hat, da dann die Luftvolumenströme entsprechend hoch sind. Die Lüftungswärmeverluste wirken sich sehr negativ auf die Heizenergiebilanz aus. Des Weiteren konnte nachgewiesen werden, dass sich die Transmissionswärmeverluste auch durch eine starke Erhöhung der Dämmstoffstärken nicht wesentlich verringern lassen

Die vorliegende Untersuchung wurde unter der Beteiligung der folgenden Kooperationspartner durchgeführt:

- Architektur und Stadtplanung Klaus Beck, Bielefeld
- Ingenieurbüro Patrick Jung, Köln
- Gertec GmbH Ingenieurgesellschaft, Essen
- Ingenieurbüro für Energieberatung Ernst Merkschien, Bielefeld
- Wissenschaftliches Institut für technische Planung (NIPTIS), Minsk
- Ökologische Sacharow-Universität, Minsk
- Verein „Ökoprojekt-Partnerstwo“, Minsk
- Belarussische Agrartechnische Universität (BATU), Minsk
- Wohnungseigentümergeinschaft „Taulma“, Minsk
- Assoziation „Erneuerbare Energien, Minsk

2 Einleitung

Die Internationale Bildungs- und Begegnungsstätte „Johannes Rau“ Minsk (IBB) ist ein deutsch-belarussisches Gemeinschaftsprojekt, das von Deutschen und Belarussen in partnerschaftlicher Zusammenarbeit getragen wird. Die IBB Minsk wird vom Internationalen Bildungs- und Begegnungswerk e.V. in Dortmund, dem Reisebüro Sputnik, der Stadt Minsk und der Belarus-Bank getragen. Seit dem Jahr 1994 führt sie erfolgreich Bildungs- und Begegnungsmaßnahmen in Belarus durch und ist somit ein zentraler Knotenpunkt im Netzwerk der deutsch-belarussischen Kontakte auf zivilgesellschaftlicher Ebene.

Unterstützt durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt wird das bestehende Hotel- und Bildungszentrum der IBB in Minsk durch den Neubau des Kompetenzzentrums „Zukunftswerkstatt“ im Passivhausstandard erweitert. Das Gebäude soll der Bildungsarbeit, insbesondere unter dem Aspekt der Energieeffizienz, dienen und wird nicht nur Veranstaltungs-, Seminar- und Büroräume anbieten, sondern selbst auch als Anschauungsobjekt moderner Passivhaustechnologie dienen. Das Gebäude soll als ‚Best-Practice-Beispiel‘ nachvollziehbar die baulichen, technischen und ökologischen Aspekte eines Passivhauses aufzeigen und einen wesentlichen Beitrag zur Vermittlung von notwendigem Know-how für energieeffizientes Bauen in Weißrussland leisten.

In Belarus wächst das Bewusstsein für die Notwendigkeit energieeffizienter Maßnahmen im Baubereich. Es mangelt jedoch an konkreten Projekten, die für die spezifische Situation in Weißrussland als übertragbare und wirtschaftlich realisierbare Beispiele nachvollziehbare Ergebnisse vermitteln. Vor dem Hintergrund der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl soll der neue Bauabschnitt für Veranstaltungen und als beispielhaftes Anschauungsobjekt zu Fortbildungszwecken genutzt werden, um anwendbare alternative und zukunftsfähige Energieversorgungskonzepte und Effizienzstandards zu demonstrieren.

Das Förderziel dieses Projekts ist die nachvollziehbare und handhabbare Darstellung der während des integralen Planungsprozesses auftretenden Arbeitsschritte für die Verwendung im Rahmen von bewusstseinsbildenden Maßnahmen auf Wissenschafts-, Planungs- und Bau-Ebene in Belarus.

In Kooperation mit Fachplanern und Architekten wurde in einem integralen Planungsprozess ein allumfassendes Entwurfs- und Energiekonzept erarbeitet, das die Teilaspekte Städtebau, Architektur, regionaltypische Materialien und Baukonstruktionen, mögliche Energieversorgungsvarianten, effiziente technische Gebäudeausrüstung, Gebäudesimulation und internationale Effizienzstandards berücksichtigt. In regelmäßigen Arbeitstreffen wurde unter Einbringung des Fachwissen der Planer, der Nutzungsanforderungen des Bauherrn, der lokalen Bedingungen, ästhetischer Ansprüche und didaktischer Gesichtspunkte von den Projektpartnern ein Entwurfsprozess durchschritten, der allen genannten Anforderungen im bestmöglichen Maße entspricht.

Es wurden vier Gebäude- und zehn Energieversorgungs-Varianten erarbeitet und mit Hilfe einer dynamischen Gebäudesimulation, einer energetischen Berechnung

mit dem Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) und der Ökobilanzierung von zehn Regeldetails verschiedener möglichen Baukonstruktionen ökologisch und ökonomisch bewertet und optimiert.

Die politischen Rahmenbedingungen der Republik Weißrussland geben seit 2003 weitgehende Energieeinsparungsmaßnahmen vor. Hierfür werden sowohl erhebliche Investitionen umgesetzt, als auch gesetzliche Rahmenbedingungen zur Steigerung der Energieeffizienz geschaffen. Mit der Präsidentschaftsdekret vom 14. Juni 2007 wird Energieeinsparung ein zentraler Faktor der wirtschaftlichen Sicherheit. Die Dekret sieht - neben dem AKW-Bau und dem Ausbau des Anteils einheimischer Energiequellen auf 25 Prozent an der Energieversorgung bis 2012 - die Senkung der Energieintensität des Bruttoinlandsprodukts um 50 Prozent bis 2015 gegenüber 2005 sowie die Popularisierung von Energieeffizienzmaßnahmen vor. Ein umfassendes Staatsprogramm zur Modernisierung des Energiesystems soll dazu führen, dass bis zum Jahr 2015 60 Prozent aller Neubauten als Energieeffizienz-Gebäude errichtet werden. Die große Nachfrage nach Wohnraum in Minsk und die daraus resultierenden vielfältigen Bauaktivitäten müssen energieeffizient gestaltet werden, um die umweltpolitischen Vorgaben in Weißrussland umzusetzen.

Die Republik Belarus übt somit eine gewisse Vorreiterrolle im Bereich Energieeffizienz im Vergleich zu den anderen Teilnehmerstaaten an der östlichen Partnerschaftsinitiative der EU aus. Die Arbeit der Zukunftswerkstatt sind daher auch für Experten aus diesen Staaten interessant sein.

Der Stand des Wissens und der Technik und somit die bauliche Realität in Weißrussland und der Ukraine, sind durch verschiedene Gewichte gekennzeichnet. Zum einen sind die Planungsprozesse in Belarus nach wie vor verwaltungszentralistisch organisiert. Zum anderen ist die Bautätigkeit - gerade in Minsk - von solcher Dynamik, dass in schnellen Bauprozessen zum Teil mit erheblichem Einsatz fremder Arbeitskräfte (im Moment hauptsächlich aus China) große Bauvolumina in kurzer Zeit errichtet werden.

Dabei entstehen in Weißrussland aktuell moderne Verwaltungsgebäude mit Flächen von 10.000 bis 30.000 m² in Bauzeiten von 12-16 Monaten und parallel moderne, bis zu 60 Geschosse umfassende, Wohnobjekte. Die Einbeziehung von Niedrigenergie- oder Passivhaus-Standards, die Verwendung ökologischer und nachhaltiger Baustoffe und die Betrachtung von Life-Cycle-Costs werden bei dieser dynamischen Entwicklung zu wenig betrachtet. Auch ist die Know-how-Verbreitung zu den Themen

- ökologisches und nachhaltiges Bauen,
- Energieeffizienz und regenerative Energien und
- optimierte Betriebsführung von Objekten,

nur unzureichend im Land verbreitet und in die Planungsprozesse integriert.

Dabei hat die Republik Belarus hat seit 2003 erheblich in Energieeinsparmaßnahmen investiert. Wurden hierfür in 2002 lediglich 91,3 Mio. \$ ausgegeben, waren es 2003 bereits 205,7 Mio. \$, 2004 - 360,1 Mio. \$ und 2005 - 438,9 Mio. \$. In den fol-

genden Jahren erfolgte eine weitere Steigerung bis auf 1,2 Mrd. \$ in 2008 einschließlich der Förderung erneuerbarer Energiequellen.

Die beträchtlichen staatlichen Anstrengungen zur Verbesserung der Energieintensität sind wesentlich dadurch motiviert, dass die politische Führung angesichts der verschlechterten Beziehungen mit Russland die Abhängigkeit des Landes von russischen Energielieferungen verringern will. In 2008 hatte Gas einen Anteil von 62 Prozent an der Primärenergiebilanz des Landes, Masut (Schweröl) und helle Erdölprodukte von 16,7 Prozent, erneuerbare Energien von 7,3 Prozent und sonstige von 12,3 Prozent. Die restlichen 1,7 Prozent wurden als Strom importiert.

Bei den erneuerbaren Energiequellen stellte Brennholz mit 46,8 Prozent den größten Anteil, gefolgt von sekundären Wärmeenergieressourcen mit 35,5 Prozent und Holzabfälle mit 14,2 Prozent. Alle anderen Energiearten haben bisher ein vernachlässigbares Gewicht (Wind: 0,01 Prozent, Wasser: 0,24 Prozent und Sonstiges: 3,2 Prozent).

Das Gebäude der „Zukunftswerkstatt“ und der damit verbundene Planungsprozess sind in ein pädagogisches Gesamtkonzept eingebunden, das in enger Kooperation mit weißrussischen Akteuren in verschiedenen Workshops diskutiert und beraten worden ist. Zusammen mit Fachleuten der internationalen Umweltuniversität Andrej Sacharow, verschiedenen Bausachverständigen, Planern, Architekten und Ingenieuren und dem Planungsinstitut NIPTIS, sind die verschiedenen architektonischen und technischen Maßnahmen und Möglichkeiten in mehreren Workshops und Konferenzen vorgestellt und beraten worden.

Neben der Durchführung der oben genannten Veranstaltungen wurden alle Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem integralen Planungsprozess in einem Leitfaden veröffentlicht. Der Leitfaden *„BAU & ENERGIE - Leitfaden Integrale Planung - Kompetenzzentrum „Zukunftswerkstatt“ IBB Minsk“* wird in russischer, englischer und deutscher Sprache kostenlos durch die IBB zur Verfügung gestellt. Die russische Ausgabe wird in einer Auflage von 500 Stück, die englische und deutsche Ausgabe in einer Auflage von 250 Stück veröffentlicht. Des Weiteren wird der Leitfaden in allen Sprachen als Download auf der Internet-Plattform „Zukunftswerkstatt“ unter www.ibb.by zur Verfügung stehen.

Die Projektergebnisse wurden des Weiteren unter http://www.ibb.by/ru/education/future_workshop in einer Internetpräsentation veröffentlicht. Nach Inbetriebnahme des Gebäudes wird eine internet-basierte Energiemanagement-Informationenplattform für das Gebäude aufgebaut, das es dem Fachpublikum ermöglicht, die energetischen Werte des Gebäudes zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten nachzuvollziehen.

3 Vorplanung/Entwurfsplanung

3.1 Architektur - Erarbeitung Entwurfsvarianten

Mit der Errichtung der „Zukunftswerkstatt“ auf dem Gelände der IBB Johannes Rau in Minsk entsteht ein innovatives, nachhaltiges und an das Umfeld und die städtebaulichen Aspekte angepasstes Gebäude. Das noch vor wenigen Jahren fast unbebaute nähere Umfeld wird mittlerweile durch hohe Geschosswohnungsbauten, eine belebte Verkehrsstruktur und eine neu entstehende U-Bahn-Station geprägt. Die „Zukunftswerkstatt“ ergänzt dabei den vorhandenen Gebäudebestand der IBB und soll musterhaft die Aspekte energieeffizienten und ökologischen Bauens aufzeigen.

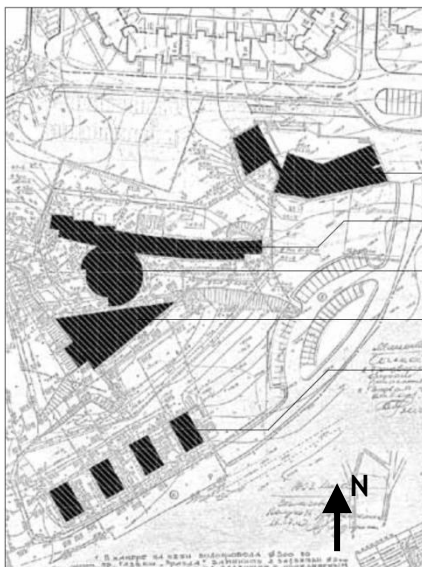


Abbildung 1 Lageplan aktuelle Bebauung

Visastelle
Hotel
Kongress
Restaurant
Büros



Abbildung 2 Lageplan Einbindung in bestehende Bebauung

In Abbildung 1 und Abbildung 2 sind die seit 1992 entstandenen IBB-Gebäude dargestellt. Im Nord-Westen der Hotel- und Kongresskomplex mit Restaurant, im Süden 4 Bürogebäude und im Norden die Visastelle des Auswärtigen Amtes der Bundesrepublik Deutschland. Bei Planungsbeginn der „Zukunftswerkstatt“ waren die südlich und östlich an das Baugrundstück angrenzenden Flächen noch nicht überplant.

Raumprogramm

- Ausstellungs- und Bildungsbereich zur Geschichte Tschernobyls
- Ausstellungs- und Bildungsbereich zu Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien
- Kongress- und Seminarräume
- Büroräume
- Nebenräume

Entwurfsvariante 1

Das Gebäude wird mit einem Untergeschoss in die vorhandene Geländekante geschoben und setzt damit die Souterrainsituation der vier Büroquader fort. Neben einem Bereich für dauerhafte Ausstellungen ist im Souterraingeschoss Raum für Bildung, temporäre Ausstellungen und für Veranstaltungen vorgesehen. Die Erschließung erfolgt sowohl vom Erdgeschoss über Fahrstuhl oder Treppe als auch niveaugleich aus dem inneren Parkgelände mit Verbindung zum Restaurant und Café.

Das Erdgeschoss wird mit dem Haupteingang von der Straße und den Stellplätzen erschlossen. Hier befinden sich der Eingangsbereich mit Empfang und Nebenräumen, der große Konferenzraum, sowie eine Ausstellungsfläche für Themen aus dem Bereich Energieeffizienz. Im 1. OG befinden sich weitere Schulungs- und Seminarräume, das 2. OG wird für Büros genutzt. Das nach Osten (Haupteingang) und Westen (Souterrain) transparente Foyer ermöglicht einen räumlichen Bezug zwischen Straße/ Stellplätzen sowie Restaurant und Cafébereich.

Der erste Entwurf dient der Zuordnung der verschiedenen Funktionsbereiche, der Zonierung und einer groben Einschätzung des A/V-Verhältnisses. Auf dieser Grundlage erfolgt eine erste energetische Bewertung. Gleichzeitig erfolgt eine Prüfung der solaren Erträge bzgl. der Ausrichtung des Gebäudekörpers und der möglichen Belichtungen. (Planunterlagen siehe Anhang)

Entwurfsvariante 2

Die energetische Grobanalyse des ersten Entwurfskonzeptes ergibt bei einer Belichtung über die Südfassade zu starke solare Erträge im Sommerfall Südfassade. Darauf nimmt die Entwurfsvariante 2 Bezug. Die Belichtung erfolgt über die Ost- und Westfassaden, die Südfassade ist als Energiegewinnfläche (z.B. Photovoltaik) ohne Öffnungen vorgesehen. Der Kongressbereich wird im A/V-Verhältnis optimiert.

Die rechnergestützte Simulation zeigt, dass bei der energetischen Bewertung die Öffnungsanteile der Fassade die entscheidende Größe darstellen. Bei einem hohen Anteil an transparenten Fassadenteilen entsteht im Sommerfall ein deutlicher Kühlbedarf. Insofern müssen sich die Fassadenöffnungen an einer Optimierung der Tageslichtversorgung orientieren. (Planunterlagen siehe Anhang).

Entwurfsvariante 3

Während der Planungsphase für das Kompetenzzentrum wird für die östliche und südliche Umgebung eine hochverdichtete Gebäudeplanung entwickelt, die die Standortverhältnisse massiv verändert. Die Simulation zeigt, wie maßgeblich sich die Verschattung der zukünftigen Nachbarbebauung auf das geplante Kompetenzzentrum auswirkt. Im Winterfall sind durch die weitgehende Verschattung durch die geplante Nachbarbebauung keine nennenswerten solaren Erträge zu erzielen. Thermische Optimierung über den Einbau von Wintergärten in den verglasten Foyerbereich.

Die Lage und Dimensionierung der Gebäudetechnik wird in die Grundrisse eingearbeitet. Die Gebäudetechnik erfordert größeren Platzbedarf, Technik und Sanitärbereich werden getauscht. Eine zentrale Lüftungsanlage wird für das Untergeschoss und dezentrale Lüftungsgeräte für die beiden oberen Geschosse vorgesehen. Für das oberste Geschoss ist der Einbau eines gasbetriebenen BHKW in den östlichen Wintergarten vorgesehen.

Die Fassadengestaltung dieser Variante orientiert sich an einer optimierten Tageslichtversorgung. Die Fenster werden in einer raumhohen Ausführung geplant. Der transparente Flächenanteil der Fassade beträgt 34 Prozent. Die Berechnungsergebnisse aus der Simulation ergeben im Vergleich zur Variante 2 deutlich optimierte Heiz- und Kühllasten und führen zu einer wesentlichen Reduzierung der Primärenergie (*siehe 4.3.5*). (Planunterlagen siehe Anhang)

Entwurfsvariante 4

Für die Energiebilanz eines Passivhauses spielen die solaren Gewinne in zweierlei Hinsicht eine wesentliche Rolle. Die Sonneneinstrahlung trägt aufgrund des hohen Dämmstandards und der hohen Dichtigkeit der Gebäudehülle wesentlich zur Beheizung des Gebäudes bei, da die starke Reduzierung der Wärmeverluste durch die Gebäudehüllflächen und die minimalen Lüftungswärmeverluste eine ausreichende Beheizung des Gebäudes bereits bei geringer Wärmezufuhr gewährleisten. Außerdem reduziert Tageslicht den Anteil an künstlicher Beleuchtung und hat somit direkten Einfluss auf die Primärenergiebilanz.

Beim Entwurf der Gebäudefassade gilt es, ein Verhältnis der transparenten und opaken Gebäudehüllfläche herzustellen, das gleichzeitig maximale solare Gewinne in der Heizperiode und einen ausreichenden Schutz vor sommerlicher Überhitzung sicherstellt.

Der erste Gebäudeentwurf wurde so konzipiert, dass passive solare Gewinne über Fensterflächen in den Ost- und Westfassaden des Gebäudes genutzt werden können. Die Südfassade war für eine aktive Sonnenenergienutzung mit Photovoltaik (PV) vorgesehen. Bei Sichtung der Planungsunterlagen für eine Bebauung auf dem Nachbargrundstück der „Zukunftswerkstatt“ stellte sich jedoch heraus, dass dies als Hochhauskomplex vorgesehen ist. Dies hat zur Folge, dass das Baufeld der „Zukunftswerkstatt“ mehrere Stunden im Tagesgang von den geplanten Gebäuden verschattet wird.

1. Januar, 11:00 Uhr



1. Januar 13:00 Uhr

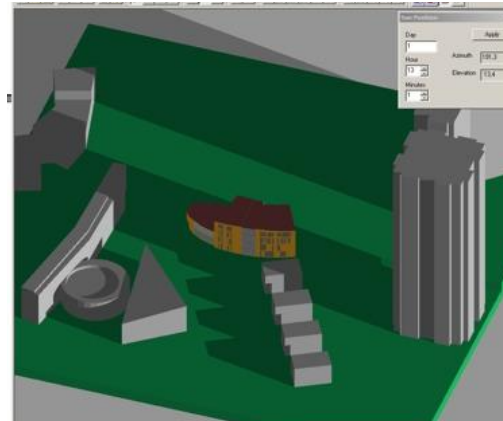


Abbildung 3 Verschattungssimulation im Rahmen der dynamischen Gebäudesimulation

Im ersten Ansatz wurde daraus geschlussfolgert, dass der Fensterflächenanteil zu minimieren ist, da solare Warmegewinne nur eingeschränkt zu erwarten sind. Die Gebäudesimulation zeigte jedoch, dass durch die Verringerung des Fensterflächenanteils die Transmissionswärmeverluste in geringerem Maße zunehmen als der Strombedarf für eine dann zeitlich ausgedehntere künstliche Beleuchtung der Innenräume ansteigt.

Mit der Entwurfsvariante 4 werden die Auswirkungen einer Fassadenentwicklung mit deutlich erhöhtem transparentem Anteil geprüft. Das Ergebnis der Gebäudesimulation (siehe 4.3.5) ergab, dass sich die Energiebilanz des Gebäudes verschlechtert. (Planunterlagen siehe Anhang)

Konkrete Entwurfsvariante

Die Entwurfsvariante 3 wird als geeignete Grundvariante im Planungsverlauf weiter ausgearbeitet. Der Technikbereich im Kellergeschoss wird aufgrund einer genauen Auslegung der Lüftungsanlage vergrößert. Teile der Gebäudetechnik werden in ein separates Gebäude ausgelagert (Wärmepumpe, BHKW, Speicher etc.) In den beiden oberen Geschossen werden Büro- und Seminarbereiche neu zugeordnet. Im nördlichen Gebäudeteil werden ausschließlich Büroräume angeordnet, im südlichen nur Seminarräume. Somit wird die Steuerung der Lüftung wie auch der Kühlung durch die deutlich getrennten Nutzungsbereiche erleichtert. (Planunterlagen siehe Anhang)

3.2 Erarbeitung Versorgungskonzept

Für die Realisierung eines energieeffizienten Gebäudes steht am Anfang des Planungsprozesses die Erarbeitung eines integrierten Energiekonzeptes. Dabei werden für das Gebäude zunächst die Kriterien für die angestrebte Behaglichkeit definiert. Hierzu ist die Nutzung genau zu beschreiben und in einem detaillierten Raumbuch zusammen zu fassen.

Ausgehend von dieser Nutzungsbeschreibung lassen sich dann der Energiebedarf, die inneren Lasten und die Energiegewinne aufzeigen und für das Energiekonzept der Wärme-, Kühl- sowie der Lüftungsbedarf, der Licht- und Strombedarf der einzelnen Räume wie auch des Gesamtgebäudes beschreiben. Hieraus leiten sich die verschiedenen Optionen für das Gebäude ab, Wärme, Kälte, Licht, Strom oder Luft zu gewinnen und zu transportieren.

Für die Versorgung mit Wärme, Kälte, Strom, Luft und Licht gilt es bei der Erstellung des Energiekonzeptes, verschiedene Varianten aufzuzeigen und zu untersuchen. Ausgehend vom Nutzungsprofil und den besonderen Anforderungen aus Brandschutz, Versammlungsstätten-Verordnung etc. werden die verschiedenen Varianten für Wärme-, Kälte- und Stromerzeugung und deren Transport untersucht. Die unterschiedlichen Investitions- und Betriebskosten sowie die Umweltauswirkungen werden in einer Matrix miteinander verglichen. Matrix siehe Anhang.

3.2.1 Grundlagenermittlung

Für die heizungs- und kältetechnische Versorgung wurden im Rahmen der Grundlagenermittlung verschiedene Varianten betrachtet. Ziel war es, eine energetisch sinnvolle Versorgung zu gewährleisten und gleichzeitig neue Technologien zu betrachten und deren sinnvollen Einsatz zu berücksichtigen.

Für die heiz- und kältetechnische Versorgung wurden wirtschaftliche, umweltfreundliche und sinnvolle Systemtemperaturen berücksichtigt. So ist beispielsweise vorgesehen worden, dass ein Austausch der zentralen Komponenten durch herkömmliche Wärme- und Kälteerzeuger wie z.B. Fernwärmenetz und Kältemaschine generell nachträglich möglich.

