

Breitentest von energieeffizienten Demonstrationsgebäuden mit thermisch aktivierten Bauteilen

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 5/2026

Wien, 2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination: Abteilung III/3 - Energie und Umwelttechnologien

Leitung (interimistisch): DIⁱⁿ (FH) Isabella Warisch

Autorinnen und Autoren:

DI Walter Becke, Peter Gruber B.Sc., Manuel Baumgartner B.Sc. (AEE – Institut für
nachhaltige Technologien)

DI (FH) Paul Lampersberger, DI Guntram Preßmair, David Wolfesberger M.Sc. (e7 GmbH)

BM DI Dr. Simon Handler, Philipp Enigl MSc. (hacon GmbH)

Mag. Jürgen Suschek-Berger (Interdisziplinäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und
Kultur)

DI Michael Moltinger, DI Daniel Heidenthaler BSc. (FH Salzburg GmbH)

Harald Kuster (FIN - Future Is Now Kuster Energielösungen GmbH)

Wien, Gleisdorf, 2026. Stand: Oktober 2025

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Rückmeldungen:

Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an iii3@bmimi.gv.at.

Rechtlicher Hinweis

Dieser Ergebnisbericht wurde von die/der Projektnehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die/der Projektnehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die/der Projektnehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die/der Projektnehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMIMI publiziert und elektronisch über die Plattform nachhaltigwirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	9
2	Abstract.....	11
3	Ausgangslage und Projekteinhalt	13
3.1	Ausgangslage	13
3.2	Übersicht der Demonstrationsgebäude.....	13
3.3	Methodische Vorgangsweise	16
3.4	Beschreibung der Energiekennzahlen	18
4	Ergebnisse	20
4.1	Anwendungsmöglichkeiten und energetische Effizienz	20
4.2	Aggregierte Ergebnisse aus dem technischen Monitoring der Demonstratoren	23
4.3	Sozialwissenschaftliche Betrachtung und Wirtschaftlichkeit	27
4.3.1	Zentrale Erkenntnisse aus den Interviews mit Entscheidungsträgern	27
4.3.2	Sozialwissenschaftliche Befragungen und Ergebnisse	29
4.3.3	Wirtschaftlichkeit	30
4.4	Integration in Versorgungsnetze	31
5	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	33
5.1.1	Zentrale Ergebnisse der Studie	33
5.1.2	Handlungsempfehlungen für Planung und Bau.....	34
5.1.3	Empfehlungen für Politik und Institutionen	35
6	Verzeichnisse.....	37
7	Anhang.....	56
7.1	Data Management Plan (DMP)	56
8	Detailberichte der Demonstratoren	58
8.1	MAM Forschungs- und Entwicklungszentrum, B.....	58
8.1.1	Objektbeschreibung	58
8.1.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	62
8.1.3	Nachfragestruktur Wärme.....	63
8.1.4	Nachfragestruktur Kälte	65
8.1.5	Raumkomfort - Monitoring	69
8.2	Campus V, Vbg	75
8.2.1	Objektbeschreibung	75
8.2.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	78
8.2.3	Nachfragestruktur Wärme.....	79
8.2.4	Nachfragestruktur Kälte	81
8.2.5	Nachfragestruktur Strom.....	85

8.2.6	Raumkomfort - Monitoring	88
8.3	Fröschl Haus, T	91
8.3.1	Objektbeschreibung	91
8.3.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	94
8.3.3	Nachfragestruktur Wärme.....	95
8.3.4	Nachfragestruktur Kälte	99
8.3.5	Nachfragestruktur Strom.....	101
8.3.6	Raumkomfort - Monitoring	104
8.4	LITE GmbH, NÖ.....	107
8.4.1	Objektbeschreibung	107
8.4.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	110
8.4.3	Nachfragestruktur Wärme.....	111
8.4.4	Nachfragestruktur Kälte	117
8.4.5	Raumkomfort - Monitoring	121
8.5	WHA Rostthorngasse, W	125
8.5.1	Objektbeschreibung	125
8.5.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	128
8.5.3	Nachfragestruktur Wärme.....	129
8.5.4	Nachfragestruktur Kälte	133
8.5.5	Nachfragestruktur Strom.....	135
8.5.6	Raumkomfort – Monitoring.....	137
8.6	BG Graspöckner, OÖ	144
8.6.1	Objektbeschreibung	144
8.6.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	147
8.6.3	Nachfragestruktur Wärme.....	148
8.6.4	Nachfragestruktur Kälte	152
8.6.5	Raumkomfort-Monitoring	155
8.7	Gugler Holding GmbH, OÖ	159
8.7.1	Objektbeschreibung	159
8.7.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	163
8.7.3	Nachfragestruktur Wärme.....	164
8.7.4	Nachfragestruktur Kälte	168
8.7.5	Raumkomfort - Monitoring	171
8.8	Steiner Haustechnik, Sbg	182
8.8.1	Objektbeschreibung	182
8.8.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	185
8.8.3	Nachfragestruktur Wärme.....	186
8.8.4	Nachfragestruktur Kälte	191
8.8.5	Raumkomfort - Monitoring	194

8.9	Auenwerkstatt, Sbg	199
8.9.1	Objektbeschreibung	199
8.9.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	204
8.9.3	Nachfragestruktur Wärme.....	205
8.9.4	Nachfragestruktur Kälte	210
8.9.5	Nachfragestruktur Strom.....	214
8.9.6	Raumkomfort - Monitoring	216
8.10	ZFH Thoma, Sbg	226
8.10.1	Objektbeschreibung	226
8.10.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	229
8.10.3	Nachfragestruktur Wärme.....	230
8.10.4	Nachfragestruktur Kälte	235
8.10.5	Raumkomfort-Monitoring	238
8.11	Haus der Generationen, T	243
8.11.1	Objektbeschreibung	243
8.11.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	246
8.11.3	Nachfragestruktur Wärme.....	247
8.11.4	Nachfragestruktur Kälte	248
8.11.5	Nachfragestruktur Strom.....	251
8.11.6	Raumkomfort - Monitoring	254
8.12	Headquarter Act4energy, B	259
8.12.1	Objektbeschreibung	259
8.12.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	262
8.12.3	Nachfragestruktur Wärme.....	263
8.12.4	Nachfragestruktur Kälte	264
8.12.5	Raumkomfort - Monitoring	268
8.13	Südsan, Vbg.....	285
8.13.1	Objektbeschreibung	285
8.13.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	288
8.13.3	Nachfragestruktur Wärme.....	289
8.13.4	Raumkomfort - Monitoring	292
8.14	Hörburger GmbH & Co KG, Vbg	295
8.14.1	Objektbeschreibung	295
8.14.2	KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	298
8.14.3	Nachfragestruktur Wärme.....	299
8.14.4	Nachfragestruktur Kälte	304
8.14.5	Nachfragestruktur Strom.....	306
8.14.6	Raumkomfort - Monitoring	308
8.15	Käthe-Dorsch-Gasse, W	312

8.15.1 Objektbeschreibung	312
8.15.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	316
8.15.3 Nachfragestruktur Wärme.....	317
8.15.4 Nachfragestruktur Kälte	323
8.15.5 Nachfragestruktur Strom.....	327
8.15.6 Raumkomfort – Monitoring.....	329
8.16 BOKU TüWi-Gebäude, W	341
8.16.1 Objektbeschreibung	341
8.16.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch	345
8.16.3 Nachfragestruktur Wärme.....	346
8.16.4 Nachfragestruktur Kälte	350
8.16.5 Nachfragestruktur Strom.....	352
8.16.6 Raumkomfort - Monitoring	354

1 Kurzfassung

Ausgangslage und Projektinhalt

Das Forschungsprojekt „Breitentest von energieeffizienten Demonstrationsgebäuden mit thermisch aktivierten Bauteilen“ untersuchte im Rahmen der Programmlinie Stadt der Zukunft erstmals systematisch eine große Bandbreite bauteilaktivierter Neubauten und Sanierungen in ganz Österreich. Betrachtet wurden 16 Gebäude unterschiedlicher Nutzung – vom Einfamilienhaus bis zum Produktions- oder Bürogebäude. Ziel war es, Einsatzbereiche, Leistungsfähigkeit, Komfortwirkungen und Optimierungspotenziale der Bauteilaktivierung zu erfassen und vergleichbare, belastbare Daten für zukünftige Bauvorhaben bereitzustellen.

Bei der Auswahl der Demonstratoren wurde auf eine hohe Diversität hinsichtlich aktivierten Materials (Beton, Vollholz, Ziegel), Flächen (Decke, Wand, Boden), Gebäudeanwendung, Einsatz (Heizen, Kühlen), Gebäudequalität und -alter sowie Wärme- und Kälteversorgungskonzept gelegt.

Auf alle Demonstratoren wurde ein standardisiertes Messkonzept zur Erfassung von Energie- und Leistungsdaten, Temperaturen, Durchflüsse sowie im erweiterten Monitoring operative Temperaturen nach ÖNORM EN 7730 angewendet. Ergänzend wurden Nutzerbefragungen und Expert:inneninterviews durchgeführt, um subjektive Erfahrungen, Entscheidungskriterien und Betriebsaspekte zu erheben.

Auf Basis der energetischen und komfortbezogenen Auswertung wurden objektspezifische Optimierungen abgeleitet. Abschließend erfolgte eine Aggregation der Ergebnisse und die Formulierung von Empfehlungen für Planung, Auslegung und Betrieb zukünftiger bauteilaktivierter Gebäude.

Ergebnisse

Die umfassende Untersuchung thermisch aktivierter Bauteile (BTA) in 16 österreichischen Demonstrationsgebäuden zeigt, dass die Technologie in allen Gebäudetypen – Wohnen, Bildung, Büro, Gewerbe und Produktion – effizient einsetzbar ist. BTA nutzt die thermische Masse von Decken, Böden oder Wänden zur Wärme- und Kälteverteilung und ersetzt damit konventionelle Heiz- und Kühlsysteme. Dies reduziert technischen Aufwand, senkt Lebenszykluskosten und ermöglicht zugfreie, geräuschlose und gleichmäßige Raumtemperaturen. Während Deckenaktivierungen vor allem in Wohn- und Bürogebäuden eingesetzt werden, kommen Bodenaktivierungen häufig in Produktions- und Lagerhallen zum Einsatz. Neue Ansätze wie aktivierte Massivholzdecken oder nachträgliche Aktivierung von Bestandswänden erweitern das Anwendungsspektrum besonders für Sanierungen. Die geringen notwendigen Vorlauf- und Rücklauftemperaturen sowie die Speicherfähigkeit prädestinieren BTA für den effizienten Betrieb mit erneuerbaren Energieträgern wie Wärmepumpen, Solarthermie, Photovoltaik und freier Kühlung.

Das Monitoring zeigt große Bandbreiten bei Heiz- und Kühlenergieverbräuchen, insgesamt aber ein niedriges energetisches Niveau. Die Systeme arbeiten stabil mit moderaten Spreizungen und weisen hohe Speicherkapazitäten auf. Raumtemperaturmessungen bestätigen ein sehr konstantes Komfortniveau, überwiegend im Bereich der Behaglichkeitskategorie II.

Interviews und Nutzer:innenbefragungen belegen eine hohe Akzeptanz: Rund 85 % sind mit Temperatur und Behaglichkeit sehr zufrieden. Die Trägheit des Systems wird zwar wahrgenommen, aber selten als störend bewertet. Planende betonen Vorteile wie Energieeffizienz und geringe Betriebskosten, verweisen aber auf höheren Koordinationsaufwand und fehlende standardisierte Regelungsstrategien.

Wirtschaftlich zeigt BTA deutliche Vorteile: Trotz höherer Anfangskosten führen geringere Energie- und Wartungskosten zu niedrigeren Lebenszykluskosten; Einsparungen von 15–40 % sind möglich. Zudem bietet die große Speichermasse beträchtliches Flexibilitätspotenzial zur Nutzung variabler Stromtarife und zur Integration erneuerbarer Energien. Die aktive Kopplung mit Strom- und Wärmenetzen ist jedoch aufgrund regulatorischer Hürden und fehlender Marktmechanismen noch gering. Studien empfehlen dynamische Tarife, prädiktive Regelungen und Aggregationsmodelle, um die Systemintegration zu stärken und das große Speicherpotenzial bauteilaktiver Gebäude nutzbar zu machen.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Studie bestätigt, dass thermisch aktivierte Bauteile (TABS) in allen Gebäudeklassen effizient einsetzbar sind. Die Technologie nutzt die thermische Masse von Decken, Böden oder Wänden als integriertes Heiz- und Kühlsystem und ermöglicht dadurch eine zugfreie, gleichmäßige Raumtemperierung bei hoher Energieeffizienz. Durch niedrige Systemtemperaturen eignen sich TABS besonders für den Betrieb mit Wärmepumpen, Solarthermie, Geothermie und freier Kühlung. Neben Beton kommen zunehmend Massivholzdecken sowie nachträgliche Aktivierungssysteme wie bspw. CEPA im Bestand zum Einsatz. Die Messungen zeigen typische Vorlauftemperaturen von 29 °C (Heizen) bzw. 19 °C (Kühlen) und niedrige Energieverbräuche (Heizen Median 37,8 kWh/m²_{BGFa}; Kühlen 11,5 kWh/m²_{BGFa}). Die Gebäude erreichen überwiegend hohe Komfortkategorien bei sehr stabilen Raumtemperaturen. Die hohe Speicherkapazität der Bauteile macht Gebäude zudem zu wirkungsvollen thermischen Puffern im Energiesystem.

Für die Planung wird eine frühe, integrale Koordination von Architektur, Tragwerk, Bauphysik und Gebäudetechnik empfohlen. Materialien und Bauteile sind passend zu wählen, im Neubau idealerweise Beton oder aktivierbares Holz, im Bestand CEPA oder ähnliche Systeme. Eine Auslegung auf Niedertemperaturbetrieb, vorausschauende Regelstrategien sowie die Kombination mit regenerativen Quellen und freier Kühlung erhöhen Effizienz und Flexibilität. Monitoring und Qualitätssicherung im ersten Betriebsjahr sichern eine korrekte Anlagenfunktion. Lebenszykluskostenanalysen zeigen, dass trotz höherer Anfangsinvestitionen langfristig deutlich geringere Kosten als bei konventionellen Systemen entstehen.

Politik und Institutionen sollten TABS als strategisches Instrument für Dekarbonisierung und Energieflexibilität verankern. Notwendig sind die Anerkennung der dynamischen Speicherfähigkeit in Energieausweisen und Förderlogiken, die Einführung variabler Stromtarife und der Aufbau von Flexibilitätsmärkten. Standardisierte Schnittstellen, Normen und Qualitätssicherungsprozesse erleichtern Planung und Systemintegration. Forschung, Ausbildung und Wissenstransfer – etwa über Kompetenznetzwerke oder Demonstrationsprojekte – sind auszubauen. Gleichzeitig braucht es den weiteren Ausbau digitaler Infrastruktur, insbesondere Smart Meter und interoperable Datenschnittstellen. Durch stärkere Kopplung von Strom- und Wärmenetzen sowie Berücksichtigung in Quartierskonzepten kann die Bauteilaktivierung ein wichtiger Baustein für ein klimaneutrales, resilientes Energiesystem werden.

2 Abstract

Background and Project Content

The research project "Broad-Based Testing of Energy-Efficient Demonstration Buildings with Thermally Activated Building Components" was the first to systematically investigate a wide range of new and renovated buildings with thermally activated building components across Austria as part of the "City of the Future" program. Sixteen buildings with diverse uses were examined – from single-family homes to production and office buildings. The aim was to identify the applications, performance, comfort effects, and optimization potential of thermally activated building components and to provide comparable, reliable data for future construction projects. The selection of demonstrators focused on a high degree of diversity with regard to activated materials (concrete, solid wood, brick), surfaces (ceiling, wall, floor), building application, use (heating, cooling), building quality and age, as well as heating and cooling supply concepts. A standardized measurement concept for recording energy and performance data, temperatures, flow rates, and, in the extended monitoring phase, operative temperatures according to ÖNORM EN 7730, was applied to all demonstrators. In addition, user surveys and expert interviews were conducted to gather subjective experiences, decision criteria, and operational aspects. Based on energy and comfort-related evaluations, building-specific optimizations were derived. Finally, the results were aggregated and recommendations were formulated for the planning, design, and operation of future thermally activated buildings.

Results

The comprehensive study of thermally activated building components (TABs) in 16 Austrian demonstration buildings shows that the technology can be used efficiently in all building types – residential, educational, office, commercial, and industrial. TABs utilize the thermal mass of ceilings, floors, or walls for heat and cold distribution, thus replacing conventional heating and cooling systems. This reduces technical complexity, lowers life cycle costs, and enables draft-free, silent, and uniform room temperatures. While ceiling activations are primarily used in residential and office buildings, floor activations are frequently employed in production and storage facilities. New approaches, such as activated solid wood ceilings or the retrofitting of existing walls, expand the range of applications, particularly for renovations. The low required supply and return temperatures, as well as the thermal storage capacity, make TABs ideal for efficient operation with renewable energy sources such as heat pumps, solar thermal energy, photovoltaics, and free cooling. Monitoring reveals wide ranges in heating and cooling energy consumption, but overall a low energy level. The systems operate stably with moderate temperature fluctuations and exhibit high storage capacities. Room temperature measurements confirm a very consistent comfort level, predominantly within comfort category II. Interviews and user surveys demonstrate high acceptance: Approximately 85% are very satisfied with the temperature and comfort. While the system's inertia is noticed, it is rarely considered a problem. Planners emphasize advantages such as energy efficiency and low operating costs but point to higher coordination efforts and a lack of standardized control strategies. Economically, BTA offers clear advantages: Despite higher initial costs, lower energy and maintenance costs lead to lower life cycle costs; savings of 15–40% are possible. Furthermore, the large storage mass offers considerable flexibility potential for utilizing variable electricity tariffs and integrating renewable energy sources. However, active coupling with electricity and heat networks is still limited due to regulatory hurdles

and a lack of market mechanisms. Studies recommend dynamic tariffs, predictive regulations and aggregation models to strengthen system integration and to utilize the large storage potential of building components activated.

Conclusions and Recommendations

This study confirms that thermally activated building components (TABs) can be used efficiently in all building classes. This technology utilizes the thermal mass of ceilings, floors, or walls as an integrated heating and cooling system, enabling draft-free, uniform room temperature control with high energy efficiency. Due to low system temperatures, TABs are particularly suitable for operation with heat pumps, solar thermal systems, geothermal energy, and free cooling. In addition to concrete, solid wood ceilings and retrofit activation systems such as CEPA are increasingly being used in existing buildings. The measurements show typical flow temperatures of 29 °C (heating) and 19 °C (cooling) and low energy consumption (heating median 37.8 kWh/m²_{GFA}; cooling 11.5 kWh/m²_{GFA}). The buildings predominantly achieve high comfort categories with very stable room temperatures. The high storage capacity of the components also makes buildings effective thermal buffers in the energy system. Early, integrated coordination of architecture, structural engineering, building physics, and building services are recommended for planning. Materials and components should be selected appropriately; ideally, concrete or activated wood for new buildings, and CEPA or similar systems for existing buildings. Design for low-temperature operation, predictive control strategies, and combination with renewable energy sources and free cooling increase efficiency and flexibility. Monitoring and quality assurance during the first year of operation ensure correct system function. Life cycle cost analyses show that, despite higher initial investments, significantly lower costs are incurred in the long term compared to conventional systems. Policymakers and institutions should establish TABS as a strategic instrument for decarbonization and energy flexibility. This requires the recognition of dynamic storage capacity in energy performance certificates and funding programs, the introduction of variable electricity tariffs, and the development of flexibility markets. Standardized interfaces, norms, and quality assurance processes facilitate planning and system integration. Research, training, and knowledge transfer—for example, through competence networks or demonstration projects—must be expanded. At the same time, further development of digital infrastructure is needed, particularly smart meters and interoperable data interfaces. By more closely coupling electricity and heat networks and taking them into account in neighborhood concepts, component activation can become an important building block for a climate-neutral, resilient energy system.

3 Ausgangslage und Projektinhalt

3.1 Ausgangslage

Das Projekt „Breitentest von energieeffizienten Demonstrationsgebäuden mit thermisch aktivierten Bauteilen“ wurde im Rahmen der 8. Ausschreibung Stadt der Zukunft als F&E-Dienstleistung ausgeschrieben. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden bislang kaum untersuchte bauteilaktivierte Gebäude in ganz Österreich – Neubauten oder Sanierungen – in vielen Nutzungskategorien (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Wohnanlage, Dienstleistungs- und Produktionsgebäude, Gewerbe- und Bürobauten) wissenschaftlich untersucht. Dabei wurden sowohl Auslegungs- und Betriebsdaten als auch Erfahrungen von Investor:innen, Planenden, umsetzenden Betrieben und Gebäudenutzenden einbezogen. Ziel der Dienstleistung lag darin, die vielfältigen Anwendungen von Bauteilaktivierung systematisch zu untersuchen, mithilfe geeigneter Bewertungskriterien die Pilotprojekte zu vergleichen, vergleichbare und belastbare Messergebnisse von bauteilaktivierten Gebäuden zu erhalten, den Stand des Wissens zu erweitern und die Ergebnisse für zukünftige Bauvorhaben breit zugänglich zu machen.

Im Rahmen des Projekts wurde festgestellt, dass

- sich neben Beton auch andere Materialien wie Vollholz oder Bestandswände unter bestimmten Voraussetzungen für die thermische Aktivierung eignen
- sich unterschiedliche konstruktive Elemente für die thermische Aktivierung eignen. Meist erfolgt die thermische Aktivierung über die Raumdecken. In diesem Fall wird sowohl im Heiz- als auch im Kühlfall ein hoher Raumkomfort erreicht. Die Bodenaktivierung wird primär für das Heizen von Lager- oder Produktionshallen eingesetzt. Im Zuge von thermischer Sanierung von Bestandsgebäuden kann durch geeignete Systeme die Aktivierung der Bestandswand erfolgen.
- Bauteilaktivierung in einem weiten Bereich von spezifischen Heiz- und Kühlenergiebedarf der Gebäude einsetzbar ist.
- Für die Regelung der Bauteilaktivierung meist Regelungsstrategien von Fußbodenheizungen zum Einsatz kommen, welche die höhere Trägheit der aktivierten Bauteile nicht ausreichend berücksichtigt. Dadurch wird in vielen Fällen das volle Potential der Bauteilaktivierung (z.B. hinsichtlich aktiver Speichernutzung) nicht ausgeschöpft.
- Sich alle Gebäude durch einen sehr hohen Raumkomfort mit ganzjährig gleichmäßiger Raumlufttemperatur auszeichnen und daher auch sehr hohe Zufriedenheitswerte bei den Nutzer:innen festzustellen sind.

3.2 Übersicht der Demonstrationsgebäude

Für den Breitentest wurden insgesamt 16 innovative Demonstrationsgebäude ausgewählt. Wesentliche Parameter für die Gebäudeauswahl waren die Nutzung, das Versorgungskonzept, die Anwendung der Bauteilaktivierung, das aktivierte Material sowie das verwendete Rohrmaterial, das Gebäudealter, das Versorgungskonzept sowie weitere Besonderheiten und innovative Aspekte. Darüber hinaus war eine gute österreichweite Verteilung der Demonstrationsgebäude von Bedeutung.

Tabelle 1: Überblick Demonstrationsgebäude

Objekt	Bundesland	Gebäudenutzung	Zusammenfassung Versorgungskonzept	BTA als Abgabesystem für	Bauteile und Flächen	BGF	Aktiviertes Material	Rohrmaterial	Besonderheiten und Innovative Aspekte	Gebäudestatus
MAM Zentrale	Burgenland	ca. 70% Büro, ca. 15% Labor, ca. 15% Prototypen-Prod. v. Babyprodukten	Sole-Wasser-Wärmepumpe (Tiefensonde) Netz-Überschussstrom	Heizen und Kühlen	ca. 4.500 m ² (Decken), ca. 500 m ² (Boden)	ca. 4.500 m ²	Ortbeton	Kunststoff	Doppelboden für Belüftung	Fertigstellung 2021
EIV Campus V	Vorarlberg	Büro, Labor	Fernwärme, Kompressionskälteanlage	Heizen und Kühlen	2.500 m ² (Decken)	3.290 m ²	Ortbeton	Kupfer	Massivbau in Niedrigst-Energiestandard Sanierung	Errichtung 1996, Sanierung 2015
Fröschl Haus	Tirol	Büro	Wasser-Wasser-Wärmepumpe (Grundwasser) Freecooling Photovoltaik	Heizen und Kühlen	ca. 3.700 m ² (Decken)	8.792 m ²	Ortbeton	Kunststoff	Passivhaus klimaaktive, luftreinigende Fassade	Fertigstellung 2021
LITE GmbH	Niederösterreich	ca. 30% Büro, ca. 70% Produktion/Lager	Produktionsabwärme Backup: Sole-Wasser-Wärmepumpe (Tiefensonde)	Heizen und Kühlen	ca. 3.000 m ² (Büro: Decke, Lager: Boden)	ca. 3.000 m ²	Ortbeton	Kunststoff	Prozessabwärme für Heizung Kühlung auch im Winter notwendig Freecooling	Fertigstellung 2021
WHA Rostthorngasse	Wien	Geschosswohnbau	Wasser-Wasser-Wärmepumpe (Grundwasser) Freecooling	Heizen und Kühlen	6.184 m ² BGF (Decken)	6.184 m ²	Ortbeton	Kunststoff	Ganzjährige Raumtemperierung und Warmwasserbereitung über Grundwasser	Fertigstellung 2021
BG Graspointner	Oberösterreich	Lagerhalle, Produktionshalle, Büro Hersteller von Betonfertigteilen	Sole-Wasser-Wärmepumpe (Tiefensonde), freie Kühlung, PV-Anlage, Solarthermie-Anlage	Heizen und Kühlen	800 m ² Büro 980 m ² Produktionshalle 50m ² Labor 1.422 m ² Lager	3.252 m ²	Ortbeton	Kunststoff	lokale Solarthermie und PV freie Kühlung	Fertigstellung 2021
Gugler Holding GmbH	Oberösterreich	ca. 60% Büro, ca. 40% Produktionshalle	Wasser-Wasser-Wärmepumpe (Grundwasser) Freecooling	Heizen und Kühlen	1.845 m ² Büro (Decken), 1.170 m ² Maschinenhalle (Boden)	3.015 m ²	Ortbeton	Kunststoff	Aktiviert Cobiaxdecke klein dimensionierte Wärmepumpe	Neubau 2019
Steiner Haustechnik	Salzburg	ca. 20% Büro, ca. 80% Lager Großhandel für Haustechnik	Sole-Wasser-Wärmepumpe (Tiefensonde) Photovoltaik	Heizen und Kühlen	ca. 3.500 m ² Büro (Decken) ca. 11.500 m ² Lager (Boden)	ca. 15.000 m ²	Ortbeton, Elementdecken	Kunststoff	abgehängte Decke klein dimensionierte Wärmepumpe Freecooling	Neubau 2016

Objekt	Bundesland	Gebäudenutzung	Zusammenfassung Versorgungskonzept	BTA als Abgabesystem für	Bauteile und Flächen	BGF	Aktiviertes Material	Rohrmaterial	Besonderheiten und Innovative Aspekte	Gebäudestatus
Auenwerkstatt	Salzburg	Schulungsgebäude	Solarthermie (Heizung) Erdkollektor (Freecooling) Biodiesel KWK Photovoltaik	Heizen und Kühlen	ca. 300 m ² (Holzdecken) 340 m ² Boden	425 m ²	Ortbeton (Boden) Massivholz (Decken)	Kunststoff	Aktivierte Holzdecke Autarkes Gebäude PV-Anlage mit Nachführung Batteriespeicher	Fertigstellung 2022
ZFH Thoma	Salzburg	Zweifamilienhaus	Sole-Wasser-Wärmepumpe (Tiefensonde) Freecooling Photovoltaik	Heizen und Kühlen	105 m ² (Decke)	277 m ²	Vollholz	Alu-Verbundrohr	Vollholz-Aktivierung lokale Stromerzeugung Freecooling	Fertigstellung 2023
Haus der Generationen	Tirol	Betreutes Wohnen, Kindergarten, Vereinsraum	erneuerbare Fernwärme Freecooling (Grundwasser) Photovoltaik	nur Kühlen im Kindergarten	1.655 m ² (Zwischendecken)	3.267 m ²	Ortbeton	Kunststoff	lokale Stromerzeugung reine Kühlanwendung Passivhaus	Neubau 2020
Headquarter Act4energy	Burgenland	Büro, Gastronomie, Seminarraum	Luft-Wasser-Wärmepumpe Photovoltaik	nur Kühlen	ca. 700 m ² (Decken)	1.427 m ²	Ortbeton	Kunststoff	lokale Stromerzeugung reine Kühlanwendung	Fertigstellung 2020
SüdSan	Vorarlberg	Geschosswohnbau	Luft-Wasser-Wärmepumpe	nur Heizen	ca. 550m ² Außenwände	234 m ²	Ziegel	Alu-Verbundrohr	nachträgliche Bauteilaktivierung der Aussenwand (von außen) und Anbringung einer Dämmschicht	Fertigstellung 2024
Hörburger GmbH & Co KG	Vorarlberg	Produktionshalle Spenglerei Lüftungsbau, Büro	Wasser-Wasser-Wärmepumpe (Grundwasser) Photovoltaik Abwärme aus Druckluftkompressoren	Heizen und Kühlen in der Produktionshalle	1.620 m ² (Boden)	2.300 m ²	Ortbeton	Kunststoff	lokale Stromerzeugung Abwärmenutzung Kombinierter Pufferspeicher für Wärme und Kälte (Typ Zortström)	Neubau 2020
Käthe-Dorsch-Gasse	Wien	Wohnhausanlage	Sole-Wasser-Wärmepumpe (Tiefensonde) Netz-Überschussstrom WW-Bereitung via Abwasser-Wärmepumpe solare Regeneration des Sondenfelds	Heizen und Kühlen	ca. 23 .000 m ² (Decke)	ca. 20.000 m ²	Ortbeton	Kunststoff	Netz-Überschussstrom (Wind) Gesamtversorgungskonzept	Fertigstellung 2022
BOKU TüWi-Gebäude	Wien	Universität mit Nutzungszonen Büro, Unterricht, Gastronomie	Sole-Wasser-Wärmepumpe (Tiefensonde) Solarthermie Photovoltaik Fernwärme Abwärme aus Kälteerzeugung	Heizen und Kühlen im Bereich Büro	1.198 m ² (Decke)	ca. 4.800 m ²	Ortbeton	Kunststoff	Mischbauweise Holz/Beton Lokale Strom- und Wärmeerzeugung Passivhaus	Neubau 2018

Die finale Gebäudeauswahl erfolgte in enger Abstimmung mit dem Programmmanagement Stadt der Zukunft.

3.3 Methodische Vorgangsweise

Die Begleitung der einzelnen Demonstratoren erfolgte entsprechend folgender methodischer Vorgangsweise:

1. Kooperationsvereinbarung & Messkonzept

Nach Klärung der generellen Teilnahmebereitschaft wurde hinsichtlich Nutzung von Messdaten, Fotos und anderer Informationen eine Kooperationsvereinbarung mit dem Demonstratorverantwortlichen unterzeichnet und das Messkonzept ausgearbeitet.

Als Grundlage diente ein einheitliches, minimal definiertes Messkonzept, dass die Messung und Bewertung der Bauteilaktivierung in den Mittelpunkt stellen. Über Wärmezähler werden Energie, Leistung, Vorlauf- und Rücklauftemperaturen sowie Durchfluss im Heiz- und Kühlkreis erfasst; teils ergänzen Kerntemperaturfühler die Datenerhebung. Zusammen mit Außen- und Raumtemperaturmessungen ermöglicht diese Sensorik eine aussagekräftige Charakterisierung des Anlagenbetriebs. Zusätzlich werden Messdaten der Erzeuger und des Netzstrombezugs aufgezeichnet.

In einigen Anlagen war kein vollständiges Schließen der Energiebilanz möglich, dennoch erlaubt das Konzept in allen Fällen eine fundierte Bewertung der Bauteilaktivierung.

Ein Schwerpunkt des Monitorings liegt auf dem thermischen Raumkomfort. Dafür wurde ein kompaktes, aussagekräftiges Konzept entwickelt. Gemeinsam mit den Gebäudeeigentümer:innen wurden zu Beginn der Messkampagne Referenzräume festgelegt, in denen die Raumlufttemperatur (teilweise auch die relative Luftfeuchtigkeit) ganzjährig mindestens viertelstündlich erfasst wurde. Zusätzlich wurde in diesen Räumen quartalsweise die Oberflächentemperaturen mittels Spotmessgerät aufgenommen, um daraus die operative Raumtemperatur zu. Zur weiteren Vertiefung wurden fünf Demonstratoren für ein erweitertes Komfortmonitoring ausgewählt. In diesen Gebäuden erfolgten jeweils im Winter und Sommer ein- bis zweiwöchige Detailmessungen gemäß ÖNORM EN 7730. Die ausgewählten Demonstratoren samt Auswahlkriterium sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Ausgewählte Demonstratoren für das vertiefte Behaglichkeitsmonitoring

Demonstrator für vertieftes Behaglichkeitsmonitoring	Auswahlkriterium
BOKU Türkenwirtgebäude, W	Universität
Fa. Gugler, OÖ	Cobias-Decke
WHA Käthe Dorsch Gasse, W	WHA
Auenwerkstatt, Sbg	Holzaktivierung
HQ act4energy, B	Bürogebäude

Es wurde ein Konzept zur Erhebung der subjektiven Nutzerzufriedenheit entwickelt und mittels einer quantitativen Onlinebefragung (LimeSurvey) umgesetzt. Abgefragt wurden u.a. die Lage und

Verschattung der Räume, das Wissen über das Energieversorgungssystem, der Umgang mit den Besonderheiten der Bauteilaktivierung (z. B. träge Reaktion, Regelungsmöglichkeiten) sowie das subjektive Komfortempfinden hinsichtlich Temperatur, Luftfeuchte und Behaglichkeit. Zusätzlich wurden die Kenntnis über den Einfluss des Nutzerverhaltens und eine mögliche Einschulung in das System erhoben.

Zusätzlich wurden leitfadengestützte Interviews mit Praktiker:innen, Expert:innen und Stakeholdern aus Planung, Umsetzung und Betrieb bauteilaktivierter Systeme durchgeführt. Ziel war es, Erfahrungen und Einschätzungen anhand eines einheitlichen Fragenkatalogs zu erfassen. Thematisiert wurden unter anderem die Bekanntheit und Vorbilder der Technologie, wahrgenommene Vor- und Nachteile, Entscheidungskriterien für den Einsatz, Erfahrungen im Betrieb, mögliche Änderungen bei einer erneuten Entscheidung sowie notwendige Rahmenbedingungen zur weiteren Förderung der Bauteilaktivierung.

2. Messtechnikinstallation und Datenanbindung

Es wurde nach Möglichkeit auf bestehende Messtechnik zurückgegriffen, vereinzelt musste Sensorik nachgerüstet werden. In Abstimmung mit den Verantwortlichen bei den Demonstratoren wurden Varianten zur Datenübertragung erarbeitet.

3. Monitoring & Auswertung

Im Zuge des zumindest einjährigen Monitorings (Abbildung 1) wurden die energetische Performance des Gesamtsystems mit Fokus auf die Bauteilaktivierung sowie der Raumkomfort gemessen und bewertet. Ergänzend zur Analyse der Zeitreihendaten wurden die quartalsweisen Spotmessungen in die Bewertung einbezogen, Nutzer:innen-Befragungen sowie bei ausgewählten Demonstratoren Komfort-Detailmessungen durchgeführt (siehe oben).

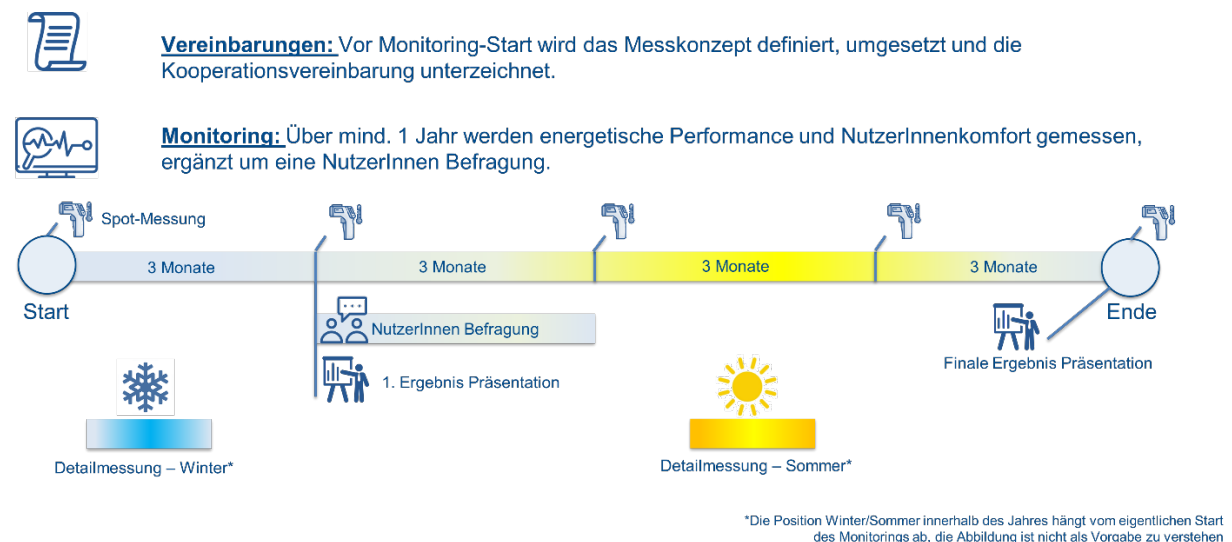


Abbildung 1: Typischer Ablauf der Monitoringperiode pro Demonstrator (Quelle: AEE INTEC)

4. objektspezifische Optimierungsmaßnahmen

Im Zuge der Detailanalyse der Messdaten wurden Optimierungspotenziale abgeleitet und mit den Objekteigentümern bzw. -betreibern diskutiert.

5. Ableitung von aggregierten Ergebnissen & Empfehlungen

Die Ergebnisse aus allen Demonstratoren wurden zusammengefasst und daraus Empfehlungen für zukünftige Bauvorhaben formuliert.

3.4 Beschreibung der Energiekennzahlen

Die Kriterien, welche für die Bewertung der Demonstratoren eingesetzt wurden, sind wie folgt definiert.

Tabelle 3: Definition der Demonstrator-Bewertungskriterien

KPI	Einheit	Bestimmung
<i>Gesamtobjekt</i>		
Brutto-Grundfläche (BGF)	m ²	Lt. Energieausweis
Bezugsfläche (BF)	m ²	Lt. Energieausweis
Gebäude-Heizlast	kW	Ermittlung über die im Energieausweis angeführten Leitwerte für Transmission und Lüftung und einem Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen von 33 K
Spez. Gebäude-Heizlast	W/m ² _{BF}	Gebäude-Heizlast bezogen auf die Bezugsfläche
Installierte Heizleistung	kW	Leistungsdaten aus Planungsunterlagen bzw. Energieausweis
Spez. Installierte Heizleistung	W/m ² _{BF}	Installierte Heizleistung bezogen auf die Bezugsfläche
Gemessene max. Heizleistung	kW	maximaler gemessener 24h-Mittelwert der Heizleistung für das Gesamtgebäude
Gemessene spez. max. Heizleistung	W/m ² _{BF}	maximaler gemessener 24h-Mittelwert der Heizleistung für das Gesamtgebäude bezogen auf Bezugsfläche
Heizenergieverbrauch	kWh/m ² _{BGFa}	Summe des nutzerseitigen Heizenergieverbrauchs bezogen auf die BGF
Kühlenergieverbrauch	kWh/m ² _{BGFa}	Summe des nutzerseitigen Kühlenergieverbrauchs bezogen auf die BGF
<i>Thermische Bauteilaktivierung</i>		
Aktivierte Fläche	m ²	Anteil der Nutzfläche, der mittels BTA aktiviert ist

Speicherkapazität	kWh/K	Aktivierte Fläche * Bauteildicke * Wärmekapazität * Dichte															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th><th>Wärmekapazität</th><th>Dichte</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Beton (DIN1045-2, 2008)</td><td>1 kJ/kgK</td><td>2.400 kg/m³</td></tr> <tr> <td>Cobiax-Decke (Annahme)</td><td>1 kJ/kgK</td><td>1.200 kg/m³</td></tr> <tr> <td>Vollholz</td><td>1,3 kJ/kgK ¹</td><td>440 kg/m³ ²</td></tr> <tr> <td>Ziegel (M. Gumhalter, 2022)</td><td>0,936 kJ/kgK</td><td>500 kg/m³</td></tr> </tbody> </table>			Material	Wärmekapazität	Dichte	Beton (DIN1045-2, 2008)	1 kJ/kgK	2.400 kg/m ³	Cobiax-Decke (Annahme)	1 kJ/kgK	1.200 kg/m ³	Vollholz	1,3 kJ/kgK ¹	440 kg/m ³ ²	Ziegel (M. Gumhalter, 2022)	0,936 kJ/kgK	500 kg/m ³
Material	Wärmekapazität	Dichte															
Beton (DIN1045-2, 2008)	1 kJ/kgK	2.400 kg/m ³															
Cobiax-Decke (Annahme)	1 kJ/kgK	1.200 kg/m ³															
Vollholz	1,3 kJ/kgK ¹	440 kg/m ³ ²															
Ziegel (M. Gumhalter, 2022)	0,936 kJ/kgK	500 kg/m ³															
Spez. Speicherkapazität	kWh/m ² K	Speicherkapazität bezogen auf BGF															
Deckungsgrad lokaler Energieträger	%	Anteil der lokalen Energieträger am Gesamtenergieverbrauch für Heizung/Kühlung															
Max. Heizleistung	kW	maximaler gemessener 24h-Mittelwert der Heizleistung der BTA															
Max. spez. Heizleistung	W/m ² _{akt}	maximale Heizleistung der BTA bezogen auf die aktivierte Fläche															
Vorlauftemperatur Heizen	°C	Bereich der Vorlauftemperatur im Heizbetrieb															
Spreizung bei max. Heizleistung	K	Spreizung von Vorlauf- & Rücklauftemperatur bei maximaler BTA-Heizleistung (24h-Mittelwert)															
Max. Kühlleistung	kW	maximaler gemessener 24h-Mittelwert der Kühlleistung der BTA															
Max. spez. Kühlleistung	W/m ² _{akt}	maximale Kühlleistung der BTA bezogen auf die aktivierte Fläche															
Vorlauftemperatur Kühlen	°C	Bereich der Vorlauftemperatur im Kühlbetrieb															
Spreizung bei max. Kühlleistung	K	Spreizung von Vorlauf- & Rücklauftemperatur bei maximaler BTA-Kühlleistung (24h-Mittelwert)															

¹ <https://cltprofi.com/de/technische-daten/> (abgerufen am 6.5.2024)

² Mittelwert aus Messreihen von CLT-Elementen der FH Salzburg

4 Ergebnisse

4.1 Anwendungsmöglichkeiten und energetische Effizienz

Bei der Gebäudeauswahl der Demonstratoren wurde großer Wert auf eine hohe Diversität hinsichtlich Gebäudeanwendung, unterschiedlicher aktivierter Materialien und Bauteilen sowie Versorgungskonzepten sowie eine breite Verteilung über Österreich gelegt. So konnte gezeigt werden, dass sich die Einsatzmöglichkeiten von Bauteilaktivierung durch alle Gebäudeklassen ziehen. Im Zuge des Projekts wurden Wohngebäude (Einfamilienhaus bis mehrgeschossigen Wohnbau), Bildungseinrichtungen (Universität, Schulungsgebäude, Kindergarten) sowie unterschiedliche Bürogebäude ergänzt um Gewerbe-, Labor-, Lager- und Produktionsflächen (zusammengefasst unter „Büro+“) in ganz Österreich eingehend untersucht (Abbildung 2). Ergänzt wird dieses umfassende Bild durch Messergebnisse von Sport- und Veranstaltungshallen aus anderen Forschungsprojekten ((Fink C., 2019), (Lampersberger P., 2021)).

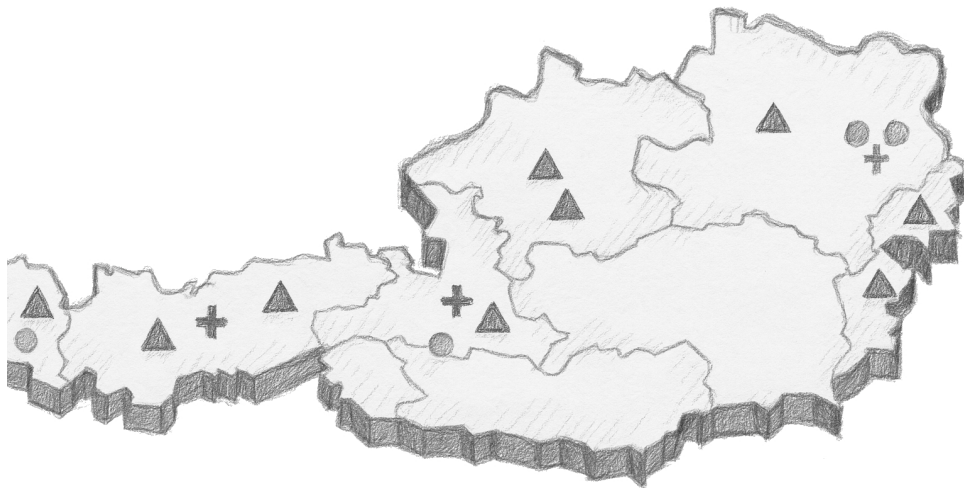


Abbildung 2: Verteilung der Demonstratoren über Österreich (Dreieck: Büro+; Kreis: Wohnen; Kreuz: Bildung; KI-generiert)

Bei allen Demonstratoren stellt die thermische Bauteilaktivierung ein zentrales Element moderner, energieeffizienter Gebäudekonzepte dar. Sie nutzt die thermische Speichermasse der Gebäudestruktur – insbesondere von Decken, Wänden oder Bodenplatten – als integratives Medium zur Wärme- und Kälteverteilung. Ein wesentliches Merkmal dieser Technologie liegt darin, dass sie als einziges Wärme- und Kälteverteilungssystem fungieren kann. Anders als konventionelle Systeme, die auf separate Heizkörper, Kühldecken oder Luftsysteme angewiesen sind, erfolgt die thermische Konditionierung der Räume vollständig über die aktivierten Bauteile. Dadurch werden technischer Aufwand und Lebenszykluskosten reduziert, die Wartung vereinfacht und sichtbare Installationen vermieden. Gleichzeitig ermöglicht das System eine gleichmäßige Raumtemperierung ohne Zugerscheinungen oder Geräuschemissionen. Die Wärmeübertragung erfolgt überwiegend über Strahlung, wodurch ein besonders behagliches Raumklima erreicht wird.

In Büro-, Verwaltungs- und Wohngebäuden wird die Bauteilaktivierung primär über die Deckenflächen realisiert. Hierzu liegen Ergebnisse von 14 Anwendungen im Zuge dieser Studie vor. Diese

Konstruktionsweise verteilt Wärme und Kälte großflächig und gleichmäßig über den gesamten Raum und sorgt so für eine homogene Temperaturverteilung. Zugleich bleibt die Raumgestaltung flexibel, da keine sichtbaren Heizelemente oder Luftauslässe erforderlich sind. Bei der Planung zu beachten sind jedoch die Anbringung von Elementen zur Verbesserung der Raumakustik sowie der besondere Umgang mit abgehängten Decken³. Im Winter dient die Decke als Strahlungsheizer, der die gespeicherte Energie mit zeitlicher Verzögerung an den Raum abgibt; im Sommer wird über dasselbe System Kälte in die Gebäudemasse eingebracht, um Überhitzung zu vermeiden und Lastspitzen zu reduzieren.

In Lager- und Produktionshallen (z.B. bei 6 Demonstratoren im Projekt) wird die thermische Aktivierung vorzugsweise über den Boden umgesetzt. Diese Lösung nutzt die große Bodenfläche als effektiven Wärmeübertrager und gewährleistet eine gleichmäßige Temperaturverteilung im Aufenthaltsbereich. Besonders in großvolumigen Räumen ist die Beheizung über Luftsysteme ineffizient, da warme Luft nach oben steigt und der Nutzbereich unzureichend temperiert wird. Die Bodenaktivierung arbeitet dagegen mit Strahlungswärme und niedrigen Vorlauftemperaturen, wodurch die Energie direkt dort abgegeben wird, wo sie benötigt wird. Im Sommer kann das System zur Kühlung genutzt werden: Zirkulierendes Wasser leicht unter Raumtemperatur führt Wärme ab, wodurch die thermische Last reduziert und Temperaturschwankungen abgepuffert werden. Die große Masse und Speicherkapazität des Bodens tragen dabei wesentlich zur Erhöhung des thermischen Komforts bei.

Die Bauteilaktivierung verleiht den tragenden Konstruktionselementen eine zusätzliche Funktion. Neben ihrer statischen Aufgabe dienen sie zugleich als aktives thermisches Speichermedium. Diese Multifunktionalität entspricht dem Prinzip des integralen Planens, bei dem architektonische, bauphysikalische und haustechnische Aspekte zu einem Gesamtsystem verschmelzen. Die vorhandene Struktur wird so selbst Teil der Energieversorgung, was den Material- und Flächenbedarf reduziert und die architektonische Qualität durch den Verzicht auf sichtbare Technik erhöht.

Ein wesentlicher Vorteil der Bauteilaktivierung liegt in den moderaten Versorgungstemperaturen. Da die Wärmeübertragung über große Flächen erfolgt, genügt eine geringe Temperaturdifferenz zwischen Heiz- bzw. Kühlmedium und Raumluft. Diese Temperaturniveaus ermöglichen den effizienten Einsatz erneuerbarer Energien, insbesondere in Kombination mit Wärmepumpen, Solarthermie oder Geothermie. Dadurch lässt sich der Primärenergiebedarf deutlich senken und der CO₂-Ausstoß des Gebäudebetriebs minimieren. In praktisch allen Demonstratoren kam zudem „freie Kühlung“, also die Nutzung von Erdwärmetauschern oder Grundwasser zur direkten Abkühlung ohne aktiven Kälteprozess, zum Einsatz. Damit unterstützt die Bauteilaktivierung eine nachhaltige, zukunftsfähige Energieversorgung im Sinne der europäischen Klimaziele.

Bei der Umsetzung thermisch aktivierter Systeme spielt das verwendete Baumaterial eine zentrale Rolle für die Speicher- und Übertragungseigenschaften. Die Bauteilaktivierung wird derzeit vor allem im Neubau eingesetzt, da hier die Integration der Rohrregister bereits während des Rohbaus in die tragenden Strukturen erfolgen kann. In diesem Kontext kommt vornehmlich Beton zum Einsatz, dessen hohe Dichte und Wärmespeicherfähigkeit optimale Voraussetzungen für die Wärme- und Kälteübertragung bieten. Beton ermöglicht eine gleichmäßige Einbettung der Rohrsysteme, eine hohe

³ hierzu wurden von FIN – Future Is Now bereits praxiserprobte Lösungen entwickelt, die die Integration der Bauteilaktivierung trotz abgehängter Deckensysteme ermöglichen

thermische Leitfähigkeit sowie eine dauerhafte und wartungsfreie Funktion über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes. Die CO₂-Bilanz thermisch aktivierter Bauteile aus Beton wurde im Rahmen der Studie nicht untersucht. Grundsätzlich ist jedoch anzumerken, dass der hohe Energieaufwand in der Betonherstellung durch die lange Lebensdauer, Wartungsarmut und die Möglichkeit zur Nutzung erneuerbarer Energien im Betrieb teilweise kompensiert werden kann. Zudem wird derzeit intensiv an der Entwicklung von CO₂-reduziertem Beton geforscht – etwa durch klinkerarme Bindemittel, Geopolymere, den Einsatz von Sekundärrohstoffen oder Carbon-Capture-Verfahren – um die Emissionen der Zementproduktion deutlich zu senken, ohne die Materialqualität zu beeinträchtigen (Khung D., 2022) (Barbhuiya S., 2025).

Ein neuer Entwicklungsansatz liegt in der Aktivierung massiver Holzdecken. Durch die Kombination von Holz als nachwachsendem Baustoff mit integrierten wasserführenden Systemen lassen sich ökologische Vorteile mit thermischem Komfort verbinden. Im Zuge der Studie konnten zwei Gebäude mit aktivierten Massivholzdecken betrachtet werden.

Im Bereich der Gebäudesanierung gewinnt die nachträgliche Aktivierung bestehender Bauteile zunehmend an Bedeutung. Hierbei können Rohrsysteme in vorhandene Massivwände oder Decken integriert werden, um die thermische Speicherkapazität der Bestandsstruktur zu nutzen. Ein innovativer Ansatz in diesem Kontext ist das CEPA-System des Unternehmens Towner3000, das speziell für die energetische Aktivierung von Bestandswänden entwickelt wurde. CEPA („Concrete Energy Panel Activation“) ermöglicht die nachträgliche Integration von wasserführenden Rohrmodulen in bestehende Beton- oder Ziegelwände, ohne dass tiefgreifende bauliche Eingriffe erforderlich sind. Die Module werden oberflächennah eingebracht und mit einer wärmeleitfähigen Ausgleichsschicht versehen, wodurch eine effiziente Wärmeübertragung und Speichernutzung erreicht wird. Damit eröffnet das CEPA-System neue Möglichkeiten, die Vorteile der Bauteilaktivierung auch im Bestand nutzbar zu machen und den Übergang zu einer klimaneutralen Gebäudestruktur zu beschleunigen. Ein betrachteter Demonstrator nutzt dieses System.

Die Bauteilaktivierung verkörpert einen Low-Tech-Ansatz, der auf robuste, passive und wartungsarme Komponenten setzt. Anstelle komplexer Regeltechnik oder energieintensiver Luftsysteme arbeitet sie mit den physikalischen Grundprinzipien von Strahlung, Speicher und Trägheit. Das Ergebnis ist ein hoher thermischer Komfort bei minimaler technischer Komplexität. Die Strahlungswärme wird von den Nutzer:innen als besonders angenehm empfunden, da sie ohne Luftbewegung auskommt, eine gleichmäßige Temperaturverteilung gewährleistet und keine Geräusche oder Zugerscheinungen verursacht – ein Vorteil insbesondere in Büros, Schulen oder Wohngebäuden.

Ein zentrales Charakteristikum bauteilaktivierter Systeme ist ihre thermische Trägheit. Die große Speichermasse der Bauteile führt zu zeitverzögerten Temperaturänderungen, was sowohl Chancen als auch Herausforderungen mit sich bringt. Einerseits erlaubt die Speicherfähigkeit eine Lastverschiebung: Wärme oder Kälte kann in Zeiten niedriger Energiepreise oder hoher Erzeugung aus erneuerbaren Quellen eingebracht und über mehrere Stunden genutzt werden. Dies erfordert jedoch Wärme- bzw. Kälteerzeuger mit ausreichender Leistung, um diese relativ kurzen Zeiten effizient nutzen zu können. Andererseits erfordert das System eine vorausschauende Regelung, da kurzfristige Temperaturänderungen nur begrenzt möglich sind. Diese Trägheit eröffnet jedoch vielfältige Auslegungsmöglichkeiten für die Wärmeerzeuger. So können kleinere Wärmepumpen mit längeren Laufzeiten betrieben werden, was deren Effizienz steigert, die Anschaffungskosten und die elektrische Anschlussleistung reduziert. Dieser Auslegungs- und Betriebsfall konnte anhand von zwei

Demonstratoren (Steiner Haustechnik, Gugler Holding GmbH) betrachtet werden. Auch die Integration von Photovoltaik-Überschüssen in die thermische Speichermasse ist möglich, wodurch das Gebäude als aktiver Energiespeicher im Gesamtsystem agiert.

4.2 Aggregierte Ergebnisse aus dem technischen Monitoring der Demonstratoren

Die Auswertung der Heiz- und Kühlenergieverbräuche zeigt eine deutliche Bandbreite der gemessenen Werte und damit eine hohe Heterogenität innerhalb der betrachteten Gebäude (Abbildung 3). Der Median des Heizenergieverbrauchs beträgt $37,8 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$, was auf ein insgesamt effizientes energetisches Niveau schließen lässt. Die Werte reichen jedoch von sehr niedrigen $4,3 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ bis hin zu $76,4 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$. Diese breite Streuung verdeutlicht, dass die Gebäude hinsichtlich Nutzung, Bauweise und energetischem Standard stark variieren. Insbesondere die niedrigen Heizverbräuche deuten auf gut gedämmte Gebäude mit hohen internen Wärmegevinen oder eine besonders effiziente Regelstrategie hin, während höhere Werte auf ältere Baujahre, größere Volumina, intensivere Nutzung oder ungünstige Regelungsstrategien zurückzuführen sind. Ein weiterer Aspekt sind die durchwegs relativ hohen Raumtemperaturen, wie weiter unten gezeigt wird.

Beim Kühlenergieverbrauch liegt der Median bei $11,5 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$. Auch hier zeigen sich große Unterschiede zwischen den Gebäuden: Die Werte bewegen sich zwischen $1,1 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ und $34,6 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$. Gebäude mit höheren Kühlenergieverbräuchen weisen eine starke solare Einstrahlung mit teilweise unzureichender Verschattung, hohe interne Lasten oder Nutzungen mit erhöhtem Komfortanspruch auf. Insgesamt liegt das Kühlenergieniveau jedoch auf einem moderat niedrigen Niveau, was auf die Wirksamkeit großflächiger, träg reagierender Systeme wie der thermischen Bauteilaktivierung hinweist.

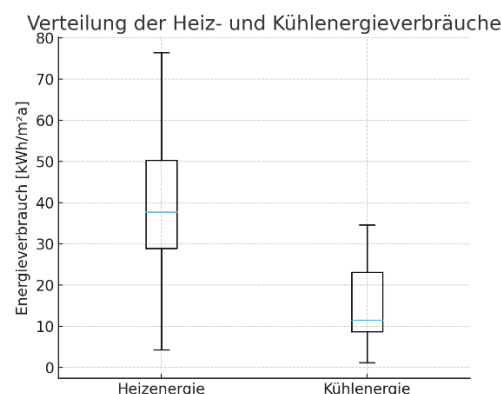


Abbildung 3: Darstellung der Messergebnisse von Heiz- und Kühlenergieverbrauch als Boxplot über alle Demonstratoren (AEE INTEC)

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die betrachteten Gebäude im Median ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Heiz- und Kühlenergiebedarf aufweisen, wobei die thermische Bauteilaktivierung offenbar zu einer Effizienzsteigerung und Lastglättung beiträgt. Die Ergebnisse bestätigen, dass aktivierte Bauteile in der Lage sind, den Heiz- und Kühlenergiebedarf auf einem niedrigen, komfortgerechten Niveau zu halten und sich flexibel an unterschiedliche Betriebsbedingungen anzupassen.

Die Analyse der gemessenen Vorlauftemperaturen bauteilaktivierter Systeme im Heizmodus zeigt eine deutliche Konzentration der Werte im Bereich zwischen 24 °C und 33 °C, wobei der Median bei rund 29 °C liegt (Abbildung 4). Damit bestätigt sich ein typischer Temperaturbereich, wie er für thermisch aktivierte Bauteile im Niedertemperaturbetrieb erwartet wird. Die untere Streuung (ca. 20–24 °C) deutet auf sehr effiziente Systeme oder geringe Heizlasten, etwa in hochgedämmten Neubauten, hin. Werte oberhalb von 35 °C treten vorwiegend bei Sanierungsfällen oder in Gebäuden mit höherem Wärmebedarf auf. Die oberen Extremwerte beim Heizen, wie Vorlauftemperaturen über 40 °C, stellen Sonderfälle dar – in diesem Fall die nachträgliche thermische Aktivierung einer Bestandswand. Insgesamt untermauern die Ergebnisse die hohe Effizienz und Flexibilität von Bauteilaktivierungen im Heizmodus bei geringen Vorlauftemperaturen. Im Kühlbetrieb liegen die Vorlauftemperaturen erwartungsgemäß deutlich niedriger: Der Median beträgt rund 18 °C, mit einem Spannungsbereich zwischen 15 °C und 24 °C.

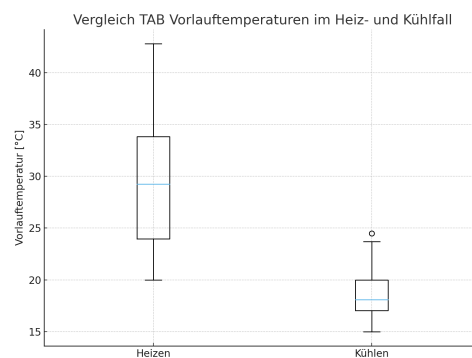


Abbildung 4: Messergebnisse der Vorlauftemperaturen im Heiz- und Kühlfall dargestellt als Boxplot über alle Demonstratoren (AEE INTEC)

Die Auswertung der maximalen Spreizungen zwischen Vor- und Rücklauftemperatur der thermisch aktivierten Bauteile im Heiz- und Kühlbetrieb zeigt deutliche Unterschiede in der Systemcharakteristik (Abbildung 5). Im Heizmodus liegt der Median der Spreizung bei rund 5,5 K, mit einer typischen Spannweite von 4 K bis 7,5 K. Dies entspricht einem stabilen und effizienten Betrieb mit moderaten Temperaturdifferenzen zwischen Vor- und Rücklauf. Auch hier stellt die nachträgliche thermische Aktivierung der Außenwand einen Sonderfall dar, wo 11,9 K vorliegen. Im Kühlbetrieb ist die Spreizung deutlich geringer, mit einem Median von etwa 2,9 K und einer Hauptstreuung zwischen 1,8 K und 3 K. Das Boxplot verdeutlicht somit die unterschiedlichen hydraulischen Betriebsstrategien: Während im Heizfall größere Temperaturdifferenzen genutzt werden, um die Wärmeübertragung zu optimieren, wird im Kühlbetrieb eine engere Spreizung gefahren, um gleichmäßigere Oberflächentemperaturen und thermische Behaglichkeit zu gewährleisten.

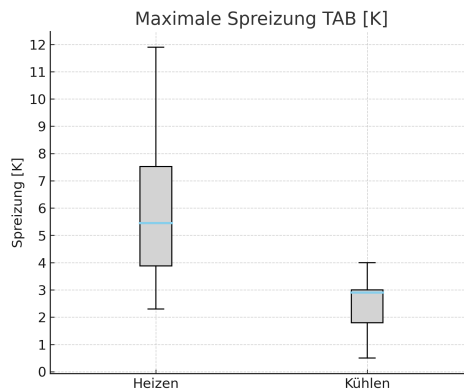


Abbildung 5: Messergebnisse der maximalen Spreizungen im Heiz- und Kühlfall dargestellt als Boxplot über alle Demonstratoren (AEE INTEC)

Die untersuchten Gebäude zeigen eine große Bandbreite an Regelungsstrategien für thermisch aktivierte Bauteile. Zum Einsatz kommen sowohl Raumthermostat-Zonenregelungen mit Zeitsteuerung oder Zweipunktregelung als auch Einzelraumregelungen, die eine begrenzte Anpassung an unterschiedliche Nutzungszonen ermöglichen. Teilweise wird die Vorlauftemperatur gleitend nach der Außenlufttemperatur oder in Kombination mit der Raumtemperatur geregelt, um den Betrieb an variable Randbedingungen anzupassen. In einigen Fällen erfolgt zudem eine Regelung über eine gleitende Sollkerntemperatur anhand einer Heizkurve, wodurch eine trägere, aber stabile Betriebsweise erreicht wird. Die Umschaltung zwischen Heiz- und Kühlbetrieb erfolgt in der Regel manuell, was den Automatisierungsgrad deutlich einschränkt. Insgesamt zeigt sich, dass standardisierte oder übergeordnete Regelungskonzepte kaum etabliert sind und die thermische Speicherefähigkeit der Bauteile bislang kaum aktiv genutzt wird.

Die folgenden beiden Grafiken (Abbildung 6) zeigen exemplarisch die über das Jahr gemessenen Raumlufttemperaturen von bauteilaktivierten Gebäuden im Vergleich zu den Behaglichkeitskategorien nach EN 16798-1 bei unterschiedlichen Gebäudetypen: Bürogebäude links, Wohngebäude rechts.

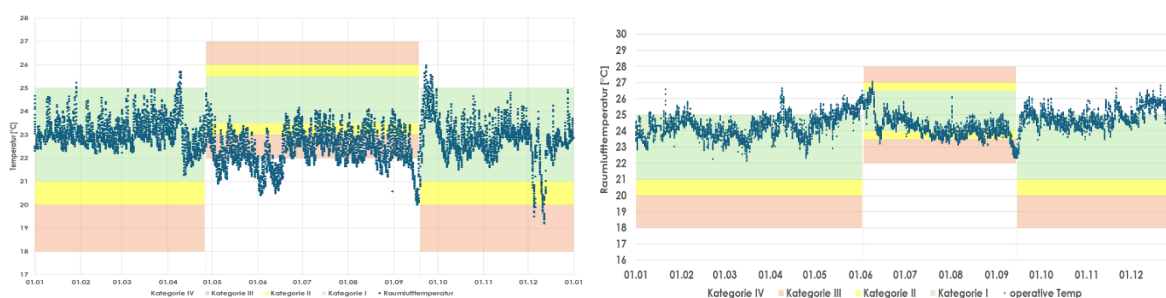


Abbildung 6: Jahresverlauf der Raumtemperaturen in einem Bürogebäude (links) und einem Wohngebäude (rechts). Als Hintergrund die Behaglichkeitskategorien nach EN 16798-1 (AEE INTEC)

Im Bürogebäude bewegen sich die Raumtemperaturen ganzjährig überwiegend im Bereich der Kategorien I und II, was auf ein insgesamt gutes thermisches Komfortniveau hinweist. Kurzzeitige Überschreitungen in Richtung Kategorie III treten hauptsächlich in den Sommermonaten auf, was auf sehr niedrige Solltemperaturen oder ungünstige Regelungsstrategien hinweist. Während der Heizperiode bleibt das Temperaturniveau konstant im Bereich von etwa 22–23 °C, was auf eine gute

Regelgüte und eine gleichmäßige Wärmeverteilung hinweist. Insgesamt zeigt sich ein sehr konstantes Temperaturniveau mit geringen Schwankungen, was typisch für den trägen, stabilisierenden Charakter thermisch aktivierter Systeme ist. Beim Wohngebäude zeigt sich im Winterhalbjahr (Januar bis Mai) ein relativ stabiles Temperaturniveau zwischen etwa 22 °C und 25 °C, mit geringen Schwankungen und nur wenigen Unterschreitungen der Komfortgrenzen. Diese Stabilität deutet auf eine effiziente Wärmebereitstellung und die gleichmäßige Wirkung der thermisch aktivierten Bauteile hin. Zu Beginn des Sommers kommt es phasenweise zu Temperaturen über 26 °C. Ursache dafür ist die noch nicht erfolgte Umschaltung vom Heiz- in den Kühlbetrieb.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass Bürogebäude mit bauteilaktivierten Systemen aufgrund gleichmäßigerer Nutzung und zentraler Regelstrategien ein stabileres thermisches Verhalten aufweisen, während Wohngebäude stärker durch individuelles Nutzerverhalten und variierende Lastsituationen geprägt sind. Beide Gebäudearten erreichen jedoch überwiegend Behaglichkeitsniveau nach Kategorie II, was die Eignung der Bauteilaktivierung zur Sicherstellung thermischen Komforts unterstreicht. Detailmessungen des thermischen Komforts bei ausgewählten Demonstratoren unterschiedlicher Nutzung mit Hilfe spezieller Messbäume, die neben der Raumtemperatur in verschiedenen Höhen auch die operative Raumtemperatur (Blackglobe Temperatur), die Luftfeuchte sowie Luftgeschwindigkeit erfassen, bestätigen die hohen Behaglichkeitswerte.

Die Auswertung der spezifischen Speicherkapazitäten thermisch aktivierter Bauteile (Abbildung 7, bezogen auf die aktivierte Fläche) zeigt, dass sich die Werte je nach Bauteilart im Bereich von 0,14 bis 0,33 kWh/(m²·K) bewegen. Der Median liegt bei etwa 0,17 kWh/(m²·K). Bodenaktivierungen weisen aufgrund größerer Bauteildicken tendenziell leicht höhere Werte auf als Deckenaktivierungen. Diese zeigen jedoch eine größere Streuung, bedingt durch unterschiedliche Materialien, Bauarten und Belegungen. Die einzige Wandaktivierung erreicht mit 0,14 kWh/(m²·K) einen deutlich geringeren Wert. Hier lassen sich keine allgemeineren Aussagen treffen, da die Aufbauten und Materialien von Bestandswänden sehr heterogen sind. Das Boxplot verdeutlicht die relative Homogenität der Speicherkapazitäten von Boden- und Deckenaktivierungen und bestätigt deren zentrale Rolle für die thermische Speicherwirkung im Gesamtsystem der Bauteilaktivierung.

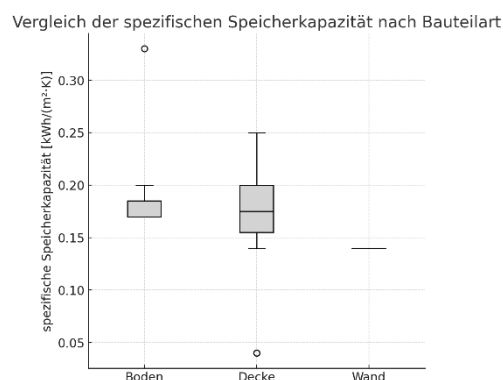


Abbildung 7: Spezifische Speicherkapazitäten der Demonstratoren bezogen auf die aktivierte Fläche (AEE INTEC)

Die berechnete spezifische Speicherkapazität der Bauteile über alle Demonstratoren bezogen auf die aktivierte Fläche liegt im Bereich von 0,14–0,33 kWh/(m²·K) (Median ≈ 0,17 kWh/(m²·K)). Ein typischer

2023 neu errichteter Geschosswohnbau⁴ hat eine aktivierbare Fläche von rund 1.450 m², also eine Gesamtspeicherkapazität von etwa 250 kWh/K pro Gebäude. Das entspricht einer nutzbaren thermischen Speicherenergie von rund 740 kWh – vergleichbar mit einem Wasserpufferspeicher von etwa 8,5 m³ Volumen, ausgehend von einer typischen nutzbaren Temperaturspreizung von 75 K (20 °C bis 95 °C). Bauteilaktivierte Gebäude werden sehr häufig mit Wärmepumpen versorgt. Hier wäre im Wasserpufferspeicher ein maximales Temperaturniveau von 45 °C zu erwarten und somit ein Volumen von 25,4 m³ notwendig. Damit wird deutlich, dass bauteilaktivierte Gebäude ein erhebliches thermisches Speicherpotenzial besitzen, das weit über den üblichen Energiespeichern einzelner Anlagenteile hinausgeht. Dieses Potenzial eröffnet vielfältige Möglichkeiten für die Lastverschiebung, Integration erneuerbarer Energien und eine stärkere Kopplung zwischen Gebäude und Energiesystem.

4.3 Sozialwissenschaftliche Betrachtung und Wirtschaftlichkeit

4.3.1 Zentrale Erkenntnisse aus den Interviews mit Entscheidungsträgern

Die Ergebnisse der Expert:inneninterviews – und auch der Nutzer:innenbefragung - geben ein umfassendes Bild über die Wahrnehmung, Akzeptanz und den Betrieb thermisch aktivierter Bauteile in den untersuchten Demonstrationsgebäuden. Ziel war es, sowohl die subjektive Behaglichkeit der Nutzer:innen als auch die praktischen Erfahrungen der Fachleute in Planung, Umsetzung und Betrieb dieser Systeme zu erfassen.

Die Auswertung der Expert:inneninterviews zeigt ein vielschichtiges Bild zur Planung, Umsetzung und Nutzung thermisch aktivierter Bauteile in den untersuchten Demonstrationsgebäuden. Insgesamt wurden siebzehn qualitative Interviews mit Vertreter:innen aus Gebäuden unterschiedlicher Nutzungsarten in mehreren Bundesländern Österreichs - meist online -geführt. Die Gespräche orientierten sich an einem vorgegebenen Fragenkatalog. Die Vertrautheit mit der Technologie variiert bei den Befragten stark: Einige Interviewte sind bereits seit Ausbildung oder Berufseinstieg mit dem Konzept der Bauteilaktivierung vertraut, während andere erst im Zuge der aktuellen Projekte erstmals damit in Kontakt kamen.

Die Motivation für den Einsatz von Bauteilaktivierung liegt meist im Wunsch nach der Errichtung von nachhaltigen, energieeffizienten Gebäuden, häufig in Verbindung mit gesetzlichen Vorgaben oder Wettbewerbsanforderungen. Nur wenige Planer:innen nannten Energiespeicherung oder Energieflexibilität als bewusstes Entscheidungskriterium – diese Aspekte spielten bislang eine untergeordnete Rolle, werden aber zunehmend als zukünftige Optimierungspotenziale erkannt.

In Bezug auf die Bauteilaktivierung wird von den Interviewten als ein Thema sehr oft die Trägheit und die lange Reaktionszeit des Systems angesprochen, wenn Änderungen in der Temperatur gewünscht sind und vorgenommen werden. Dies ist in Büro- oder Gewerberäumen vielleicht ein nicht so großes Problem, allerdings kann es auch in diesen Gebäuden zu Problemen z.B. in der Übergangszeit oder nach Wochenenden kommen oder dann, wenn z.B. Besprechungsräume länger nicht genutzt wurden und erst wieder "auf Temperatur" gebracht werden müssen.

Im Zusammenhang mit der Dimensionierung des Gesamtsystems z.B. in Kombination mit einer oder mehrerer Wärmepumpen weisen einige Interviewte darauf hin, dass es manchmal – aus

⁴ STATISTIK AUSTRIA, Baumaßnahmenstatistik. Datenabzug vom 15.09.2024 (2021-2023). Erstellt am 14.11.2024.

Vorsichtsgründen – zu einer Überdimensionierung gekommen sei. Im laufenden Betrieb hat sich aber gezeigt, dass weniger Technik auch gereicht hätte (z.B. eine statt zwei Wärmepumpen), um die Anforderungen zu erfüllen.

In Bezug auf die Planung betonen mehrere Befragte den hohen Koordinationsaufwand und die Notwendigkeit einer engen Zusammenarbeit zwischen Planung, Architektur, Haustechnik und Regelung. Die involvierten Gewerke müssen gut miteinander kooperieren und kommunizieren, was oft nicht bisheriger Praxis und bisherigen Gepflogenheiten entspricht.

Wichtig ist auch eine gute Schulung vor allem von Installateur:innen, die bisher mit dieser Technologie noch wenig Erfahrung und daher auch wenig Vertrauen in sie haben. Hier müsste ein entsprechendes Angebot geschaffen werden, ebenso wäre ein Informations- und Beratungsangebot für Planer:innen interessant.

Eine gute Dokumentation in der (Vor)Planung ist essenziell für den Erfolg der eingesetzten Technologie. Es muss genau verzeichnet sein, wo die Rohre und Leitungen im Boden oder in der Decke liegen, damit diese nicht bei anderen handwerklichen Arbeiten beschädigt (z.B. angebohrt) werden.

Der Betrieb der BTA erfordert Sorgfalt, insbesondere im Umgang mit Leitungsführungen und der langfristigen Betreuung des Systems. Als entscheidend für den Erfolg gelten für die Befragten die Kombination mit schnell reagierenden Systemen, eine realistische Auslegung der Sollwerte sowie ein systematisches Monitoring über mindestens ein Jahr nach Inbetriebnahme. Fehlendes Monitoring und dadurch mangelnde Nachjustierung gelten als zentrale Risiken.

Die Investitions- oder Errichtungskosten standen bei vielen der Bauherren nicht so sehr im Vordergrund, sehr oft war es der Gedanke der Nachhaltigkeit oder des Einsatzes eines nicht fossilen Heiz- oder Kühlsystems, das die Gebäudeerrichter motivierte. Manchmal war es für sie auch wichtig, dass ihre neue Firmenzentrale bzw. ihr neues Headquarter ein energietechnisches Vorzeigeprojekt sein sollte. Die Betriebskosten werden von den Interviewten als durchwegs sehr günstig beschrieben.

Die Rückmeldungen der Nutzer:innen zu Komfort und Raumklima, die die Gebäudebetreiber bekommen, sind überwiegend positiv – viele Nutzer:innen empfinden das Temperaturniveau als konstant und angenehm. Die Technologie wird gut angenommen, auch wenn die Nutzer:innen selbst – vor allem in den Bürogebäuden – in den meisten Fällen gar keine und nur geringe direkte Eingriffsmöglichkeit in die Regelung haben.

Die Technologie wird von allen Befragten als zukunftsweisend und äußerst interessant bewertet. Vorteile der Bauteilaktivierung werden vor allem in der hohen Energieeffizienz und dem günstigen Verhältnis von Kosten und Nutzen gesehen. Als Herausforderungen werden die Trägheit des Systems, die manchmal höheren Investitionskosten sowie der erhöhte Planungsaufwand genannt. Zudem sind eigene Regelungsstrategien erforderlich, deren Abstimmung mit anderen Systemen als komplex gilt.

Nahezu alle Befragten würden die Technologie der Bauteilaktivierung wieder einsetzen, wenngleich mit teils vereinfachten technischen Konzepten oder optimierten Regelstrategien. Als zentrale Bedingungen für eine breitere Anwendung werden gezielte Förderungen, klare Planungsrichtlinien sowie prädiktive Regelungsansätze (z. B. wetterbasierte Steuerung) genannt.

Insgesamt machen die Interviews deutlich, dass Bauteilaktivierung als Schlüsseltechnologie für energieeffiziente und klimaneutrale Gebäude betrachtet wird. Sie bietet nicht nur hohen thermischen

Komfort und niedrige Betriebskosten, sondern vor allem ein beträchtliches thermisches Speicherpotenzial. Dieses Potenzial kann zukünftig entscheidend zur Energieflexibilität und Integration erneuerbarer Energien beitragen – und verdeutlicht damit das strategische Zukunftspotenzial der Bauteilaktivierung im nachhaltigen Gebäudebetrieb.

4.3.2 Sozialwissenschaftliche Befragungen und Ergebnisse

In den insgesamt 18 Demonstrationsgebäuden (zwei ohne Monitoring) konnten in 14 Objekten Befragungen durchgeführt werden, in einer Wohnanlage („Käthe Dorsch Gasse“) gab es eine eigene Befragung und in drei Objekten war keine Befragung möglich. Die Befragungen wurden in fast allen Fällen online durchgeführt. Es gab einen Link zum Fragebogen, der von Mittelspersonen den Nutzer:innen übermittelt wurde, den sie anklicken und damit den Fragebogen ausfüllen konnten.

Insgesamt konnten damit 92 Rückmeldungen aus dreizehn Gebäuden (plus Ergebnisse aus der externen Befragung) ausgewertet werden. Die Rückläufe verteilen sich etwas ungleichmäßig und stammen vor allem aus den Bürogebäuden. Einige Gebäude haben weniger Nutzer:innen – etwa die „Auenwerkstatt“ oder das „Haus der Generationen“ – und daher gibt es von diesen Objekten auch entsprechend weniger Rückmeldungen.

Ein zentrales Ergebnis der Befragung ist, dass rund 87% der Befragten wussten, dass ihr Gebäude mit einer Bauteilaktivierung ausgestattet ist, und mehr als die Hälfte versteht auch deren Funktionsweise. Diese hohe Informationsquote deutet auf eine gute Kommunikation und Bewusstseinsbildung in den Demonstrationsprojekten hin.

Hinsichtlich des raumklimatischen Empfindens zeigt sich ein insgesamt sehr positives Bild:

Die Luftfeuchtigkeit im Sommer bewerteten 89%, im Winter 84% der Befragten als angenehm oder sehr angenehm.

Etwa 80% der Befragten empfanden die Raumtemperatur im Sommer als angenehm oder eher angenehm, im Winter sogar 84%. Negative Wahrnehmungen – also „unangenehmes Empfinden“ – traten nur in Einzelfällen auf.

Auch die Stabilität des Raumklimas wird positiv bewertet: Fast die Hälfte der Befragten hatte nie zu hohe Raumtemperaturen im Sommer, rund 41% nur „manchmal“. Im Winter gaben etwa 36% an, nie zu niedrige Temperaturen erlebt zu haben, 41% manchmal. Damit bestätigt sich die thermische Ausgeglichenheit bauteilaktivierter Systeme, die große Temperaturschwankungen effektiv abpuffern.

Ein Aspekt, der häufig genannt wurde, betrifft die Regelgeschwindigkeit: Rund 70% der Befragten empfinden es als eher lange oder sehr lange, bis eine Temperaturänderung spürbar wird. Dieses Ergebnis spiegelt die systemimmanente Trägheit thermisch aktivierter Bauteile wider – ein bekanntes Charakteristikum, das aus der großen thermischen Masse resultiert.

Trotz dieser Verzögerung fühlen sich 90% der Nutzer:innen durch die Bauteilaktivierung nicht eingeschränkt, was auf eine hohe alltagstaugliche Akzeptanz schließen lässt. Für ca. die Hälfte der Befragten ist es auch gar nicht wichtig, dass sie die Temperatur selbst regeln können.

Eine Temperaturänderung dürfte für 22% der Befragten höchstens eine halbe Stunde, für 26% höchstens eine Stunde dauern. Für ca. ein Drittel wären aber auch noch zwei Stunden akzeptabel, was zeigt, dass dieses Thema bei den Nutzer:innen keine so große Bedeutung hat.

Die Gesamtzufriedenheit mit der Behaglichkeit ist ausgesprochen hoch: Rund 85% bewerten ihr Wohlbefinden am Arbeitsplatz bzw. in ihrer Wohnung mit „sehr gut“ oder „gut“. Diese Werte liegen deutlich über typischen Zufriedenheitsniveaus konventioneller Gebäude und belegen die positive Nutzer:innenwahrnehmung der Technologie.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Bauteilaktivierung in der Praxis als komfortabel, verlässlich und unaufdringlich wahrgenommen wird. Die Nutzer:innen schätzen das gleichmäßige Temperaturniveau und die angenehme Raumlufte, während Einschränkungen kaum bestehen. Die größte Herausforderung bleibt die Trägheit der Temperaturregelung, die jedoch von den meisten als akzeptabler Kompromiss zwischen Effizienz und Komfort gesehen wird.

Die Erkenntnisse zeigen damit, dass bauteilaktivierte Systeme nicht nur technisch, sondern auch nutzerseitig überzeugen. Die hohe Zufriedenheit und Akzeptanz belegen das Potenzial der Technologie für den energieeffizienten Gebäudebetrieb und unterstreichen ihre Relevanz als Baustein zukünftiger, klimaneutraler Gebäudekonzepte.

4.3.3 Wirtschaftlichkeit

Bauteilaktivierung erlaubt die Abgabe von Heiz- oder Kühlenergie bei niedrigen Vor- bzw. Rücklauftemperaturen. Dadurch eröffnen sich insbesondere Vorteile im Betrieb: Wärmepumpen arbeiten effizienter, freie Kühlung via Erdsonden, Erdkollektoren oder Grundwasser ist realisierbar und durch große Flächen sinkt der Gesamtenergiebedarf signifikant (Olesen, 2012). Zugleich ist die Technik langfristig wirtschaftlich: Lebenszykluskosten (LCC = Life-Cycle-Costing) zeigen in mehreren Fallstudien, dass Bauteilaktivierung über den Nutzungszeitraum günstiger ist als konventionelle Systeme, obwohl der Einstieg höher liegen kann. In einer empirischen Vergleichsstudie wurde für ein Referenzbürogebäude die Bauteilaktivierung gegen Fan-Coils, All-Air-Systeme und Kühl- bzw. Heizsysteme mit Phasenwechselmaterialien verglichen. Ergebnis: Über einen Zeitraum von 15 Jahren zeigte Bauteilaktivierung eine um bis zu 31 % geringere sogenannte „global cost“ gegenüber Fan-Coil-Systemen (Bergia Boccardo, 2019). Der Effekt resultiert vor allem aus reduzierten Energie- und Wartungskosten: So berichten Fachpublikationen von jährlichen Einsparungen im Energieverbrauch von rund 15 bis 40 % gegenüber konvektiven Systemen, wenn Bauteilaktivierung in Kombination mit variablen Stromtarifen und Free-Cooling genutzt wird (Kazanci, 2025).

Die höheren Anfangsinvestitionen (CAPEX) sind eine häufig genannte Hürde: Diese entstehen meist durch den zusätzlichen Planungs- und Integrationsaufwand, die großflächige Rohrverlegung und gegebenenfalls höhere Anforderungen an die Regelungstechnik. Ein systematisches Literaturreview zeigt jedoch, dass diese Mehrkosten durch rund 25 % Energieeinsparung und geringeren Wartungsaufwand kompensiert werden (Villar-Ramos, 2022). Jedoch wirkt diese Investition über die Nutzungsdauer ausgleichend: Die niedrigeren Betriebskosten (OPEX) plus geringerer Wartung führen zu günstigerer Gesamtbilanz.

Das Flexibilitätspotenzial von Speichern, insbesondere von Gebäudemassen, ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Der integrierte nationale Energie- und Klimaplan Österreichs nennt die Bauteilaktivierung als Maßnahme zur Lastflexibilisierung und damit zur Erreichung der Klimaziele, da

sie die Gebäudemasse als thermischen Speicher nutzbar macht (Bundesministerium für Klimaschutz, 2023). Laut (W. Amann, 2023) ermöglicht vor allem die Kombination von thermischer Bauteilaktivierung und Wärmepumpen eine flexible Nutzung der Gebäudemasse als Wärmespeicher. Durch die zeitliche Entkopplung von Wärmeerzeugung und -nutzung kann die Wärmepumpe bei günstigem Strom betrieben werden; die gespeicherte Wärme oder Kälte steht später bedarfsgerecht zur Verfügung. Diese Systemkombination erlaubt die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien, etwa von Überschussstrom aus Windkraft oder lokalem PV-Eigenstrom. Im Zusammenhang mit Flexibilität wird zwischen markt- und systemdienlicher Flexibilität unterschieden. Die obengenannte Studie betrachtet nur die marktdienliche Flexibilität. Simulationen zeigen, dass der Einsatz preisoptimierter Wärmepumpen Kosteneinsparungen von rund 22 % im Jahr 2025 und bis zu 75 % im Jahr 2040 ermöglicht – aufgrund zunehmender Strompreisvolatilität und variabler Tarifmodelle. Systemseitige Potenziale wie Netzstabilisierung durch Frequenzregelung lassen sich derzeit mangels geeigneter Mechanismen noch nicht quantifizieren. (Preßmair G., 2024) prognostiziert, dass die jährliche Installation von thermischer Bauteilaktivierung in Österreich von derzeit etwa 500.000 m²/a auf über 2,5 Mio. m²/a bis 2040 ansteigt – kumuliert rund 30 Mio. m² aktivierte Fläche. Aufgrund dieses Volumens wird von einem erheblichen Lastverschiebungspotenzial bauteilaktivierter Gebäude ausgegangen. Zur gezielten Erschließung und Nutzung dieses Potenzials sind jedoch weitere Forschungsaktivitäten erforderlich.

In der Summe lässt sich sagen: Die Bauteilaktivierung bietet ein robustes wirtschaftliches Potenzial – insbesondere bei guter Auslegung, Nutzung von freier Kühlung und variablen Stromtarifen sowie längerem Betrachtungshorizont. Die höheren Anfangsinvestitionen werden durch Einsparungen im Betrieb und durch geringere Wartung überkompensiert. Entscheidend bleiben aber die systemische Einbindung und die realistische Kalkulation sämtlicher Kosten über die Lebensdauer.

4.4 Integration in Versorgungsnetze

Die Integration thermisch aktivierter Bauteile in Strom- und Wärmenetze eröffnet ein bislang weitgehend ungenutztes Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz und Netzstabilität. Zahlreiche Studien belegen, dass in der Gebäudemasse ein beträchtliches thermisches Speicherpotenzial vorhanden ist, das gezielt zur zeitlichen Verschiebung von Wärme- und Kältebedarfen genutzt werden kann ((Kazanci, 2025), (W. Amann, 2023), (Hoffmann, 2018)). Auch in der vorliegenden Untersuchung zeigt sich, dass die analysierten Gebäude über erhebliche Speicher- und Flexibilitätsreserven verfügen, die einen wertvollen Beitrag zur Entlastung der Energiesysteme leisten könnten. In der Planungsphase der betrachteten Demonstratoren wurde die Nutzung flexibler Stromtarife zur Optimierung des Anlagenbetriebs zwar mehrfach angedacht, in der praktischen Umsetzung jedoch kaum realisiert. Als wesentliche Gründe dafür wurden in den Interviews die fehlenden, standardisierten Regelungsstrategien, Vorbehalte hinsichtlich Behaglichkeitseinschränkungen der Nutzer sowie der fehlende wirtschaftliche Benefit genannt. In aktuellen Forschungsprojekten werden standardisierte Plug-and-Play-Regelstrategien für Wärmepumpen und zentrale Gebäuderegeln entwickelt. Ziel ist eine Kommunikation mit internen und externen Energiequellen, um die Speicherbewirtschaftung zu optimieren. Modellprädiktive Ansätze (D. Muschick, 2023) und prognosebasierte Regelungen unter Einbindung dynamischer Energiepreise zeigen großes Potenzial für eine wirtschaftlichere und netzdienliche Betriebsweise.

Diese Diskrepanz zwischen technischem Potenzial und realer Systemintegration unterstreicht den Handlungsbedarf, die Bauteilaktivierung künftig stärker als aktiven Bestandteil vernetzter Energieinfrastrukturen zu verankern. Trotz der hohen technischen Reife und des belegten Flexibilitätspotenzials bestehen nach wie vor zahlreiche nicht-technische Hürden für die Integration thermisch aktivierter Bauteile in Strom- und Wärmenetze. Wie (Ritter D., 2025) zeigen, hemmen vor allem regulatorische und institutionelle Barrieren die praktische Umsetzung: In den meisten europäischen Ländern fehlt eine klare Einbindung gebäudebasierter Speicher in energiepolitische Rahmenwerke, und bestehende Energiezertifikate oder Fördermechanismen erkennen die dynamische Speicherfähigkeit thermisch aktivierter Systeme bislang nicht an. Auch der Zugang zu Flexibilitäts- und Netzdienstleistungsmärkten ist häufig erschwert, da Aggregationsmechanismen und Markttrollen für kleine dezentrale Anlagen fehlen. Hinzu kommen unzureichend ausgebaute dynamische Stromtarife und eine oft schleppende Einführung digitaler Mess- und Kommunikationsinfrastruktur, wodurch ökonomische Anreize für flexible Betriebsstrategien begrenzt bleiben. Neben diesen strukturellen Hemmnissen identifiziert die Studie auch finanzielle und sozio-institutionelle Faktoren: Wahrgenommene hohe Investitionskosten, geringe Erfahrung im Markt, fehlende Schulungsangebote für Planer:innen sowie Bedenken hinsichtlich Datenschutzes und Systemkomplexität wirken hemmend. Insgesamt verdeutlicht die Analyse, dass die wirtschaftliche und regulatorische Sichtbarkeit der Bauteilaktivierung als netzrelevante Flexibilitätsoption derzeit unzureichend ist – und dass gezielte Maßnahmen wie dynamische Tarifmodelle, standardisierte Aggregationskonzepte und Bildungsinitiativen entscheidend wären, um das vorhandene Potenzial in der Praxis zu erschließen.

In Österreich ist die Integration thermisch aktivierter Bauteile (TABS) und gebäudebasierter Flexibilität bereits vergleichsweise weit fortgeschritten, bleibt jedoch bislang auf technischer Ebene verankert und wird regulatorisch wie marktlich noch unzureichend unterstützt. Laut (Ritter D., 2025) verfügen österreichische Gebäude über ein hohes Potenzial zur netzdienlichen Nutzung thermischer Speicher, das in der Praxis jedoch nur teilweise ausgeschöpft wird. Zwar gelten TABS in öffentlichen Ausschreibungen und Bürogebäuden häufig als empfohlene oder verpflichtende Technologie, doch fehlen ökonomische Anreize und rechtliche Rahmenbedingungen für ihre aktive Einbindung in Strom- und Wärmenetze. Die bestehenden Instrumente – etwa Energiegemeinschaften und kollektive Eigenverbrauchsmodelle – begünstigen primär die lokale Nutzung von PV-Strom, fördern aber keine explizite Flexibilitätsbereitstellung für das Energiesystem.

Positiv bewertet die Studie den hohen Digitalisierungsgrad: Mit einem Smart-Meter-Anteil von über 85 % zählt Österreich zu den europäischen Vorreitern. Dennoch mangelt es an dynamischen Stromtarifen und praktikablen Aggregationsmechanismen, um Gebäudeflexibilität ökonomisch nutzbar zu machen. Zudem erschweren strukturelle Gegebenheiten im Stromnetz, insbesondere die nicht-vermaschte⁵ Niederspannungsebene, den Aufbau lokaler Flexibilitätsmärkte. Insgesamt zeigt sich Österreich als Land mit guter technischer Basis und politischem Willen, jedoch mit Nachholbedarf bei der Marktintegration und Regulierung: Um das vorhandene Speicherpotenzial der Bauteilaktivierung systemisch wirksam zu machen, empfiehlt (Ritter D., 2025) die Einführung zeitvariabler Preismodelle, die gezielte Förderung dezentraler Aggregationsmodelle sowie die Verankerung von Gebäudeflexibilität in nationalen Energierichtlinien.

⁵ Bezeichnet den untersten Bereich des Stromnetzes, in dem Haushalte und kleinere Betriebe versorgt werden. Diese Ebene ist meist radial aufgebaut, das heißt, der Strom fließt nur in eine Richtung – vom Trafo zum Verbraucher. Da keine alternativen Leitungswege bestehen, ist das Netz einfach und kosteneffizient, bietet aber geringe Flexibilität für Rückspeisung, Lastmanagement und lokale Energienutzung.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

5.1.1 Zentrale Ergebnisse der Studie

Im Rahmen der Studie wurden 16 über ganz Österreich verteilte Demonstrationsgebäude untersucht, die ein breites Spektrum an Nutzungen, Bauweisen und Versorgungskonzepten abdecken – von Wohn- über Büro- und Bildungsbauten bis zu Produktions- und Lagerhallen. Dadurch konnte gezeigt werden, dass die thermische Bauteilaktivierung (TABS) in allen Gebäudeklassen erfolgreich einsetzbar ist. Sie nutzt die thermische Masse von Decken, Wänden oder Böden als integriertes Wärme- und Kühlsystem, das ohne zusätzliche Heizkörper auskommt. Dies reduziert den technischen Aufwand, senkt die Lebenszykluskosten und ermöglicht eine gleichmäßige, zugfreie Raumtemperierung bei hohem Komfort.

In Büro- und Wohngebäuden erfolgt die Aktivierung überwiegend über Deckenflächen, während in großvolumigen Hallen Bodenaktivierungen dominieren. Beide Varianten arbeiten mit niedrigen Systemtemperaturen und ermöglichen so den effizienten Einsatz von Wärmepumpen, Solarthermie, Geothermie und freier Kühlung über Erdsonden oder Grundwasser. Ein zentrales Prinzip ist die Multifunktionalität: Tragende Bauteile übernehmen zugleich thermische Aufgaben und werden so Teil des energetischen Gesamtsystems. Diese integrale Bauweise spart Material und Technikflächen, reduziert Wartung und verbessert die architektonische Qualität. Während im Neubau vor allem Beton eingesetzt wird, zeigen Pilotprojekte, dass auch Massivholzdecken erfolgreich aktiviert werden können. Für den Bestand wurde mit dem CEPA-System (Towern3000) eine innovative Lösung entwickelt, die eine nachträgliche Aktivierung bestehender Wände ermöglicht, ohne tiefgreifende Eingriffe in die Bausubstanz.

Die Bauteilaktivierung verkörpert einen Low-Tech-Ansatz: robuste, passive Systeme, die auf Strahlungswärme und Speichermasse basieren. Nutzer:innen bewerten das Raumklima als besonders behaglich, da keine Luftbewegungen oder Geräusche entstehen. Die thermische Trägheit der Bauteile erlaubt es, Wärme oder Kälte in Phasen günstiger Energiepreise oder hoher PV-Erzeugung einzuspeichern und damit Lastspitzen zu vermeiden. Dies steigert die Effizienz, verringert Anschlussleistungen und macht Gebäude zu aktiven Energiespeichern, die zur Netzstabilität und zur Integration erneuerbarer Energien beitragen.

Die Messdaten der Demonstratoren bestätigen die hohe Energieeffizienz und den Komfort: Der Median des Heizenergieverbrauchs liegt bei $37,8 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$, der des Kühlenergieverbrauchs bei $11,5 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$. Die gemessenen Vorlauftemperaturen liegen im Heizbetrieb bei rund 29°C und im Kühlbetrieb bei etwa 19°C – typische Niedertemperaturwerte, die die Effizienz der Systeme belegen. Sowohl Büro- als auch Wohngebäude erreichen überwiegend die Behaglichkeitskategorien I–II nach EN 16798-1, mit sehr stabilen Raumtemperaturen. Die spezifische Speicherkapazität der aktivierten Bauteile liegt im Mittel bei $0,17 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{akt}}\text{K})$ und verdeutlicht das erhebliche thermische Speicherpotenzial – vergleichbar mit einem 25 m^3 großen Wasserpufferspeicher bei Wärmepumpenversorgung in einem typischen Mehrgeschosswohnbau.

Insgesamt zeigt die Studie: Bauteilaktivierung ist eine technisch ausgereifte, wirtschaftlich robuste und klimarelevante Schlüsseltechnologie, die Effizienz, Komfort und Flexibilität verbindet. Durch gezielte Regelstrategien und geeignete Rahmenbedingungen kann sie künftig einen zentralen Beitrag zur Dekarbonisierung und zur netzdienlichen Betriebsweise von Gebäuden leisten.

5.1.2 Handlungsempfehlungen für Planung und Bau

Die Ergebnisse aus Messungen, Simulationen und Praxisbeispielen zeigen deutlich: Die thermische Bauteilaktivierung (TABS) ist eine effiziente, robuste und flexible Technologie, die wesentlich zur Dekarbonisierung des Gebäudesektors beitragen kann. Damit Planer:innen und Ausführende das volle Potenzial dieser Systeme nutzen können, sind eine frühzeitige Integration, sorgfältige Auslegung und geeignete Regelstrategien entscheidend. Die folgenden Empfehlungen bündeln zentrale Erkenntnisse aus Forschung und Praxis für Planung, Bau und Betrieb.

1. Ganzheitliche Planung von Beginn an

Die thermische Bauteilaktivierung sollte frühzeitig in den architektonischen und haustechnischen Entwurf integriert werden. Nur durch interdisziplinäre Planung von Tragwerk, Bauphysik und Gebäudetechnik lassen sich die Speicherwirkung und die energetische Effizienz optimal ausschöpfen. Eine spätere Integration ist aufwändiger und mit höheren Kosten verbunden.

2. Geeignete Bauteile und Materialien wählen

Im Neubau bietet Beton durch seine hohe Dichte und Wärmeleitfähigkeit ideale Voraussetzungen. Für nachhaltige Konzepte können auch Massivholzdecken mit integrierten Rohrsystemen eingesetzt werden. In der Sanierung ermöglichen Systeme wie CEPA (Concrete Energy Panel Activation) die nachträgliche Aktivierung von Bestandsbauteilen ohne massive Eingriffe in die Struktur.

3. Systemauslegung auf Niedertemperaturbetrieb optimieren

TABS sollten für niedrige Vor- und Rücklauftemperaturen (Heizen 22–35 °C, Kühlen 16–23 °C) ausgelegt werden, um den effizienten Betrieb mit Wärmepumpen, Solarthermie oder Geothermie sicherzustellen. Eine geringe Temperaturspreizung (Heizen ca. 4–5 K, Kühlen 2–3 K) gewährleistet gleichmäßige Oberflächentemperaturen und hohe Behaglichkeit.

4. Trägheit und Speicherwirkung gezielt nutzen

Die thermische Masse erlaubt eine zeitliche Entkopplung von Erzeugung und Nutzung. Dies erfordert eine vorausschauende Regelstrategie (z. B. gleitende Sollwert- oder modellprädiktive Regelung). So kann Wärme oder Kälte in Zeiten günstiger Energiepreise oder hoher PV-Erzeugung gespeichert werden. Alternativ kann Bauteilaktivierung Lastspitzen reduzieren, wodurch Wärmepumpen kleiner dimensioniert und effizienter betrieben werden können.

5. Freie Kühlung und regenerative Quellen kombinieren

Die Einbindung von Erdsonden, Grundwasser oder Erdkollektoren zur freien Kühlung senkt den Primärenergiebedarf deutlich. In Verbindung mit Wärmepumpen ergeben sich hohe Jahresarbeitszahlen und ein reduzierter CO₂-Ausstoß.

6. Regelung standardisieren und digitalisieren

Da sich Plug-and-Play-Regelstrategien und modellprädiktive Ansätze noch in Entwicklung befinden, ist eine enge Einbindung erfahrener Fachplaner:innen und Regelungsexpert:innen empfehlenswert.

7. Lebenszykluskosten berücksichtigen

Trotz höherer Anfangsinvestitionen zeigen Studien bis zu 30 % geringere Gesamtkosten gegenüber konventionellen Systemen. Für eine fundierte Entscheidung sollten Life-Cycle-Costing-Analysen nach VDI 2067 oder ISO 15686-5 durchgeführt werden.

8. Qualitätssicherung der Gebäudetechnik

Innovative Gebäudetechnik und ihre Regelung profitieren von einer strukturierten Qualitätssicherung, die dabei unterstützt, die geplanten Konzepte zuverlässig in den Realbetrieb zu überführen und die Effizienz der Systeme sicherzustellen. Durch ein begleitendes Monitoring und kontinuierliche Analyse als Qualitätssicherungsinstrument im ersten Betriebsjahr lassen sich Fehlfunktionen und Mängel von Anlagenelementen und Regelungsfunktionen früh erkennen und zeitnah beheben.

Fazit

Bauteilaktivierung entfaltet ihr volles Potenzial, wenn sie frühzeitig, integrativ und regelungstechnisch intelligent geplant wird. So wird das Gebäude nicht nur energieeffizient, sondern zu einem aktiven Bestandteil eines flexiblen, klimaneutralen Energiesystems.

5.1.3 Empfehlungen für Politik und Institutionen

Die thermische Bauteilaktivierung bietet erhebliche Potenziale zur Energieeinsparung, zur Integration erneuerbarer Energien und zur Flexibilisierung des Energiesystems. Damit diese Technologie flächendeckend wirksam werden kann, sind gezielte politische und institutionelle Maßnahmen erforderlich, die den Rahmen für eine systemische Nutzung schaffen.

Zunächst ist eine stärkere politische und regulatorische Verankerung notwendig. TABS sollte explizit als Instrument der Sektorkopplung und Lastflexibilisierung in nationale und regionale Energie- und Klimastrategien integriert werden. Ihre dynamische Speicherfähigkeit muss in Energieausweisen, Zertifizierungssystemen und Förderlogiken berücksichtigt werden, damit der tatsächliche Mehrwert der Technologie auch in der Bewertung von Gebäuden sichtbar wird.

Gleichzeitig gilt es, wirtschaftliche Anreize und Marktmechanismen anzupassen. Förderprogramme und Sanierungsinitiativen sollten gezielt Niedertemperatur- und Speichersysteme unterstützen, die auf erneuerbaren Energien basieren. Die Einführung variabler Stromtarife und die Etablierung von Flexibilitätsmärkten sind zentrale Voraussetzungen, um die thermische Masse von Gebäuden wirtschaftlich nutzbar zu machen. Ergänzend sollte der Marktzugang für kleine, dezentrale Systeme erleichtert werden – etwa durch die Möglichkeit, Gebäudeflexibilitäten zu bündeln und handelbar zu machen.

Darüber hinaus braucht es Standardisierung und Qualitätssicherung. Einheitliche Schnittstellen und Kommunikationsstandards zwischen Wärmepumpen, Gebäuderegelungen und Energiemanagementsystemen sind eine Grundvoraussetzung für den zuverlässigen Betrieb und die Einbindung in Strom- und Wärmenetze. Gleichzeitig sollten bestehende technische Richtlinien und Normen – etwa ÖNORM, OIB-Richtlinien oder VDI-Blätter – die Bauteilaktivierung als anerkanntes Niedertemperatur- und Speichersystem abbilden.

Ein weiterer Handlungsschwerpunkt liegt im Bereich Forschung, Bildung und Wissenstransfer. Pilot- und Demonstrationsprojekte, wie sie etwa in den Programmen Stadt der Zukunft oder NEFI umgesetzt werden, müssen fortgeführt und stärker auf Themen wie Speicherbewirtschaftung, Regelstrategien und Marktintegration fokussiert werden. Parallel dazu ist der Aufbau eines nationalen Kompetenznetzwerks für TABS zu empfehlen, welches Ausbildung, Weiterbildung und Wissenstransfer zwischen Forschung, Planung und Praxis fördert. Öffentlichkeitsarbeit und Informationskampagnen

können helfen, das Bewusstsein für die Rolle aktivierter Gebäude als Energiespeicher und Systemdienstleister zu stärken.

Schließlich sollten auch Infrastruktur und Systemintegration gezielt weiterentwickelt werden. Der Ausbau der digitalen Infrastruktur – insbesondere des Smart-Meter-Rollouts und offener Datenschnittstellen – ist Voraussetzung für eine automatisierte Regelung und eine marktgerechte Nutzung von Gebäudeflexibilität. Zudem ist die Kopplung von Strom- und Wärmenetzen auf regionaler Ebene zu fördern, um Multi-Energie-Systeme zu etablieren, in denen Bauteilaktivierung als integraler Speicher- und Flexibilitätsbaustein fungiert. Kommunen und Energieversorger sollten TABS aktiv in ihre Quartiers- und Wärmenetzkonzepte einbeziehen, um Synergien zwischen Gebäuden, Netzen und erneuerbarer Erzeugung zu schaffen.

Fazit

Politik und Institutionen sind gefordert, die Bauteilaktivierung als strategisches Element der Energiewende zu begreifen – nicht nur als Gebäudetechnik, sondern als aktives Instrument der Systemflexibilisierung. Durch klare Rahmenbedingungen, wirtschaftliche Anreize, Standardisierung und gezielten Wissenstransfer kann diese Technologie ihr volles Potenzial entfalten und einen wichtigen Beitrag zu einem klimaneutralen, resilienten Energiesystem leisten.

6 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Typischer Ablauf der Monitoringperiode pro Demonstrator (Quelle: AEE INTEC).....	17
Abbildung 2: Verteilung der Demonstratoren über Österreich (Dreieck: Büro+; Kreis: Wohnen; Kreuz: Bildung; KI-generiert)	20
Abbildung 3: Darstellung der Messergebnisse von Heiz- und Kühlenergieverbrauch als Boxplot über alle Demonstratoren (AEE INTEC)	23
Abbildung 4: Messergebnisse der Vorlauftemperaturen im Heiz- und Kühlfall dargestellt als Boxplot über alle Demonstratoren (AEE INTEC).....	24
Abbildung 5: Messergebnisse der maximalen Spreizungen im Heiz- und Kühlfall dargestellt als Boxplot über alle Demonstratoren (AEE INTEC).....	25
Abbildung 6: Jahresverlauf der Raumtemperaturen in einem Bürogebäude (links) und einem Wohngebäude (rechts). Als Hintergrund die Behaglichkeitskategorien nach EN 16798-1 (AEE INTEC)	25
Abbildung 7: Spezifische Speicherkapazitäten der Demonstratoren bezogen auf die aktivierte Fläche (AEE INTEC).....	26
Abbildung 8: Schnittdarstellung Zwischendecke (Quelle: Hacon GmbH)	60
Abbildung 9: Prinzipschema Gebäudetechnik und Messkonzept, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)	61
Abbildung 10: Monatsbilanz Wärmeerzeugung und Stromverbrauch der Wärmepumpe, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7).....	63
Abbildung 11: Monatsbilanz Wärmeverbrauch, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)	64
Abbildung 12: Prozentuelle Aufteilung des Wärmeverbrauchs, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7).....	64
Abbildung 13: Monatsbilanz Kältebereitstellung, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)	66
Abbildung 14: Monatsbilanz Kälteverbrauch (exklusive Verbraucher Spritzgussmaschine und Prozesse), Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)	67
Abbildung 15: Prozentuelle Aufteilung des Kälteverbrauchs für Gebäudekühlung (exklusive Verbraucher Spritzgussmaschine und Prozesse), Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)	67
Abbildung 16: Behaglichkeitsdiagramme für die Referenzräume, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)	69
Abbildung 17: Raumluftfeuchte für die Referenzräume, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)	70

Abbildung 18: Raumlufthtemperatur UG1_Zone 10_Labor und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)	71
Abbildung 19: Raumlufthtemperatur EG_Zone 4, Büro/Lounge und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)	71
Abbildung 20: Raumlufthtemperatur EG_Zone 5, Lounge und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)	72
Abbildung 21: Raumlufthtemperatur OG_Zone 1, Projektraum und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)	72
Abbildung 22: CO ₂ -Konzentration OG_Zone 1 Projektraum, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7).....	73
Abbildung 23: Operative Temperaturen für die Referenzräume, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)	74
Abbildung 24: Schnittdarstellung Deckenaktivierung (Quelle: Hacon GmbH).....	76
Abbildung 25: Prinzipschema Gebäudetechnik und Messkonzept, Campus V (Quelle: e7)	77
Abbildung 26: Monatsbilanz Wärmeverbrauch, Campus V (Quelle: e7)	79
Abbildung 27: Aufteilung der Wärmeverbraucher, Campus V (Quelle: e7).....	79
Abbildung 28: Carpet Plot Wärmeabgabeleistung in [kW] des Heizungsregelkreises Bauteilaktivierung für den Zeitraum Jänner 2023, Campus V (Quelle: e7)	80
Abbildung 29: Monatsbilanz Kälteerzeugung, Campus V (Quelle: e7).....	81
Abbildung 30: Monatsbilanz Kälteverbrauch, Campus V (Quelle: e7)	82
Abbildung 31: Aufteilung der Kälteverbraucher, Campus V (Quelle: e7)	82
Abbildung 32: Carpet Plot der Kälteleistung [kW] der Bauteilaktivierung Campus V, Zeitraum 10.06.-14.09.2023 (Quelle: e7).....	83
Abbildung 33: Monatsbilanz Stromverbrauch Gebäudetechnik Campus V (Quelle: e7).....	85
Abbildung 34: Aufteilung der Gebäudetechnik-Stromverbraucher für die Monitoringperiode (Quelle: e7).....	85
Abbildung 35: Monatsbilanz Stromverbrauch Gesamt und Summe aller Gebäudetechnik-Verbraucher, Campus V (Quelle: e7).....	86
Abbildung 36: Behaglichkeitsdiagramme der Referenzräume, Campus V, links: 2. OG Seminarraum 1 Süd, rechts: 2. OG Seminarraum 2 Nord (Quelle: e7)	88
Abbildung 37: Raumlufthtemperatur Seminarraum 1 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Campus V (Quelle: e7).....	89

Abbildung 38: Raumlufthtemperatur Seminarraum 2 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Campus V (Quelle: e7).....	89
Abbildung 39: Operative Temperaturen für die Referenzräume (Quelle: e7).....	90
Abbildung 40: Schnittdarstellung Zwischendecke (Quelle: Hacon GmbH).....	92
Abbildung 41: Prinzipschema Fröschl Haus, Gebäudetechnik und Messkonzept (Quelle: e7).....	93
Abbildung 42: Monatsbilanz Wärmeerzeugung, Fröschl Haus (Quelle: e7).....	95
Abbildung 43: Monatsbilanz Wärmeverbrauch, Fröschl Haus (Quelle: e7).....	96
Abbildung 44: Prozentuelle Aufteilung des Wärmeverbrauchs, Fröschl Haus (Quelle: e7).....	96
Abbildung 45: Monatsbilanz Wärmeverbrauch der Lüftungsanlagen, Fröschl Haus (Quelle: e7).....	97
Abbildung 46: Monatsbilanz Kälteverbrauch Serverkühlung und Gebäudekühlung, Fröschl Haus (Quelle: e7).....	99
Abbildung 47: Prozentuelle Aufteilung des Kälteverbrauchs, Fröschl Haus (Quelle: e7).....	99
Abbildung 48: Heiz- und Kühlleistung für den Regelkreis BTA_Nord_HKK6 für Okt. 2024, Fröschl Haus (Quelle: e7).....	100
Abbildung 49: Monatsbilanz Stromverbrauch der Heiz- und Kühltechnik, Fröschl Haus (Quelle: e7)	102
Abbildung 50: Prozentuelle Aufteilung der Stromverbräuche der Heiz- und Kühltechnikverbraucher, Fröschl Haus (Quelle: e7).....	102
Abbildung 51: Monatsbilanz: Gegenüberstellung Stromverbrauch der Heiz- und Kühltechnik zu Stromerzeugung Photovoltaik, Fröschl Haus (Quelle: e7).....	103
Abbildung 52: Behaglichkeitsdiagramme für die Referenzräume, Fröschl Haus (Quelle: e7).....	104
Abbildung 53: Raumlufthtemperatur OG1 Büro 42 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Fröschl Haus (Quelle: e7).....	105
Abbildung 54: Raumlufthtemperatur OG3 Büro 25 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Fröschl Haus (Quelle: e7).....	106
Abbildung 55: Raumlufthtemperatur OG3 Büro 46 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Fröschl Haus (Quelle: e7).....	106
Abbildung 63: Schnittdarstellung aktivierte Zwischendecke (AEE INTEC).....	108
Abbildung 57: Prinzipschema Lite GmbH, Gebäudetechnik (AEE INTEC).....	109
Abbildung 58: Monatsbilanz Wärmeverbrauch (Quelle: AEE INTEC).....	111
Abbildung 59: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: AEE INTEC).....	111
Abbildung 60: Monatliche Mitteltemperaturen des Wärmespeichers (Quelle: AEE INTEC).....	112
Abbildung 61: Vor- und Rücklauftemperaturen sowie Durchflüsse der Bauteilaktivierung und Heizregister der RLT für die Versorgung der Büros (Quelle: AEE INTEC).....	113
Abbildung 69: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das Großraumbüro im 2.OG für die Heizperiode Jän.-Feb. & Nov.-Dez.24 (Quelle: AEE INTEC).....	114
Abbildung 70: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das GF-Büro im 2.OG für die Heizperiode Jän.-Feb. & Nov.-Dez.24 (Quelle: AEE INTEC).....	114

Abbildung 64: Zeitverlauf der Bauteil- und Raumtemperaturen inkl. Sollwert für GF- und Großraumbüro im Jän. und Feb.24 (Quelle: AEE INTEC)	115
Abbildung 72: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für den Produktionsbereich VT07 für die Heizperiode Jän.-Feb. & Nov.-Dez.24 (Quelle: AEE INTEC)	116
Abbildung 73: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für den Produktionsbereich VT01 für die Heizperiode Jän.-Feb. & Nov.-Dez.24 (Quelle: AEE INTEC)	116
Abbildung 67: Monatsbilanz Kälteverbrauch (Quelle: AEE INTEC)	117
Abbildung 68: Aufteilung der Kälteverbraucher (Quelle: AEE INTEC)	118
Abbildung 69: Monatliche Mitteltemperaturen des Kältespeichers (Quelle: AEE INTEC)	118
Abbildung 77: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das Großraumbüro im 2.OG für die Kühlperiode Mai-Sept.24 (Quelle: AEE INTEC)	119
Abbildung 78: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das GF-Büro im 2.OG für die Kühlperiode Mai-Sept.24 (Quelle: AEE INTEC)	119
Abbildung 79: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für den Produktionsbereich VT01 für die Kühlperiode Mai-Sept.24 (Quelle: AEE INTEC)	120
Abbildung 80: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für den Produktionsbereich VT07 für die Kühlperiode Mai-Sept.24 (Quelle: AEE INTEC)	120
Abbildung 74: Raumlufthtemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für das GF- und Großraumbüro (Quelle: AEE INTEC)	121
Abbildung 75: Raumlufthtemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für die Produktionsbereiche VT01 und VT07 (Quelle: AEE INTEC)	121
Abbildung 76: Raumlufthtemperatur GF-Büro und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)	122
Abbildung 77: Raumlufthtemperatur Großraumbüro und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)	123
Abbildung 78: Lufttemperaturen, Oberflächentemperaturen und operative Temperaturen für beide Büros in Summe (Quelle: AEE INTEC)	124
Abbildung 79: Schnittdarstellung Geschoßdecke (Quelle: hacon GmbH)	126
Abbildung 80: Prinzipschema Objekt Rosthorngasse, Gebäudetechnik und Messkonzept (Quelle: hacon GmbH)	127
Abbildung 81: Monatsbilanz Wärmeerzeugung Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)	129
Abbildung 82: Aufteilung der Wärmeerzeuger Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)	129
Abbildung 83: Monatsbilanz Wärmeverbrauch Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)	130
Abbildung 84: Aufteilung der Wärmeverbraucher Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)	130
Abbildung 85: Zusammenhang Vorlauftemperatur für Raumwärme / Außenlufttemperatur für den Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)	131
Abbildung 86: Stündlich abgegebene Abgabeleistung der Raumheizung der Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)	132

Abbildung 87: Verlauf der stündlich abgegebenen Wärmeleistung der Raumheizung der Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH)	132
Abbildung 88: Monatsbilanz der Kälte Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH).....	133
Abbildung 89: Verlauf der stündlich abgegebenen Kälteleistung der Raumheizung der Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH).....	134
Abbildung 90: Zusammenhang Vorlauftemperatur für Raumkühlung / Außenlufttemperatur Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH)	135
Abbildung 91: Monatsbilanz Gesamtstromverbrauch für Wärmeerzeuger Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH).....	136
Abbildung 92: Aufteilung des Stromverbrauchs der Wärmeerzeuger Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH).....	136
Abbildung 93: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top A Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH).....	138
Abbildung 94: Raumlufttemperatur Top A Rostthorngasse und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH).....	139
Abbildung 95: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top B Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH).....	139
Abbildung 96: Raumlufttemperatur Top B Rostthorngasse und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH).....	140
Abbildung 97: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top C Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH).....	140
Abbildung 98: Raumlufttemperatur Top C Rostthorngasse und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH).....	141
Abbildung 99: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top D – Wohnzimmer Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH).....	141
Abbildung 100: Raumlufttemperatur Top D Wohnzimmer Rostthorngasse und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)..	142
Abbildung 101: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top D - Arbeitszimmer Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH).....	142
Abbildung 102: Raumlufttemperatur Top D Schlafzimmer Rostthorngasse und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)..	143
Abbildung 112: Verlegung der Bauteilaktivierung in Bodenplatte (Quelle: BG-Graspointner GmbH)	145
Abbildung 104: Prinzipschema BG-Graspointner GmbH, Gebäudetechnik (AEE INTEC)	146
Abbildung 105: Monatsbilanz Wärmeverbrauch (Quelle: AEE INTEC).....	148
Abbildung 106: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: AEE INTEC)	148
Abbildung 107: Aufteilung der Wärmeverbräuche nach BTA-Systemen (Quelle: AEE INTEC)	149

Abbildung 108: monatliche Mittelwerte der Temperaturen im NT-Pufferspeicher (Quelle: AEE INTEC)	150
Abbildung 109: monatliche Mittelwerte der Temperaturen in den HT-Pufferspeichern (Quelle: AEE INTEC)	150
Abbildung 119: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das Hochregallager in der Heizperiode (Quelle: AEE INTEC)	151
Abbildung 120: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für die Bereitstellungshalle in der Heizperiode (Quelle: AEE INTEC)	151
Abbildung 112: Monatsbilanz Kälteverbrauch (Quelle: AEE INTEC)	153
Abbildung 113: Aufteilung der Kälteverbraucher (Quelle: AEE INTEC)	153
Abbildung 123: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das Hochregallager in der Kühlperiode (Quelle: AEE INTEC)	154
Abbildung 124: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für die Bereitstellungshalle in der Kühlperiode (Quelle: AEE INTEC)	154
Abbildung 116: Bauteiltemperatur im Vergleich zur Außentemperatur (Quelle: AEE INTEC)	155
Abbildung 117: Raumlufthtemperatur Bereitstellungshalle samt Behaglichkeitskategorien (Quelle: AEE INTEC)	156
Abbildung 118: Raumlufthtemperatur Hochregallager samt Behaglichkeitskategorien (Quelle: AEE INTEC)	156
Abbildung 119: Lufttemperaturen, Oberflächentemperaturen und operative Temperaturen für die Bereitstellungshalle (Quelle: AEE INTEC)	157
Abbildung 130: Schnittdarstellung Cobiax-Decke (AEE INTEC)	161
Abbildung 121: Prinzipschema Gugler Holding GmbH, Gebäudetechnik (AEE INTEC)	162
Abbildung 122: Monatsbilanz Wärmeverbrauch (Quelle: AEE INTEC)	164
Abbildung 123: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: AEE INTEC)	164
Abbildung 124: monatliche Mittelwerte der Speichertemperaturen (Quelle: AEE INTEC)	165
Abbildung 135: Bauteil-Temperaturen der Cobiax-Decke über der Raumtemperatur für das Büro R111 im OG für die Heizperiode Nov.23-Mär.24 (Quelle: AEE INTEC)	166
Abbildung 136: Bauteil-Temperaturen der Cobiax-Decke über der Raumtemperatur für das Büro R07 im EG für die Heizperiode Nov.23-Mär.24 (Quelle: AEE INTEC)	166
Abbildung 127: Bauteil-Temperaturen der Bodenplatte über der Raumtemperatur der Lagerhalle für die Heizperiode Nov.23-Mär.24 (Quelle: AEE INTEC)	167
Abbildung 128: Monatsbilanz Kälteverbrauch (Quelle: AEE INTEC)	168
Abbildung 129: Aufteilung der Kälteverbraucher (Quelle: AEE INTEC)	168
Abbildung 130: unerwünschte Kühlung über Cobiax-Decken im Dezember 2023, dargestellt anhand Messdaten des Referenzraumes R07 (Quelle: AEE INTEC)	169
Abbildung 141: Bauteil-Temperaturen der Cobiax-Decke über der Raumtemperatur für das Büro R111 im OG für die Kühlperiode Mai 24-Aug.24 (Quelle: AEE INTEC)	170
Abbildung 132: Bauteil-Temperaturen der Cobiax-Decke über der Raumtemperatur für das Büro R07 im EG für die Kühlperiode Mai 24-Aug.24 (Quelle: AEE INTEC)	170

Abbildung 133: Raumlufthtemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für die Räume R07 und R111 während der Heizperiode (Quelle: AEE INTEC)	171
Abbildung 134: Raumlufthtemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für die Räume R07 und R111 während der Kühlperiode (Quelle: AEE INTEC)	172
Abbildung 135: Raumlufthtemperatur R07 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)	172
Abbildung 136: Raumlufthtemperatur R111 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)	173
Abbildung 137: Lufttemperaturen, Oberflächentemperaturen und operative Temperaturen für den Referenzraum R07 (Quelle: AEE INTEC)	174
Abbildung 138: Raumlufthtemperaturen in 4 Höhen und Backglobe-Temperatur im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024 (Quelle: AEE INTEC)	175
Abbildung 139: Raumlufthfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024 (Quelle: AEE INTEC)	175
Abbildung 140: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024 (Quelle: AEE INTEC)	176
Abbildung 141: CO ₂ -Gehalt in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024 (Quelle: AEE INTEC)	176
Abbildung 142: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024 (Quelle: AEE INTEC)	177
Abbildung 143: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024 (Quelle: AEE INTEC)	177
Abbildung 144: PMV und PPD-Index im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024 (Quelle: AEE INTEC)....	178
Abbildung 145: Raumlufthtemperaturen in 4 Höhen und Backglobe-Temperatur im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024 (Quelle: AEE INTEC)	178
Abbildung 146: Raumlufthfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024 (Quelle: AEE INTEC)	179
Abbildung 147: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024 (Quelle: AEE INTEC)	179
Abbildung 148: CO ₂ -Gehalt in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024 (Quelle: AEE INTEC)	180
Abbildung 149: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024 (Quelle: AEE INTEC)	180
Abbildung 150: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024 (Quelle: AEE INTEC)	181
Abbildung 151: PMV und PPD-Index im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024 (Quelle: AEE INTEC)....	181
Abbildung 152: Prinzipschema Steiner Haustechnik KG, Gebäudetechnik (AEE INTEC).....	184
Abbildung 153: Monatsbilanz Wärmeverbrauch (Quelle: AEE INTEC).....	186
Abbildung 154: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: AEE INTEC)	186

Abbildung 155: Monatliche Mitteltemperaturen des Wärmespeichers (Quelle: AEE INTEC)	187
Abbildung 167: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das Buchhaltungsbüro für die Heizperiode Jän.-Apr. & Okt.-Dez.24 (Quelle: AEE INTEC)	188
Abbildung 168: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für die Lagerhalle für die Heizperiode Jän.-Apr. & Okt.-Dez.24 (Quelle: AEE INTEC)	188
Abbildung 158: Stromaufnahmen der Wärmepumpen für den Zeitraum von 01. bis 31.12.2024 (Quelle: AEE INTEC)	189
Abbildung 159: Detailanalyse des Wärmepumpensystems (Quelle: AEE INTEC)	190
Abbildung 160: Monatsbilanz Kälteverbrauch (Quelle: AEE INTEC)	191
Abbildung 161: Aufteilung der Kälteverbraucher (Quelle: AEE INTEC)	191
Abbildung 162: Monatliche Mitteltemperaturen des Kältespeichers (Quelle: AEE INTEC)	192
Abbildung 174: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das Buchhaltungsbüro für die Kühlperiode Mai-Sept.24 (Quelle: AEE INTEC)	193
Abbildung 164: Raumlufthtemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für diverse Büros (Quelle: AEE INTEC)	194
Abbildung 165: Raumlufthtemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für die Lagerhalle (Quelle: AEE INTEC)	194
Abbildung 166: Raumlufthtemperatur Buchhaltungsbüro und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)	195
Abbildung 167: Raumlufthtemperatur Besprechungsraum und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)	196
Abbildung 168: Lufttemperaturen, Oberflächentemperaturen und operative Temperaturen für das Buchhaltungsbüro (Quelle: AEE INTEC)	197
Abbildung 169: Schnittdarstellung Bodenplatte Rohrleitungen auf unterer Bewehrungslage (Quelle: hacon GmbH, angepasst durch e7)	200
Abbildung 170: Schnittdarstellung Massivholzdecke (Quelle: Hacon GmbH)	201
Abbildung 171: Prinzipschema Objekt Auenwerkstatt, Gebäudetechnik und Messkonzept (Quelle: e7)	203
Abbildung 172: Monatsbilanz Wärmeerzeugung (Quelle: e7)	205
Abbildung 173: Aufteilung der Wärmeerzeuger (Quelle: e7)	205
Abbildung 174: Monatsbilanz Wärmeverbrauch (Quelle: e7)	206
Abbildung 175: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: e7)	206
Abbildung 176: Carpet Plot Wärmeabgabeleistung in [W] der BTA Bodenplatte (oben) und der BTA Holzdecke (unten) für den Zeitraum im Heizmodus (1. Jan.- 24.Mai 2023) (Quelle: e7)	208
Abbildung 177: Bauteil-Temperaturen in [°C] der Bodenplatte (rote Punktwolke) und der Holzdecke (violette Punktwolke) über der Raumtemperatur für den Multifunktionsraum im Winterzeitraum Jan.-April 2023 (Quelle: e7)	209
Abbildung 178: Monatsbilanz Kälteerzeugung (Quelle: e7)	210
Abbildung 179: Monatsbilanz Kälteverbrauch (Quelle: e7)	210

Abbildung 180: Aufteilung der Kälteverbraucher (Quelle: e7)	211
Abbildung 181: Leistung Kältebereitstellung Erdkollektor und Kälteabgabeleistungen in [W] der beiden Bauteilaktivierungs-Elemente während der Kühlperiode 25. Mai bis 30. Sept. (Quelle: e7) .	211
Abbildung 182: Verlauf der Beton- und Decken-Kerntemperaturen in [°C] im Multifunktionsraum, Zeitraum Ende Mai und Juni 2023 (Quelle: e7).....	212
Abbildung 183: Bauteil-Temperaturen in [°C] der Bodenplatte über der Raumtemperatur für den Multifunktionsraum für die Kühlperiode Juni-Aug. 2023 (Quelle: e7).....	213
Abbildung 184: Bauteil-Temperaturen in [°C] der Holzdecke über der Raumtemperatur für den Multifunktionsraum für die Kühlperiode Juni-Aug. 2023 (Quelle: e7).....	213
Abbildung 185: Monatsbilanz Stromerzeugung (Quelle: e7)	214
Abbildung 186: Aufteilung der Stromerzeugung 2023 (Quelle: e7).....	214
Abbildung 187: Monatsbilanz Stromverbrauch (Quelle: e7).....	215
Abbildung 188: Aufteilung der Stromverbraucher 2023 (Quelle: e7)	216
Abbildung 189: Behaglichkeitsdiagramm Büro (Quelle: e7)	217
Abbildung 190: Behaglichkeitsdiagramm Multifunktionsraum 1 (Quelle: e7).....	217
Abbildung 191: Raumlufthtemperatur Multifunktionsraum und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Auenwerkstatt (Quelle: e7)	218
Abbildung 192: Raumlufthtemperatur Büro und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Auenwerkstatt (Quelle: e7)	218
Abbildung 193: Operative Temperaturen für die Referenzräume (Quelle: e7)	219
Abbildung 194: Raumlufthtemperaturen in unterschiedlichen Höhen und Backglobe-Temperatur im Multifunktionsraum, 28.02.-07.03.2023 (Quelle: AEE INTEC).....	220
Abbildung 195: Raumlufthfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Multifunktionsraum, 28.02.-07.03.2023 (Quelle: AEE INTEC)	220
Abbildung 196: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Multifunktionsraum, 28.02.-07.03.2023 (Quelle: AEE INTEC)	221
Abbildung 197: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Multifunktionsraum, 28.02.-07.03.2023 (Quelle: AEE INTEC und e7)	221
Abbildung 198: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Multifunktionsraum, 28.02.-07.03.2023 (Quelle: AEE INTEC und e7)	222
Abbildung 199: PPD- und PVM-Index, Multifunktionsraum, 28.02.-07.03.2023 (Quelle: e7)	222
Abbildung 200: Raumlufthtemperaturen in unterschiedlichen Höhen und Backglobe-Temperatur im Multifunktionsraum, 06.08.-20.08.2024 (Quelle: AEE INTEC und e7)	223
Abbildung 201: Raumlufthfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Multifunktionsraum, 06.08.-20.08.2024 (Quelle: AEE INTEC und e7)	223
Abbildung 202: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Multifunktionsraum, 06.08.-20.08.2024 (Quelle: AEE INTEC und e7)	224
Abbildung 203: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Multifunktionsraum, 06.08.-20.08.2024 (Quelle: AEE INTEC und e7)	224

Abbildung 204: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Multifunktionsraum, 06.08.-20.08.2024 (Quelle: AEE INTEC und e7)	225
Abbildung 205: PPD- und PVM-Index, Multifunktionsraum, 06.08.-20.08.2024 (Quelle: e7)	225
Abbildung 220: Schnittdarstellung aktivierte Holzdecke (AEE INTEC)	227
Abbildung 207: Prinzipschema Zweifamilienhaus Thoma, Gebäudetechnik (AEE INTEC)	228
Abbildung 208: Monatsbilanz Wärmeverbrauch (Quelle: AEE INTEC).....	230
Abbildung 209: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: AEE INTEC)	230
Abbildung 210: Monatliche Temperaturen im WW-Speicher (Quelle: AEE INTEC)	231
Abbildung 211: Monatliche Temperaturen im Heizungspuffer (Quelle: AEE INTEC).....	231
Abbildung 212: Speichertemperaturen und Wärmepumpenleistung im Juni 2024 (Quelle: AEE INTEC)	232
Abbildung 213: Detailanalyse des Wärmepumpensystems für WW-Bereitung (Quelle: AEE INTEC). 234	
Abbildung 214: Detailanalyse des Wärmepumpensystems für Beladung des NT-Puffers (Quelle: AEE INTEC)	234
Abbildung 215: Monatsbilanz Kälteverbrauch (Quelle: AEE INTEC)	235
Abbildung 216: Aufteilung der Kälteverbraucher (Quelle: AEE INTEC).....	236
Abbildung 217: Detailanalyse Kühlbetrieb samt Umschaltvorgang (Quelle: AEE INTEC)	237
Abbildung 218: Detailanalyse Kühlbetrieb im August 2024 (Quelle: AEE INTEC)	238
Abbildung 219: Raumlufttemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für drei betrachtete Räume (Quelle: AEE INTEC)	238
Abbildung 220: Raumlufttemperatur Arbeitszimmer EG und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)	239
Abbildung 221: Behaglichkeitsdiagramm mit rel. Feuchte und Lufttemperatur für das Arbeitszimmer im EG (Quelle: AEE INTEC).....	240
Abbildung 222: Raumlufttemperatur Arbeitszimmer OG und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)	240
Abbildung 223: Behaglichkeitsdiagramm mit rel. Feuchte und Lufttemperatur für das Arbeitszimmer im OG (Quelle: AEE INTEC)	241
Abbildung 224: Raumlufttemperatur Wohnzimmer OG und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)	241
Abbildung 225: Behaglichkeitsdiagramm mit rel. Feuchte und Lufttemperatur für den Wohnbereich im OG (Quelle: AEE INTEC)	242
Abbildung 226: Schnittdarstellung Zwischendecke (Quelle: Hacon GmbH)	244
Abbildung 227: Prinzipschema Haus der Generationen, Gebäudetechnik und Messkonzept (Quelle: e7).....	245
Abbildung 228: Monatsbilanz Wärmeverbrauch, Haus der Generationen (Quelle: e7).....	247
Abbildung 229: Prozentuelle Aufteilung des Wärmeverbrauchs, Haus der Generationen (Quelle: e7)	247

Abbildung 230: Monatsbilanz Kältebereitstellung, Haus der Generationen (Quelle: e7)	248
Abbildung 231: Carpet Plot der Kühlleistung in [kW] Grundwasserkühlung Juni - August 2023, Haus der Generationen (Quelle: e7)	249
Abbildung 232: Elektrische Leistungsaufnahme in [kW] und FU-Vorgabe in [%] der Grundwasser-Brunnenpumpe (Quelle: e7)	250
Abbildung 233: Monatsbilanz Kältemenge und Stromverbrauch für Kühlung, Haus der Generationen (Quelle: e7)	251
Abbildung 234: Monatsbilanz PV-Erzeugung, Haus der Generationen (Quelle: e7)	251
Abbildung 235: Monatsbilanz Strom-Netzbezug, PV-Direktnutzung und PV-Netzeinspeisung, Haus der Generationen (Quelle: e7)	252
Abbildung 236: Monatsbilanz Strom-Netzbezug und PV-Netzeinspeisung, Haus der Generationen (Quelle: e7)	252
Abbildung 237: Monatsbilanz Stromverbrauch Kühlung, Haus der Generationen (Quelle: e7)	253
Abbildung 238: Monatsbilanz Stromverbrauch Lüftungsanlagen, Haus der Generationen (Quelle: e7)	253
Abbildung 239: Behaglichkeitsdiagramme, Haus der Generationen (Quelle: e7)	254
Abbildung 240: Raumlufttemperatur EG ID313 KIGRI Gruppenraum [Schildkrötengruppe] und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Haus der Generationen (Quelle: e7)	255
Abbildung 241: Raumlufttemperatur OG1 ID120 KIGA Gruppenraum [Raupengruppe] und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Haus der Generationen (Quelle: e7)	256
Abbildung 242: Raumlufttemperatur o OG1 ID132 KIGA Gruppenraum [Bärengruppe] und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Haus der Generationen (Quelle: e7)	256
Abbildung 243: CO ₂ -Konzentration Raupengruppe, Haus der Generationen (Quelle: e7)	257
Abbildung 244: Operative Temperaturen für die Referenzräume, Haus der Generationen (Quelle: e7)	258
Abbildung 245: Schnittdarstellung bauteilaktivierte Decke im OG (AEE INTEC)	260
Abbildung 246: Prinzipschema solar.one, Gebäudetechnik (AEE INTEC)	261
Abbildung 247: Monatsbilanz Wärmeverbrauch der Fußbodenheizungen (Quelle: AEE INTEC)	263
Abbildung 248: Aufteilung des Wärmeverbrauchs nach Abgabesystemen (Quelle: AEE INTEC)	263
Abbildung 249: monatliche Mittelwerte der Temperaturen im Wärmespeicher (Quelle: AEE INTEC)	264
Abbildung 250: Monatsbilanz Kälteverbrauch der Bauteilaktivierungssysteme und Lüftungsanlage (Quelle: AEE INTEC)	265
Abbildung 251: Aufteilung des Kälteverbrauchs nach Abgabesystemen (Quelle: AEE INTEC)	265
Abbildung 252: monatliche Mittelwerte der Temperaturen im Kältespeicher (Quelle: AEE INTEC) ..	266

Abbildung 253: Links: Bauteil-Temperaturen der Kühldecke über der Raumtemperatur für den Referenzraum 2 im EG für die Kühlperiode Mai 24-Sep.24; Rechts: Bauteil-Temperaturen der Kühldecke über der Raumtemperatur für die Repräsentations-Räumlichkeiten im EG für die Kühlperiode Mai 24-Sep.24 (Quelle: AEE INTEC)	266
Abbildung 271: Bauteil-Temperaturen der Kühldecke über der Raumtemperatur für das Eckbüro im OG für die Kühlperiode Mai 24-Sep.24 (Quelle: AEE INTEC).....	267
Abbildung 272: Bauteil-Temperaturen der Kühldecke über der Raumtemperatur für den Vorraum im OG für die Kühlperiode Mai 24-Sep.24 (Quelle: AEE INTEC).....	267
Abbildung 256: Raumlufthtemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für die beiden Referenzräume während der Heizperiode (Quelle: AEE INTEC)	269
Abbildung 257: Raumlufthtemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für die beiden Referenzräume während der Kühlperiode (Quelle: AEE INTEC)	269
Abbildung 258: Raumlufthtemperatur Referenzraum 1 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)	270
Abbildung 259: Raumlufthtemperatur Referenzraum 2 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)	271
Abbildung 260: Lufttemperaturen, Oberflächentemperaturen und operative Temperaturen für die Referenzräume (Quelle: AEE INTEC)	271
Abbildung 261: Raumlufthtemperaturen in 4 Höhen und Backglobe-Temperatur im Referenzraum 1 im OG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)	273
Abbildung 262: Raumlufthtemperaturen in 4 Höhen und Backglobe-Temperatur im Referenzraum 2 im EG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)	273
Abbildung 263: Raumlufthfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 1 im OG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)	274
Abbildung 264: Raumlufthfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 2 im EG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)	274
Abbildung 265: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Referenzraum 1 im OG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)	275
Abbildung 266: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Referenzraum 2 im EG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)	275
Abbildung 267: CO ₂ -Gehalt in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 1 im OG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)	275
Abbildung 268: CO ₂ -Gehalt in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 2 im EG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)	276
Abbildung 269: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Referenzraum 1 im OG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)	276
Abbildung 270: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Referenzraum 2 im EG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)	277

Abbildung 271: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Referenzraum 1 im OG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)	277
Abbildung 272: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Referenzraum 2 im EG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)	278
Abbildung 273: Raumlufttemperaturen in 4 Höhen und Backglobe-Temperatur im Referenzraum 1 im OG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)	279
Abbildung 274: Raumlufttemperaturen in 4 Höhen und Backglobe-Temperatur im Referenzraum 2 im EG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)	279
Abbildung 275: Raumluftfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 1 im OG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)	280
Abbildung 276: Raumluftfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 2 im EG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)	280
Abbildung 277: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Referenzraum 1 im OG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)	281
Abbildung 278: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Referenzraum 2 im EG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)	281
Abbildung 279: CO ₂ -Gehalt in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 1 im OG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)	281
Abbildung 280: CO ₂ -Gehalt in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 2 im EG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)	282
Abbildung 281: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Referenzraum 1 im OG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)	282
Abbildung 282: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Referenzraum 2 im EG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)	282
Abbildung 283: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Referenzraum 1 im OG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)	283
Abbildung 284: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Referenzraum 2 im EG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)	283
Abbildung 285: Schnittdarstellung Außenwand (Quelle: AEE INTEC)	286
Abbildung 286: Prinzipschema SüdSan, Gebäudetechnik und Messkonzept (Quelle: AEE INTEC)	287
Abbildung 287: Monatsbilanz Wärmeverbrauch Südsan (Quelle: AEE INTEC)	289
Abbildung 288: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: AEE INTEC)	289
Abbildung 289: Temperaturverlauf im Heizungspufferspeicher; rote Flächen: Durchladen des Pufferspeichers ohne Heizwärmeverbrauch (Quelle: AEE INTEC)	290
Abbildung 290: Strombedarf Wärmepumpe und PV-Ertrag im Winter (Quelle: AEE INTEC)	291
Abbildung 291: Strombedarf Wärmepumpe und PV-Ertrag im Sommer (Quelle: AEE INTEC)	291
Abbildung 292: Detailanalyse des Wärmepumpensystems (Quelle: AEE INTEC)	292
Abbildung 293: Behaglichkeitsdiagramme der Referenzräume, SüdSan (Quelle: AEE INTEC)	292
Abbildung 294: Raumlufttemperatur im Wohnzimmer Eiche und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemp. für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, SüdSan (Quelle: AEE INTEC)	293

Abbildung 295: Raumlufthtemperatur Wohnzimmer Ahorn und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, SüdSan (Quelle: AEE INTEC)	294
Abbildung 296: Schnittdarstellung Bodenplatte Rohrleitungen auf unterer Bewehrungslage (Quelle: Hacon GmbH, angepasst durch e7)	296
Abbildung 297: Prinzipschema Gebäudetechnik und Messkonzept für Römergrund, Fa. Hörburger (Quelle: e7)	297
Abbildung 298: Monatsbilanz Wärmeerzeugung (Quelle: e7)	299
Abbildung 299: Monatsbilanz Wärmeverbrauch Bauteilaktivierung Halle Lüftungsbau (Quelle: e7)	299
Abbildung 300: Gegenüberstellende Monatsbilanz Wärmeerzeugung versus Wärmeverbrauch Bauteilaktivierung Halle Lüftungsbau (Quelle: e7).....	300
Abbildung 301: Sollwertschiebung BTA (Quelle: Funktionsbeschreibung Anlagenautomation Hörburger, Stand 03.12.2020).....	301
Abbildung 302: Vor- und Rücklauftemperatur bei aktivem Betrieb des Heizkreises Bauteilaktivierung, Dez. 2022 (Quelle: e7)	302
Abbildung 303: Carpet Plot Wärmeabgabeleistung des Heizungsregelkreises Bauteilaktivierung Produktionshalle Lüftungsbau für den Zeitraum Nov. 2022 – Feb. 2023 (Quelle: e7).....	302
Abbildung 304: Monatsbilanz Kälteerzeugung u. -Verbrauch der Bauteilaktivierung Produktionshalle Lüftungsbau (Quelle: e7)	304
Abbildung 305: Monatsbilanz Kälteverbrauch der Bauteilaktivierung Produktionshalle Lüftungsbau, Büro-Kühlung inkl. Lüftungskälteverbrauch (Quelle: e7)	305
Abbildung 306: Anteile der Kälteverbraucher, Fa. Hörburger Standort Römergrund 9 (Quelle: e7) .	305
Abbildung 307: Monatsbilanz Stromerzeugung Photovoltaik (Quelle: e7).....	306
Abbildung 308: Monatsbilanz PV-Stromerzeugung versus Stromverbrauch der Wärmepumpen (Quelle: e7)	307
Abbildung 309: Behaglichkeitsdiagramm Produktionshalle Lüftungsbau (Quelle: e7).....	308
Abbildung 310: Temperaturverlauf Raumtemperatur Produktionshalle Lüftungsbau, Nov. 2022 – Mai 2023 (Quelle: e7)	309
Abbildung 311: Raumlufthtemperatur über Außentemperatur, Produktionshalle Lüftungsbau (Quelle: e7).....	309
Abbildung 312: Raumlufthtemperatur Produktionshalle und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Produktionsstätten in Anlehnung an SIA2024:2021, Fa. Hörburger, Römergrund (Quelle: e7)	310
Abbildung 313: Operative Temperaturen für die Produktionshalle, aufgenommen am 30.09.2023 (Quelle: e7)	311
Abbildung 314: Schnittdarstellung Geschoßdecke (Quelle: hacon GmbH).....	314
Abbildung 315: Prinzipschema Objekt Käthe-Dorsch-Gasse 17, Gebäudetechnik und Messkonzept (Quelle: hacon GmbH)	315
Abbildung 316: Energieflussdiagramm (gemessen) der Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	317

Abbildung 317: Monatsbilanz Wärmeverbrauch Raumheizung Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	318
Abbildung 318: Zusammenhang Vorlauftemperatur für Raumwärme / Außenlufttemperatur für den Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	319
Abbildung 319: Zusammenhang Vorlauftemperatur für die Lüftungsanlage / Außenlufttemperatur für den Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	320
Abbildung 320: Jahresdauerlinie der Spreizungen der einzelnen Bauteilaktivierungsabgänge der Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	320
Abbildung 321: Zusammenhang Heizleistung der Bauteilaktivierung / Außenlufttemperatur in der Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	321
Abbildung 322: Stündlich abgegebene Abgabeleistung der Bauteilaktivierung in der Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	322
Abbildung 323: Gemessene Jahresarbeitszahlen der einzelnen Wärmepumpen in der Käthe-Dorsch-Gasse 17	323
Abbildung 324: Monatsbilanz der abgeführten Kälte durch die Bauteilaktivierung Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	324
Abbildung 325: Zusammenhang Vorlauftemperatur für Raumkühlung / Außenlufttemperatur Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	324
Abbildung 326: Jahresdauerlinie der Spreizungen der einzelnen Bauteilaktivierungsabgänge (Quelle: hacon GmbH)	325
Abbildung 327: Zusammenhang Kühlleistung der Bauteilaktivierung / Außenlufttemperatur Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	326
Abbildung 328: Stündlich entzogene Wärmeleistung der Bauteilaktivierung der Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	326
Abbildung 329: Monatsbilanz lokale Energieerzeugung mittels PV Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	327
Abbildung 330: Monatsbilanz der elektrischen Stromverbraucher bzw. Stromerzeuger in der Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	328
Abbildung 331: Anteiliger Stromverbrauch der Einzelverbraucher am Gesamtstrombedarf der Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	328
Abbildung 332: Links: Behaglichkeitsdiagramm Top A; Rechts: Temperaturunterschied Decke Top A	332
Abbildung 333: Zusammenhang der Kern,- Oberflächen- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP A (Quelle: hacon GmbH)	332
Abbildung 334: Zeitlicher Verlauf der Raumlufttemperatur Top A und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)	332
Abbildung 335: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top B; Rechts: Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top B	333
Abbildung 336: Zusammenhang der Kern,- Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP B (Quelle: hacon GmbH)	333

Abbildung 337: Zeitlicher Verlauf der Raumlufthtemperatur Top B und Standardauslegungswerte- Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)	333
Abbildung 338: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top C; Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top C.....	Rechts: 334
Abbildung 339: Zusammenhang der Kern,- Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP C (Quelle: hacon GmbH)	334
Abbildung 340: Zeitlicher Verlauf der Raumlufthtemperatur Top C und Standardauslegungswerte- Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)	334
Abbildung 341: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top D Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top D.....	Rechts: 335
Abbildung 342: Zusammenhang der Kern,- Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP D (Quelle: hacon GmbH).....	335
Abbildung 343: Zeitlicher Verlauf der Raumlufthtemperatur Top D und Standardauslegungswerte- Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)	335
Abbildung 344: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top E Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top E	Rechts: 336
Abbildung 345: Zusammenhang der Kern,- Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP E (Quelle: hacon GmbH)	336
Abbildung 346: Zeitlicher Verlauf der Raumlufthtemperatur Top E und Standardauslegungswerte- Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)	336
Abbildung 347: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top F Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top F	Rechts: 337
Abbildung 348: Zusammenhang der Kern,- Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP F (Quelle: hacon GmbH)	337
Abbildung 349: Zeitlicher Verlauf der Raumlufthtemperatur Top F und Standardauslegungswerte- Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)	337
Abbildung 350: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top G Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top G	Rechts: 338
Abbildung 351: Zusammenhang der Kern,- Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP G (Quelle: hacon GmbH).....	338
Abbildung 352: Zeitlicher Verlauf der Raumlufthtemperatur Top G und Standardauslegungswerte- Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)	338
Abbildung 353: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top H Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top H	Rechts: 339

Abbildung 376: Raumlufthtemperatur Besprechungsraum und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, BOKU TÜWI (Quelle: e7).....	357
Abbildung 377: Raumlufthtemperatur Userraum und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, BOKU TÜWI (Quelle: e7).....	358
Abbildung 378: Operative Temperaturen für die Referenzräume, TÜWI (Quelle: e7).....	358
Abbildung 379: Raumlufthtemperatur ÖH-Großraum, 26.01.-06.02.2023 (Quelle: e7).....	359
Abbildung 380: PMV- und PPD-Werte für die Messperiode "Winter" im Referenzraum ÖH Großraum (Quelle: e7).....	360
Abbildung 381: Raumlufthtemperatur ÖH-Großraum, 26.06.-17.07.2023 (Quelle: e7).....	360
Abbildung 382: PMV- und PPD-Werte für die Messperiode "Sommer" im Referenzraum ÖH Großraum (Quelle: e7).....	361

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick Demonstrationsgebäude.....	14
Tabelle 2: Ausgewählte Demonstratoren für das vertiefte Behaglichkeitsmonitoring	16
Tabelle 3: Definition der Demonstrator-Bewertungskriterien.....	18
Tabelle 4: Kennzahlen PV-Erzeugung, Haus der Generationen (Quelle: e7).....	252
Tabelle 5: Mittlere Raumlufthtemperaturen und Anteile der Überhitzungsstunden der Referenzräume (Quelle: AEE INTEC)	293
Tabelle 6: Legende für Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnungen	330
Tabelle 7: Mittlere Raumlufthtemperaturen und Anteile der Überhitzungsstunden der Referenzräume Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	330
Tabelle 8: Mittlere Raumlufthtemperaturen und Anteile der Überhitzungsstunden der Referenzräume Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)	331
Tabelle 9: Mittlere Raumlufthtemperaturen und Anteile der Überhitzungsstunden der Referenzräume (Quelle: e7).....	355

Literaturverzeichnis

- Bergia Boccardo, L. K. (2019). Economic comparison of TABS, PCM ceiling panels and all-air systems for cooling. *Energy and Buildings*.
- Bundesministerium für Klimaschutz, U. E. (2023). *Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich*. Wien: undesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK).
- D. Muschick, V. K.-T. (2023). *Optimiertes Regelungs- und Betriebsverhalten thermisch aktivierter Gebäude zukünftiger Stadtquartiere*. Wien: BMK.

- DIN1045-2. (2008). *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN206-1*.
- Fink C., K. S. (2019). *Wissenschaftliche Begleitforschung zum Förderprogramm "Solarthermie - Solare Großanlagen 2013"*. Gleisdorf.
- Hoffmann, J. (2018). Thermische Bauteilaktivierung - von der Theorie in die urbane Praxis. *Masterarbeit*. Wien: Technische Universität Wien.
- Kazanci, O. B. (2025). Thermal Active Building Systems (TABS): A Path to Energy Flexibility and Renewable Integration. *REHVA Journal*, Vol. 62, No. 1, pp. 18–25.
- Lampersberger P., W. M. (2021). *Demo light Impact-Monitoring und messtechnische Untersuchung von energieeffizienten Gebäuden - DeLight Monitoring*. Wien.
- M. Gumhalter, T. R. (2022). *Flexibility potentials of prefabricated facade elements with integrated active layer*. Graz: 2nd International sustainable energy conference.
- Olesen, B. W. (2012). Thermo Active Building Systems — Using Building Mass To Heat and Cool. *ASHRAE Journal*, 54(2), 44-52.
- Preßmair G., A. W. (2024). *Thermally Activated Building Structures as Flexibility Option for the Electricity Market*. International Sustainable Energy Conference.
- Ritter D., R. C.-C.-C. (2025). Activating the Electrical Energy Flexibility of Residential Thermal Systems an Analysis of Non-Technical Barriers in Six Countries. *SSR*, <https://ssrn.com/abstract=5365294>.
- Villar-Ramos, M. M. (2022). A Review of Thermally Activated Building Systems (TABS) as an Alternative for Improving the Indoor Environment of Buildings. *Energies*, <https://doi.org/10.3390/en15176179>.
- W. Amann, e. a. (2023). *Bewertung der Bauteilaktivierung als Option für Flexibiliät im Strommarkt*. Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK).

