

BEHEIZUNG EINER BURG MITTELS LUFT/LUFT- WÄRMEPUMPE

von

Andreas TOCKNER

als Diplomarbeit der Kommission zur Abhaltung der dritten Diplomprüfung
der Studienrichtung Maschinenbau an der Technischen Universität Graz
über das Institut für Wärmetechnik vorgelegt.

Begutachter:

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. René Rieberer

Betreuer:

Dipl.-Ing. Dr. Richard Heimrath

Graz, im Juni 2012

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, Mai 2012

.....
(Andreas Tockner)

KURZFASSUNG

Titel: Beheizung einer Burg mittels Luft/Luft-Wärmepumpe

Autor: Andreas Tockner

1. Stichwort: Multi-Split
2. Stichwort: thermische Gebäudesimulation
3. Stichwort: Burg Rabenstein Frohnleiten

Um den Bestand historischer Gebäude, längerfristig zu erhalten und vor allem auch in der kalten Jahreszeit nutzen zu können, ist eine Beheizung nötig. Die Installation von Beheizungs- und Klimatisierungsanlagen in denkmalgeschützten Gebäuden birgt aber einige Herausforderungen. Ein wesentliches Problem ist der Eingriff in die Gebäudestruktur durch die Installation konventioneller Heiz- und Klimatisierungsanlagen, welcher aufgrund des Denkmalschutzes meist nicht möglich ist.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die auf der Burg Rabenstein installierte Heizungsanlage, welche aus einer Multi-Split Luft/Luft-Wärmepumpe mit variablem Kältemittelfluss besteht, analysiert. Dabei wurde zuerst die installierte Anlage mit ihren Komponenten dokumentiert, anschließend wurde eine thermische Gebäudesimulation eines Burgtraktes mit der Simulationssoftware TRNSYS durchgeführt. Es wurden Strategien zur optimalen Beheizung untersucht, um den Heizenergiebedarf bei Aufrechterhaltung eines behaglichen Zustandes zu minimieren. Dabei wurden unter anderem der Einschaltzeitpunkt der Wärmepumpe, die Raumtemperatur außerhalb der Gebäudenutzungszeiten, und die Vorheiztemperatur variiert. Ausgehend von der Veranstaltungsübersicht aus dem Jahr 2011 wurden unterschiedliche Varianten hinsichtlich der Auslastung untersucht, wobei durch eine Sensitivitätsanalyse festgestellt werden konnte, dass vor allem ein Absenken der Raumtemperaturen, außerhalb der Gebäudenutzungszeiten, den Heizenergiebedarf stark senkt.

Um in dieser Arbeit folgenden Projekten die Leistungszahl und somit die Effizienz der Wärmepumpenanlage analysieren zu können, wurde ein Messkonzept ausgearbeitet. Dieses bestimmt durch die Erfassung von Massenstrom, Druck und Temperatur an zwei Stellen im Kältemittelkreislauf die von der Wärmepumpe abgegebene Wärmemenge. Durch die Messung der jährlich aufgenommenen Strommenge kann infolge die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe bestimmt werden.

ABSTRACT

Title: Heating of a castle with air to air heat pump

Author: Andreas Tockner

1st keyword: multi-split

2nd keyword: thermal building simulation

3rd keyword: Burg Rabenstein Frohnleiten

To sustain historic buildings, in the long term and enable their use, especially during the cold time of the year, heating and air conditioning have is needed. However, the installation of heating systems in heritage buildings holds some challenges. The major problem is the modification of the building structure by installation of conventional heating and air conditioning systems which is mostly impossible, because of historic preservation.

In this work, the heating system installed on Burg Rabenstein consisting of an air-to-air heat pump with variable refrigerant flow, was analyzed. First the installed system and its components were documented. Furthermore, a thermal building simulation of one castle tract with the simulation software TRNSYS was performed. Optimal heating strategies were investigated to minimize heating energy consumption while maintaining a comfortable indoor climate. Here the starting time of the heat pump, the room temperature when no events take place, and the blowing out air temperature of the devices indoor installed were varied. Based on the events schedule from 2011 different variants were analyzed. By using a sensitivity analysis it was found out that especially reducing room temperature out of building use significantly reduces heating energy consumption.

To determine the coefficient of performance and consequently the efficiency of the heat pump in further work following this diploma thesis, a measurement concept was worked out. This concept determines the mass flow, pressure and temperature at two positions in the refrigerant circuit and hence the amount of heat produced by the heat pump can be evaluated. By measuring the annual amount of current the seasonal performance factor can be determined.

VORWORT

Im Rahmen meines Studiums Maschinenbau an der TU Graz mit der Vertiefung „Energie und Umwelttechnik“ befasste ich mich immer wieder mit alternativen Energiesystemen. Durch mein persönliches Interesse auf diesem Gebiet fasste ich den Beschluss, mein Studium durch eine Diplomarbeit auf diesem Gebiet abzuschließen. Diese Motivation führte mich auch zum Thema: „Beheizung einer Burg mittels Luft/Luft-Wärmepumpe“.

Die Verwendung von regenerativen Energieanlagen gewinnen vor allem aufgrund des steigenden Öl- und Gaspreises immer mehr an Bedeutung. Der Energiebedarf für die Beheizung und das Kühlen von Gebäuden liegt europaweit derzeit bei ungefähr 50 %, in Österreich bei etwa 29 % des Endenergieverbrauchs (Energie-Control Austria 2011). Einsparungen von fossilen Brennstoffen sind auf diesem Gebiet aufgrund des standortfesten Betriebes von Heizungsanlagen leichter möglich wie z. Bsp. im Verkehr. Einen stetig steigenden Anteil an alternativen Heizsystemen stellt die Wärmepumpe dar, welche bei Betrieb mit Strom aus regenerativen Energiequellen eine emissionsfreie Beheizung ermöglicht.

Die Heizungsanlage auf der Burg Rabenstein besteht aus einer solchen Heizungsanlage. In der Arbeit wird näher auf die installierte Luft/Luft-Wärmepumpenanlage eingegangen.

Hiermit bedanke ich mich bei allen, die an dieser Arbeit mitgewirkt haben.

Einen besonderen Dank geht an die „Werner Hochegger Forschungsstiftung“, welche diese Arbeit finanziert und erst ermöglicht hat.

Graz, 30.5.2012

Andreas Tockner

INHALTSVERZEICHNIS

1	<u>EINLEITUNG</u>	1
2	<u>DIE BURG RABENSTEIN</u>	3
2.1	Geschichte und Geographische Lage	3
2.2	Räumlichkeiten der Burganlage	4
3	<u>GRUNDLAGEN LUFT/LUFT-WÄRMEPUMPE</u>	5
3.1	Funktionsweise einer Kompressionswärmepumpe	5
3.1.1	Kältemittel	6
3.1.1	Kältemittel R410A	6
3.1.2	Kompressor und Drossel	7
3.1.3	Leistungszahl und Jahresarbeitszahl	7
3.2	Luft/Luft-Wärmepumpe	8
4	<u>WÄRMEPUMPENANLAGE AUF RABENSTEIN</u>	9
4.1	Beschreibung der installierten Wärmepumpenanlage	9
4.2	Wärmepumpenkreise in der Burg Rabenstein	11
4.3	Beschreibung der TOSHIBA S- MMS Multisplit-Klimaanlage	14
4.3.1	Klima Innengeräte	14
4.3.1.a.1	Regelung der Innengeräte:	15
4.3.2	Außengeräte	19
4.3.1	Funktionsweise im Umkehrbetrieb	20
4.3.1.a.1	Regelung der Außengeräte	25
5	<u>THERMISCHE GEBÄUDESIMULATION DES NORDTRAKTES</u>	29
5.1	Randbedingungen zur thermischen Gebäudesimulation	29
5.1.1	Klimadaten Frohnleiten	30
5.1.2	Geologischer Aufbau des Erdreiches:	33
5.1.3	Ungestörte Erdreichtemperaturen	34
5.2	Eingabedaten Gebäude	35
5.2.1	Lage und Ausrichtung des Nordtraktes in der Burg Rabenstein	35
5.2.2	Geometrie und thermische Zonierung des Nordtraktes	37
5.2.3	Abbildung des Nordtraktes in Google SketchUp	40
5.2.4	Verschattungen durch angrenzende Gebäude	40
5.2.5	Zonenmäßige Darstellung der zusätzlichen internen Speichermassen	41
5.2.6	Berücksichtigung des Zubaus an der Westseite	45
5.2.7	Mechanischer Luftwechsel	46
5.2.8	Infiltration	47
5.2.9	Luftaustausch zwischen den Zonen	47
5.2.10	Gleichbleibende Konstruktionsaufbauten	48
5.2.11	Interne Gewinne durch Beleuchtung, Equipment und Personen	54
5.2.12	Leistung der Wärmepumpeninnengeräte in den einzelnen Zonen	58
5.3	Thermische Behaglichkeit	59

5.4 Simulation des Nordtraktes im Leerlauf	61
5.5 Thermische Gebäudesimulationen des Nordtraktes bei unterschiedlicher Auslastung	66
5.5.1 Simulation des Nordtraktes beheizt im Jahr 2011	67
5.5.2 Simulation des Nordtraktes beheizt Variante „Basisauslastung“	73
5.5.3 Simulation des Nordtraktes Variante „Topauslastung“	79
5.6 Bestimmung des Normheizwärmebedarfs HWB des Nordtraktes und deren Umrechnung auf die gesamte Burg	84
5.7 Bestimmung der Normheizlast in den beheizten Zonen	85
5.8 Sensitivitätsanalyse der Vorheizdauer, Vorheiztemperatur und der Absenkttemperatur hinsichtlich der Behaglichkeit und des Heizwärmebedarfes	85
5.8.1 Einfluss der Vorheizdauer auf die Behaglichkeit	86
5.8.2 Variation der Absenkttemperatur außerhalb der Veranstaltungen im Nordtrakt	88
5.8.3 Einfluss der Vorheiztemperaturen, Absenkttemperatur und des Abschaltzeitpunktes der Heizung vor den Veranstaltungen auf die Behaglichkeit	95
<u>6 KONZEPT ZUR VERMESSUNG DER WÄRMEPUMPE</u>	<u>100</u>
6.1 Bestimmung der Effizienz der Anlage	100
6.2 Lage des Messsystems in der Wärmepumpenanlage	101
6.3 Bestimmung des Messbereichs Nord- und Südtrakt:	103
6.4 Messgeräte zur Massenstrombestimmung	105
6.4.2 Auswahl eines geeigneten Messgerätes:	109
6.5 Möglichkeiten zur Messdatenerfassung	110
<u>7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</u>	<u>112</u>
<u>8 LITERATUR</u>	<u>115</u>
<u>TABELLENVERZEICHNIS</u>	<u>120</u>
<u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</u>	<u>122</u>
<u>9 ANHANG</u>	<u>124</u>
9.1 Berechnung des Druckverlustes durch das Coriolis-massenstrommessgerät	124
9.2 p/h-Diagramm von R410A	126
9.3 Jahresdauerlinien der Heizlast	127
9.4 Detailzeichnungen der Außengeräte	130
9.5 Eingabedaten der Zonen für die thermische Gebäudesimulation mit TRNBuild:	133
9.6 Wärmepumpenkreise auf Rabenstein	135

1 EINLEITUNG

Aufzeichnungen der Zentralanstalt für Meteorologie haben ergeben, dass sich im 20. Jahrhundert die globale Mitteltemperatur um knapp 1 °C erhöht hat (<http://www.zamg.ac.at/klima>, 5.5.2012). Dies ist vor allem auf die erhöhte CO₂ Konzentration in der Atmosphäre, verursacht durch die Verbrennung fossiler Energieträger, zurückzuführen. Die Auswirkungen der globalen Erwärmung in den nächsten Jahrzehnten auf das Klima und die Lebensbedingungen der nächsten Generationen sind noch schwer absehbar. Steigende Energiepreise, weltweit stark zunehmender Energiebedarf, Verknappung der fossilen Ressourcen, Konflikte zwischen den Energieträgerim- und exportierenden Ländern, sich häufende Umweltkatastrophen etc. beschleunigen die Entwicklung von Energieanlagen welche großteils mit alternativer, erneuerbaren Energie betrieben werden. Ein großer Anteil der Weltprimärenergie wird für das Beheizen von Gebäuden, auf Niedertemperaturniveau unter 100 °C verwendet. Als Energieträger kommen vor allem Erdöl, Kohle und Erdgas zum Einsatz.

Wärmepumpen bieten eine Alternative zu konventionellen Heizsystemen, um Energie effizient zu nutzen. Sie bieten die Möglichkeit, Energie von niedrigem Temperaturniveau, welche sonst meist nicht nutzbare wäre, auf ein höheres, für Heizzwecke nutzbares Temperaturniveau, zu heben.

Für die Verwendung von Wärmepumpen zur Beheizung von Gebäuden werden meist Erd- und Außenluft-Wärmepumpen eingesetzt. Oft ist die Möglichkeit nicht gegeben, die für Erdwärmepumpen benötigten Erdsonden oder Erdreichkollektoren zu installieren, hier bieten die Außenluft-Wärmepumpen eine Alternative.

Auf der Burg Rabenstein wurde eine der größten Multisplit-Luft/Luft-Wärmepumpen mit variablen Kältemittelstrom und einer Heizleistung von 546 kW installiert. Dieser dient Außenluft als Wärmequelle und Raumluft als Wärmesenke.

Um die eingesetzte Energie möglichst effizient nutzen zu können und um die Regelung der Wärmepumpenanlage zu optimieren, werden heutzutage häufig thermische Simulationsprogramme verwendet.

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde die Wärmepumpenanlage dokumentiert, ein ausgewählter Bereich mit dem thermischen Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS simuliert und ein Messkonzept zur Bestimmung der Effizienz der Wärmepumpe ausgewählt, wodurch eine Überprüfung der Simulationsergebnisse möglich werden soll. Anhand der thermischen Gebäudesimulation sollen optimale Regelstrategien gefunden werden, um den Heizenergiebedarf durch bestimmte Regelungsstrategien zu minimieren.

Die Diplomarbeit ist in folgende Kapitel gegliedert:

Nach dem Kapitel 1, der Einleitung, erfolgt in Kapitel 2 ein kurzer Einblick über die Geschichte, die Lage und die Räumlichkeiten der Burg Rabenstein.

Kapitel 3 beinhaltet eine Einführung in die allgemeine Funktionsweise einer Kompressionswärmepumpe. Es wird im Detail auf die Luft/Luft-Wärmepumpe eingegangen.

In Kapitel 4 erfolgt eine detaillierte Beschreibung der auf Burg Rabenstein installierten Heizungsanlage. Unter anderem werden die Funktionsweise und der Aufbau der Innen- und Außengeräte beschrieben. Zudem wird näher auf die Funktionsweise und Regelung von Klimaanlage bzw. Multisplit-Wärmepumpen eingegangen.

Die Darstellung der thermischen Gebäudesimulation erfolgt in Kapitel 5. Hier werden zuerst Eckdaten, wie der geologische Aufbau des Burguntergrundes und Klimadaten der nächstgelegenen Wetterwarte erfasst. Später werden für die Simulation benötigte Eingabedaten, wie z.B. Geometrie des Nordtraktes, Verschattung durch angrenzende Gebäude, Konstruktionsaufbauten, interne Gewinne und die Leistung der installierten Anlage dokumentiert. Die Simulation wird mit dem Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS für unterschiedliche Szenarien durchgeführt und der Einfluss auf die Behaglichkeit und den Heizwärmebedarf untersucht.

In Kapitel 6 wird ein Messsystem, welches zur Bestimmung der Effizienz der Wärmepumpenanlage dient, beschrieben.

Kapitel 7 fasst die Diplomarbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf mögliche weitere Aufgabenstellungen, die dieser Arbeit folgen könnten.

2 DIE BURG RABENSTEIN

In diesem Kapitel wird auf die Geschichte, die Lage und die Räumlichkeiten der Burg Rabenstein eingegangen.

2.1 Geschichte und Geographische Lage

Erste Teile wurden im 12. Jahrhundert zwischen 1174 und 1180 n. Chr. von „Lantfried de Rammenstain“ errichtet. Nach 200 Jahren wurde die Burg durch einen Brand vernichtet. Im Jahr 1405 wurden ein oberes und ein unteres Haus aufgebaut. Die Burg diente vor allem der Sicherung und Überwachung des Verkehrsweges zwischen Graz und der nördlichen Steiermark. Dieser verlief damals noch durch den Burghof (<http://www.burg-rabenstein.at>, 20.4.2012).

Von 2005 bis 2010 wurde die unter Denkmalschutz stehende Burg vom jetzigen Burgherr DI Werner Hohegger um 14 Mill Euro erneuert und unter anderem mit einem modernen Heizsystem ausgestattet. Da der Platz für die Zufahrt zum Burghof beschränkt ist, wurde ein Lift, genannt „Atlantis Shuttle“, welcher in Abbildung 2 vor dem Burgfels zu sehen ist, installiert. Bei den Umbauarbeiten wurde auf einer Anhöhe über der Burg ein exklusives Büro, die sogenannte „Hoheggerkeusche“ errichtet, welches über einen Tunnel und ein Liftsystem erreicht werden kann.

Vor der Sanierung wurde die Burg für Ritterspiele, Greifvogelvorführungen oder ähnliche Veranstaltungen verwendet. Heute dient die Burganlage meist für die Abhaltung von Seminaren, Tagungen, Workshops oder Feiern. Die als Heizsystem installierte Wärmepumpe dient neben der Beheizung auch als Forschungsobjekt und als Referenzanlage für die Beheizung von historischen, denkmalgeschützten Gebäuden.

Die Burg Rabenstein befindet sich ca. 25 km nördlich der steirischen Landeshauptstadt Graz auf einem Felsvorsprung westlich der Mur auf einer Seehöhe von 438 m (Abbildung 1).

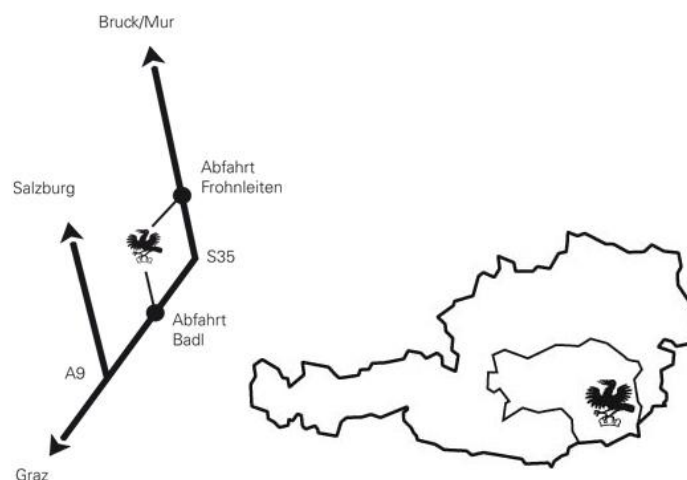


Abbildung 1: Geographische Lage der Burg Rabenstein (<http://www.burg-rabenstein.at/de/burg-rabenstein/anfahrt>, 12.4.2012)



Abbildung 2: Burg Rabenstein Ansicht von Norden (<http://www.stmk.wifi.at> 12.4.2012)

2.2 Räumlichkeiten der Burganlage

Die Burg besitzt eine Bruttogeschoßfläche von etwa 2400 m² und besteht aus folgenden Teilbereichen:

Der **Schlosstrakt**, welcher im 16. und 17. Jahrhundert errichtet wurde, bildet den östlichen Teil der Burg. Seine Räumlichkeiten sind unter anderem die Rabenbar, die Bibliothek, das Japanzimmer und die Rittersäle. Der sich auf der westlichen Seite der Anlage befindende **Konferenztrakt** besteht aus einer Kapelle, dem Planetensaal, der Taverne und der Reininghaus Businesslounge. Der **Nordtrakt**, welcher in dieser Arbeit näher beschrieben wird, ist mit einem Gewölbe (Restaurant), einer Bar und dem Raum, welcher für Konzerte und Vorträge Verwendung findet (Concert Hall), ausgestattet. Eine schematische Darstellung der Burganlage ist in Abbildung 3 ersichtlich.

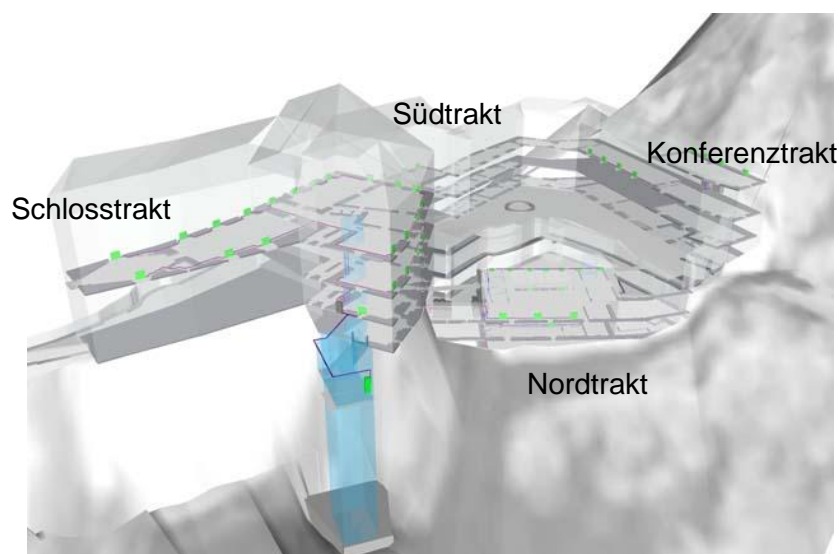


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Burganlage (<http://www.burg-rabenstein.at>, 20.5.2012)

3 GRUNDLAGEN LUFT/LUFT-WÄRMEPUMPE

Auf die Funktionsweise einer Luft/Luft-Wärmepumpe wird in diesem Kapitel näher eingegangen. Der erste Teil beschäftigt sich mit der allgemeinen Funktionsweise einer Wärmepumpe, später wird die Luft/Luft-Kompressionswärmepumpe mit Direktverdampfer erläutert.

3.1 Funktionsweise einer Kompressionswärmepumpe

In einer Wärmepumpe wird Wärme von einem niedrigen Temperaturniveau auf ein höheres Temperaturniveau angehoben. Dies geschieht bei Kompressionswärmepumpen mit einem mechanisch, angetriebenen Kompressor. Durch die Kompression wird das Wärmeträgermedium verdichtet und auf ein höheres Druck- und Temperaturniveau gebracht, wodurch die Nutzwärme durch Kondensation und Unterkühlung abgegeben werden kann. Als Wärmeträgermedium kommt ein Medium mit tiefem Siedepunkt, ein sogenanntes Kältemittel zum Einsatz. In Abbildung 4 ist ein „t/s Diagramm“ einer Kompressionswärmepumpe dargestellt.

In einer Kompressionswärmepumpe wird dem Kältemittel im Verdampfer durch eine Wärmequelle Wärme zugeführt (Abbildung 4 von Punkt 4 nach 1). Mittels Kompressor wird dem Kältekreislauf Exergie zugeführt und die Temperatur und der Druck des Kältemittels nehmen zu (Punkt 1 => 2). Die Wärmeabfuhr erfolgt im Verflüssiger (Kondensator) (Punkt 2 => 3). Im Expansionsventil (Punkt 3 => 4) erfolgt der Druckabbau auf das Niederdruckniveau des Verdampfers und der Kältemittelkreislauf schließt sich. Als Wärmequellen verwendet man bei Heizungsanlagen Luft, Erdreich, Grundwasser und andere Abwärmequellen. (C.F. Müller, 2008)

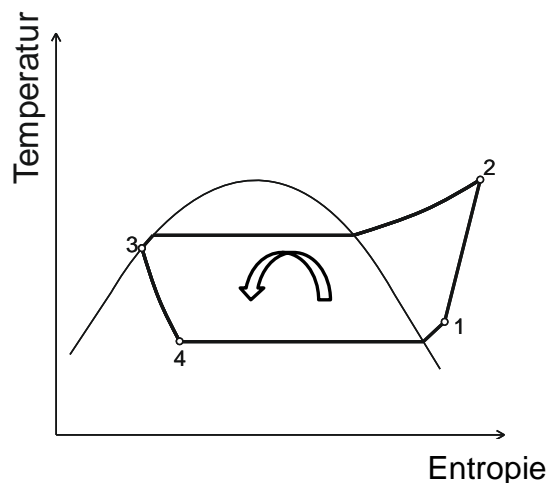


Abbildung 4: t-s Diagramm Kompressionswärmepumpe

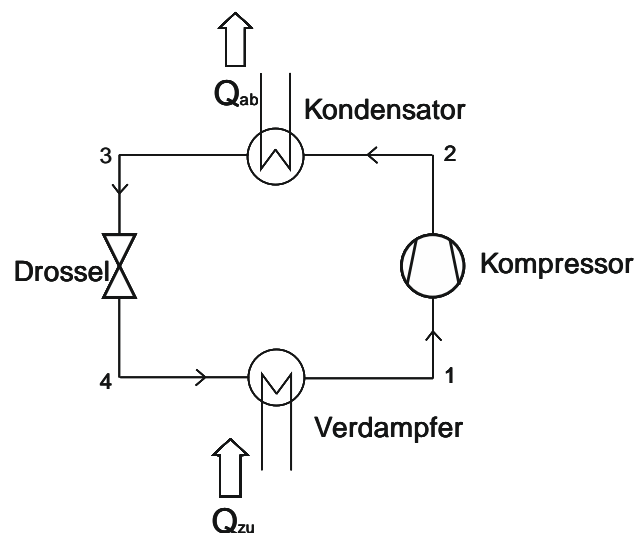


Abbildung 5: Grundkomponenten einer Wärmepumpe

3.1.1 Kältemittel

Die Charakteristik einer Wärmepumpe wird vor allem vom Kältemittel bestimmt. Im folgenden Abschnitt sind einige entscheidende Anforderungen an die Eigenschaften der Kältemittel angegeben. (C.F. Müller, 2008)

Hohe volumenstrombezogene Kälteleistung

Die volumetrische Kälteleistung eines Kältemittels bestimmt die Baugröße des Kompressors einer Wärmepumpe. Ein Kältemittel mit höherer volumetrischer Heizleistung benötigt einen geringeren Kältemittelmassenstrom um dieselbe Wärmemenge auf ein bestimmtes Temperaturniveau zu heben.

Großer Wärmeübergangskoeffizient

Kältemittel mit hohem Wärmeübergangskoeffizienten verringern die Baugröße, und dadurch auch den Druckabfall des Kältemittels in den Wärmetauschern.

Verträglichkeit mit Schmieröl

Um den Kompressor zu schmieren, wird das Kältemittel mit Öl vermischt, daher ist eine gute Mischbarkeit des Kältemittels mit dem Schmieröl von Bedeutung.

Umweltverträglichkeit

Die sich ständig erhöhenden Umweltauflagen stellen hohe Anforderungen an ein Kältemittel. Wichtige Eigenschaften sind das Ozonabbaupotential „ODP“, das globale Erwärmungspotential „GWP“ und die Ungiftigkeit.

3.1.2 Kältemittel R410A

Als Kältemittel der in Kapitel 4 beschriebenen Luft/Luft-Wärmepumpe wird R410A eingesetzt. Dieses Kältemittel besteht aus einer Mischung aus R32 und R125. Aufgrund der ständig steigenden Umweltauflagen kommt das Kältemittel R410A durch das nicht vorhandene Ozonabbaupotential immer öfter zum Einsatz. Durch die hohe volumetrische Kälteleistung können die Komponenten der Wärmepumpenanlage relativ klein ausgeführt werden und die Kältemittelkupferleitungen zu den Innengeräten mit geringem Querschnitt ausgeführt werden. Dies erleichtert eine Installation der Anlage, welche denkmalgeschützten Kriterien entspricht. Aufgrund des höheren Druckniveaus müssen die Komponenten wie Kompressor, Wärmetauscher, Ventile und Leitungen aber für größere Drücke ausgelegt werden. Im Anhang (Tabelle 1) sind Eigenschaften des Kältemittels angegeben (C.F.Müller et al., 2008).

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Eigenschaften des Kältemittels R410A angegeben, in Abbildung 89 im Anhang ist ein Druck- Enthalpie Diagramm von R410A dargestellt. (Müller, 2008)

Tabelle 1: Technische Eigenschaften R410A

Zusammensetzung:	R32 und R125 Massenanteil je 50% Nicht azeotropes HFKW-Gemisch
Molekularmasse:	72,58 kg/kmol
Farbe	Farblos
Ozonabbaupotential ODP	0
Geruch	Etherartig
Gasdichte bei 25°C	80 kg/m ³ , schwerer als Luft
Siedepunkt	-51,60 °C
Kritische Temperatur	70,17 °C
Kritischer Druck	47,7 bar (1,5 mal höher als bei R22)
Kritische Dichte	552 kg/m ³
Spezifische Wärmekapazität bei 25°C	1,69 kJ/(kgK)
Brennbar	nein
GWP	1730 [kg _{CO2-eq} /kg]

3.1.3 Kompressor und Drossel

Die wichtigste mechanische Komponente einer Wärmepumpe stellt der Kompressor dar. Er ist für die Zuverlässigkeit und die Effizienz einer Wärmepumpenanlage verantwortlich und wird hauptsächlich durch Elektromotoren angetrieben. In der Wärmepumpenanlage auf Rabenstein ist ein Doppel-Rollkolben Kompressor installiert (nähere Infos in Kapitel 4.3.2). Die Drossel (Expansionsventil), hat neben dem Druckabbau auf das Druckniveau des Verdampfers die Aufgabe die Überhitzung des Kältemittels vor dem Kompressor zu regeln. Der Druckabbau erfolgt entweder durch eine Kapillare, oder durch ein thermostatisches oder elektronisches Expansionsventil.

3.1.4 Leistungszahl und Jahresarbeitszahl

Die Leistungszahl einer Wärmepumpe gibt das Verhältnis zwischen Nutzen, welcher die abgegebene Nutzwärmeleistung in Heiz- bzw. Kälteleistung im Kühlbetrieb darstellt, zur zugeführten hochwertigen Energie von Kompressor- und Hilfsaggregaten an (Gl. 3-1). Die Leistungszahl wird vor allem durch das Temperaturniveau der Wärmequelle und Wärmesenke bestimmt und gibt die momentane Effizienz einer Wärmepumpe an.

$$COP = \frac{Q_{Nutz}}{P_{Verdichter} + P_{Hilf}} \quad \text{Gl. 3-1}$$

Die Jahresarbeitszahl (Gl. 3-2) bezieht sich auf den jährlichen Energieverbrauch und auf die jährlich gelieferte Kälte, bzw. Wärmemenge und bestimmt im Wesentlichen die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpe.

$$SPF = \frac{Q_{Nutz_a}}{E_{Verdichter_a} + E_{Hilf_a}}$$

Gl. 3-2

3.2 Luft/Luft-Wärmepumpe

Bei Luftwärmepumpen unterscheidet man grundsätzlich zwischen der Luft/Wasser- und der Luft/Luft-Wärmepumpe. Bei der Luft/Wasser-Wärmepumpe erfolgt die Wärmeabgabe an ein konventionelles Heizungssystem mit Wasser als Wärmeträger, bei der Luft/Luft-Wärmepumpe erfolgt die Wärmeabgabe direkt an die Raumluft. Als Wärmequelle wird bei einer Luftwärmepumpe die Umgebungsluft herangezogen. Ventilatoren führen die Umgebungsluft über die Kühlrippen des Verdampfers, dabei wird der Umgebungsluft Wärme entzogen, welche im Kältekreislauf durch die Kompression des Kältemittels auf ein höheres Temperaturniveau gehoben und somit zum Heizen verwendet werden kann. Die Wärmeabgabe erfolgt bei Luft/Luft-Wärmepumpen durch einen Wärmetauscher, welcher Wärme vom Kondensator des Kältemittelkreislaufes an die Räume durch Konvektion abgibt.

Die Vorteile einer Luftwärmepumpe im Gegensatz zu einer Erdwärmepumpe ergeben sich durch die einfachere Installation, da die Erdreichkollektoren entfallen. Nachteilig ist, dass der Ventilator des Außengerätes Lärm verursacht und dass bei niedrigeren Außentemperaturen die Wärmequelle (die Außenluft), ein tieferes Temperaturniveau aufweist. Dadurch nimmt die Heizleistung der Luftwärmepumpe, im Gegensatz zum Heizwärmebedarf eines Gebäudes, bei tieferen Außenlufttemperaturen ab.