Erschließung/Infrastruktur

- Gasanschluss in der Visa-Stelle (Achtung: Gasabnahme begrenzt, Reserven nicht eindeutig bekannt, Erweiterung des Gasanschlusses aufgrund der nahe liegenden Fernwärmeleitung aus genehmigungstechnischen Gründen nur eingeschränkt oder nicht möglich)
- Fernwärmeanschluss in unmittelbarer Nähe
- Allgemeiner Stromanschluss für die elektrische Versorgung der Liegenschaften und haustechnischen Komponenten
- Abwasserkanäle

Voruntersuchungen

Für die **Wärmeerzeugung** wurden folgende Varianten untersucht und bewertet:

a) Wärmerückgewinnung aus Abwasser

Vorteile:

- einfaches System
- Kostengünstig bei Neubau

Nachteile:

- Nachträglicher Einbau in einem Bestandskanal schwierig und kostenintensiv
- Zustimmung des Kanalbetreibers bzw. der öffentlichen Behörden wird benötigt
- lange Beruhigungsstrecken (mindestens 200 m) erforderlich
- Materialanforderungen an den Bestandskanal (nicht geeignet für GFK, Kunststoff, Stahl- und Steinzeug-Kanäle)
- Kanalquerschnitt des öffentlichen Abwasserkanals wird reduziert
- Der Abwasserkanal muss ein Mindestgefälle von >800 mm aufweisen
- Die Abwassertemperaturen müssen auch im Winter über 10 °C liegen
- Trockenwetterabfluss mindestens 15 l/s
- Entzugsleistung gering. Die Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser kann nur als Ergänzung zur Wärmeerzeugung betrachtet werden. Komplette heizungstechnische Versorgung des Gebäudes nicht möglich
- Entsprechende Revisionsöffnungen müssen in den öffentlichen Kanal eingebaut werden (hinsichtlich Einbau, spätere Inspektion, Wartung und Reinigung)

Aufgrund der o.g. Nachteile bzw. Anforderungen sowie der vorhandenen Infrastruktur sowie der benötigten Genehmigungen wurde das System nicht weiter betrachtet.

b) Solarthermie

Vorteile:

- einfaches System

Nachteile:

- Wärmeerzeugung nur bei Sonnenschein. Aufgrund der Verschattung im Bereich des Neubaus nur bedingt nutzbar
- Im Sommer keine Abnahme für heizungstechnische Anlagen im Neubau
- Mittlere Investitionskosten

Aufgrund der o.g. Punkte ist eine Anwendung für den Neubau energetisch betrachtet nicht sinnvoll. Sinnvolle Nutzung wäre eine Unterstützung der Warmwasserbereitung der vorh. Liegenschaften wie z.B. das IBB-Hotel.

c) Fernwärme

Vorteile:

- einfaches System
- Platzbedarf gegenüber Kesselanlagen wesentlich geringer
- liegt vor Ort

Nachteile:

- Für die sinnvolle Nutzung muss die Rücklauftemperatur niedrig sein

- Abhängigkeit vom Versorger

Da das Gebäude mit neuen umweltfreundlichen Techniken beheizt werden soll und als Anschauungsobjekt für eventuell weitere Gebäude dienen soll. Sollte die Fernwärme zur heizungstechnischen Versorgung nur als Ergänzung berücksichtigt werden.

d) Gasbeheizte Kesselanlagen z. B. Brennwertkessel

Vorteile:

- Hoher Wirkungsgrad

Nachteile:

- Für die sinnvolle Nutzung muss die Rücklauftemperatur niedrig sein
- Erdgasanschluss erforderlich
- Die Reserveleistungen des vorh. Gasanschlusses der Visa-Stelle ist begrenzt und für eine komplette heizungstechnische Versorgung des Neubaus nicht ausreichend
- Abhängigkeit vom Versorger (Engpässe)

Aufgrund des begrenzten Gasanschlusses wird die heizungstechnische Versorgung über eine Gasbrennwertanlage nur als Ergänzung berücksichtigt werden.

e) Pellet-Kessel

Vorteile:

- Robuste Technik
- Unabhängige Wärmeenergieerzeugung

Nachteile:

- große Anlage, hoher Flächenbedarf erforderlich
- Große Lagerräume für die Pellet-Lagerung erforderlich
- Verfügbarkeit der Pellets in Weißrussland ist zu prüfen

Aufgrund der o. g. Verfügbarkeit und Berücksichtigung einer Versorgungssicherheit wird diese Variante nicht als Hauptwärmeerzeugung betrachtet sondern als Demonstrationsanlage in dem Gesamtkonzept berücksichtigt.

f) Holzhackschnitzelkesselanlage

Vorteile:

- Robuste Technik
- Verfügbarkeit
- Preiswerte Wärmeerzeugung
- Unabhängige Wärmeenergieerzeugung

Nachteile:

- große Anlage, hoher Flächenbedarf erforderlich
- Große Lagerräume für die Lagerung der Holzhackschnitzel erforderlich

- Wartungsintensiv

Aufgrund der o. g. großen Flächen und der allgemein in Weißrussland bekannten Technik (z.B. Scheitholzkessel) wird diese Variante für das Gesamtkonzept nicht berücksichtigt.

g) Blockheizkraftwerk

Vorteile:

- Strom- und Wärmeerzeugung mit einem Gerät
- Preiswerte Wärmeerzeugung und Stromerzeugung (Einspeisung und Vergütung in das öffentliche Netz,
- Robuste Technik

Nachteile:

- für sinnvolle Nutzung nach Möglichkeit durchgehender Betrieb erforderlich. Wärme muss bei Betrieb ständig abgeführt werden.
- Im Sommer keine Abnahme für heizungstechnische Anlagen im Neubau.
- Mittlere Investitionskosten

Aufgrund der o.g. Punkte ist eine Anwendung für den Neubau energetisch betrachtet nicht sinnvoll. Sinnvolle Nutzung wäre die Unterstützung der Warmwasserbereitung der vorh. Liegenschaften wie z.B. das IBB-Hotel. Diese Variante wird nicht als Hauptwärmeerzeugung betrachtet sondern als Demonstrationsanlage im Gesamtkonzept berücksichtigt.

h) Wärmepumpenanlage

Vorteile:

- Kompaktes System
- Geringer Raumbedarf
- Umweltschonend
- Hohe Leistungszahl
- Ausführung als reversible Wärmepumpe auch für den Einsatz zur Kühlung geeignet (1 Aggregat zum Heizen und Kühlen)
- Nutzung von natürlichen Wärmequellen Luft, Wasser, Erdwärme
- Ausführung als gasbetriebene Wärmepumpe (umweltschonend) möglich dadurch ist der elektrische Leistungsanschluss gering

Nachteile:

- Hohe Investitionskosten
- Für die sinnvolle Nutzung muss die Rücklauftemperatur niedrig sein

Da das Gebäude mit neuen umweltfreundlichen Techniken beheizt und gekühlt werden soll Wird eine Wärmepumpenanlage als Haupterzeuger für die Wärme- und Kälteerzeugung berücksichtigt. Nach Möglichkeit eine gasbetriebene Wärmepumpenanlage um die elektrische Leistung so gering wie möglich zu halten.

Für die **Wärmepumpenanlagen** werden folgende Umwelt-Wärmequellen untersucht:

a) Wärme-/Umweltquelle Außenluft

Vorteile:

- einfaches System

Nachteile:

- Leistungszahl der Wärmepumpe je nach Außentemperatur schwankend. Energieausbeute gering bis mittel
- Leistungszahl gering bis mittel
- Große Luftansauggitter erforderlich
- Zur generellen Wärmeerzeugung nicht geeignet

Aufgrund der o. g. Nachteile wird diese Wärme-/Umweltquelle für die weitere Betrachtung nicht berücksichtigt

b) Wärme-/Umweltquelle Brunnenwasser

Vorteile:

- einfaches System
- Komponenten (Pumpen, Armaturen etc.) können in der Technikzentrale angeordnet werden
- Mittlere bis hohe Leistungszahlen
- Grundwasser weist über das Jahr gesehen eine Temperatur von 7°C bis 12°C auf.

Nachteile:

- Genehmigung der öffentlichen Behörde erforderlich
- Anforderungen an die Wasserqualität (freies Chlor, Chloride, Eisen und Mangan), Feststoffanteil (z.B. Sand) so wenig wie möglich
- Aus korrosionsschutztechnischen Gründen Anforderungen an Rohrleitungen, Armaturen bzw. die eingesetzten Komponenten
- Grundwasser in ausreichender Menge und in einer wirtschaftlicher Tiefe (5m bis 15 m) erforderlich
- Saug- und Schluckbrunnen erforderlich (Abstand untereinander mindestens 15 m) sonst Verockerrung der Brunnen möglich

Aufgrund der o.g. Nachteile wird diese Wärme-/Umweltquelle für die weitere Betrachtung nicht berücksichtigt.

c) Wärme-/Umweltquelle Erdwärme über Flächenkollektoren

Vorteile:

- einfaches System

- Komponenten (Pumpen, Armaturen etc.) können in der Technikzentrale angeordnet werden
- Erdreich weist über das Jahr gesehen eine durchgehende Temperatur auf. Kühlung im Sommer und Vorerwärmung der Außenluft im Winter möglich
- Mittlere bis hohe Leistungszahlen

Nachteile:

- Großes Grundstück erforderlich in unserem Anwendungsfall nicht möglich
- Umfassende Aushubmaßnahmen erforderlich, da Kollektoren in einer Tiefe von ca. 1,50 m verlegt werden.
- Entzugsleistung gering bis mittel. Abhängig von der Bodenqualität
- Aufgrund der oberflächennahen Anordnung der Flächenkollektoren kann es beim Kühlfall zu einer schnellen Aufheizung des Erdreiches kommen und die Kühlkapazität des Erdreiches erheblich einschränken und nicht gewährleisten
- Hohe Investitionskosten für die Verrohrung der Erdkollektoren erforderlich

Aufgrund der o. g. Nachteile wird diese Wärme-/Umweltquelle für die weitere Betrachtung nicht berücksichtigt.

d) Wärme-/Umweltquelle Erdwärme über Erdsonden

Vorteile:

- einfaches System
- Komponenten (Pumpen, Armaturen etc.) können in der Technikzentrale angeordnet werden
- Mittlere bis hohe Leistungszahlen
- Erdwärme weist über das Jahr gesehen eine gleich bleibende Temperatur auf. Kühlung im Sommer und Erwärmung der Außenluft der RLT-Anlage möglich.
- Hohe Entzugsleistungen möglich
- Genehmigung der öffentlichen Behörde in Weißrussland nicht erforderlich

Nachteile:

- Hohe Investitionskosten
- Bohrungen bis 100 m erforderlich
- Revisionschächte im Gelände erforderlich

Aufgrund der o. g. überwiegenden Vorteile wurde diese Variante berücksichtigt

Für die **zentrale raumluftechnische Anlage** wurden folgende Varianten untersucht und bewertet:

a) Erwärmung der Außenluft im Winter bzw. Kühlung der Außenluft im Sommer durch Erdwärme.

Variante 1:

Der Außenluftkanal wird zum Teil unter den Fundamenten bzw. im Erdreich geführt:

Vorteile:

- einfaches System
- kostengünstig

Nachteile:

- großer Erdaushub erforderlich
- Entsprechende Revisionsöffnungen müssen im Gebäude und im Gelände berücksichtigt werden (hinsichtlich spätere Inspektion, Wartung und Reinigung)
- Verschmutzung des Ansaugkanal im Hinblick auf Schädlinge, Verschmutzung durch äußere Witterungseinflüsse (Pollenflug, Kondenswasser etc.) sehr hoch. Ständige Kontrollen und Reinigungsvorgänge erforderlich. Reinigung nur erschwerend möglich da Ansaugkanal nicht begehbar ist.
- Hoher Personaleinsatz erforderlich

Aufgrund der hygienischen Anforderungen wurde diese Variante nicht weiter betrachtet.

Variante 2:

Ausstattung der zentralen raumlufttechnischen Anlagen mit einem Register zur Vorkonditionierung der Außenluft.

Vorteile:

- einfaches System
- gut zu reinigen
- wartungsfreundlich (hinsichtlich spätere Inspektion, Wartung und Reinigung)
- Komponenten können in der Technikzentrale angeordnet werden
- Hohe Hygienesicherheit unter Berücksichtigung der Wartungsintervalle

Nachteile:

- Anforderungen an die hydraulischen Komponenten bzw. Regelungstechnik

Aufgrund der hygienischen Anforderungen wurde diese Variante berücksichtigt

3.2.2 Heizsysteme im Vergleich

In einem zweiten, vertiefenden Planungsschritt wurden die als in der „Zukunftswerkstatt“ anwendbar betrachteten Versorgungsvarianten näher untersucht. Die Wahl des Heizsystems wird in diesem Fall nicht allein von einer wirtschaftlichen und ökologischen Optimierung her getroffen, sondern auch Demonstrations- und Anschauungsaspekte einer Anlage werden bei der Bewertung der Auswahlkriterien mit betrachtet. Vor der Entscheidung ist ein Vergleich der verschiedenen denkbaren Systeme in relativ großer Breite vorgenommen worden. Die zugrunde liegenden

Kostenansätze sind dabei nur grob geschätzt, da der Vergleich keine Entscheidungsgrundlage darstellt, sondern lediglich eine Orientierung über die Gesamtkostenrelationen liefern soll. Die betrachteten Systeme sind dabei wie folgt gewählt werden:

1. Erdgaskessel
2. Fernwärme
3. Holzpelletkessel
4. monovalente elektrische Wärmepumpe mit Erdsonden als Wärmequellen
5. Gasmotor-Wärmepumpe mit Gaskessel für die Spitzenlastdeckung
6. Erdgas-BHKW 2 x 5,5 kW_{el} und elektrische Erdsonden-Wärmepumpe
7. Erdgas-BHKW 1 x 5,5 kW_{el} mit Gaskessel für die Spitzenlastdeckung
8. Erdgas-BHKW 1 x 5,5 kW_{el} mit Fernwärme für die Spitzenlastdeckung
9. Erdgas-BHKW 2 x 5,5 kW_{el} mit Gaskessel für die Spitzenlastdeckung
10. Erdgas-BHKW 2 x 5,5 kW_{el} mit Fernwärme für die Spitzenlastdeckung

Das Gebäude benötigt maximal eine Heizleistung von 150 kW, wobei diese Spitze sehr ausgeprägt ist und eigentlich nur dann auftritt, wenn an sehr kalten Tagen viele Besucher anwesend sind und die Frischluftzufuhr nur mit Vorwärmung zur Vermeidung von Eisbildung erfolgen kann.

Zur Abschätzung der Vollbenutzungsstunden der Grundlastanlagen war zu Beginn der Planung eine Lastverteilung in Anlehnung an Klimadaten konstruiert worden. Diese Jahresdauerlinie sah in etwa so aus wie in Abbildung 4 skizziert, wobei die sehr kurze Heizzeit von weniger als 5.000 h/a auffällt, die durch das günstige Verhältnis von geringem Bedarf zu hohen solaren und inneren Wärmegewinnen bedingt ist. Die extreme Spitze bringt es mit sich, dass mit relativ kleinen Leistungen in der Grundlast bereits ein sehr hoher Anteil von Wärmearbeit erbracht werden kann. Als eine mögliche Grundlastanlage ist ein BHKW mit 33 kW thermischer Leistung abgebildet. Es ist immer Heizsystem für die Spitzenlast erforderlich, dies kann ein Gaskessel oder ein Fernwärmeanschluss sein. Die Grundlastanlage dient nur der Effizienzsteigerung in der Erzeugung.

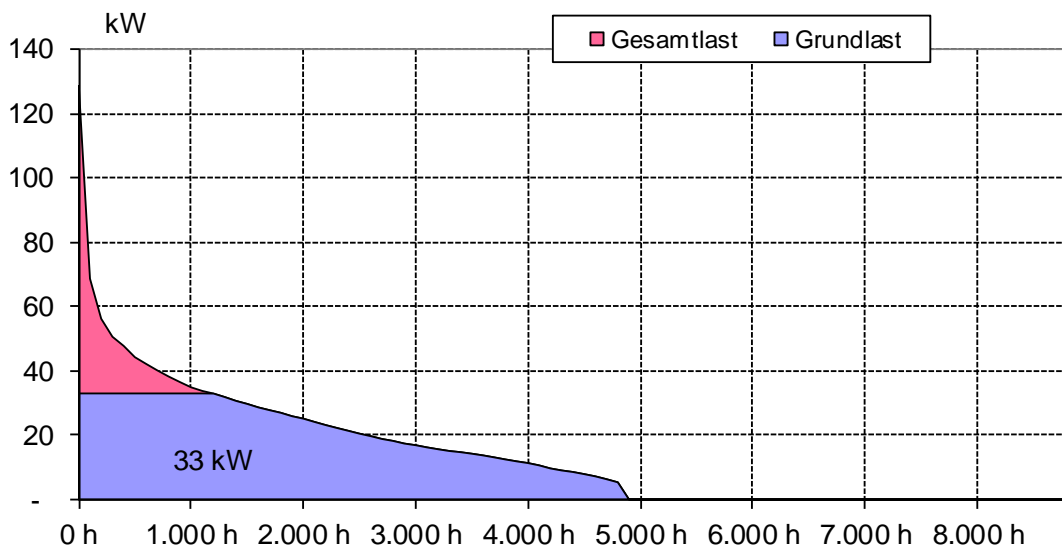


Abbildung 4 Jahresdauerlinie mit Grundlast 33 kW, einfache Simulation nach Klimadaten

Im weiteren Verlauf des Planungsprozesses wurde eine Gebäudesimulation durchgeführt, die zu einer noch extremer ausgeprägten Dauerlinie führte. Die Dauerlinie der Simulation liegt der Konzeption und Auslegung des gewählten Heiz- und Kühlsystems zugrunde. Sie sieht im Vergleich mit der Dauerlinie der ersten einfachen Simulation wie folgt aus.

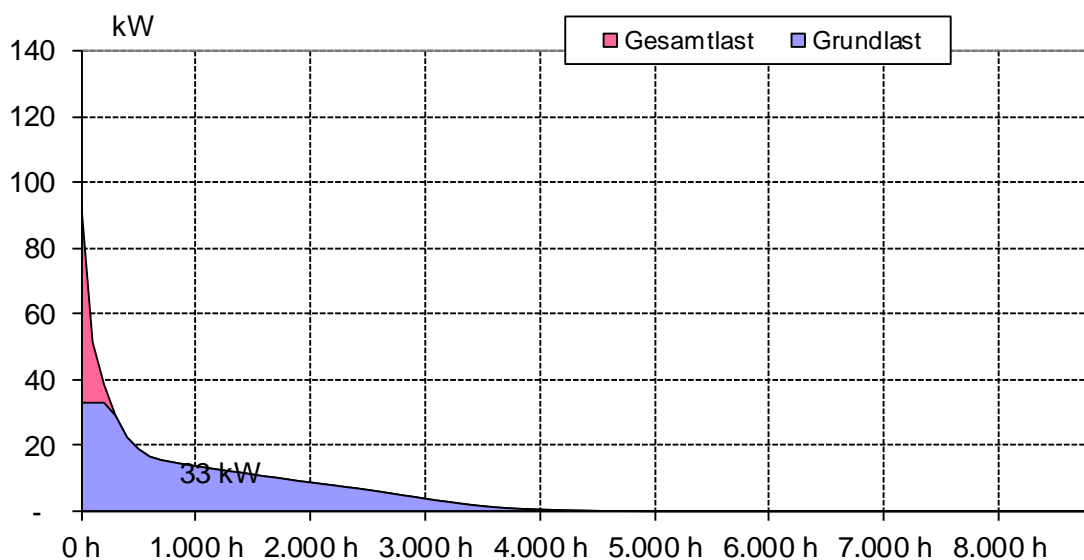


Abbildung 5 neue Jahresdauerlinie Wärme mit Grundlast 33kW, auf Grundlage der dynamischen Gebäudesimulation

3.2.3 Heizkostenvergleich Anfangsphase

Der Heizkostenvergleich orientierte sich an der Systematik der VDI 2067, beinhaltete aber keine dynamische Energiepreisfortschreibung über die Laufzeit der In-

vestitionen von 20 Jahren. Anstelle dessen wurde das Risiko mit Hilfe eines Hochpreis-Szenarios abgeschätzt, in dem deutliche denkbare Steigerungen abgebildet sind.

Das Hochpreis-Szenario beinhaltet eine Steigerung des Erdgaspreises um 20 EUR/MWh und eine Strompreiserhöhung um 30 EUR/MWh. Holzpellets und Fernwärme steigen wesentlich moderater mit 10 EUR/MWh bzw. 8 EUR/MWh.

Das Ergebnis des Vergleichs stellte sich wie folgt dar:

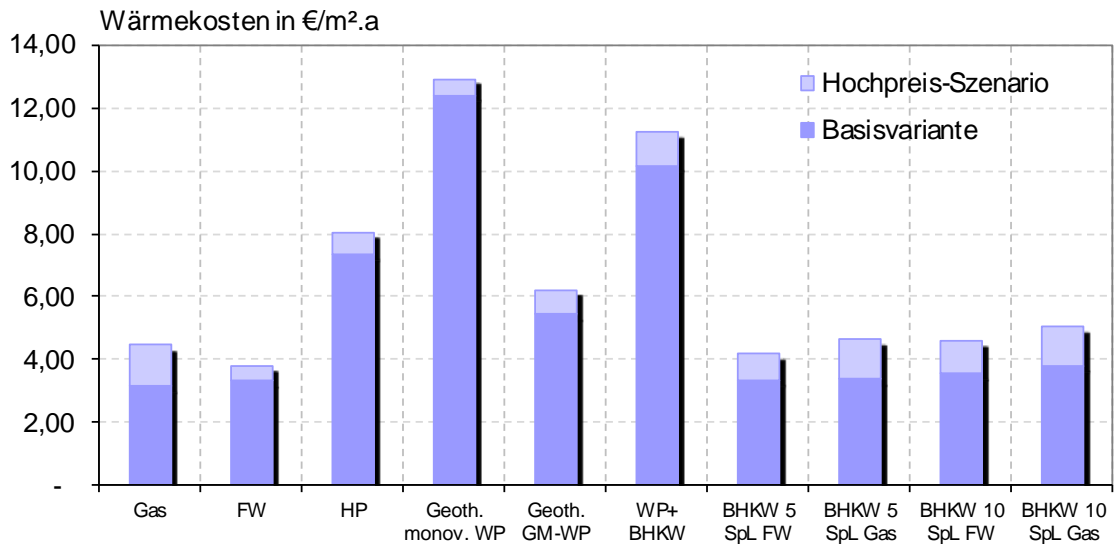


Abbildung 6 Heizkostenvergleich für 10 Systeme, Planungsphase 1

3.2.4 Vergleich Phase 2

Nach Verfeinerung der Auslegungsdaten mit den Ergebnissen der Gebäudesimulation und entsprechender Anpassung des Heizkostenvergleichs ergibt sich das folgende veränderte Bild.

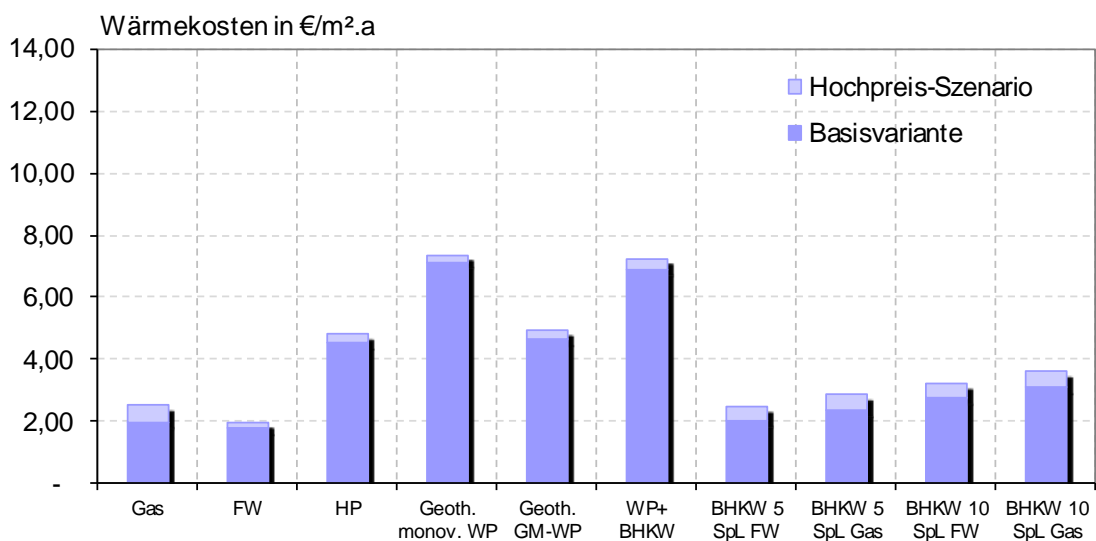


Abbildung 7 Heizkostenverteilung für 10 Systeme, Planungsphase 2

Der Kostenvergleich ist in diesem Fall nicht allein ausschlaggebend für die Entscheidungsfindung. Von besonderer Bedeutung ist hier auch der Demonstrationscharakter des Gebäudes inklusive der Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen.