7 Anhang

7.1 Data Management Plan (DMP)

Nachfolgender Data Management Plan beschreibt den Umgang mit den erfassten Forschungsdaten des Projekts BTTAB.

1. Datenerstellung und Dokumentation

Im Rahmen einzeln abgeschlossener Kooperationsvereinbarungen zwischen den Kooperationspartnern e7, AEE INTEC, hacon und IFZ und den Objekteigentümer:innen erklärten sich die Objekteigentümer:innen bereit, ihr Objekt einer messtechnischen Untersuchung zu unterziehen und die Daten zu Energieverbrauch und Komfortparameter zur Auswertung im Projekt BTTAB zur Verfügung zu stellen. Die Kooperationsvereinbarungen regeln den gesamten Datenaustausch für den Projektzweck BTTAB zwischen den Projektbeteiligten und wie die Daten gegenüber Dritten zu handhaben sind.

Die Kooperationsvereinbarung mit den Objekteigentümer:innen beinhaltet insbesondere folgende Festlegungen bezüglich dem Datenmanagement im Zuge des Monitoringprojekts:

„Alle an die Kooperationspartner (Anm.: AEE INTEC, e7, hacon und IFZ) übermittelten und im Rahmen des Projekts erhobenen Daten werden vertraulich behandelt und nicht an Dritte außerhalb des Projekts weitergegeben. Sie stehen ausschließlich den Kooperationspartnern für die erforderlichen Auswertungen im Rahmen des Projekts zur Verfügung. Ausschließlich vom Objekteigentümer freigegebene Informationen und Auswertungen der Daten dürfen von den Kooperationspartnern sowie vom Auftraggeber (Stadt der Zukunft, BMK) verwendet und veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung der Projektergebnisse (insbesondere Auswertungen von Energieverbräuchen in aggregierter Form) sowie von ergänzenden technischen Informationen (Gebäudehülle, Gebäudetechnik, Fotos, ...) erfolgt nach Abstimmung mit dem Gebäudeeigentümer. Sofern Daten für einzelne Nutzungseinheiten erhoben werden, werden diese nur in anonymisierter Form veröffentlicht, sodass keine Rückschlüsse auf das individuelle Nutzer:innenverhalten möglich sind.

Die Kooperationspartner sichern außerdem die Einhaltung der einschlägigen DSGVO-Bestimmungen zu.

[...]

Im Rahmen des Projekts finden Verbrauchs-, Versorgungs- und Behaglichkeitsmessungen statt. Die Datenübertragung findet ausschließlich an den Konsortialleiter AEE INTEC und während der Monitoringperiode statt und kann auf unterschiedliche Weise erfolgen (Datenlogger, FTP, Gastzugriff auf vorhandene Leittechnik, etc.). Diese wird in der Projektstartphase gemeinsam erarbeitet. Im Zuge der Auswertung der Monitoring-Daten werden diese an die Projekt-Kooperationspartner übermittelt und mit Hilfe entsprechender Analysesoftware verarbeitet.

Die Kosten für die Datenanbindung werden vom Forschungsprojekt getragen. Der Objekteigentümer stimmt zu, dass die an die Kooperationspartner übermittelten Daten von diesen gespeichert und verarbeitet werden. Die im Zusammenhang mit dem Monitoring-Projekt stehenden technischen Details

zur Sensorik, Datenaufzeichnung und Datenanbindung und IT-Sicherheit sind in der Beilage näher spezifiziert und Teil dieser Vereinbarung.

Darüber hinaus stimmt der Objekteigentümer ausdrücklich zu, dass nach Beendigung der messtechnischen Untersuchung, die im Zuge der Projektdurchführung von ihm übermittelten Daten zu Dokumentationszwecken von den Kooperationspartnern archiviert werden.“

Zu Projektstart wurden von den jeweiligen Gebäudeeigentümer:innen Objektdaten wie Flächenangaben, AnsprechpartnerInnen, Energieausweise, Haustechnikschema und sonstige relevante Informationen zu den Energiekonzepten bzw. zur Haustechnik zur Verfügung gestellt.

Ebenso stellten die Objekteigentümer:innen Fotos von den Objekten zur Verfügung. Die Nutzungsrechte für Fotos wurde ebenso in der Kooperationsvereinbarung geregelt.

Entsprechend der oben angeführten Bedingungen der Kooperationsvereinbarung werden für die Veröffentlichung der Objekt-Einzelberichte in der publizierbaren Studie von den Objekteigentümer:innen Freigaben eingeholt.

2. Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte

Die Komfortmessdaten der Referenzräume wurden anonymisiert erhoben und im Ergebnisbericht ebenso dargestellt, sodass keine Rückschlüsse auf Namen oder andere personenbezogene Daten der Nutzer:innen bzw. Bewohner:innen erfolgen können.

Die erhobenen Daten wurden im Zuge des Projekts mit von den Kooperationspartnern gesammelt und analysiert. Die Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgt als Objekt-Einzelberichte im Ergebnisbericht in aggregierter Form.

Die Verwendung der Monitoring-Rohdatensätze sind für weitere Verwendungen durch Dritte von den Objekteigentümer:innen nicht freigegeben und werden dementsprechend von den Kooperationspartnern nicht weitergereicht.

3. Datenspeicherung und -erhalt

Die Kooperationspartner verfügen über unternehmensinterne Datenserver, auf denen die Objekt- und Monitoringdaten und Auswertungs- und Berichtdateien sicher abgelegt sind und regelmäßig gesichert werden. Eine Archivierung für Dokumentationszwecke ist somit von den Kooperationspartnern gegeben.

4. Wiederverwendbarkeit der Daten

Zugriff auf die Monitoringdaten haben ausschließlich unternehmensinterne Mitarbeiter:innen der Kooperationspartner.

Die Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgt im Stadt-der-Zukunft-Ergebnisbericht in aggregierter Form. Die interessierte Öffentlichkeit hat die Möglichkeit, über die Programm-Website den Ergebnisbericht abzurufen.

8 Detailberichte der Demonstratoren

8.1 MAM Forschungs- und Entwicklungszentrum, B

Bauteilaktivierung: Decken (Beton)		
Objektnutzung: Forschungs- und Entwicklungszentrum	Standort: Innovationsplatz 1, 7051 Großhöflein	Fertigstellung: 2021

8.1.1 Objektbeschreibung

Das Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH in Großhöflein bietet Platz für 75 Mitarbeiter. Es wurde 2021 im Niedrigst-Energiestandard fertiggestellt und enthält unter anderem hochmoderne Büroräume, eine Dachterrasse und ein Fitnessstudio. Das Gebäude besteht aus 3 runden Bauteilen, die ineinandergreifend angeordnet sind. Die Fassadenflächen bestehen aus einer Glasfassade mit 3-fach-Wärmeschutzverglasung mit bewegtem Sonnenschutz in Form von Vertikallamellen. Die Heizung und Kühlung des Gebäudes erfolgt über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe in Kombination mit einem Erdsondenfeld, die Wärme- und Kälteabgabe erfolgt im Wesentlichen über die Betonkernaktivierung.

Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	3.688 m ²	Eigentümer: MAM Health & Innovation GmbH
HKLS-Planung	Hopferwieser + Steinmayr Installations GmbH	Name: DI Norbert Polatschek
Architektur	Innocad Architektur ZT GmbH	Web: https://www.mambaby.com/

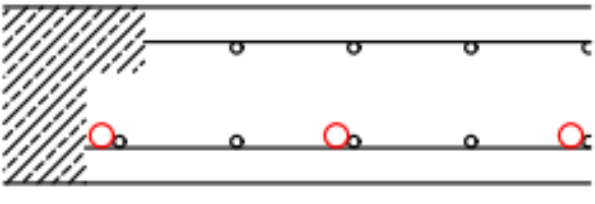
Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- Mittelschwere Bauweise in Niedrigst-Energiestandard, 2-geschoßig
- Moderne Büro- und Entwicklungsräumlichkeiten inkl. Dachterrasse und Fitnessstudio
- Im Bürobereich Anwendung von Heradesign-Platten für Akustik-Zwecke in Kombination mit bauteilaktivierter Decke
- Bewegter Sonnenschutz mit Vertikallamellen
- Kompakte Bauweise, $A/V = 0,37 \text{ [1/m]}$, charakteristische Länge 2,69 [m]

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde in den Decken der Bauteile 2 und 3 ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Decken																			
Einsatz	Heizung und Kühlung																		
Aktivierte Fläche	Decken der Bauteile 2 und 3, ca. 2.600 m ²																		
Aktiviertes Material	Stahlbeton, Deckenstärke Stahlbetondecke 30 cm <u>Deckenaufbauten (relevante Bauteile):</u> <i>Geschoßdecke</i> <table> <tr> <td>Teppich</td><td>0,01 m</td></tr> <tr> <td>Doppelboden</td><td>0,04 m</td></tr> <tr> <td>Luftschicht</td><td>0,17 m</td></tr> <tr> <td>Stahlbeton</td><td>0,30 m</td></tr> </table> <i>Flachdach intensiv/extensiv/Terrasse</i> <table> <tr> <td>Ggf. Gründach/Terrassenbelag</td><td>0,10 m</td></tr> <tr> <td>Bitumen Abdichtung</td><td>0,012 m</td></tr> <tr> <td>EPS Gefälledämmung</td><td>0,02 m</td></tr> <tr> <td>PUR-Dämmplatte</td><td>0,20 m</td></tr> <tr> <td>Stahlbeton</td><td>0,30 m</td></tr> </table>	Teppich	0,01 m	Doppelboden	0,04 m	Luftschicht	0,17 m	Stahlbeton	0,30 m	Ggf. Gründach/Terrassenbelag	0,10 m	Bitumen Abdichtung	0,012 m	EPS Gefälledämmung	0,02 m	PUR-Dämmplatte	0,20 m	Stahlbeton	0,30 m
Teppich	0,01 m																		
Doppelboden	0,04 m																		
Luftschicht	0,17 m																		
Stahlbeton	0,30 m																		
Ggf. Gründach/Terrassenbelag	0,10 m																		
Bitumen Abdichtung	0,012 m																		
EPS Gefälledämmung	0,02 m																		
PUR-Dämmplatte	0,20 m																		
Stahlbeton	0,30 m																		
Verlegungsart	Roth Systemrohr X-Pert S5, Mehrschicht-PE-Rohr, 20x2,2 mm Verlegeabstände 15 und vereinzelt 30 cm.																		
Regelungsstrategie	Zusammen mit der Betriebsartenumschaltung Heizen/Kühlen des Gesamtversorgungssystems erfolgt auch die hydraulische- und regelungstechnische Umschaltung der BTA. Aktuell wird eine manuelle Betriebsartenumschaltung durch den Betreiber vorgenommen. Eine Möglichkeit zur automatischen Umschaltung entsprechend der gemessenen Außentemperatur ist in der Regelung vorgesehen, wird aber derzeit nicht genutzt. Im HEIZBETRIEB wird die Bauteilaktivierung aus dem Niedertemperatur-Wärmespeicher versorgt. Die Regelung der Vorlauftemperatur erfolgt gleitend nach der Außentemperatur. Zusätzlich dazu dienen die direkt im Beton verbauten Temperaturfühler (Kerntemperaturmessung) zur Begrenzung der BTA über die Raumtemperatur. Eine maximale Differenz zur Raumtemperatur ist einzuhalten. Dazu sind Referenzraumfühler in den einzelnen Geschoßen eingebaut. Im KÜHLBETRIEB wird die Bauteilaktivierung aus dem Hochtemperatur-Kältespeicher versorgt. Die Regelung der Vorlauftemperatur erfolgt gleitend nach der Außentemperatur. Zusätzlich dazu dienen die direkt im Beton verbauten Temperaturfühler (Kerntemperaturmessung) zur Begrenzung der BTA über die Raumtemperatur. Eine maximale Differenz zur Raumtemperatur ist einzuhalten. Dazu sind Referenzraumfühler in den einzelnen Geschoßen eingebaut. Regelungsstrategie zur Nutzung der BTA-Speicherfähigkeit: Die Regelung sieht eine Möglichkeit zur Überladung im Heiz- und Kühlbetrieb vor. Es sind frei einstellbare Sollwert-Einstellungen für die Überladung im Heiz- und Kühlbetrieb möglich. Diese Funktion wird allerdings derzeit nicht genutzt. Raumweise Regelung der Kälteabgabe in den einzelnen Räumen mit Raumbediengeräten mit der Möglichkeit zentraler Übersteuerung.																		

	Durchfluss-Regelung des Heiz/Kühlregelkreises: Variabel Volumenstrom nach Differenzdruckregelung der Umwälzpumpe.
Leistungskennzahlen	Abgabeleistung: Heizen 150 kW, Kühlen 120 kW
	
Abbildung 8: Schnittdarstellung Zwischendecke (Quelle: Hacon GmbH)	

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik	
Heizung	Wärmebereitstellung über eine reversible Sole-Wasser-Wärmepumpe (138 kW) mit Erdsondenfeld mit 23 Erdwärmesonden á 120 m, welche als Wärmequelle (Heizfall) und Wärmesenke (Kühlfall) dienen. 2 Pufferspeicher (je 2.000 Liter, Niedertemperatur bei 35°C und Hochtemperatur bei 55°C).
Brauch-Warmwasser	Zentrale Brauchwasserbereitung über Hochtemperatur-Speicher und Frischwasserstation
Kühlung	Kältebereitstellung kann über die reversible Sole-Wasser-Wärmepumpe (132 kW) sowie eine Kältemaschine für Niedertemperatur (=Maschinenkälte-Erzeugung) erfolgen. Außerdem gibt es Free Cooling – Wärmetauscher zur Kühlung über das Erdsondenfeld (Free Cooling Wärmetauscher 1 & 2). Zusätzlich sind 3 Kältepufferspeicher (Hochtemperatur-Kältespeicher für BTA & Lüftung: 16 °C, 2.000l; Speicher für Entfeuchtungskühlregister und Nachladekühlkreis 7/13 °C, 2.000 l; Speicher Maschinenkühlung für Spritzgussmaschine 16 °C, 6.000 l) installiert. Für Spitzenlastabdeckung der Gebäudekühlung erfolgt eine Einspeisung der Maschinenkälte in den Hochtemperatur-Kältespeicher BTA & Lüftung (=Nachladekühlkreis).
Wärmeabgabe	Grundlast der Wärmeabgabe wird über die Bauteilaktivierung (150 kW) gedeckt. Zusätzlich Unterflurkonvektoren und Fancoils im Eingangsbereich (89 kW) sowie Heizkreis Rampenheizung (37 kW).
Kälteabgabe	Kälteabgabe über Bauteilaktivierung (120 kW). In Lüftungsgerät L01 wurde ein Vorkühlregister (35 kW, Normaltemp.-Kälte 16/20°C) sowie Entfeuchtungs-Kühlregister (69 kW per Maschinenkälte, 7/12 °C) installiert. Die Prozess-Bereiche Server, E-Verteiler-Batterieraum, Maschinenbereich und 3D-Druck werden über Fancoils gekühlt. Weiters verfügt die Spritzgussmaschine (70 kW) einen direkten Kälteanschluss. Die Prozess-Bereiche und die Spritzgussmaschine werden maßgeblich über die Maschinenkälte versorgt. Zudem erfolgt eine Free-Cooling Kältenutzung über den Free Cooling Wärmetauscher Nr. 2.
Lüftungstechnik	Zentrale Lüftungsanlage L01 mit Wärmerückgewinnung sowie Be- und Entfeuchtung, für die Bürozonen (Volumenstrom: 11.000 m³/h). Separate Abluftanlagen für Digestorium, Chemieschrank, WCs/Duschen/Garderoben, Lager, Haustechnik und Müllraum.
Elektrische Energie	Öffentliches Netz

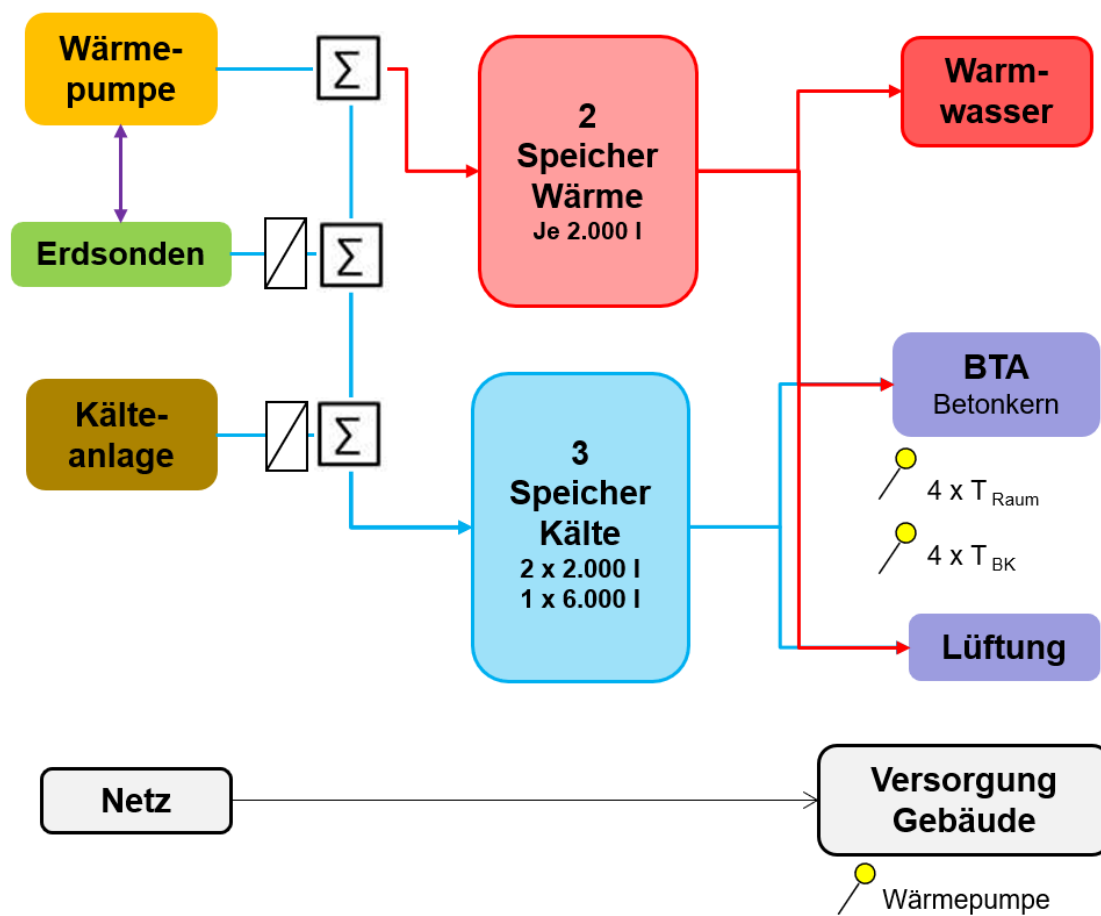


Abbildung 9: Prinzipschema Gebäudetechnik und Messkonzept, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

8.1.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: Aug. 2023 – Juli 2024 (12 Monate)

Gebäudeflächen lt. Energieausweis	
Brutto-Grundfläche (BGF)	3.688 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	2.950 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung		
Speicherkapazität	Zwischendecke 520 kWh/K = 0,14 kWh/Km ² _{BGF} Es erfolgt keine Nutzung der Speicherfähigkeit.	
Deckungsgrad lokaler Energieträger	Heizung: 0% Kühlung: 0% (ausschließlich Netz-Strombezug für den Wärmepumpen- und Objektbetrieb)	
Gesamtgebäude: Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast ⁶ 104 kW 35 W/m ² _{BF} Installierte Heizleistung (Wärmepumpe) 138 kW 47 W/m ² _{BF} Gemessene max. Heizleistung 154 kW 52 W/m ² _{BF}	
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Decken
	Aktivierte Fläche	ca. 2.600 m ² _{akt.}
	Max. Heizleistung	74 kW
	Max. spezifische Heizleistung	28,5 W/m ² _{akt.}
	Vorlauftemperatur Heizen	35°C
	Spreizung bei max. Heizleistung	7 K
	Max. Kühlleistung	43 kW
	Max. spezifische Kühlleistung	16,5 W/m ² _{akt.}
	Vorlauftemperatur Kühlen	18°C
	Spreizung bei max. Kühlleistung	3 K

Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (gesamt für Raumwärme, Warmwasserbereitung inkl. Speicher- und Verteilverluste; exkl. Rampenheizung für die Tiefgaragen-Einfahrt)	65,3 kWh/m ² _{BGFa}
Kühlenergieverbrauch (gesamt für Gebäudekühlung, exkl. Prozesse)	31,3 kWh/m ² _{BGFa}

⁶ Ermittlung über die im Energieausweis angeführten Leitwerte für Transmission und Lüftung und einem Temperaturunterschied zwischen den gemessenen Innenraumtemperaturen und der Norm-Außentemperatur des Standorts.

8.1.3 Nachfragestruktur Wärme

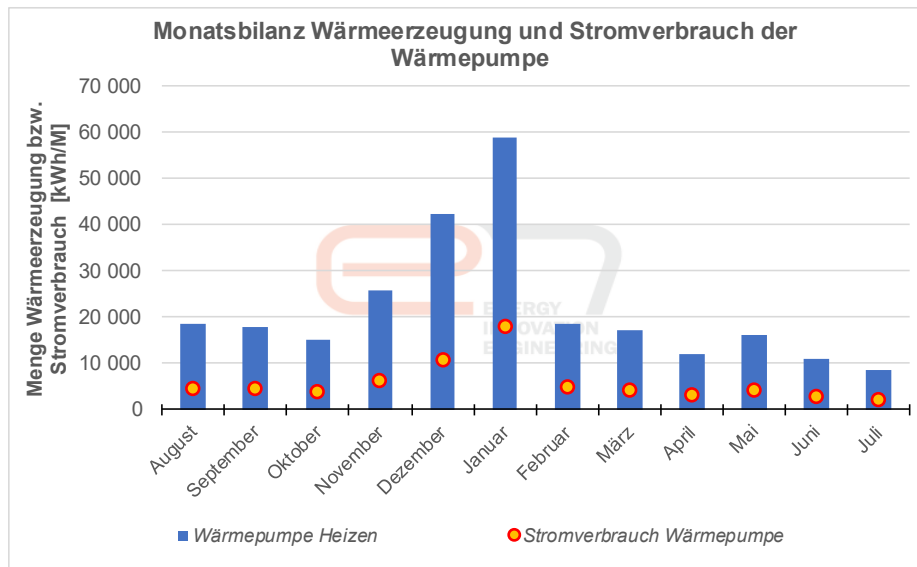


Abbildung 10: Monatsbilanz Wärmeerzeugung und Stromverbrauch der Wärmepumpe, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

Die Nachfragestruktur der Wärmeenergie ist während der ersten 6 Monate des Monitoringzeitraums als hoch zu bewerten. Dies änderte sich ab Februar 2024 nachdem Einregulierungsmaßnahmen am Heizungs- und Lüftungssystem stattgefunden haben.

Der Gesamtwärmeverbrauch für das Betriebsjahr August 2023 bis Juli 2024 liegt bei 261.250 kWh, welcher einem spezifischen Wärmeverbrauch von $70,8 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ für das Gesamtobjekt entspricht. Hierbei ist anzumerken, dass ein Teil der Wärmeverbräuche für die Rampenheizung der Tiefgaragen-Abfahrt im Außenbereich aufgewendet wurde. Der Gesamtwärmeverbrauch für Raumwärme-, Warmwasser- und Lüftungswärmebereitstellung beträgt 240.953 kWh, welcher einem spezifischen Wärmeverbrauch von $65,3 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ entspricht.

Die Wärmebereitstellung für die Abgabe-Schienen Normaltemperatur und Hochtemperatur erfolgt durch die Geothermie-Wärmepumpe. Für den Monitoringzeitraum wird eine Jahresarbeitszahl von 3,9 ermittelt. Die Arbeitszahl ist für die Erdsonden-gekoppelte Wärmepumpe als niedrig zu bewerten. Die Gründe liegen im Wesentlichen bei der Wärmeanforderung im Bereich Hochtemperatur-Schiene (zu hohe Vorlauftemperatur-Einstellung bei der Wärmebereitstellung, übermäßiger Betrieb der Rampenheizung in den Wintermonaten) und im Lüftungsbetrieb. Es ist zu erwarten, dass durch die umgesetzten Einregulierungsmaßnahmen künftig bessere Jahresarbeitszahlen erzielt werden.

Nachfolgende Abbildungen zeigen die Monatsbilanz der Wärmeverbräuche des Objekts sowie die Aufteilung der Verbraucher für den Monitoringzeitraum.

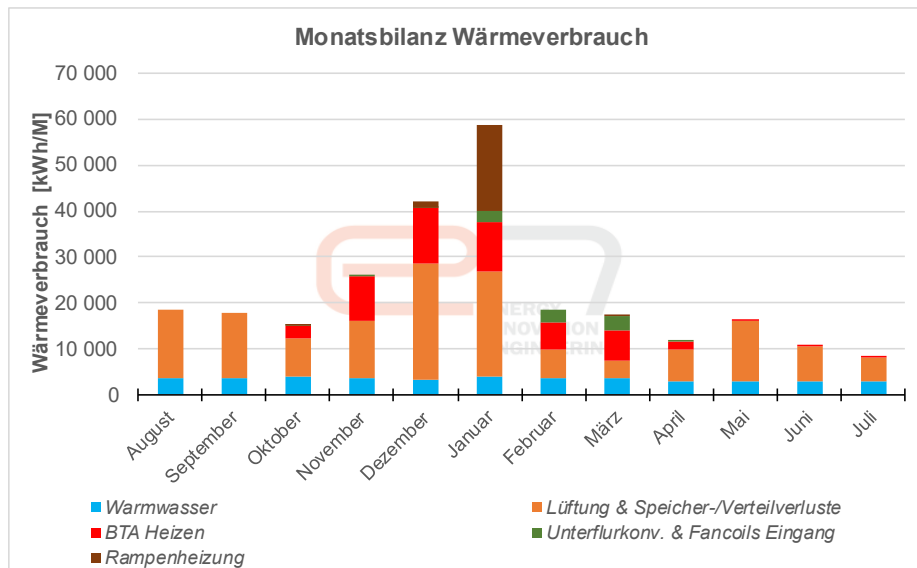


Abbildung 11: Monatsbilanz Wärmeverbrauch, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

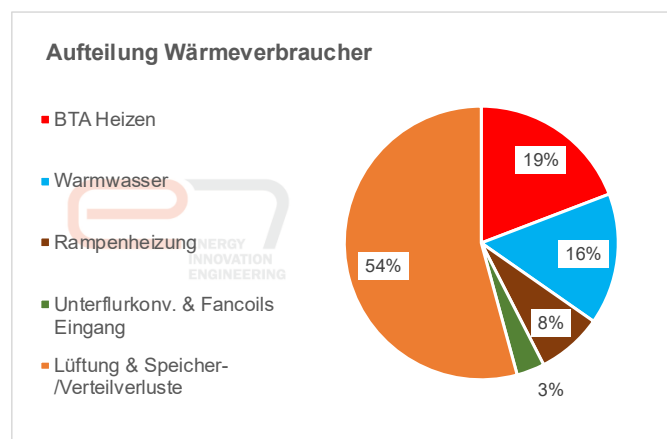


Abbildung 12: Prozentuelle Aufteilung des Wärmeverbrauchs, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

Der Großteil der Wärmeverbräuche wird der Raumluftechnik sowie Speicher- und Verteilverluste zugeordnet (54%). Im Sommer werden diese Wärmeverbräuche für das Wiederaufheizen nach der Entfeuchtung verwendet, im Winter für das Aufwärmen der Zuluft nach der Wärmerückgewinnung. Durch die im Zeitraum Jänner bis Juni 2024 vorgenommenen Einregulierungen der Lüftungsanlage sind für die Raumluftechnik künftig deutliche Wärmeenergieeinsparung zu erwarten.

Wärmeabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Die Wärmeabgabe über die Bauteilaktivierung weist einen Anteil von 19% auf.

Regelungsstrategie: Die Regelung der Wärmeabgabe in den Nutzungszonen erfolgt über Einzelraumregelungen. Es herrscht ein variabler Volumenstrom nach Differenzdruckregelung der Umwälzpumpe.

Während des Betriebs des Bauteilaktivierungs-Heizkreises wird die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur im Bereich von 29-36°C geregelt (Außentemperatur-geführte Vorlauftemperaturregelung per Heizkurve). Die Rücklauftemperatur liegt 3-5 K unter der Vorlauftemperatur.

Es liegt keine aktive Ausnutzung der Speicherfähigkeit der Bauteilaktivierung vor, der Bauteilaktivierungs-Heizkreis wird nach der Nachfrage entsprechend den Einzelraumregelungen bedient. Durch regelungstechnische Maßnahmen könnte die Beladung der Bauteilaktivierung beispielsweise nach einem dynamischen Strombezugstarif geführt werden.

Als Optimierungsmaßnahme ist eine Absenkung der Heizkurve zu empfehlen. Die Vorlauftemperaturen erscheinen hoch und die Wärmeabgabe erfolgt dadurch eher sprunghaft. Diese Maßnahme hätte den positiven Effekt von längeren Wärmeabgabe-Perioden in den Räumlichkeiten sowie eine konstantere Auslastung des Bauteilaktivierungs-Heizkreises bei geringeren Vor- und Rücklauftemperaturen.

Verzeichnete Betriebsbedingungen der Heizung über Bauteilaktivierung:

- Aktivierung der Raumwärmeabgabe in den Nutzungszonen über dezentrale Einzelraumregler
- VL-Temp. liegt im Bereich 29-36°C, gem. Außentemperatur-geführter Heizkurve
- Variabler Volumenstrom durch Drehzahlregelung der Umwälzpumpe
- Maximale Wärmeabgabeleistung: 74 kW (am 10.01.2024)
- Maximale spezifische Abgabeleistung: 28,5 W/m²

8.1.4 Nachfragestruktur Kälte

Beim MAM-Objekt stehen mehrere Kältebereitstellungssysteme zur Verfügung:

- Free Cooling über Erdsondenfeld (Free Cooling Wärmetauscher 1 und Free Cooling Wärmetauscher 2)
- Kältemaschine
- Wärmepumpe im Kühlmodus

Diese Systeme dienen zur Kälteversorgung der Bauteilaktivierung, des Lüftungsgeräts sowie der per Fancoil-gekühlten Prozess-Bereiche Server, E-Verteiler-Batterieraum, Maschinenbereich, 3D-Druck. Weiters wird damit die Spritzgussmaschine gekühlt.

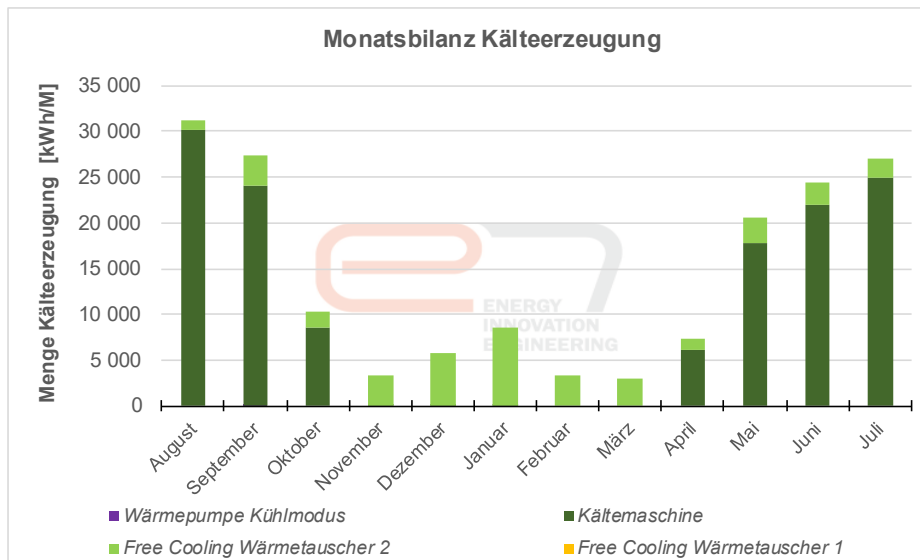


Abbildung 13: Monatsbilanz Kältebereitstellung, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

Die Monitoringdaten zeigen, dass die Kältebereitstellung während des Betriebsjahres August 2023 bis Juli 2024 über die Kältemaschine (77%) und den Free Cooling Wärmetauscher 2 (23%) erfolgte. Es wurde keine Kälte durch den Free Cooling Wärmetauscher 1 und der reversiblen Wärmepumpe bereitgestellt.

Die Gesamtkälteerzeugung für das Betriebsjahr beträgt rund 172.700 kWh. Dies ergibt eine spezifische Kältemenge von $46,8 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$.

Davon macht die Kältebereitstellung für die Gebäudekühlung (exklusive der Prozess-Bereiche und Spritzgussmaschine) einen Anteil von 67% aus (115.431 kWh/a bzw. $31,3 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$).

Bezüglich der Kältebereitstellung über den Free Cooling Wärmetauscher 2 ist folgende Auffälligkeit zu vermerken: Das Erdsondenfeld wurde durch den Free Cooling Betrieb lediglich mit einer Energiemenge von rund 38.900 kWh/a regeneriert, dies entspricht lediglich 20% der im gleichen Zeitraum für die Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpe entzogenen Energiemenge. Für einen langfristig effizienten Betrieb der Wärmepumpenanlage besteht der Bedarf das Erdsondenfeld in einer Jahresbilanz annähernd thermisch ausgeglichen zu bilanzieren, sodass das Erdreich nicht stetig abkühlt. Daher wird empfohlen den Free Cooling – Betrieb nach Möglichkeit auszuweiten sowie die reversible Wärmepumpe während der Sommermonate im Kühlmodus zu betreiben.

Nachfolgend werden Monatsbilanz und die Verbrauchanteile für die Gebäudekühlung dargestellt.

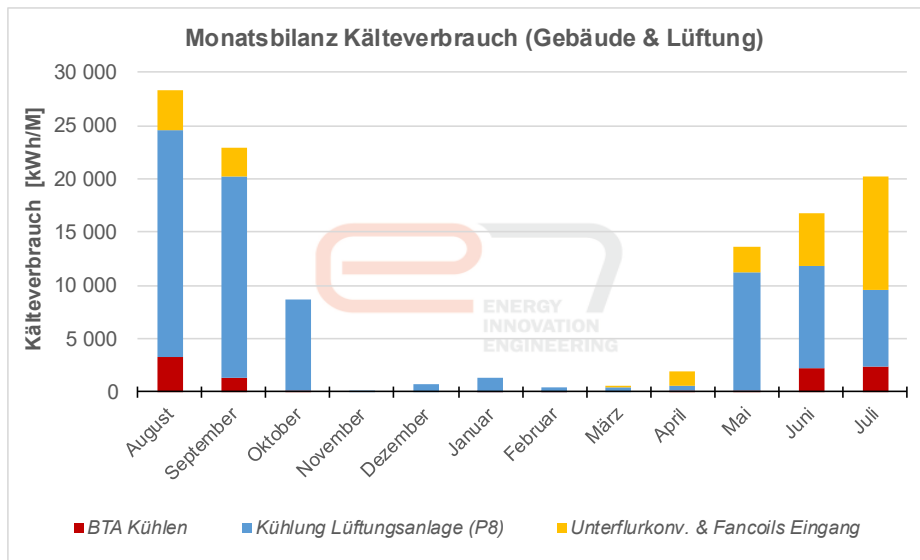


Abbildung 14: Monatsbilanz Kälteverbrauch (exklusive Verbraucher Spritzgussmaschine und Prozesse), Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

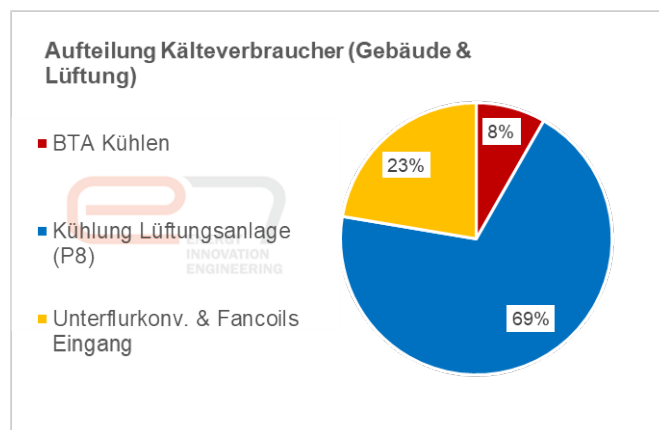


Abbildung 15: Prozentuelle Aufteilung des Kälteverbrauchs für Gebäudekühlung (exklusive Verbraucher Spritzgussmaschine und Prozesse), Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

Die Monitoringdaten zeigen, dass der Kälteverbrauch durch die Raumluftechnik (Zuluft-Kühlung und -Entfeuchtung) dominiert wird (Anteil von 69%). Auffällig ist, dass die Raumluftechnik in den Wintermonaten geringe Kälteverbräuche hervorruft (die vermutete Ursache ist eine zu enge Zuluftfeuchte-Vorgabe, die zu Kälteverbräuchen für die Zuluft-Entfeuchtung geführt hat). Positiv hervorzuheben ist, dass sich durch die Einregulierungsmaßnahmen am Lüftungssystem ab Februar 2024 die Kälteverbräuche maßgeblich reduziert haben.

Die Bauteilaktivierung wird nur im geringen Maß für die Kühlung verwendet (Anteil von ca. 8%). Die Kältenachfrage der Unterflurkonvektoren/Fancoils für den Eingangsbereich belaufen sich auf ca. 23%, wobei anzumerken ist, dass dieser Verbraucherstrang durch die vorgenommenen Einregulierungsmaßnahmen an Dominanz gewonnen hat.

Das Potenzial der Kühlung über die Bauteilaktivierung sollte im Sinne der Energieeffizienz verstärkt genutzt werden. Dies kann durch Änderung der Kühlstrategie umgesetzt werden. Derzeit übernimmt die Lüftungsanlage einen erheblichen Anteil am Gebäudekühlbedarf (minimale Zuluft-Temperaturen im Juli 2024 liegen im Bereich 16-18°C). Durch Anpassung der Zuluft-Bedingung auf beispielsweise konstant 22°C erlangt die Bauteilaktivierung die Möglichkeit höhere Anteile am Kühlbedarf zu decken.

Kälteabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Wie bereits oberhalb erläutert, wird der Kühlkreislauf Bauteilaktivierung nur zu geringem Maße für die Kühlung des Objekts herangezogen. Die Monitoringdaten zeigen, dass während den Sommermonaten nur an einzelnen Tagen maßgebliche Kältemengen über die Bauteilaktivierung eingebracht wurde.

Die Vorlauftemperatur wird bei aktiven Bauteilaktivierungs-Kühlbetrieb im Bereich von 17 – 21°C gefahren (gem. Außentemperatur-geführter Kühlkurve). Bei Betrieb stellt sich nach der anfänglichen Einschwingphase eine Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf von 2 bis 3,5 K ein.

Verzeichnete Betriebsbedingungen der Kühlung über Bauteilaktivierung:

- Aktivierung der Raumkühlung in den Abgabezonen über dezentrale Einzelraumregler
- VL-Temp. liegt im Bereich bei 17-21°C, VL-Temp. gem. Außentemperatur-geführter Kühlkurve
- Variabler Volumenstrom durch Drehzahlregelung der Umwälzpumpe
- Maximale Kälteabgabeleistung: 43 kW (am 08.07.2024)
- Maximale spezifische Abgabeleistung: 16,5 W/m²

8.1.5 Raumkomfort - Monitoring

Referenzräume:

- UG1_Zone 10_Labor (Orientierung Süd-Ost)
- EG_Zone 4, Büro/Lounge (Orientierung Süd/Ost)
- EG_Zone 5, Lounge (Orientierung Nord/Ost)
- OG_Zone 1, Projektraum (Orientierung Nord)

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

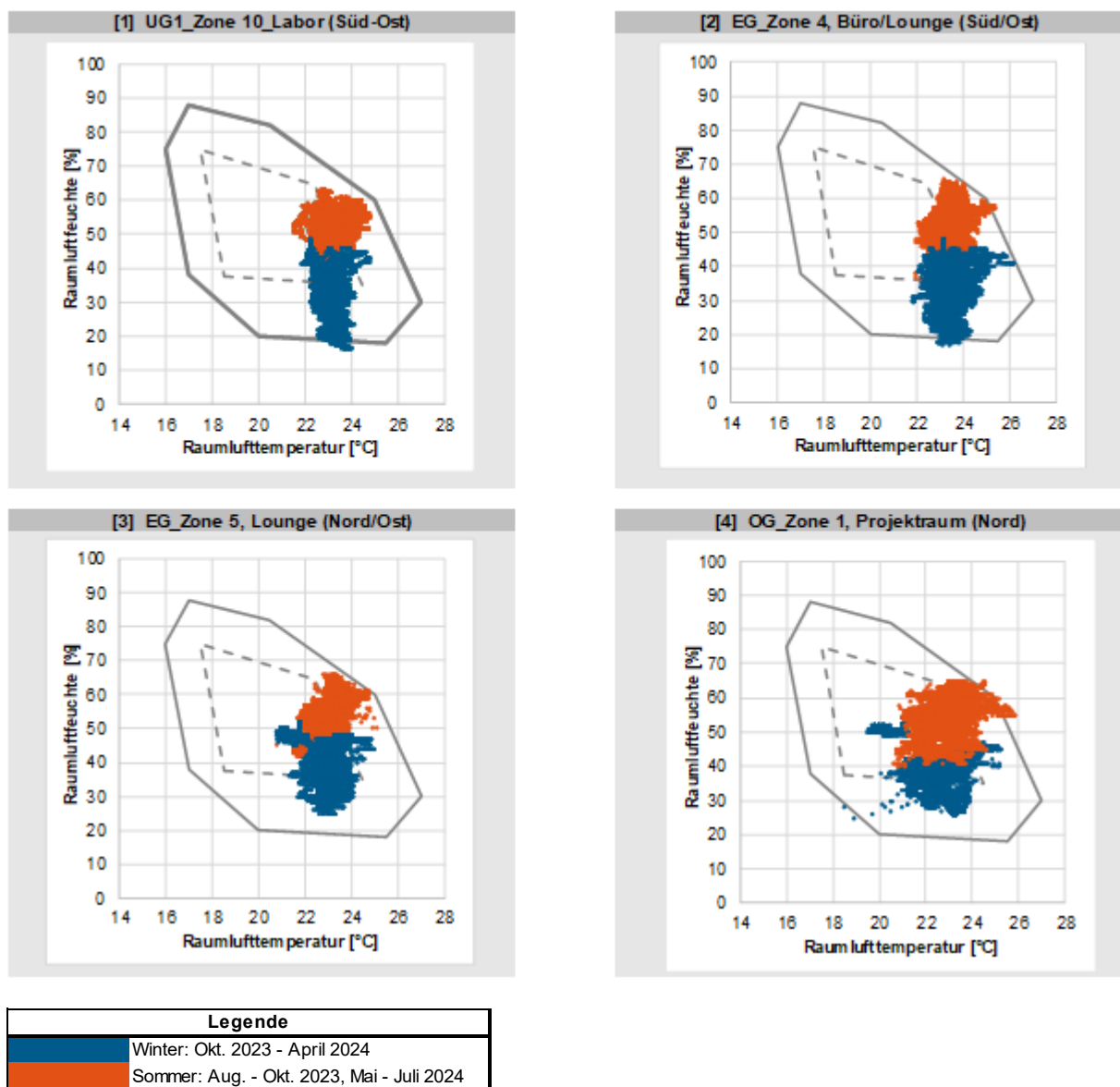


Abbildung 16: Behaglichkeitsdiagramme für die Referenzräume, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

Die 4 Referenzräume liegen durchwegs im guten behaglichen Komfortbereich. Es zeigt sich, dass der Projektraum OG_Zone 1 eine etwas höhere Raumtemperatur-Variation aufweist als die anderen Räume. Es treten leichte Temperaturerhöhungen bei aktiver Raumnutzung mit höherer Personenbelegung auf.

Im Jänner 2024 wird eine Abnahme der Raumluft-Feuchtigkeit verzeichnet, was mit den damals großzügig gewählten Lüftungsbetriebszeiten und der Änderung Befeuchtungsfunktion bzw. Soll-Zuluftfeuchtebedingung der Lüftungsanlage in direktem Zusammenhang steht. Die Raumluftfeuchte liegt während diesem Zeitraum im äußeren Komfort-Bereich.

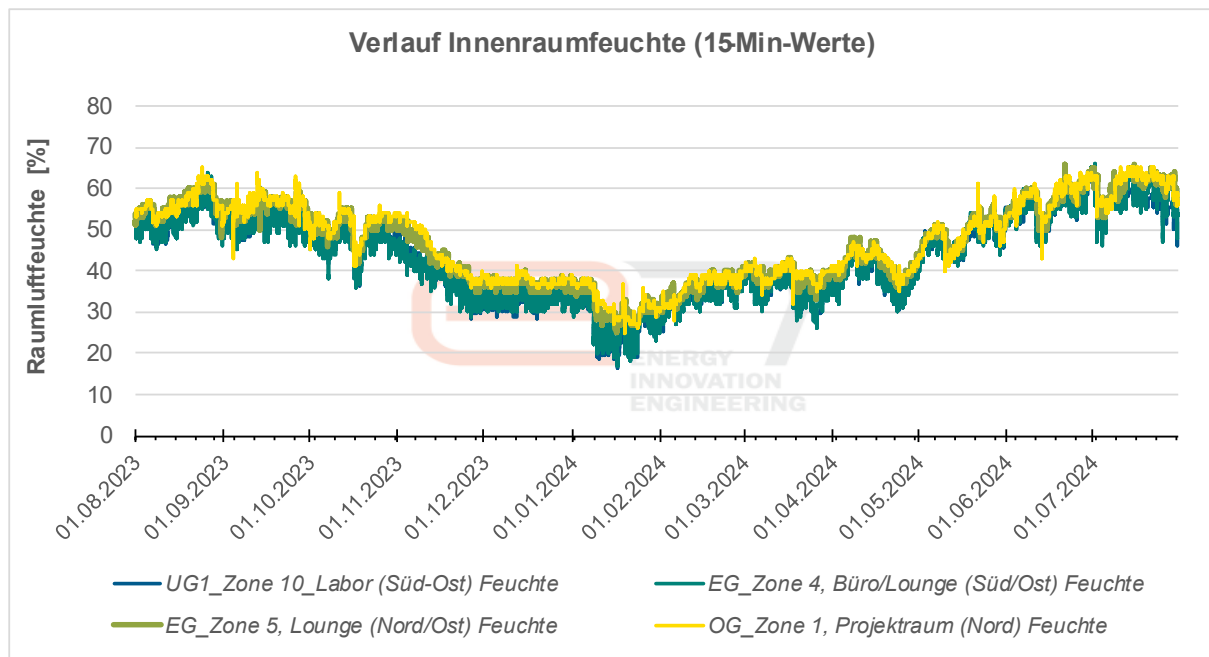


Abbildung 17 Raumluftfeuchte für die Referenzräume, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

Nachfolgend werden die Raumlufttemperaturen der Referenzräume den Kategorien der Standardauslegungswerte für operative Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Anhang B, Tab. B.2 gegenübergestellt. Die Temperaturverläufe während des Sommerhalbjahres zeigen, dass die Temperaturen vielfach in den Bereichen der Kategorie II (vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener = 6-10%) und Kategorie III (vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener = 10-15%) liegen.

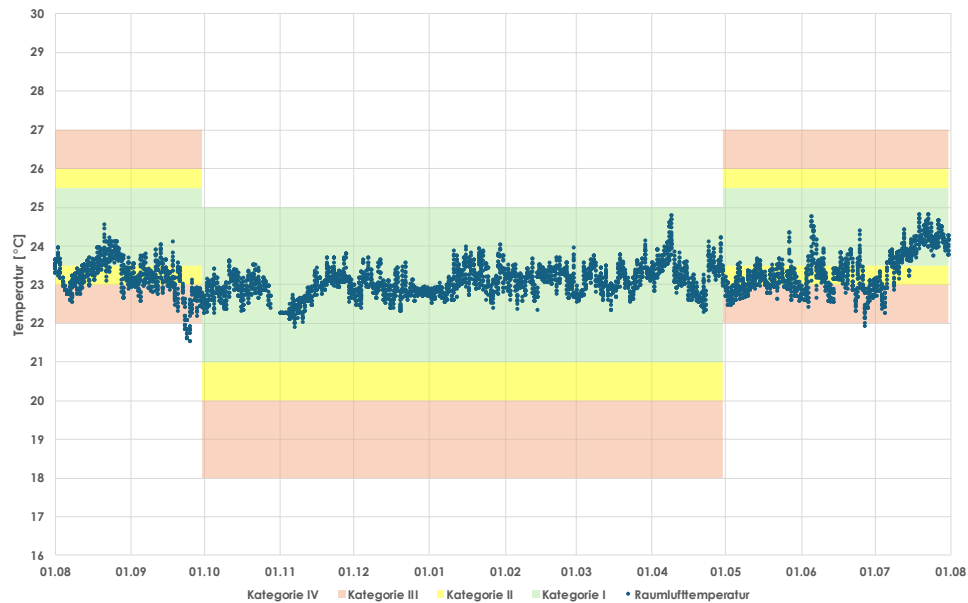


Abbildung 18: Raumlufthtemperatur UG1_Zone 10_Labor und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

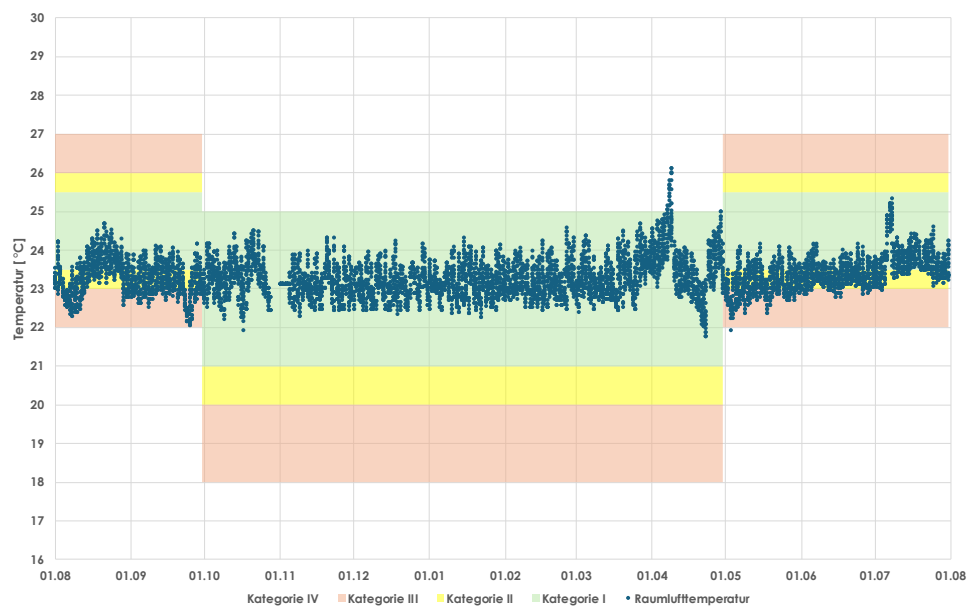


Abbildung 19: Raumlufthtemperatur EG_Zone 4, Büro/Lounge und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

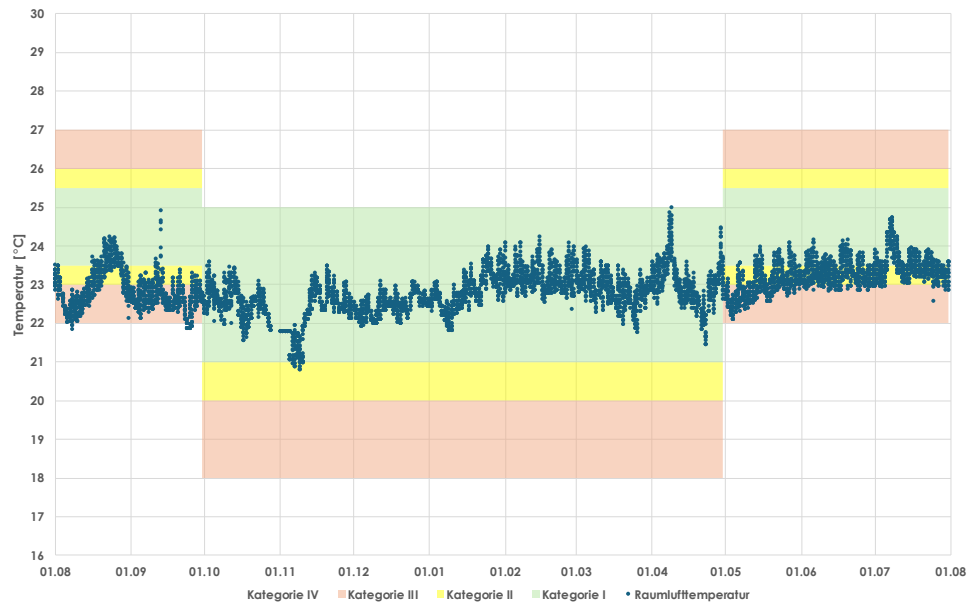


Abbildung 20: Raumlufthtemperatur EG_Zone 5, Lounge und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

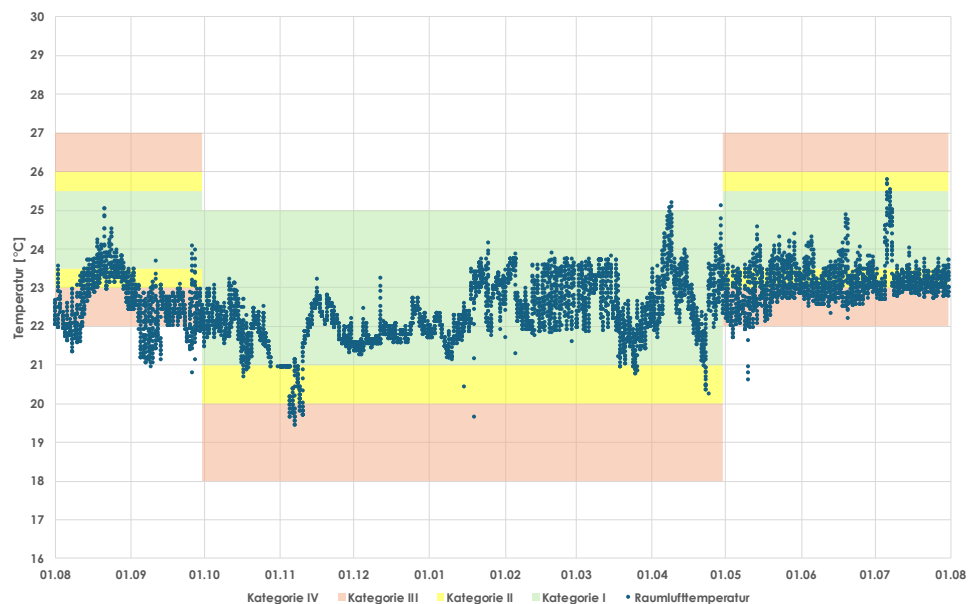


Abbildung 21: Raumlufthtemperatur OG_Zone 1, Projektraum und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

Raumluftqualität (CO₂-Konzentration)

Bei den Referenzräumen EG_Zone 4 Büro/Lounge, EG_Zone 5 Lounge und OG_Zone 1, Projektraum werden CO₂-Konzentrationen gemessen. Die Referenzräumen EG_Zone 4 Büro/Lounge und EG_Zone 5 Lounge weisen sehr gute Raumluftqualitäten auf.

In nachfolgender Abbildung wird der Messwert-Verlauf für den Projektraum, Zone 1 über den Monitoringzeitraum dargestellt. Hier ist erkennbar, dass zu Zeiten mit hoher Personenbelegung hohe CO₂-Konzentrationen bis zu 2.200 ppm (entspricht schlechter Raumluftqualität) auftreten. Die Auswertungen ergeben eine Gesamtstundenanzahl von 21 Stunden im Monitoringzeitraum, während der eine niedrige Raumluftqualität (> 1.400 ppm) vorlag.

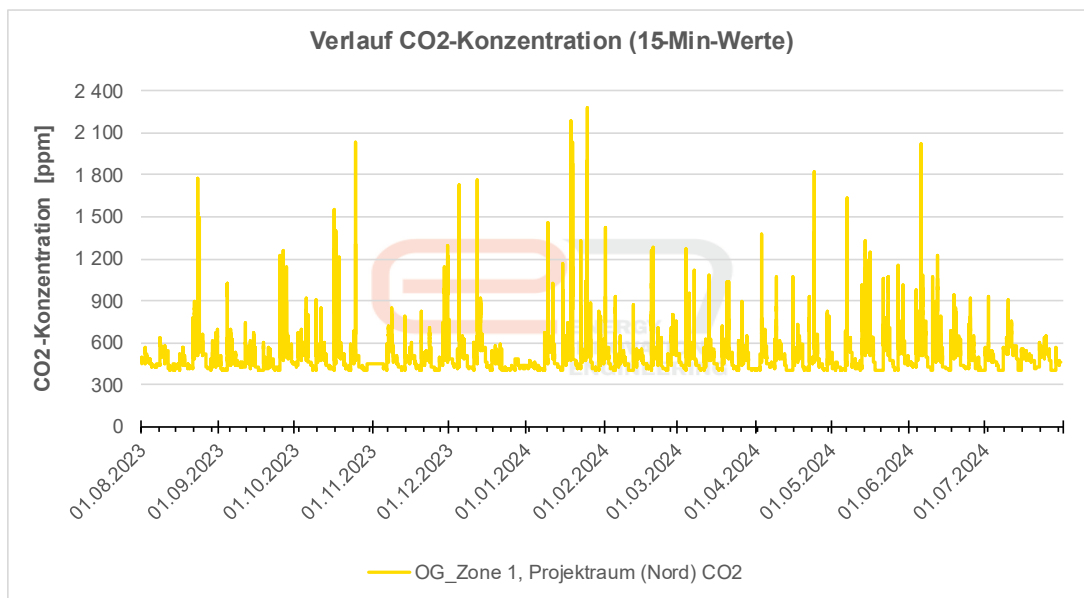


Abbildung 22: CO₂-Konzentration OG_Zone 1 Projektraum, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

Operative Temperaturen

Die operative Temperatur (gefühlte Temperatur, Empfindungstemperatur) umfasst das Zusammenwirken der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen und ist der Hauptfaktor der thermischen Behaglichkeit.

Für die 4 Referenzräume wurden die operativen Temperaturen quartalsweise bestimmt.

Die ermittelten operativen Temperaturen zeigen die jahreszeitlichen Bandbreiten der Temperatur-Unterschiede in jeweiligen Räumen.

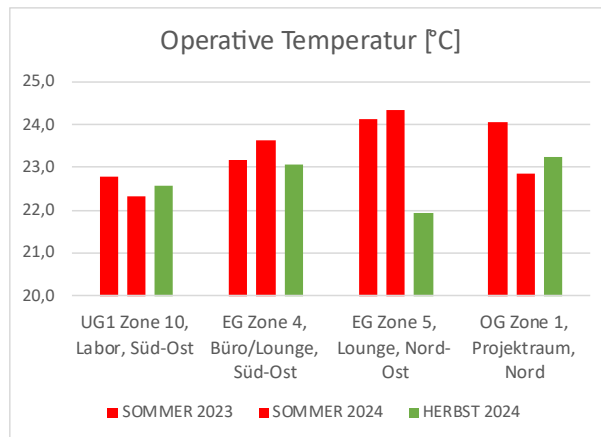


Abbildung 23: Operative Temperaturen für die Referenzräume, Forschungs- und Entwicklungszentrum der MAM Health & Innovation GmbH (Quelle: e7)

Die ermittelten operativen Temperaturen der Referenzräume liegen bei allen Räumen sehr nahe am Wert der gemessenen Raumlufthtemperatur. Die maximalen Abweichungen lagen bei +/- 0,8 K. Es zeigt sich, dass insbesondere im Sommer die großen Fensterflächen keinen signifikanten Einfluss auf die operative Temperatur in den Innenräumen haben. Es kann somit festgestellt werden, dass die Glasfassade mit 3-fach-Wärmeschutzverglasung in Kombination mit dem bewegten, außenliegenden Sonnenschutz in Form von Vertikallamellen ihre Funktion gut erfüllt.

8.2 Campus V, Vbg

Bauteilaktivierung: Betonkern Zwischendecken		
Objektnutzung: Büro- und Laborgebäude	Standort: Stadtstraße 33, 6850 Dornbirn	Fertigstellung: 2015, Errichtung Bestand: 1996

8.2.1 Objektbeschreibung

Das 1996 errichtete Gebäude wurde im Jahr 2015 einem Relaunch unterzogen, und durch die Mustersanierung auf Niedrigst-Energiestandard gebracht. Dabei stand neben der gestalterischen Neuorientierung, mit einer Klinkerfassade sowie einem kompletten Fenstertausch, vor allen auch die Überarbeitung im Sinne einer energetischen Aufwertung und Optimierung der Haustechnik im Vordergrund. Der Standort verfügt über rund 2.500 m² Büro- und Labormietflächen, im Erdgeschoss bildet das rund 220 m² große Foyer attraktive Möglichkeiten für interne und externe Veranstaltungen sowie Ausstellungen. Die Bauteilaktivierung des Betonkerns der Zwischendecken wird zur Wärme- und Kälteversorgung eingesetzt. Durch die Sanierung der thermischen Hülle verbunden mit der Erneuerung wesentlicher Haustechnikanlagen konnte eine deutliche Reduktion der Heizkosten (ca. 40%) erreicht werden.

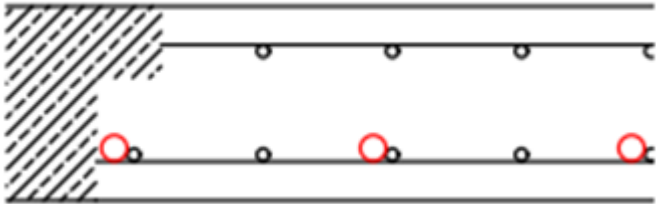
Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	3.290 m ²	Eigentümer: Campus V Investment GmbH
Architektur	Architekturbüro Nikolussi Häusler	Name: Christoph Drexel PRISMA Zentrum für Standort- und Regionalentwicklung GmbH Web: https://www.prisma-zentrum.com/standorte/vorarlberg/campus-v-dornbirn

Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- Massivbau in Niedrigst-Energiestandard, 5-geschoßig
- Pfosten-Riegel Fassade neu im EG und 1. OG aus Alu mit 3-fach-Verglasung
- Innenseitige Vorsatzschale in jenen Bereichen, wo Paneele montiert sind
- Alufenster mit 3fach Verglasung mit Außenjalousien
- Auskragende Stahl- bzw. Stahlbetonteile wurden größtenteils entfernt bzw. überdämmt
- Kompakte Bauweise, A/V = 0,29 [1/m], charakteristische Länge 3,50 [m]

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde in den Decken des gesamten Gebäudes ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Decken	
Einsatz	Heizung und Kühlung
Aktivierte Fläche	Decken (2.500 m²)
Aktiviertes Material	Stahlbeton, Deckenstärke ca. 25 cm
Verlegungsart	Rohrhersteller Giacomini Kupferrohr Dimension 12/22 mm, Rohr-Wandstärke nicht bekannt Verlegeabstand nicht bekannt
Regelungsstrategie	Die Regelung der Wärme-/Kälteabgabe in den Nutzungszonen erfolgt über Einzelraumregelung. Die Umschaltung des Heiz-Kühlbetriebs erfolgt manuell durch die Betriebsführung. Vorlauftemperatur-Regelung: • Heizfall: Eine Außentemperatur-geführte Heizkurve liegt vor. • Kühlfall: Konstantwert-Regelung der VL-Temperatur auf 16°C. Durchfluss-Regelung des Heiz/Kühlregelkreises: Variabler Volumenstrom der Umwälzpumpe, Einhaltung der Temperaturdifferenz Vorlauf-Rücklauf von 5 K.
	
Abbildung 24: Schnittdarstellung Deckenaktivierung (Quelle: Hacon GmbH)	

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik	
Heizung	Zentrale Wärmeversorgung mittels Biogas-Gasbrennwertkessel (150 kW); Anmerkung: Nach Ablauf der Monitoringperiode wurde die Wärmeversorgung auf Fernwärme umgestellt (im Oktober 2023).
Brauch-Warmwasser	Dezentrale Brauchwasserbereitung durch dezentrale elektrische Kleinspeicher (150 Liter) bzw. Durchlauferhitzer
Kühlung	2 x Kompressionskälteanlagen mit Trockenrückkühlung (insg. 100 kW) und Kältepufferspeicher (940 Liter)
Wärmeabgabe	Bauteilaktivierung (bereits vom Bestandsgebäude aus dem Jahr 1996 vorliegend) Radiatoren im EG Heizregister Lüftungsanlage (27,5 kW)
Kälteabgabe	Bauteilaktivierung (bereits vom Bestandsgebäude aus dem Jahr 1996 vorliegend) Kühlregister Lüftungsanlage (61,3 kW)

Lüftungstechnik	Raumlufthtechnische Anlage mit Enthalpie-Wärmetauscher, Heiz- und Kühlfunktion, ohne Befeuchtung, Außenaufstellung, Nennvolumenstrom 11.000 m³/h
Elektrische Energie	Öffentliches Netz

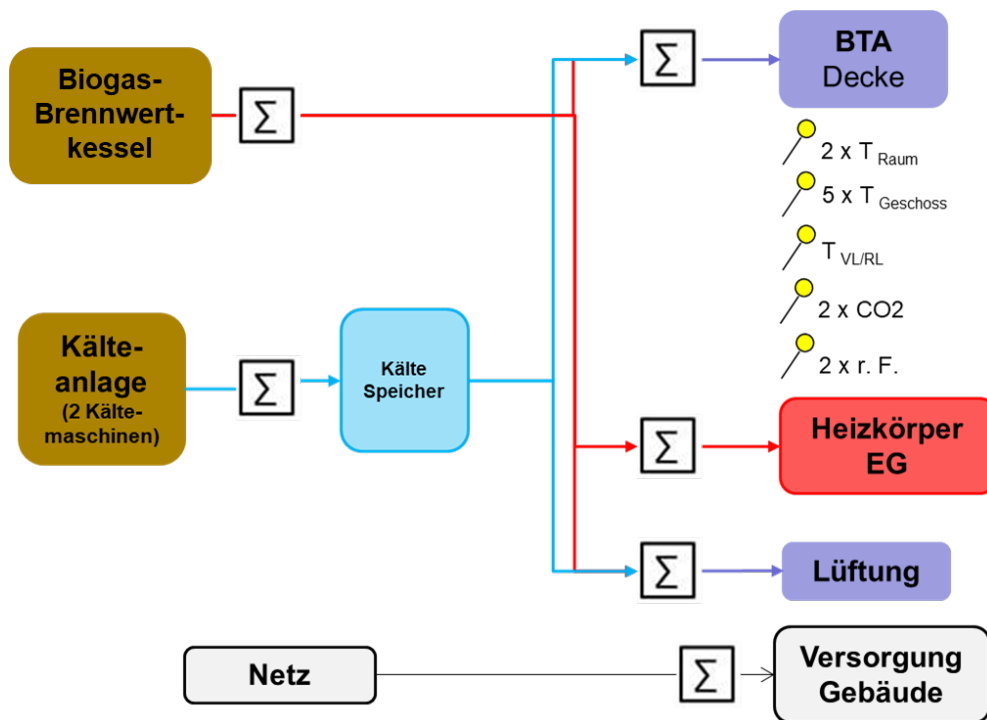


Abbildung 25: Prinzipschema Gebäudetechnik und Messkonzept, Campus V (Quelle: e7)

8.2.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: Okt. 2022 – Sept. 2023 (1 Betriebsjahr)

Gebäudeflächen lt. Energieausweis	
Brutto-Grundfläche (BGF)	3.290 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	2.632 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung		
Speicherkapazität	Decken	417 kWh/K = 0,13 kWh/Km ² _{BGF}
	Eine aktive Nutzung der Speicherfähigkeit der BTA liegt derzeit nicht vor.	
Deckungsgrad lokaler Energieträger	Heizung:	0% (Biogas)
	Kühlung:	0% (Kältemaschinenbetrieb mit Netzstrom)
Gesamtgebäude: Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast ⁷	74 kW 28 W/m ² _{BF}
	Installierte Heizleistung (Biogas-Kessel)	150 kW 57 W/m ² _{BF}
	Gemessene max. Heizleistung	80 kW 30 W/m ² _{BF}
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Decken
	Aktivierte Fläche	ca. 2.500 m ² _{akt.}
	Max. Heizleistung	75 kW
	Max. spezifische Heizleistung	30 W/m ² _{akt.}
	Vorlauftemperatur Heizen	30-38°C, gem. Außentemperatur-geführter Heizkurve
	Spreizung bei max. Heizleistung	5 K
	Max. Kühlleistung	24 kW
	Max. spezifische Kühlleistung	10 W/m ² _{akt.}
	Vorlauftemperatur Kühlen	15-16°C
	Spreizung bei max. Kühlleistung	3 K

Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (gesamt für Raumwärme inkl. Speicher- und Verteilverluste)	33,1 kWh/m ² _{BGFa}
Kühlenergieverbrauch	11,5 kWh/m ² _{BGFa}

⁷ Ermittlung über die im Energieausweis angeführten Leitwerte für Transmission und Lüftung und einem Temperaturunterschied zwischen den gemessenen Innenraumtemperaturen und der Norm-Außentemperatur des Standorts.

8.2.3 Nachfragestruktur Wärme

Das Gebäude wurde während des Monitoringzeitraums Okt. 2022 – Sept. 2023 durch einen Gasbrennwertkessel (mit einem aufrechten Biogas-Liefervertrag) mit Wärme für die Raumheizung versorgt (Anmerkung: Direkt nach Abschluss der Monitoringperiode wurde auf Fernwärmeversorgung umgerüstet).

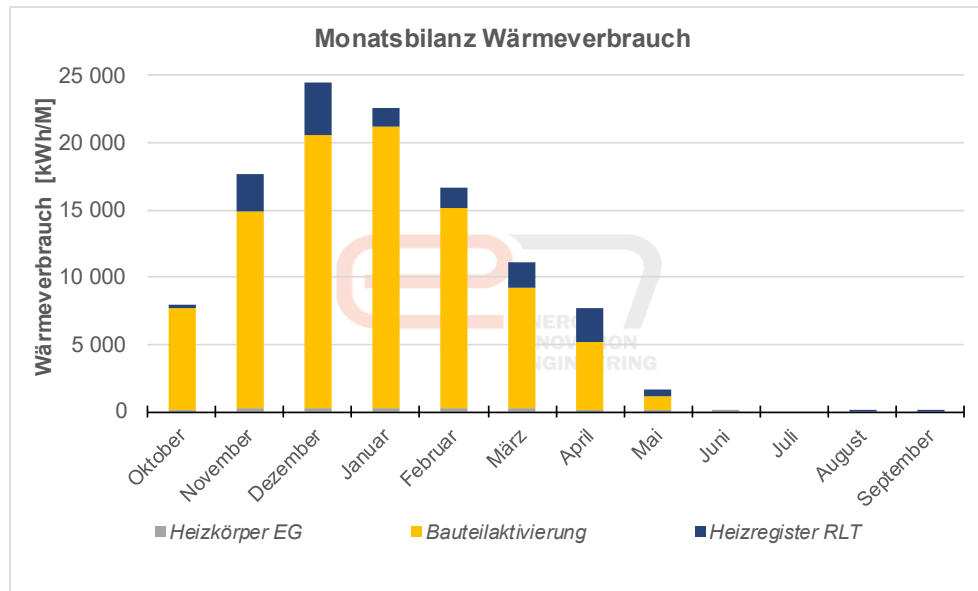


Abbildung 26: Monatsbilanz Wärmeverbrauch, Campus V (Quelle: e7)

Die Nachfragestruktur Wärme liegt im erwartbaren Bereich. Die Gesamtwärmebereitstellung für den Monitoringzeitraum beträgt 108.750 kWh, welches einem spezifischen Heizenergieverbrauch von 33,1 kWh/m²_{BGFA} entspricht.

Die Verbrauchsanteile der Verbrauchergruppen für die Monitoringperiode stellen sich wie folgt dar:

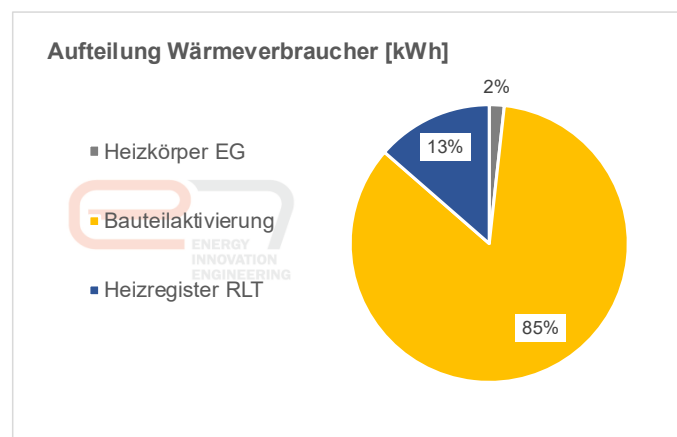


Abbildung 27: Aufteilung der Wärmeverbraucher, Campus V (Quelle: e7)

Es wird ersichtlich, dass die Versorgung der Verbrauchergruppe Bauteilaktivierung 85% des Wärmeverbrauchs ausmacht. Die Beheizung des Heizregisters der zentralen Lüftungsanlage „Heizregister RLT“ beläuft sich auf 13% des Wärmeverbrauchs.

Wärmeabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Regelungsstrategie: Die Regelung der Wärmeabgabe in den Nutzungszonen erfolgt über Einzelraumregelungen mit Thermostatventilen.

Aus dem unterhalb dargestellten Carpet Plot für die Wärmeabgabeleistung der Bauteilaktivierung für Jänner 2023 ist ersichtlich, dass sich die Wärmeabgabe während der Zeiträume 11:30 – 19:00 Uhr häufig stark absenkt bzw. ausgeschaltet ist. Durch die internen Lasten und solaren Wärmegewinne schließen die Einzelraumregler den Durchfluss der einzelnen Zonen und durch die Trägheit der aktivierten Massen wird noch weiterhin Wärme an die Räume abgegeben (passive Nutzung der Speichermasse). Lediglich an Tagen mit sehr niedrigen Außentemperaturen ist der Heizungsregelkreis durchgehend in Betrieb.

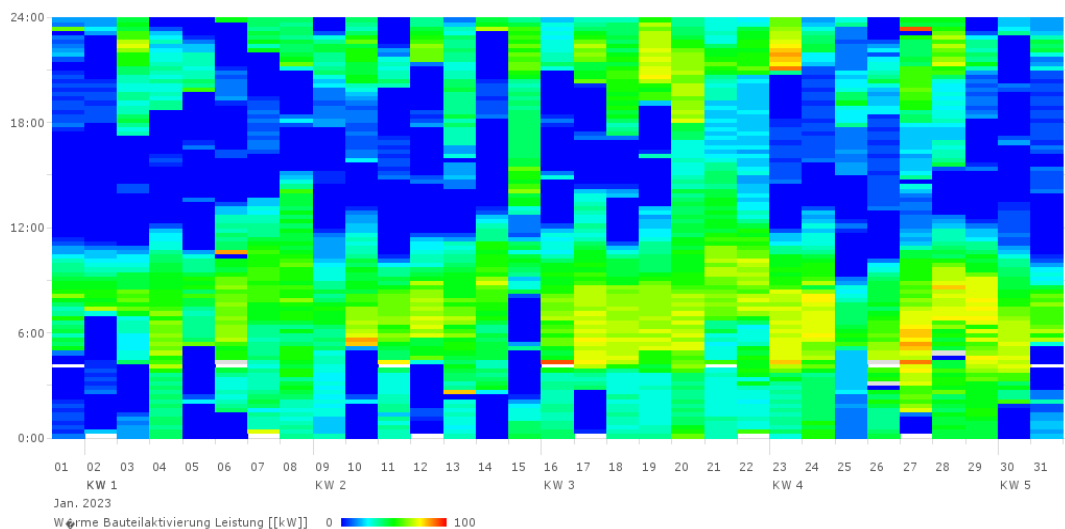


Abbildung 28: Carpet Plot Wärmeabgabeleistung in [kW] des Heizungsregelkreises Bauteilaktivierung für den Zeitraum Jänner 2023, Campus V (Quelle: e7)

Während des Betriebs des Bauteilaktivierungs-Heizkreises wird die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur im Bereich von 30-38°C geregelt (Außentemperatur-geführte Vorlauftemperaturregelung per Heizkurve). Weiters zeigen die Monitoringdaten, dass die Leistungsabgabe des Heizkreises per Volumenstromregelung in Abhängigkeit der Rücklauftemperatur erfolgt. Die Rücklauftemperatur liegt im Bereich 25-33°C, folglich wird der Volumenstrom entsprechend der Temperaturdifferenz von 5 K zwischen Vor- und Rücklauf geregelt.

Es liegt keine aktive Ausnutzung der Speichermöglichkeit der Bauteilaktivierung über regelungstechnische Maßnahmen vor, der Bauteilaktivierungs-Heizkreis wird nach der Nachfrage entsprechend der Einzelraumregelungen bedient. In Bezug auf die künftige Wärmeversorgung durch Fernwärme besteht die Möglichkeit, dass durch regelungstechnische Anpassungen die Beladung der Bauteilaktivierung für

Lastverschiebungsmaßnahmen im Fernwärmenetz genutzt werden könnte (beispielsweise verstärkte Beladung der Bauteilaktivierung während den Nachtstunden).

Verzeichnete Betriebsbedingungen der Heizung über Bauteilaktivierung:

- Aktivierung der Raumwärmeabgabe in den Nutzungszonen über dezentrale Einzelraumregler
- VL-Temp. liegt im Bereich 30-38°C, gem. Außentemperatur-geführter Heizkurve
- Variabler Volumenstrom durch Drehzahlregelung der Umwälzpumpe in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zw. Vor- und Rücklauf von 5 K.
- Maximale Wärmeabgabeleistung: 75 kW
- Maximale spezifische Abgabeleistung: 30 W/m²

8.2.4 Nachfragestruktur Kälte

Beim gegenständlichen Objekt erfolgt die Kälteversorgung durch 2 Kompressionskältemaschinen. Die nachfolgende Monatsbilanz der Kälteerzeugung zeigt, dass überwiegend die Kältemaschine 1 (87% der Gesamtkälteerzeugung) für die Kältebereitstellung sorgt. In der Sommerperiode 2023 wurden die Kältemaschinen am 5. Juni erstmals aktiviert. Ab diesem Zeitpunkt waren die Kältemaschinen bis Ende September 2023 (Ende des Monitoringzeitraums) aktiv. Der Grund, weshalb die Kälteanlagen im Mai noch keine Kälte geliefert haben, lag an einer Störung im Kältesystem. Im Zeitraum November 2022 bis Mai 2023 erfolgte keine Kältebereitstellung. Im Herbst 2022 wurden bis Ende Oktober geringe Kälteverbräuche durch das Kühlregister der Lüftungsanlage hervorgerufen.

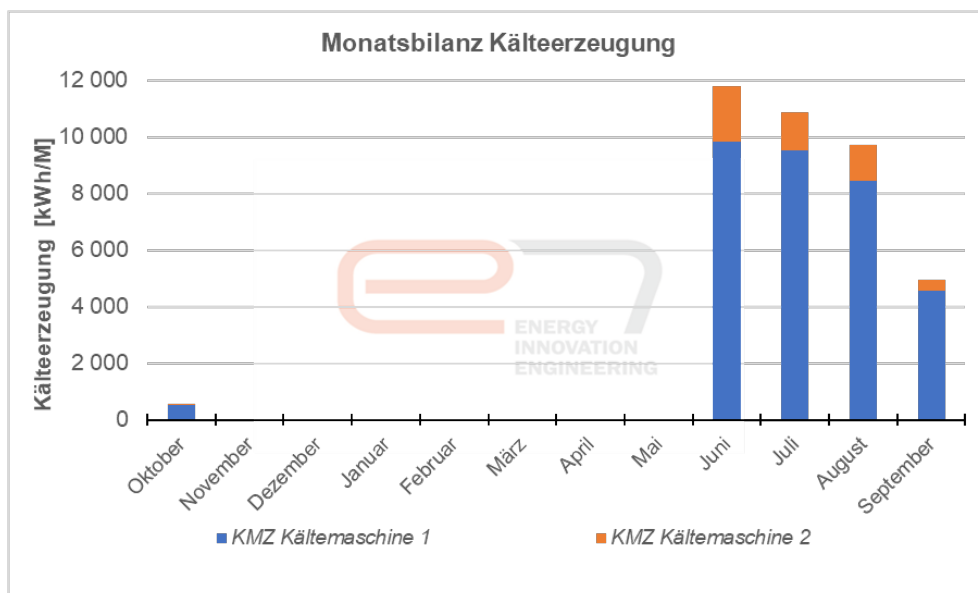


Abbildung 29: Monatsbilanz Kälteerzeugung, Campus V (Quelle: e7)

Die Gesamtkältebereitstellung für den Monitoringzeitraum beträgt 37.850 kWh, welches einem spezifischen Kälteverbrauch von 11,5 kWh/m²_{BGFa} entspricht. Der SEER (*Seasonal Energy Efficiency Ratio*) der vorliegenden Kälteerzeuger liegt während der Kühlperiode Juni-Sept. 2023 bei 4,2 (exkl. MSR Kältetechnik).

Die Kälteenergie wird einerseits über die Bauteilaktivierung abgegeben und andererseits erfolgt eine Zuluft-Konditionierung über das Kühlregister der Lüftungsanlage.

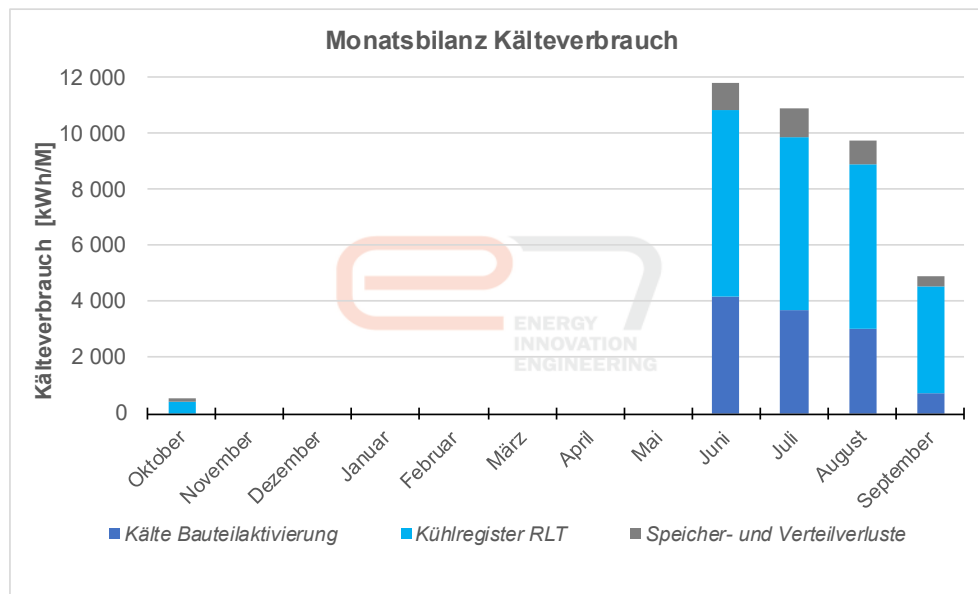


Abbildung 30: Monatsbilanz Kälteverbrauch, Campus V (Quelle: e7)

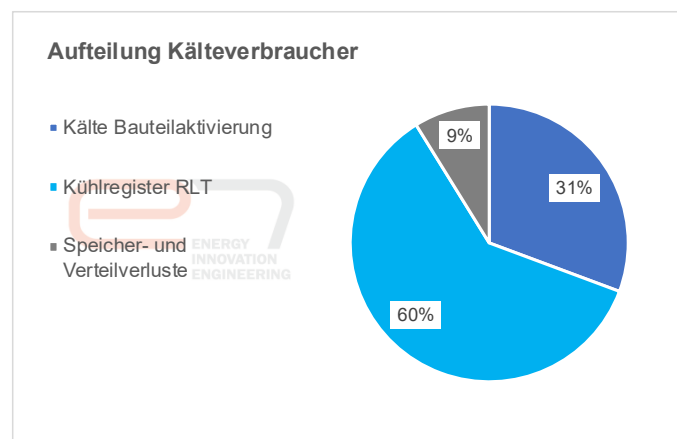


Abbildung 31: Aufteilung der Kälteverbraucher, Campus V (Quelle: e7)

Die oberhalb dargestellte Aufteilung der Kälteverbraucher während der Monitoringperiode zeigt einen deutlichen Kälte-Hauptverbrauch hervorgerufen durch die Lüftungsanlage (Kühlregister-Anteil 60%) und einen vergleichsweise geringen Anteil der Bauteilaktivierung von 31% der bereitgestellten Kältemenge. Dieses Verhältnis ist für einen Büro- und Laborbetrieb mit Bauteilaktivierung untypisch. Die Monitoringdaten zeigen, dass die Zuluft-Temperaturen der Lüftungsanlage ganzjährig auf den Sollwert von 19°C geregelt werden. Diese relativ geringe Zuluft-Temperatur-Einstellung könnte der Grund für die höheren Kälteverbräuche des Lüftungskühlregisters sein.

Kälteabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Regelungsstrategie: Die Regelung der Kälteabgabe im Gebäude erfolgt über Einzelraumregelungen.

Aus dem unterhalb dargestellten Carpet Plot für die Kälteabgabeleistung der Bauteilaktivierung für 10. Juni bis 14. Sept. 2023 ist ersichtlich, dass die Kälteabgabe während der Nachmittagsstunden aktiv ist und bis in die frühen Morgenstunden des Folgetages läuft.

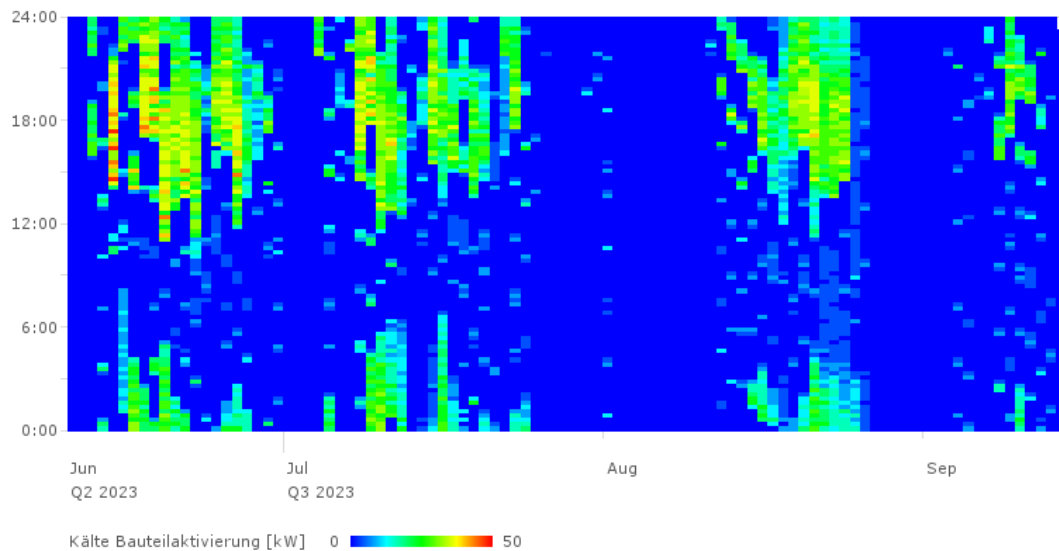


Abbildung 32: Carpet Plot der Kälteleistung [kW] der Bauteilaktivierung Campus V, Zeitraum 10.06.-14.09.2023 (Quelle: e7)

Verzeichnete Betriebsbedingungen der Kühlung über Bauteilaktivierung:

- Aktivierung der Raumkühlung in den Abgabebereichen über dezentrale Einzelraumregler
- VL-Temp. liegt sehr konstant bei 15-16°C, Konstantwert-Regelung der VL-Temp.
- Variabler Volumenstrom durch Drehzahlregelung der Umwälzpumpe in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zw. Vor- und Rücklauf von 3 K.
- Maximale Wärmeabgabeleistung: 24 kW
- Maximale spezifische Abgabeleistung: 10 W/m²
-

Auffälligkeiten und Optimierungsempfehlungen:

- Die Bauteilaktivierung wird nur zu einem geringen Anteil für die Kälteabgabe im Objekt genutzt. Das Potenzial der Bauteilaktivierung könnte besser genutzt werden, indem die Einstellungen der Lüftungsanlagen-Betriebsparameter angepasst werden. Bei den aktuellen Lüftungseinstellungen besteht die Gefahr, dass sich die kühlen Zulufttemperaturen negativ auf die Behaglichkeit in manchen Gebäudezonen auswirken können. Eine verstärkte Kälteabgabe über die Bauteilaktivierung in Kombination mit den Einzelraumreglern hätte eventuell den Vorteil, dass die Anforderungen je Zone besser erfüllt werden können.

- Die Stromverbrauchszähler der Kältemaschinen 1 & 2 sowie Schaltschrank Kälte zeigen relativ hohe Standby-Stromverbräuche außerhalb der Kühlperiode. In Summe betragen die Standby-Verbräuche ca. 220-250 kWh pro Monat (z.B. Dezember 2022 oder Jänner 2023, es erfolgt keine Kälteerzeugung; Details siehe nachfolgendes Kapitel über den Gebäude-Stromverbrauch). Rechnet man diese Standby-Verbräuche auf die gesamte Winterperiode (6 Monate) hoch so fallen ca. 1.400 kWh Stromverbrauch an, obwohl keine Kälteerzeugung erfolgt. Dieses Einsparpotenzial beträgt ca. 8% des Gebäudetechnik-Stromverbrauchs im Winterhalbjahr.

Optimierungsempfehlung: Außerhalb der Kühlperiode sollten die Kältemaschinen per Hauptschalter außer Betrieb genommen werden, sodass während dieser Zeit keine Standby-Verbräuche anfallen.

- Im Zeitraum 25.02. – 11.04. wurden keine Stromverbräuche der beiden Kältemaschinen verzeichnet. Es erfolgte eine Abschaltung der Kältemaschinen als Reaktion auf den ersten Monitoring-Zwischenbericht (Ausstellungsdatum 23.02.2023). Am 12.04. wurden die Kältemaschinen in den Betriebsmodus gesetzt. Im April und Mai 2023 wurden die beiden Anlagen nicht für die Kälteerzeugung eingesetzt. Trotzdem betrugen die Standby-Stromverbräuche im Mai 217 kWh. Die Monitoringdaten nach der Kühlperiode 2023 zeigen wieder einen Standby-Verbrauch (Nov. u. Dez. 2023). Dies weist darauf hin, dass die Kältemaschinen nicht per Hauptschalter deaktiviert wurden.

8.2.5 Nachfragestruktur Strom

Im Monitoringzeitraum beträgt der Gesamtstromverbrauch des Objekts 171.739 kWh, welches einem spezifischen Stromverbrauch von $52,2 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ entspricht.

In nachfolgender Abbildung wird die Monatsbilanz der Gebäudetechnik-Stromverbraucher dargestellt.

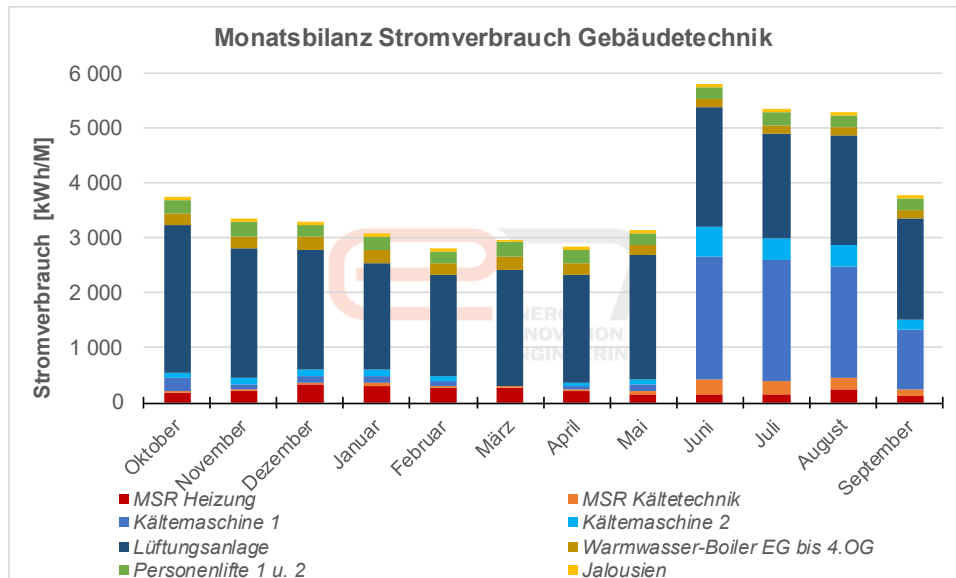


Abbildung 33: Monatsbilanz Stromverbrauch Gebäudetechnik Campus V (Quelle: e7)

Der Stromverbrauch der Gebäudetechnik für den Monitoringzeitraum beträgt 45.470 kWh, welches einem spezifischen Gebäudetechnik-Stromverbrauch von $13,8 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ bzw. einem Anteil von 26% vom Gesamtstromverbrauch des Objekts entspricht.

Die Stromverbrauchsreduktion durch die Deaktivierung der Kältemaschinen im Zeitraum 25.02. – 11.04.2023 ist in obiger Abb. gut erkennbar.

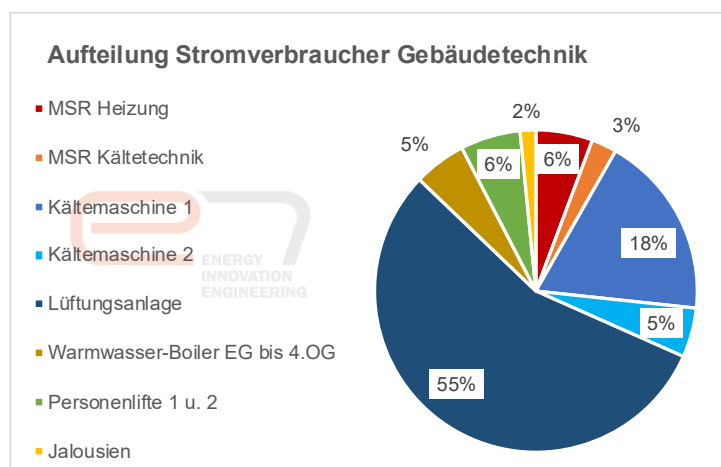


Abbildung 34: Aufteilung der Gebäudetechnik-Stromverbraucher für die Monitoringperiode (Quelle: e7)

Den größten Anteil an den Gebäudetechnik-Verbräuchen mit 55% nimmt die Lüftungsanlage ein (25.235 kWh/a bzw. 7,7 kWh/m²_{BGFa}). Die Verbräuche der Kältemaschine 1 liegen bei 18% und jene der Kältemaschine 2 bei 5%.

Die Stromverbräuche für die dezentralen Warmwasserbereitungsgeräte mit einem Anteil von 5% bzw. 2.389 kWh (0,7 kWh/m²_{BGFa}) sind als gering zu bewerten. Es handelt sich um eine effiziente Warmwasserbereitungslösung für die Nutzung in dem gegenständlichen Objekt.

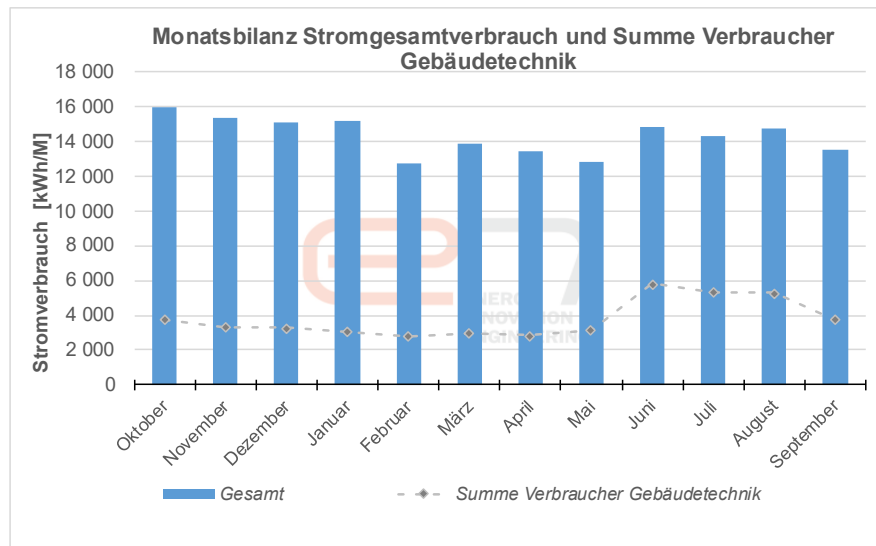


Abbildung 35: Monatsbilanz Stromverbrauch Gesamt und Summe aller Gebäudetechnik-Verbraucher, Campus V (Quelle: e7)

Auffälligkeiten und Optimierungsempfehlungen

Die Monitoringdaten zeigen Auffälligkeiten beim Verbrauch der Lüftungsanlage. Es liegen hohe Stromverbräuche für das Raumlüftungsgerät vor.

Die hohen Stromverbräuche können mit den großzügig gewählten Betriebszeiten der Lüftungsanlage begründet werden:

	Lüftungsanlage
Betriebszeit	Vor 12. November 2022: Täglich 03:30 – 22:00 Uhr Ab 12. November 2022: MO-FR 03:30 – 22:00 Uhr SA&SO 06:30 – 15:00 Uhr und 20:30 – 21:30 Uhr Kein Feiertags-Zeitprogramm Die Anlage wird an Feiertagen (z.B. 01.11.2022 oder 26.12.2022) wie an einem normalen Werktag von 03:30 – 22:00 Uhr betrieben.
Leistungsbezug bei Betrieb	Ca. 4 - 6 kW
Täglicher Stromverbrauch Wochentag	Ca. 75 - 85 kWh/Tag

Optimierungspotenziale im Bereich der Raumluftechnik:

Durch Anpassungen bei der Betriebszeit der Lüftungsanlage könnte der Stromverbrauch für die Gebäudetechnik erheblich reduziert werden.

Es wird empfohlen, die Einstellungen entsprechend der Gebäudenutzungszeiten anzupassen (insbesondere an Wochenenden). Weiters sollte ein Feiertags-Zeitprogramm implementiert werden, sodass der Betrieb an unter der Woche liegenden Feiertagen nach dem Sonntags-Zeitprogramm erfolgt. Diese Anpassung sollte in Abstimmung mit den Mietern erfolgen.

Ein Lüftungsbetrieb für die Nachtauskühlung sollte ausschließlich für den Hochsommer vorgesehen werden.

Für den Fall von Abendveranstaltungen könnte ein „Veranstaltungs-Taster“ installiert werden, der z.B. abends die Laufzeit der Lüftungsanlage um eine festzulegende Dauer verlängert.

Durch Umbauten in der Luftverteilung könnten Zonierungen vorgesehen werden, um einzelne Gebäudebereiche zu längeren Zeiten mit der mechanischen Lüftungsanlage zu versorgen. Damit könnten die Energieverbräuche für die Raumluftechnik reduziert werden.

Die Monitoringdaten zeigen, dass die Zuluft-Temperaturen ganzjährig auf den Sollwert von 19°C geregelt werden. Diese geringe Zuluft-Temperatur-Einstellung ruft höhere Kälteverbräuche des Lüftungskühlregisters hervor. Eine Anpassung der Zuluft-Einstellparameter wird empfohlen.

8.2.6 Raumkomfort - Monitoring

Referenzräume:

- 2. OG Seminarraum 1 Süd
- 2. OG Seminarraum 2 Nord

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

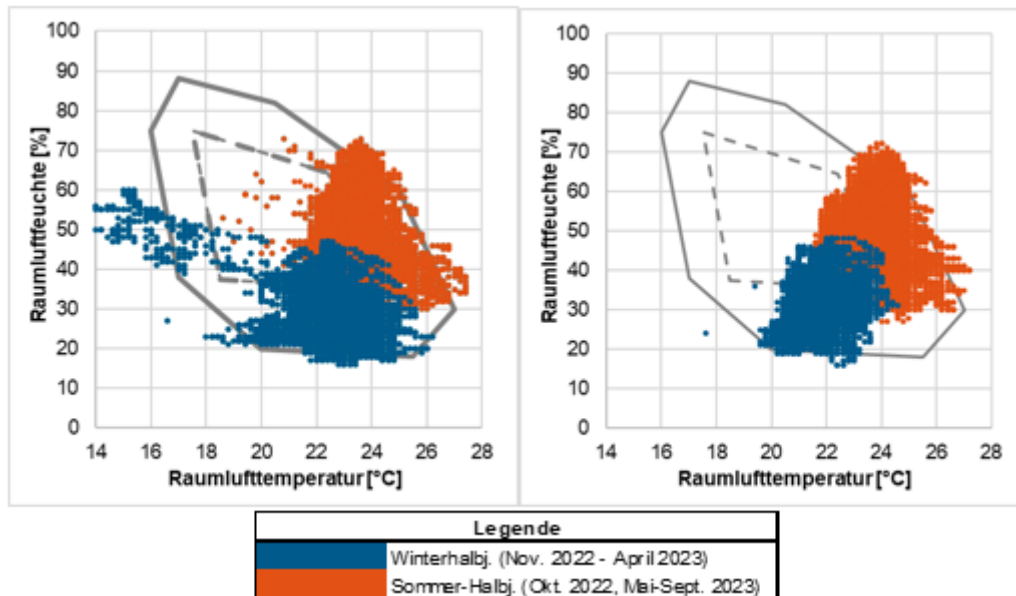


Abbildung 36: Behaglichkeitsdiagramme der Referenzräume, Campus V, links: 2. OG Seminarraum 1 Süd, rechts: 2. OG Seminarraum 2 Nord (Quelle: e7)

Die beiden Referenzräume liegen während der Nutzungszeiten durchwegs im noch behaglichen Komfortbereich, obwohl anzumerken ist, dass in den Wintermonaten die Raumluftfeuchte im trockenen Bereich von 20-30% liegt. Dies kann mit den großzügig gewählten Betriebszeiten der Lüftungsanlage in Zusammenhang stehen. Die Lüftungsanlage ist zwar mit einem Enthalpierotor zur Feuchterückgewinnung ausgestattet, verfügt aber über keine Zuluft-Befeuchtung.

Im Winter gab es im Seminarraum 1 Süd während der Weihnachtsfeiertage 2022 einige Tage mit sehr niedrigen Raumtemperaturen, welche vermutlich auf eine unerwünschte Fensteröffnung zurückzuführen ist.

Die Temperatur im Seminarraum Süd schwankt etwas stärker als jene im Seminarraum Nord. Dies ist mit den solaren Einträgen durch die großflächigen Süd-Fensterflächen zu begründen.

In den letzten beiden Mai- und ersten zwei Juni-Wochen 2023 zeigen sich temporäre Überwärmungstendenzen in den Seminarräumen (die Raumtemperaturen übersteigen die 26°C-Marke für insgesamt ca. 60 Stunden).

Diese Überwärmung der Seminarräume im Mai/Juni hat mehrere Gründe: Die Kälteanlagen waren im Mai aufgrund einer Störung nicht in Betrieb. Weiters hat es einen Fehler in der Automatik der außenliegenden Verschattung gegeben und die Einstellung der Schaltwerte waren zu dieser Zeit noch im Winterbetrieb. Die Anpassung der Verschattungseinstellung sind in der KW24 erfolgt. Die geschilderten Probleme der Kälte- und Verschattungstechnik haben sich auf das gesamte Gebäude ausgewirkt. Die Raumtemperaturen stiegen zu dieser Zeit in allen Geschoßen in unbehagliche Komfortbereiche.

Ab der KW24 wurden während der Kühlperiode sehr komfortable Raumluftbedingungen in den Referenzräumen eingehalten, welches auch in den Behaglichkeitsdiagrammen gut ersichtlich ist. Dies zeigt, dass bei funktionierender Gebäudetechnik ein gutes Raumkomfort-Band eingehalten werden kann. Nachfolgend werden die Raumlufttemperaturen der Referenzräume den Kategorien der Standardauslegungswerte für operative Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Anhang B, Tab. B.2 gegenübergestellt.

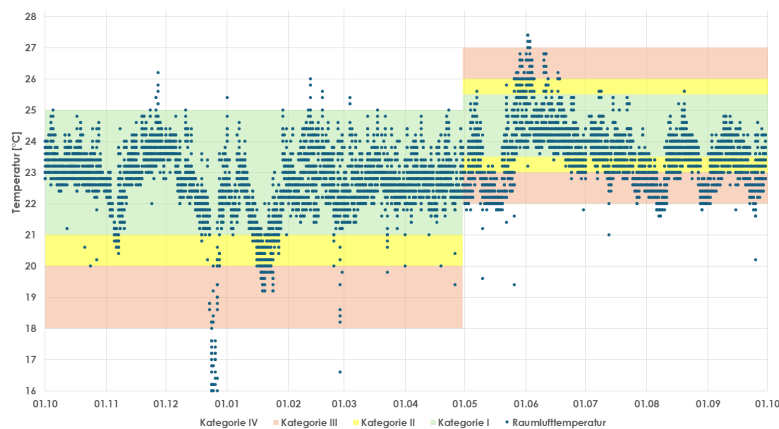


Abbildung 37: Raumlufttemperatur Seminarraum 1 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Campus V (Quelle: e7)

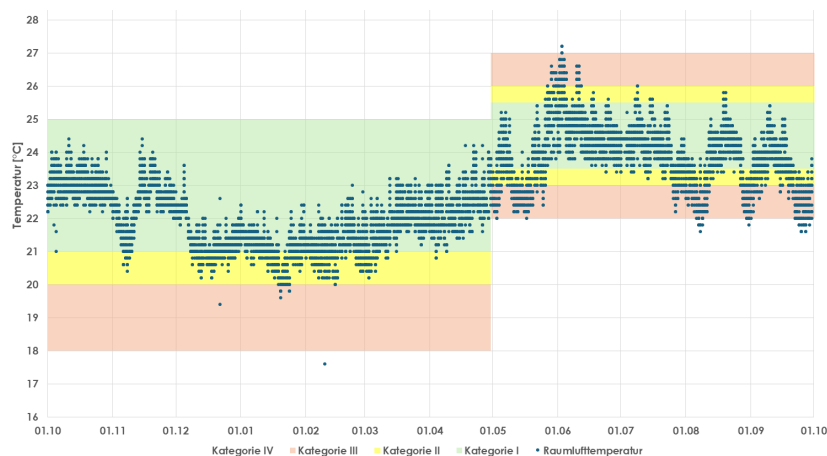


Abbildung 38: Raumlufttemperatur Seminarraum 2 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Campus V (Quelle: e7)

Operative Temperaturen

Die operative Temperatur (gefühlte Temperatur, Empfindungstemperatur) umfasst das Zusammenwirken der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen und ist der Hauptfaktor der thermischen Behaglichkeit.

Für die beiden Referenzräume Seminarraum 1 und 2 wurden quartalsweise die operativen Temperaturen bestimmt. Die ermittelten operativen Temperaturen gelten als Beleg für das gute Raumklima, siehe nachfolgende Abbildung.

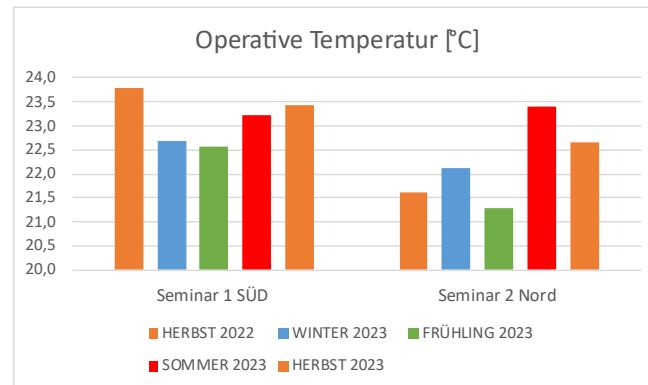


Abbildung 39: Operative Temperaturen für die Referenzräume (Quelle: e7)

Die operativen Temperaturen der Referenzräume liegen nur wenige Zehntel-Grad von der jeweils gemessenen Raumluft ab. Größere Abweichungen zwischen Raumluft- und operativer Temperatur wurden nur beim Seminarraum 1 Süd festgestellt, wenn die Messung an sonnigen Nachmittagen durchgeführt wurde, da zu diesen Zeitpunkten die durch Solarstrahlung hervorgerufene Erwärmung der großen Fensteroberflächen eine Erhöhung der operativen Temperatur von bis zu 1,0 K bewirkt (betrifft Messungen der Saison Herbst 2022 und Herbst 2023).

Raumluftqualität (CO₂-Konzentration)

Bei den gemessenen CO₂-Konzentrationen zeigt sich, dass während des Messzeitraums in beiden Referenzräumen eine sehr gute Raumluftqualität vorherrschte. Die gemessenen CO₂-Konzentrationen liegen weitestgehend unter 800 ppm. In den beiden Referenzräumen Seminarräume 1 und 2 im 2.OG ist eine Luftmengenregelung über eine CO₂-Messung vorhanden (in den restlichen Gebäudeteilen ist keine Luftmengenregelung eingesetzt). Lediglich während Zeiten mit intensiver Nutzung der Seminarräume werden kurzzeitige Spitzen bis zu max. 1100 ppm gemessen (dies begrenzt sich auf weniger als 5 Stunden pro Jahr).

Die Monitoringdaten bestätigen für die Referenzräume die Einhaltung einer sehr guten Raumluftqualität.

8.3 Fröschl Haus, T

Bauteilaktivierung: Decken		
Objektnutzung: Büro und Handel	Standort: Brockenweg 1, 6060 Hall in Tirol	Fertigstellung: 2021

8.3.1 Objektbeschreibung

Das Fröschl Haus als monolithisch geformter Baukörper wird zur Gänze in Sichtbeton ausgeführt. Das Gebäude verfügt über ein Erdgeschoß mit einem Lebensmittelhandel. Die drei flächig darüber liegenden Obergeschoße samt im südlichen Bereich zusätzlichen zwei aufgebauten Geschoßen werden von der Fröschl AG & Co KG genutzt. Das Gebäudekonzept ergibt sich aus Massivbau, dessen Sichtbetondecken durch Bauteilaktivierung zur Kühlung und Heizung verwendet werden, speicherfähige und wartungsfreie Außenhülle in Beton, Grundwassernutzung und reduzierte Fensterflächen nach außen. Mit der Grundwasser-Wärmepumpe in Kombination mit der Photovoltaikanlage am Flachdach kann ein großer Anteil an lokal erzeugter Energie genutzt werden.

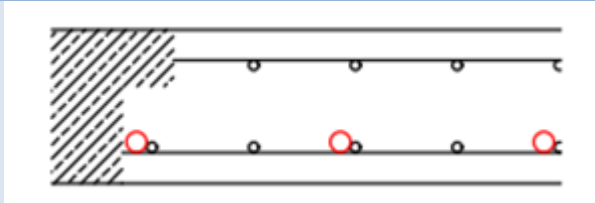
Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	8.792 m ²	Eigentümer: Fröschl AG & Co KG
HKLS-Planung	Ortner Ges.m.b.H. Dr. Stumpfstr. 2 6020 Innsbruck	Name: Prokurist Ing. Josef Ascher
Architektur	ROECK Architekten	Web: https://www.froeschl.at/froeschlhaus/

Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- Passivhaus-Energiestandard, 6-geschoßig zzgl. Tiefgarage
- Monolithisch geformter Baukörper mit weißer Sichtbetonfassade
- Reduzierte Fensterflächen nach außen mit geschliffenen und polierten Fensterlaibungen, die unterschiedlich geneigt sind.
- Klimaaktive, luftreinigende Fassade mit Zuschlagsstoff zum Abbau von Stickoxiden aus der Luft bei Sonneneinstrahlung
- Innenarchitektur in Sichtbeton und Holzbauweise
- Begrünte und lichtdurchflutende Innenhöfe.
- Massivbauweise

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde in den Decken im Büro-Nutzungsbereich der Fa. Fröschl AG & Co KG ausgeführt. Die Handelsfläche im Erdgeschoss verfügt über keine Bauteilaktivierung.

Aktivierte Bauteile: Decken	
Einsatz	Heizung und Kühlung
Aktivierte Fläche	Decken über der Nutzfläche EG – OG 5 (ca. 3.700 m ²)
Aktiviertes Material	Ortbeton Deckenstärke Stahlbetondecke 30 cm (Decke EG zu OG1: 40 cm) <u>Aufbau Geschoßdecke:</u> 8 cm Zementestrich (mit. u. ohne FBH) 3 cm Mineralfaser 13 cm Schüttung 30 cm Stahlbeton, mit BKA (außer Decke über EG: 40 cm)
Verlegungsart	System Uponor Velta PE-Xa: PE-X Kunststoff-Rohr, Dimension 20x2 mm, Befestigung auf der unteren Bewehrung, Verlegeabstand 15 cm, Abstände von Außenwand u. Dachfenster 20 cm
Regelungsstrategie	Auslegungstemperaturen: Heizen 32/28°C, Kühlen 17/20°C. Die Regelstrategie der Bauteilaktivierung im Betriebsfall „Heizen“ ist verschränkt mit der Regelung der anderen Wärmeabgabesysteme. Die Regelungsstrategie der Bauteilaktivierung im Betriebsfall „Kühlen“ ist Außentemperatur-geführt. Weiters werden in den versorgten Räumen Einzelraumregler angewandt. Detailbeschreibungen siehe in den nachfolgenden Kapiteln.
Leistungskennzahlen	Abgabeleistung: Heizen 78,7 kW; Kühlen 142,6 kW
	
Abbildung 40: Schnittdarstellung Zwischendecke (Quelle: Hacon GmbH)	

Gebäudetechnik und Messkonzept

Die nachfolgend angeführte Gebäudetechnik dient zur Versorgung sämtlicher Büro-Nutzflächen der Fa. Fröschl AG & Co KG. Die Handelsfläche im Erdgeschoß verfügt über keine Bauteilaktivierung und wird nicht über die Gebäudetechnik der Fa. Fröschl versorgt (die Hofer-Filiale verfügt über eine unabhängige Wärme- und Kälteversorgung).

Gebäudetechnik	
Heizung	Thermische Grundwassernutzung mit 12 l/s bzw. 82.100 m ³ /a maximaler Entnahmemenge, 10 °C Entnahmetemperatur, 6 °C minimale Rückgabetemperatur, Entnahmebrunnen nordseitig, Rückgabebrunnen südseitig. 2 Niedertemperatur-Wärmepumpen (je 178 kW Heizleistung, 40°/45° C) 5.000 l Heizungs-Pufferspeicher (Typ Zortström).
Brauch-Warmwasser	Dezentral elektrisch
Kühlung	Thermische Grundwassernutzung mit 19 l/s bzw. 75.200 m ³ /a maximaler Entnahmemenge, 10 °C Entnahmetemperatur, 15 °C maximale Rückgabetemperatur, Direktkühlung mittels Wärmetauscher (Free Cooling)
Wärmeabgabe	Betonkernaktivierung (78,7 kW, 32/28°C) Radiatoren (1. – 3. OG; 48,3 kW, 45°/35°C) Fußbodenheizung (91,9 kW 32°/28°C)
Kälteabgabe	Betonkernaktivierung (142,6 kW, 17/20°C), Fußbodenheizung (41,3 kW, 17/20°C) Serverkühlung 20 kW über Grundwasser-Wärmetauscher (als Serverkühlungs-Backup dient ein Splitklimaggerät, Aufstellort Tiefgarage)
Lüftungstechnik	6 Stück mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, Heizregister, teilweise Kühlregister und elektr. Dampf-Befeuchtung.
Elektrische Energie	Öffentliches Netz Photovoltaik-Anlage am Flachdach (70 kWp, Ausrichtung Süd, Neigung 10°; 174 Module mit ca. 300 m ² Fläche)

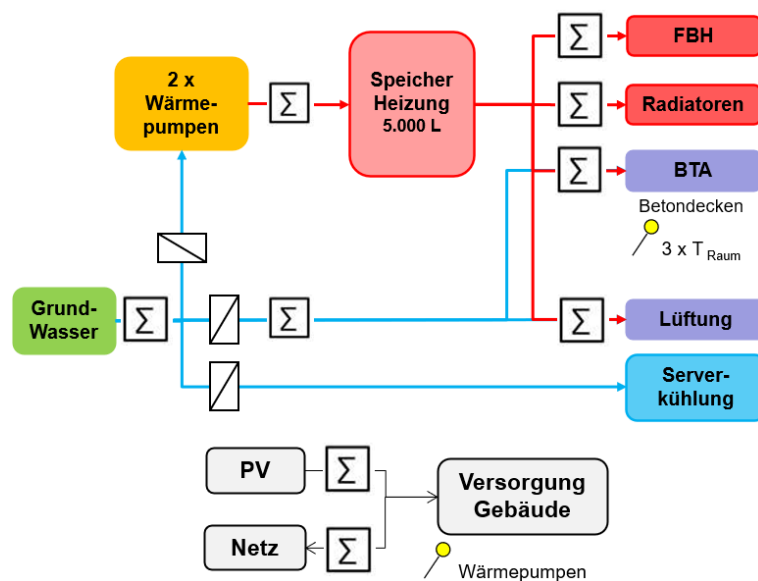


Abbildung 41: Prinzipschema Fröschl Haus, Gebäudetechnik und Messkonzept (Quelle: e7)

8.3.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: 1. März 2024 – 28. Feb. 2025

Gebäudeflächen lt. Energieausweis	
Brutto-Grundfläche (BGF)	8.792 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	7.033 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung		
Speicherkapazität	Decke 740 kWh/K = 0,08 kWh/Km ² _{BGF} Eine aktive Nutzung der Speicherkapazität der BTA liegt derzeit nicht vor.	
Deckungsgrad lokaler Energieträger	Heizung: ca. 34 % (Restliche Deckung des Wärmepumpenstroms durch Netz-Strombezug) Kühlung: 100% (Grundwasser)	
Gesamtgebäude: Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast ⁸ 203 kW 29 W/m ² _{BF} Installierte Heizleistung (2 Wärmepumpen) 356 kW 51 W/m ² _{BF} Gemessene max. Heizleistung 199 kW 28 W/m ² _{BF}	
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Decken
	Aktivierte Fläche	ca. 3.700 m ²
	Max. Heizleistung	86,4 kW
	Max. spezifische Heizleistung	23,4 W/m ² _{akt.}
	Vorlauftemperatur Heizen	23 - 28 °C
	Spreizung bei max. Heizleistung	3,5 K
	Max. Kühlleistung	116 kW
	Max. spezifische Kühlleistung	31,4 W/m ² _{akt.}
	Vorlauftemperatur Kühlen	17 - 18 °C
	Spreizung bei max. Kühlleistung	4 K

Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (gesamt für Raumwärme inkl. Speicher- und Verteilverluste)	31,7 kWh/m ² _{BGFa}
Kühlenergieverbrauch	20 kWh/m ² _{BGFa} <i>davon Anteil Serverkühlung:</i> <i>9,4 kWh/m²_{BGFa} bzw. 47%</i>

⁸ Ermittlung über die im Energieausweis angeführten Leitwerte für Transmission und Lüftung und einem Temperaturunterschied zwischen den gemessenen Innenraumtemperaturen und der Norm-Außentemperatur des Standorts.

8.3.3 Nachfragestruktur Wärme

Die Wärmebereitstellung erfolgt durch die beiden Wasser/Wasser-Wärmepumpen, welche Grundwasser als Wärmequelle nutzen. Nachfolgend werden die monatlich erzeugten Wärmemengen dargestellt.

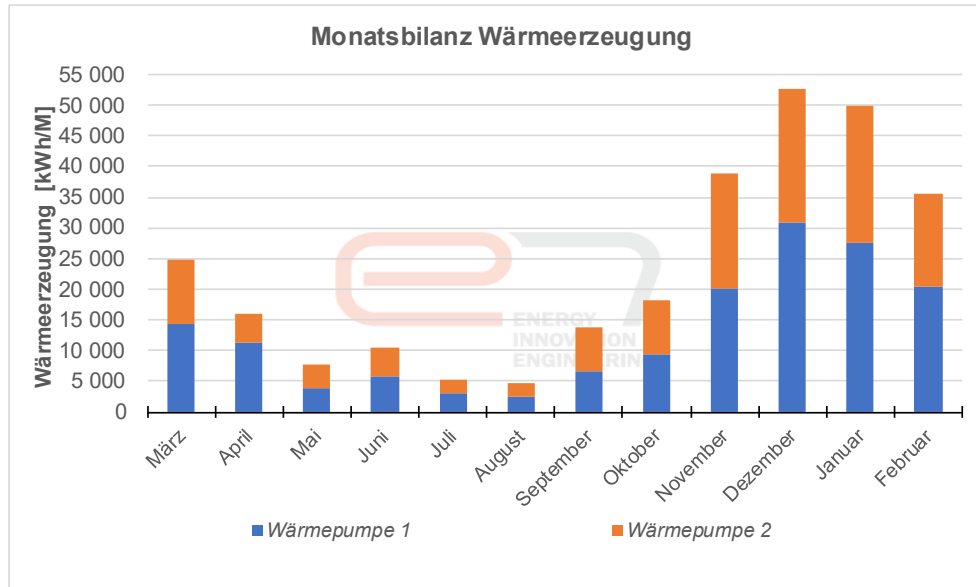


Abbildung 42: Monatsbilanz Wärmeerzeugung, Fröschl Haus (Quelle: e7)

Der Gesamtwärmeverbrauch für das Betriebsjahr März 2024 bis Februar 2025 liegt bei 278.390 kWh, welcher einem spezifischen Wärmeverbrauch von $31,7 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ für das Gesamtobjekt entspricht.

Für den Monitoringzeitraum wird eine Jahresarbeitszahl von 4,5 ermittelt.

Die Aufteilung der einzelnen Wärmeverbraucher stellt sich wie folgt dar:

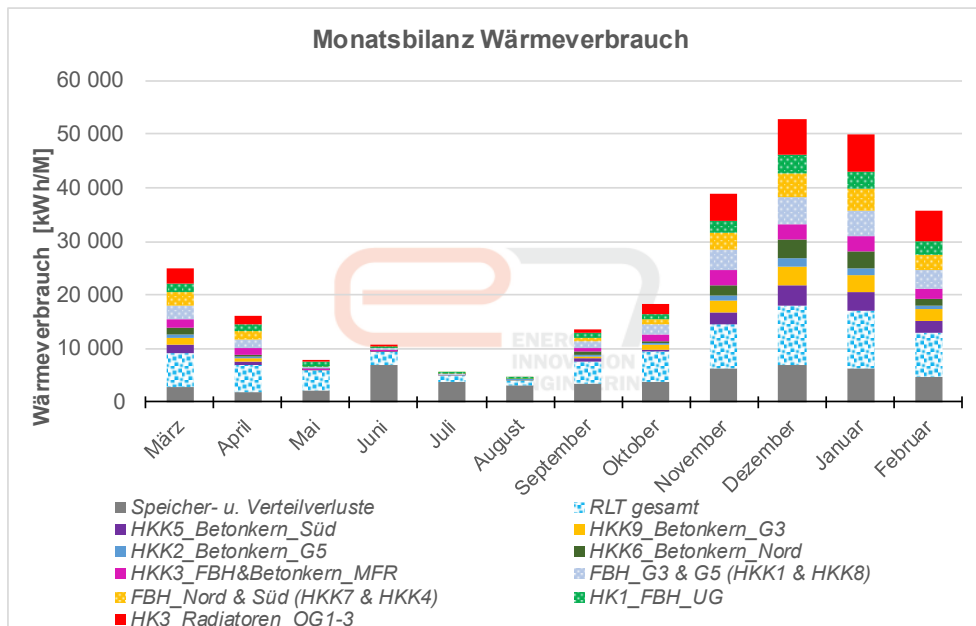


Abbildung 43: Monatsbilanz Wärmeverbrauch, Fröschl Haus (Quelle: e7)

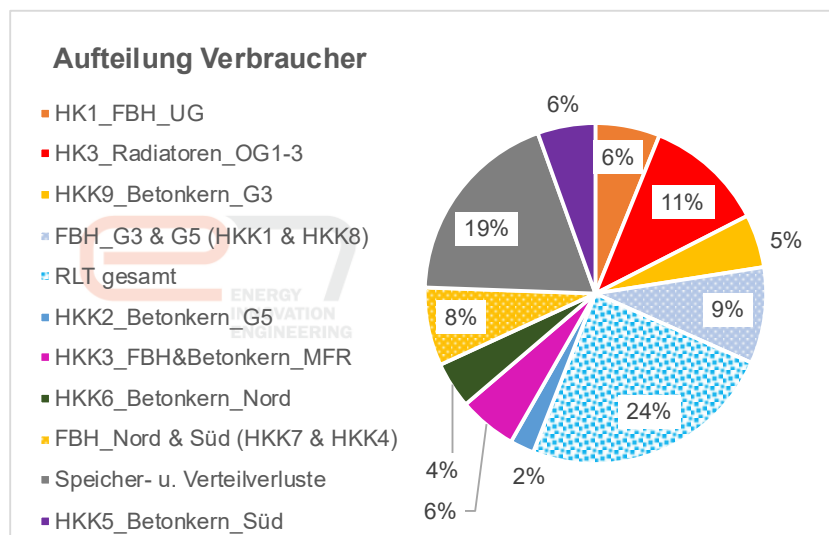


Abbildung 44: Prozentuelle Aufteilung des Wärmeverbrauchs, Fröschl Haus (Quelle: e7)

Die Wärmeverbrauch sämtlicher Lüftungsanlagen wurde in obigem Diagramm unter „RLT_gesamt“ zusammengefasst dargestellt (der Anteil am Gesamt-Wärmeverbrauch beträgt 24%). Nachfolgendes Diagramm zeigt die Wärmeverbräuche der einzelnen Lüftungsanlagen im Detail:

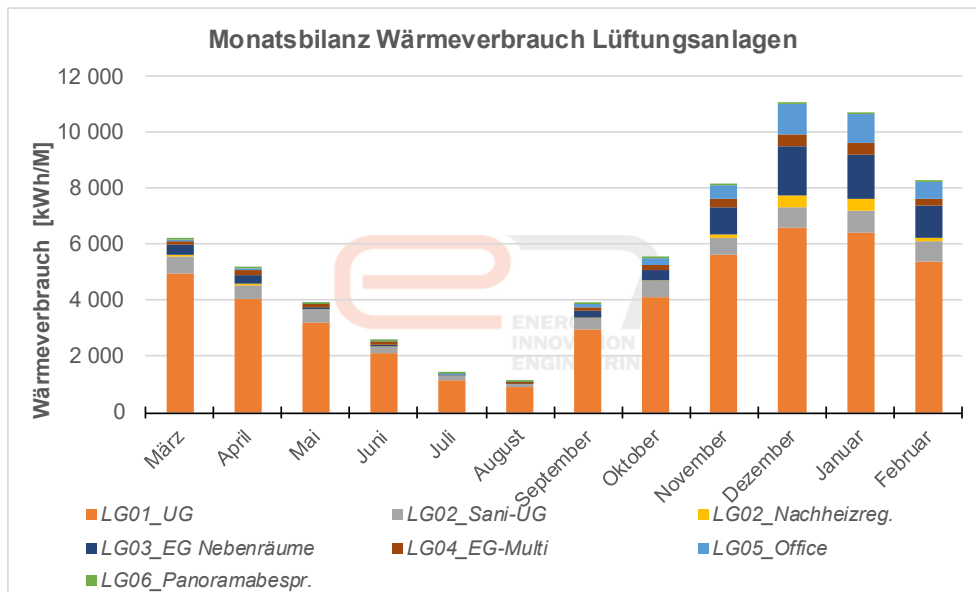


Abbildung 45: Monatsbilanz Wärmeverbrauch der Lüftungsanlagen, Fröschl Haus (Quelle: e7)

In der Darstellung oberhalb wird deutlich, dass 70% des Wärmeverbrauchs für Lüftungsanlagen von der Lüftungsanlage LG01 Lüftung UG (Nenn-Luftvolumenstrom $3.105 \text{ m}^3/\text{h}$) verbraucht werden, was auffällig hoch ist und untypisch erscheint. Im Bezug auf den Gesamt-Wärmeverbrauchs des Objekts verursacht die LG01 ca. 17% der Wärmeenergie. Es wird empfohlen die Regelungseinstellungen der Lüftungsanlage und den Anlagenbetrieb zu überprüfen. Es wird ein Problem an der Wärmerückgewinnungseinheit oder der Bypass-Klappen-Schaltung vermutet.

Wärmeabgabe der Bauteilaktivierung im Detail

Die Wärmeabgabe über die Bauteilaktivierung weist einen Anteil von 23% auf.

Regelungsstrategie: Bei den Heizungsregelkreisen herrscht ein variabler Volumenstrom nach Differenzdruckregelung der jeweiligen Umwälzpumpe.

Folgende Außentemperatur-Grenzwerte für die Heizfreigabe sind für die unterschiedlichen Wärmeabgabesysteme vorgesehen:

- Radiatoren-Heizungsregelkreis: $T_{\text{außen}} = 15^{\circ}\text{C}$
- Heizungsregelkreise für Bauteilaktivierung (und Fußbodenheizungen) $T_{\text{außen}} = 10^{\circ}\text{C}$

Grundsätzlich erfolgt die Regelung der Wärmeabgabe (Bauteilaktivierung und Radiatoren) in den Nutzungszonen über Einzelraumregelungen, welche folgende Freigabe-Bedingungen je Zone vorgesehen hat:

- Radiatoren-Heizungsregelkreis:
 - Normalbetrieb $T_{\text{Raum_Heizen}} = 22^{\circ}\text{C}$, Zeit: MO-FR 05-18 Uhr und SA 05-13 Uhr
 - Absenkbetrieb $T_{\text{Raum_Heizen}} = 18^{\circ}\text{C}$, Zeit: übrige Zeiten
- Heizungsregelkreise für Bauteilaktivierung (und Fußbodenheizungen)
 - Normalbetrieb $T_{\text{Raum_Heizen}} = 22^{\circ}\text{C}$, Zeit: MO-SO 00-24 Uhr

Während des Betriebs des Bauteilaktivierungs-Heizkreises wird die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur im Bereich von $23\text{-}28^{\circ}\text{C}$ geregelt (Außentemperatur-geführte Vorlauftemperaturregelung per Heizkurve, Anmerkung: moderate Vorlauftemperaturen für Heizzwecke).

Es liegt keine aktive Ausnutzung der Speicherfähigkeit der Bauteilaktivierung vor, der Bauteilaktivierungs-Heizkreis wird nach der Nachfrage entsprechend den Einzelraumregelungen bedient.

Durch regelungstechnische Maßnahmen könnte die Beladung der Bauteilaktivierung bei Photovoltaik-Überschusserzeugung verstärkt erfolgen. Im Zusammenspiel mit einer geringfügigen Vorlauftemperatur-Erhöhung von 3-5 K, könnte eine verstärkte Nutzung der Speicherfähigkeit in Kombination mit der Eigenstromnutzungs-Steigerung erwirkt werden.

Verzeichnete Betriebsbedingungen der Heizung über Bauteilaktivierung:

- Aktivierung der Raumwärmeabgabe in den Nutzungszonen über dezentrale Einzelraumregler
- VL-Temp. liegt im Bereich $23\text{-}28^{\circ}\text{C}$, gem. Außentemperatur-geführter Heizkurve
- Variabler Volumenstrom durch Drehzahlregelung der Umwälzpumpe
- Maximale Wärmeabgabeleistung: 86,4 kW (am 13.01.2025)
- Maximale spezifische Abgabeleistung: $23,4 \text{ W/m}^2$

8.3.4 Nachfragestruktur Kälte

Die Kühlung des Gebäudes erfolgt über Free Cooling mit Grundwasser.

Nachfolgendes Diagramm zeigt die Monatsverbräuche der Wärmetauscher 3 (WT03) für Serverkühlung und Wärmetauscher 4 (WT04) für Gebäudekühlung (statische Kühlung per Bauteilaktivierung, Fußbodenheizung und Zuluft-Konditionierung per Kühlregister der Lüftungsanlagen).

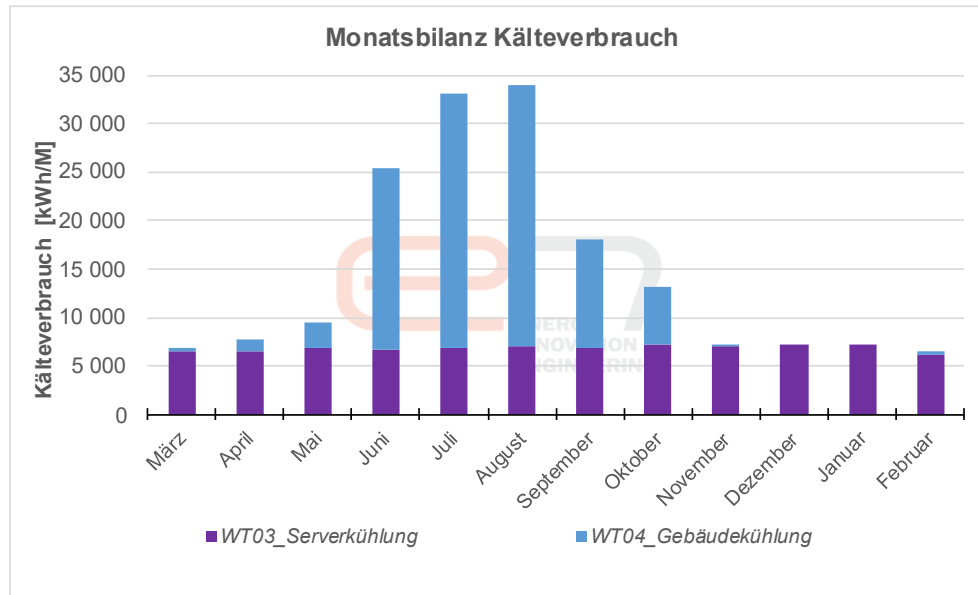


Abbildung 46: Monatsbilanz Kälteverbrauch Serverkühlung und Gebäudekühlung, Fröschl Haus (Quelle: e7)

Die Gesamtkältebereitstellung für das Betriebsjahr März 2024 bis Februar 2025 beträgt rund 175.440 kWh. Dies ergibt eine spezifische Kältemenge von 20,0 kWh/m²_{BGFA}.

Davon macht die Kältebereitstellung für die Gebäudekühlung (exklusive der Serverkühlung) einen Anteil von 47% aus (82.440 kWh/a bzw. 9,4 kWh/m²_{BGFA}; vgl. nachfolgende Abb.).

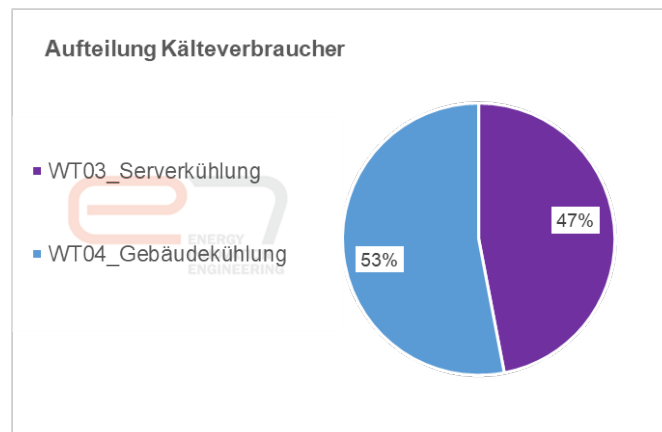


Abbildung 47: Prozentuelle Aufteilung des Kälteverbrauchs, Fröschl Haus (Quelle: e7)

Die Serverkühlung ruft eine sehr konstant auftretende Kühllast von 7-11 kW bzw. eine monatliche Kältemenge von 6.500-7.000 kWh hervor.

Für die Gebäudekühlung (Kälteabgabe über Fußbodenheizung, Bauteilaktivierung und Lüftungsanlagen) wird erwartungsgemäß im Zeitraum Mai bis Okt. ein nennenswerter Kälteverbrauch registriert.

Kälteabgabe der Bauteilaktivierung im Detail

Regelungsstrategie: Bei den Kühlregelkreisen herrscht ein variabler Volumenstrom nach Differenzdruckregelung der jeweiligen Umwälzpumpe.

Folgende Außentemperatur-Grenzwert ist für die Kühlfreigabe der Bauteilaktivierung vorgesehen:

- Kühlregelkreise für Bauteilaktivierung $T_{\text{außen}} = 18^{\circ}\text{C}$

Grundsätzlich erfolgt die Regelung der Kälteabgabe in den Nutzungszonen über Einzelraumregelungen, welche folgende Freigabe-Bedingungen je Zone vorgesehen hat:

- Kühlregelkreise für Bauteilaktivierung
 - o Normalbetrieb $T_{\text{Raum_Kühlen}} = 22^{\circ}\text{C}$, Zeit: MO-SO 00-24 Uhr

Bei der Detailanalyse der Bauteilaktivierungs-Regelkreise wird erkennbar, dass diese mit den aktuellen Betriebseinstellungen in der Übergangszeit Frühjahr und Herbst, innerhalb von 24 Stunden, vom Heizmodus in den Kühlmodus wechseln. Nachfolgendes Diagramm zeigt die Heiz- und Kühlleistungen am Beispiel Regelkreis BTA_Nord_HKK6 für den Zeitraum Okt. 2024.

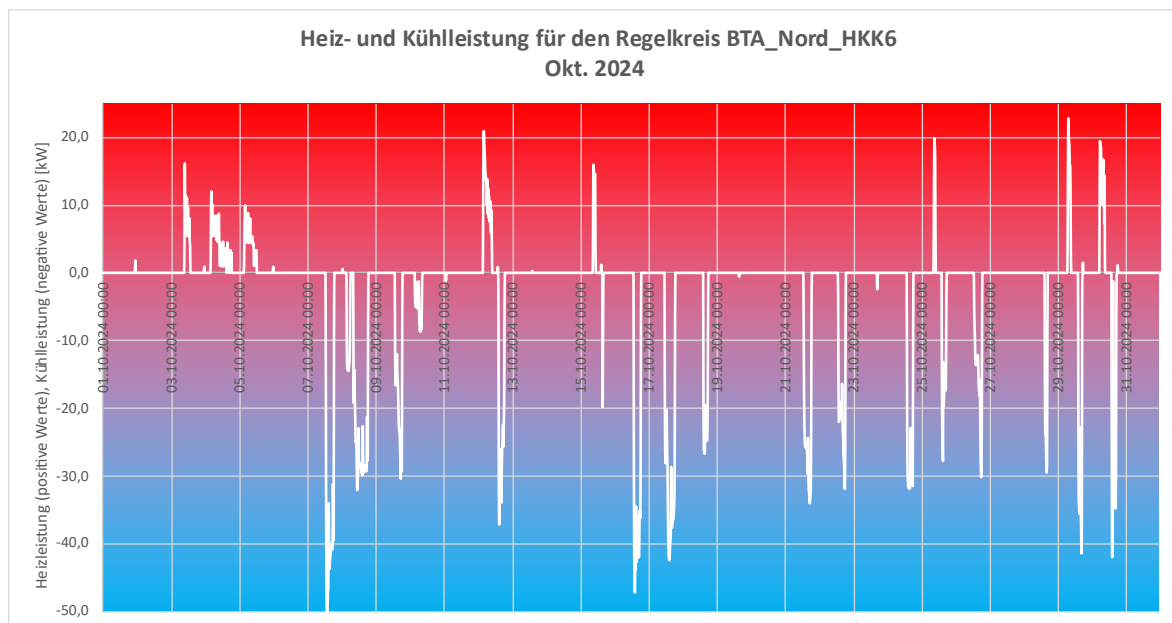


Abbildung 48: Heiz- und Kühlleistung für den Regelkreis BTA_Nord_HKK6 für Okt. 2024, Fröschl Haus (Quelle: e7)

Dieser wechselseitige Betrieb von Heiz- und Kühlsequenzen soll vermieden werden, da dies eine System-Ineffizienz hervorruft. Die Wärmepumpen müssen dadurch mehr Heizwärme während der Übergangszeit bereitstellen, als bei optimalen Betriebseinstellungen erforderlich wäre.

Es wird empfohlen die aktuelle Regelstrategie für die Bauteilaktivierungs- und Fußbodenheizungs-Regelkreise zu optimieren, um die abwechselnden Heiz- und Kühlsequenzen innerhalb des Zeitraums von 72 Stunden zu vermeiden. Beispielsweise könnte hier die Implementierung einer Sperrzeit zwischen Umschaltung Heiz- auf Kühlmodus sinnvoll sein.

Die Vorlauftemperatur wird bei aktivem Bauteilaktivierungs-Kühlbetrieb im Bereich von 17 – 18°C gefahren (Sollwert laut Regelungseinstellung ist 17°C). Bei Betrieb stellt sich nach der anfänglichen Einschwingphase eine Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf von 3 - 4 K ein.

Verzeichnete Betriebsbedingungen der Kühlung über Bauteilaktivierung:

- Aktivierung der Raumkühlung in den Abgabezonen über dezentrale Einzelraumregler
- VL-Temp. liegt im Bereich von 17-18°C, Konstantwert-Regelung der VL-Temp.
- Variabler Volumenstrom durch Drehzahlregelung der Umwälzpumpe
- Maximale Kälteabgabeleistung: 116 kW (am 07.10.2024 nach einer Periode in der die Bauteilaktivierung im Heizmodus war)
- Maximale spezifische Abgabeleistung: 31,4 W/m²

8.3.5 Nachfragestruktur Strom

Im Fröschl Haus werden folgende haustechnischen Stromverbrauchsgruppen mittels Energiemonitoring kontinuierlich erfasst:

- Allgemein S01: MSR für Heizung und Kühlung (inkl. Pumpen für die Grundwassernutzung)
- Wärmepumpe 1
- Wärmepumpe 2

Nicht erfasst werden der Betriebs-, Beleuchtungs- und Lüftungstechnik-Stromverbrauch des Objekts. Nachfolgendes Diagramm zeigt die Monatsverbräuche der erfassten Stromverbraucher.

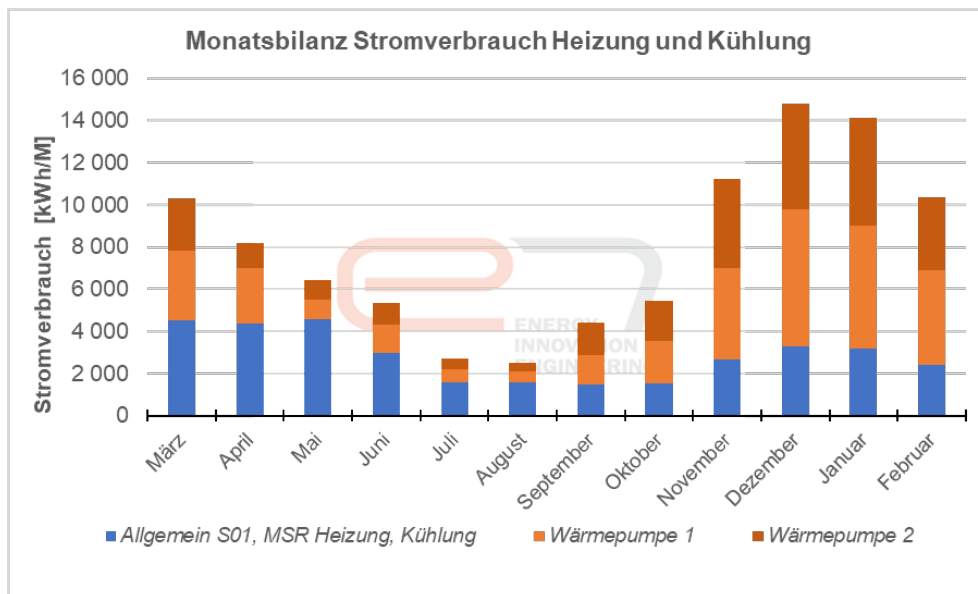


Abbildung 49: Monatsbilanz Stromverbrauch der Heiz- und Kühltechnik, Fröschl Haus (Quelle: e7)

Der Gesamtstromverbrauch für Heizung und Kühlung des Objekts beträgt im Betriebsjahr März 2024 bis Februar 2025 rund 95.900 kWh. Dies ergibt eine spezifische Strommenge von 10,9 kWh/m²_{BGFa}.

Bei der Monatsbilanz-Darstellung wird ersichtlich, dass der Stromaufwand für „Allgemein S01: MSR für Heizung und Kühlung“ ab Juli 2024 deutlich niedriger ausfällt als in den Monaten davor. Diese Stromverbrauchreduktion dürfte auf eine Änderung an der Grundwasser-Pumpenanlage zurückzuführen sein.

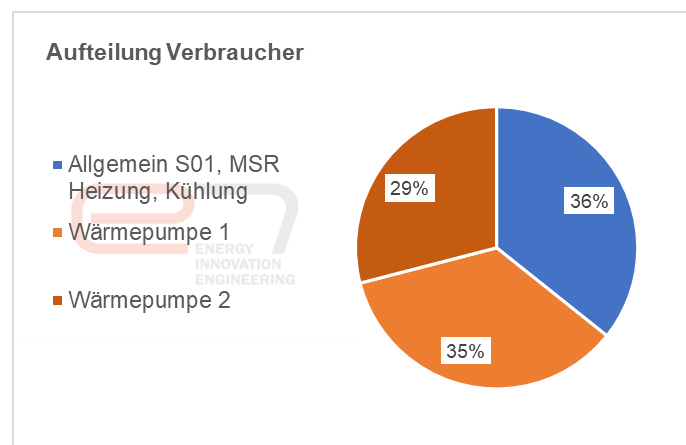


Abbildung 50: Prozentuelle Aufteilung der Stromverbräuche der Heiz- und Kühltechnikverbraucher, Fröschl Haus (Quelle: e7)

Obige Abbildung zeigt, dass die beiden Wärmepumpen einen Anteil von insgesamt 64% (ca. 61.600 kWh/a) für die Heizwärmebereitstellung benötigten.

Photovoltaik

Die Photovoltaik-Anlage mit einer Nennleistung von 70 kWp erzeugte im Monitoringzeitraum 61.390 kWh Strom, welches einen spezifischen Jahresertrag von 877 kWh/kWp entspricht.

In der nachfolgenden Abb. wird ersichtlich, dass während der Heizperiode (März-April 2024 und Okt. 2024 bis Feb. 2025) die Monatsbilanzen der Haustechnik-Verbräuche für Heizung die Strom-Erzeugungsmengen der Photovoltaikanlage um ein Vielfaches übersteigen. Während der Heizperiode beträgt der PV-Stromanteil bezogen auf den Haustechnikverbrauch für Heizung in etwa 34%⁹.

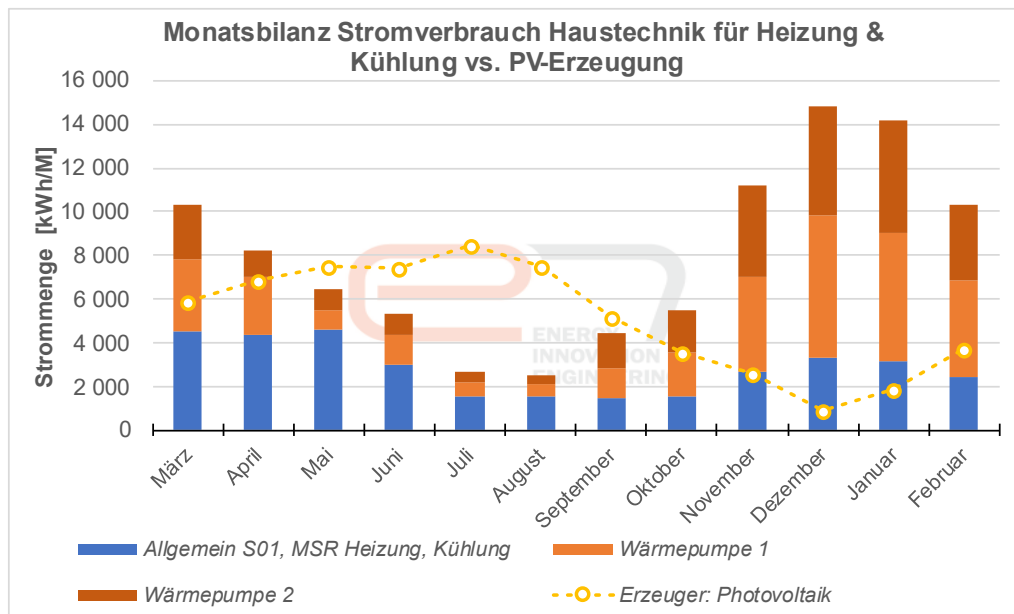


Abbildung 51: Monatsbilanz: Gegenüberstellung Stromverbrauch der Heiz- und Kühltechnik zu Stromerzeugung Photovoltaik, Fröschl Haus (Quelle: e7)

⁹ Ermittlung des PV-Stromanteils per Monatsbilanz-Methode

8.3.6 Raumkomfort - Monitoring

Referenzräume:

- OG1 Büro 42 (Nord)
- OG3 Büro 25 (Ost)
- OG3 Büro 46 (West)

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

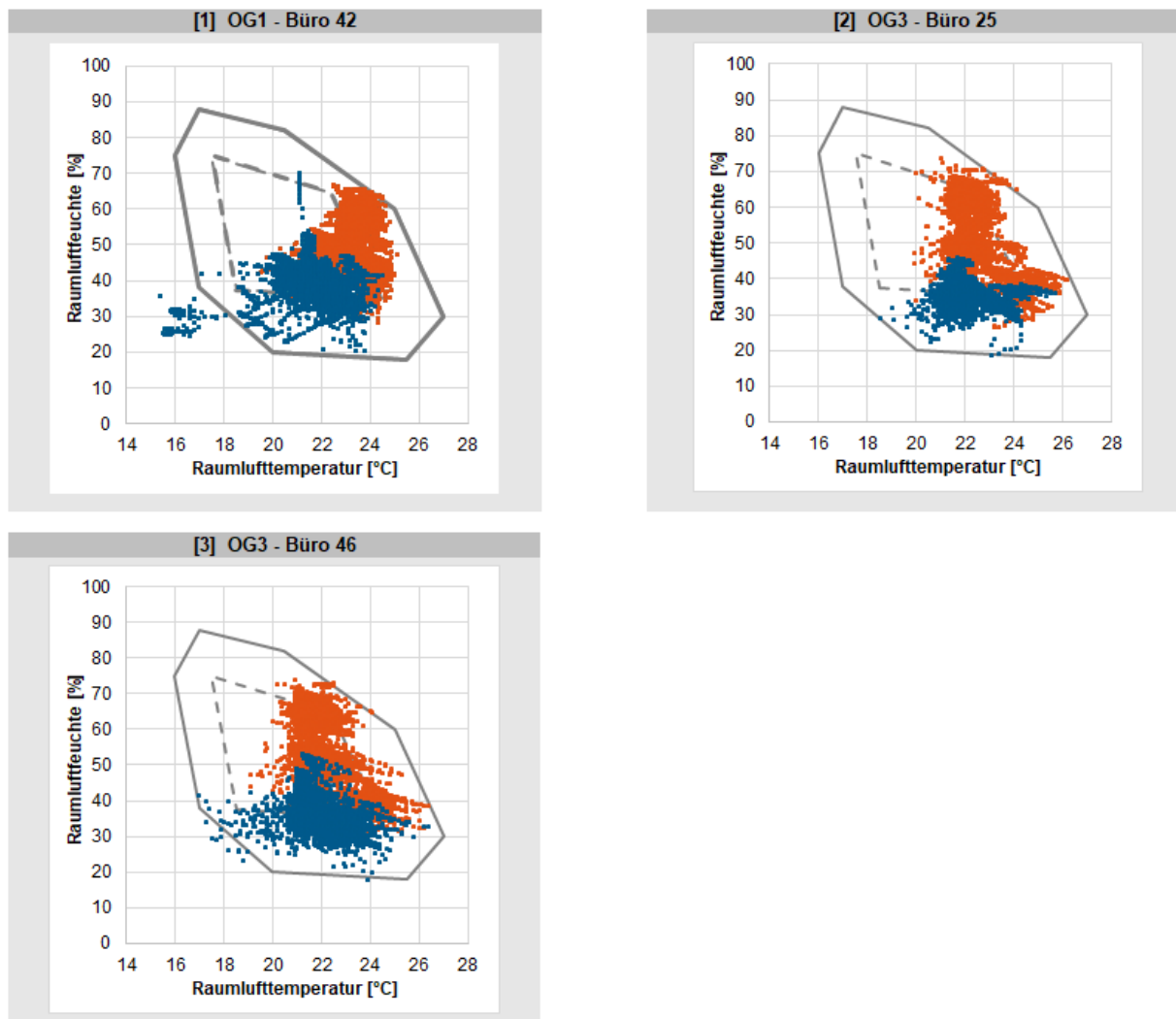


Abbildung 52: Behaglichkeitsdiagramme für die Referenzräume, Fröschl Haus (Quelle: e7)

Blau = Winterhalbjahr (März – April 2024 und Nov. 2024 – Feb. 2025)

Orange = Sommerhalbjahr (Mai – Okt. 2024)

Die 3 Referenzräume liegen durchwegs im guten behaglichen Komfortbereich. Beim Raum OG 1 Büro 42 gibt einzelne Tage und Nächte bei niedrigen Innenraum-Temperaturen im Bereich von 15-20°C. Hierfür dürften dauerhafte Fensteröffnungen (auch über Nacht oder über Wochenenden) die Ursache

sein. Bei den beiden Räumen OG3 Büro 25 und OG3 Büro 46 zeigt sich eine etwas ausgedehntere Streuung der Raumtemperaturen, was auf die Fenster-Orientierung (Ost und West) und die damit verbundenen solaren Wärmeeinträge zurückzuführen ist.