4 WÄRMEPUMPENANLAGE AUF RABENSTEIN

In diesem Kapitel wird der Aufbau der Toshiba S-MMS Multisplit Luft/Luft-Wärmepumpe auf der Burg Rabenstein beschrieben. Dabei erfolgt unter anderem eine Auflistung der installierten Wärmepumpeninnen- und Außengeräte. Es wird auf den Aufbau und die Funktion der Innen- und Außengeräte und auf die Regelung näher eingegangen. Zuletzt erfolgt eine Beschreibung der Funktion bei der Umschaltung in den Kühlbetrieb.

4.1 Beschreibung der installierten Wärmepumpenanlage

Bei der auf Burg Rabenstein installierten Anlage handelt es sich um die weltweit größte Luft/Luft-Wärmepumpenanlage, welche in einem denkmalgeschützten Gebäude installiert wurde. Bei der Anlage handelt es sich um ein Multi-Split System mit variierbarem Kältemittelfluss und Direktverdampfer. Die wichtigsten technischen Daten sind in Tabelle 2 angeführt.

Tabelle 2: Technische Daten der Klimaanlage (Toshiba Rohrleitungsplan, 12.1.2012)

Beheizte Nutzfläche:	2400 m ²
Anzahl der Außeneinheiten:	11
Anzahl der Außengeräte:	20
Anzahl der Innengeräte:	72
Heizleistung der Anlage:	546.2 kW
Kühlleistung der Anlage:	485.2 kW

Multisplit-Klimaanlagen werden in erster Linie für die Klimatisierung (Kühlung) mehrerer Räume verwendet. Durch Umkehr der Wärmequelle und Wärmesenke kann die Anlage auch als Wärmepumpe zur Beheizung der Räume eingesetzt werden. In den temperierten Innenräumen sind Klima-Innengeräte (Abbildung 10) installiert, welche die Wärme bzw. Kälte mit einem Gebläse zur Umwälzung der Raumluft, abgeben. Diese Innengeräte, welche im Heizbetrieb als Kondensatoren und im Kühlbetrieb als Verdampfer arbeiten, sind über Kupferleitungen mit einer zentralen Außeneinheit verbunden. Die Wärmepumpe kann somit sowohl im Kühl- als auch im Heizbetrieb betrieben werden.

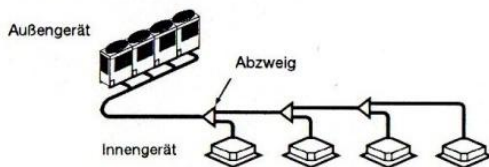
Eine Außeneinheit besteht aus ein bis drei im Freien aufgestellten kombinierten Wärmepumpenaußengeräten. Multisplit Geräte haben den Vorteil hoher Flexibilität, da die Innengeräte in den Räumen nahezu beliebig aufgestellt und verteilt werden können, eine Einschränkung ergibt sich lediglich über die maximale Länge der Kältemittelleitungen, welche aufgrund des Druckverlustes nicht überschritten werden darf. In Abbildung 6 ist ein Beispiel für

eine Multisplit Klimaanlage dargestellt. Unterschiedliche Kombinationen zwischen Leitungsabzweigungen zwischen Innen- und Außengeräten sind in Abbildung 7 dargestellt.

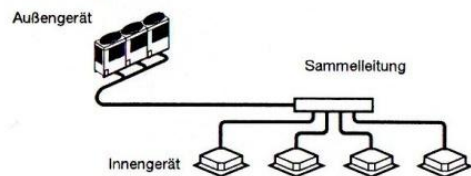


Abbildung 6: Multisplit Klimaanlage (<http://www.nemec.at/klima-multisplit.htm>, 17.4.2012)

Leitungsabzweig



Sammelleitungen



Leitungsabzweige und Sammelleitungen

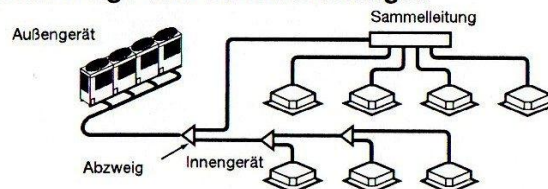


Abbildung 7: Mögliche Leitungsverzweigungen bei Multisplit Klimaanlagen (<http://www.toshiba-klima.net/katalog>, 15.3.2012)

Durch den variierbaren Kältemittelfluss kann die Heiz- oder Kühlleistung jedes angeschlossenen Klimainnengerätes geregelt und dadurch die Temperatur eines jeden Raumes autonom eingestellt werden. Dadurch können die Raumlufttemperaturen aller klimatisierten Räume auf eine vorgegebene Solltemperatur geregelt werden. Die Innengeräte und die Raumtemperatursensoren sind über ein Funknetzwerk mit der zentralen Steuerung verbunden.

Aufgrund der hohen installierten Geräteleistungen können die Räumlichkeiten innerhalb weniger Stunden auf einen behaglichen Zustand gebracht werden. Dies ist vor allem bei kurzfristig geplanten Veranstaltungen von großer Bedeutung.

Bei der Wärmepumpenanlage handelt es sich um ein Zweirohrsystem. Eine Leitung ist für den Kältemittelvorgang, eine Leitung für den Kältemittelrücklauf vorgesehen, gleichzeitiges Heizen und Kühlen mit einer Außeneinheit ist daher nicht möglich. Dies wäre erst mit einem Drei- oder

Vierrohrsystemen möglich. Durch Betätigen eines Ventils im Außengerät ist ein Umschalten von Heiz- auf Kühlbetrieb möglich.

4.2 Wärmepumpenkreise in der Burg Rabenstein

Die Wärmepumpenanlage der Burg Rabenstein ist in insgesamt elf Wärmepumpenkreise aufgeteilt. Jeder Kreislauf besteht aus ein bis drei Außengeräten, welche zu einer Außeneinheit zusammengefasst werden und durch zwei gemeinsame Kupferleitungen mit den Innengeräten verbunden sind. Die Zuordnung der Außengeräte zu den jeweiligen Innengeräten und Räumlichkeiten erfolgt in Tabelle 63 im Anhang. Dort sind auch die Rohrlängen und Durchmesser der Vor- und Rücklaufleitungen angeführt. In Abbildung 9 ist eine dreidimensionale Ansicht der Multisplit-Anlage ersichtlich. Die Außengeräte, im Bild als graue Quader ersichtlich, sind mit den Innengeräten, im Bild hellgrüne Kästchen, durch die in der Ansicht violett dargestellten Kupferleitungen verbunden. Die Hoheggerkeusche wird durch zwei Innengeräte, welche von einem Außengerät beheizt werden, mit Wärme versorgt (Abbildung 8).

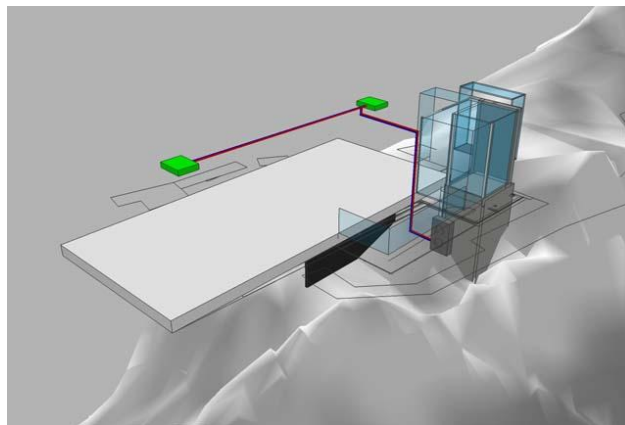


Abbildung 8: Wärmepumpenanlage der Hoheggerkeusche (<http://www.burg-rabenstein.at/de/heating-for-history>, 13.4.2012)

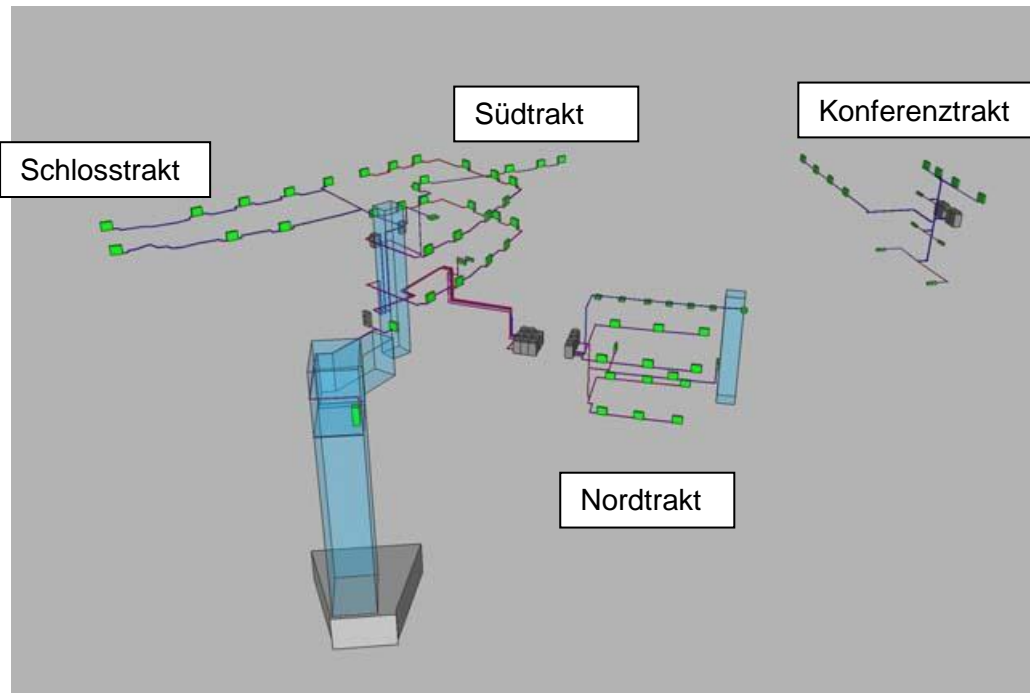


Abbildung 9: Wärmepumpenanlage im Schloss-, Süd-, Nord- und Konferenztrakt
(<http://www.burg-rabenstein.at/de/heating-for-history>, 13.4.2012)

Die Zuteilung der Innen- und Außengeräte zu den jeweiligen Trakten der Burg Rabenstein wird in Tabelle 3 angeführt. Dabei ist darauf zu achten, dass es sich bei der Heizleistung um die Nennleistung und bei der Kühlleistung um die maximale Kühlleistung handelt. Die Kühlleistung wurde vollständig halber angegeben ist aber im praktischen Betrieb auf der Burg Rabenstein nicht von Bedeutung.

Die Nennleistung für den Heizbetrieb sind für eine Innenlufttemperatur von 20 °C und eine Außenlufttemperatur von 7 °C, die maximale Kühlleistung für eine Innenlufttemperatur von 27 °C und eine Außenlufttemperatur von 35 °C. (<http://www.toshiba-klima.net>, 20.5.2012)

Eine Übersicht der Wärmepumpenkreise ist im Anhang (Tabelle 63) angeführt.

Tabelle 3: Traktweise Zuordnung der Innen und Außengeräte (Toshiba Rohrleitungsplan, 12.1.2012)

Konferenztrakt	Anzahl	Innengerät Modellbezeichnung	Heizleistung [kW]	Kühlleistung [kW]	Antriebsleistung [kW]	
	8	MMK-AP0241H	8	7.1	0.070	
	4	MML-AP0241BH	8	7.1	0.070	
	1	MML-AP0151H	5	4.5	0.045	
	1	MML-AP0181H	6.3	5.6	0.070	
	<u>Summe Heizleistung:</u>			<u>107.3</u>	<u>95.3</u>	<u>0.955</u>
	Außengeräte Modellbezeichnung	Heizleistung [kW]	Kühlleistung [kW]	Antriebsleistung [kW]		
2	MMY-AP2001HT8	63	56	14.71		
<u>Summe Leistungen:</u>			<u>126</u>	<u>112</u>	<u>29.42</u>	
Nordtrakt	Anzahl	Innengerät Modellbezeichnung	Heizleistung [kW]	Kühlleistung [kW]	Antriebsleistung [kW]	
	15	MML-AP0241BH	8	7.1	0.070	
	2	MMU-AP0121MH	4	3.6	0.060	
	4	MMU-AP0151MH	5	4.5	0.060	
	<u>Summe Heizleistung:</u>			<u>148</u>	<u>131.7</u>	<u>1.410</u>
		Außengeräte Modellbezeichnung	Heizleistung [kW]	Kühlleistung [kW]	Antriebsleistung [kW]	
2	MMY-AP2411HT8	76.5	68	17.652		
<u>Summe Leistungen:</u>			<u>153</u>	<u>136</u>	<u>35.304</u>	
Südtrakt	Anzahl	Innengerät Modellbezeichnung	Heizleistung [kW]	Kühlleistung [kW]	Antriebsleistung [kW]	
	5	MML-AP0241BH	8	7.1	0.070	
	<u>Summe Heizleistung:</u>			<u>40</u>	<u>35.5</u>	<u>0.350</u>
		Außengeräte Modellbezeichnung	Heizleistung [kW]	Kühlleistung [kW]	Antriebsleistung [kW]	
1	MMY-MAP1201HT8	37.5	33.5	8.826		
<u>Summe Leistungen:</u>			<u>37.5</u>	<u>33.5</u>	<u>8.826</u>	
Schlosstrakt	Anzahl	Innengerät Modellbezeichnung	Heizleistung [kW]	Kühlleistung [kW]	Antriebsleistung [kW]	
	1	MMF-AP0481H	6.3	5.6	0.160	
	2	MML-AP0181H	6.3	5.6	0.070	
	1	MML-AP0241H	8.0	7.1	0.070	
	28	MML-AP0241BH	8.0	7.1	0.070	
	<u>Summe Heizleistung:</u>			<u>250.9</u>	<u>222.7</u>	<u>2.330</u>
		Außengeräte Modellbezeichnung	Heizleistung [kW]	Kühlleistung [kW]	Antriebsleistung [kW]	
	1	MMY-AP2601HT8	81.5	73.0	19.1	
	1	MMY-AP2801HT8	88.0	78.5	20.6	
	1	MMY-AP1801HT8	56.5	50.4	13.2	
	1	MCY-MAP0501HT	16.0	14.0	3.7	
1	MCY-MAP0601HT	18.0	16.0	4.4		
<u>Summe Leistungen:</u>			<u>260.0</u>	<u>231.9</u>	<u>61.0</u>	

4.3 Beschreibung der TOSHIBA S- MMS Multisplit-Klimaanlage

Die Multisplit- Klimaanlage auf der Burg Rabenstein wird derzeit nur für Heizzwecke als Wärmepumpe verwendet, kann aber auch im Kühlbetrieb betrieben werden. Vollständigkeitshalber werden auch Funktionen im Kühlbetrieb wie z.B. eine Einfrierüberwachung der Innengeräte beschrieben.

4.3.1 Klima Innengeräte

Die in den Räumen installierten Klima-Innengeräte bestehen im Wesentlichen aus einem Luftwärmetauscher, einem pulsgesteuerten Motorventil, Zu- und Ableitungen des Kältemittels und Temperatur und Drucksensoren. Durch ein Gebläse wird der Wärmetauscher mit der Innenluft der jeweiligen Räume umströmt und somit Wärme im Heizbetrieb zugeführt bzw. im Kühlbetrieb von der Raumluft abgeführt. Die Wärme- bzw. Kälteabgabe erfolgt daher direkt an die Raumluft und somit konvektiv. Abbildung 10 stellt den schematischen Aufbau eines Klima-Innengerätes dar. Im Heizbetrieb strömt das heiße Gas (Gas side) in das Innengerät und gibt die Wärme im Wärmetauscher (Air heat exchanger at indoor side) an die Raumluft ab und verflüssigt sich. Die Kapillarrohre (Capillary tube) nach dem Wärmetauscher dienen zur gleichmäßigen Aufteilung des Kältemittelmassenstroms und somit effizienteren Ausnutzung des Wärmetauscher. Nach dem pulsgesteuerten Motorventil (PMV) strömt das Kältemittel zurück zum Außengerät. Im Kühlbetrieb dreht sich die Strömungsrichtung des Kältemittels um.

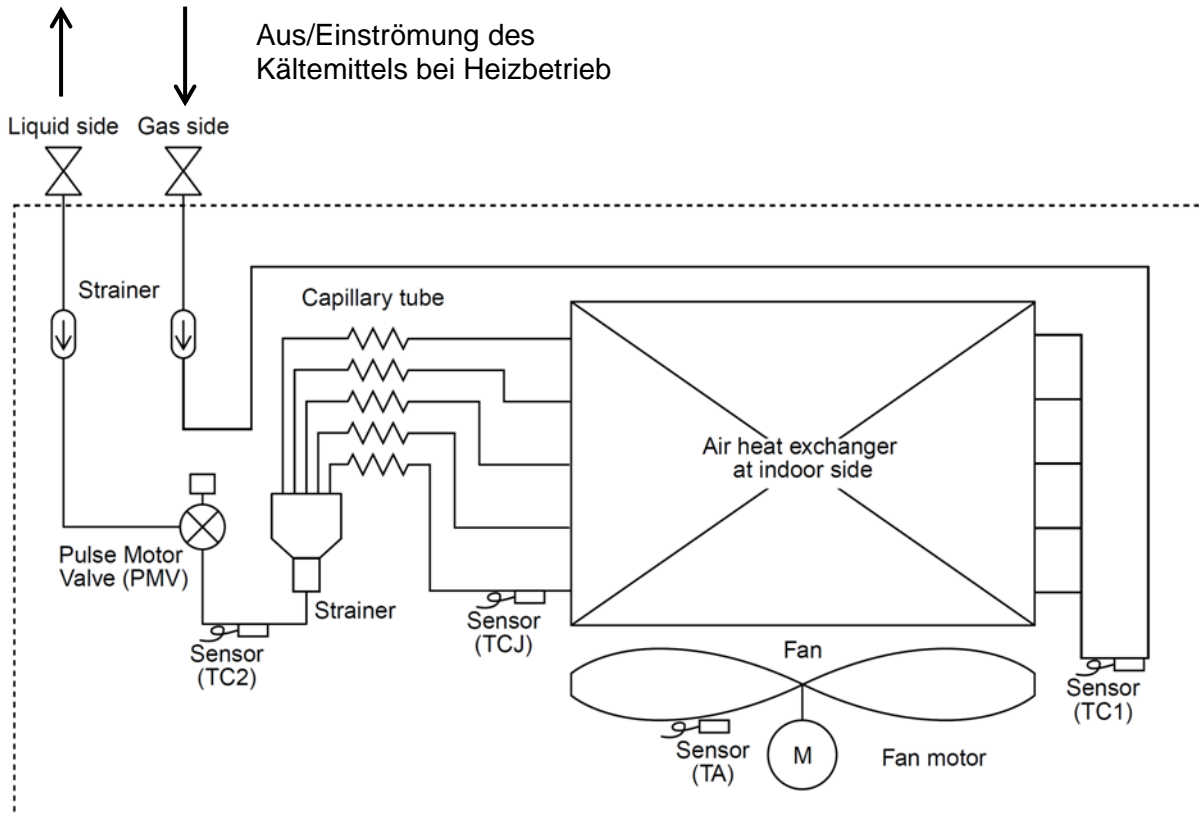


Abbildung 10: Aufbau des Klima Innengeräts (Toshiba Service Manual, 2004)

4.3.1.a.1 Regelung der Innengeräte:

Die Innengeräte sind mit bis zu vier Temperatursensoren ausgestattet. Diese sind in Tabelle 4 angeführt, ihre Lage ist in Abbildung 10 ersichtlich.

Tabelle 4: Temperatursensoren der Innengeräte (Toshiba Service Manual, 2004)

Benennung Temperatursensor	Erfasster Messwert
TC2	Kältemitteltemperatur zwischen PMV und Strainer
TCJ	Kältemittelrücklauftemperatur im Heizbetrieb
TC1	Kältemittelvorlauftemperatur im Kühlbetrieb
TA	Ventilatoransauglufttemperatur

Der Kältemittelmassenstrom im Kältekreislauf und somit die maximale Leistung der Innengeräte hängen vom Betriebszustand des jeweiligen Außengerätes ab. Der Kältemittelmassenstrom wird in Abhängigkeit der von den Temperatursensoren detektierten Ventilatoransauglufttemperatur TA im Innengerät und der Überhitzungstemperatur TS im Außengerät geregelt.

Das Pulsmotorventil (PMV) steuert die Überhitzung im Kühl- und die Unterkühlung im Heizbetrieb. Dieses Ventil ermöglicht eine Variation des Kältemittelmassenstroms in jedem Innengerät, wodurch die Wärmeabgabe eines jeden einzelnen Innengerätes geregelt werden kann. Eine weitere Aufgabe ist die Zurückführung von Schmieröl aus dem Kältemittelkreislauf in den Öltank. Dabei wird das PMV jede Stunde (Heizbetrieb), jede zweite Stunde (Kühlbetrieb) für 5 Minuten vollständig geöffnet, wodurch sich der Kältemittelmassenstrom erhöht und das, sich im Kältemittelkreislauf angesammelte Schmieröl mit dem Kältemittelstrom mitgerissen wird. Dieses wird durch den Ölabscheider vom Kältemittel im Außengerät (Abbildung 17) abgeschieden und zurück in den Öltank geführt.

Gebälseregelung und Auskühlüberwachung des Innengerätes:

In Abhängigkeit der Temperaturen TC2 und TCJ wird die Drehzahl des Ventilators in fünf Stufen geregelt. In Tabelle 5 sind die unterschiedlichen Gebläsebetriebsmoden des Ventilators zu den jeweiligen Kältemittelvorlauftemperaturen TC2 und TCJ des Innengerätes zugeordnet.

Um das Auskühlen des Raumes durch die Innengeräte während des Heizbetriebes zu verhindern, sind die Innengeräte mit einer eigenen Temperaturregelung ausgestattet, welche dies verhindern soll. Um den Ventilator in Betrieb nehmen zu können, müssen die Kältemitteltemperaturen der Sensoren TC2 und TCJ höher sein als die Gebläseansauglufttemperatur TA.

Tabelle 5: Abhängigkeit der Gebläsebetriebsmoden von der Kältemittelvorlauftemperatur (Toshiba Service Manual, 2004)

Gebläsebetriebsmodus	Kältemittelvorlauftemperatur [°C]
OFF	unter 16 bis 26
LOW	26 bis 28
MED	28 bis 30
HIGH	30 bis 32
Ultra HIGH	über 32

Im Gebläsebetriebsmodus „AUTO“ wird die Ventilator Drehzahl in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz von TA und der Überhitzungstemperatur TS im Außengerät (siehe Kapitel 4.3.2) geregelt.

Einstellbarer Temperaturbereich der Innengeräte:

In Tabelle 6 sind einstellbare Temperaturbereiche im Heiz- und Kühlbetrieb, in Abhängigkeit der Ansteuerung der Innengeräte, angegeben.

Tabelle 6: Raumlufttemperaturbereiche der Innengeräte (Toshiba Service Manual, 2004)

	Kühlbetrieb	Heizbetrieb
Kabellose Ansteuerung	18 bis 29 °C	(10 °C)* 18 bis 29°C
Drahtgebundene Steuerung	18 bis 29°C	(10 °C)* 16 bis 30°C

*wurde für die vorliegende Anwendung im Gebäudesystem modifiziert.

Die Innengeräte sind mit einer Entwässerungspumpe ausgestattet, welche das, durch die Abkühlung der Innenluft im Kühlbetrieb möglicherweise entstehende Kondensat, abführt. Die Ansteuerung der Entwässerungspumpe geschieht mittels Schwimmerschalter welcher die Pumpe bei einer bestimmten Menge von entstandenem Kondensat in Betrieb setzt.

Einfrierüberwachung des Wärmetauschers der Innengeräte (Kühlbetrieb):

Beim Unterschreiten des Betriebsbereiches der durch die Temperatursensoren TCJ, TC1 und TC2 erfassten Kältemitteltemperaturen kommt es in Abhängigkeit dieser Temperaturen zum Abschalten des Außengerätes und somit der Multisplit-Klimaanlage. Damit soll das Einfrieren der Wärmetauscher in den Räumen verhindert werden. Eine Abschaltung erfolgt, wenn die Vorlauftemperatursensoren TC2 und TCJ einen Wert von -14 °C und der Rücklauftemperatursensor TC1 einen Wert von 0 °C unterschreiten. Wird die Temperatur TC1 nicht erfasst, so schaltet die Wärmepumpe beim Unterschreiten der Temperaturen TC2 und TCJ von -2 °C über einen Zeitraum von über 45 Minuten ab. Ab einer Temperatur von 5 °C ist die Anlage wieder betriebsbereit.

Erreichen die Kältemittelvorlauftemperaturen TCJ, TC2 und die Kältemittelrücklauftemperatur TC1 eine Mindesttemperatur von 12 °C über einen Zeitraum von mindestens 20 Minuten nach Abschalten der Anlage, so wird das Regelungssystem zurückgesetzt.

Die installierten Innengeräte auf Burg Rabenstein:

4 Wege Kasette:



Abbildung 11: MMU-AP 0121/0151MH (<http://www.toshiba-klima.net/produkte>, 13.4.2012)

Abbildung 11 zeigt eine 4 Wege Kasette, welche in der Galerie im Nordtrakt zum Einsatz kommt. Der Einbau erfolgt meist in abgehängten Decken. Das Gebläse besteht aus einem Axialventilator.

Tabelle 7: Technische Daten der 4 Wege Kassetten Innengeräte (<http://www.toshiba-klima.net/produkte>, 13.4.2012)

		MMU-AP 0121MH	MMU-AP 0151MH
Nennkühlleistung	[kW]	3.6	4.5
Nennheizleistung	[kW]	4.0	5.0
Gebläseluftstrom	[m³/h]	680 bis 800	790 bis 930
Gebläseleistung	[W]	60	60
Durchmesser Gasleitung	[mm]	9.5	12.7
Durchmesser Flüssigleitung	[mm]	6.4	6.4
Elektr. Leistung Sensoren, Ventile	[W]	20	22

Boden, Truhen und Wandinnengeräte:

Abbildung 12 zeigt ein Wandgerät, welches an Wänden, meist in kleineren Räumen, montiert wird. Dabei wird die Luft auf der Vorderseite angesaugt und in der unteren Schlitzöffnung wieder ausgeblasen.

Abbildung 13-15, stellen sogenannte Truhengeräte dar, wobei es sich in Abbildung 13 um ein Einbaugerät handelt, welches am Boden aufgestellt wird. Der Luftauslass erfolgt je nach

Anforderungen nach vorne oder nach oben. Truhengeräte werden meist unter den Fenstern montiert.



Abbildung 12: MMK-AP0241H
(<http://www.toshiba-klima.net/produkte>,
13.4.2012)



Abbildung 13: MML-AP0241H
(<http://www.toshiba-klima.net/produkte>,
13.4.2012)



Abbildung 14: MML-AP0241BH
(<http://www.toshiba-klima.net/produkte>,
13.4.2012)



Abbildung 15: MMF-AP0481H (<http://www.toshiba-klima.net/produkte>, 13.4.2012)

Tabelle 8: Technische Daten der Wand- und Truhengeräte (<http://www.toshiba-klima.net/produkte>, 13.4.2012)

		MMK- AP0241H	MML- AP0241H	MML- AP0241BH	MMF- AP0481H
Nennkühlleistung	[kW]	7.1	7.1	7.1	14
Nennheizleistung	[kW]	8	8	8	16
Gebälsluftstrom	[m³/h]	900 bis 1200	780 bis 1080	640 bis 950	1560 - 2160
Gebälseleistung	[W]	40	70	70	70
Durchmesser Gasleitung	[mm]	15.9	15.9	15.9	15.9
Durchmesser Flüssigleitung	[mm]	9.5	9.5	9.5	9.5
Elektr. Leistung Sensoren, Ventile	[W]	95	102	95	350

Die Ausblasrichtung der Innengeräte kann durch einstellbare Lamellen verstellt werden. Weiter sind sie mit einer „DAISAIKAI“ Luftfilterung ausgestattet, um die Luftqualität zu verbessern. In der ersten Stufe durchläuft die angesaugte Luft einen Anti-Schimmel-Filter. Danach einen Plasma Luftreiniger, einen Zeolite Plus-Filter, einen Zeolite 3G Filter und zuletzt einen Luftionisierer. Der Zeolite Filter reinigt die Luft von ungesunden Chemikalien und Gerüchen.

4.3.2 Außengeräte

Aufbau der Außengeräte:

In Abbildung 16 ist die Außenansicht eines Außengerätes dargestellt. Die Luft wird durch den Lufteinlass (Air inlet) angesaugt, über den Wärmetauscher geführt und durch das Gebläse im Luftauslass (Air outlet) ausgeblasen.

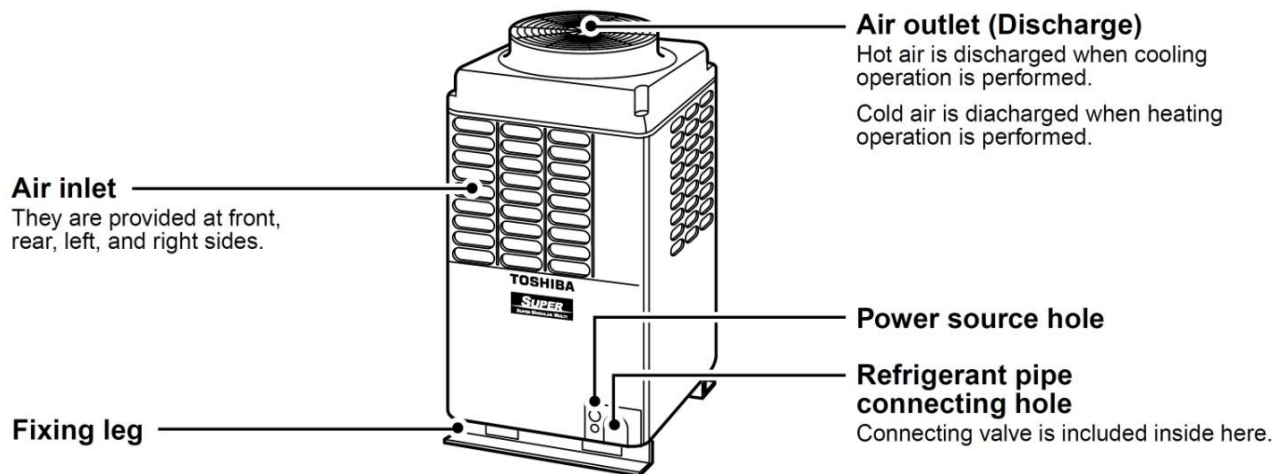


Abbildung 16: Aufbau des Außengerätes (Toshiba Service Manual, 2004)

In Abbildung 17 ist der schematische Aufbau eines Außengeräts dargestellt. Die wichtigsten Komponenten sind:

- Luftwärmetauscher mit Gebläse
- Kältemittelsammler
- Kältemitteltank
- Kompressor: Doppel- Rollkolbenkompressor
- Flüssigkeits- und Ölabscheider
- Ölversorgung des Kompressors
- Druck- Temperatursensoren und Ventile

In Abbildung 93-96 im Anhang sind Ventile, Sensoren und Komponenten der Außengeräte dargestellt.