Die Notwendigkeit der Kühlung begünstigt Wärmeerzeugungsanlagen, die das Erdreich durch Wärmeentzug im Winter kühlen und somit für den Sommer eine hoch-effiziente Erzeugung von Kälte ermöglichen, z.T. bei schwacher Kühllast mittels freier Kühlung oder sonst über den Betrieb der Wärmepumpe als Kältemaschine mit Abfuhr der Wärme in die Sonden. Zwei Anlagenkomponenten, die Erdsondenanlage und die Wärmepumpe sind doppelt nutzbar, so dass die hohen Investitionskosten sich bei gemeinsamer Betrachtung von Wärme und Kälte wirtschaftlicher darstellen als bei getrennter Betrachtung. Wärmeüberschüsse des BHKW, die im Gebäude nicht genutzt werden, können in der Nachbarschaft im Hotel abgesetzt werden. Dort liegt als günstige lokale Besonderheit ganzjährig ein Warmwasserbedarf vor.

Als Wärmeerzeugungssystem wird die Kombination von BHKW und Wärmepumpe gewählt und weiter angepasst. Dabei sind die Anforderungen von der Kälteseite zu integrieren. Diese werden im Folgenden zunächst dargestellt, um anschließend das Gesamtkonzept Wärme-Kälte-Strom in den gegenseitigen Abhängigkeiten mit den einzelnen technischen Komponenten zu beschreiben.

3.2.5 Kälte

Analog zur Jahresdauerlinie der Wärme ist aus der Gebäudesimulation auch eine Dauerlinie der Kälte entwickelt worden. Auch die Linie verläuft extrem steil. Dies bedeutet, dass die Anlagen sehr kurze Betriebszeiten aufweisen, und nur für sehr wenige Stunden mit hoher Leistung ausgelegt werden müssen, um die gewünschte Qualität der Raumluft im Sommer bei hoher Anzahl gleichzeitig anwesender Personen sicherzustellen. Die hier dargestellte Kurve beinhaltet bereits gewisse Kompromisse im Bereich des Komforts bei der Kühlung (Kombi-Variante aus 3.1. und 3.2, vgl. Berechnungen Büro Jung).

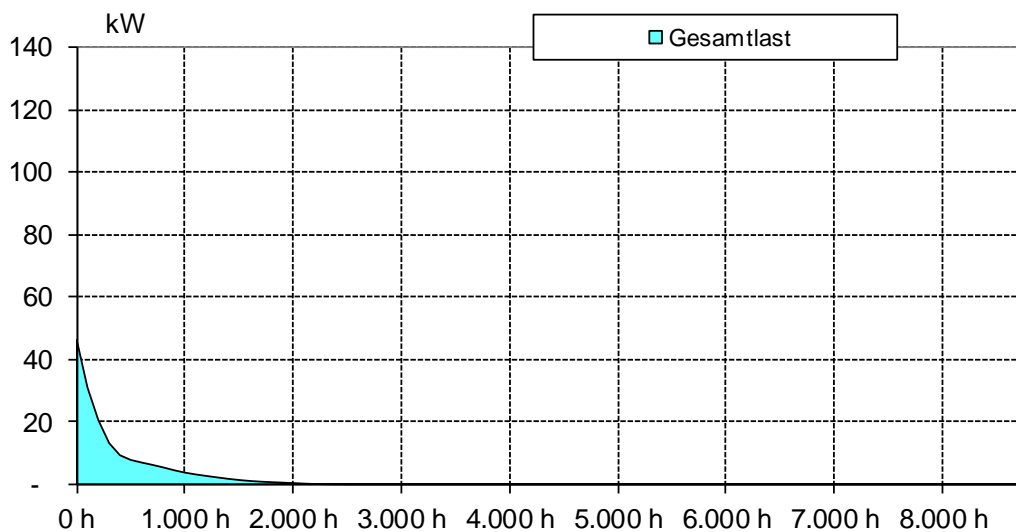


Abbildung 8 Jahresdauerlinie Kälte, auf Grundlage der dynamischen Gebäudesimulation

Bei dieser Dauerlinie ist die Anforderung aus dem Gebäude bei mittlerem Komfortstandard dargestellt. Das bedeutet, dass im Hochsommer bei Vollbelegung auch Spitzentemperaturen der Raumluft bis 29 °C zugelassen werden. Die für die Beheizung gewählte Konzeption mit Erdsonden bietet die Möglichkeit, auch höhere Kühlleistungen bereitzustellen, ohne extrem höhere Investitionskosten zu verursachen. Auf diese Weise ist der Komfortstandard so hoch, dass eine ausreichend behagliche Nutzung von Kongress- und Seminarräumen gleichzeitig möglich ist.

Bei voller Auslastung der Räumlichkeiten und 32 °C Außenlufttemperatur liegt der Kältebedarf in der Komfortvariante dann bei ca. 95 kW. Um diese Leistung ins Gebäude zu bringen, stehen zwei statische Verteilsysteme zur Verfügung: die Kühldecken mit einer Leistung von ca. 60 kW und die Fußböden mit einer deutlich geringeren Leistung von 15 kW. Die restliche Kühlleistung von 20 kW muss über die Lüftung eingebracht werden.

Dabei ist auch ein ausreichender Luftwechsel von 12.000 m³/a sicherzustellen. Die Zuluft wird mittels Wärmerückgewinnung zunächst von 32 °C auf 28 °C abgekühlt, dann mittels der RLT-Kältemaschine weiter auf 20 °C. Die 20-gradige Zuluft wird dann den Veranstaltungsräumen zugeführt. Aufgrund der hohen Wärmelast erwärmt sich die eingebrachte Zuluft auf 26 °C. Die Raumluft wird über die Lüftungsanlage abgesaugt und über das WRG-System geleitet und kühlt die Außenluft von 32 °C auf 28 °C ab. Dabei erwärmt sich die abgeführte Abluft von 26 °C auf ca. 30 °C. Aus der Differenz von 30 °C Fortluft und 32 °C Außenluft ergibt sich eine zusätzliche Verlustleistung von 8 kW.

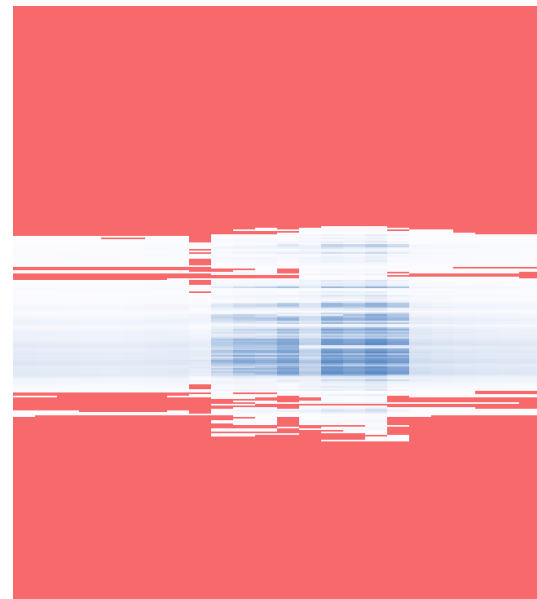
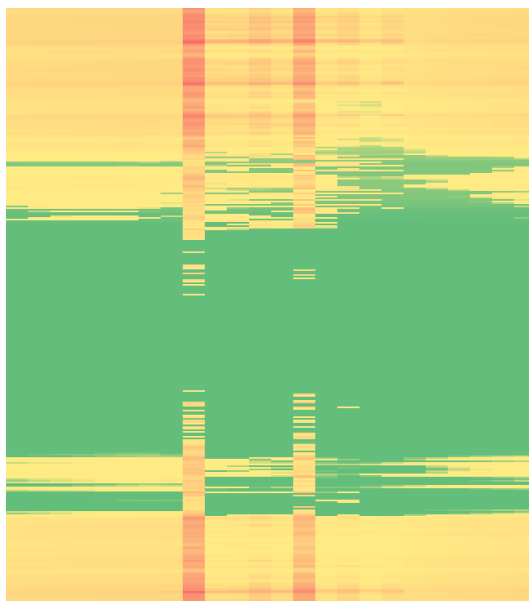
Die Gesamtleistung der RLT-Kältemaschine muss um die Verlustleistung erhöht werden und beträgt statt 28 kW in der Summe dann ca. 36 kW.

3.3 Energiekonzept Wärme - Kälte

Das Gebäude stellt bedarfsseitig Anforderungen an die Wärme- und Kälteerzeugung, die mit angepasster Anlagentechnik zu erfüllen sind. Die Stromversorgung spielt eine untergeordnete Rolle, das aus dem öffentlichen Netz Strom nahezu beliebig verfügbar ist und die Eigenerzeugung aus einem BHKW - soweit sie den Eigenbedarf übersteigt - auch von öffentlichen Netz aufgenommen werden kann. Der Schwerpunkt liegt daher auf der Wärme- und Kälteerzeugung.

Die zugrundeliegenden Bedarfswerte stammen aus einer thermischen Gebäudesimulation, die mit den angepassten Meteororm-Daten und der vorgesehenen Nutzung des Gebäudes für Veranstaltungen und Seminare durchgeführt worden ist. Die Anzahl der anwesenden Personen mit dem daraus resultierenden Luftwechselbedarf und der Erhöhung der inneren Wärmelast ist gerade für die Kühlung ein wichtiger Faktor.

Der Lastverlauf von Wärme oder Kälte lässt sich für alle 8760 Stunden eines Jahres auch über ein sogenanntes Rasterdiagramm (engl. carpet plot) veranschaulichen. In einem derartigen Diagramm sind von rechts nach links 24 Stunden eines Tages, von oben nach unten die Tage eines Jahres vom 1. Januar bis zum 31. Dezember dargestellt. Abbildung 1 zeigt in dieser Weise links die Heizlast und rechts die Kühllast.



grün = 0 rot = max. 94 kW Wärme

rot = 0 kW blau = max. 46 kW Kälte

Abbildung 1: Rasterdiagramme Heizen und Kühlen

Hier werden die kurzzeitigen Aufheizspitzen im Tagesverlauf sichtbar. Diese Spitzen lassen sich auch mit Pufferspeichern gut ausgleichen und abdecken, so dass die installierte Leistung der Erzeuger auch wesentlich geringer ausfallen kann.

Die Spitzenlasten der Kühlung erstrecken sich dagegen über mehrere Stunden; dies ist der Dauer der Veranstaltungen im Kongressbereich. Die inneren Lasten, verur-

sacht durch 200 anwesende Personen, erhöhen im Kühlfall die Last, während sie im Heizfall die Leistung absenken.

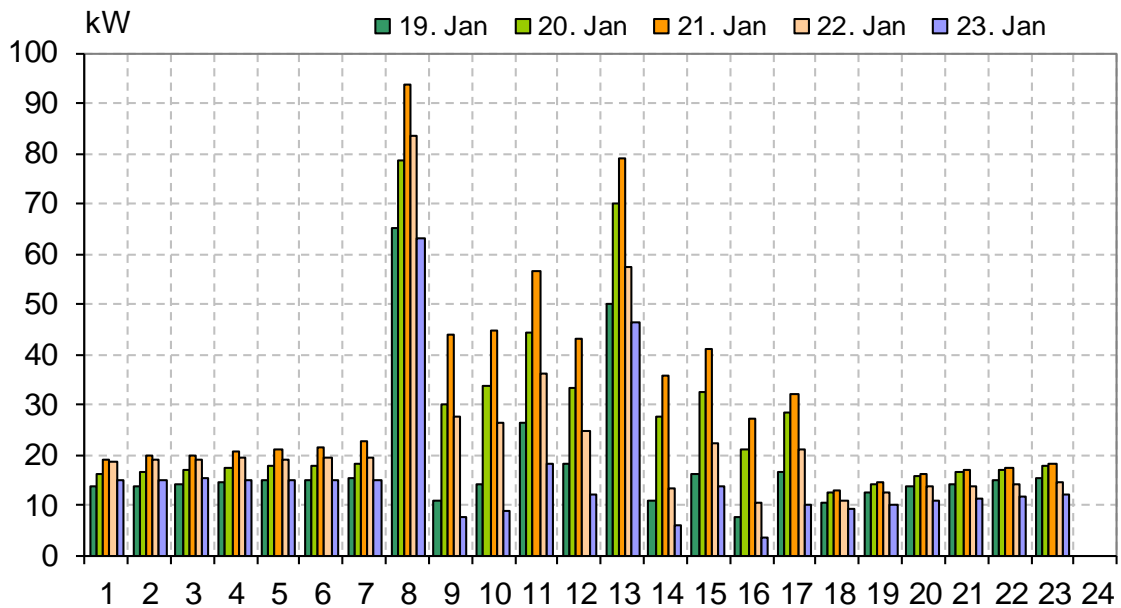


Abbildung 9 typische Tageslastgänge im Januar

Das Heiz- und Kühlkonzept sieht daher zu besseren Auslastung der Anlagen und Vergleichsmässigung der Erzeugung mehrerer Pufferspeicher vor. Alle Erzeugungsanlagen werden in einem separaten Heizhaus mit Anbindung an das Kompetenzzentrum IBB Minsk und an das Hotel untergebracht.

Die folgende Ausstellung gibt die installierten Erzeugungseinheiten mit den jeweiligen Leistungsdaten wieder:

	Wärme NT	Wärme HT	Kälte	Strom
Erdgas-BHKW 1		12,5		5,5
Erdgas-BHKW 2		12,5		5,5
Wärmepumpe	91		65	26
Erdsonden	98	98	98	
RLT-Kältemaschine			36	10
Luftkühler	46			
Vorwärmung WRG	65			

Tabelle 1 Erzeugungsanlage mit Leistungsangaben

Die Verteilung der Wärme und Kälte im Gebäude unter Einbeziehung der Wärmerückgewinnungsanlagen der Lüftung ist im Anhang als Schema für den Heizfall und den Kühlfall dargestellt.

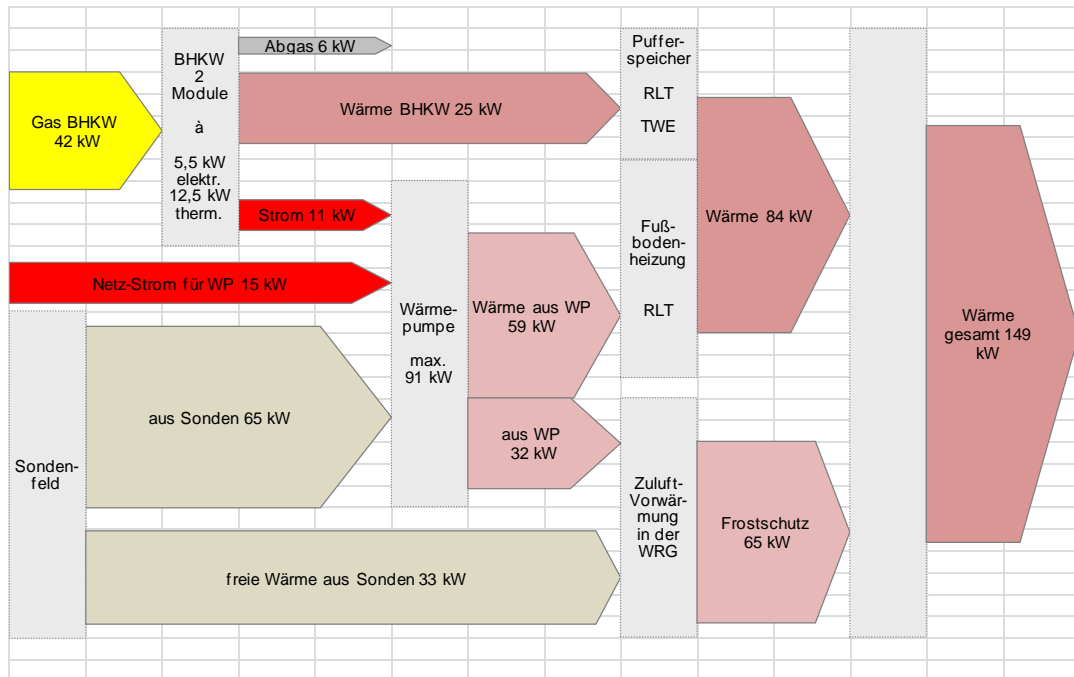


Abbildung 10 Energieflussdiagramm für den Heizfall

Das BHKW kann 25 kW Wärme vorrangig an die Anwendungen liefern, die hohe Temperaturen benötigen, d.h. Pufferspeicher, RLT und in geringem Umfang Trinkwassererwärmung, wobei im Fall von Leistungsreserven auch das Hotel mitversorgt werden kann. Im Starklastfall liefert das BHKW gleichzeitig 11 kW Strom, der für den Antrieb der Wärmepumpe genutzt wird, ergänzend muss 15 kW aus dem öffentlichen Netz bezogen werden. Die Wärmepumpe versorgt mit tiefen Vorlauftemperaturen vorrangig die Fußbodenheizung, so dass eine hohe Jahresarbeitszahl gesichert ist. In Teillastzuständen wird häufig die elektrische Leistung des BHKW für den Antrieb der Wärmepumpe ausreichend sein.

Eine besondere Anforderung stellen die extremen Wintertemperaturen an die Wärmerückgewinnung aus der feuchten Abluft. Es ist bei sehr tiefen Temperaturen davon auszugehen, dass die kalte Zuluft in der WRG-Anlage zur Eisbildung auf Basis der Feuchte der Abluft führt und die Anlage ihre Funktion vollständig verliert. Als Gegenmaßnahme ist ein Frostschutz von 65 kW thermischer Leistung erforderlich.

Diese Wärme kann auf niedrigem Temperaturniveau geliefert werden und stammt in der Anlagenkonzeption zur Hälfte aus der Wärmepumpe und zur anderen Hälfte aus freier Erdsondenwärme. Je nach Temperaturniveau in den Erdsonden kann zu Winteranfang auch die freie Wärmung mit ausreichender Leistung aus dem Sondenfeld bezogen werden, diesem Fall kann der „Umweg“ über die Wärmepumpe entfallen.

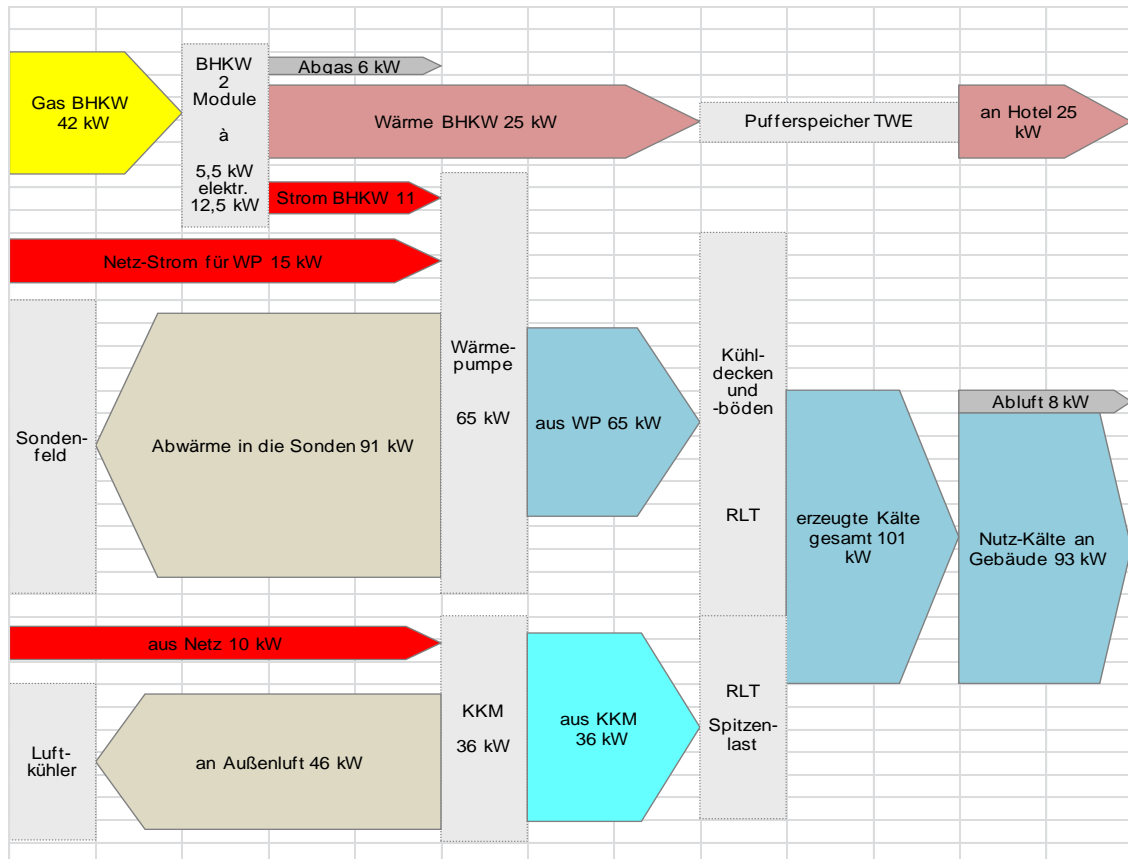


Abbildung 11 Energieflussdiagramm für den Kühlfall

Im Kühlfall läuft die Wärmepumpe als Kältemaschine, die auf der kalten Seite verfügbaren 65 kW sind in diesem Fall Nutzenergie, während Heizleistung von 91 kW jetzt Abwärme ist. Die Wärme des BHKW kann im Kompetenzzentrum nicht verwertet werden, hier ist ein externer Abnehmer in Nähe, das Hotel geeignet. Hier liegt ganzjährig ein Warmwasserbedarf vor. Wenn diese Abnahme ganz oder teilweise entfällt, ist das BHKW auf Teillast zu reduzieren, der Netzstrombezug wäre dann entsprechend anzuheben. Über lange Betriebszeiten mit Kühlteillast wird die Wärmepumpe jedoch vollständig mit dem BHKW-Strom ausreichend versorgt werden können.

Zusätzlich zur Wärmepumpe ist zur Abdeckung der Spitzenlasten in der RLT eine separate Kompressionskältemaschine vorgesehen. Diese Anlage stellt die Benutzbarkeit des gesamten Gebäudes auch bei hohen sommerlichen Temperaturen und voller Belegung mit Kongress- und Seminarveranstaltungen sicher. Die Betriebszeiten dieser Anlagen werden sehr kurz sein. Im Normalbetrieb wird man überwiegend mit freier Kühlung aus den Erdsonden und mit der Kälte aus Erdsonden-Wärmepumpen das Gebäude ausreichend kühlen können.

4 Passivhausstandard Weißrussland (PH-St)

4.1 Datensammlung lokale Gegebenheiten

4.1.1 Klimadaten für die PHPP-Berechnungen

Für die Berechnungen mit dem Passivhaus Projektierungspaket 2007 (PHPP 2007)¹ enthält das Programm keine vordefinierten Klimadaten für den Standort Minsk. Aus diesem Grunde wurde auf einen Datensatz des Programms Meteonorm 6.1.0.21² zurückgegriffen. Hiernach liegen Temperaturdaten basierend auf dem Zeitraum 1961-1990 und alternativ für den Zeitraum 1996-2005 vor. Die Strahlungsdaten der beiden Datensätze unterscheiden sich nicht und haben den Zeitraum von 1981-2000 als Grundlage. Die folgende Grafik zeigt die jeweiligen jährlichen Temperaturverläufe.