Nachfolgend werden die Raumlufthtemperaturen der Referenzräume den Kategorien der Standardauslegungswerte für operative Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Anhang B, Tab. B.2 gegenübergestellt. Die Temperaturverläufe während des Sommerhalbjahres zeigen, dass die Temperaturen vielfach in den Bereichen der Kategorie II (vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener = 6-10%) und Kategorie III (vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener = 10-15%) liegen.

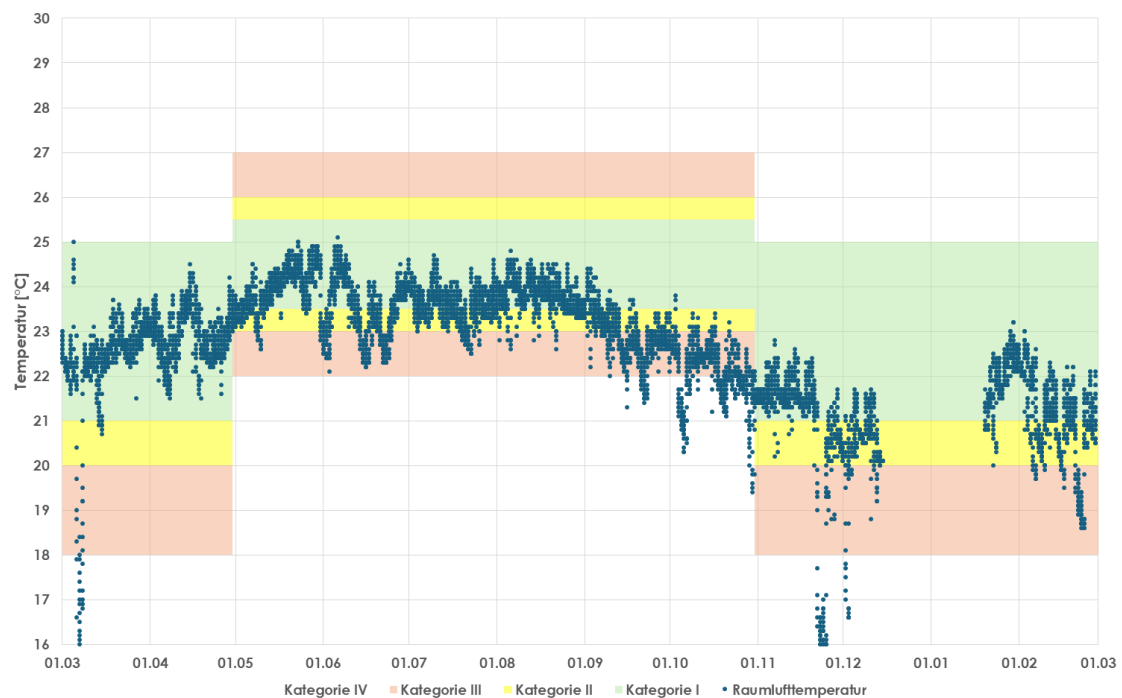


Abbildung 53: Raumlufthtemperatur OG1 Büro 42 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Fröschl Haus (Quelle: e7)

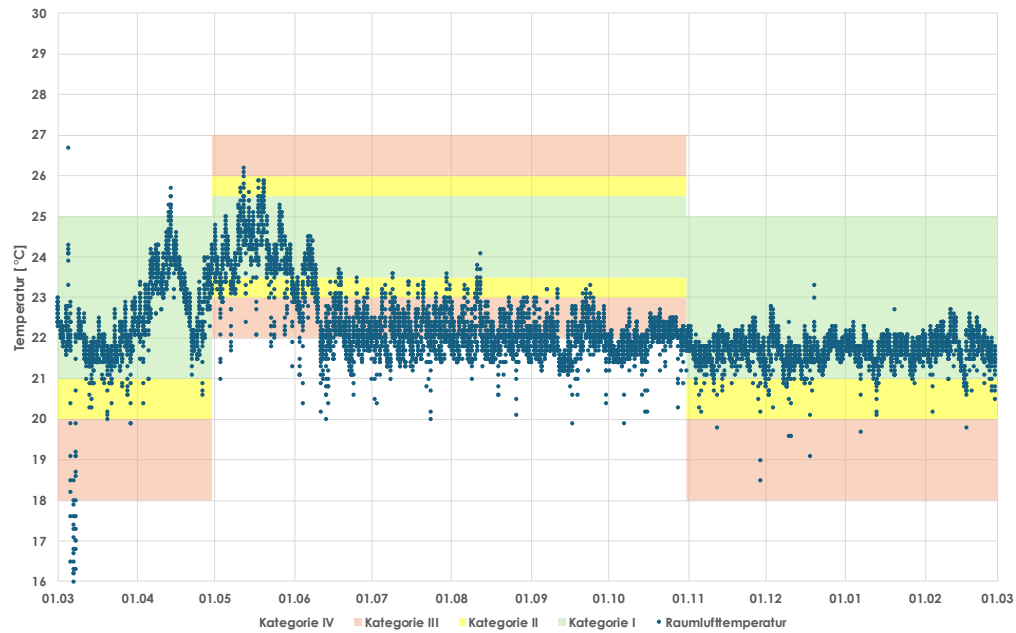


Abbildung 54: Raumlufftemperatur OG3 Büro 25 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Fröschl Haus (Quelle: e7)

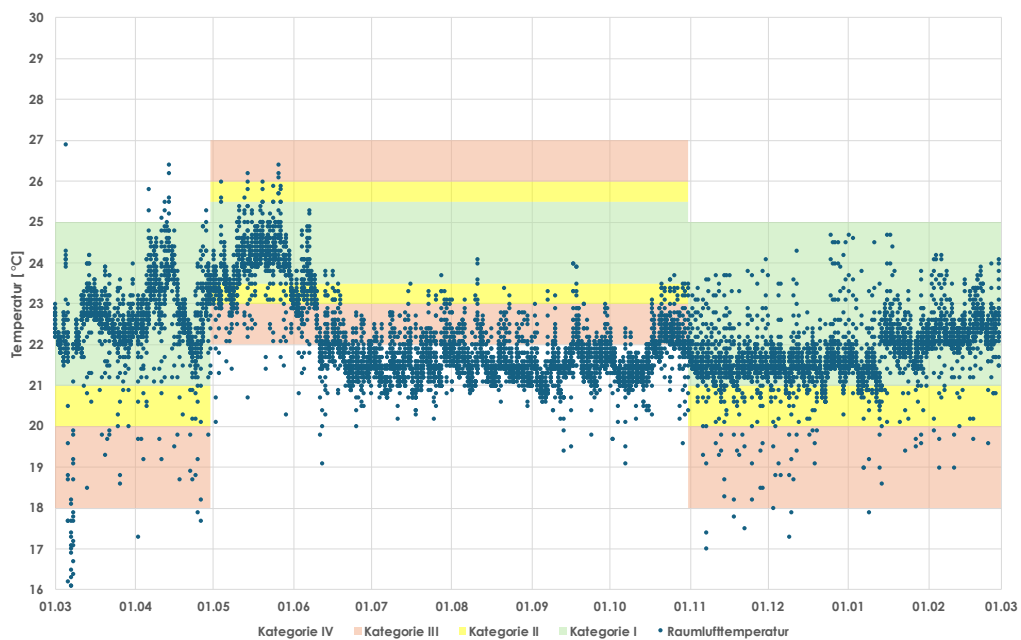


Abbildung 55: Raumlufftemperatur OG3 Büro 46 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Fröschl Haus (Quelle: e7)

8.4 LITE GmbH, NÖ

Bauteilaktivierung: Bodenplatte und Zwischendecken (Ortbeton)		
Objektnutzung: Büro, Produktion und Lager	Standort: Othmar Ruthner Straße 6, 3340 Waidhofen a.d. Ybbs	Fertigstellung: 2021

8.4.1 Objektbeschreibung

Das Gebäude wurde als neue Geschäftszentrale errichtet. Konkret handelt es sich um einen Baukörper mit Büronutzung, eigener Produktion für Kunststofffolien aus hochtemperaturbeständigen Thermoplasten und Lagerräumen. Ein großer Teil des Energiebedarfs für die Heizung und die Warmwasserbereitung wird über eine Wärmerückgewinnung aus den Fertigungsprozessen gedeckt. Zwei Sole-Wasser-Wärmepumpen (Tiefensonden) werden gemeinsam mit einer PV-Anlage am Dach zur Deckung des restlichen lokalen Energiebedarfs genutzt. Die Bauteilaktivierung im Objekt ist in den Lagerzonen und der Produktion in der Bodenplatte und im Bürobereich in den Zwischendecken realisiert. Die BTA wird gemeinsam mit einer Kühldecke in der Produktion und der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zur ganzjährigen Konditionierung des Objekts verwendet.

Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	2.857 m ² (759 m ² Büro)	Eigentümer: Lite GmbH
HKLS-Planung	FIN – Kuster Energielösungen GmbH	Name: Mathias Daniel
		Web: litefilms.com

Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

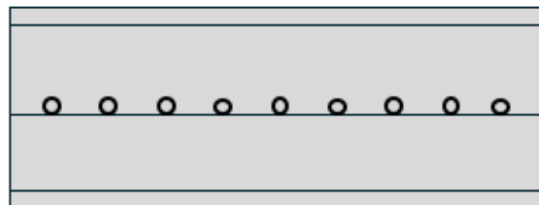
- schwere Bauweise mit A/V-Verhältnis von 0,32 [1/m] und charakteristischer Länge von 3,15 m
- Außenjalousien (strahlungsabhängig gesteuert)
- Außenwände aus 30 cm dickem Stahlbeton mit 20 cm EPS-Dämmung
- mittlerer U-Wert von 0,17 W/m²K
- Heizlast laut Energieausweis 220 kW

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde im Bürobereich in den Zwischendecken mit einer aktivierten Fläche von etwa 750 m² und in der Produktion bzw. den Lagerräumen in der Bodenplatte mit einer aktivierten Fläche von etwa 2.100 m² ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Zwischendecken Bürogebäude

Einsatz	Heizung und passive Kühlung
Aktivierte Fläche	Decken der Büroräume
Aktiviertes Material	Ortbeton
Verlegungsart	Kunststoffrohre
Regelung	Einzelraumregelung mit Thermostatventilen Auslegungstemperaturen: Heizen 35/30 °C, Kühlen 15/19 °C
Kennzahlen	Abgabeleistung: Heizen 20 kW



20 cm Stahlbeton
BTA etwa mittig verlegt

Abbildung 56: Schnittdarstellung aktivierte Zwischendecke (AEE INTEC)

Aktivierte Bauteile: Bodenplatte Produktion und Lager

Einsatz	Heizung und aktive Kühlung in Produktion bzw. passive Kühlung in Lager
Aktivierte Fläche	Bodenplatte
Aktiviertes Material	Ortbeton
Verlegungsart	Kunststoffrohre
Regelung	Einzelraumregelung mit Thermostatventilen Auslegungstemperaturen: Heizen 35/30 °C, Kühlen 15/19 °C
Kennzahlen	Abgabeleistung: Heizen 60 kW

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik	
Heizung	Wärmerückgewinnung aus Fertigungsprozessen 2 reversible Sole-Wasser-Wärmepumpen (je 35 kW) mit Pufferspeicher und 18 kW E-Patrone
Brauch-Warmwasser	Brauchwasserbereitung mittels Prozesswärme und Stromheizung
Kühlung	Passive Kühlung über BTA, aktive Kühlung über BTA, Kühldecke und Kühlregister mit Pufferspeicher
Wärmeabgabe	Bauteilaktivierung (80 kW) Heizregister Lüftungsanlagen (220 kW)
Kälteabgabe	Bauteilaktivierung (aktiv und passiv) Bei den Lüftungsanlagen erfolgt Zuluft-Konditionierung durch Kühlregister (aktiv über WP, Auslegungstemperatur 12/16°C, 197 kW)
Lüftungstechnik	Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung sowie Heiz- und Kühlregister
Elektrische Energie	Öffentliches Netz, Photovoltaik-Anlage (46,4 kWp), Eigenstromnutzung für Haustechnik und Überschuss-Einspeisung

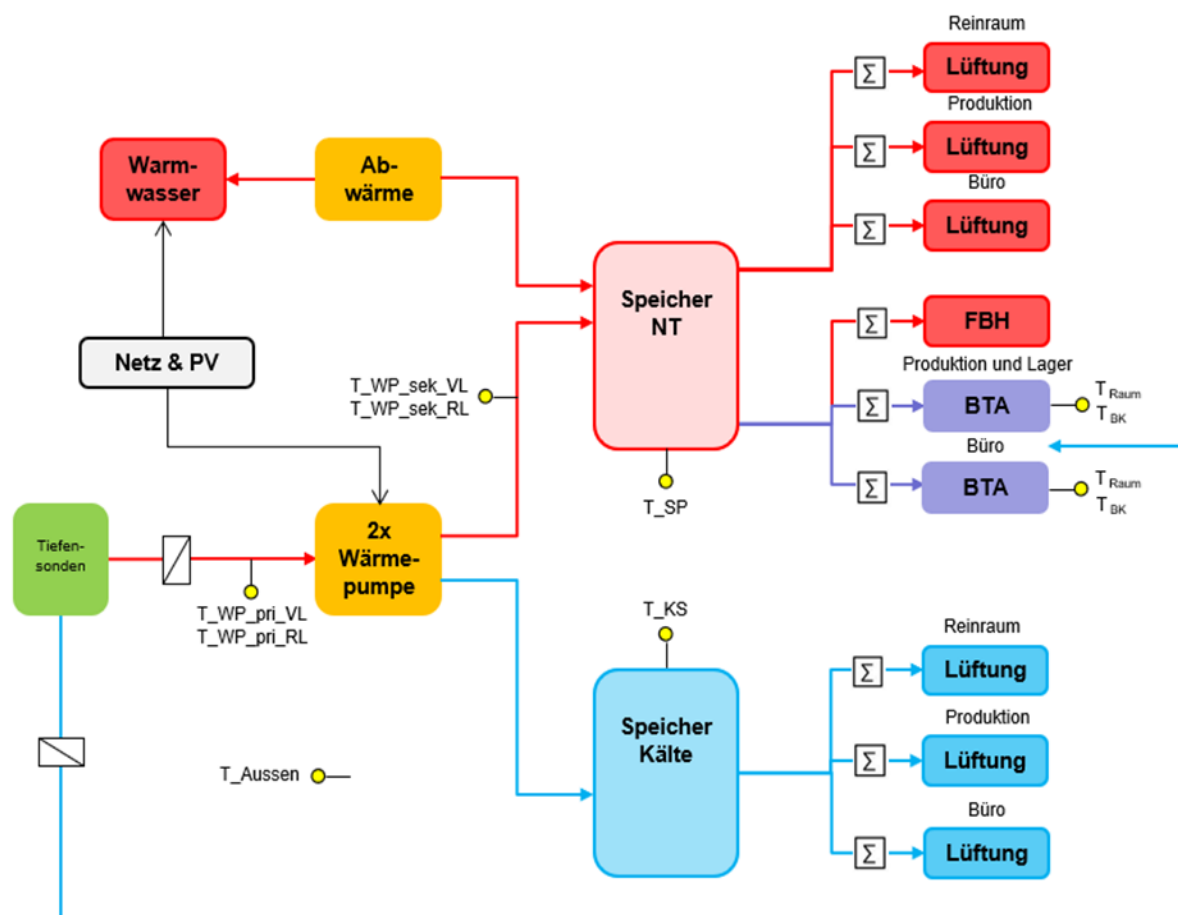


Abbildung 57: Prinzipschema Lite GmbH, Gebäudetechnik (AEE INTEC)

8.4.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: 1.Jän. 2024 – 31.Dez. 2024

Gebäudeflächen lt. Energieausweis			
Brutto-Grundfläche (BGF)		2.857 m² _{BGF}	
Bezugsfläche (BF)		2.286 m² _{BF}	
KPI's der thermischen Bauteilaktivierung			
Speicherkapazität	Zwischendecken Bürogebäude	132 kWh/K (27 %)	
	Bodenplatte Halle	350 kWh/K (73 %)	
	BTA gesamt	482 kWh/K = 0,17 kWh/K m² _{BGF}	
	Derzeit keine aktive Nutzung der Speicherfähigkeit der BTA.		
Deckungsgrad lokaler Energieträger	Heizung mittels Sole/Wasser-Wärmepumpen und Abwärmenutzung aus eigenen Produktionsprozessen		
Gesamtgebäude: Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast*	211 kW	92 W/m² _{BF}
	Installierte Heizleistung	70 kW	31 W/m² _{BF}
	Gemessene max. Heizleistung	63 kW	28 W/m² _{BF}
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Zwischendecken	Bodenplatte Halle
	Aktivierte Fläche	ca. 750 m² _{akt.}	ca. 2.100 m² _{akt.}
	Max. Heizleistung	ca. 14 kW	ca. 33 kW
	Max. spezifische Heizleistung	ca. 19 W/m² _{akt.}	ca. 16 W/m² _{akt.}
	Vorlauftemp. Heizen	24,3-33,7 °C	27,2-34,2 °C
	Spreizung bei max. Heizleistung	7,2 K	5,9 K
	Max. Kühlleistung	ca. 9 kW	ca. 12 kW
	Max. spezifische Kühlleistung	ca. 12 W/m² _{akt.}	ca. 6 W/m² _{akt.}
	Vorlauftemp. Kühlen	18,2-24,5 °C	19,1-23,7 °C
	Spreizung bei max. Kühlleistung	2,0 K	1,6 K
Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts			
Heizenergieverbrauch (nur für Raumwärme und RLT, exkl. Warmwasserbereitung, Speicher- und Verteilverluste)		76,4 kWh/m² _{BGF} a	
Kühlenergieverbrauch		26,2 kWh/m² _{BGF} a	

*Ermittlung über die im Energieausweis angeführten Leitwerte für Transmission und Lüftung und einem Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen von 33 K.

8.4.3 Nachfragestruktur Wärme

In Abbildung 58 ist die Monatsbilanz der Wärmeverbräuche aufgeteilt nach Wärmeabgabesystemen dargestellt. In Abbildung 59 ist zudem die prozentuelle Aufteilung des Wärmeverbrauchs für das gesamte Monitoringjahr abgebildet. Generell werden hier die auf der Nutzerseite gemessenen Verbrauchswerte diskutiert, etwaige Erzeugungs-, Verteil- oder Speicherverluste sind daher nicht berücksichtigt.

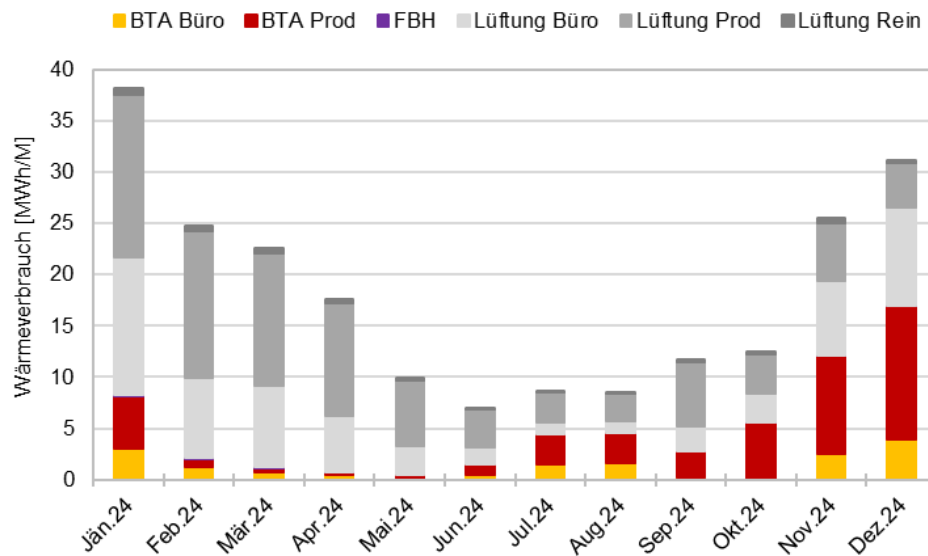


Abbildung 58: Monatsbilanz Wärmeverbrauch (Quelle: AEE INTEC)

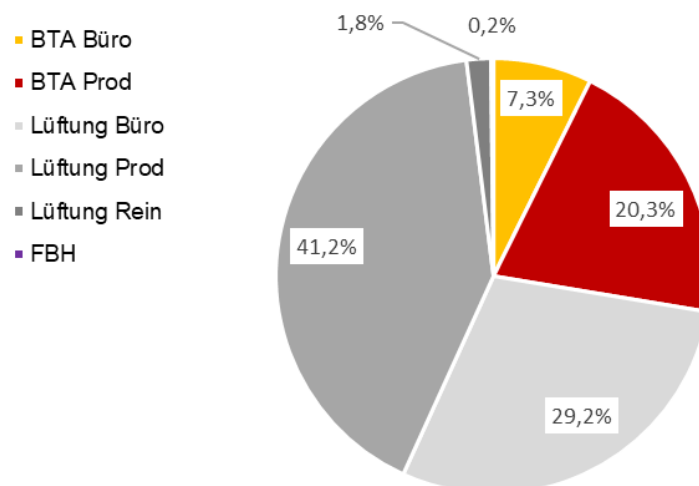


Abbildung 59: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: AEE INTEC)

Es zeigt sich, dass während der Monitoringperiode ein Großteil der Wärmeübertragung über die Lüftungsanlage erfolgt ist. Konkret wurde bei den einzelnen Heizregistern ein Heizwärmeverbrauch

von insgesamt 157,6 MWh gemessen, über die aktivierten Bauteile von insgesamt 60,3 MWh und über die Fußbodenheizung von lediglich 0,4 MWh. Das entspricht in Summe einem spezifischen Heizenergieverbrauch von $76,4 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF a}}$.

Aufgrund fehlender Sensorik auf der Erzeugerseite kann keine Aussage über die Speicher- und Verteilverluste des Wärmesystems getroffen werden. Nichtsdestotrotz sind in Abbildung 60 die Monatsmitteltemperaturen im Pufferspeicher auf 4 verschiedenen Höhen dargestellt.

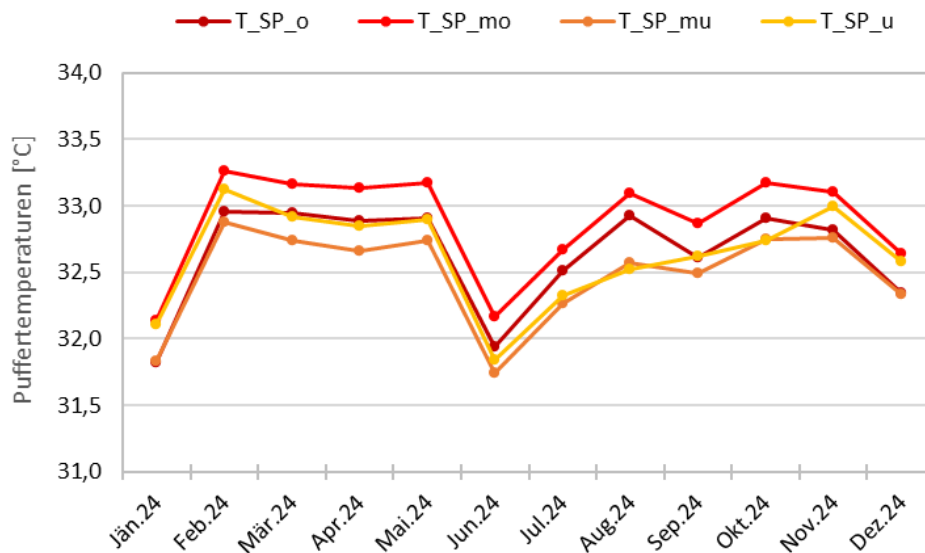


Abbildung 60: Monatliche Mitteltemperaturen des Wärmespeichers (Quelle: AEE INTEC)

Der Pufferspeicher wird ganzjährig auf einem durchschnittlichen Niedertemperaturniveau von etwa 32 bis 33 °C gehalten. Grund dafür ist der ganzjährige Heizwärmebedarf für die Nachheizregister der Lüftungsanlagen, da diese die Zuluft auch entfeuchten. Konkret wird dabei die Außenluft zunächst über die Kühlregister unter den Taupunkt abgekühlt, wodurch die Feuchtigkeit kondensiert und abgeführt werden kann. Anschließend wird die entfeuchtete Luft über die Heizregister nacherwärmt. Der Anteil dieser Nacherwärmung am gesamten Heizwärmeverbrauch der RLT-Anlage kann mangels detaillierter Daten zur Lüftungsanlage (Lufttemperaturen und Feuchten an Ein- und Austritt der Register) nur anhand der zeitgleichen Verbräuche von Heiz- und Kühlenergie abgeschätzt werden. In den Sommermonaten entfällt somit die gesamte Heizregisterenergie auf die Entfeuchtung, während die Energie in den Wintermonaten ausschließlich dem tatsächlichen Heizbetrieb zuzuschreiben ist. Unter Berücksichtigung etwaiger Messungenauigkeiten in der Übergangszeit, ist davon auszugehen, dass über das gesamte Jahr etwa 35-45 % der Heizregisterwärme auf die Nacherwärmung zur Entfeuchtung entfallen.

Wärmeabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Außerhalb der Heizperiode, besonders in den Monaten Juli und August, wurden wie bereits in Abbildung 58 dargestellt, wiederholt auch Heizenergieflüsse über das Bauteilaktivierungssystem festgestellt. Konkret wurde im Zeitraum von 1.April bis 30.September 2024 Heizwärme im Ausmaß von 4.350 kWh über die aktivierten Zwischendecken der Büroräumlichkeiten und von 10.080 kWh über die aktivierte Bodenplatte im restlichen Gebäude übertragen. Obwohl die Anlage im Kühlbetrieb betrieben wurde, verzeichneten die Wärmemengenzähler somit gleichzeitig einen Wärmeeintrag von

über 14 MWh. In Abbildung 61 sind exemplarisch Temperaturverläufe von Vor- und Rücklauf für die Bauteilaktivierung und das Heizregister zur Versorgung der Büros samt den entsprechenden Durchflüssen für eine Arbeitswoche im Juli 2024 dargestellt.

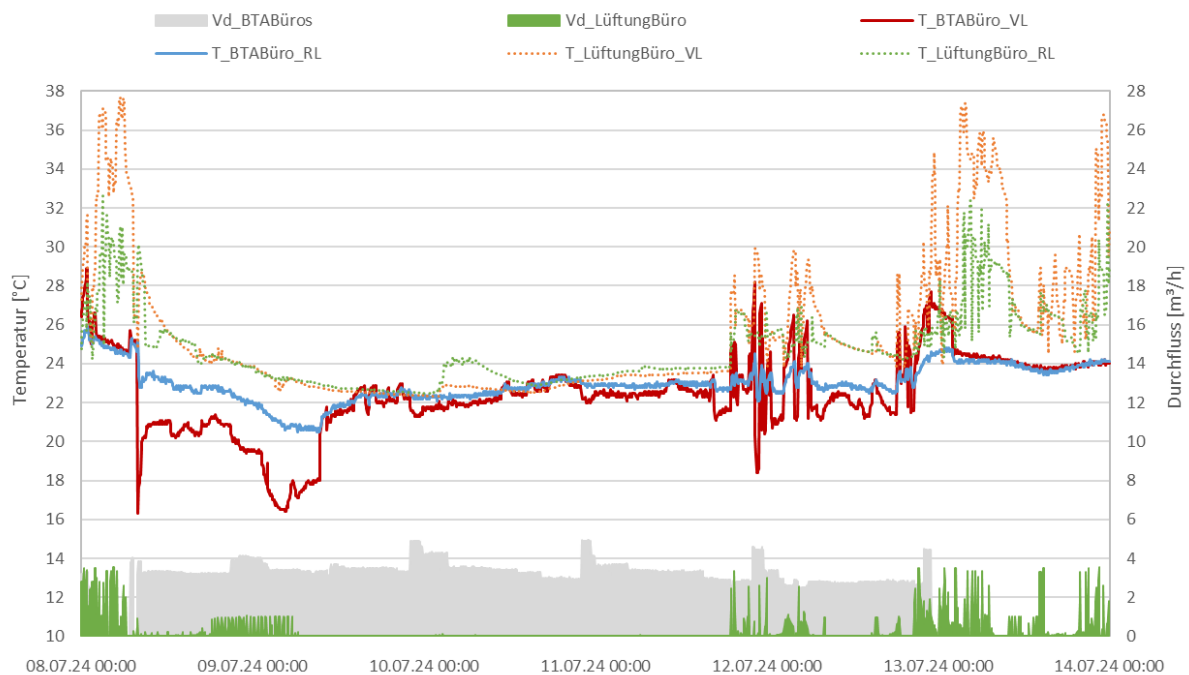


Abbildung 61: Vor- und Rücklauftemperaturen sowie Durchflüsse der Bauteilaktivierung und Heizregister der RLT für die Versorgung der Büros (Quelle: AEE INTEC)

Anhand der wiederholten Spreizungsumkehr beim Vor- und Rücklauf der Bauteilaktivierung, zeigt sich, dass abwechselnd Wärmeenergie in das Bauteil eingebracht und wieder abgeführt wird. Die Spreizungsumkehrungen treten zeitlich zusammen mit der Aktivität des betrachteten Nachheizregisters der Lüftungsanlage auf. Zudem scheinen die beiden Vorlauftemperaturen bei gleichzeitigen Betrieb, d.h. gemessenem Durchfluss, zu korrelieren. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass ungewollte thermische Rückkopplungen zwischen der Lüftungsnachheizung für die Entfeuchtung und dem BTA-System bestehen. Konkret scheint infolge hydraulischer und regelungstechnischer Kopplungen ein Teil der Rückwärme aus dem Heizregister in den BTA-Vorlauf zu gelangen, wodurch es zu temporär positiven Temperaturdifferenzen zwischen Vor- und Rücklauf kommt. Die so eingebrachten Wärmemengen werden vom aktivierten Bauteil gespeichert und müssen anschließend über die Kühlung wieder abgeführt werden, was einen zusätzlichen Kältebedarf und Stromverbrauch verursacht. Dasselbe Phänomen tritt auch bei der Versorgung der Produktionshalle auf.

Durch hydraulische (z.B. Kontrolle bzw. Einbau eines Rückschlagventils) und regelungstechnische (z.B. Prüfung der Ventillogik, Anpassung der Prioritäts- und Umschaltlogik) Optimierungen lässt sich der beschriebene Effekt vermeiden und die Effizienz der Anlage verbessern.

Nachfolgende Diagramme zeigen die Bauteiltemperaturen aus der Heizperiode für die Monate Jänner, Februar, November und Dezember 2024 verglichen mit den entsprechenden Raumlufttemperaturen.

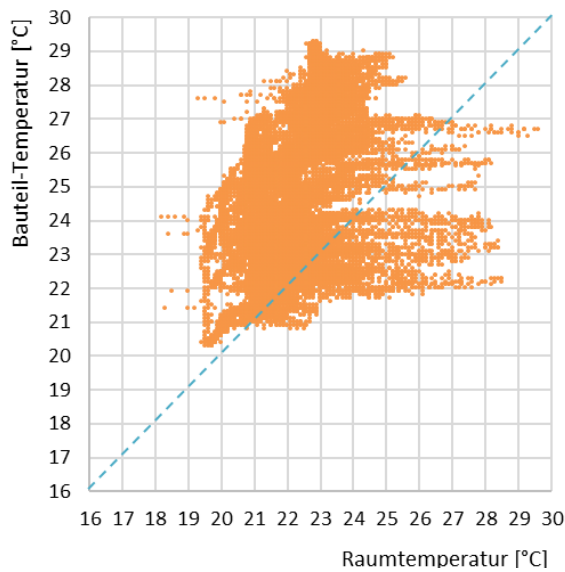


Abbildung 63: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das GF-Büro im 2.OG für die Heizperiode Jän.-Feb. & Nov.-Dez.24 (Quelle: AEE INTEC)

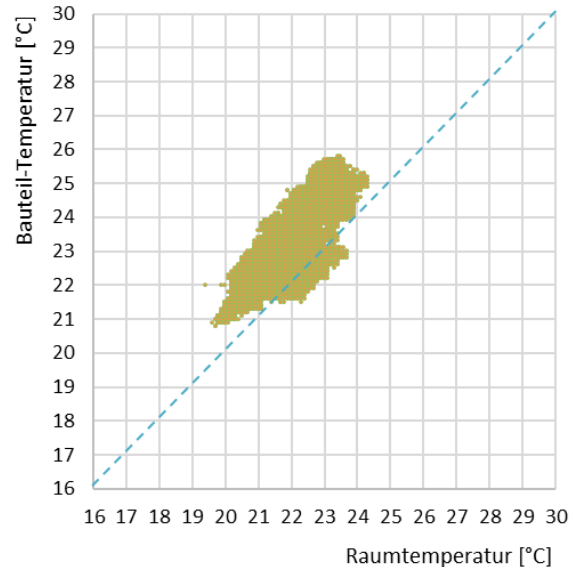


Abbildung 62: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das Großraumbüro im 2.OG für die Heizperiode Jän.-Feb. & Nov.-Dez.24 (Quelle: AEE INTEC)

Konkret wird in Abbildung 70 das GF-Büro im 2. OG und in Abbildung 69 das Großraumbüro im 2. OG betrachtet.

Die beiden Büros liegen im selben Geschoss nebeneinander. Das GF-Büro verfügt über südseitig gelegene Glasflächen. Das Großraumbüro verfügt über Fensterflächen auf der Ost- und Nordseite, ostseitig ist eine Verschattung mit Raffstores möglich. Die Temperatur des Bauteils liegt beim GF-Büro während der Heizperiode im Mittel 2,4 K über der Raumtemperatur bei minimalen bzw. maximalen Differenzen von -6,3 bzw. +8,3 K. Beim Großraumbüro liegt die Bauteiltemperatur durchschnittlich 1,2 K höher als die entsprechende Raumlufttemperatur bei Differenzen von -0,9 bis +2,9 K. Die mittleren Raumtemperaturen der beiden Büroräume liegen im beobachteten Zeitraum zwar eng beieinander – 22,4 °C beim GF-Büro und 22,1 °C beim Großraumbüro – jedoch konnte beim GF-Büro sowohl bei der Bauteil- als auch bei der Lufttemperatur eine weitaus größere Schwankungsbreite bei den Messwerten festgestellt werden, besser dargestellt in Abbildung 64. Neben den gemessenen Luft- und Bauteiltemperaturen ist auch der Sollwert dargestellt. Dieser liegt im hier beobachteten Zeitraum von Jän.-Feb.24 an den Wochenenden bei 18 und unter der Woche bei 21 °C.

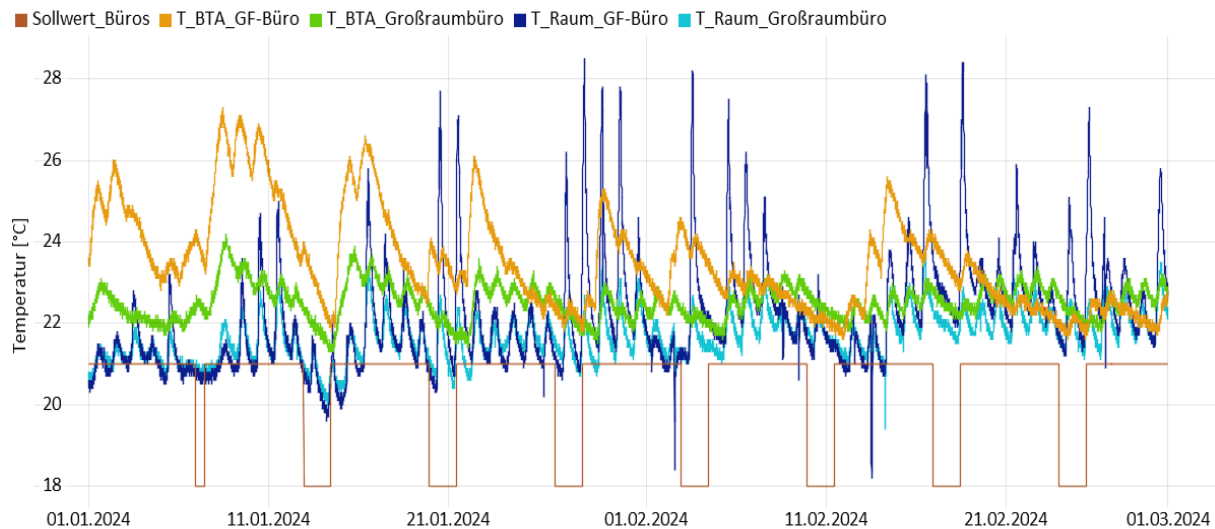


Abbildung 64: Zeitverlauf der Bauteil- und Raumtemperaturen inkl. Sollwert für GF- und Großraumbüro im Jan. und Feb.24 (Quelle: AEE INTEC)

Die unterschiedlichen Temperaturverläufe können durch die folgenden möglichen Faktoren erklärt werden:

- **Höhere solare Gewinne:** Aufgrund der Südausrichtung und anscheinend unzureichender Verschattung erhält das GF-Büro mehr direkte Sonneneinstrahlung. Bei entsprechender Witterung erhöhen diese solaren Gewinne sowohl die Luft- als auch die Bauteiltemperatur. Im Zeitverlauf treten die Lufttemperaturspitzen erwartungsgemäß um die Mittagszeit auf. Im Großraumbüro sorgen die Ausrichtung und wirksame Raffstores für eine deutlich konstantere und geringere solare Last.
- **Betrieb der Bauteilaktivierung:** Der Sollwert wird für beide Räume identisch vorgegeben. Aufgrund der geringeren thermischen Masse und des geringeren Luftvolumens beim GF-Büro steigen die Bauteil- und Lufttemperaturen nach Erhöhung des Sollwertes stärker an als beim Großraumbüro. Der Effekt der höheren solaren Gewinne wird so noch verstärkt, es kommt zu einem Überschwingen der Bauteiltemperatur und der Raum wird de facto überheizt. Aufgrund der größeren Luft- und Speichermasse lässt sich im Großraumbüro bei denselben Betriebsparametern ein gedämpftes und stabileres Verhalten feststellen.

In Abbildung 73 und Abbildung 72 sind die Bauteil-Temperaturen der aktivierten Bodenplatte und die Raumtemperaturen zweier Bereiche der Produktion dargestellt.

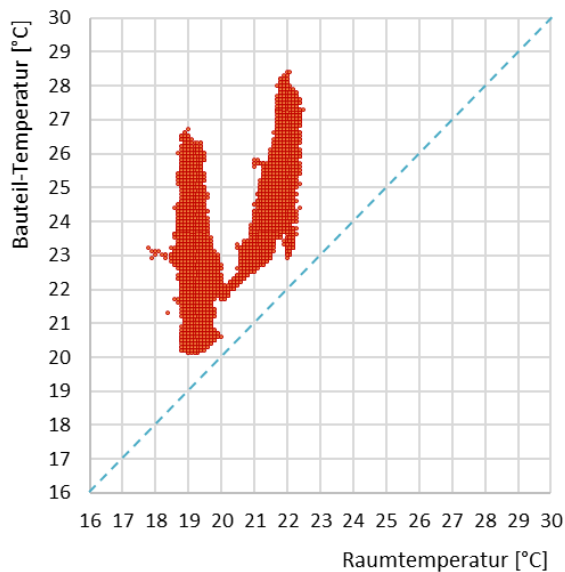


Abbildung 66: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für den Produktionsbereich VT01 für die Heizperiode Jän.-Feb. & Nov.-Dez.24 (Quelle: AEE INTEC)

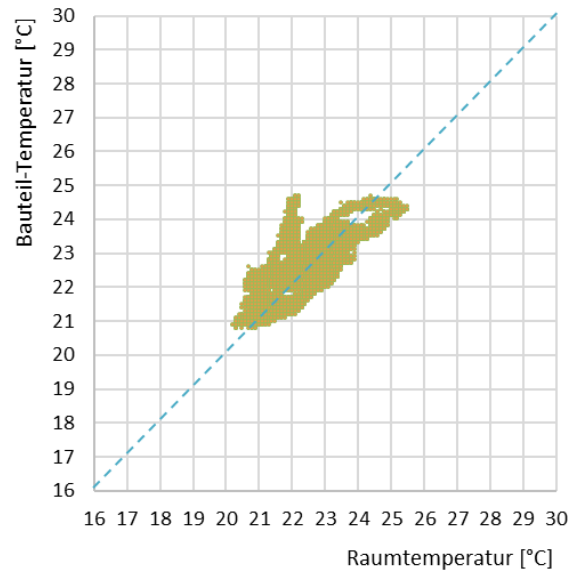


Abbildung 65: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für den Produktionsbereich VT07 für die Heizperiode Jän.-Feb. & Nov.-Dez.24 (Quelle: AEE INTEC)

Beim Produktionsbereich VT01 zeigen sich besonders stabile Raumlufttemperaturen, die sich größtenteils nahe an den gesetzten Sollwerten bewegen. Die Sollwerte wurden in den Monaten Jänner und Februar 24 dabei auf 19 °C und in den Monaten November und Dezember 24 auf 22 °C gesetzt. Entsprechend des vorliegenden Heizwärmebedarfs liegt die Bauteiltemperatur im Mittel um 3,3 K über der Lufttemperatur, mit minimalen bzw. maximalen Differenzen von +0,6 und +7,7 K.

Beim Produktionsbereich VT07 wurden die Sollwerte ident gesetzt. Trotzdem sinkt die Raumlufttemperatur nie unter 20,2 °C, was den Verdacht nahelegt, dass etwaige Abwärme-Quellen aus der Produktion bzw. die Lüftungsanlage hier vordergründig die Raumwärme bereitstellen und die Bauteilaktivierung generell nur eine untergeordnete Rolle bei der Versorgung spielt. Darüber hinaus liegt die Bauteiltemperatur weitestgehend sehr nahe an der Lufttemperatur, was untermauert, dass in diesem Bereich nur ein geringer Wärmeübergang vom Bauteil in den Raum stattfindet. Konkret liegt die Temperatur der Bodenplatte durchschnittlich nur 0,3 K höher als die entsprechende Raumlufttemperatur bei Differenzen von -1,2 bis +2,7 K.

Für den Heizbetrieb konnten zusammengefasst folgende KPIs für die beiden Bauteilaktivierungs-Systeme bestimmt werden:

KPI	Zwischendecken Büro	Bodenplatte Halle
Aktivierte Fläche	ca. 750 m ²	ca. 2.100 m ²
Max. Heizleistung	ca. 14 kW	ca. 33 kW
Max. spezifische Heizleistung	19 W/m ² _{akt.}	16 W/m ² _{akt.}
Vorlauftemperatur Heizen	24,3-33,7 °C	27,2-34,2 °C
Spreizung bei max. Heizleistung	7,2 K	5,9 K

8.4.4 Nachfragestruktur Kälte

Die Kältebereitstellung erfolgt zum einen passiv direkt über die Tiefensonden und zum anderen aktiv über einen reversiblen Wärmepumpenbetrieb. Die Anlage wurde mit Unterbrechungen, die teilweise wie bereits beschrieben auf ungewünschte thermische Kopplungen zurückzuführen sind, von 27.3. bis 31.10.24 im Kühlmodus betrieben. In Abbildung 67 ist die Monatsbilanz der Kälteverbräuche aufgeteilt nach Abgabesystemen dargestellt. In Abbildung 68 ist zudem die prozentuelle Aufteilung des Kälteverbrauchs für das gesamte Monitoringjahr abgebildet.

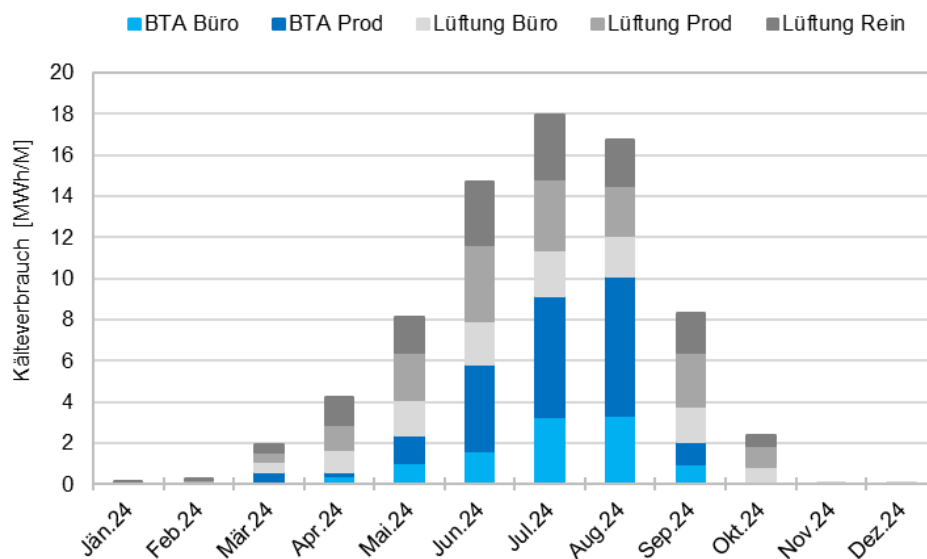


Abbildung 67: Monatsbilanz Kälteverbrauch (Quelle: AEE INTEC)

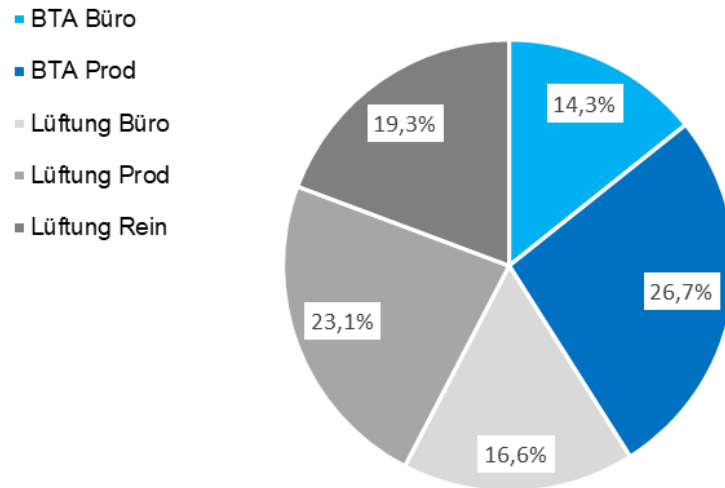


Abbildung 68: Aufteilung der Kälteverbraucher (Quelle: AEE INTEC)

Es zeigt sich, dass während der Monitoringperiode ein Großteil der Kälteübertragung über die Lüftungsanlage erfolgt ist. Konkret wurde bei den einzelnen Kühlregistern ein Kühlenergieverbrauch von insgesamt 44,2 MWh und über die aktivierten Bauteile von insgesamt 30,7 MWh gemessen. Das entspricht in Summe einem spezifischen Kühlenergieverbrauch von $26,2 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF a}}$.

In Abbildung 69 sind die Monatsmitteltemperaturen im Kältespeicher auf 4 verschiedenen Höhen dargestellt. Anhand der Kurvenverläufe ist die Kühlperiode zu erkennen.

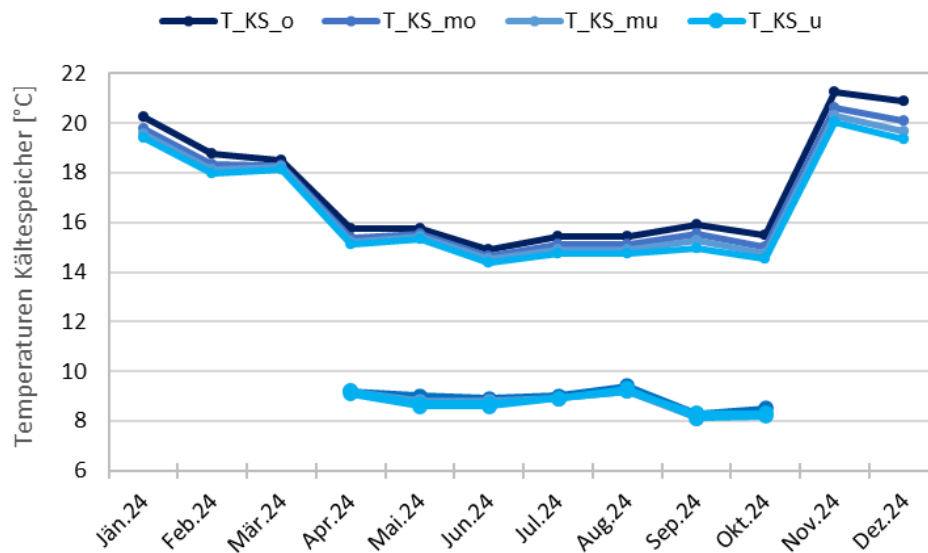


Abbildung 69: Monatliche Mitteltemperaturen des Kältespeichers (Quelle: AEE INTEC)

Von April bis Oktober 2024 befindet sich der Kältespeicher auf einem durchschnittlichen Temperaturniveau von 14,4 bis 15,9 °C. Die unteren Linien stellen die gemessenen gedämpften

Minimaltemperaturen und somit das tatsächlich bereitgestellte Kälteniveau für die Versorgung der Kühlregister dar. Konkret liegen die Werte zwischen 8,1 und 9,4 °C.

Kälteabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Nachfolgende Diagramme zeigen die Bauteiltemperaturen aus der Kühlperiode von Mai bis Sept. 2024 verglichen mit den entsprechenden Raumlufttemperaturen. Konkret wird in Abbildung 78 wiederum das GF-Büro im 2. OG und in Abbildung 77 das Großraumbüro im 2. OG betrachtet.

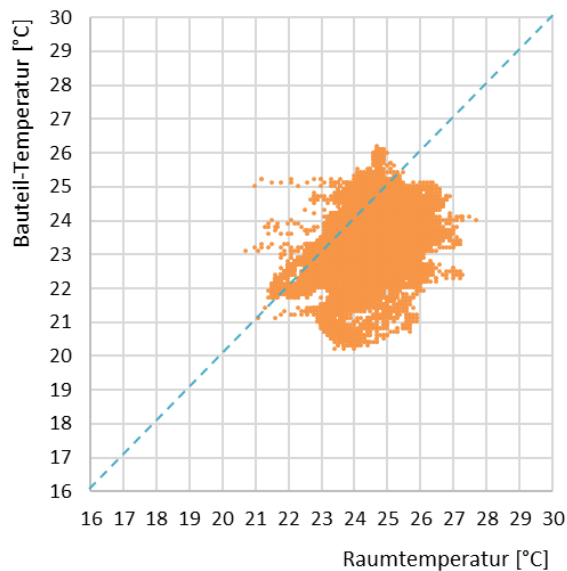


Abbildung 71: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das GF-Büro im 2.OG für die Kühlperiode Mai-Sept.24 (Quelle: AEE INTEC)

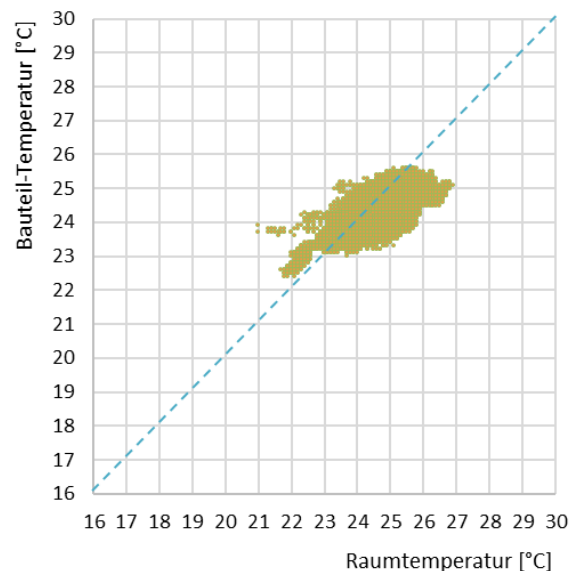


Abbildung 70: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das Großraumbüro im 2.OG für die Kühlperiode Mai-Sept.24 (Quelle: AEE INTEC)

Die Bauteiltemperatur liegt beim GF-Büro während der Kühlperiode im Mittel 0,9 K unter der Raumtemperatur bei minimalen bzw. maximalen Differenzen von -5,0 bzw. +4,0 K. Beim Großraumbüro liegt die Bauteiltemperatur durchschnittlich 0,3 K niedriger als die entsprechende Raumlufttemperatur bei Differenzen von -2,0 bis +2,9 K. Die mittleren Raumtemperaturen der beiden Büroräume liegen im beobachteten Zeitraum eng beieinander – 24,4 °C beim GF-Büro und 24,5 °C beim Großraumbüro –beim GF-Büro konnte nunmehr lediglich bei der Bauteiltemperatur eine größere Schwankungsbreite bei den Messwerten festgestellt werden. Die ähnlichen und stabileren Raumtemperaturen sprechen dafür, dass in den Sommermonaten in beiden Räumen funktionsfähige Verschattungen im Einsatz sind.

Besonders im Großraumbüro fungiert die aktivierte Decke aufgrund der geringen mittleren Differenz aus Bauteil- und Lufttemperatur und in Zusammenhang mit der hohen thermischen Trägheit weniger als klassische Kühleinheit, sondern vielmehr als thermischer Puffer, der überschüssige Wärme speichert und zeitversetzt abführt, ohne die Oberflächen deutlich unter die Raumlufttemperatur zu senken. Darüber hinaus werden die aktivierten Bauteile infolge der bereits beschriebenen hydraulischen und thermischen Kopplung in der Kühlperiode wiederholt ungewollt erwärmt, was diese Betrachtung etwas verfälscht und generell einen ineffizienteren Kühlbetrieb schafft.

Beides gilt auch für den Kühlbetrieb im Produktionsbereich über die aktivierte Bodenplatte. In Abbildung 79 und Abbildung 80 sind dazu wiederum die Bereiche VT01 und VT07 dargestellt.

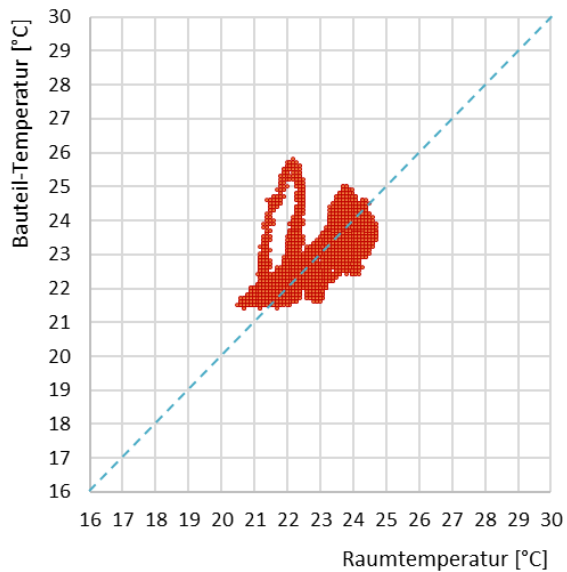


Abbildung 72: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für den Produktionsbereich VT01 für die Kühlperiode Mai-Sept.24 (Quelle: AEE INTEC)

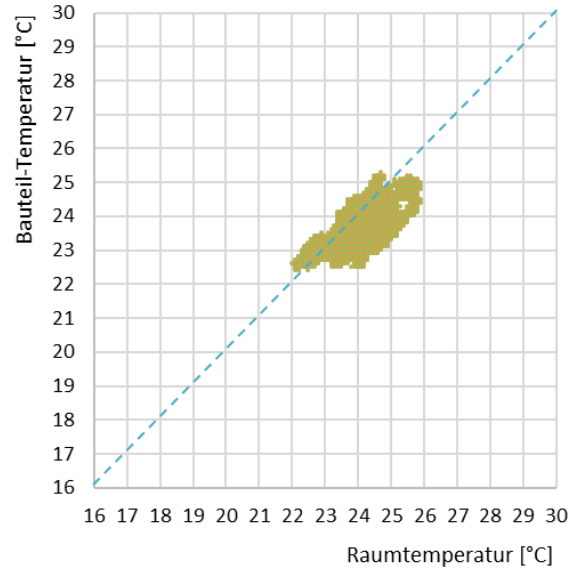


Abbildung 73: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für den Produktionsbereich VT07 für die Kühlperiode Mai-Sept.24 (Quelle: AEE INTEC)

Bei beiden Bereichen liegen die Bauteiltemperaturen sehr nahe an den Raumlufttemperaturen mit Differenzen von -1,8 bis +3,7 K beim Bereich VT01 und Differenzen von -1,8 bis +1,0 K beim Bereich VT07. Augenscheinlich wird ein Großteil der Wärmeabfuhr über die Lüftungsanlage bewerkstelligt.

Für den Kühlbetrieb konnten zusammengefasst folgende KPIs für das Bauteilaktivierungs-System bestimmt werden:

KPI	Zwischendecken Büro	Bodenplatte Halle
Aktivierte Fläche	ca. 750 m ²	ca. 2.100 m ²
Max. Kühlleistung	ca. 9 kW	ca. 12 kW
Max. spezifische Kühlleistung	12 W/m ² _{akt.}	6 W/m ² _{akt.}
Vorlauftemperatur Kühlen	18,2-24,5 °C	19,1-23,7 °C
Spreizung bei max. Kühlleistung	2,0 K	1,6 K

8.4.5 Raumkomfort - Monitoring

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

Im Zuge des kontinuierlichen Raumkomfort-Monitorings wurden die Raumlufttemperaturen der beiden betrachteten Büros näher analysiert. In Abbildung 74 sind die stündlichen Mittelwerte der Raumtemperatur über den entsprechenden Außentemperaturen für das GF-Büro und das Großraumbüro dargestellt.

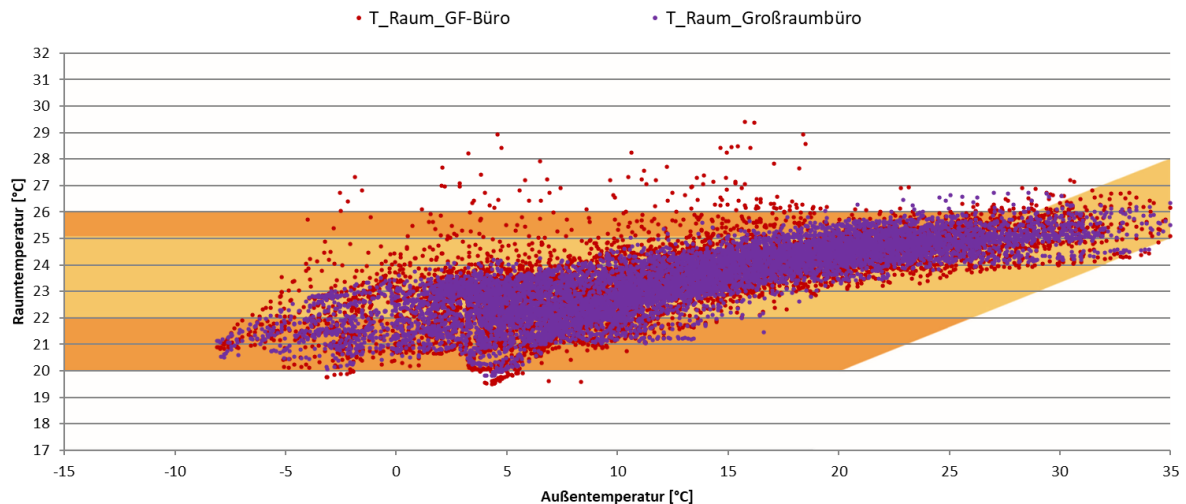


Abbildung 74: Raumlufttemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für das GF- und Großraumbüro (Quelle: AEE INTEC)

Das Diagramm zeigt, dass die Raumtemperaturen während der gesamten Monitoringperiode weitgehend im behaglichen Komfortbereich liegen. Die Ausreißer nach oben beim GF-Büro und niedrigeren Außentemperaturen wurden bereits näher analysiert. In Abbildung 75 sind die gemessenen Temperaturen für die Produktionsbereiche VT01 und VT07 dargestellt.

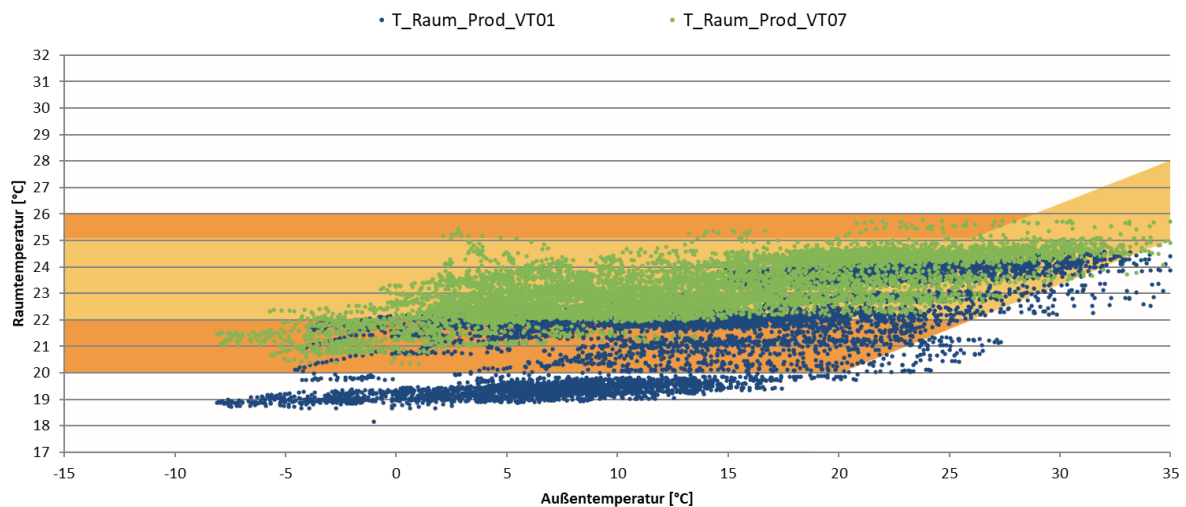


Abbildung 75: Raumlufttemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für die Produktionsbereiche VT01 und VT07 (Quelle: AEE INTEC)

Auch für die beiden betrachteten Produktionsbereiche können behagliche Raumlufthtemperaturen bestätigt werden. Generell liegen die Temperaturen im Bereich VT07 etwas höher, überschreiten dabei jedoch nicht die thermischen Komfortgrenzen. Die während der Heizperiode gemessenen Innenraumtemperaturen unter 20 °C beim Bereich VT01 bewegen sich stets nahe am gesetzten Sollwert und scheinen daher erwünscht zu sein.

Nachfolgend werden die Raumlufthtemperaturen der beiden Büroräume den Kategorien der Standardauslegungswerte für operative Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Anhang B, Tab. B.2 gegenübergestellt (Abbildung 76: GF-Büro, Abbildung 77: Großraumbüro).

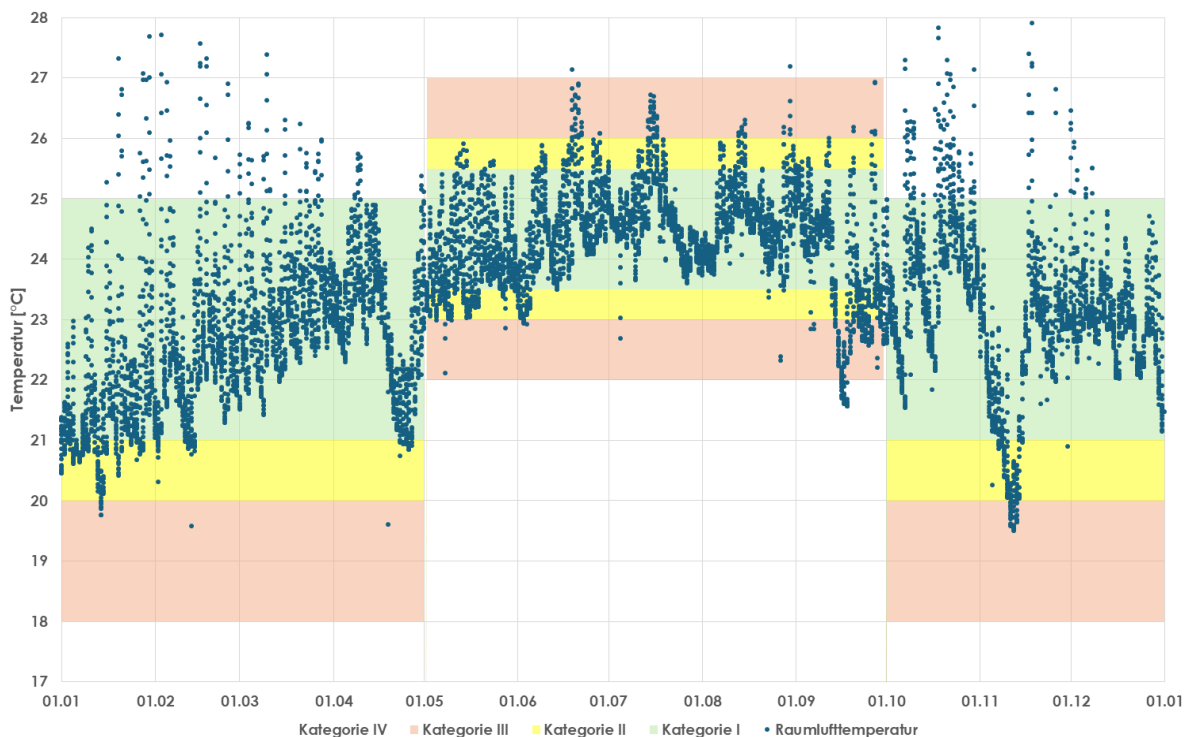


Abbildung 76: Raumlufthtemperatur GF-Büro und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)

Für den Zeitraum der Heizperiode sind die Temperaturspitzen zur Mittagszeit beim GF-Büro wieder gut zu erkennen. Darüber hinaus sind im Winter einige Unterkühlungsstunden und im Sommer einige Überhitzungsstunden festzustellen. Konkret liegt die Raumtemperatur in der Heizperiode für insgesamt 47 Stunden unter 20 °C und in der Kühlperiode für insgesamt 85 Stunden über 26 °C – beides sind akzeptable Werte.

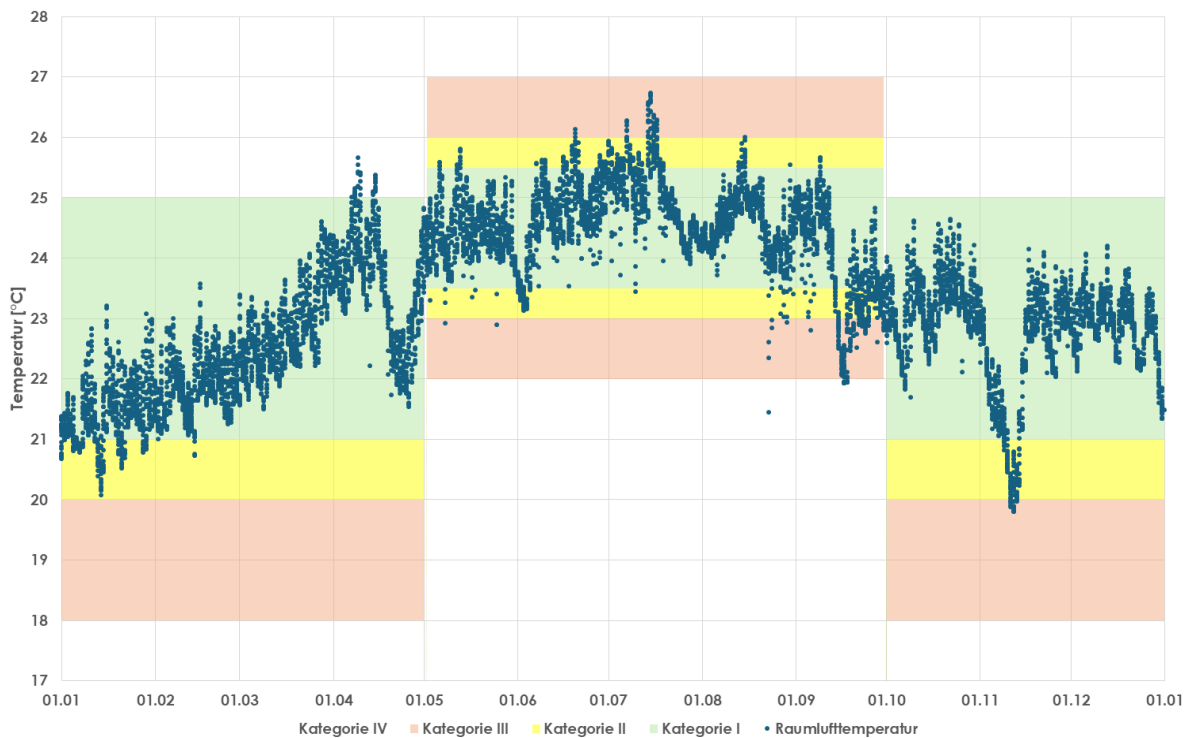


Abbildung 77: Raumlufthtemperatur Großraumbüro und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)

Auch beim Großraumbüro liegen die Raumtemperaturen mit 14 Unterkühlungsstunden im Winter und 41 Überhitzungsstunden im Sommer weitestgehend in einem akzeptablen Bereich und bestätigen einen guten Innenraumkomfort.

An dieser Stelle ist der Unterschied zwischen operativer Temperatur und Lufttemperatur hervorzuheben. Die operative Temperatur (gefühlte Temperatur, Empfindungstemperatur) berücksichtigt neben der Lufttemperatur auch die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen und ist der Hauptfaktor der thermischen Behaglichkeit. Bei einer Flächenheizung liegt die mittlere Strahlungstemperatur im Heizbetrieb in der Regel über und im Kühlbetrieb unter der Lufttemperatur. Dementsprechend würden sich die beiden zuvor dargestellten Temperaturverläufe im Winter etwas nach oben und im Sommer etwas nach unten verschieben. Aufgrund der moderaten Versorgungstemperaturen (besonders bei der passiven Kühlung) ist diese Abweichung aber recht gering, eine detailliertere Analyse folgt im nächsten Unterkapitel.

Operative Temperaturen

Für die beiden Büroräume im 2. OG wurden mit Hilfe von Messungen der Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen quartalsweise die operativen Temperaturen bestimmt. Die Messungen mittels einem IR-Messgerät wurden dabei sowohl im GF-Büro als auch im Großraumbüro durchgeführt. Mit Hilfe der aufgenommenen Werte wurden gemeinsame operative Temperaturen über beide Räume ermittelt. Die Lufttemperatur stellt dabei ebenso den Mittelwert aus Messungen in beiden Büros dar. Die Ergebnisse sind in Abbildung 78 dargestellt.

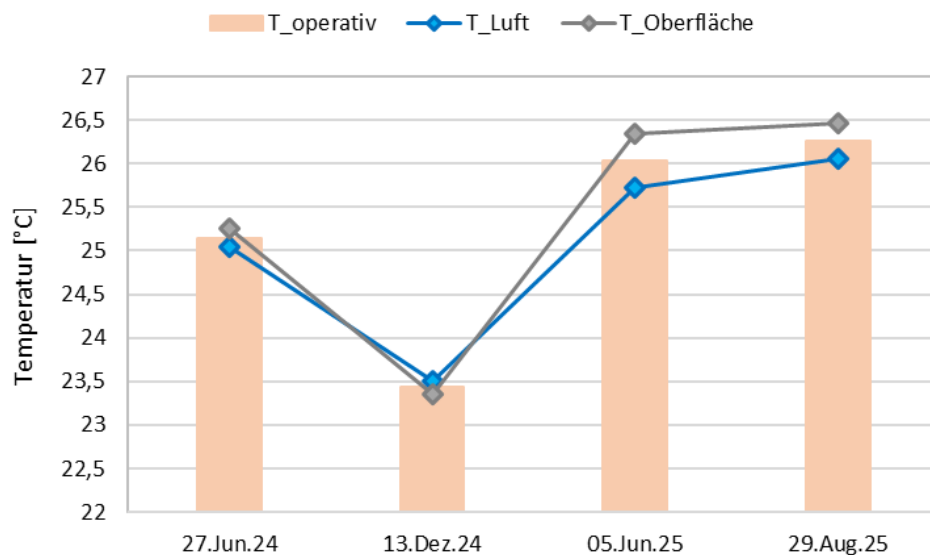


Abbildung 78: Lufttemperaturen, Oberflächentemperaturen und operative Temperaturen für beide Büros in Summe (Quelle: AEE INTEC)

Drei der Spot-Messungen wurden während der Kühlperiode durchgeführt. Hier liegt die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen wider Erwarten um 0,2 bis 0,6 K höher als die Raumlufttemperatur, wodurch auch die operative Temperatur 0,1 bis 0,3 K über der Lufttemperatur liegt. Die operative Temperatur bei der Wintermessung liegt ebenso entgegen der Erwartung 0,1 K unter der Lufttemperatur, da die Mitteloberflächentemperatur der umliegenden Flächen um 0,2 K niedriger als die gemessene Lufttemperatur liegt.

Generell kann festgehalten werden, dass zwischen Oberflächen- und Lufttemperatur bei den 4 durchgeführten Spot-Messungen nur sehr geringe Differenzen festgestellt werden konnten und die operative Temperatur daher mit guter Übereinstimmung der gemessenen Lufttemperatur entspricht. Aus diesem Grund behält die Behaglichkeitsbewertung aus dem vorangegangenen Unterkapitel auch unter Berücksichtigung der Strahlungstemperatur der Wand- und Deckenoberflächen ihre Gültigkeit.

8.5 WHA Rosthorngasse, W

Bauteilaktivierung: Elementdecken

Objektnutzung: Wohnobjekt	Standort: Rosthorngasse 5 1220 Wien	Fertigstellung: 2021
----------------------------------	---	-----------------------------

8.5.1 Objektbeschreibung

Das klimaaktiv zertifizierte Wohngebäude Rosthorngasse 5 in Wien Donaustadt erstreckt sich über vier oberirdische Geschoße. In Summe wurden im Jahr 2021 84 Wohnungen im Niedrigstenergiestandard fertiggestellt.

Das Wohngebäude wird über eine Wärmepumpenanlage mit thermischer Nutzung des Grundwassers mit Wärme und Kälte versorgt. Das Warmwasser wird über eine zweistufige Wärmepumpenanlage bereit.

Die Wärme- und Kälteverteilung innerhalb der Wohnungen erfolgt über thermisch aktivierte Deckenbauteile. In den Wohnungen im Erdgeschoß wurde zusätzlich eine Fußbodenheizung als Wärme- und Kälteabgabesystem eingesetzt.

Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	6.184 m ²	Eigentümer: Zürich Versicherungs-AG
HKLS-Planung	Böhm Stadtbaumeister und Gebäudetechnik GmbH	
Architektur	Architekten Maurer und Partner ZT GmbH	

Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- Massivbau in Niedrigstenergiestandard, 4-geschoßig
- ein L-förmiger Baukörper
- Stahlbeton-Massivbauweise mit WDVS
- mittlerer U-Wert 0,295 W/m²K
- Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen ($U_w=0,85$ W/m²K)
- außenliegender Sonnenschutz
- Kompakte Bauweise, $A/V = 0,35$ [1/m], charakteristische Länge 2,86 [m]
- $HWB_{SK}=19,07$ kWh/m²a
- $HEB_{SK}=12,36$ kWh/m²a
- $EEBSK=27,37$ kWh/m²a

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde in den Geschoßdecken ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Geschoßdecken	
Einsatz	Heizung und Kühlung
Aktivierte Fläche	Geschoßdecken (6.184 m²BGF)
Aktiviertes Material	Halbfertigteil mit Rohrleitungen auf Fertigteilelement, Deckenstärke 22 cm
Verlegungsart	System Roth X-Pert, Dimension 16x2,0mm, VA=15cm
Regelungsstrategie	Zonenregelung mit Raumbediengerät im Wohnzimmer. Badezimmer verfügen über elektrische Handtuchheizkörper. Im Kühlfall werden die Badezimmer von der Kühlung ausgenommen. Die Change-Over Umschaltung zwischen Heizen und Kühlen erfolgt zentral.
Leistungskennzahlen	Auslegungstemperaturen: Heizen 35/31°C, Kühlen 19/22°C Abgabeleistung: Heizen 115 kW, Kühlen 80 kW (Ergebnis der Gebäudesimulation)

Aktivierte Bauteile: Betondecken

**Halbfertigteil, Rohrleitung auf Fertigteilelement
Überdeckung ca. 6-8 cm**

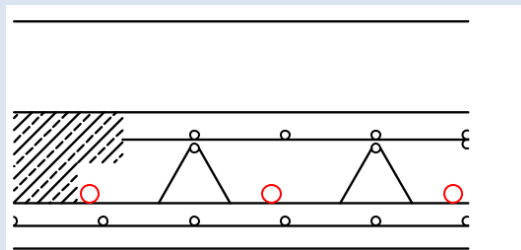


Abbildung 79: Schnittdarstellung Geschoßdecke (Quelle: hacon GmbH)

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik	
Heizung	zentrale Wärmeversorgung durch Grundwasser-Wärmepumpe Wärmepumpe: IDM Terra SW 110MAX (134 kW bei 10/35°C)
Brauch-Warmwasser	zentrale Brauchwasserbereitung für das Gesamtobjekt durch Booster-Wärmepumpe, Zirkulationsleitung, Brauch-Warmwasserspeicher (2 x 1.000 Liter) Wärmepumpe: IDM Terra SW 35MAX H (58 kW bei 25/65°C)
Kühlung	Free Cooling Wärmetauscher (115 kW)
Wärmeabgabe	Bauteilaktivierung + Fußbodenheizung (115 kW)
Kälteabgabe	Bauteilaktivierung + Fußbodenkühlung (80 kW)

Lüftungstechnik	dezentrale Abluftventilatoren mit dauerhafter Grundlast
Elektrische Energie	Öffentliches Netz, Photovoltaik-Anlage (10 kWp), Eigenstromnutzung für Haustechnik und Überschuss-Einspeisung

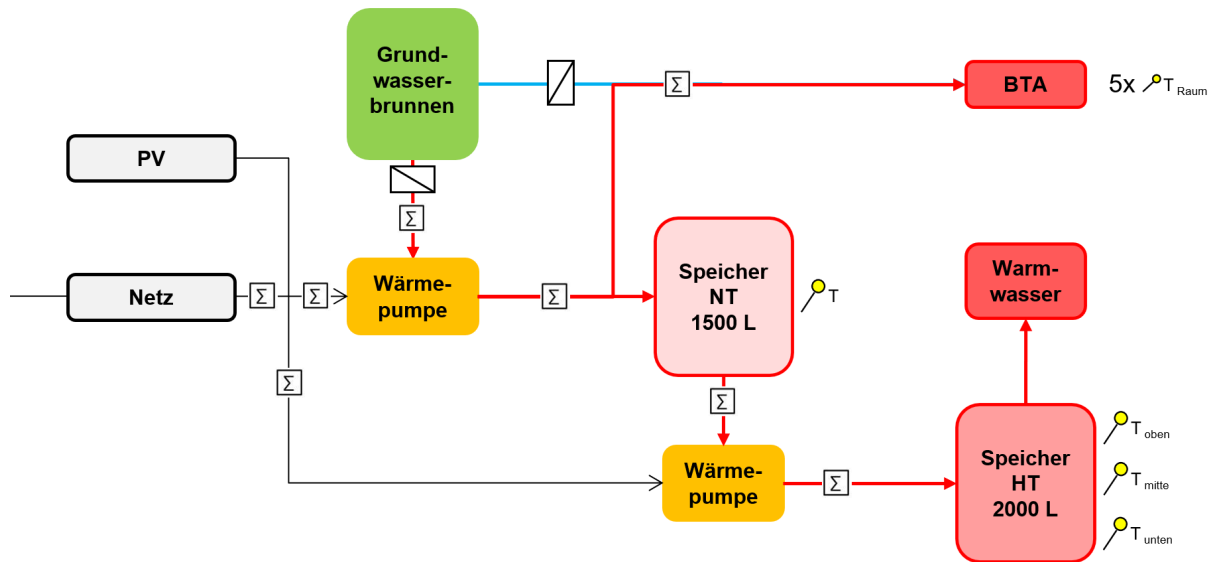


Abbildung 80: Prinzipschema Objekt Rosthorngasse, Gebäudetechnik und Messkonzept (Quelle: hacon GmbH)

8.5.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: 1. August. 2022 – 31. Juli. 2023 (ein Betriebsjahr)

Gebäudeflächen lt. Energieausweis	
Brutto-Grundfläche (BGF)	6.185 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	4.947 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung		
Speicherkapazität	Sämtliche Geschossdecken: 869 kWh/K = 0,14 kWh/Km ² _{BGF} Eine aktiv geregelte Nutzung der Speicherfähigkeit der BTA liegt derzeit nicht vor.	
Deckungsgrad lokaler Energieträger	Keine Erzeugungsdaten der lokalen PV verfügbar	
Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast	155 kW 27 W/m ² _{BF}
	Installierte Heizleistung (Wärmepumpen)	134 kW 27 W/m ² _{BF}
	Gemessene max. Heizleistung	145 kW 29 W/m ² _{BF}
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen	Parameter	Gesamtgebäude
	Aktivierte Fläche	ca. 4.900 m ² _{akt.}
	Max. Heizleistung	ca. 145 kW (im Tageschnitt 75 kW)
	Max. spezifische Heizleistung	29 W/m ² _{akt.} (im Tageschnitt 15 W/m ² _{akt.})
	Vorlauftemperatur Heizen	24 – 32°C
	Spreizung bei max. Heizleistung	1,5 K
	Max. Kühlleistung	ca. 122 kW (im Tageschnitt 76 kW)
	Max. spezifische Kühlleistung	ca. 25 W/m ² _{akt.} (im Tageschnitt 16 W/m ² _{akt.})
	Vorlauftemperatur Kühlen	20-23°C
	Spreizung bei max. Kühlleistung	1,6 K

Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (thermisch)	52,8 kWh/m ² _{BGFa}
Kühlenergieverbrauch	10,4 kWh/m ² _{BGFa}

8.5.3 Nachfragestruktur Wärme

Darstellung der Messergebnisse:

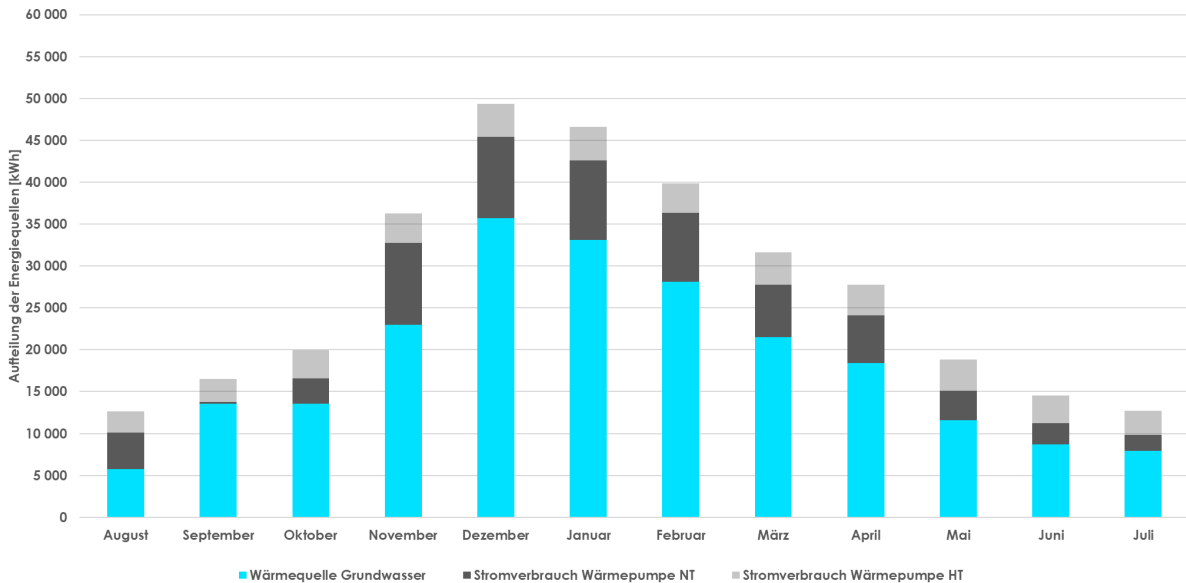


Abbildung 81: Monatsbilanz Wärmeerzeugung Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

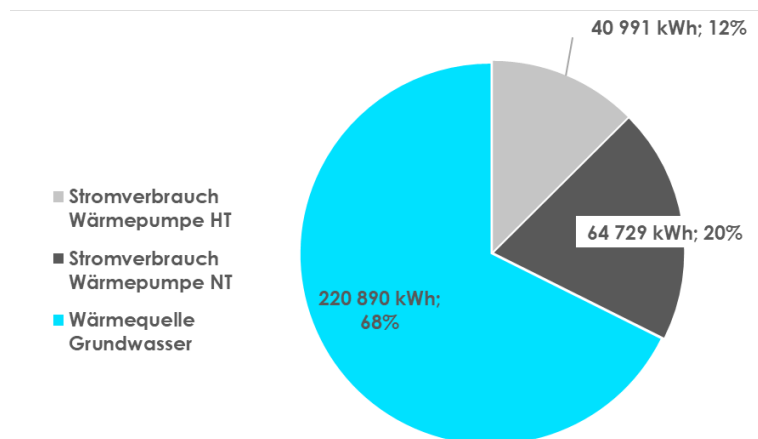


Abbildung 82: Aufteilung der Wärmeerzeuger Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

Für die Wärmebereitstellung für Raumwärme und Warmwasser wird die thermische Nutzung des Grundwassers als Wärmequelle herangezogen. Dem Grundwasser werden über den Messzeitraum rund 221 MWh/a an Wärme entzogen. Für die Bereitstellung der Nutzwärme werden insgesamt rund 106 MWh/a Strom für die Niedertemperatur und Hochtemperatur benötigt. Der thermische Nutzen (Raumwärme und Warmwasser) beträgt 326 MWh/a.

In den nachfolgenden Abbildungen werden die monatlichen Wärmeverbräuche dargestellt.

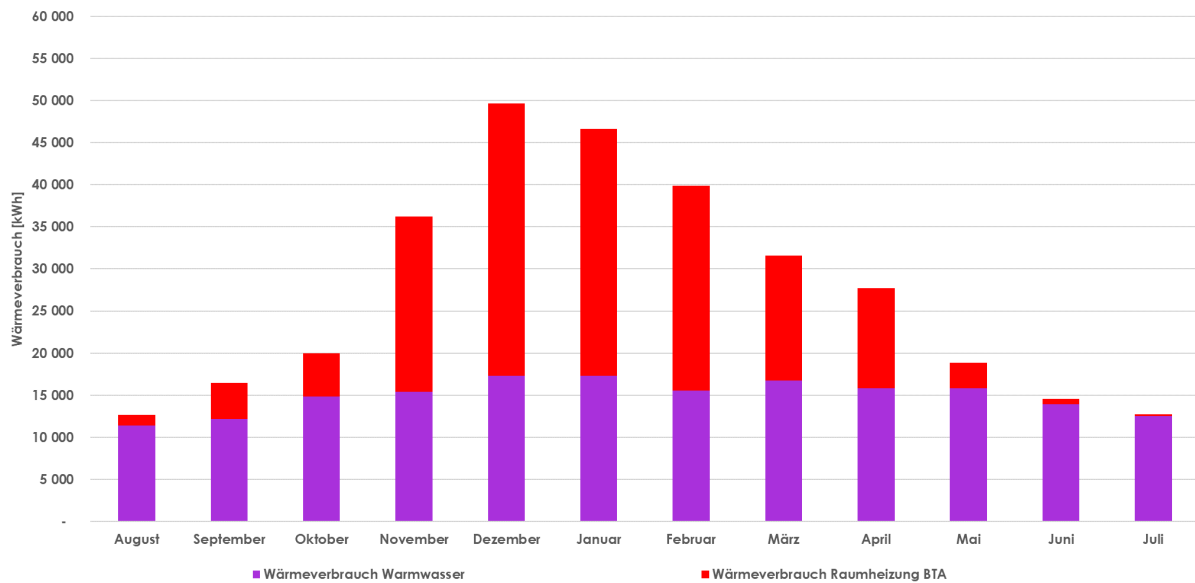


Abbildung 83: Monatsbilanz Wärmeverbrauch Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

Das gesamte Wohngebäude wird mithilfe von Bauteilaktivierung konditioniert. Hierfür entsteht ein Wärmeverbrauch von 148.007 kWh, dieser findet größtenteils in der Heizperiode von September bis Mai statt. Beim Warmwasser erkennt man einen nahezu konstanten Wärmebedarf über das gesamte Jahr. In den Sommermonaten wird etwas weniger Wärme für das Warmwasser benötigt. Einerseits lässt sich das durch höhere Umgebungstemperaturen und somit geringe Verteilverluste, andererseits auch durch die Urlaubszeit und weniger Personenanwesenheit in der Wohnhausanlage erklären.

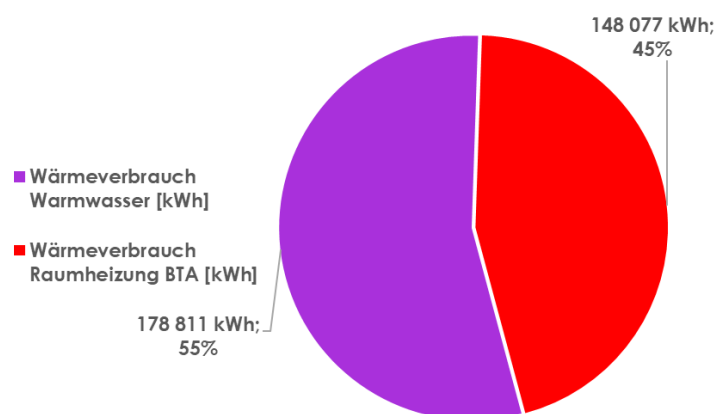


Abbildung 84: Aufteilung der Wärmeverbraucher Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

Auffälligkeiten Gewerk Heizung und Optimierungspotenziale

Bei einer detaillierten Betrachtung der Monitoringdaten besonders für die Wärmebereitstellung sind Auffälligkeiten bezüglich der Regelung der Niedertemperaturwärmepumpe ersichtlich geworden.

Die erforderlichen Temperaturen der NT-Wärmeabgabe übersteigen in nur wenigen Stunden 30°C. Die von der Wärmepumpe gelieferte Temperatur bzw. die Mischtemperatur im Wärmespeicher liegt zumeist zwischen 35 und 40°C. Diese Temperaturen sind für die Wärmeabgabe nicht erforderlich. In *Abbildung 85* wird der Zusammenhang der Speichertemperatur des Niedertemperaturspeichers und der Vorlauftemperatur in die Bauteilaktivierung Außenlufttemperatur gegenübergestellt. Sofern es durch das verbaute Gerät technisch möglich ist, kann die Wärmepumpe durch eine Erwärmung des Speichers auf lediglich 32–35 °C ihre Effizienz steigern.

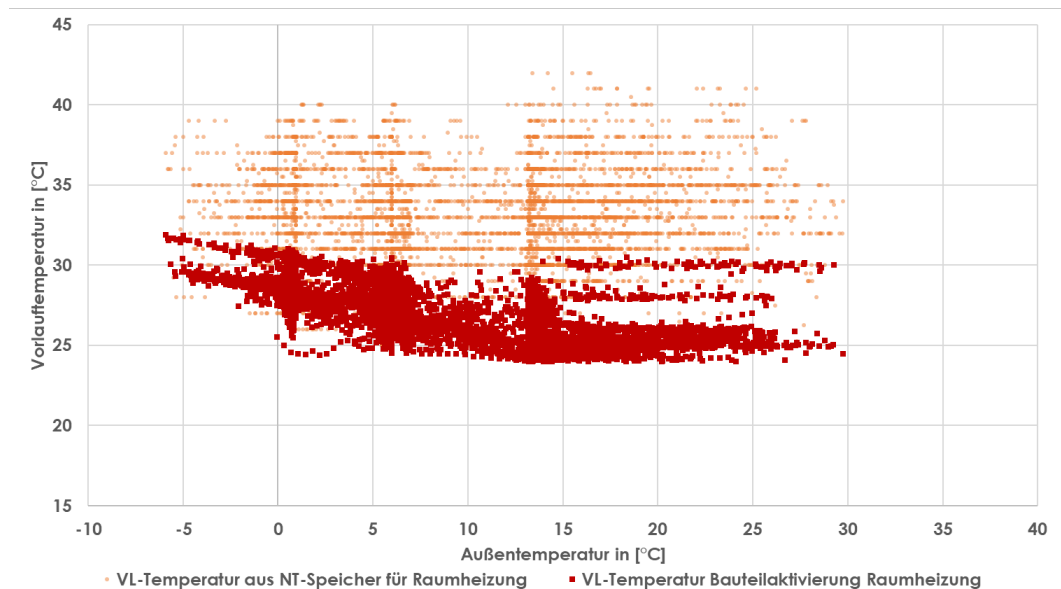


Abbildung 85: Zusammenhang Vorlauftemperatur für Raumwärme / Außenlufttemperatur für den Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

Die nachfolgende Abbildung zeigt die stündliche Heizlastverteilung der Bauteilaktivierung über ein gesamtes Jahr hinweg. Auf der y-Achse sind die Tagesstunden dargestellt, die x-Achse repräsentiert den Jahresverlauf. Die Farbskala gibt die Höhe der Heizleistung an: Dunkle Rottöne geben hohe abgegebene thermische Leistung an, während blasserose Farben für geringe Wärmeabgabe stehen.

Insbesondere in den Morgen- und Abendstunden sind wiederkehrend höhere Leistungen erforderlich. Einzelne Spitzenlasten treten dabei kurzzeitig auf, während die Grundlast über längere Zeiträume hinweg nahezu konstant abgegeben wird.

Die Leistungsspitzen treten unter Tag auf und somit nicht in Zeiten der niedrigsten Außenlufttemperaturen. Es liegt nahe, dass die Leistungsspitzen der Wärmeabgabe in Zusammenhang mit dem Lüftungsverhalten der NutzerInnen stehen.

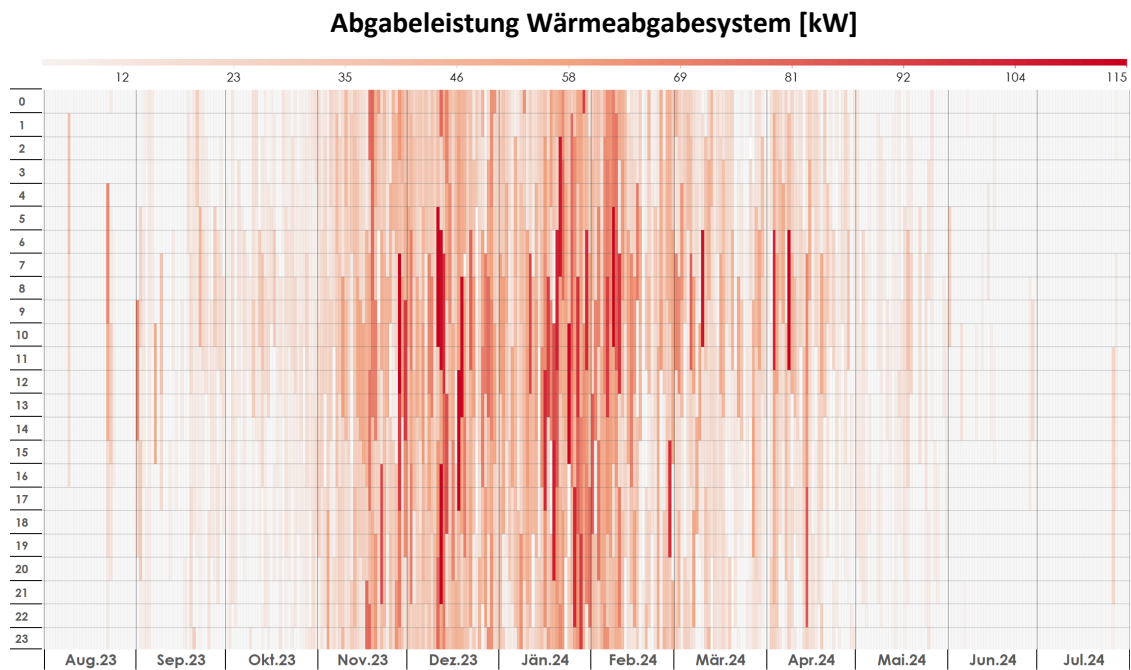


Abbildung 86: Stündlich abgegebene Abgabeleistung der Raumheizung der Rostthorngasse
(Quelle: hacon GmbH)

In nachfolgender Abbildung ist der Verlauf der Wärmeabgabeleistung der Bauteilaktivierung dargestellt.

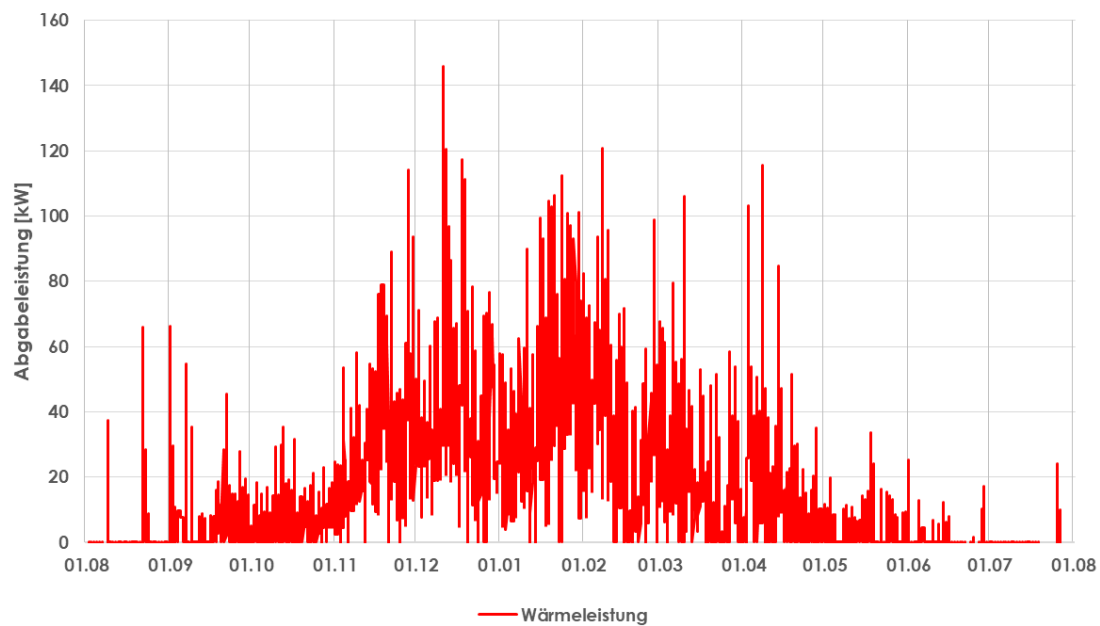


Abbildung 87: Verlauf der stündlich abgegebenen Wärmeleistung der Raumheizung der Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

Wärmeabgabe im Detail

Die Nutzung der Speicherfähigkeit der Bauteilaktivierung erfolgt passiv. Eine aktive Beeinflussung über die Regelungstechnik liegt für den Zeitraum des Monitorings nicht vor.

Verzeichnete Betriebsbedingungen der Heizung über Bauteilaktivierung:

- Die Regelung der Raumheizung ist wohnungsweise umgesetzt. Das Regelungselement befindet sich im Wohnzimmer.
- Die Vorlauftemperatur liegt im Bereich von 32 °C bis 24 °C. Die tiefste gemessene Außenlufttemperatur im Messzeitraum betrug - 7°C. Bei dieser Außentemperatur lag die Vorlauftemperatur bei rund 32 °C. Die Mindestvorlauftemperatur der Bauteilaktivierung lag bei rund 24°C,
- Die maximale-Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf der Bauteilaktivierung lag bei max. Heizleistung 2 K.
- Die Umwälzpumpe wird über den Differenzdruck geregelt.
- Die maximale Abgabeleistung der Bauteilaktivierung im Heizfall lag bei 145 kW. Im Tagesmittelwert lag die maximale Abgabeleistung bei 75 kW.

8.5.4 Nachfragestruktur Kälte

Darstellung der Messergebnisse:

In folgender Abbildung 88 wird die Monatsbilanz der durch die Bauteilaktivierung abgeführten Kälte dargestellt.

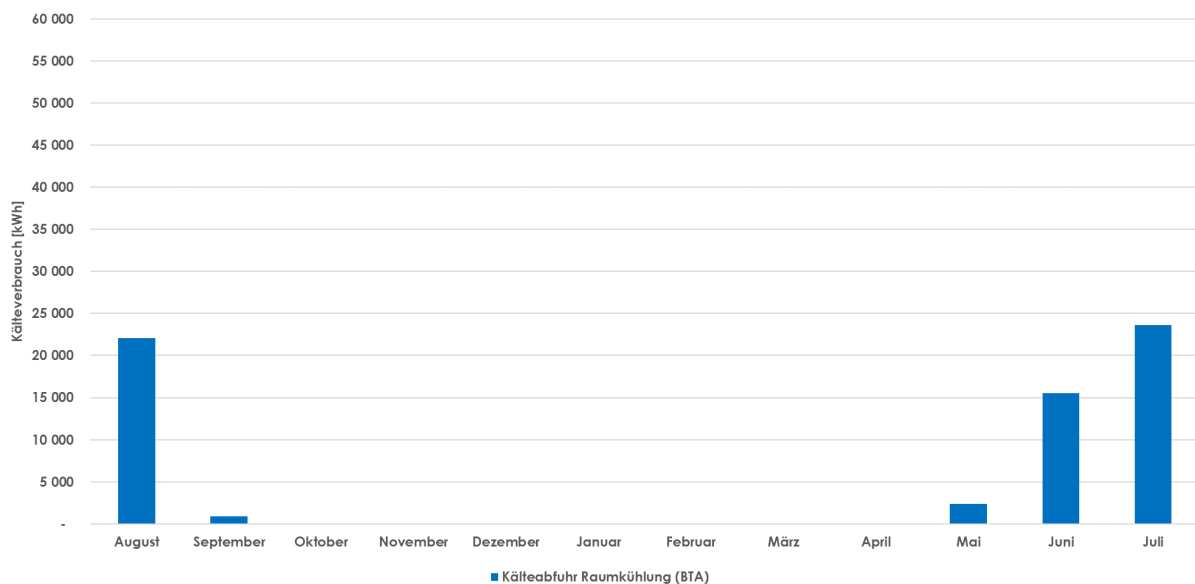


Abbildung 88: Monatsbilanz der Kälte Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

Die abgeführte Kälte wird im Monitoringzeitraum ausschließlich über einen Freecooling – Wärmetauscher in den Grundwasserbrunnen abgeführt. Es wird eine Kälteenergie von 64.468 kWh/a bzw. 10,4 kWh/m²_{BGFa} an das Grundwasser abgegeben.

In folgender Abbildung wird der Verlauf der durch die Bauteilaktivierung abgeführten Kälte dargestellt.

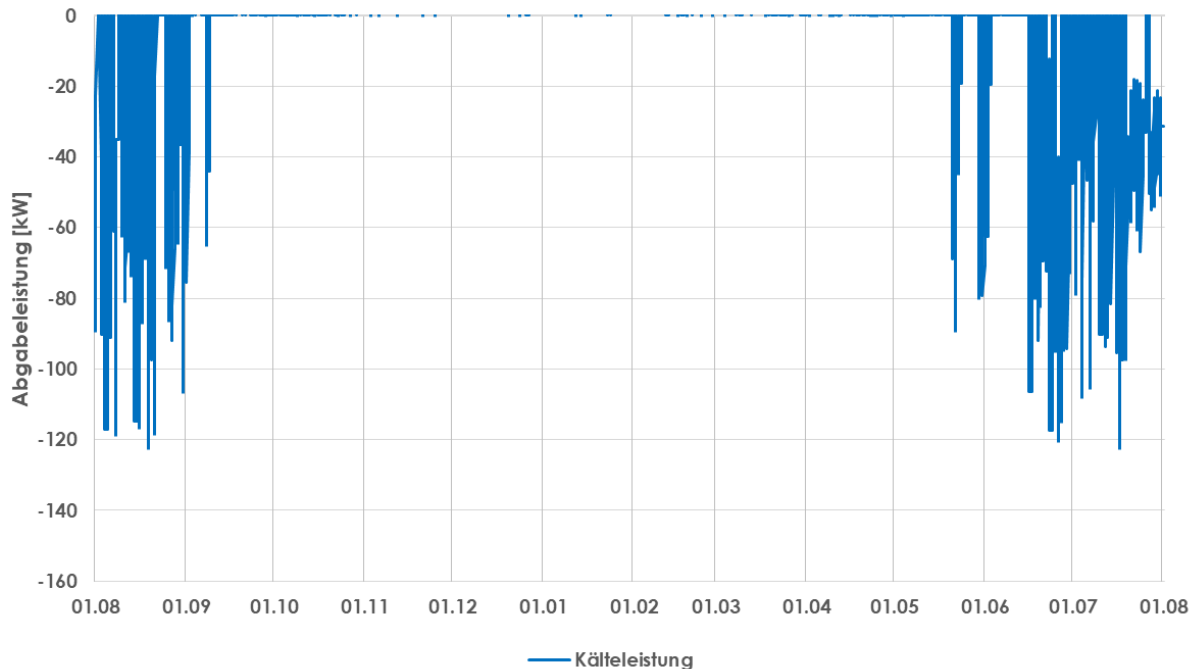


Abbildung 89: Verlauf der stündlich abgegebenen Kälteleistung der Raumheizung der Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

Auffälligkeiten und Optimierungspotenzial

In nachfolgender Abbildung sind die Vorlauftemperaturen für die Temperierung und die Grundwasserentnahmetemperatur während der Kühlperiode dargestellt. Im betrachteten Messzeitraum wird die Temperierung mit einer Vorlauftemperatur von rund 20 °C – 22 °C betrieben. Die Temperatur des entnommenen Grundwassers liegt im Bereich von 13 °C bis 18 °C. Somit besteht bei erhöhtem Kühlbedarf die Möglichkeit über geringere Vorlauftemperaturen in die Bauteilaktivierung mehr Wärmeenergie aus den Wohnräumen abzuführen.

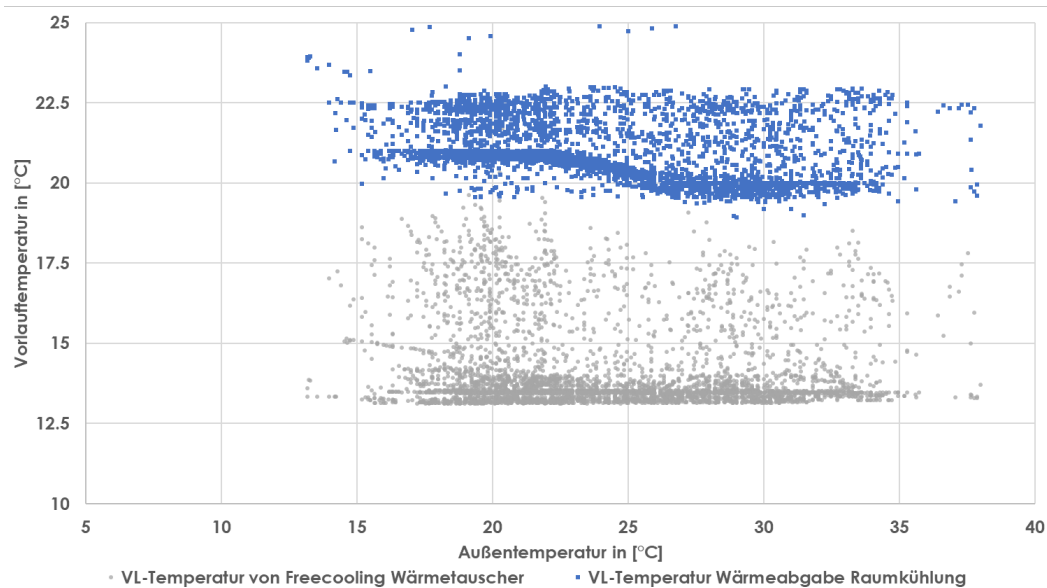


Abbildung 90: Zusammenhang Vorlauftemperatur für Raumkühlung / Außenlufttemperatur Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

Kälteabgabe im Detail

Die Kühlperiode endete am 09.09.2022 und startete am 21.05.2023. Zu diesen Zeitpunkten wird in der Zentrale der Betriebsmodus der Anlage umgestellt.

Verzeichnete Betriebsbedingungen der Kühlung über Bauteilaktivierung:

- Die Regelung der Raumheizung/Temperierung ist wohnungsweise umgesetzt. Das Regelungselement befindet sich im Wohnzimmer.
- Die Vorlauftemperaturen der Bauteilaktivierung betrugen zwischen 20 °C und 22 °C.
- Die maximale-Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf der Bauteilaktivierung lag bei max. Heizleistung 1,6 K.
- Die Umwälzpumpe wird über den Differenzdruck geregelt.
- Die maximale Leistungsaufnahme der Bauteilaktivierung beträgt 75 kW. Dies entspricht einer spezifischen Last von rund 15 W/m².

8.5.5 Nachfragestruktur Strom

In nachfolgender Abbildung ist der monatliche Stromverbrauch der beiden Wärmepumpen in der Energiezentrale dargestellt.

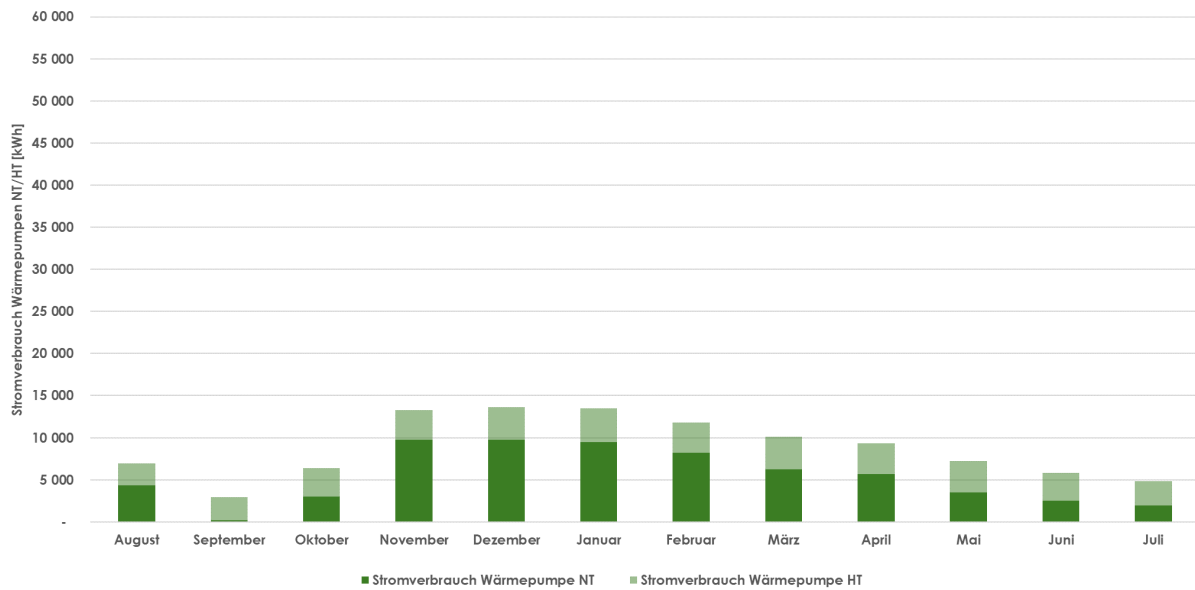


Abbildung 91: Monatsbilanz Gesamtstromverbrauch für Wärmeerzeuger Rosthorngasse
(Quelle: hacon GmbH)

Der Jahresstromverbrauch für die Niedertemperaturwärmepumpe und die Hochtemperaturwärmepumpe beträgt 105.720 kWh/a bzw. 17,1 kWh/m²_{BGF}a. Stromverbräuche von Nebenverbrauchern sind in den angegebenen Strommengen nicht enthalten.

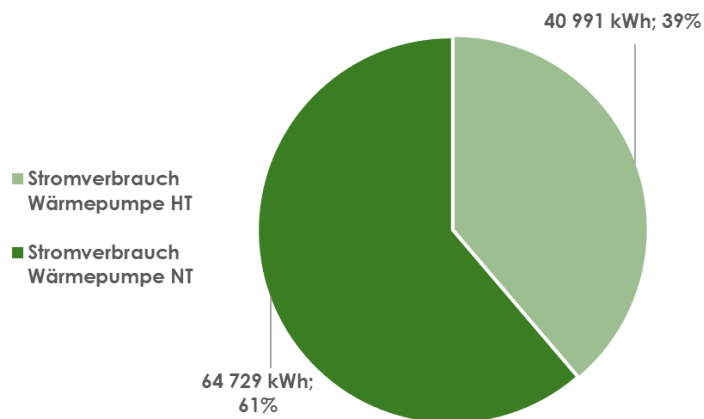


Abbildung 92: Aufteilung des Stromverbrauchs der Wärmeerzeuger Rosthorngasse
(Quelle: hacon GmbH)

Für die verbaute Photovoltaikanlage mit einer installierten Leistung von 10 kW_p werden keine Monitoringdaten aufgezeichnet.

8.5.6 Raumkomfort – Monitoring

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

Für das Monitoring des Raumkomforts werden in vier Wohnungen Messeinrichtung vorgesehen. In nachfolgender Tabelle sind Angaben zu den begleiteten Wohnungen angeführt.

Der Zeitraum der Messung ist von 20.02.2023 bis 20.02.2024.

Wohnung	Lage im Gebäude	Orientierung	Lage der Sensorik
Top A	1.Obergeschoss	Westen	Wohnzimmer
Top B	1.Obergeschoss	Osten	Wohnzimmer
Top C	Erdgeschoss	Osten	Wohnzimmer
Top D	Erdgeschoss	Nordwesten und Nordosten	Wohnzimmer und Arbeitszimmer

Tabelle 1: Legende für Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnungen

Legende:	
Heizphase:	20.02.2023 bis 31.05.2023 und von 01.09.2023 bis 20.02.2024
Kühlphase:	Kühlperiode von 01.06.2023 bis 31.08.2023

Die Behaglichkeitsdiagramme der Referenzräume zeigen, dass die Raumkonditionen während dem Winterhalbjahr weitestgehend im behaglichen Komfortbereich liegen. In einigen Räumen werden während der Heizperiode Temperaturen von unter 20 °C gemessen.

Die Raumluftfeuchten befinden sich in einem üblichen Bereich von 30 % bis 50 %. Für die Unterschreitungen der Raumtemperaturen gibt es mehrere mögliche Ursachen:

- Nach der Übergabe der Messgeräte kam es in drei der untersuchten Wohnungen zu einem Mieterwechsel. Daraus ist zu schließen, dass in diesen Wohnungen zeitweise Leerstände aufgetreten sein könnten, in denen die Räume unbewohnt und möglicherweise auch nicht oder nur eingeschränkt beheizt wurden
- Ein weiterer möglicher Grund für das Absinken der Temperaturen in Räumen ist die vorgesehene Zonenregelung. Benötigt der geregelte Raum keine Wärmezufuhr mehr, wird die Wärmeversorgung für die gesamte Wohnung unterbrochen. Dieses Verhalten entsteht, wenn der geregelte Raum deutlich mehr solare oder innere Warmegewinne als der ungeregelte Raum erhält. Ein weiterer Grund besteht im Lüftungskonzept. Hier wird durch die Grundlüftung der Abluftventilatoren kalte Luft durch die Nachstromöffnung in den Schlafzimmern nachgesaugt. Bei geschlossenen Innentüren entstehen dadurch Temperaturdifferenzen zwischen den einzelnen Räumen innerhalb einer Betriebseinheit. Durch Öffnen der Innentüren kann ein Temperatúrausgleich stattfinden und der Kälteeintrag durch die Nachstromöffnungen auf die gesamte Wohnfläche aufgeteilt werden.

- Da es sich bei der eingesetzten Messtechnik um mobile Geräte handelt, ist es nicht auszuschließen, dass die NutzerInnen der untersuchten Wohnungen die Lage der Messgeräte verändert haben (nähe Fenster). Dadurch ist es möglich, dass die gemessenen Temperaturen nicht die tatsächlichen Gegebenheiten widerspiegeln.

Während der Kühlperiode überschreiten die Raumtemperaturen kaum 26°C.

Das Gesamtsystem Bauteilaktivierung und außenliegende Sonnenschutz und erfüllen ihre Zwecke zufriedenstellend.

Tabelle 2: Mittlere Raumlufttemperaturen und Anteile der Überhitzungsstunden der Referenzräume Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

	Top A	Top B	Top C	Top D – AZ	Top D - WZ
Mittlere Raumtemperatur in den Sommermonaten	23,7 °C	23,2 °C	21,5 °C	21,3 °C	22,8 °C
Anzahl der Stunden der Raumtemperatur $T > 26$ °C	4	15	0	0	0
Anteil der Stunden der Raumtemperatur $T > 26$ °C von der Gesamtstundenanzahl	0,05 %	0,17 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %

Die Messdaten des TOPs A zeigen über das gesamte Jahr sehr behagliche Raumluftzustände. Man erkennt, vor allem im Jahresverlauf eindeutig, dass die Wohnung gegen Ende des Jahres nicht bewohnt wurde. So lassen sich einige Temperaturmesswerte unterhalb 20 °C im Behaglichkeitsdiagramm erklären.

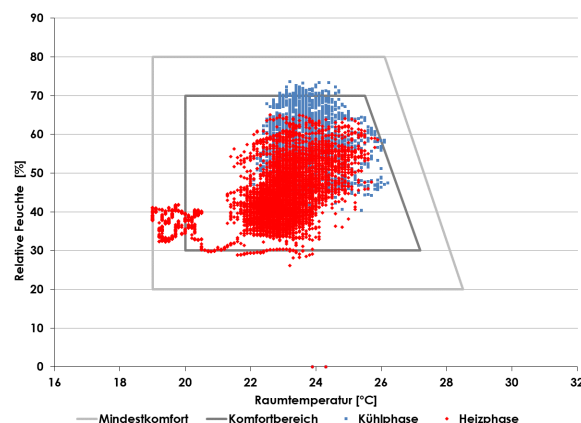


Abbildung 93: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top A Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

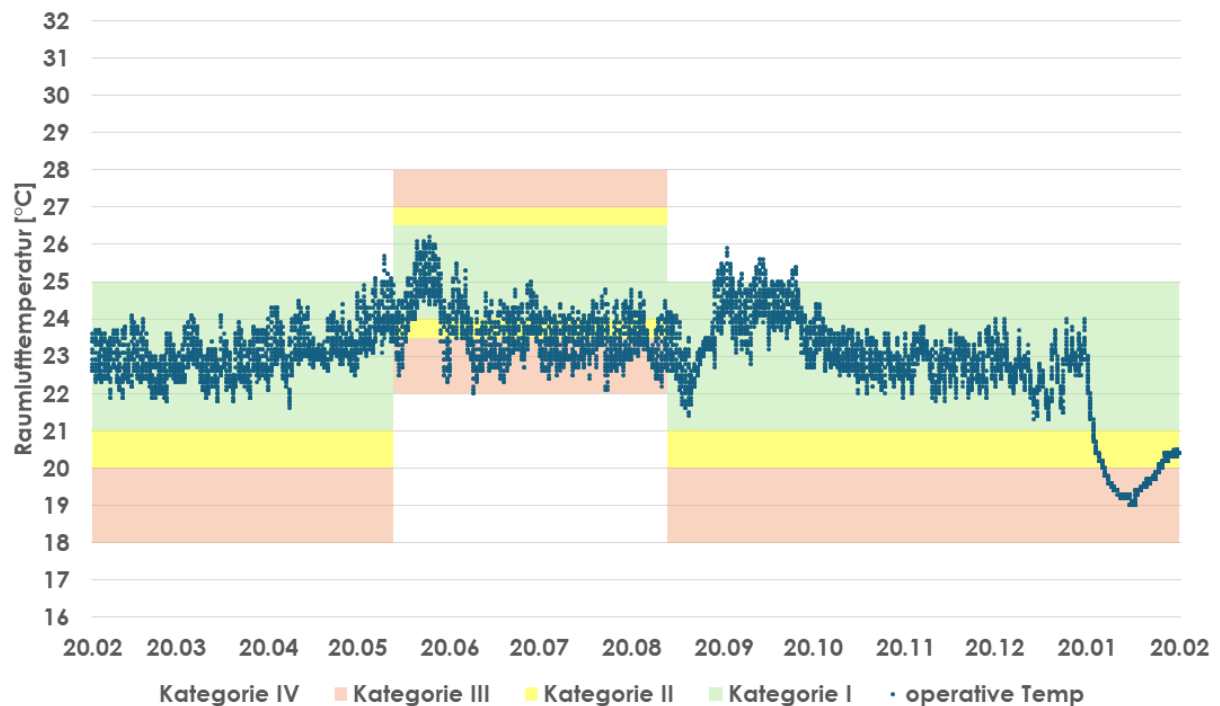


Abbildung 94: Raumlufthtemperatur Top A Rostthorngasse und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

TOP B zeigt einige Temperturmesswerte, zum Teil deutlich unter 20 °C, Aus dem Jahresverlauf lassen sich teils sprunghafte Temperaturstürze ablesen. Die Ursache dürfte wohl häufiges Stoßlüften sein. Es kann weiters nicht ausgeschlossen werden, dass die Lage des mobilen Messgerätes geändert wurde.

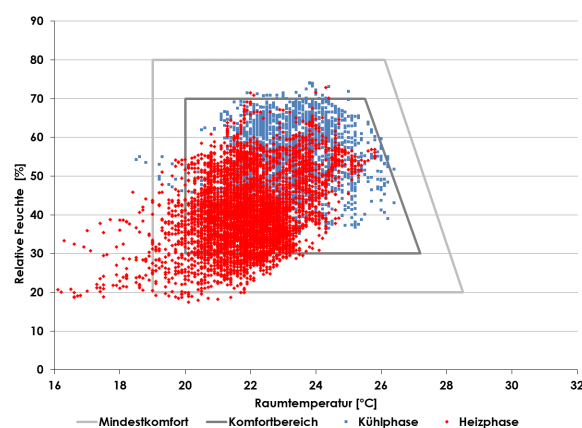


Abbildung 95: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top B Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

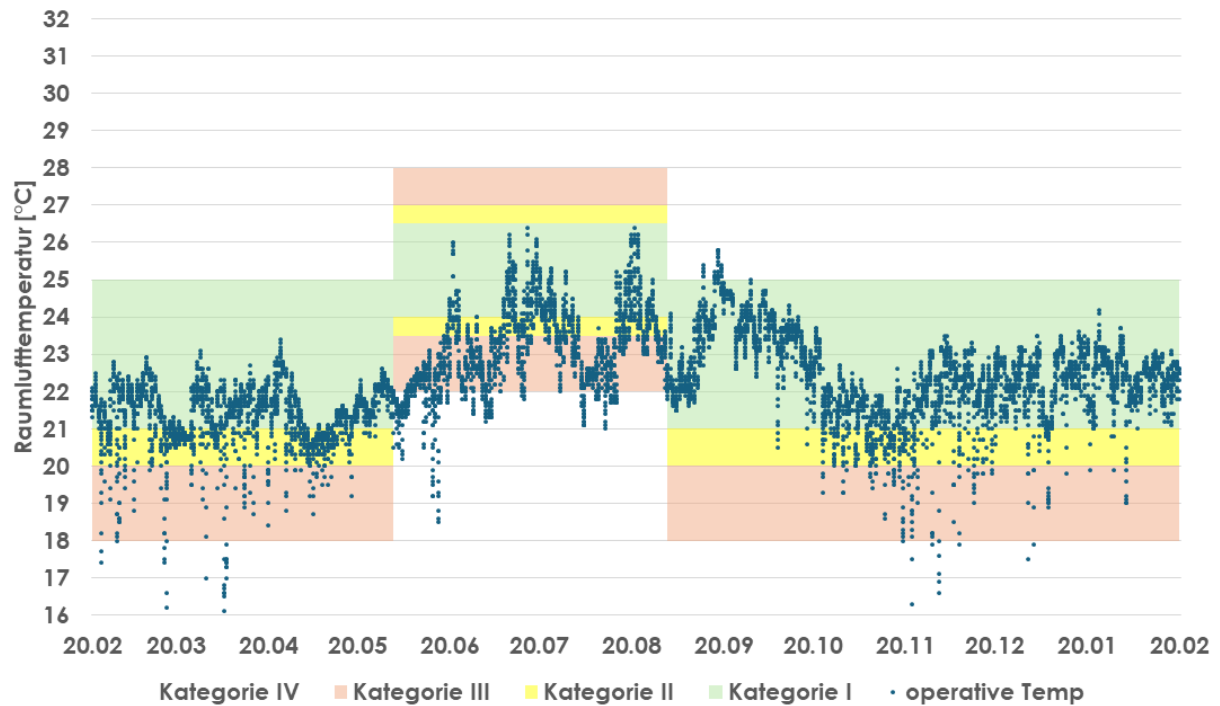


Abbildung 96: Raumlufttemperatur Top B Rosthorngasse und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

Bei TOP C kam es nach ungefähr vier Monaten zu einem Ausfall der Datenerfassung aus unbekannter Ursache. Bis dahin lagen die Temperaturen teilweise unter 20°C.

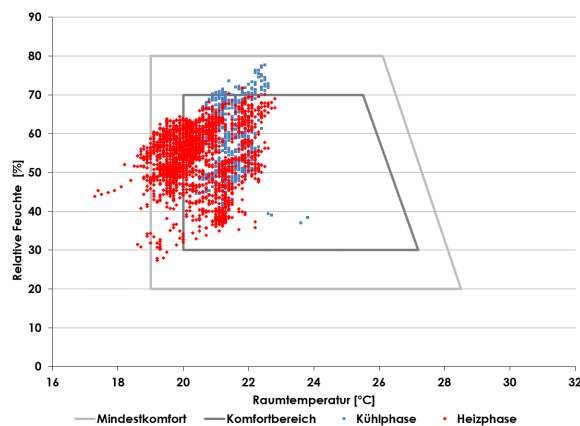


Abbildung 97: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top C Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

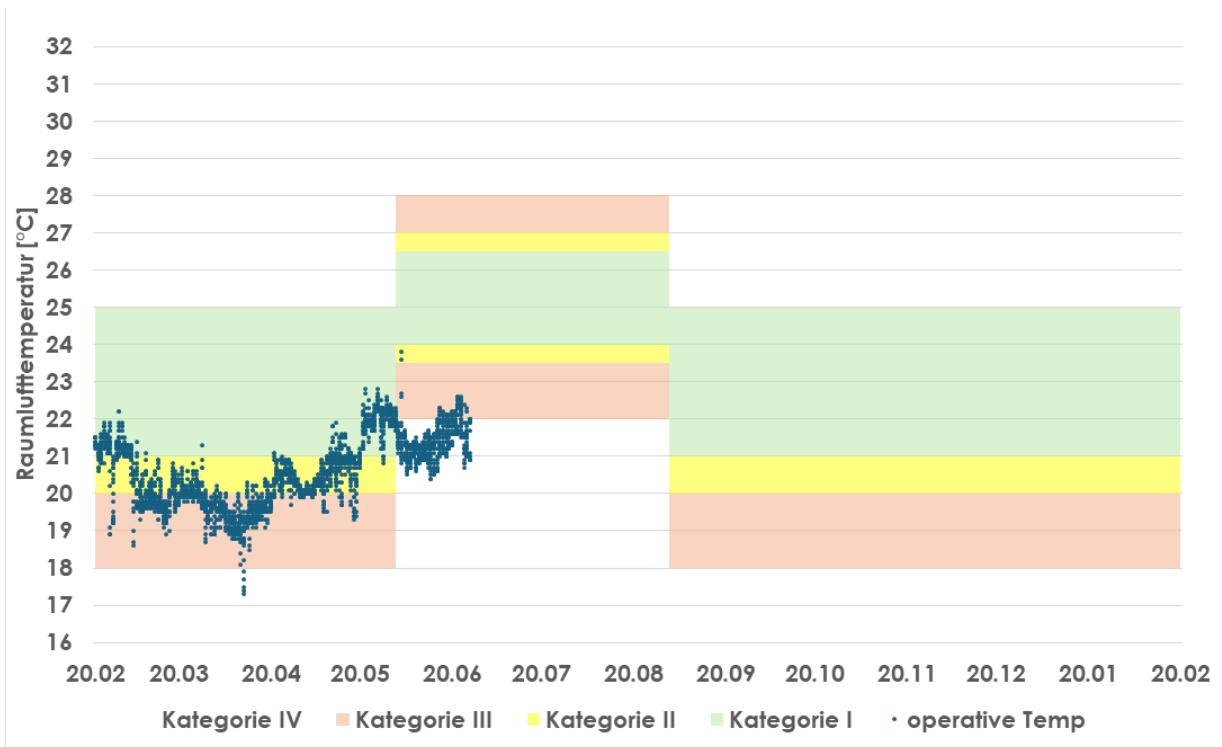


Abbildung 98: Raumlufttemperatur Top C Rosthorngasse und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

TOP D weist das gesamte Jahr eine Temperatur zwischen 22°C und 24°C auf, unabhängig der Jahreszeit, auf. Vor allem die Temperatur im Sommer zeigt den Mehrwert der passiven Kühlung deutlich.

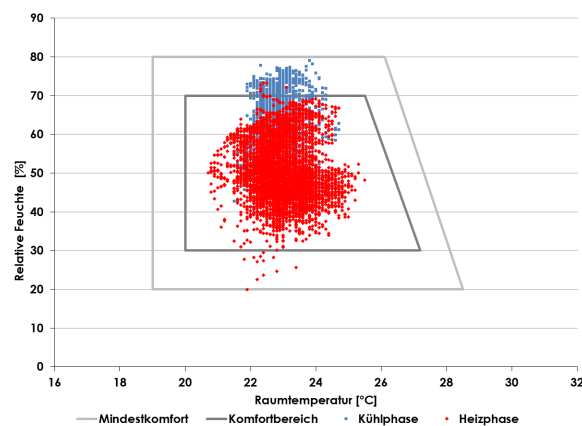


Abbildung 99: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top D – Wohnzimmer Rosthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

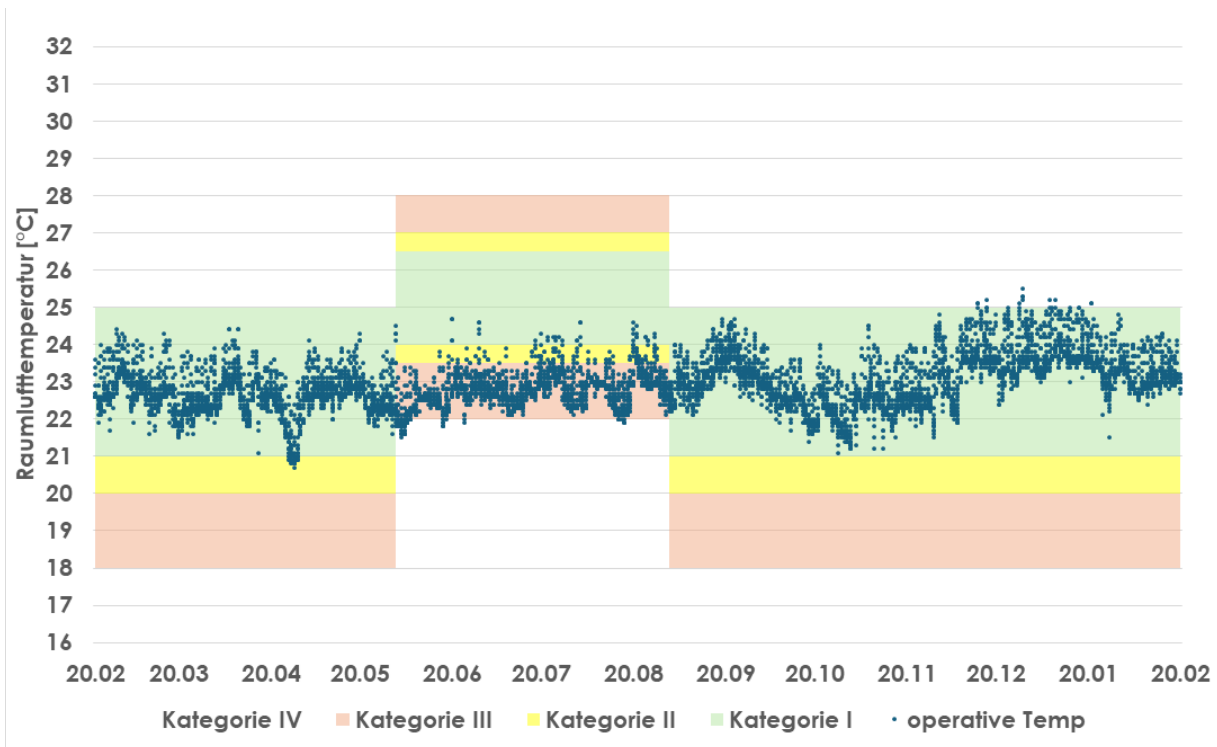


Abbildung 100: Raumlufthtemperatur Top D Wohnzimmer Rostthorngasse und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

Im Arbeitszimmer des TOP D kam es aus ungeklärter Ursache zu einem Messausfall. Wenn man die Temperaturen mit dem Wohnzimmer dieser Wohnung vergleicht, erkennt man durchaus deutliche Temperaturdifferenzen innerhalb der Wohnung. Ursächlich dafür ist zum einen die eingesetzte Zonenregelung und zum anderen das Lüftungssystem des Gebäudes. Sollten diese Temperaturdifferenzen für Nutzerinnen und Nutzer als unbehaglich empfunden werden, kann ein Temperatúrausgleich durch offene Türen unterstützt werden.

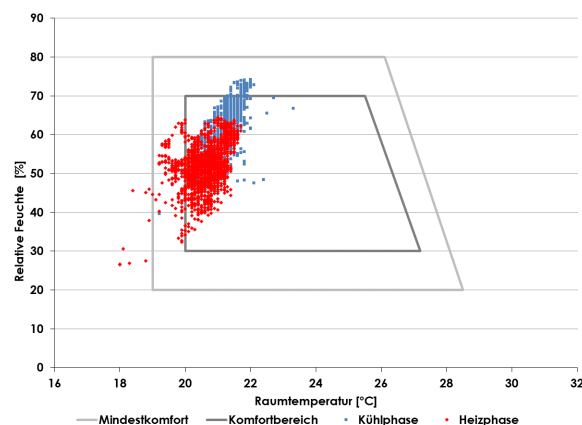


Abbildung 101: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top D - Arbeitszimmer Rostthorngasse (Quelle: hacon GmbH)

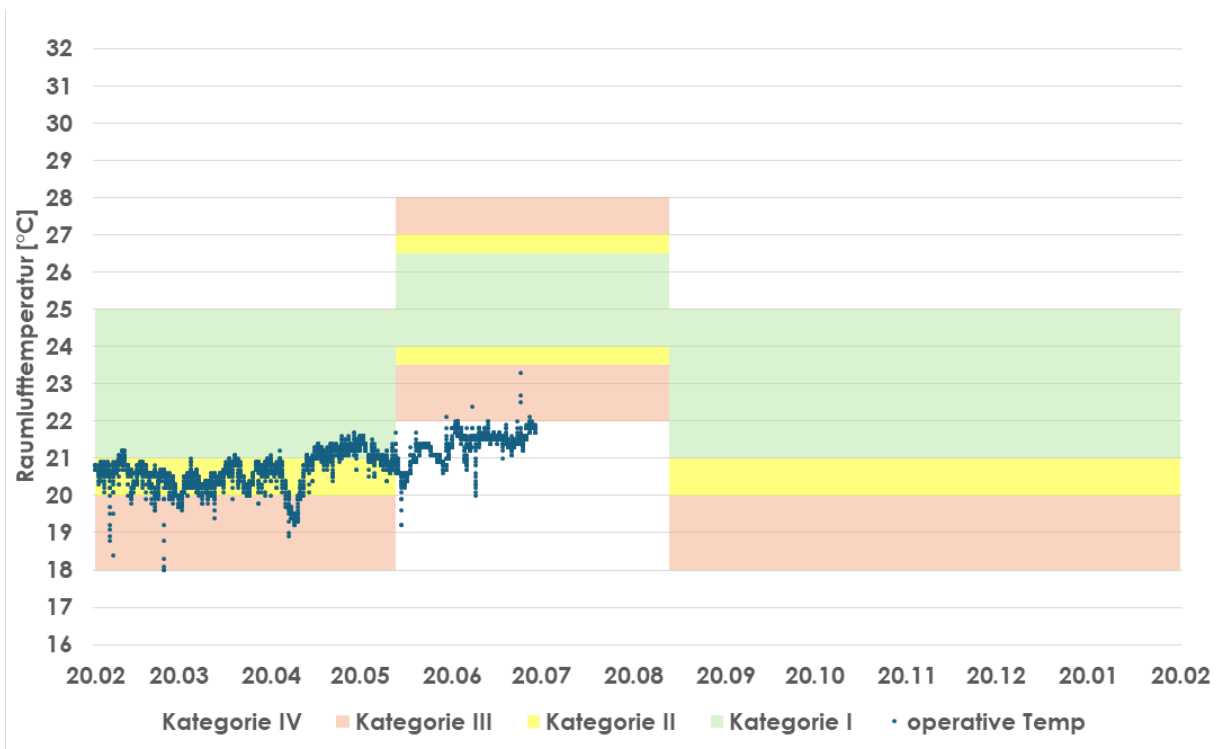


Abbildung 102: Raumlufthtemperatur Top D Schlafzimmer Rosthorngasse und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

8.6 BG Graspointner, OÖ

Bauteilaktivierung: Bodenplatte (Ortbeton)		
Objektnutzung: Büro, Lager, Produktion	Standort: Gessenschwandt 39, 4882 Oberwang	Fertigstellung: 2021

8.6.1 Objektbeschreibung

Die Firma BG-Graspointner GmbH stellt am Standort Oberwang in Oberösterreich Betonfertigteile für Entwässerungsanlagen her. Im Zuge des Neubaus des Hochregallagers und der Büroräumlichkeiten wurden zwei Sole/Wasser-Wärmepumpen (75 kW Niedertemperatur, 90 kW Hochtemperatur, Quelle = Tiefensonden) und eine Solarthermie-Anlage in das Wärmeversorgungssystem integriert. Damit soll sowohl der Neubau als auch der Bestand mit erneuerbaren Energieträgern versorgt werden. Bisher wurde der Energiebedarf für die Produktion der Filcoten-Entwässerungsrinnen mit Heizöl gedeckt. Diese Prozesse benötigen ganzjährig Vorlauftemperaturen von ca. 65 °C. Die Wärmeverteilung zur Beheizung des Bestandsbaus erfolgt weitgehend über Deckenstrahlplatten, durch eine Vergrößerung der Heizflächen sollen die bisherigen Versorgungstemperaturen von 60 °C gesenkt werden. Die Wärmeversorgung des Neubaus, also der Büros und des Hochregallagers, erfolgt auf Niedrigtemperaturniveau. Die Wärmeverteilung erfolgt dabei in den Büros und im Hochregallager über Bauteilaktivierung und im Labor über eine Fußbodenheizung. In den Sommermonaten kann über das Bauteilaktivierungssystem mit Hilfe der Tiefensonden passiv gekühlt werden.

Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt (Neubau)	4.000 m ² (800 m ² Büro, 980 m ² Bereitstellung, 50 m ² Labor, 1.422 m ² Hochregallager)	Eigentümer: BG-Graspointner GmbH
HKLS-Planung	FIN – Kuster Energielösungen GmbH	Name: Friedrich Graspointner

Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- leichte Bauweise bei Bereitstellungs- und Lagerhalle mit A/V-Verhältnis von 0,3 [1/m] und charakteristischer Länge von 3,32 m
- mittlerer U-Wert von 0,24 W/m²K
- Heizwärmebedarf von 41,4 kWh/m²a (HWB_{Ref,SK})
- Transmissionsleitwert von 2.331,79 W/K
- Lüftungsleitwert von 3.984,76 W/K

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde in den Büros und der Halle mit einem aktivierten Gesamtvolumen von etwa 550 m³ ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Stahlbetondecke Büros	
Einsatz	Heizung und Kühlung
Aktivierte Fläche	800 m ²
Aktiviertes Material	Ortbeton
Verlegungsart	20 mm Kunststoffrohre
Regelung	Regelstrategie nicht bekannt

Aktivierte Bauteile: Bodenplatte Halle	
Einsatz	Heizung und Kühlung
Aktivierte Fläche	2400 m ²
Aktiviertes Material	Ortbeton
Verlegungsart	20 mm Kunststoffrohre
Regelung	Regelstrategie nicht bekannt



Abbildung 103: Verlegung der Bauteilaktivierung in Bodenplatte (Quelle: BG-Graspointner GmbH)

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik	
Heizung	Zentrale Wärmeversorgung durch 2 Sole/Wasser-Wärmepumpen (Tiefensonden) mit 75 kW für NT und 90 kW für HT samt NT-Pufferspeicher (2.000 Liter), 2x HT-Pufferspeicher (je 5.000 Liter seriell) Solarthermie-Anlage (350 m ² Flachkollektoren)
Brauch-Warmwasser	Gebäudezentrale WW-Bereitung mit 300 Liter Speicher
Kühlung	Passive Kühlung über Tiefensonden

Wärmeabgabe	Bauteilaktivierung und Fußbodenheizung in Neubau Deckenstrahlplatten im Bestand
Kälteabgabe	Bauteilaktivierung
Lüftungstechnik	keine raumluftechnische Anlage
Elektrische Energie	Öffentliches Netz, 556 kWp PV-Anlage, Eigenstromnutzung für Haustechnik und Überschuss-Einspeisung

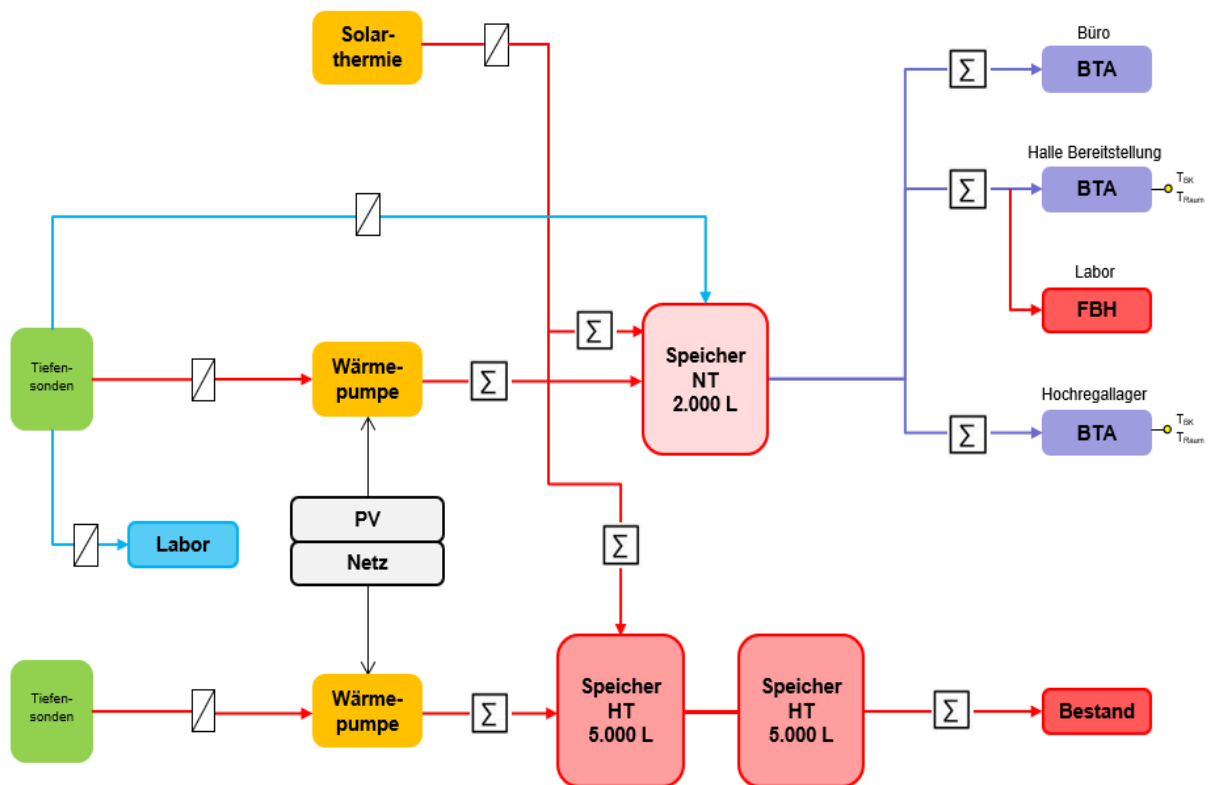


Abbildung 104: Prinzipschema BG-Graspointner GmbH, Gebäudetechnik (AEE INTEC)

8.6.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: 8. Dez. 2024 – 28. Sept. 2025

Gebäudeflächen lt. Energieausweis				
Brutto-Grundfläche (BGF)		4.000 m² _{BGF}		
Bezugsfläche (BF)		3.200 m² _{BF}		
KPI's der thermischen Bauteilaktivierung				
Speicherkapazität	BTA Decke Büro		160 kWh/K (29 %)	
	BTA Boden Halle & Lager		400 kWh/K (71 %)	
	BTA gesamt		560 kWh/K = 0,14 kWh/K m² _{BGF}	
	Derzeit keine aktive Nutzung der Speicherfähigkeit der BTA.			
Deckungsgrad lokaler Energieträger	NT Sole/Wasser-Wärmepumpe HT Sole/Wasser-Wärmepumpe Solarthermie-Anlage			
Gesamtgebäude: Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast*	208 kW	65 W/m² _{BF}	
	Installierte Heizleistung	165 kW	52 W/m² _{BF}	
	Gemessene max. Heizleistung	147 kW	46 W/m² _{BF}	
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Decke Büros	Bodenplatte Halle	Bodenplatte Hochregal
	Aktivierte Fläche	800 m² _{akt.}	980 m² _{akt.}	1.422 m² _{akt.}
	Max. Heizleistung	ca. 26 kW	ca. 27 kW	ca. 47 kW
	Max. spezifische Heizleistung	ca. 33 W/m² _{akt.}	ca. 28 W/m² _{akt.}	ca. 33 W/m² _{akt.}
	Vorlauftemp. Heizen	25,9-42,8 °C	25,2-40,8 °C	26,6-41,9 °C
	Spreizung bei max. Heizleistung	8,7 K	8,5 K	7,1 K
	Max. Kühlleistung	ca. 15 kW	ca. 14 kW	ca. 8 kW
	Max. spezifische Kühlleistung	ca. 19 W/m² _{akt.}	ca. 14 W/m² _{akt.}	ca. 6 W/m² _{akt.}
	Vorlauftemp. Kühlen	16,9-21,4 °C	16,9-22,8 °C	17,1-21,1 °C
	Spreizung bei max. Kühlleistung	3,4 K	2,9 K	3,8 K
Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts				
Heizenergieverbrauch (nur für Raumwärme, exkl. Warmwasserbereitung, Produktion, Speicher- und Verteilverluste)		47,0 kWh/m² _{BGF} a		
Kühlenergieverbrauch		16,1 kWh/m² _{BGF} a		

*Ermittlung über die im Energieausweis angeführten Leitwerte für Transmission und Lüftung und einem Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen von 33 K.

8.6.3 Nachfragestruktur Wärme

In Abbildung 105 ist die Monatsbilanz der Wärmeverbräuche für den Bestand sowie für die einzelnen Bauteilaktivierungssysteme im Neubau dargestellt. In Abbildung 106 ist zudem die prozentuelle Aufteilung des Wärmeverbrauchs für die gesamte Monitoringperiode abgebildet. Generell werden hier die auf der Nutzerseite gemessenen Verbrauchswerte diskutiert, etwaige Erzeugungs-, Verteil- oder Speicherverluste sind daher nicht berücksichtigt.