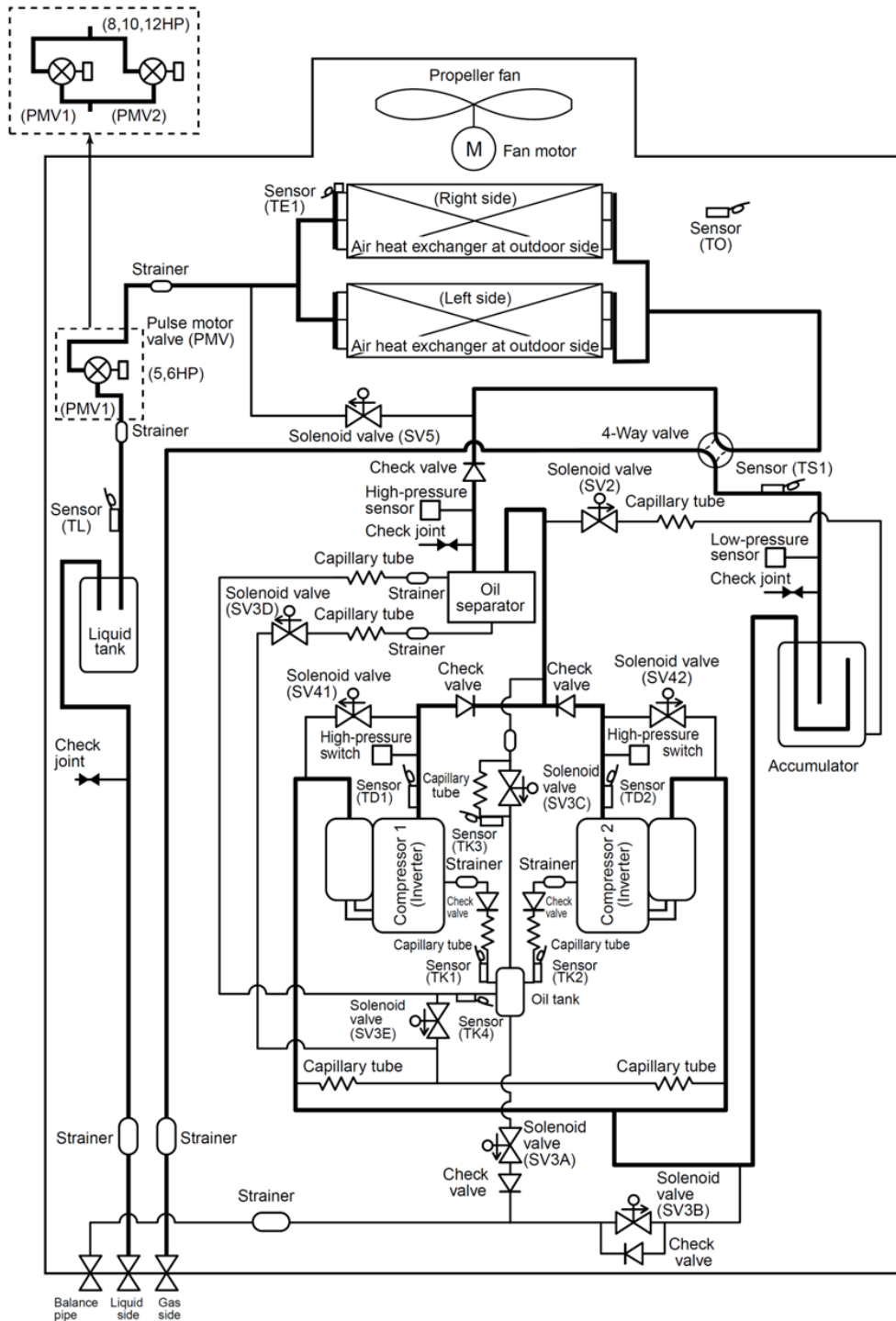


Abbildung 17: Schematischer Aufbau der Außengeräte (Toshiba Service Manual, 2004)

4.3.1 Funktionsweise im Umkehrbetrieb

Klimaanlagen welche für Umkehrbetrieb ausgelegt sind, können sowohl im Heiz- und auch im Kühlbetrieb betrieben werden. In Abbildung 19 und 21 ist der Betrieb einer durch zwei Außengeräte gekoppelten Wärmepumpe, einmal im Kühl- und Heizbetrieb dargestellt. Das wichtigste Steuerelement im Umkehrbetrieb ist das 4- Wege Ventil. Durch Umschalten dieses

Ventils wird die Strömungsrichtung des Kältemittels in den Wärmetauschern des Innen- und Außengerätes umgedreht.

Betrieb als Wärmepumpe:

Im Heizbetrieb wird der Außenluft Wärme entzogen, durch die Kompression des Kältemittels auf ein höheres Temperaturniveau gebracht, und in den Wärmetauschern der Innengeräte abgegeben. Die Wärmetauscher der Außengeräte arbeiten als Verdampfer, die der Innengeräte als Kondensatoren (Abbildung 18).

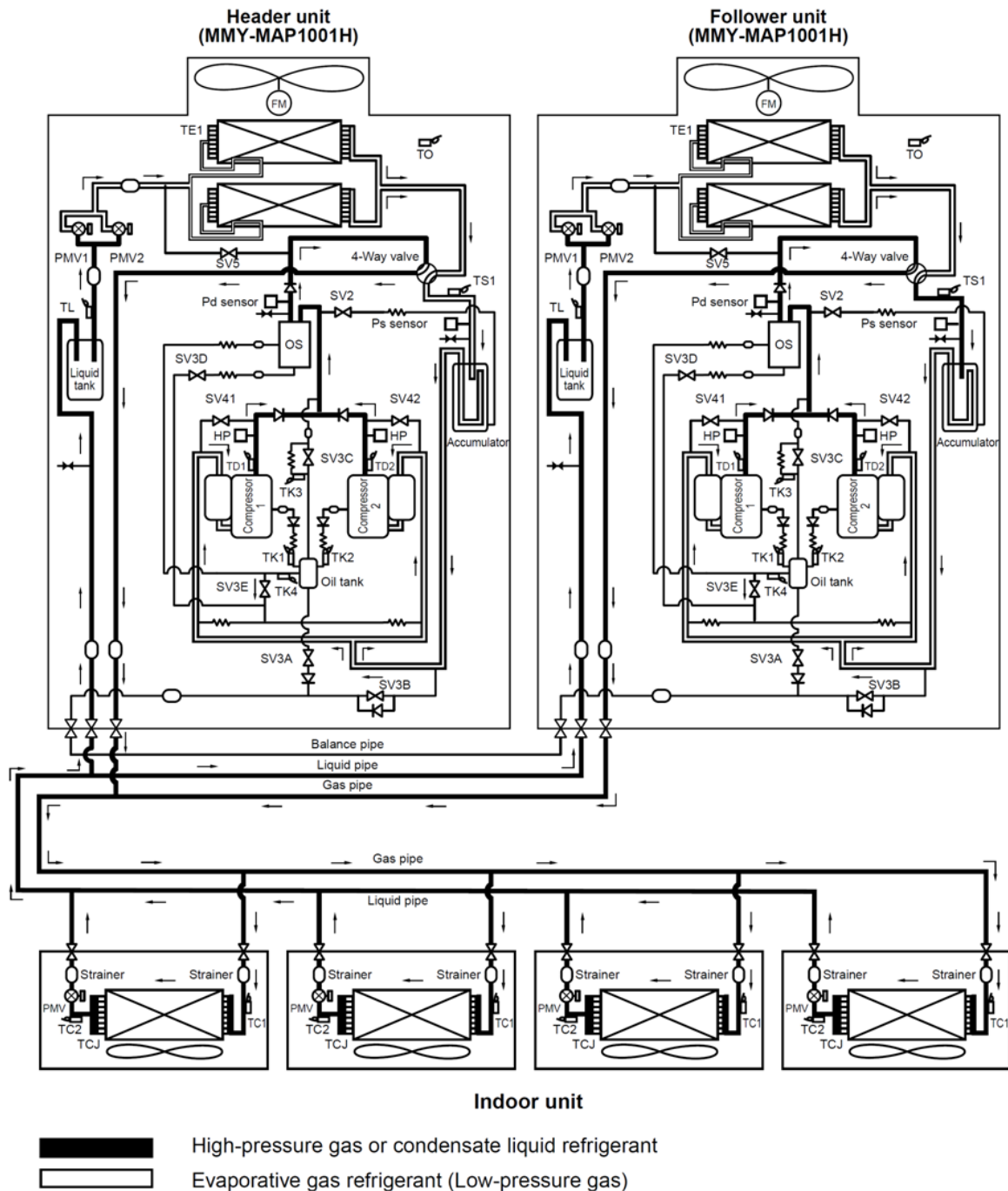


Abbildung 18: Anlage im Heizbetrieb (Toshiba Service Manual, 2004)

Betrieb als Klimaanlage:

Wird die Anlage als Klimagerät betrieben, wird den Räumen Wärme entzogen und der Außenluft zugeführt. Die Wärmetauscher der Innengeräte arbeiten als Verdampfer. Das Kältemittel wird verdampft und nimmt Wärme auf, welche durch den Kompressor auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und somit an die Außenluft abgegeben werden kann. Das Anlagenschema ist in Abbildung 19 dargestellt.

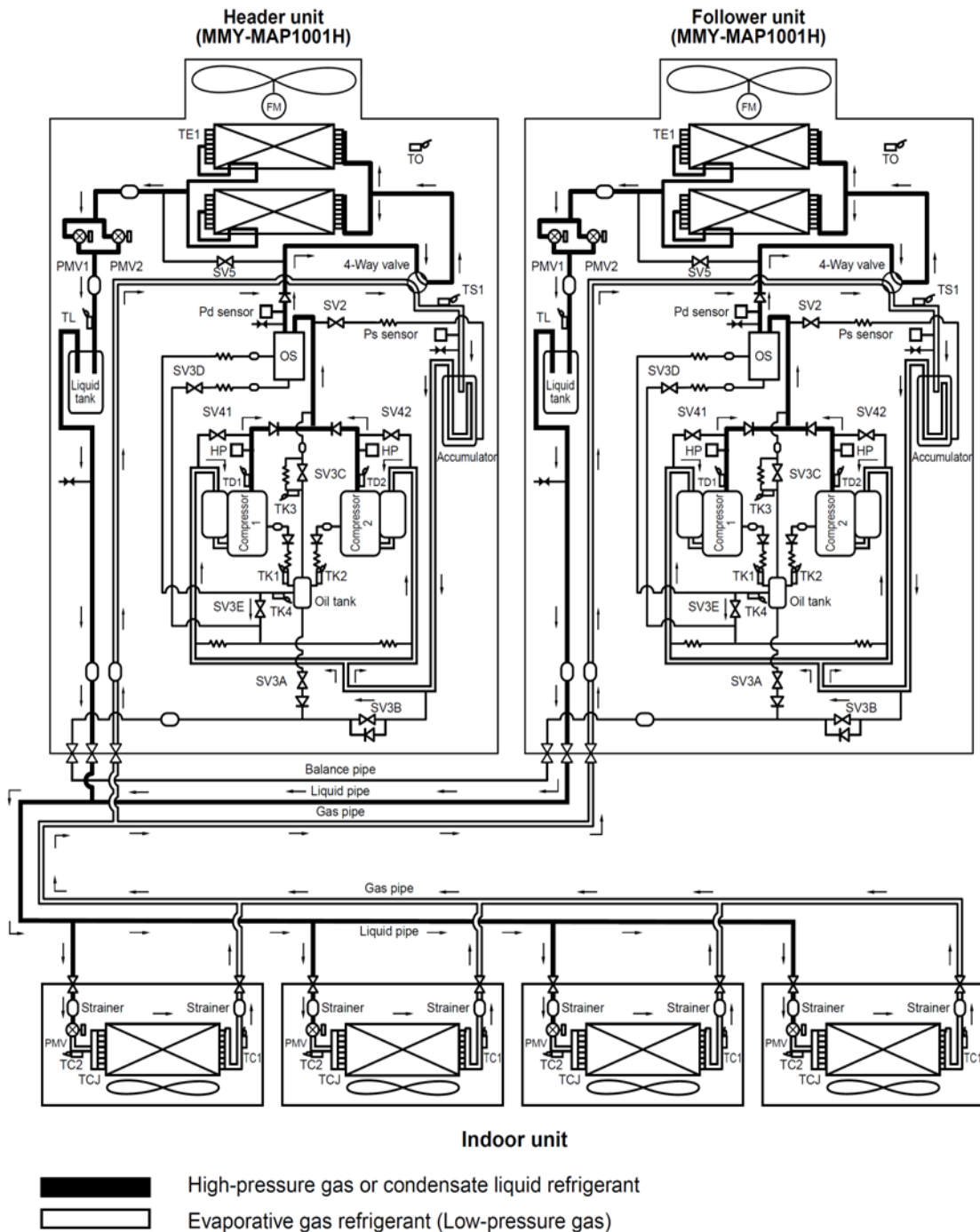


Abbildung 19: Anlage im Kühlbetrieb (Toshiba Service Manual, 2004)

In Abbildung 20 und 21 sind Außengeräte der Burg Rabenstein dargestellt. Informationen über Technische Daten sind im Anhang (Tabelle 62) zusammengestellt.



Abbildung 20: Außengerät MMY-MAP 0501HT8/0601HT8
(<http://www.toshiba-klima.net/produkte>, 13.4.2012)



Abbildung 21: Außengerät MMY-MAP 801HT8/1001HT8/1201HT8
(<http://www.toshiba-klima.net/produkte>, 13.4.2012)

Luftwärmetauscher mit Gebläse (Air heat exchanger, Propeller fan, Fan motor)

Die Wärmeaufnahme im Heizbetrieb und Wärmeabgabe im Kühlbetrieb des Außengerätes erfolgt mittels Luftwärmetauscher, welcher zusammen mit dem Luftauslass und dem Gebläse das oberste Teil des Außengerätes bildet. Der Wärmetauscher besteht aus Kupfer-Rippenrohren und längsgeprägten Alulamellen, um einen möglichst geringen Druckabfall bei der Umströmung mit der Außenluft zu erreichen. Die Luftströmung wird durch ein Gebläse erzeugt. Es besteht aus einem vierflügeligen Propeller, welcher mit einem stufenlos geregelten Gleichstrommotor angetrieben wird.

Sammler (Accumulator)

Der im Außengerät installierte Sammler ist als Niederdrucksammler ausgeführt. Er befindet sich zwischen dem 4-Wege Ventil und dem Kompressor. Er dient als Flüssigkeitsabscheider, damit in den Kompressor nur verdampftes Kältemittel gelangt.

Kältemitteltank (Liquid tank)

Der Kältemitteltank befindet sich vor den Puls gesteuerten Motorventilen (PMV 1, PMV 2). Seine Aufgabe ist es, das sich verändernde Volumen des Kältemittels auszugleichen. Dieses ändert sich bei unterschiedlichen Betriebszuständen aufgrund der sich ändernden Temperaturen und Drücke.

Kompressor (Compressor 1, 2)

Die Verdichtung des Kältemittels erfolgt mittels, jeweils abhängig vom Gerätemodell, zwei bis drei durch bürstenlose Gleichstrommotoren angetriebene Doppelrollkolbenkompressoren pro Außengerät. Es handelt es sich um einen vollhermetischen Kompressor, da sich der Antriebsmotor und der Kompressor in einem verschweißten Gehäuse befinden. Der zylindrische Rollkolben bewegt sich auf einer exzentrischen Kreisbahn in der Zylinderführung. Die Trennung des Saug- und Verdichtungsraums erfolgt durch einen Schieber. Durch das Vorhandensein von

zwei gegenseitig angeordneten Rollkolben auf derselben Welle wird ein Massenausgleich bewirkt, der Rollkolbenkompressor läuft daher vollkommen ausgeglichen. Der Gleichstrommotor ist stufenlos regelbar. In Abbildung 22 ist eine Schnittzeichnung eines Doppelrollkolbenkompressors dargestellt.

Ölversorgung des Kompressors

Um die Lager und das Drehkolbengehäuse des Rollkolbenkompressors im Betrieb zu schmieren, muss er mit Öl versorgt werden. Hierfür wird der Kompressor mit Öl aus dem Öltank versorgt. In Abhängigkeit der von den Temperatursensoren detektierten Temperaturen TK1 bis TK4 (Abbildung 17) wird bestimmt, ob sich ausreichend Öl im Kompressorgehäuse befindet. Dabei wird in beiden Kompressorgehäusen der Ölstand bestimmt und im Falle einer Ungleichheit zwischen den Außengeräten oder zwischen den Kompressoren in einem Außengerät, oder eines zu niedriger Ölstandes die Ölausgleichssteuerung durch die Ansteuerung der Ventile SV3A, SV3B, SV3C und SV3D eingeschaltet (Tabelle 9). Dadurch ist es auch möglich, unterschiedlichen Ölbedarf zwischen verbundenen Außengeräten einer Außeneinheit auszugleichen. Sinkt der Ölstand im Öltank eines Außengerätes zu stark ab, kann er durch die Ölausgleichskontrolle von einem anderen Außengerät versorgt werden. Dieser Ausgleich erfolgt während des Betriebes des Kompressors.

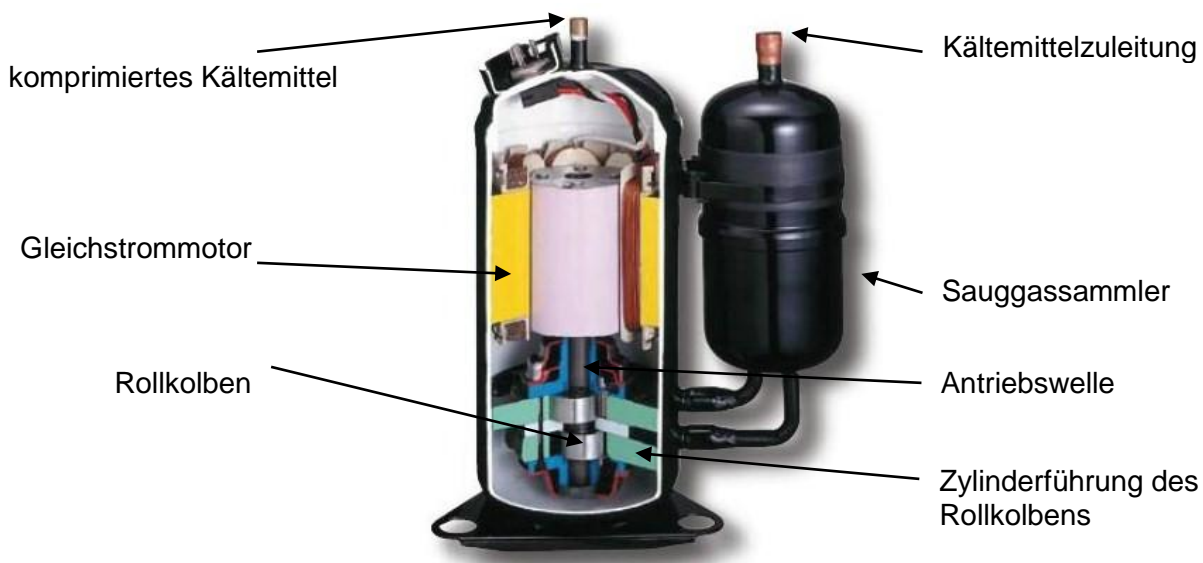


Abbildung 22: Doppel Rollkolbenkompressor (<http://www.toshiba-klima.net>, 13.4.2012)

Filter (Strainer)

An mehreren Stellen, vor allem vor und nach den Ventilen im Kältemittelkreislauf der Innen- und Außengeräte sind Kältemittelfilter eingebaut. Dabei werden Siebe in Querschnittserweiterungen der Kältemittelleitungen eingebaut, um Fremdstoffe, welche den Kompressor beschädigen könnten, aus dem Kältemittel abzuscheiden.

Ölabscheider (Oil separator)

Das Öl vermischt sich bei der Schmierung im Kompressor mit dem Kältemittel. Da das Öl im Kältemittel außerhalb des Kompressors Nachteile, wie eine Verschlechterung des Wärmeübergangs, mit sich bringt, ist ein Ölabscheider nach den Kompressor installiert. Dieser dient zur Rückführung von Öl aus dem Kältemittelkreislauf in den Öltank.

Tabelle 9: Ventile für die Regelung des Ölkreislaufs des Wärmepumpen- Außengerätes (Toshiba Service Manual 2004)

Magnetventilbezeichnung	Aufgabe
SV3A	Sammelt Öl im Öltank außerhalb des Betriebs, liefert im Betrieb zurückgehaltenes Öl in den Öltank
SV3B	Liefert Öl durch die Ausgleichsleitung zum Kompressor
SV3C	Hält das verdichtete Öl im Betrieb vom Öltank zurück
SV3D	Hält das Öl außerhalb des Betriebes im Ölabscheider und ist für die Ölversorgung im Betrieb verantwortlich
SV3E	Wird im Betrieb eingeschaltet und gleicht den Ölstand zwischen den beiden Kompressoren aus

4.3.1.a.1 Regelung der Außengeräte

Die Komponenten im Außengerät wie der Kompressor, Magnetventile, das Motorventil und das Außenluftgebläse werden in Abhängigkeit der Leistungsanforderungen der Innengeräte angesteuert.

Druck- Temperatursensoren und Ventile:

Druck- Temperatursensoren und Ventile dienen zur Überwachung und Steuerung der Komponenten des Kältemittelkreislaufes. Die wichtigsten Ventile sind das 4 Wege Ventil und die beiden pulsmotorgesteuerten Ventile (PMV 1 und PMV 2). Das Vierwegeventil wird im Umkehrbetrieb benötigt und dient zur Umschaltung zwischen Heiz- auf Kühlbetrieb. Dies ist nötig, um die Strömungsrichtung des Kältemittels umzudrehen und dadurch den Wärmetauscher des Außengeräts als Verdampfer und als Kondensator betreiben zu können. Die Lage der Sensoren ist in Abbildung 17 ersichtlich, Sensoren und ihre Aufgaben sind in Tabelle 10 angeführt.

Tabelle 10: Aufgabe der Temperatur- und Drucksensoren (Toshiba Service Manual, 2004)

Sensoren	Aufgabe
TD1, TD2	Kältemitteltemperatursensoren nach den Kompressoren
TS1	Überhitzungstemperatursensor für den Heizbetrieb
TE1	Temperatursensor für die Enteisungs- und Gebläseregelung im Heizbetrieb
TL	Detektiert die Unterkühlung im Kühlbetrieb
TO	Außentemperatursensor
Niederdrucksensor PS	Regelt den Kompressor und die Überhitzung
Hochdrucksensor PD	Regelt den Kompressor und das Gebläse bei niedrigen Umgebungstemperaturen im Kühlbetrieb
SV5	Sicherheitsventil verhindert Überschreitung des Hochdrucks

Regelung des Kältemittelkreislaufs

Die beiden pulsgesteuerten Motorventile (PMV 1 und PMV 2), welche als Drossel (Expansionsventile) dienen sind für die Regelung des Kältemittelkreislaufs zuständig. Diese Regelung ist nötig, damit in den Eintritt des Kompressors nur vollständig verdampftes Kältemittel gelangt, um Beschädigungen des Kompressors zu verhindern. Zu hohe Kompressoreintrittstemperaturen führen aber zu hohen Kompressorendtemperaturen und können dadurch den Kompressor durch thermische Überlastung beschädigen.

Das Ventil kann während des Betriebes zwischen 90 und 1000 Pulse pro Minute angesteuert werden. Je nach Öffnung des Ventils wird der Massenstrom des Kältemittels variiert. Im Kühlbetrieb wird die Stellung des Ventils in Abhängigkeit der vom Temperatursensor detektierten Unterkühlung TL, welches sich zwischen Kältemittelkessel und dem Motorventil, befindet und den Hochdruck PD nach dem Ölabscheider, welcher durch den Hochdrucksensor detektiert wird, geregelt. Im Heizbetrieb wird das Motorventil in Abhängigkeit der Überhitzertemperatur TS vor dem Sammler (Accumulator) und der Kompressoraustrittstemperatur TD und dem Differenzdruck PS vor dem Entlastungsventil SV2 geregelt. Dabei wird das Ventil PMV 2 auf 0 Pulse gestellt, und das Ventil PMV 1 auf ein Minimum von 45 Pulsen je Minute gestellt (Abbildung 23). Dadurch entsteht eine Bypasserrhöhung an Kältemittel um die Temperatur des Kältemittels nach dem Ventil zu erhöhen.

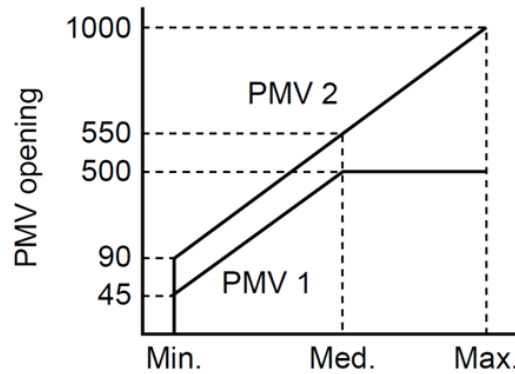


Abbildung 23: Regelcharakteristik der pulsgesteuerten Motorventile im Außengerät (Toshiba Service Manual, 2004)

Gebälseregelung

Das Außengebläse wird im Kühlbetrieb in Abhängigkeit des Hochdrucks PD geregelt. Im Heizbetrieb wird die Gebläsedrehzahl in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur TO geregelt. Übersteigt die Außentemperatur den Wert von 25 °C für 5 Minuten schaltet das Gebläse und die Wärmepumpe, außer das Außengerät arbeitet gerade im Enteisungsmodus, ab. Überschreitet der Druck PD einen Wert von 35 bar schaltet der Kompressor ab.

Regelung der Kompressorleistung

Die Regelung des Kältemittelmassenstroms geschieht in Abhängigkeit der vom Innengerät angeforderten Leistung. Die Leistung der Antriebsmotoren der Kompressoren wird durch einen digitalen Inverter geregelt. Dieser regelt die Frequenz- und Spannungshöhe und ermöglicht somit eine stufenlose Drehzahlregelung. Der 50 Hz Wechselstrom wird zuerst durch einen Umformer auf Gleichstrom umgewandelt. Dieser wird durch den Inverter in einen 3-Phasen Strom mit an die benötigte Leistung angepasster Frequenz und Amplitude, transformiert.

Je nach Leistungsanforderung wird die Inverterfrequenz der Außengeräte einer Außeneinheit berechnet und somit der Kältemittelmassenstrom an die Leistungsanforderungen der, an eine Außeneinheit angeschlossenen Innengeräte, angepasst. Aufgrund der Inverterregelung ist die Leistungsänderung gleichmäßiger als bei Kompressoren mit fester Drehzahl und getaktetem Betrieb. Ein Betrieb ist durch die Frequenzregelung schon ab 20 % der Nennleistung möglich, somit ist ein kontrollierter Betrieb ohne Ein- und Ausschalten möglich. Die Steuerung der Kompressorfrequenz erfolgt nahezu stufenlos mit einer Auflösung von 0.6 Hz, bei neuesten Anlagen 0.1 Hz. (<http://www.toshiba-klima.net>, 4.3.2012)

Vereisung des Wärmetauschers

Im Heizbetrieb kann es bei niedrigen Außenlufttemperaturen zur Vereisung des Außenwärmetauschers kommen. Eine Vereisung des Wärmetauschers würde die Leistung beeinträchtigen und das Außengerät möglicherweise beschädigen. Durch den Wärmetauscher wird der Außenluft Wärme entzogen. Dabei nimmt die Außenlufttemperatur ab und die sich in der Luft befindende Feuchtigkeit kondensiert am Wärmetauscher. Dies kann bei niedrigen

Temperaturen unter 0 °C zur Vereisung führen. Um dies zu verhindern sind die Außengeräte mit einer Enteisungsüberwachung ausgestattet. Die Notwendigkeit einer Enteisung und der Zeitraum zwischen zwei Enteisungsvorgängen des WT werden vom Temperatursensor TE überwacht. Der kleinste Zeitraum zwischen zwei Enteisungsvorgängen beträgt eine Stunde. Dabei wird das Außengerät zuerst auf „Stopp“ geschaltet, das 4-Wege Ventil auf Kühlbetrieb, alle Innengeräte auf die geringste Gebläsestufe und alle Kompressoren eingeschaltet. Durch diesen Vorgang wird der Wärmetauscher für den Enteisungszeitraum von 3 bis 7 Minuten mit dem von den Innengeräten erwärmten Kältemittel durchströmt und ein Enteisen ermöglicht. Ist die Enteisung abgeschlossen, nimmt das Außengerät wieder seinen regulären Betrieb auf.

Das Entlastungsventil SV2 regelt den Druckausgleich zwischen der Hochdruckseite nach dem Kompressor und dem Sammler auf der Niederdruckseite, wenn der Kompressor nicht in Betrieb ist. Dadurch werden die Anfahrlast, und damit die Belastung, des Kompressors verringert. Ebenso dient das Ventil zur Hochdruckentlastung im unteren Frequenzbereich des Inverters und als Niederdruckentlastung, um plötzlichen Druckabfall im Übergangsbetrieb zu verhindern.

Die Ventile SV41 und SV42 dienen zur Niederdruckentlastung während dem Enteisungsvorgang und im Kühlbetrieb. Die Außengeräte sind mit einer Gehäuseheizung im Kompressor und im Sammler ausgestattet, um dort die Ansammlung von Kältemittel vor dem Start zu verhindern. Vor dem Start der Kompressoren müssen die Gehäuseheizungen eingeschaltet werden, um dort das Kältemittel zu verdampfen und somit die Anfahrlast zu verringern. Die Gehäuseheizung schaltet sich ein wenn der Kompressor nicht in Betrieb ist und bei Außentemperaturen unter 25 °C, bei einer Außentemperatur von über 28 °C werden die Gehäuseheizungen ausgeschaltet. Nach dem Einschalten des Kompressors ist die Gehäuseheizung noch für 10 Minuten in Betrieb.

5 THERMISCHE GEBÄUDESIMULATION DES NORDTRAKTES

Für die Durchführung der Simulation mit dem thermischen Simulationsprogramm „TRNSYS“ wurde der Nordtrakt (Abbildung 24) ausgewählt. Grund ist die im Vergleich zu den anderen Räumlichkeiten hohe Auslastung. Für die geometrische Abbildung des Nordtraktes mussten die Räumlichkeiten mit dem 3D Programm „Google SketchUp“ (Trimble Navigation Ltd., 2010) modelliert werden.

Ein Ziel der Simulation ist es den Heizenergiebedarf des Jahres 2011 zu ermitteln und auf den Energiebedarf anderer Auslastungsszenarien zu schließen. In weiterer Folge wurde der Einfluss des Einschaltzeitpunktes und der Vorheiztemperatur der Heizanlage vor Veranstaltungsbeginn und die Absenkttemperatur in der Simulation variiert. Die Auswirkungen dieser veränderten Randbedingungen auf die Behaglichkeit und den Heizwärmebedarf wurden untersucht.



Abbildung 24: Nordtrakt Burg Rabenstein (Heimrath, 12.11. 2012)

5.1 Randbedingungen zur thermischen Gebäudesimulation

Im folgenden Abschnitt werden einerseits die Wetterdaten für die thermische Gebäudesimulation aufbereitet. Andererseits wurde auf wichtige Randbedingungen, wie dem geologischen Aufbau des Erdreiches, näher eingegangen.

5.1.1 Klimadaten Frohnleiten

Da es exakt für den Standort der Burg Rabenstein keine Klimadaten gibt, wurden für die Simulation die Klimadaten von der Wettermessstelle in Frohnleiten, welche sich in einer Entfernung von ungefähr 2 km von der Burg befindet, herangezogen. Die Klimadaten bestehen aus Messwerten des Jahres 2010 und 2011. (ZAMG, 2011)

Folgende Daten aus dem Jahr 2011 von der Wetterwarte in Frohnleiten stehen zur Verfügung:

- Außenlufttemperatur [°C]
- Relative Feuchtigkeit [%]
- Globalstrahlung [W/m²]
- Diffuse Sonneneinstrahlung [W/m²]
- Sonnenscheindauer [h]
- Windgeschwindigkeit [m/s]

In folgenden Diagrammen ist der Verlauf der Außenlufttemperatur, Global- und Diffusstrahlung und der Windgeschwindigkeit des Jahres 2011 am Standort Frohnleiten angegeben (Abbildung 25).