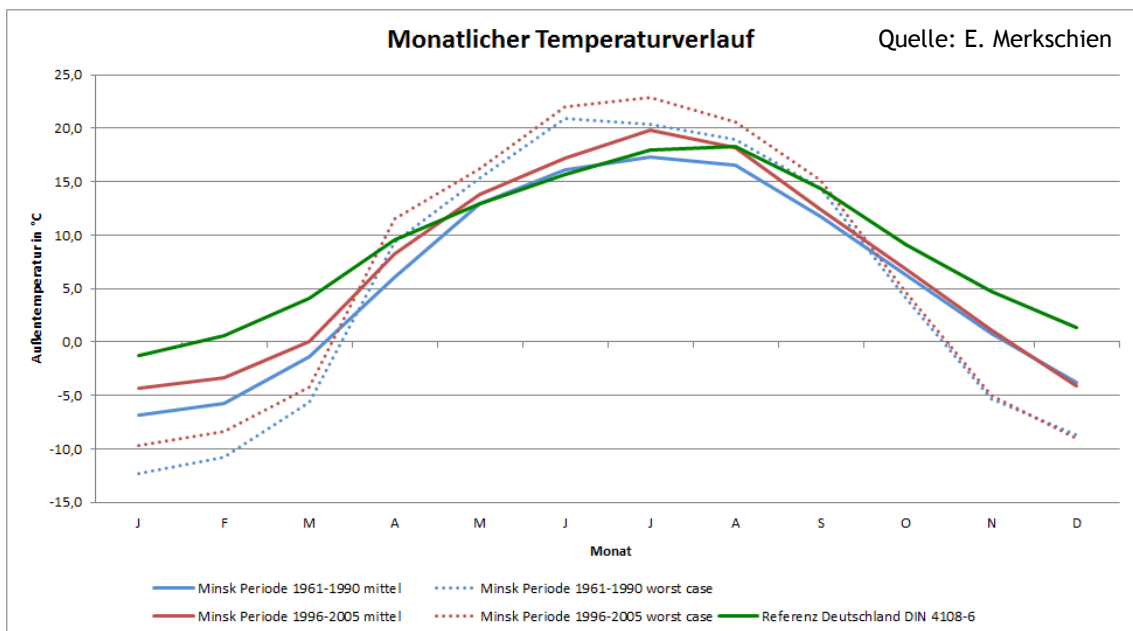


Abbildung 12 Monatlicher Temperaturverlauf

Die gestrichelten Linien stellen den worst case zu der jeweils durchgezogenen gleichfarbigen Linie dar. Beim worst case wird von kalten bewölkten Wintern und von sonnigen heißen Sommern ausgegangen. Die grüne Linie ermöglicht den Vergleich mit dem mittleren Standort Deutschland nach DIN V 4108-6:2003-06.

Zwischen dem jeweiligen langjährigen Durchschnitt und dem worst case sind sowohl im Winter als auch im Sommer Differenzen bis über 6 Kelvin zu erkennen.

Vergleicht man die langjährigen Temperaturen mit denen von Deutschland, so zeigt sich folgendes Ergebnis.

¹ Passivhaus Institut, Passivhaus Projektierungs Paket 2007, Fachinformation PHI-2007/1, Darmstadt 2007

² METEOTEST (Hrsg.), Software Meteonorm 6.1.0.21, Bern Schweiz 2011

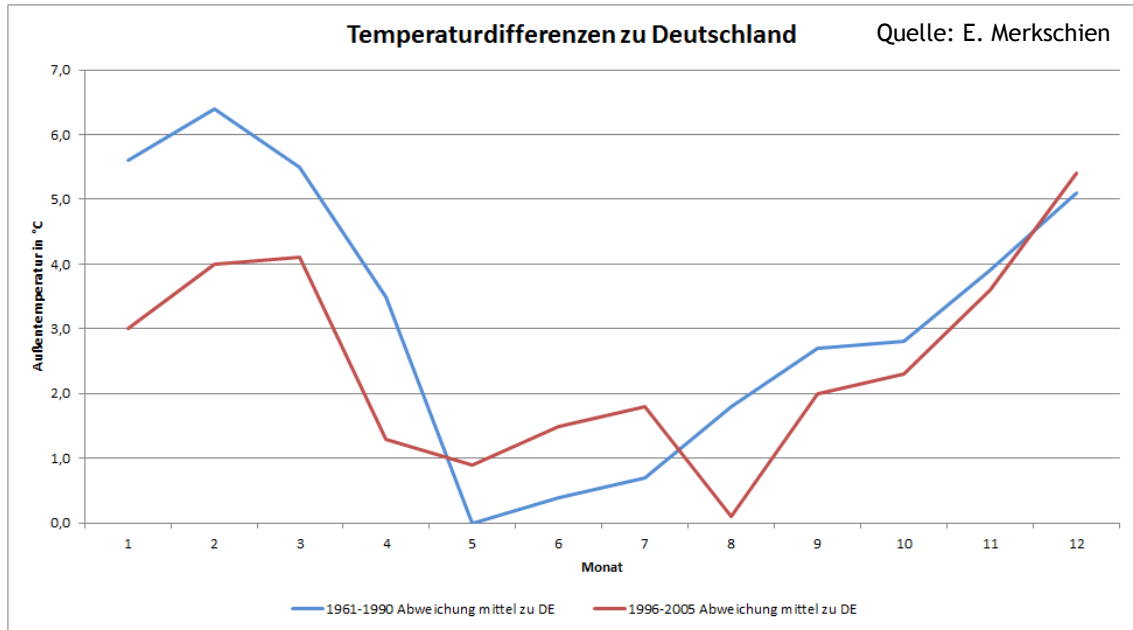


Abbildung 13 Temperaturdifferenzen zu Deutschland

Die Differenzen zum deutschen Klima ergeben sich vornehmlich in der kalten Jahreszeit, wo der Unterschied bis zu 6,4 Kelvin beträgt. Im Sommer hingegen treten nur sehr moderate Abweichungen unterhalb von 2 Kelvin auf. Erstaunlich ist der große Unterschied zwischen den Perioden 1961-1990 und 1996-2005 in den ersten Monaten des Jahres. Die Abweichungen betragen hier über 2 Kelvin.

Für die weiteren Berechnungen mit dem PHPP wurde der Klimadatensatz für die Periode 1996-2005 verwendet.

4.1.2 Lokal verfügbare Baustoffe, lokale Baukonstruktionen

Derzeit entfaltet sich in der Stadt Minsk eine sehr rege Bautätigkeit. Es werden neben öffentlichen Gebäuden, Gewerbebauten und Verwaltungen vor allem Hochhäuser für den Wohnungsbau errichtet.

Es gibt zwei vorherrschende Bauweisen:

- Stahlbetonskelettbau mit Ausmauerung mit Ziegeln oder zementgebundenen Steinen, Stahlbetondecken
- Stahlbetonbau mit Stahlbetondecken und -wänden
- Ziegelmauerwerk mit kleinformatischen Hochlochziegeln, Stahlbetonhohlkörperdecken

Als Fassade wird ein Wärmedämmverbundsystem mit ca. 8 cm Dämmstärke aufgebracht und verputzt.

Die traditionelle Bauweise in Belarus waren Blockhäuser aus Nadelholz. An vielen Stellen des Stadtgebietes Minsk sind noch die traditionellen Dorfstrukturen aus eingeschossigen Blockhäusern vorhanden, die derzeit großformatigen Hochhäusern weichen. In geringem Umfang sind auch zweigeschossige Blockbauten vorhanden.

Derzeitig findet Holz als Baustoff kaum Verwendung. Die gebräuchlichsten Materialien sind Massivbaustoffe, Beton, Ziegel, Kalksandstein und Betonstein.

4.1.3 Baustoffe auf nachwachsender Rohstoffbasis

Zukünftig werden Baustoffe auf nachwachsender Rohstoffbasis eine wachsende Bedeutung erlangen. Ein nicht bewirtschafteter Wald, der sich im ökologischen Gleichgewicht befindet, hält sich in Bindung und Freisetzung von Kohlenstoff in Form von CO₂ die Waage. Nicht der Naturwald, sondern der bewirtschaftete, genutzte Wald ermöglicht den Entzug von CO₂.

In den Workshops mit weißrussischen Experten trat eine große Skepsis gegenüber Holz als konstruktivem Baumaterial zutage. Zum einen besteht das Bemühen, sich im „Aufbruch in die Moderne“ von alten Strukturen und damit auch von traditionellen Baukonstruktionen zu lösen, zum andern bestehen gegenüber Holz sehr starke Vorbehalte in Bezug auf den Brandschutz.

Diese Haltung ist bekannt aus den Diskussionen um die Zukunftsfähigkeit von Holzbauten, die in den vergangenen 30 Jahren in Deutschland, Österreich und der Schweiz geführt wurden. Auch hier bedurfte es vieler Überzeugungsarbeit, um Baustoffe auf nachwachsender Rohstoffbasis wieder in den Bauprozess einzuführen. Mittlerweile ist der Holzbau als innovative ökologische Bauweise akzeptiert und es werden auch mehrgeschossige Holzgebäude in städtischen Strukturen realisiert.

Weißrussland verfügt über große Holzressourcen. 30 Prozent des Landes sind bewaldet. Das Ministerium der Forstwirtschaft der Republik Belarus setzt hohe Maßstäbe an die Bewirtschaftung:

- Rationalität, Unerschöpflichkeit und Kontinuität Waldbenutzung
- Sicherung der relativ ständigen Waldbenutzung innerhalb des Waldfonds für die Forstwirtschaft führenden Subjekten
- Durchführung der umweltfreundlichen Waldbenutzung

Quelle: Internet Präsentation des Ministeriums für Forstwirtschaft Belarus

Damit verpflichtet sich Belarus zu einer nachhaltigen Forstwirtschaft. Gemäß einer Vielzahl von Kennwerten, die Waldressourcen charakterisieren, gehört Belarus zu den 10 führenden Forstländern in Europa. Mehr als 60 Prozent der Wälder der Republik sind Nadelwälder. Die meist verbreitete Holzart ist die Kiefer. Unter den Laubbäumen überwiegen Birke, Erle und Eiche. Derzeit wird die Wiedereinführung der Lärche betrieben.

Die Gesamtfläche des Waldfonds der Republik Belarus macht mehr als 9,4 Mio. Hektar aus. Alle Wälder im Lande sind öffentliches Eigentum. 85,5 Prozent der Wälder sind unter der Verwaltung des Ministeriums der Forstwirtschaft. Sowohl unter ökologischen wie auch ökonomischen Gesichtspunkten ist eine stärkere Nutzung von Holz im Baubereich sinnvoll. Auch bei anderen nachwachsenden Rohstoffen wie z. B. Flachs, Hanf, Stroh, Baumwolle etc. ist im Sinne der Nachhaltigkeit auf biologische Produktionsweisen zu achten.

4.2 PHPP-Berechnungen

Für die Planung des Kompetenzzentrums „Zukunftswerkstatt“ stand die Frage im Vordergrund, ob sich diese Zielvorgaben unter den lokalen klimatischen Bedingungen sowie der komplexen Nutzungsstruktur des Gebäudes realisieren lassen und damit der unter mitteleuropäischen Bedingungen entwickelte Passivhausstandard mit vertretbarem Aufwand in Weißrussland verwirklicht werden kann.

Ein Passivhaus ist ein Gebäude, in welchem die thermische Behaglichkeit allein durch Nachheizen oder Nachkühlen des Frischluftvolumenstroms, der für ausreichende Luftqualität erforderlich ist, gewährleistet werden kann - ohne dazu zusätzlich Umluft zu verwenden.

Zur Überprüfung dieser Definition wird ein vom Passivhaus Institut, Darmstadt entwickeltes, stationäres Energiebilanzverfahren verwendet: das Passivhaus Projektierungspaket 2007 (PHPP 2007). Mit diesem Rechenverfahren kann überprüft werden, ob für ein geplantes Objekt die folgenden Bewertungsgrößen erfüllt werden:

Tabelle 2 Grenzwerte Passivhaus

Heizwärmebedarf	max. 15 kWh/(m ² ·a)	Anforderung
Primärenergiebedarf	max. 120 kWh/(m ² ·a)	Anforderung
Luftdichtheit (n ₅₀)	max. 0,6 h ⁻¹	Anforderung
Wärmedämmung - U-Wert	max. 0,15 W/(m ² ·K)	Richtwert
Fenster (U _{W, eingebaut})	max. 0,85 W/(m ² ·K)	Richtwert
Wärmerückgewinnung (η _{WRG})	mind. 75%	Richtwert

Für den Fall, dass zusätzlich eine aktive Kühlung erforderlich wird, soll der Nutzkältebedarf 15 kWh/(m²·K) nicht übersteigen.

Das Passivhaus-Institut vertritt den Standpunkt, dass die o. g. Parameter grundsätzlich an jedem Standort Gültigkeit haben, das PHPP wurde allerdings für Wohngebäude entwickelt, somit sind an mehreren Stellen des Rechengangs einzelne Parameter hinsichtlich ihrer Anwendung für Nichtwohngebäude zu hinterfragen.

4.2.1 Varianten im Planungsprozess

Im Laufe des Planungsprozesses wurden verschiedene Varianten für das berechnet, die sich vor allem hinsichtlich ihrer Geometrie und des Raumprogramms unterschieden haben. Die Variante 1 basierte auf Plänen vom Oktober 2010 und die Variante 2 hat Unterlagen von Dezember 2010 zur Grundlage. Die letzte bearbeitete Variante fußt auf Plänen von Mai 2011.

Zusätzlich zu den geometrie-basierten Varianten wurden unterschiedliche Möglichkeiten der Restwärmeversorgung für das Gebäude untersucht:

- Gas-Brennwert-Kessel
- Gas-Blockheizkraftwerk (BHKW)

- Fernwärme aus Gas-Heizwerk
- Gas-Wärmepumpe

Bei allen Varianten wurde davon ausgegangen, dass der geringfügige Bedarf an Warmwasser durch dezentrale elektrische Erzeugung gedeckt wird.

4.2.2 Grundlagen der Berechnung

Die dämmtechnische Ausstattung des Gebäudes wurde wie folgt angenommen:

Tabelle 3 U-Werte der eingesetzten Bauteile

Bauteil	U-Wert in W/(m ² ·K)	Dämmqualität
Bodenplatte	0,129	12/20cm WLG 035/050 ³
Außenwand	0,121	28cm WLG 035
Außenwand Holzschalung	0,127	30cm WLG 035 mit Holzanteil
Außenwand zum Erdreich	0,116	16/30cm WLG 035/080
Flachdach	0,120	6/30cm WLG 035/040
Fenster	0,87 im mittel	3-fach Wärmeschutzglas

Dies entspricht näherungsweise den Faustwerten für Passivhäuser in Deutschland, nach denen eine lückenlose Rundumdämmung der opaken Bauteile von 30 cm gewählt werden soll.

Bei den Wärmebrücken wird davon ausgegangen, dass das für Passivhäuser festgelegte vereinfachte Kriterium "wärmebrückenfrei" nahezu immer hinreichend genau erfüllt ist, wenn für alle linearen Störungen

$$\Psi \leq 0,01 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

ist. Diese Störungen führen zwar immer noch zu gewissen Beiträgen an den Transmissionswärmeverlusten, die allerdings als „vernachlässigbar gering“ gelten können.

Die Ermittlung des notwendigen Luftwechsels ist nutzerabhängig. Hier wurden die folgenden Werte gewählt:

Tabelle 4 Randbedingungen Lüftungswärmeverluste

	Wert
Personenbelegung (nach IB Jung)	413 Personen
Frischluftbedarf je Stunde und Person	30 m ³ /(h·P)

³ z. B. WLG 035 = Baustoff mit Wärmeleitfähigkeitsgruppe die $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ entspricht

Zur Verminderung der Lüftungswärmeverluste kommt eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zum Einsatz. Der Wärmerückgewinnungsgrad wird mit 75 Prozent angenommen.

4.2.3 Ergebnisse nach PHPP

Der Heizwärmebedarf für das Gebäude ergibt sich aus der Summe von Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten abzüglich der solaren und internen Erträge. Für den Standort Minsk und für den Normstandort Deutschland ergeben sich die folgenden Ergebnisse:

Tabelle 5 Ergebnisse Heizwärmebedarf

	Heizwärmebedarf
Standort Minsk	37,105 kWh/(m ² ·a)
Standort Deutschland - DIN V 4108-6	26,569 kWh/(m ² ·a)

Die Anforderung, dass ein Passivhaus einen Heizwärmebedarf von max. 15 kWh/(m²·a) haben soll, wird für beide Standorte deutlich überschritten.

Zur Ermittlung des Primärenergiebedarfs werden zuerst dem Heizwärmebedarf die energetischen Aufwendungen für die versorgungstechnischen Anlagen zugeschlagen, was den Heizenergiebedarf ergibt. Anschließend wird das Ergebnis mit dem Primärenergiefaktor nach DIN V 18599-100:2009-10 Tabelle A1 multipliziert. Für den Standort Minsk und für den Normstandort Deutschland ergeben sich die in der folgenden Abbildung dargestellten Ergebnisse:

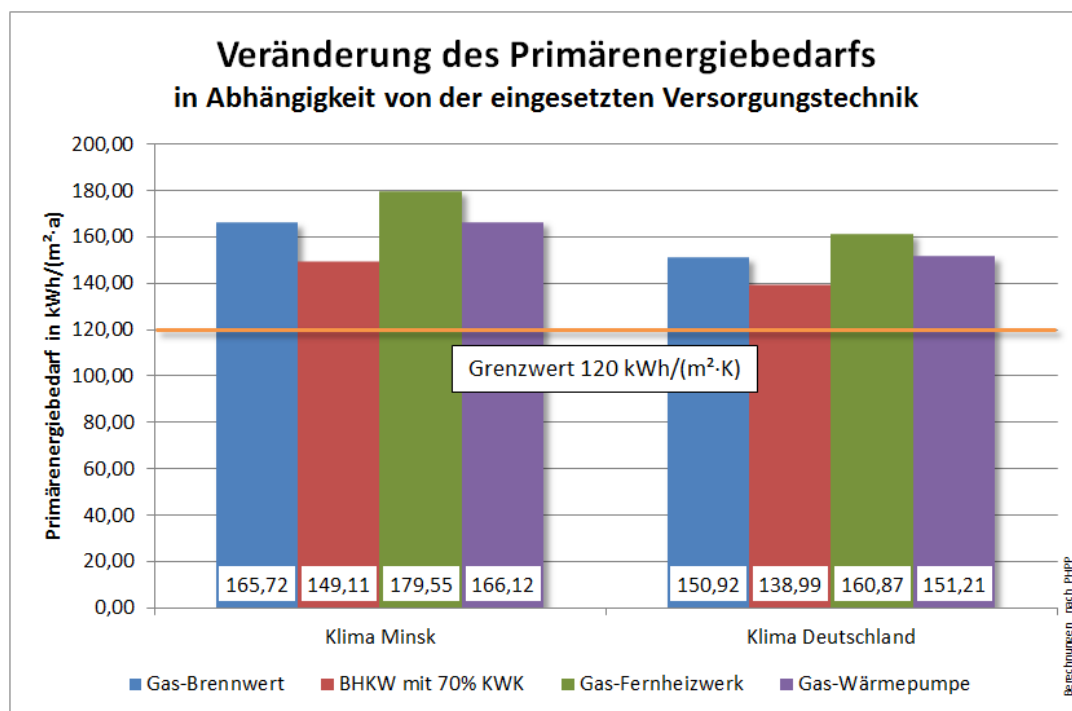


Abbildung 14 Veränderung des Primärenergiebedarfs

Die Anforderung, dass ein Passivhaus einen Primärenergiebedarf von max. 120 kWh/(m²·a) haben soll, wird für beide Standorte bei allen Varianten deutlich überschritten.

4.2.4 Analyse Transmissions- und Lüftungswärmeverluste

Angesichts der Ergebnisse stellt sich die Frage, welche Eingangsparameter für das Verfehlen des Passivhaus-Standards verantwortlich sind. Da die Überschreitung der Grenzwerte bereits beim Heizwärmebedarf erfolgt, werden die einzelnen Parameter zur Ermittlung dieser Größe analysiert. Die folgende Grafik zeigt eine Aufteilung der Wärmeverluste und -gewinne:

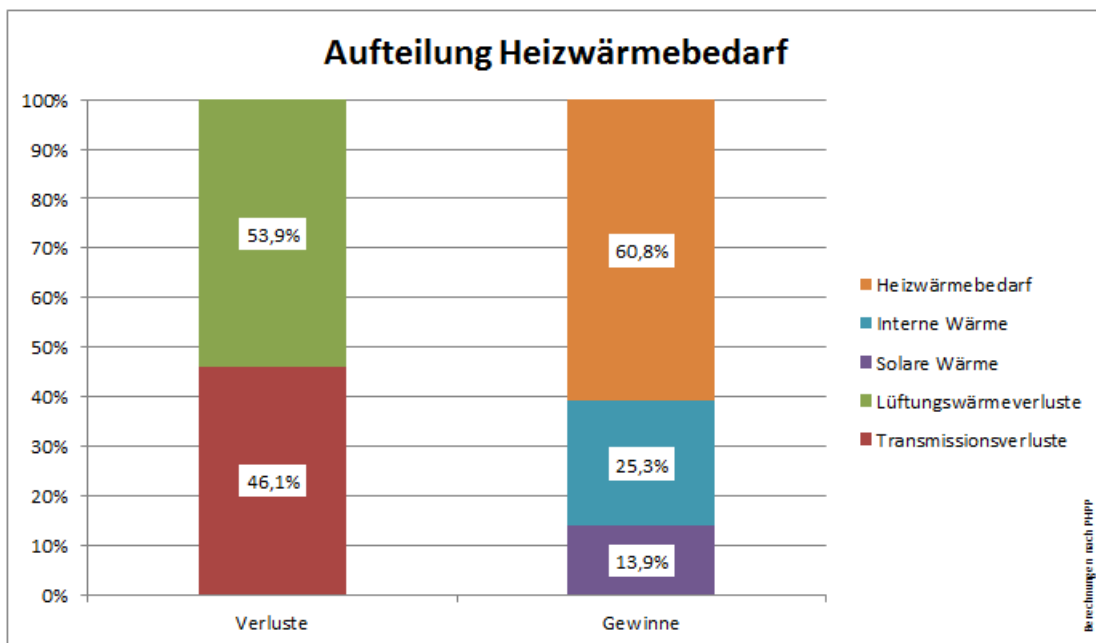


Abbildung 15 Aufteilung Heizwärmebedarf

Die Verluste gliedern sich mit nahezu gleichen Anteilen in Transmissions- und Lüftungswärmeverluste. Deshalb soll in einem ersten Schritt versucht werden, durch eine Verbesserung der Dämmqualität der Gebäudehülle den Heizwärmebedarf zu verringern.

Zu diesem Zwecke wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, bei der die Dicke der Dämmung bei den opaken Bauteilen variiert wurde. Bei der ersten Alternative wurde die Dämmdicke aller Bauteile auf 30 cm angehoben, wenn sie eine geringere Dämmdicke haben. Bei den Varianten 2 und 3 wurde die Dämmdicke rundum jeweils auf 40 cm bzw. auf 50 cm erhöht.

Tabelle 6 Variation Dämmqualität

Dämmqualität	Heizwärmebedarf in kWh/(m ² ·a)	Primärenergiebedarf in kWh/(m ² ·a)
geplante Ausführung	37,105 (100%)	166,122 (100%)

1. leicht verbessert (30 cm)	36,682 (98,9%)	165,631 (99,7%)
2. Dämmdicke 40 cm	34,846 (93,9%)	163,505 (98,4%)
3. Dämmdicke 50 cm	33,311 (89,8%)	161,731 (97,4%)

Während sich der Heizwärmebedarf durch die auf 50 cm verbesserte Dämmung verstärkte Dämmung um etwas über 10 Prozent verringert, liegt die Einsparung hinsichtlich der Primärenergie nur bei 2,6 Prozent.

Eine Verringerung des Transmissionswärmeverlustes und damit des Primärenergiebedarfs hat auch bei den niedrigen winterlichen Temperaturen ab einer Dämmstoffstärke von maximal 30 cm keine signifikante Auswirkung. Das bedeutet, dass das Gebäude durch eine Erhöhung der Dämmstoffstärken nicht weiter in seiner Energieeffizienz gesteigert werden kann.