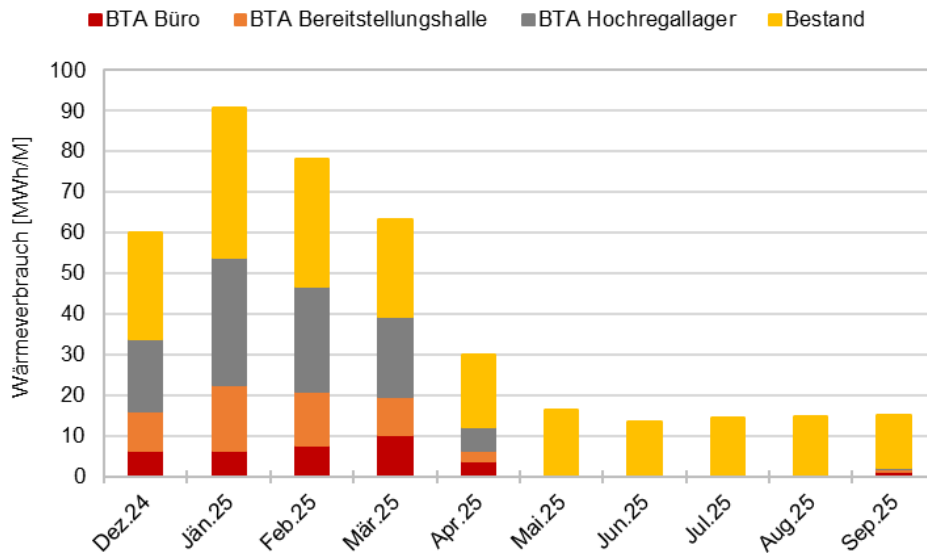


Abbildung 105: Monatsbilanz Wärmeverbrauch (Quelle: AEE INTEC)

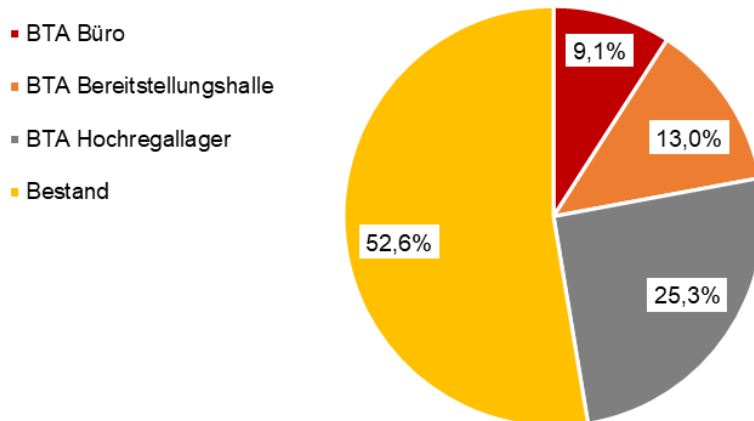


Abbildung 106: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: AEE INTEC)

Während des Betrachtungszeitraums entfällt der größte Anteil des gemessenen Wärmeverbrauchs auf die Versorgung des Bestandes, der primär über die Hochtemperatur-Wärmepumpe versorgt wird. Konkret wurde am zugehörigen Wärmemengenzähler ein Gesamtverbrauch von 208,9 MWh erfasst. Es ist davon auszugehen, dass ein wesentlicher Teil dieses Verbrauchs der hauseigenen Produktion zuzurechnen ist und nicht primär der Raumwärmebereitstellung dient. Der Fokus der weiteren

Auswertungen liegt jedoch auf der Wärmeübertragung über die aktivierten Bauteile im Neubau. Daher ist in Abbildung 107 nochmals die Aufteilung des Wärmeverbrauchs, nun exkl. des Bestandes, also ausschließlich für die Bauteilaktivierungssysteme dargestellt.

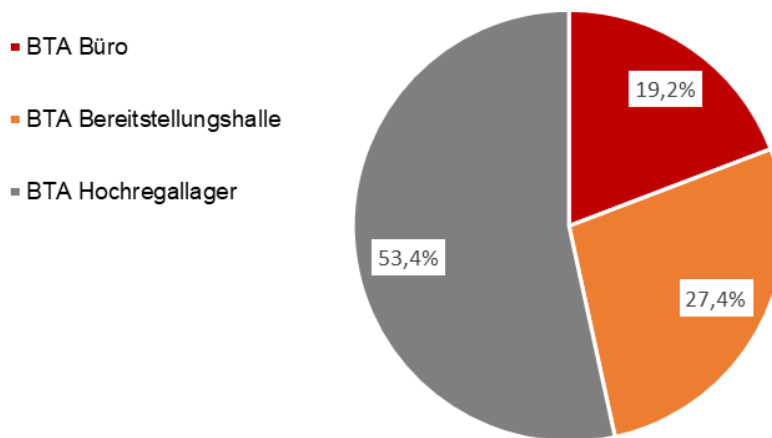


Abbildung 107: Aufteilung der Wärmeverbräuche nach BTA-Systemen (Quelle: AEE INTEC)

Der größte Anteil der übertragenen Wärme entfällt auf die aktivierte Bodenplatte: Für das Hochregallager wurden 100,5 MWh, für die Bereitstellungshalle 51,5 MWh gemessen. Weitere 36,1 MWh wurden über die aktivierte Decke des Bürotrakts bereitgestellt. Das entspricht in Summe einem spezifischen Heizenergieverbrauch von 47,0 kWh/m²_{BGF} a. Zu berücksichtigen ist, dass keine vollständige Heizperiode vorliegt und lediglich 10 Monate an Messdaten in die Auswertung eingeflossen sind.

Die Heizperiode lief bis zum 17. April 2025. Ab diesem Zeitpunkt wurde die Anlagentechnik im Kühlmodus betrieben. Am 25. September 2025 wurde wieder auf den Heizmodus umgestellt. In Abbildung 108 sind die Monatsmitteltemperaturen im Niedertemperatur-Pufferspeicher auf 4 verschiedenen Höhen dargestellt.

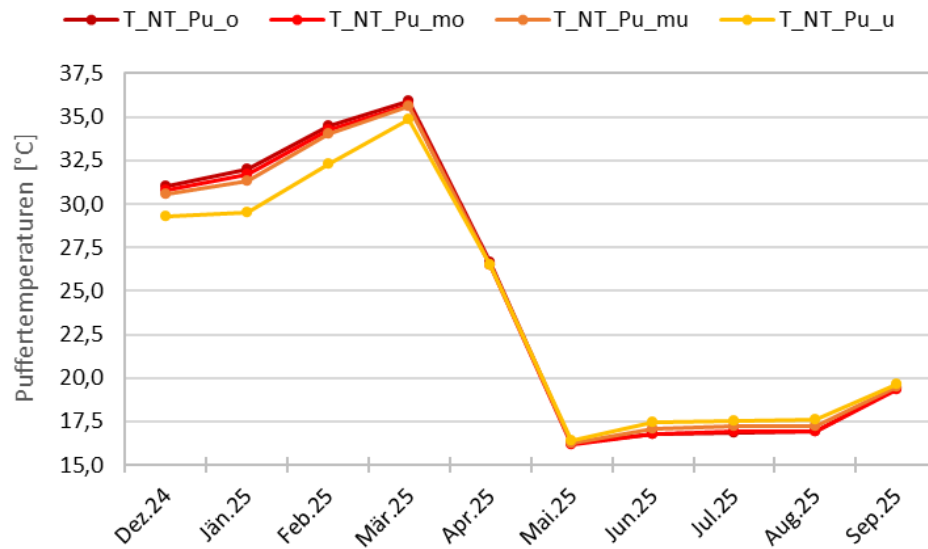


Abbildung 108: monatliche Mittelwerte der Temperaturen im NT-Pufferspeicher (Quelle: AEE INTEC)

In der Heizperiode wird der Speicher im Schnitt auf einem Temperaturniveau von etwa 30 bis 35 °C gehalten. Anhand des Kurvenverlaufs ist das Umschalten in den Kühlbetrieb ersichtlich. Der NT-Speicher dient in der Kühlperiode als hydraulische Weiche für den passiven Kühlbetrieb über die Bauteilaktivierung. In Abbildung 109 sind zusätzlich die Temperaturen in den seriell verschalteten Hochtemperatur-Speichern zur Versorgung des Bestandes dargestellt.

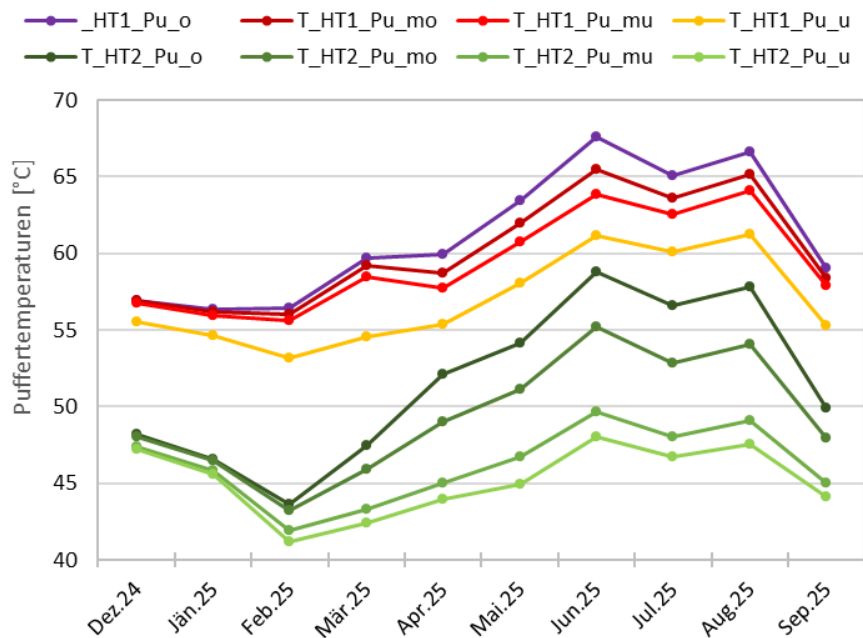


Abbildung 109: monatliche Mittelwerte der Temperaturen in den HT-Pufferspeichern (Quelle: AEE INTEC)

Im beobachteten Zeitraum liegen die durchschnittlichen Speichertemperaturen im ersten Puffer bei etwa 55 bis 67 °C und im zweiten bei ca. 42 bis 59 °C. Die Mittelwerte zeigen eine ausgeprägte Temperaturschichtung über die Speicherhöhen. Diese Schichtung ermöglicht eine stabile hydraulische Betriebsweise und unterstützt dabei auch die effiziente Nutzung der Solarthermie, da niedrigere Temperaturniveaus im unteren Speicherbereich in Verbindung mit der beobachteten Betriebsweise für eine höhere solare Ertragsfähigkeit sorgen.

Wärmeabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Da für den Bürotrakt weder Raumlufttemperaturen noch Bauteiltemperaturen der aktivierten Decke vorliegend sind, konzentrieren sich die folgenden Betrachtungen ausschließlich auf die Wärmeübertragung über die aktivierte Bodenplatte im Bereich der Bereitstellungshalle und des Hochregallagers. Für diese beiden Zonen liegen vollständige Messreihen aus der Heizperiode vor. Nachfolgende Diagramme zeigen in diesem Zusammenhang die Bauteiltemperaturen aus der Heizperiode verglichen mit den entsprechenden Raumlufttemperaturen. Konkret wird in Abbildung 120 die Bereitstellungshalle betrachtet und in Abbildung 119 das Hochregallager.

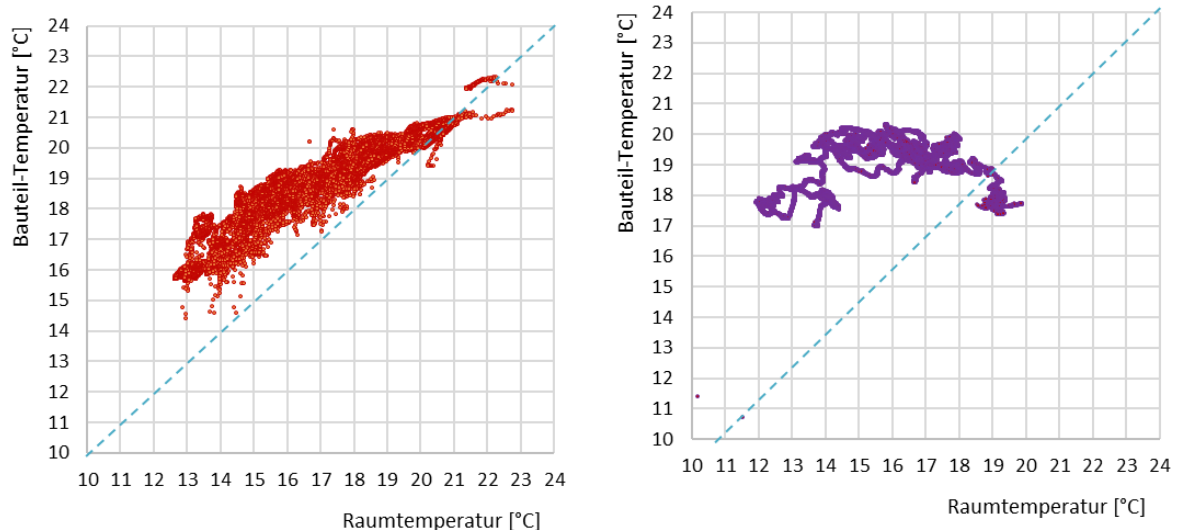


Abbildung 111: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für die Bereitstellungshalle in der Heizperiode (Quelle: AEE INTEC)

Abbildung 110: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das Hochregallager in der Heizperiode (Quelle: AEE INTEC)

In der Bereitstellungshalle liegt die Temperatur der aktivierten Bodenplatte während der Heizperiode im Mittel um 2,2 K über der jeweiligen Raumtemperatur. Die minimale beziehungsweise maximale Abweichung beträgt –1,6 K bzw. +4,4 K. Aus dem Punktwolkenverlauf ist erkennbar, dass die Temperaturdifferenz bei niedrigeren Raumtemperaturen – und damit in Zeiten höherer Heizlasten – größer ausfällt, während sich Bauteil- und Raumtemperatur bei höheren Raumtemperaturen zunehmend annähern. Ein vergleichbares Verhalten zeigt sich im Hochregallager. Auch hier bewegen sich die Bauteiltemperaturen überwiegend oberhalb der Raumtemperatur. Die mittlere Differenz beträgt 3,6 K, die minimalen und maximalen Abweichungen liegen bei –2,2 K bzw. +6,0 K. Insgesamt zeigt sich damit in beiden Bereichen ein ähnlicher Temperaturzusammenhang zwischen Raumluft und aktivierter Bodenplatte über die gesamte Heizperiode. Aus den beschriebenen Zusammenhängen lässt sich ableiten, dass die Bauteilaktivierung funktionsfähig ist und die Wärmeübertragung in die versorgten Räumlichkeiten wie vorgesehen erfolgt. Eine komforttechnische Bewertung bzw. nähere Analyse der Temperaturverhältnisse im Innenraum erfolgt in Kapitel 8.6.5.

Für den Heizbetrieb konnten folgende KPIs für die einzelnen BTA-Systeme bestimmt werden:

KPI	Decke Büros	Bodenplatte Halle	Bodenplatte Lager
Aktivierte Fläche	800 m ²	980 m ²	1.422 m ²
Max. Heizleistung	ca. 26 kW	ca. 27 kW	ca. 47 kW
Max. spezifische Heizleistung	ca. 33 W/m ² _{akt}	ca. 28 W/m ² _{akt}	ca. 33 W/m ² _{akt}
Vorlauftemperatur Heizen	25,9-42,8 °C	25,2-40,8 °C	26,6-41,9 °C
Spreizung bei max. Heizleistung	8,7 K	8,5 K	7,1 K

Es gilt anzumerken, dass die angegebenen Vorlauftemperaturen jeweils vor den hydraulischen Beimischventilen gemessen wurden. Daher ist davon auszugehen, dass die tatsächlich in die Bauteilaktivierung eingebrachten Versorgungstemperaturen und in weiterer Folge auch die wirksamen Temperaturspreizungen im realen Betrieb entsprechend geringer ausfallen. Die hier dargestellten Werte bilden somit die oberen Grenzen der temperaturseitigen Systembedingungen ab.

8.6.4 Nachfragestruktur Kälte

Die Kältebereitstellung erfolgt über die Tiefensonden. Die Anlage wurde von 18. April bis 24. September 2025 durchgehend im Kühlmodus betrieben. In Abbildung 112/Abbildung 67 ist die Monatsbilanz der Kälteverbräuche aufgeteilt nach Abgabesystemen dargestellt. In Abbildung 113 ist zudem die prozentuelle Aufteilung des Kälteverbrauchs für die gesamte Monitoringperiode abgebildet.

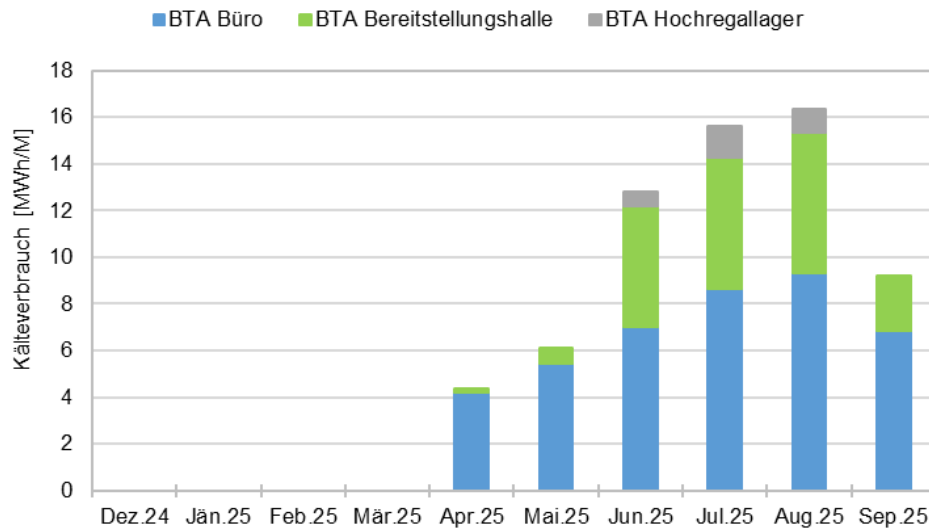


Abbildung 112: Monatsbilanz Kälteverbrauch (Quelle: AEE INTEC)

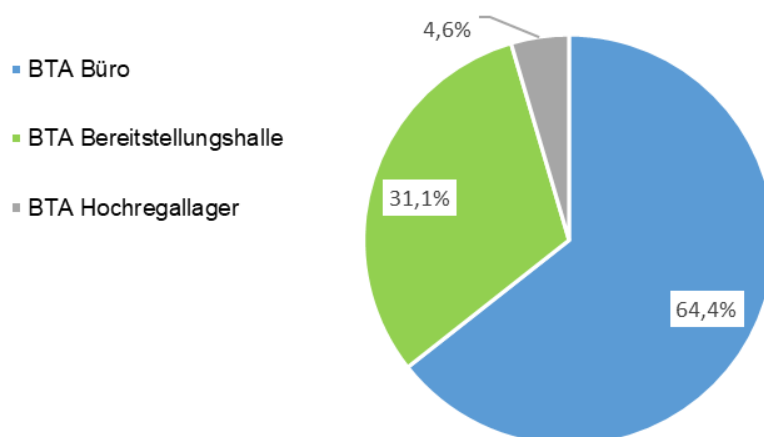


Abbildung 113: Aufteilung der Kälteverbraucher (Quelle: AEE INTEC)

Es zeigt sich, dass während der Monitoringperiode ein Großteil der Wärmeabfuhr aus den Räumlichkeiten über die aktivierte Decke im Bürotrakt erfolgt ist. Konkret wurde hier ein Kühlenergieverbrauch von 41,5 MWh gemessen. Zusammen mit Kälteverbräuchen in der Bereitstellungshalle von 20,0 MWh und im Hochregallager von 2,9 MWh ergibt sich in Summe ein spezifischer Kühlenergieverbrauch von 16,1 kWh/m²_{BGF} a.

Kälteabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Nachfolgende Diagramme zeigen die Bauteiltemperaturen aus der Kühlperiode verglichen mit den entsprechenden Raumlufttemperaturen. Konkret wird in Abbildung 124 wiederum die Bereitstellungshalle betrachtet und in Abbildung 123 das Hochregallager.

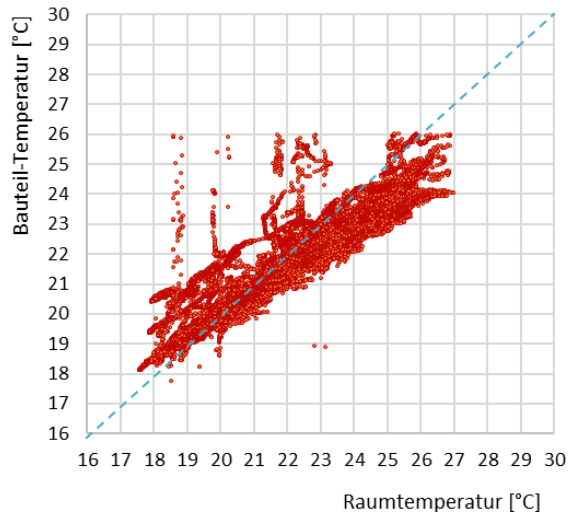


Abbildung 115: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für die Bereitstellungshalle in der Kühlperiode (Quelle: AEE INTEC)

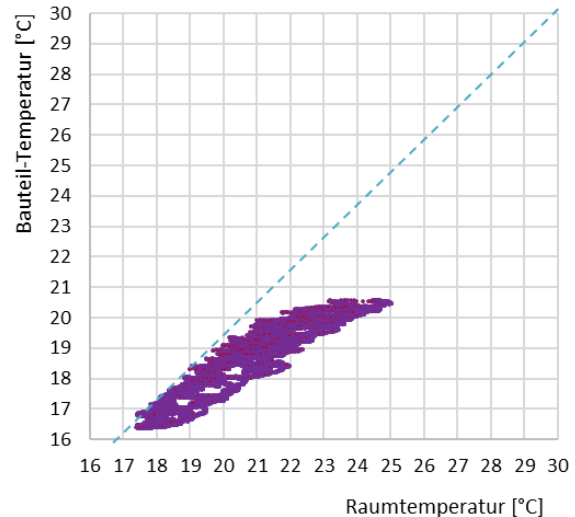


Abbildung 114: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das Hochregallager in der Kühlperiode (Quelle: AEE INTEC)

Bei der Bereitstellungshalle liegen die durchschnittlichen Bauteiltemperaturen während der Kühlperiode mit 21,6 °C etwa 0,3 K unter der mittleren Raumtemperatur von 21,9 °C. Trotz dieser geringen Differenz belegen die Messdaten – insbesondere die durchschnittliche Spreizung zwischen Vorlauf (17,33 °C) und Rücklauf (19,69 °C) von 2,36 K bei der Versorgung der Bauteilaktivierung – eine kontinuierliche Wärmeabfuhr und damit einen effektiven Betrieb der passiven Kühlung. Das Bauteilaktivierungssystem wirkt aufgrund seiner hohen thermischen Trägheit weniger als klassische Kühleinheit, sondern vielmehr als thermischer Puffer, der überschüssige Wärme speichert und zeitversetzt abführt, ohne die Oberflächen deutlich unter die Raumlufttemperatur zu senken. Aufgrund des moderaten Temperaturniveaus der passiven Kühlung ist das Risiko einer Taupunktunterschreitung und damit einer Kondensation sehr gering. Im Hochregallager liegt die mittlere Raumtemperatur im selben Zeitraum bei 20,8 °C und damit etwas unter jener der Bereitstellungshalle. Die Bauteiltemperatur beträgt im Mittel 18,6 °C, also 2,2 K darunter. Diese stärkere Differenz ist jedoch nicht auf eine höhere Kühlleistung zurückzuführen, wie unter anderem auch aus Abbildung 112 hervorgeht, sondern auf die geringeren inneren Lasten des Hochregallagers.

Für den Kühlbetrieb konnten folgende KPIs für die Bauteilaktivierungs-Systeme bestimmt werden:

KPI	Decke Büros	Bodenplatte Halle	Bodenplatte Lager
Aktivierte Fläche	800 m ²	980 m ²	1.422 m ²
Max. Kühlleistung	ca. 15 kW	ca. 14 kW	ca. 8 kW
Max. spezifische Kühlleistung	ca. 19 W/m ² _{akt.}	ca. 14 W/m ² _{akt.}	ca. 6 W/m ² _{akt.}
Vorlauftemp. Kühlen	16,9-21,4 °C	16,9-22,8 °C	17,1-21,1 °C
Spreizung bei max. Kühlleistung	3,4 K	2,9 K	3,8 K

8.6.5 Raumkomfort-Monitoring

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

Im Rahmen des kontinuierlichen Raumkomfort-Monitorings wurden die erfassten Bauteiltemperaturen zunächst den jeweiligen Außentemperaturen gegenübergestellt. Abbildung 116 zeigt hierzu die Tagesmittelwerte für die Bereitstellungshalle und das Hochregallager.

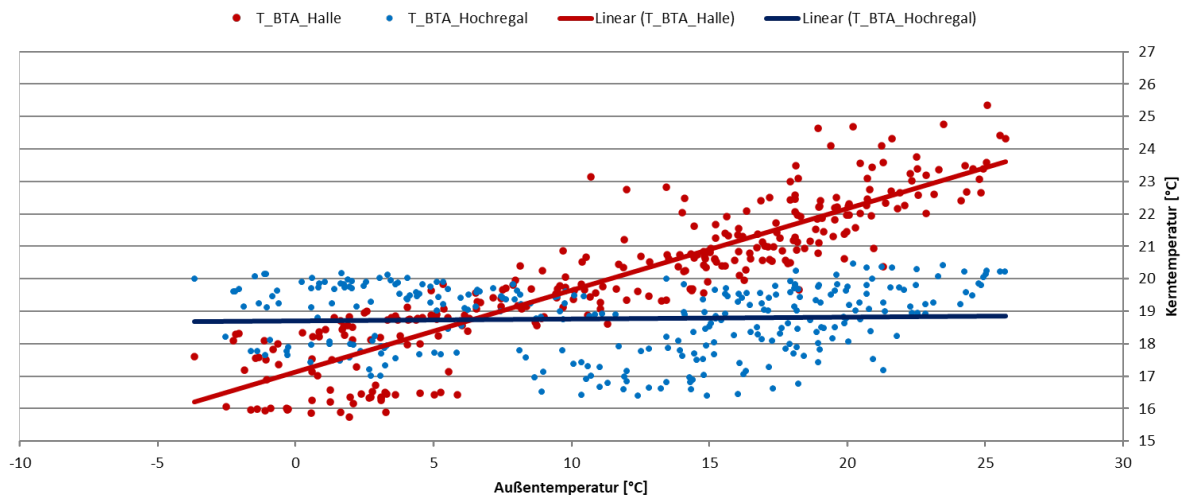


Abbildung 116: Bauteiltemperatur im Vergleich zur Außentemperatur (Quelle: AEE INTEC)

Im Hochregallager bleiben die Bauteiltemperaturen über den gesamten Außentemperaturbereich hinweg vergleichsweise konstant. Sie zeigen kaum Abhängigkeit von der Außentemperatur, was in erster Linie auf die geringen internen Lasten in diesem Bereich zurückzuführen ist. In der Bereitstellungshalle hingegen ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen Außen- und Bauteiltemperaturen erkennbar. Mit zunehmender Außentemperatur steigen auch die Bauteiltemperaturen an. Dies ist auf die höheren internen Lasten (z. B. Personen, Geräte, Torbewegungen, solare Gewinne) sowie das dynamischere thermische Verhalten der Halle zurückzuführen.

Nachfolgend wurden die Raumlufthemperaturen der Halle und des Lagers analysiert. Auf eine Behaglichkeitsbewertung für den Bürotrakt muss aufgrund fehlender Sensorik verzichtet werden. In Abbildung 117 ist der zeitliche Verlauf der Raumlufthemperatur in der Bereitstellungshalle und in Abbildung 118 im Hochregallager über die gesamte Monitoringperiode dargestellt. Die farblich hinterlegten Bereiche kennzeichnen die für industrielle Hallen üblichen Temperaturzonen gemäß den arbeitsstättenbezogenen Richtlinien: Winterkategorien (links und rechts) mit abgestuften Temperaturbereichen von Kategorie I bis Kategorie IV sowie entsprechende Sommerkategorien im zentralen Jahresbereich. Die aufgezeichneten Punkte zeigen die gemessenen Raumlufthemperaturen als Stundenmittelwerte.

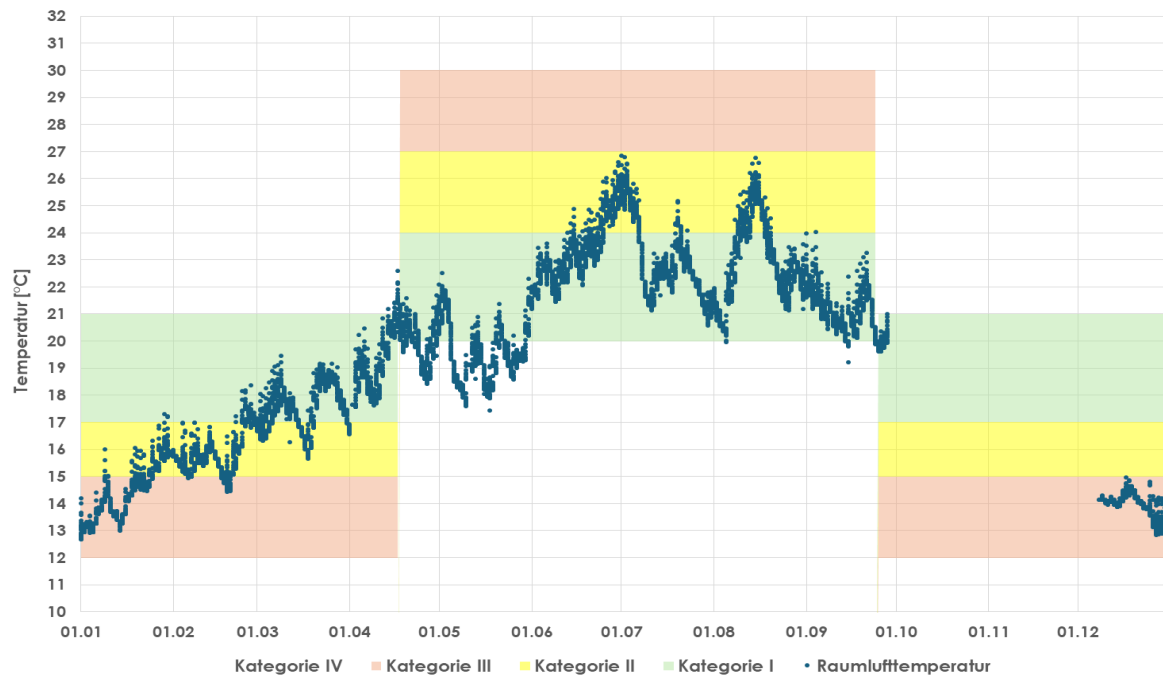


Abbildung 117: Raumlufttemperatur Bereitstellungshalle samt Behaglichkeitskategorien (Quelle: AEE INTEC)

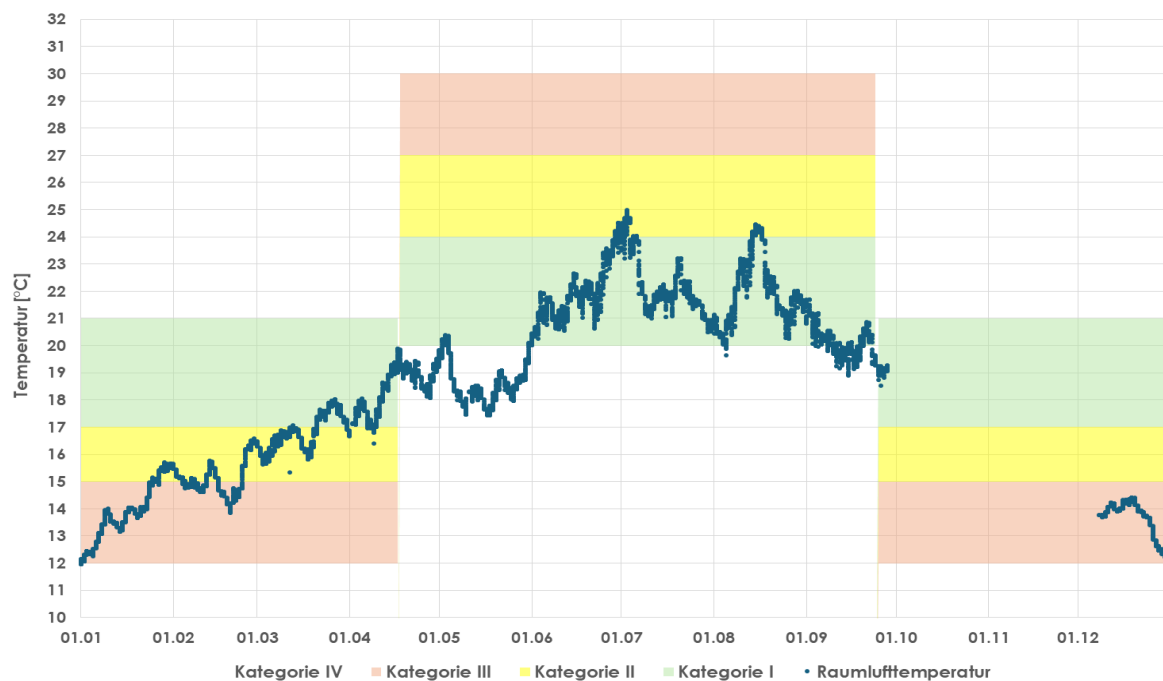


Abbildung 118: Raumlufttemperatur Hochregallager samt Behaglichkeitskategorien (Quelle: AEE INTEC)

Die Darstellungen zeigen, dass die gemessenen Raumtemperaturen einen ähnlichen Verlauf aufweisen und während der gesamten Monitoringperiode innerhalb der für Hallenarbeitsplätze zulässigen Bereiche liegen, wenngleich sich die Temperaturen in der Heizperiode im Grenzbereich bewegen. Eine Bewertung auf Basis von Komfortnormen (z.B. EN 16798-1) ist aufgrund der Nutzungsart nicht möglich. Anhand der sommerlichen Temperaturen sind die höheren inneren Lasten in der Bereitstellungshalle wieder gut zu erkennen.

Operative Temperaturen

An dieser Stelle ist der Unterschied zwischen operativer Temperatur und Lufttemperatur hervorzuheben. Die operative Temperatur (gefühlte Temperatur, Empfindungstemperatur) berücksichtigt neben der Lufttemperatur auch die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen und ist der Hauptfaktor der thermischen Behaglichkeit. Bei einer Flächenheizung liegt die mittlere Strahlungstemperatur im Heizbetrieb in der Regel über und im Kühlbetrieb unter der Lufttemperatur. Dementsprechend würden sich die beiden zuvor dargestellten Temperaturverläufe im Winter etwas nach oben und im Sommer etwas nach unten verschieben.

In diesem Zusammenhang wurden in der Bereitstellungshalle mit Hilfe von Messungen der Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen quartalsweise die operativen Temperaturen bestimmt, dargestellt in Abbildung 119.

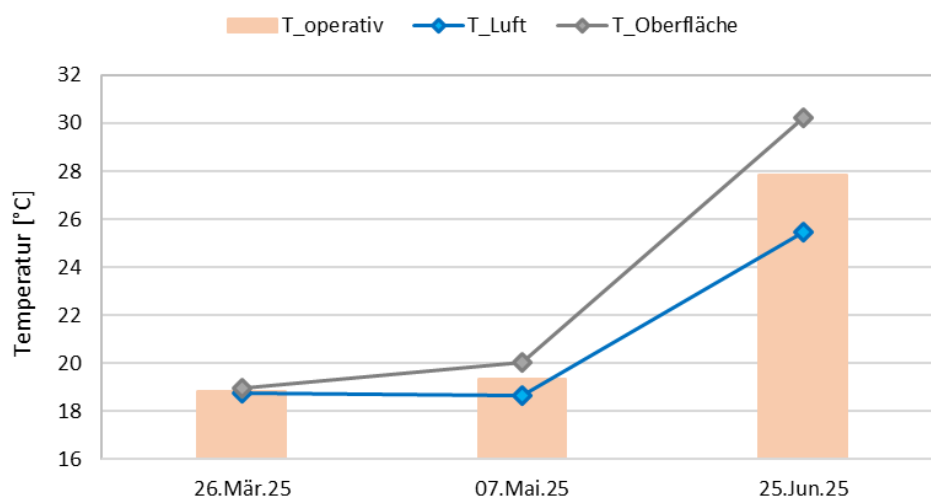


Abbildung 119: Lufttemperaturen, Oberflächentemperaturen und operative Temperaturen für die Bereitstellungshalle (Quelle: AEE INTEC)

Bei der im März durchgeführten Spotmessung während der Heizperiode liegt die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen um 0,2 K höher als die Raumlufttemperatur, wodurch auch die operative Temperatur 0,1 K über der Lufttemperatur liegt. Die sehr geringe Differenz erklärt sich durch die moderaten Systemtemperaturen am Ende der Heizperiode und die bereits höheren Außentemperaturen.

Ein anderes Bild zeigen die beiden Messungen aus der Kühlperiode. Aufgrund der vergleichsweise hohen Oberflächentemperaturen liegt die operative Temperatur über den jeweiligen Lufttemperaturen. Konkret liegt sie im Mai um 0,7 K und im Juni sogar um 2,4 K höher als die Raumtemperatur. Als plausible Ursache kommen vor allem interne Lasten in Betracht, da beide Messungen am frühen Nachmittag durchgeführt wurden und am 25. Juni zudem eine Außentemperatur von 32 °C herrschte. Die erhöhten Strahlungstemperaturen lassen in Verbindung mit den Lufttemperaturen aus Abbildung 117 darauf schließen, dass es in der Bereitstellungshalle bei intensiver Sonneneinstrahlung zu zeitweisen Überhitzungen kommen kann. Zur Vermeidung solcher Situationen sind Maßnahmen wie eine wirksame Verschattung oder eine vorgelagerte Absenkung der Bauteiltemperaturen über die Bauteilaktivierung (Vortemperierung) sinnvoll.

8.7 Gugler Holding GmbH, OÖ

Bauteilaktivierung: Bodenplatte und Decken (Ortbeton)		
Objektnutzung: Bürogebäude und Lager	Standort: Gewerbepark 41, 4101 Feldkirchen an der Donau	Fertigstellung: 2019

8.7.1 Objektbeschreibung

Das Gebäude wurde als neue Geschäftszentrale errichtet. Konkret handelt es sich um einen zweigeschossigen Baukörper mit Büronutzung. Im Obergeschoss befindet sich ein Innenhof. An der Westseite des Baukörpers ist eine Lager- bzw. Betriebshalle angebaut. Eine zentrale Wasser-Wasser-Wärmepumpe wird gemeinsam mit einer PV-Anlage am Dach zur Deckung des lokalen Energiebedarfs genutzt. Die Bauteilaktivierung im Objekt ist in der Halle im Boden für den Heizbetrieb und im Bürogebäude in den Decken für Heiz- und Kühlbetrieb realisiert. Die BTA wird gemeinsam mit der Lüftungsanlage und Heiz- bzw. Kühlregistern zur ganzjährigen Konditionierung des Objekts verwendet.

Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	3.015 m ² (1.845 m ² Büro, 1.170 m ² Lager) FIN – Kuster Energielösungen GmbH Architekturbüro Arkade ZT GmbH	Eigentümer: GUGLER Holding GmbH
HKLS-Planung		Name: Gerhard Gugler
Architektur		Web: https://www.gugler.com/

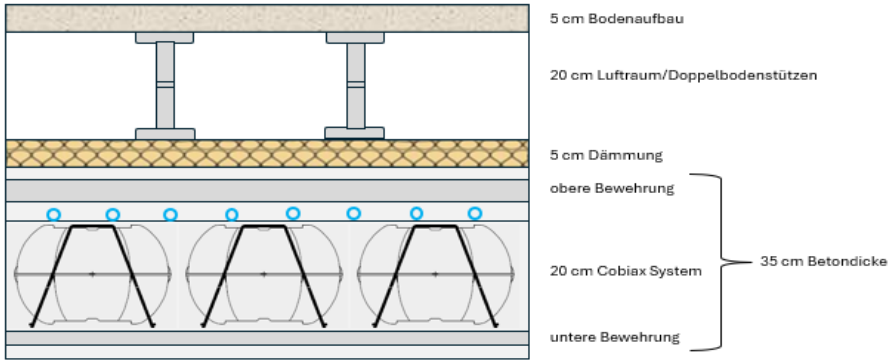
Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- schwere Bauweise bei Bürogebäude mit A/V-Verhältnis von 0,40 [1/m] und charakteristischer Länge von 2,53 [m]
- leichte Bauweise bei verbundener Halle, $A/V = 0,30$ [1/m], charakteristische Länge = 3,38 [m]
- Außenwände bestehen bei angebauter Halle vorwiegend aus Fassadendämmpaneelen mit 12 cm Stärke (Sandwichpaneele mit PUR-Hartschaum)
- Außenwände im Bürogebäude bestehen größtenteils aus denselben Paneelen, kombiniert mit einer innenliegenden gedämmten Vorsatzschale (10 cm Mineralwolle)
- Zwischenwand der beiden Gebäudeteile besteht aus 25 cm dickem Stahlbeton
- Außenwand im DG besteht aus Stahlbeton mit 25 cm VWS
- große Teile der Außenhülle sind Fensterbänder, welche über die gesamte Gebäudehöhe vertikal verlaufen (emailierte Fenster)
- innenliegende Jalousien bei den Fenstern
- aktivierter Bauteil im Bürogebäude ist eine Cobiax-Decke (ausgeführt als Zwischendecke und oberste Geschossdecke)

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde im Bürogebäude in den Decken und in der Halle in der Bodenplatte mit einer aktivierten Gesamtfläche von 3.000 m² ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Bodenplatte Halle	
Einsatz	Heizung
Aktivierte Fläche	Bodenplatte Halle
Aktiviertes Material	Ortbeton
Verlegungsart	16 mm Kunststoffrohre
Regelung	Raumthermostat-Zonenregelung mit Zeitsteuerung Auslegungstemperaturen: Heizen 35/30 °C
Kennzahlen	Abgabeleistung: Heizen 32 kW

Aktivierte Bauteile: Decken Bürogebäude	
Einsatz	Heizung und Kühlung
Aktivierte Fläche	Decken der Büroräume
Aktiviertes Material	Ortbeton, abgehängte Decke Cobiax-Decke: Betondecke mit Luftpolstern bzw. Hohlkörpern im Inneren, Gewicht und Ressourcen können so eingespart werden
Verlegungsart	16 mm Kunststoffrohre
Regelung	Raumthermostat-Zonenregelung mit Zeitsteuerung Auslegungstemperaturen: Heizen 35/30 °C, Kühlen 18/20 °C
Kennzahlen	Abgabeleistung: Heizen 88 kW, Kühlen 55 kW
 Abbildung 120: Schnittdarstellung Cobiax-Decke (AEE INTEC)	

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik	
Heizung	Zentrale Wärmeversorgung durch Wasser/Wasser-Wärmepumpe (160 kW) mit Pufferspeicher (3.000 Liter)
Brauch-Warmwasser	Dezentrale Brauchwasserbereitung durch Stromheizung mit Kleinspeicher
Kühlung	Grundwasser-Nutzung zur Kühlung der Bauteilaktivierung und Betrieb von Kühlregister im Sommer
Wärmeabgabe	Bauteilaktivierung (120 kW) Heizregister Lüftungsanlagen (32,3 kW)
Kälteabgabe	Bauteilaktivierung (55 kW) Bei den Lüftungsanlagen erfolgt Zuluft-Konditionierung durch Kühlregister (Brunnenwasser-Kühlung, Auslegungstemperatur 12/18°C, 49,6 kW)
Lüftungstechnik	Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung sowie Heiz- und Kühlregister (5.757 m³/h)
Elektrische Energie	Öffentliches Netz, 87 kWp PV-Anlage (Ost/West-Ausrichtung, Neigungswinkel von 8°), Eigenstromnutzung für Haustechnik und Überschuss-Einspeisung

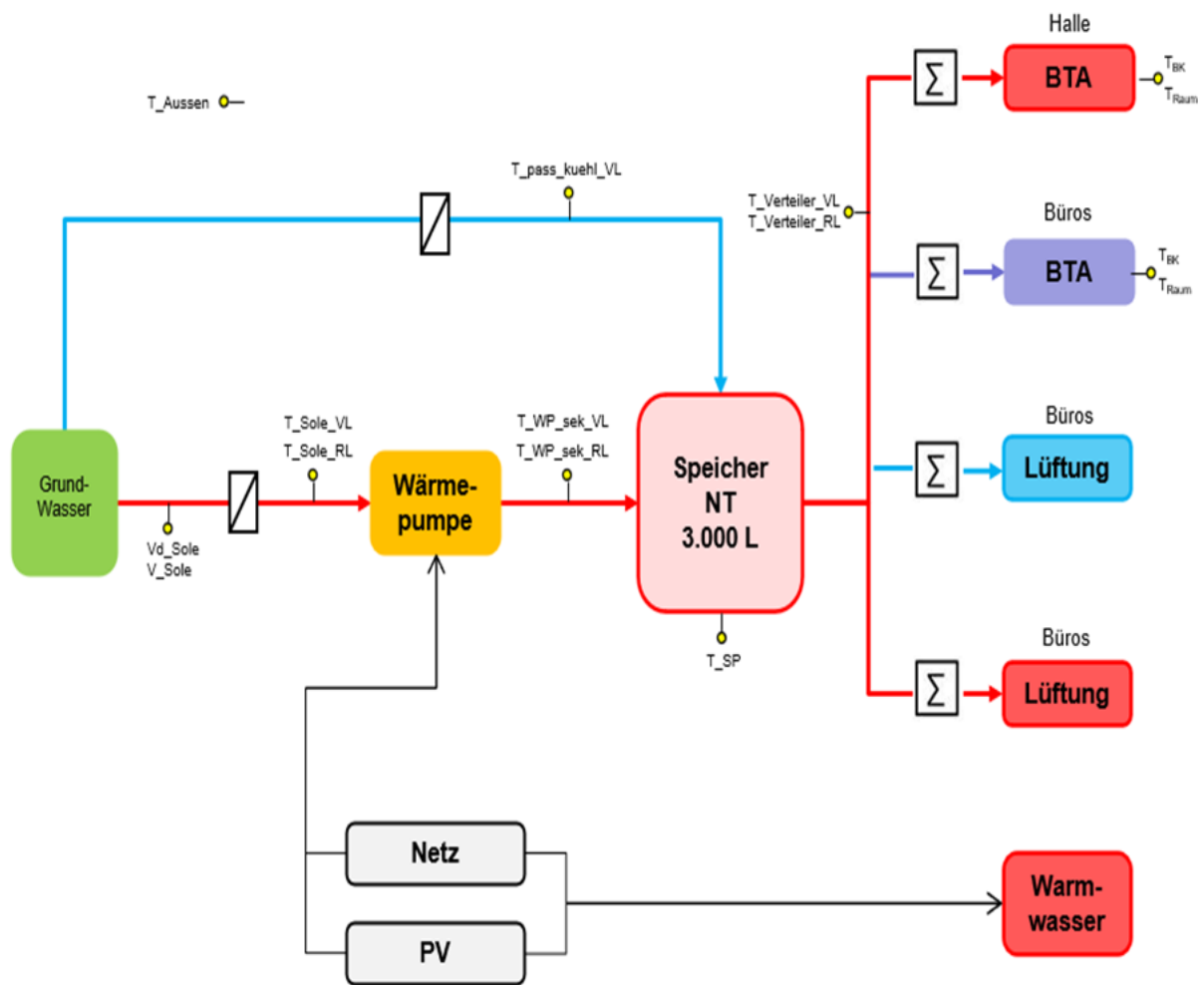


Abbildung 121: Prinzipschema Gugler Holding GmbH, Gebäudetechnik (AEE INTEC)

8.7.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: 1. Nov. 2023 – 31.Okt. 2024

Gebäudeflächen lt. Energieausweis	
Brutto-Grundfläche (BGF)	3.015 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	2.412 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung			
Speicherkapazität	Cobix-Decken Bürogebäude	338 kWh/K (59 %)	
	<u>Bodenplatte Halle</u>	<u>234 kWh/K (41 %)</u>	
	BTA gesamt	572 kWh/K = 0,19 kWh/K m² _{BGF}	
	Derzeit keine aktive Nutzung der Speicherfähigkeit der BTA.		
Deckungsgrad lokaler Energieträger	Heizung mittels Wasser/Wasser-Wärmepumpe		
Gesamtgebäude: Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast*	208 kW	86 W/m² _{BF}
	Installierte Heizleistung	160 kW	66 W/m² _{BF}
	Gemessene max. Heizleistung	66 kW	27 W/m² _{BF}
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Cobix-Decken	Bodenplatte Halle
	Aktivierte Fläche	ca. 1.800 m² _{akt.}	ca. 1.200 m² _{akt.}
	Max. Heizleistung	ca. 53 kW	ca. 25 kW
	Max. spezifische Heizleistung	ca. 29 W/m² _{akt.}	ca. 21 W/m² _{akt.}
	Vorlauftemp. Heizen	23,9-32,8 °C	20,0-30,2 °C
	Spreizung bei max. Heizleistung	5,2 K	4,0 K
	Max. Kühlleistung	ca. 24 kW	
	Max. spezifische Kühlleistung	ca. 13 W/m² _{akt.}	
	Vorlauftemp. Kühlen	17,6-18,3 °C	
	Spreizung bei max. Kühlleistung	2,7 K	

Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (nur für Raumwärme, exkl. Warmwasserbereitung, Speicher- und Verteilverluste)	29,1 kWh/m ² _{BGF} a
Kühlenergieverbrauch	17,3 kWh/m ² _{BGF} a

*Ermittlung über die im Energieausweis angeführten Leitwerte für Transmission und Lüftung und einem Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen von 33 K.

8.7.3 Nachfragestruktur Wärme

In Abbildung 58 ist die Monatsbilanz der Wärmeverbräuche aufgeteilt nach Wärmeabgabesystemen dargestellt. In Abbildung 59 ist zudem die prozentuale Aufteilung des Wärmeverbrauchs für das gesamte Monitoringjahr abgebildet. Generell werden hier die auf der Nutzerseite gemessenen Verbrauchswerte diskutiert, etwaige Erzeugungs-, Verteil- oder Speicherverluste sind daher nicht berücksichtigt.

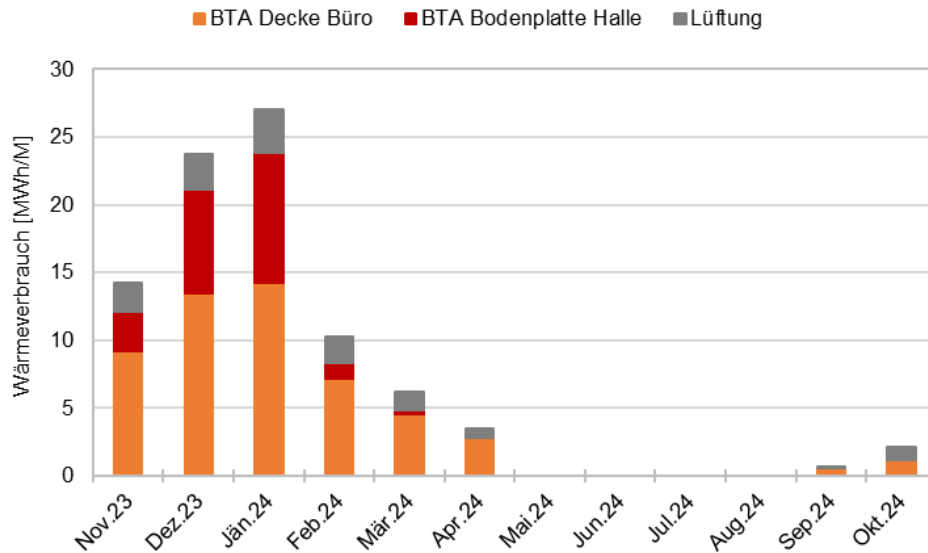


Abbildung 122: Monatsbilanz Wärmeverbrauch (Quelle: AEE INTEC)

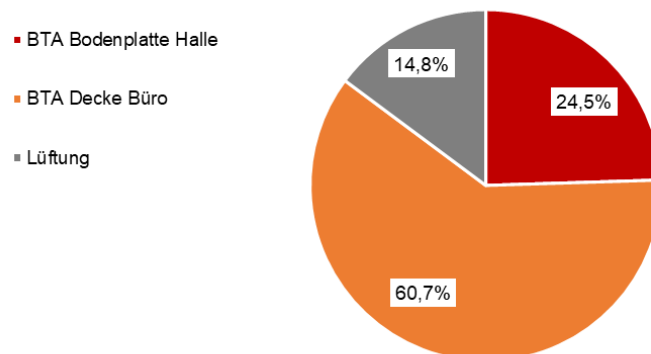


Abbildung 123: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: AEE INTEC)

Es zeigt sich, dass während der Monitoringperiode ein Großteil der Wärmeübertragung über die aktivierten Bauteile erfolgt ist. Konkret wurde über die aktivierte Cobiax-Decke im Bürogebäude ein Heizwärmeverbrauch von 53.204 kWh gemessen, über die aktivierte Bodenplatte in der angebauten

Halle von 21.515 kWh und über das Heizregister der Lüftungsanlage von 13.015 kWh. Das entspricht in Summe einem spezifischen Heizenergieverbrauch von 29,1 kWh/m²_{BGF} a.

Die Heizperiode lief bis zum 26. April 2024. Ab diesen Zeitpunkt wurde die Anlagentechnik im Kühlmodus betrieben. Am 18. September 2024 wurde wieder auf den Heizmodus umgestellt. Aufgrund fehlender Sensorik auf der Erzeugerseite kann keine Aussage über die Speicher- und Verteilverluste des Wärmesystems getroffen werden. Nichtsdestotrotz sind in Abbildung 60 die Monatsmitteltemperaturen im Pufferspeicher auf 4 verschiedenen Höhen dargestellt.

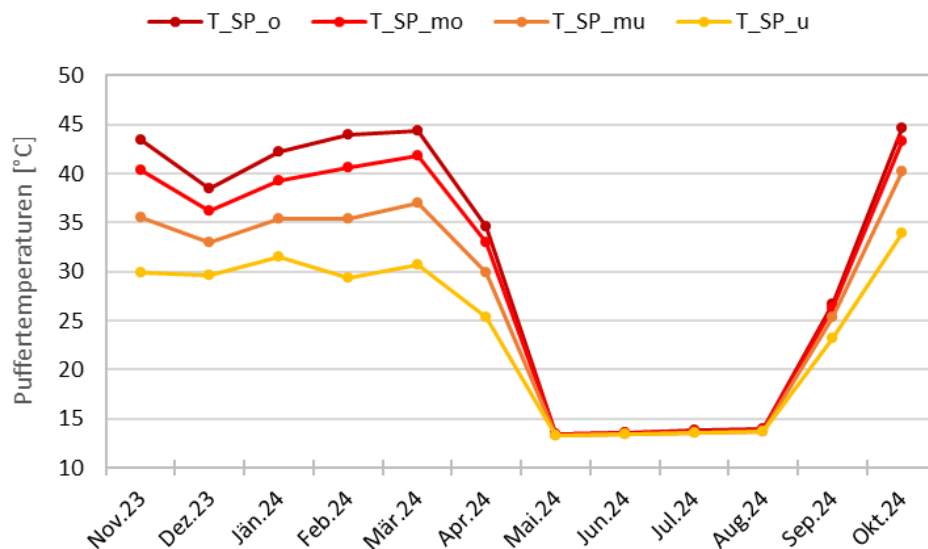


Abbildung 124: monatliche Mittelwerte der Speichertemperaturen (Quelle: AEE INTEC)

In der Heizperiode wird der Speicher im Schnitt auf ein Temperaturniveau von etwa 45 °C beladen. Es zeigt sich eine klare Temperaturschichtung im Speicher, was einen effizienten Betrieb der Energieversorgungsanlage mit unterschiedlichen Temperaturniveaus ermöglicht. In der Kühlperiode von Mai bis August 2024 wird im Speicher Kälte mit einer Mitteltemperatur von etwa 13,5 °C gespeichert.

Wärmeabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Die Wärmeabgabe der Raumwärme erfolgt neben der Lüftungsanlage durch zwei verschiedene Arten der Bauteilaktivierung – über die Cobiax-Decke im Bürogebäude und über die Bodenplatte in der Lagerhalle. Von den insgesamt 74.719 kWh, die über Bauteilaktivierung an Wärme in die Räumlichkeiten eingebracht wurden, entfallen 71 % auf die Cobiax-Decke und 29 % auf die Bodenplatte.

	Cobiax-Decke	Bodenplatte
Wärmeabgabe-Anteil	71 %	29 %
Zum Vergleich:		
Speicherkapazität der aktivierten Bauteile	338 kWh/K	234 kWh/K
Anteil der Speicherkapazität bezogen auf die Gesamt-Speicherkapazität	59 %	41 %

Die Tabelle zeigt auch, dass sich die Verhältnisse der Wärmeabgabe-Anteile und Speicherkapazitäts-Anteile der beiden Bauteilaktivierungssysteme verschiedenartig darstellen. Die Speicherkapazität ist zu ähnlichen Teilen auf die beiden Systeme aufgeteilt und das, obwohl die aktivierte Fläche der Cobiax-Decke mit über 1.800 m² um mehr als 50 % größer ist als die der Bodenplatte in der Halle. Der Grund dafür liegt in der geringeren Gesamtdichte des Cobiax-Deckenaufbaus. Durch die integrierten Luftpolster können zwar Ressourcen und Gewicht eingespart werden, dafür nimmt gemeinsam mit der Masse des Bauteils auch die darin potenziell speicherbare Energie ab. Der verhältnismäßig geringe Wärmeabgabe-Anteil bei der Bodenplatte erklärt sich durch den geringeren Wärmebedarf in der Lagerhalle, in der niedrigere Raumtemperaturen herrschen als im Bürogebäude.

Nachfolgende Diagramme zeigen die Bauteiltemperaturen aus der Heizperiode von November 2023 bis März 2024 verglichen mit den entsprechenden Raumlufttemperaturen. Konkret wird in Abbildung 136 der Büroraum R07 im Erdgeschoss (später im Zuge der Behaglichkeitsbewertung als Referenzraum verwendet) betrachtet und in Abbildung 135 der Büroraum R111 im Obergeschoss.

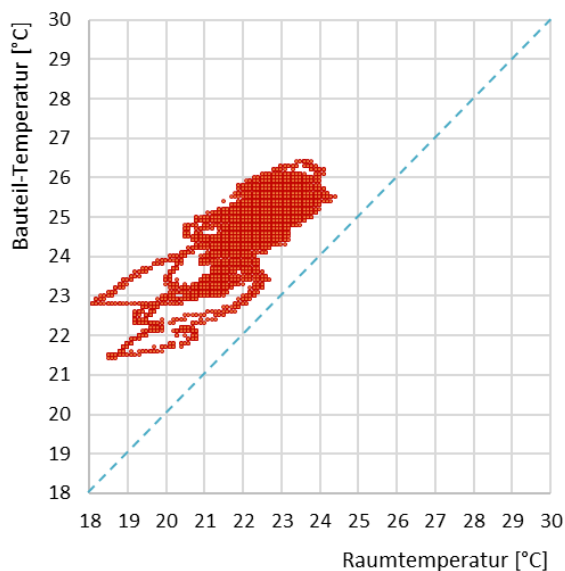


Abbildung 126: Bauteil-Temperaturen der Cobiax-Decke über der Raumtemperatur für das Büro R07 im EG für die Heizperiode Nov.23-Mär.24 (Quelle: AEE INTEC)

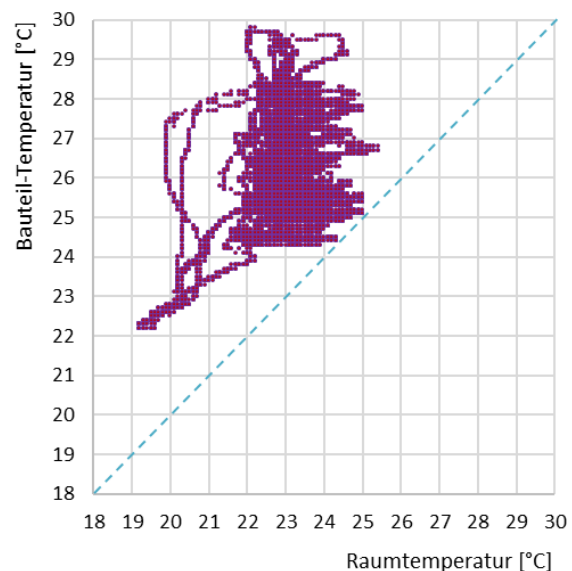


Abbildung 125: Bauteil-Temperaturen der Cobiax-Decke über der Raumtemperatur für das Büro R111 im OG für die Heizperiode Nov.23-Mär.24 (Quelle: AEE INTEC)

Das Büro im Erdgeschoss befindet sich in der nord-östlichen Ecke des Gebäudes. Die Temperatur des Bauteils liegt während der Heizperiode im Mittel 2,5 K über der Raumtemperatur bei minimalen bzw. maximalen Differenzen von 0,7 bzw. 4,7 K. Das Büro im Obergeschoss ist nach Süden ausgerichtet und befindet sich zwischen zwei anderen beheizten Räumen. Hier liegt die Bauteiltemperatur durchschnittlich 3,1 K höher als die entsprechende Raumlufttemperatur bei Differenzen von 0,1 bis 7,7 K. Im beobachteten Zeitraum liegen die Raumtemperaturen im OG-Büro im Schnitt um 0,7 K höher. Beides kann durch zwei mögliche Faktoren erklärt werden:

- **Höhere solare Gewinne:** Aufgrund der Südausrichtung erhält der Raum mehr direkte Sonneneinstrahlung. Bei entsprechender Witterung erhöhen diese solaren Gewinne die Lufttemperatur und können sich aufgrund der thermischen Trägheit der Bauteile in diesen anreichern bzw. über längere Zeit gespeichert werden.
- **Erhöhte Wärmeverluste:** Unter dem OG-Büro befindet sich aufgrund einer teilweisen Aufständigung des Obergeschosses Außenluft anstatt einer beheizten Fläche. Dadurch entstehen vor allem bei niedrigen Außentemperaturen höhere Wärmeverluste. Ist darüber hinaus die solare Einstrahlung gering, sind höhere Bauteiltemperaturen bei der aktivierten Decke erforderlich, um die gewünschte Raumtemperatur halten zu können.

In Abbildung 127 sind die über 4 Zonen gemittelten Bauteil-Temperaturen der aktivierten Bodenplatte und die Raumtemperaturen der Lagerhalle (ebenso gemittelter Wert über zwei Sensoren) dargestellt.

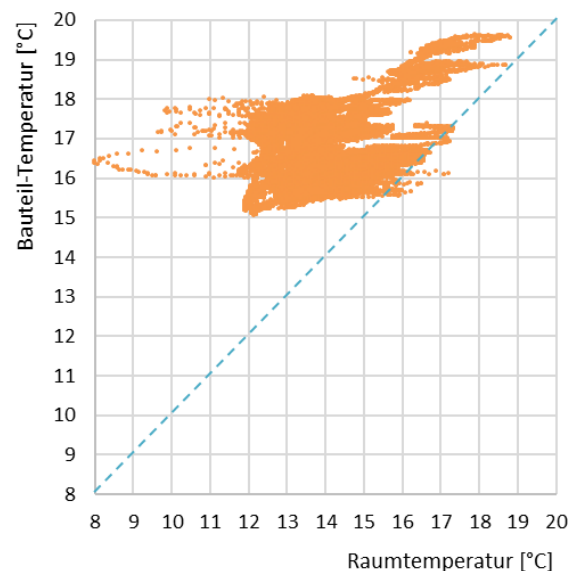


Abbildung 127: Bauteil-Temperaturen der Bodenplatte über der Raumtemperatur der Lagerhalle für die Heizperiode Nov.23-Mär.24 (Quelle: AEE INTEC)

Die größte Differenz aus Bauteil- und Raumtemperatur zeigt sich mit 8,4 K bei besonders niedrigen Raumtemperaturen, die beispielsweise bei geöffneten Hallentoren im Winter schnell entstehen können. Die mittlere Differenz beläuft sich auf 2,9 K.

Für den Heizbetrieb konnten folgende KPIs für die beiden Bauteilaktivierungs-Systeme bestimmt werden:

KPI	Cobiax-Decke	Bodenplatte
Aktivierte Fläche	ca. 1.800 m ²	ca. 1.200 m ²
Max. Heizleistung	ca. 53 kW	ca. 25 kW
Max. spezifische Heizleistung	29 W/m ² _{akt.}	21 W/m ² _{akt.}
Vorlauftemperatur Heizen	22,8-32,8 °C	20,0-29,7 °C
Spreizung bei max. Heizleistung	5,2 K	4,0 K

8.7.4 Nachfragestruktur Kälte

Die Kältebereitstellung erfolgt über Brunnenwasser. Der Kühlmodus wurde von 9. bis 14. April 2024 erstmals betrieben. Ab dem 26. April 2024, wo die Heizperiode endgültig endete, wurde die Anlage bis zum 18. September 2024 durchgehend im Kühlmodus betrieben. In Abbildung 67 ist die Monatsbilanz der Kälteverbräuche aufgeteilt nach Abgabesystemen dargestellt. In Abbildung 68 ist zudem die prozentuale Aufteilung des Kälteverbrauchs für das gesamte Monitoringjahr abgebildet.

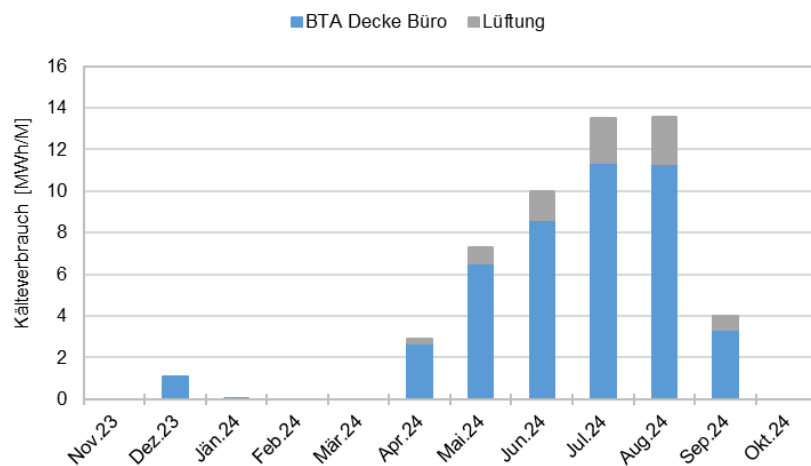


Abbildung 128: Monatsbilanz Kälteverbrauch (Quelle: AEE INTEC)

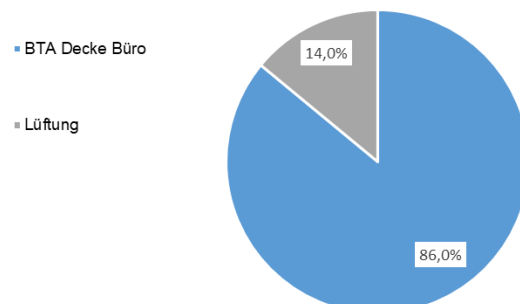


Abbildung 129: Aufteilung der Kälteverbraucher (Quelle: AEE INTEC)

Es zeigt sich, dass während der Monitoringperiode ein Großteil der Wärmeabfuhr aus den Räumlichkeiten über die aktivierten Cobiax-Decken erfolgt ist. Konkret wurde bei der Bauteilaktivierung ein Kühlenergieverbrauch von 44.968 kWh und beim Kühlregister der Lüftungsanlage von 7.332 kWh gemessen. Das entspricht in Summe einem spezifischen Kühlenergieverbrauch von $17,3 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF a}}$.

Kälteabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Der im Dezember gemessene Kühlenergieverbrauch über die Bauteilaktivierung in Höhe von 1.085 kWh ist gemäß den Messdaten höchstwahrscheinlich auf eine unerwünschte Zirkulation im Energieversorgungssystem zurückzuführen. Im betroffenen Zeitraum war die Wärmepumpe aufgrund eines Betriebsurlaubes nicht in Betrieb. Die gemessenen Vorlauf-, Rücklauf- und Kerntemperaturen der Bauteilaktivierung suggerieren, dass Wärmeenergie vom Bauteil an die Rohrleitungen abgegeben wurde. Die so unerwünscht auftretende Auskühlung des Bauteils führt zu einer verringerten passiven Abgabeleistung an den Raum. Die Folge daraus ist, dass bei Wiederinbetriebnahme der Heizung ein dementsprechend stärkeres Aufheizen notwendig ist, um wieder behagliche Raumtemperaturen zu schaffen. Durch entsprechende Absperrventile kann die Zirkulation und unerwünschte Wärmeabfuhr vermieden und Energie eingespart werden. Der beschriebene Sachverhalt ist in Abbildung 130 anhand der Verläufe der Raum- und Bauteiltemperaturen des Referenzraumes und der Vor- und Rücklauftemperaturen des Cobiax-Systems für 3 Tage des betroffenen Zeitraumes dargestellt.

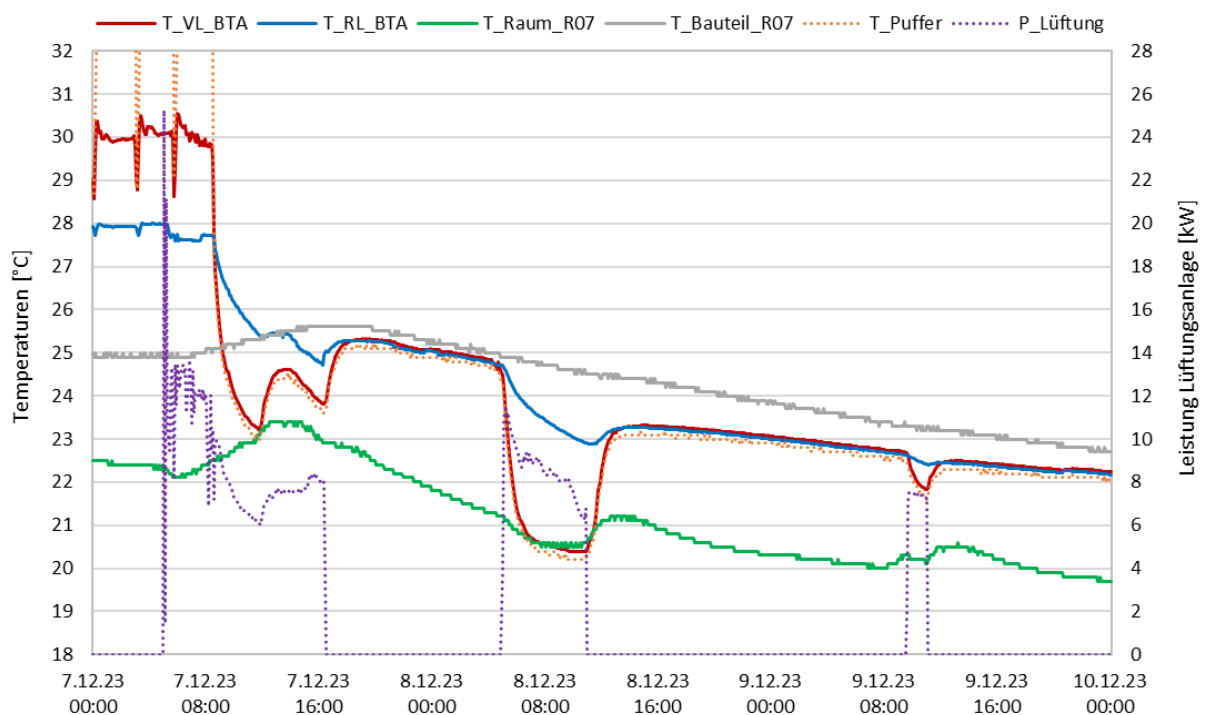


Abbildung 130: unerwünschte Kühlung über Cobiax-Decken im Dezember 2023, dargestellt anhand Messdaten des Referenzraumes R07 (Quelle: AEE INTEC)

Trotz abgeschalteter Wärmepumpe wurde über die Lüftung Wärme in den Raum eingebracht, was jeweils zu einer kurzzeitigen Erhöhung der Raumtemperatur geführt hat. Gleichzeitig tritt die beschriebene Wärmeabfuhr aus dem Bauteil auf. Die Puffertemperatur folgt demselben Verlauf wie die Vorlauftemperaturen der Verbraucher. In der hydraulischen Verbindung zwischen Puffer,

Bauteilaktivierung und Lüftungsregister scheinen somit keine funktionierenden Absperrungen oder Rückschlagventile vorhanden zu sein. Die Lüftung kann so vermutlich durch eine laufende Pumpe oder geöffnete Ventile ungewollt als Zirkulationsantrieb wirken und dabei Restwärme aus dem Bauteil und Puffer abziehen, wodurch der BTA-Vorlauf kälter wird als der Rücklauf. Zur Vermeidung solcher Energieverluste sollten Rückschlagventile und Ventilstellungen überprüft, Pumpen im Urlaubsmodus deaktiviert und die Hydraulik gezielt so angepasst werden, dass bei Anlagenstillstand keine Zirkulation möglich ist und das volle Speicherpotential der Bauteilaktivierung genutzt werden kann.

Nachfolgende Diagramme zeigen die Bauteiltemperaturen aus der Kühlperiode von Mai 2024 bis August 2024 verglichen mit den entsprechenden Raumlufttemperaturen. Konkret wird in Abbildung 132 wiederum der Büroraum R07 im EG betrachtet und in Abbildung 141 der Büroraum R111 im OG.

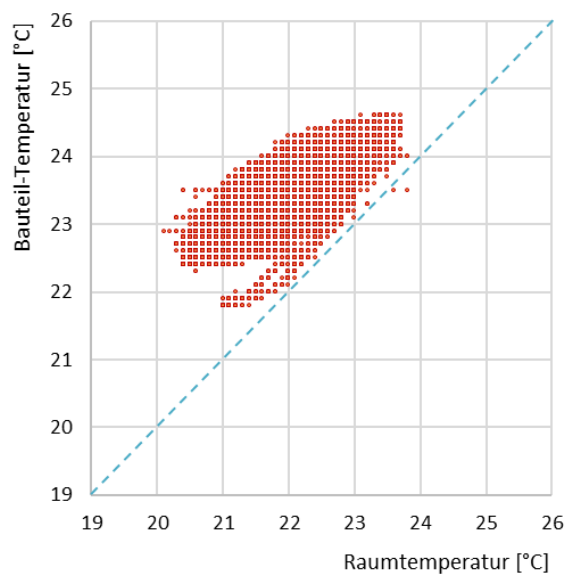


Abbildung 132: Bauteil-Temperaturen der Cobiax-Decke über der Raumtemperatur für das Büro R07 im EG für die Kühlperiode Mai 24-Aug.24 (Quelle: AEE INTEC)

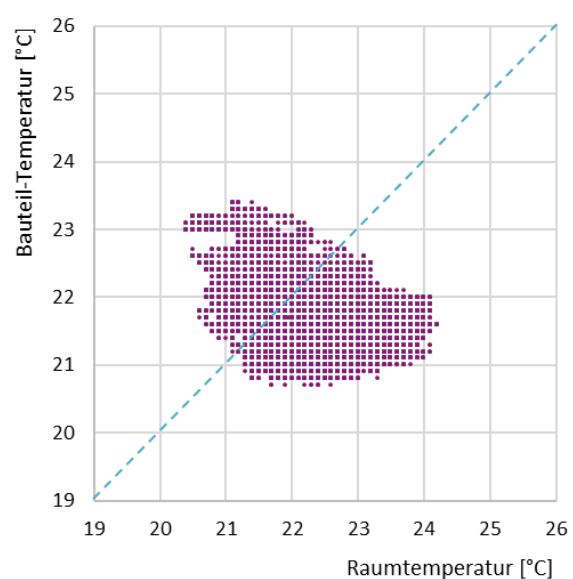


Abbildung 131: Bauteil-Temperaturen der Cobiax-Decke über der Raumtemperatur für das Büro R111 im OG für die Kühlperiode Mai 24-Aug.24 (Quelle: AEE INTEC)

Beim Büro im Erdgeschoss liegt die durchschnittliche Bauteiltemperatur während der Kühlperiode mit 23,3 °C etwa 1,5 K über der mittleren Raumtemperatur von 21,8 °C. Trotz dieser Differenz belegen die Messdaten – insbesondere die durchschnittliche Spreizung zwischen Vorlauf (18,08 °C) und Rücklauf (19,64 °C) von 1,56 K – eine kontinuierliche Wärmeabfuhr und damit einen effektiven Betrieb der passiven Brunnenwasser-Kühlung. Das Bauteilaktivierungssystem wirkt aufgrund seiner hohen thermischen Trägheit weniger als klassische Kühleinheit, sondern vielmehr als thermischer Puffer, der überschüssige Wärme speichert und zeitversetzt abführt, ohne die Oberflächen deutlich unter die Raumlufttemperatur zu senken. Aufgrund des moderaten Temperaturniveaus der passiven Kühlung ist das Risiko einer Taupunktunterschreitung und damit einer Kondensation sehr gering. Im Büro im Obergeschoss liegt die mittlere Raumtemperatur im selben Zeitraum mit 22,4 °C etwas höher, während die Bauteiltemperatur mit 21,7 °C deutlich niedriger ist. Ursache dafür ist die höhere spezifische Kühllast im südausgerichteten Raum. Um dort behagliche Temperaturen zu gewährleisten, ist eine intensivere Wärmeabfuhr über die Cobiax-Decke erforderlich, was zu einer spürbar niedrigeren Bauteiltemperatur führt.

Für den Kühlbetrieb konnten folgende KPIs für das Bauteilaktivierungs-System bestimmt werden:

KPI	Cobiax-Decke
Aktivierte Fläche	ca. 1.800 m ²
Max. Kühlleistung	ca. 24 kW
Max. spezifische Kühlleistung	13 W/m ² _{akt.}
Vorlauftemperatur Kühlen	17,6-24,1 °C
Spreizung bei max. Kühlleistung	2,7 K

8.7.5 Raumkomfort - Monitoring

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

Im Zuge des kontinuierlichen Raumkomfort-Monitorings wurden die Raumlufttemperaturen der beiden betrachteten Büros näher analysiert. In Abbildung 74 sind die stündlichen Mittelwerte der Raumtemperatur über den entsprechenden Außentemperaturen für die Räume R07 im EG und R111 im OG während der Heizperiode von Nov. 23 bis März 24 dargestellt.

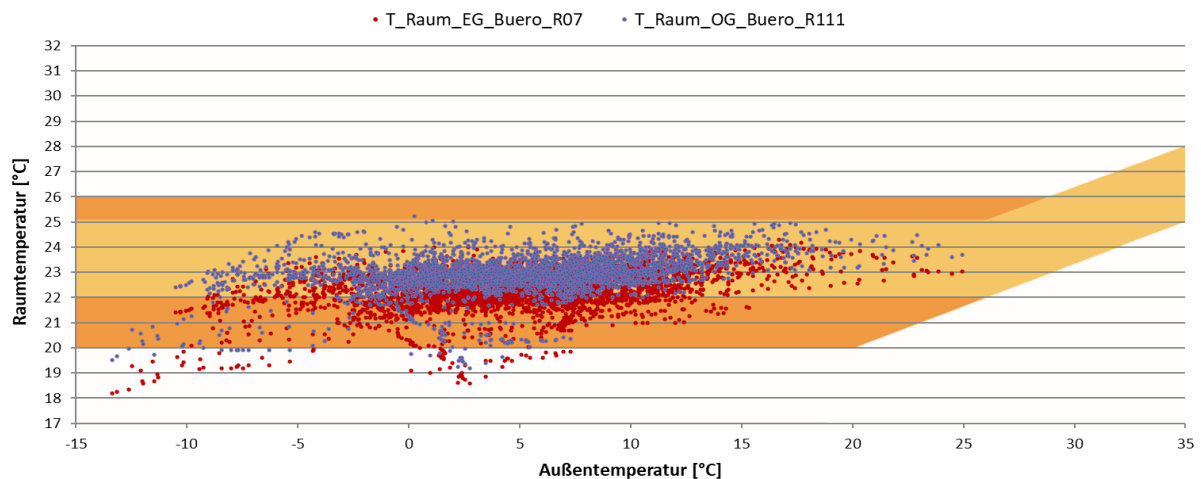


Abbildung 133: Raumlufttemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für die Räume R07 und R111 während der Heizperiode (Quelle: AEE INTEC)

Das Diagramm zeigt, dass die Raumtemperaturen während der Heizperiode weitgehend im behaglichen Komfortbereich liegen. Es ist anzumerken, dass die Lufttemperaturen unter 20 °C ausschließlich während des bereits erwähnten Betriebsurlaubes gemessen wurden. In Abbildung 75 sind die gemessenen Temperaturen für die Kühlperiode von Mai bis Aug. 24 dargestellt.

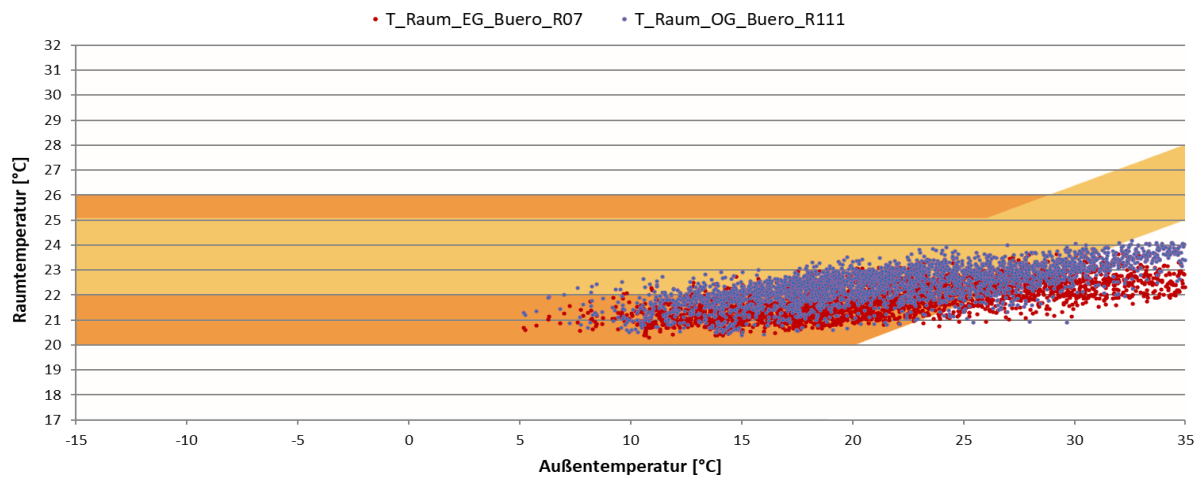


Abbildung 134: Raumlufthtemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für die Räume R07 und R111 während der Kühlperiode (Quelle: AEE INTEC)

Während der Kühlperiode zeigen sich äußerst stabile Raumlufthtemperaturen auf einem behaglichen Niveau. Auch bei hohen Außentemperaturen kann zu keinem Zeitpunkt eine Überhitzung in den beiden Büros festgestellt werden. Abgesehen von den kühlen Perioden außerhalb der Nutzungszeiten im Winter können insgesamt behagliche Raumlufthtemperaturen bestätigt werden. Sowohl in der Winter- als auch in der Sommerperiode konnte bei überschaubarem Energiebedarf ein sehr gutes Komfortniveau auf energieeffiziente Weise erreicht werden.

Nachfolgend werden die Raumlufthtemperaturen der beiden Räume den Kategorien der Standardauslegungswerte für operative Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Anhang B, Tab. B.2 gegenübergestellt (Abbildung 76: R07 im EG, Abbildung 77: R111 im OG).

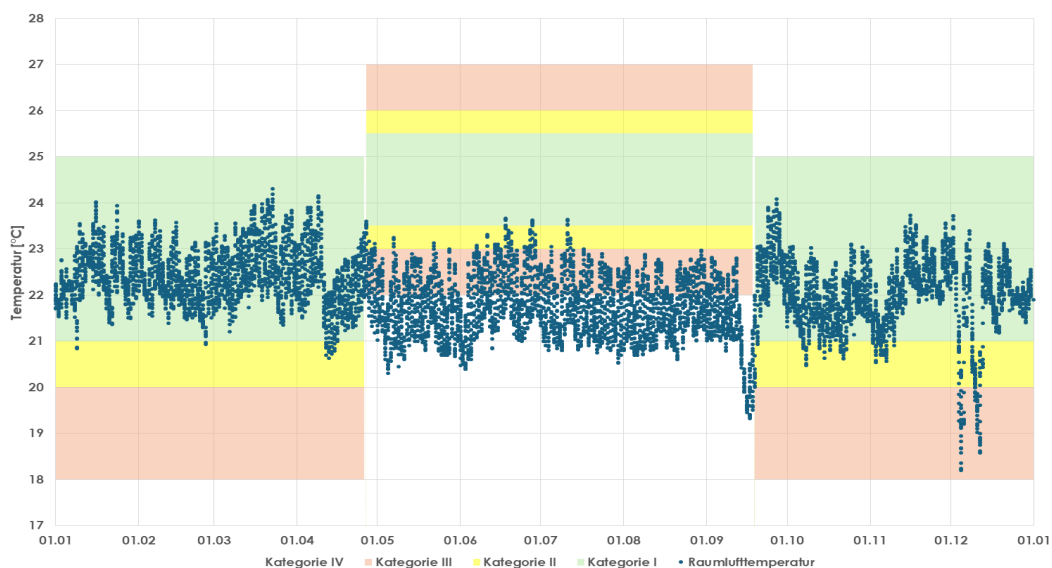


Abbildung 135: Raumlufthtemperatur R07 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)

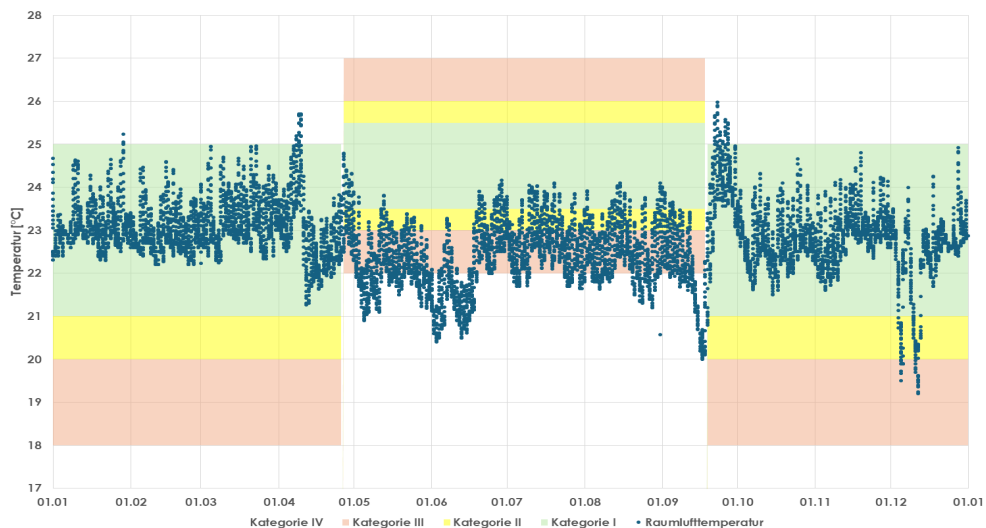


Abbildung 136: Raumlufttemperatur R111 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)

Diese Betrachtung zeigt erneut, dass es in der Heizperiode nur im Zeitraum des Betriebsurlaubes zu unbehaglichen Innenraumtemperaturen gekommen ist und im Sommer keine Überhitzungen aufgetreten sind. Vielmehr sind die Raumtemperaturen in der Kühlperiode als vergleichsweise kühl einzustufen, was die Effektivität der passiven Kühlung unterstreicht.

An dieser Stelle ist der Unterschied zwischen operativer Temperatur und Lufttemperatur hervorzuheben. Die operative Temperatur (gefühlte Temperatur, Empfindungstemperatur) berücksichtigt neben der Lufttemperatur auch die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen und ist der Hauptfaktor der thermischen Behaglichkeit. Bei einer Flächenheizung liegt die mittlere Strahlungstemperatur im Heizbetrieb in der Regel über und im Kühlbetrieb unter der Lufttemperatur. Dementsprechend würden sich die beiden zuvor dargestellten Temperaturverläufe im Winter etwas nach oben und im Sommer etwas nach unten verschieben. Aufgrund der moderaten Versorgungstemperaturen (besonders bei der passiven Kühlung) ist diese Abweichung aber recht gering, eine detailliertere Analyse folgt im nächsten Unterkapitel.

Operative Temperaturen

Für den Referenzraum R07 im Erdgeschoss wurden mit Hilfe von Messungen der Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen quartalsweise die operativen Temperaturen bestimmt, dargestellt in Abbildung 78.

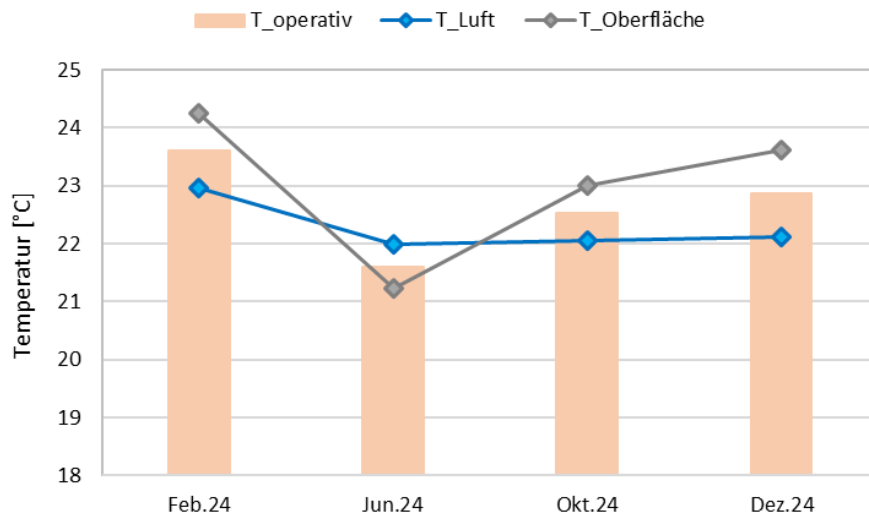


Abbildung 137: Lufttemperaturen, Oberflächentemperaturen und operative Temperaturen für den Referenzraum R07 (Quelle: AEE INTEC)

Drei der Spot-Messungen wurden während der Heizperiode durchgeführt. Hier liegt die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen um 1 bis 1,5 K höher als die Raumlufttemperatur, wodurch auch die operative Temperatur 0,5 bis 0,75 K über der Lufttemperatur liegt. Die operative Temperatur bei der Sommermessung liegt 0,4 K unter der Lufttemperatur, da im Kühlbetrieb die Mitteloberflächentemperatur der umliegenden Flächen um 0,8 K niedriger als die gemessene Lufttemperatur liegt. Entsprechend der bisherigen Analysen können die Temperaturverhältnisse im Referenzraum im Winter als sehr behaglich und im Sommer als eher kühl bewertet werden. Definitiv kommt es unter Berücksichtigung der Strahlungstemperatur der Wand- und Deckenoberflächen erst recht zu keiner gefühlten Überwärmung des Raums während der Sommerperiode.

Behaglichkeits-Messung nach ISO 7730

Die Behaglichkeits-Messung nach ISO 7730 mittels „Messbaum“ wurde im Referenzraum R07 während der folgenden Zeiträume durchgeführt:

- Wintermessung: 31.01. – 08.02.2024 (8 Tage)
- Sommermessung: 23.07. – 06.08.2024 (14 Tage)

Folgende Einflussgrößen wurden bei dieser Methode der Behaglichkeitsbewertung gemessen und ausgewertet:

- Raumlufttemperatur auf 4 Höhen
- Mittlere Strahlungstemperatur der Raumumschließungsflächen (Blackglobe-Temperatur)
- Luftgeschwindigkeit
- relative Luftfeuchte auf 2 Höhen
- CO₂-Gehalt auf 2 Höhen

Winterperiode – Behaglichkeitsmessung nach ISO 7730

Zeitraum: 31.01. – 08.02.2024 (8 Tage)

Folgende Randbedingungen wurden für die Behaglichkeitsbewertung angesetzt:

Bekleidung: Normale Geschäftskleidung ($\text{clo}=1,0$ / $0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$)

Aktivität: Sitzend, leichte Tätigkeit ($\text{met}=1,2$ / 70 W/m^2)

In Abbildung 138 sind die Raumlufttemperaturen in 4 unterschiedlichen Höhen und die mittlere Strahlungstemperatur der Raumumschließungsflächen dargestellt.

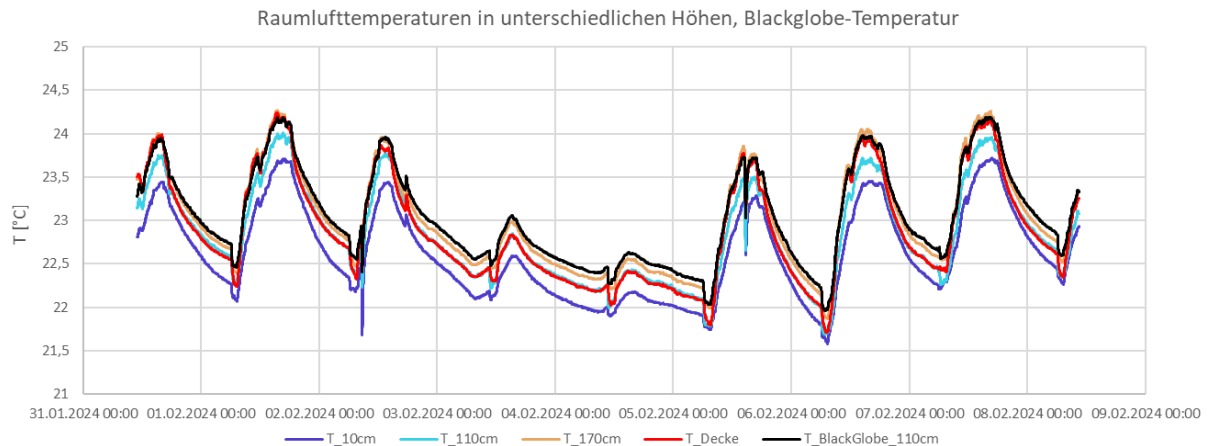


Abbildung 138: Raumlufttemperaturen in 4 Höhen und Backglobe-Temperatur im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Anhand der Temperaturverläufe ist eine leichte Temperaturschichtung im Raum festzustellen. Zudem liegt entsprechend der bisherigen Analysen die Blackglobe-Temperatur meist über den einzelnen Lufttemperaturen. Während des Wochenendes (03. & 04.02.) sinken die Temperaturen nur leicht ab. In Abbildung 139 und Abbildung 140 sind die Raumluftfeuchten und Luftgeschwindigkeiten dargestellt, die für die Berechnung der PMV- und PPD-Werte notwendig sind. Zusätzlich sind die gemessenen CO_2 -Werte in Abbildung 141 dargestellt.

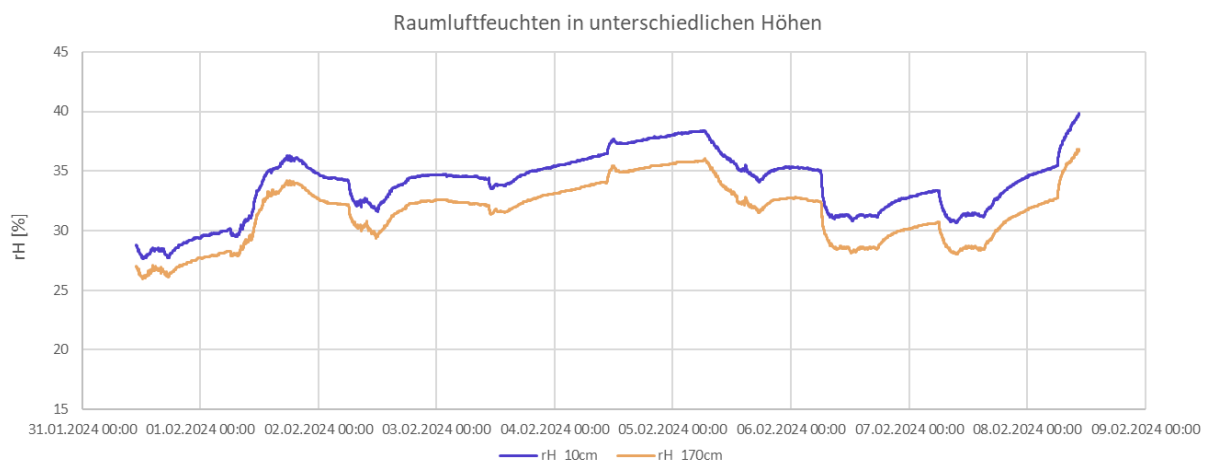


Abbildung 139: Raumluftfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024 (Quelle: AEE INTEC)

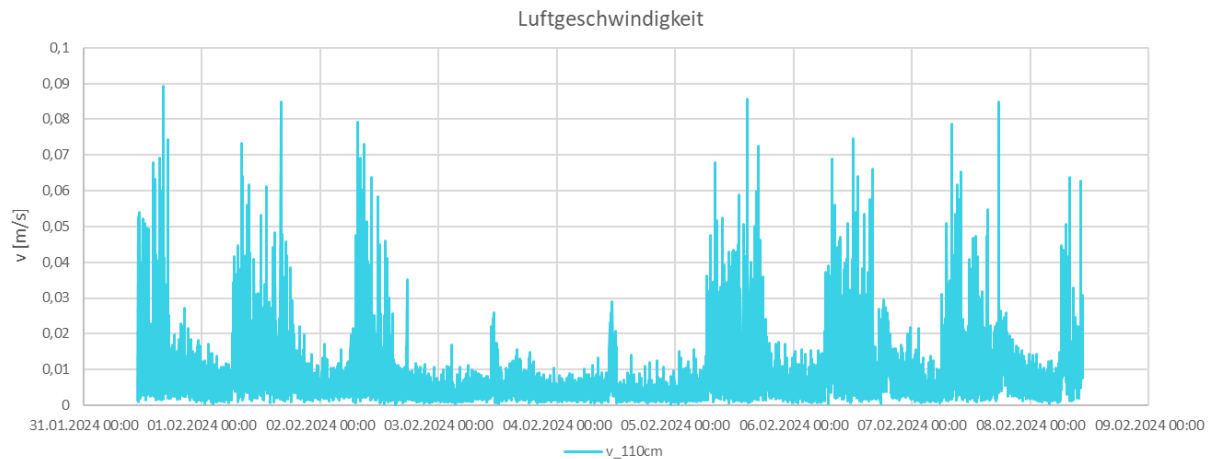


Abbildung 140: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024
(Quelle: AEE INTEC)

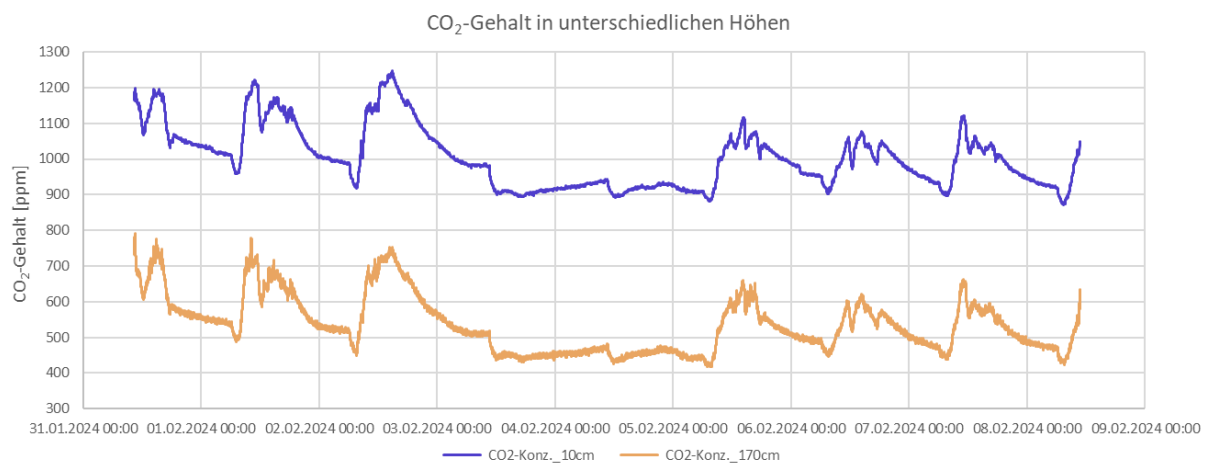


Abbildung 141: CO₂-Gehalt in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024
(Quelle: AEE INTEC)

Der Verlauf des berechneten PMV-Index aus den Parametern der Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftgeschwindigkeit, des Kleidungsfaktors und Aktivitätsgrades ist in Abbildung 142 dargestellt.

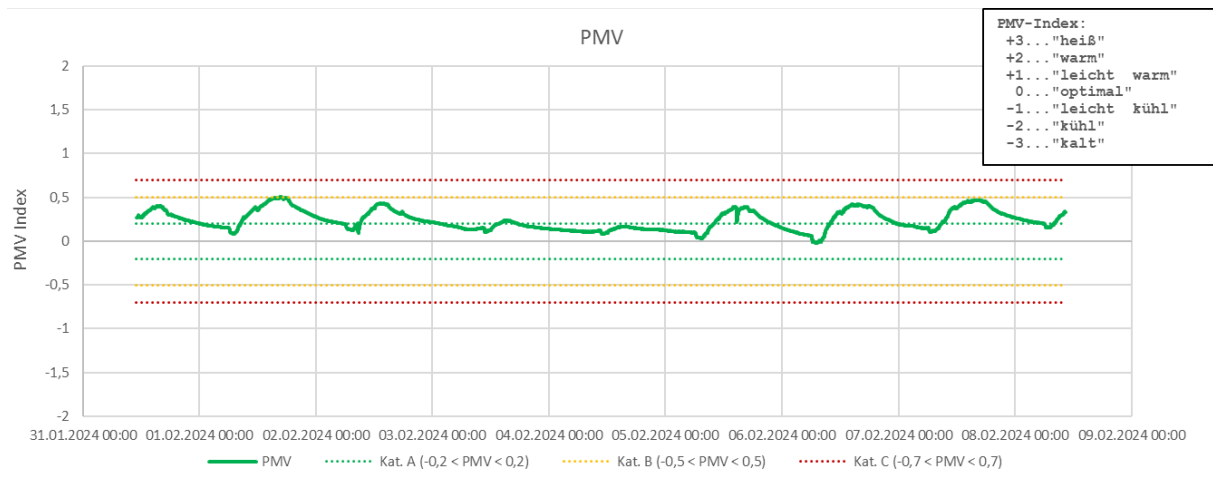


Abbildung 142: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Generell gilt für den thermischen Komfort hinsichtlich des PMV-Wertes ein Zielbereich von -0,5 bis +0,5. Im Referenzraum bewegt sich das thermische Empfinden nach dem PMV-Index zwischen -0,02 und +0,50 und somit im gewünschten bzw. optimalen Bereich. Der PPD-Wert wird aus dem PMV-Wert ermittelt und sollte in einem Zielbereich von 5 bis 10 % liegen – 5 % der Nutzer sind auch bei neutralem PMV von 0 unzufrieden, dieser Wert kann daher nicht unterschritten werden. Die ermittelten PPD-Werte sind in Abbildung 143 dargestellt.

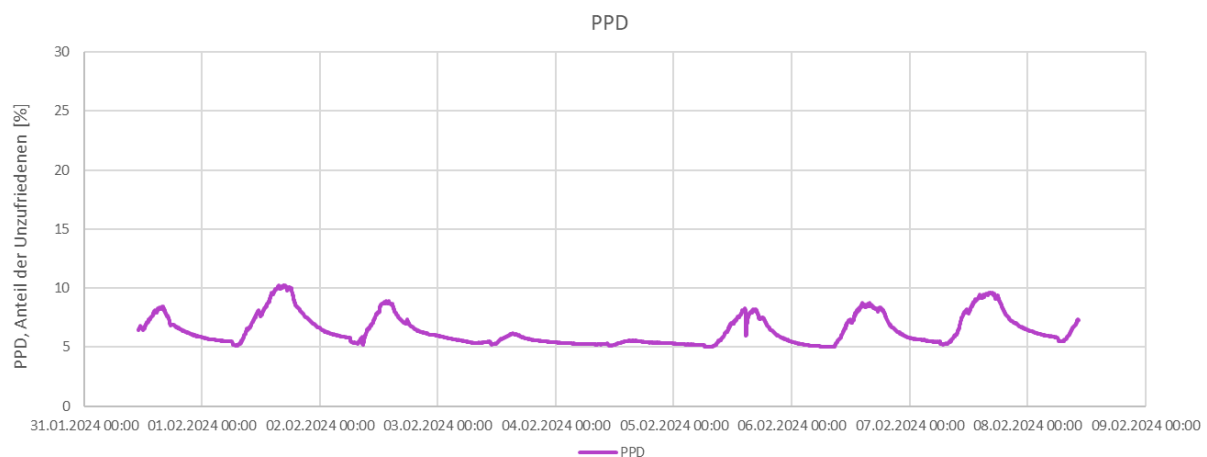


Abbildung 143: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Der PPD-Wert liegt bei durchschnittlich 6,4 % und bewegt sich dabei in einem Bereich von 5 bis 10,3 %, was für eine hohe thermische Behaglichkeit spricht. In Abbildung 144 sind der PMV und PPD-Index nochmals in einem Diagramm gemeinsam dargestellt.

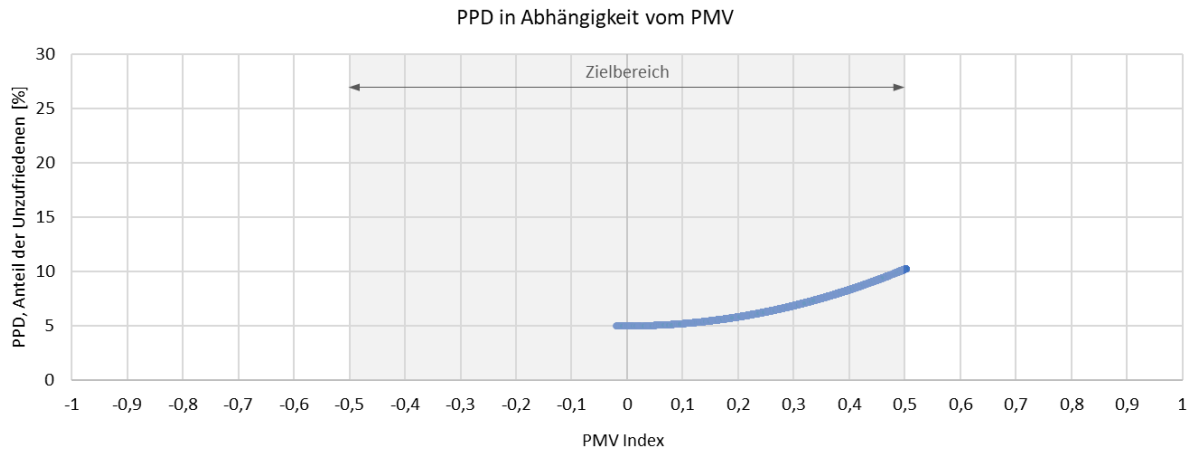


Abbildung 144: PMV und PPD-Index im Referenzraum, 31.01. – 08.02.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Sommerperiode – Behaglichkeitsmessung nach ISO 7730

Zeitraum: 23.07. – 06.08.2024 (14 Tage)

Folgende Randbedingungen wurden für die Behaglichkeitsbewertung angesetzt:

Bekleidung: leichte Geschäftskleidung ($\text{clo}=0,7 / 0,109 \text{ m}^2\text{K/W}$)

Aktivität: Sitzend, leichte Tätigkeit ($\text{met}=1,2 / 70 \text{ W/m}^2$)

In Abbildung 145 sind die Raumlufttemperaturen in 4 unterschiedlichen Höhen und die mittlere Strahlungstemperatur der Raumumschließungsflächen dargestellt.

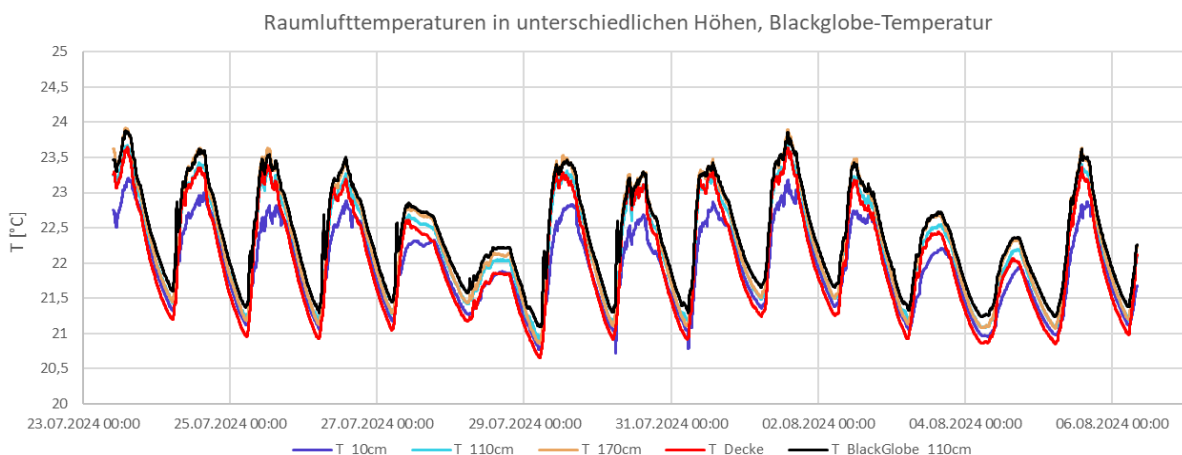


Abbildung 145: Raumlufttemperaturen in 4 Höhen und Backglobe-Temperatur im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Anhand der Temperaturverläufe ist wiederum eine leichte Temperaturschichtung im Raum festzustellen. Zudem liegt auch bei der Sommermessung die Blackglobe-Temperatur meist über den einzelnen Lufttemperaturen. Während der beiden Wochenenden (27. & 28.07. / 03. & 04.08.) sinken die Temperaturen leicht ab, da Wärmeeinträge durch Personen, Beleuchtung und E-Geräte entfallen. In Abbildung 146 und Abbildung 147 sind die Raumluftfeuchten und Luftgeschwindigkeiten dargestellt,

die für die Berechnung der PMV- und PPD-Werte verwendet werden. Zusätzlich sind die gemessenen CO₂-Konzentrationen in Abbildung 148 dargestellt.

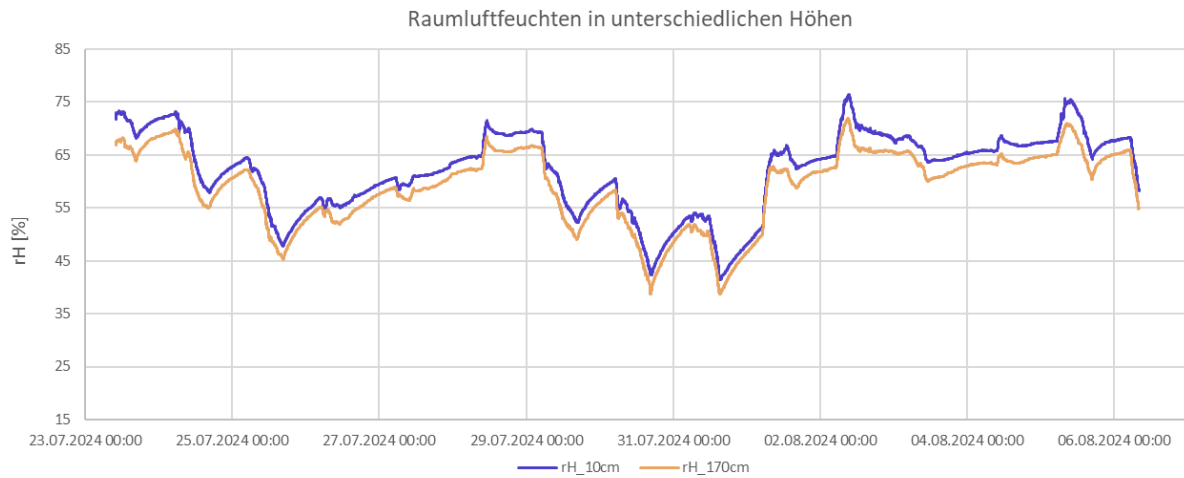


Abbildung 146: Raumluftfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024 (Quelle: AEE INTEC)

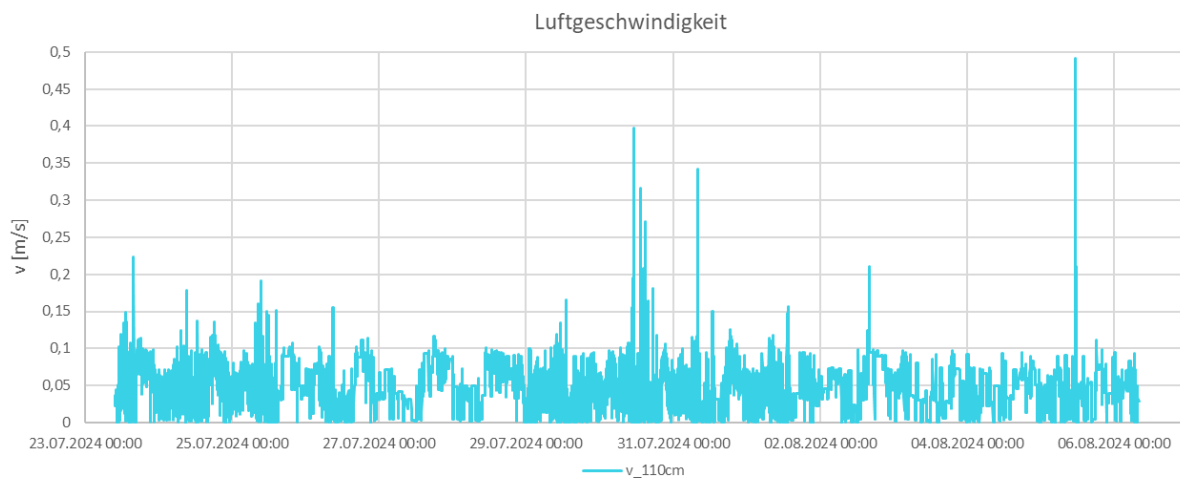


Abbildung 147: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024 (Quelle: AEE INTEC)

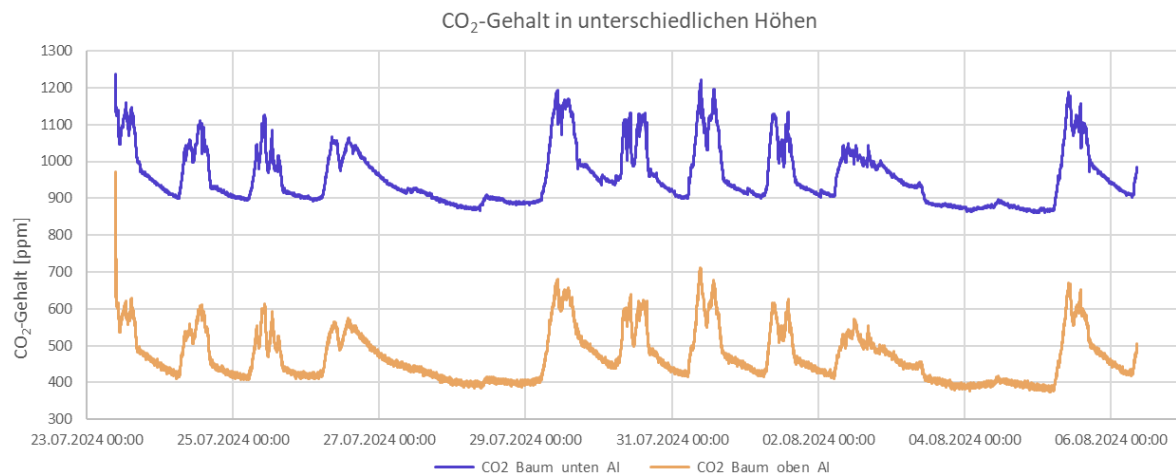


Abbildung 148: CO₂-Gehalt in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024
(Quelle: AEE INTEC)

Der Verlauf des berechneten PMV-Index aus den Sommermessungen ist in Abbildung 149 dargestellt.

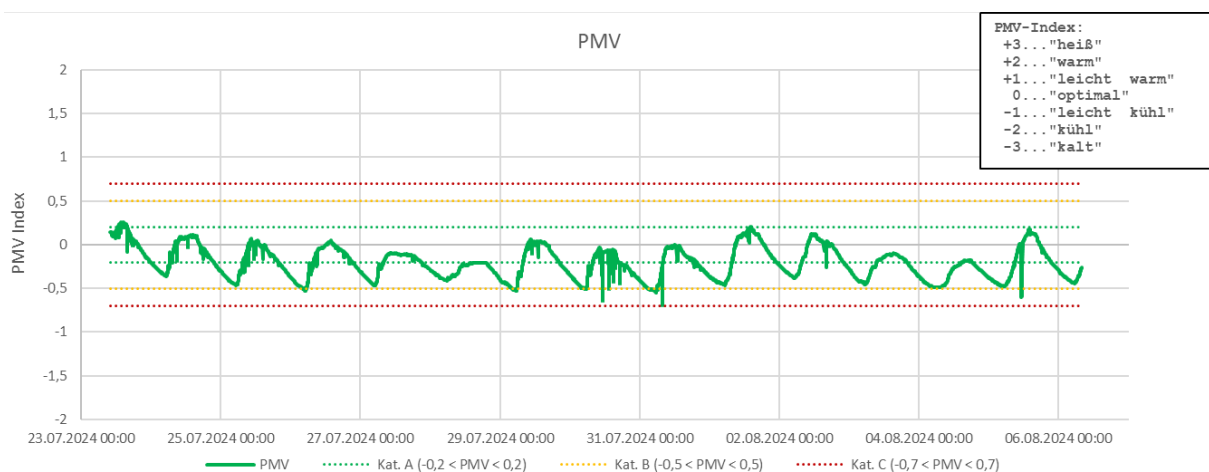


Abbildung 149: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024
(Quelle: AEE INTEC)

Das thermische Empfinden nach dem PMV-Index bewegt sich in einem Bereich von -0,68 bis +0,26 und größtenteils innerhalb des Zielbereichs. Lediglich an 3 Tagen (30.07., 31.07. und 05.08.) kommt es zu kurzzeitigen Unterschreitungen des optimalen Bereichs hin zu leicht kühlen Bedingungen, was womöglich auf eine manuell herbeigeführte Außenluftzufuhr über Fenster- bzw. Türlüftung zurückzuführen ist (siehe auch vorherige Abb., wo in den gleichen Zeiträumen außergewöhnlich hohe Messwerte für die Luftgeschwindigkeit erkennbar sind). Es kommt zu keinen Überschreitungen des optimalen Bereichs und damit zu keinen Überhitzungen.

Die entsprechenden berechneten PPD-Werte sind in Abbildung 150 dargestellt.

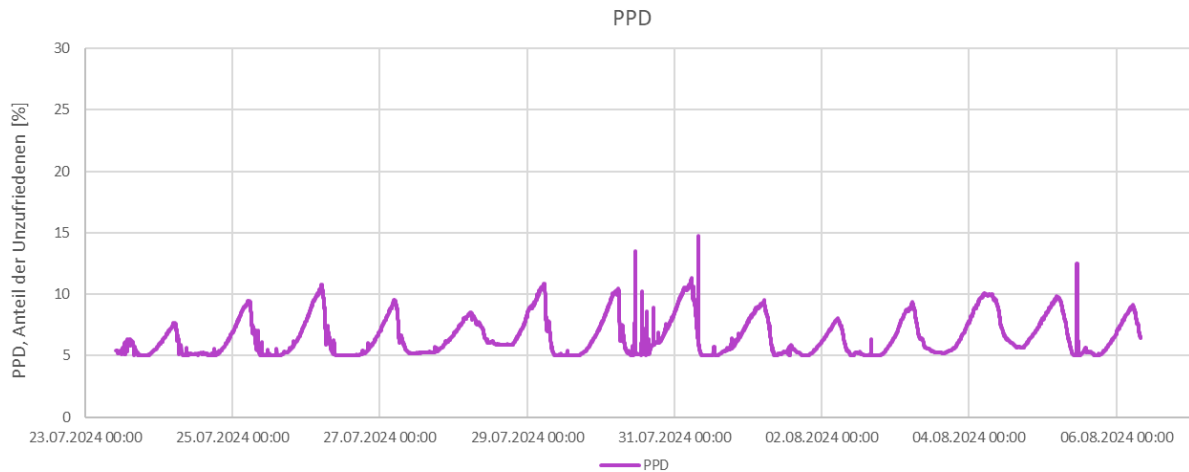


Abbildung 150: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Die erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index bewegt sich während der Sommermessung innerhalb einer Bandbreite von 5 – 14,8 % bei einem Mittelwert von 6,6 %. Da alle PPD-Werte >11 % nur sehr kurzfristig, während dem vermeintlichen manuellen Lüften auftreten, kann auch hier von einer hohen thermischen Behaglichkeit gesprochen werden. In Abbildung 151 sind der PMV und PPD-Index nochmals in einem Diagramm gemeinsam dargestellt.

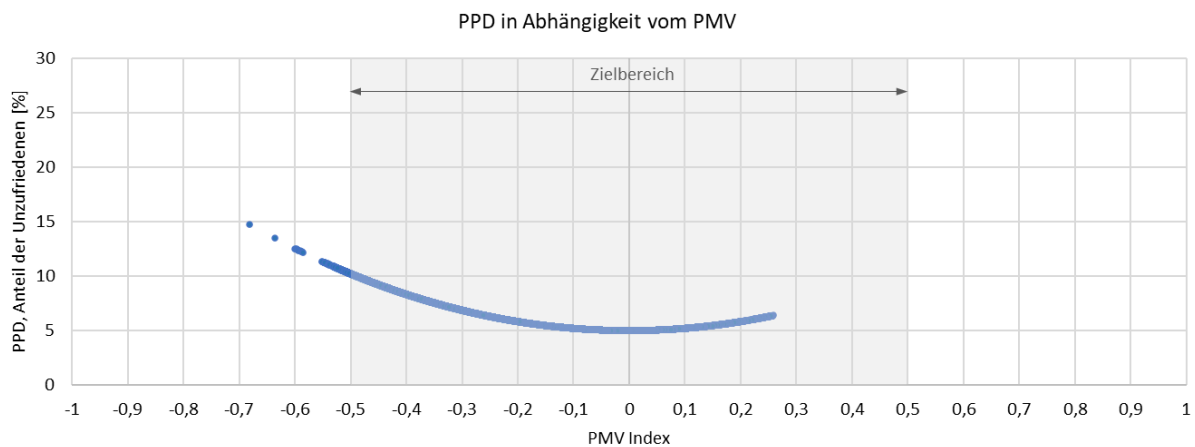


Abbildung 151: PMV und PPD-Index im Referenzraum, 23.07. – 06.08.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Hier ist nochmals ersichtlich, dass es sich bei den PMV bzw. PPD-Werten außerhalb des Zielbereichs meist um einzelne Ausreißer handelt und das thermische Empfinden größtenteils innerhalb des optimalen Bereichs liegt.

8.8 Steiner Haustechnik, Sbg

Bauteilaktivierung: Bodenplatte und Decke (Ortbeton)		
Objektnutzung: Büro, Ausstellung und Lager	Standort: Gottfried-Schenker-Straße 1, 5101 Bergheim	Fertigstellung: 2017

8.8.1 Objektbeschreibung

Das Gebäude wurde als neue Geschäftszentrale errichtet. Konkret handelt es sich um einen Baukörper mit Büronutzung, Lagerräumen und einem Ausstellungsbereich. Drei mehrstufig geregelte Sole-Wasser-Wärmepumpen (Tiefensonden) werden gemeinsam mit einer PV-Anlage am Dach zur Deckung des lokalen Energiebedarfs genutzt. Die Bauteilaktivierung ist in der Lagerhalle in der Bodenplatte und im Büro- und Ausstellungsbereich in den Zwischendecken realisiert. Im Bürotrakt handelt es sich dabei um abgehängte Decken. Der Zwischenraum zwischen der aktivierten Betondecke und den abgehängten Gipskarton-Lochplatten wird dabei mit Überdruck beaufschlagt, um die Strahlungswärme konvektiv in den Raum zu leiten. Die BTA wird grundsätzlich für die Heizung genutzt. Im Bürotrakt und der Ausstellung wird mit der BTA zusätzlich passiv gekühlt. Gemeinsam mit Fußbodenheizungen im Eingangsbereich und in überkragenden Bauabschnitten wird die BTA zur ganzjährigen Konditionierung des Objekts verwendet. Der geringe Warmwasserbedarf wird zentral, jedoch getrennt, über zwei Brauchwasserwärmepumpen samt Speicher (Quelle=Raumluft) gedeckt.

Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	ca. 15.000 m ² (3.300 m ² Büro, 1.700 m ² Ausstellung, 10.000 m ² Lager)	Eigentümer: Steiner Haustechnik KG
HKLS-Planung	FIN – Kuster Energielösungen GmbH	Name: Bernhard Zwielerhner

Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- schwere Bauweise bei Bürogebäude mit A/V-Verhältnis von 0,42 [1/m] und charakteristischer Länge von 2,37 [m], mittlerer U-Wert von 0,26 W/m²K
- Außenwand bei Bürogebäude: 25 cm Stahlbeton, 16 cm EPS-Dämmung
- mittelschwere Bauweise bei verbundener Halle, A/V = 0,20 [1/m], charakteristische Länge = 4,88 [m], mittlerer U-Wert von 0,21 W/m²K
- Außenwand bei Lagerhalle: teilweise 25 cm Stahlbeton mit 12 cm PU-Paneel, teilweise 24 cm Stahlbeton mit 10 cm XPS-Dämmung und 6 cm Stahlbeton-Außenschale
- Heizlast für gesamtes Gebäude von 1,1 MW
- aktivierter Bauteil in Bürogebäude ist kombiniert mit einem abgehängten Gipskarton-Lochplattensystem
- extensive Dachbegrünung

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde im Büro- und Ausstellungsbereich in den Zwischendecken und in der Lagerhalle in der Bodenplatte mit einer aktivierten Gesamtfläche von etwa 14.000 m² ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Zwischendecken Büro und Ausstellung	
Einsatz	Heizung und passive Kühlung
Aktivierte Fläche	Zwischendecken der Büro- und Ausstellungsräume, ca. 4.000 m ²
Aktiviertes Material	Ortbeton, 32 cm Stahlbeton
Verlegungsart	Kunststoffrohre
Regelung	Einzelraumregelung mit elektronischem Regelgerät Auslegungstemperaturen: Heizen 35/30 °C, Kühlen 16/18,4 °C
Kennzahlen	Abgabeleistung: Heizen 108,6 kW; Kühlen 52,1 kW

Aktivierte Bauteile: Bodenplatte Lagerhalle	
Einsatz	Heizung
Aktivierte Fläche	Bodenplatte, ca. 10.000 m ²
Aktiviertes Material	Ortbeton, 25 cm Fließbeton
Verlegungsart	Kunststoffrohre
Regelung	Einzelraumregelung mit elektronischem Regelgerät Auslegungstemperaturen: Heizen 35/28 °C
Kennzahlen	Abgabeleistung: Heizen 137 kW

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik	
Heizung	3 zweistufige Sole/Wasser-Wärmepumpen (je 45 bzw. 90 kW) mit Pufferspeicher (2-mal 1.000 Liter)
Brauch-Warmwasser	Gebäudezentral, getrennt von Raumheizung über 2 Brauchwasserwärmepumpen samt Speicher (Quelle=Raumluft)
Kühlung	Passive Kühlung über BTA, Lüftungsanlage mit Kühlregister mit Kältespeicher (1.000 Liter)
Wärmeabgabe	Bauteilaktivierung (245,6 kW) Fußbodenheizung (57 kW) Heizregister Lüftungsanlagen (21,1 kW)
Kälteabgabe	Bauteilaktivierung (52,1 kW) Fußbodenheizung (19,6 kW) Kühlregister Lüftungsanlagen (23,6 kW)
Lüftungstechnik	Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung sowie Heiz- und Kühlregister ohne Be- und Entfeuchtung
Elektrische Energie	Öffentliches Netz, Photovoltaik-Anlage (100 kWp), Eigenstromnutzung für Haustechnik und Überschuss-Einspeisung

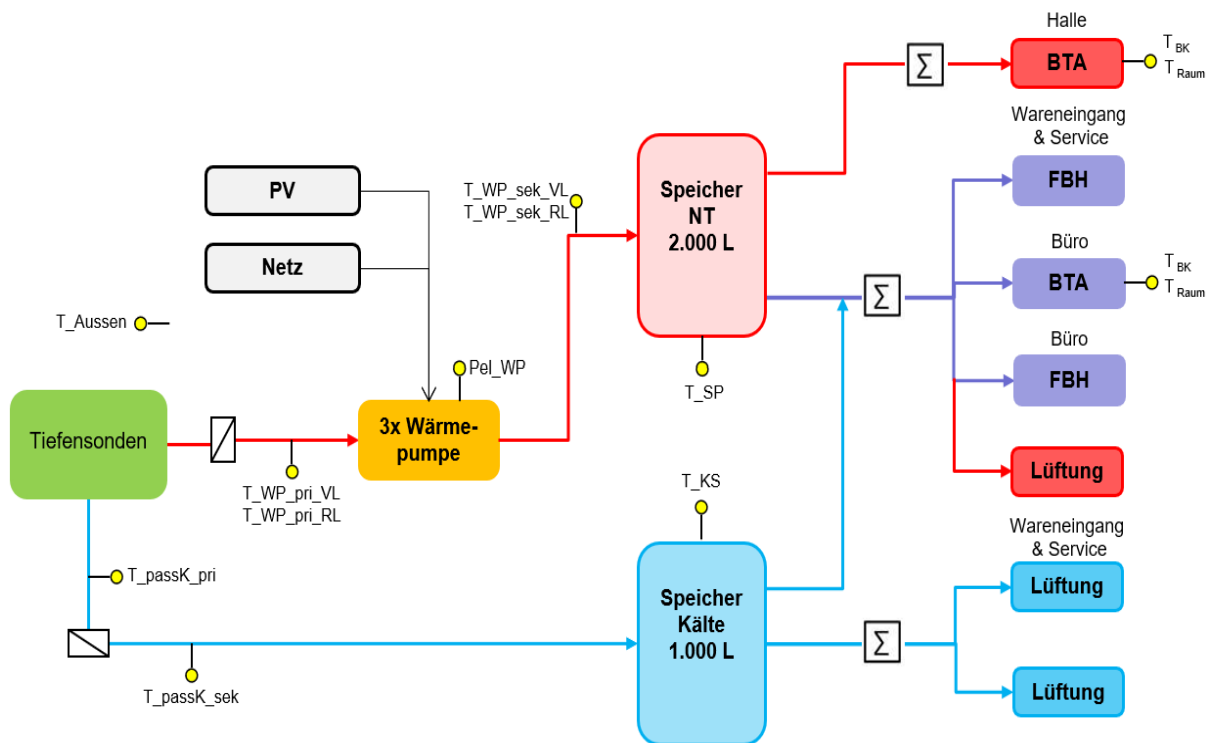


Abbildung 152: Prinzipschema Steiner Haustechnik KG, Gebäudetechnik (AEE INTEC)

8.8.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: 1.Jän. 2024 – 31.Dez. 2024

Gebäudeflächen lt. Energieausweis	
Brutto-Grundfläche (BGF)	15.000 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	12.000 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung			
Speicherkapazität	Zwischendecken Bürogebäude	847 kWh/K (34 %)	
	Bodenplatte Halle	1.667 kWh/K (66 %)	
	BTA gesamt	2.514 kWh/K = 0,17 kWh/K m² _{BGF}	
	Derzeit keine aktive Nutzung der Speicherfähigkeit der BTA.		
Deckungsgrad lokaler Energieträger	Heizung mittels Sole/Wasser-Wärmepumpen		
Gesamtgebäude: Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast*	800 kW	67 W/m² _{BF}
	Installierte Heizleistung	270 kW	23 W/m² _{BF}
	Gemessene max. Heizleistung	246 kW	21 W/m² _{BF}
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Büro gesamt	Bodenplatte Halle
	Aktivierte Fläche	ca. 4.000 m² _{akt.}	ca. 10.000 m² _{akt.}
	Max. Heizleistung	ca. 111 kW	ca. 158 kW
	Max. spezifische Heizleistung	ca. 28 W/m² _{akt.}	ca. 16 W/m² _{akt.}
	Vorlauftemp. Heizen	26,2-31,5 °C	20,4-32,7 °C
	Spreizung bei max. Heizleistung	6,3 K	8,6 K
	Max. Kühlleistung	ca. 48 kW	
	Max. spezifische Kühlleistung	ca. 12 W/m² _{akt.}	
	Vorlauftemp. Kühlen	18,0-23,5 °C	
	Spreizung bei max. Kühlleistung	2,9 K	

Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (nur für Raumwärme, exkl. Warmwasserbereitung, Speicher- und Verteilverluste)	21,5 kWh/m ² _{BGF} a
Kühlenergieverbrauch	5,4 kWh/m ² _{BGF} a

*Ermittlung über die im Energieausweis angeführten Leitwerte für Transmission und Lüftung und einem Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen von 33 K.

8.8.3 Nachfragestruktur Wärme

In Abbildung 153 ist die Monatsbilanz der Wärmeverbräuche aufgeteilt nach den verbauten Wärmemengenzählern dargestellt. In Abbildung 154 ist zudem die prozentuelle Aufteilung des Wärmeverbrauchs für das gesamte Monitoringjahr abgebildet. Generell werden hier die auf der Nutzerseite gemessenen Verbrauchswerte diskutiert, etwaige Erzeugungs-, Verteil- oder Speicherverluste sind daher nicht berücksichtigt.

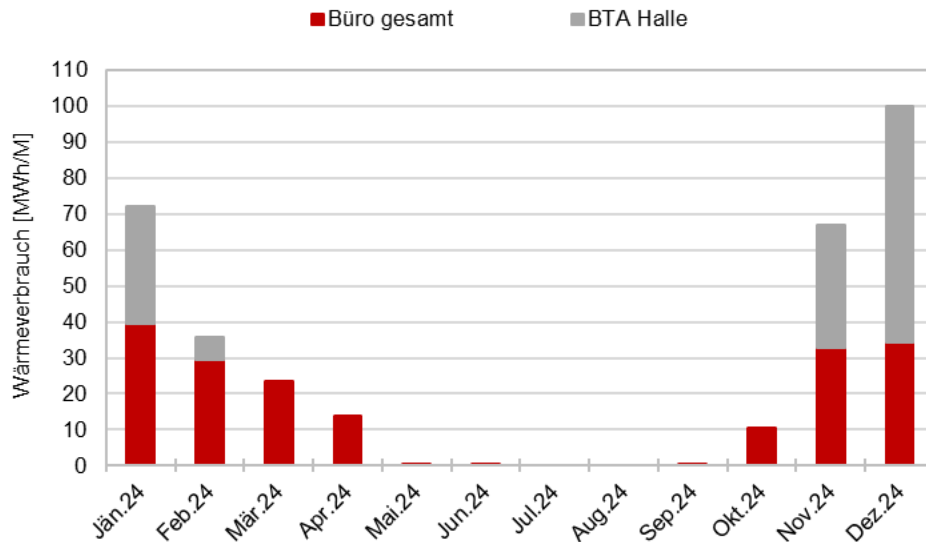


Abbildung 153: Monatsbilanz Wärmeverbrauch (Quelle: AEE INTEC)

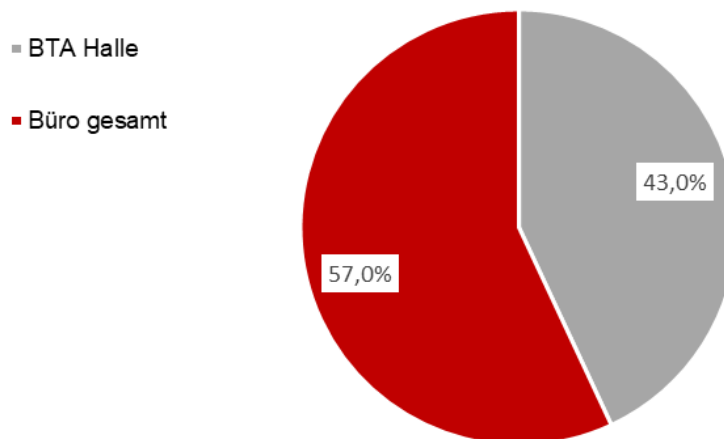


Abbildung 154: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: AEE INTEC)

Es zeigt sich, dass während der Monitoringperiode ein Großteil des Wärmeverbrauchs am Wärmemengenzähler „Büro gesamt“ im Büro- und Ausstellungsbereich gemessen wurde. Als Abgabesysteme dienen in diesen Bereichen die bauteilaktivierten Decken, die Fußbodenheizungen und die Lüftungsanlage. Konkret wurde hier ein Heizwärmeverbrauch von insgesamt 183,8 MWh gemessen. Aufgrund fehlender Sensorik kann nicht genau bestimmt werden, wie sich der Verbrauch

auf die genannten Abgabesysteme aufteilt. Es ist jedoch anhand der Verläufe der einzelnen Versorgungstemperaturen anzunehmen, dass die Raumwärme hauptsächlich über die Bauteilaktivierung eingebracht wird. Am zweiten Wärmemengenzähler „BTA Halle“ an der Versorgung der aktivierten Bodenplatte im Lagerbereich wurde ein Heizwärmeverbrauch von insgesamt 138,9 MWh gemessen. Für das Gesamtobjekt entspricht das in Summe einem spezifischen Heizenergieverbrauch von $21,5 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF a}}$.

Aufgrund fehlender Sensorik auf der Erzeugerseite kann keine Aussage über die Speicher- und Verteilverluste des Wärmesystems getroffen werden. Nichtsdestotrotz sind in Abbildung 155 die Monatsmitteltemperaturen in den beiden Pufferspeichern auf jeweils zwei verschiedenen Höhen dargestellt.

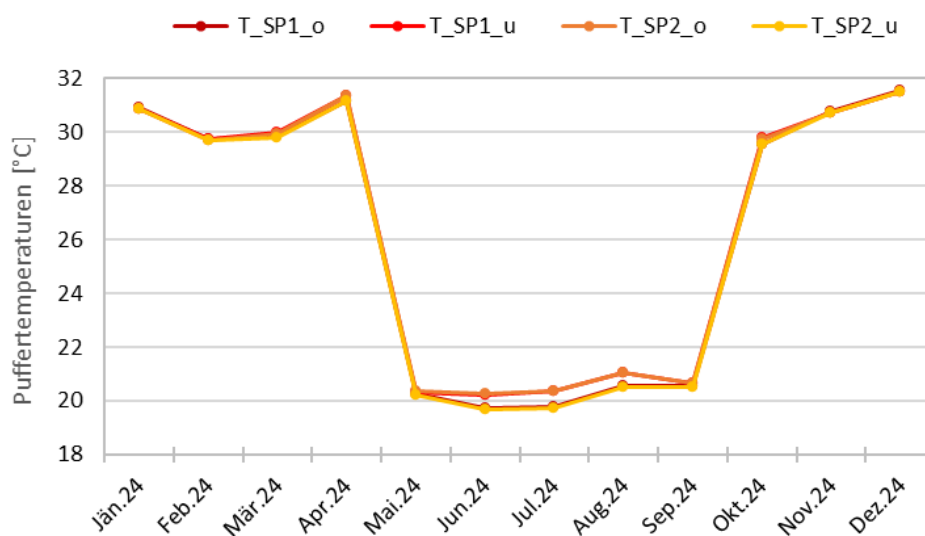


Abbildung 155: Monatliche Mitteltemperaturen des Wärmespeichers (Quelle: AEE INTEC)

Die Heizperiode lief in der betrachteten Monitoringperiode von 1. Jänner bis 30. April und von 25. September bis 31. Dezember 2024. Von 1. Mai bis 24. September befand sich die Anlage im Kühlmodus, was auch anhand der dargestellten Temperaturverläufe ersichtlich ist. In der Heizperiode werden die Speicher im Schnitt auf einem Temperaturniveau von etwa 30 bis 32 °C betrieben, was für eine effiziente Wärmeversorgung auf Niedertemperaturniveau spricht. Die beiden Pufferspeicher mit einem verhältnismäßig geringen Volumen von insgesamt 2.000 Liter dienen primär als hydraulische Weiche und zeigen im Betrieb somit generell keinerlei Temperaturschichtung.

Wärmeabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Nachfolgende Diagramme zeigen die Bauteiltemperaturen aus der Heizperiode für die Monate Jänner bis April und Oktober bis Dezember 2024 verglichen mit den entsprechenden Raumlufttemperaturen. Konkret wird in Abbildung 167 die Buchhaltung im Bürotrakt und in Abbildung 168 die Lagerhalle betrachtet.

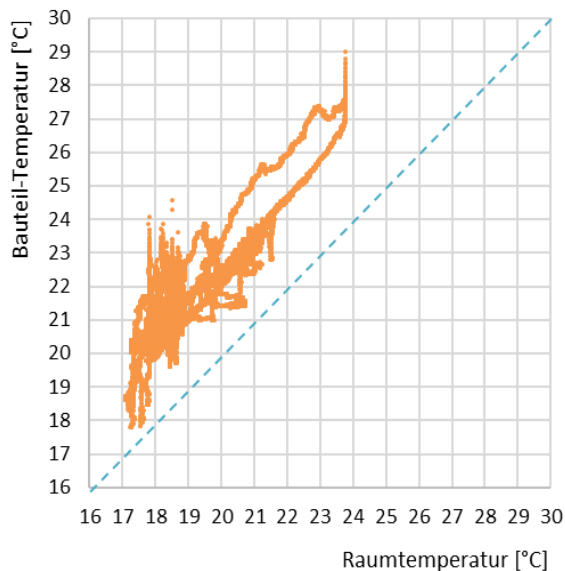


Abbildung 157: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für die Lagerhalle für die Heizperiode Jän.-Apr. & Okt.-Dez.24 (Quelle: AEE INTEC)

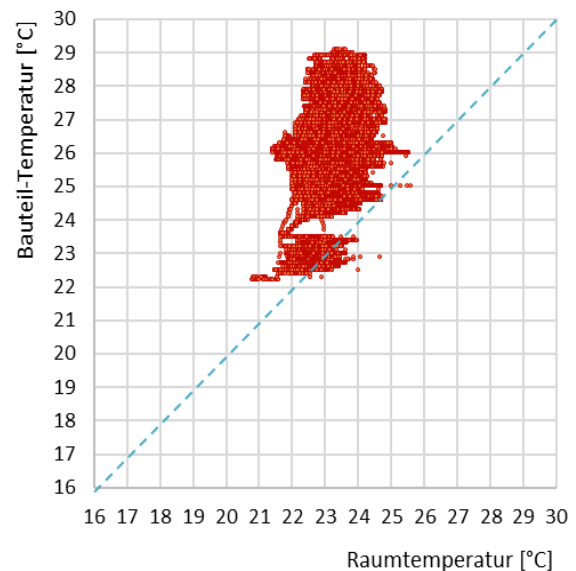


Abbildung 156: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das Buchhaltungsbüro für die Heizperiode Jän.-Apr. & Okt.-Dez.24 (Quelle: AEE INTEC)

Für das betrachtete Büro mit westseitigen Fensterflächen und außenliegender Verschattung zeigen die ausgewerteten Messdaten ein für bauteilaktivierte Systeme typisches thermisches Verhalten. Die Temperatur der aktivierten Decke liegt während der Heizperiode im Mittel um rund 2,4 K über der Raumlufttemperatur; die minimalen und maximalen Differenzen betragen $-1,8$ K bzw. $+6,3$ K. Die Raumtemperaturen bewegen sich dabei im gesamten Zeitraum in einem stabilen und behaglichen Bereich, was auf die geringe benötigte Heizleistung sowie die hohe Temperaturstabilität der thermischen Masse hinweist. Trotz der baulich bedingten Entkopplung durch die abgehängte Decke funktioniert die Wärmeübertragung mit den gewählten moderaten Systemtemperaturen zuverlässig. Um den zusätzlichen thermischen Widerstand der Konstruktion zu kompensieren, wird der Deckenhohlraum mit einem leichten Überdruck beaufschlagt, sodass ein konvektiver Wärmeeintrag in den versorgten Raum unterstützt wird. Nach Angaben des Anlagenplaners verursacht diese Konstruktion und Betriebsweise eine Erhöhung der elektrischen Leistungsaufnahme der Lüftungsanlage um etwa 10 %.

Bei der Lagerhalle liegt die Bauteiltemperatur der Bodenplatte durchschnittlich 2,7 K höher als die entsprechende Raumlufttemperatur bei Differenzen von $+0,3$ bis $+6,2$ K. Hinsichtlich der dargestellten Bauteil- und Raumtemperaturen wurden entsprechende Mittelwerte aus jeweils 4 Sensoren herangezogen. Die Messwerte weisen eine gute Korrelation zwischen Raumluft- und Bauteiltemperatur auf, was auf eine funktionierende Wärmeübertragung und eine weitgehend konstante Betriebsweise der Bodenplattenaktivierung hinweist. Trotz unbekannter Sollwerte der Heizungsregelung lässt sich aus der stabilen Differenz schließen, dass die aktivierte Bodenplatte den

erforderlichen Grundwärmebedarf zuverlässig deckt. Auffällig sind die Raumtemperaturen oberhalb von etwa 22 °C. Hierbei handelt es sich um eine zusammenhängende Messperiode Mitte Dezember. Dies deutet auf temporär erhöhte Sollwerte oder veränderte Betriebsbedingungen hin, die in dieser Phase auch mit höheren Bauteiltemperaturen einhergehen, um den höheren Wärmebedarf zu decken. Insgesamt zeigt das Temperaturverhalten eine robuste und der Nutzung der Halle angemessene Heizwirkung der Bodenaktivierung.

Zur Beurteilung des Betriebsverhaltens der drei zweistufigen Wärmepumpen sind die jeweiligen Stromaufnahmen repräsentativ für den Monat Dezember 2024 in Abbildung 158 dargestellt.

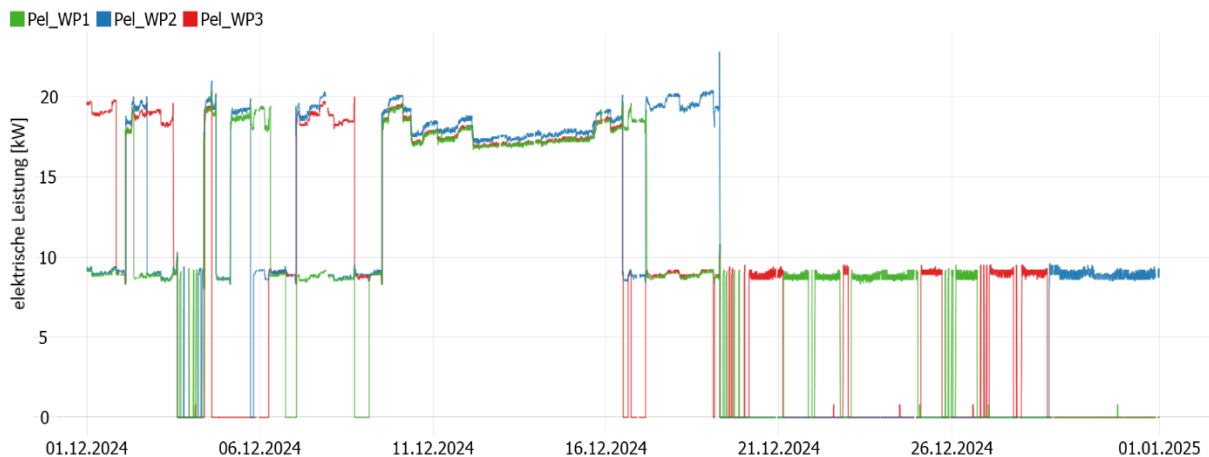


Abbildung 158: Stromaufnahmen der Wärmepumpen für den Zeitraum von 01. bis 31.12.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Mitte Dezember ist erkennbar, dass alle drei Wärmepumpen gleichzeitig auf Volllast betrieben werden, um den in diesem Zeitraum erhöhten Wärmebedarf, insbesondere der Lagerhalle, zu decken. Außerhalb dieser Lastspitze arbeiten die Geräte überwiegend auf 50 % Teillast, wobei die Wärmepumpen im Sinne einer Laststaffelung abwechselnd eingesetzt werden. Insgesamt sind keine unerwünscht kurzen Ein- und Ausschaltzyklen zu erkennen, das Taktungsverhalten ist daher als unkritisch zu bewerten. Zu berücksichtigen ist, dass der zuvor berechneten Heizlast von 800 kW (in der Planung wurden sogar 1,1 MW angegeben) eine installierte thermische Wärmepumpenleistung von insgesamt 270 kW gegenübersteht. Diese bewusst reduzierte Erzeugerleistung ist durch die Nutzung der trägen Gebäudemasse und der Bauteilaktivierung möglich, sodass die erforderlichen Raumtemperaturen ohne nennenswerte Komforteinbußen eingehalten werden können, wie im Kapitel 8.8.5 noch weiter ausgeführt wird. Zudem kann festgehalten werden, dass die Betriebsstrategie bezüglich einer gleichmäßigen Verteilung der Jahresarbeit auf die drei Wärmepumpen planungsgemäß umgesetzt wird. Es zeigt sich eine sehr gleichmäßige Auslastung der Einzelgeräte mit nur geringen Abweichungen:

- WP 1: 19.609 kWh
- WP 2: 20.705 kWh
- WP 3: 19.815 kWh

In Abbildung 159 sind die Stromverbräuche der Wärmepumpen, sowie die durchschnittlichen Arbeitstemperaturen im Vor- und Rücklauf auf der Quell- und Senkenseite dargestellt. Aufgrund fehlender Wärmemengenzähler bzw. Durchflussmesser sowohl auf der Quell- als auch auf der Senkenseite der Wärmepumpen muss auf eine exakte Bewertung der Effizienz bzw. direkte Bestimmung der Jahresarbeitszahl verzichtet werden. Die gemessenen Temperaturen lassen jedoch Rückschlüsse auf die Effizienz des Systems zu. Aufgrund des bereitgestellten über das Jahr stabilen Niedertemperaturniveaus von durchschnittlich 32,7 °C und mittleren Quelltemperaturen von 6,6 °C sowie der beschriebenen Betriebsweise ohne übermäßiges Takten, ist von einer dementsprechend hohen Jahresarbeitszahl auszugehen.

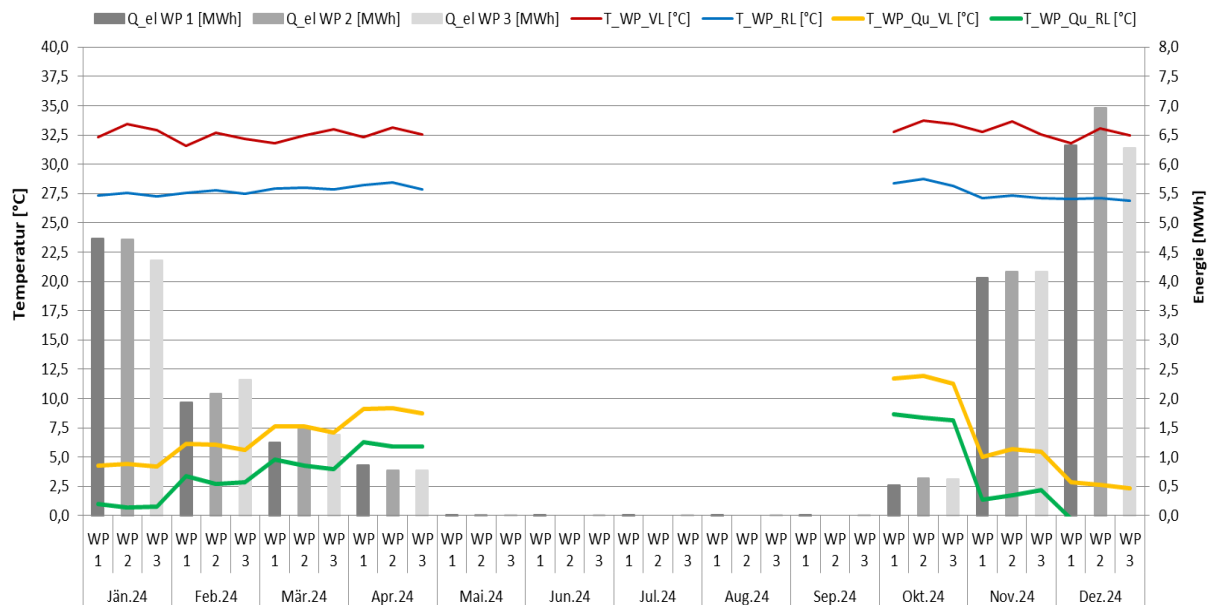


Abbildung 159: Detailanalyse des Wärmepumpensystems (Quelle: AEE INTEC)

Für den Heizbetrieb konnten zusammengefasst folgende KPIs für die beiden Bauteilaktivierungs-Systeme bestimmt werden:

KPI	Zwischendecken Büro	Bodenplatte Halle
Aktivierte Fläche	ca. 4.000 m ²	ca. 10.000 m ²
Max. Heizleistung	ca. 111 kW	ca. 158 kW
Max. spezifische Heizleistung	28 W/m ² _{akt.}	16 W/m ² _{akt.}
Vorlauftemperatur Heizen	26,2-31,5 °C	20,4-32,7 °C
Spreizung bei max. Heizleistung	6,3 K	8,6 K

8.8.4 Nachfragestruktur Kälte

Die Kältebereitstellung erfolgt passiv mit Hilfe der Tiefensonden. Als Abgabesysteme dienen die bauteilaktivierten Decken sowie die Lüftungsanlage. Die Anlage wurde von 1. Mai bis 24. September 2024 im Kühlmodus betrieben. Das Umschalten zwischen Heiz- und Kühlbetrieb erfolgt händisch über zentrale Change-Over-Absperrklappen. In Abbildung 160 ist die Monatsbilanz der Kälteverbräuche aufgeteilt nach Abgabesystemen dargestellt. In Abbildung 161 ist zudem die prozentuelle Aufteilung des Kälteverbrauchs für das gesamte Monitoringjahr abgebildet.