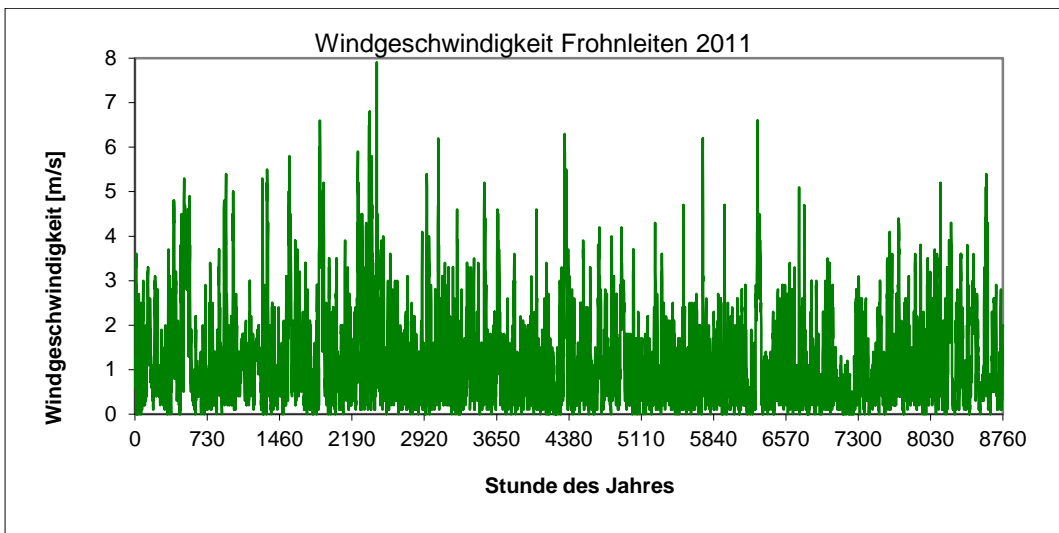
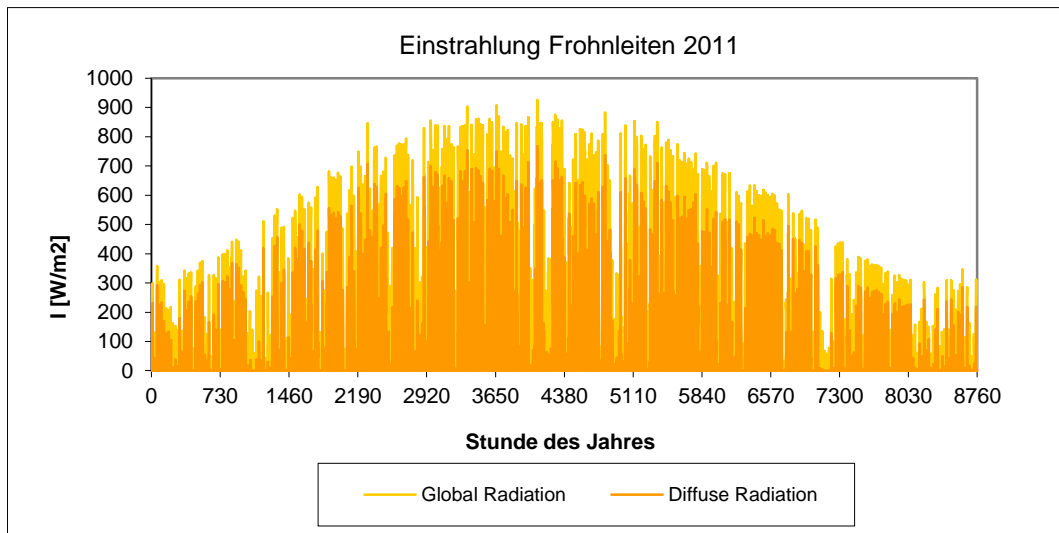
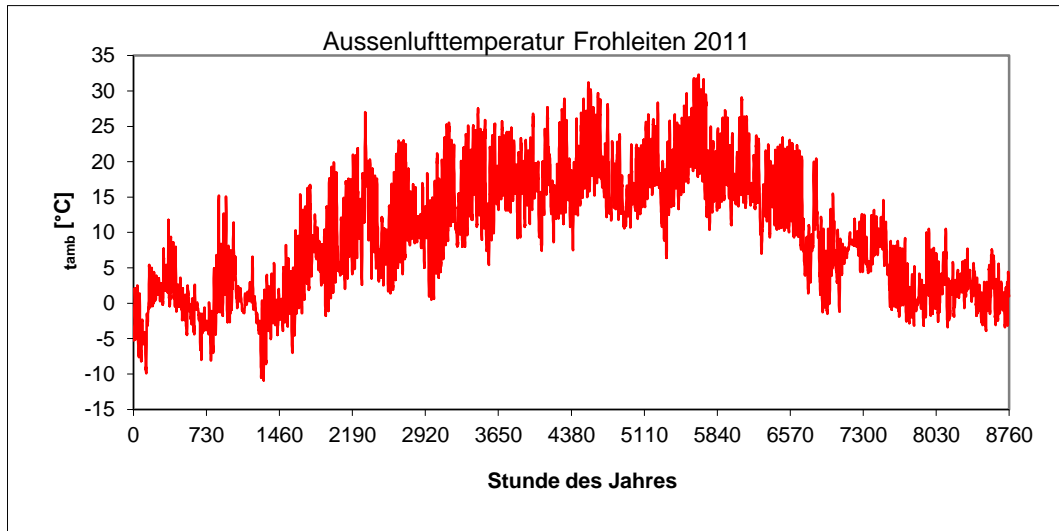


Abbildung 25: Verlauf der Außenlufttemperatur, Global- und Diffusstrahlung und der Windgeschwindigkeit im Jahr 2011 am Standort Frohleiten

Die folgenden Tabellen (Tabelle 11-12) zeigen die monatliche Auswertung der Klimadaten über das Jahr 2011. Die kälteste Lufttemperatur wurde im Februar erreicht und betrug -10.9 °C, die

höchste Temperatur im August lag bei 32.3 °C. Die Auswertung ergab eine Jahresmitteltemperatur von 9.7 °C und eine mittlere Luftfeuchtigkeit von 78.4 %. Zu beachten ist, dass es sich um Klimadaten eines realen Jahres handelt, wobei es sich, im Vergleich mit einem mittleren Klimadatensatz am Standort Graz, als ein durchschnittliches Jahr präsentiert.

Tabelle 11: Verteilung der Strahlung, Außenlufttemperatur und Luftfeuchtigkeit

Klimaszenario Frohnleiten 2011													
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Jahr
GLOBALSTRAHLUNG													
Maxima, [W/m ²]	386	553	697	847	903	925	883	853	711	606	439	347	925
Energie, [kWh/m ²]	36	50	96	123	172	140	133	146	110	69	49	27	1150
DIFFUSSTRAHLUNG													
Maxima, [W/m ²]	303	455	564	708	754	767	737	710	553	494	336	286	767
Energie, [kWh/m ²]	16	24	51	63	95	63	54	76	58	38	26	10	574
LUFTTEMPERATUR													
Minima, [°C]	-9.9	-10.9	-7.0	1.4	0.5	7.4	7.5	6.4	7.0	-1.5	-3.2	-3.9	-10.9
Maxima, [°C]	11.8	15.2	19.9	27.0	27.5	28.9	31.2	32.3	29.1	23.1	14.6	10.5	32.3
Mittelwert, [°C]	-0.5	0.2	5.2	11.4	14.2	17.3	17.9	19.4	16.7	8.4	3.8	1.6	9.7
LUFTFEUCHTIGKEIT													
Minima, [%]	39.0	27.0	27.0	25.0	33.0	29.0	39.0	37.0	41.0	40.0	46.0	38.0	25.0
Maxima, [%]	98.0	100.0	99.0	97.0	99.0	97.0	97.0	97.0	100.0	100.0	99.0	98.0	100.0
Mittelwert, [%]	82.4	81.1	72.7	70.2	70.3	77.1	74.1	78.7	80.4	84.6	85.6	83.7	78.4
HEIZGRADTAGE													
HGT _{20/12} , [Kh/a]			3334										
HT ₁₂ , [d/a]			206										
										Seehöhe:		438 m	
										geograph. Breite (Meßpunkt):		47° 14' 47"	
										geograph. Länge (Meßpunkt):		15° 18' 33"	

Tabelle 12: Monatsauswertung der Außenlufttemperatur Frohnleiten 2011

Monatsauswertung:										
	Anzahl Stundenwerte < 0°C			Anzahl Stundenwerte > 0°C						
	-12	-6	0	0	6	12	18	24	30	
Jänner		36	383	350	22					
Februar		44	323	336	52	8				
März		5	152	350	300	101	10			
April				720	597	282	97	5		
Mai				744	690	459	200	39		
Juni				720	720	654	284	49		
Juli				744	744	701	316	88	6	
August				744	744	708	416	136	22	
September				720	720	630	228	39		
Oktober			28	711	523	120	44			
November			153	551	238	18				
Dezember			220	506	40					
Stunden:	0	85	1259	7196	5390	3681	1595	356	28	

Temperature Range	Number of Hours
<-12°C	0
<-6°C	0
<0°C	~100
>0°C	~7200
>6°C	~5300
>12°C	~3700
>18°C	~1600
>24°C	~400
>30°C	~20

Tabelle 13: Klimadatenauswertung Frohnleiten 2011

<u>relevante Klimadaten 2011 Frohnleiten:</u>
Jahresmittelwert der Außenlufttemperatur 9.7 °C
niedrigster Monatsmittel: Jänner -0.5 °C
niedrigster Stundenmittelwert: Februar -10.9 °C
Globalstrahlungssumme: 1150 kWh/m²a
größte Stundenanzahl der Außenlufttemperaturen unter -6°C, Februar 44 Stunden
höchster Monatsmittel: August 19.4 °C
höchster Stundenmittelwert: August 32.3 °C
größte Stundenanzahl der Außenlufttemperaturen über 30°C, Februar 22 Stunden

5.1.2 Geologischer Aufbau des Erdreiches:

Die Burg Rabenstein befindet sich im oberostalpinen Grundgebirge, auch Grazer Paläozoikum genannt (Abbildung 26). Diese geologischen Formationen stammen aus dem Erdaltertum vor ca. 230 bis 580 Millionen Jahren. (Krainer Wolfgang, 2009)

Das Gestein auf dem sich die Burg befindet, besteht zu großen Teilen aus Karbonatquarzit mit Schöckelkalk und Hangschutt. Die physikalischen Eigenschaften von Karbonatquarzit sind aus Tabelle 14 ersichtlich.

Tabelle 14: Physikalische Eigenschaften des Burguntergrundes von Karbonatquarzit (OENORM_ON_V_31, 1.12.2001)

Dichte	ρ	[kg/m³]	2100
Thermische Leitfähigkeit	λ	[W/mK]	1.3
spez. Wärmekapazität	c_p	[kJ/kgK]	0.96

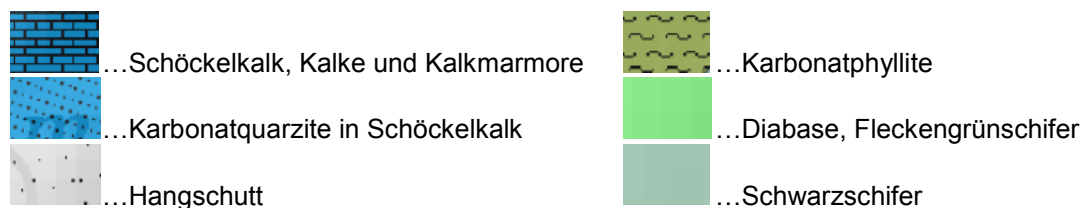
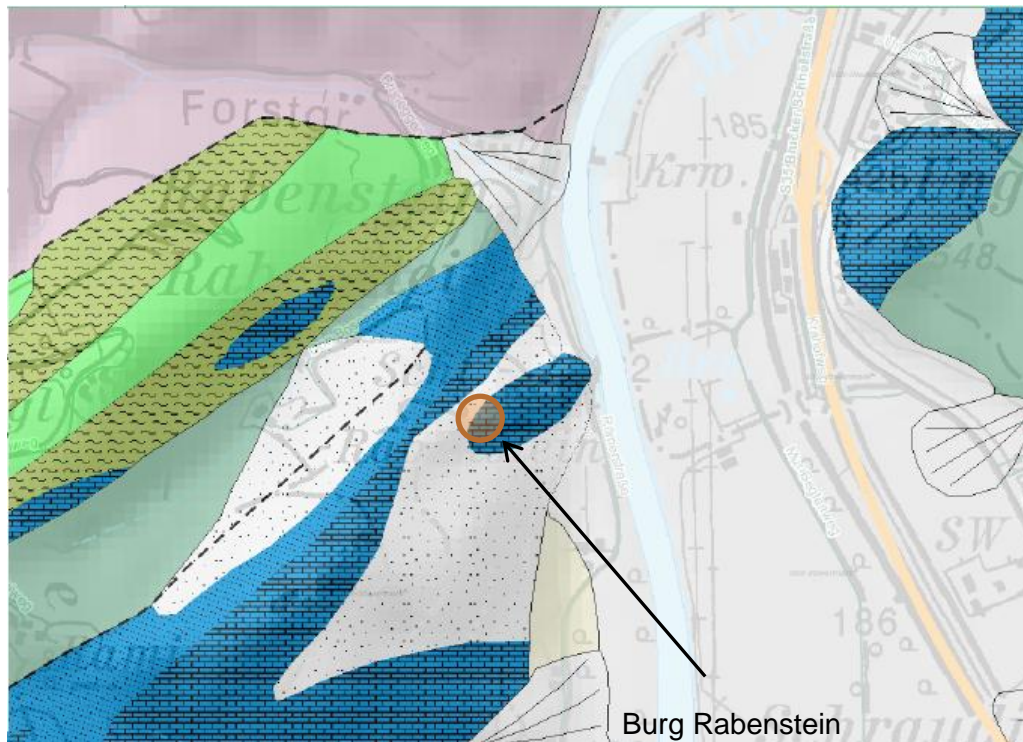


Abbildung 26: Geologie am Standort der Burg Rabenstein, aus der GIS Steiermark (www.gis.steiermark.at, 10.1.2012)

5.1.3 Ungestörte Erdreichtemperaturen

Um den Wärmeaustausch des Erdreiches mit den Kelleraußenwänden und der Bodenplatte des Gewölbes zu berücksichtigen, werden Temperaturverläufe in Abhängigkeit der Erdreichtiefe simuliert (Abbildung 27). Dabei werden die Kelleraußenwände in Abhängigkeit der Tiefe in drei Bereiche (60, 180 und 300 cm Tiefe) unterteilt und die Erdreichtemperatur (Wandaußentemperatur) je nach Tiefe mit einer phasenverschobenen Sinusschwingung simuliert, welche über eine in das Erdreich gedämpfte Aussenlufttemperatur ermittelt wird.

Die Erdtemperatur ist vor allem von der lokalen Erdreichzusammensetzung und dem Wassergehalt abhängig und ist ein Maß für die Trägheit der Temperaturänderung des Erdreiches bei Temperatur- und Strahlungsschwankungen an der Erdoberfläche. Die Berechnung erfolgt nach der Theorie von Kasuda erfolgen (Kasuda, 1965 und TESS LLC, 2010).

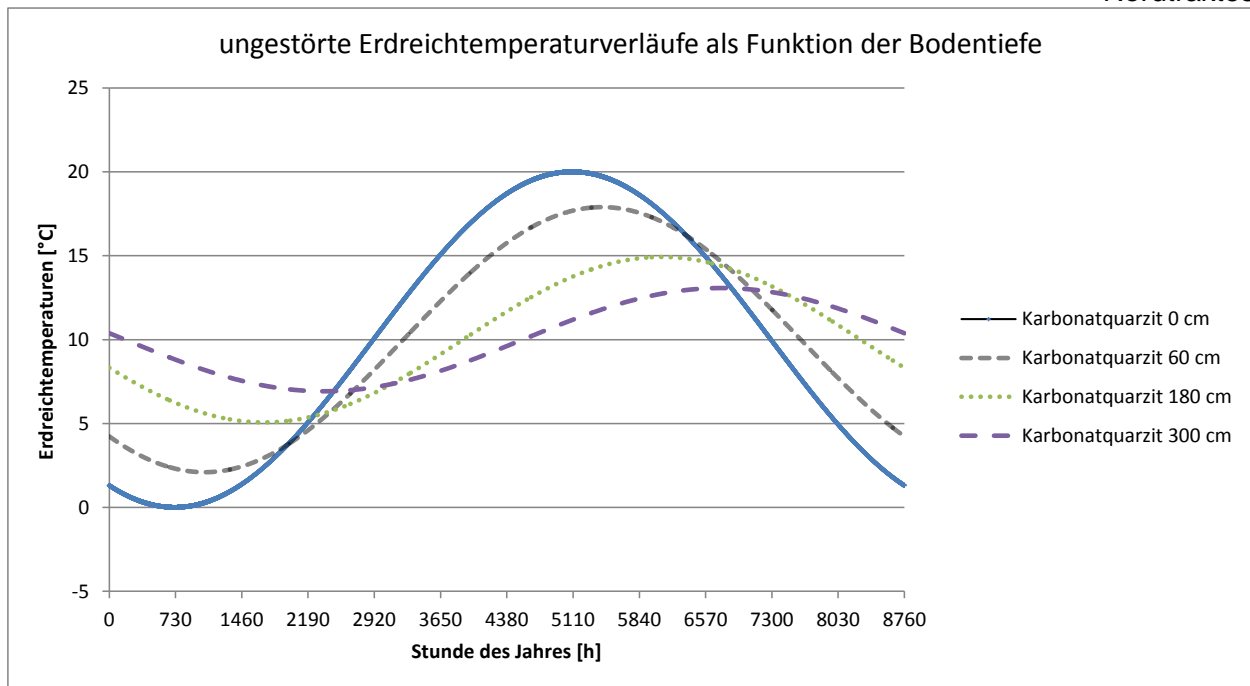


Abbildung 27: ungestörte Erdreichtemperaturen in verschiedenen Tiefen am Beispiel Karbonatquarzit

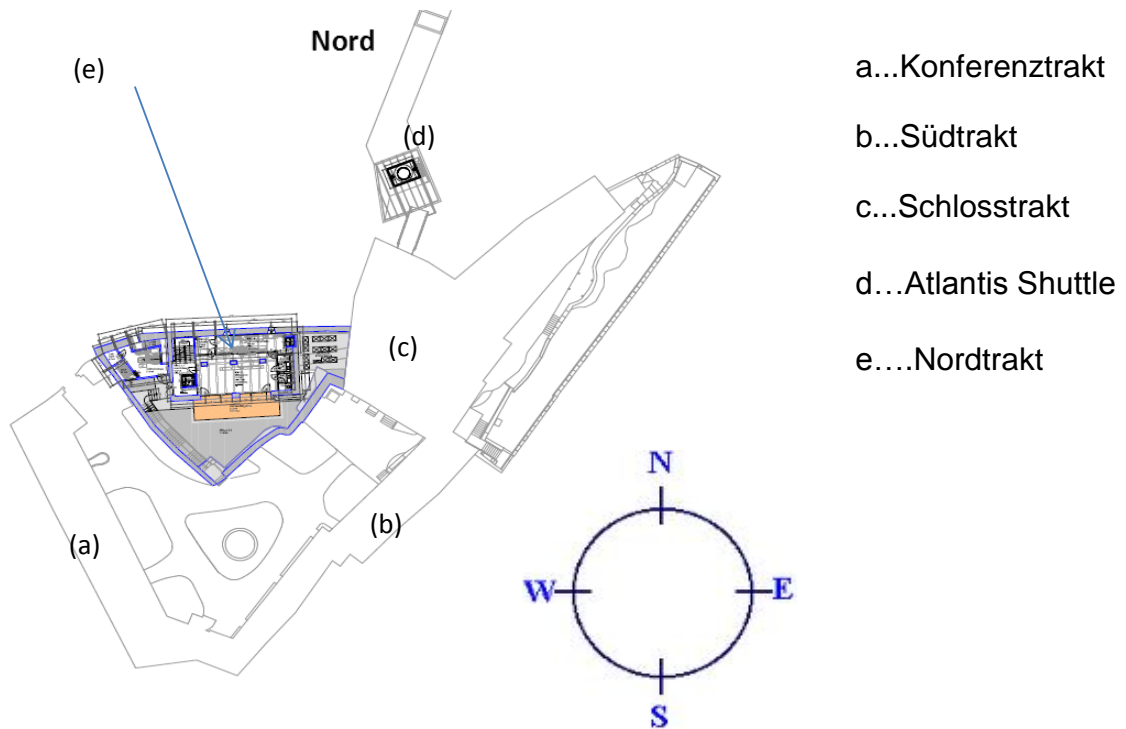
5.2 Eingabedaten Gebäude

Aufgrund der höheren Nutzung im Jahr 2011, wurden die Räume des Nordtraktes simuliert. Im folgenden Abschnitt werden Randbedingungen wie Lage, Ausrichtung, Zonierung, Aufteilung der Speichermassen, interne Gewinne und Wand- und Fensteraufbauten für die thermische Simulation festgelegt.

5.2.1 Lage und Ausrichtung des Nordtraktes in der Burg Rabenstein

Der Nordtrakt befindet sich westlich des Schlosstraktes und nördlich des Süd- und Konferenztraktes (Abbildung 28).

Lage des Nordtraktes:



- a...Konferenztrakt
- b...Südtrakt
- c...Schlosstrakt
- d...Atlantis Shuttle
- e....Nordtrakt

Abbildung 28: Lage des Nordtraktes anhand des Grundrisses der Burg Rabenstein

Die Ausrichtung der Außenflächen wurde laut Tabelle 15 angenommen.

Tabelle 15: Ausrichtung der Außenflächen des Nordtraktes

Orientierung der Außenflächen		Ausrichtung der Flächen	
		Neigung [°]	Azimut
		0° = horizontal	0 = süd 90 = west 180 = nord 270 = ost
		90° = vertical	
Ori-1	Nordfassade unverschattet	90	175
Ori-2	Ostfassade	90	265
Ori-3	Südfassade	90	355
Ori-4	Westfassade	90	85
Ori-5	Dachfläche Ausrichtung Norden	40	175
Ori-6	Dachfläche Ausrichtung Süden	35	355

5.2.2 Geometrie und thermische Zonierung des Nordtraktes

Der Nordtrakt wird in sieben thermische Zonen aufgeteilt (Abbildung 34). Das Stiegenhaus, welches vom Keller bis zum Dachgeschoß führt, wurde zu einer Zone zusammengefasst. Ebenso wurden die Concert Hall im Obergeschoß und die Galerie mit dem WC-Anlagen im Dachgeschoß zu einer Zone zusammengefasst. Als Bruttowerte der Raumflächen werden die Grundflächen der bei der thermischen Zonierung (Abbildung 34) erfassten Flächen angegeben. Diese entsprechen auch der Flächen in Google SketchUp Modell. Die Abweichungen zu den Nettowerten ergeben sich vorwiegend aus den dicken Außenwänden, welche die Nettonutzfläche vermindern, sowie aus Verringerung der Nutzfläche durch Zwischenwände (Tabelle 16).

Tabelle 16: Geometrie und thermische Zonierung des Nordtraktes (Polierplan, 2007)

	Nutzung [m ²]	Zone	Bennennung laut Pläne	Bruttofl. Zone [m ²]	Nettofläche [m ²]	Bruttovol. Zone [m ³]	Nettovolumen [m ³]
Kg	Gewölbe	Zone 1	s' Gwölbl	123.6	102.5	446.0	356.0
	Stiegenhaus	Zone 2	Stiege, Erschließung	31.4	20.8	113.3	69.3
	Summe Kg:			155.0	123.3	559.3	425.3
Eg	Wc	Zone 3	WC D, WC H, VR D, VR H	14.7	9.1	38.6	18.5
	Bar	Zone 4	Raum EG 1	67.5	62.9	177.5	151.5
	Vorraum	Zone 5	Lager/Server/E-Verteiler	8.7	9.1	22.3	22.4
	Küche	Zone 6	Vorbereitungsküche	32.8	24.9	86.2	69.7
	Stiegenhaus	Zone 2	Stiege, Erschließung	31.4	23.9	82.6	62.9
Summe Eg:			155.0	129.9	407.2	324.9	
Og	Concert Hall	Zone 7	WC H/D, Stauraum Dachoden, Vorraum	123.6	172.1	692.9	596.0
Dg	Stiegenhaus	Zone 2	Stiege, Erschließung	31.4	30.1	175.5	137.6
Summe Dg+Og:			155.0	202.2	868.4	733.6	
Gesamtsumme:				465.1	455.3	1835.0	1483.9

Im Stiegenhaus befindet sich der Lift, welcher vom Kellergeschoss bis ins Dachgeschoß führt. (Abbildung 33). Das sich im Kellergeschoß befindende Gewölbe wird meist als Speisesaal und Bar verwendet (Abbildung 30) und ist mit dem Stiegenhaus verbunden. Die Bar im Erdgeschoß besitzt eine große Fensterfront (Abbildung 31), angrenzende Räume sind der Vorraum, die Küche, das WC und das Stiegenhaus. Die Concert Hall findet Verwendung als Vortrags-, Konzert- oder Veranstaltungsraum (Abbildung 32) und hat auch einen Zugang zum Stiegenhaus. Die Galerie dient als Durchgang vom Schlosstrakt zum Stiegenhaus des Nordtraktes (Abbildung 29).



Abbildung 29: Galerie (<http://www.burg-rabenstein.at> 3.3.2012)



Abbildung 30: Gewölbe (<http://www.burg-rabenstein.at> 3.3.2012)



Abbildung 31: Bar mit Fensterfront
(<http://www.burg-rabenstein.at>
3.3.2012)

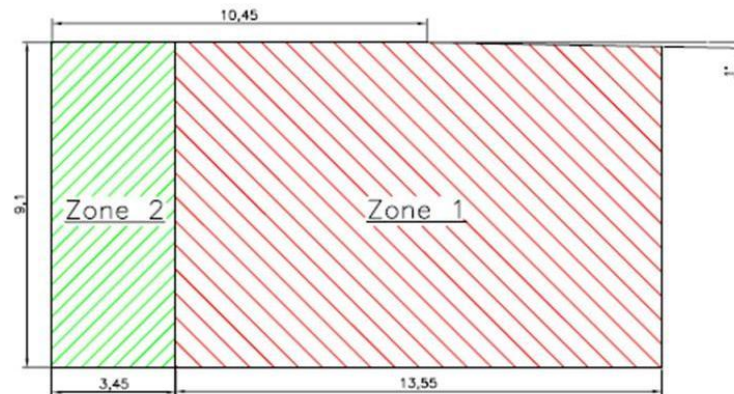


Abbildung 32: Concert Hall
(<http://www.burg-rabenstein.at> 3.3.2012)

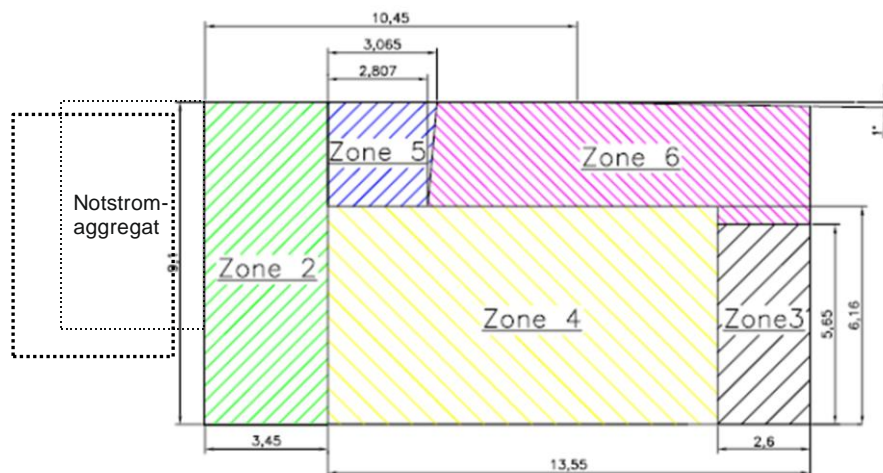


Abbildung 33: Lift im Stiegenhaus
(<http://www.burg-rabenstein.at> 3.3.2012)

Kellergeschoß: Zone 1: Gewölbe
Zone 2: Stiegenhaus



Erdgeschoss: Zone 2: Stiegenhaus Zone 4: Bar
Zone 3: WC Zone 5: Vorraum
Zone 6: Küche



Obergeschoss: Zone 2: Stiegenhaus
Zone 7: Concert Hall, Galerie

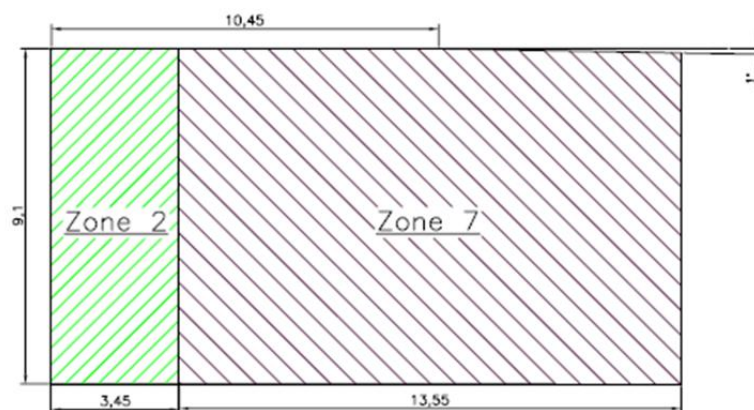


Abbildung 34: Thermische Zonen der Gebäudesimulation des Keller-, Erd- und des Ober- und Dachgeschosses

5.2.3 Abbildung des Nordtraktes in Google SketchUp

Um den Nordtrakt später in der thermischen Gebäudesimulation (TRNSYS [TESS LCC, 2009-2010]) modellieren zu können, wurde er zuerst mit dem Programm Google SketchUp [Trimble Navigation Ltd., 2010] modelliert. Die Südseite besitzt eine große Fensterfront im Erdgeschoß und Dachfenster (Abbildung 35). Die an das Erdreich angrenzenden Kelleraußenwände wurden für die Simulation der Erdreichtemperatur in drei Bereiche unterteilt. Die Außentür an der Ostseite des Nordtraktes (Abbildung 36) führt zum Übergang in den Schlosstrakt. Auf der Westseite befindet sich der angrenzende Zubau mit dem Notstromaggregat. Die Außentür im Dachgeschoss führt zum Stiege, welche in den Burghof führt.

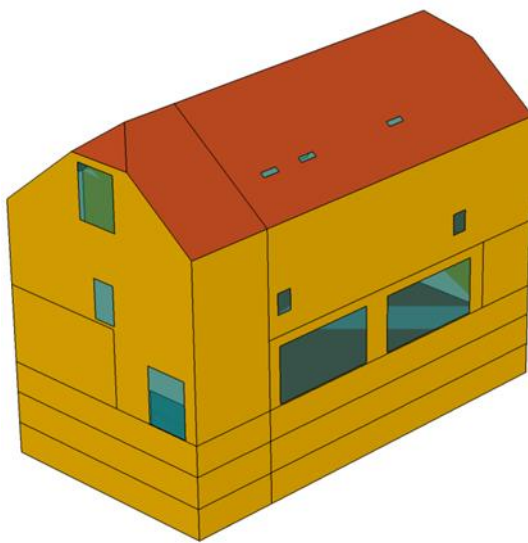


Abbildung 35: Nordtrakt unverschattet Ansicht von Südwesten

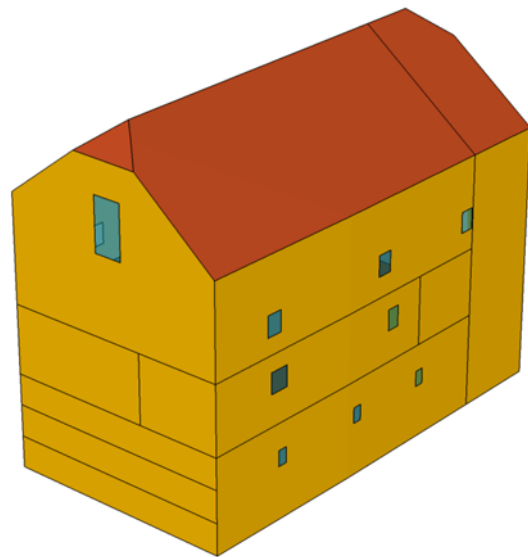


Abbildung 36: Nordtrakt unverschattet Ansicht von Nordosten

5.2.4 Verschattungen durch angrenzende Gebäude

Die Verschattung beeinflusst wesentlich die Höhe der solaren Gewinne, welche durch die Fenster in die Räume dringt. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen nicht unmittelbar beeinflussbarer externer Verschattung durch Gebäude, Bäume, Geländer, Berg etc. und vom Benutzer steuerbarer Verschattung durch Jalousien, welche sich entweder an der Außen- oder Innenseite der Fenster befinden.