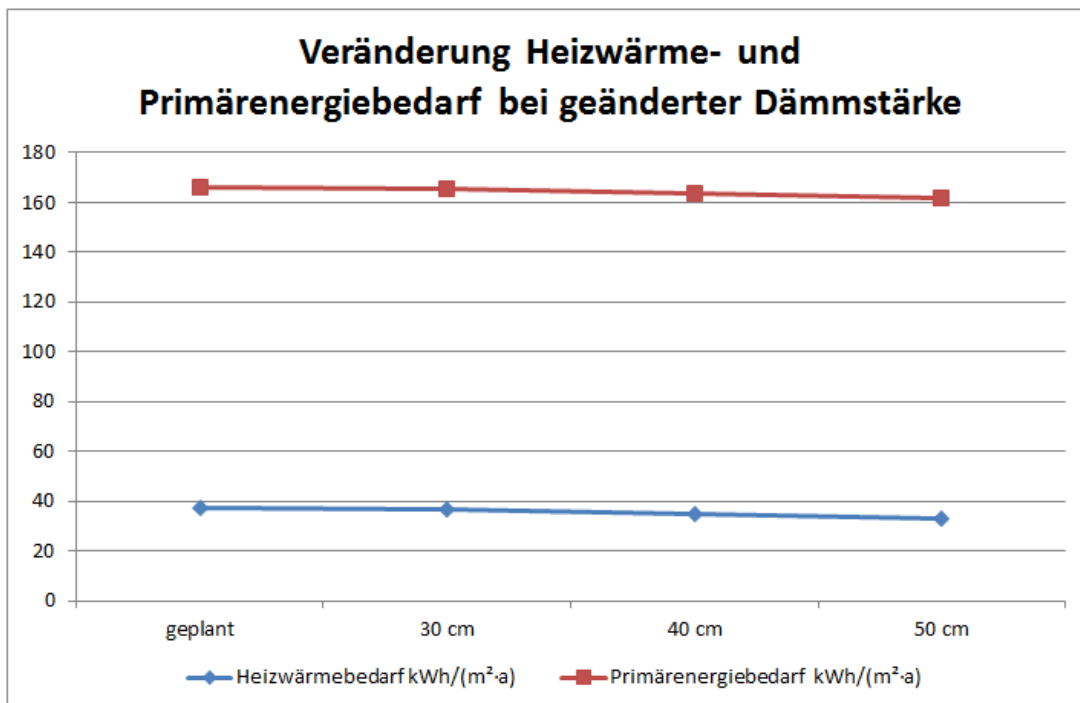


Abbildung 16 Variation Dämmqualität

Deutlich wird, dass durch eine verbesserte Dämmqualität und die damit verbundene Verringerung der Transmissionswärmeverluste allein der Passivhausstandard bei beiden Bemessungsgrößen nicht erreicht werden kann.

In einem zweiten Schritt soll durch eine Variation der Lüftungswärmeverluste, die mit 53,9 Prozent den höchsten Verlustanteil haben, der mögliche Einfluss auf das Endergebnis analysiert werden.

Die Höhe der Lüftungswärmeverluste wird entscheidend mitbestimmt durch den Frischluftbedarf. Dieser wird für Wohnnutzung nach DIN 1946-6⁴ mit 30 m³ je

⁴ DIN 1946-6:2009-05, Raumluftechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung

Stunde und Person angenommen. In Schulen oder Kindertagesstätten wird mit 15 m³ je Stunde und Schüler gerechnet. Für das hier betrachtete Objekt wurde mit 30 m² je Stunde und Person gerechnet.

Da der Luftvolumenstrom für die sich aus der Personenzahl ergebenden Belegung ausgelegt werden muss, ist die Personenzahl eine die Lüftungswärmeverluste wesentlich mitbestimmende Bemessungsgrundlage.

Bei den hier vorgenommenen Berechnungen wurde von 413 Personen ausgegangen. Die Betriebsart der Lüftung wurde für 16 Stunden als Standard- und für 8 Stunden als Minimallüftung angenommen. Daraus ergibt sich eine mittlere Luftwechselrate von 1,45 1/h.

Um den Einfluss der Belegungszahlen auf den Heizwärme- und Primärenergiebedarf zu quantifizieren, wurden in Folgenden die Belegungszahlen zwischen 100 und 450 Personen variiert.

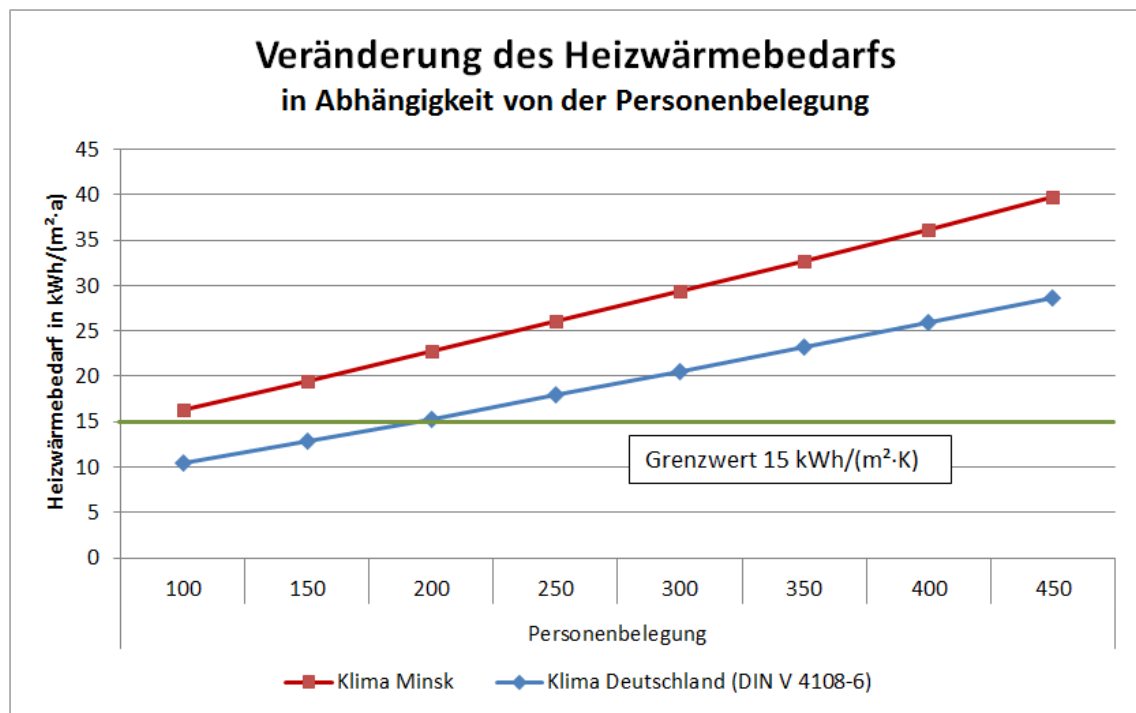


Abbildung 17 Heizwärmebedarf und Personenbelegung

Aus Abbildung 17 wird erkennbar, dass die Personenbelegung unabhängig vom angenommenen Klima einen gravierenden Einfluss auf den Heizwärmebedarf hat. Geht man von der Belegungszahl 100 Personen aus, so kann mit der zuvor beschriebenen technischen Ausstattung des Gebäudes der Passivhaus-Standard am Standort Minsk mit 16,5 kWh/(m²·a) fast erreicht werden. Am Standort Deutschland wird das Passivhaus-Kriterium 15 kWh/(m²·a) bei einer Belegung von 193 Personen erfüllt.

An dieser Stelle soll ein Vergleich zu Wohngebäuden gezogen werden. Die durchschnittliche Wohnfläche je Einwohner betrug in Deutschland im Jahr 2009 42,5 m². Nimmt man für ein Einfamilienhaus eine Wohnfläche von 140 m² an, so

ergibt sich dort eine Belegungsdichte von 3,29 Personen. Das hier betrachtete Objekt hat eine Nettogrundfläche von 2.209,7 m². Hieraus würde sich bei Wohnnutzung eine Belegung von 52 Personen ergeben. Bei dieser Belegung ergibt sich für den Standort Minsk ein Heizwärmebedarf von 14.502 kWh/(m²·a). Der Passivhaus-Standard für Deutschland wäre auch am Standort Minsk erfüllt.

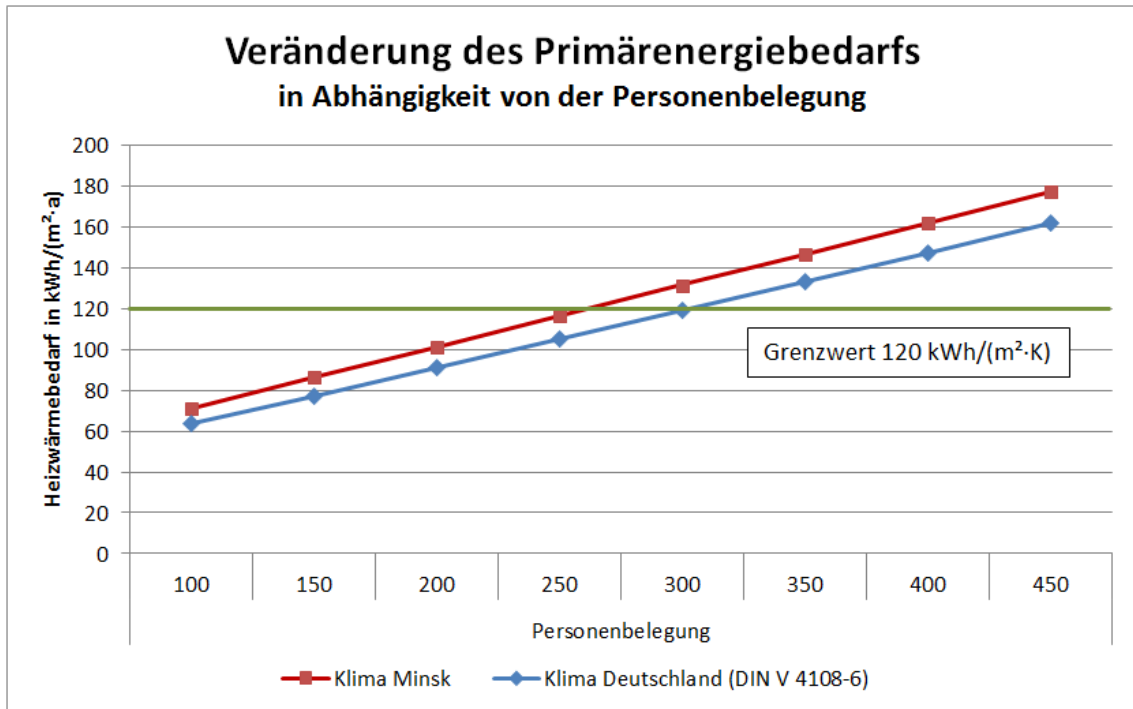


Abbildung 18 Primärenergiebedarf und Personenbelegung

Bei der Variation der Personenbelegung in Bezug auf den Primärenergiebedarf ergeben sich vergleichbare Ergebnisse wie beim Heizwärmebedarf. Hier ist es so, dass bei einer angenommenen Belegungszahl von 261 Personen der Passivhaus-Standard am Standort Minsk mit 119,8 kWh/(m²·a) erreicht wird. Am Standort Deutschland wird das Passivhaus-Kriterium 120 kWh/(m²·a) bei einer Belegung von 302 Personen erfüllt.

4.2.5 Zusammenfassung PHPP-Berechnung

Aus den vorgenommenen Berechnungen ergibt sich, dass mit der projektierten Planung der Passivhaus-Standard weder am Standort Minsk noch am Standort Deutschland nachweisen lässt. Dies ist nicht bedingt durch eine nicht ausreichende Dämmung der Gebäudehüllfläche, da sich auch bei Rundum-Dämmstärken von 50 cm keine deutliche Verbesserungen der Energiebilanz erzielen lassen.

Vielmehr sind die Lüftungswärmeverluste, die durch die Belegungsdichte im Gebäude maßgeblich bestimmt werden, der verantwortliche Faktor. Würde es sich um ein Gebäude mit Wohnnutzung handeln, wäre der Nachweis des Passivhaus-Standards auch für den Standort Minsk möglich.

An dieser Stelle ergibt sich die Frage, ob die für Wohngebäude geeigneten Berechnungsalgorithmen des PHPP für Nichtwohngebäude mit besonderen Nutzungen (hier: Erwachsenenbildung/Tagung) übertragbar sind.

4.3 Gebäudesimulation

Neben der Berechnung nach PHPP wurde das Projekt „Zukunftswerkstatt“ mit einer dynamischen Gebäudesimulation mit dem Rechenprogramm TAS analysiert und optimiert. Die TAS-Berechnungen gründen auf stundenweisen regionalen Wetterdaten für den Standort Minsk. Als Basiswetterdatensatz wurde ein Meteororm-Datensatz herangezogen. Dieser wurde mit gemessenen Daten für den Zeitraum 2006 bis 2010 aus Minsk abgeglichen.

Insgesamt gibt es eine relativ gute Übereinstimmung der Datensätze für die Winterperioden, ausgenommen der Messdatensatz von 2008, welcher insgesamt viel zu mild ausfiel. Der 2010-er Datensatz wies die beste Übereinstimmung mit dem Meteororm-Datensatz für die Winterzeit auf und hatte gleichzeitig eine sehr ausgeprägte Hitzeperiode im Sommer. Aufgrund dessen wurde die Meteororm-Daten auf die Hitzeperiode der Messdaten angepasst.

Die höchste auftretende Außentemperatur der vorliegenden Datenreihe beträgt 32,9°C, die niedrigste -23°C.

Vergleicht man die von dem Hydrometeorologisches Zentrum der Republik Belarus zur Verfügung gestellten Messwerte von 2006 bis 2010 mit den Standardklimadatensatz aus dem PHPP, so fällt direkt auf, dass im Mittel die Winter in Minsk erheblich niedrigere Temperaturen aufweisen als die zutreffenden Werte für Deutschland.

Hieraus ergibt sich, dass für die Planung von Passivhäusern in der Region Minsk, erheblich höhere wärmetechnische Maßnahmen erforderlich sind.

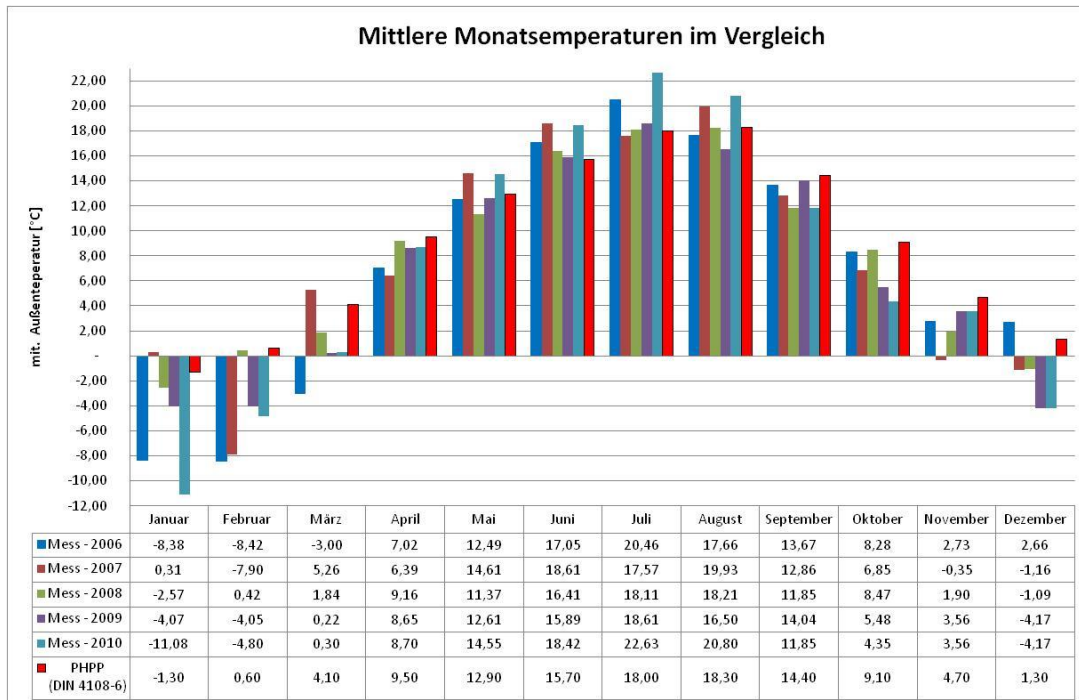


Abbildung 19 Vergleich gemessene Wetterdaten und PHPP-Wetterdaten

Weitere Berechnungsparameter und bauphysikalische Kenndaten siehe Anhang.

4.3.1 Basisvariante V0 Heizenergiebedarf

Der spezifische Heizenergiebedarf unter Berücksichtigung der Energie-Bezugsfläche nach Passivhaus-Institut (PHI) von 2.005,5 m² (Stand 23.05.2011) liegt für das Gebäude in der Basisvariante bei 15,5 kWh/m². Die dabei angenommenen internen Lasten sind mit 9 W/m² (entsprechend 75 kWh/(m²·a)) hoch angesetzt, was mit der unregelmäßigen Beleuchtung und der hohen Nutzungsdichte zu begründen ist. Das Gebäude würde in der Basisvariante durch den hohen Strombedarf das Passivhauskriterium für Primärenergie nicht erfüllen.

4.3.2 Sommerliche Temperaturen V0

In den folgenden Tabellen sind die Überhitzungsstunden für die Hauptnutzflächen aufgelistet. Im Sommer können Raumlufttemperaturen von bis zu 42 °C auftreten.

Tabelle 7 Temperaturstatistik - Büros

Zone	Stunden über 27°C [h]	Anteil an der Jahresbetriebszeit von 2610h [%]	max. Temp.
UG_Büro	813	31	37,36
EG_Büro	947	36	39,63
1.OG_Büro_NW	948	36	39,93
1.OG_Büro_W	1038	40	40,90
1.OG_Büro_O	1205	46	40,85
1.OG_Büro SO	1010	39	40,64

2.OG_Büro_NW	891	34	40,09
2.OG_Büro_W	931	36	41,29
2.OG_Büro_NO	907	35	40,12
2.OG_Büro_O	1002	38	41,44
2.OG_Büro_SO	919	35	41,25
2.OG_Büro_O_2	1022	39	41,65

Tabelle 8 Temperaturstatistik - Ausstellung, Kongress, Seminar

Zone	Stunden über 27 °C [h]	Anteil an der Jahresbetriebszeit von 2.920h [%]	max. Temp.
UG_Ausst. Tschernobyl	696	24	36,59
UG_Ausstellung	648	22	36,35
EG_Kongress	792	27	38,62
EG_Ausstellung	776	27	37,88
1.OG_Seminar NO	2033	70	42,04
1.OG_Seminar_W	1019	35	39,16
1.OG_Seminar_SW	930	32	38,99
2.OG_Seminar_W	882	30	39,35
2.OG_Seminar_SW	828	28	39,31

4.3.3 Variante 1 - Kühlung der Hauptnutzungsbereiche

Damit die Hauptnutzflächen während der Betriebszeiten nutzbar sind, müssen diese gekühlt werden. Zur Dimensionierung und Bestimmung der Kühlanlagen wurde in der Variante 1 (V1) die Raumlufttemperatur auf 25 °C begrenzt. Der dadurch resultierende spez. Kühlenergiebedarf liegt für das Gebäude bei 17,7 kWh/(m²·a) (Energiebezugsfläche = 2.005,5 m²).

Für die Büro- und Ausstellungsbereiche ergeben sich daraus spezifische Kühllasten zwischen 30 W/m² und 40 W/m². Die Seminarbereiche weisen zwischen 80 W/m² und 101 W/m² auf. Die höchste spezifische Kühllast muss im Kongressbereich mit ca. 153 W/m² abgeführt werden.

Aufgrund der Kühlung bewegen sich die Empfindungstemperaturen in den Hauptnutzungsbereichen auch bei Außentemperaturen um die 33 °C unter 27 °C.

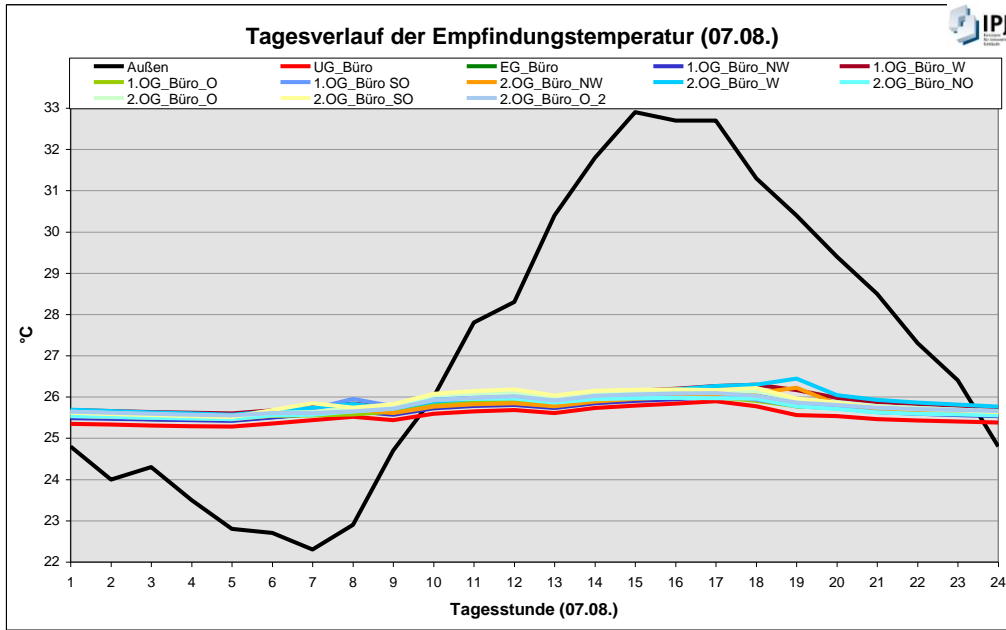


Abbildung 20 V1 - Tagesgang der Empfindungstemperaturen Büros

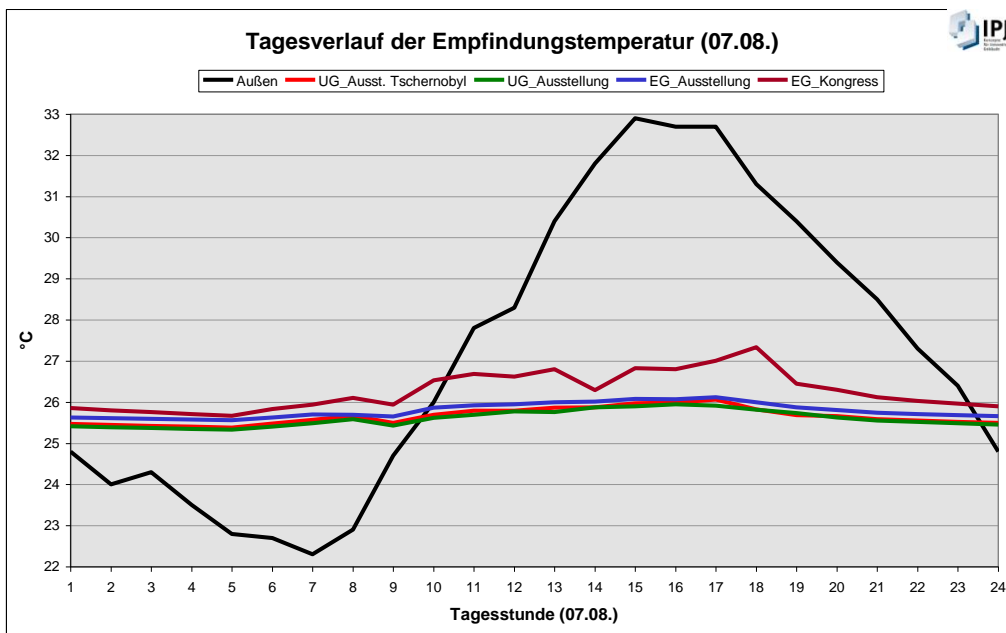


Abbildung 21 V1 - Tagesgang der Empfindungstemperaturen Ausstellung

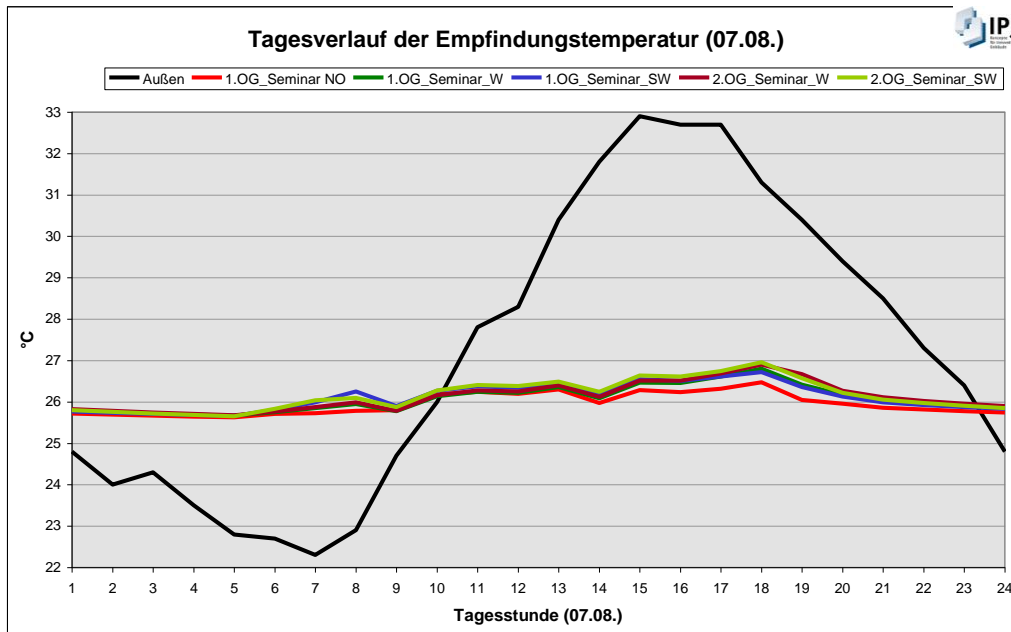


Abbildung 22 V1 - Tagesgang der Empfindungstemperaturen Seminarräume

4.3.4 Variante 2 - Tageslichtabhängige Beleuchtung

Ausgehend vom Basisfall V0 wurde eine Beleuchtung simuliert, welche in jedem Hauptaufenthaltsraum die Beleuchtung tageslichtabhängig dimmt.