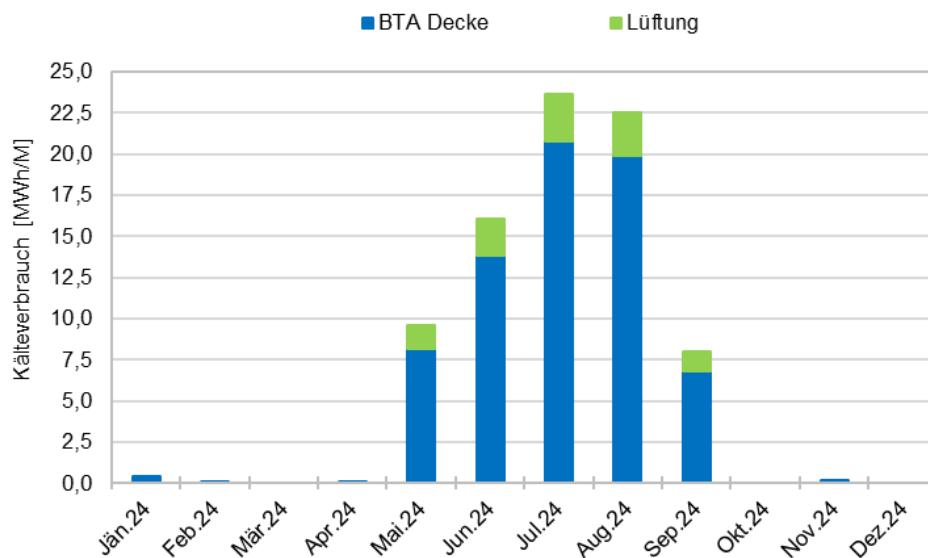


Abbildung 160: Monatsbilanz Kälteverbrauch (Quelle: AEE INTEC)

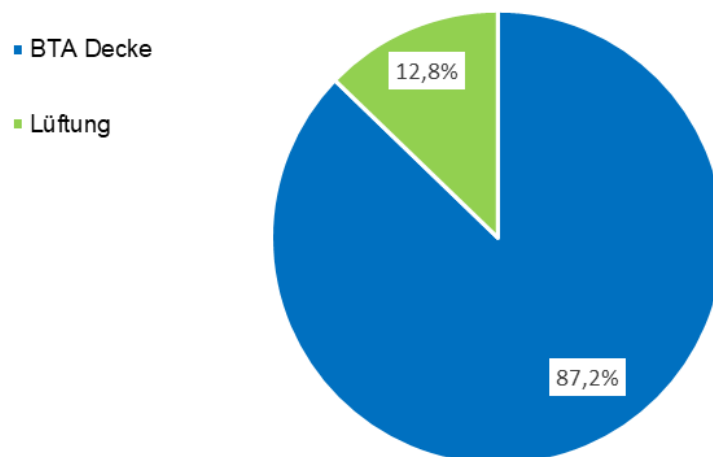


Abbildung 161: Aufteilung der Kälteverbraucher (Quelle: AEE INTEC)

Es zeigt sich, dass während der Monitoringperiode ein Großteil der Kälteübertragung über die Bauteilaktivierung im Büro- und Ausstellungsbereich erfolgt ist. Konkret wurde am entsprechenden

Kältemengenzähler ein Kühlenergieverbrauch von insgesamt 70,2 MWh gemessen. Bei der Versorgung der Kühlregister der Lüftungsanlage wurde ein Kälteverbrauch von 10,3 MWh erfasst. In Summe entspricht das einem spezifischen Kühlenergieverbrauch von 5,4 kWh/m²_{BGF} a.

In Abbildung 162 sind die Monatsmitteltemperaturen im Kältespeicher (1.000 Liter), welcher primär als hydraulische Weiche dient, auf zwei Höhen dargestellt.

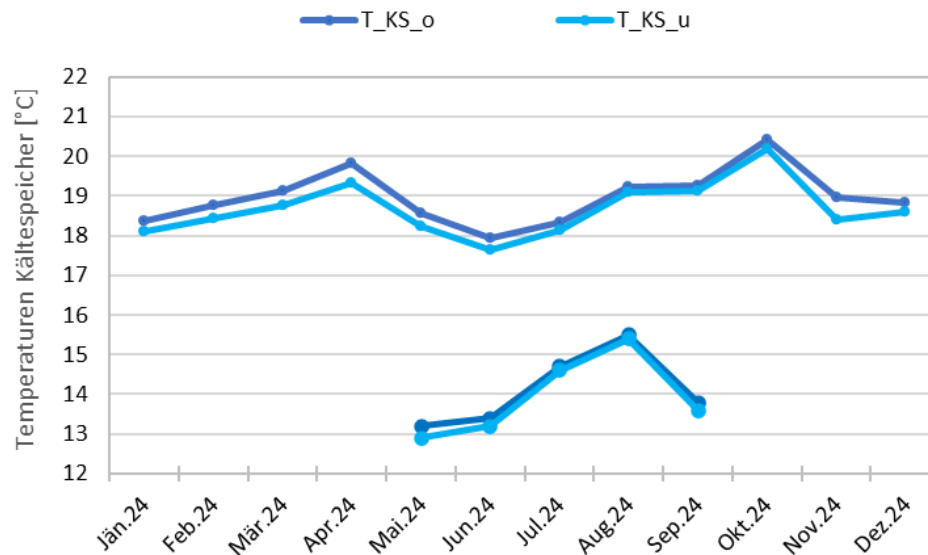


Abbildung 162: Monatliche Mitteltemperaturen des Kältespeichers (Quelle: AEE INTEC)

Der Kältespeicher befindet sich ganzjährig auf einem konstanten mittleren Temperaturniveau von etwa 18 bis 20 °C, was durch die moderaten Versorgungstemperaturen in Verbindung mit der passiven Kühlung über die Tiefensonden erklärt wird. Die unteren Kurven zeigen die jeweils gemessenen gedämpften Minimaltemperaturen im Speicher und entsprechen damit dem tatsächlichen Kälteniveau, das aus den Erdsonden bereitgestellt und den Abgabesystemen zur Verfügung gestellt wird. Diese Werte liegen während der Kühlperiode im Monatsverlauf zwischen 12,9 und 15,5 °C und bestätigen somit das für passive Kühlung typische, stabile und vergleichsweise hohe Temperaturniveau der Kältequelle. Die Wärmeabfuhr über die Tiefensonden trägt generell auch zur thermischen Regeneration des Erdreichs bei, was die langfristige Leistungsfähigkeit der Quelle und einen effizienten Wärmepumpenbetrieb unterstützt.

Kälteabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Abbildung 174 zeigt die Bauteil- und Raumlufttemperaturen des Buchhaltungsbüros für die Kühlperiode von Mai bis September 2024.

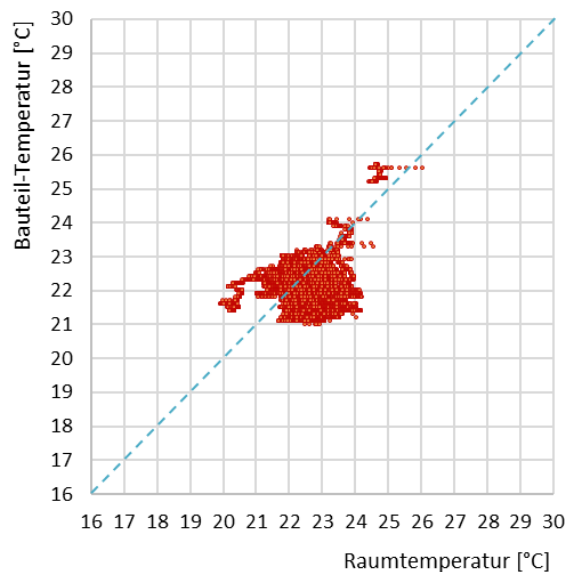


Abbildung 163: Bauteil-Temperaturen über der Raumtemperatur für das Buchhaltungsbüro für die Kühlperiode Mai-Sept.24 (Quelle: AEE INTEC)

Die Bauteiltemperatur liegt während der Kühlperiode im Mittel 0,5 K unter der Raumtemperatur bei minimalen bzw. maximalen Differenzen von -2,8 bzw. +2,0 K. Die Raumtemperaturen zeigen sich sehr stabil und befinden sich überwiegend in einem Bereich von 21 bis 24 °C, was auf eine ausreichende Grundkühlung bzw. Temperierung sowie auf wirksam eingesetzte Verschattungssysteme schließen lässt. Einzelne Ausreißerwerte treten nur in den Umschaltphasen zwischen Heiz- und Kühlbetrieb auf: Temperaturen unter 21 °C wurden Ende September, Temperaturen oberhalb von 24,5 °C wurden Anfang Mai gemessen.

Generell fungiert die aktivierte Decke aufgrund der geringen mittleren Differenz aus Bauteil- und Lufttemperatur und in Zusammenhang mit der hohen thermischen Trägheit weniger als klassische Kühleinheit, sondern vielmehr als thermischer Puffer, der überschüssige Wärme speichert und zeitversetzt abführt, ohne die Oberflächentemperaturen deutlich unter das Niveau der Raumluft zu senken.

Für den Kühlbetrieb konnten zusammengefasst folgende KPIs für das Bauteilaktivierungs-System bestimmt werden:

KPI	Zwischendecken Büro	Bodenplatte Halle
Aktivierte Fläche	ca. 4.000 m ²	ca. 10.000 m ²
Max. Kühlleistung	ca. 48 kW	
Max. spezifische Kühlleistung	12 W/m ² _{akt.}	
Vorlauftemperatur Kühlen	18,0-23,5 °C	
Spreizung bei max. Kühlleistung	2,9 K	

8.8.5 Raumkomfort - Monitoring

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

Im Zuge des kontinuierlichen Raumkomfort-Monitorings wurden die Raumlufttemperaturen der betrachteten Räumlichkeiten näher analysiert. In Abbildung 164 sind die stündlichen Mittelwerte der Raumtemperatur über den entsprechenden Außentemperaturen für das Buchhaltungsbüro, das Büro_LV, das Büro_Res und den Besprechungsraum dargestellt.

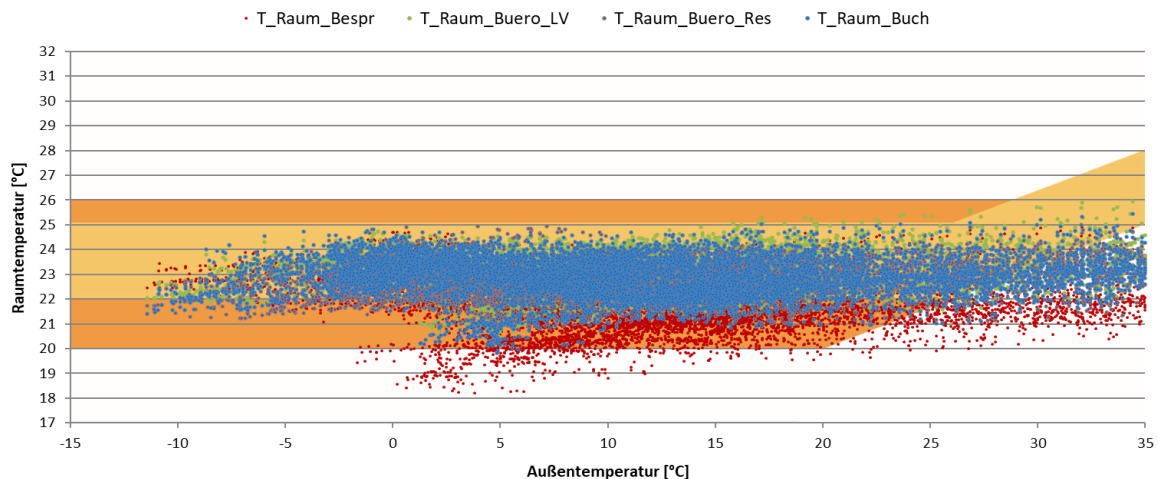


Abbildung 164: Raumlufttemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für diverse Büros (Quelle: AEE INTEC)

Das Diagramm zeigt, dass die Raumtemperaturen der Büros LV und Res beinahe deckungsgleich mit denen der Buchhaltung liegen und damit während der gesamten Monitoringperiode im behaglichen Komfortbereich. Lediglich im Besprechungsraum kommt es zu zeitweisen Untertemperaturen, was vermutlich auf eine unregelmäßige Personenbelegung bzw. bewusste Abkühlung bei Nichtnutzung zurückzuführen ist. In Abbildung 165 sind die gemessenen Temperaturen für die Lagerhalle als Mittelwerte dargestellt.

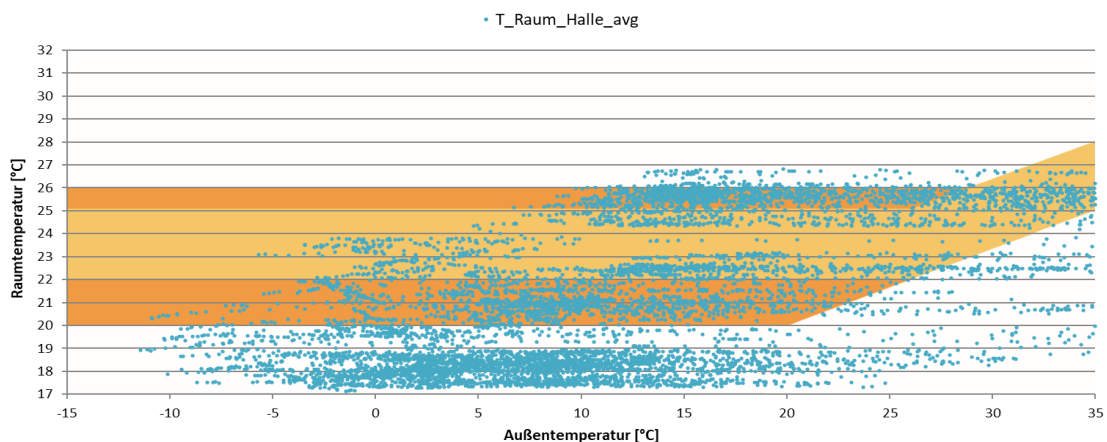


Abbildung 165: Raumlufttemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für die Lagerhalle (Quelle: AEE INTEC)

Im Gegensatz zu den Büroräumlichkeiten weist die Halle eine deutlich größere Temperaturstreuung auf. Generell zeigt sich hinsichtlich der Lufttemperatur eine stärkere Kopplung an die Außentemperatur. Diese geringere Dämpfung ist typisch für Hallengebäude mit niedrigen internen Lasten und großen Luftvolumina. Die Verteilung der Messpunkte zeigt jedoch auch, dass weder Unter- noch Übertemperaturen in einem kritischen Ausmaß auftreten, sodass insgesamt eine nutzungsadäquate Temperierung über die Grundlastabdeckung der aktivierten Bodenplatte gewährleistet ist.

Nachfolgend werden die Raumlufthtemperaturen zweier Räume im Bürotrakt den Kategorien der Standardauslegungswerte für operative Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Anhang B, Tab. B.2 gegenübergestellt (Abbildung 166: Buchhaltungsbüro, Abbildung 167: Besprechungsraum).

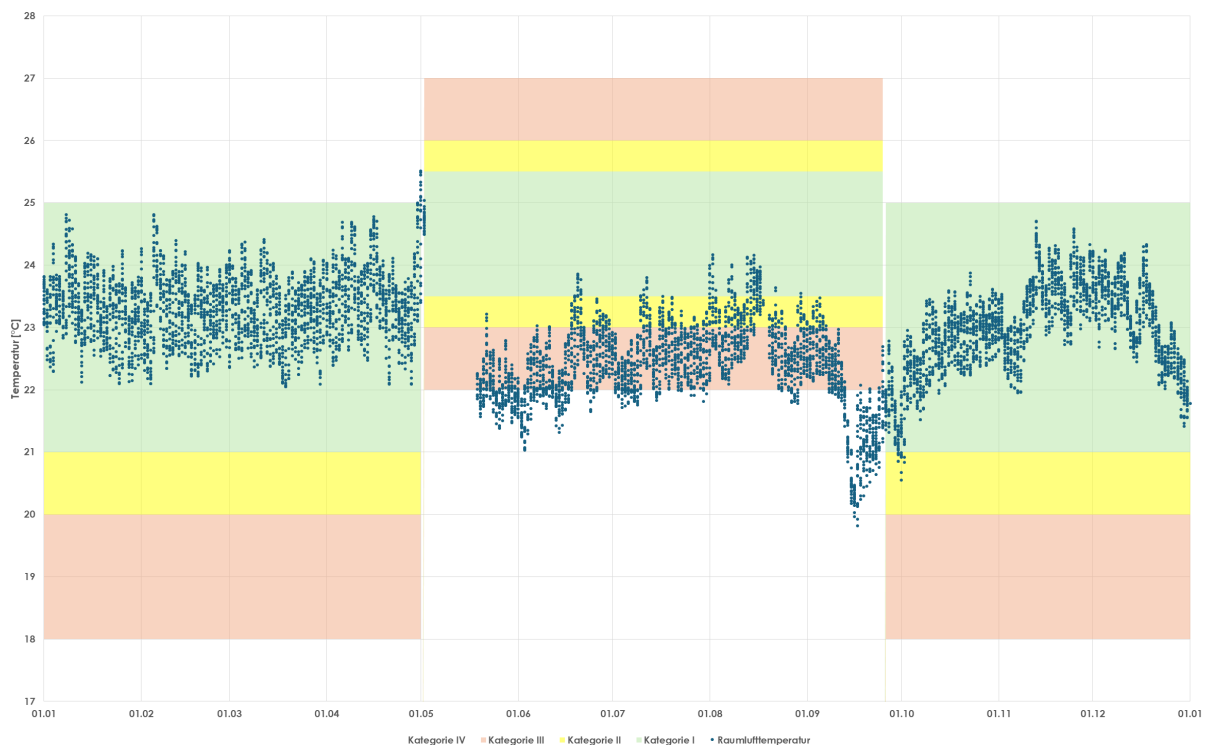


Abbildung 166: Raumlufthtemperatur Buchhaltungsbüro und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)

Während der Heizperiode liegen die gemessenen Temperaturen durchgehend innerhalb der zulässigen Komfortgrenzen. Untertemperaturen treten nicht auf, was auf eine stabile Wärmeversorgung über die bauteilaktivierten Decken und eine hohe Qualität der thermischen Gebäudehülle schließen lässt. Ebenso sind während der Kühlperiode keine Übertemperaturen festzustellen; die Raumlufthtemperaturen verbleiben vollständig in einem eher kühlen Bereich, was auf ein gut abgestimmtes Zusammenspiel aus passiver Kühlung, Verschattung und thermischer Trägheit des Gebäudes zurückzuführen ist. In den Übergangszeiten treten wie bereits beschrieben bei den Umschaltphasen zwischen Heiz- und Kühlobetrieb kurzfristige Temperaturabweichungen nach unten bzw. nach oben auf. Diese Abweichungen spiegeln das systembedingte Trägheitsverhalten des

Gebäudes und die händisch ausgelösten Change-Over-Prozesse wider. Da die bauteilaktivierte Decke aufgrund ihrer großen Speichermasse verzögert auf den Wechsel der Betriebsart reagiert, kann es zu temporären Komfortabweichungen kommen, bis sich das System auf das neue Betriebsniveau eingeregelt hat. Die Häufigkeit dieser Abweichungen beschränkt sich zwar auf die Übergangszeit (die genaue Tagesanzahl kann aufgrund einer Datenlücke Anfang Mai nicht genannt werden), zeigt jedoch ein entsprechendes Optimierungspotential im Bereich der Umschaltlogik, um die Temperaturstabilität über das ganze Jahr zu gewährleisten.

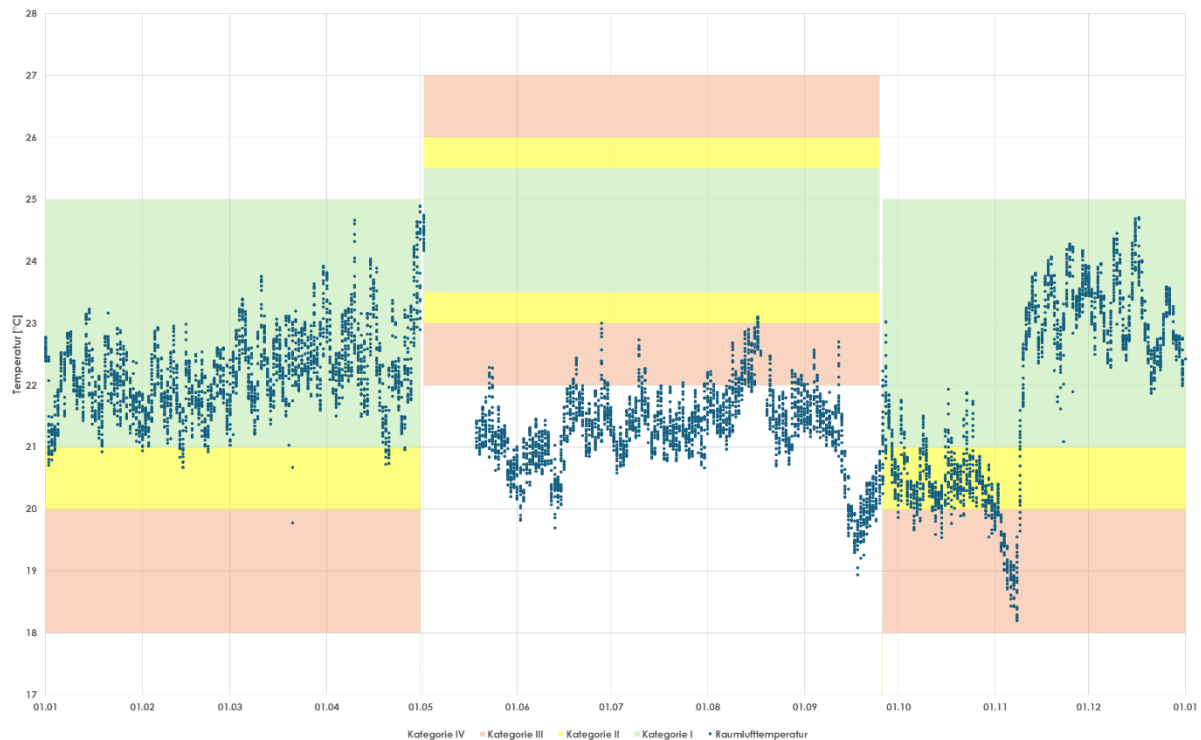


Abbildung 167: Raumlufthtemperatur Besprechungsraum und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)

Auch im Besprechungsraum zeigt sich dieselbe Thematik der Übergangsphasen zwischen Heiz- und Kühlbetrieb. Im Vergleich zum Buchhaltungsbüro liegen die Raumlufthtemperaturen im Mittel etwas niedriger, bewegen sich jedoch über weite Teile des Jahres im komfortablen Bereich. Sommerliche Überhitzungsstunden wurden nicht festgestellt. Während der Heizperiode traten insgesamt 224 Stunden mit Untertemperaturen auf. Diese Abweichungen sind plausibel auf die unregelmäßige Nutzung des Raumes, geringere interne Wärmequellen und möglicherweise niedriger gesetzte Sollwerte zurückzuführen. In diesem Zusammenhang wird die thermische Trägheit des bauteilaktivierten Deckensystems besonders deutlich. Die Erhöhung der Raumlufthtemperatur von 18,4 °C auf 20,6 °C dauerte etwa 12 Stunden und weitere 12 Stunden bis zum Erreichen von 22,1 °C (siehe Anfang November in Abbildung 77). Dieses zeitverzögerte Verhalten ist systemtypisch und nicht als Mangel zu interpretieren. Es zeigt vielmehr, dass kurzfristige Sollwertanpassungen aufgrund der großen Speichermasse nur begrenzt wirksam sind. Daher ist es wichtig, Nutzerinnen und Nutzer über die Reaktionszeit der Bauteilaktivierung zu informieren und die Sollwerte entsprechend vorausschauend bzw. kontinuierlich anzupassen.

An dieser Stelle ist der Unterschied zwischen operativer Temperatur und Lufttemperatur hervorzuheben. Die operative Temperatur (gefühlte Temperatur, Empfindungstemperatur) berücksichtigt neben der Lufttemperatur auch die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen und ist der Hauptfaktor der thermischen Behaglichkeit. Bei einer Flächenheizung liegt die mittlere Strahlungstemperatur im Heizbetrieb in der Regel über und im Kühlbetrieb unter der Lufttemperatur. Dementsprechend würden sich die zuvor dargestellten Temperaturverläufe im Winter etwas nach oben und im Sommer etwas nach unten verschieben. Aufgrund der moderaten Versorgungstemperaturen (besonders bei der passiven Kühlung) ist diese Abweichung aber recht gering, eine detailliertere Analyse folgt im nächsten Unterkapitel.

Operative Temperaturen

Für die Buchhaltung im Bürotrakt wurden mit Hilfe von IR-Messungen der Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen wiederholt die operativen Temperaturen bestimmt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 168 dargestellt.

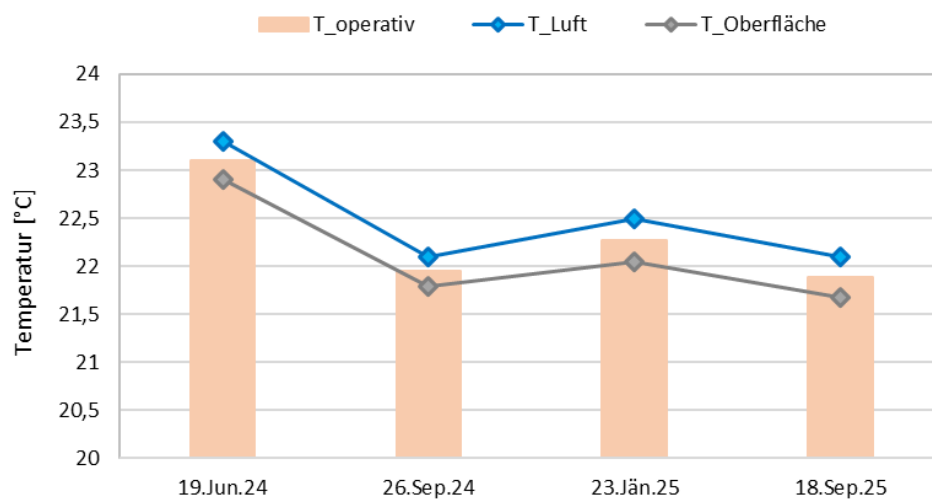


Abbildung 168: Lufttemperaturen, Oberflächentemperaturen und operative Temperaturen für das Buchhaltungsbüro (Quelle: AEE INTEC)

Während der Kühlperiode zeigt sich, dass die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen um 0,4 K unter der gemessenen Raumlufttemperatur liegt. Dadurch ergibt sich eine operative Temperatur, die um 0,2 K niedriger als die Lufttemperatur ist. Die aktivierte Decke weist in diesem Zeitraum eine Oberflächentemperatur von 0,6 K unter der Lufttemperatur auf, was das erwartete Verhalten des passiven Kühlsystems widerspiegelt. Auch während der Wintermessung liegt die operative Temperatur wider Erwarten um 0,2 K unter der Raumlufttemperatur, da die Mitteloberflächentemperatur der umliegenden Flächen um 0,4 K niedriger ist als die gemessene Lufttemperatur. Die aktivierte Decke liegt in diesem Fall nur 0,1 K über der Lufttemperatur, was die sehr homogene Wärmeverteilung der Bauteilaktivierung unterstreicht. Die beiden Messungen in der Übergangszeit zeigen ebenfalls operative Temperaturen, die jeweils rund 0,2 K unter der Lufttemperatur liegen.

Generell kann somit festgehalten werden, dass zwischen Oberflächen- und Lufttemperatur bei den 4 durchgeführten Spot-Messungen nur sehr geringe Differenzen festgestellt werden konnten und die operative Temperatur daher mit guter Übereinstimmung der gemessenen Lufttemperatur entspricht. Aus diesem Grund behält die Behaglichkeitsbewertung aus dem vorangegangenen Unterkapitel auch unter Berücksichtigung der Strahlungstemperatur der Wand- und Deckenoberflächen ihre Gültigkeit.

8.9 Auenwerkstatt, Sbg

Bauteilaktivierung: Bodenplatte (Beton), Decke (Vollholz)		
Objektnutzung: Natur- und Umweltbildungszentrum	Standort: Auenwerkstatt 1, 5151 Nußdorf am Haunsberg	Fertigstellung: 2022

8.9.1 Objektbeschreibung

Das Natur- und Umweltbildungszentrum Auenwerkstatt in den Salzachauen wurde im Jahr 2022 fertiggestellt und verfügt über eine innovative Holz-Architektur. Es bietet durch einen teilbaren Multifunktionsraum, der Raum bis zu 2 Schulklassen für Weiterbildungen bietet. Zudem verfügt das Areal über ein großzügiges Außengelände für Projektarbeit. Es ist das erste kommunale Gebäude Europas, das vollkommen energieautark, d. h. im Normalbetrieb allein durch die Sonne „angetrieben“ wird. Weltweit ist es eines der ersten Gebäude, das im Winter – mittels Bauteilaktivierung – solare Wärme nicht nur in der Betonbodenplatte, sondern auch in der Massivholzdecke speichert. Im Sommer werden die beiden thermisch aktivierten Bauteile mittels Erdkühle (Free Cooling) temperiert und fungieren so als 'Kältespeicher'. Zur Stromerzeugung dient eine Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher.

Neben der Nutzung der Solarenergie sorgt ein Pflanzenöl-BHKW für Strom- und Wärmeerzeugung zur Überbrückung der Einstrahlungs-armen Wintermonate.

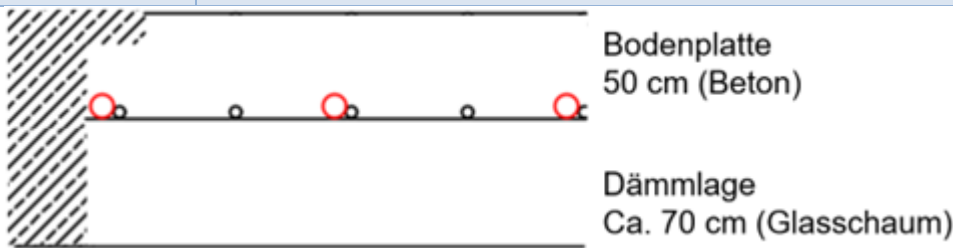
Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	425 m ²	Eigentümer: Land Salzburg
Energiekonzept	Future Is Now – Kuster Energielösungen GmbH	Name: Bernhard Riehl
HKLS-Planung	Wilhelm Brugger	Web: https://www.salzachauen.at/erleben-lernen/die-auenwerkstatt/
Architektur	ZT Architekturbüro Horner	

Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- Holz-Bauweise (mittelschwer), 1-geschossig
- Extensivbegrüntes Flachdach sowie Außenwände teilweise hinterlüftet
- Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen
- Energieautarkes Objekt (auch hinsichtlich Trink- und Abwasserversorgung)
- $A/V = 0,6 [1/m]$, charakteristische Länge 1,67 [m]

Bauteilaktivierung

Die thermische Bauteilaktivierung ist in der Bodenplatte sowie in der Decke ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Bodenplatte	
Einsatz	Heizung und Kühlung
Aktivierte Fläche	Bodenplatte, ca. 340 m ² aktiviert
Aktiviertes Material	Ortbeton, Stärke 50 cm
Verlegungsart	System KE KELIT PEX, Kunststoff-Rohr PEXa, auf unterer Bewehrung/Trägermatte montiert, Dimension 20x2,0mm, Verlegeabstand 20 cm
Regelungsstrategie	Die aktivierte Bodenplatte wird als thermischer Speicher genutzt. Die Freigabe der Bauteilaktivierungs-Heizkreise erfolgt nach der Niedertemperaturspeicher-Temperatur. Die BTA-Heizkreise werden aktiviert, sobald Wärmeenergie im Speicher vorliegt. Ansonsten sind die Umwälzpumpen der beiden Heizkreise nicht aktiv. Der Niedertemperatur-Speicher fungiert aufgrund seiner relativ geringen Größe mit 1000 Liter Nennvolumen als thermisch-hydraulische Weiche. D.h. sobald Wärmeenergie in den Speicher eingebracht wird und die obere Speichertemperatur 27°C übersteigt, starten die Heizkreise für die Bauteilaktivierung. Bei Unterschreitung dieser Temperatur werden die Heizkreise deaktiviert. Volumenstromregelung erfolgt durch eine Konstant-Differenzdruckregelung der Umwälzpumpen. Der Vorlauf für Heizen wird auf eine Solltemperatur von ca. 30°C geregelt. Im Kühlmodus wird der Niedertemperatur-Speicher umgangen und von der Erdkollektor-Anlage Kühlenergie bezogen (im Kühlfall Solltemperatur Vorlauf 19°C). Die raumweise Regelung erfolgt per Raumbediengeräte, bei Anforderung öffnen die Stellventile am jeweiligen Verteiler. Im Kühlfall werden die Nassräume von der Kühlung ausgenommen (zentrale Übersteuerung).
 Bodenplatte 50 cm (Beton) Dämmlage Ca. 70 cm (Glasschaum)	
Abbildung 169: Schnittdarstellung Bodenplatte Rohrleitungen auf unterer Bewehrungslage (Quelle: hacon GmbH, angepasst durch e7)	

Aktivierte Bauteile: Holzdecke											
Einsatz	Heizung und Kühlung										
Aktivierte Fläche	Vollholzdecke (ca. 298 m ² aktiviert) mit stehender Kernlage, "Holz100 aktiv Decke" der Fa. Thoma Holz GmbH										
Aktiviertes Material	Vollholzdecke, Deckenaufbauten: Flachdach – Kaltdach hinterlüftet (ca. 40% der Deckenfläche) <table> <tr> <td>Systemerde für Extensivbegrünung</td><td>0,22 m</td></tr> <tr> <td>Brettsper Holzdecke</td><td>0,14 m</td></tr> <tr> <td>Träger inkl. Hinterlüftung</td><td>0,10 m</td></tr> <tr> <td>Träger inkl. Zellsulosedämmung</td><td>0,30 m</td></tr> <tr> <td>Thoma Deckenelement</td><td>0,20 m</td></tr> </table>	Systemerde für Extensivbegrünung	0,22 m	Brettsper Holzdecke	0,14 m	Träger inkl. Hinterlüftung	0,10 m	Träger inkl. Zellsulosedämmung	0,30 m	Thoma Deckenelement	0,20 m
Systemerde für Extensivbegrünung	0,22 m										
Brettsper Holzdecke	0,14 m										
Träger inkl. Hinterlüftung	0,10 m										
Träger inkl. Zellsulosedämmung	0,30 m										
Thoma Deckenelement	0,20 m										

	Bauteilaktivierung 0,029 m Deckschicht (Holz) 0,026 m Flachdach – Warmdach (ca. 60% der Deckenfläche) Systemerde für Extensivbegrünung 0,22 m EPS-W25 Gefälled. 4-30 cm i.M. 17 0,17 m EPS-W25 0,20 m Thoma Deckenelement 0,155 m Bauteilaktivierung 0,029 m Deckschicht (Holz) 0,026 m
Verlegungsart	System KE KELIT PEX, Kunststoff-Rohr PEXa, Verlegeabstand 20 cm, Dimension 20x2,0mm, Verrohrung in Vollholzdecke integriert
Regelungsstrategie	Die aktivierte Holzdecke wird als thermischer Speicher genutzt. Die Regelungsstrategie ist ident mit der aktivierten Bodenplatte. Details siehe Beschreibung Regelungsstrategie Bauteilaktivierung Bodenplatte.

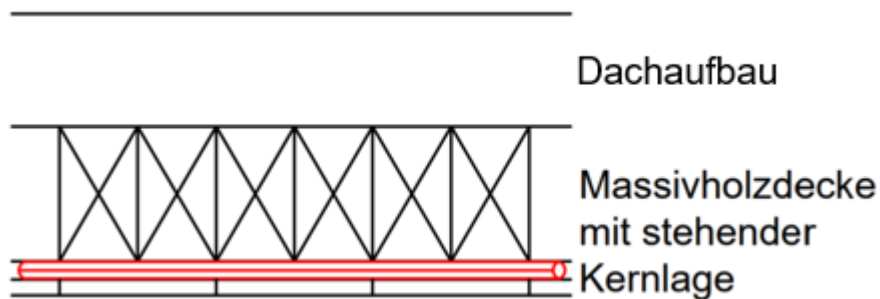


Abbildung 170: Schnittdarstellung Massivholzdecke
(Quelle: Hacon GmbH)

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik	
Heizung	Die Wärmeversorgung erfolgt durch eine Solarthermieranlage als Hauptheizung (45 kW _{th} , 77,9 m ² _{Brutto} , 70° Kollektorneigung, Ausrichtung Süden) sowie ein Biodiesel-BHKW (VL/RL: 80/60°C; Nennleistung 29 kW _{th} , 16 kW _{el}) mit Hochtemperatur- und Niedertemperatur-Pufferspeicher (Hochtemperatur: 5.000 Liter, E-Heizpatrone 3 kW; NT: 1.000 Liter, E-Heizpatrone 3 kW).
Brauch-Warmwasser	Die Zentrale Brauchwasserbereitung erfolgt für das Gesamtobjekt durch ein Frischwassermodul (in der Naßräumen installiert), die Versorgung erfolgt aus dem Hochtemperatur-Pufferspeicher.
Kühlung	Passives Kühlsystem mittels Erdkollektoranlage (Kollektorfeld mit 11 Kreisen je 100 lfm, Auslegungsleistung 20 kW) Lage des Erdkollektorfelds auf Nord-Ost-seitiger Außenfläche, Sole-Erdkollektor Verlegung im Sandbett auf 1,2m unter Niveau, Verlegeabstand 60cm Zusätzlich erfolgt für die Nutzflächen eine Nachtkühlung über das Lüftungsgerät. ET-Raum-Kühlung: Split-Klimaanlage (1,45 kW _{th})
Wärmeabgabe	Bauteilaktivierung • Bodenplatte Auslegungsleistung ca. 15 kW • Holzdecke Auslegungsleistung ca. 15 kW
Kälteabgabe	Bauteilaktivierung • Bodenplatte Auslegungsleistung ca. 9 kW • Holzdecke Auslegungsleistung ca. 9 kW
Lüftungstechnik	Lüftungsanlage: Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung (Nennluftmenge 500 m ³ /h) ohne Heiz-/Kühlregister, CO ₂ -gesteuert bzw. wird bei Nichtbelegung eine Grundlüftung betreiben.
Elektrische Energie	Photovoltaik-Anlage (22,4 kWp, Ausrichtung Süd, Neigung mit 1-achsigem PV-Tracker und automatischer Verstellung 15 – 90°), Batteriespeicher (3 Blöcke Blei-Carbon-Batterien, gesamt 144 kWh Brutto-Speicherkapazität, Nutzkapazität 100 kWh bei max. 70% Tiefenentladung), Backup: Biodiesel-BHKW (16 kW _{el} , 29 kW _{th}), stromgeführte Betriebsweise

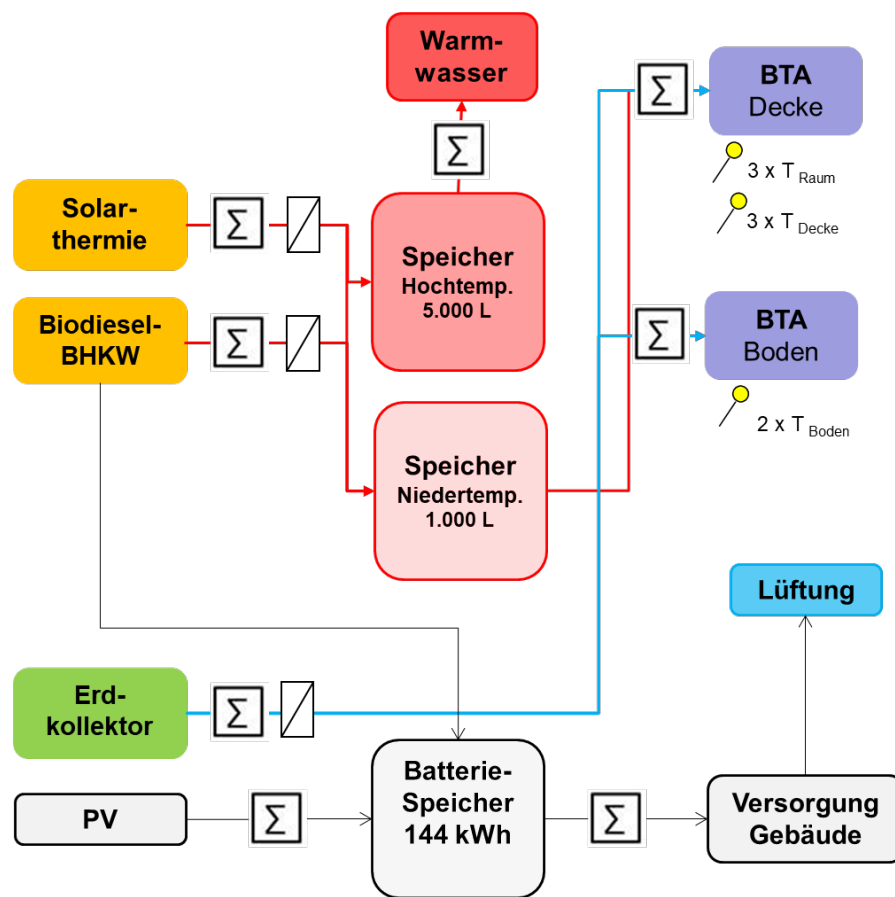


Abbildung 171: Prinzipschema Objekt Auenwerkstatt, Gebäudetechnik und Messkonzept (Quelle: e7)

8.9.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: 1. Jan.– 31. Dez. 2023

Gebäudeflächen lt. Energieausweis	
Brutto-Grundfläche (BGF)	425 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	340 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung			
Speicherkapazität	Bodenplatte	113 kWh/K (91%)	
	Holzdecke	11 kWh/K (9%)	
	BTA gesamt	124 kWh/K (100%) = 0,29 kWh/Km ² _{BGF}	
BTA Speichernutzung:	Heizung: 88% (Restliche Deckung von 12% durch Biodiesel-BHKW)		
Deckungsgrad lokaler Energieträger	Kühlung: 100%		
Gesamtgebäude: Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast nicht bekannt		
	Installierte Heizleistung (Solarthermieranlage)	45 kW	132 W/m ² _{BF}
	Gemessene max. Heizleistung		
	22,4 kW (Bodenplatte) + 8,1 kW (Holzdecke) = 30,5 kW 90 W/m ² _{BF}		
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Holzdecke	Bodenplatte
	Aktivierte Fläche	ca. 298 m ² _{akt.}	ca. 340 m ² _{akt.}
	Max. Heizleistung	ca. 8,1 kW	ca. 22,4 kW
	Max. spezifische Heizleistung	27 W/m ² _{akt.}	66 W/m ² _{akt.}
	Vorlauftemp. Heizen	27-30°C	27-31°C
	Spreizung bei max. Heizleistung	2 K	10 K
	Max. Kühlleistung	ca. 2,7 kW	ca. 10,1 kW
	Max. spezifische Kühlleistung	ca. 9 W/m ² _{akt.}	ca. 30 W/m ² _{akt.}
	Vorlauftemp. Kühlen	18,5-20,5°C	19,0-20,5°C
	Spreizung bei max. Kühlleistung	0,5 K	1,5 K

Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (gesamt für Raumwärme, Warmwasserbereitung inkl. Speicher- und Verteilverluste)	53,5 kWh/m ² _{BGFa}
Kühlenergieverbrauch	3,8 kWh/m ² _{BGFa}

8.9.3 Nachfragestruktur Wärme

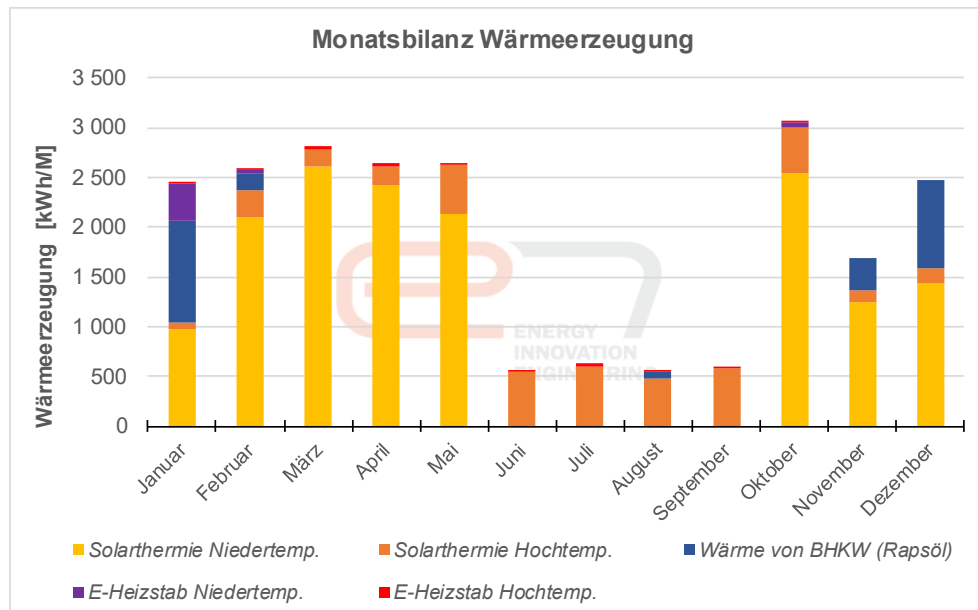


Abbildung 172: Monatsbilanz Wärmeerzeugung (Quelle: e7)

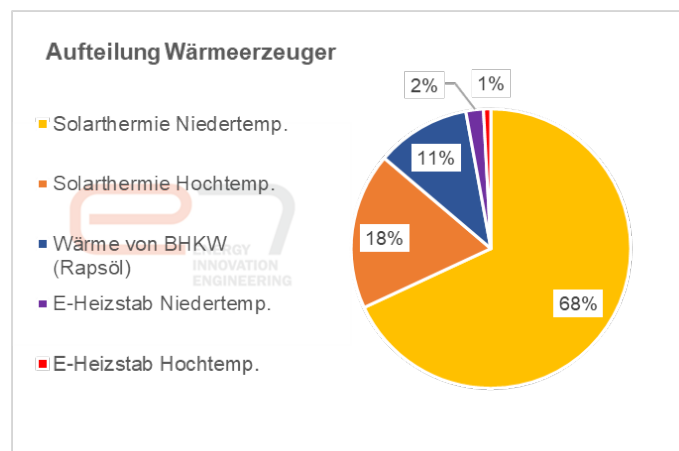


Abbildung 173: Aufteilung der Wärmeerzeuger (Quelle: e7)

Die Wärmeerzeugung erfolgt im Monitoringjahr 2023 zu 86% durch die Solarthermieanlage, welche Wärmeenergie auf Niedertemperatur- und Hochtemperaturniveau bereitstellt. Der spezifische Kollektorertrag beträgt ca. 251 kWh/m²a (Bezugsfläche ist die Brutto-Kollektorfläche).

Zur Deckung der Temperaturanforderungen während der Heizperiode wurde zusätzlich Wärme über das BHKW bezogen, welche einen Anteil von 11% an der Gesamtwärmeerzeugung ausmacht.

Die E-Heizstäbe im Niedertemperatur- und Hochtemperaturspeicher werden durch Strom von der PV-Anlage und, zu den Zeiten an denen das BHKW in Betrieb war, auch teils durch den BHKW-Generator gespeist.

Von der ins Gebäude eingebrachten Jahres-Gesamtwärmemenge für Heizen und Warmwasserbereitung von ca. 22.750 kWh (entspricht einem spezifischen Heizenergieverbrauch von 53,5 kWh/m²_{BGFa}) wurden ca. 88% durch lokale Energieträger (Solarthermie und ein geringer Anteil an PV-Strom) bereitgestellt. Etwa 12% der Wärme wurde durch das BHKW bereitgestellt. Die BHKW-Anlage war dafür ca. 112 Stunden in Betrieb.

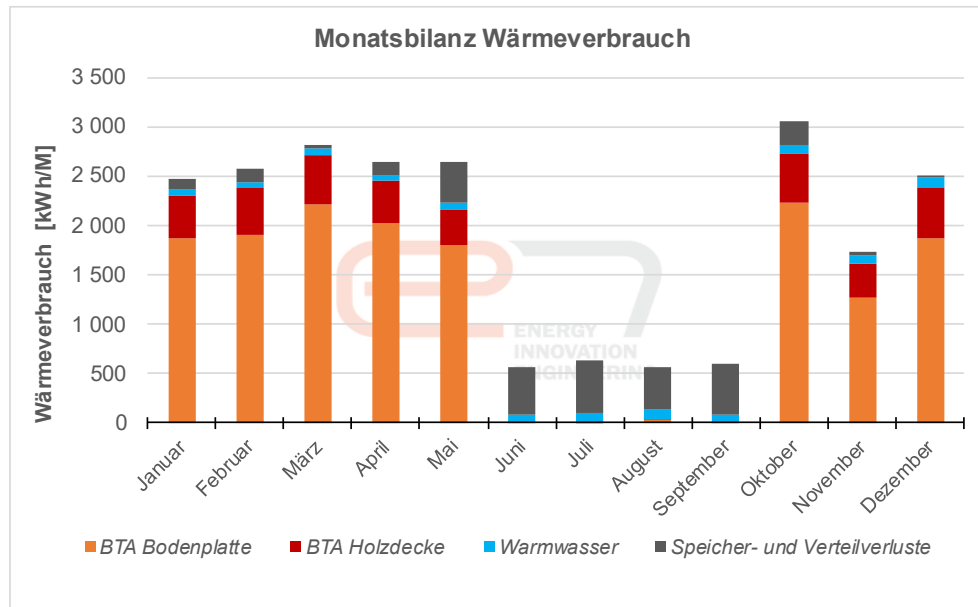


Abbildung 174: Monatsbilanz Wärmeverbrauch (Quelle: e7)

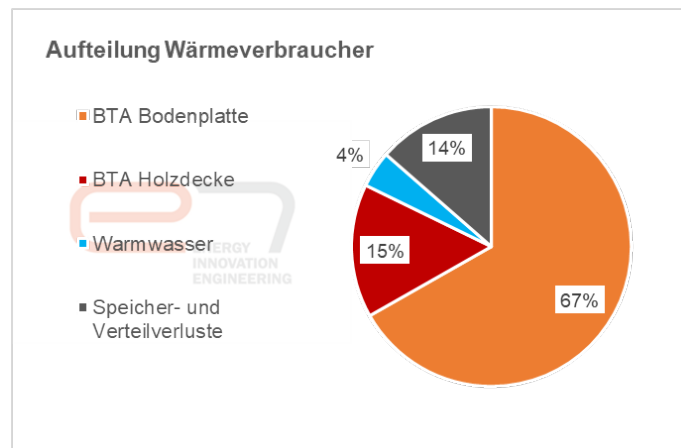


Abbildung 175: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: e7)

In obiger Abbildung ist die Monatsbilanz der Wärmeverbräuche ersichtlich. Es zeigt sich, dass die Wärmeverbräuche für die Raumheizung (BTA Bodenplatte und BTA Holzdecke) den Hauptverbrauch ausmachen (ca. 82% der Wärmeerzeugung, ca. 44,1 kWh/m²_{BGFa}).

Der Wärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung liegt bei einem geringen Anteil von ca. 4%. Generell wird festgestellt, dass der Warmwasserverbrauch auch während der Hauptnutzungszeit im Sommerhalbjahr sehr gering ist. Demnach kann festgehalten werden, dass die umgesetzte Anlagentechnik für die Warmwasserbereitung (mit einem 5.000 Liter fassenden Hochtemperatur-

Speicher und entsprechender Ladetechnik) nicht erforderlich gewesen wäre. Die aktuelle Warmwassernutzung könnte mit einer deutlich kostengünstigeren dezentral-elektrischen Warmwasser-Bereitstellungslösung erfolgen.

Die Heizperiode lief bis zum 25. Mai 2023. Ab diesen Zeitpunkt wurde die Anlagentechnik im Kühlmodus betrieben. Am 1. Okt. 2023 wurde wieder auf den Heizmodus umgestellt.

Die Speicher- und Verteilverluste des Wärmesystems belaufen sich auf ca. 14%, welche während der Heizperiode auch der Raumwärmeversorgung zugutekommen. Aus der Abb. 4 lässt sich gut erkennen, dass im Zeitraum Mai bis Okt. 2023 die Speicher- und Verteilverluste deutlich angestiegen sind. Der Grund dafür ist die Anhebung der Hochtemperatur-Speichertemperatur auf 85°C (oben). Außerhalb des genannten Zeitraums wird der Hochtemperatur auf deutlich niedrigeren Temperaturen (ca. 45-50°C) gehalten. Diese Maßnahme dient zur Minimierung der Speicher- und Verteilverluste für Zeiträume außerhalb der Objekt-Hauptnutzung.

Wärmeabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Die Wärmeabgabe der Raumwärme erfolgt bei der Auenwerkstatt durch Bauteilaktivierung auf zwei Ebenen – über die Holzdecke und die Bodenplatte. Die Wärmeabgabe erfolgt maßgeblich über die Bodenplatte, für den Betrachtungszeitraum konnte ein Wärmeabgabe-Anteil von 81% ermittelt werden. Der Anteil der Holzdecke beläuft sich auf 19%.

	Holzdecke	Bodenplatte
Wärmeabgabe-Anteil	19%	81%
Zum Vergleich:		
Speicherkapazität der aktivierten Bauteile	11 kWh/K	113 kWh/K
Anteil der Speicherkapazität bezogen auf die Gesamt-Speicherkapazität	9%	91%

Die obige Tabelle zeigt auch, dass sich die Verhältnisse der Wärmeabgabe-Anteile und Speicherkapazitäts-Anteile der beiden Bauteilaktivierungselemente ähnlich darstellen.

Betriebsstrategie der Bauteilaktivierung für den Heizbetrieb

- Die Freigabe der Bauteilaktivierungs-Heizkreise erfolgt nach der Niedertemperatur-Speichertemperatur. Die BTA-Heizkreise werden aktiviert, sobald Wärmeenergie im Speicher vorliegt. Ansonsten sind die Umwälzpumpen der beiden Heizkreise deaktiviert. Der Niedertemperatur-Speicher fungiert aufgrund der geringen Größe mit 1.000 Liter als thermische Weiche. D.h. sobald Wärmeenergie von der Solarthermieranlage (bzw. durch das BHKW oder dem E-Heizstab) in den Niedertemperatur-Speicher eingebracht wird, werden die Heizkreise für die Bauteilaktivierung gestartet. Die Messdaten zeigen, dass die Heizkreise ab einer Überschreitung der oberen Speichertemperatur von 27°C aktiviert werden.
- Volumenstromregelung erfolgt durch eine Konstant-Differenzdruckregelung der Umwälzpumpen.
- Es gibt nur einen Heiz- und einen Kühlmodus (keinen Regelungsmodus für die Übergangszeit im Frühling oder Herbst, wo weder die Heizung noch die Kühlung aktiv ist). Dieses bestätigen die unterhalb dargestellten Carpet Plots der Wärmeabgabeleistungen beider Bauteilaktivierungs-Elemente. Die Diagramme zeigen, dass bis zum Umstell-Zeitpunkt in den Kühlmodus (am 25.05.2023) aktiv geheizt wurde.

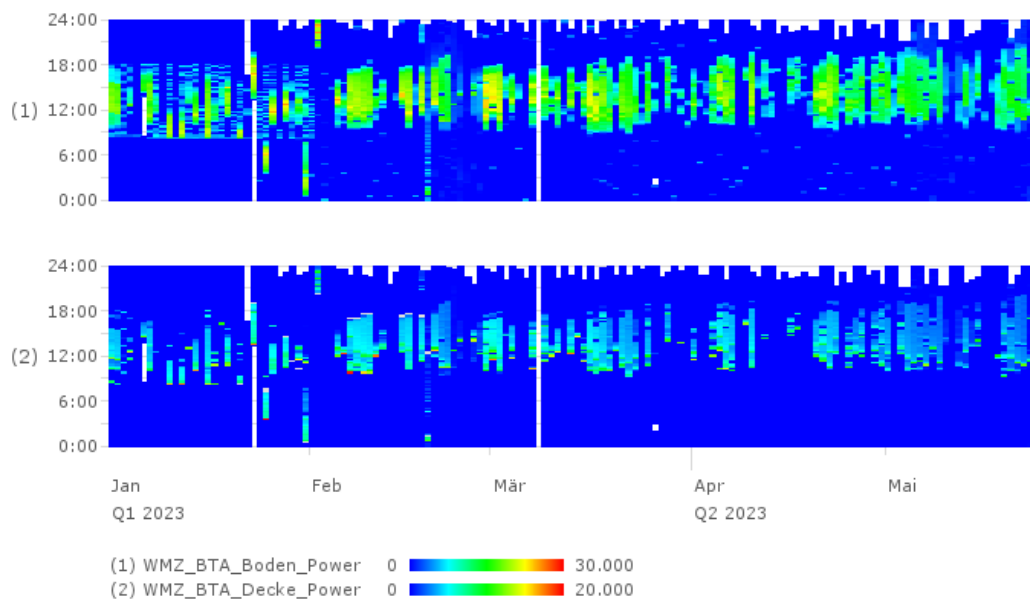


Abbildung 176: Carpet Plot Wärmeabgabeleistung in [W] der BTA Bodenplatte (oben) und der BTA Holzdecke (unten) für den Zeitraum im Heizmodus (1. Jan.- 24. Mai 2023) (Quelle: e7)

Nachfolgende Diagramme zeigen die Bauteiltemperaturen aus der Heizperiode Jan.-April 2023 der Bodenplatte und der Holzdecke über der Raumtemperatur für den Multifunktionsraum.

Es wird ersichtlich, dass die Bodenplatten-Temperatur um 1-4 K über der Raumtemperatur gehalten wird (rote Punktwolke). Die Holzdecke weist eine geringfügig niedrigere Temperatur auf (ca. 0,5 K niedriger), als die vorliegende Raumtemperatur (violette Punktwolke).

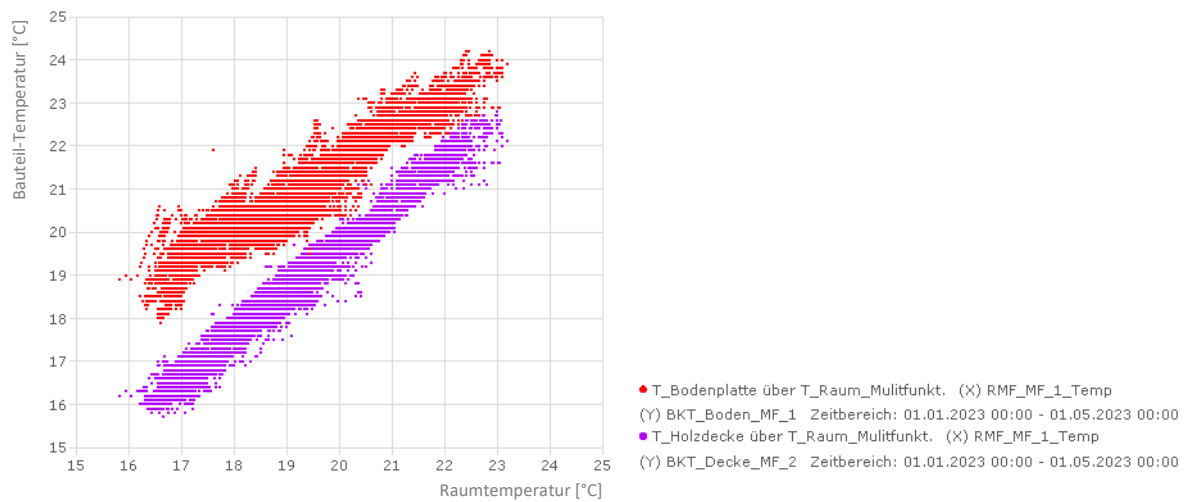


Abbildung 177: Bauteil-Temperaturen in [°C] der Bodenplatte (rote Punktwolke) und der Holzdecke (violette Punktwolke) über der Raumtemperatur für den Multifunktionsraum im Winterzeitraum Jan.-April 2023 (Quelle: e7)

Für den Heizbetrieb konnten folgende KPIs für die beiden Bauteilaktivierungs-Elemente der Auenwerkstatt bestimmt werden:

KPI	Holzdecke	Bodenplatte
Aktivierte Fläche	ca. 298 m ²	ca. 340 m ²
Max. Heizleistung	ca. 8,1 kW	ca. 22,4 kW
Max. spezifische Heizleistung	27 W/m ² _{akt.}	66 W/m ² _{akt.}
Vorlauftemperatur Heizen	27-30°C	27-31°C
Spreizung bei max. Heizleistung	2 K	10 K

8.9.4 Nachfragestruktur Kälte

Die Kältebereitstellung erfolgt per Erdkollektor. Der Kühlmodus wurde am 25. Mai gestartet und lief bis Ende September.

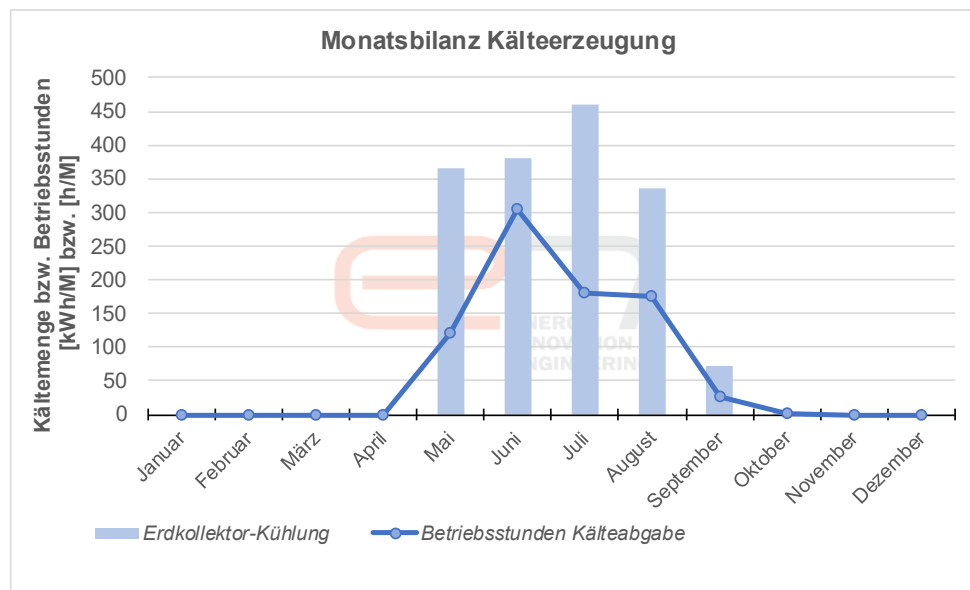


Abbildung 178: Monatsbilanz Kälteerzeugung (Quelle: e7)

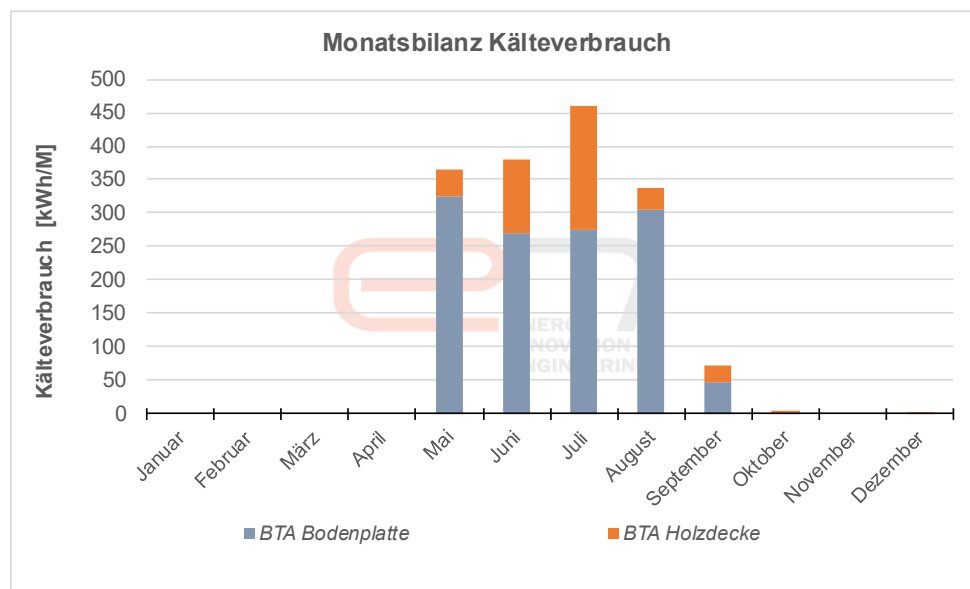


Abbildung 179: Monatsbilanz Kälteverbrauch (Quelle: e7)

Der Gesamtkälteverbrauch beträgt 1.612 kWh über den Zeitraum Ende Mai bis Ende Sept. 2023, was einem sehr geringen spezifischen Kälteverbrauch von 3,8 kWh/m²_{BGFa} entspricht.

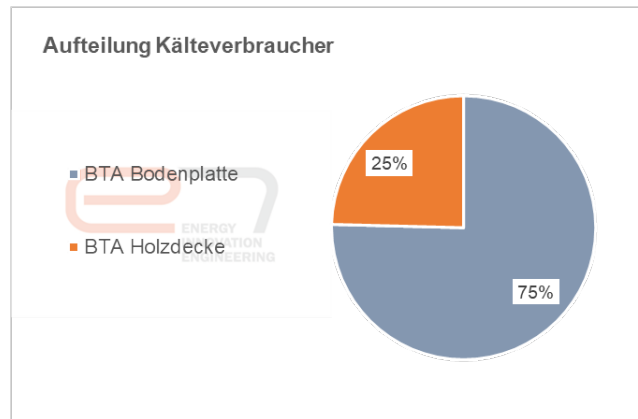


Abbildung 180: Aufteilung der Kälteverbraucher (Quelle: e7)

Die Kälteabgabe erfolgt zu 75% über die Bauteilaktivierung Bodenplatte und zu 25% über die Bauteilaktivierung Holzdecke.

Auf folgende Auffälligkeiten beim Kältebetrieb wird hingewiesen:

Die Umwälzpumpe für den Sole-Erdkollektorkreislauf läuft ab 25. Mai (Aktivierungstag der Kühlung) dauerhaft bis Ende Sept. 2023. Ebenso befinden sich Umwälzpumpen der BTA-Abgabeelemente Betonplatte und Holzdecke weitgehend im Dauerlauf – auch wenn keine Kälteabgabe erfolgt. Die Betriebseinstellungen sollten angepasst werden, um den Pumpen-Stromverbrauch sowie den -Verschleiß zu reduzieren.

Kälteabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Die nachfolgende Abb. zeigt die Leistung der Kältebereitstellung Erdkollektor und die Kälteabgabeleistungen der beiden Bauteilaktivierungs-Elemente während der Kühlperiode 25. Mai bis 30. Sept.

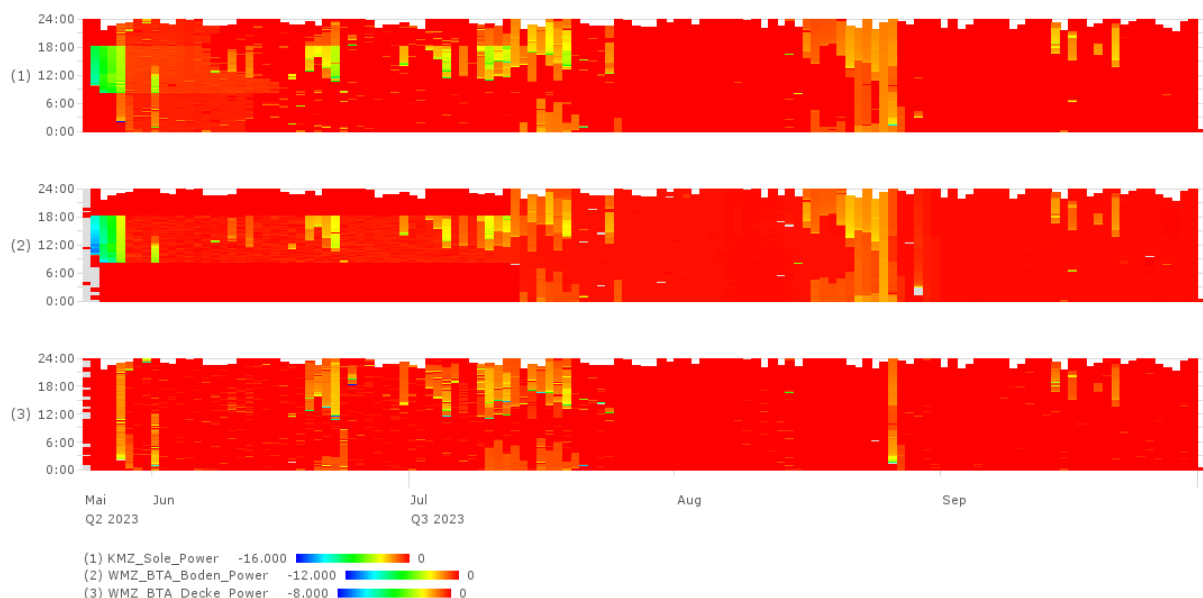


Abbildung 181: Leistung Kältebereitstellung Erdkollektor und Kälteabgabeleistungen in [W] der beiden Bauteilaktivierungs-Elemente während der Kühlperiode 25. Mai bis 30. Sept. (Quelle: e7)

Die Monitoringdaten zeigen, dass die höchsten Kältemengen pro Tag im Zeitraum 25.-30. Mai 2023 eingebracht wurden. Dies ist damit zu begründen, dass während dieser Woche die gespeicherte Wärme aus den aktivierten Bauteilen abgeführt wurde (siehe nachfolgende Abb. mit dem Verlauf der Beton- und Decken-Kerntemperaturen).

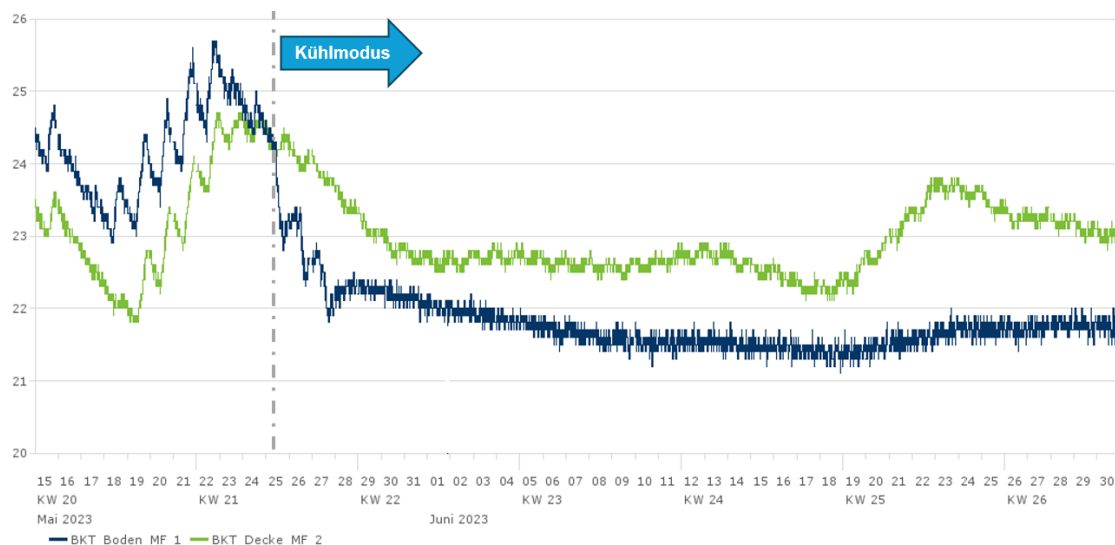


Abbildung 182: Verlauf der Beton- und Decken-Kerntemperaturen in [°C] im Multifunktionsraum, Zeitraum Ende Mai und Juni 2023 (Quelle: e7)

Es zeigt sich, dass die große Speichermasse der beiden aktivierten Bauteile langanhaltende konstante Raumkomfortbedingungen hervorruft und z.B. nach der erstmaligen Aktivierung Ende Mai erst nach einigen Wochen wieder (in der 2. Junihälfte) größere Kältemengen benötigt werden.

Für den Kühlbetrieb konnten folgende KPIs für die beiden Bauteilaktivierungs-Elemente bestimmt werden:

KPI	Holzdecke	Bodenplatte
Aktivierte Fläche	ca. 298 m ²	ca. 340 m ²
Max. Kühlleistung	ca. 2,7 kW	ca. 10,1 kW
Max. spezifische Kühlleistung	9 W/m ² _{akt.}	30 W/m ² _{akt.}
Vorlauftemperatur Kühlen	18,5-20,5°C	19,0-20,5°C
Spreizung bei max. Kühlleistung	0,5 K	1,5 K

Nachfolgende Abbildungen zeigen die Bauteil-Temperaturen der Bodenplatte und der Holzdecke für die Kühlperiode Juni – August 2023.

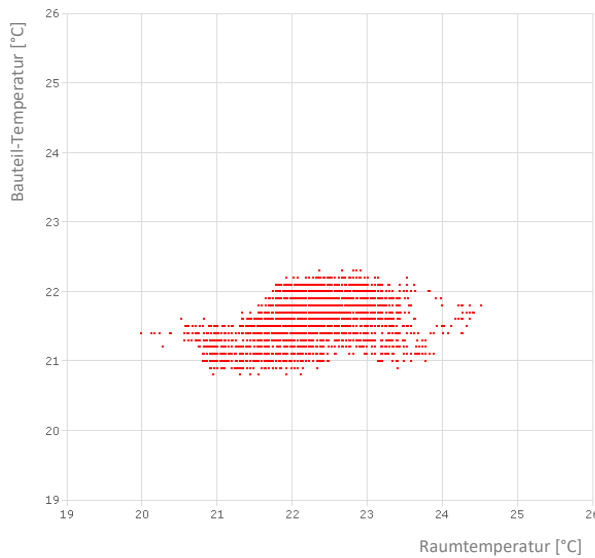


Abbildung 183: Bauteil-Temperaturen in [°C] der Bodenplatte über der Raumtemperatur für den Multifunktionsraum für die Kühlperiode Juni-Aug. 2023 (Quelle: e7)

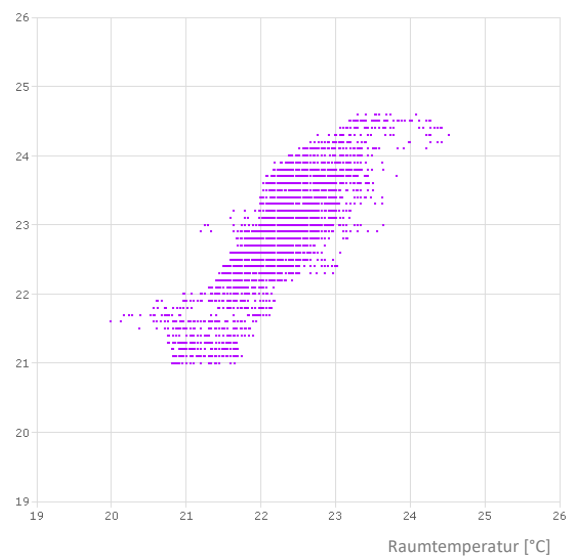


Abbildung 184: Bauteil-Temperaturen in [°C] der Holzdecke über der Raumtemperatur für den Multifunktionsraum für die Kühlperiode Juni-Aug. 2023 (Quelle: e7)

Die Darstellungen bestätigen, dass die Kühlung maßgeblich über die Bodenplatte erfolgt. Die Kühlung über die Holzdecke wird nur in einem geringen Ausmaß genutzt. Die Temperaturen der Holzdecke bewegen sich nahe der Raumlufthtemperatur (0-1 K über Raumlufthtemperatur, Temperaturband 21,0-24,5°C).

Das Temperaturband der Bodenplatte liegt während der Kühlperiode im Bereich von 21-22°C.

Obwohl im Vergleich zur Bodenplatte die Holzdecke material- und konstruktionsbedingt ein geringeres Potenzial für Kühlzwecke aufweist, könnte beim gegenständlichen Objekt der Holzdecken-Anteil der Objekt-Kühlung gesteigert werden, indem geringfügige Anpassungen der Betriebsparameter vorgenommen werden.

8.9.5 Nachfragestruktur Strom

In nachfolgender Abbildung sind die monatlich erzeugten Strommengen der Photovoltaikanlage und des BHKWs dargestellt.

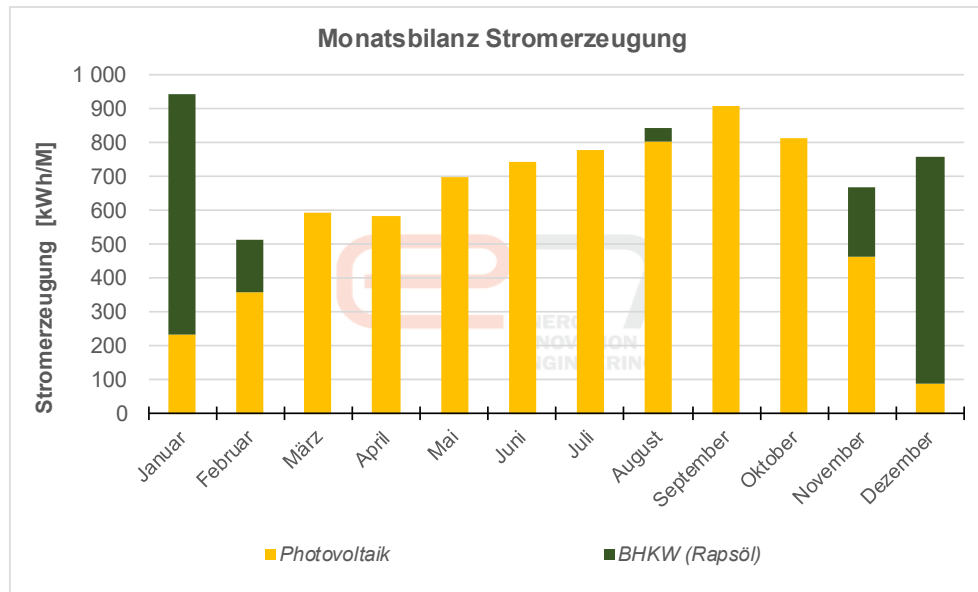


Abbildung 185: Monatsbilanz Stromerzeugung (Quelle: e7)

Der Gesamtstromverbrauch im Monitoringjahr 2023 beträgt 8.858 kWh bzw. 20,8 kWh/m²_{BGFa}. Die Strombereitstellung erfolgte nach folgender Aufteilung:

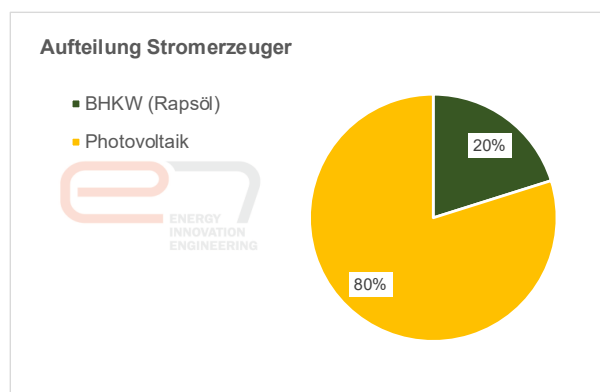


Abbildung 186: Aufteilung der Stromerzeugung 2023 (Quelle: e7)

Die Strombereitstellung erfolgt in den Monaten Jan., Feb., Nov. und Dez. neben der Photovoltaik zusätzlich per BHKW. Ab März bis Sept. wird der Strombedarf nahezu ausschließlich durch die Photovoltaikanlage gedeckt, lediglich am 29.08. lief das BHKW im Zeitraum 00:00 bis 02:45 Uhr. Der BHKW-Betrieb am 29.08. könnte durch die Aktivierung seitens der Strom-Speicheranlage ausgelöst worden sein, da es an den vorhergehenden Tagen durch eine Schlechtwetterperiode zu geringen PV-Stromerzeugungsmengen gekommen ist.

Der Anteil der Photovoltaik-Erzeugung an der Gesamterzeugung beträgt 80%. Der PV-Anteil könnte noch höher liegen. Beispielsweise kann im Dezember 2023 nicht das gesamte Solarpotenzial durch die PV-Anlage genutzt werden, da durch den BHKW-Betrieb für Heizzwecke der Batteriespeicher geladen wird und daher nur geringe PV-Einspeisungen möglich sind.

Die Gesamterzeugung im Jänner 2023 übersteigt die monatlichen Erzeugungsmengen der restlichen Winter-Monate deutlich. Dies lässt sich mit den verstärkten Verbräuchen für die Raumwärme-Bereitung durch den E-Heizstab im Niedertemperatur-Speicher begründen, was in nachfolgender Abbildung auch gut ersichtlich wird (die Regelstrategie für den E-Heizstab im Niedertemperatur-Speicher wurde Mitte 2023 angepasst).

Die Monatsbilanz zeigt die Stromverbräuche der Auenwerkstatt, welche folgende Verbrauchergruppen umfasst:

- E-Heizstab Hochtemperatur-Heizung für Warmwasser-Bereitung
- E-Heizstab Niedertemperatur-Heizung für Raumwärme-Unterstützung
- Hilfsenergie Haustechnik (Heizung, Kühlung, Lüftung, Wasser, Abwasser)
- Betriebsstrom & Beleuchtung

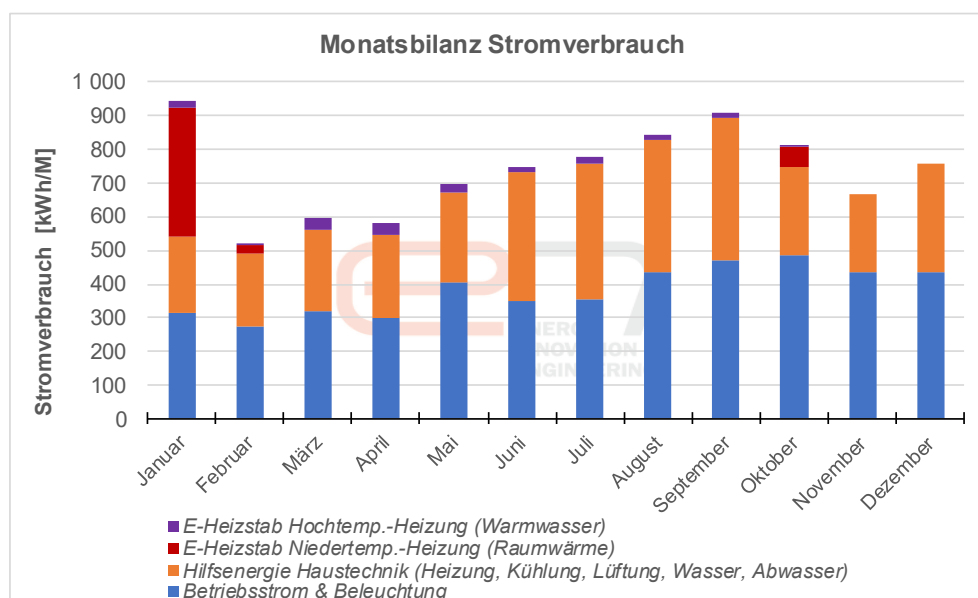


Abbildung 187: Monatsbilanz Stromverbrauch (Quelle: e7)

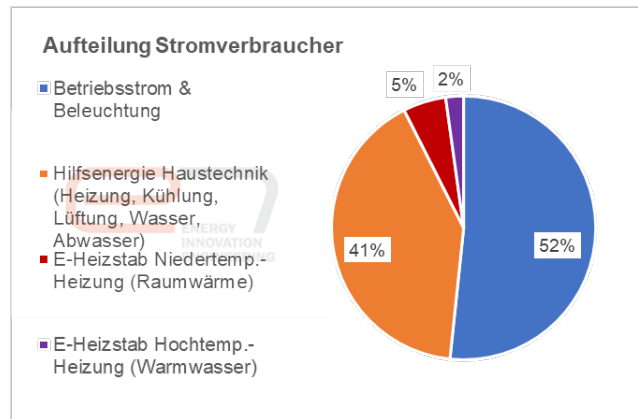


Abbildung 188: Aufteilung der Stromverbraucher 2023 (Quelle: e7)

Die monatlichen Stromverbräuche zeigen, dass ab dem 2. Halbjahr 2023 die Verbrauchergruppe „Betriebsstrom & Beleuchtung“ um ca. 20% höhere Verbräuche aufweist. Dies weist auf eine stärkere Nutzung des Objekts ab dem Sommer 2023 hin.

Die monatlichen Stromverbräuche der Verbrauchergruppen „Hilfsenergie Haustechnik“ hängen stark vom Haustechnik-Anlagenbetrieb ab. Die Monitoringdaten zeigen, dass das Objekt ab dem 25. Mai in den Kühlmodus wechselt. Die Umwälzpumpen für die beiden Bauteilaktivierungs-Versorgungsstränge und der Erdkollektor-Solekreis sind ab Ende Mai dauerhaft in Betrieb. Die anfallenden Stromverbräuche für die Kühlzwecke liegen im Bereich von 130 kWh/Monat. Der Kühlbetrieb zeigt dauerhaft betriebene Umwälzpumpen (auch zu Zeiten, wenn keine Kälte im Objekt benötigt wird), was auf Optimierungspotenziale in der Anlagenregelung hindeutet. Bei optimierter Einregulierung sollten die Umwälzpumpen nur in Betrieb sein, wenn aktiv Kälte in das Objekt eingebracht wird, was einerseits den Stromverbrauch reduziert und andererseits den Verschleiß der Umwälzpumpen verringert. Ab der Aktivierung des Heizbetriebs im Herbst (ab Oktober) reduzieren sich die Verbräuche der Haustechnik wieder auf das Niveau der vorigen Heizperiode.

Die ersichtlichen Stromverbrauchsmengen für den „E-Heizstab Hochtemperatur-Heizung“ werden für die Bereitstellung von Hochtemperatur-Wärme für die Warmwasserbereitung benötigt. Im Zuge des Monitoringprojekts wurden für den E-Heizstab-Betrieb regelungstechnische Optimierungsmaßnahmen getroffen, welche ab Okt. 2023 eine deutlichen Reduktion der E-Heizstab-Stromaufwände bewirken.

8.9.6 Raumkomfort - Monitoring

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

Referenzräume:

1. Büro
2. Multifunktionsraum 1
3. Multifunktionsraum 2

Hinweis: Der Multifunktionsraum hat 2 Messstellen, da er so konzipiert ist, dass er mittels Trennwand in 2 Räume aufgeteilt werden kann. Während des Betrachtungszeitraums war die Trennwand

dauerhaft geöffnet, d.h. die beiden Messstellen liefen annähernd gleiche Messergebnisse. Aus diesem Grund werden nachfolgend nur die Ergebnisse des Referenzraums Multifunktionsraum 1 dargestellt.

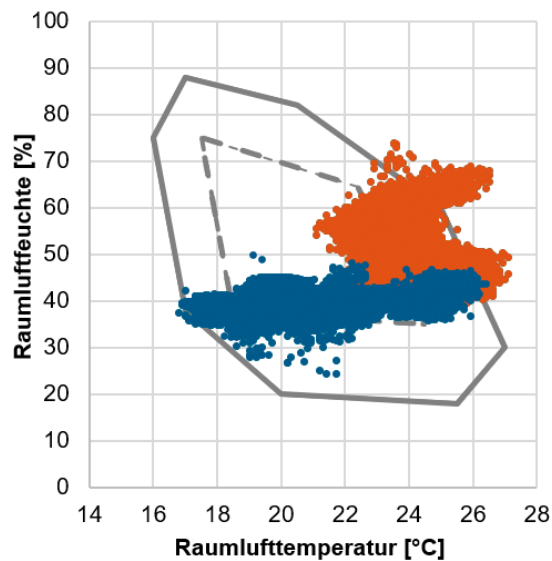


Abbildung 189: Behaglichkeitsdiagramm Büro
(Quelle: e7)

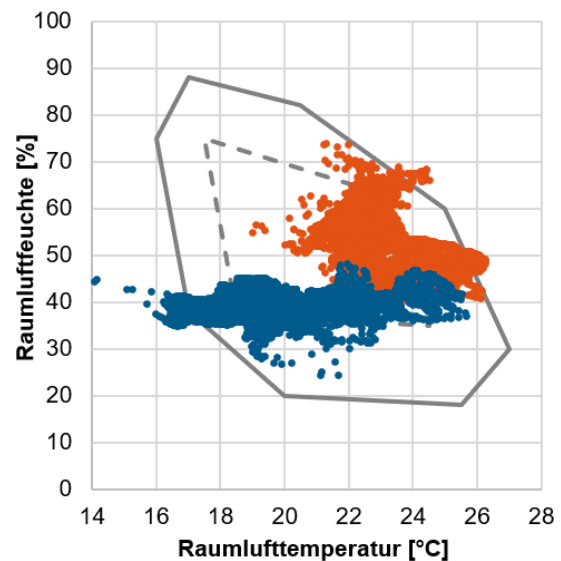


Abbildung 190: Behaglichkeitsdiagramm
Multifunktionsraum 1 (Quelle: e7)

Blau: Heizperiode (Jan. – April 2023 und Okt. – Dez. 2023)
Orange: Sommerperiode (Mai – Sept. 2023)

Die Behaglichkeitsdiagramme zeigen, dass die Raumkonditionen während der Wintermonate Jan. – April 2023 weitgehend im noch behaglichen Komfortbereich liegen. Die geringsten Raumtemperaturen im Bereich von 16–18°C wurden im Zeitraum Ende Jänner bis Anfang Februar verzeichnet. Für diesen Winter-Zeitraum ist anzumerken, dass das Objekt nur 1 mal pro Woche mit Personal belegt ist (kein dauerhaft genutzter Arbeitsplatz, keine Schulungen) und dadurch die niedrigeren Raumtemperaturen akzeptiert sind.

Die Aufzeichnungen zeigen, dass der Büroraum durchwegs um 1-2 K wärmer ist als der Multifunktionsraum. Dies ist vermutlich durch die Abwärme der EDV-Anlagen (inkl. Server-Rack) im Büro zurückzuführen, die den Raum etwas stärker erwärmen lässt.

Abgesehen von den kühlen Perioden außerhalb der Hauptnutzungszeiten im Winter kann ein gutes Raumklima bestätigt werden. Auch die relative Raumluftheuchte bewegt sich durchwegs in einem sehr behaglichen Bereich.

Es ist hervorzuheben, dass während der gesamten Sommerperiode (Hauptnutzungszeit des Objekts) gute, zum Teil aber auch leicht kühle Raumklimabedingungen vorlagen – die Raumluftheuchte befinden sich insbesondere im Multifunktionsraum weitestgehend im Behaglichkeitsfenster. Das Konzept der Bauteilaktivierung mit Flächenkollektor für die Kühlung, außenliegende Verschattung und Lüftungsanlage erweist sich für dieses Objekt als gute Lösung.

Nachfolgend werden die Raumlufttemperaturen der Referenzräume den Kategorien der Standardauslegungswerte für operative Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Anhang B, Tab. B.2 gegenübergestellt.

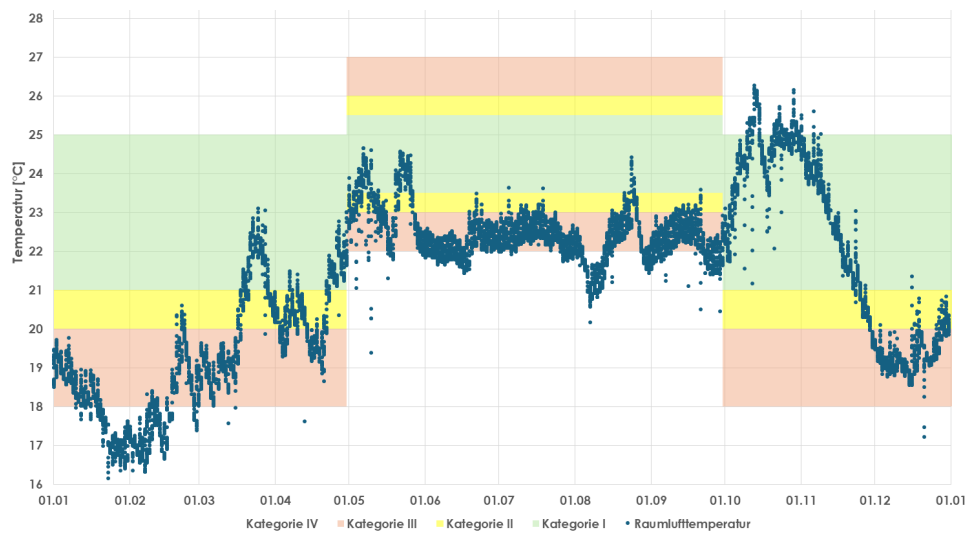


Abbildung 191: Raumlufttemperatur Multifunktionsraum und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Auenwerkstatt (Quelle: e7)

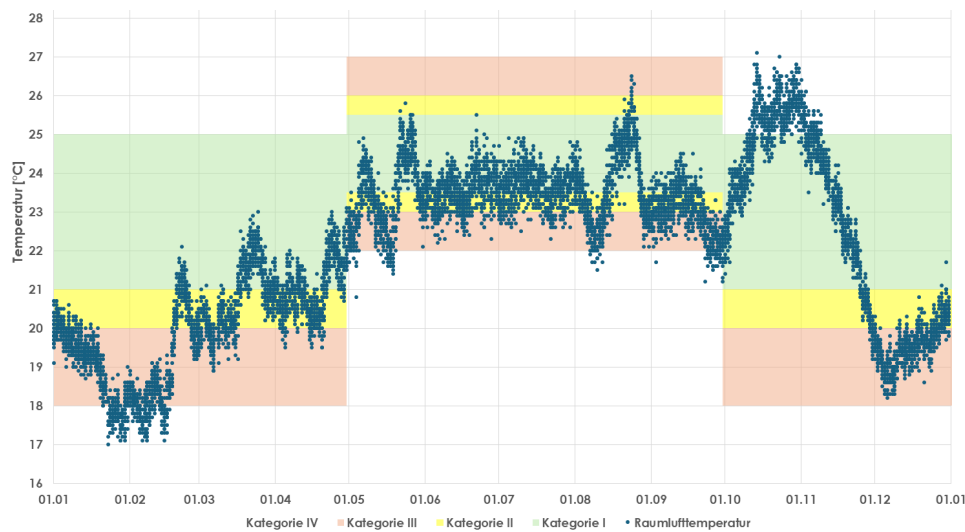


Abbildung 192: Raumlufttemperatur Büro und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Auenwerkstatt (Quelle: e7)

Operative Temperaturen

Die operative Temperatur (gefühlte Temperatur, Empfindungstemperatur) umfasst das Zusammenwirken der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen und ist der Hauptfaktor der thermischen Behaglichkeit.

Für die beiden Referenzräume Büro und Multifunktionsraum 1 & 2 wurden quartalsweise die operativen Temperaturen bestimmt. Die ermittelten operativen Temperaturen gelten als Beleg für das gute Raumklima, siehe nachfolgende Abbildung. Lediglich bei der Messung Winter 2023 (02.02.2023) wurden niedrige operative Temperaturen festgestellt, welche auch mit den niedrigen Raumlufttemperaturen während dieses Zeitraums übereinstimmt.

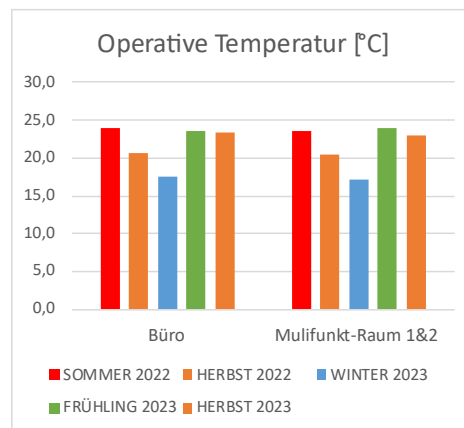


Abbildung 193: Operative Temperaturen für die Referenzräume (Quelle: e7)

Die ermittelten operativen Temperaturen der Referenzräume weichen nur wenige Zehntel-Grad von der jeweils gemessenen Raumlufttemperatur ab, was das gute Raumklima der Auenwerkstatt bestätigt.

Die Verschattung durch die Außenjalousien der großen Fensteroberflächen des Multifunktionsraums erfüllen ihre Wirkung. Es kommt zu keiner gefühlten Überwärmung des Raums während der Sommerperiode.

Behaglichkeits-Messung nach ISO 7730

Behaglichkeits-Messung mittels „Messbaum“ im Referenzraum Multifunktionsraum während des

- Zeitraums „Winter“ 28.02.- 07.03.2023 (7 Tage)
- Zeitraums „Sommer“, Durchführung im Sommer 2024

Folgende Einflussgrößen werden bei dieser Methode der Behaglichkeitsbewertung gemessen und ausgewertet:

- Raumlufttemperatur
- Mittlere Strahlungstemperatur der Raumumschließungsflächen
- Luftgeschwindigkeit
- Luftfeuchte

Winterperiode – Behaglichkeitsmessung nach ISO 7730

Zeitraum: „Winter“ 28.02.- 07.03.2023 (7 Tage)

Folgende Randbedingungen wurden für die Behaglichkeitsbewertung angesetzt:

Bekleidung: Normale Geschäftskleidung ($0,154 \text{ m}^2\text{K/W}$ / $\text{clo}=1,0$)

Aktivität: Sitzend, leichte Tätigkeit (70 W/m^2 / $\text{met}_1 1,2$)

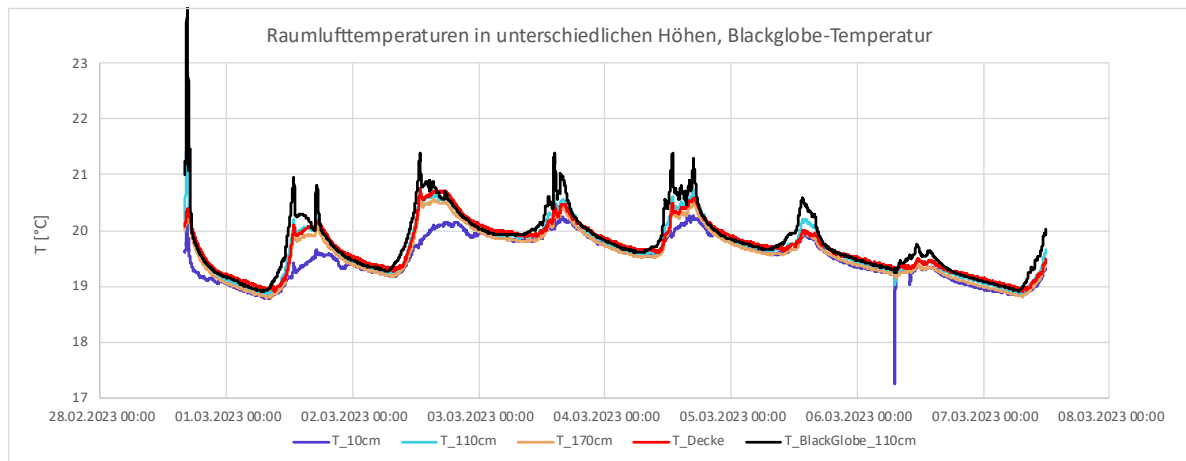


Abbildung 194: Raumlufttemperaturen in unterschiedlichen Höhen und Backglobe-Temperatur im Multifunktionsraum, 28.02.-07.03.2023 (Quelle: AEE INTEC)

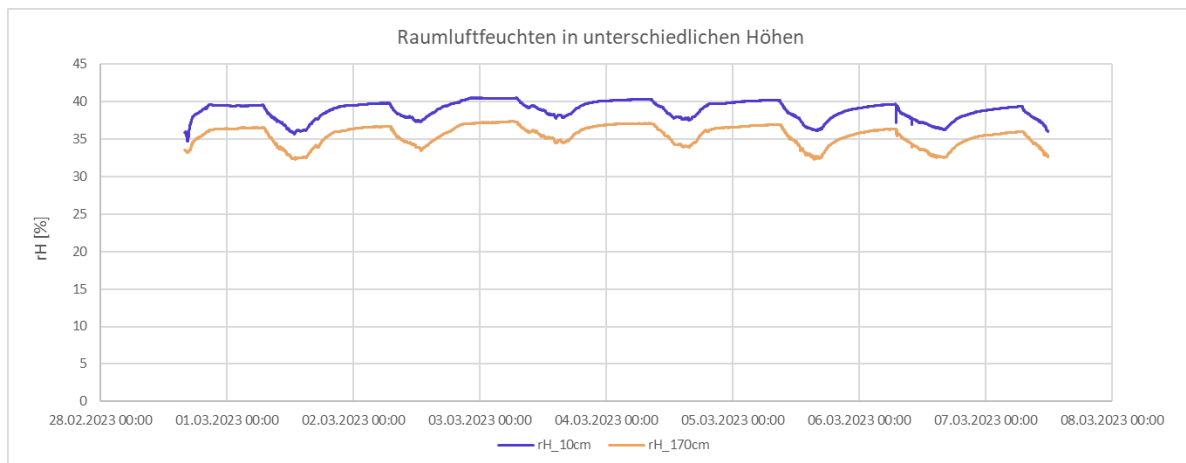


Abbildung 195: Raumluftfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Multifunktionsraum, 28.02.-07.03.2023 (Quelle: AEE INTEC)

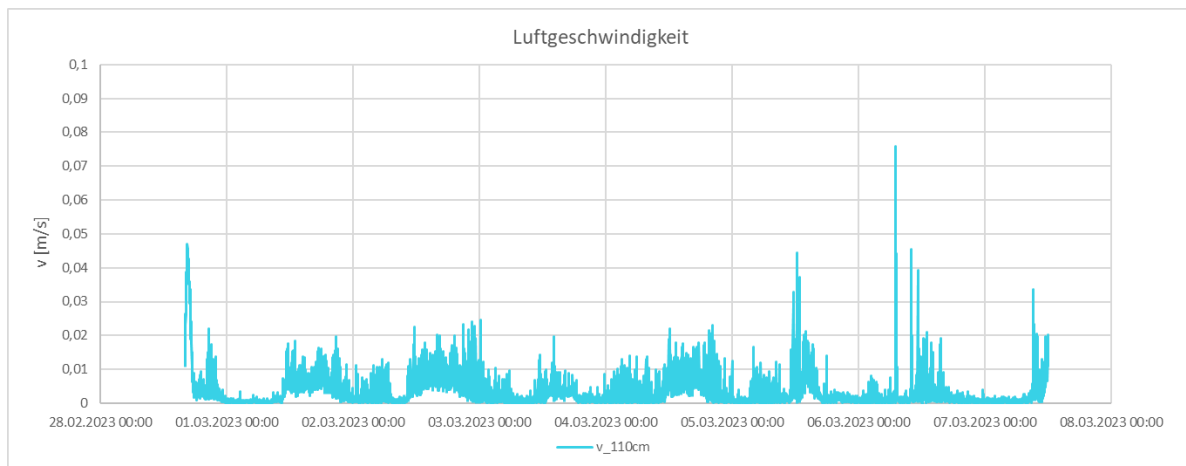


Abbildung 196: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Multifunktionsraum, 28.02.-07.03.2023 (Quelle: AEE INTEC)

Die Behaglichkeitsbewertung erfolgt für die Nutzungszeiten des Objekts: 07 – 18 Uhr.

Das thermische Empfinden nach dem PMV-Index bewegt sich zwischen „leicht kühl“ (-1) und „optimal“ (-0,5 bis +0,5). Der Verlauf über die Messtage stellt sich folgendermaßen dar (Anmerkung: Es werden nur die Zeiten 07 – 18 Uhr angezeigt):

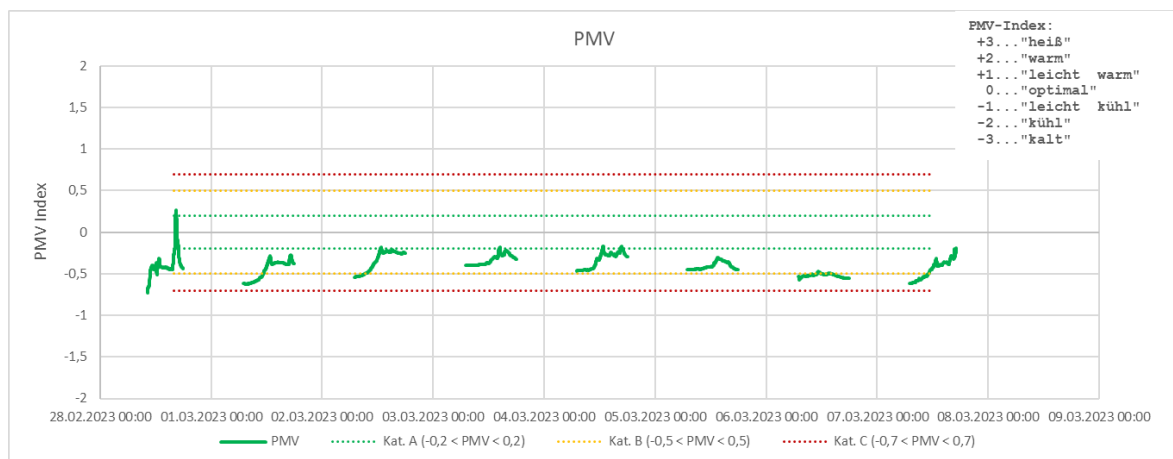


Abbildung 197: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Multifunktionsraum, 28.02.-07.03.2023 (Quelle: AEE INTEC und e7)

Die erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index bewegt sich während der Gebäudenutzungszeiten 07 – 18 Uhr innerhalb des Bandbreite 5 – 14%. Höhere erwartete Unzufriedenheiten ergeben sich während der Vormittagsstunden, da hier die Raumtemperatur noch etwas geringer ist.

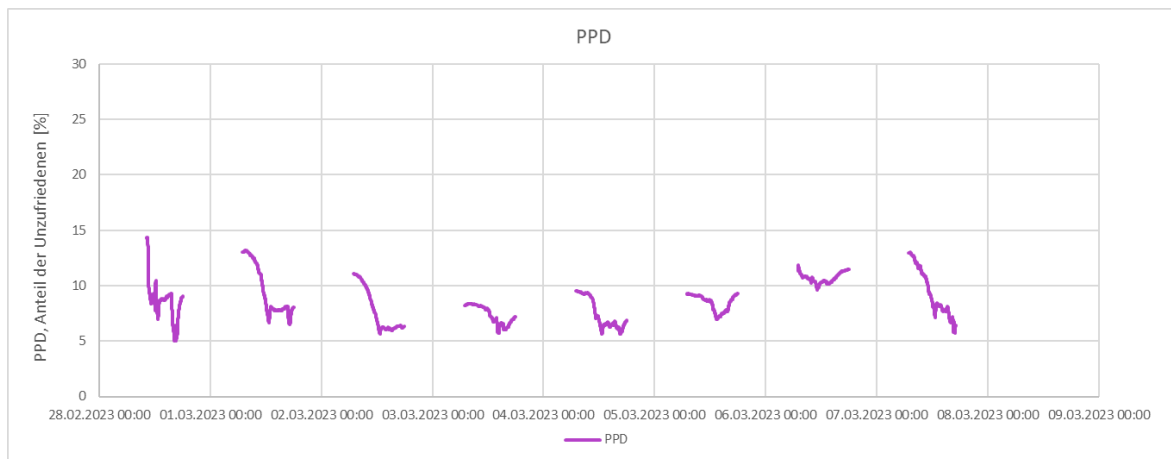


Abbildung 198: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Multifunktionsraum, 28.02.-07.03.2023 (Quelle: AEE INTEC und e7)

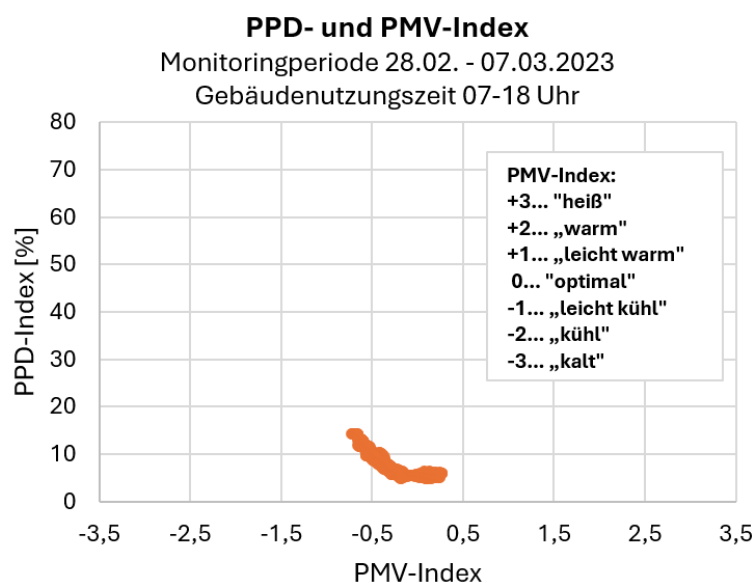


Abbildung 199: PPD- und PVM-Index, Multifunktionsraum, 28.02.-07.03.2023 (Quelle: e7)

Die Ergebnisse belegen, dass weitestgehend angenehme, behagliche Bedingungen im Referenzraum Multifunktionsraum vorlagen. Die erwartete Unzufriedenheitsrate „PPD-Index“ liegt während der sieben Messtage zu den Nutzungszeiten 7 – 18 Uhr im Durchschnitt bei 8,7%, was einen durchaus akzeptablen Wert darstellt.

Sommerperiode – Behaglichkeitsmessung nach ISO 7730

Zeitraum: „Sommer“ 06.08.- 20.08.2024 (14 Tage)

Folgende Randbedingungen wurden für die Behaglichkeitsbewertung angesetzt:

Bekleidung: Leichte Sommerkleidung ($clo=0,5$)

Aktivität: Sitzend, leichte Tätigkeit (70 W/m^2 / $met_{1,2}$)

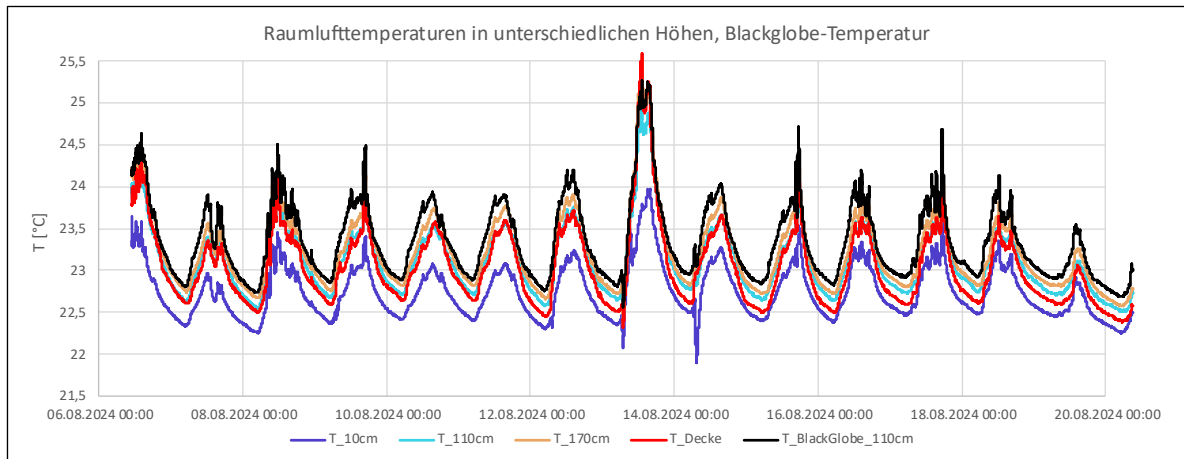


Abbildung 200: Raumlufttemperaturen in unterschiedlichen Höhen und Backglobe-Temperatur im Multifunktionsraum, 06.08.-20.08.2024 (Quelle: AEE INTEC und e7)

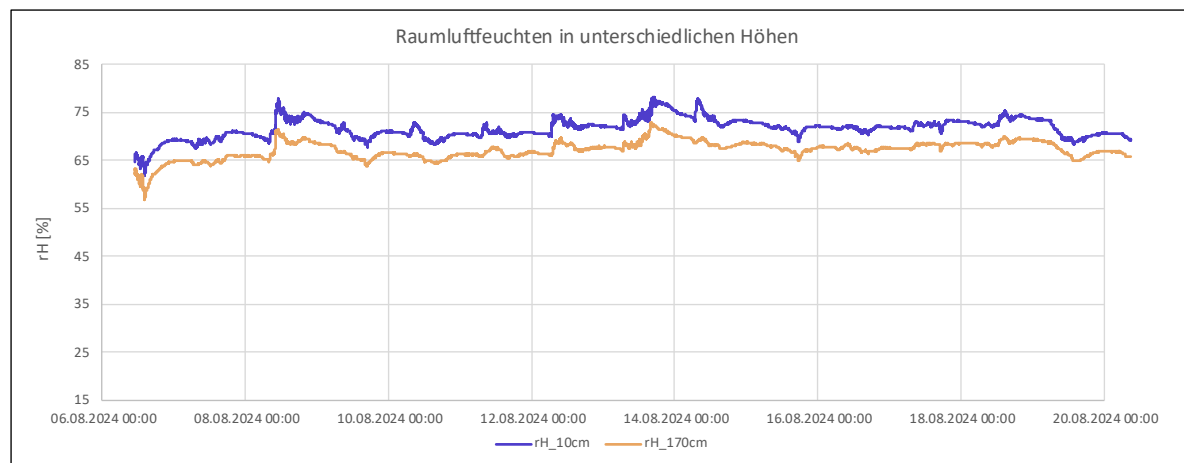


Abbildung 201: Raumluftfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Multifunktionsraum, 06.08.-20.08.2024 (Quelle: AEE INTEC und e7)

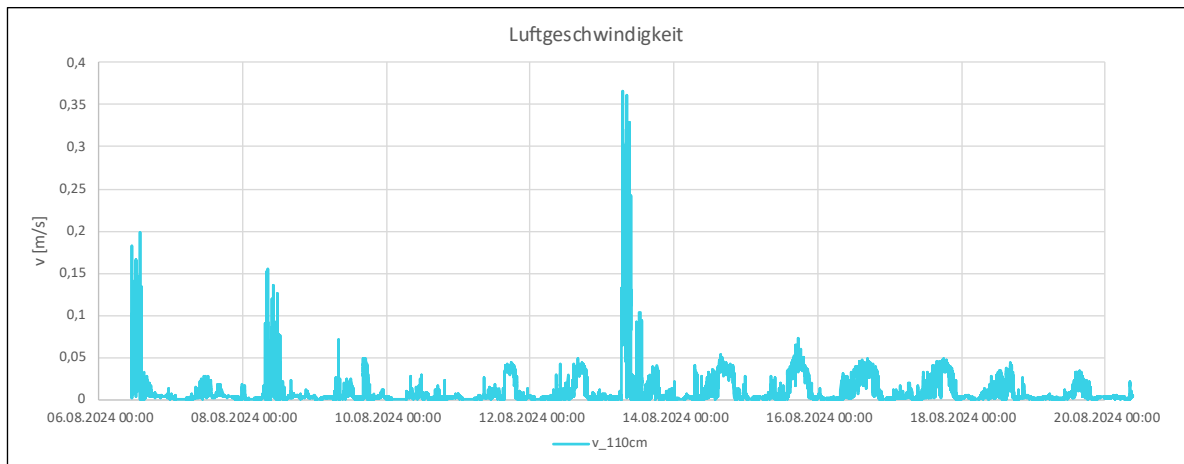


Abbildung 202: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Multifunktionsraum, 06.08.-20.08.2024 (Quelle: AEE INTEC und e7)

Die Behaglichkeitsbewertung erfolgt für die Nutzungszeiten des Objekts: 07 – 18 Uhr.

Das thermische Empfinden nach dem PMV-Index bewegt sich durchwegs im „optimalen“ Bereich (-0,5 bis +0,5). Lediglich am 13.08. während der Morgenstunden unterschreiten die Bedingungen den „optimalen“ Bereich hin zu „leicht kühl“, was auf eine manuell herbeigeführte Außenluftzufuhr über Fenster- bzw. Türlüftung zurückzuführen ist (siehe auch vorherige Abb. wo am Vormittag des 13.08. die Luftgeschwindigkeitswerte außergewöhnlich hoch ausfallen). Der Verlauf über die Messtage stellt sich folgendermaßen dar (Anmerkung: Es werden nur die Zeiten 07 – 18 Uhr angezeigt):

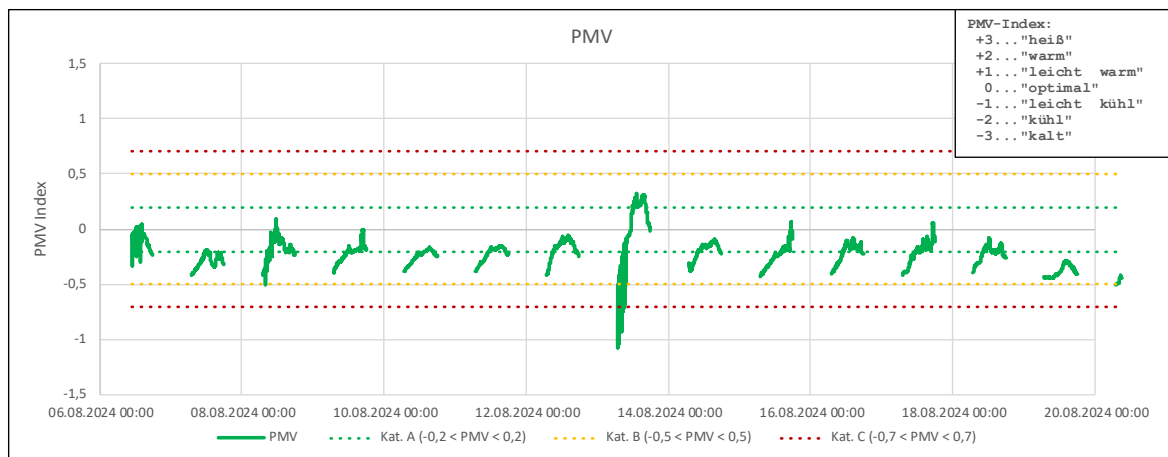


Abbildung 203: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Multifunktionsraum, 06.08.-20.08.2024 (Quelle: AEE INTEC und e7)

Die erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index bewegt sich während der Gebäudenutzungszeiten 07 – 18 Uhr innerhalb des Bandbreite 5 – 10%. Höhere erwartete Unzufriedenheiten von bis zu knapp 30% ergeben sich am Vormittag des 13.08. während des manuell hervorgerufenen Luftwechsels per Fenster- bzw. Türlüftung.

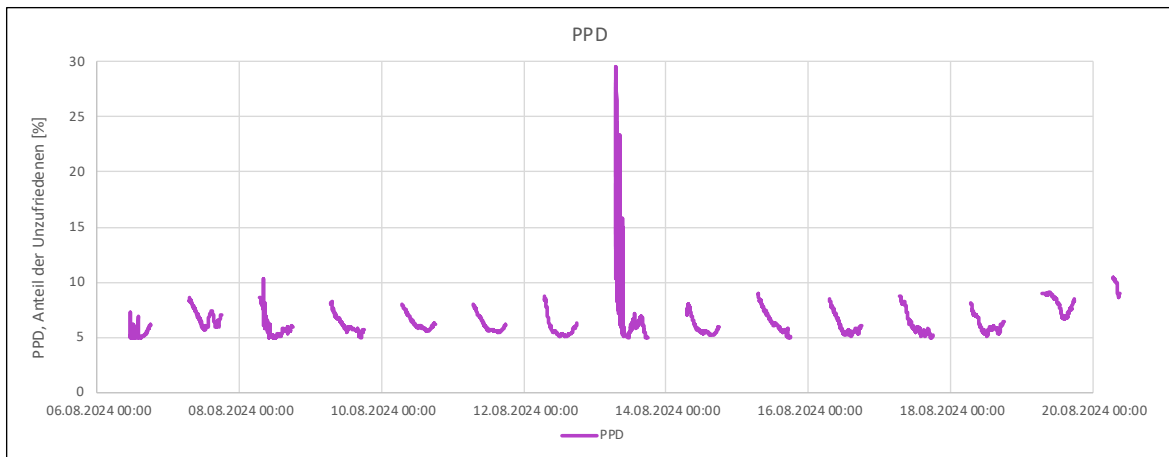


Abbildung 204: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Multifunktionsraum, 06.08.-20.08.2024 (Quelle: AEE INTEC und e7)

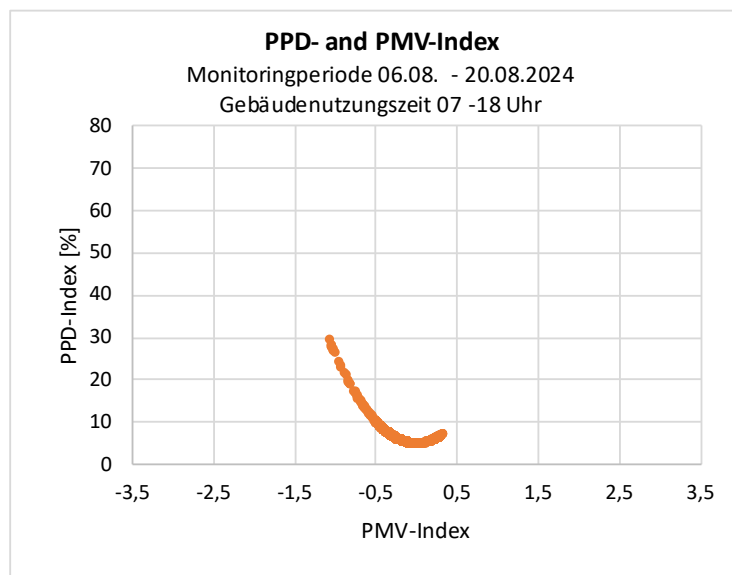


Abbildung 205: PPD- und PVM-Index, Multifunktionsraum, 06.08.-20.08.2024 (Quelle: e7)

Die Ergebnisse belegen, dass während dieser Sommer-Messperiode im August 2024 weitestgehend angenehme, behagliche Bedingungen im Referenzraum Multifunktionsraum vorlagen. Die erwartete Unzufriedenheitsrate „PPD-Index“ liegt während der 14 Messtage zu den Nutzungszeiten 7 – 18 Uhr im Durchschnitt bei 6,4%, was einen sehr akzeptablen Wert darstellt.

8.10 ZFH Thoma, Sbg

Bauteilaktivierung: Massivholzdecke		
Objektnutzung: Wohnen	Standort: Hasling 13, 5622 Goldegg	Fertigstellung: 2023

8.10.1 Objektbeschreibung

Das zweigeschossige Gebäude wird dauerhaft zu Wohnungszwecken genutzt. Die Wärmeversorgung erfolgt über eine zentrale Sole-Wasser-Wärmepumpe (Quelle = Tiefensonde, 2 x 100 m) samt Niedertemperatur-Pufferspeicher. Die Warmwasserbereitung erfolgt ebenso zentral mittels Wärmepumpe. Zusätzlich befindet sich im Warmwasser-Speicher eine elektrische Heizpatrone zur Nutzung von PV-Überschussstrom. Dieser wird vom eigenen bifazialen PV-Zaun generiert. Weiters stehen vor Ort ein Batteriespeicher und eine E-Ladestation für das zentrale Energiemanagementsystem zur Verfügung. Die Kälteversorgung erfolgt über ein Passivkühlmodul und die Tiefensonde. Die Bauteilaktivierung im Objekt ist im Obergeschoss in Form einer aktivierten Massivholzdecke für den Heiz- und passiven Kühlbetrieb realisiert. Die BTA wird gemeinsam mit einer Fußbodenheizung im Erdgeschoss zur ganzjährigen Konditionierung des Objekts verwendet, es wurde keine Lüftungsanlage realisiert.

Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	277 m²	Eigentümer: Thoma Holz GmbH
HKLS-Planung	M-TEC	Name: Florian Thoma
EM-System	M-TEC	Web: www.thoma.at

Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

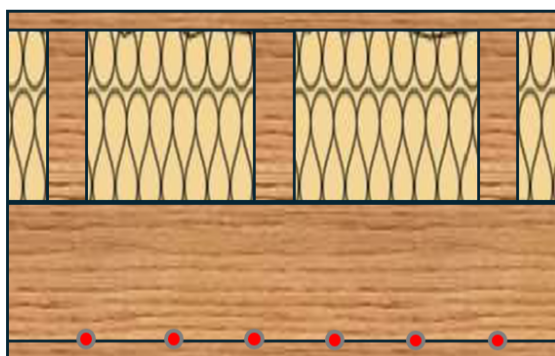
- mittelschwere Bauweise mit A/V-Verhältnis von 0,68 [1/m] und charakteristischer Länge von 1,48 m
- Außenwände aus 36 cm dickem Vollholz, keine zusätzliche Dämmung
- Fensteranteil in Außenwänden von 20,6 % (3S-Wärmeschutzglas)
- mittlerer U-Wert von 0,25 W/m²K
- Heizlast laut Energieausweis von 8,3 kW
- Heizwärmebedarf lt. Energieausweis (HWB_{SK}) von 45 kWh/m²a

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde in der Decke des Obergeschosses mit einer aktivierten Gesamtfläche von 105 m² ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Decke Obergeschoss

Einsatz	Heizung und passive Kühlung
Aktivierte Fläche	Geschossdecke
Aktiviertes Material	Massivholz – vorgefertigte Vollholzdecke (Holz100 aktiv Decke von Thoma Holz GmbH)
Verlegungsart	5-Schicht Metallverbundrohr 20 x 2 mm, 20 cm Verlegeabstand Rohrleitungen in halbmondförmigen Ausfräsungen, Decklage mit gleichartigen Fräsungen mit Dübeln befestigt
Regelung	Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung mit Raumaufrüstung Auslegungstemperaturen: Heizen 30/25 °C, Kühlen 18/20 °C
Kennzahlen	Abgabeleistung: Heizen 2,1 kW; Kühlen 0,8 kW



23 mm Holzverschalung

22 cm Zellulosedämmung
inkl. Polsterholz

19,5 cm Thoma Holz100 Decke
26 mm Überdeckung

Abbildung 206: Schnittdarstellung aktivierte Holzdecke (AEE INTEC)

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik	
Heizung	Zentrale Wärmeversorgung durch 10,6 kW Sole/Wasser-Wärmepumpe (Quelle = 2 x 100 m Tiefensonde) mit Niedertemperatur-Pufferspeicher
Brauch-Warmwasser	Zentrale Warmwasserbereitung über Wärmepumpe und E-Heizstab mit WW-Speicher
Kühlung	Passive Kühlung über Tiefensonde
Wärmeabgabe	Bauteilaktivierung (2,1 kW) Fußbodenheizung (4,2 kW) Einzelofen
Kälteabgabe	Bauteilaktivierung (0,8 kW) Fußbodenheizung (0,8 kW)
Lüftungstechnik	Fensterlüftung, keine technische Wohnraumlüftung
Elektrische Energie	Öffentliches Netz, 13 kWp PV-Anlage (bifazial, vertikal als Zaun montiert), Batteriespeicher (7 kW Ladeleistung), E-Ladestation

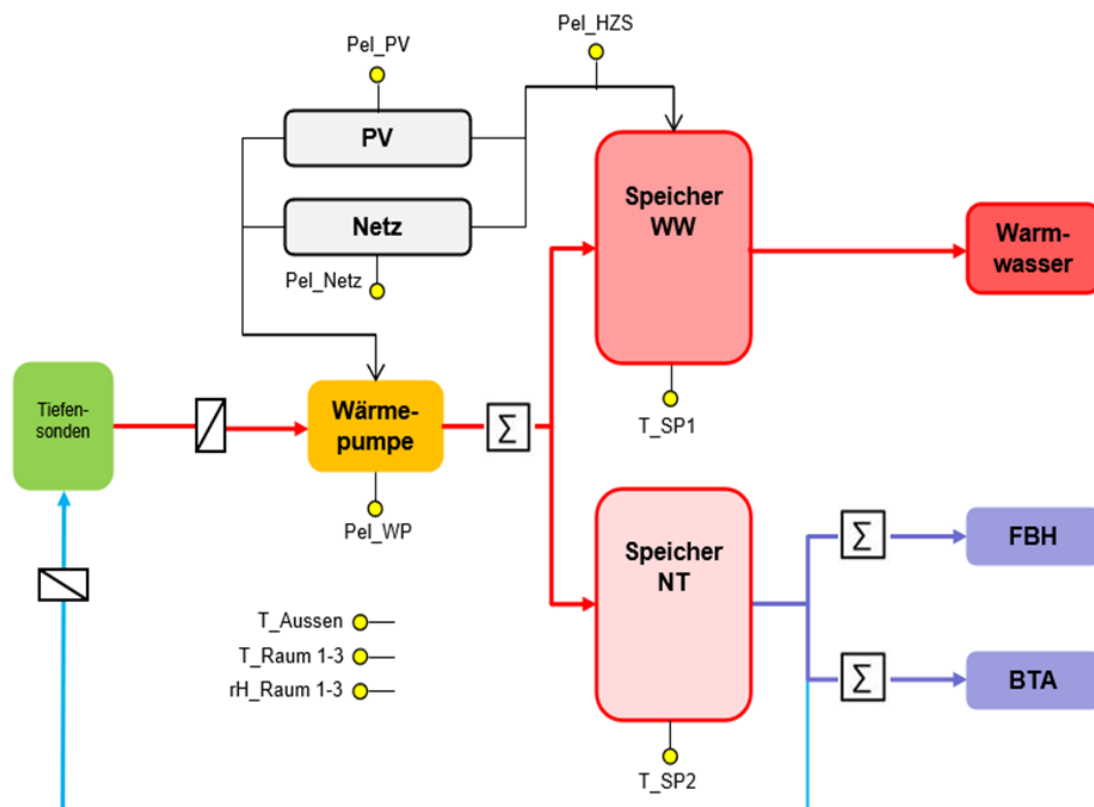


Abbildung 207: Prinzipschema Zweifamilienhaus Thoma, Gebäudetechnik (AEE INTEC)

8.10.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: 1. April 2024 – 31. März 2025

Gebäudeflächen lt. Energieausweis	
Brutto-Grundfläche (BGF)	277 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	222 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung			
Speicherkapazität	Holzdecke OG: 4,1 kWh/K = 0,015 kWh/K m ² _{BGF} Derzeit keine aktive Nutzung der Speicherfähigkeit der BTA.		
Deckungsgrad lokaler Energieträger	Heizung mittels Sole/Wasser-Wärmepumpe, lokale PV-Anlage		
Gesamtgebäude: Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast*	7,9 kW	36 W/m ² _{BF}
	Installierte Heizleistung	10,6 kW	48 W/m ² _{BF}
	Gemessene max. Heizleistung	4,9 kW	22 W/m ² _{BF}
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Holzdecke OG	
	Aktivierte Fläche	ca. 105 m ² _{akt.}	
	Max. Heizleistung	ca. 1,7 kW	
	Max. spezifische Heizleistung	ca. 16 W/m ² _{akt.}	
	Vorlauftemp. Heizen	20,8-35,9 °C	
	Spreizung bei max. Heizleistung	2,9 K	
	Max. Kühlleistung	ca. 0,7 kW	
	Max. spezifische Kühlleistung	ca. 7 W/m ² _{akt.}	
	Vorlauftemp. Kühlen	16,8-21,1 °C	
	Spreizung bei max. Kühlleistung	1,0 K	

Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (nur für Raumwärme, exkl. Warmwasserbereitung, Speicher- und Verteilverluste)	34,2 kWh/m ² _{BGF} a
Kühlenergieverbrauch	1,1 kWh/m ² _{BGF} a

*Ermittlung über die im Energieausweis angeführten Leitwerte für Transmission und Lüftung und einem Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen von 33 K.

8.10.3 Nachfragestruktur Wärme

In Abbildung 208 ist die Monatsbilanz der Wärmeverbräuche aufgeteilt nach Wärmeabgabesystemen dargestellt. In Abbildung 209 ist zudem die prozentuelle Aufteilung des Wärmeverbrauchs für das gesamte Monitoringjahr abgebildet. Generell werden hier die auf der Nutzerseite gemessenen Verbrauchswerte diskutiert, etwaige Erzeugungs-, Verteil- oder Speicherverluste sind daher nicht berücksichtigt. Darüber hinaus ist festzuhalten, dass der Einzelofen aufgrund fehlender Daten zum Brennstoffverbrauch nicht Teil dieser Darstellung ist.

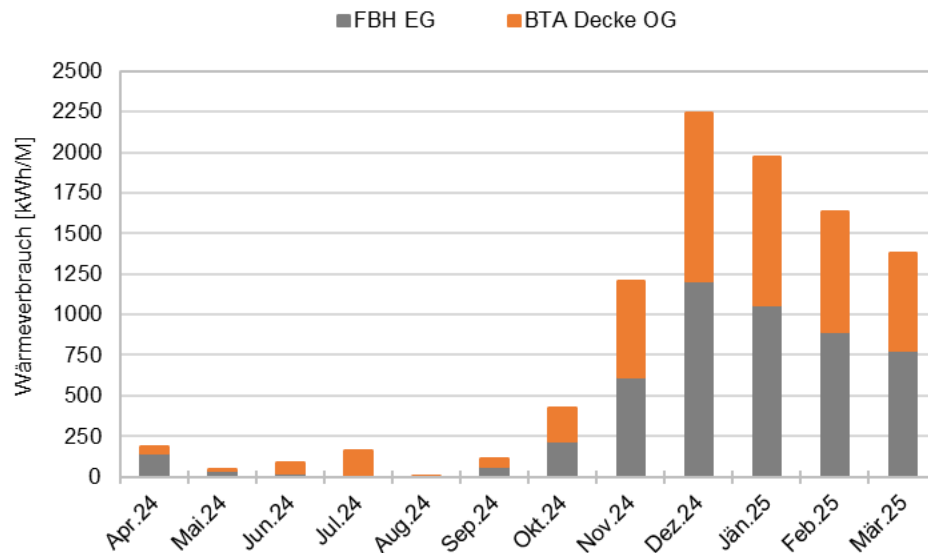


Abbildung 208: Monatsbilanz Wärmeverbrauch (Quelle: AEE INTEC)

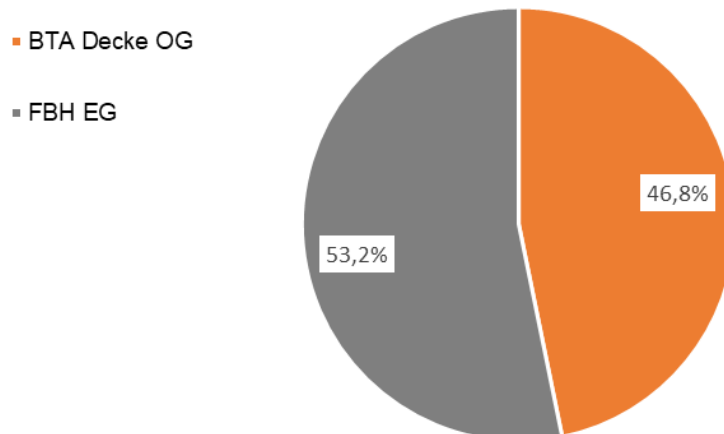


Abbildung 209: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: AEE INTEC)

Es zeigt sich, dass die Wärmeübertragung über die beiden Abgabesysteme während der Monitoringperiode relativ gleichmäßig aufgeteilt ist. Konkret wurde bei der FBH im Erdgeschoss ein

Heizwärmeverbrauch von insgesamt 5.035 kWh und über die aktivierte Holzdecke im OG von insgesamt 4.425 kWh gemessen. Das entspricht in Summe einem spezifischen Heizenergieverbrauch von 34,2 kWh/m²_{BGF} a.

Da die vom Wärmepumpensystem abgegebene Wärmeenergie nur als Summe erfasst wird und keine Informationen über Umschaltvorgänge zwischen WW-Bereitung und Beladung des Heizungspuffers vorliegen (z.B. Ventilstellungen, WP-Betriebsmodus, etc.) sowie der WW-Verbrauch nicht bekannt ist, kann keine konkrete Aussage über die Speicher- und Verteilverluste des Wärmesystems getroffen werden. Nichtsdestotrotz sind in Abbildung 210 die monatlichen Minimal-, Mittel- und Maximaltemperaturen im Warmwasser- und in Abbildung 211 im Niedertemperaturspeicher dargestellt.

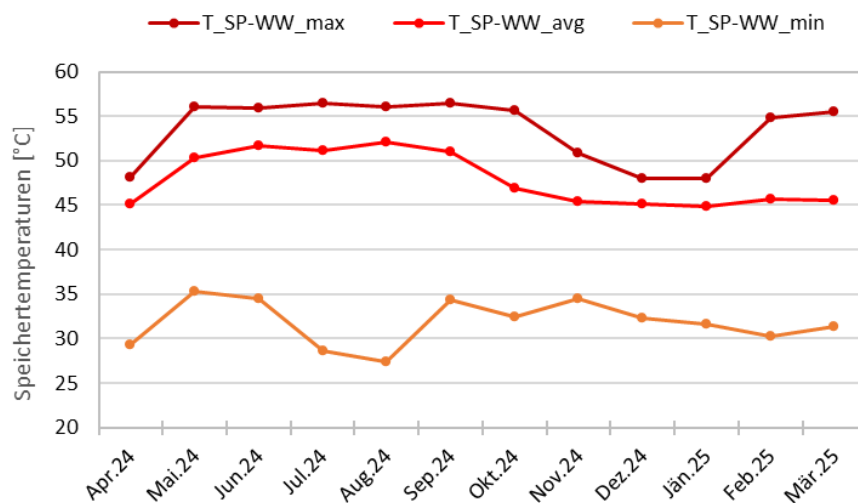


Abbildung 210: Monatliche Temperaturen im WW-Speicher (Quelle: AEE INTEC)

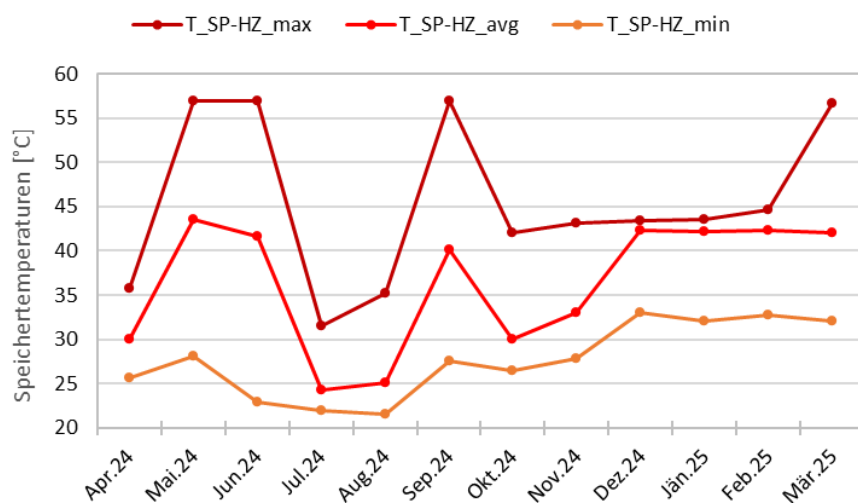


Abbildung 211: Monatliche Temperaturen im Heizungspuffer (Quelle: AEE INTEC)

Der Warmwasserspeicher wird ganzjährig auf einem entsprechend hohen Temperaturniveau betrieben. Die monatlichen Maximaltemperaturen, die das tatsächlich zur Verfügung gestellte Warmwasserniveau darstellen, liegen meist über 55 °C. Lediglich im April 24, Dezember 24 und Jänner 25 werden Temperaturen unter 50 °C zur Verfügung gestellt, was auf einen veränderten Betriebsmodus bzw. einen geringeren WW-Bedarf hindeuten kann.

Der Heizungspuffer wird in den Wintermonaten auf einem mittleren Temperaturniveau von etwa 42 °C betrieben, was für die Versorgung der Flächenheizsysteme definitiv ausreichend ist. Auffällig ist, dass der NT-Speicher außerhalb der Heizperiode nicht – wie energetisch zu erwarten wäre – auskühlt, sondern wiederholt bis auf ein deutlich erhöhtes Temperaturniveau beladen wird. In den Monaten Mai 2024, Juni 2024, September 2024 und März 2025 wird der Heizungspuffer teilweise sogar auf Warmwasserniveau geladen, was sich in den hohen monatlichen Maximaltemperaturen widerspiegelt, dargestellt in Abbildung 212 für den Juni 24.

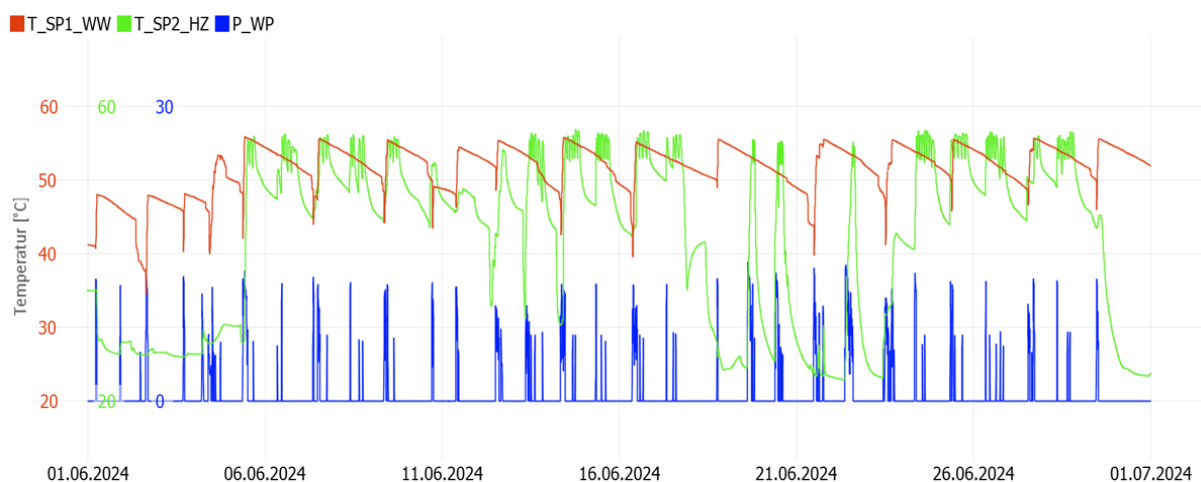


Abbildung 212: Speichertemperaturen und Wärmepumpenleistung im Juni 2024 (Quelle: AEE INTEC)

Es zeigt sich, dass die Beladung des NT-Speichers auf WW-Niveau in den genannten Zeiträumen nicht nur die Folge von Leckagen ist, sondern einer entsprechenden Betriebsweise, was an den hohen Maximaltemperaturen und Ladezyklen der WP zu erkennen ist. Aus energetischer Sicht ist die beobachtete Beladung des Niedertemperaturspeichers auf Warmwasserniveau kritisch zu bewerten. In den analysierten Perioden besteht überwiegend kein Raumwärmebedarf. Gleichzeitig führen die erhöhten Speichertemperaturen zu erhöhten Speicher- und Verteilverlusten. Die im Datenbestand erkennbaren, steilen Temperaturanstiege des NT-Speichers treten synchron zum Verdichterbetrieb der WP auf und sind somit eindeutig auf eine aktive Beladung durch die Regelung zurückzuführen. Da der getrennte Betrieb von Warmwasserspeicher und Heizungspuffer im Winterhalbjahr technisch realisiert wird, ist davon auszugehen, dass die sommerliche Kopplung der Speicher kein hydraulischer Zwang, sondern eine Folge der gewählten Betriebsstrategie beziehungsweise der Parametrierung ist. Ein funktionaler oder energetischer Mehrwert dieser Betriebsweise lässt sich aus den vorliegenden Messdaten nicht ableiten; vielmehr ist von vermeidbaren Zusatzverlusten auszugehen.

Wärmeabgabe und -erzeugung im Detail

Da keine Bauteil- oder Oberflächentemperaturen der aktivierten Holzdecke gemessen wurden, ist eine detaillierte Analyse der lokalen Wärmeabgabe beziehungsweise des thermischen Verhaltens der Bauteilaktivierung nicht möglich. Auf Basis der hydraulischen Messgrößen konnten jedoch charakteristische Kennwerte abgeleitet bzw. folgende KPIs für den Heizbetrieb des Bauteilaktivierungssystems bestimmt werden:

KPI	Holzdecke OG
Aktivierte Fläche	ca. 105 m ²
Max. Heizleistung	ca. 1,7 kW
Max. spezifische Heizleistung	ca. 16 W/m ² _{akt.}
Vorlauftemperatur Heizen	20,8-35,9 °C
Spreizung bei max. Heizleistung	2,9 K

Die Ergebnisse zeigen, dass die spezifische Heizleistung der aktivierten Holzdecke trotz der im Vergleich zu mineralischen Baustoffen geringeren Wärmeleitfähigkeit ausreichend ist, um behagliche Innenraumtemperaturen sicherzustellen (siehe Kapitel 5). Die geringe Spreizung von unter 3 K ist charakteristisch für Holzaktivierungssysteme, da die Wärmeübertragung über das Material limitiert ist. Besonders hervorzuheben ist, dass für den funktionsfähigen Betrieb geringe Vorlauftemperaturen von meist 30 bis 35 °C (maximaler Stundenmittelwert von 35,9 °C) ausreichen, was im Hinblick auf die Effizienz einer Wärmepumpenanlage besonders vorteilhaft ist. Generell liegen die erforderlichen Versorgungstemperaturen nur geringfügig über denen einer herkömmlichen Betonkernaktivierung, was auch eine hohe Qualität der thermischen Hülle bestätigt.

Im Zuge einer detaillierten Betrachtung der Wärmeerzeugung sind in Abbildung 213 und Abbildung 214 der Stromverbrauch, die bereitgestellten Wärmemengen, die durchschnittlichen Arbeitstemperaturen im Vor- und Rücklauf auf der Senkenseite sowie die berechnete Arbeitszahl monatsweise für die Wärmepumpe dargestellt. Konkret wird in den folgenden beiden Darstellungen zwischen WW-Bereitung und Beladung des NT-Pufferspeichers unterschieden. In diesem Zusammenhang wurden die erfassten Wärmemengen auf der Senkenseite der Wärmepumpe nach den jeweiligen Änderungen der Speichertemperaturen aufgeteilt. Es ist anzumerken, dass dieses Vorgehen eine gewisse methodische Unschärfe mit sich bringt, jedoch einer ausreichend genauen Annäherung unter den gegebenen Randbedingungen und der verbauten Sensorik entspricht.

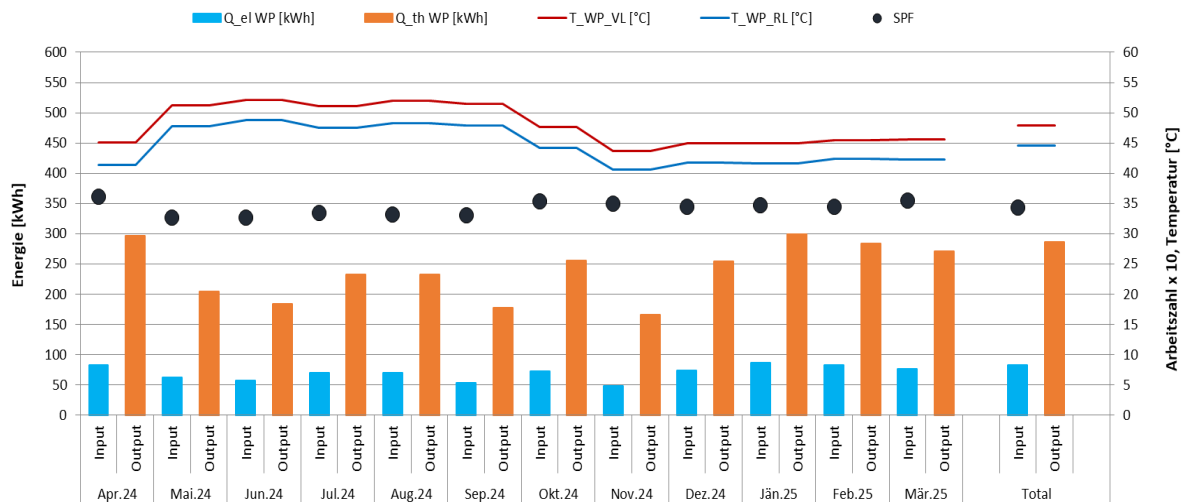


Abbildung 213: Detailanalyse des Wärmepumpensystems für WW-Bereitung (Quelle: AEE INTEC)

Im Modus der Warmwasser-Bereitung stellt die Wärmepumpe dem WW-Speicher Wärme mit einem gemittelten Temperaturniveau von etwa 48 °C zur Verfügung. Die Quelltemperatur aus der Tiefensonde ist nicht erfasst, dennoch weisen die über das gesamte Jahr beobachteten Arbeitszahlen zwischen 3,3 und 3,6 auf ein stabiles und effizientes Betriebsverhalten hin. Die durchschnittliche Jahresarbeitszahl des Warmwasserbetriebs beträgt 3,4.