Aufgrund des dicken Wandaufbaus (1-1.2 m) und dem geringen Fensterflächenanteil des Traktes (8.8 % m^2 Fensterfläche/ m^2 Bodenfläche, Mindestvorgabe von 12.5 % bei Bürogebäuden (<http://www.planungsbuero-schubert.de/sparen.html>, 10.5.2012)) hat die Verschattung durch die angrenzenden Trakte und der Burgmauer nur einen geringen Einfluss auf die Einstrahlung der Sonne in die jeweiligen Räume. Der größte Einfluss der Verschattung ist aufgrund der großen Fensterfront in der Zone 4 der Bar zu bemerken. Folgende umgebenden Mauern sind für die Verschattung des Nordtraktes verantwortlich:

- Südtrakt
- Schlosstrakt
- Konferenztrakt
- Angrenzende Burgmauern an den Nordtrakt

Die externe Verschattungen des Nordtraktes sind im SketchUp-Modell violett bzw. grau dargestellt (Abbildung 34). Die Auswirkungen auf den Temperaturverlauf der Verschattung ist in Abbildung 47 in Kapitel 5.4 ersichtlich.

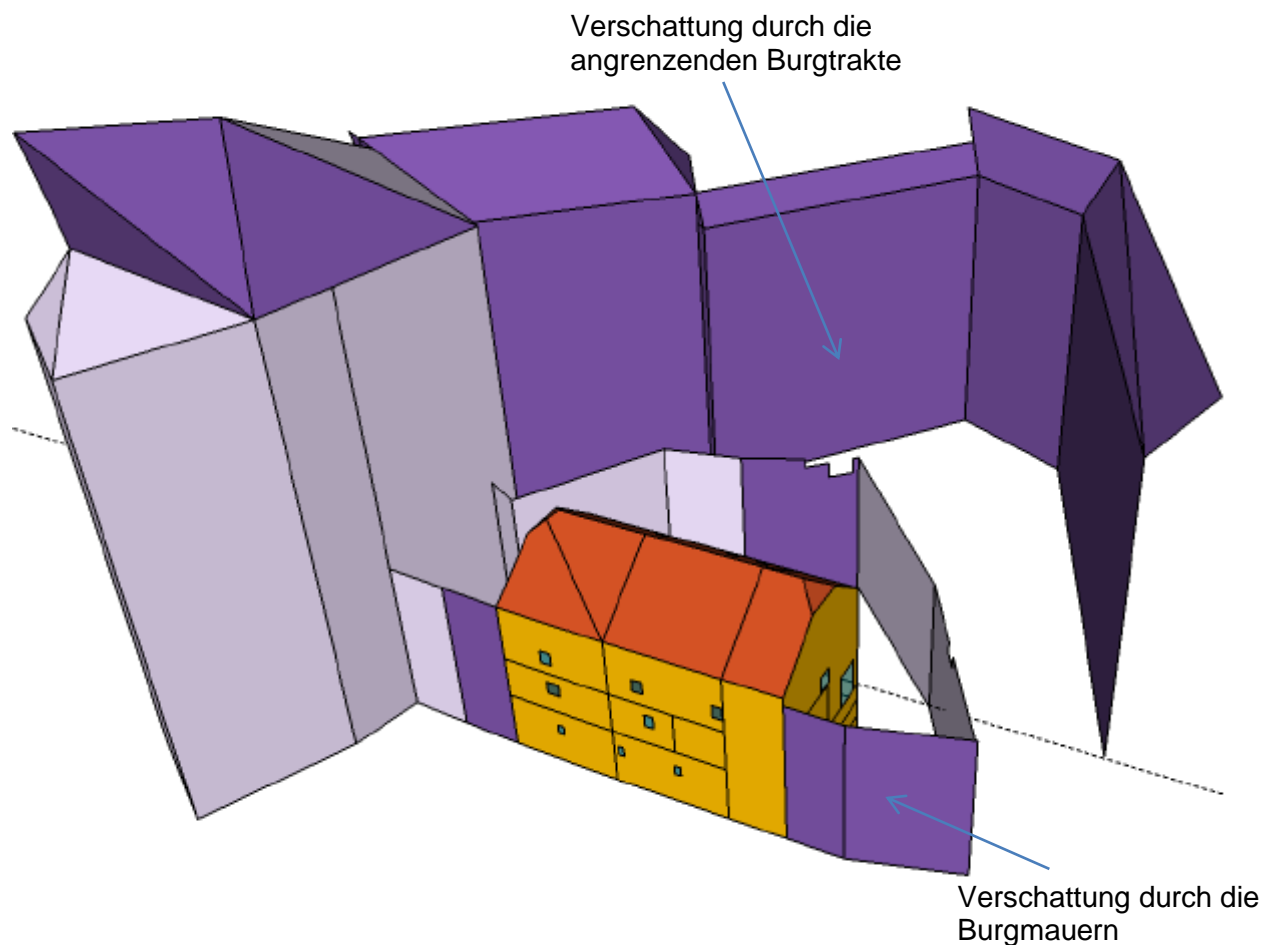


Abbildung 37: Verschattung des Nordtraktes durch Burgmauern und angrenzende Bauten

5.2.5 Zonenmäßige Darstellung der zusätzlichen internen Speichermassen

Interne Speichermassen speichern Wärme bzw. Kälte welche, bei von der Speichermasse abweichenden Umgebungstemperaturen, wieder an den Innenraum abgegeben wird. Eine Erhöhung der internen Speichermassen führt zur Dämpfung von Raumlufttemperaturschwankungen. Zum Beispiel sinkt bzw. steigt die Raumlufttemperatur beim Aus- bzw. Einschalten der Heizung langsamer. (Gertis und Hauser, 1975)

Interne Speichermassen aus Wandaufbauten werden im thermischen Gebäudesimulationsprogramm automatisch berücksichtigt. Zusätzliche Interne Speichermassen ergeben sich aus dem Gewölbeaufbau (Tabelle 18) und aus den sich in den Zonen befindenden Objekten wie Möbel, Haushaltsgeräte, Stiegen, Geländer, Holzaufbauten, Zwischenwände und anderen Gegenstände. Diese mussten aufgrund der Verwendung des detaillierten Strahlungsmodells zusätzlich berücksichtigt werden und sind in Tabelle 17 angeführt.

Tabelle 17: Speichermassen bzw. zusätzliche Wärmekapazitäten der thermischen Zonen des Nordtraktes

	Anz.	Bauteil	Material	Volumen	Dichte	Masse	Masse	spez.	Wärmekap.
				[dm ³]	[kg/m ³]	[kg]	gesamt [kg]	Wärmekap. [J/kgK]	[kJ/K]
Gewölbe	70	Stühle	Holz			12	840	2340	1966
			Leder			1	70	1490	104
	16	Tische	Stahl	8	7830	63	1002	470	471
			Holz	73	700	51	818	2340	1913
	1	Bar	Holz	833	700	583	583	2340	1365
			Stein	417	1200	500	500	1000	500
			Glas	171	2200	376	376	840	316
	1	Bar Equi.	Edelstahl			200	200	500	100
			Kunststoff			50	50	1250	63
	1	Gewölbe	Sandstein	2563	2600	6664	6664	1000	6664
	Raumluft		320000	1	320	320	1006	322	

Summe Kapazität Gewölbe: 13782

Bar	12	Stühle	Stahl			2	20	470	9
			Kunststoff			5	60	1250	75
	3	Tische	Stahl			10	30	470	14
			Holz			10	30	2340	70
	8	Barhocker	Stahl			4	28	470	13
			Kunststoff			2	16	1250	20
	3	Bartische	Holz			15	45	2340	105
			Kunststoff			10	30	1250	38
	1	Bar	Glas	24	2200	53	53	840	44
			Ziegel	1170	1700	1989	1989	936	1862
			Beton	446	1800	803	803	1116	896
	3	Säulen	Ziegel	550	1700	935	935	936	875
			Beton	1110	1800	1998	1998	1116	2230
		Geräte	Edelstahl			50	50	500	25
			Holz			30	30	2340	70
			Glas			10	10	840	8
	Raumluft		151500	1	152	152	1006	152	

Summe Kapazität Bar: 6508

Küche	1	Kühlschr.	Edelstahl			100	100	500	50
	1	Ofen	Edelstahl			110	110	500	55
	1	Arbeitspl.	Edelstahl			15	150	500	75
	1	Kleingeräte	Edelstahl			25	25	500	13
	1	Gläserwaschanlage	Edelstahl			70	70	500	35
			Raumluft	69700	1	70	70	500	35

Summe Kapazität Küche: 262

Vorraum	1	Boiler	Stahl			80	80	470	38
			Raumluft	22350	1	22	22	1006	22

Summe Kapazität Vorraum: 60

WC	1	Wände	Gips	352	1200	422	422	960	405	
	2	Spülung	Wasser	20	1000	20	40	4180	167	
	2	Tür	Holz			25	50	2340	117	
	2	Amaturen	Keramik			10	20	950	19	
			Rohre	Kunststoff			50	50	1250	63
				Raumluft	18500	1	19	19	1006	19

Summe Kapazität WC: 790

Concert Hall	1	Geländer	Glas	333	2200	732	732	840	615	
	1	Geländer	Edelstahl			720	720	500	360	
	2	WC	Gips	1100	1200	1320	2640	960	2534	
	2	WC	Wasser	20	1000	20	40	4180	167	
	1	WC	Holz			35	70	2340	164	
			WC	Keramik			10	20	950	19
	1	Boden Gallerie	Holz	1510	700	1057	1057	2340	2473	
	1	Gallerieträger	Holz	7918	700	5543	5543	2340	12970	
	1	Dachgerüst	Holz	2514	700	1760	1760	2340	4118	
	96	Stühle	Holz			10	960	2340	2246	
	1	Klavier	Holz			250	250	2340	585	
	1	Wand	Hoz			353	353	2340	826	
				Raumluft	596000	1	596	596	1006	600

Summe Kapazität Con. Hall: 27677

Stiegenh.	1	Lift	Beton	2964	1800	5335	5335	1116	5954	
			Stahl				5000	470	2350	
			Glas				2000	840	1680	
	1	Decke	Beton	6420	1800	11556	11556	1116	12896	
			Stiege	Beton	4760	1800	8568	8568	1116	9562
	1	Geländer	Glas	1727	2200	3799	3799	840	3191	
				Stahl				100	470	47
				Raumluft	269800	1	270	270	1006	271

Summe Kapazität Stiegenh.: 35952

Korrektur der Wärmekapazität der internen Speichermassen in der Zone 1 (Gewölbe):

Die Geometrie des Gewölbes und der Säulen im Gewölbe können in Google SketchUp nicht abgebildet werden, da dort für die Simulation nur rechtwinkelige Geometrien abgebildet werden können. Dadurch kommt es aber zu einer Unterbewertung der internen Speichermassen, welche einer Korrektur unterzogen werden müssen.

Für die Richtigstellung wurde die Vergrößerung der Oberfläche durch die drei Säulen und dem Gewölbeaufbau der in Google SketchUp Modell gezeichneten Zone 1, dem Gewölbe, berechnet. Die zusätzliche Speichermasse wird für die zusätzliche Oberfläche des Gewölbes bis zu einer Tiefe von 178 mm definiert (Tabelle 18). Die Stoffwerte wurden aus der Stoffdatenbank des Simulationsprogramms TRNBuild entnommen. Die Tiefe von 178 mm stellt die aktivierbare Tiefe der Speichermasse im Tagesverlauf vom Baustoff Sandstein dar. Die Berechnung der Wirkungstiefe erfolgt anhand der Gl. 5-2 und Gl. 5-3. Um die Fläche zu berechnen, wurde die

Oberfläche des Gewölbes mit dem CAD Programm „Catia“ (Dassault Systèmes 1994–2004) modelliert.

Tabelle 18: Speichermasse bzw. Wärmekapazität der Gewölbedecke aufgrund der Geometriekorrektur (TRNBuild Datenbank, 2011)

Verringerung der Raumbofläche durch das Gewölbe	[m ²]	8
Fläche der Stützen	[m ²]	22.4
Aktivierbare Tiefe der Speichermasse im Tagesverlauf σ_{24}	[m]	0.178
zusätzliches Volumen Speichermasse Gewölbe	[m ³]	2.563
Dichte Sandstein ρ	[kg/m ³]	2600
Gesamte Speichermasse	[kg]	6664
Spezifische Wärmekapazität c	[J/kgK]	1000
Wärmekapazität	[kJ/K]	6664
Spezifische Wärmeleitfähigkeit Sandstein λ	[W/mK]	2.9

Ein Maß für die Reichweite von Temperaturschwankungen in einer Materialschicht stellt die Temperaturleitfähigkeit „ a “ dar (Gl. 5-2). (B. Keller, S. Rutz 2011)

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad \text{Gl. 5-2}$$

Aus der Temperaturleitfähigkeit a lässt sich die Eindringtiefe σ_{24} für einen Tag mit folgender Formel berechnen:

$$\sigma_{24} = 165.8 \cdot \bar{a} \quad \text{Gl. 5-3}$$

Für Sandstein ergibt sich somit unter Verwendung der Werte für Gl. 5-2 aus Tab 18 eine Temperaturleitfähigkeit von:

$$a = 115.3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$$

und daraus eine aktivierbare Tiefe der Speichermasse für eine 1-Tages-Periode von:

$$\sigma_{24} = 178 \text{ mm}$$

Tabelle 19: Temperaturleitfähigkeiten gängiger Baustoffe und Eindringtiefen (B. Keller, S. Rutz, 2011)

Material	Bauübliche Schichtdicke d [m]	Temperatur- leitfähigkeit a [$10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$]	Eindringtiefe σ [m]	
			T [s] = 1 Jahr (31'536'000 s)	T [s] = 1 Tag (86'400 s)
Holz (Fichte)	0.05	14	1.18	0.062
Pavatherm	0.05	10	1.00	0.052
Backstein	0.30	44	2.10	0.110
Optitherm	0.475	20	1.42	0.074
Kalksandstein	0.15	62	2.50	0.131
Beton (Stahl-)	0.20	68	2.61	0.137
Gasbeton	0.50	26	1.62	0.065
Polystyrol	0.12-0.3	167	4.09	0.214
Steinwolle 80 kg/m ³	0.12-0.3	83	2.89	0.151
Foamglas	0.12-0.3	44	2.10	0.110
Stahl		1528	12.39	0.648
Aluminium		8'230	28.74	1.504

Die höhere aktivierbare Tiefe der Speichermasse im Tagesverlauf von Sandstein (Tabelle 17) im Gegensatz zu Kalksandstein (Tabelle 19) ergibt sich aus einer höheren Temperaturleitfähigkeit a von $115.3 \cdot 10^{-8} \text{m}^2\text{s}^{-1}$ (Sandstein) im Gegensatz zu $62 \cdot 10^{-8} \text{m}^2\text{s}^{-1}$ (Kalksandstein). Werkstoffe mit niedrigen Temperaturleitfähigkeiten, wie Holz oder Sand, haben eine langsamere Wärmeaufnahmefähigkeit und daher eine geringere Eindringtiefe als Beton, Granit oder Sandstein.

5.2.6 Berücksichtigung des Zubaus an der Westseite

Der Zubau an der Westseite des Nordtraktes, welcher das Notstromaggregat beinhaltet und sich auf Höhe der Bar befindet, muss in der Gebäudesimulation berücksichtigt werden. Durch den Zubau ändert sich die Temperatur der angrenzenden Außenwand des Nordtraktes und somit die Wärmeleitung durch die Außenmauer des Nordtraktes an dieser Stelle. In der Gebäudesimulation wird die Außenwand der angrenzenden Fläche des Nordtraktes mit der Innenraumtemperatur des Zubaus beaufschlagt (Abbildung 34, Erdgeschoß). Der Temperaturverlauf des Notstromaggregatraums wurde laut Abbildung 38 angenommen.

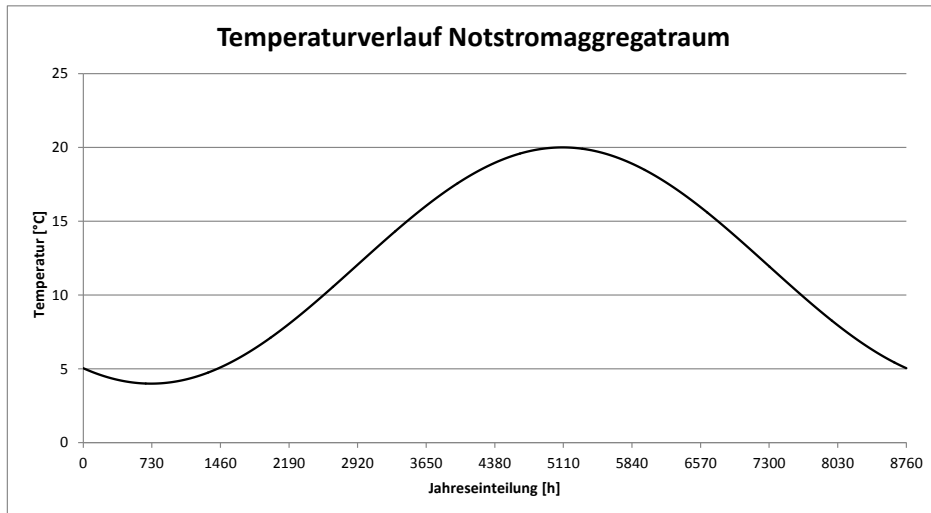


Abbildung 38: Temperaturverlauf des Notstromaggregatraums

5.2.7 Mechanischer Luftwechsel

Die Zonen 1 (Gewölbe) und 4 (Ritinger Bar) des Nordtraktes sind mit einer mechanischen Lüftung mit Wärmeübertrager ausgestattet. Die Lüftung ist 3-mal täglich für eine Stunde (Abbildung 39, Tabelle 20) in Betrieb. Die Luft kann bei sehr tiefen Außentemperaturen elektrisch nachgeheizt werden.

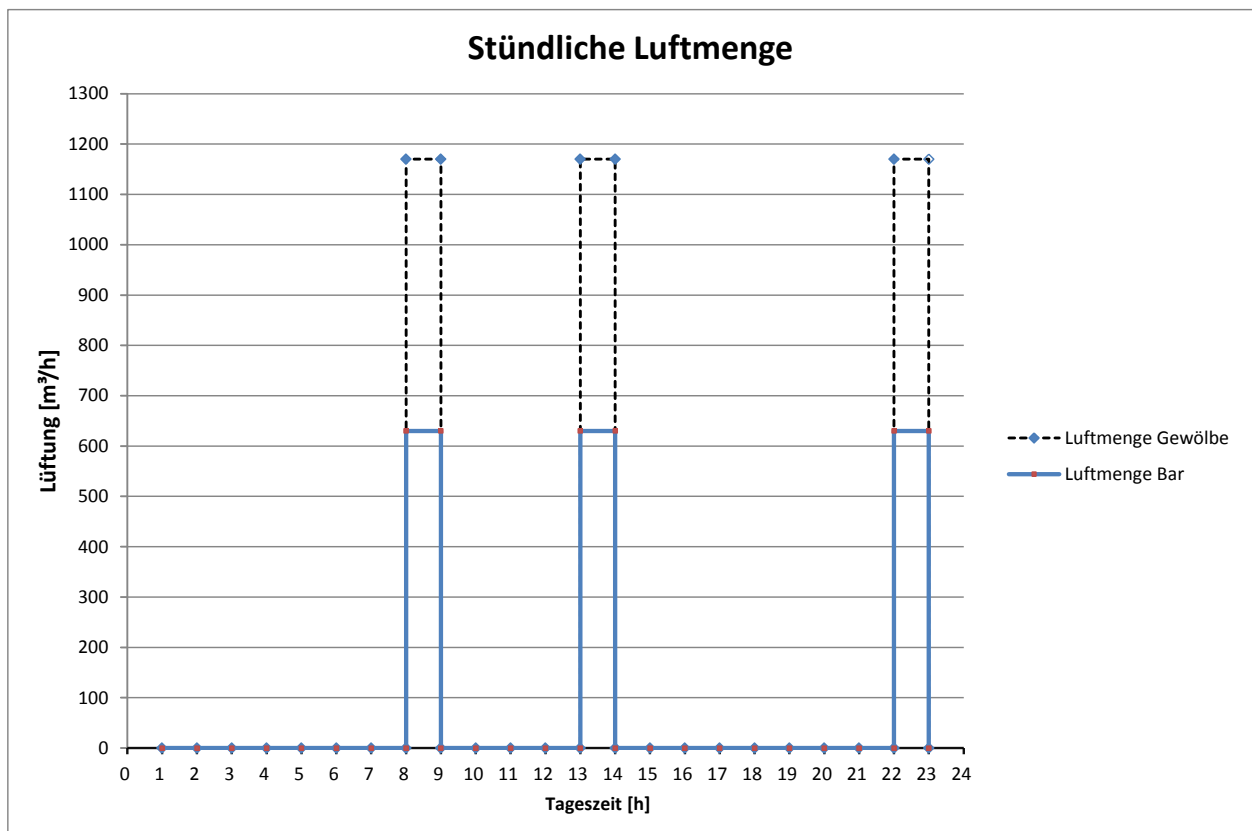


Abbildung 39: Tagesverlauf des mechanischen Luftwechsels in Bar und Gewölbe

Tabelle 20: mechanischer Luftwechsel in Bar und Gewölbe (e-mail von Bojan Klopčič, 13.12.2011, experto@siol.net)

	Max. Luftmenge [m ³ /h]	Max. Luftwechsel [h ⁻¹]
Bar	630	4.16
Gewölbe	1170	3.28
Wirkungsgrad des Wärmeübertragers		
0.85		

5.2.8 Infiltration

Die Infiltration ist ein Maß für die Undichtheit aufgrund baulicher Maßnahmen eines Gebäudes. Die üblicherweise bei alten Bauten verwendete Infiltrationsrate von 0.3 – 0.6 h⁻¹ (Rechnagel, 2007) wurde, aufgrund des geringen Fenster- und daher auch geringeren Fugenteils, im Nordtrakt auf eine Infiltrationsrate von 0.1 h⁻¹ verringert.

5.2.9 Luftaustausch zwischen den Zonen

Der Luftaustausch zwischen den Zonen ist für einen großen Anteil des Wärmeaustausches zwischen angrenzenden Räumen verantwortlich. Im Nordtrakt findet der Luftaustausch aufgrund regelmäßig offener Türen statt. Er ergibt sich aus der Fläche der Türöffnungen, der mittleren horizontalen Strömungsgeschwindigkeit zwischen den Zonen und der Türöffnungsdauer. Die Abmessungen der Türen wurden aus den Plänen (Polierplan, 2007) übernommen. Als mittlere Strömungsgeschwindigkeit wird ein Wert von 0,15 m/s angenommen, welcher durch Geschwindigkeitsmessungen abgeschätzt wurde. Die durchschnittliche Dauer der Öffnung der Türen wird in Tabelle 21 berücksichtigt. Der höchste Luftaustausch ergibt sich zwischen den an das Stiegenhaus angrenzenden Zonen, da hier die Türen meist geöffnet und relativ groß sind.

Tabelle 21: Luftvolumenstrom zwischen den Zonen durch die Türöffnungen

Zuftaustausch zwischen Zone:			gesamte Türfläche	Strömungs- geschwindigkeit	Luftstrom	Luftdichte	Luftstrom immer offen	Anteil Tür geöffnet	Luftstrom
			[m ²]	[m/s]	[m ³ /h]	[kg/m ³]	[kg/h]	[%]	[kg/h]
Gewölbe-Stiegenhaus	Zone 1	Zone 2	3.08	0.15	832	1.204	1001	100	1001
Stiegenhaus-Bar	Zone 2	Zone 4	3.80	0.15	1026	1.204	1235	100	1235
Bar-Wc	Zone 4	Zone 3	1.71	0.15	462	1.204	556	10	56
Bar-Küche	Zone 4	Zone 6	2.00	0.15	540	1.204	650	80	520
Vorraum-Küche	Zone 5	Zone 6	2.00	0.15	540	1.204	650	80	520
Bar-Vorraum	Zone 4	Zone 5	2.00	0.15	540	1.204	650	80	520
Stiegenhaus-ConcertHall	Zone 2	Zone 7	4.48	0.15	1210	1.204	1456	100	1456

5.2.10 Gleichbleibende Konstruktionsaufbauten

Wand- Decken und Bodenaufbauten

Daten für Wandstärken, Abmessungen und Schichtmaterialien der Wände- Decken und Bodenaufbauten wurden aus den Bestandsplänen (Polierplan, 2007) übernommen. Aufgrund der Errichtung des Nordtraktes vor hunderten Jahren, wurden für Originalaufbauten, wie die Außenmauern lokalen Baustoffen wie Sandstein verwendet. In Abbildung Tabelle 22-24 sind die Wand- Decken und Bodenaufbauten des Nordtraktes angeführt.

Für die thermische Gebäudesimulation müssen die einzelnen Wände eine konstante Schichtdicke aufweisen. Da die Wandstärken der Außenmauern nicht immer konstant sind, wurde ein Mittelwert über die Höhe gebildet. Bei den dargestellten U-Werten wird ein innerer Wärmeübergangskoeffizient α_i von 7,7 W/m²K und ein äußerer Wärmeübergangskoeffizient α_a von 25 W/m²K berücksichtigt. Bei Wandaufbauten im Inneren des Gebäudes wird mit einem Wärmeübergangskoeffizient von beidseitig 7,7 W/m²K gerechnet. (TRNBuild Stoffdatenbank, 2011)

Tabelle 22: Wand- Decken und Bodenaufbauten Kellergeschoß (Polierplan, 2007)

Zone 1		Gwölbe						
Bezeichnung in Trnbuild	Fläche [m ²]	Schichtmaterial	Name d. Schicht in Trnbuild	Wandstärke [mm]	Dichte [kg/m ³]	Lamda [W/mK]	cp [J/kgK]	U-Wert [W/m ² K]
NORDWAND_KG	49.5	Kalkzementmörtel Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 1066	1800 2600	3.13 2.94	1000 840	1.82
SUEDWAND_KG	48.9	Kalkzementmörtel Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 1120	1800 2600	3.13 2.94	1000 840	1.77
OSTWAND_KG	32.4	Kalkzementmörtel Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 1040	1800 2600	3.13 2.94	1000 840	1.89
BETON_200 (Wand zum Stiegenhaus)	26.5	Beton	BET_200	200	2200	2.10	1000	3.77
SLAB_D_GROUND (Boden Erdreich)	83.8	Estrich PE-Folie einlagig XPS PE-Folie dreilagig Ausgleichsschicht	ESTR_050 EXTRUDEDPO CLAY	70 180 90	2000 40 1700	1.40 0.04 0.83	1000 1470 840	0.21
WALL_GROUND	36.7	Sandstein	LIMESTONE	900	2600	2.94	840	2.10
GEWOELBEDECKE (Decke zum EG)	120.5	Estrich PE-Folie einlagig XPS PE-Folie dreilagig Ausgleichsschicht Sandstein Gewölbeziegel	ESTR_050 EXTRUDEDPO Sand_Kiessand LIMESTONE VOLLKLINKE	70 80 50 230 100	2000 40 1800 2600 2200	1.40 0.04 5.04 2.94 4.32	1000 1470 1000 840 1000	0.42

Tabelle 23: Wand und Deckenaufbau Erdgeschoß (Polierplan, 2007)

Bezeichnung in Trnbuild	Fläche [m²]	Schicht-material	Schicht in Trnbuild	Wandstärke [mm]	Dichte [kg/m³]	Lamda [W/mK]	cp [KJ/kgK]	U-Wert [W/m²K]
Zone 3 WC								
SUEDWAND_EG	6.8	Kalkzementmörtl Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 666	1800 2600	3.13 2.69	1000 840	2.42
OSTWAND_EG	14.9	Kalkzementmörtl Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 690	1800 2600	3.13 2.69	1000 840	2.37
GIPS20CM (Gipswand zur Küche)	6.8	Gips Mineralwolle Gips	GIPS_013 MIWO_100 GIPS_013	15 165 15	900 60 900	0.21 0.04 0.21	1000 1000 1000	0.23
GIPS_WC (Gipswand zur Küche)	14.9	Gips Mineralwolle Gips	GIPS_013 MIWO_100 GIPS_013	15 43 15	900 60 900	0.21 0.04 0.21	1000 1000 1000	0.72
Zone 4 BAR								
SUEDWAND_EG	6.8	Kalkzementmörtl Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 666	1800 2600	3 3	1000 840	2.42
BETON_150	16.2	Beton	BET_200	150	2200	2	1000	4.14
GIPS_KUECHE_VORRAUM (Gipswand Bar-Küche, Bar-Vor)	21.7	Gips Mineralwolle Gips	GIPS_013 MIWO_100 GIPS_013	15 105 15	900 60 900	0 0 0	1000 1000 1000	0.34

Fortsetzung Tabelle 24: Wand und Deckenaufbau Erdgeschoß (Polierplan, 2007)

Bezeichnung in Trnbuild	Fläche [m²]	Schicht-material	Schicht in Trnbuild	Wandstärke [mm]	Dichte [kg/m³]	Lamda [W/mK]	cp [KJ/kgK]	U-Wert [W/m²K]
Zone 5 Vorraum								
NORDWAND_EG	8.1	Kalkzementmörtl Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 887	1800 2600	3.13 2.94	1000 840	2.05
BETON_150 (Wand zum Stiegenhaus)	7.7	Beton	BET_200	150	2200	2.10	1000	4.14
GIPS_VORRAUM_KUECHE	7.8	Gips Mineralwolle Gips	GIPS_013 MIWO_100 GIPS_013	15 48 15	900 60 900	0.21 0.04 0.21	1000 1000 1000	0.66
Zone 6 Küche								
NORDWAND_EG_KUECHE	28.0	Kalkzementmörtl Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 830	1800 2600	3.13 2.94	1000 840	2.13
OSTWAND_EG	8.8	Kalkzementmörtl Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 690	1800 2600	3.13 2.94	1000 840	2.37
Deckenaufbau Erdgeschoß:								
BODEN_CONCERT_HALL	123.6	Holzboden Mineralwolle Gipsplatten	HOLZ_020 EXPANSEDPO GIPS_013	50 33 24	600 25 900	0.13 0.04 0.21	2100 1470 1000	0.67

Tabelle 25: Wand und Dachaufbau Concert Hall und Galerie (Polierplan, 2007)

Bezeichnung in Trnbuild	Fläche [m²]	Schicht-materiale	Schicht in Trnbuild	Wandstärke [mm]	Dichte [kg/m³]	Lamda [W/mK]	cp [kJ/kgK]	U-Wert [W/m²K]
Zone 7 Concert Hall/Galerie								
NORDWAND_1.STOCK	49.1	Kalkzementmörtl Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 580	1800 2600	3.13 2.94	1000 840	2.60
SUEDWAND_1.STOCK	55.8	Kalkzementmörtl Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 660	1800 2600	3.13 2.94	1000 841	2.43
OSTWAND_1.STOCK	49.0	Kalkzementmörtl Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 494	1800 2600	3.13 2.94	1000 842	2.87
BETON_150	51.0	Beton	BET_200	150	2200	2.10	1000	4.14
DACH	156.7	Holz	HOLZ_030	30	600	0.13	2100	0.24
		Mineralwolle Dachziegel	MIWO_100 Bricks	150 30	60 1000	0.04 1.00	1000 840	

Tabelle 26: Wand- Boden und Dachaufbau Stiegenhaus (Polierplan, 2007)

Bezeichnung in Trnbuild	Fläche [m²]	Schicht-materiale	Schicht in Trnbuild	Wandstärke [mm]	Dichte [kg/m³]	Lamda [W/mK]	cp [kJ/kgK]	U-Wert [W/m²K]
Zone 2 Stiegenhaus								
STIEGENHAUS_NORD	33.9	Kalkzementmörtl Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 800	1800 2600	3.13 2.94	1000 840	2.18
STIEGENHAUS_WEST	106.4	Kalkzementmörtl Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 696	1800 2600	3.13 2.94	1000 840	2.36
STIEGENHAUS_SUED	35.7	Kalkzementmörtl Sandstein	KALKZEMENT LIMESTONE	15 780	1800 2600	3.13 2.94	1000 840	2.21
SLAB_D_GROUND (Boden Erdreich)	16.9	Estrich	ESTR_050	70	2000	1.40	1000	0.21
		PE-Folie einlagig XPS	EXTRUDEDPO	180	40	0.04	1470	
		PE-Folie dreilagig Ausgleichsschicht	CLAY	90	1700	0.83	840	
DACH	39.8	Holz	HOLZ_030	30	600	0.13	2100	0.15
		Mineralwolle Gipsplatte	MIWO_100 GIPS_013	150 16	60 900	0.04 2.72	1000 1000	

Aufbau der Außenmauern

Der Aufbau der Außenmauern geht auf den Beginn des 15. Jahrhunderts zurück. Als Baumaterial wurden meist in der Umgebung anzufindende Materialien verwendet. „Generell können in diesem Baualter die Aufbauten nur erkundet werden - Annahmen sind sehr problematisch.“ (E-Mail vom 23.1.2012 grobbauer@ihb.tugraz.at Arch. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Grobbauer Institut für Hochbau). Der gewählte Aufbau ist in Tabelle 27 ersichtlich (TRNBuild Stoffdatenbank, 2011). Da in der TRNBuild Datenbank den Baustoff Karbonatquarzit nicht vorhanden ist, wurde Sandstein, welcher ähnliche Eigenschaften aufweist, für die Definition der Außenwände verwendet.