Dies führt zu einer starken Reduktion des Strombedarfs für Beleuchtung von 37 auf 18 kWh/(m²·a). Eine Tageslichtgeführte Regelung ist daher unbedingt zu empfehlen. Der Entfall der internen Lasten führt zu einer Erhöhung des Heizenergiebedarfs von 14,5 auf 20,1 kWh/(m²·a). Es ist gut abzulesen, wie sensibel das Gebäude auf das Angebot von internen Wärmegewinnen reagiert.

4.3.5 Variante 2.1, 2.2 und 2.3 - Einfluss der Fensterflächengröße bei tageslichtabhängiger Beleuchtung

Um den Einfluss der Fensterfläche zu bewerten wurden die architektonischen Varianten 2.1, 2.2 und 2.3 untersucht.

Bei der Variante 2.1 wurden die Fensterflächen gegenüber der bisherigen Fassadengestaltung halbiert. Dies hat zur Folge, dass die solaren Gewinne, das Tageslichtangebot, aber auch die Transmissionsverluste abnehmen. Das reduzierte Tageslichtangebot führt bei tageslichtgeführter Beleuchtung zu einer Zunahme des elektrischen Verbrauchs für die Beleuchtung.

Variante 2.2 wurde mit der bisherigen Fassadengestaltung simuliert.

Bei der Variante 2.3 wurde der Fensteranteil gegenüber der bisherigen Fassadengestaltung stark erhöht. Dies hat zur Folge, dass die solaren Gewinne, das Tageslichtangebot, aber auch die Transmissionsverluste zunehmen. Das erhöhte Tageslichtangebot führt bei Tageslichtgeführter Beleuchtung zu einer Abnahme des elektrischen Verbrauchs für die Beleuchtung.

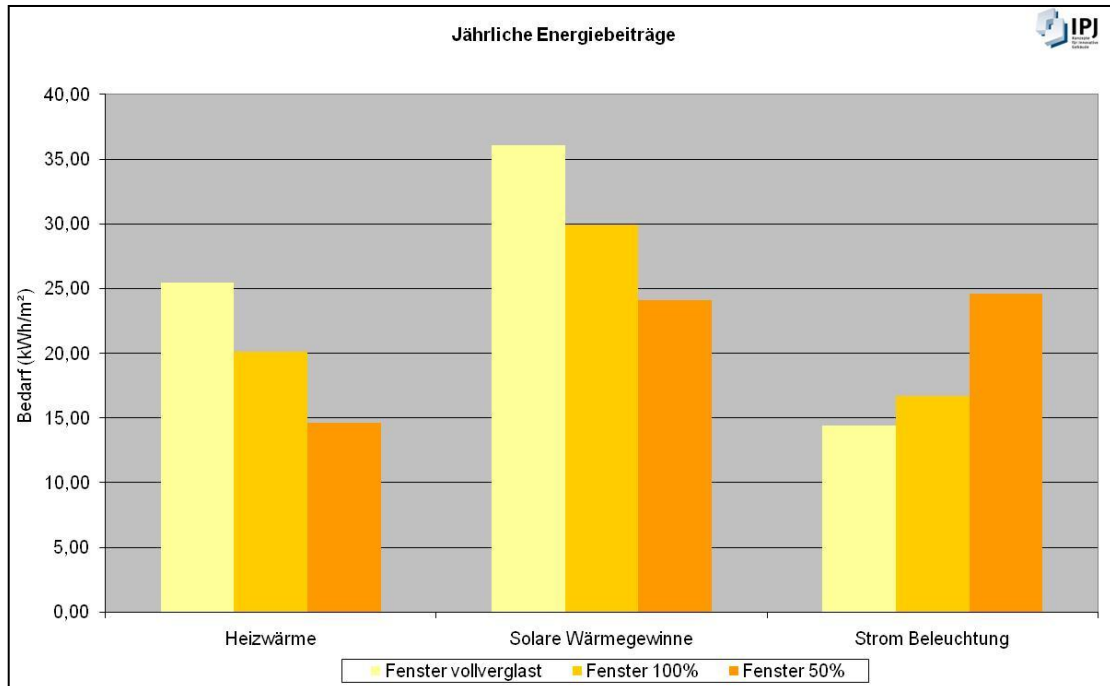


Abbildung 23 V2.1 bis V2.3 - Jährliche Energieerträge für drei architektonische Varianten

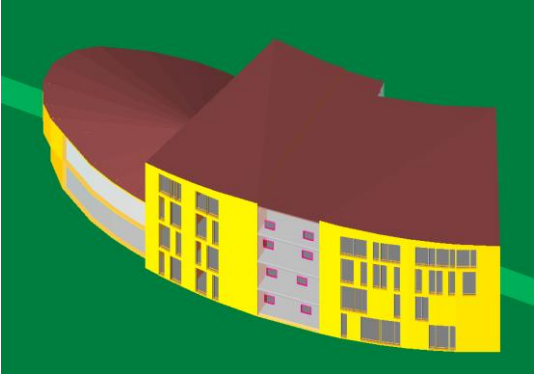
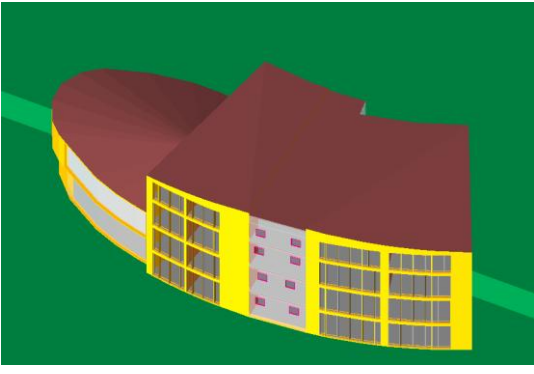
Die „Heizwärme“ entspricht dem thermischen Bedarf, der Wert für „Strom Beleuchtung“ dem Energiebedarf für elektrisches Licht. „Solare Wärmegewinne“ bedeutet passiv-solare Energiegewinne durch die Fenster.

Werden die Teilenergiesummen primärenergetisch bewertet, so schneidet die Variante 2.2 mit den bislang geplanten Fensterflächen am besten ab. Der Primärenergiebedarf bei der Variante 2.3 mit erhöhten Fensteranteil, weist einen höheren Heizenergiebedarf auf. Dieser kann durch einen reduzierten Energiebedarf bei der Beleuchtung zum Großteil ausgeglichen werden.

Bei der Variante 2.1 mit halbierten Fensterflächen ist der Heizenergiebedarf gegenüber der Variante 2.2 niedriger. Der Energiebedarf für die Beleuchtung ist jedoch erheblich höher, auch höher als die Einsparungen der Heizenergie.

Tabelle 9 V2.1 bis V2.3 Variantenvergleich



Halbierte Fensterfläche V2.1	
	$Q_H = 14,62 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (thermisch) $Q_{Bel} = 24,57 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (elektrisch) $Q_{End, H+Bel} = 39,19 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ $Q_{PE, H+Bel} = 84,87 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

<p>Geplante Fensterfläche V2.2</p> 	<p> $Q_H = 20,14 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (thermisch) $Q_{Bel} = 16,71 \text{ kWh}/\text{m}^2$ (elektrisch) $Q_{End, H+Bel} = 36,85 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ $Q_{PE, H+Bel} = 69,95 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ </p>
<p>Erhöhter Fensteranteil V2.3</p> 	<p> $Q_H = 25,49 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (thermisch) $Q_{Bel} = 14,42 \text{ kWh}/\text{m}^2$ (elektrisch) $Q_{End, H+Bel} = 39,91 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ $Q_{PE, H+Bel} = 70,10 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ </p>

4.3.6 Variante 2.2 - Schattenanalyse

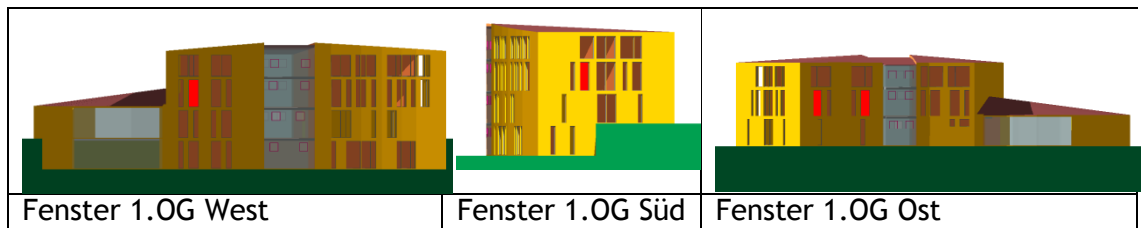
Um den solaren Einfluss der Nachbarbebauung auf das Gebäude darzustellen wurden Schattenanalysen mit und ohne Nachbarbebauung durchgeführt.

Tabelle 10 V2.1 bis V2.3

	
<p>Modell mit Nachbarbebauung</p>	<p>Modell ohne Nachbarbebauung</p>

Ausgewertet wurden vier Fenster mit unterschiedlicher Ausrichtung aus dem 1. OG.

Tabelle 11 V2.1 bis V2.3 Variantenvergleich



Ausgewertet wurde der Anteil der direkten Solarstrahlung auf das jeweilige Fenster. Es wurde jeder 15. Tag betrachtet. Schattenanalyse je Fenster siehe Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..**

Die Vorhandene Nachbarbebauung hat auf die solaren Gewinne gerade in den Winter und Übergangszeiten einen Einfluss. Dieser wirkt sich negativ auf den Heizenergiebedarf aus.

4.3.7 Variante 3 - Veränderte Lüftungsanlage und Kunstlichtwerte

Die Variante 3 (V3) baut auf die V1 auf. Es wurden folgende Punkte geändert:

- Die Luftmengen und das Lüftungsszenario wurden entsprechend der Vorgaben von der Gertec GmbH vom 07.02.2011 überarbeitet. Genaue Angaben sieh Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..**
- Für den Betrieb der Lüftungsanlage wurde eine Kälterückgewinnung für heiße Tage berücksichtigt. Die Wärmerückgewinnung wird mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 75 Prozent berücksichtigt. Sie kommt bei Außentemperaturen $< 12\text{ °C}$ und $> 27\text{ °C}$ zum Einsatz. Dazwischen läuft die Anlage im Bypass-Modus.
- Die Beleuchtungslasten wurden entsprechend der Vorgabe von der Gertec GmbH vom 07.02.2011 korrigiert.

Garderobe / WC	200 lx, 9,0 W/m ² , Nutzungsfaktor 100 %
Büro / Konferenz / Seminar	500 lx, 15,0 W/m ² , Nutzungsfaktor 70 %
Ausstellung	300 lx, 13,5 W/m ² , Nutzungsfaktor 100 %
Flure / WG	100 lx, 6,0 W/m ² , Nutzungsfaktor 100 %
Foyer	300 lx, 15,0 W/m ² , Nutzungsfaktor 70 %

- Wie in V2 wurde eine Beleuchtung simuliert, welche in jedem Hauptaufenthaltsraum die Beleuchtung tageslichtabhängig dimmt
- Die Wintergärten West und Ost werden frostfrei betrieben. Minimal zulässige Temperatur = 5 °C .

4.3.8 Ergebnisse Variante 3.1

Der spezifische Heizenergiebedarf unter Berücksichtigung der Energie-Bezugsfläche nach PHI von 2.005,5m² liegt für das Gebäude bei 19,89 kWh/m².

Aufgrund der niedrigeren Beleuchtungslasten sinkt der Kühlenergiebedarf im Vergleich zur V1 von 17,7 kWh/(m²·a) auf 10,09 kWh/(m²·a).

Für die Büro- und Ausstellungsbereiche ergeben sich daraus spezifische Kühllasten zwischen 19 W/m² und 27 W/m². Die Seminarbereiche weisen zwischen 58 W/m² und 63 W/m² auf. Die höchste spezifische Kühllast muss im Kongressbereich mit ca. 91 W/m² abgeführt werden.

4.3.9 Ergebnisse Variante 3.2

Die Variante 3.2 baut auf die Variante 3.1 auf. Zur Reduzierung der spezifischen Kühllast wurde der thermische Komfort im Sommer herabgesetzt. Die maximal einzuhaltende Empfindungstemperatur wurde mit 3 K unter der maximalen Außentemperatur von 32,9 °C festgelegt.

Aufgrund des niedrigeren sommerlichen Komforts sinkt der Kühlenergiebedarf im Vergleich zur V3.1 von 10,09 kWh/(m²·a) auf 4,70 kWh/(m²·a).

Für die Büro- und Ausstellungsbereiche ergeben sich daraus spezifische Kühllasten zwischen 16 W/m² und 23 W/m². Die Seminarbereiche weisen zwischen 52 W/m² und 57 W/m² auf. Die höchste spezifische Kühllast muss im Kongressbereich mit ca. 81 W/m² abgeführt werden.

4.3.10 Ergebnisse Variante 3.3

Die Variante 3.3 baut auf die Variante 3.1 und 3.2 auf. Zur Reduzierung der spezifischen Kühllast wurde der thermische Komfort im Sommer für die Seminarräume und den Kongresssaal herabgesetzt. Die maximal einzuhaltende Empfindungstemperatur wurde mit 3 K unter der maximalen Außentemperatur von 32,9 °C festgelegt. Für die Büros und Ausstellungsräumen wird wie in V3.1 der Standardkomfort mit einer maximalen Innentemperatur von 26 °C festgelegt.

Der spezifische Kühlenergiebedarf steigt im Vergleich zur V3.2 von 4,70 kWh/(m²·a) auf 6,70 kWh/(m²·a) an.

Für die Büro- und Ausstellungsbereiche ergeben sich daraus spezifische Kühllasten zwischen 20,0 W/m² und 31 W/m². Die Seminarbereiche weisen zwischen 52 W/m² und 57 W/m² auf. Die höchste spezifische Kühllast muss im Kongressbereich mit ca. 71 W/m² abgeführt werden.

4.3.11 Zusammenfassung TAS-Simulation

Im Simulationsprogramm TAS wurde der Baukörper der geplanten Zukunftswerkstatt „Johannes Rau“ am IBB in Minsk abgebildet, um unter Berücksichtigung des derzeitigen Planungsstandes den Energiebedarf für Heizung und Kühlung sowie den sommerlichen Komfort zu bestimmen.

Die Simulation ergab unter Berücksichtigung der dokumentierten Randbedingungen folgendes Bild:

- Der geforderte Raumkomfort wird eingehalten, sofern eine Kühlung der Hauptnutzungszonen Büro, Ausstellung und Seminar vorgesehen wird. Ohne Kühlung wären in diesen Bereichen Temperaturen über 35 °C bis 40 °C zu befürchten.
- Eine Tageslichtgeführte Regelung der Beleuchtung weist ein hohes Einsparpotenzial auf.
- Der geplante Fensteranteil ist primärenergetisch sinnvoller als eine Variante mit verkleinerten oder erhöhten Fensteranteil.
- Bei der Variante mit kleinerem Fenster sind die Mehraufwendungen für Heizenergie durch die Einsparungen bei der Beleuchtung mehr als wettgemacht.
- Bei der Variante mit erhöhtem Fensteranteil ist der Primärenergiebedarf nur geringfügig höher. Der sommerliche Wärmeschutz ist gleichzeitig deutlich schlechter.
- Die Energiekennzahlen stellen Nutzenergien dar, d.h. Umwandlungs- und Verteilverluste sind in den Varianten 0 bis 3 noch nicht berücksichtigt worden.
- Die in der Simulation angesetzten Außenluftmengen sind die mindestens erforderlichen auf Basis einer hygienischen Mindestlüftung von 30 m³/(h·Pers). Eine Erhöhung der Außenluftmengen zur Abfuhr von Kühllasten wurde nicht berücksichtigt.
- Basierend auf V3 mit Kühlung, reduzierten Beleuchtungslasten und reduzierten Luftmengen mit einem moderaten Glasanteil wie in V2.2 wird nun eine V3.2 untersucht, bei die installierte Kühlleistung so reduziert wird, dass die empfundenen Innentemperatur an sehr heißen Tagen 3 Kelvin unter der Außentemperatur liegt. Auf der V 3.2 basierend werden dann verschiedene bauphysikalische Lösungen geprüft.

4.4 Variantenvergleich Baukonstruktion

Für die „Zukunftswerkstatt“ wurden verschiedenen Baukonstruktionen für die Gebäudehüllfläche unter folgen den Kriterien erarbeitet und bewertet:

- Bauphysikalische Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Brandschutzanforderungen, Schallschutz)
- Übertragbarkeit
- Verfügbarkeit in Weißrussland
- Didaktische Überlegungen (Einsatz verschiedener Konstruktionen und Materialien zu Demonstrationszwecken)

Es werden bei der Errichtung des Kompetenzzentrums zwei grundsätzlich verschiedene Bauweisen umgesetzt. Drei Geschosse werden als Massivbauten errichtet, das oberste Geschoss als Leichtbau (Holzrahmenbau).

4.4.1 Massivbau

Der Massivbau gründet in Weißrussland auf der weit verbreiteten Bauweise in Stahlbeton als Decken- und Wandkonstruktion für Innen- und Außenwände. Mit dieser Konstruktion werden die statischen sowie brandschutztechnischen Anforderungen erfüllt, gleichzeitig gewährt diese Bauweise einen optimalen Schallschutz zwischen den verschiedenen Nutzungsbereichen sowie gegen Außenlärm. Für die Energieeffizienz sind die großen Speichermassen von Bedeutung.

Als Wärmedämmung werden Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) aufgebracht, an einzelnen Fassadenteilen wird alternativ eine Vorhangfassade aus Rockpaneel-Elementen vorgehängt. Beide Fassadensysteme entsprechen gängigen Baukonstruktionen in Weißrussland und werden von regionalen Firmen ausgeführt.

Beim Einsatz von WDVS sind alle Details in internationalen Normen hinterlegt und ohne besondere Anforderungen an die Ausführung bei entsprechender Sorgfalt umzusetzen. Es lässt sich eine wärmebrückenfreie Dämmungsebene um das ganze Gebäude legen.

Auch die Herstellung der Luftdichtigkeitsebene ist durch den Innenputz auf den Stahlbetonwänden ohne besondere technische Anforderungen gut zu lösen. Die Anschlüsse an Fenster und Durchdringungen können mit erprobten und handelsüblichen Abklebungssystemen luftdicht hergestellt werden.

Bei einem Einsatz von Vorhangfassadenelementen führt die Verankerung im Unterschied zum WDVS immer zu Wärmebrücken. Deren Auswirkungen sind rechnerisch zu ermitteln und in die Energiebilanz einzurechnen. Da die Transmissionswärmeverluste in der Gesamtbilanz beim Bau der „Zukunftswerkstatt“ in Hinblick auf die Primärenergiebilanz nicht die entscheidende Einflussgröße darstellen, wäre eine Akzeptanz von Wärmebrücken durch die Fassadenverankerung hinnehmbar.

4.4.2 Leichtbau

Im Rahmen eines Workshops in Deutschland wurde mit Fachingenieuren das „Demonstrationszentrum Bau und Energie“ in Münster besucht. Im Verlauf der Workshops entstand ein fruchtbarer Austausch über den Einsatz von Holz.

Die Anwendung der Holzbauweise bedarf in Weißrussland derzeit besonderer Überzeugungsarbeit. Insbesondere die Abstimmung mit dem Brandschutz hat große Bedeutung. Die Tragwerksingenieure in Belarus sehen nach Abstimmung keine besonderen Schwierigkeiten, sofern im Holzbau alle europäischen Normen eingehalten werden.

Das realisierte Projekt wie auch die Ausstellungsexponate bewirkten eine wachsende Aufgeschlossenheit der weißrussischen Experten gegenüber Holzkonstruktionen wie Holzrahmenbau, Brettstapelverbunddecken und Zellulosedämmung. Es wurde vereinbart, in der Tragwerksplanung, die von weißrussischen Ingenieuren ausgeführt wird, den Einsatz von Holzkonstruktionen zu berücksichtigen.

In diesem Zusammenhang wiesen die weißrussischen Experten darauf hin, dass die belarussische Regierung einer wachsenden Holznutzung als einheimischer Res-

source eine große Bedeutung zumisst. Holzbaukonstruktionen sind derzeit in Weißrussland kaum verbreitet. Es gibt aktuell einige wenige Betriebe in Belarus, die moderne Holzrahmenbaukonstruktionen realisieren, vor Allem im ländlichen Raum.

Beim Bau des Kompetenzzentrums soll das oberste Geschoss als Holzrahmenbau mit einer Dachkonstruktion in Holz ausgeführt werden. Bei dieser Bauweise lassen sich mit geringeren Wandquerschnitten passivhaustaugliche U-Werte realisieren. Das Gesamtgewicht der Konstruktion lässt sich im Vergleich zum Massivbau annähernd halbieren und bedeutet damit eine wesentliche Reduzierung der Stoffströme.

Die Sandwichelemente der Konstruktion lassen sich mit Dämmstoffen auf nachwachsender Rohstoffbasis füllen. Zum Einsatz kommt Zellulose als Einblasdämmung. Holzkonstruktionen weisen deutliche ökologische Vorzüge auf:

- Geringer Primärenergieinhalt
- Förderung der Waldbewirtschaftung
- CO₂ Speicherung
- Gute Rückbaufähigkeit
- Wiederverwendung / thermische Verwertung zur Energieerzeugung
- Keine spezifische Belastung der Umwelt im gesamten Lebenszyklus
- Schnelle und trockene Bauweise

Die Herstellung der Luftdichtungsebene bedarf bei Holzkonstruktionen besonderer Sorgfalt in Planung, Umsetzung und Qualitätskontrolle. Für alle Detailpunkte bestehen mittlerweile erprobte Lösungen, entscheidend ist die Qualifizierung der ausführenden Handwerker. Das IBB Minsk plant, die Errichtung des Geschosses in Holzbauweise in Form von „Seminaren auf der Baustelle“ mit Handwerkern aus Belarus durchzuführen und damit die besonderen Qualitätsanforderungen zu vermitteln.