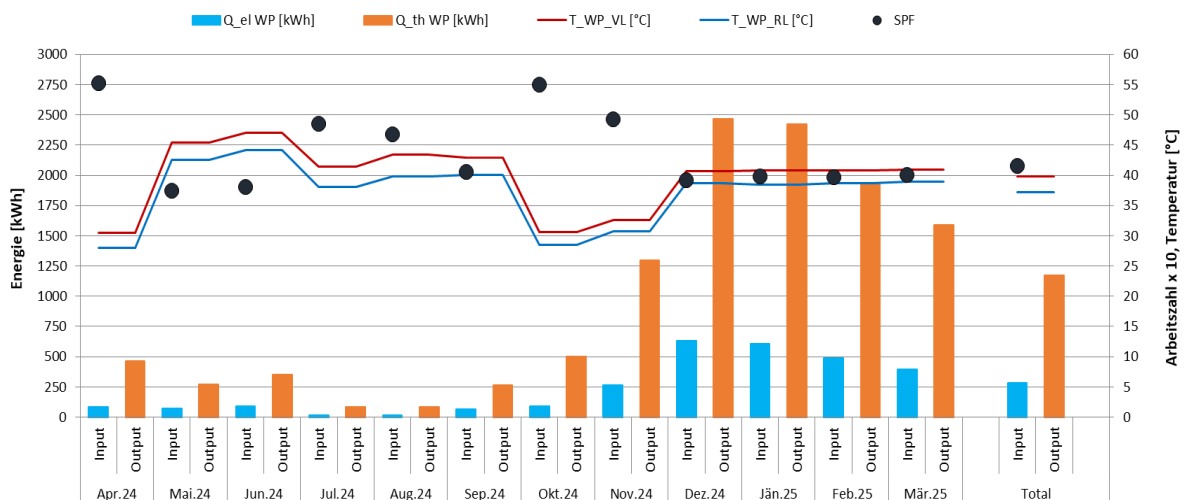


Abbildung 214: Detailanalyse des Wärmepumpensystems für Beladung des NT-Puffers (Quelle: AEE INTEC)

Im Heizbetrieb beziehungsweise bei der Beladung des NT-Puffers zeigt sich ein differenziertes Bild. Während der Wintermonate wird der NT-Speicher sehr stabil auf einem Vorlauftemperaturniveau von etwa 40 °C betrieben, was in Kombination mit den geringen Heiztemperaturen der Flächenheizsysteme zu Arbeitszahlen um 4,0 führt. Dies entspricht einem effizienten Betrieb der Wärmepumpe im Heizmodus. In den Monaten Mai und Juni 2024 treten wiederholt deutlich erhöhte

Vorlauftemperaturen und reduzierte Arbeitszahlen auf. Diese Phasen korrespondieren mit den bereits beschriebenen Aufheizvorgängen des NT-Speichers auf Warmwasserniveau. Aufgrund der steilen Temperaturanstiege und der gleichzeitigen Verdichteraktivität ist davon auszugehen, dass es sich hierbei nicht um hydraulische Leckagen, sondern um eine regelungstechnisch bedingte Beladung des NT-Speichers handelt. Eine energetische Notwendigkeit hierfür ist im vorliegenden Datenbestand jedoch nicht erkennbar. In den übrigen Sommer- und Übergangsmonaten liegen die Vorlauftemperaturen deutlich niedriger, was teilweise zu Arbeitszahlen oberhalb von 5 führt. Dieses Verhalten kann auf die im Vergleich zum Winter niedrigere Senkentemperatur und auf gegebenenfalls abweichende Betriebsstrategien zurückgeführt werden. Ob die moderate Anhebung des NT-Pufferniveaus in einzelnen Perioden auch einem bewussten Regelungskonzept (z. B. im Zusammenhang mit dem passiven Kühlbetrieb) entspricht oder aus einem suboptimalen Umschaltverhalten resultiert, lässt sich auf Basis der vorliegenden Messdaten jedoch nicht eindeutig feststellen. Eine abschließende Bewertung hierzu erfolgt im nächsten Kapitel bei der Analyse des Kühlbetriebs.

Über beide Betriebsmodi hinweg zeigt sich in Summe eine Jahresarbeitszahl von 3,8. Dieser Wert ist grundsätzlich als gut zu bewerten, vor allem da die WW-Bereitung auch zentral über die WP erfolgt. Nichtsdestotrotz zeigen die vorangegangenen Analysen ein gewisses Optimierungspotential.

8.10.4 Nachfragestruktur Kälte

Die Kältebereitstellung erfolgt passiv über die Tiefensonde. Während der Monitoringperiode wurde die Anlage mit wiederholten Unterbrechungen betrieben, wobei ein stabiler Kühlmodus nahezu ausschließlich nur im August 2024 vorlag. In Abbildung 215 ist die Monatsbilanz der Kälteverbräuche aufgeteilt nach Abgabesystemen dargestellt. In Abbildung 216 ist zudem die prozentuelle Aufteilung des Kälteverbrauchs für das gesamte Monitoringjahr abgebildet.

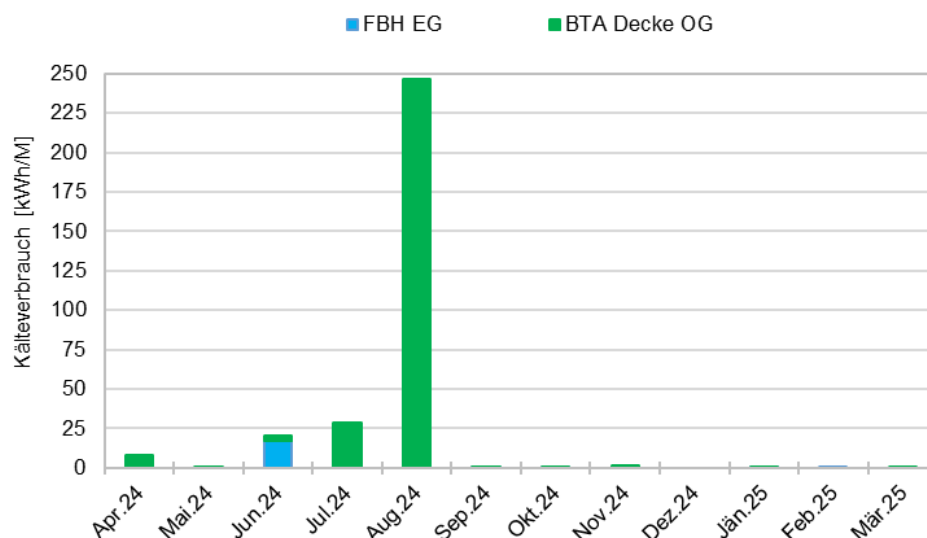


Abbildung 215: Monatsbilanz Kälteverbrauch (Quelle: AEE INTEC)

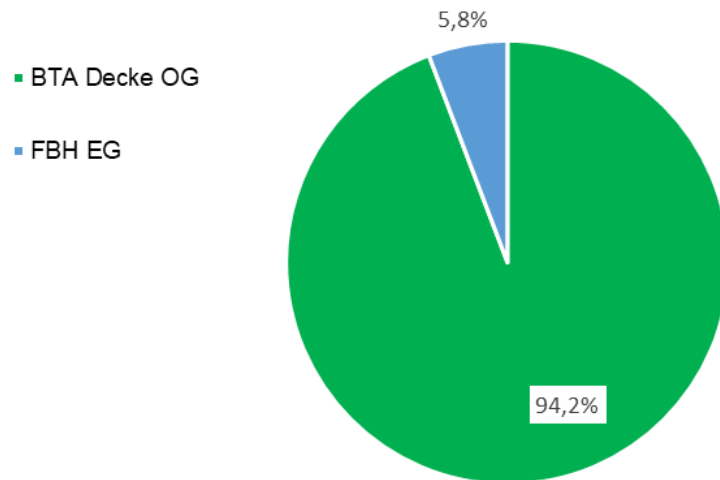


Abbildung 216: Aufteilung der Kälteverbraucher (Quelle: AEE INTEC)

Es zeigt sich, dass während der Monitoringperiode ein Großteil der Kälteübertragung über die Bauteilaktivierung erfolgt ist. Konkret wurde bei der aktivierten Holzdecke ein Kühlenergieverbrauch von insgesamt 286 kWh und über die Fußbodenheizung von insgesamt 17,6 kWh gemessen. Das entspricht in Summe einem spezifischen Kühlenergieverbrauch von lediglich $1,1 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF a}}$. Dieser außergewöhnlich niedrige Wert ist auf die sehr gute thermische Qualität der Gebäudehülle, niedrige innere Lasten und natürlich die kurze Dauer des tatsächlichen Kühlbetriebs zurückzuführen.

Kälteabgabe und -bereitstellung im Detail

Aufgrund der nicht gemessenen Bauteil- oder Oberflächentemperaturen der aktivierten Holzdecke, ist eine detaillierte Analyse des thermischen Verhaltens der Bauteilaktivierung wiederum leider nicht möglich. Für den Kühlbetrieb konnten zusammengefasst jedoch folgende KPIs für das Bauteilaktivierungs-System bestimmt werden:

KPI	Holzdecke OG
Aktivierte Fläche	ca. 105 m^2
Max. Kühlleistung	ca. $0,7 \text{ kW}$
Max. spezifische Kühlleistung	ca. $7 \text{ W/m}^2_{\text{akt.}}$
Vorlauftemperatur Kühlen	$16,8\text{-}21,1 \text{ }^\circ\text{C}$
Spreadung bei max. Kühlleistung	$1,0 \text{ K}$

Generell fungiert die aktivierte Decke aufgrund der moderaten Versorgungstemperaturen in Zusammenhang mit der hohen thermischen Trägheit weniger als klassische Kühleinheit, sondern

vielmehr als thermischer Puffer, der überschüssige Wärme speichert und zeitversetzt abführt. Die Wärmeabfuhr über die Tiefensonde trägt generell auch zur thermischen Regeneration des Erdreichs bei. In diesem Zusammenhang sollte auf eine ausgeglichene Bilanz aus Wärmeentzug und -eintrag geachtet werden, um die langfristige Leistungsfähigkeit der Quelle und einen effizienten Wärmepumpenbetrieb zu unterstützen.

Das Umschalten in den durchgängigen Kühlbetrieb erfolgte erst am 29.07.2024. In den Wochen davor wurde die aktivierte Holzdecke im vermeintlichen Kühlmodus nicht gekühlt, sondern tatsächlich thermisch beaufschlagt. Dies erklärt die in den Monaten Juni und Juli beobachteten positiven Heizleistungen der Bauteilaktivierung (siehe auch Abbildung 208). Eine detaillierte Darstellung der Temperaturverläufe findet sich in Abbildung 217.

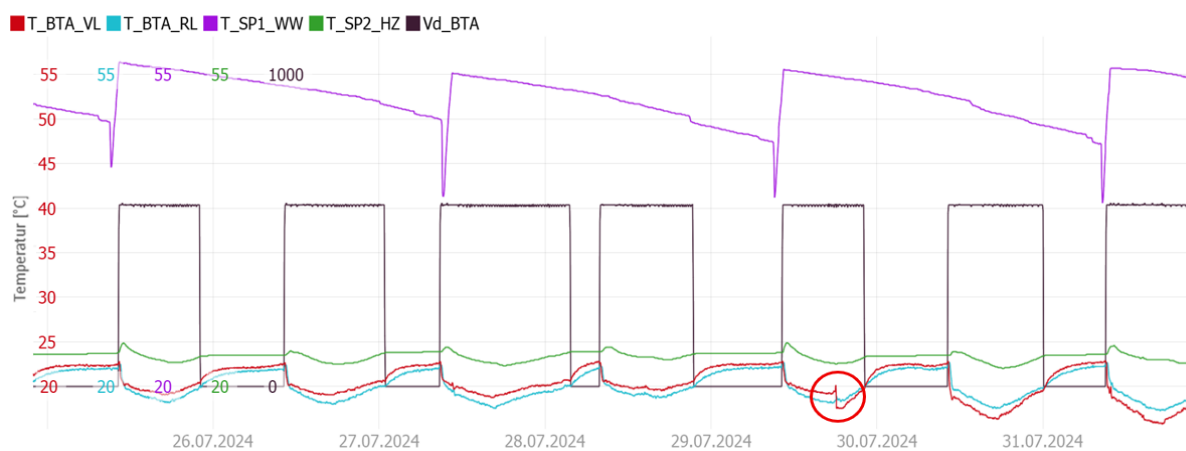


Abbildung 217: Detailanalyse Kühlbetrieb samt Umschaltvorgang (Quelle: AEE INTEC)

Die im Juni und Juli gemessenen Heizleistungen der Bauteilaktivierung können anhand von Abbildung 217 erklärt werden. Grundsätzlich zeigt sich, dass das 3-Wege-Ventil nach der Wärmepumpe eine Leckage aufweist, wodurch der NT-Puffer bei der Beladung des WW-Speichers auch eine geringfügige Erwärmung von jeweils 1 bis 3 K erfährt (typisch für Leckagen im Unterschied zu der in Kapitel 8.10.4 beschriebenen Änderung der Betriebsweise). Wesentlich gravierender ist jedoch, dass dem aus der Tiefensonde bereitgestellten Kaltwasser im vermeintlichen Kühlbetrieb scheinbar übermäßig viel Wasser aus dem NT-Puffer beigemischt wird. Diese zu starke Beimischung hat zur Folge, dass effektiv Wärme in die aktivierte Decke eingebracht wird. Dieser Umstand ist auch anhand der Spreizung aus Vor- und Rücklauf zur Versorgung der BTA ersichtlich. Erst nach einer erfolgten Anpassung der Hydraulik am 29.07.24 (rot markiert) zeigt sich eine für den Kühlbetrieb typische Spreizung und eine Wärmeabfuhr aus dem Bauteil und Räumlichkeiten. Zu sehen auch anhand von Abbildung 218 für den Monat August 24, wo sich die Anlage dann über weite Strecken in einem stabilen und funktionsfähigen Kühlmodus befindet, was die erfolgreiche Korrektur des Betriebszustandes bestätigt.

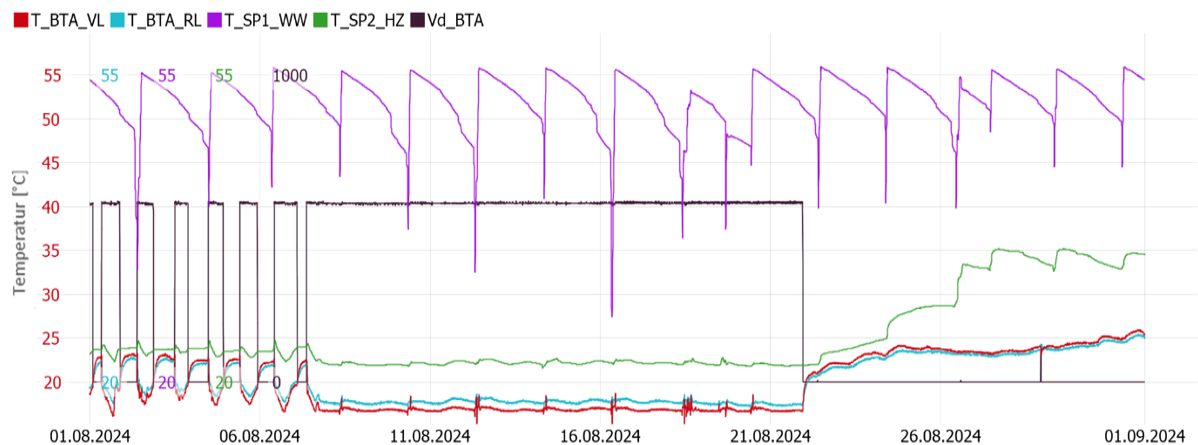


Abbildung 218: Detailanalyse Kühlbetrieb im August 2024 (Quelle: AEE INTEC)

8.10.5 Raumkomfort-Monitoring

Im Zuge des kontinuierlichen Raumkomfort-Monitorings wurden die Raumlufttemperaturen von insgesamt drei Räumen näher analysiert. In Abbildung 219 sind die stündlichen Mittelwerte der Raumtemperatur über den entsprechenden Außentemperaturen für das Arbeitszimmer im EG, für das Arbeitszimmer im OG und den Wohnbereich im OG dargestellt.

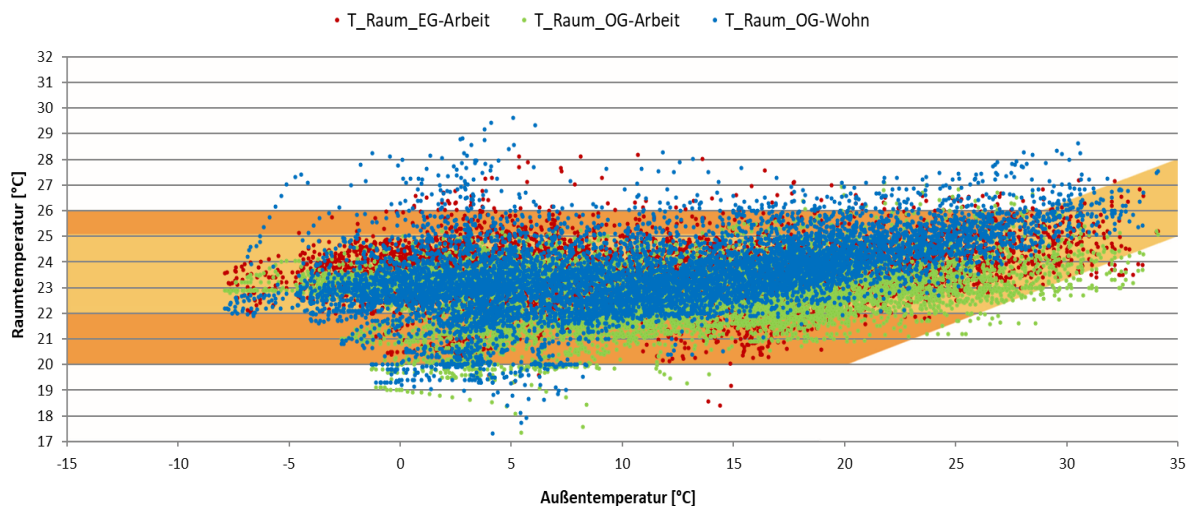


Abbildung 219: Raumlufttemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für drei betrachtete Räume (Quelle: AEE INTEC)

Das Diagramm zeigt, dass die Raumtemperaturen während der gesamten Monitoringperiode weitestgehend im behaglichen Komfortbereich liegen. Die Ausreißer nach oben treten zu einem großen Teil bei geringen Außentemperaturen und somit vermutlich während der Heizperiode auf. In den betrachteten OG-Räumen kommt es zudem teilweise zu Untertemperaturen, die jedoch zeitlich sehr begrenzt auftreten.

Nachfolgend werden die Raumlufttemperaturen der Räume den Kategorien der Standardauslegungswerte für operative Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Anhang B, Tab. B.2 gegenübergestellt (Abbildung 220, Abbildung 222, Abbildung 224).

An dieser Stelle ist der Unterschied zwischen operativer Temperatur und Lufttemperatur hervorzuheben. Die operative Temperatur (gefühlte Temperatur, Empfindungstemperatur) berücksichtigt neben der Lufttemperatur auch die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen und ist der Hauptfaktor der thermischen Behaglichkeit. Bei einer Flächenheizung liegt die mittlere Strahlungstemperatur im Heizbetrieb in der Regel über und im Kühlbetrieb unter der Lufttemperatur. Dementsprechend würden sich die im Anschluss dargestellten Temperaturverläufe im Winter etwas nach oben und im Sommer etwas nach unten verschieben. Aufgrund der moderaten Versorgungstemperaturen (besonders bei der passiven Kühlung) ist diese Abweichung aber recht gering und zu vernachlässigen.

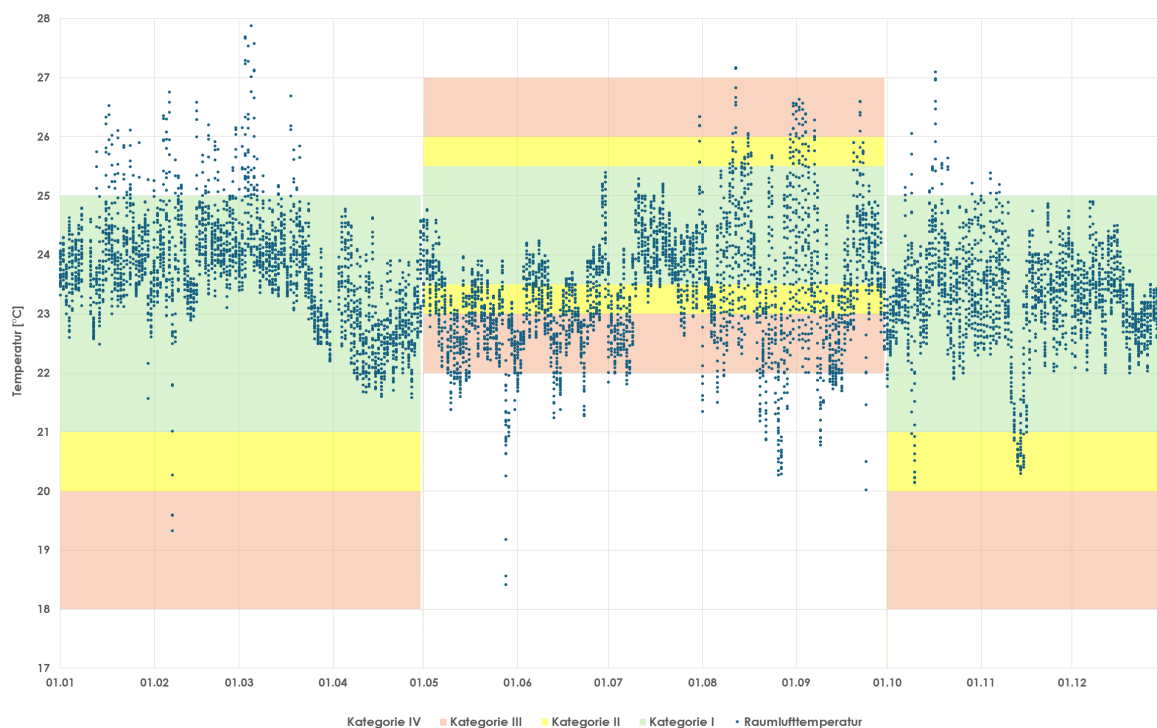


Abbildung 220: Raumlufttemperatur Arbeitszimmer EG und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)

Im Arbeitszimmer im Erdgeschoss sind im Winter lediglich 3 Unterkühlungsstunden ($<20\text{ °C}$) und im Sommer 50 Überhitzungsstunden ($>26\text{ °C}$) festzustellen. Beides spricht für eine sehr gute thermische Behaglichkeit. Abbildung 221 bestätigt diese Einschätzung auch unter Berücksichtigung der relativen Luftfeuchte. Im Winter ist die Luft nicht zu trocken und im Sommer nicht zu feucht.

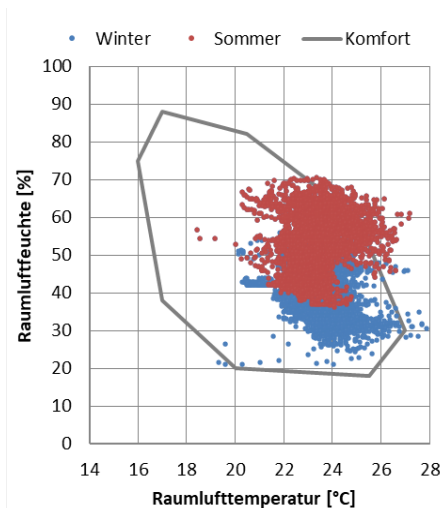


Abbildung 221: Behaglichkeitsdiagramm mit rel. Feuchte und Lufttemperatur für das Arbeitszimmer im EG (Quelle: AEE INTEC)

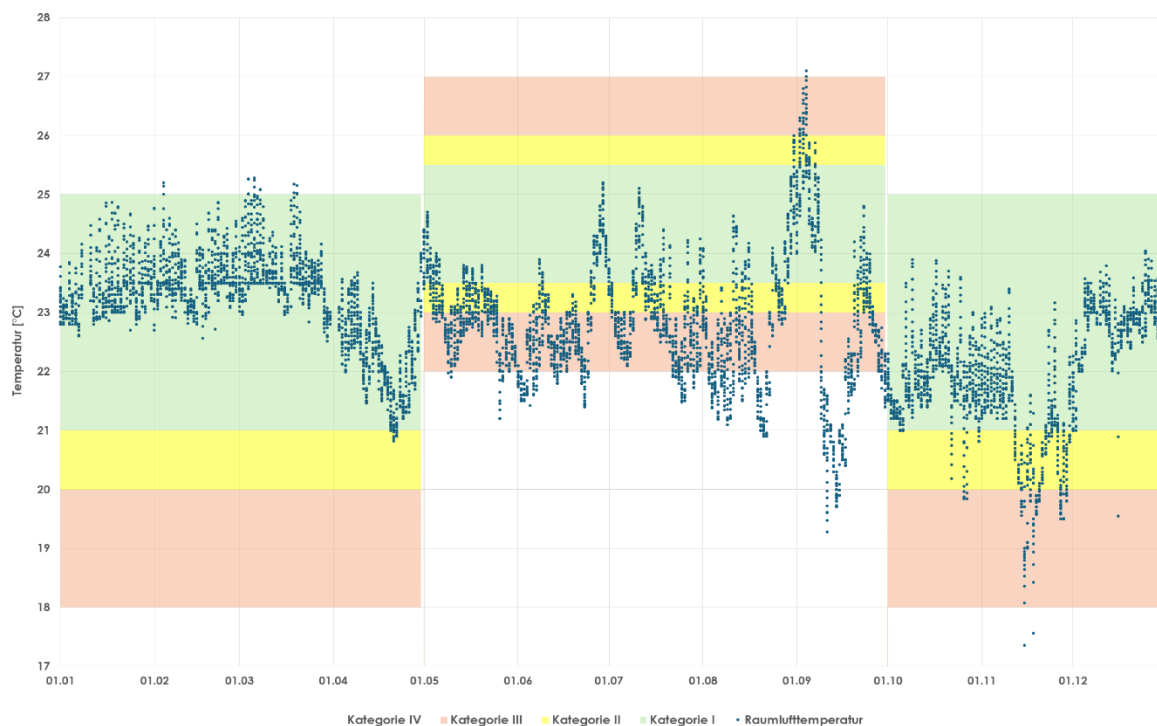


Abbildung 222: Raumlufttemperatur Arbeitszimmer OG und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)

Auch beim Arbeitszimmer im Obergeschoss liegen die Raumtemperaturen mit 136 Unterkühlungsstunden im Winter und 29 Überhitzungsstunden im Sommer weitestgehend in einem akzeptablen Bereich und bestätigen einen guten Innenraumkomfort. Die Über- bzw. Unterschreitung

der Komfortgrenzen beschränkt sich auf kurzzeitige Perioden. Auch die gemessenen Luftfeuchten bewegen sich durchwegs in einem behaglichen Bereich, siehe Abbildung 223.

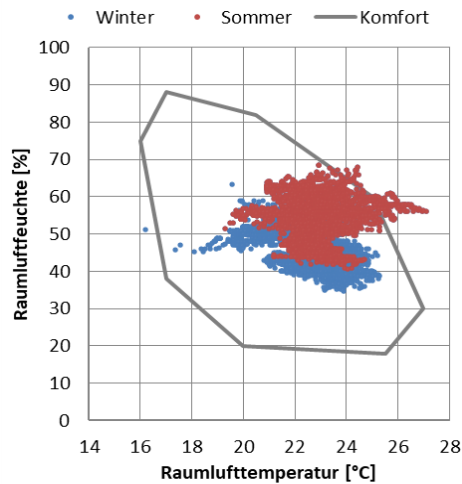


Abbildung 223: Behaglichkeitsdiagramm mit rel. Feuchte und Lufttemperatur für das Arbeitszimmer im OG (Quelle: AEE INTEC)

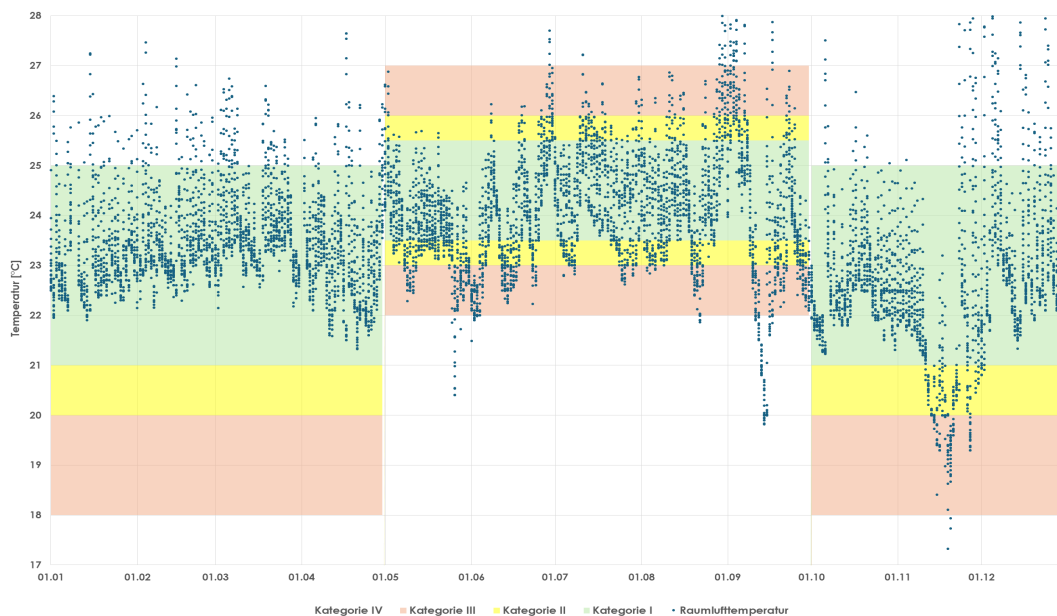


Abbildung 224: Raumlufthtemperatur Wohnzimmer OG und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)

Beim Wohnbereich im Obergeschoss zeigen sich mit 113 Unterkühlungsstunden im Winter und 232 Überhitzungsstunden im Sommer weitestgehend akzeptable Innenraumkonditionen. Die Unterschreitung der Komfortgrenzen in der Heizperiode tritt wieder im gleichen Zeitraum auf. Da es sich bei diesen Untertemperaturen nur um Zeiträume von jeweils max. einer Stunde handelt und die

Außentemperaturen gleichzeitig nicht besonders niedrig liegen (0 bis +5 °C), sind sie vermutlich die Folge von übermäßigen Fensterlüftungen und nicht einer zu geringen Wärmeleistung des Abgabesystems. Um die Überhitzungen im Sommer zu vermeiden, braucht es eine bedarfsgerechte Verschattung sowie einen funktionsfähigen Kühlbetrieb der Bauteilaktivierung. Hervorzuheben ist hier, dass im August, wo die Flächenkühlung in einem stabilen Betrieb war, behaglichere Raumtemperaturen gemessen werden konnten als davor und danach. Die hohen Lufttemperaturen im Winter sind eine unmittelbare Folge der Benützung des Einzelofens in diesem Bereich. In Abbildung 225 ist wieder das positive Zusammenspiel aus Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte dargestellt. Obwohl sich die Temperaturen aufgrund der genannten Gründe teilweise außerhalb des definierten Komfortbandes bewegen, liegt die Luftfeuchte während der gesamten Monitoringperiode in einem idealen Bereich, was zum Teil dem Effekt der Feuchteregulierung im Holzbau geschuldet ist.

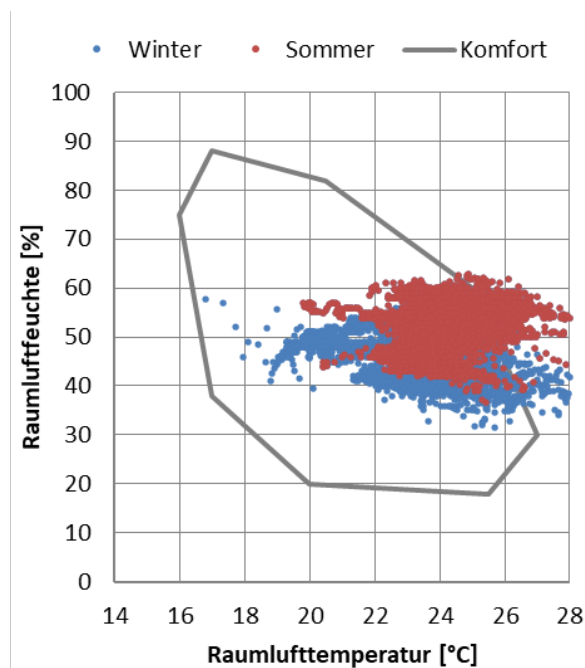


Abbildung 225: Behaglichkeitsdiagramm mit rel. Feuchte und Lufttemperatur für den Wohnbereich im OG (Quelle: AEE INTEC)

8.11 Haus der Generationen, T

Bauteilaktivierung: Zwischendecken (Beton)		
Objektnutzung: Multifunktionsgebäude mit Kindergarten und Kinderkrippe, betreuten Wohnungen sowie Räumlichkeiten für Vereine	Standort: Schönwerth-Park 1, 6111 Volders	Fertigstellung: 2020

8.11.1 Objektbeschreibung

Das Haus der Generationen in Volders wurde im Jahr 2020 in Passivhausbauweise fertiggestellt und bietet Platz für 13 betreubare Wohnungen im zweiten Stock, einen Kindergarten mit acht Kindergartengruppen und vier Kinderkrippengruppen (im EG und 1.OG) sowie einen Vereinsraum (im KG). Die Tragstruktur wurde vollständig in Stahlbetonbauweise errichtet. Durch das Zusammenspiel der hinterlüfteten Fassade, der Glasflächen und den gestalteten Garten- und Freiflächen entsteht eine Architektur mit einer warmen und freundlichen Atmosphäre, die in ihrer Materialität und Farbe auf die umgebende Natur und bestehende Gebäude reagiert und im Ortszentrum Volders Identität schafft.

Die Wärmeversorgung erfolgt über die lokale Fernwärme. Zusätzlich wird Grundwasser für die Kühlung des Kindergartens und der Kinderkrippe genutzt. Die Kühlung erfolgt mittels Bauteilaktivierung der Zwischendecken. Eine Photovoltaikanlage am Flachdach dient zur Stromversorgung. Das Gebäude trägt die klimaaktiv-Deklaration in Silber.

Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	3.267 m ²	Eigentümer: Neue Heimat Tirol Gemeinnützige Wohnungsbau GmbH
HKLS-Planung	Stransky Heiz- / Mess- / Regeltechnik GmbH	Web: https://www.neueheimat.tirol/projekte/kommunale-bauprojekte/volders-haus-der-generationen
Architektur	DIN A4 Architektur ZT GmbH	

Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- Massivbauweise im Passivhaus-Standard, 3-geschoßig
- Hinterlüftete Holzfassade
- Außenliegende Verschattung per Außenjalousien
- Kompakte Bauweise, A/V = 0,36 [1/m], charakteristische Länge 2,76 [m]

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde in den Zwischendecken über der Nutzfläche EG & OG1 zur Kühlung ausgeführt.

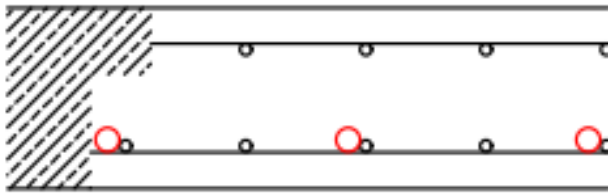
Aktivierte Bauteile: Zwischendecken											
Einsatz	Kühlung										
Aktivierte Fläche	Zwischendecken über den Nutzflächen des EG und OG1 (ca. 1.650 m ²)										
Aktiviertes Material	Beton, 25 cm Stahlbeton Deckenaufbau „Warme Zwischendecke Wohnen“ <table> <tr> <td>Belag</td><td>0,015 m</td></tr> <tr> <td>Estrich</td><td>0,07 m</td></tr> <tr> <td>EPS W-20</td><td>0,18 m</td></tr> <tr> <td>Styroloeschüttung zementgebunden</td><td>0,105 m</td></tr> <tr> <td>Stahlbeton</td><td>0,25 m</td></tr> </table>	Belag	0,015 m	Estrich	0,07 m	EPS W-20	0,18 m	Styroloeschüttung zementgebunden	0,105 m	Stahlbeton	0,25 m
Belag	0,015 m										
Estrich	0,07 m										
EPS W-20	0,18 m										
Styroloeschüttung zementgebunden	0,105 m										
Stahlbeton	0,25 m										
Verlegungsart	System Uponor, Kunststoff-Rohr PEXa, Dimension 20x2,0mm, Verlegeabstand 15 cm, die Leitungen wurden auf der unteren Bewehrung verlegt										
Regelungsstrategie	Die Freigabe der Kühlung erfolgt über einen Sommer/Winterschalter bei Sommerbetrieb. Im Winter ist diese Gruppe gesperrt. Die Kühlgruppe BTA wird bei einer gedämpften Außentemperatur über 25°C freigegeben und bei Unterschreiten von 22°C automatisch abgeschaltet. Mittels der Kühlkurve dieser Gruppe, wird der VL min (16°C) / VL max. (20°C) je nach Außentemperatur verschoben. Über die beiden verbauten Taupunktwärmer (Decke Verteiler EG und Decke Verteiler OG), wird die Gruppe bei einer absoluten Feuchte von 95% abgeschaltet. Raumweise Regelung der Wärme-/Kälteabgabe mit Einzelraumregelung. Durchfluss-Regelung des Kühlregelkreises: Variabler Volumenstrom nach Differenzdruckregelung der Umwälzpumpe.										
Leistungskennzahlen	Auslegungsleistung BTA: Kühlen 120 kW										
											

Abbildung 226: Schnittdarstellung Zwischendecke (Quelle: Hacon GmbH)

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik	
Heizung	Zentrale Wärmeversorgung durch lokale, erneuerbare Fernwärme (140 kW)
Brauch-Warmwasser	Die Zentrale Brauchwasserbereitung für die Versorgung der Kindergarten-Küche erfolgt durch einen Fernwärme-beheizten externen Wärmetauscher (30 kW) und einem Brauch-Warmwasserspeicher (500 Liter). In den Kindergarten-Sanitärbereichen sowie in den Wohnungen im 2. OG sind dezentrale elektrische Warmwasserbereiter im Einsatz.
Kühlung	Grundwasser-Kühlung (Free Cooling, Wärmetauscher 120 kW, max. Grundwasser-Volumenstrom von 21 m³/h) zur Kühlung der Bauteilaktivierung
Wärmeabgabe	Fußbodenheizung (Kindergarten: 65,7 kW; Wohnungen: 15,9 kW; Verein: 6,0 kW), Heizregister für Lüftungsanlagen Kindergarten & Küche (insges. 38,1 kW)
Kälteabgabe	Bauteilaktivierung Zwischendecken (120 kW)
Lüftungstechnik	Kindergarten: 2 Lüftungsanlagen für Kindergarten und Küche mit Wärmerückgewinnung und Zuluft-Konditionierung durch Heizregister. Wohnungen im 2. OG: Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung sowie elektrische Heizregister (dezentrale Einzellüftungsgeräte mit 150 m³/h Nennvolumenstrom je Wohnung).
Elektrische Energie	Öffentliches Netz Photovoltaik-Anlage, getrennt in 2 Teil-Anlagen (Anlagenbereich Kindergarten „Gemeinde“: 22,75 kWp; Anlagenbereich Wohnungen 2. OG „NHT“, für Heizung + Lüftung Wohnungen: 3,575 kWp, Ausrichtung Südsüdost (20° Abweichung von Süden), Neigung 15°

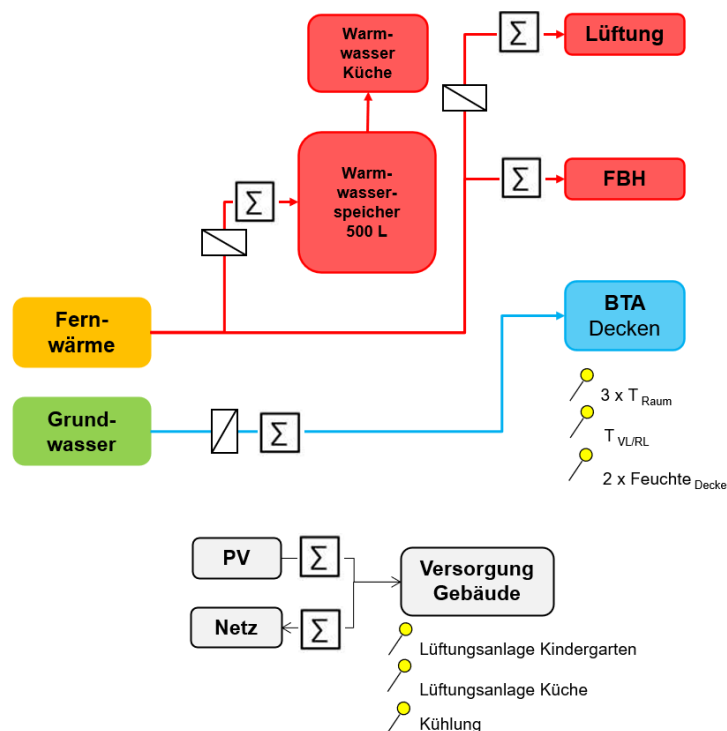


Abbildung 227: Prinzipschema Haus der Generationen, Gebäudetechnik und Messkonzept
(Quelle: e7)

8.11.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: Sept. 2022 – Aug. 2023 (12 Monate)

Gebäudeflächen lt. Energieausweis	
Brutto-Grundfläche (BGF)	3.267 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	2.614 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung		
Speicherkapazität	Zwischendecken Kindergarten 275 kWh/K = 0,08 kWh/Km ² _{BGF} Die Bauteilaktivierung wird nur für Kühlzwecke verwendet. Eine aktive Nutzung der Speicherfähigkeit der BTA liegt in geringem Maße vor, indem die Kühlfreigabe entsprechend der Außentemperatur tagsüber erfolgt, wodurch sich die Betriebszeiten weitgehend mit der PV-Stromerzeugung decken.	
	Heizung: 0% (Deckung durch Fernwärme) Kühlung: ca. 100% (Grundwasser-Kühlung per Free Cooling und PV-Strom zur Deckung der Pumpaufwände)	
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Zwischendecken Kindergarten
	Aktivierte Fläche	ca. 1.650 m ² _{akt.}
	Max. Kühlleistung	ca. 72 kW
	Max. spezifische Kühlleistung	ca. 44 W/m ² _{akt.}
	Vorlauftemperatur Kühlen	16-20°C
	Spreizung bei max. Kühlleistung	3 K

Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (gesamt für Raumwärme, Warmwasserbereitung für Küche inkl. Speicher- und Verteilverluste)	47,4 kWh/m ² _{BGFa}
Kühlenergieverbrauch (Kühlung erfolgt nur im Kindergarten)	11,1 kWh/m ² _{BGFa}

8.11.3 Nachfragestruktur Wärme

Die Wärme für das Objekt wird durch das örtliche Fernwärmenetz bereitgestellt.

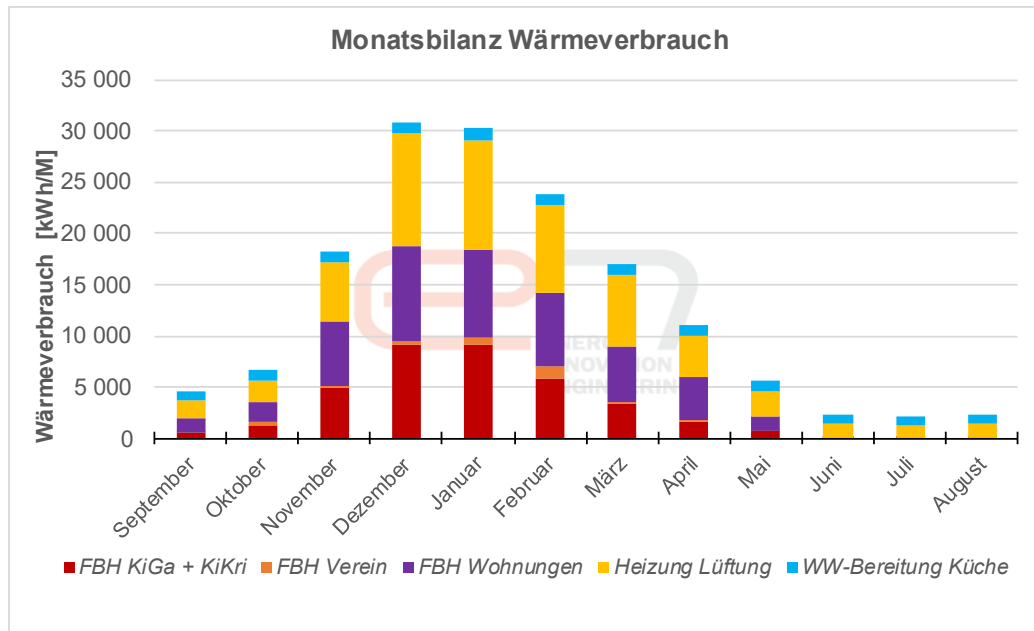


Abbildung 228: Monatsbilanz Wärmeverbrauch, Haus der Generationen (Quelle: e7)

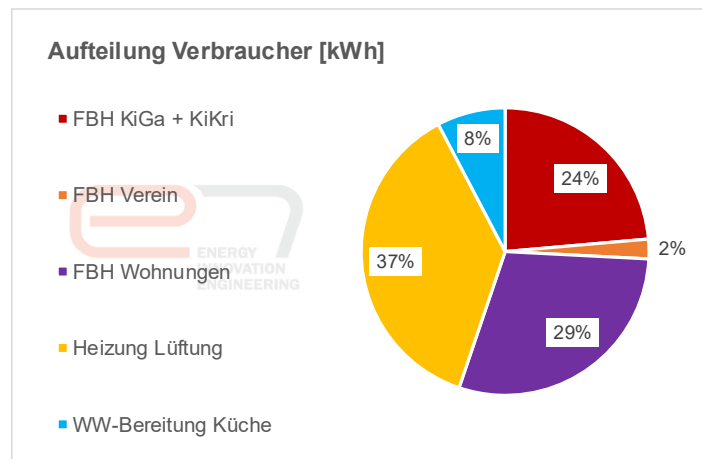


Abbildung 229: Prozentuelle Aufteilung des Wärmeverbrauchs, Haus der Generationen (Quelle: e7)

Der Gesamtwärmeverbrauch für das Betriebsjahr September 2022 bis August 2023 liegt bei 154.979 kWh, welches einem spezifischen Wärmeverbrauch von 47,4 kWh/m²_{BGfA} für das Gesamtobjekt entspricht.

Die Aufteilung des Wärmeverbrauchs zeigt, dass der größte Anteil für die Zuluft-Erwärmung bei den beiden Lüftungsanlagen (Lüftung Kindergarten, Lüftung Küche) bezogen wird (37%).

Nachdem die Betriebszeiten ab April 2023 deutlich reduziert wurden, ist in der nächsten Heizperiode eine merkbare Reduktion der Wärmeverbräuche für die Raumluftheizung zu erwarten. Auffallend sind die Wärmeverbräuche für die Lüftungsanlagen während den Sommer-Monaten Juni – August mit etwa 4.300 kWh. Ein Teil dieser Verbräuche werden durch Wärmeverluste entlang der Wärme-Verteileitungen hervorgerufen, ein anderer Teil wird zur Temperierung der Zuluft nach der Wärmerückgewinnung benötigt. Als Effizienzmaßnahme wäre eine Sommer-Sperrzeit für die Lüftungs-Heizkreise zu empfehlen, welche die Sommerverbräuche des Hauses reduzieren würde (Einsparungspotenzial: Reduktion des Jahres-Wärmeverbrauchs des Gebäudes um ca. 3%).

Die Fußbodenheizung für den Kindergarten ist MO-FR im Zeitraum 03:00 – 17:00 Uhr aktiv, außerhalb dieser Zeiten ist der Heizkreis deaktiviert. Der Wärmeverbrauchsanteil des Fußbodenheizungs-Heizkreises liegt bei 24%.

Für die Fußbodenheizung der Wohnungen im 2. OG wird ein Anteil von 29% des Gesamtwärmeverbrauchs bezogen. Für die Beheizung der Vereinsflächen entfallen rund 2%.

Die zentrale Warmwasserbereitung für die Küche ruft einen sehr konstanten monatlichen Wärmeverbrauch von durchschnittlich 1.070 kWh/Monat während der Schulmonate hervor. Während der Sommerferien Juli-August sinkt der Wärmeverbrauch für die Warmwasserbereitung auf 820 kWh/Monat. Für die Warmwasserbereitung wurde ein Anteil von 8% des Gesamtwärmeverbrauchs aufgewendet.

8.11.4 Nachfragestruktur Kälte

Beim gegenständlichen Objekt erfolgt die Kälteversorgung durch Grundwasser. Die Kälte wird über Zwischendecken der Nutzflächen Kindergarten (EG und OG1) eingebracht. Die restlichen Gebäudeflächen (Verein, Wohnungen im 2. OG) haben keine Kühlung.

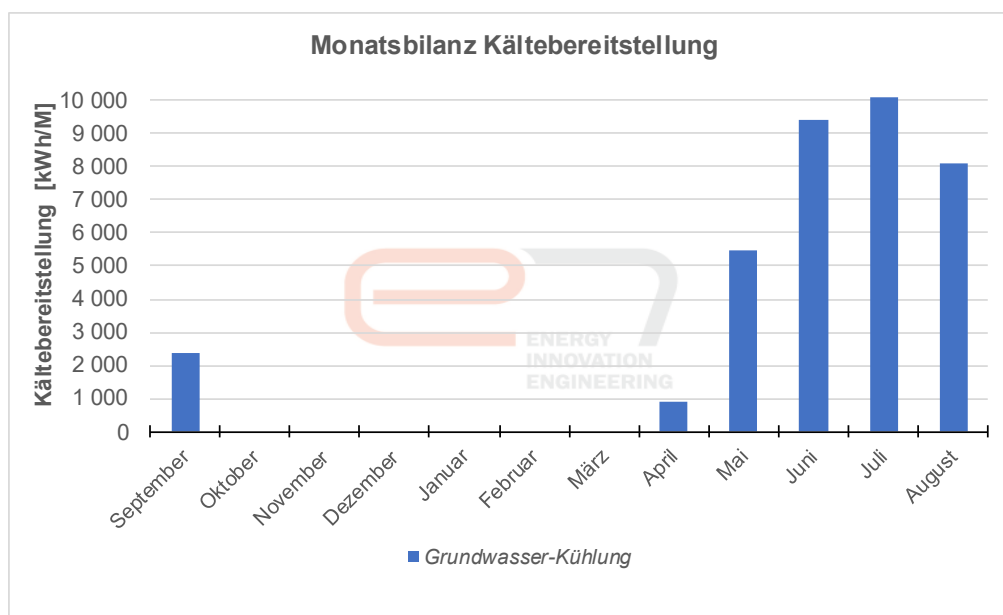


Abbildung 230: Monatsbilanz Kältebereitstellung, Haus der Generationen (Quelle: e7)

Der Gesamtkälteverbrauch für das Betriebsjahr September 2022 bis Aug. 2023 liegt bei 36.283 kWh. Dies ergibt einen spezifischen Kälteverbrauch von $11,1 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ bzw. $22,0 \text{ kWh/m}^2_{\text{akt.a}}$ (bezogen auf die aktivierte Deckenfläche der Nutzungsbereiche Kindergarten).

Auffallend ist, dass im Jahr 2023 die Kältebereitstellung bereits im April begann. Im Zuge von Detailanalysen konnte festgestellt werden, dass die frühen Freigaben des Kühlbetriebs durch eine fehlerhafte Außentemperatur-Messung hervorgerufen wurden. Daraufhin hat der Anlagenbetreiber am 6.7.2023 die Behebung des Problems vorgenommen. Es werden ab diesen Zeitpunkt korrekte Außentemperatur-Messwerte aus einer nahegelegenen Messeinrichtung für die Außentemperatur-geführte Regelung verwendet.

Durch die Problem-Behebung sind ab dem kommenden Betriebsjahr geringere Kühlenergie-Verbrauchsmengen zu erwarten. Die Verbräuche werden sich vor allem in den Monaten April, Mai und September reduzieren.

Kälteabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Der Kühlkreislauf Bauteilaktivierung verhält sich entsprechend der bekannt gegebenen Außentemperatur-geführten Regelstrategie (siehe Abschnitt 8.11.1).

Die Vorlauftemperatur wird nach der (gedämpften) Außentemperatur im Bereich $16 - 20^\circ\text{C}$ gehalten. Während der Kühltage im Juli und August 2023 wurde die Vorlauftemperatur weitestgehend bei ca. 17°C gehalten.

Die maximale Kühlleistung (3h-Mittelwert) beträgt 72 kW (aufgetreten am 11.08.2023 nach längerer Nicht-Kühlphase nach einer Schlechtwetterperiode), was einer spezifischen Abgabeleistung von $44 \text{ W/m}^2_{\text{akt.}}$ entspricht.

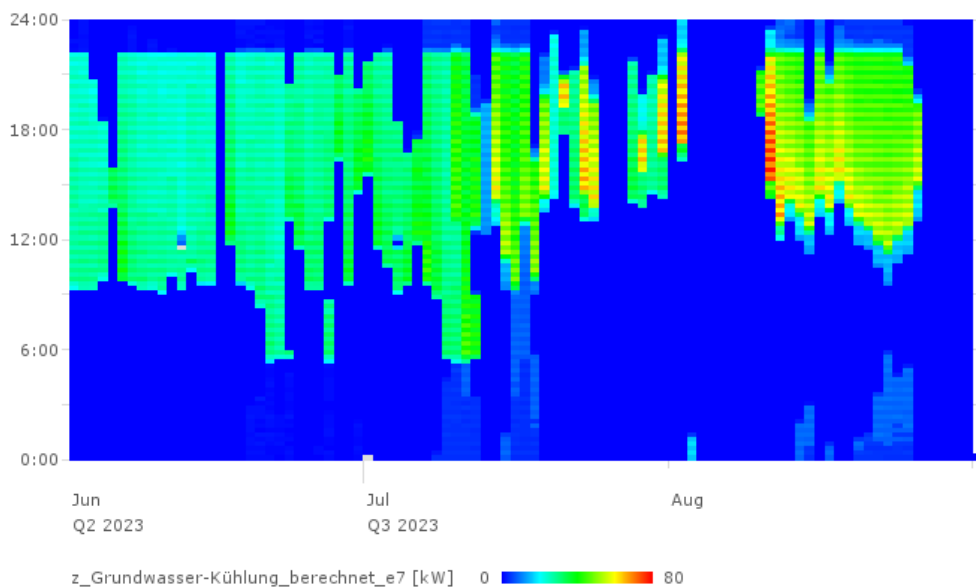


Abbildung 231: Carpet Plot der Kühlleistung in [kW] Grundwasserkühlung Juni - August 2023, Haus der Generationen (Quelle: e7)

Im Zuge der Analysen wurde festgestellt, dass ein zu starke Grundwasser-Umwälzung für die den Wärmeübertrager-Betrieb auf der Primärseite vorliegt, welches der Betriebsführung bekanntgegeben wurde. Die Betriebsführung reagierte rasch und nahm eine Neueinstellung der Umwälzpumpen-FU-Stellsignale vor. Durch die Umstellung der FU-Vorgabe für die Grundwasserpumpe auf den neuen Wert von 45% (am 6.7.2023) konnte eine deutliche Reduktion der Strom-Leistungsaufnahme erzielt werden. Von ursprünglich 5,8 kW Anfang Juni verringerte sich die Leistungsaufnahme auf 1,3 kW für die Grundwasser-Umwälzpumpe (vgl. nachfolgendes Diagramm).

Anmerkung: Am Dienstag den 13. Juni um 11:00 Uhr reduzierte sich die Leistungsaufnahme von 5,8 auf 5,0 kW, hier wurde vermutlich der Filter getauscht/gereinigt.

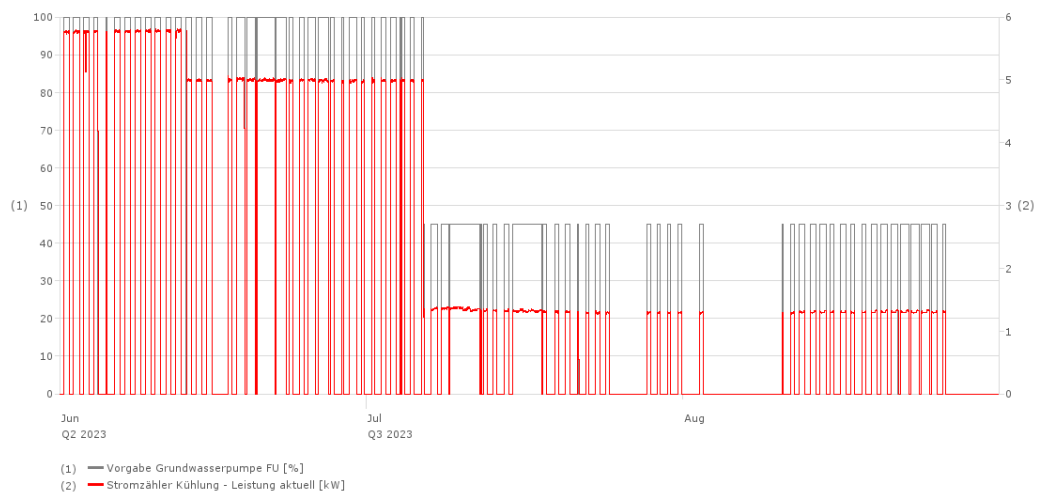


Abbildung 232: Elektrische Leistungsaufnahme in [kW] und FU-Vorgabe in [%] der Grundwasser-Brunnenpumpe (Quelle: e7)

Zusammenfassung der Verbesserungen der Betriebseinstellung der Grundwasser-Kühlung in Kombination mit der Bauteilaktivierung:

- Späteres Einschalten und früheres Abschalten der Kühlung durch korrekte Außentemperatur
→ Kürzere Laufzeiten der Anlagentechnik und somit geringerer Verschleiß der Pumpen.
- Durch die verringerte FU-Vorgabe bei der Grundwasserpumpe ergibt sich eine größere Spreizung zwischen Grundwasser-Vor- und Rücklauf (bis zu 6 K anstatt 1-2 K) im Grundwasser-Kreislauf und deutlich weniger Grundwasserumsatz (Unterstützung bei der Einhaltung der behördlichen Vorgaben der Grundwasser-Maximalmengenentnahme und Verringerung der Filter-Verschmutzung).
- Die Effizienz des Grundwasser-Kühlsystems konnte um den Faktor 6 gesteigert werden
 - Vor Umsetzung: EER = 4,5 – 8 (Monate April – Juni 2023)
 - Nach Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen: **EER = 28** im August 2023. Es wird somit deutlich weniger Strom für die Bereitstellung der Kühlung verbraucht (vgl. Rückgang des Stromverbrauchs im August 2023 in nachfolgender Abb.).

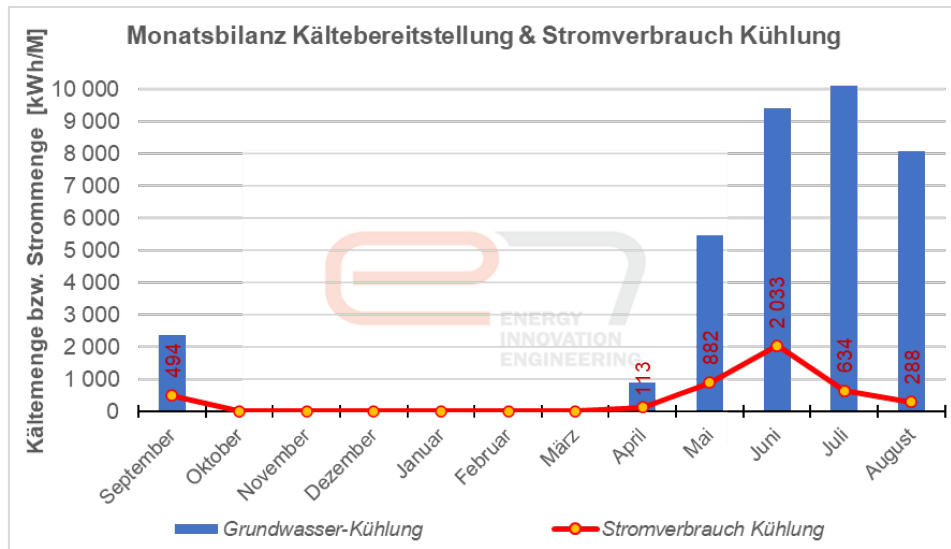


Abbildung 233: Monatsbilanz Kältemenge und Stromverbrauch für Kühlung, Haus der Generationen (Quelle: e7)

8.11.5 Nachfragestruktur Strom

Es sind 2 Photovoltaik-Anlagen am Gebäudedach installiert (Orientierung Südsüdost, Neigung 15°):

- Anlagenbereich Kindergarten „Gemeinde“: 22,75 kWp
- Anlagenbereich Wohnungen 2. OG „NHT“: 3,575 kWp

Die PV-Erzeugung der beiden Anlagen stellt sich im Monitoringzeitraum wie folgt dar:

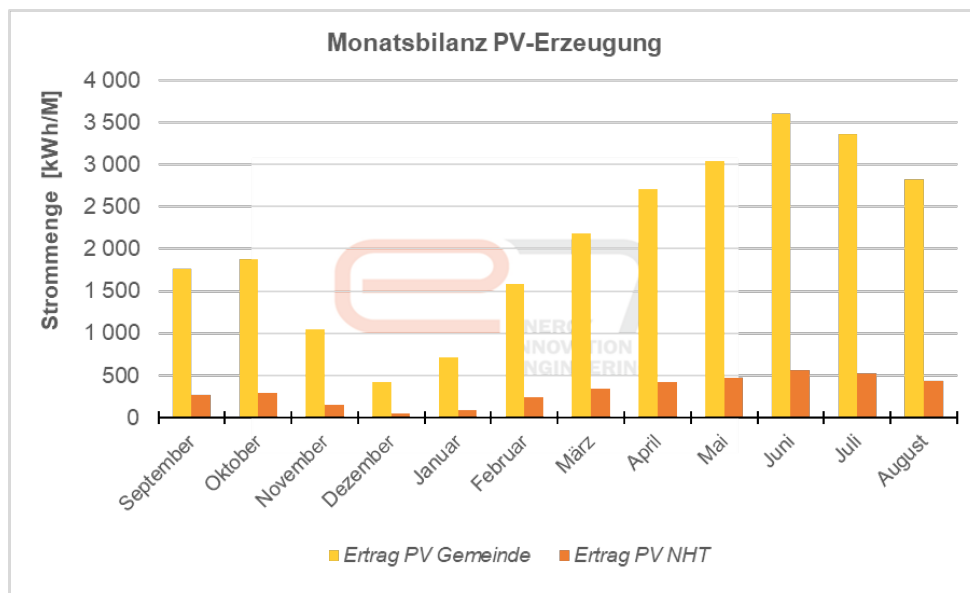


Abbildung 234: Monatsbilanz PV-Erzeugung, Haus der Generationen (Quelle: e7)

Tabelle 4: Kennzahlen PV-Erzeugung, Haus der Generationen (Quelle: e7)

	Nennleistung [kWp]	Jahres-Ertrag 09-2022 bis 08-2023 [kWh]	Spez. Jahres- Ertrag [kWh/kWp*a]	Direkt- nutzungsrate
PV Gemeinde	22,75	20.438	1.106	81%
PV NHT	3,575	3.834	1.072	78%

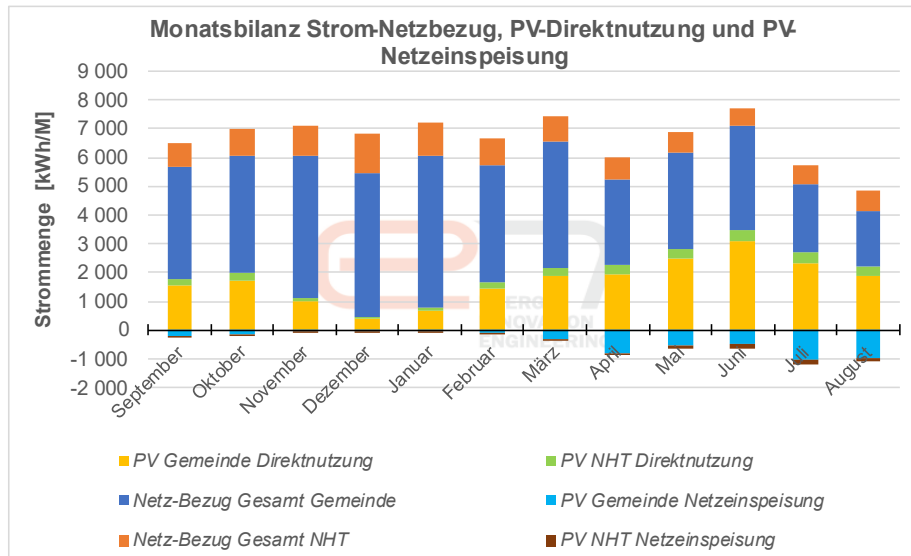


Abbildung 235: Monatsbilanz Strom-Netzbezug, PV-Direktnutzung und PV-Netzeinspeisung, Haus der Generationen (Quelle: e7)

In obiger Abbildung werden die positiven Effekte der Optimierungsmaßnahmen bei den Lüftungsbetriebszeiten (ab April 2023) und bei der Grundwasser-Kühlung (ab Juli 2023) gut ersichtlich. Am Versorgungsstrang „Gemeinde“ wurden die Strom-Netzbezüge deutlich reduziert und die PV-Netzeinspeisungen erhöht. Nachfolgende Grafik veranschaulicht diese Aussagen noch deutlicher:

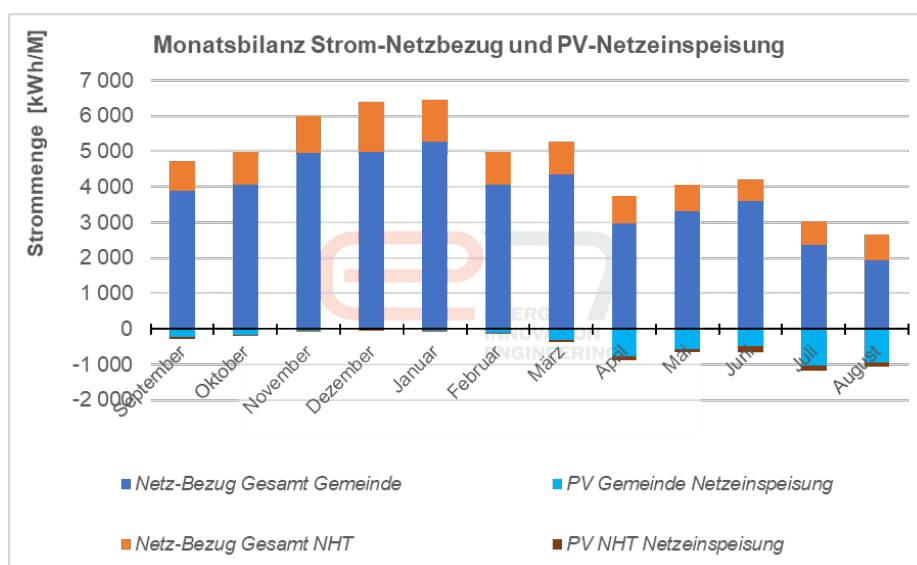


Abbildung 236: Monatsbilanz Strom-Netzbezug und PV-Netzeinspeisung, Haus der Generationen (Quelle: e7)

Der Strom-Gesamtverbrauch der beiden Versorgungsstränge „Gemeinde“ (=Kindergarten und Verein) und „NHT“ (Wohnungen im 2. OG) beträgt im Monitoringzeitraum Sept. 2022 bis Aug. 2023 insgesamt 79.918 kWh bzw. 24,5 kWh/m²_{BGfA}.

Die erzielten jährlichen Stromeinsparungen auf Seiten der Gemeinde (Kindergarten und Verein) können mit mind. 15.000 kWh beziffert werden, was einer Einsparung von rund 20% entspricht.

Nachfolgende Abbildungen zeigen die Stromeinspar-Effekte auf Einzel-Verbraucherebene (anhand der vorhandenen Sub-Zähler) im Detail.

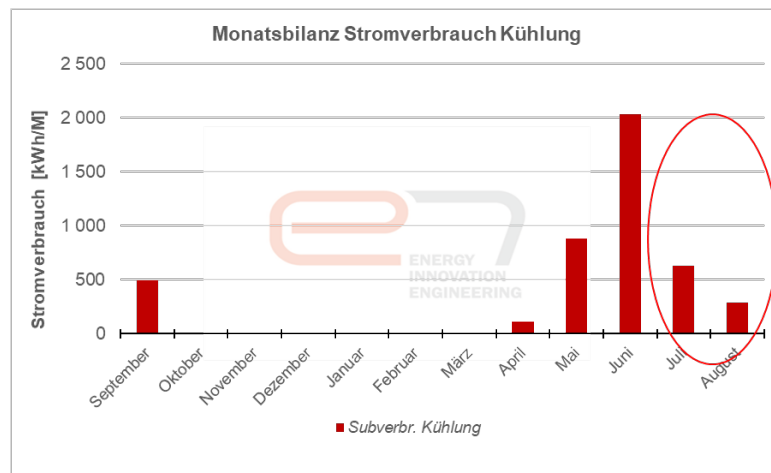


Abbildung 237: Monatsbilanz Stromverbrauch Kühlung, Haus der Generationen (Quelle: e7)

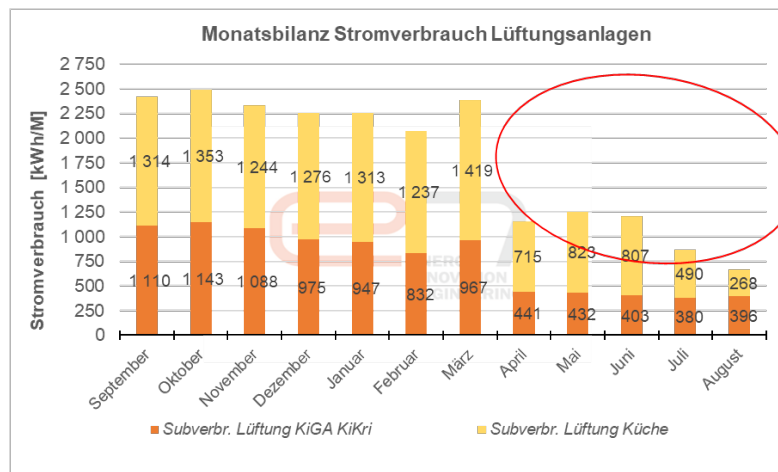


Abbildung 238: Monatsbilanz Stromverbrauch Lüftungsanlagen, Haus der Generationen (Quelle: e7)

Die Einsparungen im Bereich der Lüftungsanlagen konnten durch Betriebszeitanpassungen erwirkt werden. In obiger Abbildung wird ersichtlich, dass bei der Lüftungsanlage Küche zusätzlich eine Verbrauchsreduktion in den Ferienmonaten Juli und August 2023 um bis zu 65% erzielt wurde. Anhand der Zähler-Aufzeichnungen wird vermutet, dass eine Reduktion des Luftwechsels vorgenommen wurde (Leistungsaufnahme reduziert sich ab 14.7.2023 von 3,0 kW auf 1,0 kW, die Betriebszeiten bleiben unverändert).

8.11.6 Raumkomfort - Monitoring

Referenzräume:

- EG ID313 KIGRI Gruppenraum, Orientierung Nord/West (50 m²) [Schildkrötengruppe]
- OG1 ID120 KIGA Gruppenraum, Orientierung Süd/West (61 m²) [Raupengruppe]
- OG1 ID132 KIGA Gruppenraum, Orientierung Ost (61 m²) [Bärengruppe]

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

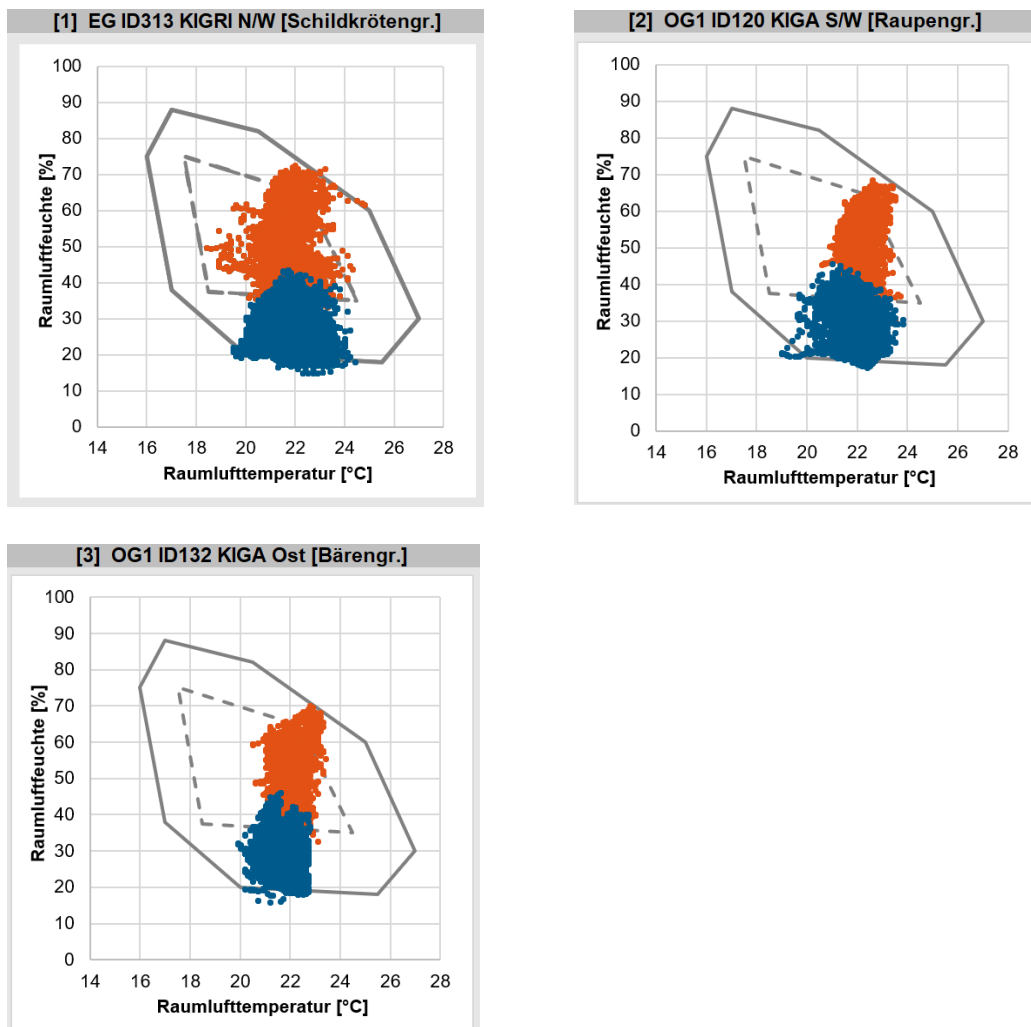


Abbildung 239: Behaglichkeitsdiagramme, Haus der Generationen (Quelle: e7)

Blau = Winterhalbjahr (Nov. 2022 – April 2023)

Orange = Sommerhalbjahr (Sept.-Okt. 2022 und Mai-Aug. 2023)

Die 3 Referenzräume liegen durchwegs im noch behaglichen Komfortbereich, obwohl in den Wintermonaten die Raumluftfeuchte durchwegs im trockenen Bereich von 20-35% liegt. Dies kann durch die großzügig gewählten Betriebszeiten der mechanischen Lüftungsanlagen begründet werden

(Lüftungsanlagenbetrieb auch außerhalb der Kindergarten-Nutzungszeiten). Die Lüftungsbetriebszeiten wurden im Frühjahr 2023 an die tatsächliche Nutzung angepasst, was ggf. zu einer Verbesserung der Luftfeuchtigkeitsbedingungen in den Wintermonaten führt. Zusätzlich könnten im Winter Befeuchtungsmaßnahmen gegen die trockenen Raumlufthbedingungen getroffen werden.

Im Winterhalbjahr weist der Kindergarten-Referenzraum im 1.OG „Bärengruppe“ (Ost) ein relativ enges Temperaturband im Bereich 20,0 – 22,5°C auf. Die anderen beiden Referenzräume weisen ein etwas weiteres Temperaturband auf, was mit den Fensterorientierungen und damit verbundenen solaren Wärmegevinne in Verbindung gebracht werden kann.

Die Komfortmessungen bestätigen, dass die Temperierung der Räumlichkeiten mit den vorliegenden Abgabesystemen Fußbodenheizung und Bauteilaktivierung für Kühlung sehr gut funktioniert. In Kombination mit der hochwertigen Gebäudehülle und den Verschattungslösungen gibt es keine Überhitzungsprobleme in den untersuchten Referenzräumen.

In den Sommermonaten wird der Kindergarten im leicht kühlen Temperaturband gehalten. Dies zeigen auch die nachfolgenden Diagramme mit den Raumlufthtemperaturen der Referenzräume und den Kategorien der Standardauslegungswerte für operative Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Anhang B, Tab. B.2.

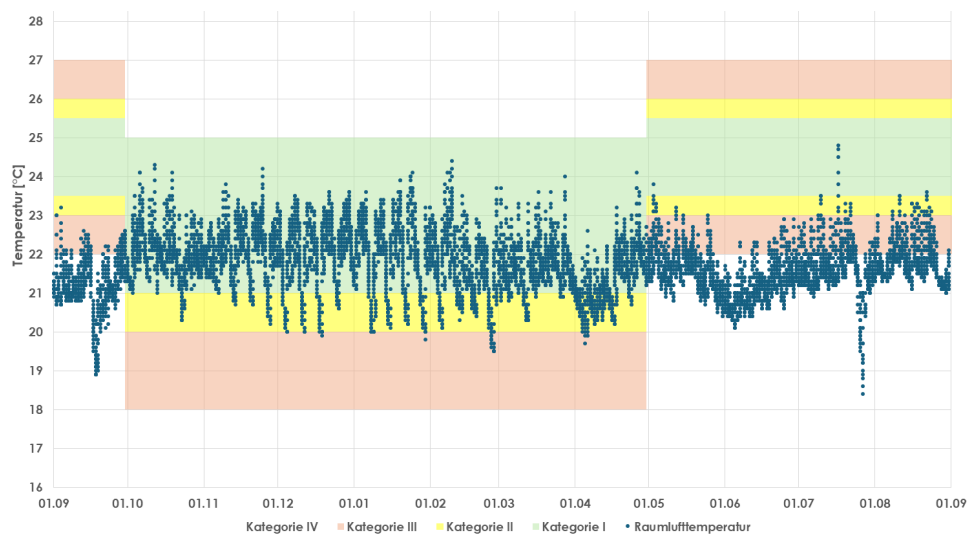


Abbildung 240: Raumlufthtemperatur EG ID313 KIGRI Gruppenraum [Schildkrötengruppe] und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Haus der Generationen (Quelle: e7)

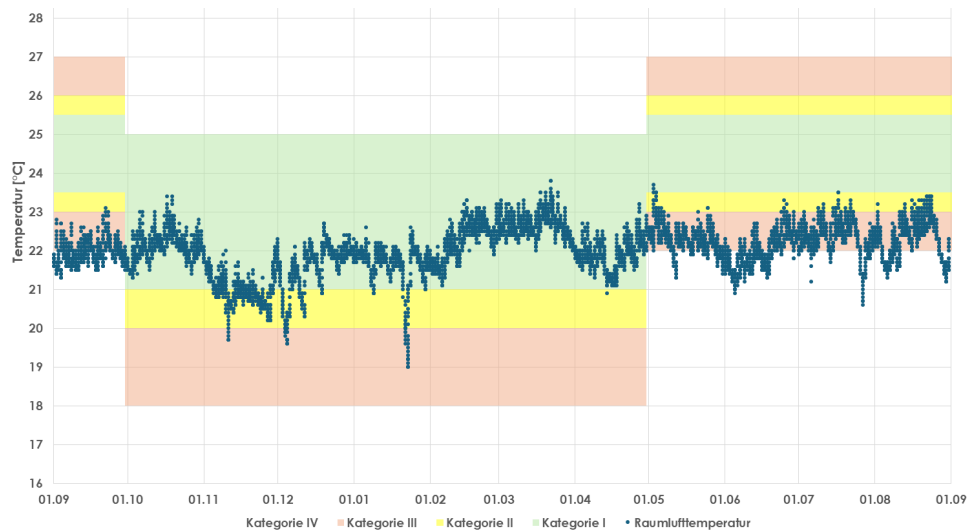


Abbildung 241: Raumlufttemperatur OG1 ID120 KIGA Gruppenraum [Raupengruppe] und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Haus der Generationen (Quelle: e7)

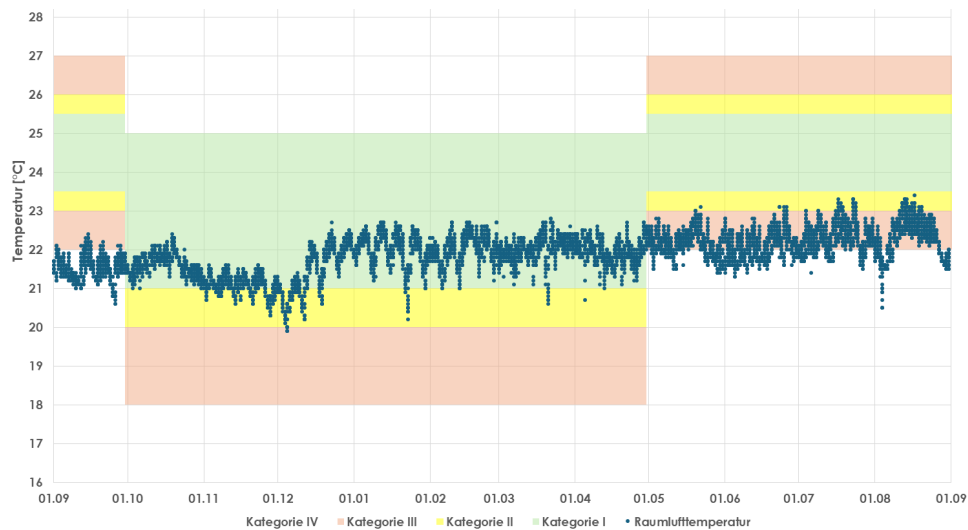


Abbildung 242: Raumlufttemperatur OG1 ID132 KIGA Gruppenraum [Bärengruppe] und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Haus der Generationen (Quelle: e7)

Raumlufqualität (CO₂-Konzentration)

Bei den gemessenen CO₂-Konzentrationen zeigt sich, dass während des Messzeitraums in allen Referenzräumen eine gute Raumlufqualität vorherrschte. Die CO₂-Konzentration liegt durchwegs unter 1300 ppm, was darauf schließen lässt, dass die Raumluftechnik dieser Bereiche hinsichtlich Raumlufqualität zufriedenstellend arbeitet.

Lediglich an den Tagen 1. und 2. Februar (Mittwoch und Donnerstag) ist die Lüftungsanlage Kindergarten ausgefallen, was unmittelbar zu einer deutlichen Verschlechterung der Raumlufqualität führte. Die gemessenen CO₂-Konzentrationen reichen bis zu 2.800 ppm.

Nachfolgende Abbildung zeigt die CO₂-Konzentrationsverlauf exemplarisch für den Raum OG1 ID120 KIGA (Raupengruppe).

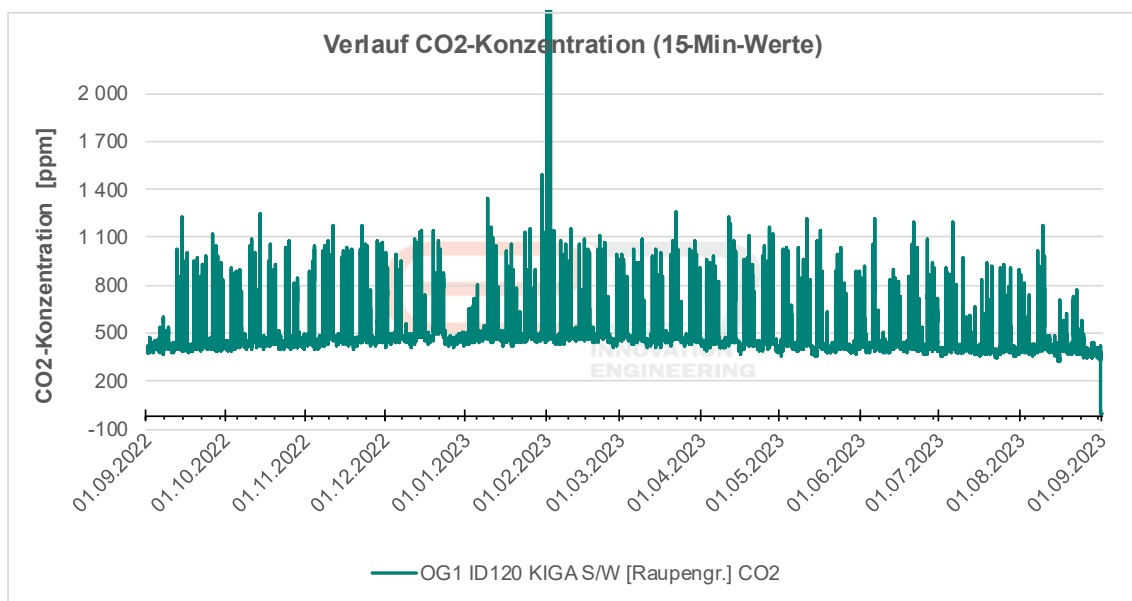


Abbildung 243: CO₂-Konzentration Raupengruppe, Haus der Generationen (Quelle: e7)

Operative Temperaturen

Die operative Temperatur (gefühlte Temperatur, Empfindungstemperatur) umfasst das Zusammenwirken der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen und ist der Hauptfaktor der thermischen Behaglichkeit.

Für die 3 Referenzräume wurden die operativen Temperaturen quartalsweise bestimmt.

Die ermittelten operativen Temperaturen zeigen die geringen jahreszeitlichen Unterschiede in jeweiligen Räumen.

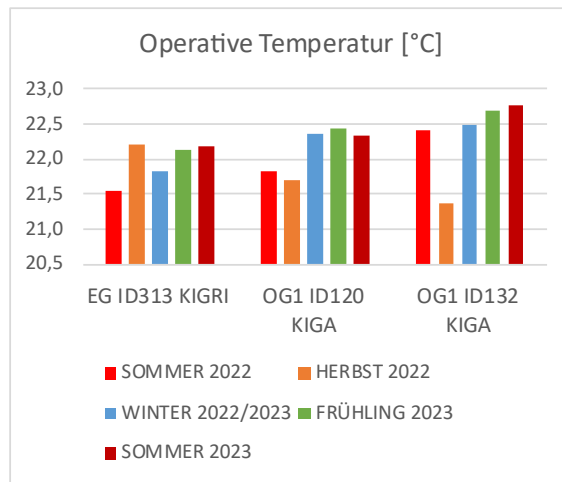


Abbildung 244: Operative Temperaturen für die Referenzräume, Haus der Generationen (Quelle: e7)

Die ermittelten operativen Temperaturen der Referenzräume liegen bei allen Räumen sehr nahe an der gemessenen Raumlufthtemperatur (maximale Abweichungen von +/- 0,5 K).

8.12 Headquarter Act4energy, B

Bauteilaktivierung: Kühldecken		
Objektnutzung: Büro, Konferenzraum, Gastro	Standort: Herrschaftsweg 29, 7551 Stegersbach	Fertigstellung: 2020

8.12.1 Objektbeschreibung

Das modern gestaltete solar.one Gebäude wurde als Hauptsitz des Unternehmens act4energy und als neues Kompetenzzentrum für digitale Erneuerbare Energiesysteme im Jahr 2020 errichtet. Im Gebäude befinden sich Büroräumlichkeiten, Konferenzräume und ein Gastronomiebetrieb. Anspruch an das Gebäude war die Nutzung von PV in allen Varianten. Im Objekt finden daher verschiedenste Panel-Ausführungen ihre Anwendung: z.B. fassadenintegrierte PV, Indach, PV als Dach- und Strukturelement sowie aufgeständert in Kombination mit Dachbegrünung. Insgesamt sind am Standort 178 kWp PV installiert, die gemeinsam mit Stromspeichern, E-Ladestationen und insbesondere den vorhandenen Wärmepumpen zur Deckung des lokalen Energiebedarfs genutzt werden. Die Bauteilaktivierung im Objekt ist in Form von Kühldecken ausgeführt und wird gemeinsam mit einer Fußbodenheizung und aktiven Lüftungsanlage zur ganzjährigen Konditionierung des Objekts verwendet. Neben den elektrischen Speicheranlagen (Salzwasserspeicher und Lithium-Ionen-Speicher) wurden darüber hinaus thermische Energiespeicher für Wärme und Kälte realisiert.

Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	1.427 m ²	Eigentümer: solar.one Immo GmbH & Co KG
HKLS-Planung	Energie Kompass GmbH	Name: Ing. Andreas Schneemann MSc
Architektur	Pichler & Traupmann Architekten ZT GmbH	Web: https://www.solar.one/

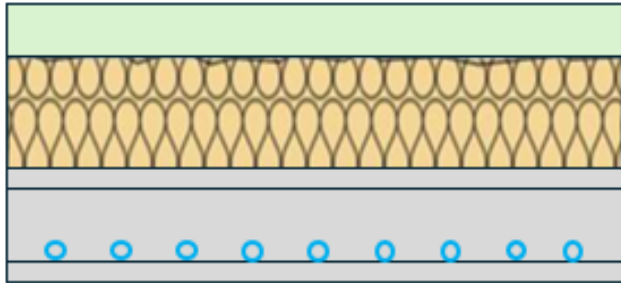
Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- schwere Bauweise mit A/V-Verhältnis von 0,53 [1/m] und charakteristischer Länge von 1,88 [m]
- beheiztes Brutto-Volumen von 6.655 m³
- Anteil der Fensterflächen an thermischer Gebäudehülle von 19,85 %
- Teil der Fensterflächen sind mit transparenten PV-Zellen ausgestattet
- innenliegende Jalousien
- teilweise extensive Dachbegrünung kombiniert mit PV-Anlage
- Außenwände aus 30 cm dickem Stahlbeton, 20 cm EPS-Dämmung
- Dach aus 25 cm dickem Stahlbeton, 26 cm EPS-Dämmung

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde in den Decken mit einer aktivierten Gesamtfläche von 700 m² ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Decken	
Einsatz	Kühlung (aktiv)
Aktivierte Fläche	Decken im EG und OG (insgesamt 700 m ²)
Aktiviertes Material	Ortbeton, Stärke 25 cm
Verlegungsart	Kunststoffrohre mit 150 mm Verlegeabstand auf unterster Bewehrungslage montiert, 46 mm Überdeckung
Regelung	Raumthermostat-Zonenregelung mit Zweipunktregelung Auslegungstemperaturen: Kühlen 17/21 °C
Kennzahlen	Abgabeleistung: Kühlen 56 kW



12 cm Begrünung

26 cm EPS-Dämmung

25 cm Stahlbeton
46 mm Überdeckung

Abbildung 245: Schnittdarstellung bauteilaktivierte Decke im OG (AEE INTEC)

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik	
Heizung	Zentrale Wärmeversorgung durch 4 reversible Luft-Wärmepumpen (47,6 kW gesamt) mit Pufferspeicher (1.500 Liter)
Brauch-Warmwasser	Dezentrale WW-Bereitstellung mit Stromdirektheizung inkl. Kleinspeicher
Kühlung	Aktive Kühlung über Luft-Wärmepumpen (51,2 kW gesamt) mit Kältespeicher (1.500 Liter)
Wärmeabgabe	Fußbodenheizung (50 kW)
Kälteabgabe	Bauteilaktivierung (56 kW) Lüftungsanlage
Lüftungstechnik	Lüftungsanlage mit WRG ohne Befeuchtung, max. Luftvolumenstrom von 9.724 m³/h, zentrale Kälteversorgung der RLT-Anlage über WP
Elektrische Energie	Öffentliches Netz, 178 kWp Photovoltaik-Anlage (dachintegriert, aufgeständert, fassadenintegriert), Eigenstromnutzung für Haustechnik und Speicherung in Salzwasserspeicher/Lithium-Ionen-Speicher, E-Ladestationen vor Ort

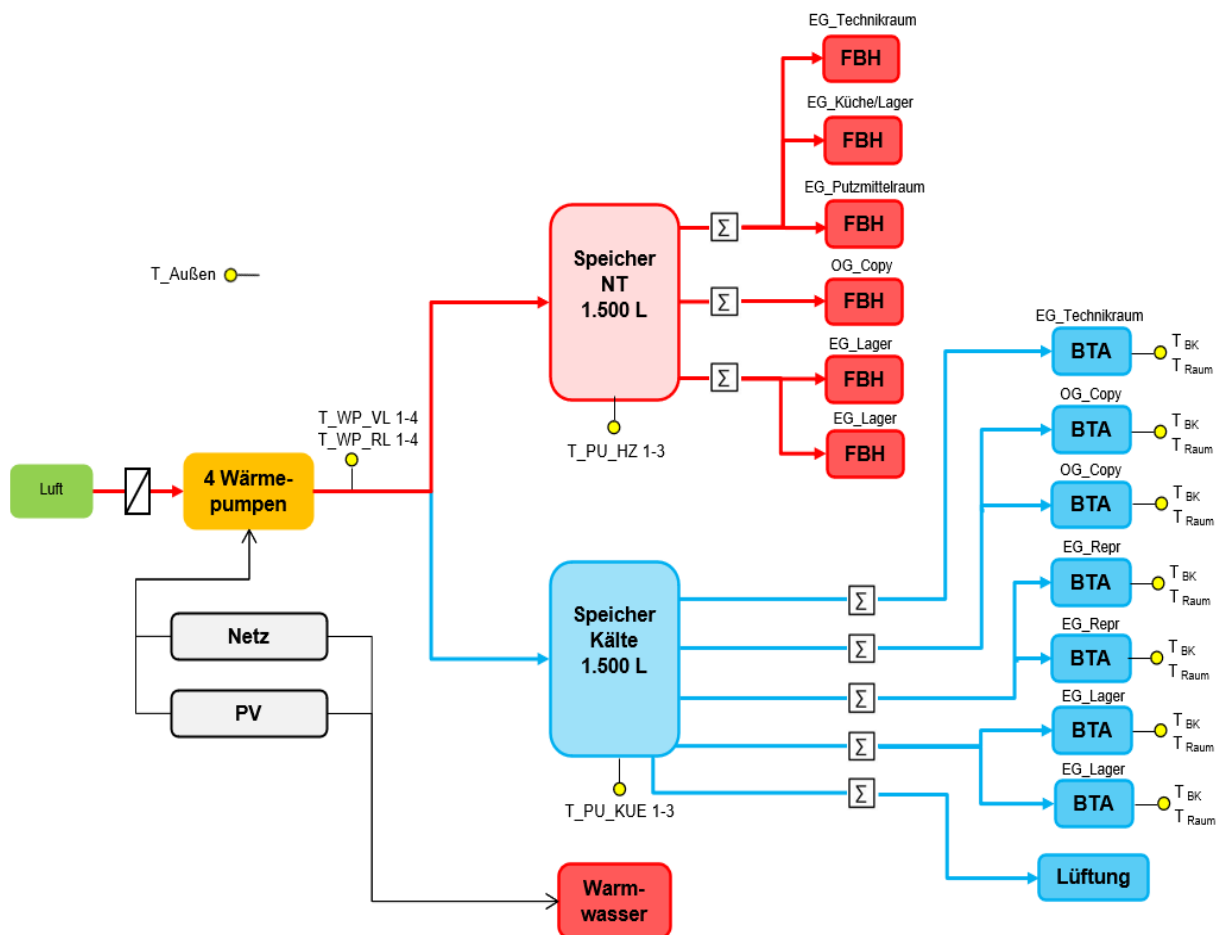


Abbildung 246: Prinzipschema solar.one, Gebäudetechnik (AEE INTEC)

8.12.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: 01. April 2024 – 31. März 2025

Gebäudeflächen lt. Energieausweis	
Brutto-Grundfläche (BGF)	1.427 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	1.142 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung			
Speicherkapazität	Decken EG und OG: 117 kWh/K = 0,08 kWh/Km ² _{BGF} Derzeit keine aktive Nutzung der Speicherfähigkeit der BTA.		
Deckungsgrad lokaler Energieträger	Heizung mittels Luft/Wasser-Wärmepumpen		
Gesamtgebäude: Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast*	50,1 kW	43,9 W/m ² _{BF}
	Installierte Heizleistung	47,6 kW	41,7 W/m ² _{BF}
	Gemessene max. Heizleistung	21,6 kW	18,9 W/m ² _{BF}
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Decken EG und OG	
	Aktivierte Fläche	ca. 700 m ² _{akt.}	
	Max. Kühlleistung	15,8 kW	
	Max. spezifische Kühlleistung	22,6 W/m ² _{akt.}	
	Vorlauftemp. Kühlen	11,0 – 23,0 °C	
	Spreizung bei max. Kühlleistung	2,9 K	

Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (nur für Raumwärme, exkl. Warmwasserbereitung, Speicher- und Verteilverluste)	12,4 kWh/m ² _{BGFa}
Kühlenergieverbrauch	34,6 kWh/m ² _{BGFa}

*Ermittlung über die im Energieausweis angeführten Leitwerte für Transmission und Lüftung und einem Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen von 33 K.

8.12.3 Nachfragestruktur Wärme

In Abbildung 247 ist die Monatsbilanz der Wärmeverbräuche für die Fußbodenheizungen dargestellt. In Abbildung 248 ist zudem die prozentuale Aufteilung des Wärmeverbrauchs für das gesamte Monitoringjahr abgebildet. Über „FBH EG“ werden der Technikraum, die Küche und der Putzmittelraum im Erdgeschoss versorgt. „FBH OG“ betrifft die Büroräumlichkeiten im Obergeschoss und „FBH Lager“ die Lagerräume bzw. sonstigen versorgten Räumlichkeiten im Erdgeschoss. Generell werden hier die auf der Nutzerseite gemessenen Verbrauchswerte diskutiert, etwaige Erzeugungs-, Verteil- oder Speicherverluste sind daher nicht berücksichtigt.

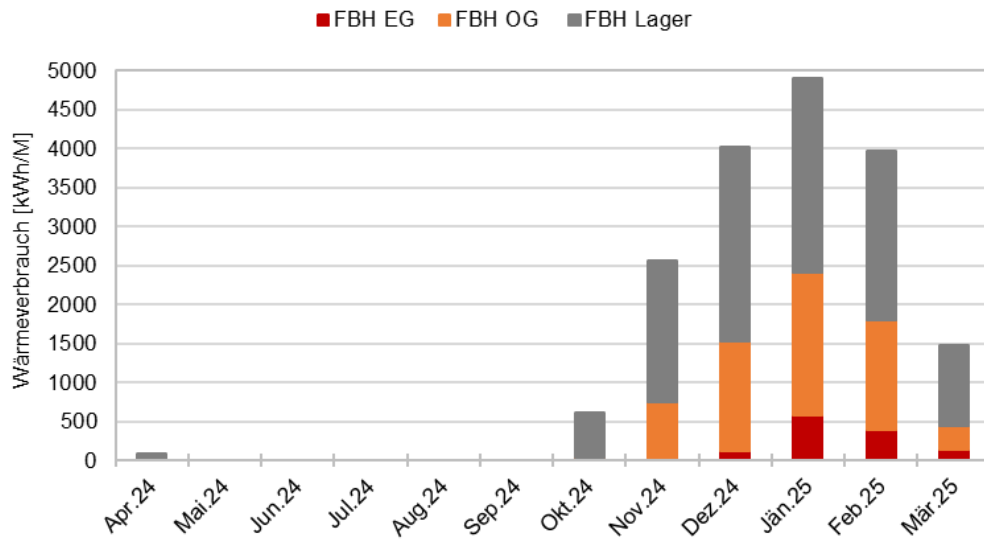


Abbildung 247: Monatsbilanz Wärmeverbrauch der Fußbodenheizungen (Quelle: AEE INTEC)

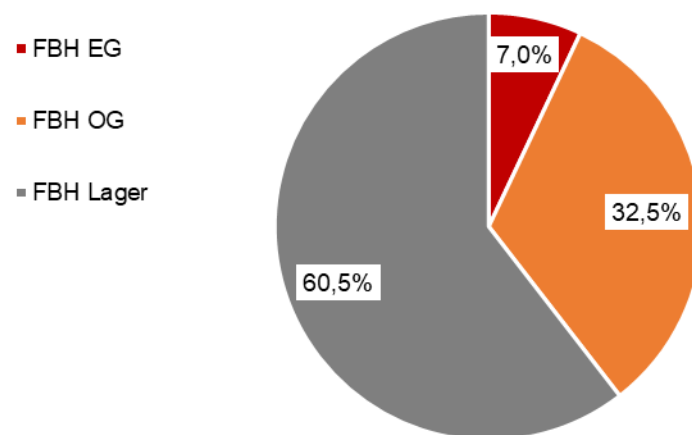


Abbildung 248: Aufteilung des Wärmeverbrauchs nach Abgabesystemen (Quelle: AEE INTEC)

Während der Monitoringperiode wurde im Gebäude ein Heizwärmeverbrauch von insgesamt 17.663 kWh gemessen, das entspricht einem spezifischen Heizenergieverbrauch für Raumwärme von

12,4 kWh/m²_{BGFA}. Dieser niedrige Wert spricht für eine gute Qualität der thermischen Gebäudehülle und ist zu Teilen auch ein Ergebnis der beträchtlichen solaren Energiegewinne aufgrund der großen Fensterflächen.

Die Heizperiode lief bis zum 07. April 2024. Ab diesen Zeitpunkt wurde die Anlagentechnik im Kühlmodus betrieben. Am 17. Oktober 2024 wurde wieder auf den Heizmodus umgestellt. Aufgrund fehlender Sensorik auf der Erzeugerseite kann keine Aussage über die Speicher- und Verteilverluste des Wärmesystems getroffen werden. Nichtsdestotrotz sind in Abbildung 249 die Monatsmitteltemperaturen im Pufferspeicher auf drei verschiedenen Höhen dargestellt.

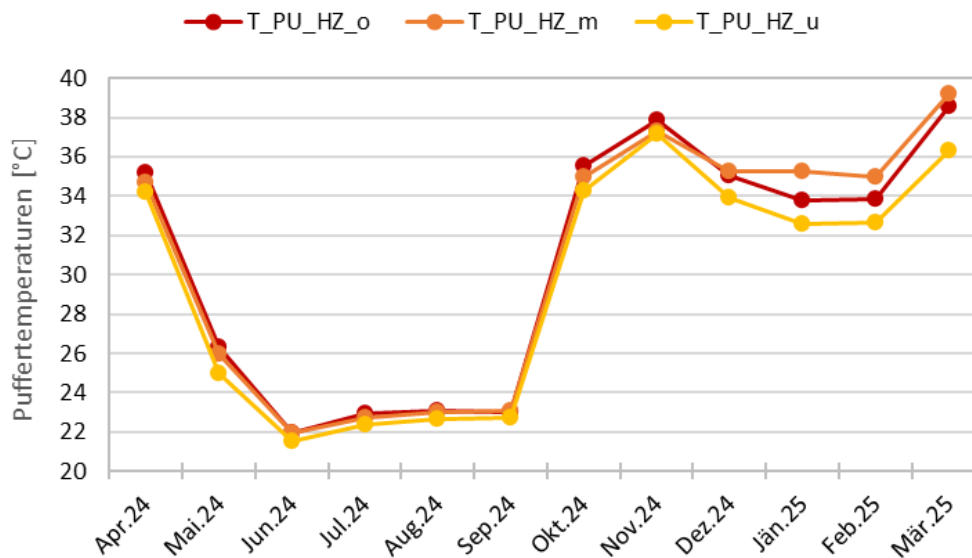


Abbildung 249: monatliche Mittelwerte der Temperaturen im Wärmespeicher (Quelle: AEE INTEC)

In der Heizperiode wird der Speicher im Schnitt auf ein Niedertemperaturniveau von etwa 35 °C beladen. Es zeigt sich dabei nur eine schwach ausgeprägte Temperaturschichtung. Über einen Großteil der Heizperiode werden am mittleren Temperatursensor die höchsten Werte gemessen. Anscheinend ist dieser Sensor in der Nähe der Pufferbeladung angebracht. Weiters können die niedrigeren Temperaturen des oberen Sensors durch die Entnahme am oberen Ende des Puffers und die starke Durchmischung erklärt werden.

8.12.4 Nachfragestruktur Kälte

Die Kältebereitstellung erfolgt über den aktiven Kühlbetrieb der reversiblen Luft-Wärmepumpen. Die Anlage wurde von 07. April bis 17. Oktober 2024 im Kühlmodus betrieben. In Abbildung 250 ist die Monatsbilanz der Kälteverbräuche aufgeteilt nach Abgabesystemen dargestellt. In Abbildung 251 ist zudem die prozentuale Aufteilung des Kälteverbrauchs für das gesamte Monitoringjahr abgebildet. Über „BTA Tech“ wird der Technikraum im Erdgeschoss mit Kälte versorgt. „BTA Copy“ betrifft die Büroräumlichkeiten im Obergeschoss und „BTA Lager“ die Lagerräume im Erdgeschoss. Zusätzlich werden die Repräsentations-Räumlichkeiten im Erdgeschoss mittels

aktivierten Decken gekühlt („BTA Repr.“). Das Kühlregister der zentralen Lüftungsanlage deckt nur einen kleinen Teil des Kühlenergiebedarfs.

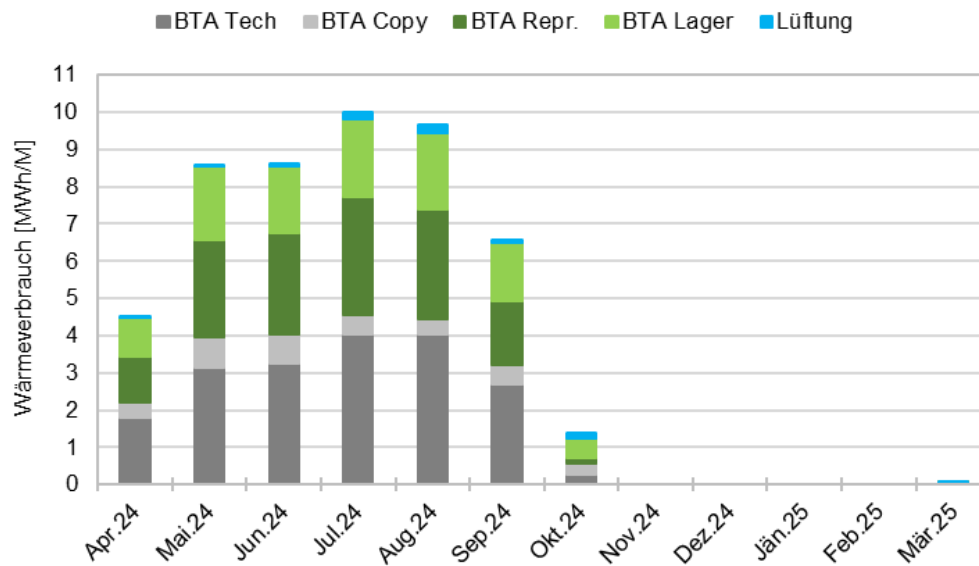


Abbildung 250: Monatsbilanz Kälteverbrauch der Bauteilaktivierungssysteme und Lüftungsanlage (Quelle: AEE INTEC)

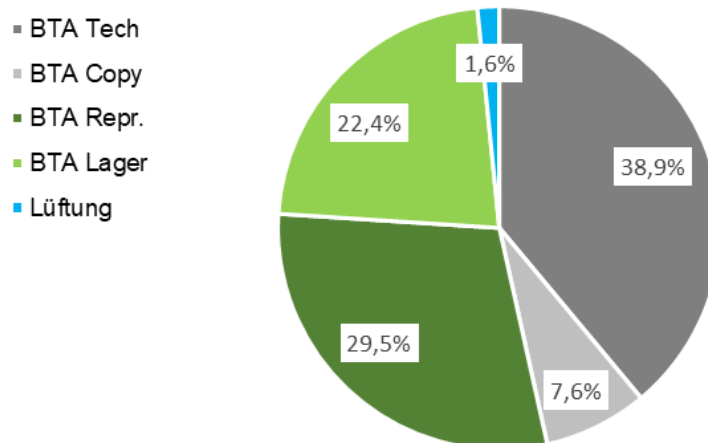


Abbildung 251: Aufteilung des Kälteverbrauchs nach Abgabesystemen (Quelle: AEE INTEC)

Es zeigt sich, dass während der Monitoringperiode ein Großteil der Wärmeabfuhr aus den Räumlichkeiten über die aktivierten Decken erfolgt ist. Konkret wurde bei der Bauteilaktivierung ein Kühlenergieverbrauch von 48.630 kWh und beim Kühlregister der Lüftungsanlage von lediglich 787 kWh gemessen. Das entspricht in Summe einem spezifischen Kühlenergieverbrauch von 34,6 kWh/m²_{BGfA}.

In Abbildung 252 sind die Monatsmitteltemperaturen im Kältespeicher auf drei verschiedenen Höhen dargestellt.

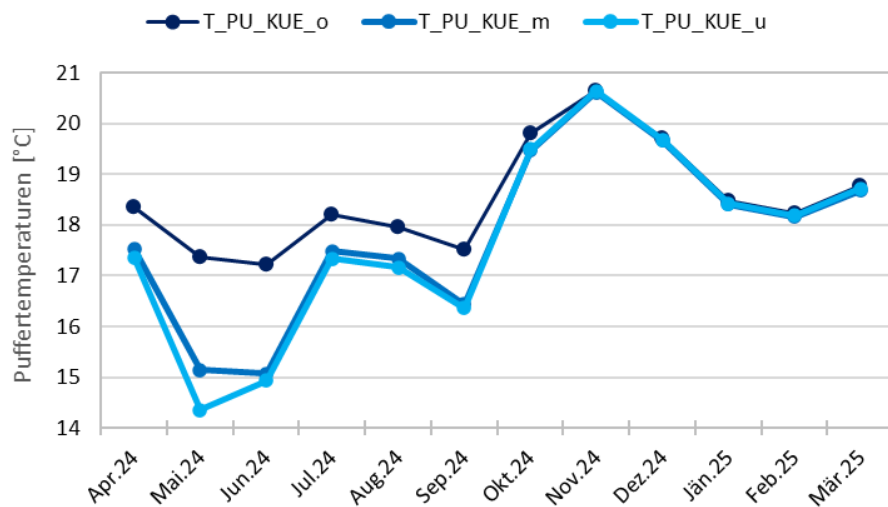


Abbildung 252: monatliche Mittelwerte der Temperaturen im Kältespeicher (Quelle: AEE INTEC)

In der Kühlperiode wird im Speicher Kälte mit einer Mitteltemperatur von etwa 16 bis 18 °C gespeichert.

Kälteabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Nachfolgende Diagramme zeigen die Bauteiltemperaturen aus der Kühlperiode von Mai 2024 bis September 2024 verglichen mit den entsprechenden Raumlufttemperaturen. Konkret werden zunächst in Abbildung 253 der Referenzraum 2 (EG0.07) und die Repräsentations-Räumlichkeiten (EG0.03) betrachtet.

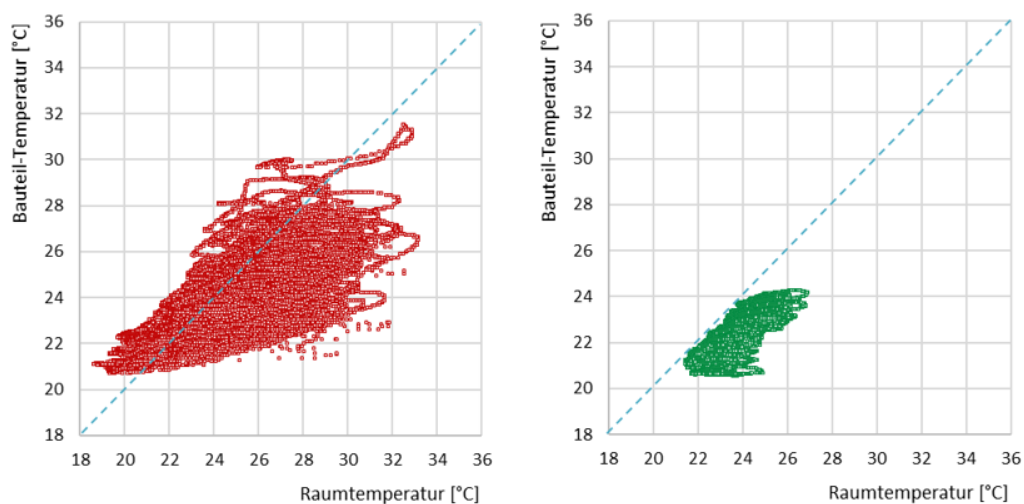


Abbildung 253: Links: Bauteil-Temperaturen der Kühldecke über der Raumtemperatur für den Referenzraum 2 im EG für die Kühlperiode Mai 24-Sep.24; Rechts: Bauteil-Temperaturen der Kühldecke über der Raumtemperatur für die Repräsentations-Räumlichkeiten im EG für die Kühlperiode Mai 24-Sep.24 (Quelle: AEE INTEC)

Beim Referenzraum im Erdgeschoss liegt die durchschnittliche Bauteiltemperatur während der Kühlperiode mit 24,0 °C etwa 0,6 K unter der mittleren Raumtemperatur von 24,6 °C. Die Bauteiltemperaturen liegen dabei in einem Bereich von 20,7 bis 31,5 °C und die Raumtemperaturen in einem Bereich von 18,7 bis 33,2 °C. Der Raum verfügt über eine Glasfront mit Ostausrichtung und innenliegender Verschattung. Die hohen Luft- und Bauteiltemperaturen werden daher vor allem im Laufe des Vormittags gemessen (näheres dazu im 8.12.5). Bei den Repräsentations-Räumen liegt die mittlere Kerntemperatur der Kühldecke bei 22,1 °C und damit 1,1 K unter der durchschnittlichen Raumtemperatur (Mittelwert aus 3 Sensoren) von 23,2 °C. Die Bauteiltemperaturen liegen dabei in einem Bereich von 20,5 bis 24,2 °C und die Raumtemperaturen in einem Bereich von 21,4 bis 26,9 °C. Berücksichtigt man die Extremwerte der 3 einzelnen Temperatursensoren und nicht nur den Mittelwert, bewegen sich die Raumtemperaturen in einem Bereich von 20,7 bis 29,5 °C. Generell ist die Streuung der Temperaturwerte hier weit geringer und es kommt seltener zu einer Überschreitung der Behaglichkeitsgrenzen. Die gemessene durchschnittliche Spreizung zwischen Vorlauf (15,43 °C) und Rücklauf (19,69 °C) beträgt im tatsächlichen Kühlbetrieb bei den betrachteten Räumlichkeiten (Durchfluss wird gemessen) 4,26 K.

Für den Referenzraum 1 im Obergeschoss (OG1.04) kann derselbe Vergleich nicht durchgeführt werden, da kein Sensor für die entsprechende Kerntemperatur des Bauteils verbaut ist. Demensprechend werden für das Obergeschoss in Abbildung 272 der Vorraum bzw. Kopierraum (OG1.06) und in Abbildung 271 das Eckbüro (OG1.05) betrachtet.

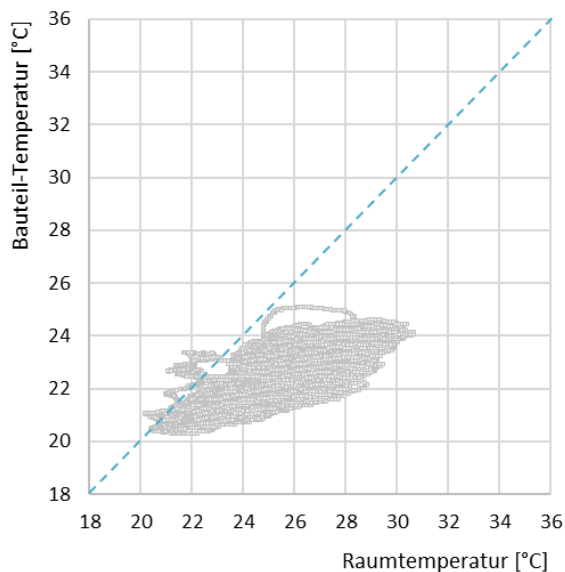


Abbildung 255: Bauteil-Temperaturen der Kühldecke über der Raumtemperatur für den Vorraum im OG für die Kühlperiode Mai 24-Sep.24 (Quelle: AEE INTEC)

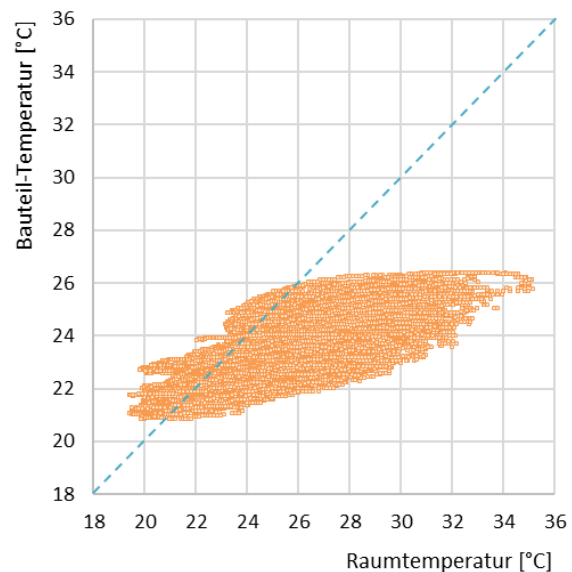


Abbildung 254: Bauteil-Temperaturen der Kühldecke über der Raumtemperatur für das Eckbüro im OG für die Kühlperiode Mai 24-Sep.24 (Quelle: AEE INTEC)

Beim Vorraum im Obergeschoss liegt die durchschnittliche Bauteiltemperatur während der Kühlperiode mit 22,0 °C etwa 2,2 K unter der mittleren Raumtemperatur von 24,2 °C. Die Bauteiltemperaturen liegen dabei in einem Bereich von 20,3 bis 25,1 °C und die Raumtemperaturen in einem Bereich von 20,2 bis 30,7 °C. Beim Eckbüro im Obergeschoss liegt die mittlere Kerntemperatur der Kühldecke bei 23,2 °C und damit 1,9 K unter der durchschnittlichen Raumtemperatur von 25,1 °C.

Die Bauteiltemperaturen liegen dabei in einem Bereich von 20,9 bis 26,4 °C und die Raumtemperaturen in einem Bereich von 19,4 bis 35,2 °C. Das betrachtete Büro verfügt über Glasfronten in Süd- und West-Ausrichtung. Da zusätzlich keine außenliegenden Verschattungsmöglichkeiten vorhanden sind, führt vordergründig die solare Einstrahlung zu den Lufttemperaturspitzen im Laufe des Nachmittags. Durch die geringere Oberflächentemperatur der Decke wird die tatsächlich empfundene Temperatur dabei zwar etwas gesenkt, generell reicht die Kühlleistung der bauteilaktivierten Decke jedoch nicht aus, um unter den gegebenen Bedingungen weitestgehend thermische Behaglichkeit während der Kühlperiode zu schaffen. Ähnliches gilt für den Referenzraum 1 im OG. Dieser verfügt zwar nur über westseitige Fensterflächen, dennoch werden Lufttemperaturen von bis zu 32,8 °C bei einem Mittelwert von 24,3 °C gemessen. Die durchschnittliche Spreizung zwischen Vorlauf (15,70 °C) und Rücklauf (19,77 °C) beträgt im tatsächlichen Kühlbetrieb bei den betrachteten Räumlichkeiten (Durchfluss wird gemessen) 4,07 K.

Zusammengefasst konnten für den Kühlbetrieb folgende KPIs für das Bauteilaktivierungs-System bestimmt werden:

KPI	Wert
Aktivierte Fläche	ca. 700 m ²
Max. Kühlleistung	15,8 kW
Max. spezifische Kühlleistung	22,6 W/m ² _{akt.}
Vorlauftemperatur Kühlen	11,0 – 23,0 °C
Spreizung bei max. Kühlleistung	2,9 K

8.12.5 Raumkomfort - Monitoring

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

Im Zuge des kontinuierlichen Raumkomfort-Monitorings wurden die Raumlufttemperaturen der beiden definierten Referenzräume näher analysiert. In Abbildung 256 sind die stündlichen Mittelwerte der Raumtemperatur über den entsprechenden Außentemperaturen für die Räume OG1.04 (Referenzraum 1) und EG0.07 (Referenzraum 2) während der Heizperiode von 01. bis 06. April 2024 und 18. Oktober 2024 bis 31. März 2025 dargestellt.

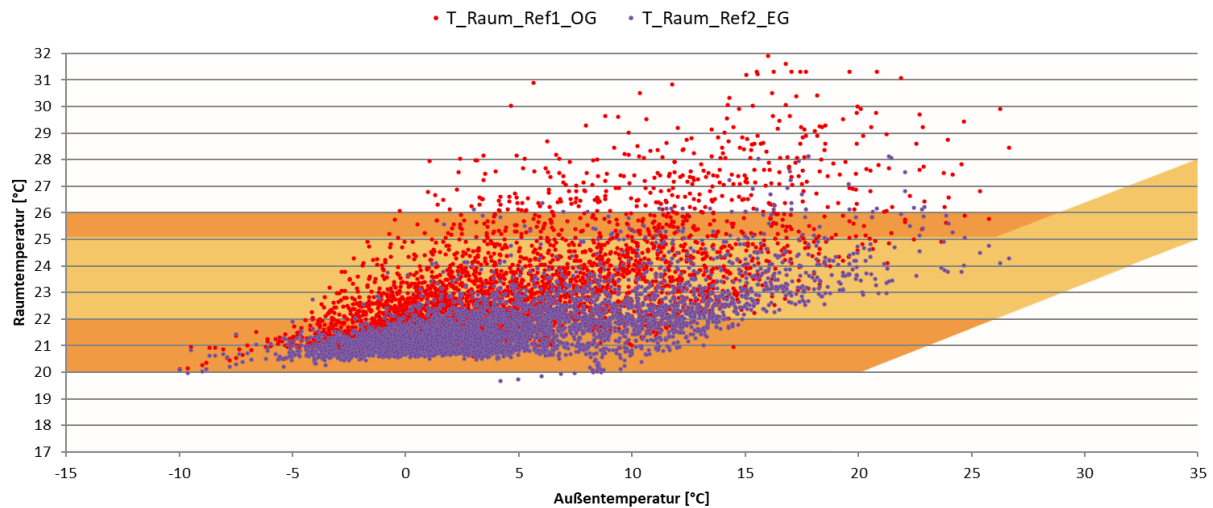


Abbildung 256: Raumlufthtemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für die beiden Referenzräume während der Heizperiode (Quelle: AEE INTEC)

Das Diagramm zeigt, dass die Raumtemperaturen während der Heizperiode vor allem beim Referenzraum 2 im EG weitgehend im behaglichen Komfortbereich liegen. Beim Referenzraum 1 im OG kommt es jedoch aufgrund der zuvor erwähnten starken solaren Einstrahlung bereits in der Übergangszeit zu Überhitzungsstunden. Nach unten hin werden die Behaglichkeitsgrenzen nicht überschritten. In Abbildung 257 sind die gemessenen Temperaturen für die Kühlperiode von 07. April bis 17. Oktober 2024 dargestellt.

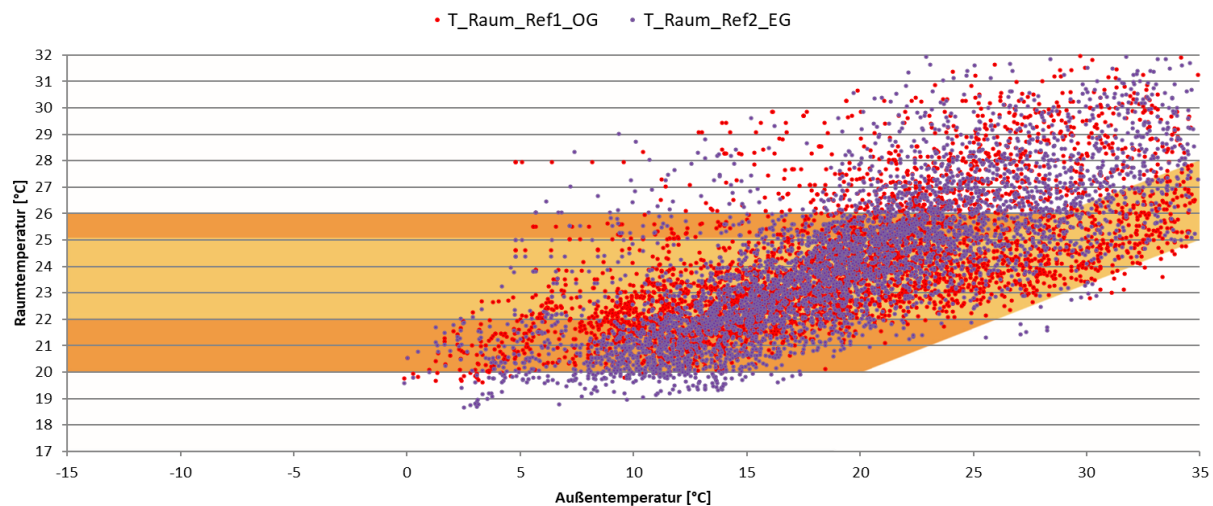


Abbildung 257: Raumlufthtemperatur im Vergleich zur Außentemperatur für die beiden Referenzräume während der Kühlperiode (Quelle: AEE INTEC)

Während der Kühlperiode zeigen sich in beiden Referenzräumen oftmals keine stabilen bzw. behaglichen Raumlufthtemperaturen. Vor allem ab Außentemperaturen von 20 °C kommt es in beiden Räumen vermehrt zur Überhitzung.

Insgesamt konnten somit lediglich in der Winterperiode durchwegs behagliche Raumlufthtemperaturen gemessen werden. In diesem Zeitraum wird in den Räumlichkeiten ein sehr gutes Komfortniveau bei

überschaubarem Heizenergieverbrauch erreicht. In der Sommerperiode überschreiten die gemessenen Lufttemperaturen trotz des höheren Energieverbrauchs für die Kühlung bei höheren Außentemperaturen häufig die Behaglichkeitsgrenzen. Im Referenzraum 1 im OG tritt diese Problematik auch in der Übergangszeit auf.

Nachfolgend werden die Raumlufttemperaturen der beiden Räume den Kategorien der Standardauslegungswerte für operative Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Anhang B, Tab. B.2 gegenübergestellt (Abbildung 258: Referenzraum 1 im OG, Abbildung 259: Referenzraum 2 im EG).

An dieser Stelle ist der Unterschied zwischen operativer Temperatur und Lufttemperatur hervorzuheben. Die operative Temperatur (gefühlte Temperatur, Empfindungstemperatur) berücksichtigt neben der Lufttemperatur auch die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen und ist der Hauptfaktor der thermischen Behaglichkeit. Bei einer Flächenheizung liegt die mittlere Strahlungstemperatur im Heizbetrieb in der Regel über und im Kühlbetrieb unter der Lufttemperatur. Dementsprechend würden sich die nun folgenden Temperaturverläufe im Sommer etwas nach unten verschieben.

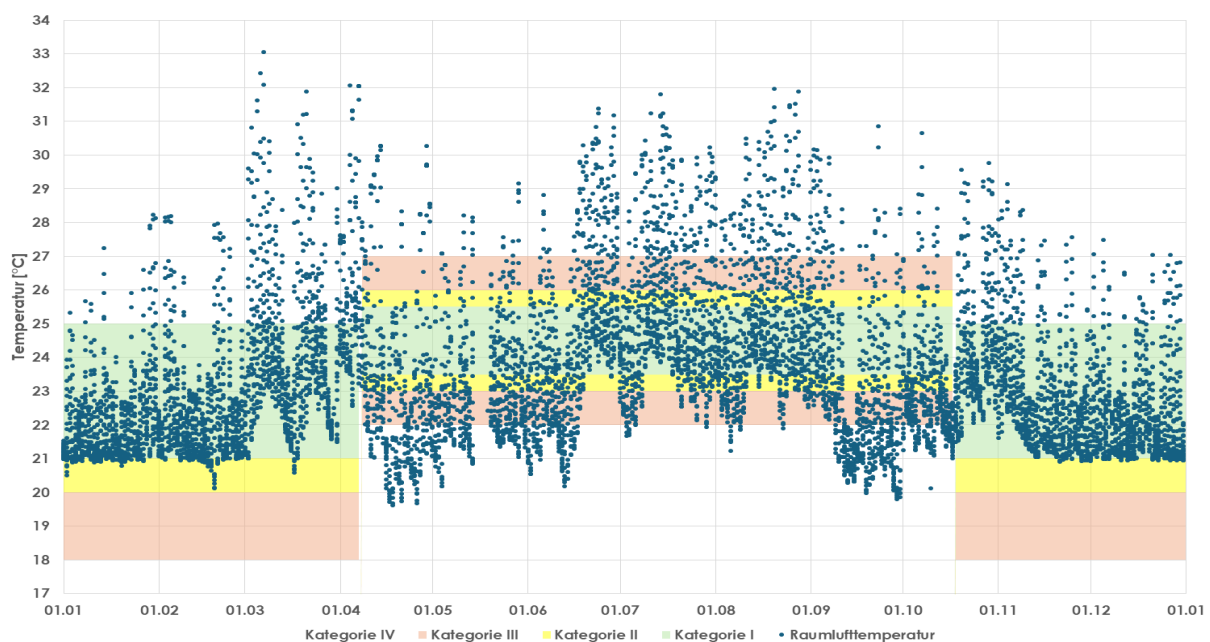


Abbildung 258: Raumlufttemperatur Referenzraum 1 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)

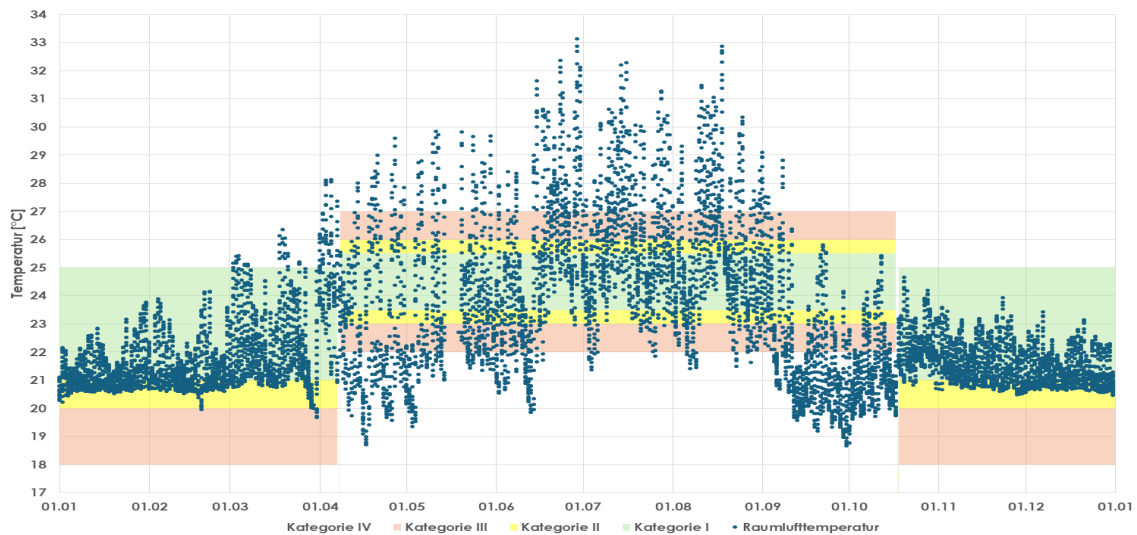


Abbildung 259: Raumlufttemperatur Referenzraum 2 und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019 (Quelle: AEE INTEC)

Diese Betrachtung zeigt erneut, dass im Referenzraum 2 zumindest während der Heizperiode die Behaglichkeitsgrenzen eingehalten werden. Zusätzlich zeigt sich, wann es zu den genannten Überhitzungen kommt. Konkret wurden im Referenzraum 1 insgesamt 1.238 und im Referenzraum 2 1.125 Überhitzungsstunden gemessen. Gleichzeitig erkennt man in den Darstellungen während der Kühlperiode teilweise auch niedrige Raumtemperaturen, die unterhalb der Behaglichkeitsgrenzen liegen. Diese Werte wurden größtenteils in den Nacht- und Morgenstunden gemessen und zeigen eine bewusste Nachtabkühlung, um Überhitzungen am folgenden Tag zu vermeiden.

Operative Temperaturen

Für beide Referenzräume wurden mit Hilfe von Messungen der Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen zweimalig die operativen Temperaturen bestimmt (Abbildung 260).

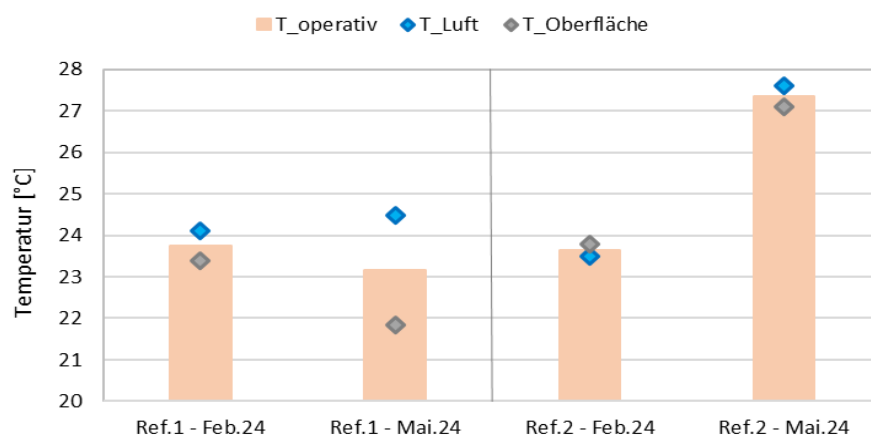


Abbildung 260: Lufttemperaturen, Oberflächentemperaturen und operative Temperaturen für die Referenzräume (Quelle: AEE INTEC)

Die erste Spot-Messung wurde im Februar während der Heizperiode durchgeführt. Hier liegen wie zu erwarten war, die Luft- und Mitteloberflächentemperaturen nahe beieinander. Die gemessene Lufttemperatur entspricht somit mit ausreichender Genauigkeit der operativen also tatsächlich empfundenen Temperatur.

Die zweite Spot-Messung wurde im Mai während der Kühlperiode durchgeführt, hier zeigt sich ein sehr differenziertes Bild. Im Referenzraum 1 liegt die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen um 2,6 K niedriger als die Raumlufttemperatur, wodurch auch die operative Temperatur mit 23,2 °C etwa 1,3 K unter der Lufttemperatur liegt. Die Kerntemperatur im Bauteil und die Kühldeckenoberfläche wurden dabei mit 21,0 bzw. 20,9 °C gemessen. Diese Betrachtung lässt vermuten, dass die Temperierung/Kühlung über die Bauteilaktivierung wie gewünscht funktioniert.

Im Referenzraum 2 liegt die operative Temperatur mit 27,3 °C bei der Sommermessung lediglich 0,3 K unter der Lufttemperatur, da die Mitteloberflächentemperatur der umliegenden Flächen um 0,6 K niedriger als die gemessene Lufttemperatur liegt. Die Kerntemperatur im Bauteil und die Kühldeckenoberfläche wurden dabei mit 23,2 bzw. 22,4 °C gemessen. Hier suggeriert die Darstellung, dass die Kühlleistung der aktivierten Decke nicht ausreicht, um eine Überhitzung zu vermeiden.

Der Hauptverursacher für die hohe Raumtemperatur im EG-Raum ist wiederum der solare Energieeintrag. Dieser erhöht nicht nur die Lufttemperatur im Raum, sondern auch die Oberflächentemperaturen der bestrahlten Wände, was die operative Temperatur zusätzlich steigen lässt. Da beide Spot-Messungen um etwa 11 Uhr vormittags durchgeführt worden sind, ist der beschriebene Effekt nur beim Ost-ausgerichteten Referenzraum 2 im EG erkennbar. Sämtliche Analysen lassen vermuten, dass diese Überwärmung nachmittags auch beim Süd/West-ausgerichteten Referenzraum 1 im OG zu beobachten sein würden, da die solaren Einträge dann auch dort bedeutend höher sind als die Kühlleistung der BTA.

Behaglichkeits-Messung nach ISO 7730

Die Behaglichkeits-Messungen nach ISO 7730 mittels „Messbaum“ wurden in den beiden Referenzräumen während der folgenden Zeiträume durchgeführt:

- Wintermessung: 21.02. – 06.03.2024 (14 Tage)
- Sommermessung: 02.07. – 16.07.2024 (14 Tage)

Folgende Einflussgrößen wurden bei dieser Methode der Behaglichkeitsbewertung gemessen und ausgewertet:

- Raumlufttemperatur auf 4 Höhen
- Mittlere Strahlungstemperatur der Raumumschließungsflächen (Blackglobe-Temperatur)
- Luftgeschwindigkeit
- relative Luftfeuchte auf 2 Höhen
- CO₂-Gehalt auf 2 Höhen

Winterperiode – Behaglichkeitsmessung nach ISO 7730

Zeitraum: 21.02. – 06.03.2024 (14 Tage)

Folgende Randbedingungen wurden für die Behaglichkeitsbewertung angesetzt:

Bekleidung: Normale Geschäftskleidung ($\text{clo}=1,0 / 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$)

Aktivität: Sitzend, leichte Tätigkeit ($\text{met}=1,2 / 70 \text{ W/m}^2$)

In Abbildung 261 und Abbildung 262 sind die Raumlufttemperaturen in 4 unterschiedlichen Höhen und die mittlere Strahlungstemperatur der Raumumschließungsflächen für die beiden Referenzräume dargestellt.

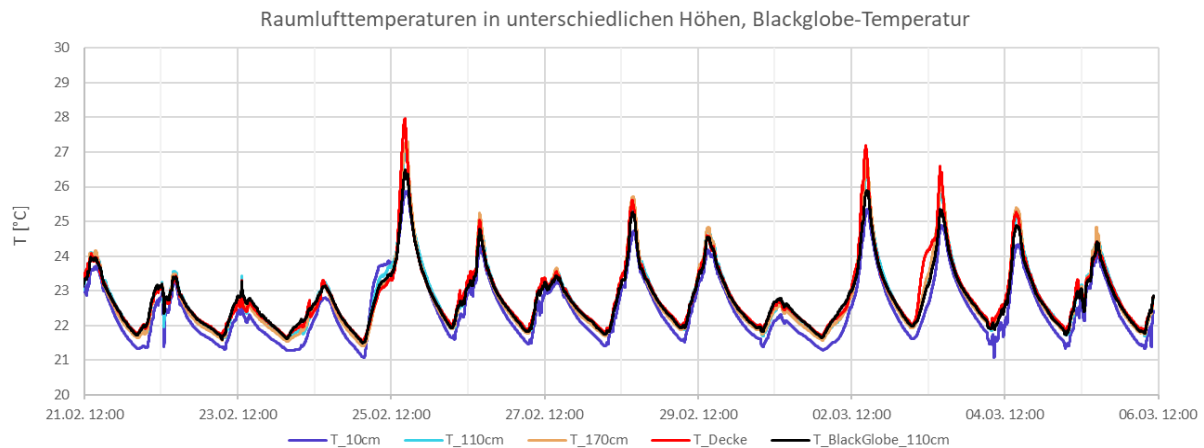


Abbildung 261: Raumlufttemperaturen in 4 Höhen und Backglobe-Temperatur im Referenzraum 1 im OG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)

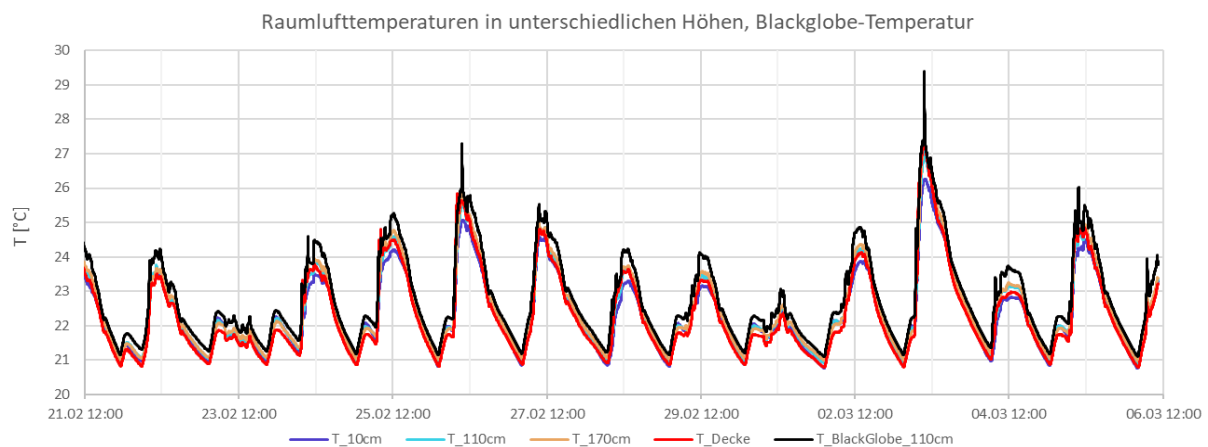


Abbildung 262: Raumlufttemperaturen in 4 Höhen und Backglobe-Temperatur im Referenzraum 2 im EG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Anhand der Temperaturverläufe ist eine leichte Temperaturschichtung in den Räumen festzustellen. Entsprechend der bisherigen Analysen werden die Lufttemperaturspitzen im Referenzraum 2 am späten Vormittag bzw. um die Mittagszeit erreicht; im Referenzraum 1 werden die höchsten Werte im Laufe des Nachmittags gemessen. In den Nacht- und Morgenstunden kommt es auch an den Wochenenden zu keiner unbehaglichen Unterkühlung der Räume. Vor allem im Referenzraum 2 liegt die mittlere Strahlungstemperatur in den einstrahlungsstarken Stunden teilweise weit über den Lufttemperaturen, was den diskutierten Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die thermische Behaglichkeit nochmals verdeutlicht.

In Abbildung 263 und Abbildung 264 sind die Raumluftheuchten und in Abbildung 265 und Abbildung 266 die Luftgeschwindigkeiten dargestellt, die für die Berechnung der PMV- und PPD-Werte notwendig sind. Zusätzlich sind die gemessenen CO₂-Werte in Abbildung 267 und Abbildung 268 dargestellt.

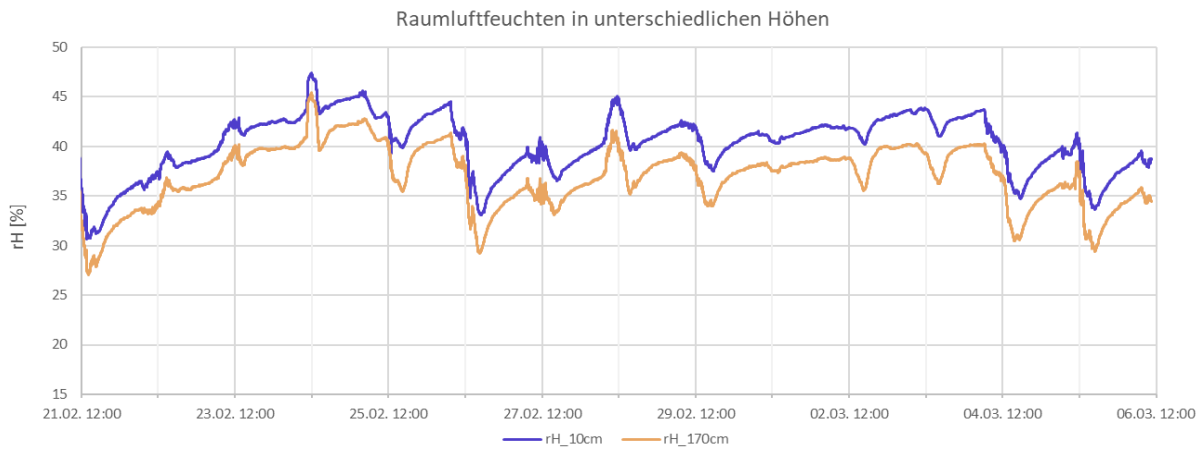


Abbildung 263: Raumluftheuchten in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 1 im OG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)

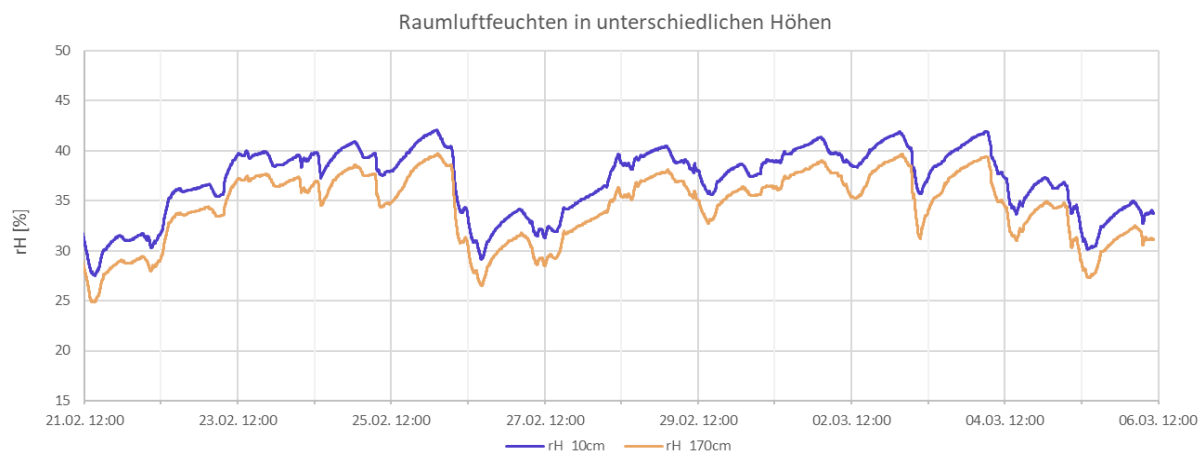


Abbildung 264: Raumluftheuchten in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 2 im EG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)

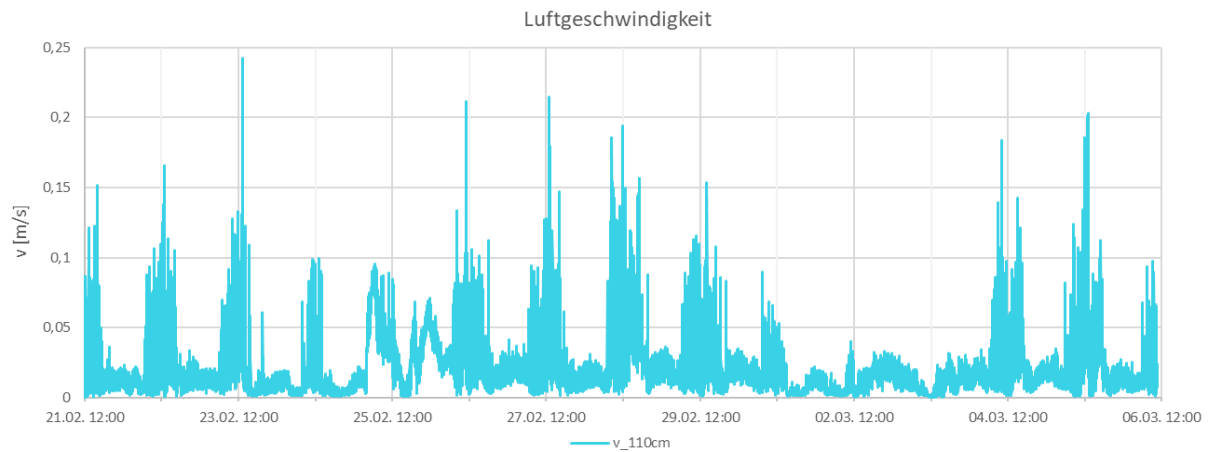


Abbildung 265: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Referenzraum 1 im OG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)

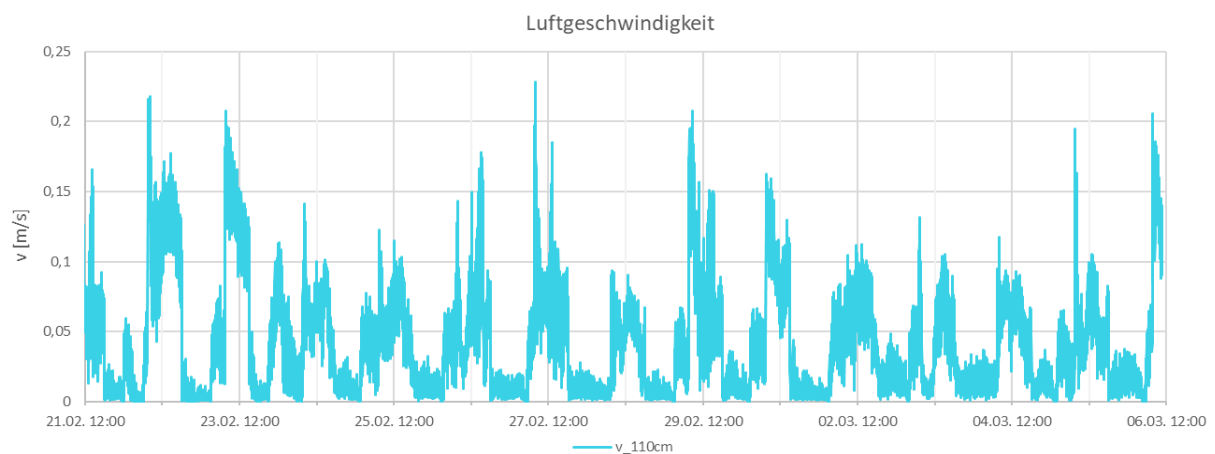


Abbildung 266: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Referenzraum 2 im EG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)

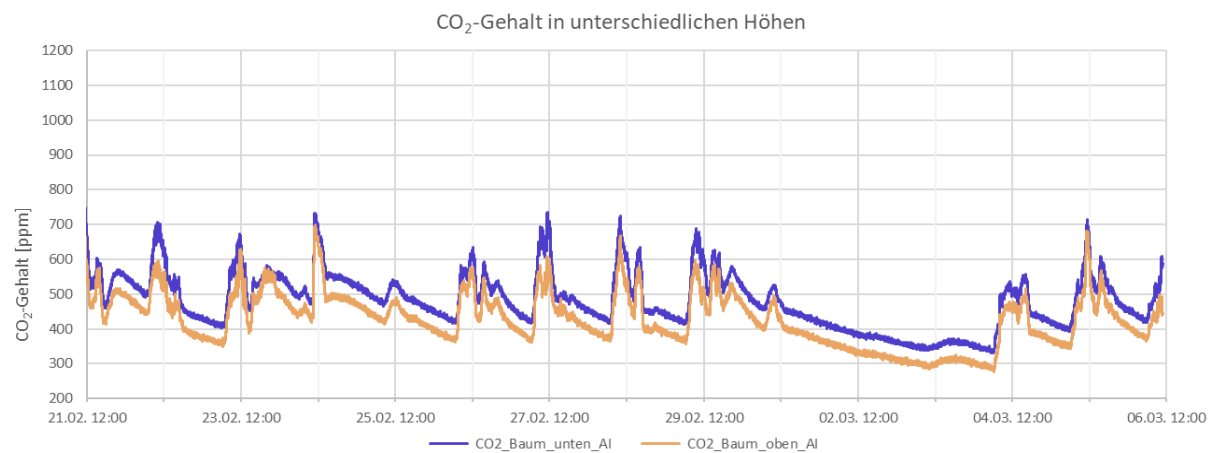


Abbildung 267: CO₂-Gehalt in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 1 im OG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)

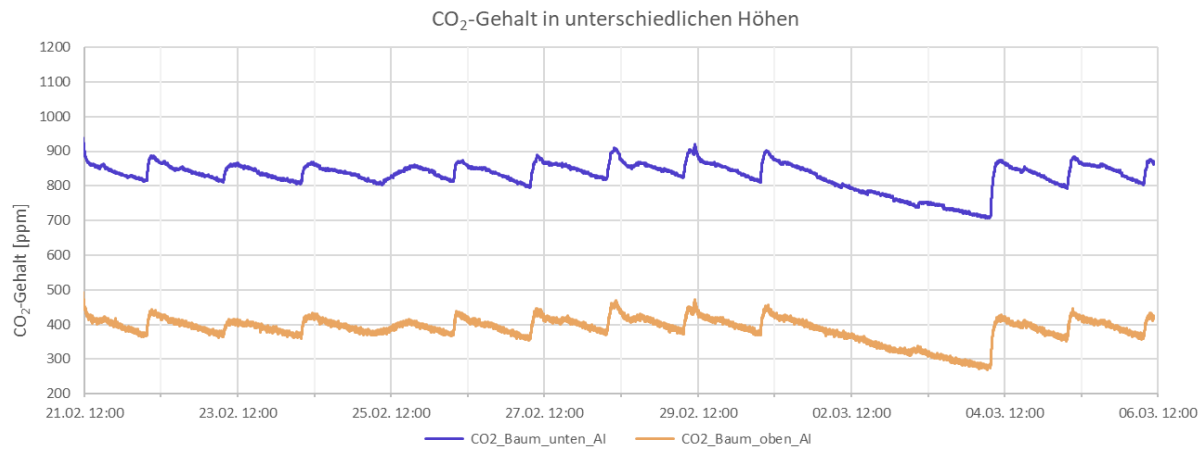


Abbildung 268: CO₂-Gehalt in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 2 im EG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Der Verlauf des berechneten PMV-Index aus den Parametern der Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftgeschwindigkeit, des Kleidungsfaktors und Aktivitätsgrades ist in Abbildung 269 bzw. Abbildung 270 dargestellt.