Tabelle 27: Aufbau Außenwand

Schicht-material	Dichte [kg/m³]	Wärmeleitzahl [W/mK]	spez. Wärmekap. [kJ/kgK]
Kalkgipsputz 20 mm	1800	3.13	1000
Sandstein	2600	2.94	840

Dachaufbau

Der Dachaufbau wurde im Zuge der Renovierung saniert. Es handelt sich um keinen Standardaufbau für altertümliche Gebäude, sondern um ein hinterlüftetes Dach in Warmdach-Bauweise.

Um den Dachaufbau (Abbildung 40) in der thermischen Gebäudesimulation abbilden zu können, musste der mittlere U-Wert des Dachaufbaus, welcher aus Fichtenholz, Dämmung aus Mineralwolle und einer Gipsplatte besteht, berechnet werden. Mit dem berechneten U-Wert wurde das Dach mit einer Holzschicht, einer Mineralwollschicht und einer Gipsplattenschicht modelliert (Abbildung 40). Da es sich um ein hinterlüftetes Dach handelt, werden die Dachziegel nicht für die U-Wert Berechnung des Daches herangezogen. In Tabelle 28 ist der Dachaufbau laut Polierplänen angegeben, in Tabelle 29 der Dachaufbau für die thermische Gebäudesimulation.

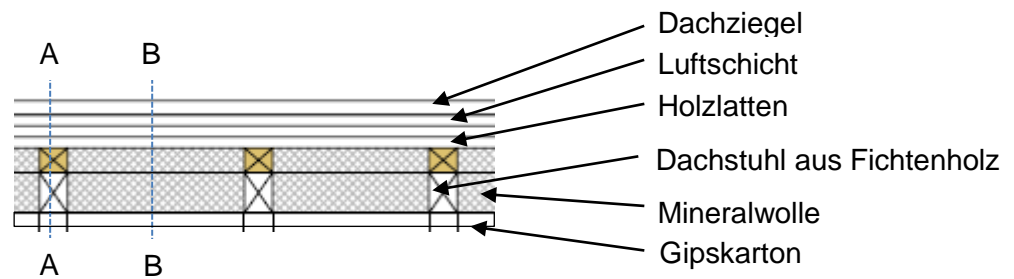


Abbildung 40: Dachaufbau (Polierplan Burg Rabenstein Längsschnitt 15.10.2007)

Tabelle 28: Dachaufbau (Polierplan, 2007)

Dachaufbau laut Pläne			Materialstärke	U- Wert	Prozenanteil	gemittelter
			[mm]	Einzelschicht	an Dachfläche	U-Wert
				[W/m²K]	[%]	[W/m²K]
Schnitt A	Gipswand	16	4.5	12	0.157	
	Fichtenholz	330	0.37			
Schnitt B	Gipswand	16	4.5	88		
	Mineralwolle	300	0.13			
	Fichtenholz	30	2.5			

Tabelle 29: Dachaufbau für die Eingabe in die thermische Gebäudesimulation

für die Simulation umgerechneter Dachaufbau			Materialstärke	U- Wert	gemittelter
			[mm]	Einzelschicht	U-Wert
				[W/m²K]	[W/m²K]
Gipswand		16	4.5	0.157	
Mineralwolle		240	0.16		
Fichtenholz		32	2.4		

Fenster Außentüren und Glasverbauten Nordtrakt

Die originalen Fenster und Türen wurden bei der letzten Sanierung erneuert. Die Abmessungen der Fenster und Türen wurden aus den Bestandsplänen übernommen. Die technischen Daten der Fenster und Türaufbauten wurden von „Stabil Fenster und Türen“ Homepage (<http://www.stabil.at>, 2.2.2012) übernommen und in den Tabelle 30-31 angegeben. Die U-Werte der Fensterrahmen wurden mittels U-Wert-Rechners (Plag, 2012) ermittelt. Somit konnte der U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) des kompletten Fensters mit Rahmen berechnet werden.

Tabelle 30: Außentüren Nordtrakt (Polierplan, 2007)

Tür: Stabil Comfort 70	
WINDOW ID:	13002
Rahmenstärke Fichte:	80 [mm]
U-Wert Rahmen:	1.3 [W/m ² K]
U-Wert Fenster:	1.1 [W/m ² K]
g-Wert:	0.609 %/100
Konvektive Wärmeübergangskoeffizienten: α	
außen:	17.8 [W/m ² K]
innen:	3.05 [W/m ² K]

Zone	Nr. Tür in Trnbuild	Fläche [m ²]	Rahmenanteil [%]	U-Wert Fenster mit Rahmen	Bezeichnung in Trnbuild
Zone 02	149	3.77	46	1.19	Außentür_EG Balkontür
	153	3.54	1	1.10	
Zone 04	125	9.42	24	1.15	Glasfront_EG
	126	9.68	24	1.15	
Zone 07	101	2.31	46	1.19	Außentür_DG

Tabelle 31: Außenfenster Nordtrakt (Polierplan, 2007)

Fenster: Stabil Comfort 70	
WINDOW ID:	13002
Rahmenstärke Fichte:	60 [mm]
U-Wert Rahmen:	1.58 [W/m ² K]
U-Wert Fenster:	1.1 [W/m ² K]
g-Wert:	0.609 %/100
Konvektive Wärmeübergangskoeffizienten: α	
außen:	17.8 [W/m ² K]
innen:	3.05 [W/m ² K]

Zone	Nr. Tür in Trnbuild	Fläche [m ²]	Rahmenanteil [%]	U-Wert Fenster mit Rahmen	
Zone 01	10	0.22	60	1.39	Kellerfenster
	11	0.22	60	1.39	
Zone 02	148	1.39	40	1.29	Westfenster
Zone 06	92	0.61	35	1.27	Küchenfenster
	96	0.42	42	1.30	
Zone 07	102	0.15	40	1.29	Dachfenster
	103	0.15	40	1.29	
	104	0.15	40	1.29	
	99	0.48	40	1.29	Fenster_Nord
	100	0.51	40	1.29	
	105	0.50	40	1.29	
	97	0.49	40	1.29	
98	0.50	40	1.29	Fenster_Süd	

Tabelle 32: Aluportale und Glastüren zwischen Zone 2 (Stiegenhaus) und den angrenzenden Zonen (Polierplan, 2007)

Aluglaswand/tür: Einfachglas	
WINDOW ID:	1201
Rahmenaufbau:	
Alu	3 [mm]
Luft	34 [mm]
Alu	3 [mm]
U-Wert Rahmen:	2.86 [W/m ² K]
U-Wert Fenster:	5.68 [W/m ² K]
g-Wert:	0.855 %/100
Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient: α	
innen:	3.05 [W/m ² K]

Zone	Nr. Tür in Trnbuild	Fläche [m ²]	Rahmenanteil [%]	U-Wert Fenster mit Rahmen	
Zone 01	121	6.38	26	4.95	Aluportal/tür
Zone 04	123	2.96	19	5.14	Aluportal
	122	5.22	26	4.95	Aluportal/tür
Zone 07	109	5.83	28	4.88	Aluportal Galerie
	124	6.44	37	4.65	Aluportal C.Hall
	129	3.30	27	4.92	Aluportal C.Hall

5.2.11 Interne Gewinne durch Beleuchtung, Equipment und Personen

Interne Gewinne in Gebäuden haben einen wesentlichen Einfluss auf den Heiz- und Kühlbedarf von Gebäuden. Man unterscheidet zwischen internen Gewinnen durch Beleuchtung, Equipment und Personen.

Interne Gewinne durch die Beleuchtung

Die Aufteilung der konvektiven und radiativen Beleuchtungsleistung typischer Beleuchtungssysteme ist in Tabelle 33 angeführt. Der radiative Anteil stellt den Strahlungsanteil der Leuchtmittel dar. Durch die radiative Strahlung werden die Umgebungsflächen des Raumes erwärmt, welche die Wärme mit zeitlicher Verzögerung an die Raumluft abgeben. Der konvektive Anteil führt zur direkten Erwärmung der Raumluft. Die Prozentsätze für den radiativen und konvektiven Anteil wurden aus der Norm VDI 2078 übernommen.

Tabelle 33: radiativer und konvektiver Anteil der Beleuchtungsleistung (VDI 2078)

	konvektiver Anteil	radiativer Anteil
	[%]	[%]
Glühlampen	10	90
Leuchtstoffröhre	40	60
Spots	25	75

In der Tabelle 34 ist die zonenmäßige Aufteilung der internen Gewinne durch die Beleuchtung auf die Zonen des Nordtraktes angegeben. Die Leistungsdaten der Leuchtmittel wurden bei der Besichtigung des Nordtraktes Mitte November 2011 aufgenommen. Da die Beleuchtungen während einer Veranstaltung im ganzen Nordtrakt dauernd eingeschaltet sind, wurden keine reduzierten Betriebszeiten der Veranstaltungen berücksichtigt.

Tabelle 34: Wärmeabgabe durch Leuchtmittel in den Zonen des Nordtraktes

	Anzahl	Beschreibung	Leistung je Lampe [W]	Leistung installiert [W]	Anteil L. konvektiv [W]	Anteil L. radiativ [W]
Zone 1	8	Luster	200	1600	160	1440
	10	XAL Spots im Boden	100	1000	250	750
	3	Leuchtstoffröhre	60	180	72	108
Summe Beleuchtungsleistung Zone 1:			2780	482	2298	
Zone 2	16	Stiegenbeleuchtung	70	1120	448	672
	18	Deckenspots Liffeingang	25	450	180	270
Summe Beleuchtungsleistung Zone 2:			1570	628	942	
Zone 3	4	Leuchtstoffröhre	30	120	48	72
Summe Beleuchtungsleistung Zone 3:			120	48	72	
Zone 4	8	Spots hinter der Bar	75	600	150	450
	10	Spots vor der Bar	35	350	88	263
	3	Spots "Artemide" vor der Glasfront	150	450	113	338
	1	Ritting Bar Reklame	40	40	36	4
Summe Beleuchtungsleistung Zone 4:			1440	386	1054	
Zone 5	1	Leuchtstoffröhre	60	60	24	36
Summe Beleuchtungsleistung Zone 5:			60	24	36	
Zone 6	4	Leuchtstoffröhre	75	300	120	180
Summe Beleuchtungsleistung Zone 6:			300	300	300	
Zone 7	16	Scheinwerfer 1. Stock	70	1120	112	1008
	6	Luster Concert Hall	150	900	90	810
	36	Spots Galerie	50	1800	720	1080
Summe Beleuchtungsleistung Zone 7:			3820	922	2898	

Interne Gewinne durch Personen

Personen geben Wärme an Ihre Umgebung ab, welche im Wesentlichen von Ihrer Aktivität abhängt. Befindet sich die Person in einen Raum wird Wärme (bei niedriger Raumtemperatur) an den Raum abgegeben, welche die Raumluft erwärmt und einen internen Gewinn darstellt. Diese Wärme wird teilweise durch Strahlung (radiativ), teilweise direkt (konvektiv) und ein Teil als Verdampfungswärme abgegeben. Die Aufteilung der spezifischen Anteile der radiativen und konvektiven Wärmestrahlung erfolgt mit Hilfe der Norm VDI 2078 in Tabelle 35. In dieser Tabelle ist auch die Verdampfungsmenge der Personen in den unterschiedlichen Zonen angegeben. Auffällig ist, dass vor allem in der Zone 6 (Küche) eine höhere Wärmeabgabe der Personen vorliegt, welche sich durch die höhere Aktivität der sich dort befindenden Personen ergibt.

Tabelle 35: Personenspezifische interne Lasten durch Personen

	Wärmeleistung durch Aktivitäten der Personen	radiativer Anteil	konvekt. Anteil	radiativer Anteil	konvekt. Anteil	Verdampfungsmenge pro Person	
	[W]	[%]	[%]	[W]	[W]	g/h	kg/h
Zone 1	100	33.3	66.7	33.3	66.7	44	0.044
Zone 2	95	33.3	66.7	31.6	63.4	37	0.037
Zone 3	80	33.3	66.7	26.6	53.4	37	0.037
Zone 4	95	33.3	66.7	31.6	63.4	37	0.037
Zone 5	95	33.3	66.7	31.6	63.4	37	0.037
Zone 6	120	33.3	66.7	40.0	80.0	80	0.08
Zone 7	95	33.3	66.7	31.6	63.4	37	0.037

Interne Gewinne durch das Equipment

Die Interne Gewinne, welche durch Geräte wie Kaffeemaschinen, Abwärme von Kühlgeräten, Küchengeräten etc. an die Räume abgegeben werden, sind in Tabelle 36 angeführt. Dort erfolgt auch eine Aufteilung der Geräteleistung in Betriebs- und Standbyleistung und in konvektive und radiative Leistung.

Tabelle 36: Interne Lasten des Equipments in den Räumen des Nordtraktes

Beschreibung		Leistung Betrieb	L. Standby	Betriebszeit	Leistung	L. konv.	L. rad
		[W]	[W]	[%]	[W]	[W]	[W]
Zone 1	Cafina Kaffeemaschine	3000	100	10	400	200	200
	Kühlgeräte	500	50	80	450	225	225
	Heizplatten Buffett	6000		60	3600	2880	720
Summe Wärmeleistung Equipment Zone 1:					4450	3305	1145
Zone 4	Jura Kaffeemaschine	1350	50	10	185	93	93
	Kühlgeräte	500	50	80	450	225	225
Summe Wärmeleistung Equipment Zone 4:					635	318	318
Zone 6	Fritöse	3000		5	150	75	75
	Kühlschrank	900		50	450	225	225
	2 x Induktionsheizplatte	7000		15	1050	525	525
	Ofen	10000		20	2000	1000	1000
	Geschirrspüler	3000		20	600	300	300
	Gläserwäscher GS 502	9500		15	1425	713	713
Sofraka Toaster	2800		5	140	70	70	
Summe Wärmeleistung Equipment Zone 6:					5815	2908	2908
Zone 7	Beamer	250	50	70	225	113	113
	Lautsprecheranlage	150	50	70	155	78	78
Summe Wärmeleistung Equipment Zone 7:					380	190	190
Zone 2	Aufzug	500	200	20	300	300	0
Summe Wärmeleistung Equipment Zone 2:					300	300	0

Die Eingabe der internen Gewinne in die thermische Gebäudesimulation erfolgt mittels Datenfiles, welches die Werte über eine Excel Tabelle vorbereitet. (Tabelle 37). In Abbildung 41

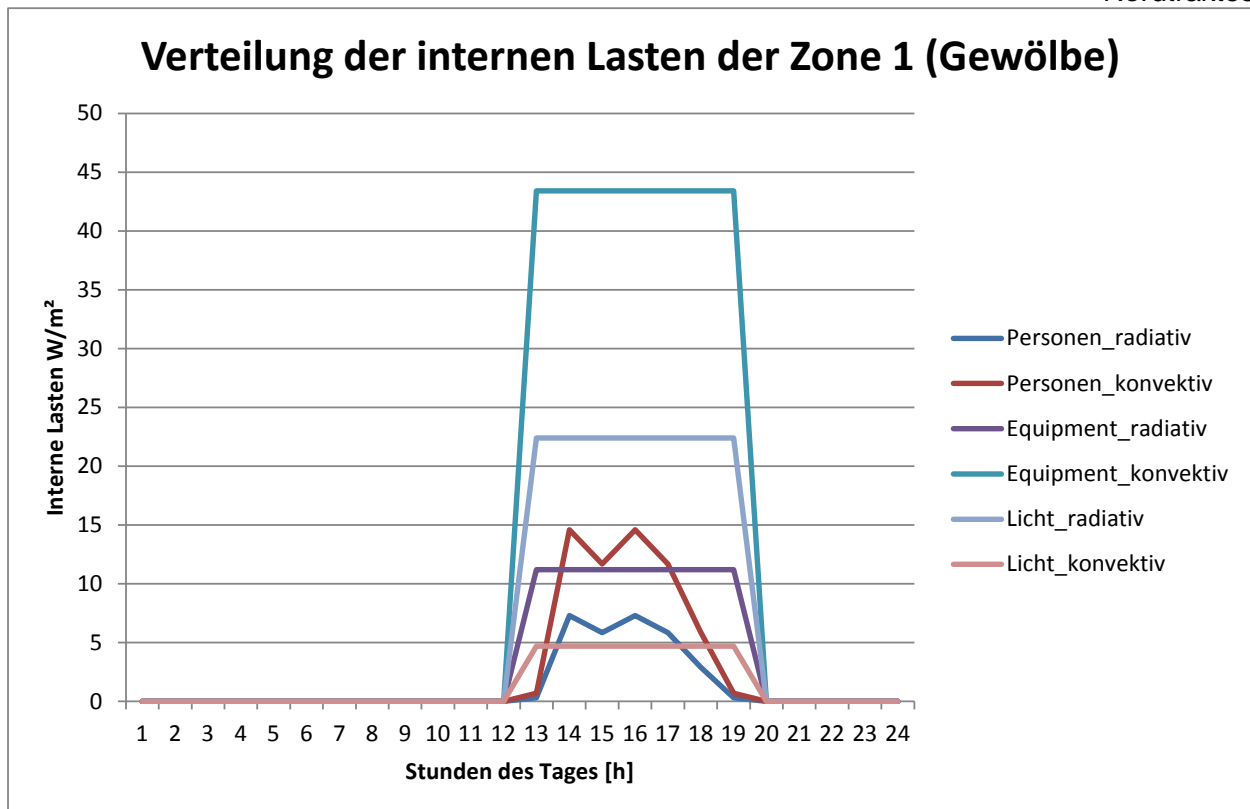


Abbildung 41: Verteilung der internen Lasten des Gewölbes vom 28. März 2011 mit einer Belegung von 30 Personen, für die Zone 1 des Nordtraktes

5.2.12 Leistung der Wärmepumpeninnengeräte in den einzelnen Zonen

Die Leistung der Heizung ist in der thermischen Gebäudesimulation auf die maximale Heizleistung begrenzt. In Tabelle 38 sind die in den Zonen des Nordtraktes installierten Heiz- und Kühlleistungen angeführt. Die Kühlleistung wird praktisch nicht benötigt, da die Innengeräte hauptsächlich zum Heizen verwendet werden, wurde aber vollständigshalber auch angegeben. Die elektrischen Heizstrahler in Zone 2 und 3 sind nur bei sehr tiefen Außentemperaturen in Betrieb, was äußerst selten der Fall ist. Die Gerätetypen wurden aus den Rohrleitungspläne (siehe Anhang Abbildungen 97-107) und die dazugehörigen Leistungsdaten von der Toshiba Homepage (<http://www.toshiba-klima.net/katalog>) entnommen. In Kapitel 5-9 wird die Normheizlast des Nordtraktes berechnet und mit den installierten Geräteleistungen verglichen, um abschätzen zu können, ob die Anlage überdimensioniert wurde.

Tabelle 38: Leistung der Innengeräte in den Zonen (Toshiba Rohrleitungsplan, 12.1.2012)

		Nennheizleistung [kW]	max. Kühlleistung [kW]
Innengeräte Wärmepumpe	Zone 1	48	43
	Zone 4	24	36
	Zone 7	76	68
Elektro Heizstrahler	Zone 2	12	-
	Zone 3	4	-

5.3 Thermische Behaglichkeit

Die thermische Behaglichkeit ist ein Indikator für das Wohlbefinden der Personen in ihrer räumlichen Umgebung. Sie ist im Wesentlichen von Einflussfaktoren welche, direkt von der Person ausgehen (Bekleidung, Aktivität), der Raumklimatisierung (Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte) und den Eigenschaften des Raumes (Strahlungs- und Umschließungsflächentemperatur) abhängig.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten der Form der Behaglichkeitsbewertungen. In der Auswertung der thermischen Gebäudesimulation kommt hauptsächlich die gebräuchliche Form der Behaglichkeitsdiagramme vor. In dieser Arbeit werden zur Darstellung zwei Normdarstellungen verwendet. Die Darstellung erfolgt mit der geläufigen aber nicht mehr aktuellen Norm DIN 1946-3 und der derzeit gültigen ISO 7730 Norm (Abbildung 42) (Helwig 2005).

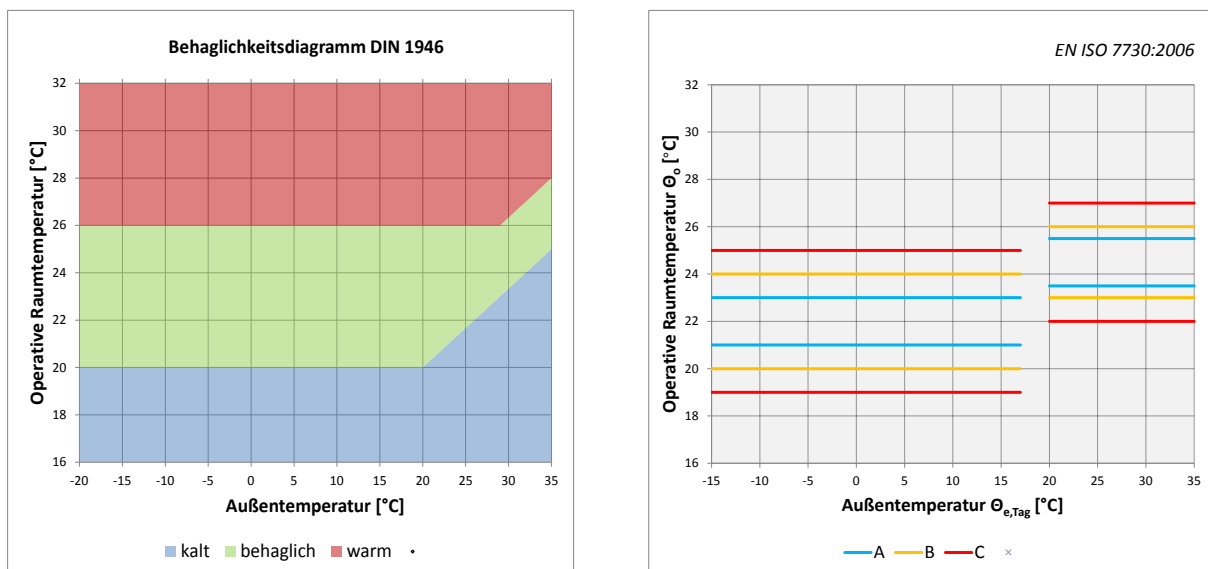


Abbildung 42: Gegenüberstellung der Behaglichkeitsdiagramme DIN 1946 und EN ISO 7730

Die „empfundene Raumtemperatur“ (t_{op}), oder auch operative Raumtemperatur genannt, wird durch die Lufttemperatur (t_l) und die mittlere Temperatur der Umschließungsflächen (t_u) sowie die Wärmeübergangszahlen für Konvektion h_c und Strahlung h_r bestimmt (Gl. 5-4) (TRNSYS Dokumentation).

$$t_{op} = \frac{t_l \cdot h_c + t_u \cdot h_r}{h_c + h_r} \quad \text{Gl. 5-4}$$

Eine niedrige Raumlufttemperatur kann somit durch eine Erhöhung der Temperaturen der Umschließungsflächen ausgeglichen werden, niedrige Temperaturen der Umschließungsflächen durch Erhöhung der Raumlufttemperatur. Durch Verwenden von Wand- und Fußbodenheizungen kann somit auch bei tieferen Raumlufttemperaturen ein behaglicher Zustand geschaffen werden. Das Behaglichkeitsdiagramm nach DIN 1946 ist in drei Zonen unterteilt. Der

grüne Bereich stellt die empfohlene, der blaue Bereich eine zu geringe und der rote Bereich eine zu hohe Raumtemperatur dar. Als Außenlufttemperatur wird eine Stundenmitteltemperatur verwendet. In der Darstellung nach ISO 7730 erfolgt die Unterteilung der Behaglichkeitsbereiche in drei Kategorien bei denen ein bestimmter Prozentsatz von unzufriedenen (PPD) Personen zu erwarten ist. Befindet sich die operative Raumtemperatur innerhalb der blauen Linien, so befindet man sich im optimalen Bereich (A). Zwischen blauer und roter Linie befindet man sich im Übergangsbereich (B), über- oder unterschreitet die operative Raumtemperatur die rote Linie, befindet man sich in Kategorie C. Die Kategorien der Unzufriedenen sind in (Tabelle 39) angeführt. Als Außenlufttemperatur wird nach ISO 7730 die mittlere Tagestemperatur verwendet. Der Bereich der empfohlenen operativen Raumtemperatur ist, wie oben ersichtlich, auch von der Außenlufttemperatur abhängig. Gründe dafür sind, dass zu hohe Temperaturunterschiede zwischen Innen- und Außenluft als unangenehm empfunden werden und die Anpassung der Kleidung an die Außentemperaturen (Helwig 2005).

Tabelle 39: Behaglichkeitsbereiche EN ISO 7730, Auslegungskriterien für thermische Behaglichkeit (Auslegungskriterium für thermische Behaglichkeit Aachen, 2008)

Kategorie	PPD
A	< 6
B	< 10
C	< 15

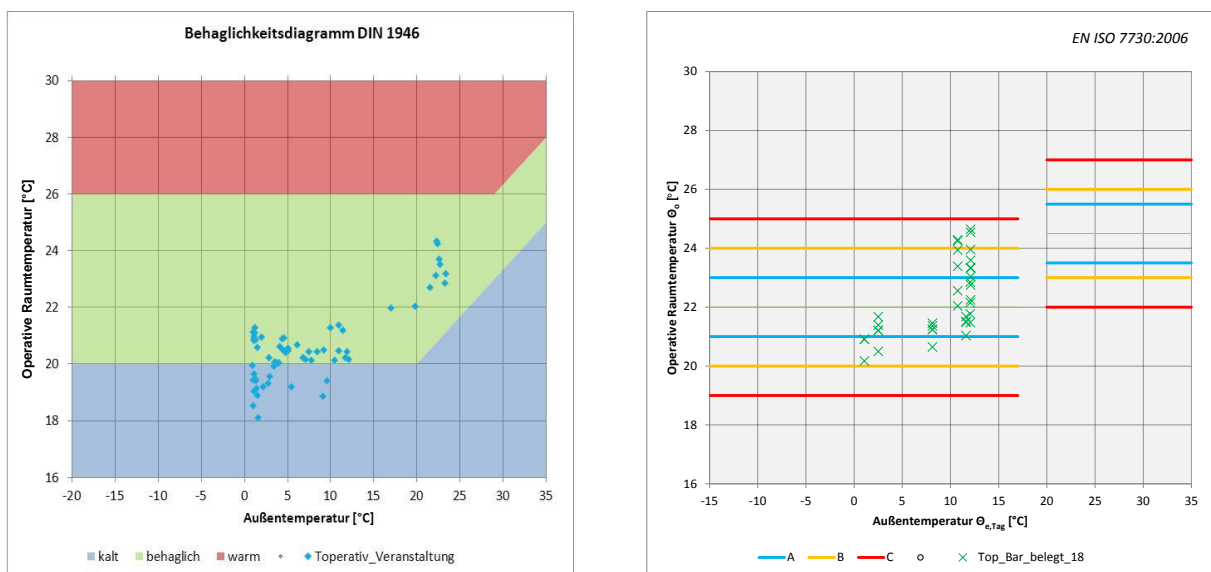


Abbildung 43: Vergleich der Behaglichkeitsdiagramme anhand eines beheizten Raumes

In Abbildung 43 erfolgt die Darstellung von operativen Raumtemperaturen jeweils mit der DIN 1946 und der EN ISO 7730. Auffällig ist, dass bei einer Auswertung mittels ISO Norm, die operativen Raumtemperaturen eines Tages als Spalte über der zugehörigen mittleren Tagesaußentemperatur angeordnet sind. Bei der Auswertung mittels DIN Norm erfolgt die Darstellung der operativen Raumtemperaturen wolkenförmig über der aktuellen Außenlufttemperatur. Die DIN 1946 Norm entspricht nicht mehr dem Stand der Technik und

dient in der Arbeit als Vergleich, da die neue Darstellungsart (EN ISO 7730) noch nicht geläufig ist.

5.4 Simulation des Nordtraktes im Leerlauf

In der Simulation des Nordtraktes im Leerlauf erfolgt die Darstellung des Temperaturverlaufes ausgewählter Zonen im Jahr 2011 in Abhängigkeit der Verschattung. Dabei sollen grundlegende Eigenschaften des Nordtraktes abgeschätzt werden. Bei der Simulation im Leerlauf wurde der Nordtrakt unbeheizt und ohne interne Wärmegewinne durch Personen, Equipment und Beleuchtung simuliert. Der Nordtrakt wurde mit Wetterdaten von der nächstgelegenen Wetterwarte in Frohnleiten aus dem Jahr 2011 mit unterschiedlichen Verschattungsvarianten simuliert. In Abbildung 44-45 sind jeweils der Jahrestemperaturverlauf der Zone 4 (Bar), und der Zone 1 (Gewölbe), bei unterschiedlichen Verschattungsvarianten dargestellt. In der Variante „ohne Verschattung“ wird auf jegliche Verschattung durch angrenzende Burgtrakte und Burgmauern verzichtet (Abbildung 35-36). Bei der Variante „Verschattung durch Burgmauern“ (Abbildung 37) werden nur die unmittelbar an den Nordtrakt angrenzenden Burgmauern berücksichtigt. Die Verschattung durch Burgmauern und Burgtrakte wird in der Variante „komplette Verschattung“ berücksichtigt.