Auch im Ausbau soll Holz und Holzwerkstoffe zum Einsatz kommen. Es ist geplant, Bodenbeläge mit Parkett auszuführen, ebenso Wandverkleidungen und Innentüren. Die Fenster sollen als Holz/Alu-Fenster ausgeführt werden mit Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum. Eingesetzt werden Fenster mit Zertifizierung durch das Passivhausinstitut Darmstadt. Die Fenster sind ausgeführt mit Dreischeibenverglasung und Edelstahl- Glasabstandhalter, U_w bis $0,63 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

4.4.3 Bauphysikalischer Vergleich Baukonstruktionen

Um die Auswirkungen unterschiedlicher Konstruktionen bewerten zu können, wurden sechs bauphysikalische Varianten untersucht. Diese werden folgend kurz beschrieben:

Variante BK1

Die Variante BK1 baut auf der konkreten Entwurfsvariante des Gebäudes auf. Die U_w -Werte für die Fensterkonstruktionen wurden entsprechend den PHPP-Berechnungen, welche den U-Wert des Rahmens und den Wärmebrückenzuschlag

des Randverbundes und der Einbausituation berücksichtigen, angeglichen. Der angepasste U_w -Wert beträgt $0,91 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Die Geschosshöhen wurden entsprechend der Ansichtszeichnungen des Architekturbüros Beck vom 19.04.2011 überarbeitet.

Variante BK2

Die Variante BK2 baut auf die Variante BK1 auf. Die Konstruktionen der opaken Bauteile wurden dem empfohlenen, unverbindlichen Baustandard TKP45-2-04-43-2006 gültig ab den 01.07.2010 in Weißrussland angeglichen.

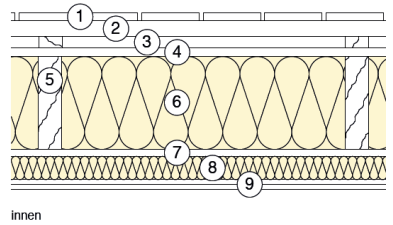
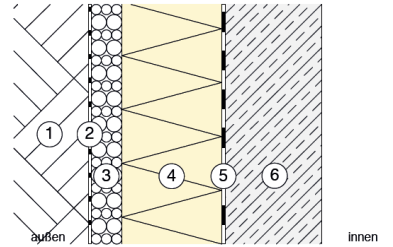
- Außenwand $U=0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Außenwand gg. Erdreich $U=0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Dach $U=0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Sohle $U=0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Fenster $U=0,91 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Die Werte für die Lüftung und der internen Lasten bleiben unverändert.

Variante BK3 bis BK6

Die Varianten BK3 bis BK6 Baut auf die Variante BK1 auf. Die Konstruktionen wurden entsprechend der folgenden Matrix aufgebaut:

Tabelle 12 Variantenmatrix Baukonstruktionen

Bezeichnung / Skizze	Aufbau	V BK3	V BK4	V BK5	V BK6
AW - Holzrahmenbau außen  innen	1) Holzschalung 2) Lattung 3) Konterlattung 4) 2,2cm DWD 6) 24cm MW WLG 035 7) 1,8cm OSB 8) 6cm MW WLG 035 9) 2,5cm Gipskarton $U=0,127 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	X	X	X	X
AW gg. Erdreich V_1  außen innen	1) Erdreich 2) PP-Filtervlies 3) 8cm EPS Dränpl. 4) 26cm XPS WLG 035 5) 1cm Bitumen 6) 25cm Stahlbeton $U=0,129 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	X		X	X

<p>AW gg. Erdreich V_3</p>	<p>1) Erdreich 2) PP-Filtervlies 3) 4cm Stützelement. 4) 30cm Glasschaumgranulat WLG 080 5) 16cmXPS WLG 035 6) 1cm Bitumen 7) 25cm Stahlbeton</p> <p>$U=0,116W/(m^2K)$</p>		X		
<p>AW-Stahlbeton</p>	<p>1) 1cm Spachtel 2) 28cm EPS WLG 035 3) 20cm Stahlbeton</p> <p>$U=0,121 W/(m^2K)$</p>	X	X	X	X

Bezeichnung / Skizze	Aufbau	V BK3	V BK4	V BK5	V BK6
<p>Plattenfundament 1</p>	<p>1) Belag 2) 6cm Zementestrich 3) 12cm EPS WLG 035 4) 30cm Stahlbeton 5) 20cmSchaumglas WLG 050</p> <p>$U=0,129 W/(m^2K)$</p>	X	X		X
<p>Plattenfundament 2b</p>	<p>1) Belag 2) 6cm Zementestrich 3) 12cm PUR WLG 025 4) 30cm Stahlbeton 5) 20cmSchaumglas WLG 050</p> <p>$U=0,131 W/(m^2K)$</p>			X	
<p>Flachdach</p>	<p>1) 1cm Bitumen 2) 2,2cm Rauhspund 3) 4cm Hinterlüftung 4) 2,2cm OSB 6) 30cm WLG 040 Zellulosedämmung 8) 6cm WLG 040 Zellulosedämmung 9) 2,5cm Gipskarton</p> <p>$U=0,120 W/(m^2K)$</p>	X	X	X	X
<p>Wärmeschutzverglasung</p>	<p>$U_g=0,7W/m^2K$ $g=57\%$</p>	X	X	X	
<p>Sonnenschutzverglasung</p>	<p>$U_g=0,7W/m^2K$</p>				X

Süd- u. Westverglasung	g=34%				
------------------------	-------	--	--	--	--

Als Decken wurden Stahlbetondecken mit aufgeständertem Bodenaufbau betrachtet.

Tabelle 13 Energiebilanz Bauteile Variante BK3

Bauteil	Außenwand Holzrahmenbau		Erdberührte Außenwand	Stahlbeton Außenwand	Bodenplatte	Dach	Verglasung
	AW Holz	AW Putz	Aw gg. ER 1	AW Beton 1a	PF 1	DA	FE 1
A [m ²]	175,12	175,12	377,22	573,00	686,62	693,94	497,79
PEI [MJ/m ²]	808,44	897,65	2.376,15	1.400,28	2.147,04	1.234,63	1.160,09
PEI*A [MJ]	141.577,25	157.200,06	896.333,68	802.360,44	1.474.202,75	856.754,20	577.485,84
GWP [kg CO ₂ /m ²]	-39,75	-36,96	139,28	102,09	195,09	-85,41	22,83
GWP*A [kg CO ₂]	-6.960,55	-6.473,41	52.540,17	58.499,29	133.950,56	-59.267,55	11.363,79
Σ PEI*A	Ausführung 1 / AW Holz				4.748.714,16		MJ
	Ausführung 2 / AW Putz				4.764.336,97		MJ
Σ GWP*A	Ausführung 1 / AW Holz				190.125,71		kg CO₂
	Ausführung 2 / AW Putz				190.612,85		kg CO₂

Tabelle 14 Energiebilanz Bauteile Variante BK4

Bauteil	Außenwand Holzrahmenbau		Erdberührte Außenwand	Stahlbeton Außenwand	Bodenplatte	Dach	Verglasung
	AW Holz	AW Putz	Aw gg. ER 3	AW Beton 1a	PF 1	DA	FE 1
A [m ²]	175,12	175,12	377,22	573,00	686,62	693,94	497,79
PEI [MJ/m ²]	808,44	897,65	2.472,85	1.400,28	2.147,04	1.234,63	1.160,09
PEI*A [MJ]	141.577,25	157.200,06	932.810,95	802.360,44	1.474.202,75	856.754,20	577.485,84
GWP [kg CO ₂ /m ²]	-39,75	-36,96	154,68	102,09	195,09	-85,41	22,83
GWP*A [kg CO ₂]	-6.960,55	-6.473,41	58.349,37	58.499,29	133.950,56	-59.267,55	11.363,79
Σ PEI*A	Ausführung 1 / AW Holz				4.785.191,43		MJ
	Ausführung 2 / AW Putz				4.800.814,25		MJ
Σ GWP*A	Ausführung 1 / AW Holz				195.934,91		kg CO₂
	Ausführung 2 / AW Putz				196.422,06		kg CO₂

Tabelle 15 Energiebilanz Bauteile Variante BK5

Bauteil	Außenwand Holzrahmenbau		Erdberührte Außenwand	Stahlbeton Außenwand	Bodenplatte	Dach	Verglasung
	AW Holz	AW Putz	Aw gg. ER 1	AW Beton 1a	PF 2b	DA	FE 1
A [m ²]	175,12	175,12	377,22	573,00	686,62	693,94	497,79
PEI [MJ/m ²]	808,44	897,65	2.376,15	1.400,28	2.107,80	1.234,63	1.160,09
PEI*A [MJ]	141.577,25	157.200,06	896.333,68	802.360,44	1.447.259,74	856.754,20	577.485,84
GWP [kg CO ₂ /m ²]	-39,75	-36,96	139,28	102,09	188,45	-85,41	22,83
GWP*A [kg CO ₂]	-6.960,55	-6.473,41	52.540,17	58.499,29	129.391,87	-59.267,55	11.363,79
Σ PEI*A	Ausführung 1 / AW Holz				4.721.771,15		MJ
	Ausführung 2 / AW Putz				4.737.393,97		MJ
Σ GWP*A	Ausführung 1 / AW Holz				185.567,03		kg CO₂
	Ausführung 2 / AW Putz				186.054,17		kg CO₂

Tabelle 16 Energiebilanz Bauteile Variante BK6

Variante BK 6	Bezeichnung	Außenwand Holzrahmenbau		Erdberührte Außenwand	Stahlbeton Außenwand	Bodenplatte	Dach	Verglasung
	Bauteil	AW Holz	AW Putz	Aw gg. ER 1	AW Beton 1a	PF 1	DA	FE 2
	A [m ²]	175,12	175,12	377,22	573,00	686,62	693,94	497,79
	PEI [MJ/m ²]	808,44	897,65	2.376,15	1.400,28	2.147,04	1.234,63	1.160,09
	PEI*A [MJ]	141.577,25	157.200,06	896.333,68	802.360,44	1.474.202,75	856.754,20	577.485,84
	GWP							
	[kg CO ₂ /m ²]	-39,75	-36,96	139,28	102,09	195,09	-85,41	22,83
	GWP*A							
	[kg CO ₂]	-6.960,55	-6.473,41	52.540,17	58.499,29	133.950,56	-59.267,55	11.363,79
	Σ PEI*A	Ausführung 1 / AW Holz				4.748.714,16		MJ
		Ausführung 2 / AW Putz				4.764.336,97		MJ
	Σ GWP*A	Ausführung 1 / AW Holz				190.125,71		kg CO₂
		Ausführung 2 / AW Putz				190.612,85		kg CO₂

4.4.4 Ergebnisse Variantenvergleich Baukonstruktion

Die U-Werte der einzelnen bauphysikalischen Varianten weisen nur geringfügige Unterschiede auf. Daher liegen die zu erwartenden Primärenergiebedarfe alle im ähnlichen Bereich. Die größten Unterschiede weisen die Varianten BK2 (Baustandard Weißrussland) und die Variante BK6 (mit Sonnenschutzverglasung) auf.

Im Vergleich zum deutschen Baustandard, ist der in Weißrussland unverbindlich empfohlene nur gering schlechter. Aufgrund der schlechteren U-Werte ist vor allem der Heizenergiebedarf höher als bei den restlichen Varianten. Der Kühlenergiebedarf ist geringfügig niedriger.

Bei der Variante BK6. kommt eine Sonnenschutzverglasung für die West- und Südfenster zum Einsatz. Diese hat einen niedrigeren Lichttransmissionswert als die Wärmeschutzverglasung. Dadurch muss die künstliche Beleuchtung öfters angeschaltet werden.

Die Varianten BK3 bis BK5 weisen alle einen Primärenergiebedarf von ca. 72 kWh/(m²·a) auf.

Für die Betrachtung der Energieerzeugung wird die Variante BK4 herangezogen.

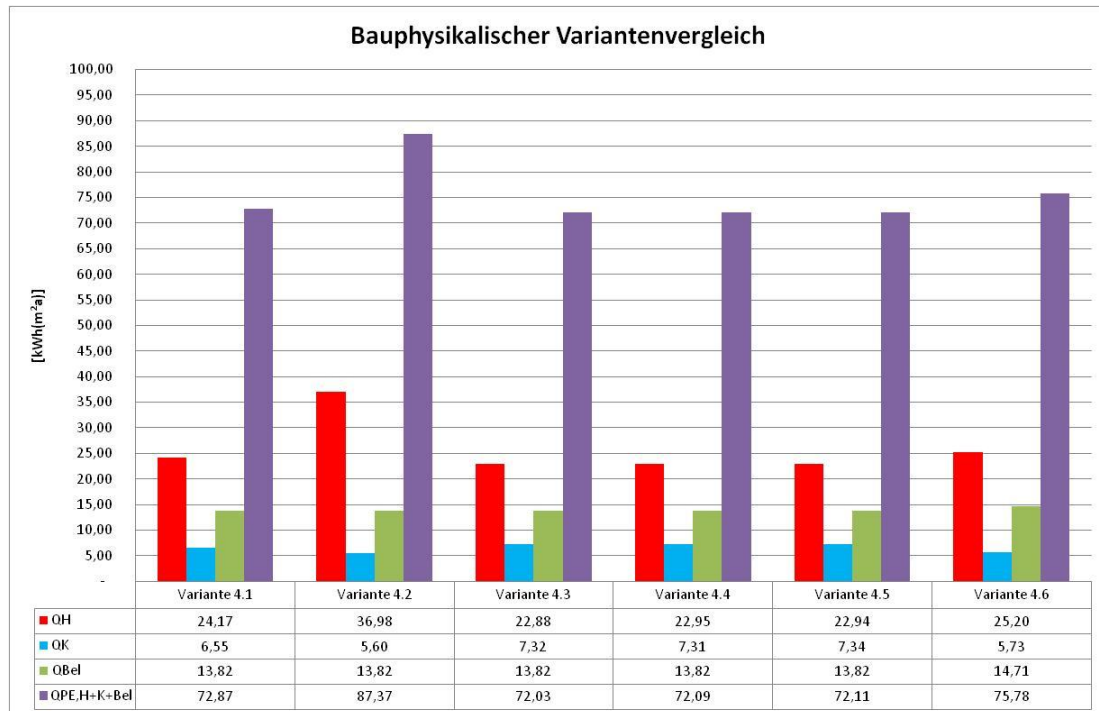


Abbildung 24 Bauphysikalischer Vergleich Varianten BK1 bis BK6

4.5 Ökobilanz Baustoffe

Für den Neubau des Kompetenzzentrums wird ein Optimierungsprozess angestrebt, bei dem einerseits ein möglichst geringer Energieverbrauch im Betrieb bei gleichzeitig geringem Einsatz an grauer Energie zu realisieren ist. Außerdem sollten die Baukonstruktionen recyclebar, langlebig und dauerhaft sein.

Je geringer die Betriebsenergie eines Gebäudes durch Energieeffizienz, umso größer wird der Anteil der Energie für Herstellung und Wartung im Vergleich zur Betriebsenergie.

Folgende Kriterien sind anzulegen:

- Möglichst geringer Energiebedarf bei Herstellung, Transport und Verarbeitung (Graue Energie)
- weitgehend schadstofffreie Gewinnung, Herstellung, Verarbeitung
- Gewinnung und Herstellung mit regenerierbaren Eingriff in die natürlichen Systeme
- Keine gesundheitlich beeinträchtigenden Emissionen in das Gebäude
- Dauerhaftigkeit
- Wiederverwendbarkeit
- Nach Rückbau in den Stoffkreislauf rückführbar

Um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, werden verschiedene Verfahren zur Klassifizierung von Baustoffen und Bauteilen angewandt. Die Erstellung von Ökobilanzen nach international gültigen Standards wird für immer mehr Bauprodukte von den Herstellern vorgelegt. Eine vollständige Ökobilanz nach der Norm ISO 14040 (gültige Version: 11/2009) umfasst die folgenden Elemente:

- Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen (Umfang), ISO 14040
Umweltmanagement - Ökobilanz - Prinzipien und allgemeine Anforderungen
- Sachbilanz, ISO 14041
Umweltmanagement - Ökobilanz - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung, ISO 14042
Umweltmanagement - Ökobilanz - Wirkungsabschätzung
- Auswertung, ISO 14043
Umweltmanagement - Ökobilanz - Auswertung

Bewertet werden Baustoffe nach Wirkungskategorien. Ökologische Wirkungskategorien sind z. B.

- Treibhauspotential
- Versäuerungspotential
- Primärenergieinhalt
- Primärenergieinhalt nicht erneuerbarer Ressourcen

Das Treibhauspotential (GWP, global warming potential) gibt die relative Auswirkung auf das Klima wieder. Bezugsgröße ist das Treibhausgas CO₂, dessen GWP-Wert mit 1 festgelegt ist. Das GWP wird in Kilogramm (kg) CO₂-Äquivalenten angegeben.

Das Versäuerungspotential wird relativ zu Schwefeldioxid angegeben und in Gramm (g) SO₂-Äquivalenten angegeben. Primärenergiegehalt (PEI) ist der zur Herstellung eines Produktes erforderliche Verbrauch an energetischen Ressourcen und wird in Mega-Joule (MJ) angegeben.

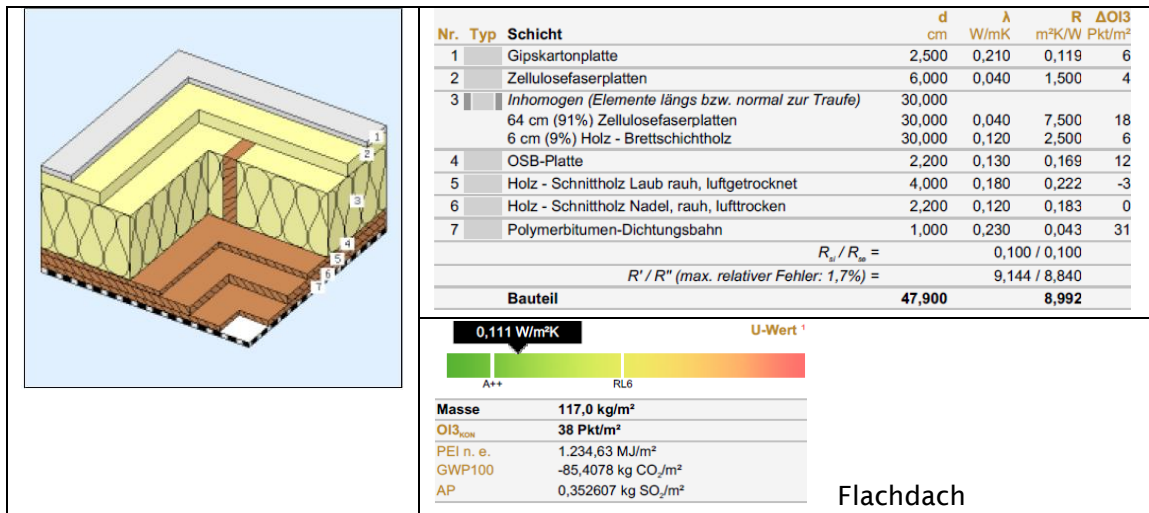
Diese ökologischen Kennwerte vermitteln ein Bild der ökologischen Qualität eines Baustoffes oder Bauteiles. Weitere Wirkungskategorien sind die Nutzung bzw. Verschmutzung von Wasser und die Gesundheits- und Umweltverträglichkeit. Darüber hinaus sind im Sinne der Nachhaltigkeit bedeutsam wirtschaftliche und soziale Kriterien, z. B. die Arbeits- und Lohnbedingungen.

Weiterhin untersucht werden die Entsorgungswege:

- Wiederverwendung
- Recycling
- Verbrennung
- Deponierung

Tabelle 17 Auszug Baustoffbilanz

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Typ</th> <th>Schicht</th> <th>d cm</th> <th>λ W/mK</th> <th>R m²K/W</th> <th>$\Delta OI3$ Pkt/m²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td></td> <td>Keramische Beläge</td> <td>1,200</td> <td>1,200</td> <td>0,010</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td>Zementestrich</td> <td>6,000</td> <td>1,700</td> <td>0,035</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>Polystyrol EPS 30</td> <td>12,000</td> <td>0,035</td> <td>3,429</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>Stahlbeton in WU-Qualität</td> <td>30,000</td> <td>2,500</td> <td>0,120</td> <td>102</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td>Schaumglas (105 < roh <= 120 kg/m³)</td> <td>20,000</td> <td>0,045</td> <td>4,444</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td>Magerbeton / Schütt- und Stampfbeton / Aufbeton</td> <td>5,000</td> <td>1,330</td> <td>0,038</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td>Sand, Kies jeweils feucht 20%</td> <td>15,000</td> <td>1,400</td> <td>0,107</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td>$R_{si} / R_{se} =$</td> <td>0,170 / 0,000</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td>R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =</td> <td>8,353 / 8,353</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Bauteil</td> <td>89,200</td> <td></td> <td>8,353</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	1		Keramische Beläge	1,200	1,200	0,010	24	2		Zementestrich	6,000	1,700	0,035	12	3		Polystyrol EPS 30	12,000	0,035	3,429	25	4		Stahlbeton in WU-Qualität	30,000	2,500	0,120	102	5		Schaumglas (105 < roh <= 120 kg/m ³)	20,000	0,045	4,444	24	6		Magerbeton / Schütt- und Stampfbeton / Aufbeton	5,000	1,330	0,038	5	7		Sand, Kies jeweils feucht 20%	15,000	1,400	0,107	2						$R_{si} / R_{se} =$	0,170 / 0,000							R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =	8,353 / 8,353		Bauteil			89,200		8,353		<p>0,120 W/m²K</p> <p>U-Wert ¹</p> <p>Masse 1239,1 kg/m² OI3_{kon} 157 Pkt/m² PEI n. e. 2.147,04 MJ/m² GWP100 195,0866 kg CO₂/m² AP 0,668405 kg SO₂/m²</p> <p>Plattenfundament 1</p>														
	Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	$\Delta OI3$ Pkt/m ²																																																																																								
1		Keramische Beläge	1,200	1,200	0,010	24																																																																																									
2		Zementestrich	6,000	1,700	0,035	12																																																																																									
3		Polystyrol EPS 30	12,000	0,035	3,429	25																																																																																									
4		Stahlbeton in WU-Qualität	30,000	2,500	0,120	102																																																																																									
5		Schaumglas (105 < roh <= 120 kg/m ³)	20,000	0,045	4,444	24																																																																																									
6		Magerbeton / Schütt- und Stampfbeton / Aufbeton	5,000	1,330	0,038	5																																																																																									
7		Sand, Kies jeweils feucht 20%	15,000	1,400	0,107	2																																																																																									
					$R_{si} / R_{se} =$	0,170 / 0,000																																																																																									
					R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =	8,353 / 8,353																																																																																									
Bauteil			89,200		8,353																																																																																										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Typ</th> <th>Schicht (von innen nach aussen)</th> <th>d cm</th> <th>λ W/mK</th> <th>R m²K/W</th> <th>$\Delta OI3$ Pkt/m²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td></td> <td>Stahlbeton</td> <td>25,000</td> <td>2,500</td> <td>0,100</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td>Polymerbitumen-Dichtungsbahn</td> <td>1,000</td> <td>0,230</td> <td>0,043</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>Polystyrol XPS, CO2-geschäumt</td> <td>16,000</td> <td>0,041</td> <td>3,902</td> <td>41</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>Schaumglasschotter / Glasschaumschotter - erdfeucht (</td> <td>30,000</td> <td>0,145</td> <td>2,069</td> <td>41</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td>$R_{si} / R_{se} =$</td> <td>0,130 / 0,000</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td>R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =</td> <td>6,245 / 6,245</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Bauteil</td> <td>72,000</td> <td></td> <td>6,245</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	1		Stahlbeton	25,000	2,500	0,100	80	2		Polymerbitumen-Dichtungsbahn	1,000	0,230	0,043	31	3		Polystyrol XPS, CO2-geschäumt	16,000	0,041	3,902	41	4		Schaumglasschotter / Glasschaumschotter - erdfeucht (30,000	0,145	2,069	41						$R_{si} / R_{se} =$	0,130 / 0,000							R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =	6,245 / 6,245		Bauteil			72,000		6,245		<p>0,160 W/m²K</p> <p>U-Wert ¹</p> <p>Masse 707,1 kg/m² OI3_{kon} 158 Pkt/m² PEI n. e. 2.472,85 MJ/m² GWP100 154,6822 kg CO₂/m² AP 0,645288 kg SO₂/m²</p> <p>AW gg. Erdreich V_3</p>																																			
	Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	$\Delta OI3$ Pkt/m ²																																																																																								
1		Stahlbeton	25,000	2,500	0,100	80																																																																																									
2		Polymerbitumen-Dichtungsbahn	1,000	0,230	0,043	31																																																																																									
3		Polystyrol XPS, CO2-geschäumt	16,000	0,041	3,902	41																																																																																									
4		Schaumglasschotter / Glasschaumschotter - erdfeucht (30,000	0,145	2,069	41																																																																																									
					$R_{si} / R_{se} =$	0,130 / 0,000																																																																																									
					R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =	6,245 / 6,245																																																																																									
Bauteil			72,000		6,245																																																																																										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Typ</th> <th>Schicht (von innen nach aussen)</th> <th>d cm</th> <th>λ W/mK</th> <th>R m²K/W</th> <th>$\Delta OI3$ Pkt/m²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td></td> <td>Holzschalung (Holz - Schnittholz Nadel, gehobelt, techn</td> <td>2,200</td> <td>0,120</td> <td>0,183</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td>Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 65 < d <= 7(</td> <td>7,000</td> <td>0,389</td> <td>0,180</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>DWB Holzweichfaserplatte (Holzfaser-Dämmplatte (160</td> <td>10,000</td> <td>0,050</td> <td>2,000</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td>Inhomogen (Elemente vertikal)</td> <td>24,000</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>74 cm (93%) Klemmrock 035</td> <td>24,000</td> <td>0,035</td> <td>6,857</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>6 cm (8%) Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch get</td> <td>24,000</td> <td>0,120</td> <td>2,000</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td>OSB (OSB-Platte)</td> <td>1,800</td> <td>0,130</td> <td>0,138</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td>Installationsebene (Steinwolle roh <= 25 kg/m³)</td> <td>6,000</td> <td>0,043</td> <td>1,395</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td>GKT (Gipskartonplatte)</td> <td>2,500</td> <td>0,210</td> <td>0,119</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td>$R_{si} / R_{se} =$</td> <td>0,130 / 0,040</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td>R' / R'' (max. relativer Fehler: 2,2%) =</td> <td>10,429 / 9,987</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Bauteil</td> <td>53,500</td> <td></td> <td>10,208</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	1		Holzschalung (Holz - Schnittholz Nadel, gehobelt, techn	2,200	0,120	0,183	2	2		Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 65 < d <= 7(7,000	0,389	0,180	0	3		DWB Holzweichfaserplatte (Holzfaser-Dämmplatte (160	10,000	0,050	2,000	29	4		Inhomogen (Elemente vertikal)	24,000						74 cm (93%) Klemmrock 035	24,000	0,035	6,857	14			6 cm (8%) Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch get	24,000	0,120	2,000	1	5		OSB (OSB-Platte)	1,800	0,130	0,138	10	6		Installationsebene (Steinwolle roh <= 25 kg/m ³)	6,000	0,043	1,395	4	7		GKT (Gipskartonplatte)	2,500	0,210	0,119	6						$R_{si} / R_{se} =$	0,130 / 0,040							R' / R'' (max. relativer Fehler: 2,2%) =	10,429 / 9,987		Bauteil			53,500		10,208		<p>0,098 W/m²K</p> <p>U-Wert ¹</p> <p>Masse 82,7 kg/m² OI3_{kon} 29 Pkt/m² PEI n. e. 808,44 MJ/m² GWP100 -39,7464 kg CO₂/m² AP 0,335139 kg SO₂/m²</p> <p>AW Holzrahmenbau</p>
	Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	$\Delta OI3$ Pkt/m ²																																																																																								
1		Holzschalung (Holz - Schnittholz Nadel, gehobelt, techn	2,200	0,120	0,183	2																																																																																									
2		Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 65 < d <= 7(7,000	0,389	0,180	0																																																																																									
3		DWB Holzweichfaserplatte (Holzfaser-Dämmplatte (160	10,000	0,050	2,000	29																																																																																									
4		Inhomogen (Elemente vertikal)	24,000																																																																																												
		74 cm (93%) Klemmrock 035	24,000	0,035	6,857	14																																																																																									
		6 cm (8%) Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch get	24,000	0,120	2,000	1																																																																																									
5		OSB (OSB-Platte)	1,800	0,130	0,138	10																																																																																									
6		Installationsebene (Steinwolle roh <= 25 kg/m ³)	6,000	0,043	1,395	4																																																																																									
7		GKT (Gipskartonplatte)	2,500	0,210	0,119	6																																																																																									
					$R_{si} / R_{se} =$	0,130 / 0,040																																																																																									
					R' / R'' (max. relativer Fehler: 2,2%) =	10,429 / 9,987																																																																																									
Bauteil			53,500		10,208																																																																																										



4.5.1 Zusammenfassung Baukonstruktion

Für das Gebäude „Zukunftswerkstatt“ sind sechs baukonstruktive Varianten geprüft und gegenübergestellt worden. Dabei werden im Wesentlichen zwei Aspekte deutlich:

Von großer Bedeutung sind die gewählten Baukonstruktionen und Baustoffe in Hinblick auf die bei Produktion und den Einbau freiwerdenden klimaschädlichen Gase. Hierbei zeigt sich, dass das Gebäude - unter anderem durch seine Holzständerkonstruktion im OG - eine herausragend positive CO₂-Kennzahl von 200 kg CO₂/m² Nutzfläche erreicht und damit die DGNB-Vorgabe (Deutsches Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen) um 70 Prozent unterschreitet (üblich ist bei Gebäuden eine CO₂-Kennzahl von 650 kg CO₂/m²).

Auch der Energieinhalt der Baukonstruktion ist mit 920 kWh/m² Nutzfläche sehr gering. Umgelegt auf eine 50-jährige Nutzung des Gebäudes wären dies nur 18 kWh/(m²·a). Somit wird Energieeffizienz nicht allein durch eine Reduzierung der Betriebsenergie, sondern wesentlich auch durch eine umfassende Betrachtung von Bau, Betrieb und Entsorgung eines Gebäudes bestimmt.

4.6 Didaktische Aufbereitung des konstruktiven Variantenvergleichs

Die für das Kompetenzzentrum gewählten Konstruktionen werden im Ausstellungsbereich in Form von Modellen im Maßstab 1:1 dargestellt. Das gilt sowohl für die verschiedenen Wandaufbauten wie auch Decken- und Dachkonstruktionen. Die Modell-Konstruktionen werden durch bauphysikalische Daten (U-Werte, Speicherfähigkeit, Kapillarität etc.) sowie bezüglich der jeweils eingesetzte grauen Energie und den bauteilbezogenen Baukosten ergänzt.

In den verschiedenen tatsächlichen Wandquerschnitten (Massivbau, Leichtbau) werden Messfühler eingebaut, die die Außen-, die Wandinnentemperatur sowie die Bauteilfeuchte zeitgenau anzeigen. Damit lassen sich die Dämmwirkung der Bau-

5 Didaktik

5.1 Evaluations- und Qualitätssicherungsprogramm

Die Qualität der Ausführungsplanung und der Bauausführung bestimmt maßgeblich den letztendlichen Energieeffizienzstandard eines Gebäudes. Unverzichtbar ist neben der fachlichen Kompetenz der beteiligten Architekten, Ingenieure und Bauphysiker die Qualität der Zusammenarbeit. Ohne integrale Planung insbesondere in der Abstimmung zwischen Baukonstruktion und Gebäudetechnik kann die angestrebte Energieeffizienz nicht erreicht werden.

Ein wichtiges Werkzeug in der Planungsphase ist rechnergestützte Simulation, mit der das Zielerreichungsmaß permanent überprüft werden kann, Defizite aufgespürt und Optimierungsstrategien entwickelt werden können.

In der Ausführungsphase müssen die geplanten Lösungen qualifiziert umgesetzt werden. Dabei steht bei der Baukonstruktion einerseits die Vermeidung von Wärmebrücken, andererseits die Herstellung einer guten Luftdichtheit des Gebäudes im Vordergrund. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist neben der Kompetenz der Planer eine gute Qualifizierung der Ausführenden. Ohne entsprechende Kenntnisse der wesentlichen Grundlagen einer wärmebrückenfreien und luftdichten Baukonstruktion kann kein hocheffizientes Gebäude erstellt werden. Hier setzt der didaktische Auftrag des Kompetenzzentrums des IBB Minsk an.

Die Qualität eines Gebäudes wird durch die Planung beschrieben, der Erfolg zeigt sich erst durch die Realisierung. Zwei Verfahren zur Qualitätssicherung sind dabei von besonderer Bedeutung, die Blower-Door-Messung zur Überprüfung der Luftdichtheit sowie die Thermografie zur Überprüfung der Wärmebrückenfreiheit.

Für ein Passivhaus wird der zulässige Luftaustausch der beheizten Gebäudehülle auf einen stündlichen Luftwechsel von $n_{50} = 0,6$ bei 50 Pa Differenzdruck begrenzt. Diese Druckdifferenz entspricht einer Windgeschwindigkeit von 9,1 m/s. Die Blower-Door-Messung ermittelt den volumenbezogenen Leakage-Strom.

Sollte das angestrebte Messergebnis überschritten werden, sind Undichtigkeiten in der Gebäudehülle zu ermitteln und zu beheben. Leakage-Ortung kann durch Einsatz von Luftströmungsmessgeräten oder durch den Einsatz von Nebelgeneratoren erfolgen.

Mit Infrarotkameras können bei ausreichender Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Außenbereich thermografische Aufnahmen gemacht werden. Ergebnis ist ein „Wärmebild“, auf dem Temperaturverläufe in Bauteilen und Anschlussbereichen durch Farben sichtbar werden. Damit lassen sich Wärmebrücken wie auch Gebäudeundichtigkeiten erfassen und kontrollieren. Auch technische Versorgungsleitungen sowie Leckagen in Leitungssystemen lassen sich durch die Thermografie aufspüren.

5.2 Planer-Workshops

Durchführung von drei Planer-Workshops in Minsk und Deutschland mit den Projektpartnern für die Zielgruppen

- Wissenschaftler und Forscher aus Belarus, Passivhaus-Institut IVO
- Architekten, Planer, Genehmigungsbehörden Belarus
- Bauausführende Firmen, Planer

24.09.2010 - Minsk:

Teilnehmer: Ökodom, Ökopjekt-Partnerstwo, NIPTIS, BATU, Sacharow Universität, Business-Inkubator, Assoziation „Erneuerbare Energien“, IBB

Inhalte: Vorstellung der verschiedenen Organisationen, bisheriger Wirkungskreis und mögliche Aufgaben im Projekt „Zukunftswerkstatt Minsk“.

Das Protokoll zur Veranstaltung siehe Anhang.

6.-8.10.2010 - Essen+Dortmund:

Teilnehmer: Gertec, IBB (Minsk und Dortmund), Beck, NIPTIS, Sacharow Universität, Statikbüro Monorakurs,

Inhalte: Vorstellung der Projektbeteiligten untereinander, Vorhaben, Zieldefinition, Energiestandards in Belarus, Übersetzungsarbeiten, Vorentwurf Gebäude, Gebäudesimulation, Passivhausstandard und Minsker Klimadaten, mögliche Varianten technische Gebäudeausrüstung, Besichtigung Passivhaus in Münster mit Fachausstellung Passivhausmaterialien, Organisation Planungsprozess + Genehmigungsverfahren + didaktisches Material, Stand Gesamtfinanzierung Projekt.

Das Protokoll zur Veranstaltung siehe Anhang.

Auf dem workshop am 28. Und 29. März 2011 wurden die Zwischenergebnisse präsentiert; hierzu sind Herr Klaus Beck, Architekt, und Herr Probst, Ingenieur, mit nach Minsk gereist. Zur Veranstaltung liegt ein Protokoll vor (Anlage).

5.3 Erarbeitung eines „Leitfadens Integrales Planen“

Im Nachgang an die Planungsarbeiten wurde der integrale Planungsprozess in einem Leitfaden „BAU & ENERGIE - Leitfaden Integrale Planung · Kompetenzzentrum „Zukunftswerkstatt IBB Minsk“ beschrieben und didaktisch aufbereitet. Der Leitfaden wird mit einer Auflage von 500 Stück in russischer Sprache und in einer Auflage von jeweils 250 Stück in englischer und deutscher Sprache veröffentlicht. Der Leitfaden wird kostenlos zur Verfügung gestellt. Ansichtsexemplar siehe Anhang.

5.4 Erarbeitung eines didaktischen Gesamtkonzepts zur Nutzung des Gebäudes als Lehrbaustelle

Bei der Gebäudeplanung wurde wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben die didaktische Nutzung des Gebäudes bereits berücksichtigt. Die Zukunftswerkstatt stellt damit einen authentischen Lernort dar, der eine praxisbezogene Bildungsarbeit ermöglicht. Energieeffizientes, nachhaltiges Bauen sowie ein entsprechende Betriebsführung und Sanierung unter maximaler Verwendung erneuerbarer Energiequellen und nachwachsender Rohstoffe stellen daher einen zentralen

Themenschwerpunkt der Zukunftswerkstatt dar. Insgesamt soll die Zukunftswerkstatt zu dem zentralen Kompetenzzentrum für energiepolitisch relevante Themen in Belarus werden. Sie soll dabei die Funktionen eines Bürgerzentrums sowie eines Fach- und Expertenzentrums miteinander verbinden.

Ausgehend von dieser Prämisse wurde während der Projektlaufzeit

- eine Bestandsaufnahme der in Belarus zu Umwelt- und Energiefragen von NGOs und staatlichen Einrichtungen bereits geleisteten Bildungsaktivitäten vorgenommen,
- innovative Projekte von NGOs und staatlichen Bildungseinrichtungen begleitet, die in die Arbeit der Zukunftswerkstatt eingehen können,
- eigene neue Bildungsmaßnahmen für ausgewählte Zielgruppen entwickelt, die ebenfalls in der Arbeit der Zukunftswerkstatt fortgesetzt werden sollen,
- für junge Menschen interessante Themen und Arbeitsformen im Rahmen des studentischen Umweltklubs an der IBB „Johannes Rau“ Minsk erprobt,
- Recherchen zu energie- und umweltpädagogischen Ansätzen in Deutschland, die auf die Arbeit der Zukunftswerkstatt übertragen werden können, durchgeführt.

Auf dieser Grundlage erfolgte eine vorläufige Festlegung der Zielgruppen, Themenschwerpunkte und Arbeitsformen der Zukunftswerkstatt. Für eine Kurzbeschreibung des didaktischen Gesamtkonzepts der Zukunftswerkstatt siehe Anhang.

5.5 Erstellung einer Internetpräsentation

Auf den Seiten www.ibb-d.de (deutsch) und www.ibb.by (russisch) stehen folgende Informationen zur Verfügung:

1. Beschreibung des Projekts
2. Darstellung der Projektergebnisse
 - a. Nachhaltigkeit
 - b. Passivhaus
 - c. Energiekonzept
 - d. Integrale Planung
 - e. Materialien
3. Leitfaden zum Download
4. Experten-Datenbank für Energieeffizienz und Erneuerbare Energien
5. Informationen zur Abschlussveranstaltung

Die relevanten Zielgruppen (Fachorganisationen, NGOs, Bildungseinrichtungen, interessierte Bauherren) können sich so über die technische Planung informieren, aber auch gezielt belarussische Experten aus der Datenbank (4) ansprechen. Diese ist als „wachsender“ Expertenpool konzipiert, sie wird ständig ergänzt.

Ein weiterer Schwerpunkt für die zukünftige Anreicherung der Internetpräsentation ist die Ausdifferenzierung des didaktischen Konzepts in Zusammenarbeit mit den Zielgruppen. Hier wird am Konzept einer interaktiven Internetpräsenz gearbeitet, in der die Akteure das Konzept diskutieren und mit eigenen Materialien anreichern können.

5.6 Durchführung einer eintägigen Abschlusskonferenz in Minsk

Es wurde aufgrund der großen Nachfrage bei den Zielgruppen eine längere, 3-tägige Abschlussveranstaltung für 50 Teilnehmer durchgeführt (Experten, Vertreter von NGO, Vertreter staatlicher und nichtstaatlicher Fachorganisationen). Ziel war die Einbeziehung der Zielgruppen in die weitere Gestaltung des Projektverlaufs. Dies wurde in Form von Präsentationen, Diskussionen, Feedback und Kleingruppenarbeit erreicht. Zum Verlauf und den Ergebnissen siehe Anlagen:

1. Programm
2. Bericht

Die Workshops bzw. die Abschlusskonferenz haben ergeben, dass es einen Konsens und gemeinsame Ziele gibt, gleichzeitig der Bedarf nach einem vom IBB gesteuerten detaillierten Ausarbeitungsprozess hoch ist. Erwägt wird die Einrichtung einer Arbeitsgruppe innerhalb des Arbeitskreises der Umwelt-NGOs unter Hinzuziehung von Experten aus Facheinrichtungen.

6 Fazit

Für die Planung des Kompetenzzentrums „Zukunftswerkstatt“ der IBB Johannes Rau in Minsk stand die Frage im Vordergrund, ob sich die Zielvorgaben des Passivhaus-Instituts unter den lokalen klimatischen Bedingungen sowie der komplexen Nutzungsstruktur des Gebäudes realisieren lassen und damit der unter mitteleuropäischen Bedingungen entwickelte Passivhausstandard mit vertretbarem Aufwand in Weißrussland verwirklicht werden kann.

Das Passivhaus-Institut vertritt den Standpunkt, dass die Passivhaus-Kriterien grundsätzlich an jedem Standort Gültigkeit haben. Neben der Berechnung nach PHPP wurde das Projekt „Zukunftswerkstatt“ mit einer dynamischen Gebäudesimulation mit dem Rechenprogramm TAS analysiert und optimiert.

Das Projekt „Zukunftswerkstatt“ unterscheidet sich in seinen Rahmenbedingungen wesentlich von den meisten bisher realisierten Passivhäusern. Mit seiner Lage im eng bebauten urbanen Umfeld und der starken Verschattung durch die unmittelbar benachbarten Hochhäuser reduziert sich die für Passivhäuser wichtige solare Einstrahlung erheblich, Wärmegewinne durch die passive Nutzung der Sonnenenergie im Winter fallen sehr gering aus. Damit realisiert die Zukunftswerkstatt eine für städtische Lagen typische Standortsituation, die für zukünftige Passivhausprojekte im eng bebauten Kontext steht.

Das Rechenverfahren des PHPP 2007 bezieht sich vornehmlich auf Wohngebäude. Es ist zwar auch auf Nichtwohngebäude übertragbar, an mehreren Stellen des Rechengangs sind aber einzelne Parameter hinsichtlich ihrer Anwendung für Nichtwohngebäude zu hinterfragen. Das Projekt „Zukunftswerkstatt“ ist bestimmt von einer vielfältigen Nutzungsmischung (Ausstellung, Kongress, Seminar, Büro) mit sehr unterschiedlichen Auswirkungen auf Heizung, Kühlung und Lüftung. Die extrem hohe Belegung von bis zu 413 Personen hat gravierende Auswirkungen auf das energetische Verhalten des Gebäudes. Insbesondere der hygienisch notwendige Luftwechsel bei dieser hohen Belegung führt im Winterfall zu einem erhöhten Wärmebedarf. Die tiefen Wintertemperaturen ($> -20\text{ °C}$) begrenzen den Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage mit aktuell verfügbaren Technologien auf 75 Prozent, um eine Vereisung der Anlage zu verhindern. Damit entsteht ein erhöhter Heizenergiebedarf, um die Zuluft zu erwärmen, der sich im Energiekennwert Heizwärme niederschlägt.

Bei der Bilanzierung der Wärmeverluste zeigt sich, dass sich die Lüftungswärmeverluste gravierend auf die Heizenergiebilanz auswirken. Die Transmissionswärmeverluste lassen sich auch durch eine starke Erhöhung der Dämmstoffstärken nicht wesentlich verringern.

Bei der Maximalbelegung (413 Personen) erreicht die Zukunftswerkstatt einen Heizwärmebedarf von $40\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ (Passivhausstandard: $15\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$). Der Wert von $40\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ wird bei einer geringeren Belegung deutlich reduziert, bei 100 Personen wird unter ansonsten gleichen Rahmenbedingungen ein Heizwärmebedarf von annähernd $15\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ erreicht.

Auch eine Verbesserung des Wirkungsgrades der Wärmerückgewinnung ($> 75\%$) würde den Heizwärmebedarf senken, eine solche Optimierung müsste aber das Problem der potentiellen Vereisung lösen.

Mit einer Primärenergiekennzahl von $180\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ wird die Passivhaus-Zielgröße von $120\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ überschritten. Auch hier spielt die besondere Nutzung/Belegung eine große Rolle. Bei einer Belegung mit 250 Personen wird der Zielwert erreicht.

Bei der Berechnung der Primärenergie wurde auch der Zusammenhang zwischen transparenten Fassadenteilen und dem Bedarf an künstlicher Beleuchtung untersucht. Sehr geringe transparente Fassadenanteile führen zwar zu einer deutlichen Verringerung der Wärmeverluste im Winter, erhöhen aber gleichzeitig den Bedarf an künstlicher Beleuchtung. Bei der Analyse von 3 Fassadenvarianten wurde eine Optimierung des Primärenergiebedarfs bei ca. 40 Prozent transparentem Fassadenanteil ermittelt. Voraussetzung ist eine tageslichtabhängige Steuerung der künstlichen Beleuchtung.

Bei der umfassenden Analyse des Projektes „Zukunftswerkstatt“ wurden neben der Betriebsenergie für Heizen, Kühlen, Lüften und Belichtung auch die Auswirkungen der eingesetzten Baustoffe und Baukonstruktionen in Hinblick auf ihren Primärenergiegehalt (PEI) untersucht und berechnet.

Die Primärenergiekennzahlen wurden vergleichsweise für eine massive Betonkonstruktion mit Wärmedämmverbundsystem (Polystyrol) sowie für eine Holzrahmenkonstruktion mit Zellulosedämmung berechnet (beide Konstruktionen werden bei dem Projekt Zukunftswerkstatt realisiert). Dabei zeigt sich, dass die Konstruktion mit Baustoffen auf weitgehend nachwachsender Rohstoffbasis eine bedeutende Reduzierung der CO₂-Belastung bedeutet. So spart jeder gebaute Quadratmeter einer Wand in Holzrahmenkonstruktion gegenüber einer Betonwand 140 kg CO₂ ein. Der Energieinhalt der Holzwand ist 45 Prozent geringer im Vergleich zur Betonwand.

Über eine Betriebszeit von z.B. 50 Jahren gerechnet, zeigt sich, dass die Auswirkungen der gewählten Baukonstruktionen einen mindestens ebenso wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten wie die Verringerung der Betriebsenergie.

- ➔ Auch unter den spezifischen klimatischen Bedingungen in Minsk und der besonderen Nutzungsart der Zukunftswerkstatt lässt sich unter Anwendung der Planungsprinzipien für Passivhäuser ein hoch energieeffizientes Gebäude realisieren
- ➔ Das PHPP ist für die Berechnung des Kompetenzzentrums nur bedingt geeignet, mit dem Simulationsprogramm TAS konnten präzisere Aussagen zum energetischen Verhalten berechnet werden.
- ➔ Die Belegung eines Nicht- Wohngebäudes bestimmt den Lüftungsbedarf und damit ganz wesentlich den Heizenergiebedarf, Transmissionswärmeverluste spielen eine geringere Rolle
- ➔ Die Gestaltung der Fassadenflächen (Anteile transparenter und opaker Flächen) im Zusammenwirken von solaren Erträgen, winterlichen Wärmeverlusten und Tageslichtversorgung hat einen wesentlichen Anteil auf den Primärenergiebedarf von Nicht- Wohngebäuden
- ➔ Neben der Betriebsenergie hat die gewählte Baukonstruktion einen wesentlichen Einfluss auf die Primärenergiebilanz im Lebenszyklus

7 Anhang