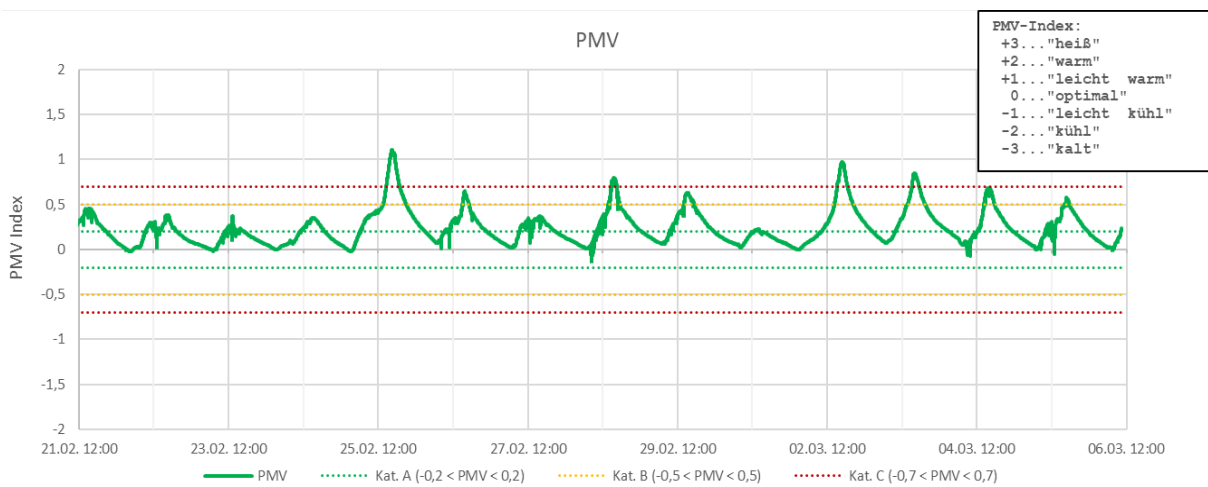


Abbildung 269: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Referenzraum 1 im OG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)

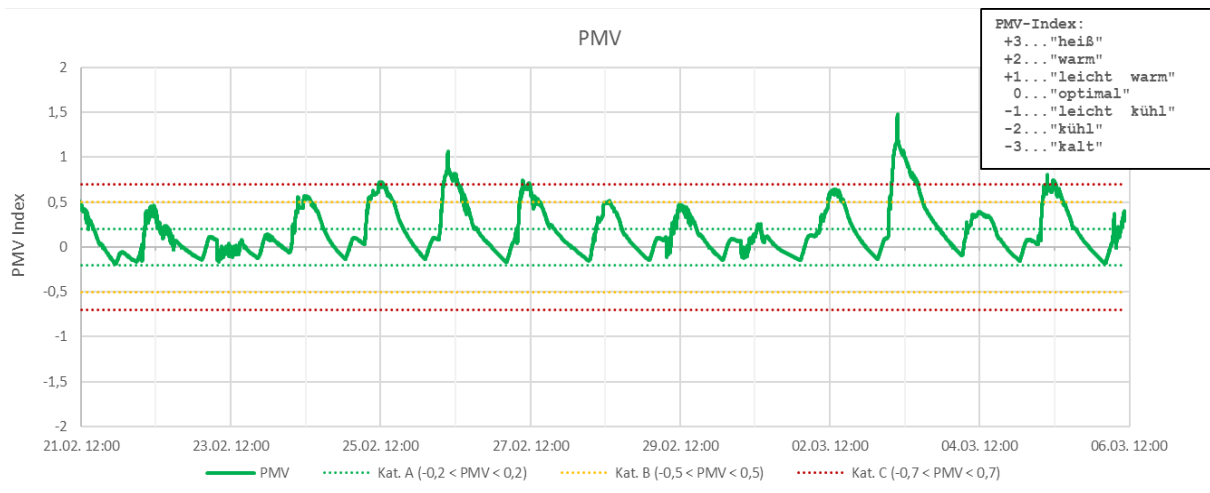


Abbildung 270: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Referenzraum 2 im EG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Generell gilt für den thermischen Komfort hinsichtlich des PMV-Wertes ein Zielbereich von -0,5 bis +0,5. Im Referenzraum 1 im OG bewegt sich das thermische Empfinden nach dem PMV-Index zwischen -0,13 und +1,11 bei einem Mittelwert von +0,24. Mit Ausnahme einiger Nachmittagsspitzen liegt der Wert im gewünschten bzw. optimalen Bereich. Ähnliches gilt für den Referenzraum 2 im EG, nur dass die Extremwerte am Vormittag auftreten. Hier liegt der PMV-Index zwischen -0,19 und +1,48 bei einem Mittelwert von +0,18.

Der PPD-Wert wird aus dem PMV-Wert ermittelt und sollte in einem Zielbereich von 5 bis 10 % liegen – 5 % der Nutzer sind auch bei einem neutralen PMV von 0 unzufrieden, dieser Wert kann daher nicht unterschritten werden. Die ermittelten PPD-Werte sind in Abbildung 271 und Abbildung 272 dargestellt.

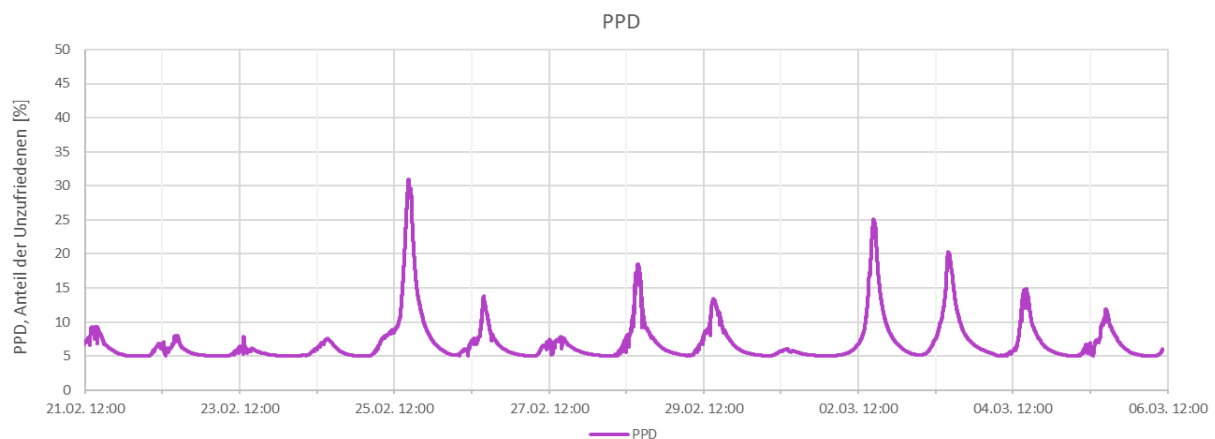


Abbildung 271: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Referenzraum 1 im OG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)

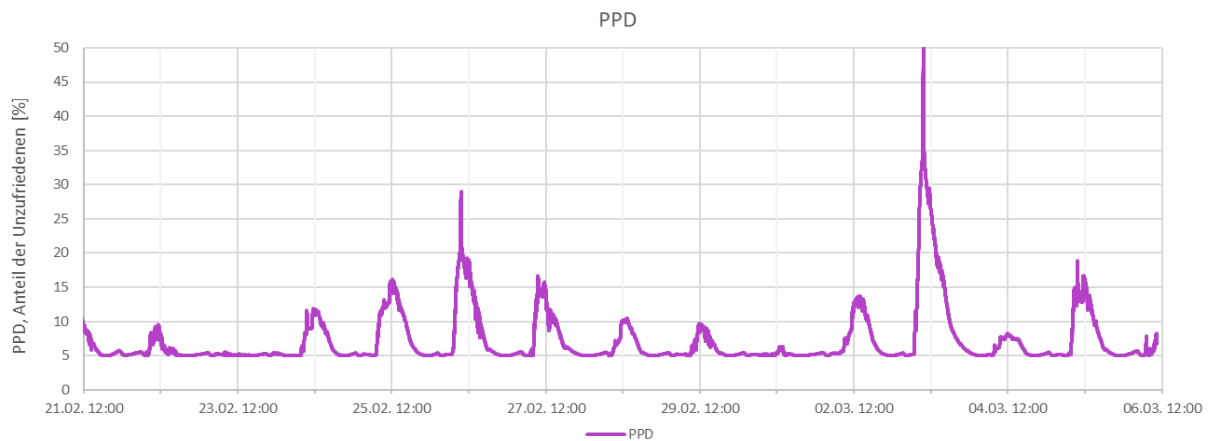


Abbildung 272: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Referenzraum 2 im EG, 21.02. – 06.03.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Beim Referenzraum 1 liegt der PPD-Wert bei durchschnittlich 7,0 % und im Median sogar bei 5,8 %, was grundsätzlich für eine hohe thermische Behaglichkeit spricht. Zwei der Spitzen übersteigen einen Wert von 20 % (25.02. von 15:10 bis 18:10 und 02.03. von 16:00 bis 17:45), treten jedoch jeweils am Wochenende auf. Beim zweiten Raum liegt der PPD-Wert im Mittel bei 7,2 % und im Median bei 5,3 %. Die Werte über 20 % treten auch hier am Wochenende auf (26.02. von 9:20 bis 10:00 und 03.03. von 8:10 bis 13:30). Besonders die Spitze vom 03.03. zeigt den großen Einfluss der Strahlungstemperatur auf die Behaglichkeit.

Sommerperiode – Behaglichkeitsmessung nach ISO 7730

Zeitraum: 02.07. – 16.07.2024 (14 Tage)

Folgende Randbedingungen wurden für die Behaglichkeitsbewertung angesetzt:

Bekleidung: leichte Geschäftskleidung ($\text{clo}=0,7 / 0,109 \text{ m}^2\text{K/W}$)

Aktivität: Sitzend, leichte Tätigkeit ($\text{met}=1,2 / 70 \text{ W/m}^2$)

In Abbildung 273 und Abbildung 274 sind die Raumlufttemperaturen in 4 unterschiedlichen Höhen und die mittlere Strahlungstemperatur der Raumumschließungsflächen für die beiden Referenzräume dargestellt.

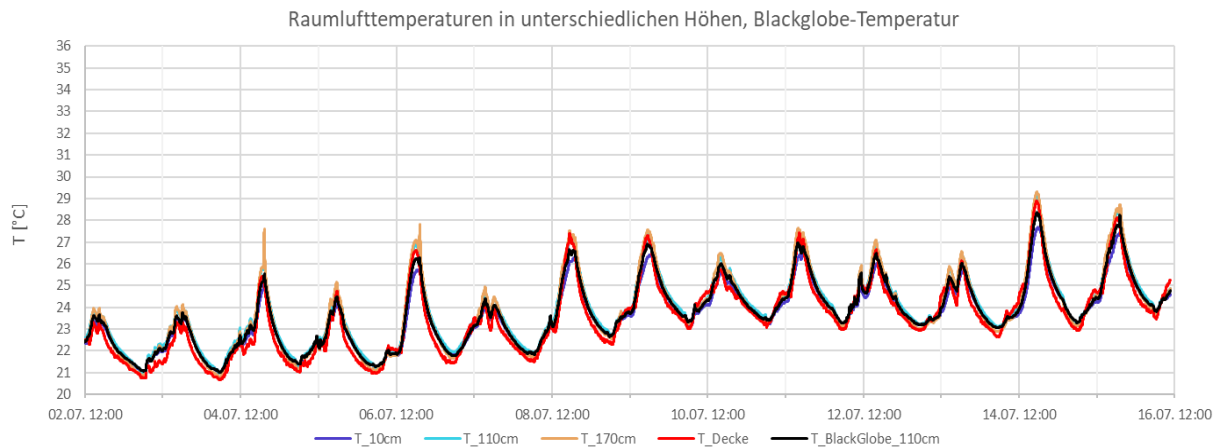


Abbildung 273: Raumlufttemperaturen in 4 Höhen und Backglobe-Temperatur im Referenzraum 1 im OG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)

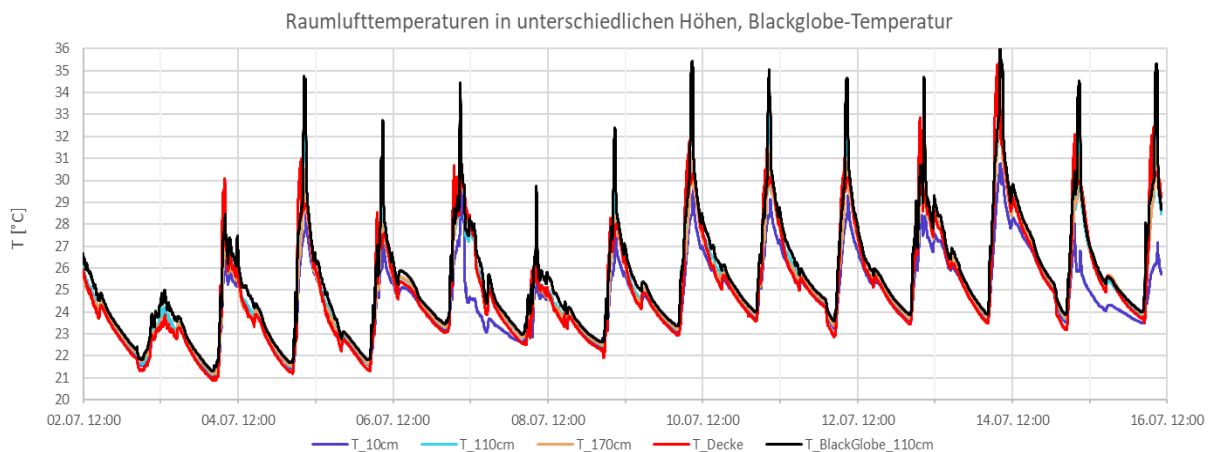


Abbildung 274: Raumlufttemperaturen in 4 Höhen und Backglobe-Temperatur im Referenzraum 2 im EG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Anhand der Temperaturverläufe ist wiederum nur eine leichte Temperaturschichtung in den Räumen festzustellen. Die Lufttemperaturspitzen treten entsprechend der jahreszeitlich variablen Einstrahlung im Referenzraum 2 nun etwas früher und im Referenzraum 1 nun etwas später auf als noch bei der Wintermessung. Zu Beginn der Messung werden die Räume in den Nacht- und Morgenstunden auf Raumlufttemperaturen von etwa 21 °C gekühlt. In den folgenden Tagen werden diese Werte jedoch nicht mehr erreicht. Bis zum Ende der Behaglichkeitsmessung liegen die Lufttemperaturen in der Früh bereits bei über 23 °C, dementsprechend liegen die Temperaturspitzen mit Fortlauf der Schönwetterperiode auch immer höher. Die Kühlleistung über die bauteilaktivierten Decken reicht nicht aus, um ganztags behagliche Innenraumtemperaturen zu schaffen. Vielmehr steigen die Raumluft- und auch operativen Temperaturen schnell in überhitzte und unbehagliche Bereiche, sobald die solaren Einträge auftreten. Im Referenzraum 2 liegt die mittlere Strahlungstemperatur in den einstrahlungsstarken Stunden wiederum sehr weit über den Lufttemperaturen, was die tatsächliche empfundene Temperatur zusätzlich erhöht. Eine Erklärung könnte sein, dass die innenliegenden Jalousien im EG-Raum nicht heruntergelassen waren, da der Raum nicht dauerhaft belegt ist. Somit wurde infolge einer direkten Einstrahlung auf den Sensor die beschriebene höhere Strahlungstemperatur gemessen. Dieser Umstand tritt im OG-Raum nicht ein, da hier die Jalousien

genutzt wurden. Wie in der Abbildung 273 jedoch zu sehen ist, konnte der Anstieg der Innenraumtemperaturen damit nur bedingt begrenzt werden.

In Abbildung 275 und Abbildung 276 sind die Raumluftfeuchten und in Abbildung 277 und Abbildung 278 die Luftgeschwindigkeiten dargestellt, die für die Berechnung der PMV- und PPD-Werte notwendig sind. Zusätzlich sind die gemessenen CO₂-Werte in Abbildung 279 und Abbildung 280 dargestellt.

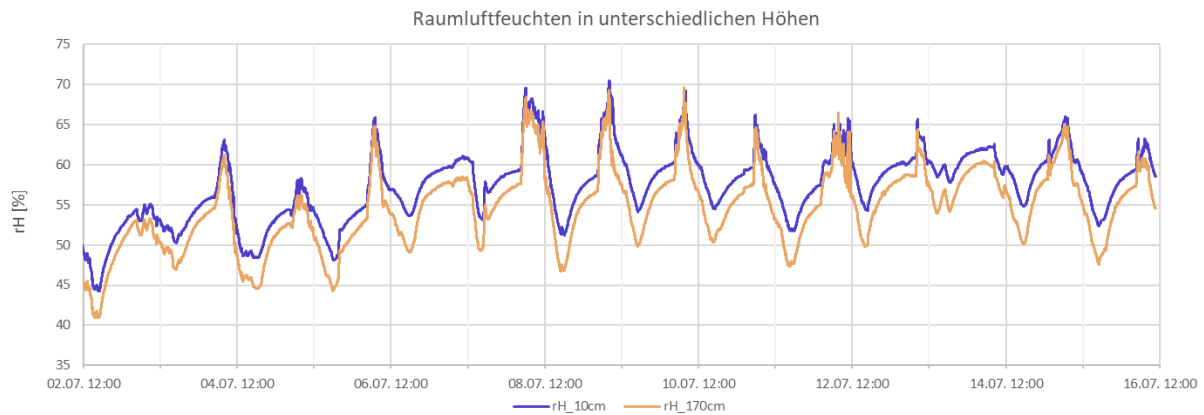


Abbildung 275: Raumluftfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 1 im OG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)

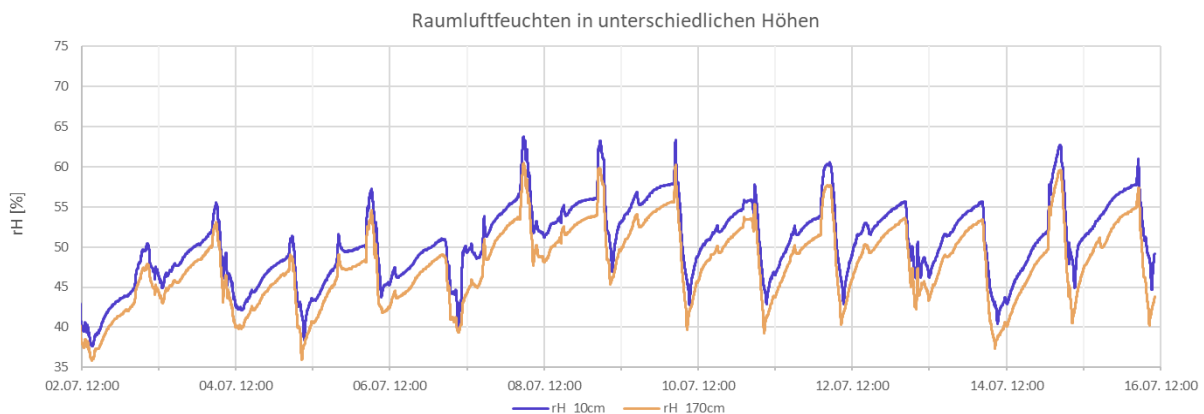


Abbildung 276: Raumluftfeuchten in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 2 im EG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)

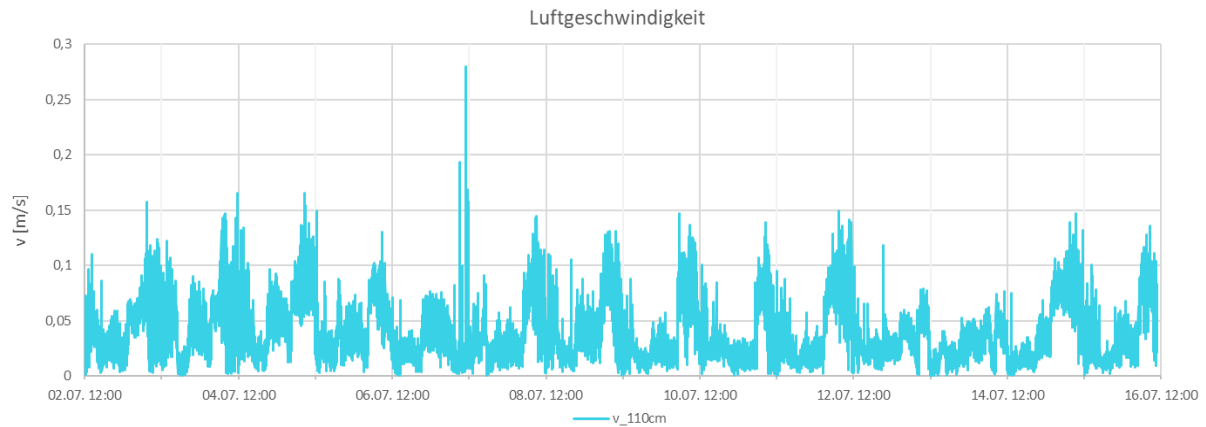


Abbildung 277: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Referenzraum 1 im OG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)

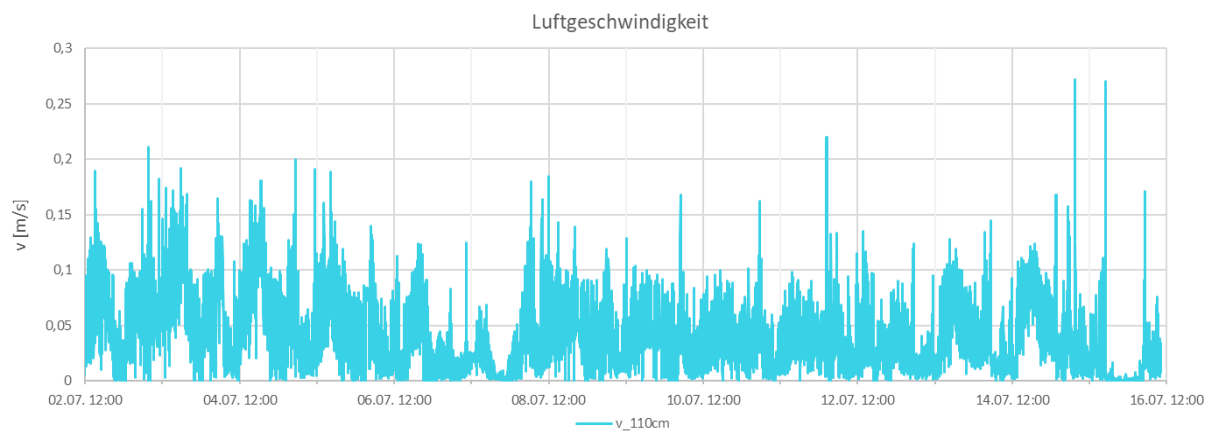


Abbildung 278: Luftgeschwindigkeit auf Höhe 110 cm im Referenzraum 2 im EG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)

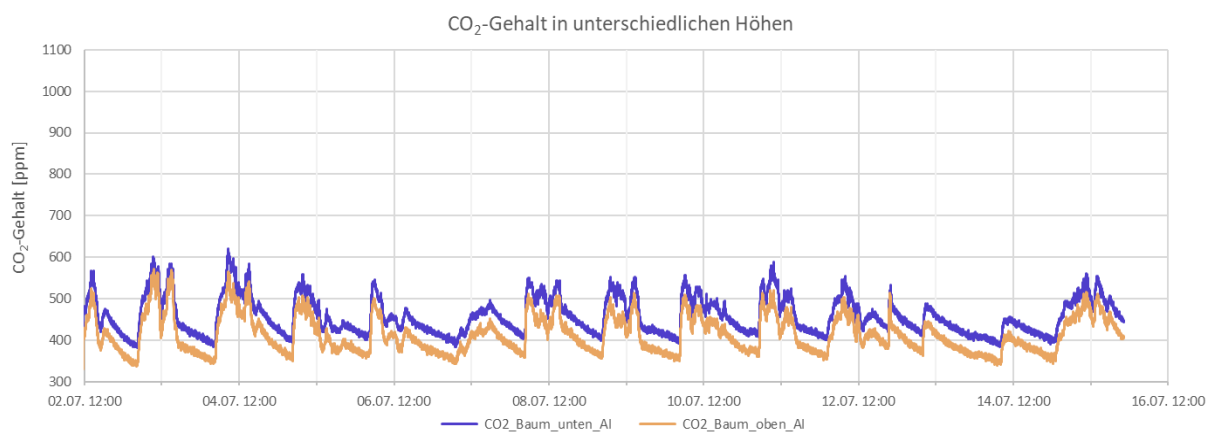


Abbildung 279: CO₂-Gehalt in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 1 im OG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)

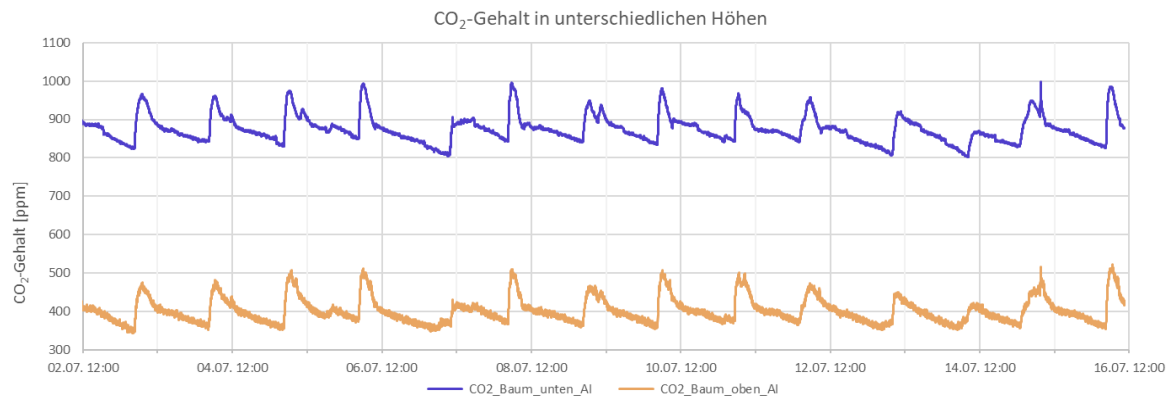


Abbildung 280: CO₂-Gehalt in unterschiedlichen Höhen im Referenzraum 2 im EG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Der Verlauf des berechneten PMV-Index aus den Parametern der Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftgeschwindigkeit, des Kleidungsfaktors und Aktivitätsgrades ist in Abbildung 281 bzw. Abbildung 282 dargestellt.

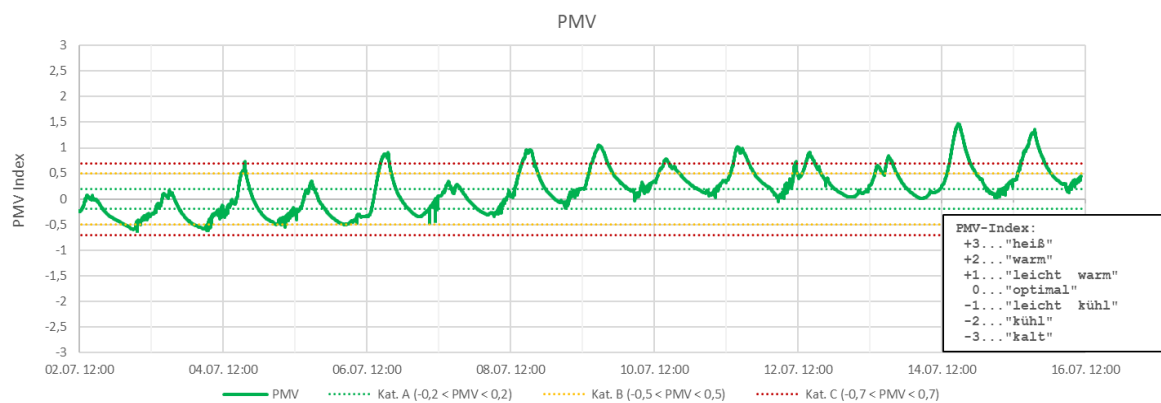


Abbildung 281: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Referenzraum 1 im OG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)

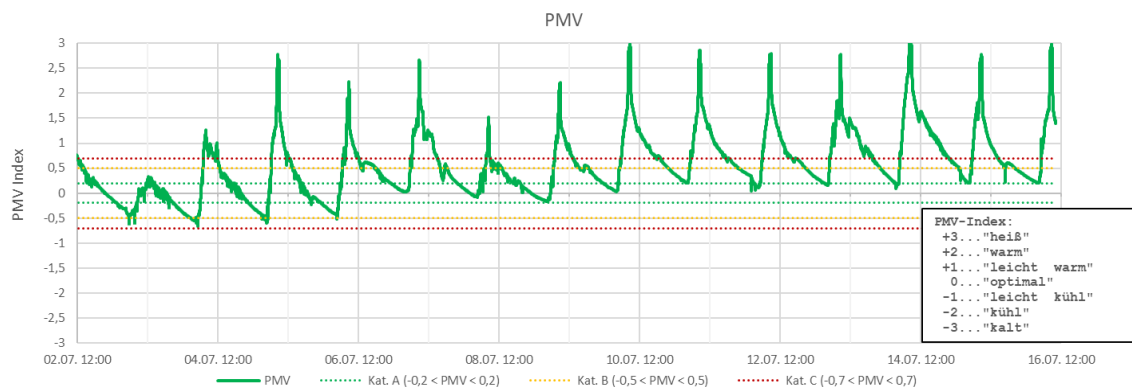


Abbildung 282: Thermisches Empfinden nach PMV-Index im Referenzraum 2 im EG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Bei der Sommermessung bewegt sich das thermische Empfinden nach dem PMV-Index im Referenzraum 1 im OG zwischen -0,63 und +1,47 bei einem Mittelwert von +0,17. Innerhalb üblicher Bürozeiten von Mo.-Fr. und von 7:00-18:00 Uhr liegt der PMV im Durchschnitt bei +0,22 und somit im Mittel innerhalb des Zielbereichs. Aufgrund der Nachmittagsspitzen liegt der berechnete PMV-Index innerhalb der Bürozeiten aber auch insgesamt 26,2 Stunden über dem Grenzwert von +0,5, was den Mittelwert relativiert und bestätigt, dass die thermische Behaglichkeit nur bedingt, genauer gesagt in drei Viertel der Bürozeiten (76,1 %), gewährleistet wird.

Für den Referenzraum 2 im EG liegt der PMV-Index zwischen -0,66 und +3,48 bei einem Mittelwert von +0,57, innerhalb der zuvor definierten Bürozeiten sogar bei +0,87. Der Zielbereich für die thermische Behaglichkeit wird hier vor allem aufgrund des Einflusses der Strahlungstemperaturen, aber auch der Lufttemperaturen überschritten. Innerhalb der Bürozeiten liegt der PMV-Wert nur in 29,1 % der Zeit innerhalb des Zielbereichs.

Die entsprechenden berechneten PPD-Werte sind in Abbildung 283 und Abbildung 284 dargestellt.

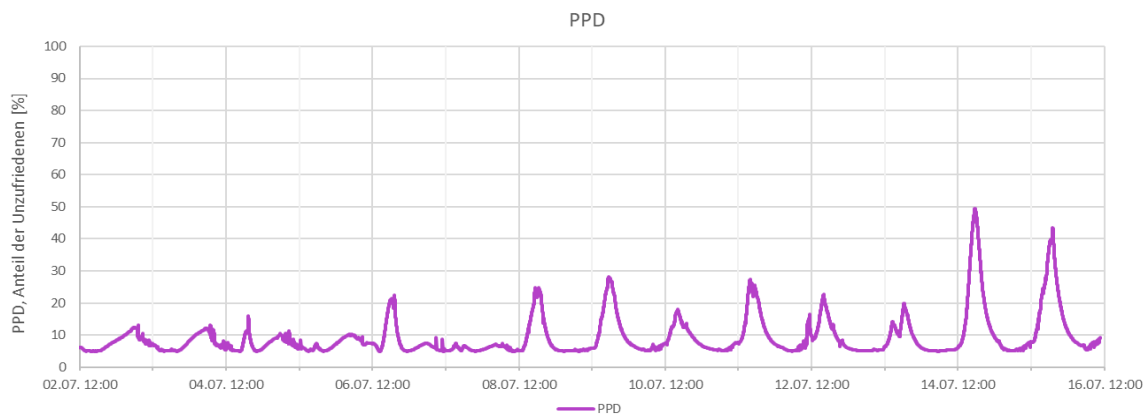


Abbildung 283: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Referenzraum 1 im OG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)

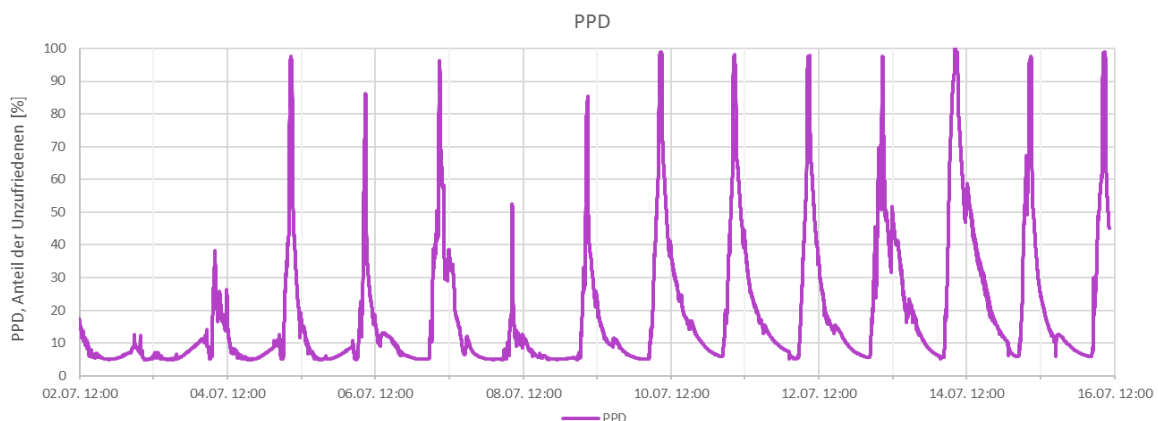


Abbildung 284: Erwartete Unzufriedenheitsrate PPD-Index im Referenzraum 2 im EG, 02.07. – 16.07.2024 (Quelle: AEE INTEC)

Beim Referenzraum 1 liegt der PPD-Wert bei durchschnittlich 9,3 % und im Median sogar bei 6,9 %, was grundsätzlich für eine gute thermische Behaglichkeit spricht. Einige der Spitzen übersteigen im Messzeitraum jedoch einen Wert von 20 % und erreichen Werte bis zu 50 %. Das bedeutet, dass bei starker solarer Einstrahlung jede zweite Person im Raum mit dem thermischen Klima unzufrieden ist. Beim zweiten Raum liegt der PPD-Wert im Mittel bei 18,7 % und im Median bei 9,9 %. Die Spitzenwerte fallen bei solarer Einstrahlung hier mit bis zu 100 % eklatant auf und zeugen von einem sehr unbehaglichen Innenraumklima.

8.13 Südsan, Vbg

Bauteilaktivierung: bestehende Außenwand		
Objektnutzung: Wohnobjekt	Standort: Südtiroler-Siedlung Bludenz St. Antoniusstrasse 12a	Fertigstellung: 2024

8.13.1 Objektbeschreibung

Das denkmalgeschützte Gebäude wurde im Jahr 1959 errichtet und umfasst zehn Wohneinheiten (inklusive einer Dachgeschosswohnung). Das Gebäude ist unterkellert und war vor Sanierung baulich bis auf die in den 1980er erneuerten Fenster im Originalzustand. Der Dämmstandard des Gebäudes war also dementsprechend schlecht. Die Beheizung erfolgte ursprünglich über Stückholz- und Pelletöfen, direkt-elektrische Heizsysteme (z.B. Infrarot, Nachtspeicheröfen) sowie Kombinationen aus den genannten Varianten. Die Warmwasserbereitung erfolgte durch dezentrale Elektroboiler. Die thermische Behaglichkeit in Sommer und Winter wurden von der Mehrheit der Mieter schlecht beurteilt. Im Zuge der Sanierung wurde das bestehende Dachgeschoss wegen statischer Mängel vollständig abgerissen und neu errichtet, die oberste Geschossdecke wurde statisch ertüchtigt. Zusätzlich zu den längst notwendigen Erhaltungsarbeiten wurde am Gebäude energetisch und ökologische Optimierungen (Wärmeschutz, Umstellung auf zentrale Wärmepumpe, Leitungsdämmungen, außenliegender Sonnenschutz, PV-Anlage) durchgeführt.

Im Zuge der Sanierung der Außenhülle wurden Leitungsrohre mit Wärmeleitblechen an die Außenwand montiert und mit insgesamt 30 cm Dämmung überdeckt, wodurch die Bestandswände thermisch aktiviert und zu Übertragungsflächen von Wärme in die Innenräume wurden. Zusätzlich wurde eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingebaut. Die Zuluft-Leitungen wurden über die neue Fassade, die Abluft-Leitungen über die Bestandskamine geführt. Nach Sanierung erreicht das Gebäude Passivhaus-Standard.

Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	907 m ²	Eigentümer: Alpenländische Gemeinnützige WohnbauGmbH
HKLS-Planung	Planungsteam E-Plus	
Architektur	Johannes Kaufmann und Partner GmbH	Web: https://alpenlaendische.at/vorarlberg/

Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- Baujahr 1959, Sanierung 2024
- Außenliegende Bauteilaktivierung einer Bestandswand
- Nachträglicher Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Umstellung von Einzelraumöfen auf zentrale Luft-Wasser-Wärmepumpe
- PV-Anlage

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde in der Bestands-Außenwand ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Betondecken	
Einsatz	Heizung
Aktivierte Fläche	Außenwände (485 m²)
Aktiviertes Material	Bestandswand Splittbetonsteine: 30 cm (EG), 25 cm (obere Stockwerke) U-Wert: 1,6 – 1,9 W/m²K
Verlegungsart	Randabstand: BTA-Verlegung vollflächig über gesamte Fassade Rohrleitungsabstand: 12,5 cm Überdeckung: 30 cm Fassadendämmung (2x 12cm Mineralwolle, 6cm Putzträgerplatten) Alu-Verbundrohr
Regelungsstrategie	Regelung der zentralen VL-Temp gleitend nach Außentemperatur, Begrenzung durch Raumthermostate Heizkurve: • Vorlauftemperatur von 44°C bei einer Außentemperatur von - 10 °C • Vorlauftemperatur von 26°C bei einer Außentemperatur von + 10 °C
Leistungskennzahlen	Auslegungsleistung: Heizen 9,6 kW

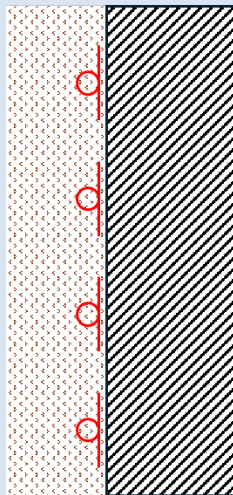


Abbildung 285: Schnittdarstellung Außenwand
(Quelle: AEE INTEC)

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik	
Heizung	Zentrale Wärmeversorgung über Luft-Wasser-Wärmepumpe (10-24 kW) 1.000 Liter Pufferspeicher Heizung mit Heizstab
Brauch-Warmwasser	Zentrale Brauchwasserbereitung über Wärmepumpe 1.000 Liter Pufferspeicher Warmwasser mit Heizstab
Wärmeabgabe	Wärmeabgabe erfolgt über Bauteilaktivierung der Außenwände
Lüftung	Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ohne Heizregister
Elektrische Energie	Gebäude ist an das öffentliche Netz angeschlossen und hat zusätzlich eine 25,5 kWp Photovoltaik-Anlage am Satteldach; Ausrichtung 14° aus Süd nach Ost, 47° Dachneigung

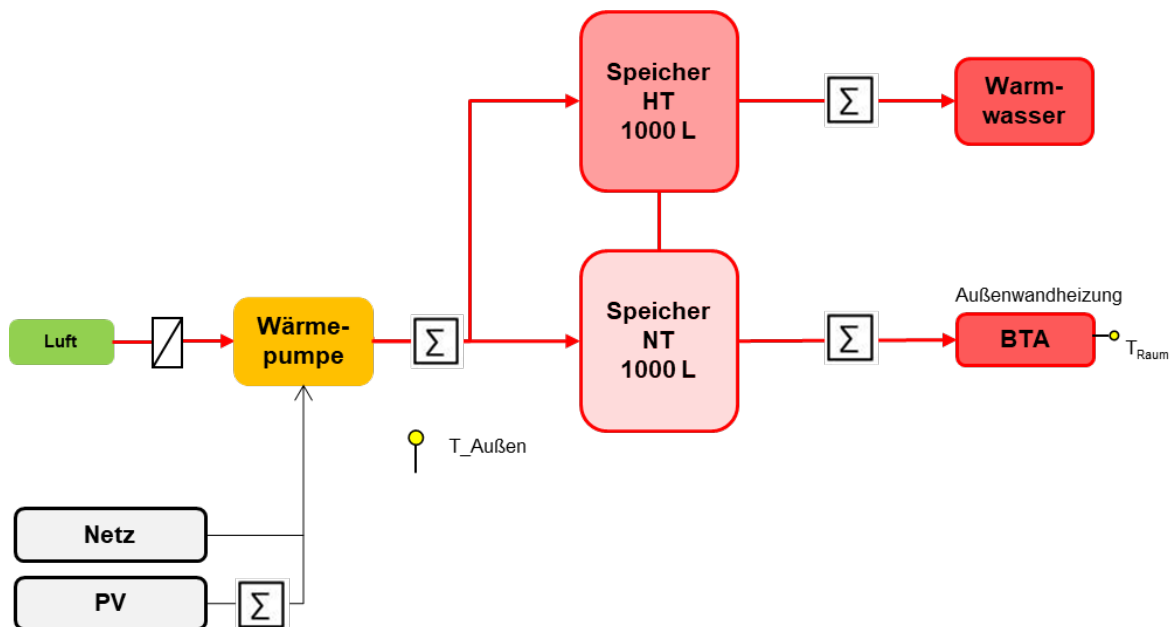


Abbildung 286: Prinzipschema SüdSan, Gebäudetechnik und Messkonzept (Quelle: AEE INTEC)

8.13.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: 1. Okt. 2024 – 30. Sep. 2025 (1 Betriebsjahr)

Gebäudeflächen lt. Energieausweis	
Brutto-Grundfläche (BGF)	907 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	726 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung			
Speicherkapazität	Außenwand: 68 kWh/K = 0,07 kWh/Km ² _{BGF}		
	Eine aktive Nutzung der Speicherefähigkeit der BTA liegt derzeit nicht vor.		
Gesamtgebäude: Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast ¹⁰	10,8 kW	14,9 W/m ² _{BF}
	Installierte Heizleistung	10 kW	13,8 W/m ² _{BF}
	Gemessene max. Heizleistung	6,9 kW	9,5 W/m ² _{BF}
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Außenwand	
	Aktivierete Fläche	ca. 485 m ² _{akt.}	
	Max. Heizleistung	ca. 22,8 kW	
	Max. spezifische Heizleistung	47 W/m ² _{akt.}	
	Vorlauftemperatur Heizen	48 – 51,8°C	
	Sprenzung bei max. Heizleistung	11,9 K	

Heizenergieverbrauch des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (gesamt für Raumwärme, exkl. Warmwasserbereitung, Speicher- und Verteilverluste)	12,8 kWh/m ² _{BGFa}

¹⁰ Lt. PHPP

8.13.3 Nachfragestruktur Wärme

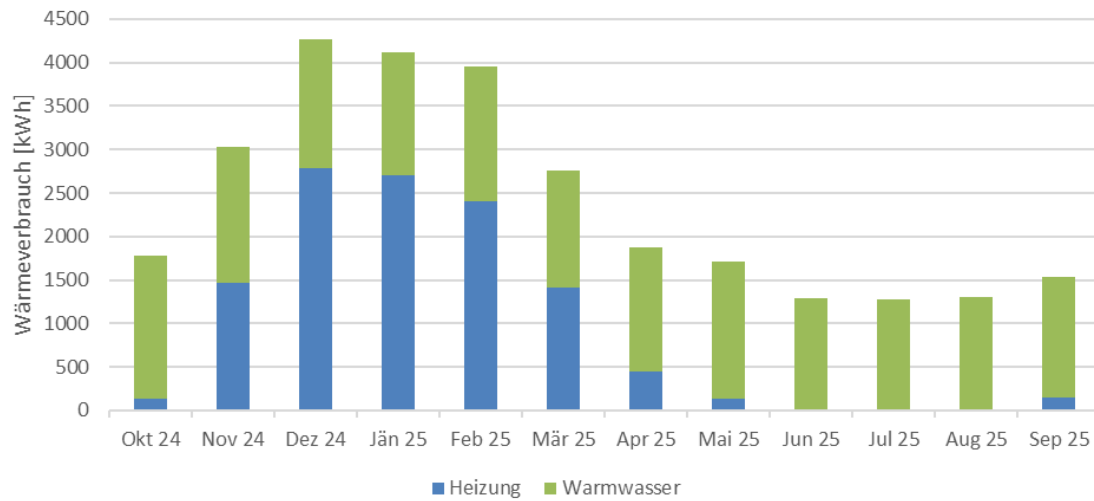


Abbildung 287: Monatsbilanz Wärmeverbrauch Südsan (Quelle: AEE INTEC)

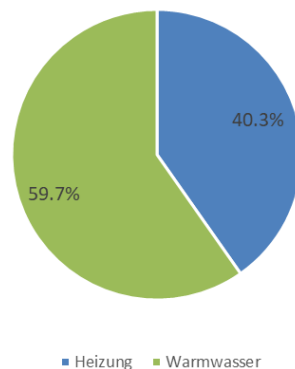


Abbildung 288: Aufteilung der Wärmeverbraucher (Quelle: AEE INTEC)

Die Aufteilung des Energieverbrauchs ist typisch für Gebäude mit sehr guter Hüllqualität: der Großteil wird für die Bereitstellung von Warmwasser genutzt (rund 60% bzw. ca. 17,3 MWh) und der Rest wird zur Aufrechterhaltung des thermischen Raumkomforts aufgewendet (11,6 MWh). Die Messergebnisse für den Heizwärmeverbrauch, welcher sich auf 12,8 kWh/m²_{BGFA} beläuft, bestätigen die vorbildliche thermische Sanierung des Gebäudes.

Auffälligkeiten Gewerk Heizung und Optimierungspotenziale

Bei der Wärmebereitstellung zeigen die Monitoringdaten Auffälligkeiten auf, die nachfolgend beschrieben werden.

- Bis Juni 2025 wurde der Heizungspufferspeicher trotz fehlender Abnahme durchgeladen. Dies erzeugt vermeidbare Systemverluste und erhöht unnötig den Stromverbrauch der Wärmepumpe. In der zweiten Junihälfte wurde dieser Regelungsfehler behoben.

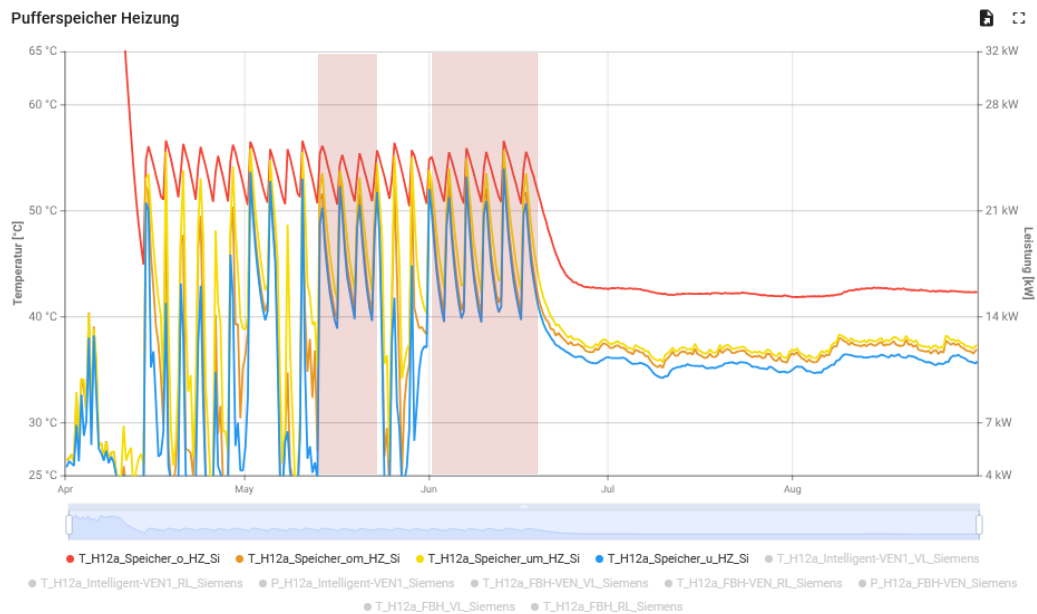


Abbildung 289: Temperaturverlauf im Heizungspufferspeicher; rote Flächen: Durchladen des Pufferspeichers ohne Heizwärmeverbrauch (Quelle: AEE INTEC)

- Im ersten Teil der Heizperiode wurde die außenliegende Wandheizung mit ca. 50 °C Vorlauftemperatur beschickt. Ende März 2025 wurde dieser Regelungsfehler behoben und die korrekte Heizkurve entsprechend der oben beschriebenen Regelungsstrategie hinterlegt. In weiterer Folge könnte noch die Zieltemperatur im Heizungspufferspeicher reduziert werden, um das Gesamtsystem noch effizienter zu betreiben.

Wärmeabgabe und -erzeugung im Detail

Eine aktive Ausnutzung der Speicherfähigkeit der Bauteilaktivierung liegt nicht vor. Durch regelungstechnische Maßnahmen könnte die Speicherwirkung der Bauteilaktivierung genutzt werden, um die Heizwärmeversorgung primär tagsüber bereitzustellen und so die Laufzeiten der Wärmepumpe mit dem PV-Ertrag zu korrelieren. Wie Abbildung 290 zeigt, findet derzeit keinerlei Korrelation statt.

Wärmepumpe - elektrisch

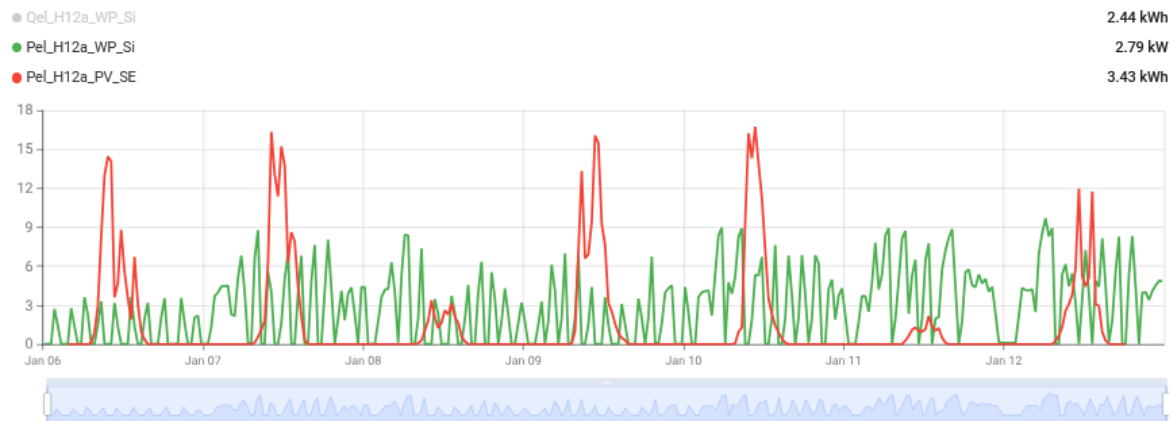


Abbildung 290: Strombedarf Wärmepumpe und PV-Ertrag im Winter (Quelle: AEE INTEC)

In Abbildung 291 ist der Sommerbetrieb der Wärmepumpe dargestellt. Hier ist die Korrelation zwischen dem Wärmepumpenbetrieb (Nachladung Warmwasserpufferspeicher) und dem PV-Ertrag deutlich besser. Eine Verbesserung der Korrelation ist hier aufgrund der eingeschränkten Größe des Pufferspeichers und der notwendigen Versorgungssicherheit auf der Warmwasserseite nur schwer möglich.

Wärmepumpe - elektrisch

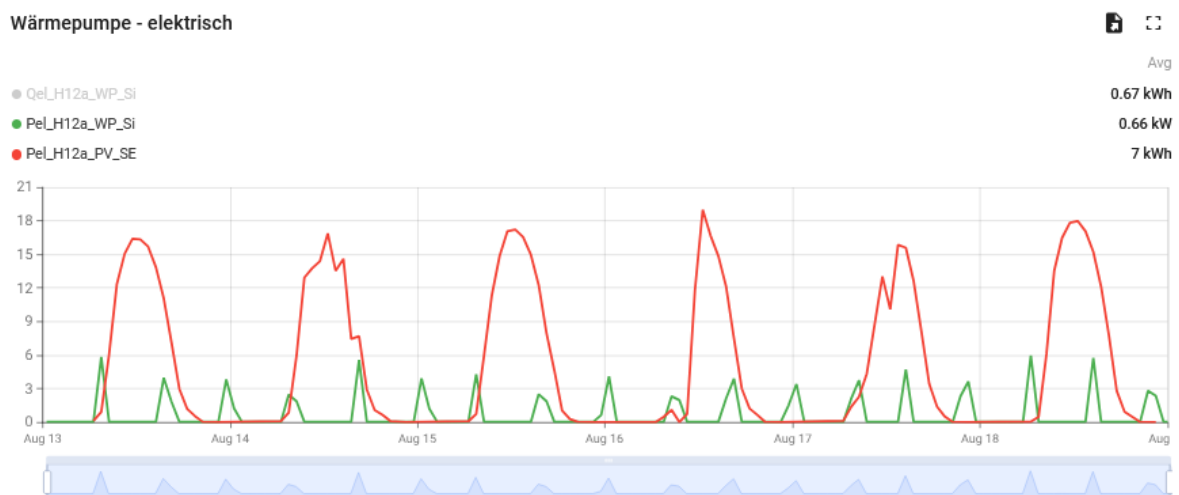


Abbildung 291: Strombedarf Wärmepumpe und PV-Ertrag im Sommer (Quelle: AEE INTEC)

Im Zuge einer detaillierten Betrachtung der Wärmeerzeugung sind in Abbildung 213 der Stromverbrauch, die bereitgestellte Wärmemenge, die durchschnittlichen Arbeitstemperaturen im Vor- und Rücklauf auf der Senkenseite sowie die berechnete Arbeitszahl monatsweise für die Wärmepumpe dargestellt.

Die Wärmepumpe stellt ganzjährig Wärme mit einem gemittelten Temperaturniveau von etwa 50 °C zur Verfügung. Die über das gesamte Jahr beobachteten Arbeitszahlen liegen zwischen 2,5 und 3,2. Dies

ist für Luft-Wasser-Wärmepumpen ein durchschnittliches Ergebnis. Die durchschnittliche Jahresarbeitszahl beträgt 2,7.

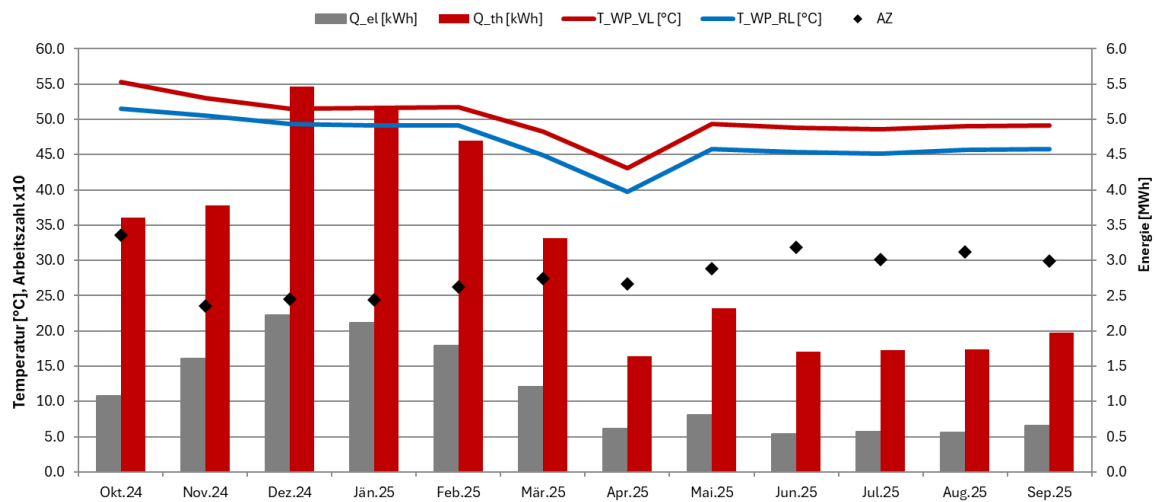


Abbildung 292: Detailanalyse des Wärmepumpensystems (Quelle: AEE INTEC)

8.13.4 Raumkomfort - Monitoring

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

Referenzräume: Es wurden insgesamt als Referenzräume je ein Wohnzimmer aus insgesamt zwei Wohnungen gewählt.

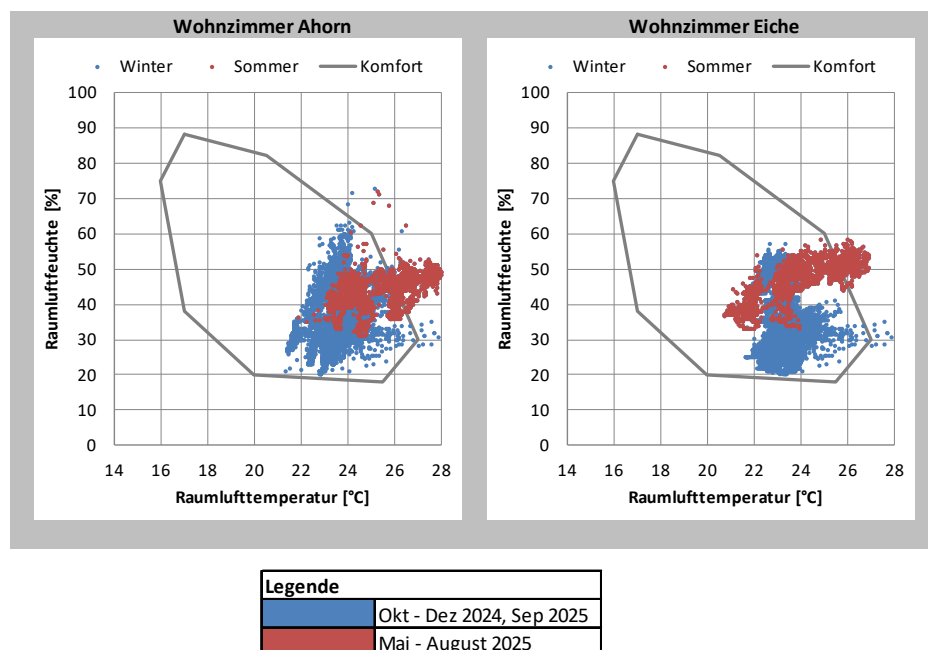


Abbildung 293: Behaglichkeitsdiagramme der Referenzräume, SüdSan (Quelle: AEE INTEC)

Die Behaglichkeitsdiagramme der Referenzräume zeigen, dass die Raumkonditionen während dem Winterhalbjahr im behaglichen Komfortbereich liegen. Die Raumtemperaturen sind kaum unter 21°C gesunken, die Raumluftfeuchten befanden sich allerdings über weite Teile in zu trockenen Bereichen (Bandbreite 20 - 45%). Die mittleren Raumluftfeuchte im Winterhalbjahr beträgt in allen Referenzräumen um die 34% (eher zu trocken).

In den Sommermonaten neigen die Wohnzimmer zu Überhitzung. Die könnte ggf. durch aktive Verschattung verbessert werden.

Tabelle 5: Mittlere Raumlufttemperaturen und Anteile der Überhitzungsstunden der Referenzräume (Quelle: AEE INTEC)

		Wohnzimmer	
		Ahorn	Eiche
Mittlere Raumtemperatur in den Sommermonaten	[°C]	25.4	23.7
Anteil der Überhitzungsstunden (T > 26 °C) an der Gesamtjahresstundenanzahl	[h]	888	232
Anteil der Überhitzungsstunden (T > 26 °C) an der Gesamtstundenanzahl	[%]	10%	3%

Nachfolgend werden die Raumlufttemperaturen der Referenzräume den Kategorien der Standardauslegungswerte für operative Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Anhang B, Tab. B.2 gegenübergestellt. Für die Darstellungen wurde unabhängig von der tatsächlichen Monitoringperiode nach Monaten sortiert.

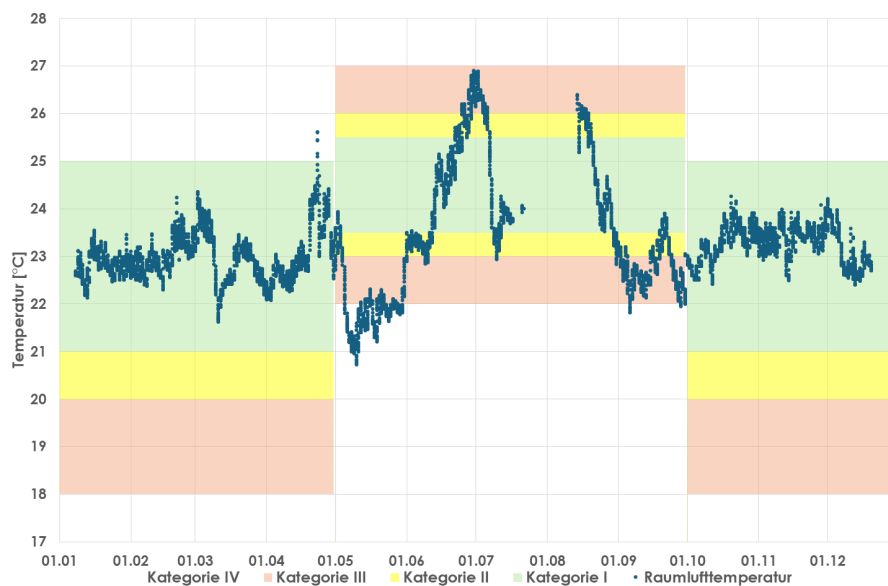


Abbildung 294: Raumlufttemperatur im Wohnzimmer Eiche und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemp. für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, SüdSan (Quelle: AEE INTEC)

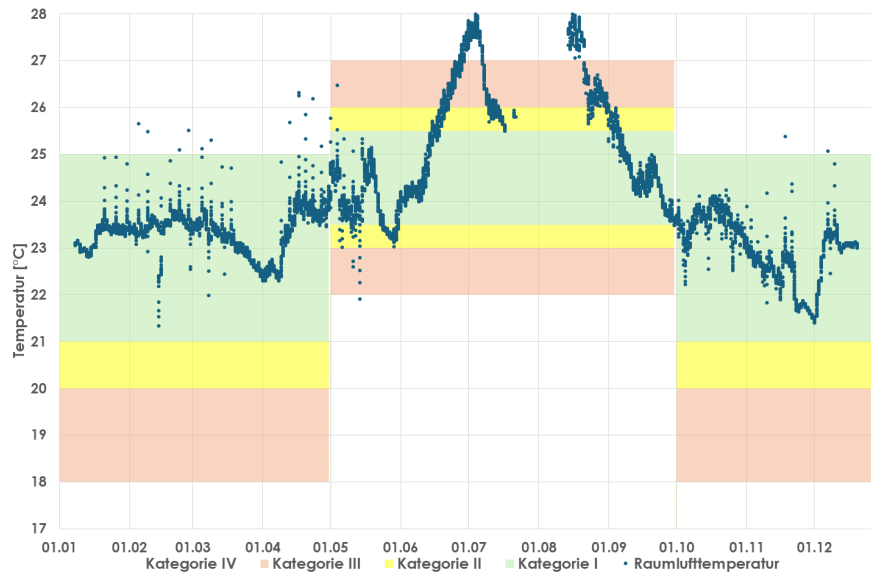


Abbildung 295: Raumlufttemperatur Wohnzimmer Ahorn und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, SüdSan (Quelle: AEE INTEC)

8.14 Hörburger GmbH & Co KG, Vbg

Bauteilaktivierung: Betonkernaktivierung Bodenplatte (Ortbeton)		
Objektnutzung: Spenglerei mit Produktionsbüros und Nebenräumen	Standort: Römergrund 9, 6830 Rankweil	Fertigstellung: 2020

8.14.1 Objektbeschreibung

Die 2020 errichtete Produktionshalle samt Büro und Nebenräumen der Firma Hörburger dient der Fertigung von Luftleitsystemen. Die Energieversorgung übernehmen zwei Grundwasser-Wärmepumpen und eine Photovoltaikanlage, die Kühlung erfolgt über Grundwasser. Die Heizung und Kühlung der Produktionshalle erfolgt mittels Bauteilaktivierung der Bodenplatte. Die Regelungsstrategie der Bauteilaktivierung wurde von den Energietechnikern der Firma Hörburger eigens entwickelt.

Die eingeschossige Halle wurde so konzipiert, dass sie in weiteren Phasen erweitert werden und zusätzlich im Obergeschoss ein Bürogebäude zur Ausführung kommen kann.

Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	2.300 m ² (Büro, Nebenräume und Produktionshalle)	Eigentümer: Hörburger GmbH & Co. KG
HKLS-Planung	HÖRBURGER GmbH & Co KG	Name: David Hörburger
Architektur	Aicher ZT GmbH	Web: https://www.hoerburger.at/

Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- Mittelschwere Bauweise in Niedrig-Energiestandard
- Hallen-Tragkonstruktion aus Stahlbetonstützen und Holzleimbändern
- Hallendach mit 4 Sheddächern, worauf die Photovoltaik-Anlage installiert ist
- Fassaden mit bronzefarbenen Blechpaneelen, welche im Bereich der Fensterfassaden mit Lochanteil den Sonnenschutz bilden
- Kompakte Bauweise, $A/V = 0,31 \text{ [1/m]}$, charakteristische Länge 3,22 [m]

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde im Bereich der Fertigungshalle in der Bodenplatte ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Bodenplatte Produktionshalle	
Einsatz	Heizung und Kühlung
Aktivierte Fläche	Bodenplatte der Produktionshalle, ca. 1.620 m ²
Aktiviertes Material	Ortbeton (Stahlbeton), Stärke 25 cm Bodenaufbau: 25,0 cm Stahlbetonplatte 0,4 cm Bitumen 14,0 cm XPS Dämmung
Verlegungsart	System Uponor Magna pipe PLUS, Dimension 25x2,3mm, Verlegeabstand 30 cm
Regelungsstrategie	Die Regelung der Bauteilaktivierung erfolgt über eine gleitende Sollkerntemperatur anhand einer Heizkurve, welche als Bezug die mittlere Außentemperatur der letzten 7 Tage zur Ermittlung der Sollkerntemperatur heranzieht. Die Raumtemperatur der Montagehalle darf im Heizfall um ca. 2K schwanken. Die Sollvorlauftemperatur ergibt sich aus der aktuellen Sollbetonkerntemperatur, welche im Heizfall um 2K erhöht wird und im Kühlfall um 2K reduziert wird. Die Heizgruppe ist so lange aktiv bis die Austrittstemperaturen aus dem Betonkern die Sollwerte erreichen. Die Aktivierung des Heiz-Kühlregelkreises erfolgt per Zeitprogramm am Morgen eines jeden Tages zu einer definierten Uhrzeit. Der Durchfluss wird im Heiz- und Kühlfall konstant bei ca. 22 m ³ /h gehalten.
Leistungskennzahlen	Auslegungsleistung: Heizen 79,8 kW, Kühlen 34,2 kW

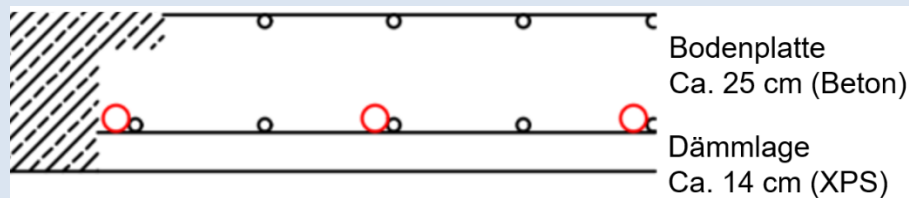


Abbildung 296: Schnittdarstellung Bodenplatte
Rohrleitungen auf unterer Bewehrungslage (Quelle: Hacon GmbH, angepasst durch e7)

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik	
Heizung	Wärmequelle: Grundwasser, max. Entnahmemenge ca. 29,1 m³/h 2 Grundwasser-Wärmepumpen (jeweils 42 kW), Abwärmenutzung der Druckluftkompressoren (Wärmeabgabe direkt in der Halle), Kombinierter Pufferspeicher für Wärme und Kälte (Typ Zortström)
Brauch-Warmwasser	Dezentral elektrisch
Kühlung	Brunnenwasser-Nutzung zur freien Kühlung der Bauteilaktivierung, Kühldecken im Büro- und Sozialbereich sowie Kühlregister der Büro-Lüftungsanlage
Wärmeabgabe	Bauteilaktivierung (Produktionsbereich: 79,8 kW), Deckenstrahlplatte (Büro- und Sozialbereich: 9 kW), Radiatoren (Nassräume: 0,9 kW), RLT-Anlage Heiz-/Kühlregister im Change-Over Betrieb (11,7 kW)
Kälteabgabe	Bauteilaktivierung (Produktionsbereich: 34,2 kW), Kühldecken (Büro- und Sozialbereich: 11 kW), RLT-Anlage Heiz-/Kühlregister im Change-Over Betrieb (9,45 kW)
Lüftungstechnik	RLT-Anlage (3.000 m³/h Nennluftmenge) mit WRG für Büro-, Sozial- und Nassräume; Auslegungstemperaturen Heizen: 35/30°C, Kühlen: 11,5/16,5°C
Elektrische Energie	Öffentliches Netz, Photovoltaik-Anlage (30,72 kWp, Azimut 180°, Neigung 45° auf Südfläche der 4 Sheddächer)

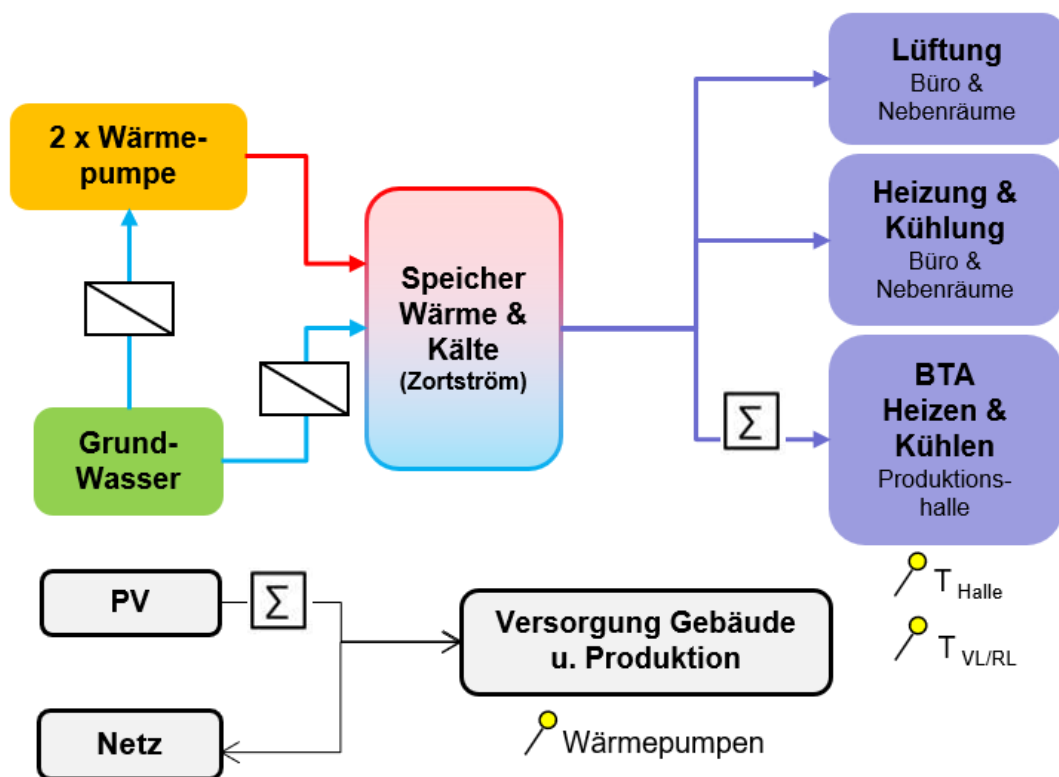


Abbildung 297: Prinzipschema Gebäudetechnik und Messkonzept für Römergrund, Fa. Hörburger (Quelle: e7)

8.14.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: 1. Nov. 2022 – 31. Okt. 2023 (1 Betriebsjahr)

Gebäudeflächen	
Brutto-Grundfläche (BGF)	2.300 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	1.840 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung		
Speicherkapazität	Bodenplatte 270 kWh/K = 0,12 kWh/Km ² _{BGF}	
BTA Speichernutzung: Deckungsgrad lokaler Energieträger	Heizung: 29% des Stromverbrauchs der Wärmepumpen wird durch PV-Erzeugung gedeckt (Restliche Deckung erfolgt durch Netz-Strombezug) Kühlung: 100%	
Gesamtgebäude: Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast nicht bekannt Installierte Heizleistung (2 Wärmepumpen) 84 kW 46 W/m ² _{BF} Gemessene max. Heizleistung 95 kW 52 W/m ² _{BF}	
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Bodenplatte Produktionshalle
	Aktivierte Fläche	ca. 1.620 m ² _{akt.}
	Max. Heizleistung	ca. 95 kW
	Max. spezifische Heizleistung	59 W/m ² _{akt.}
	Vorlauftemperatur Heizen	21-25°C
	Spreizung bei max. Heizleistung	4 K
	Max. Kühlleistung	ca. 74 kW
	Max. spezifische Kühlleistung	ca. 46 W/m ² _{akt.}
	Vorlauftemperatur Kühlen	16,0-20,5°C
	Spreizung bei max. Kühlleistung	3 K

Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (gesamt für Raumwärme inkl. Speicher- und Verteilverluste)	28,1 kWh/m ² _{BGFa}
Kühlenergieverbrauch	7,6 kWh/m ² _{BGFa}

8.14.3 Nachfragestruktur Wärme

Die Wärmebereitstellung für das Gesamtobjekt erfolgt durch die beiden Grundwasser-Wärmepumpen. Die monatlich erzeugten Wärmemengen sind in nachfolgender Abb. ersichtlich.

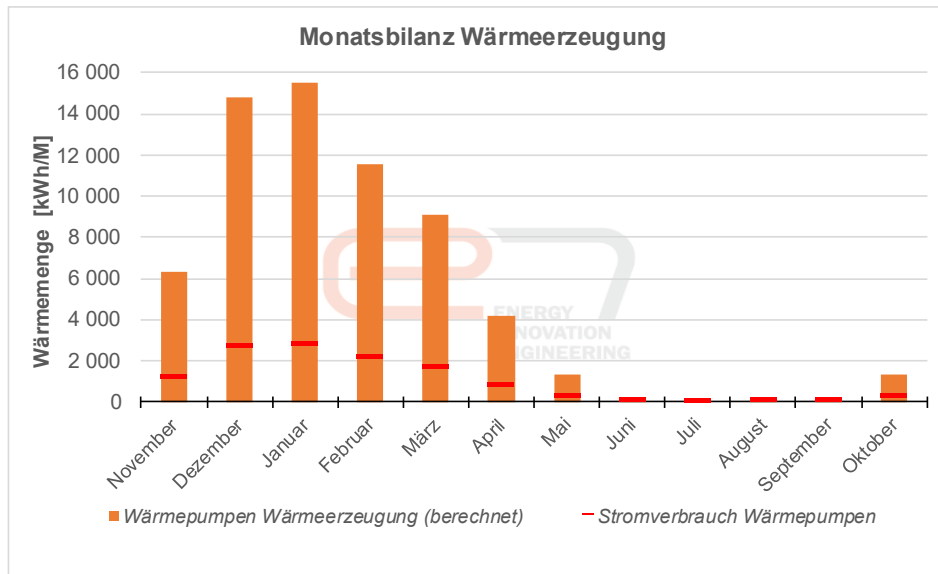


Abbildung 298: Monatsbilanz Wärmeerzeugung (Quelle: e7)

Erwartungsgemäß wurden während des Zeitraums Juni bis Sept. 2023 keine nennenswerten Wärmemengen für Raumwärme erzeugt.

Unterhalb werden die Wärmeverbräuche der Bauteilaktivierung für die Produktionshalle Lüftungsbau dargestellt.

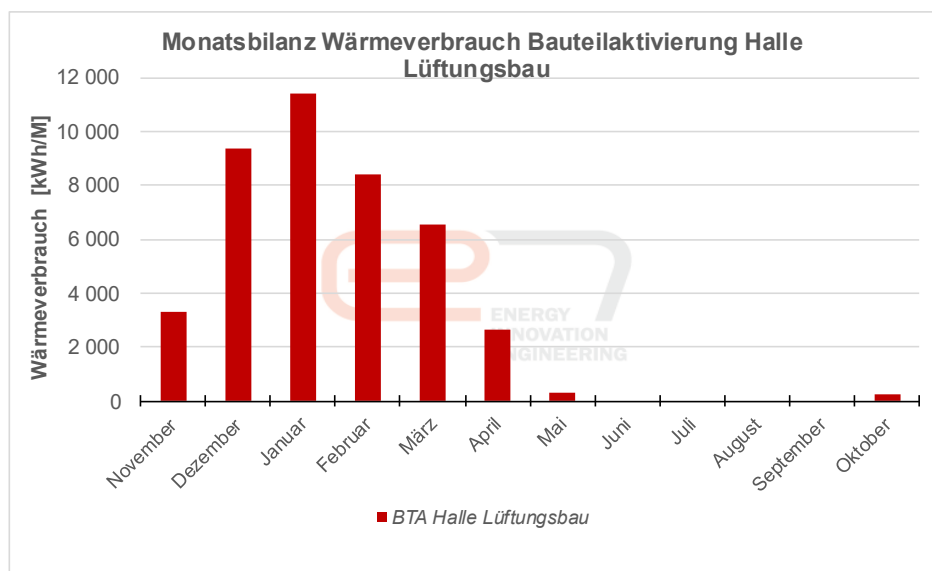


Abbildung 299: Monatsbilanz Wärmeverbrauch Bauteilaktivierung Halle Lüftungsbau (Quelle: e7)

Für den Monitoringzeitraum Nov. 2022 bis Okt. 2023 konnte eine Gesamt-Wärmeerzeugung der Wärmepumpen von ca. 64.550 kWh ermittelt werden. Dem gegenüber steht ein Verbrauch der Bauteilaktivierung Produktionshalle Lüftungsbau von ca. 42.290 kWh, was einen Anteil von ca. 66% der Gesamt-Wärmeerzeugung ausmacht. Für den Firmenstandort Römergrund 9 ergibt sich ein spezifischer Heizwärmeverbrauch von 28,1 kWh/m²_{BGFa}.

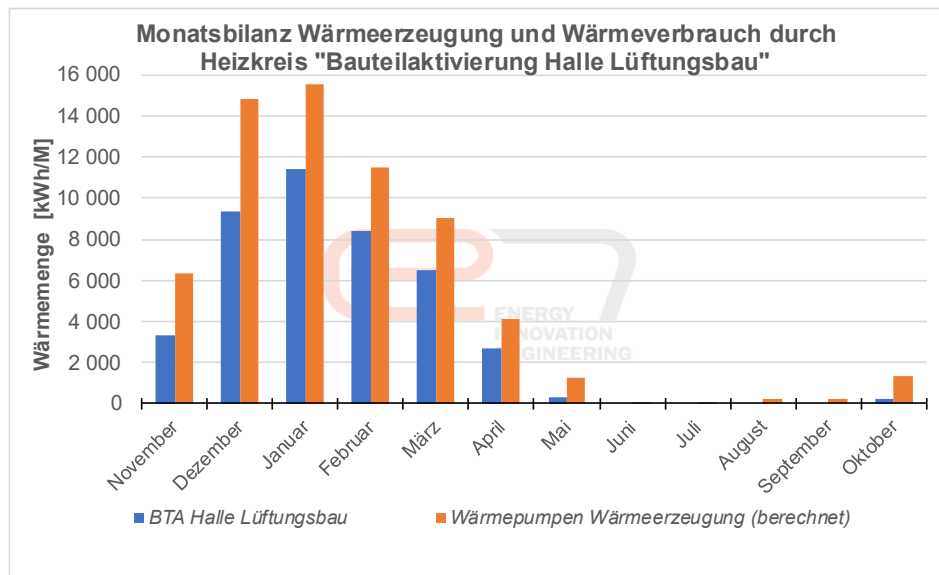


Abbildung 300: Gegenüberstellende Monatsbilanz Wärmeerzeugung versus Wärmeverbrauch Bauteilaktivierung Halle Lüftungsbau (Quelle: e7)

Obige Abb. zeigt die Monatsbilanz der Wärmeerzeugung durch die Wärmepumpen und der Wärmeverbräuche des Heizkreises „Bauteilaktivierung Halle Lüftungsbau“. Die Differenzen zwischen Erzeugung und Bauteilaktivierungs-Heizkreis-Verbrauch betreffen die restlichen Wärmeverbraucher des Standorts (Heizung und Heizregister Raumlüftungstechnik für Büro- und Nebenräume) und die Speicher- und Verteilverluste.

Die Wärmepumpenanlage weist einen jährlichen Stromverbrauch von ca. 11.700 kWh/a für die Wärmebereitstellung auf, woraus sich eine gute Jahresarbeitszahl von ca. 5,5 ergibt.

Die Zubringertemperaturen von den Wärmepumpen in den Speicher liegen bei Wärmepumpen-Betrieb sehr konstant im Bereich 34-36°C (dies entspricht weitestgehend dem Sollwert von 35°C), die Rücklauftemperaturen bewegen sich im Bereich von 29-32°C. D.h. die Spreizung von 5 K wird überwiegend eingehalten. Es handelt sich bei den beiden Wärmepumpen um nicht-modulierende Geräte, d.h. nach Freigabe wird jede Wärmepumpe bei Volllast betrieben. Die Monitoringdaten zeigen in den Wintermonaten eine Wärmepumpen-Betriebsstrategie, dass die Wärmepumpe 1 primär den Grund-Verbrauch (Verbraucher Heizung und Heizregister Lüftungsanlage Büro- und Nebenräume) deckt (Taktung im Intervall von ca. 4 Stunden) und bei Aktivierung der Bauteilaktivierungsheizung und somit erhöhter Leistungsanforderung zusätzlich die Wärmepumpe 2 in Betrieb geht.

Ab Mitte März (Übergangszeit) wird immer nur eine Wärmepumpe zur Deckung der Wärmeverbräuche herangezogen, da die Leistungsanforderung niedriger ausfällt.

Wärmeabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Regelungsstrategie lt. Funktionsbeschreibung Anlagenautomation Hörburger, Stand 03.12.2020:

„Die Gleitung der Sollkerntemperatur der BTA erfolgt durch eine Heizkurve, welche als Bezug die mittlere Außentemperatur der letzten 7 Tage die Sollkerntemperatur ermittelt. Da die Trägheit der BTA ca. 1 Woche versetzt im Raum nachwirkt, wird es möglich, nach Außenkonditionen zu regeln. Die Raumtemperatur im Heizfall in der Montagehalle darf von Montag bis Freitag um ca. 2K schwanken. Um die Ladung des Betonkerns und den Betrieb der WP optimal und möglichst einfach auf den PV-Ertrag abzustimmen, wird die Ladung mittel Zeitprogramm auf das Wochenende verlegt.

Die Sollvorlauftemperatur ergibt sich aus der aktuellen Sollbetonkerntemperatur, welche im Heizfall um 2K erhöht wird und im Kühlfall um 2K reduziert wird. Die Heizgruppe ist so lange aktiv bis die Austrittstemperaturen aus dem Betonkern die Sollwerte erreichen.“

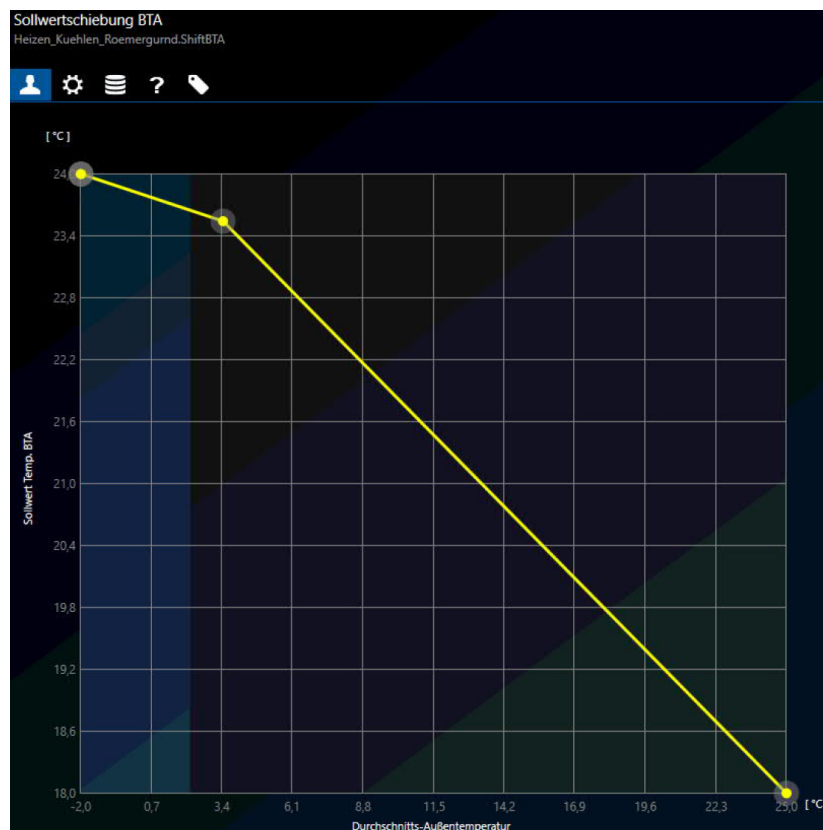


Abbildung 301: Sollwertschiebung BTA (Quelle: Funktionsbeschreibung Anlagenautomation Hörburger, Stand 03.12.2020)

Die Regelung der Vorlauftemperatur der Bauteilaktivierung wird seit 19.12.2022 nach oben beschriebener Automatikfunktion eingehalten. Davor war die Anlage vermutlich nicht im Automatikbetrieb, wodurch die sich andere Temperaturbedingungen einstellten. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Vor- und Rücklauftemperatur für den Dezember 2022, wo der Umstellzeitpunkt auf Automatikfunktion am 19.12. gut erkennbar ist.

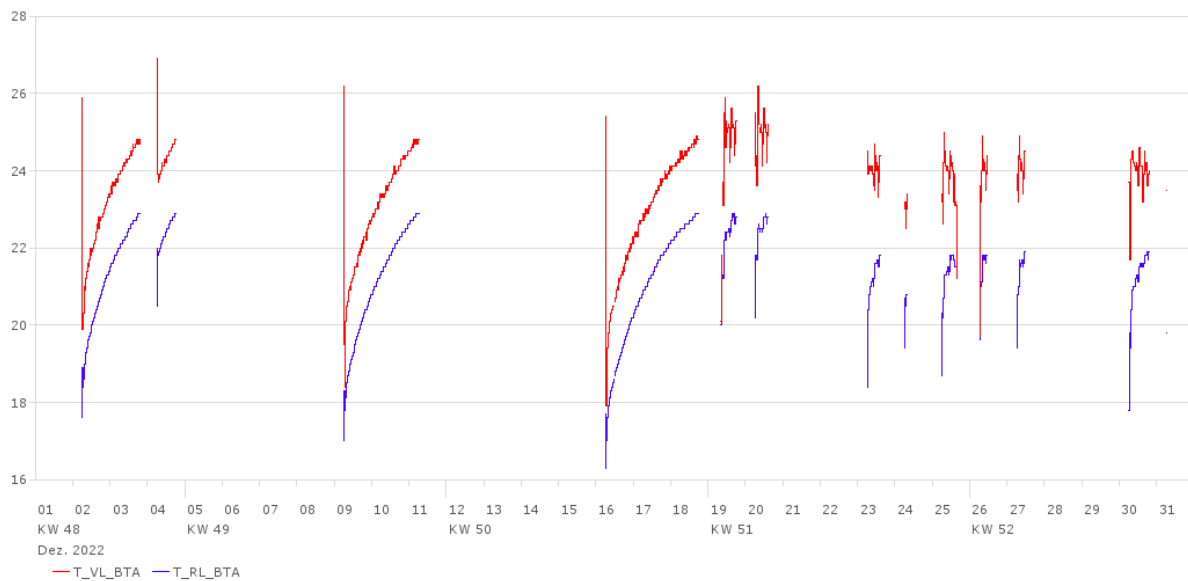


Abbildung 302: Vor- und Rücklauftemperatur bei aktivem Betrieb des Heizkreises Bauteilaktivierung, Dez. 2022 (Quelle: e7)

Die Messdaten zeigen, dass der Heizungsregelkreis der Bauteilaktivierung zu einem festgelegten Startzeitpunkt startet und bei einem konstanten Volumenstrom von ca. $22 \text{ m}^3/\text{h}$ betrieben wird (entspricht in etwa dem Auslegungs-Volumenstrom von $21,5 \text{ m}^3/\text{h}$). Die Rücklauftemperatur passt sich nach dem zeitlichen Betriebsverlauf des Heizkreises an. Im Zuge der Durchwärmung des Betonkerns nähert sich die Rücklauftemperatur der Solltemperatur lt. Abbildung 301 an. Bei Erreichung der Solltemperatur wird der Heizkreis deaktiviert.

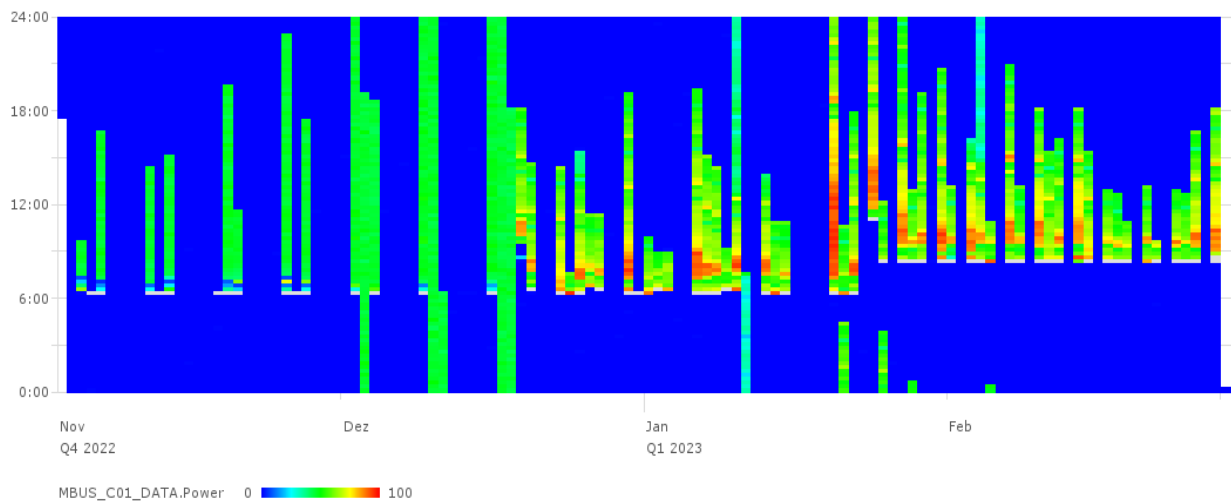


Abbildung 303: Carpet Plot Wärmeabgabeleistung des Heizungsregelkreises Bauteilaktivierung Produktionshalle Lüftungsbau für den Zeitraum Nov. 2022 – Feb. 2023 (Quelle: e7)

Aus den zuvor dargestellten Abbildungen über die Wärmeabgabe der Bauteilaktivierung werden 2 Umstell-Zeitpunkte ersichtlich:

- Ab 19.12.2022 Umstellung auf Automatikfunktion:
 - Davor war der Betrieb so gewählt, dass nur 1 Wärmepumpe (WP2) für die Beheizung verwendet wurde. Die Heizleistung beim Heizkreis Bauteilaktivierung war durch die max. Heizleistung der WP2 (ca. 45 kW) begrenzt. Die Laufzeit des Heizkreises war länger und fand auch während den Nachtstunden statt, was der PV-Eigenstromnutzung nicht dienlich war.
 - Ab 19.12. wurde der Automatikbetrieb gewählt. Hier wird die Vorlauftemperatur-Regelung eingehalten und es werden deutlich höhere Heizlasten (zu Einschaltzeitpunkten kurzfristig bis zu 120 kW, nach Betriebszeit von 3 Stunden werden recht konstant 60-80 kW abgerufen) von der Bauteilaktivierung hervorgerufen. In diesem Modus läuft die WP1 zur Deckung der Grundlast und zu den Bauteilaktivierungs-Betriebszeiten wird die WP2 zugeschalten.
- Ab 24.01.2023 Umstellung des Zeitprogramms:
 - Der Startzeitpunkt des Heizkreisbetriebs wurde von ursprünglich 06:00 Uhr auf 08:00 Uhr umgestellt, um eine bessere Ausnutzung der PV-Erträge zu erwirken.

Zusammenfassung der verzeichneten Betriebsbedingungen der Heizung Bauteilaktivierung:

Eine aktive Ausnutzung der Speicherfähigkeit der Bauteilaktivierung liegt vor, indem die Heizungsstart am Morgen erfolgt und tagsüber die Bodenplatte beladen wird. Nachts ist die Beheizung der Bauteilaktivierung weitgehend deaktiviert, es sei denn die Solltemperatur-Erreichung verzögert sich bis in die Nachtstunden.

- Aktivierung des Heizungsregelkreises per Zeitprogramm ab 08:00 Uhr (vor 24.01.2023 06:00 Uhr)
- VL-Temp. liegt bei 21-25°C → VL-Solltemperatur entspricht den Vorgaben der Funktionsbeschreibung Anlagenautomation Hörburger, Stand 03.12.2020)
- RL-Temp liegt bei 18-25°C
- Konstanter Volumenstrom bei ca. 22 m³/h
- Maximale Wärmeabgabeleistung: 95 kW (am 20.1.2023)
- Maximale spezifische Wärmeabgabeleistung: ca. 59 W/m²
- Temperatur-Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf bei max. Heizleistung: ca. 4 K

Auffälligkeiten und Optimierungspotenziale für den Heizbetrieb der Bauteilaktivierung in Zusammenhang mit einer Optimierung der PV-Eigenstromnutzung:

1. Eine verstärkte Beladung der Bauteilaktivierung am Wochenende, wie sie in der Funktionsbeschreibung festgehalten ist, konnte nicht festgestellt werden. Eine entsprechende Anpassung der Regelungsstrategie ist zu empfehlen, um die PV-Eigenstromnutzung für Wochenenden zu optimieren.
2. Die Umstellung des Zeitprogramms am 24.01. ist im Sinne der erhöhten PV-Eigenstromnutzung für Heizzwecke sinnvoll. Unter Betrachtung der PV-Ertragsdaten während der Wintermonate Dezember und Jänner fällt auf, dass die PV-Erzeugung aufgrund der jahreszeitlich bedingten Einstrahlungsverhältnisse maßgeblich im Zeitraum von 09:00 – 16:00 Uhr stattfindet. Demnach wäre es zu empfehlen, den Startzeitpunkt der Bauteilaktivierungs-Heizung weiter nach hinten zu verlegen (bspw. auf 10:00 Uhr).
3. Auch bei Nicht-Erreichung des Abschaltkriteriums der Beheizung der Bauteilaktivierung am späteren Nachmittag könnte die Beheizung durch ein Zeitprogramm (z.B. um 15:00 Uhr) deaktiviert werden. Nur bei Unterschreitung eines Raumlufttemperatur-Minimums in der Halle soll die Beheizung aufrecht gehalten werden.

8.14.4 Nachfragestruktur Kälte

Beim Objekt Römergrund 9 der Fa. Hörburger erfolgt die Kälteversorgung ausschließlich durch Grundwasser. Die Kälteenergie wird einerseits über die Bauteilaktivierung und die Büro-Deckenkühlung eingebracht und andererseits erfolgt eine Zuluft-Konditionierung über das Kühlregister der Lüftungsanlage für die Bereiche Büro- und Nebenräume. Nachfolgend ist die Monatsbilanz der Gesamt-Kälteerzeugung „Grundwasser-Kühlung“ und die Verbräuche der Bauteilaktivierung Halle Lüftungsbau sowie Büro-Bereiche dargestellt.

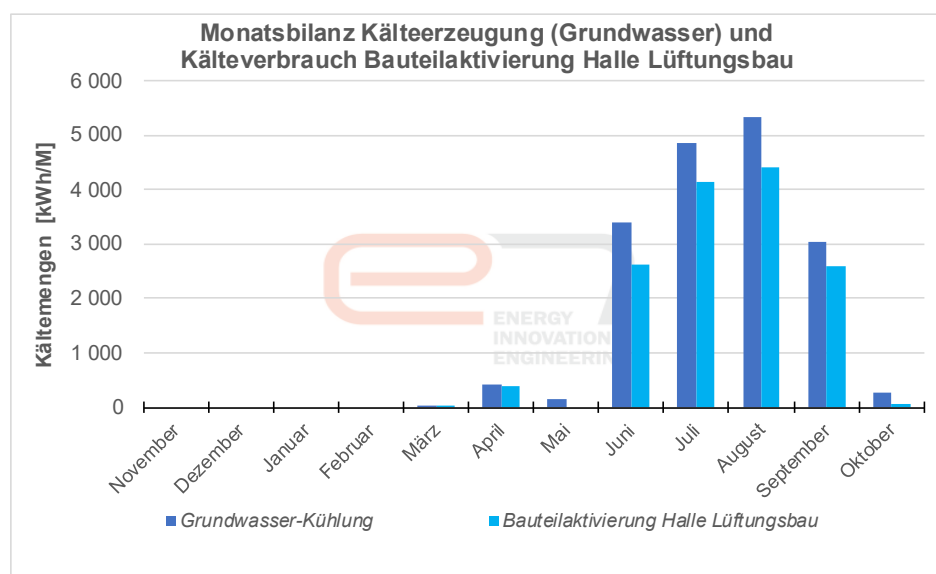


Abbildung 304: Monatsbilanz Kälteerzeugung u. -Verbrauch der Bauteilaktivierung Produktionshalle Lüftungsbau (Quelle: e7)

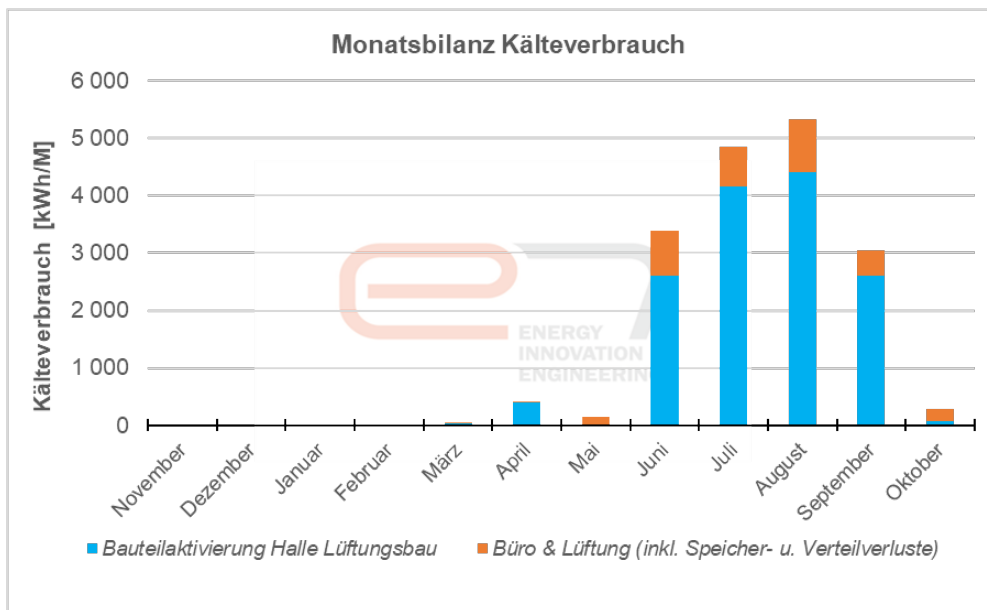


Abbildung 305: Monatsbilanz Kälteverbrauch der Bauteilaktivierung Produktionshalle Lüftungsbau, Büro-Kühlung inkl. Lüftungskälteverbrauch (Quelle: e7)

An den obigen Abbildungen wird ersichtlich, dass bereits im April (Freitag 21. bis Montag 24. April 2023) Kältemengen an die Bauteilaktivierung abgegeben wurden. Die Kälteabgabe an den April-Tagen ist unbeabsichtigt durch eine Fehlschaltung erfolgt. Diese Tage im April waren keine Hitzetage und die Halle hatte geringe Raumlufttemperaturen im Bereich von 17-18°C.

Im Monitoringzeitraum wurde durch die Grundwasser-Kühlung insgesamt eine Kältemenge von 17.500 kWh/a für das Gesamtobjekt bereitgestellt. Es ergibt sich ein spezifischer Kälteverbrauch von 7,6 kWh/m²_{BGFA} entspricht.

Die Anteile der Kälteverbräuche stellen sich wie folgt dar:

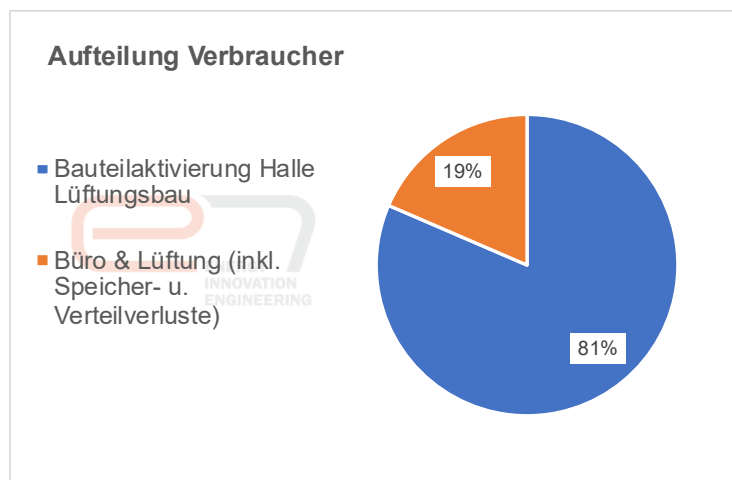


Abbildung 306: Anteile der Kälteverbraucher, Fa. Hörburger Standort Römergrund 9 (Quelle: e7)

Für die Kühlung der Produktionshalle Lüftungsbau wurde eine Kältemenge von 14.260 kWh/a per Bauteilaktivierung abgegeben, welches einem Anteil von 81% am Gesamtkälteverbrauch entspricht.

Kälteabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Zusammenfassung der verzeichneten Betriebsbedingungen der Kühlung Bauteilaktivierung:

- Aktivierung der Kühlung über den Abgabekreis BTA per Zeitprogramm ab 08:00 Uhr (Freigabe wie im Heizfall)
- VL-Temp. liegt bei 16-18°C → VL-Solltemperatur entspricht den Vorgaben der Funktionsbeschreibung Anlagenautomation Hörburger, Stand 03.12.2020)
- RL_Temp liegt bei 18-19°C
- Konstanter Volumenstrom bei ca. 22 m³/h
- Maximale Kälteabgabeleistung (3-Stunden-Mittelwert): 74 kW (am 15.7.2023)
- Maximale spezifische Kälteabgabeleistung: ca. 46 W/m²
- Temperatur-Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf bei max. Kühlleistung: ca. 3 K

Auffälligkeiten und Optimierungspotenziale:

- Eine unbeabsichtigte Kälteabgabe an die Bauteilaktivierung (wie sie z.B. im April 2023 erfolgte) sollte vermieden werden.

8.14.5 Nachfragestruktur Strom

Die Erträge der beiden Photovoltaikanlagen „PV1“ und „PV2“ (Gesamt-Nennleistung 30,72 kWp) werden unterhalb dargestellt.

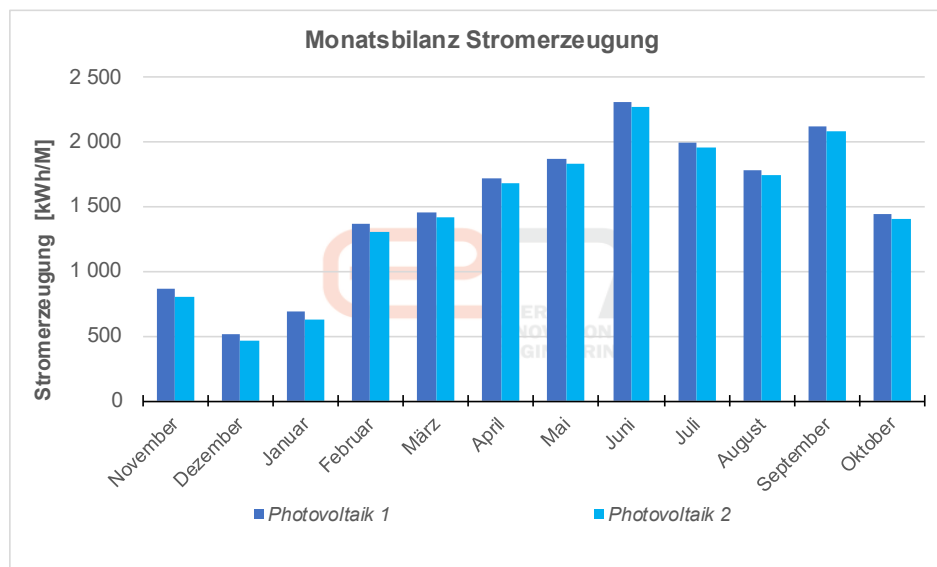


Abbildung 307: Monatsbilanz Stromerzeugung Photovoltaik (Quelle: e7)

Die Erträge der beiden Wechselrichter PV1 und PV2 zeigen geringe Abweichungen, (-2,8% der PV2 im Vergleich zu PV1), welche auf Verschattungseffekte zurückzuführen sind.

Die Monitoringdaten ergeben einen PV-Stromertrag von 35.655 kWh für den Monitoringzeitraum. Es ergibt sich ein guter spezifischer PV-Ertrag von 1.161 kWh/kWp pro Jahr.

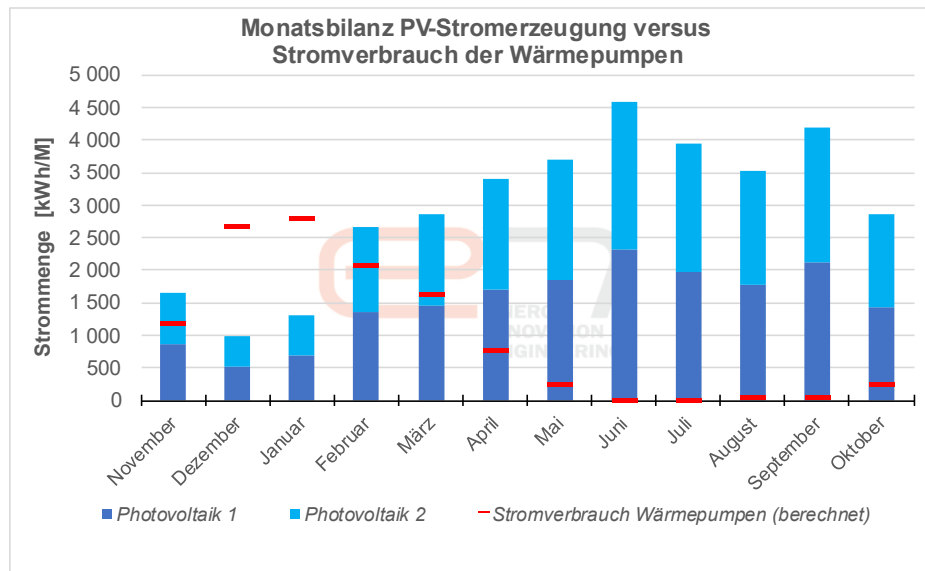


Abbildung 308: Monatsbilanz PV-Stromerzeugung versus Stromverbrauch der Wärmepumpen (Quelle: e7)

Die obige Abb. zeigt, dass die monatlichen Stromverbräuche der Wärmepumpen in den Monaten Dezember und Jänner die PV-Stromerträge deutlich übersteigen. Erwartungsgemäß steigen die PV-Erträge ab Februar an, wodurch innerhalb der Monatsbilanz die Wärmepumpen-Verbräuche gedeckt werden können.

Die Gegenüberstellung der 15-Monitoringdaten von Wärmepumpen-Stromverbrauch und PV-Ertrag ergibt, dass ein Anteil von ca. 29% des Stromverbrauchs der Wärmepumpen durch die lokale PV-Erzeugung gedeckt werden konnte.

8.14.6 Raumkomfort - Monitoring

Referenzraum: Produktionshalle Lüftungsbau

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

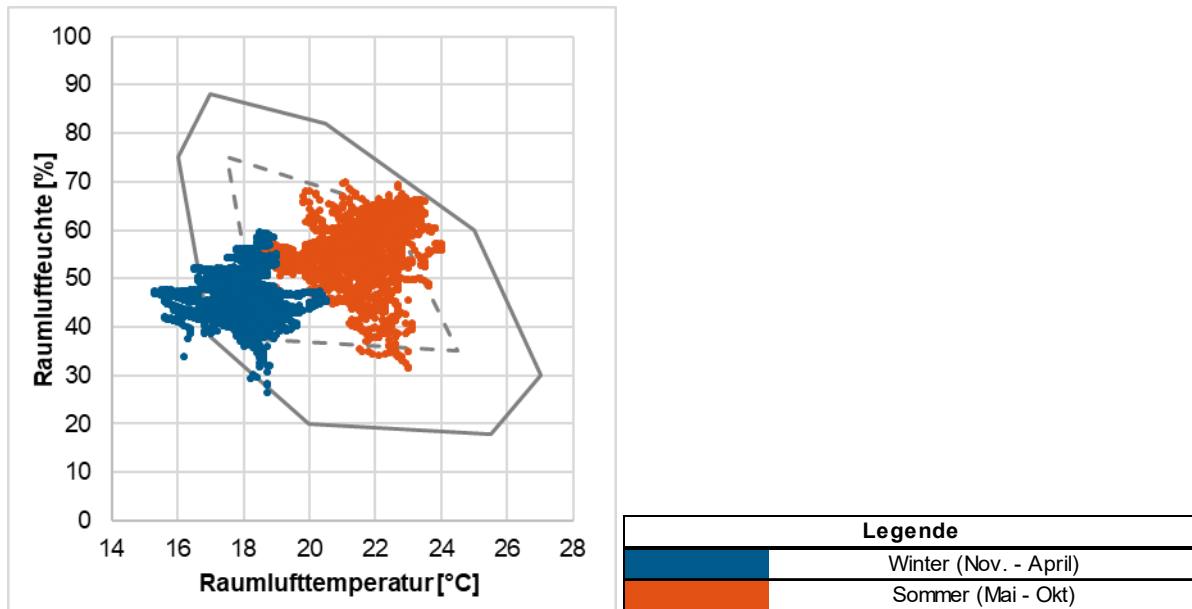


Abbildung 309: Behaglichkeitsdiagramm Produktionshalle Lüftungsbau (Quelle: e7)

Die Produktionshalle liegt weitgehend im noch behaglichen Komfortbereich, was gute Arbeitsbedingungen bestätigt.

Während der ersten beiden Dezember-Wochen (siehe orange Ellipse in nachfolgender Abbildung 310) hat sich die Raumtemperatur bis auf 15,3°C abgesenkt, was auf den damalig gewählten Betriebsmodus der Bauteilaktivierungsheizung zurückzuführen ist (nicht im Automatik-Modus). Ab 19.12.2022 wurde der Automatik-Modus für den Heizungsregelkreis Bauteilaktivierung gewählt, worauf sich die Hallentemperatur wieder erhöht hat.

Auffällig ist die Abkühlung im Zeitraum 16.-19. Jänner (siehe rote Ellipse in nachfolgender Abbildung 310). Dies ist vermutlich auf einen Ausfall bzw. gewollte Deaktivierung des Heizkreises Bauteilaktivierung zurückzuführen. Es erfolgte jedenfalls keine Wärmeabgabe über den Heizkreis während diesen Tagen.



Abbildung 310: Temperaturverlauf Raumtemperatur Produktionshalle Lüftungsbau, Nov. 2022 – Mai 2023 (Quelle: e7)

Die in den farbigen Ellipsen gekennzeichneten Zeiträume sind auch jene Messpunkte, die das Behaglichkeitsfeld (siehe Abbildung 309) im linken Bereich verlassen.

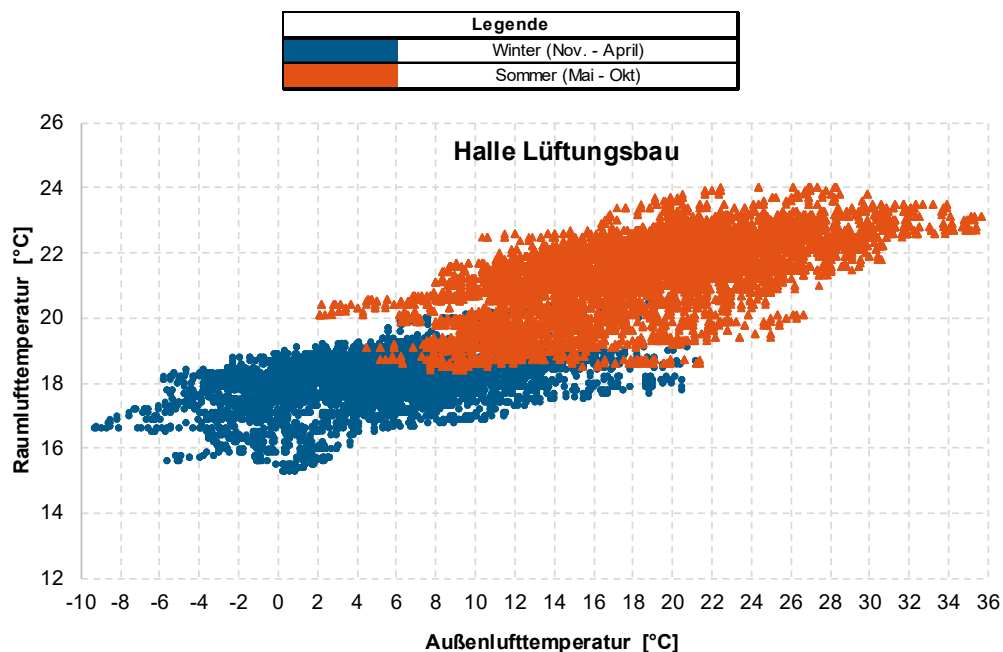


Abbildung 311: Raumlufthtemperatur über Außentemperatur, Produktionshalle Lüftungsbau (Quelle: e7)

Der Raumkomfort bewegt sich für eine Produktionshalle ganzjährig in einem sehr behaglichen Bereich.

Die Lufttemperaturen bewegen sich während der Heizperiode (seit Umstellung des Heizbetriebs) im sehr behaglichen Bereich. Insbesondere während der Sommerperiode werden durch die Kühlung in Kombination mit der Bauteilaktivierung sehr angenehme Temperaturen im Bereich von 22-24°C

eingehalten. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die angewendete Technologie mit der Bauteilaktivierung in der Produktionshalle für sehr komfortable Arbeitsbedingungen sorgt.

Nachfolgend werden die Raumlufthtemperaturen der Produktionshalle den Kategorien der Standardauslegungswerte für Produktionsstätten in Anlehnung an SIA2024:2021 (Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik) gegenübergestellt.

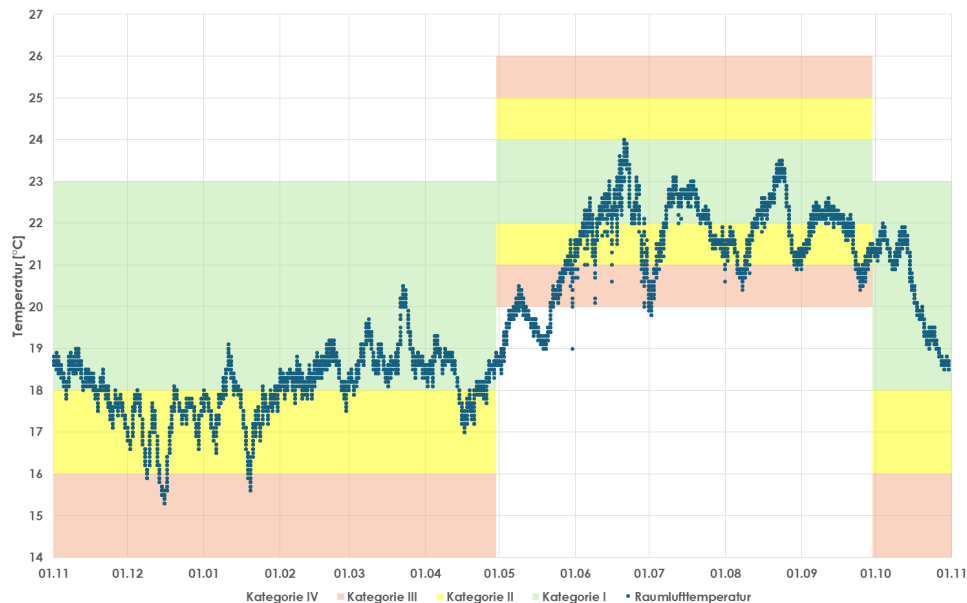


Abbildung 312: Raumlufthtemperatur Produktionshalle und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Produktionsstätten in Anlehnung an SIA2024:2021, Fa. Hörburger, Römergrund (Quelle: e7)

Operative Temperaturen

Die operative Temperatur (gefühlte Temperatur, Empfindungstemperatur) umfasst das Zusammenwirken der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen und ist der Hauptfaktor der thermischen Behaglichkeit.

Für die Produktionshalle wurde die operative Temperatur am 30.09.2023 (Herbst) bestimmt.

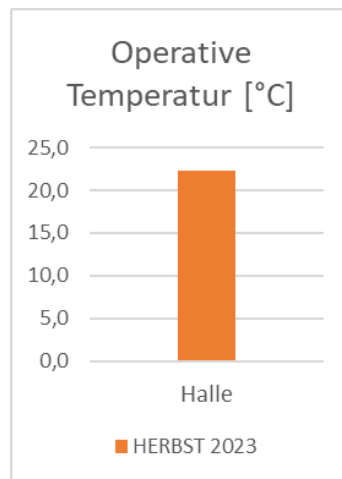


Abbildung 313: Operative Temperaturen für die Produktionshalle, aufgenommen am 30.09.2023 (Quelle: e7)

Die ermittelte operative Temperatur stimmt mit der gemessenen Raumlufthtemperatur überein, welches das gute Raumklima bestätigt.

8.15 Käthe-Dorsch-Gasse, W

Bauteilaktivierung: Elementdecken		
Objektnutzung: Wohnobjekt	Standort: Käthe-Dorsch-Gasse 17 1140 Wien	Fertigstellung: 2022

8.15.1 Objektbeschreibung

Die Wohnhausanlage verfügt über ca. 295 Wohneinheiten verteilt auf eine Bruttogeschoßfläche von ca. 30.100 m². Die Raumwärmeversorgung erfolgt über eine Wärmepumpenanlage, welche zwei Tiefensondenfelder als Wärmequelle nutzen. Im Sommer wird das Erdreich durch die Kühlung des Gebäudes über einen Free-Cooling Wärmetauscher regeneriert. Sowohl die Heizung als auch die Kühlung der Räume erfolgt über thermische Bauteilaktivierung. Für die Regeneration des Erdreichs kommen neben der Gebäudekühlung auch thermische Solarkollektoren sowie ein Asphaltkollektor zum Einsatz. Die erforderliche Wärme zur Warmwasserbereitung stammt aus einem Abwasserwärmerückgewinnungssystem. Das Schmutzwasser wird dabei in einem Behälter zwischengespeichert. Mit einer Wärmepumpe wird dem Schmutzwasser die enthaltene Wärme entzogen und auf das für die zentrale Warmwasserverteilung erforderliche Temperaturniveau angehoben. Unterstützt wird das System durch eine Zirkulationswärmepumpe, welche die Abwärme aus dem Technikraum nutzt. Das Gebäude verfügt zudem über eine Photovoltaik-Anlage, welche mit einem Batteriespeicher ergänzt ist.

Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	30.100 m ²	Eigentümer: Wohnbauvereinigung für Privatangestellte gemeinnützige Ges.m.b.H. Web: http://www.wbv-gpa.at/
HKLS-Planung	HTB-PLAN Haustechnik Planungs GmbH	
Architektur	ARGE-KDG Christoph Lechner & Partner ZT GmbH; BERGER+PARKKINEN Architekten ZT GmbH	

Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- Massivbau in Niedrigstenergiestandard, 6-geschoßig
- drei miteinander verbundene Baukörper
- Stahlbeton-Massivbauweise mit WDVS
- mittlerer U-Wert 0,24 W/m²K

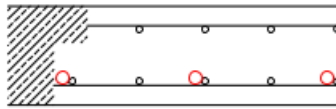
- Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen ($U_w=0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- teilweise außenliegender Sonnenschutz
- Kompakte Bauweise, $A/V = 0,29 \text{ [1/m]}$, charakteristische Länge $3,48 \text{ [m]}$
- $\text{HWB}_{\text{SK}}=16 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (gemittelt über alle Gebäudeteile)
- $\text{HEB}_{\text{SK}}=14 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (gemittelt über alle Gebäudeteile)
- $\text{EEB}_{\text{SK}}=34 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (gemittelt über alle Gebäudeteile)

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde in den Geschoßdecken ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Geschoßdecken	
Einsatz	Heizung und Kühlung
Aktivierte Fläche	Geschoßdecken ($30.100 \text{ m}^2\text{BGF}$)
Aktiviertes Material	Ortbeton mit Rohrleitungen auf unterer Bewehrungslage, Deckenstärke 23 cm Halbfertigteil mit Rohrleitungen auf Fertigteilelement, Deckenstärke 23 cm
Verlegungsart	System Kelit, Dimension $16 \times 2,0 \text{ mm}$, PE, VA=15cm
Regelungsstrategie	Zonenregelung mit Raumbediengerät im Wohnzimmer. Badezimmer verfügen zusätzlich über elektrische Strahler. Im Kühlfall werden die Badezimmer von der Kühlung ausgenommen. Die Change-Over Umschaltung zwischen Heizen und Kühlen erfolgt dezentral.
Leistungskennzahlen	Auslegungstemperaturen: Heizen $34/30^\circ\text{C}$, Kühlen $20/22^\circ\text{C}$ Abgabeleistung: Heizen 510 kW

Ortbeton
Rohrleitungen auf unterer Bewehrungslage
Überdeckung ca- 3-5 cm



Halbfertigteil
Rohrleitungen auf Fertigteilelement
Überdeckung ca. 6-8 cm

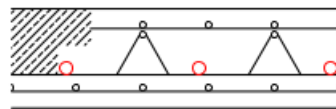


Abbildung 314: Schnittdarstellung Geschoßdecke (Quelle: hacon GmbH)

Gebäudetechnik und Messkonzept

Gebäudetechnik

Heizung

zentrale Wärmeversorgung durch drei Solewärmepumpen und zwei Tiefensondenfelder mit 30 bzw. 34 Sonden á 142 m

Wärmepumpe:

Viessmann Vitocal 300-G Pro (175 kW bei 5/35°C)

Viessmann Vitocal 300-G Pro (138 kW bei 5/35°C)

Viessmann Vitocal 350-G Pro (155 kW bei 5/35°C)

Regeneration

Solarabsorber

178 Stk. / 290 m² / 341 kW

Asphaltkollektor

135 m² á 300 W/m² / 41 kW

Brauch-Warmwasser

zentrale Brauchwasserbereitung für das Gesamtobjekt durch Abwasserwärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe und zusätzlicher Zirkulationswärmepumpe

Abwasserschacht:

Betonschacht Nutzvolumen 40m³

Wärmepumpe:

Viessmann Vitocal 350-G Pro (136 kW bei 0/60°C)

Speicher:

3x 5.000 L

Zirkulationswärmepumpe:

Viessmann Vitocal 350-A (28 kW)

Kühlung

Free Cooling Wärmetauscher (266 kW)

Wärmeabgabe	Bauteilaktivierung (510 kW)
Kälteabgabe	Bauteilaktivierung (266 kW)
Lüftungstechnik	dezentrale Abluftventilatoren mit dauerhafter Grundlast Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung für Nichtwohnbereiche mit Heizregister (15 kW)
Elektrische Energie	Öffentliches Netz, Photovoltaik-Anlage (70 kWp), Eigenstromnutzung für Haustechnik und Überschuss-Einspeisung

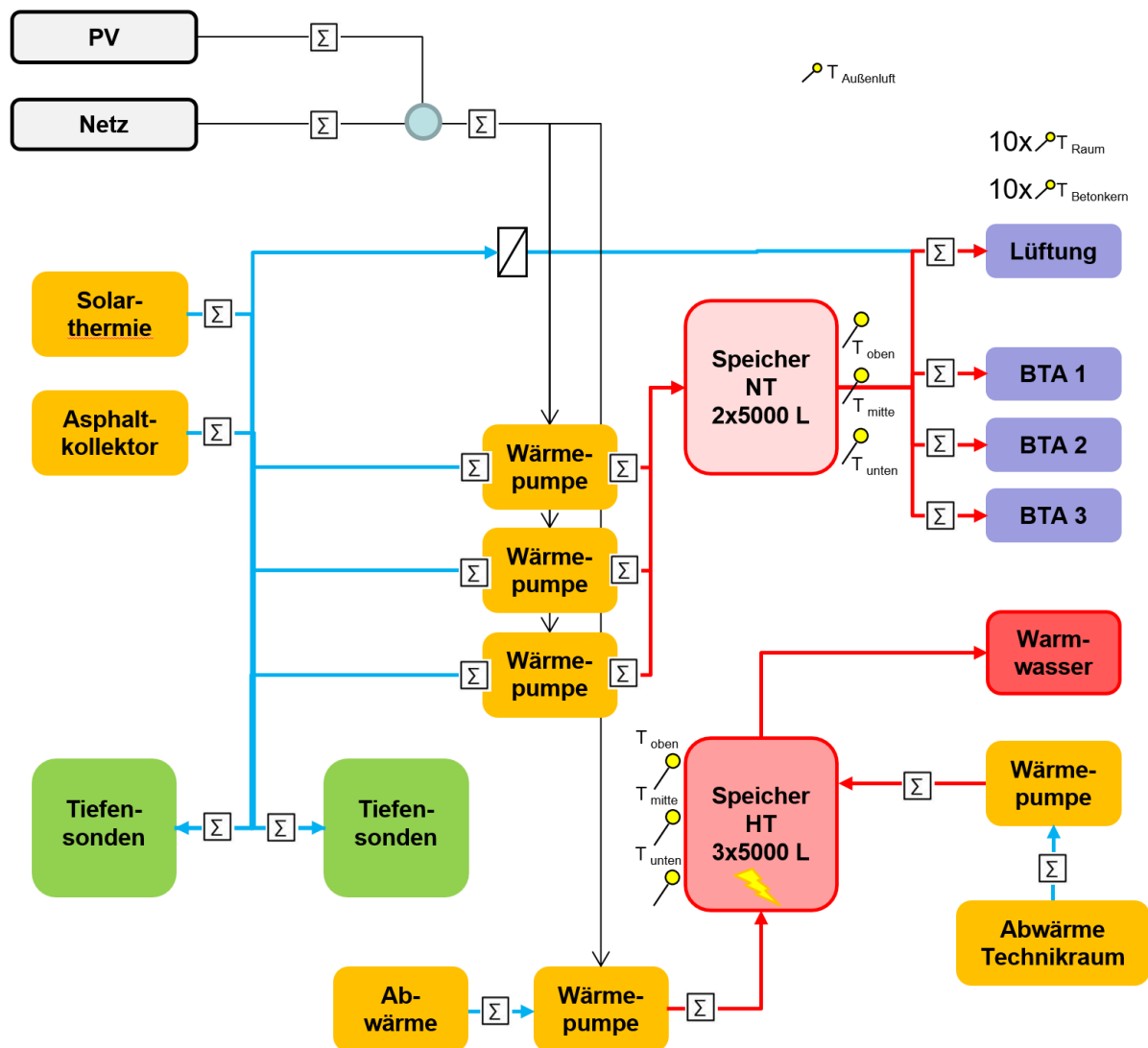


Abbildung 315: Prinzipschema Objekt Käthe-Dorsch-Gasse 17, Gebäudetechnik und Messkonzept (Quelle: hacon GmbH)

8.15.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: 1. Jänner 2024 – 31. Dezember 2024 (2. Betriebsjahr)

Gebäudeflächen lt. Energieausweis	
Brutto-Grundfläche (BGF)	30.361 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	22.600 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung		
Speicherkapazität	Sämtliche Geschossdecken: 4461 kWh/K = 0,14 kWh/Km ² _{BGF} Eine aktiv geregelte Nutzung der Speicherfähigkeit der BTA liegt derzeit nicht vor.	
Deckungsgrad lokaler Energieträger	Erzeugungsdaten der lokalen PV nur für 3 Monate des o.a. Monitoringzeitraum verfügbar.	
Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast (Simulation)	478 kW 21 W/m ² _{BF}
	Installierte Heizleistung (Wärmepumpensystem)	468 kW 21 W/m ² _{BF}
	Gemessene max. Heizleistung	662 kW 29 W/m ² _{BF}
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen	Parameter	Gesamtgebäude
	Aktivierte Fläche	ca. 22.600 m ² _{akt.}
	Max. Heizleistung	ca. 662 kW (im Tageschnitt 335 kW)
	Max. spezifische Heizleistung	29 W/m ² _{akt.} (im Tageschnitt 15 W/m ² _{akt.})
	Vorlauftemperatur Heizen	24 – 31°C
	Spreizung bei max. Heizleistung	2,8 K
	Max. Kühlleistung	ca. 277 kW (im Tageschnitt 200 kW)
	Max. spezifische Kühlleistung	ca. 12 W/m ² _{akt.} (im Tageschnitt 9 W/m ² _{akt.})
	Vorlauftemperatur Kühlen	20-21°C
	Spreizung bei max. Kühlleistung	2,0 K

Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (thermisch) (gesamt für Raumwärme, Warmwasserbereitung inkl. Speicher- und Verteilverluste)	49,5 kWh/m ² _{BGFa}
Kühlenergieverbrauch	9,8 kWh/m ² _{BGFa}

8.15.3 Nachfragestruktur Wärme

Darstellung der Messergebnisse:

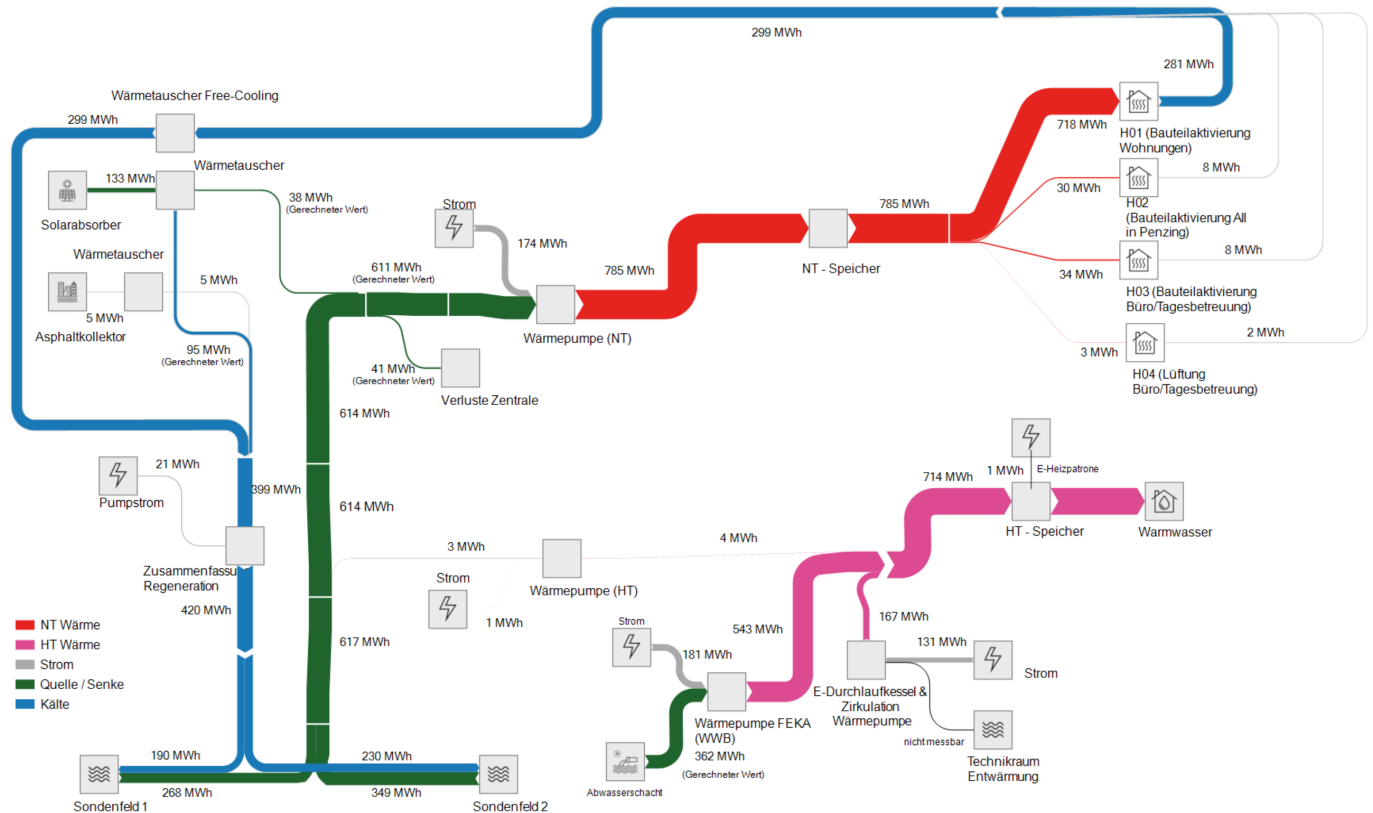


Abbildung 316: Energieflussdiagramm (gemessen) der Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

In Abbildung 316 sind sämtliche Im Auswertungszeitraum von 01.01.2024 bis 31.12.2024 gemessenen Energieströme in Form eines Energieflussdiagramms dargestellt. Ein Energieflussdiagramm zeigt anschaulich, wie Energie innerhalb eines Systems gewonnen, umgewandelt, verteilt und genutzt wird. Die Breite der einzelnen Flüsse ist dabei proportional zur Energiemenge, wodurch auf einen Blick erkennbar ist, welche Quellen oder Verbraucher dominieren. Auf der linken Seite sind die Energiequellen (Tiefensondenfelder, solarthermische Kollektor) dargestellt, während in der Mitte Umwandlungsprozesse (Wärmepumpen) zu finden sind. Rechts werden die Endnutzungen (Abgänge Bauteilaktivierung und Warmwasser) sichtbar.

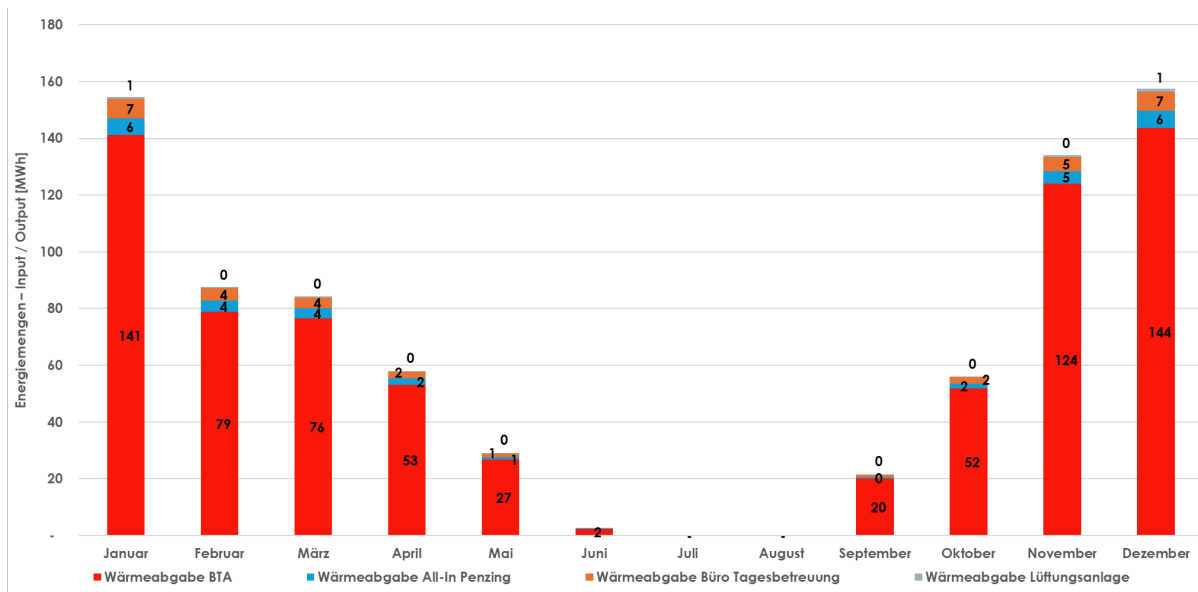


Abbildung 317: Monatsbilanz Wärmeverbrauch Raumheizung Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

Das gesamte Wohngebäude wird mithilfe von Bauteilaktivierung konditioniert. Hierfür entsteht ein Wärmeverbrauch von 785 MWh, dieser findet größtenteils in der Heizperiode von September bis Mai statt. Dies entspricht einem spezifischen Heizwärmeverbrauch von 25 kWh/m²a.

Besonderheiten Gewerk Heizung und Optimierungspotenziale

Bei einer detaillierten Betrachtung der Monitoringdaten besonders für die Wärmebereitstellung sind Auffälligkeiten bezüglich der Regelung der Niedertemperaturwärmepumpe ersichtlich geworden.

Im untersuchten Bauvorhaben werden sämtliche Wohnungen mit Bauteilaktivierung, als einziges Wärmeabgabesystem, mit Wärme versorgt. In jeder Wohneinheit ist ein Raumthermostat angebracht, an dem die Sollraumtemperatur eingestellt werden kann. Bei Unterschreiten des Sollwerts werden die einzelnen Heizkreise der Bauteilaktivierung geöffnet und mit Wärme durchströmt. In diesem Bauvorhaben werden jedoch jeweils ein bis zwei Heizkreise pro Wohnung ungeregelt, das heißt konstant mit Wärme durchflossen, sodass Teile der Speichermassen stets beladen sind und sämtliche Wohnungen durchgehend mit Wärme versorgt werden.

Die erforderlichen Temperaturen der NT-Wärmeabgabe übersteigen in nur wenigen Stunden 28°C. Die Temperatur vor der Beimischung (Niedertemperatur-Speicher) liegt zumeist zwischen 35 und 40°C. Diese Temperaturen sind sowohl für die Wärmeabgabe über die Bauteilaktivierung als auch für das Heizregister der Lüftungsanlage (Tagesbüro) nicht notwendig. In Abbildung 318 wird der Zusammenhang der Vorlauftemperatur aus dem Niedertemperatur-Speicher und der Vorlauftemperatur in die Bauteilaktivierung mit der Temperatur der Außenluft verglichen. In Abbildung 319 ist der Zusammenhang der Nutztemperatur und der Speichertemperatur dargestellt. Die Temperaturen im Niedertemperaturspeicher resultieren zum einen aus den eingesetzten Wärmepumpen, die konstruktionsbedingt eine Mindesttemperatur von 37 °C liefern, und zum anderen aus der erforderlichen Mindestlaufzeit von rund 30 Minuten. Diese Vorgabe dient dem Schutz der Anlage und unterstützt eine längere Lebensdauer. Sollte künftig ein Austausch der Wärmepumpen

notwendig werden, kann die Effizienz verbessert werden, indem die neuen Geräte niedrigere Kondensationstemperaturen zulassen.

Die konstante Wärmeversorgung der Wohnungen führt nicht nur zu sehr niedrigen erforderlichen Vorlauftemperaturen, sondern gleichzeitig auch zu geringen Spreizungen in der Wärmeversorgung, ersichtlich in Abbildung 320. Dies hat zur Folge, dass die Umwälzpumpen der Abgänge der Bauteilaktivierung mit einem hohen elektrischen Aufwand betrieben werden müssen, da kontinuierlich ein Mindestmassenstrom im gesamten Gebäude zirkuliert werden muss – selbst bei geringer Wärmeabgabe.

Um den Stromverbrauch der Umwälzpumpen zu reduzieren, wurden daher mehrere Anpassungen an der Regelstrategie umgesetzt. Einerseits wird der Auto-Betrieb der Anlage – also der Betriebszustand, in dem weder geheizt noch gekühlt wird – zeitlich ausgeweitet. Andererseits wird die Laufzeit der Umwälzpumpe künftig in Abhängigkeit der Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf angepasst.

Die nach der Heizperiode in den Speichermassen vorhandene Wärmeenergie sowie die hochwertige thermische Gebäudehülle ermöglichen es, das Gebäude über mehrere Tage ohne aktive Wärme- oder Kälteversorgung zu betreiben, ohne dass es dabei zu spürbaren Einbußen bei der thermischen Behaglichkeit der Bewohnerinnen und Bewohner kommt. Durch die Kopplung der Pumpenlaufzeit an die Spreizung wird sichergestellt, dass die Umwälzpumpe nur dann mit höherer Leistung betrieben wird, wenn tatsächlich ein Wärme- oder Kältebedarf vorliegt. Diese Maßnahme trägt zur Reduktion des elektrischen Energiebedarfs der Anlage bei.

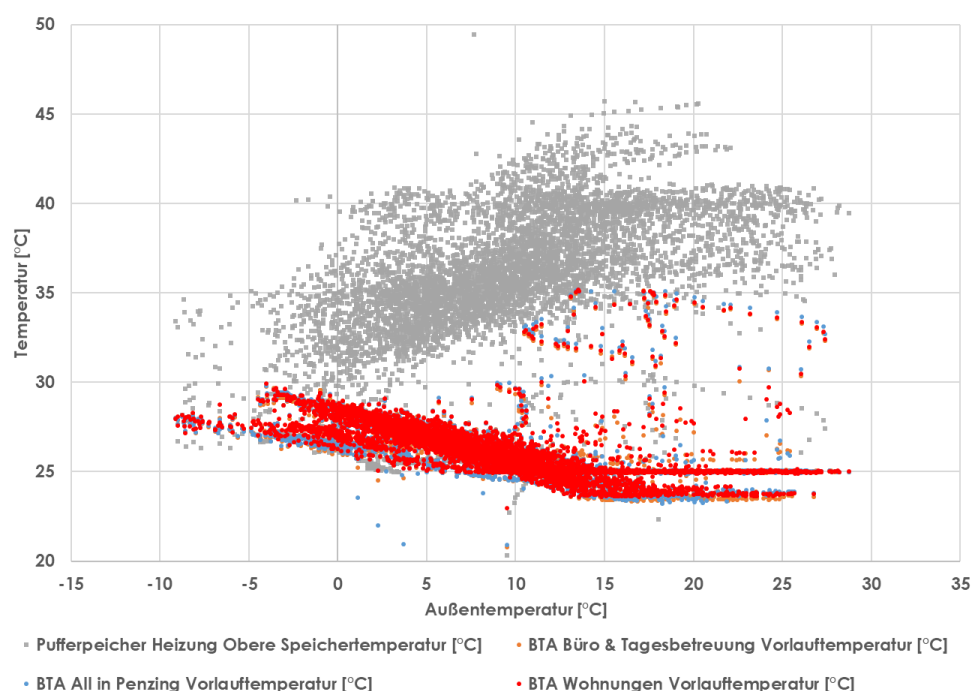


Abbildung 318: Zusammenhang Vorlauftemperatur für Raumwärme / Außenlufttemperatur für den Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

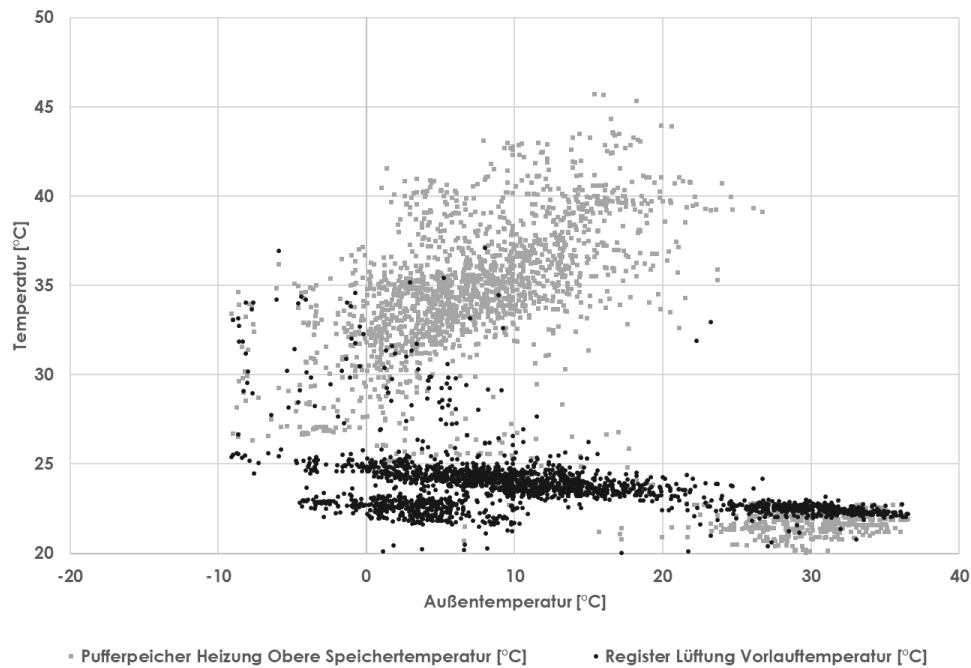


Abbildung 319: Zusammenhang Vorlauftemperatur für die Lüftungsanlage / Außenlufttemperatur für den Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

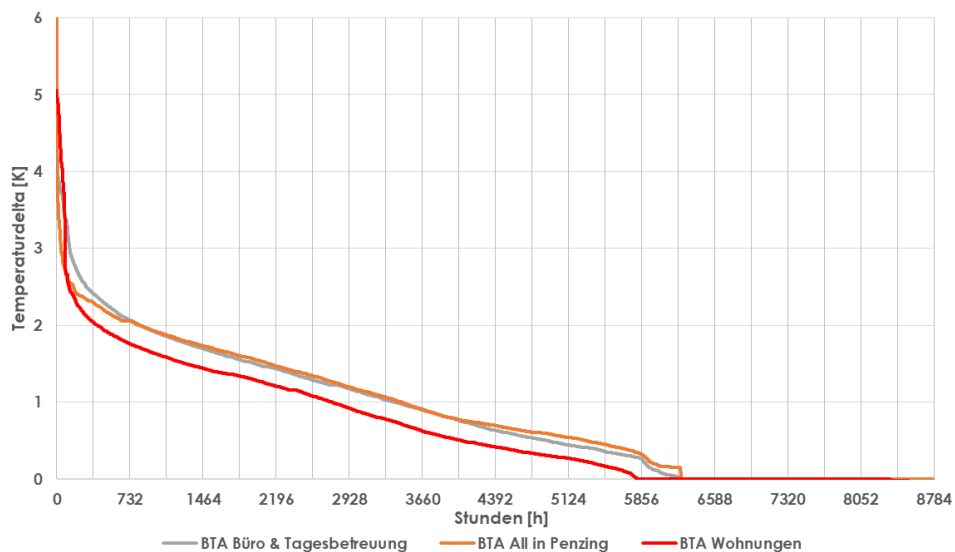


Abbildung 320: Jahresdauerlinie der Spreizungen der einzelnen Bauteilaktivierungsabgänge der Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

Die Heizleistung der Abgänge der Bauteilaktivierung in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ist in Abbildung 321 dargestellt.

Durch die konstante Versorgung der Wohnungen mit Wärme in einigen Heizkreisen kann die maximale erforderliche Heizleistung niedrig gehalten werden. Die höchste erforderliche Heizleistung im 24h-Schnitt liegt bei 335 kW, das entspricht einer gemessenen spezifischen Heizlast von 15 W/m². Die in der

Grafik dargestellten Heizleistungen von rund 450 kW entstehen durch den Wechsel vom Heiz- in den Kühlbetrieb. Das Umschalten der einzelnen Raumregler in den Wohneinheiten erfolgt dabei über Anlagefühler, welche die aktuelle Vorlauftemperatur erfassen und entsprechend zwischen Heiz- und Kühlbetrieb umschalten. Zu Beginn der Heizperiode wird die Anlage daher kurzzeitig mit hohen Vorlauftemperaturen betrieben, um ein ordnungsgemäßes Umschalten in den Heizbetrieb sicherzustellen. Entsprechend werden kurzfristige hohe Heizleistungen in den Abgängen der Bauteilaktivierung messtechnisch erfasst. Diese Leistungen haben jedoch nichts mit einer Anforderung des Gebäudes zu tun. Nachdem festgestellt wurde, dass die Umschaltung über die Anlagefühler nicht einwandfrei funktioniert, wurden sämtliche Raumthermostate ersetzt. Die Umschaltung erfolgt nun über Kippschalter am Raumthermostat.

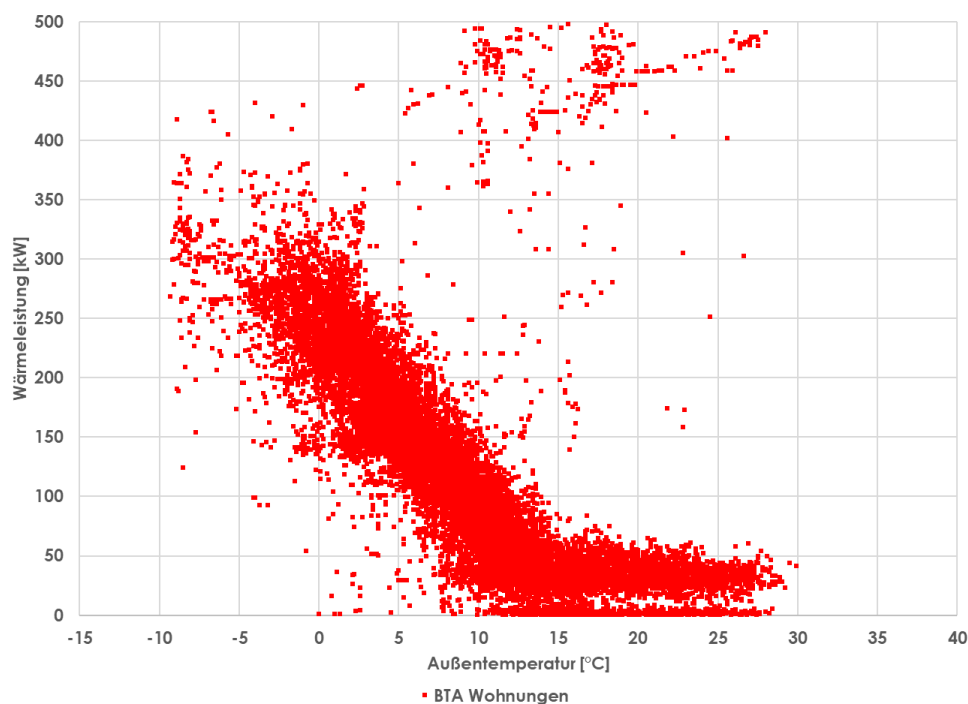


Abbildung 321: Zusammenhang Heizleistung der Bauteilaktivierung / Außenlufttemperatur in der Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

Die nachfolgende Abbildung zeigt die stündliche Heizleistungsverteilung an die Bauteilaktivierung über den Auswertungszeitraum von einem Jahr. Auf der y-Achse sind die Tagesstunden dargestellt, die x-Achse repräsentiert den Jahresverlauf. Je dunkler das Rot dargestellt wird, desto höher ist die abgegebene Heizleistung.