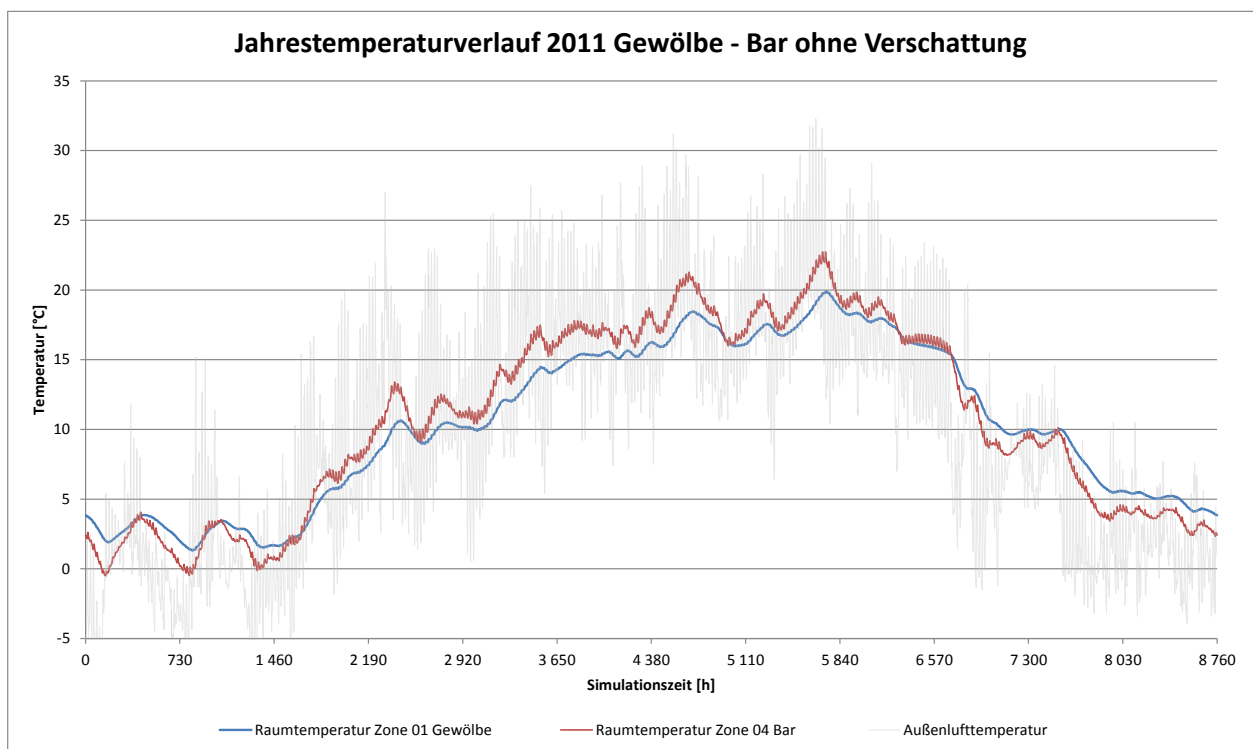


Abbildung 44: Jahrestemperaturverlauf Zone 1 und 4 ohne Verschattung

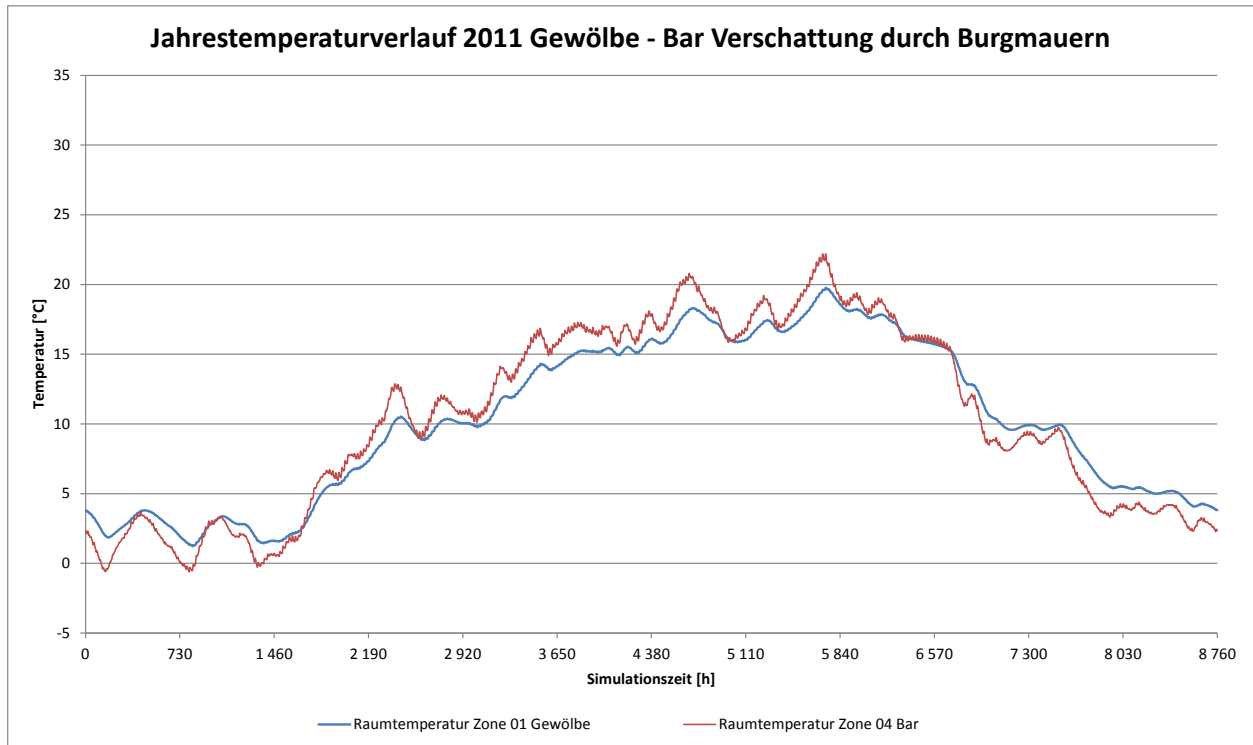


Abbildung 45: Jahrestemperaturverlauf Zone 1 und 4 mit Verschattung durch Burgmauern

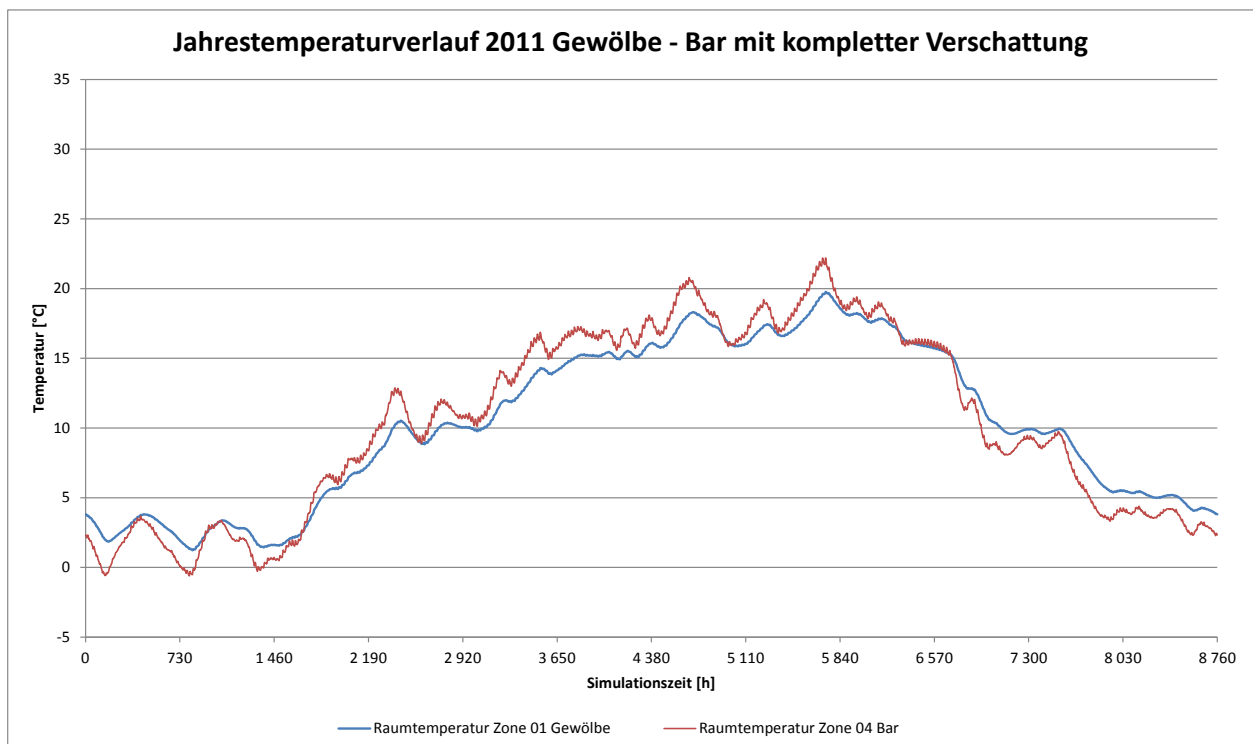


Abbildung 46: Jahrestemperaturverlauf Zone 1 und 4 mit Verschattung

In Abbildung 44 ist ersichtlich, dass die Temperaturen in der Zone 04 (Bar) wesentlich mehr schwanken als im Gewölbe (Zone 1). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die solaren Gewinne, durch die wesentlich größere nach Süden ausgerichtete Fensterfront in der Bar, um ein

Vielfaches höher sind als im Gewölbe. Die große Fensterfläche ist auch dafür verantwortlich, dass die Temperaturen in der Bar im Sommer wesentlich höher sind als im Gewölbe. Im Winter jedoch ist es in der Bar, aufgrund der höheren Wärmeverluste, meist kälter als im Gewölbe. Grund ist der geringere Fensteranteil des Gewölbes und, dass drei von vier Außenwänden des Gewölbes von Erdreich umgeben sind. Ein weiterer Grund für die kleineren Amplituden im Tagesrhythmus des Temperaturverlaufs im Gewölbe ist die wesentlich höhere Speichermasse (Tabelle 17). In Abbildung 44 wurden die Temperaturverläufe der Zone 1 und 4 mit der Außenlufttemperatur überlagert. Zu erkennen ist, dass sich vor allem Schwankungen der Außenlufttemperatur auf die Raumlufttemperatur im Gewölbe mit größerer Verzögerung auswirken, als auf die Raumlufttemperaturen der Bar. Dies ist auf die geringer Speichermasse in der Zone 4 (Bar) zurückzuführen.

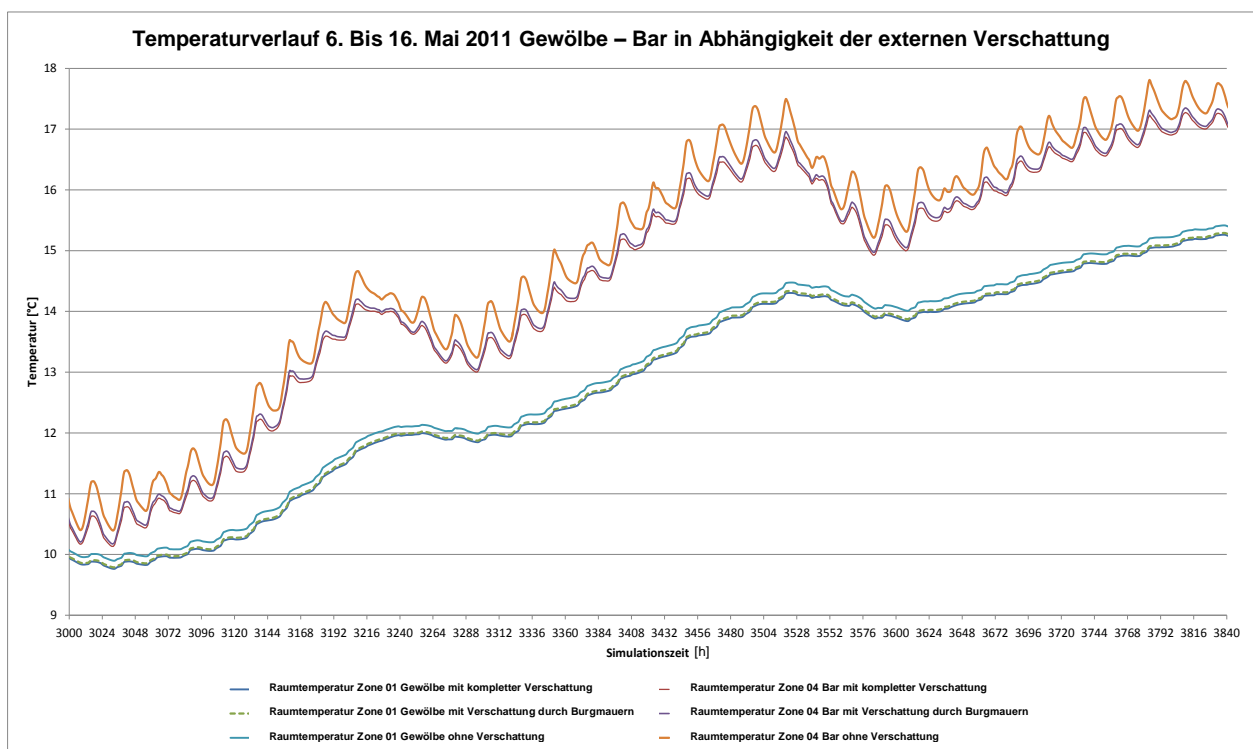


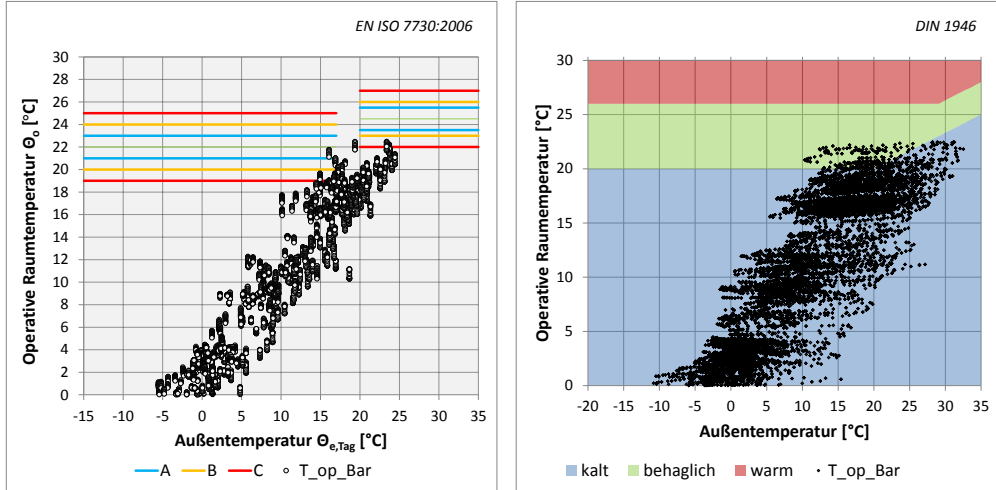
Abbildung 47: Temperaturverläufe der unbeheizten Zonen 01 und 04 von 6. bis 16. Mai 2011 in Abhängigkeit der Verschattung

In Abbildung 47 sind die Temperaturverläufe in der Bar und im Gewölbe von 6. bis 16. Mai in Abhängigkeit der Verschattungsvarianten dargestellt. Die Temperatur in der Bar ohne Verschattung ist wesentlich höher als mit Verschattung durch Burgmauern oder durch die komplette Burg. Die täglichen Temperaturschwankungen in der Bar ohne Verschattung sind wesentlich höher als in der verschatteten Variante. Die Verschattung durch die umgebenden Gebäude hat nur eine geringe Auswirkung auf die Temperaturen im Gewölbe, da die solaren Gewinne aufgrund der kleinen Fensterflächen gering sind.

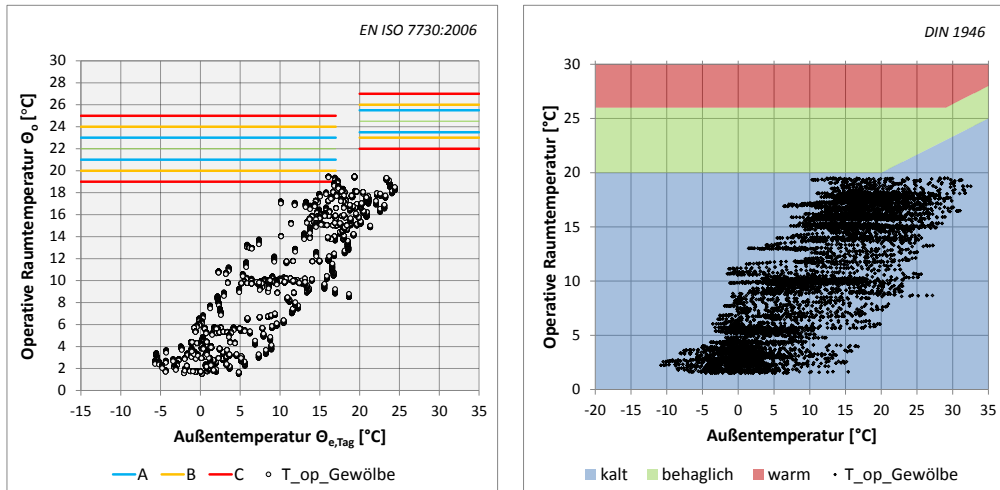
Behaglichkeitsdiagramme Leerlauf Nordtrakt:

In Abbildung 48 sind die Behaglichkeitsdiagramme EN ISO 7730 und DIN 1946 für die beheizten Zonen des Nordtraktes in der Variante Leerlauf dargestellt.

Behaglichkeit Bar Leerlauf ohne Verschattung:



Behaglichkeit Gewölbe Leerlauf ohne Verschattung:



Behaglichkeit Concert Hall Leerlauf ohne Verschattung:

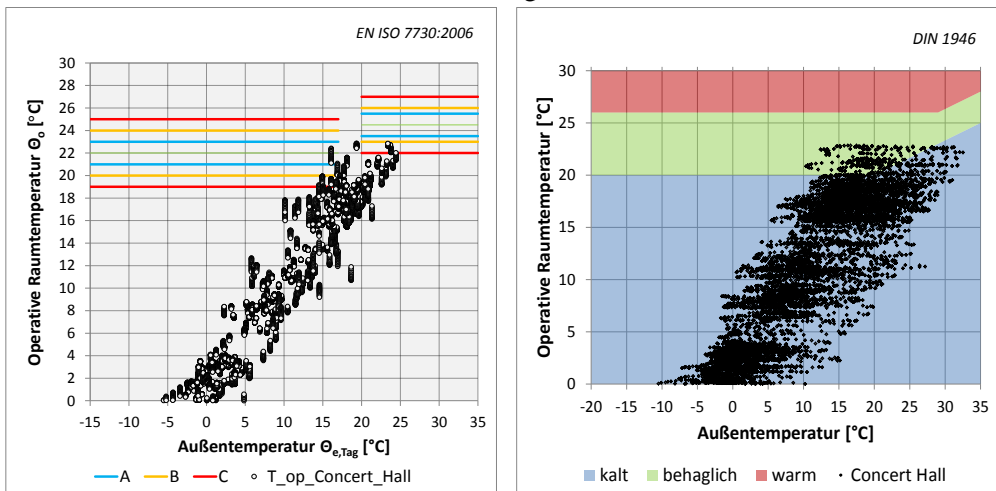


Abbildung 48: Gegenüberstellung Behaglichkeitsdiagramme EN ISO 7730 und DIN 1946 im Leerlauf ohne Verschattung

Behaglichkeitsdiagramme Bar mit und ohne Verschattung überlagert:

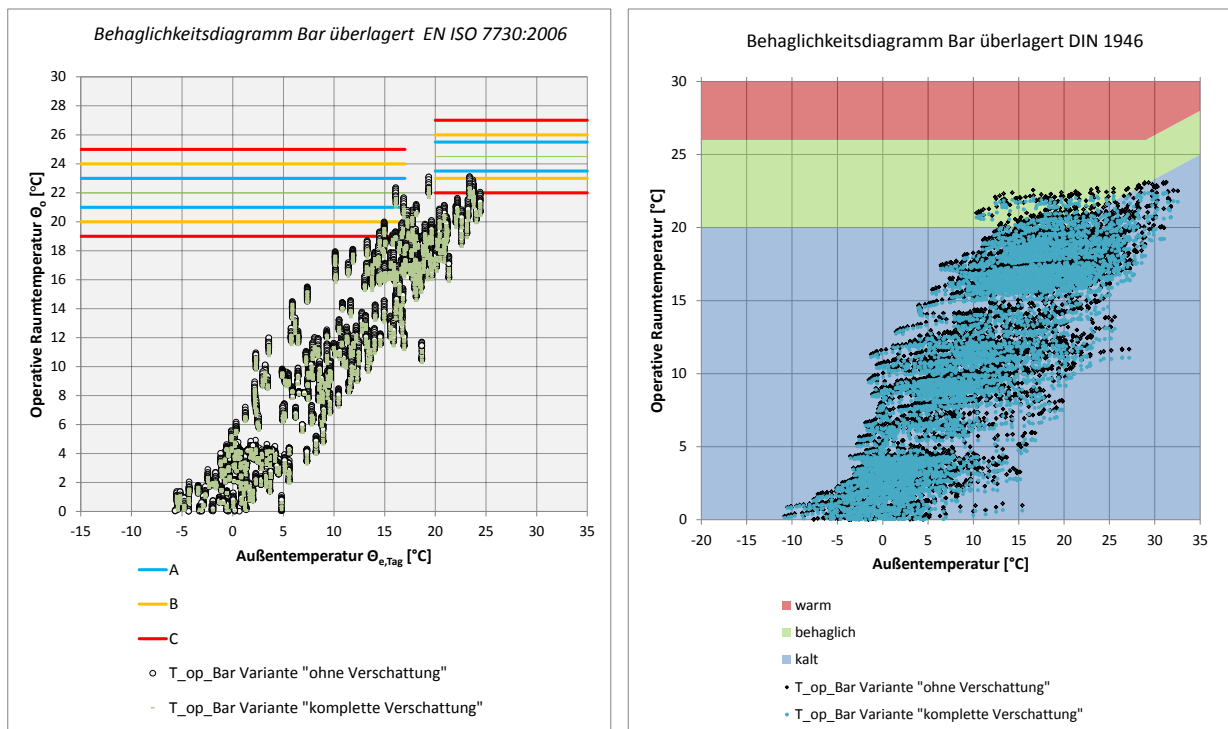


Abbildung 49: Änderung der Behaglichkeit in Abhängigkeit der Verschattung anhand der thermischen Zone 4 (Bar)

Aus den Behaglichkeitsdiagrammen (Abbildung 48) ist ersichtlich, dass der Nordtrakt im unbeheizten Zustand nur an wenigen Tagen im Jahr einen behaglichen Zustand aufweist. Aufgrund der hohen Speichermasse und den geringen solaren Gewinnen im Gewölbe ist dort die Behaglichkeit von den drei ausgewählten Zonen erwartungsgemäß am geringsten. In Abbildung 49 sind die operativen Raumtemperaturen der Bar, mit und ohne Verschattung, dargestellt. Die thermische Zone 4 (Bar) ist die Zone mit den größten solaren Gewinnen und wird durch die Verschattung am meisten beeinflusst. Es ist zu erkennen, dass die operativen Raumtemperaturen und dadurch auch die Behaglichkeit ohne Verschattung geringfügig höher ist als mit Verschattung.

Tabelle 40: Vergleich der mittleren operativen jährlichen Raumtemperaturen

T_{Operativ_Mittel} Variante: „komplette Verschattung“	T_{Operativ_Mittel} Variante: „ohne Verschattung“
10.43 °C	10.73 °C

5.5 Thermische Gebäudesimulationen des Nordtraktes bei unterschiedlicher Auslastung

Im folgenden Abschnitt werden thermische Gebäudesimulationen durchgeführt, wobei zwischen folgenden Varianten unterschieden wird:

- Variante „2011“
- Variante „Basisauslastung“
- Variante „Topauslastung“

Die Varianten unterscheiden sich in der unterschiedlichen Nutzung des Nordtraktes, welche bei Variante „Basisauslastung“ und Variante „Topauslastung“ angenommen wurden. In der Variante 2011 wurde die Nutzung des Jahres 2011 herangezogen. Ziel ist es den Heizwärmebedarf dieser Varianten zu berechnen. Die Heizung wird mit einer Absenkttemperatur von 10 °C betrieben, die Zonen werden 24 h vor und während den Veranstaltungen mit einer Temperatur von 22 °C beheizt.

Aus den jeweiligen Veranstaltungsübersichten (Tabelle 42, 43 und 45) ergeben sich die Jahresverläufe der Solltemperatur für die Beheizung des Nordtraktes. Die Verteilung der Personen in den Räumen des Nordtrakts erfolgt je nach Event (Konzert im Concert Hall, Dinner im Gewölbe etc.). In Tabelle 41 wird die Aufteilung der Personen anhand eines Beispiels bei einer Veranstaltung im Concert Hall vom 11.11.2011 wiedergegeben. Der Orange eingefärbte Bereich zählt zur Vor- und Nachbereitungszeit einer Veranstaltung und nicht zur Veranstaltungszeit.

Tabelle 41: Verteilung der Personen auf den Nordtrakte bei einer Veranstaltung im Concert Hall am 11.11.2011

	Gewölbe	Bar	Küche	Vor_Küche	WC	Concer_Hall	Stiegenhaus
00:00	0	0	0	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0	0	0	0
08:00	0	0	0	0	0	0	0
09:00	0	0	0	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0	0	0	0
13:00	0	0	0	0	0	0	0
14:00	0	0	0	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0	0	0	0
16:00	0	0	0	0	0	0	0
17:00	0	0	0	0	0	0	0
18:00	0	0.8	0.8	0.4	0.08	1.7	0.2
19:00	0	1.9	0.32	0.16	0.32	27.7	1.6
20:00	0	4.8	0.32	0.16	0.32	24.8	1.6
21:00	0	5.8	0.32	0.16	0.32	23.8	1.6
22:00	0	0.8	0.8	0.4	0.08	1.7	0.2
23:00	0	0	0	0	0	0	0

5.5.1 Simulation des Nordtraktes beheizt im Jahr 2011

Veranstaltungsübersicht 2011

In Tabelle 42 sind die acht Veranstaltungen des Jahres 2011 im Nordtrakt angeführt

Tabelle 42: Veranstaltungen Nordtrakt 2011

Datum	Zeitraum	Personenanzahl	Veranstaltungsraum
28.03.2011	13:00 – 18:00	30	Zone 01
15.06.2011	08:00 – 17:30	28	Zone 07
10.11.2011	09:00 – 14:00	45	Zone 07
11.11.2011	18:00 – 22:00	32	Zone 01
17.11.2011	12:00 – 18:00	38	Zone 07
09.12.2011	18:00 – 02:30	44	Zone 01/04
13.12.2011	19:00 – 23:00	27	Zone 01/04
16.12.2011	18:00 – 02:00	45	Zone 01/04

Temperaturverläufe Variante „2011“

Im Jahr 2011 gab es im Nordtrakt 8 Veranstaltungen (Tabelle 42). Die internen Gewinne sind aus Tabelle 34 -35 zu entnehmen.

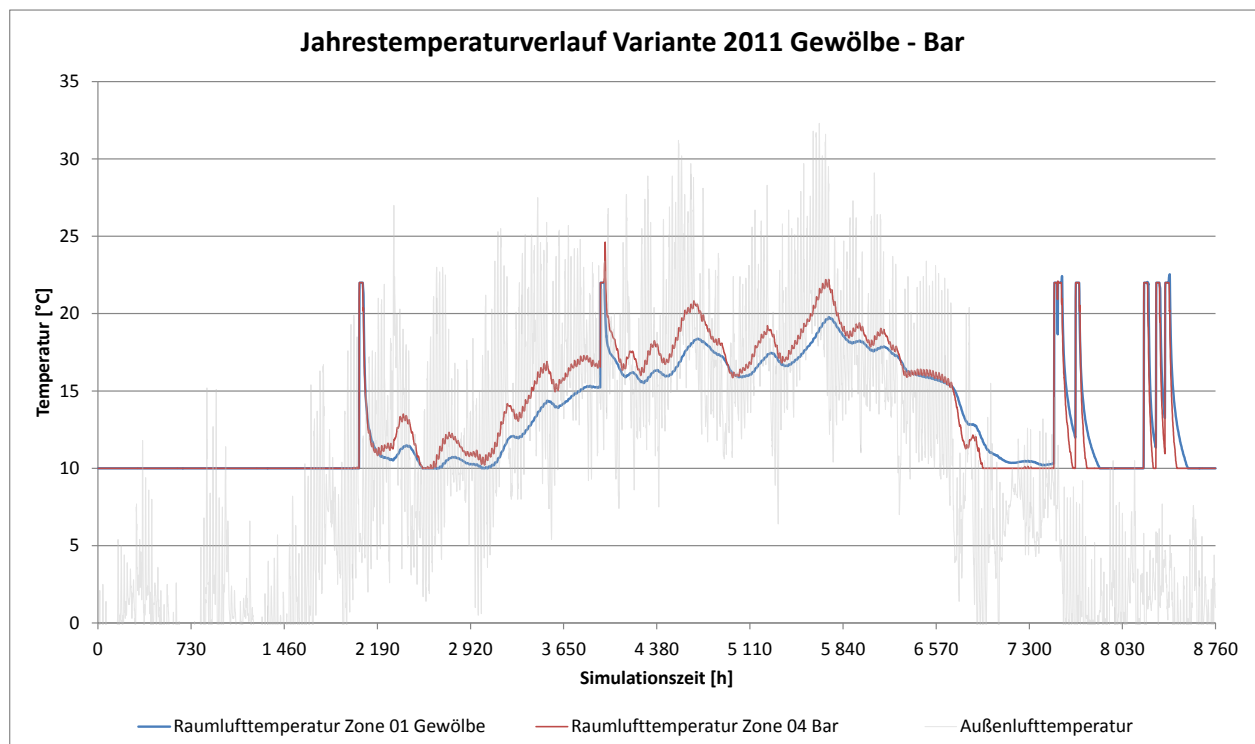


Abbildung 50 Jahresraumlufitemperaturverläufe Nordtrakt Variante 2011 Gewölbe – Bar

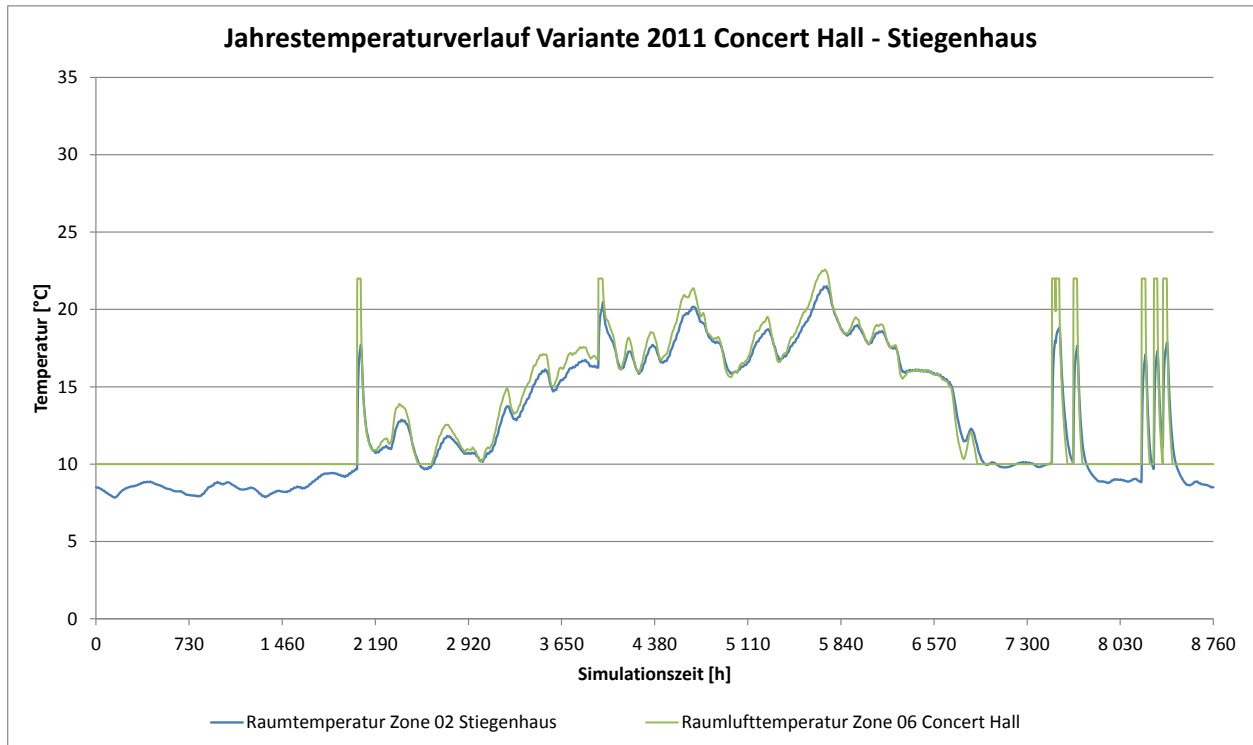


Abbildung 51: Jahresraumlufthtemperaturverläufe Nordtrakt Variante 2011 Stiegenhaus – Concert Hall

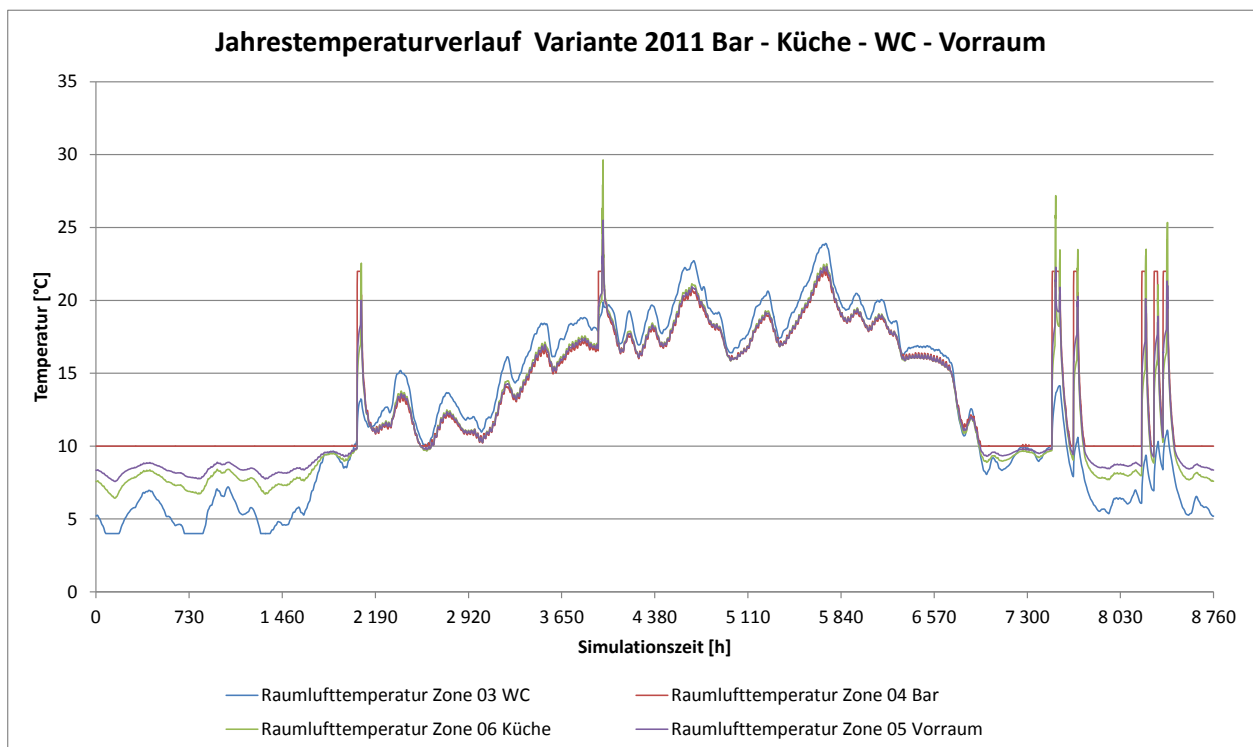


Abbildung 52: Jahresraumlufthtemperaturverläufe Nordtrakt Variante 2011 Bar – Küche – WC - Vorraum

Aus den Jahrestemperaturverläufen ist deutlich zu erkennen, an welchen Tagen im Jahr die Veranstaltungen stattgefunden haben. Der Temperaturverlauf im Sommer ist in der Bar deutlich höher als im Gewölbe (Abbildung 50). Aufgrund des hohen Luftaustausches (Tabelle 21) zwischen dem Stiegenhaus und den angrenzenden Zonen, wie z. B. der Concert Hall, folgt der

Temperaturverlauf des unbeheizten Stiegenhauses dem der angrenzenden Räume. In Abbildung 52 ist der Temperaturverlauf der thermischen Zonen WC, Küche, Bar und Vorraum des Erdgeschoßes des Nordtraktes ersichtlich. Aufgrund des großen prozentuellen Außenwandanteils des WCs und des geringen Luftaustausches mit den angrenzenden beheizten Zonen ist dort die Temperatur im Winter am geringsten. Die Frostsicherung des WCs wurde durch eine elektrische Nachheizung auf 4 °C eingestellt. Während der Veranstaltungen ergeben sich vor allem in der Zone 04 (Bar) und der Zone 06 (Küche) wesentliche Temperaturspitzen durch die hohen internen Lasten (Tabelle 36).