Man erkennt, dass die Wärmeversorgung an den einzelnen Tagen nahezu konstant erfolgt. In den Morgen- bzw. Nachtstunden sind etwas höhere Leistungen erkennbar, resultierend durch die hinterlegte Heizkurve, bei der je niedriger die Außenlufttemperatur eine höhere Vorlauftemperatur in die Bauteilaktivierung eingebracht wird.

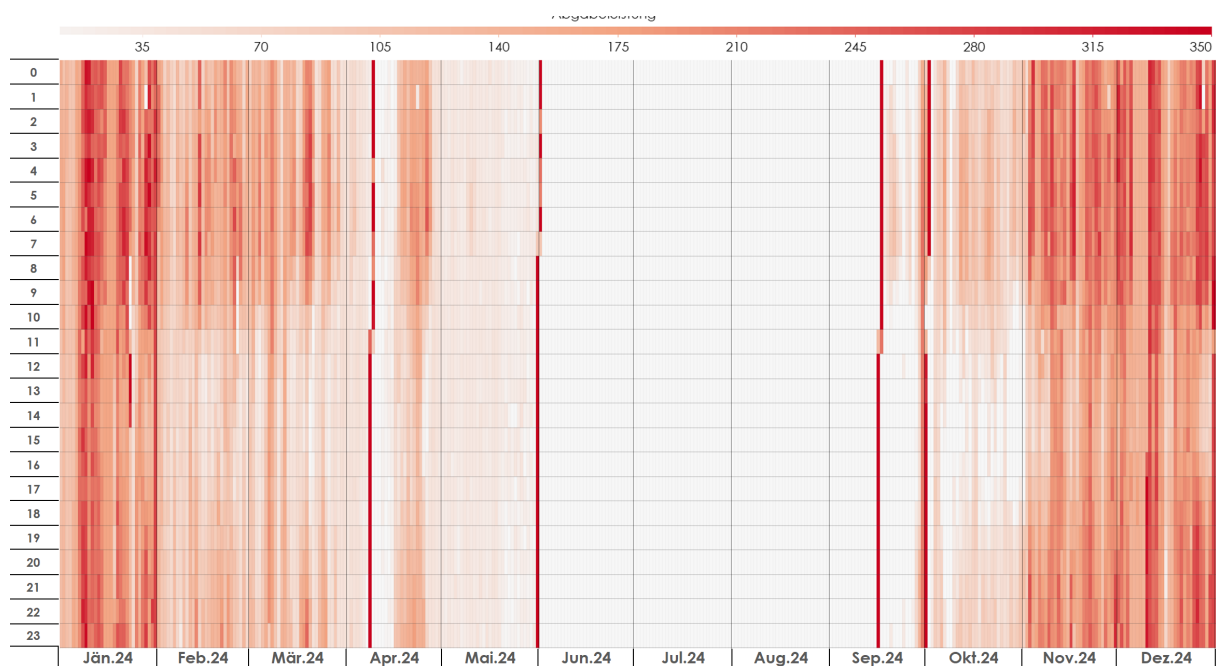


Abbildung 322: Stündlich abgegebene Abgabeleistung der Bauteilaktivierung in der Kälte-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

Ein wesentlicher Faktor für die Beurteilung des Betriebs einer gebäudetechnischen Anlage sind die Jahresarbeitszahlen der eingesetzten Wärmepumpen. Die eingesetzten Wärmepumpen, in Abbildung 323 beschriftet als Wärmepumpe 1 bis Wärmepumpe 3, bespielen im analysierten Zeitraum den Niedertemperaturspeicher, welcher wiederum als Wärmequelle für die Abgänge der Bauteilaktivierung fungiert. Die Jahresarbeitszahlen der Hauptwärmepumpen für Raumwärme liegen im gemessenen Zeitraum knapp über 5. WP3 bereitet ebenfalls Raumwärme, wird jedoch als Ausfallssicherheit der Warmwasserbereitung eingesetzt. Über einer Abwasserwärmerückgewinnungsanlage, in Abbildung 323 als WP4 gekennzeichnet, erfolgt die Bereitstellung des Warmwassers. In der bisherigen Regelung sind die Wärmepumpen 1-3 abwechselnd gelaufen. Als Optimierungsmaßnahme wird die Regelung der Anlage nun dahingehend abgeändert, dass die Raumwärme vorrangig über die Wärmepumpen 1 und 2 bereitgestellt wird, da diese im Niedertemperaturbetrieb höhere Arbeitszahlen erreichen.

Des Weiteren hat das Temperaturniveau der Wärmequelle entscheidenden Einfluss auf die Effizienz einer Wärmepumpenanlage. Durch die Regeneration der beiden Tiefensondenfelder durch die Raumkühlung, die solarthermische Anlage auf den Dächern des Bauvorhabens und den Asphaltkollektor zur Entwärmung der Umgebungsluft (Reduktion der Hitzeinseln) können vergleichsweise hohe Quelltemperaturen bereitgestellt und somit ein effizienter Betrieb der Wärmepumpenanlage ermöglicht werden.



Abbildung 323: Gemessene Jahresarbeitszahlen der einzelnen Wärmepumpen in der Kätthe-Dorsch-Gasse 17

Wärmeabgabe im Detail

Eine über die Regelung angesteuerte aktive Speicherung von Wärme in der Bauteilaktivierung wurde nicht umgesetzt. Durch die unregelmäßigen Heizkreise in jeder Wohnung werden die Bauteilmassen aber konstant geladen und somit die Lasten geglättet.

Verzeichnete Betriebsbedingungen der Heizung über Bauteilaktivierung:

- Die Regelung der Raumheizung ist wohnungsweise umgesetzt. Das Regelungselement befindet sich im Wohnzimmer. Es werden jedoch nicht alle Heizkreise über das Raumthermostat angesteuert. Pro Wohnung gibt es zwei Heizkreise, welche konstant mit Wärme durchströmt werden.
- Die Vorlauftemperatur der Wärmeversorgung liegt im Bereich von 29 °C bis 25 °C.
- Die Spreizung der Vor- und Rücklauftemperatur der Bauteilaktivierung zum Zeitpunkt der höchsten Heizleistung beträgt 2,8 K.
- Die Umwälzpumpe wird über den Differenzdruck geregelt.
- Die maximale Kälteabgabeleistung liegt im Tagesschnitt bei rund 335 kW. Das entspricht einer spezifischen Abgabeleistung von 15 W/m².

8.15.4 Nachfragestruktur Kälte

Darstellung der Messergebnisse:

In folgender Abbildung 324 wird die Monatsbilanz der durch die Bauteilaktivierung abgeführten Kälte dargestellt.

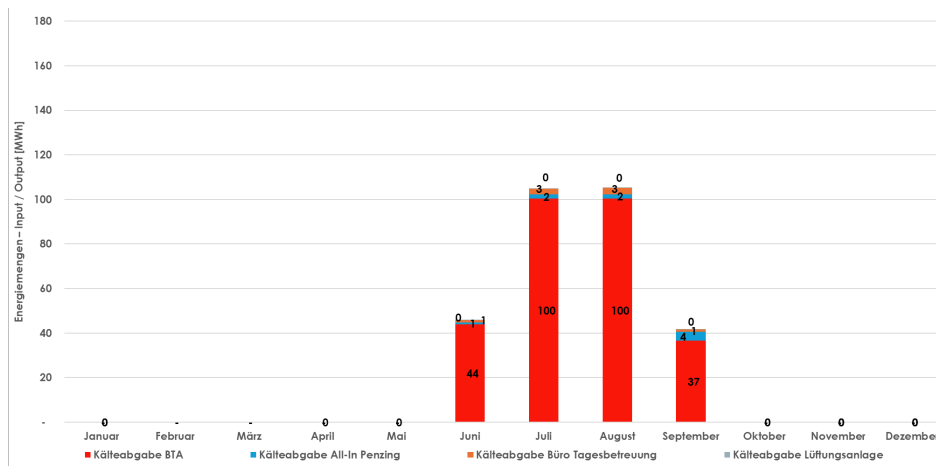


Abbildung 324: Monatsbilanz der abgeführten Kälte durch die Bauteilaktivierung Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

Die abgeführte Kälte wird über einen Freecooling – Wärmetauscher an die Tiefensonden abgegeben. Es werden 298 MWh/a abgeführt.

Besonderheiten und Optimierungspotenzial

Für die Vorlauftemperaturen der Bauteilaktivierungsabgänge werden konstante Sollwerte vorgegeben. In Abbildung 90 wird die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur dargestellt. Aus der Abbildung lassen sich zwei unterschiedliche Sollwerte für die Vorlauftemperatur ablesen, da diese während des Monitoringzeitraums angepasst wurde. Zusätzlich ist in der nachfolgenden Abbildung die Sondenaustrittstemperatur dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Sollwerte der Vorlauftemperatur durchgängig eingehalten werden konnten. Eine Überwärmung der Sonden liegt somit nicht vor.

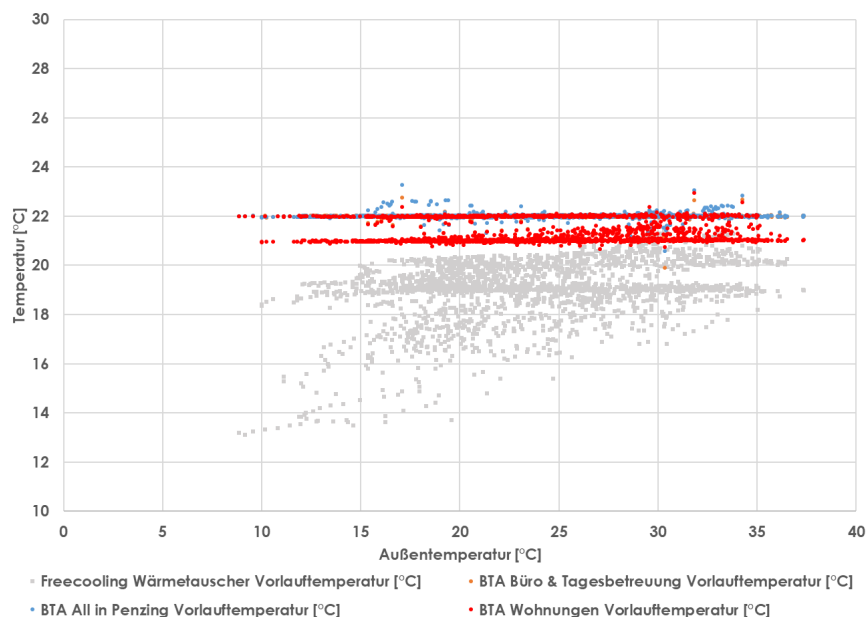


Abbildung 325: Zusammenhang Vorlauftemperatur für Raumkühlung / Außenlufttemperatur Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

Analog zu den Auswertungen im Heizfall lassen sich während der Kühlperiode geringe Spreizungen messen. Diese sind als Jahresdauerlinie in Abbildung 326 dargestellt. Die Spreizungen liegen in einem Bereich von unter 2 K. Begründet können diese Werte unter anderem durch die konstante Kälteversorgung der ungeregelten Heizkreise.

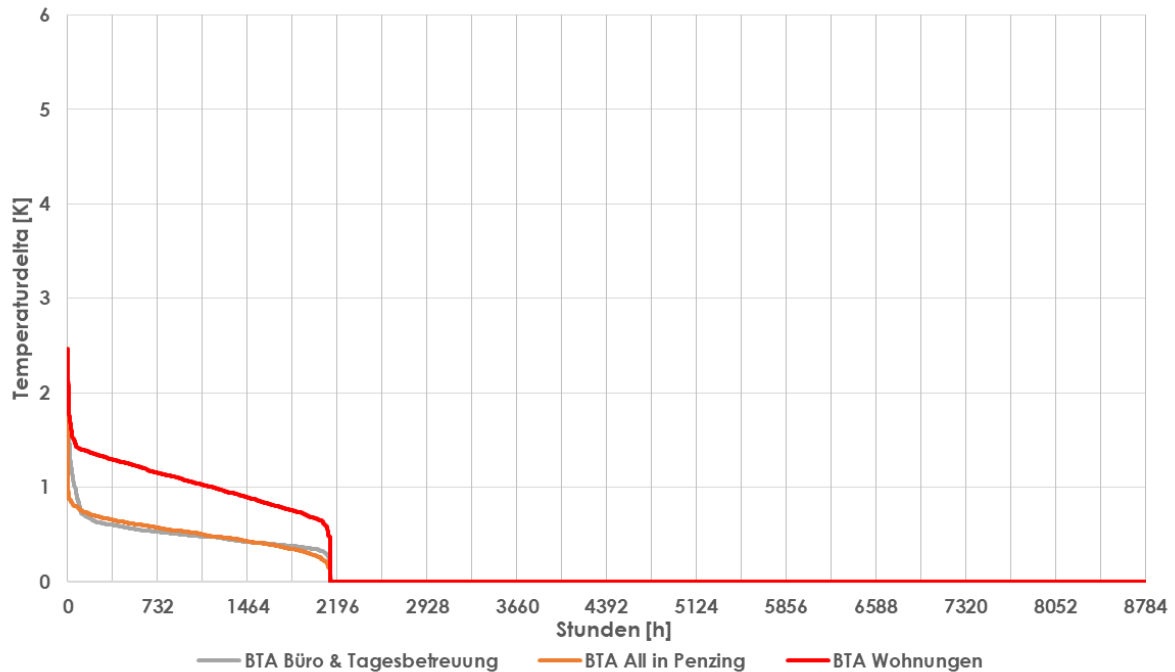


Abbildung 326: Jahresdauerlinie der Spreizungen der einzelnen Bauteilaktivierungsabgänge (Quelle: hacon GmbH)

Die abgeführte Kühlleistung der Abgänge der Bauteilaktivierung in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ist in Abbildung 327 dargestellt. Aufgrund der konstanten Vorlauftemperaturen sind die entzogenen Kälteleistungen nicht direkt von der Außenlufttemperatur abhängig. Die maximale Kühlleistung wird mit rund 200 kW gemessen, dies entspricht einer spezifischen Kühlleistung von rund 9 W/m^2 . Im Heizfall werden zwei ungeregelte Heizkreise mit Wärme durchströmt. Im Kühlfall wird nur ein ungeregelter Heizkreis betrieben, da das Badezimmer in diesem Betriebsmodus weggeschaltet bleibt. Dadurch ist im Kühlfall der Anteil der ungeregelten Heizkreise kleiner.

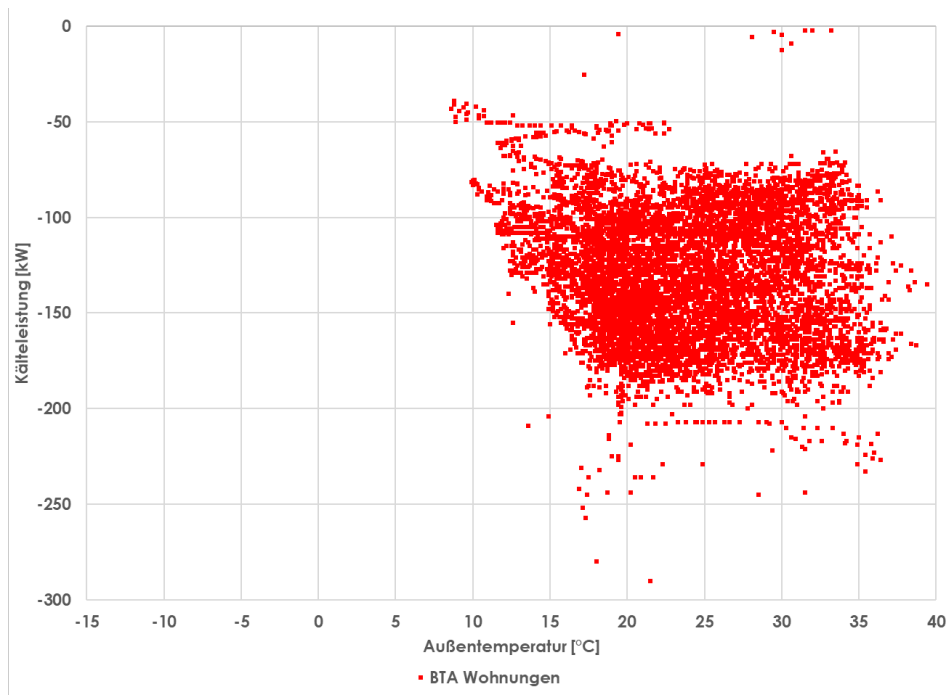


Abbildung 327: Zusammenhang Kühlleistung der Bauteilaktivierung / Außenlufttemperatur Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

Die nachfolgende Abbildung zeigt die stündliche Kühllastverteilung der Bauteilaktivierung über den Auswertungszeitraum von einem Jahr. Auf der y-Achse sind die Tagesstunden dargestellt, die x-Achse repräsentiert den Jahresverlauf. Je dunkler das Blau dargestellt wird, desto höher ist die abgegebene Kühlleistung. Man erkennt, dass die Wärmeabfuhr an den einzelnen Tagen nahezu konstant erfolgt.

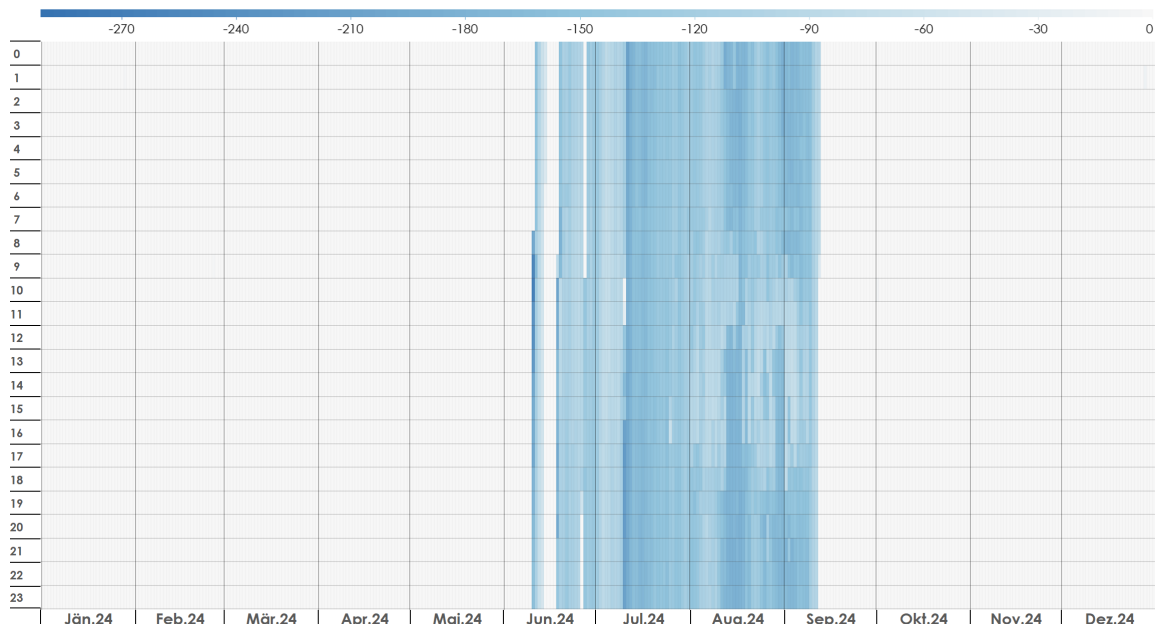


Abbildung 328: Stündlich entzogene Wärmeleistung der Bauteilaktivierung der Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

Kälteabgabe im Detail

Eine über die Regelung angesteuerte aktive Speicherung von Kälte in der Bauteilaktivierung wurde nicht umgesetzt. Durch die unregelmäßigen Heizkreise in jeder Wohnung werden die Bauteilmassen aber konstant entladen und somit die Lasten geglättet.

Verzeichnete Betriebsbedingungen der Kühlung über Bauteilaktivierung:

- Die Regelung der Raumkühlung ist wohnungsweise umgesetzt. Das Regelungselement befindet sich im Wohnzimmer. Es werden jedoch nicht alle Kühlkreise über das Raumthermostat angesteuert. Pro Wohnung gibt es einen Kühlkreis, welcher konstant durchströmt wird.
- Die Vorlauftemperatur der Kälteversorgung liegt im Bereich von 21 °C bis 22 °C.
- Die Spreizung der Vor- und Rücklauftemperatur der Bauteilaktivierung zum Zeitpunkt der höchsten Kühlleistung beträgt 2 K.
- Die Umwälzpumpe wird über den Differenzdruck geregelt.
- Die maximale Kälteabgabeleistung liegt im Tagesschnitt bei rund 200 kW. Das entspricht einer spezifischen Abgabeleistung von 9 W/m².

8.15.5 Nachfragestruktur Strom

In Abbildung 329 wird die lokale Stromerzeugung mittels Photovoltaikanlage in einer Monatsbilanz dargestellt. Über das Jahr werden rund 70 MWh/a lokal elektrische Energie erzeugt.

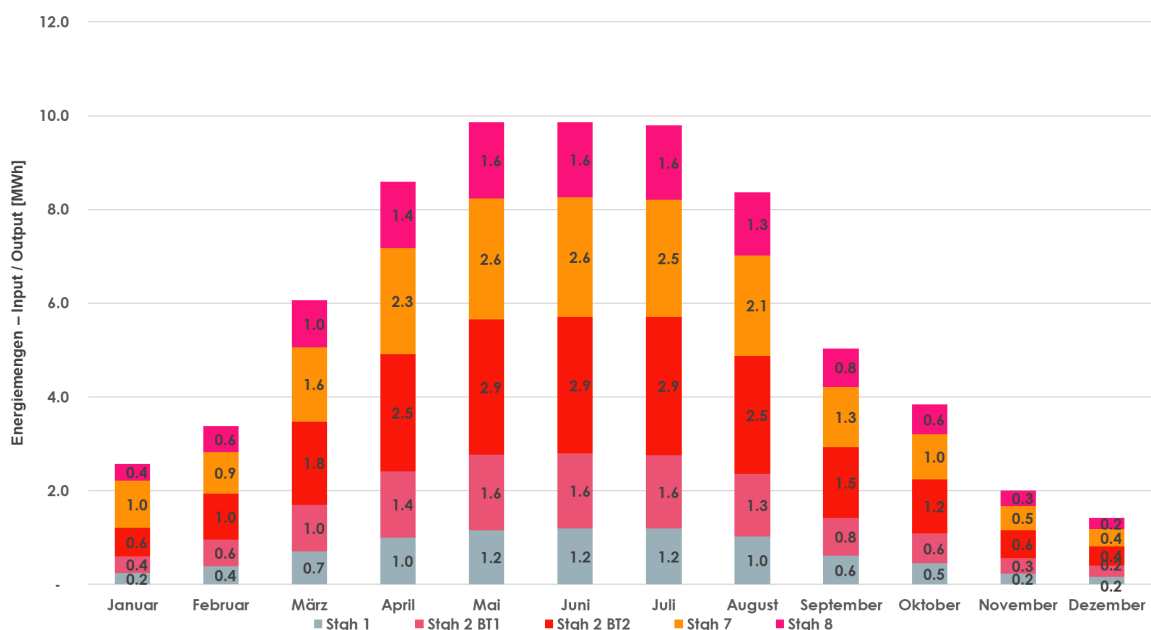


Abbildung 329: Monatsbilanz lokale Energieerzeugung mittels PV Käthe-Dorsch-Gasse 17
(Quelle: hacon GmbH)

Abbildung 330 zeigt den monatlichen Stromverbrauch und die Stromerzeugung eines Gebäudes über ein Jahr hinweg, aufgeschlüsselt nach verschiedenen Verbrauchergruppen und der Photovoltaikerzeugung. Der Stromverbrauch ist in den Wintermonaten besonders hoch, hauptsächlich getrieben durch die Bereitstellung der Raumwärme, während im Sommer der Verbrauch deutlich sinkt und die Photovoltaik hohe Erträge erzielt, die den Gesamtstromverbrauch in diesen Monaten deutlich reduzieren.

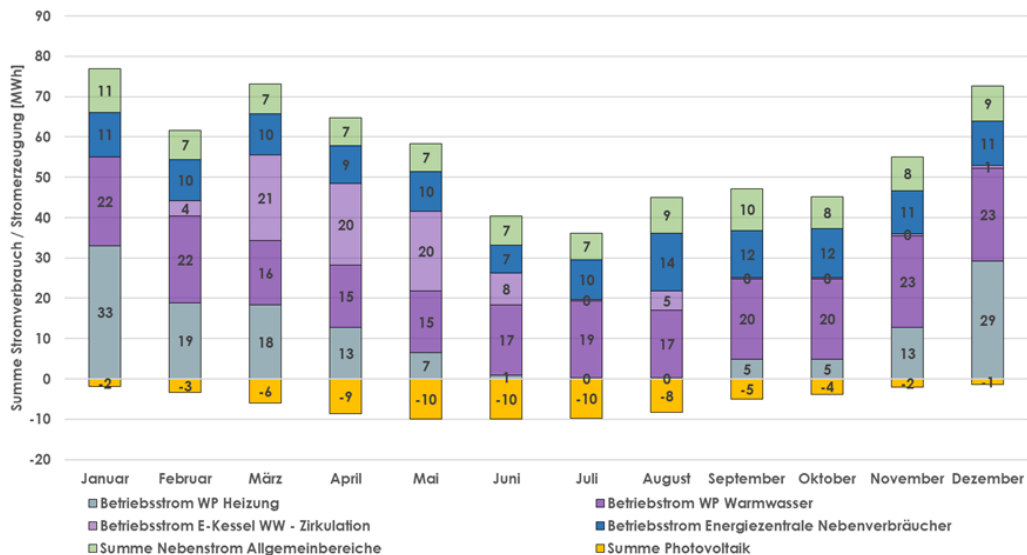


Abbildung 330: Monatsbilanz der elektrischen Stromverbraucher bzw. Stromerzeuger in der Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

In Abbildung 331 ist der anteilige Stromverbrauch der Einzelverbraucher dargestellt. Zusätzlich sind in manchen Segmenten Anmerkungen zur Energieeinsparung bzw. Effizienzsteigerung ersichtlic.

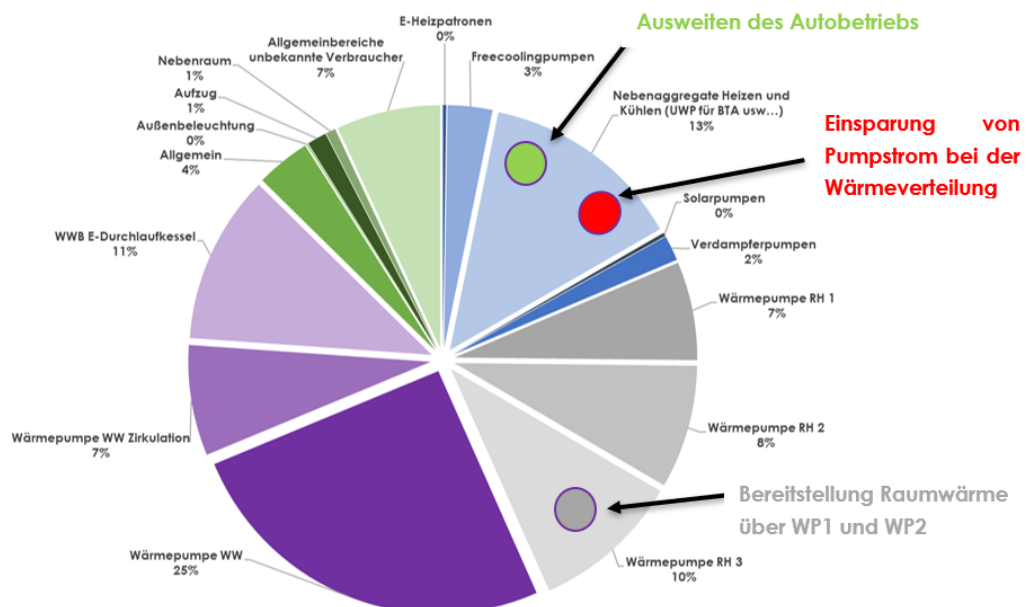


Abbildung 331: Anteiliger Stromverbrauch der Einzelverbraucher am Gesamtstrombedarf der Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)



Einsparung von Pumpstrom in der Wärmeverteilung:

Die Regelung der Umwälzpumpe wird insofern angepasst, als nun die Spreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur als Regelgröße fungiert. Wird ein eingestellter Sollwert unterschritten, wird die Pumpe ausgeschaltet und erst nach einer einstellbaren Sperrzeit wieder in Betrieb genommen



Ausweiten des Autobetriebs:

Zwischen Heiz- und Kühlbetrieb wird die Anlage in den sogenannten Auto-Betrieb geschaltet. Während dieses Betriebszustandes wird weder geheizt noch gekühlt, somit werden auch einige Verbraucher nicht benötigt und somit ausgeschaltet. Aus der Datenanalyse ist ersichtlich, dass der Autobetrieb zeitlich ausgeweitet werden kann und längere Stehzeiten möglich sind. Dies ist jedoch von dem vorherrschenden Wetter und der Rückmeldung der Bewohnerinnen und Bewohner abhängig.



Bereitstellung Raumwärme über WP1 und WP2:

Aufgrund der höheren Jahresarbeitszahlen der Niedertemperaturwärmepumpen, WP1 und WP2, im Vergleich zu WP3 wird die Bereitstellung der Wärme zur Versorgung der Bauteilaktivierung priorisiert über die beiden effizienteren Wärmepumpen erfolgen. Wärmepumpe 3 wird nun zur Spitzenlastabdeckung bzw. als herangezogen.

8.15.6 Raumkomfort – Monitoring

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

Für das kontinuierliche Monitoring des Raumkomforts sind neun Wohnungen ausgewählt. Die Sensoren sind im Wohnzimmer installiert. Der Zeitraum der Messung geht von 01.01.2024 bis 31.12.2024.

Bezeichnung	Lage im Gebäude	Orientierung der Außenfenster	Lage der Sensorik
Top A	Erdgeschoss	Östlich	Büroraum
Top B	Erdgeschoss	Östlich	Wohnzimmer
Top C	Erdgeschoss	Südlich und westlich	Wohnzimmer
Top D	3.Obergeschoss	Südlich	Wohnzimmer
Top E	3.Obergeschoss	Südlich und westlich	Wohnzimmer
Top F	3.Obergeschoss	Östlich	Wohnzimmer
Top G	7.Obergeschoss	Südlich und östlich	Wohnzimmer
Top H	7.Obergeschoss	Südlich	Wohnzimmer
Top I	7.Obergeschoss	Südlich und westlich	Wohnzimmer

Tabelle 6: Legende für Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnungen

Legende:	
Heizphase:	01.01.2024 bis 03.06.2024 und von 16.09.2024 bis 31.12.2024
Kühlphase:	10.06.2024 bis 12.09.2024
Autophase	04.06.2024 bis 09.06.2024 und von 13.9.2024 bis 15.09.2024

Die Behaglichkeitsdiagramme der Referenzräume zeigen, dass die Raumkonditionen während dem Winterhalbjahr weitgehend im behaglichen Komfortbereich liegen.

Die Behaglichkeitsdiagramme zeigen auch, dass in den meisten untersuchten Räumen kaum Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter erkennbar sind.

Auffällig sind dabei insbesondere die vergleichsweise hohen Raumtemperaturen in den Geschoßen über dem Erdgeschoß während der Heizperiode. Betrachtet man die Temperaturdifferenzen zwischen der Deckenoberfläche und dem darunterliegenden Raum sind kaum Übertemperaturen zu erkennen. Entsprechend wird der Betonkern an der Position des Temperatursensors nicht aufgeheizt. Vermutlich wird über die konstant durchströmten Heizkreise bereits genug Wärme an die Wohnungen abgegeben, um die Raumtemperaturen über den eingestellten Sollwert des Raumthermostats ansteigen zu lassen.

Offensichtlich ist auch, dass die Wohnungen im Erdgeschoß ein anderes Verhalten aufweisen als die darüberliegenden Wohnungen. Hier ist der Heizbetrieb eindeutig über die Temperaturdifferenzen zwischen der Deckenoberfläche und dem darunterliegenden Raum erkennbar. Ursächlich dafür sind die Wärmeverluste über die Bodenflächen gegen unkonditionierte Bereiche. Während die darüberliegenden Wohnungen von unten zusätzlich mit Wärme versorgt werden, verursacht der Boden im Erdgeschoß zusätzliche Wärmeverluste. Um im gesamten Gebäude ein einheitliches Verhalten und einheitliche Komfortansprüche sicherstellen zu können, ist die Ausführung einer Fußbodenheizung im Erdgeschoß vorteilhaft.

Die relative Feuchte steigt in Sommermonaten auf 70-80% an. Unabhängig vom Abgabesystem liegt die relative Feuchte im Winter vergleichsweise niedrig. Dies ist auf das Abluftsystem mit konstanter Grundlast und Nachströmung über die Fassade zurückzuführen. Hier könnte mit reduzierter Grundlüftung entgegengewirkt werden.

Tabelle 7: Mittlere Raumlufthtemperaturen und Anteile der Überhitzungsstunden der Referenzräume Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

	Top A	Top B	Top C	Top D	Top E
Mittlere Raumtemperatur in den Sommermonaten	24,7 °C	23,8 °C	24,4 °C	24,6 °C	24,2 °C
Anzahl der Stunden der Raumtemperatur T > 26 °C	15	27	29	201	181
Anteil der Stunden der Raumtemperatur T > 26 °C von der Gesamtstundenanzahl	0,17 %	0,31 %	0,33 %	2,29 %	2,06 %

Tabelle 8: Mittlere Raumlufthtemperaturen und Anteile der Überhitzungsstunden der Referenzräume Käthe-Dorsch-Gasse 17 (Quelle: hacon GmbH)

	Top F	Top G	Top H	Top I
Mittlere Raumtemperatur in den Sommermonaten	25,1 °C	24,6 °C	25,1 °C	24,9 °C
Anzahl der Stunden der Raumtemperatur $T > 26\text{ °C}$	385	249	617	2003
Anteil der Stunden der Raumtemperatur $T > 26\text{ °C}$ von der Gesamtstundenanzahl	4,38 %	2,83 %	7,02 %	22,80 %

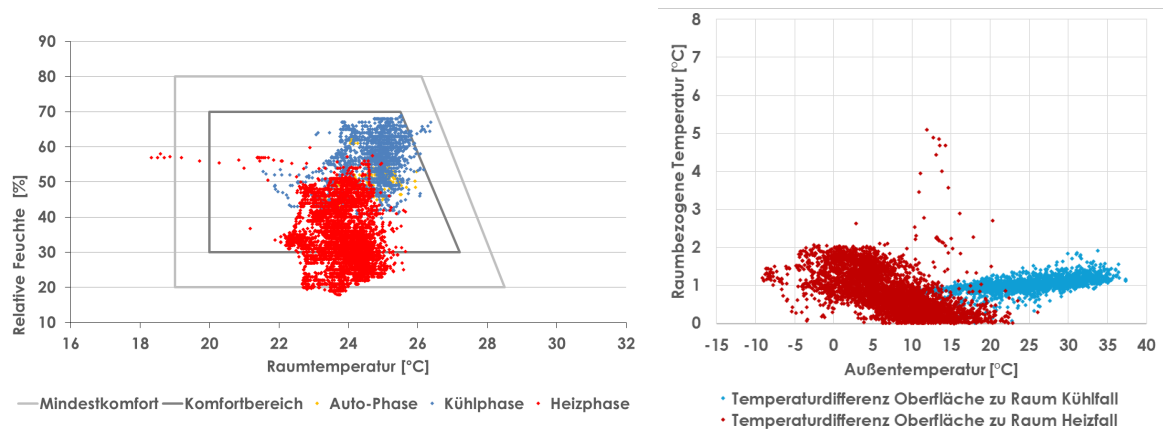


Abbildung 332: Links: Behaglichkeitsdiagramm Top A; Rechts: Temperaturunterschied Decke Top A

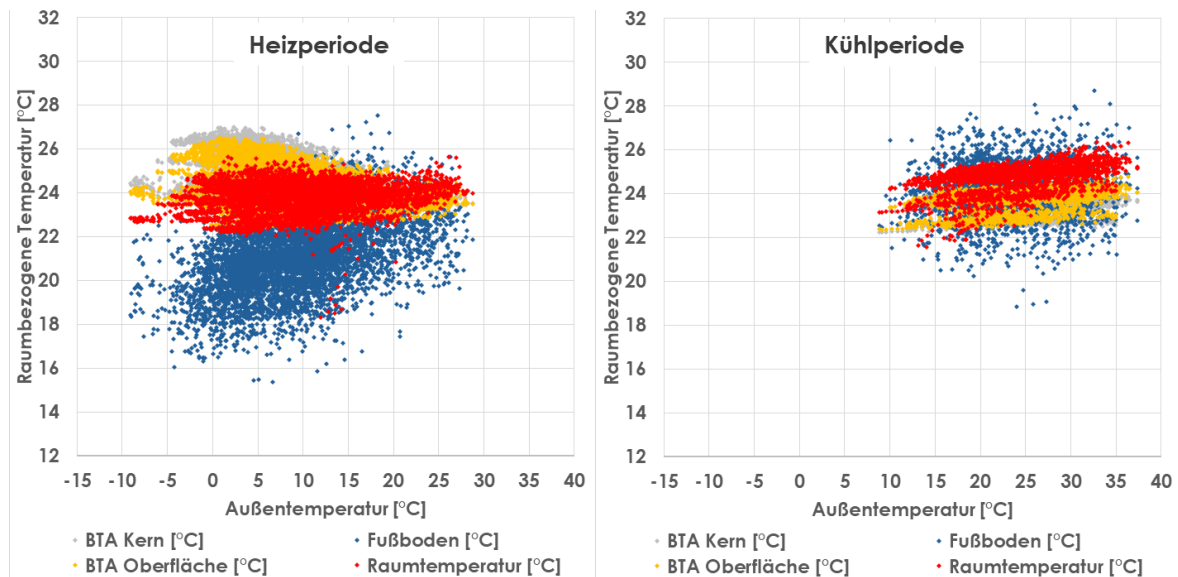


Abbildung 333: Zusammenhang der Kern-, Oberflächen- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP A (Quelle: hacon GmbH)

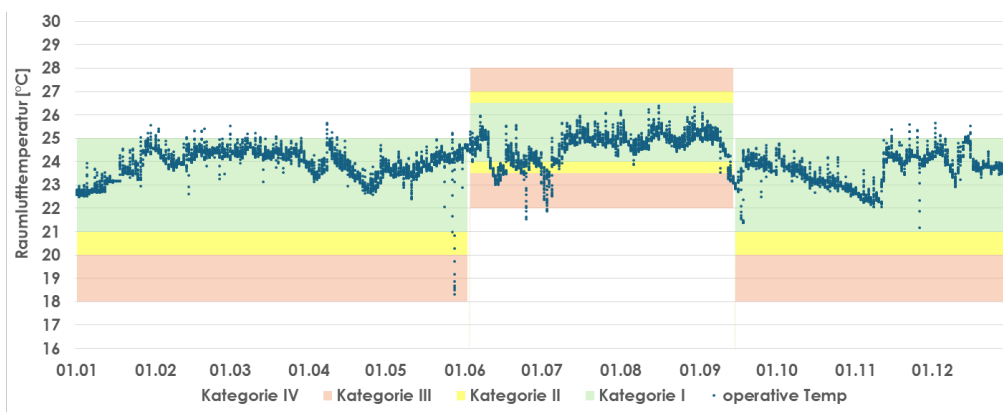


Abbildung 334: Zeitlicher Verlauf der Raumlufttemperatur Top A und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

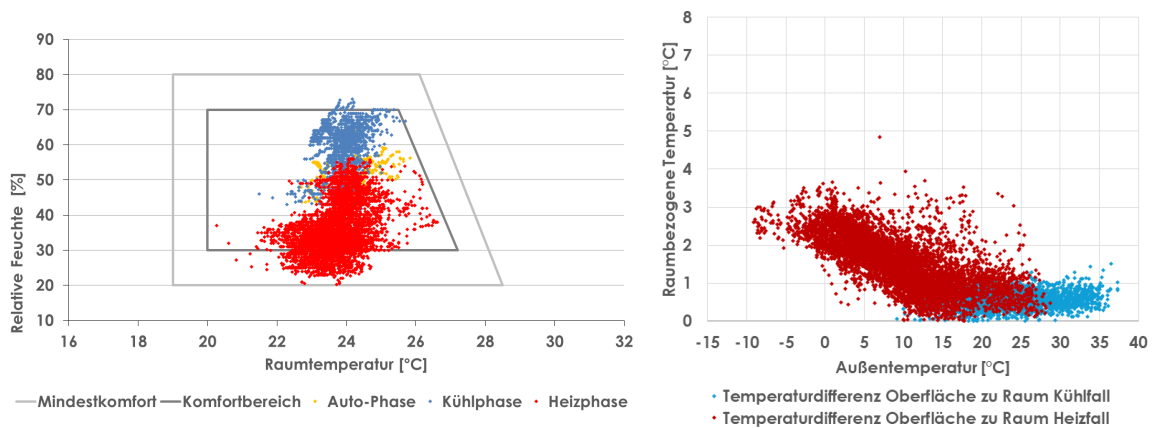


Abbildung 335: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top B;
Rechts: Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top B

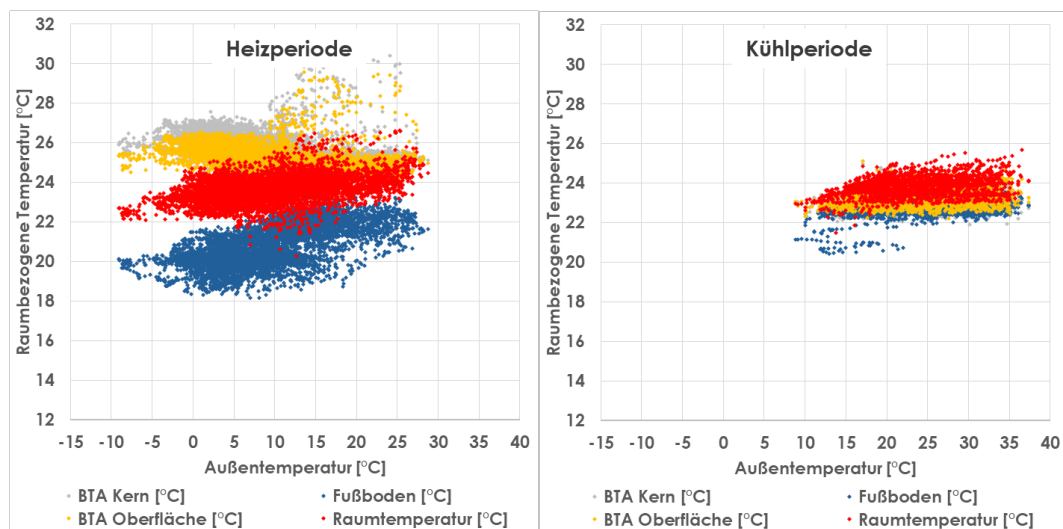


Abbildung 336: Zusammenhang der Kern,- Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP B (Quelle: hacon GmbH)

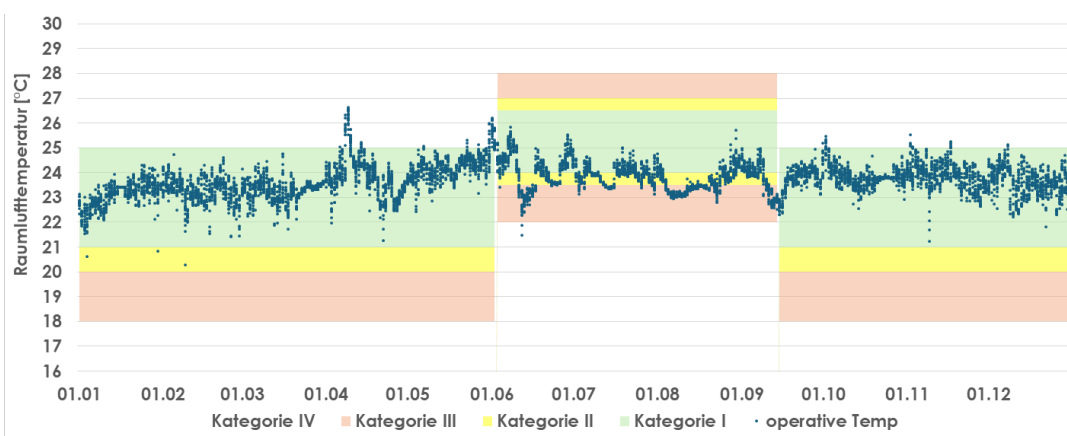


Abbildung 337: Zeitlicher Verlauf der Raumlufttemperatur Top B und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

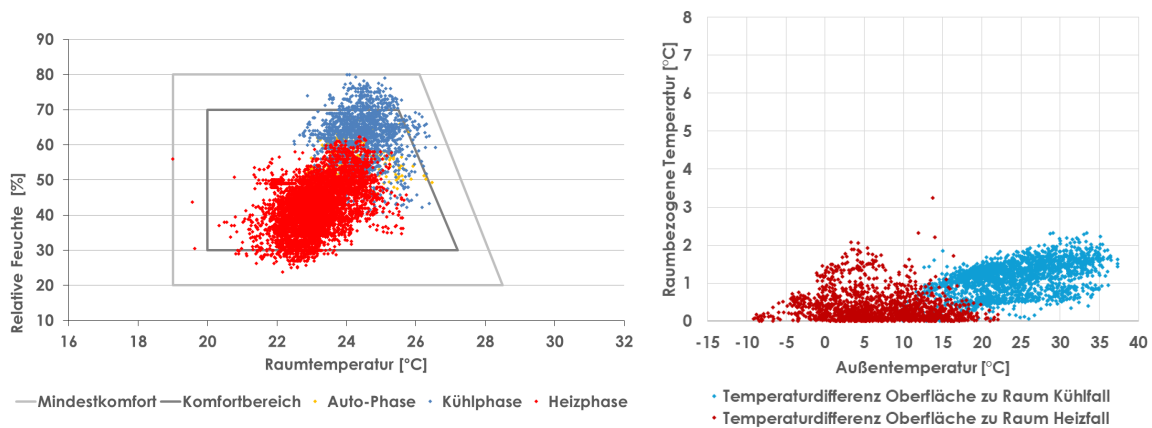


Abbildung 338: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top C;
Rechts: Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top C

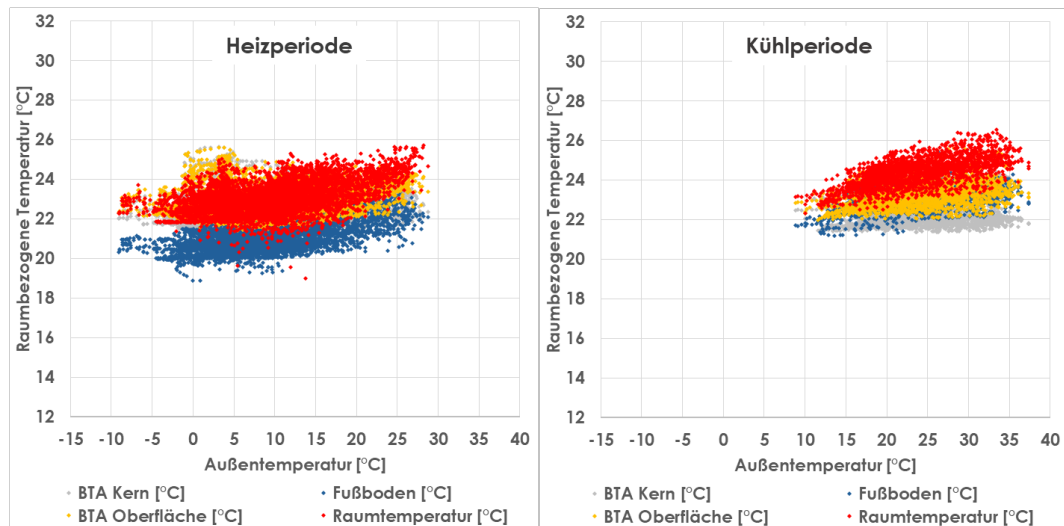


Abbildung 339: Zusammenhang der Kern,- Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP C (Quelle: hacon GmbH)

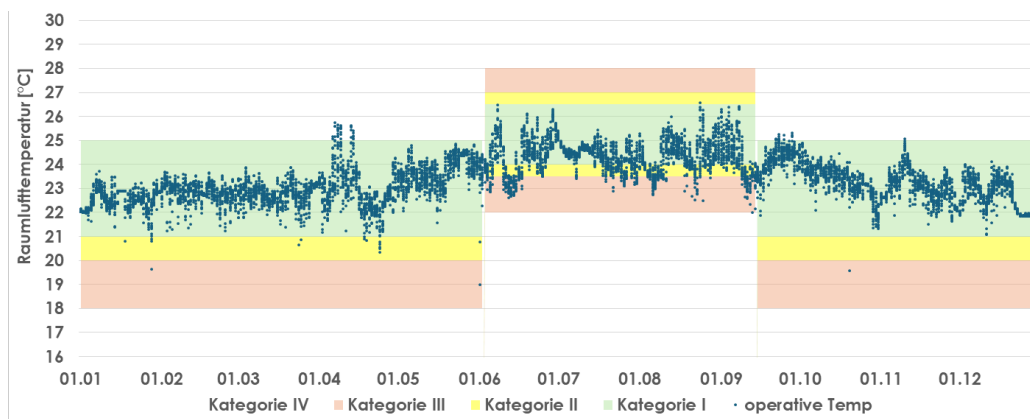


Abbildung 340: Zeitlicher Verlauf der Raumlufttemperatur Top C und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

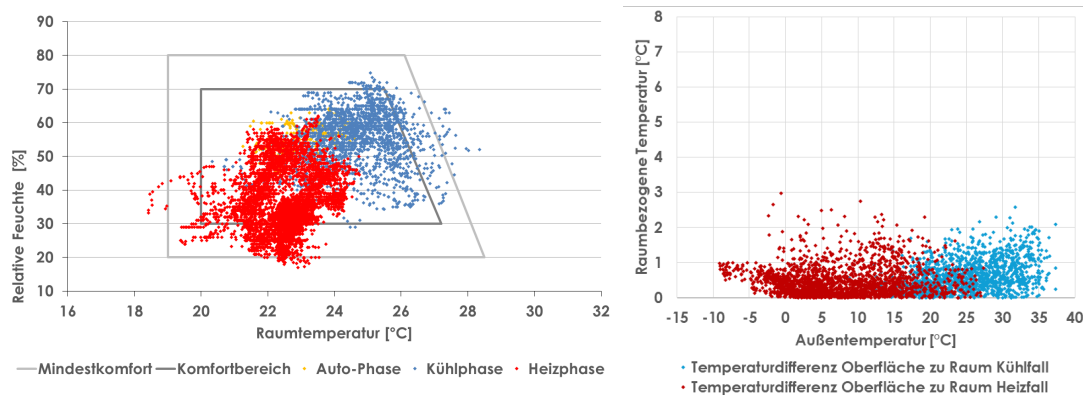


Abbildung 341: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top D
Rechts: Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top D

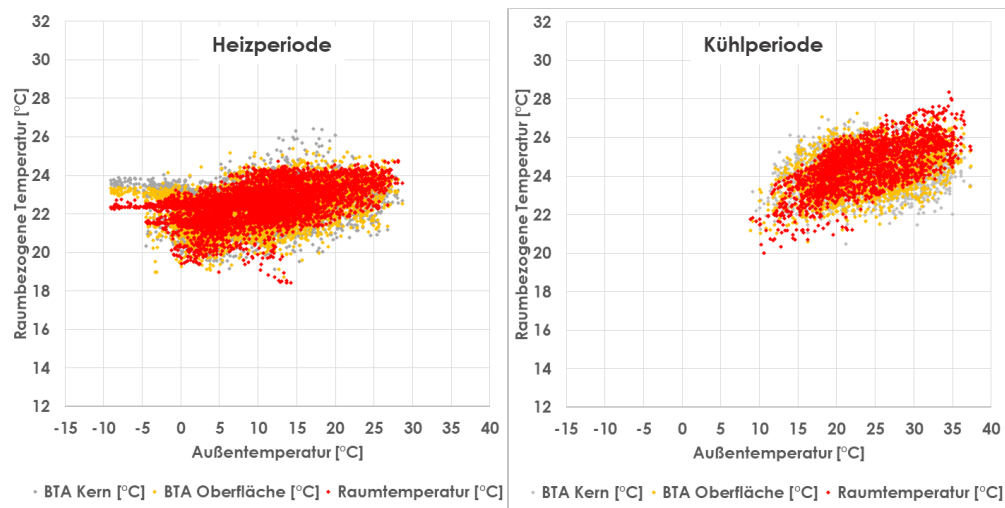


Abbildung 342: Zusammenhang der Kern-, - Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP D (Quelle: hacon GmbH)

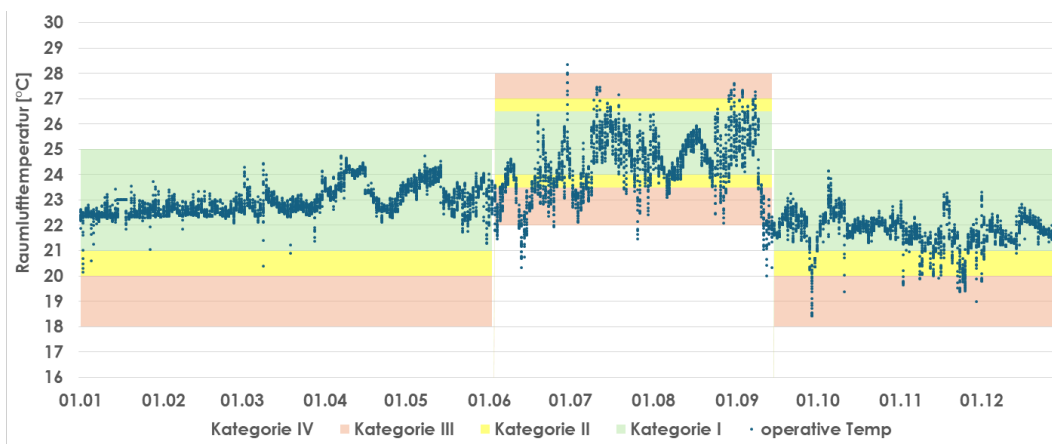


Abbildung 343: Zeitlicher Verlauf der Raumlufthtemperatur Top D und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

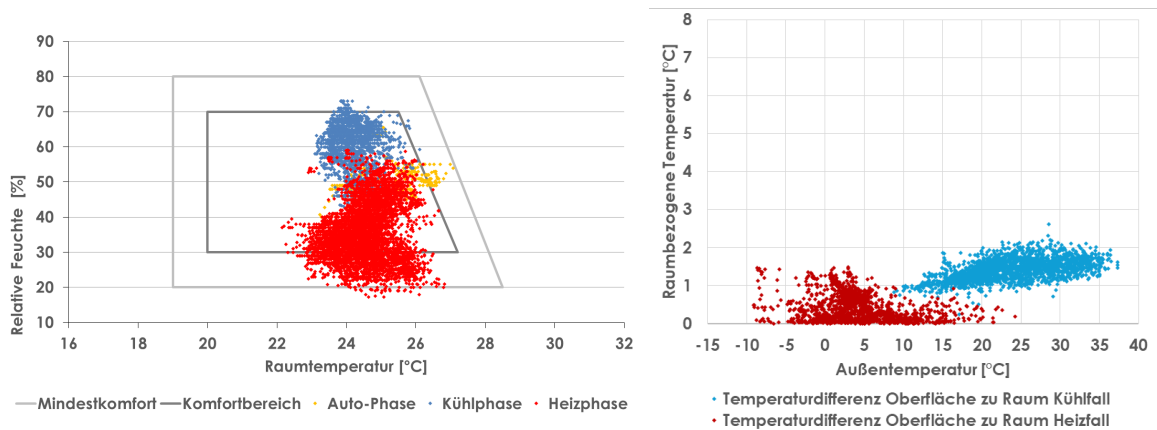


Abbildung 344: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top E
Rechts: Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top E

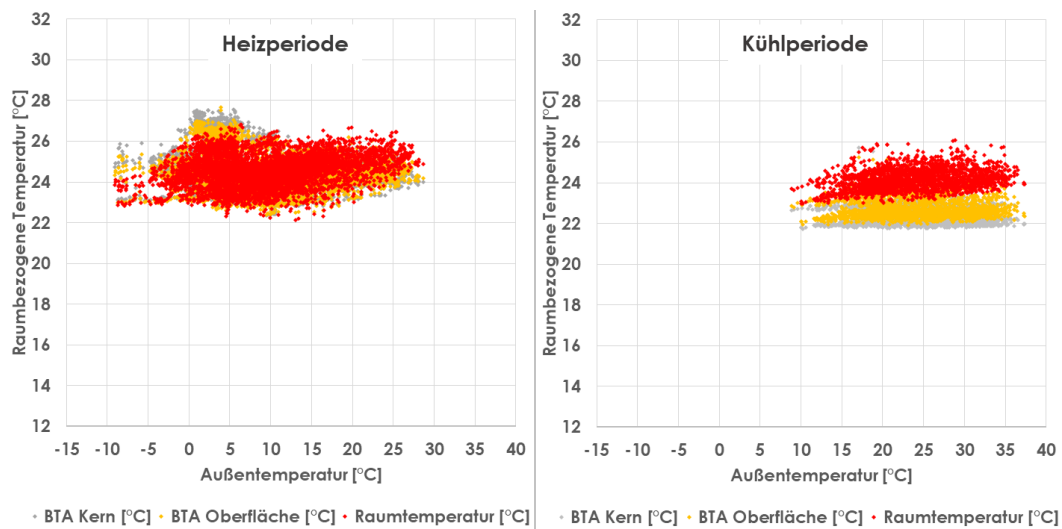


Abbildung 345: Zusammenhang der Kern-, - Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP E (Quelle: hacon GmbH)

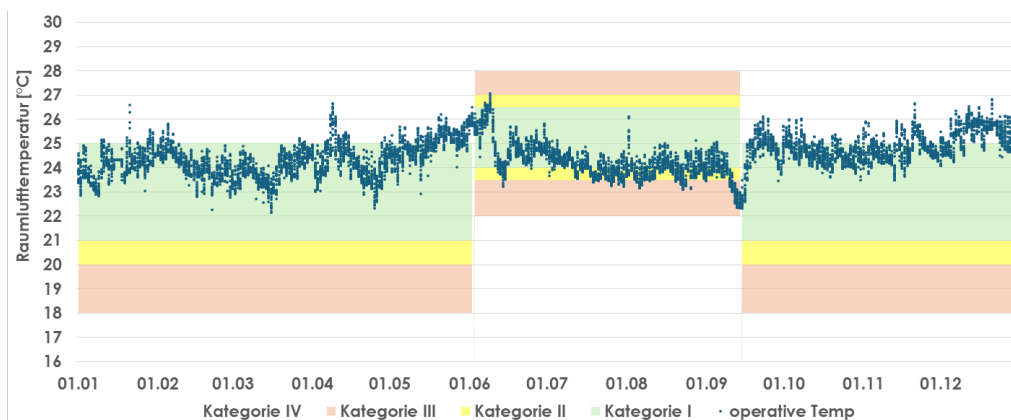


Abbildung 346: Zeitlicher Verlauf der Raumlufthtemperatur Top E und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

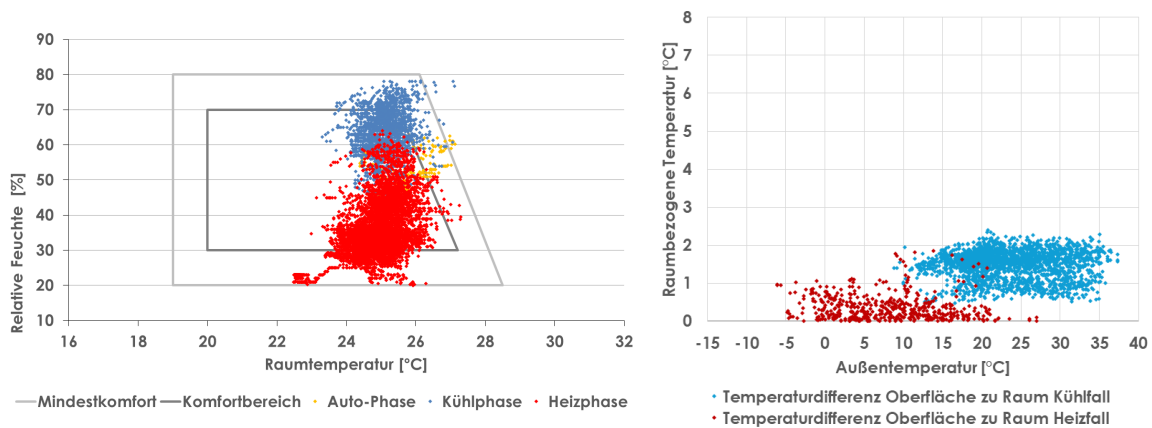


Abbildung 347: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top F
Rechts: Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top F

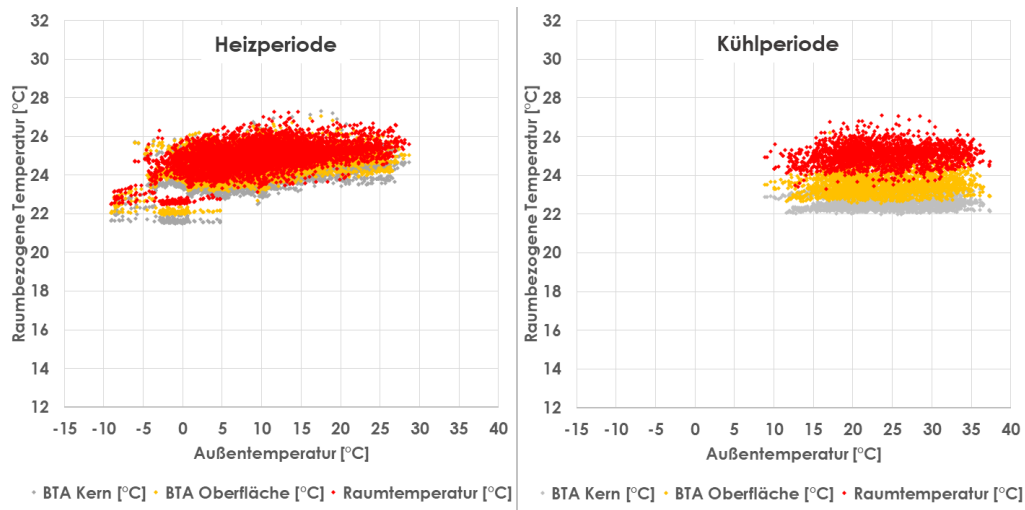


Abbildung 348: Zusammenhang der Kern-, Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP F (Quelle: hacon GmbH)

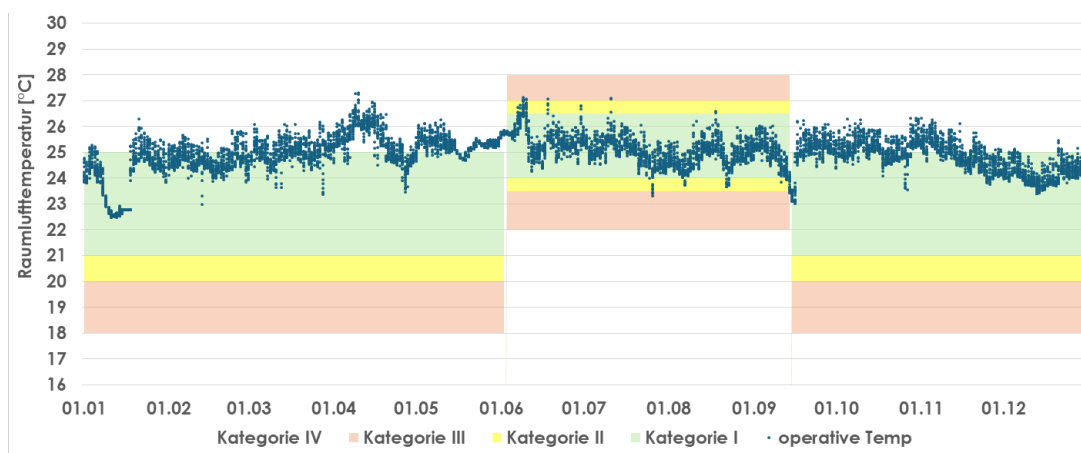


Abbildung 349: Zeitlicher Verlauf der Raumlufttemperatur Top F und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

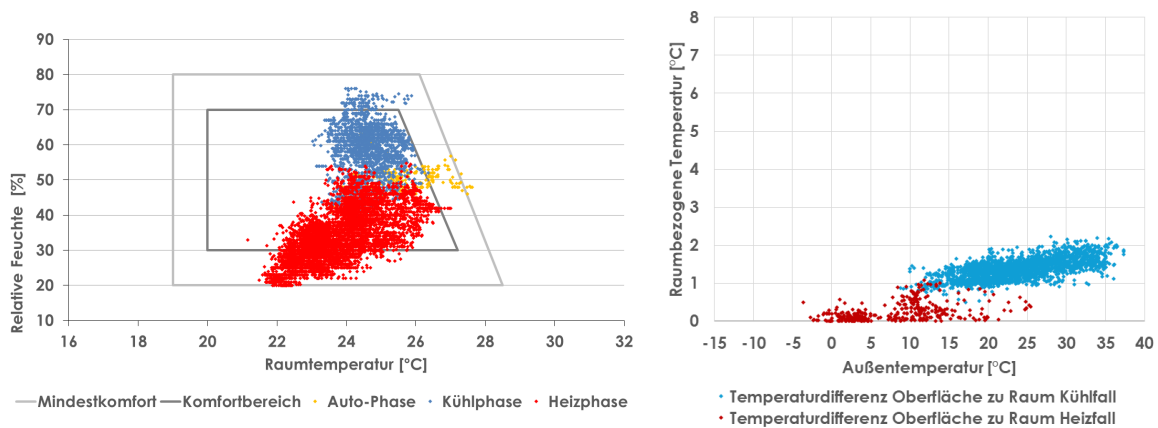


Abbildung 350: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top G
Rechts: Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top G

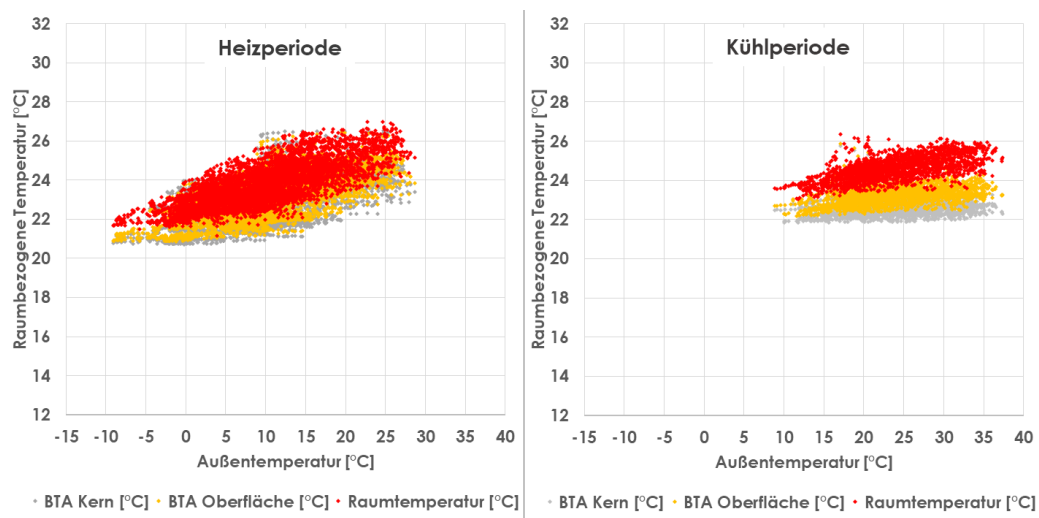


Abbildung 351: Zusammenhang der Kern-, Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP G (Quelle: hacon GmbH)

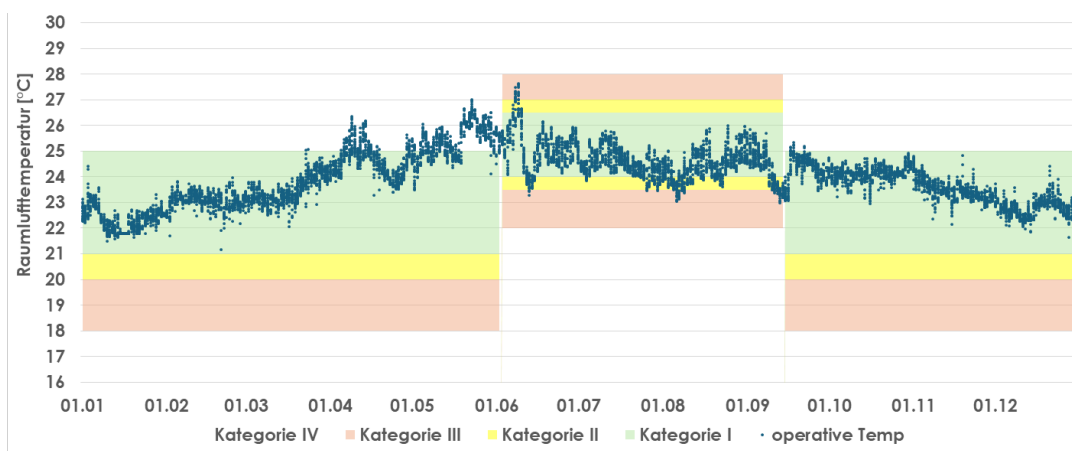


Abbildung 352: Zeitlicher Verlauf der Raumlufthtemperatur Top G und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

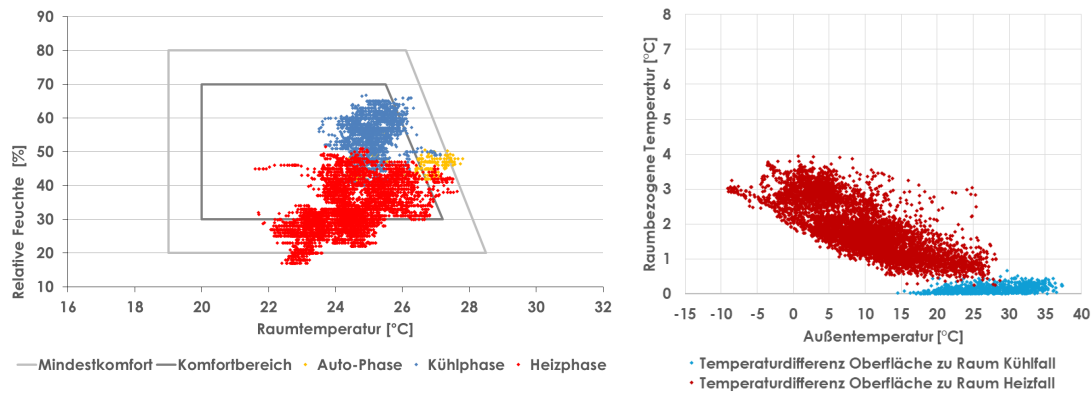


Abbildung 353: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top H
Rechts: Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top H

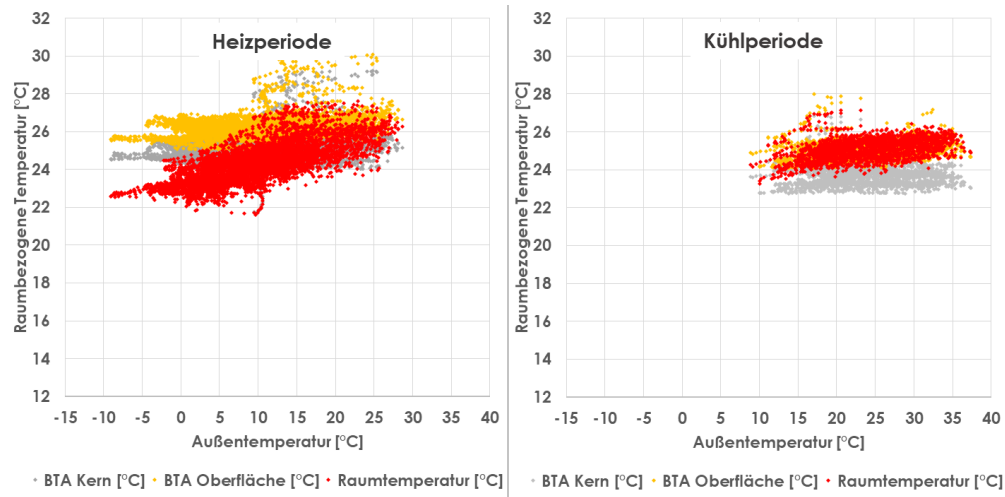


Abbildung 354: Zusammenhang der Kern-, Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP H (Quelle: hacon GmbH)

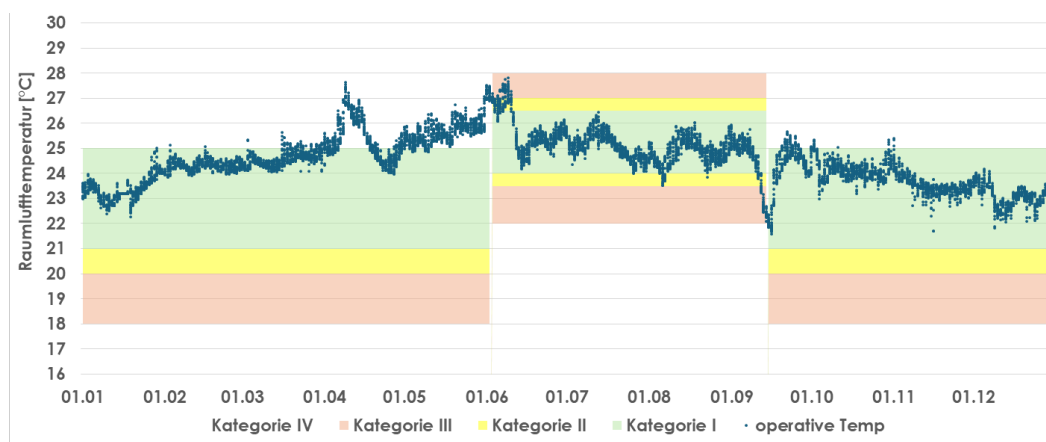


Abbildung 355: Zeitlicher Verlauf der Raumlufttemperatur Top H und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

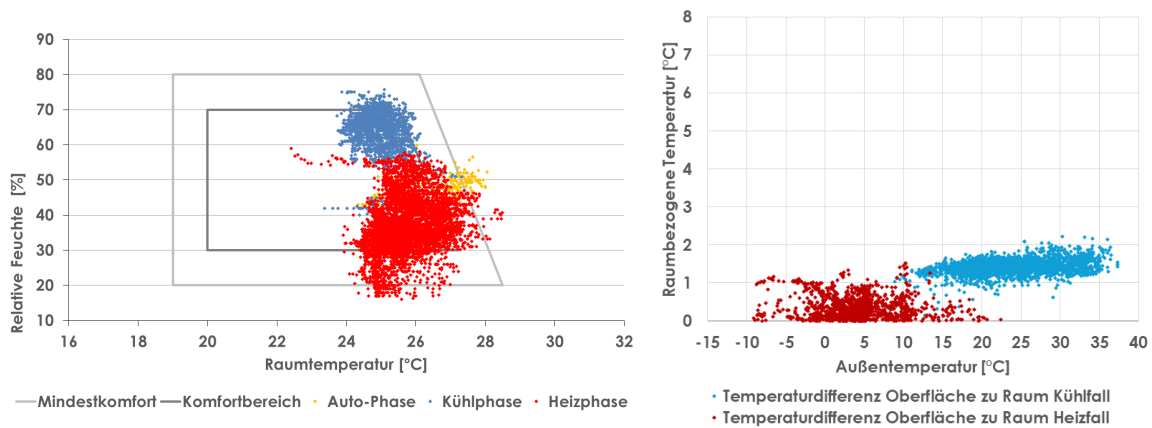


Abbildung 356: Links: Behaglichkeitsdiagramm der Referenzwohnung Top I
Rechts: Temperaturunterschied Decke zu Raumtemperatur Top I

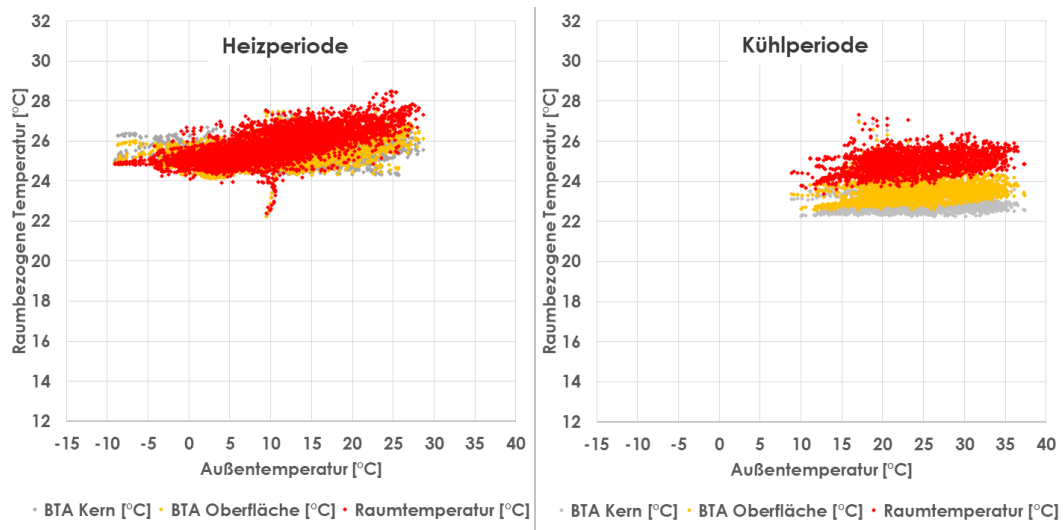


Abbildung 357: Zusammenhang der Kern,- Oberfläche- und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Außenlufttemperaturen während der Heiz- und Kühlperiode TOP I (Quelle: hacon GmbH)

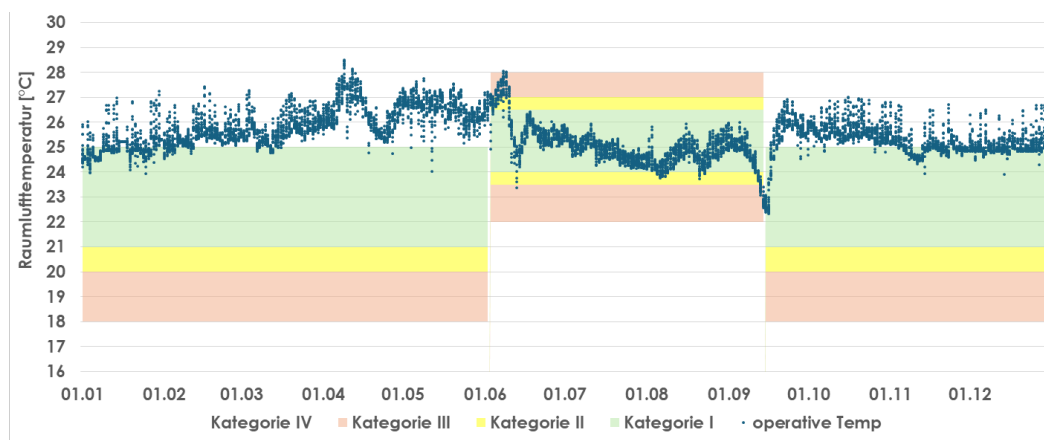


Abbildung 358: Zeitlicher Verlauf der Raumlufthtemperatur Top I und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, (Quelle: hacon GmbH)

8.16 BOKU TüWi-Gebäude, W

Bauteilaktivierung: Zwischendecken über Nutzfläche OG1 & OG2		
Objektnutzung: Bildungsgebäude, Universität	Standort: Peter Jordan Straße 76, 1190 Wien	Fertigstellung: 2018

8.16.1 Objektbeschreibung

Das Türkenwirtgebäude (TÜWI) der Universität für Bodenkultur (BOKU) in Wien Döbling erstreckt sich über 5 Stockwerke und ist ein Büro- und Universitätsgebäude. Es wurde im Sommer 2018 fertiggestellt und bietet unter anderem Platz für einen Hörsaal für 400 Personen, eine Mineraliensammlung, eine Mensa und das TÜWI-Lokal mit Hofladen. Das TÜWI wird über eine Wärmepumpe mit Erdwärme zur Unterstützung der Heizung und Kühlung versorgt. Eine Photovoltaik- und eine Solarthermie-Anlage liefern Teile des Stroms und des Warmwassers. Die Bauteilaktivierung im Gebäude dient dem Heizen und Kühlen der Decken über den Nutzflächen im 1. und 2. Obergeschoß. Die Fassade besteht aus naturbelassenem Lärchenholz, wobei die Holzlamellen als Sonnenschutz dienen. Die Fassade im Lichthof ist begrünt und im Inneren erstrecken sich hängende Gärten über mehrere Geschoße. Sie sorgen für ein angenehmes Raumklima und der Einsatz von ökologischen, schadstoff- und PVC-freien Baumaterialien ermöglicht einen hohen Nutzungskomfort. Für all diese Maßnahmen trägt der Neubau mehrere Auszeichnungen bzw. Zertifikate wie klimaaktiv Staatspreisträger, klimaaktiv Gold Deklaration und ÖGNI-Zertifizierung Platin.

Allgemeine Informationen		Kontakt
BGF Objekt	4.845 m ²	Eigentümer:
HKLS-Planung	HL Technik Engineering, ppg blueberg control	Universität für Bodenkultur Wien
Architektur	Baumschlager Hutter Partners Holding ZT GmbH	Name: DI Roman Smutny
		Web: https://boku.ac.at/

Besonderheiten der Gebäudehülle und Konstruktion

- Mischbauweise in Niedrigst-Energiestandard, 5-geschossig, 2 Geschosse unterirdisch
- 2 unterschiedliche Trakttiefen und Gebäudehöhen
- Vertikale Holzlamellen mit horizontalen Bändern
- Dachgarten mit innovativer Photovoltaik-Pergola mit semitransparenten Modulen
- Kompakte Bauweise

Bauteilaktivierung

Die Bauteilaktivierung wurde in der Decke über der Nutzfläche OG1 & OG 2 ausgeführt.

Aktivierte Bauteile: Betondecken	
Einsatz	Heizung und Kühlung
Aktivierte Fläche	Decke über der Nutzfläche OG 1 & OG 2 (1.198 m²)
Aktiviertes Material	Ortbeton, Stahlbetonplatte 30 cm Fußbodenaufbau „D25K Büro, Besprechung“: 0,2 cm Kunststoff-Belag 25,0 cm Flächenhohlboden 30,0 cm Stahlbetonplatte 0,2 cm Spachtelung
Verlegungsart	Randabstand: BTA-Verlegung bis Innenflucht Außenwandstützen Überdeckung: 7,5 cm Deckenunterkante bis Rohrunterkante Betondeckung der Bewehrung in unterer Lage beträgt 3 cm. Die unteren Bewehrungslagen sind ca. 2,5 cm stark. Auf die unteren Deckenbewehrungslagen wurde als zusätzliche Lage zur Erzielung der 6 cm BTA-Lage eine Baustahlgittermatte (ca.) AQ60 verlegt, welche zugleich als stabiles Trägerelement für die Bauteilaktivierung fungiert. System Roth-Systemrohr X-Pert S5+, PE-X Kunststoff-Rohr (vernetztem Polyethylen, sauerstoffdiffusionsdicht), Dimension 20x2 mm.
Regelungsstrategie	Raumweise Regelung mit Raumbediengeräten mit zentraler Übersteuerung mit saisonaler Anforderung. Im Kühlfall werden die Nassräume von der Kühlung ausgenommen. Durchfluss-Regelung des Heiz/Kühlregelkreises: Variabler Volumenstrom nach Differenzdruckregelung der Umwälzpumpe Vorlauftemperatur-Regelung • Heizfall: Heizkurve mit Hochpunkt Außentemperatur -18°C/T_VL 30°C und Tiefpunkt Außentemperatur 20°C/T_VL 20°C • Kühlfall: Konstant 18°C
Leistungskennzahlen	Auslegungsleistung: Heizen 22,9 kW; Kühlen 28,3 kW

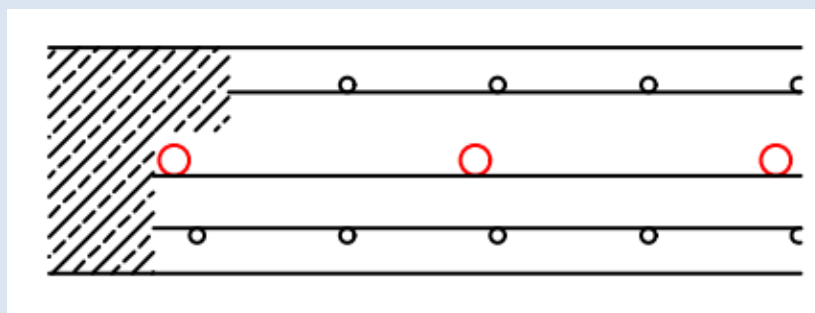


Abbildung 359: Schnittdarstellung Zwischendecke
Rohrleitungen in Mittellage (Quelle: Hacon GmbH)

Gebäudetechnik und Messkonzept

Heizung	Zentrale Wärmeversorgung über Fernwärme (Anschlusswert 116 kW) und eine Sole-Wasser Wärmepumpe (70 kW). Als Wärmequelle dient ein Erdsondenfeld mit 14 Sonden á 125m. Solarthermieanlage (ca. 35 kW, Aperturfläche 56 m²; Aufstellungsort: Flachdach-Aufständerung mit 70° Neigung; Ausrichtung Süd; Einspeisung in Schichtladespeicher über Schichtladelanze). Zusätzlich Abwärmenutzung aus der Kälteerzeugung (Kältemaschine mit einer Kälteleistung von 162 kW). Als zentraler Speicher dient ein Schichtladespeicher (4.000 Liter).
Brauch-Warmwasser	Dezentrale Brauchwasserbereitung über Durchlauferhitzer für die Bereiche Sanitär, Teeküchen und Putzräume. Für die Bereiche Küche und Duschen gibt es eine zentrale Warmwasserbereitung über ein Frischwassermodul (Nennleistung 38 kW).
Kühlung	Die Kälteerzeugung besteht aus einer Kältemaschine (162 kW, Wärmeeinbringung ins Heizsystem möglich, Abfuhr Überschusswärme über Erdsondenfeld (Regeneration) und Trockenrückkühler am Dach). Zusätzlich kann die Sole-Wasser Wärmepumpe als Kälteerzeuger genutzt werden (56 kW) und weiters besteht die Möglichkeit der Freien Kühlung über das Erdsondenfeld.
Wärmeabgabe	Wärmeabgabe erfolgt im Gebäudebereich Büro über Bauteilaktivierung (22,9 kW). Weiters gibt es für andere Gebäudebereiche einen Niedertemperatur-Heizungsregelkreis mit dem Fußboden- und Wandheizflächen beheizt werden (49,6 kW). Bei den Lüftungsanlagen erfolgt die Zuluft-Konditionierung durch Wärmerückgewinnung und Heizregister (insg. 80,6 kW).
Kälteabgabe	Kälteabgabe erfolgt im Gebäudebereich Büro über die Bauteilaktivierung (28 kW). Für das TÜWI Lokal, den Hofladen und die Akustikdecke im Audimax werden Kühldecken eingesetzt (insg. 65 kW). Bei den Lüftungsanlagen erfolgt die Zuluft-Konditionierung über Kühlregister. Zusätzlich gibt es FanCoils (insg. 23 kW für die Versorgung der Technikräume mit hohen internen Lasten).
Lüftungstechnik	Insgesamt 7 Lüftungsanlagen für die kontrollierte Be- und Entlüftung welche Heiz- und Kühlregister und teilweise Wärmerückgewinnung/Feuchterückgewinnung beinhalten und aktiv entfeuchten (7 Lüftungsanlagen: ca. 49.600 m³/h Nennvolumenstrom).
Elektrische Energie	Gebäude ist an das öffentliche Netz angeschlossen und hat zusätzlich eine Photovoltaik-Anlage (ings. 53 kWp, 45 kWp auf Flachdach, Ausrichtung Ost/West, Neigung 10° sowie 8 kWp als PV-Pergola am Dachgarten).

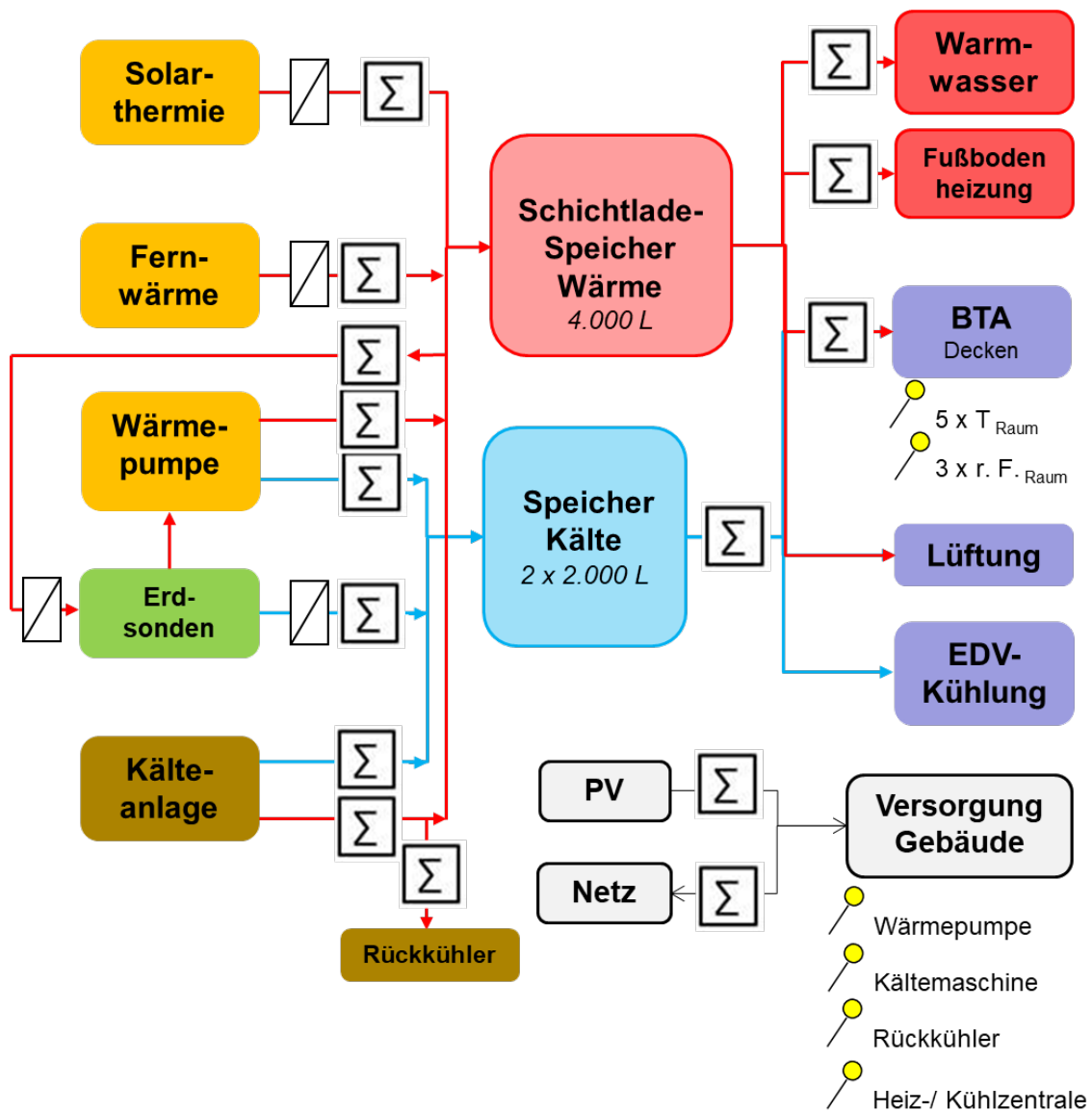


Abbildung 360: Prinzipschema BOKU Türkenwirtgebäude, Gebäudetechnik und Messkonzept (Quelle: e7)

8.16.2 KPI's der Bauteilaktivierung und Energieverbrauch

Monitoringzeitraum: 1. Sept. 2022 – 31. Aug. 2023 (1 Betriebsjahr)

Gebäudeflächen lt. Energieausweis	
Brutto-Grundfläche (BGF)	4.845 m ² _{BGF}
Bezugsfläche (BF)	3.875 m ² _{BF}

KPI's der thermischen Bauteilaktivierung		
Speicherkapazität	Decken OG1 und OG2: 300 kWh/K = 0,06 kWh/Km ² _{BGF} Eine aktive Nutzung der Speicherfähigkeit der BTA liegt derzeit nicht vor.	
Deckungsgrad lokaler Energieträger	Heizung: ca. 20% (Restliche Deckung durch Fernwärme)	
Gesamtgebäude: Heizlast und Heizleistungen	Gebäude-Heizlast ¹¹ Installierte Heizleistung ¹² Gemessene max. Heizleistung	253 kW 65 W/m ² _{BF} 186 kW 48 W/m ² _{BF} 128 kW 33 W/m ² _{BF}
Gemessene Abgabeleistungen und Temperaturen der Bauteilaktivierung	Parameter	Decken über OG1 und OG2
	Aktivierte Fläche	ca. 1.500 m ² _{akt.}
	Max. Heizleistung	ca. 21 kW
	Max. spezifische Heizleistung	14 W/m ² _{akt.}
	Vorlauftemperatur Heizen	23 – 28,5°C
	Spreizung bei max. Heizleistung	3,5 K
	Max. Kühlleistung	ca. 51 kW
	Max. spezifische Kühlleistung	ca. 34 W/m ² _{akt.}
	Vorlauftemperatur Kühlen	18°C
	Spreizung bei max. Kühlleistung	2,5 K

Heiz- und Kühlenergieverbräuche des Gesamt-Objekts	
Heizenergieverbrauch (gesamt für Raumwärme, Warmwasserbereitung inkl. Speicher- und Verteilverluste)	41,3 kWh/m ² _{BGFa}
Kühlenergieverbrauch	31,7 kWh/m ² _{BGFa}

¹¹ Ermittlung über die im Energieausweis angeführten Leitwerte für Transmission und Lüftung und einem Temperaturunterschied zwischen den gemessenen Innenraumtemperaturen und der Norm-Außentemperatur des Standorts.

¹² Summe aus Fernwärme und Wärmepumpe

8.16.3 Nachfragestruktur Wärme

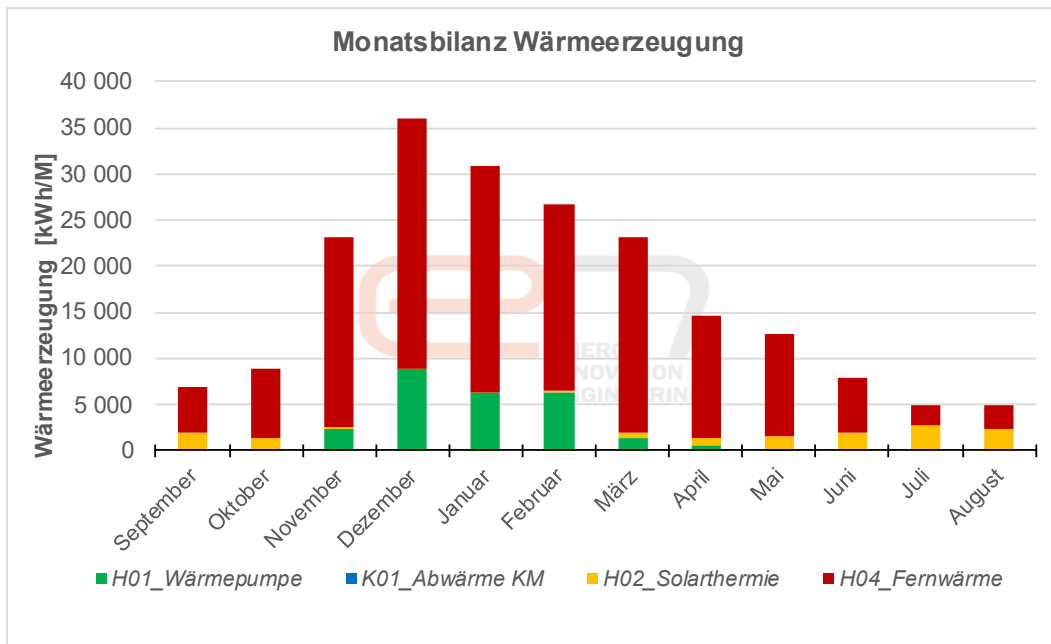


Abbildung 361: Monatsbilanz Wärmeerzeugung TÜWI (Quelle: e7)

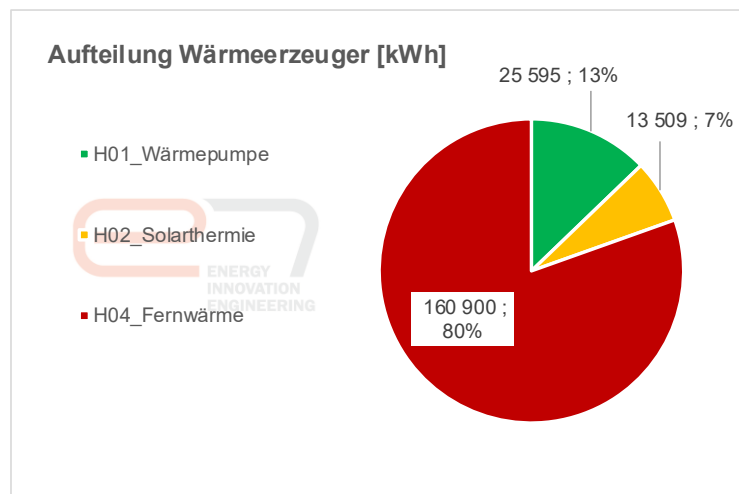


Abbildung 362: Aufteilung der Wärmeerzeuger TÜWI (Quelle: e7)

Die Gesamtwärmebereitstellung für den Monitoringzeitraum Sept. 2022 – Aug. 2023 beträgt 200.004 kWh, welches einem spezifischen Heizenergieverbrauch von 41,3 kWh/m²_{BGFA} entspricht.

80% der Gesamtwärmeverbräuche werden durch den Fernwärme-Bezug gedeckt. 13% der Wärmeverbräuche werden durch die Wärmepumpe bereitgestellt und 7% liefert die Solarthermieranlage (13.509 kWh/a, 246 kWh/m²a bezogen auf die Kollektorfläche von 56 m²).

Nachfolgend werden die monatlichen Wärmeverbräuche dargestellt.

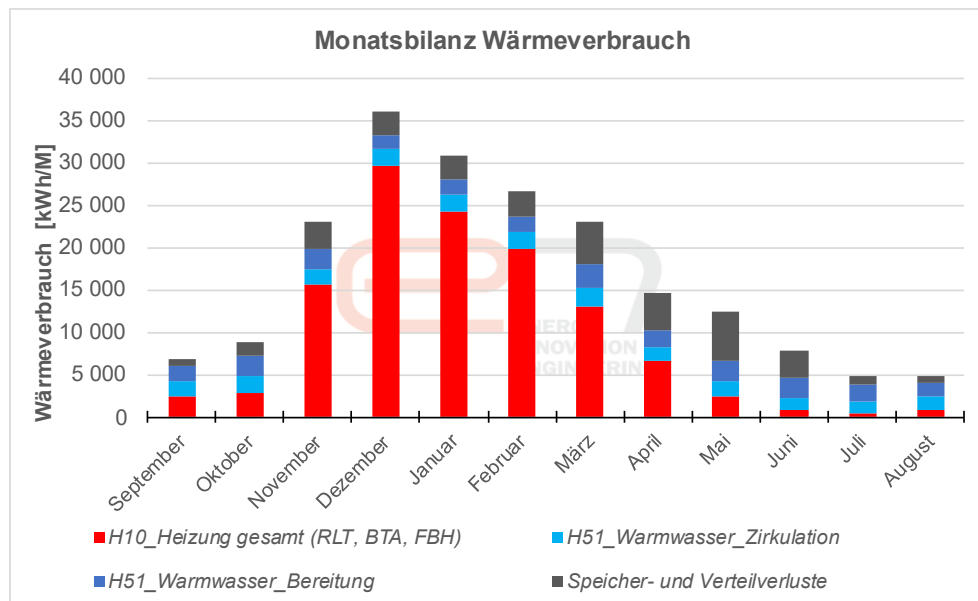


Abbildung 363: Monatsbilanz Wärmeverbrauch TÜWI (Quelle: e7)

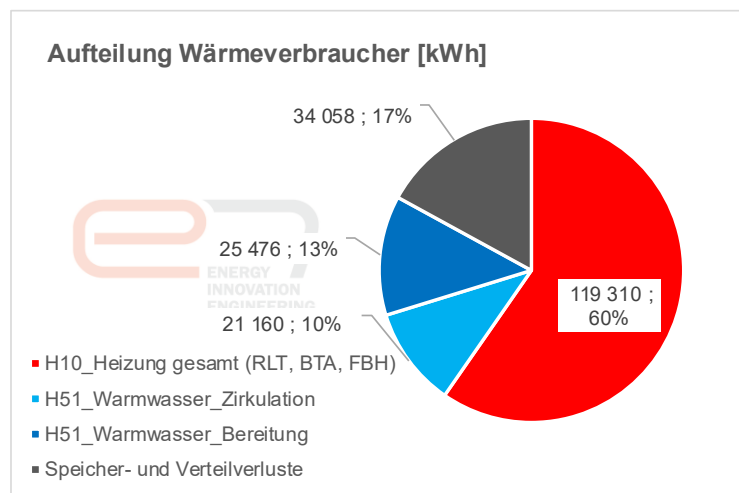


Abbildung 364: Aufteilung der Wärmeverbraucher TÜWI (Quelle: e7)

Nachfolgend werden die Gesamtverbräuche für Raumwärme (Niedertemperatur-Wärmeverbraucher) aufgliedert dargestellt.

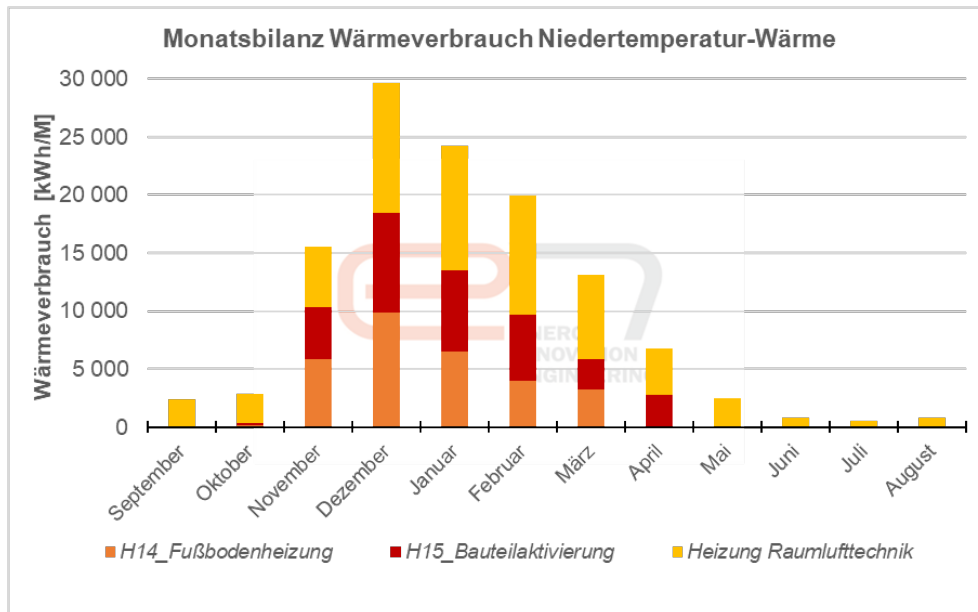


Abbildung 365: Monatsbilanz Wärmeverbrauch Niedertemperatur-Wärme für Raumwärmebereitstellung TÜWI (Quelle: e7)

Der Wärmeverbrauch für die Zone „Büro“ (H15_Bauteilaktivierung) beträgt 31.160 kWh/a und findet erwartungsgemäß während der Heizperiode Oktober bis April statt.

Auffälligkeiten Gewerk Heizung und Optimierungspotenziale

Bei der Wärmebereitstellung zeigen die Monitoringdaten Auffälligkeiten auf, die nachfolgend beschrieben werden. Durch Anpassungen im Hydraulik- und Regelungssystem kann die Systemeffizienz der Wärmebereitstellung deutlich gesteigert werden.

- Die von der Kältemaschine abgegebene Abwärme wird nicht für die Wärmebereitung oder für die Regeneration des Erdsondenfeldes genutzt. Die Abwärmenutzung aus der Kälteerzeugung kann hohe Niedertemperatur-Wärmemengen bereitstellen und sollte genutzt werden.
- Der Anteil der Wärmepumpe an der Gesamt-Wärmebereitstellung macht nur 13% aus. Die Wärmepumpe kommt nur zu Zeiten mit hohen Wärmeverbräuchen zum Einsatz (bei winterlichen Außentemperaturen nur an Wochentagen tagsüber). Der in Abbildung 366 ersichtliche Carpet Plot der Wärmepumpen-Abgabeleistung zeigt das beschriebene Betriebsverhalten.

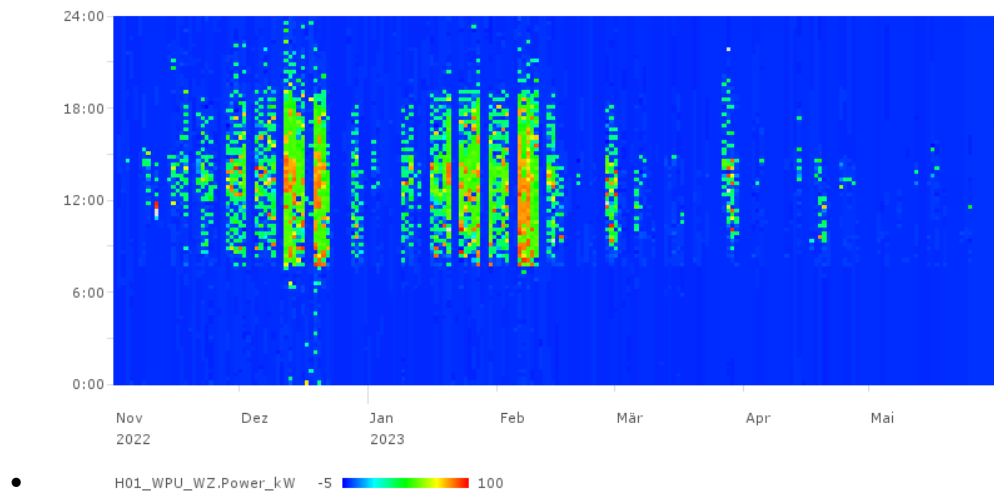


Abbildung 366: Carpet Plot Wärme-Abgabeleistung in [kW] der Wärmepumpe TüWI, Zeitraum Nov. 2022 – Mai 2023 (Quelle: e7)

- Der Fernwärmebezug erscheint mit einem Anteil an der Gesamt-Wärmebereitstellung von 80% äußerst hoch. Der Fernwärmebezug ist etwa 4-mal so hoch, wie die Hochtemperatur-Verbraucher (=Warmwasser-Bereitung) benötigen. D.h. es wird ein großer Anteil der Niedertemperatur-Verbraucher (Raumheizung über Bauteilaktivierung und Fußbodenheizung sowie Zuluft-Konditionierung über Heizregister bei den Lüftungsgeräten) über Fernwärme versorgt, was in diesem Ausmaß nicht notwendig wäre. Ein Hauptgrund dafür dürfte ein Problem beim Speichermanagement am Wärmeschichtladespeicher (=Herzstück der Wärmeversorgung) sein. Die Monitoringdaten zeigen, dass es zu vielen Zeiten zu einer unerwünschten Durchmischung der Speicherschichten kommt.

Wärmeabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Eine aktive Ausnutzung der Speicherfähigkeit der Bauteilaktivierung liegt nicht vor, der Bauteilaktivierungs-Heizkreis wird ident wie der Fußbodenheizkreis betrieben. Durch regelungstechnische Maßnahmen könnte die Bauteilaktivierung beispielsweise zur Verringerung der Fernwärmebezüge genutzt werden.

Verzeichnete Betriebsbedingungen der Heizung über Bauteilaktivierung:

- Aktivierung des Heizungsregelkreises über Sommer-Winter-Umschaltung per verzögertem Außentemperatur-Messwert
- Aktivierung der Raumheizung in den Räumen über dezentrale Einzelraumreglung
- VL-Temp. liegt bei 23-28,5°C, die Heizkurve mit Hochpunkt Außentemperatur -18°C/T_VL 30°C und Tiefpunkt Außentemperatur 20°C/T_VL 20°C wird eingehalten.

- Temperatur-Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf bei max. Heizleistung: 3,5 K
- Variabler Volumenstrom durch Drehzahlregelung der Umwälzpumpe (Druckdifferenzregelung)
- Maximale Abgabeleistung: 21 kW (am 6.2.2023)
- Maximale spezifische Abgabeleistung: 14 W/m²

8.16.4 Nachfragestruktur Kälte

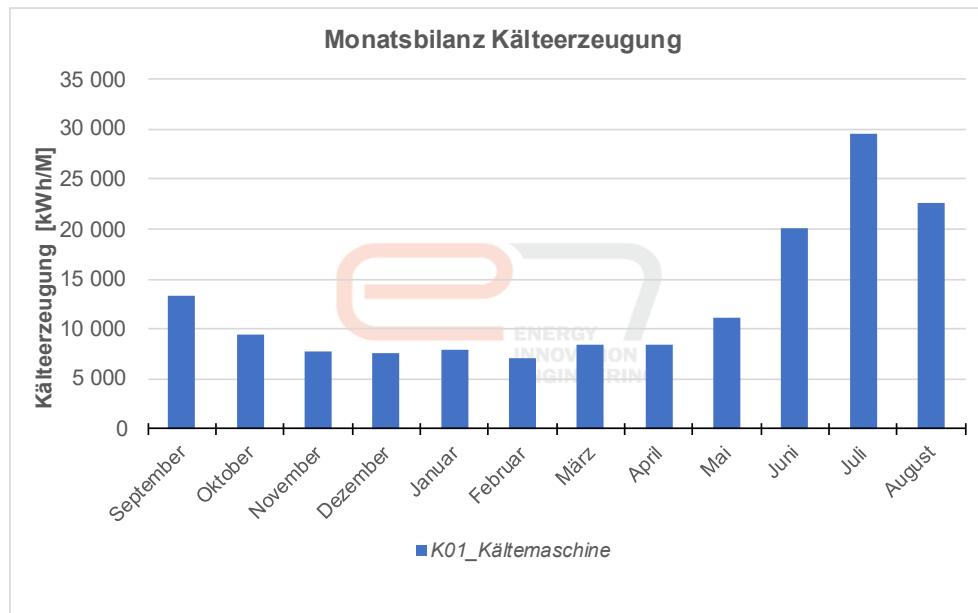


Abbildung 367: Monatsbilanz Kälteerzeugung TÜWI (Quelle: e7)

Die Kältebereitstellung erfolgt im Monitoringzeitraum fast ausschließlich durch die Kältemaschine. Die Wärmepumpe und die Freecooling-Funktion über die Erdsonden werden nicht für die Kälteerzeugung genutzt.¹³

Die Jahres-Kältebereitstellung beträgt 153.400 kWh/a bzw. 31,7 kWh/m²_{BGFA}. Der über das Gesamtjahr ermittelte EER der Kältemaschine beträgt 4,0.

In den nachfolgenden Abbildungen wird die Monatsbilanz der Kälteverbraucher dargestellt.

¹³ Anmerkung: Freecooling über Erdsonden erfolgte nur kurzfristig im Zeitraum 17. - 19.5.2023, wo die Kältemaschine ausgefallen ist (Notbetrieb).

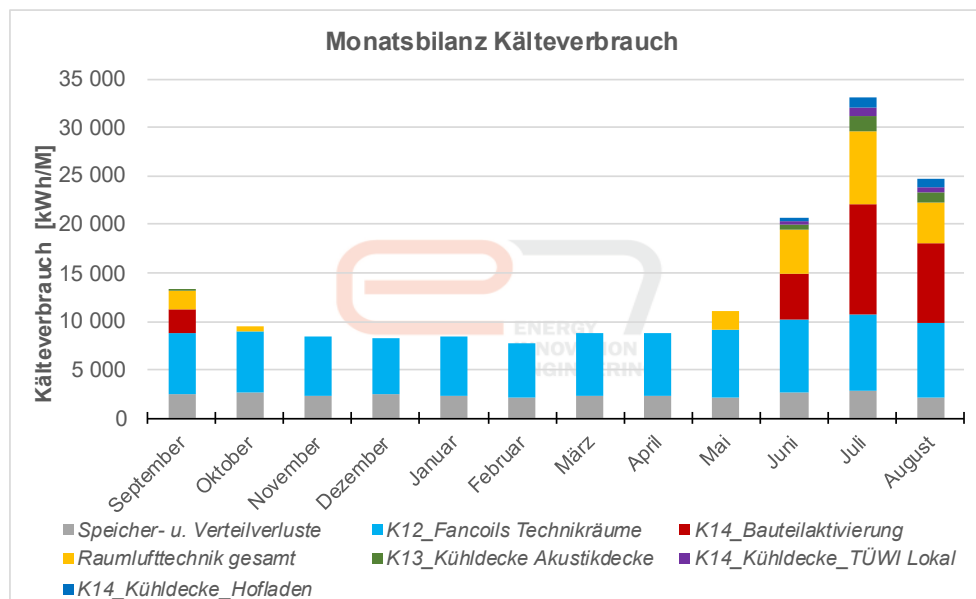


Abbildung 368: Monatsbilanz Kälteverbrauch TÜWI (Quelle: e7)

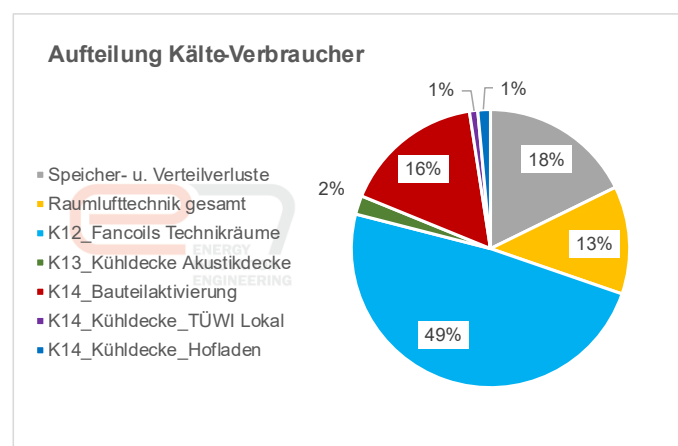


Abbildung 369: Aufteilung der Kälteverbraucher TÜWI (Quelle: e7)

Kälteabgabe Bauteilaktivierung im Detail

Der letzte Kühlbetriebstag im Jahr 2022 war der 15.09.2022. Im Jahr 2023 erfolgte die Aktivierung der Kühlung der Zone „Büro“ (Bauteilaktivierung) relativ spät ab dem 21.06.2023. In die Zone „Büro“ wird ein Anteil von 16% (ca. 26.730 kWh) der von der Kältemaschine erzeugten Kältemenge über die Kühlung Bauteilaktivierung eingebracht. Bezieht man die betreffende Kältemenge auf die BGF der Büro-Zone (1.998 m²) ergibt sich ein spez. Kälteverbrauch von 13,4 kWh/m²_{BGFa}.

Verzeichnete Betriebsbedingungen der Kühlung über Bauteilaktivierung:

- Aktivierung der Raumkühlung in den Räumen über dezentrale Einzelraumregelung
- Vorlauftemperatur = 18°C
- Rücklauftemperatur = ca. 20,5°C (dT ca. 2,5 K)
- Variabler Volumenstrom, Differenzdruckregelung der Umwälzpumpe

- Maximale Abgabeleistung: 51 kW
- Maximale spezifische Abgabeleistung: ca. 34 W/m²

Optimierungspotenziale Betrieb Bauteilaktivierung:

- Wie schon bei dem Heizbetrieb festgestellt, liegt auch beim Kühlbetrieb keine aktive Ausnutzung der Speicherfähigkeit der Bauteilaktivierung vor. Hier könnte beispielsweise durch regelungstechnische Maßnahmen die Kühlung in den Nachtstunden forciert werden, um günstigeren Off-Peak Strom für die Kältemaschine zu nutzen.
- Weiters wäre während der Kühlperiode vor allem an den Randzeiten bzw. Wochenenden, wo keine oder nur wenig Lüftungstechnik in Betrieb ist, die Kühlung über den Free-Cooling Wärmetauscher in Verknüpfung mit dem Erdsondenfeld sinnvoll zu nutzen. Es würden dadurch die VL-Temperaturen im Kältesystem steigen, was aber keine negativen Konsequenzen haben sollte, da die Anlagen auf diese Temperaturen ausgelegt wurden (lt. Planunterlagen wurden diese auf T_{VL}=16°C ausgelegt). Es würde dadurch ein hoher Anteil an aktiv erzeugter Kühlenergie durch die Kältemaschine vermieden werden. Auf eine ausgeglichene Jahresbilanz der eingespeisten und entnommenen Wärmeenergiemengen im Erdsondenfeld sollte geachtet werden.

8.16.5 Nachfragestruktur Strom

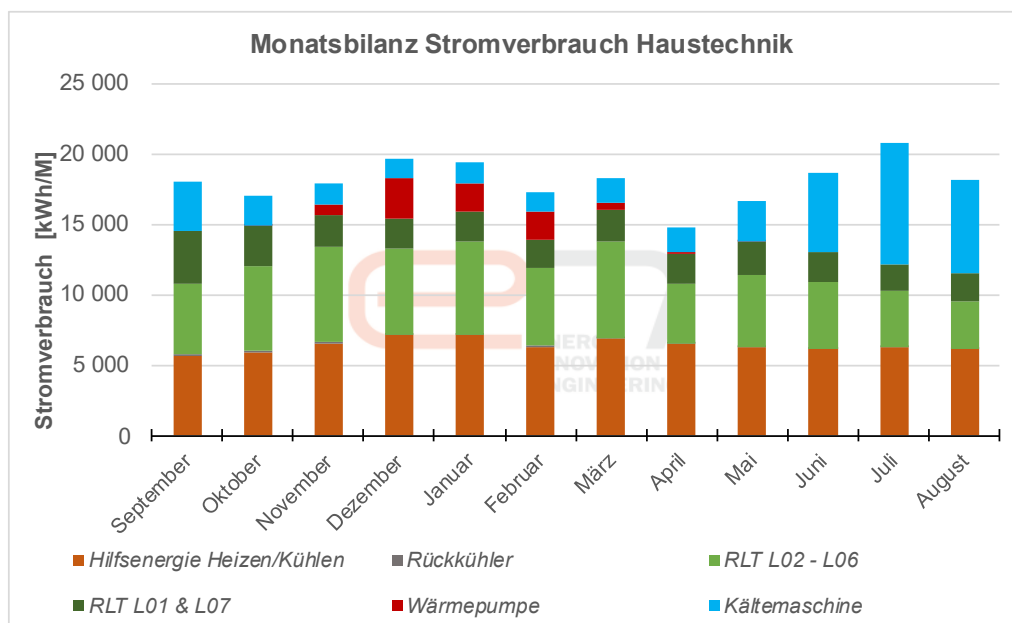


Abbildung 370: Monatsbilanz Stromverbrauch TÜWI-Haustechnik (Quelle: e7)

Die oberhalb ersichtliche Monatsbilanz zeigt die Stromverbräuche der Haustechnik, welche folgende Verbrauchergruppen umfasst:

- Hilfsenergie Heizen/Kühlen
- Kältemaschine und Rückkühler
- Wärmepumpe
- RLT L02 - L06
- RLT L01 & L07

Der Jahresstromverbrauch des Gebäudes beträgt 552.260 kWh/a bzw. 114 kWh/m²_{BGFa}.

Jahres-Stromverbräuche relevanter Haustechnik-Verbraucher:

- Kältemaschine: 38.171 kWh/a bzw. 7,9 kWh/m²_{BGFa}
- Lüftungstechnik RLT L01 – L07: 92.377 kWh/a bzw. 19,1 kWh/m²_{BGFa}.
Zu den Stromverbräuchen der Lüftungsanlagen L02 – L06 ist positiv anzumerken, dass sich diese ab April 2023 aufgrund der Betriebszeitanpassungen um mehr als 30% verringert haben.

Über das Gesamtjahr betrachtet, liegt der Anteil der Haustechnik-Stromverbräuche bei 39% des Gesamtstromverbrauchs (Netzbezug + PV-Ertrag), was auch die nachfolgende Abbildung verdeutlicht.

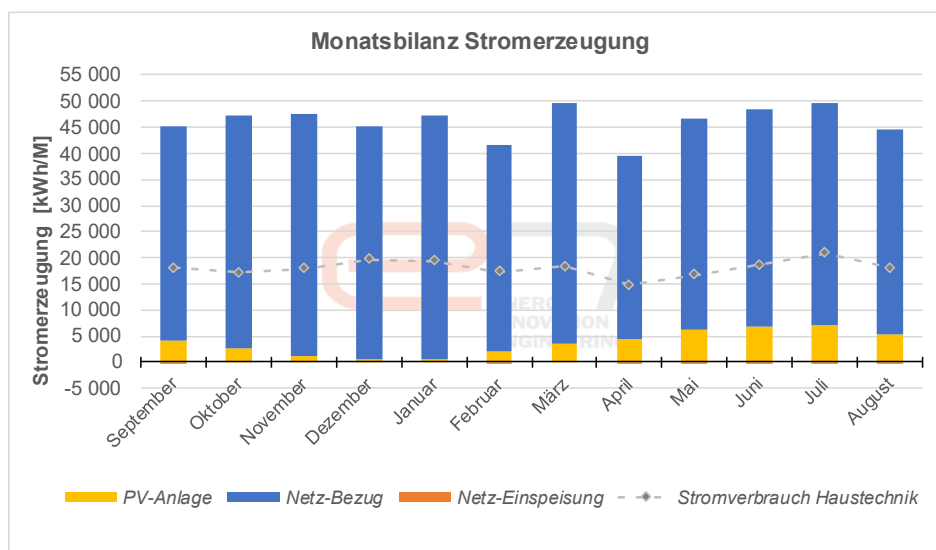


Abbildung 371: Monatsbilanz Gesamtstrombezug, PV-Überschusseinspeisung, PV-Erzeugung und Anteil Stromverbrauch Haustechnik, TÜWI (Quelle: e7)

Die Monitoringdaten der Photovoltaik-Erträge (53 kW_p) für den Monitoringzeitraum ergeben folgende Kennzahlen:

- Jahresertrag: 43.782 kWh, spezifischer Jahresertrag: 826 kWh/kW_p
- Nahezu die gesamte PV-Strommenge wird im Gebäude verbraucht
- Nur geringe Einspeisung von PV-Überschussstrom in das Stromnetz (ca. 105 kWh, entspricht 0,2% der PV-Erzeugungsmenge)
- Anteil des PV-Eigenstromverbrauchs am Gesamtverbrauch: 7,9%

8.16.6 Raumkomfort - Monitoring

Kontinuierliches Monitoring des Raumkomforts

Referenzräume: Es wurden insgesamt 5 Referenzräume aus der Zone „Büro“ gewählt, wo sich die Bauteilaktivierung befindet (OG1: Teeküche, Büro; OG2: Besprechungsraum, Useraum und ÖH-Großraum).

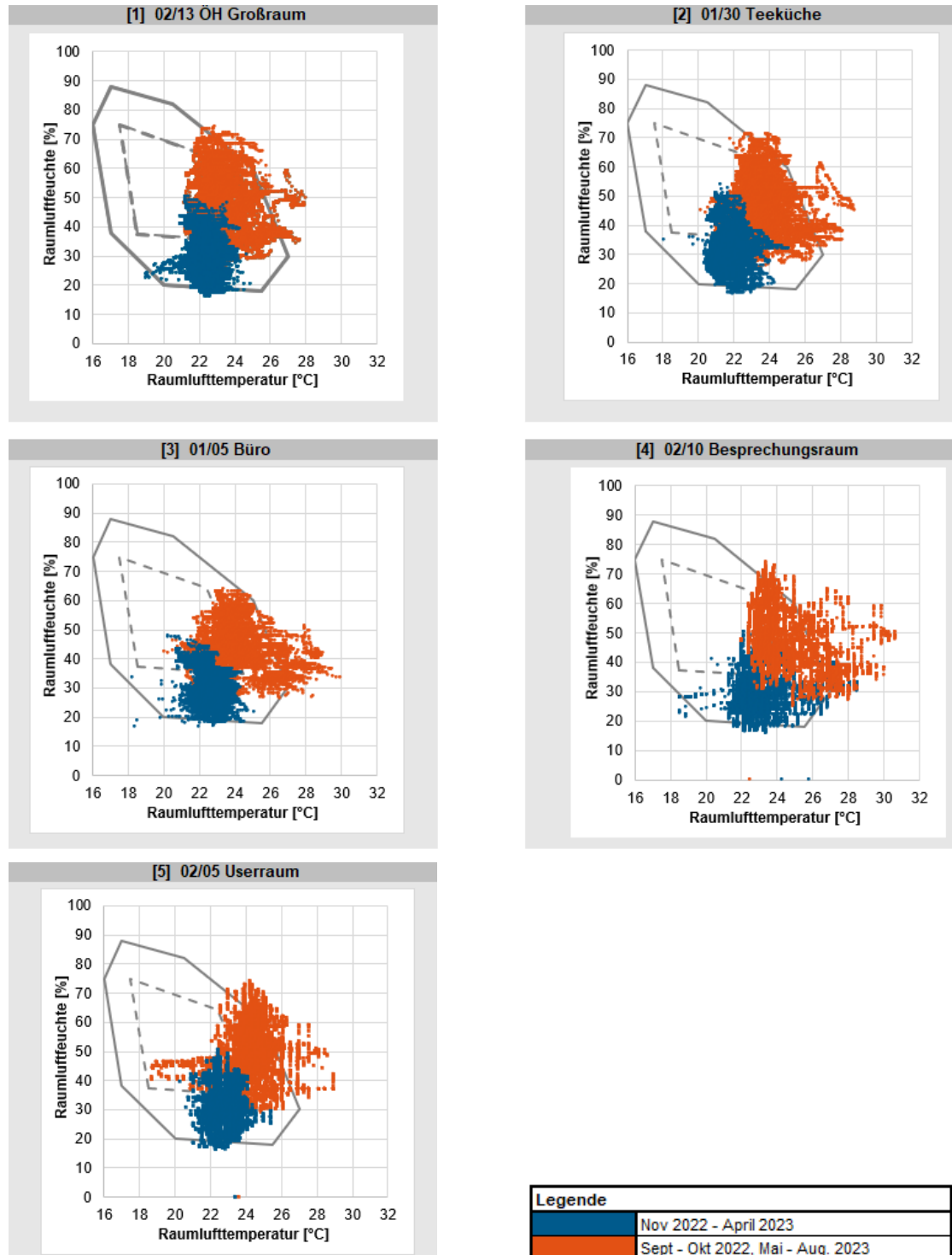


Abbildung 372: Behaglichkeitsdiagramme der Referenzräume, TÜWI (Quelle: e7)

Die Behaglichkeitsdiagramme der Referenzräume zeigen, dass die Raumkonditionen während dem Winterhalbjahr weitgehend im noch behaglichen Komfortbereich liegen. Die Raumtemperaturen sind kaum unter 21°C gesunken, die Raumlufffeuchten befanden sich allerdings teils in zu trockenen Bereichen (Bandbreite 20 - 45%). Die geringsten Raumlufffeuchten wurden Anfang Februar verzeichnet. Die mittleren Raumlufffeuchte im Winterhalbjahr beträgt in allen Referenzräumen um die 30% (eher zu trocken).

In der Sommerperiode (ab Mai 2023) kam es zu teils hohen Raumtemperaturen in den Referenzräumen (bis über 30°C im Besprechungsraum und Büroraum, die anderen Referenzräume geringfügig kühler). Dies ist damit zu begründen, dass die Kühlung über die Bauteilaktivierung erst ab Mittwoch, 21.06.2023 von der Betriebsführung aktiviert wurde. Davor erfolgte die Konditionierung der Raumluff lediglich über die Lüftungstechnik. Es zeigt sich, dass der Besprechungsraum ohne aktive Kühlung besonders stark zu Überhitzung neigt (siehe auch nachfolgende Tabelle). Die Gründe dafür dürften der hohe Fensterflächenanteil und die Orientierung dieses Raums und interne Lasten der Nutzer*innen sein.

Ab der Aktivierung der Kühlung über die Bauteilaktivierung werden die Raumlufftemperaturen in allen Referenzräumen im noch behaglichen Bereich gehalten. Das Gesamtsystem Bauteilaktivierung, Jalousiensteuerung, außenliegende Fassaden-Lamellen und Raumlufftechnik erfüllt ihre Zwecke gut.

Tabelle 9: Mittlere Raumlufftemperaturen und Anteile der Überhitzungsstunden der Referenzräume (Quelle: e7)

		02/13 ÖH Großraum	01/30 Teeküche	01/05 Büro	02/10 Besprechungsraum	02/05 Userraum
Mittlere Raumtemperatur in den Sommermonaten	[°C]	23,36	23,63	24,04	24,80	24,21
Anteil der Überhitzungsstunden (T > 26°C) an der Gesamtjahresstundenanzahl	[h]	126	209	528	1288	204
Anteil der Überhitzungsstunden (T > 26°C) an der Gesamtstundenanzahl	[%]	1%	2%	6%	15%	2%

Nachfolgend werden die Raumlufftemperaturen der Referenzräume den Kategorien der Standardauslegungswerte für operative Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, Anhang B, Tab. B.2 gegenübergestellt.

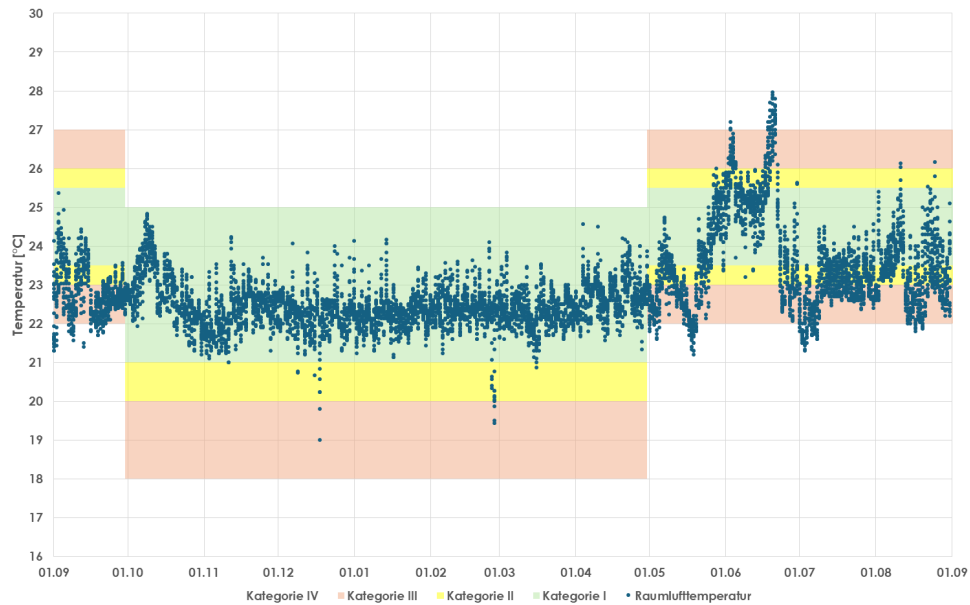


Abbildung 373: Raumlufttemperatur ÖH-Großraum und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemp. für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, BOKU TÜWI (Quelle: e7)

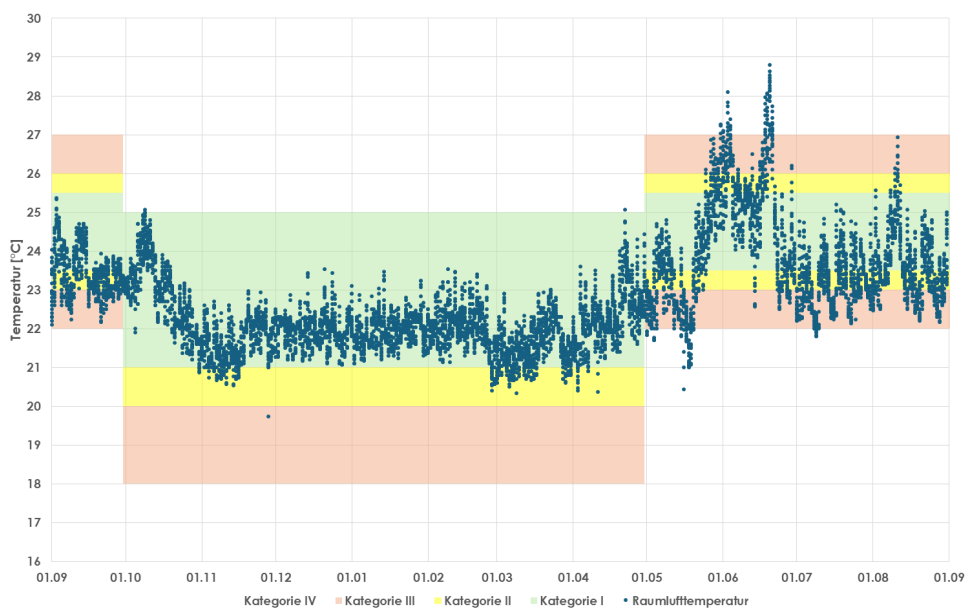


Abbildung 374: Raumlufttemperatur Teeküche und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, BOKU TÜWI (Quelle: e7)

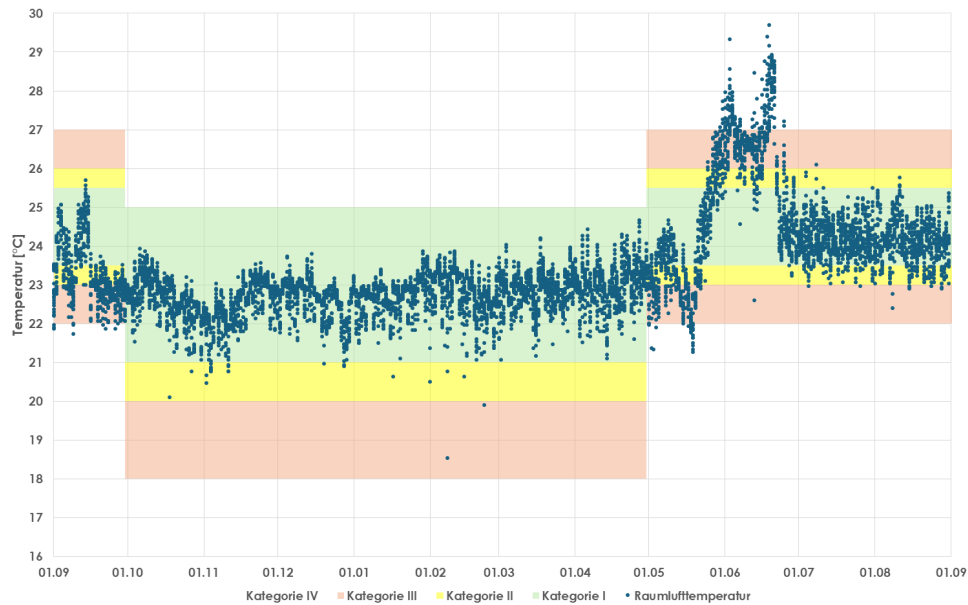


Abbildung 375: Raumlufttemperatur Büroraum und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, BOKU TÜWI (Quelle: e7)

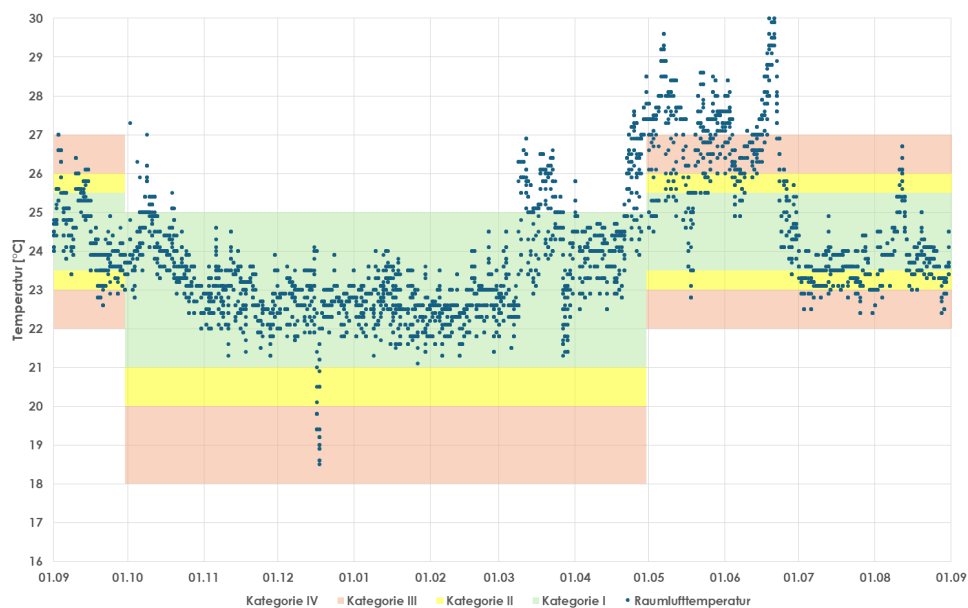


Abbildung 376: Raumlufttemperatur Besprechungsraum und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, BOKU TÜWI (Quelle: e7)

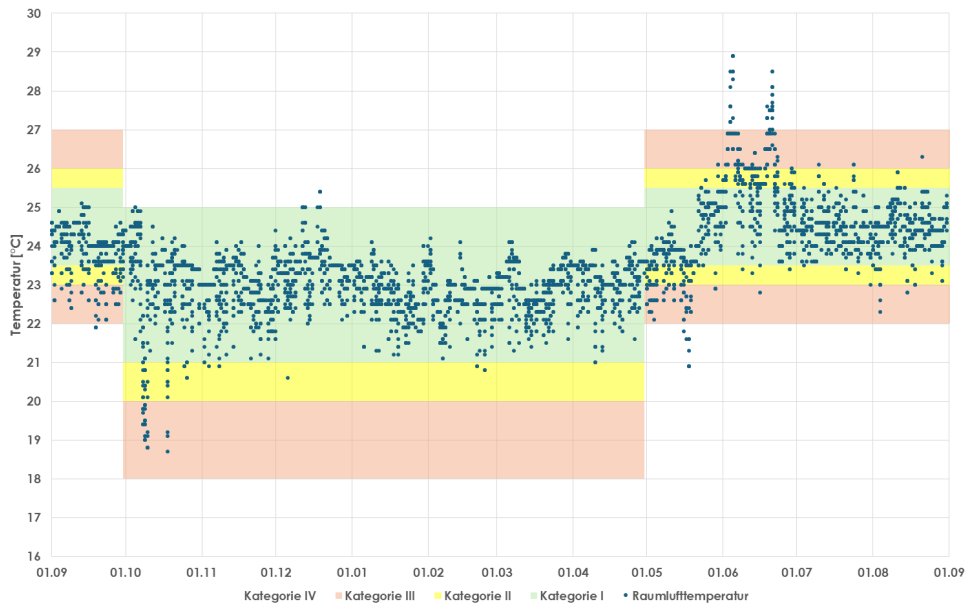


Abbildung 377: Raumlufttemperatur Useraum und Standardauslegungswerte-Kategorien der operativen Innenraumtemperatur für Winter und Sommer für Gebäude mit maschineller Kühlung gemäß ÖNORM EN 16798-1:2019, BOKU TÜWI (Quelle: e7)

Operative Temperaturen

Die operative Temperatur (gefühlte Temperatur, Empfindungstemperatur) umfasst das Zusammenwirken der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebungsoberflächen und ist der Hauptfaktor der thermischen Behaglichkeit.

Für die 5 Referenzräume wurden die operativen Temperaturen quartalsweise bestimmt.

Die ermittelten operativen Temperaturen zeigen die jahreszeitlichen Bandbreiten der Temperatur-Unterschiede in jeweiligen Räumen.

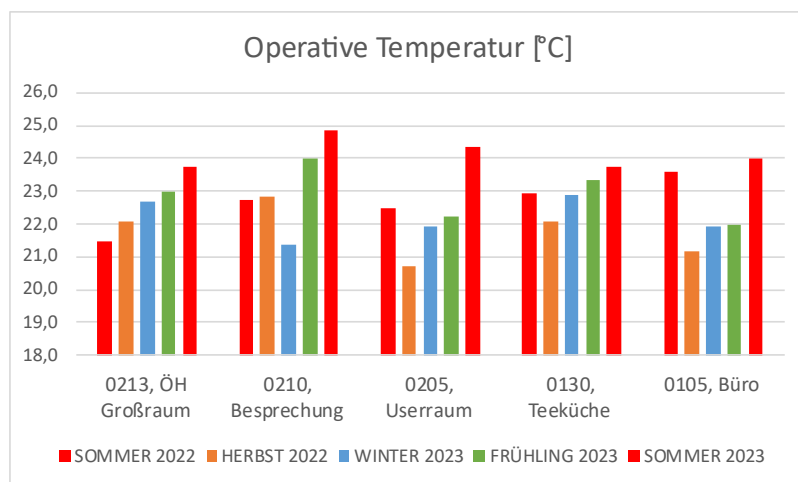


Abbildung 378: Operative Temperaturen für die Referenzräume, TüWI (Quelle: e7)

Die ermittelten operativen Temperaturen der Referenzräume liegen bei allen Räumen außer dem Useraum unabhängig von der Jahreszeit um ca. 0,5 K unter der Raumlufthtemperatur. Dass die operative Temperatur ganzjährig ca. 0,5 K geringer ausfällt, lässt sich mit den großen Fensterflächen (wirken im Winterhalbjahr kühler) und mit der Bauteilaktivierung an der Decke (wirkt im Sommerhalbjahr kühler) erklären.

Dass der Useraum von diesem Verhalten gegenüber den anderen Referenzräumen abweicht, kann mit der deutlich geringeren Fensterfläche begründet werden.

Behaglichkeits-Messung nach ISO 7730

Behaglichkeits-Messung mittels „Messbaum“ im Referenzraum 02/13, ÖH Großraum

Folgende Einflussgrößen werden bei dieser Methode der Behaglichkeitsbewertung gemessen und ausgewertet:

- Raumlufthtemperatur
- Mittlere Strahlungstemperatur der Raumumschließungsflächen
- Luftgeschwindigkeit
- Luftfeuchte

Zeitraum „Winter“ 26.01.- 06.02.2023 (11 Tage)

Bekleidung: Normale Geschäftskleidung ($0,154 \text{ m}^2\text{K/W}$ / clo=1,0)

Aktivität: Sitzend, leichte Tätigkeit (70 W/m^2 / met_{1,2})

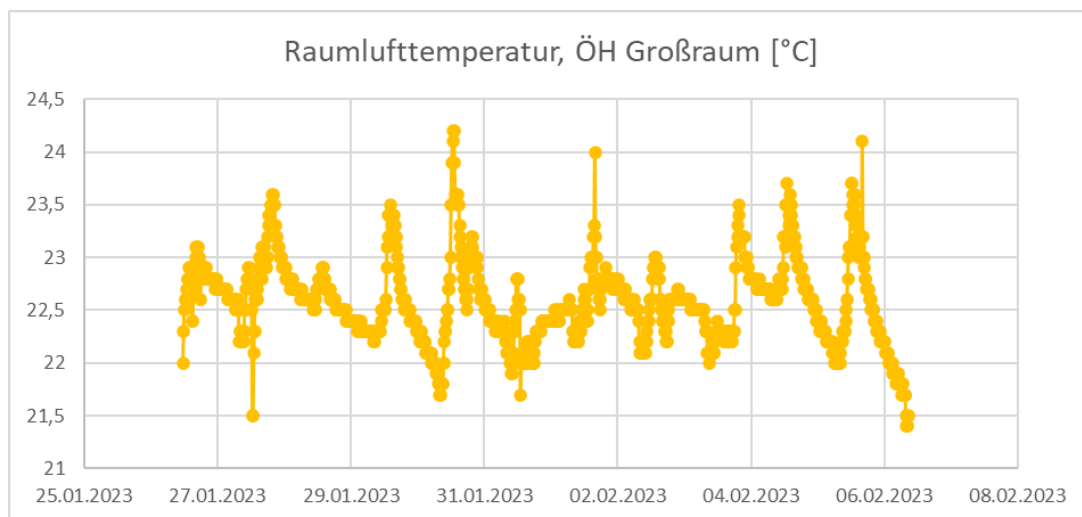


Abbildung 379: Raumlufthtemperatur ÖH-Großraum, 26.01.-06.02.2023 (Quelle: e7)

Die Messergebnisse belegen, dass durchwegs angenehme, behagliche Bedingungen im Referenzraum vorlagen (PMV-Wertebereich -0,5 bis + 0,5 entspricht dem thermischen Empfinden „behaglich“, die erwartete durchschnittliche Unzufriedenheitsrate „PPD-Index“ liegt bei <8,3%).

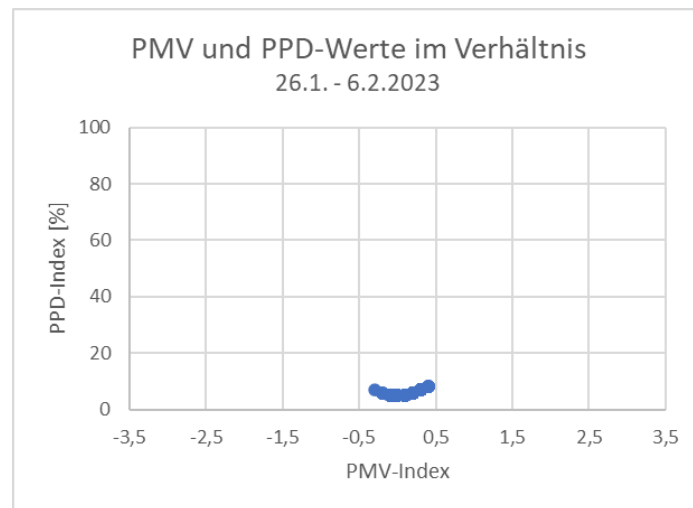


Abbildung 380: PMV- und PPD-Werte für die Messperiode "Winter" im Referenzraum ÖH Großraum (Quelle: e7)

Zeitraums „Sommer“ 26.05.- 17.07.2023 (20,5 Tage)

Bekleidung: Leichte Geschäftskleidung ($0,154 \text{ m}^2\text{K/W}$ / $\text{clo}=0,7$)

Aktivität: Sitzend, leichte Tätigkeit (70 W/m^2 / $\text{met}_{1,2}$)

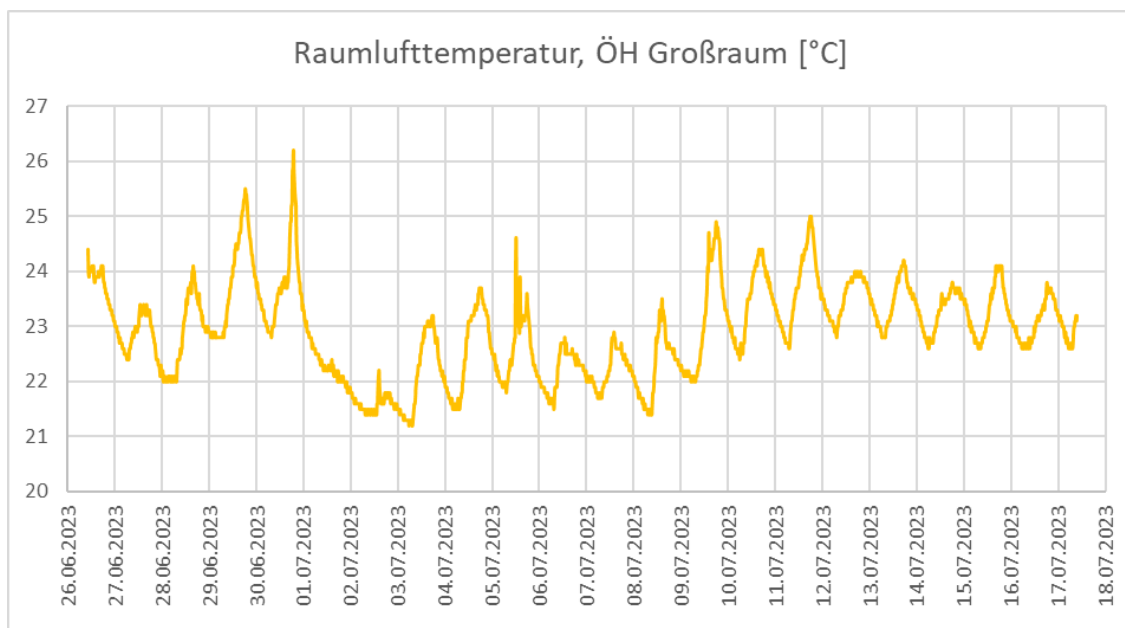


Abbildung 381: Raumlufthtemperatur ÖH-Großraum, 26.06.-17.07.2023 (Quelle: e7)

Die Messergebnisse belegen, dass durchwegs angenehme, behagliche Bedingungen im Referenzraum vorlagen (PMV-Wertebereich -0,5 bis + 0,5 entspricht dem thermischen Empfinden „behaglich“ bzw. zu geringen Zeiten „leicht warm“; die erwartete durchschnittliche Unzufriedenheitsrate „PPD-Index“ liegt bei ca. 5%). Die geringfügigen Zeiträume mit etwas höheren Unzufriedenheitsraten treten am Abend jeweils am 29. und 30. Juni auf. Als Grund dafür können die ansteigenden Raumtemperaturen am Nachmittag bzw. Abend angeführt werden (siehe Temperatur-Spitzen in obiger Abbildung).

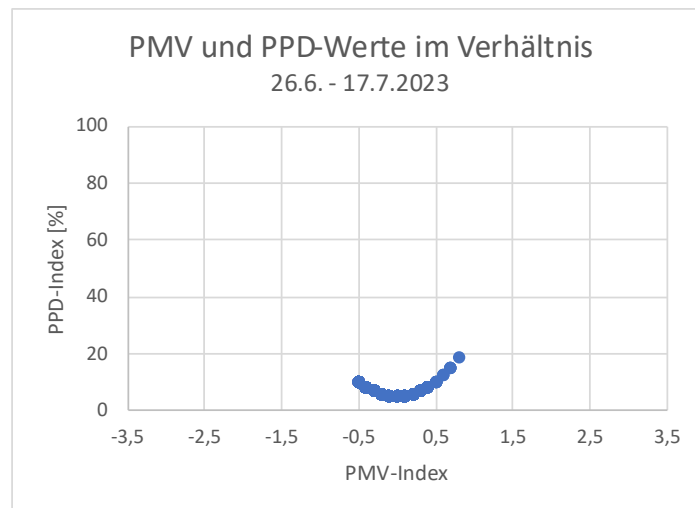


Abbildung 382: PMV- und PPD-Werte für die Messperiode "Sommer" im Referenzraum ÖH Großraum (Quelle: e7)