Im folgenden Abschnitt werden einzelne Veranstaltungen näher betrachtet. Bei der Veranstaltung am 15. Juni (Abbildung 53) ist zu erkennen, dass die Temperatur in der Küche durch die internen Lasten, vor allem der Küchengeräte, sehr stark ansteigt. Durch den Luftwechsel mit den angrenzenden Räumen wie Bar und Vorraum steigen auch dort die Temperaturen. Es ist auch deutlich zu erkennen, wie sich die Temperaturen der einzelnen Zonen nach den Veranstaltungen entwickeln. Die Heizung wird unmittelbar vor den Veranstaltungen auf das Absenkttemperaturniveau von 10 °C zurückgedreht.

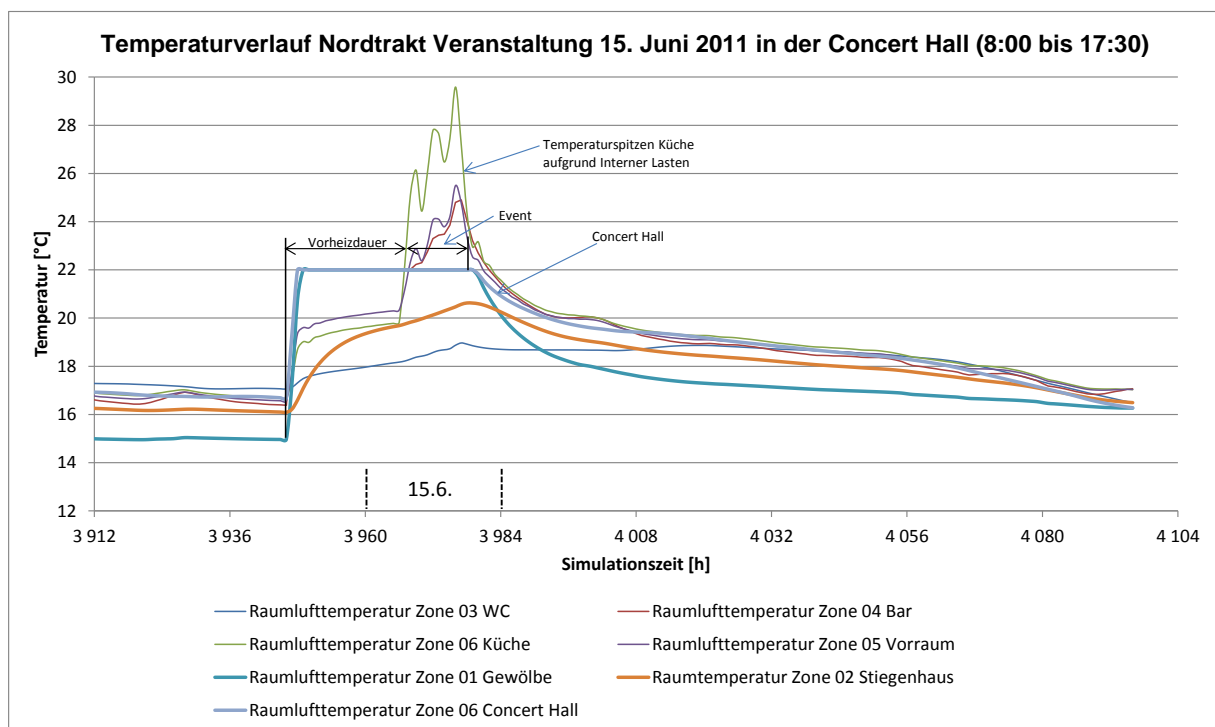


Abbildung 53: Temperaturverlauf Nordtrakt 15. Juni 2011

Im Zeitraum vom 9. Bis 16. Dezember haben drei Veranstaltungen im Nordtrakt (Tabelle 42) innerhalb eines kurzen Zeitraumes stattgefunden. Bei der Veranstaltung am 13.12.2011 haben ungefähr 30 % weniger Leute teilgenommen als am 9. und 16. Dezember, daher sind auch an diesem Tag die Raumlufttemperaturen in den belegten Räumlichkeiten (Bar und Gewölbe) geringer (Abbildung 54).

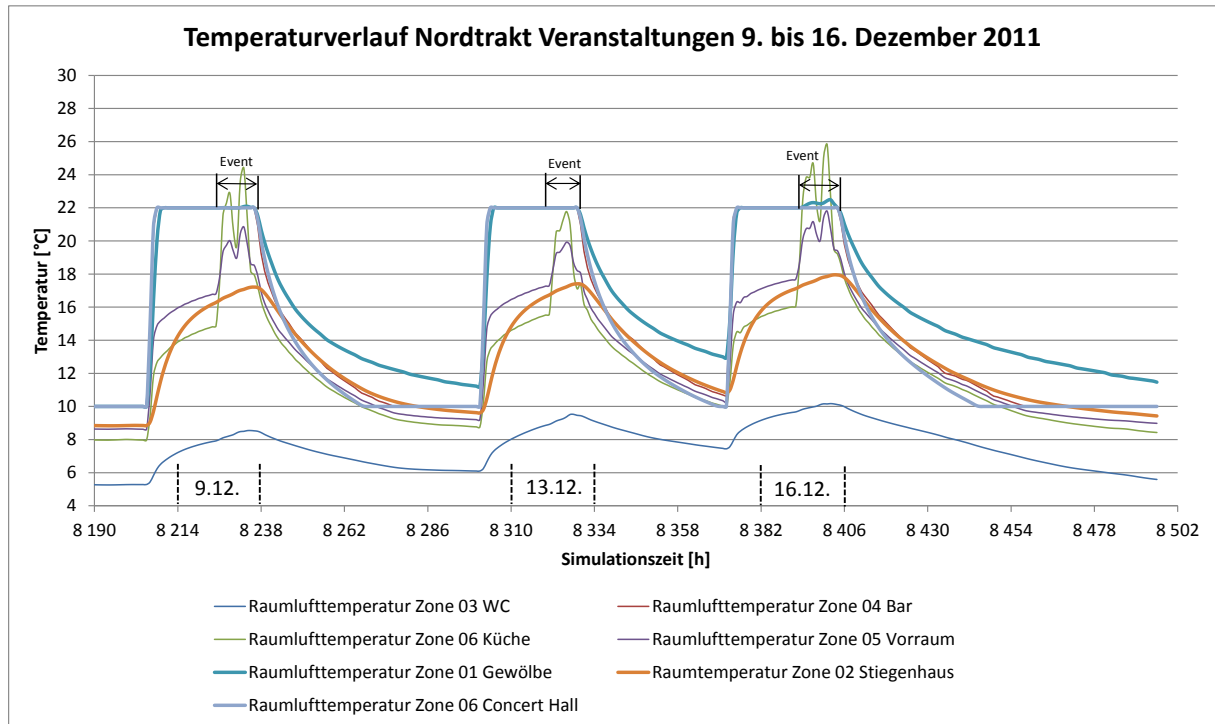


Abbildung 54: Temperaturverlauf Nordtrakt 9. bis 16. Dezember 2011 im Gewölbe

Gesamtenergiebilanz 2011

In der Tabelle 43 sind die spezifischen Gewinne und Verluste der einzelnen Zonen, angegeben unter Berücksichtigung der Nettoflächen der Zonen (Tabelle 16). Ein positives Vorzeichen vor der jeweiligen Zonenbenennung steht für zugeführte Energie in eine Zone, z.B. Wärme durch die Beheizung, ein negatives für Verluste wie z.B. durch die Infiltration im Winter. Eine grafische Darstellung der Gewinne und Verluste der einzelnen Zonen findet man in Abbildung 55. Auffällig ist, dass die Energie, welche durch Luftaustausch (Coupling) zwischen den Zonen bewegt wird, aufgrund der meist offenstehenden Türen recht groß ist. Die Werte beziehen sich auf das Jahr 2011. Im Vergleich zum vorliegenden HWB von 116 kWh/m²a liegt der Heizwärmebedarf eines Passivhauses bei 15 kWh/m²a und eines Niedrigenergiehauses bei 50 kWh/m²a. Dabei ist noch zu beachten, dass die Nutzungsdauer des Nordtraktes im Jahr 2011 bei 8 Tagen lag, ein Passiv- oder Niedrigenergiehaus aber ganzjährig genutzt wird. Die Nomenklatur der Energiebilanz findet man im Abkürzungsverzeichnis.

Tabelle 43: Energiebilanz Nordtrakt Variante 2011

	Gewölbe		Vorraum		WC		Bar		Küche		Concert Hall		Stiegenhaus	
	+01 [kWh/m ² a]	-01 [kWh/m ² a]	+02 [kWh/m ² a]	-02 [kWh/m ² a]	+03 [kWh/m ² a]	-03 [kWh/m ² a]	+04 [kWh/m ² a]	-04 [kWh/m ² a]	+05 [kWh/m ² a]	-05 [kWh/m ² a]	+06 [kWh/m ² a]	-06 [kWh/m ² a]	+07 [kWh/m ² a]	-07 [kWh/m ² a]
Heat	83.36	0.00	0.00	0.00	5.94	0.00	104.32	0.00	0.00	0.00	140.68	0.00	0.00	0.00
Sol	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.99	0.00	3.28	0.00	2.35	0.00	6.56	0.00
Gint	5.18	0.00	0.08	0.00	0.28	0.00	2.14	0.00	11.23	0.00	0.94	0.00	0.94	0.00
Coupl	13.18	25.97	54.00	0.12	33.99	2.57	0.00	75.78	62.22	7.01	0.75	26.97	75.91	0.00
Cool	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inf	0.62	4.33	0.07	2.55	0.02	1.23	0.07	2.72	0.06	2.71	0.10	6.54	0.24	3.48
Vent	0.54	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	1.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trans	1.85	72.75	0.18	51.66	2.74	39.17	0.00	38.60	3.48	70.56	4.82	116.14	0.00	80.17

Nutzfläche: 280 m²

Gesamtheizenergieverbrauch im Jahr 2011: 32572 kWh/a

Spezifischer Heizenergieverbrauch im Jahr 2011: 116.3 kWh/m²a

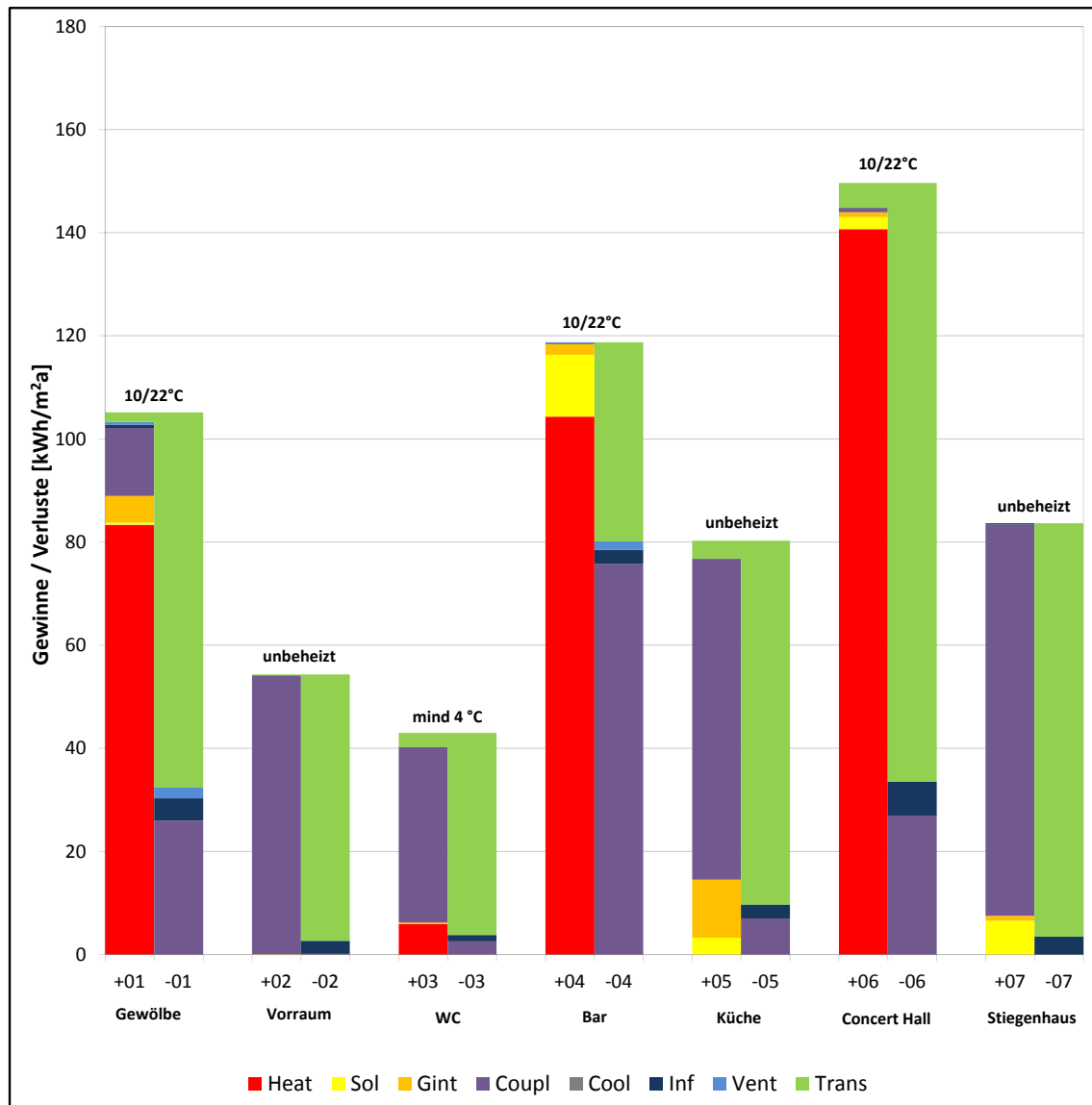
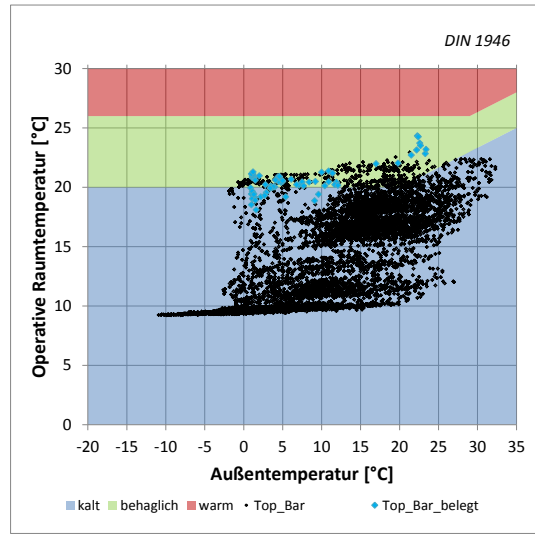
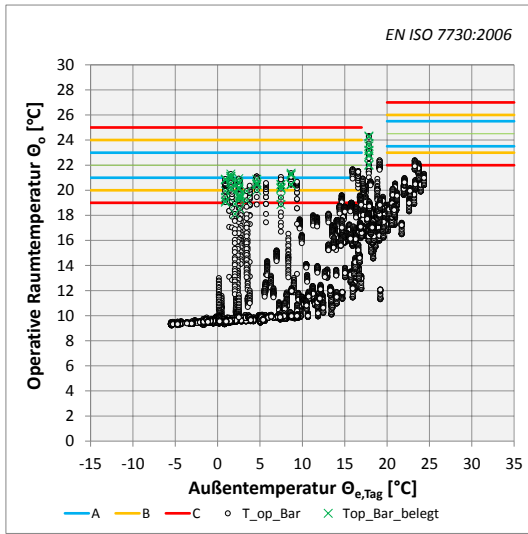


Abbildung 55: Energiebilanz des Nordtraktes 2011

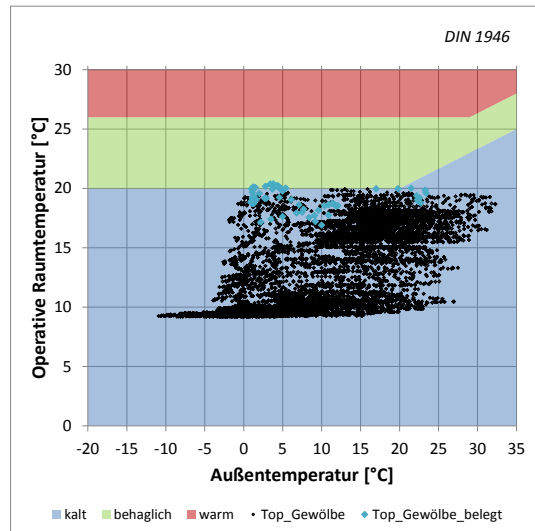
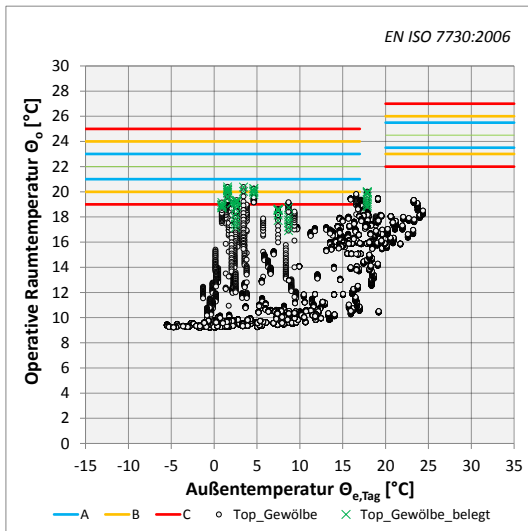
Behaglichkeitsdiagramme:

In der Abbildung 56 sind die Behaglichkeitsdiagramme nach der EN ISO 7730 und der DIN 1946 für die beheizten Zonen des Nordtraktes im Jahr 2011 dargestellt. Die eingefärbten Punkte stellen die operativen Raumtemperaturen während den Events dar. Daraus ist zu erkennen, dass man vor allem im Gewölbe und in der Concert Hall bei einer Vorheiztemperatur von 22 °C und einer Vorheizdauer von 24 h nur selten einen behaglichen Zustand vorfindet.

Behaglichkeit Bar 2011:



Behaglichkeit Gewölbe 2011:



Behaglichkeit Concert Hall 2011:

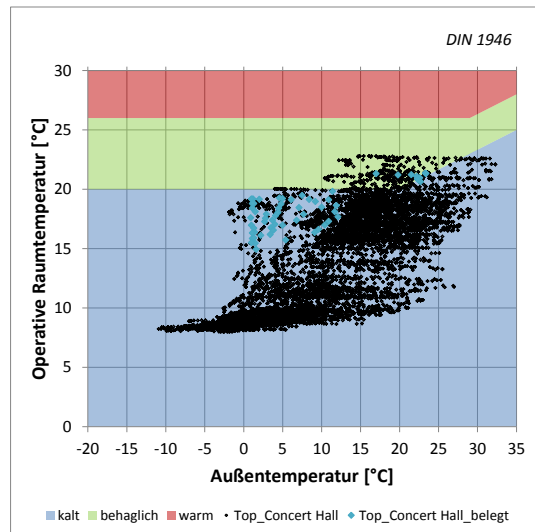
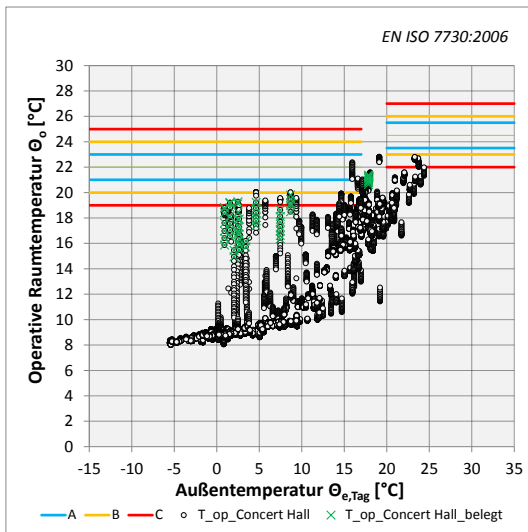


Abbildung 56: Gegenüberstellung Behaglichkeitsdiagramme EN ISO 7730:2005 und DIN 1946 Variante 2011

Jahresdauerlinien der Heizlast Variante „2011“

Jahresdauerlinien geben die Häufigkeit der Ausnützung der installierten Heizleistung über ein Jahr an. Der maximale Wert der vertikalen Achse entspricht der installierten Heizleistung in der jeweiligen beheizten Zone (Abbildung 90 im Anhang). Man erkennt, dass nur ein geringer Anteil der installierten Leistung benötigt wird (Vergleiche mit Tabelle 49: Normheizlast und installierte Heizleistung bei einzelner Beheizung der Zonen im Nordtrakt).

5.5.2 Simulation des Nordtraktes beheizt Variante „Basisauslastung“

Die thermischen Gebäudesimulation Variante „Basisauslastung“ unterscheidet sich zur Variante „2011“ durch die doppelte Anzahl an Events. Diese wurden für eine typische jährliche Auslastung angenommen.

Veranstaltungsübersicht bei Variante Basisauslastung

In Tabelle 44 sind Veranstaltungen angeführt, welche im Nordtrakt bei durchschnittlicher Auslastung stattfinden sollen.

Tabelle 44: Veranstaltungen bei Variante „Basisauslastung“

Datum	Zeitraum	Personenanzahl	Veranstaltungsraum
18.02.	19:00 – 22:00	65	Zone 06/04
14.03.	19:00 – 24:00	35	Zone 01/04
02.04.	18:00 – 22:00	38	Zone 06/04
04.04.	08:00 – 17:30	28	Zone 07
28.04.	12:00 – 18:00	38	Zone 07
12.05.	19:00 – 22:00	65	Zone 06/04
26.05	15:00 – 20:00	65	Zone 06/04
01.06	19:00 – 24:00	35	Zone 01/04
10.06	14:00 – 18:00	65	Zone 06/04
05.08	18:00 – 02:30	44	Zone 01/04
06.09	18:00 – 02:00	45	Zone 01/04
23.09	19:00 – 22:00	65	Zone 06/04
10.10	15:00 – 18:00	60	Zone 06/04
11.10	18:00 – 22:00	38	Zone 06/04
12.10	18:00 – 22:00	38	Zone 06/04
9.12.	14:00 – 22:00	35	Zone 01/04

Temperaturverläufe

Für die Simulation der Basisauslastung wurden im Nordtrakt 16 Veranstaltungen angenommen (Tabelle 44). Die internen Gewinne sind aus Tabelle 33-35 zu entnehmen. In den Abbildung 57-59 wurden Jahrestemperaturverläufe einzelner Zonen überlagert.

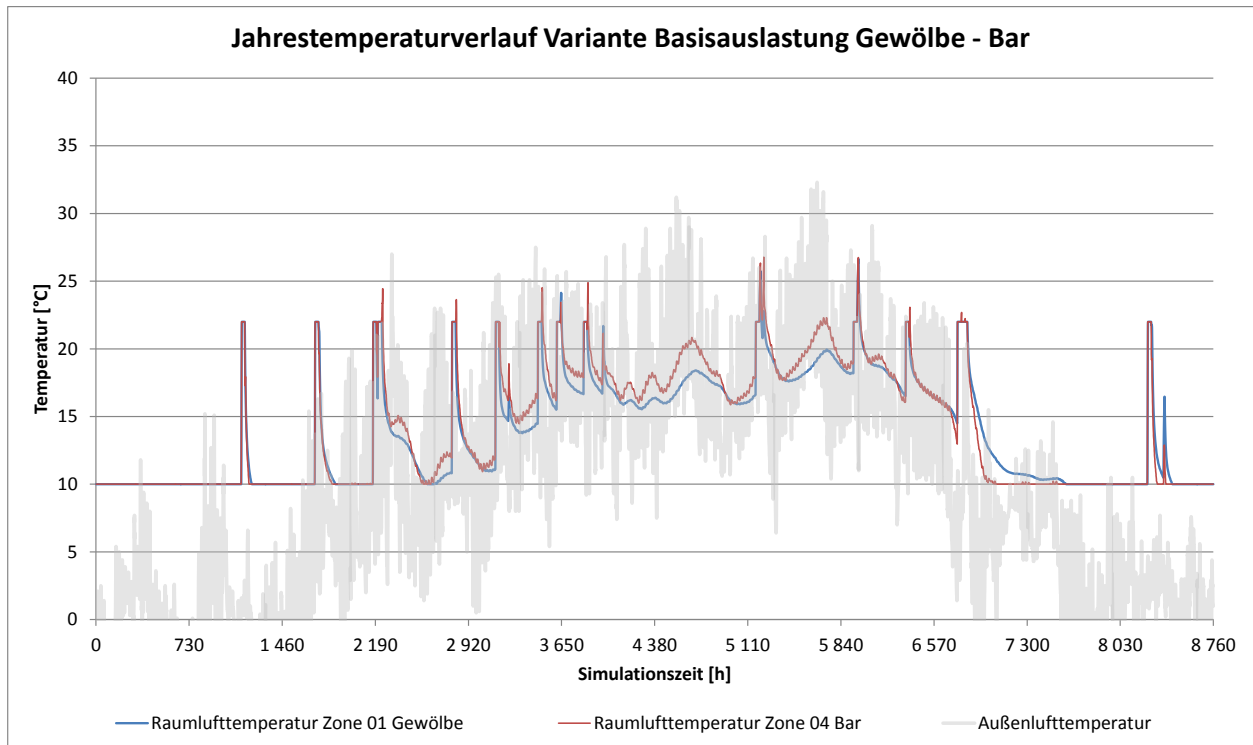


Abbildung 57: Jahresraumlufttemperaturverläufe Variante Basisauslastung Gewölbe – Bar

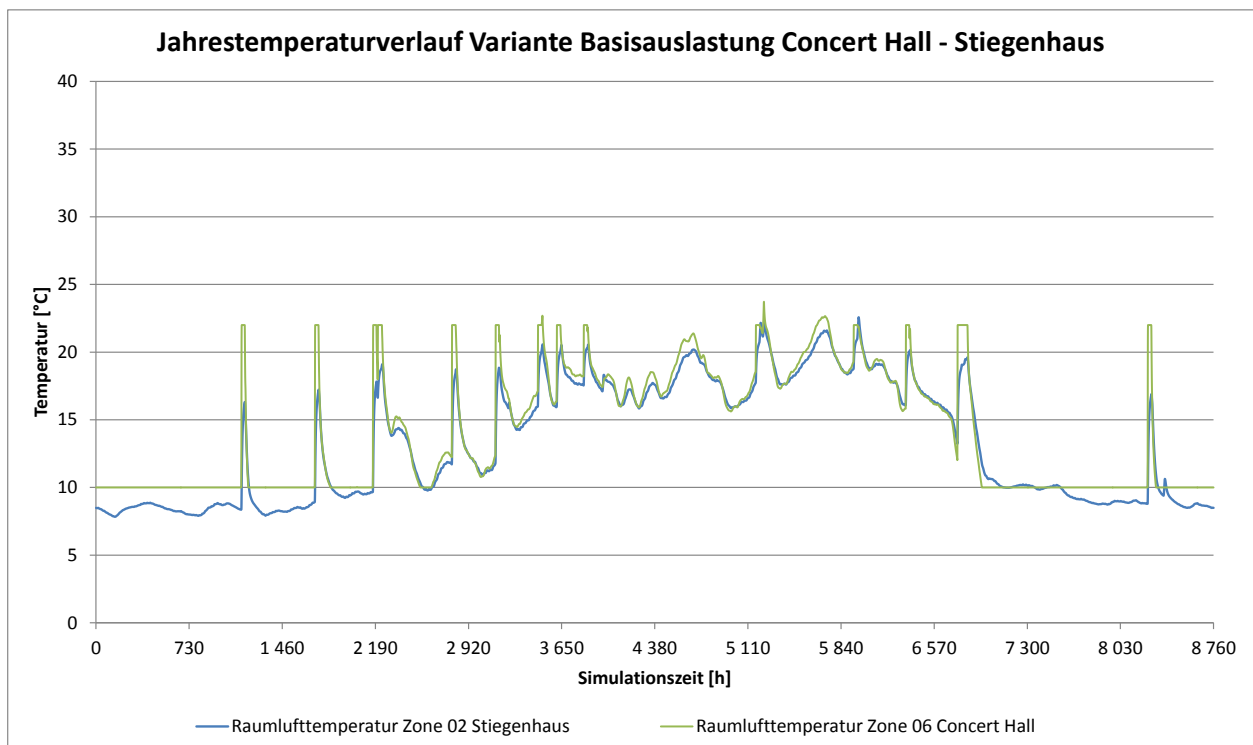


Abbildung 58: Jahresraumlufttemperaturverläufe Variante Basisauslastung Concert Hall - Stiegenhaus

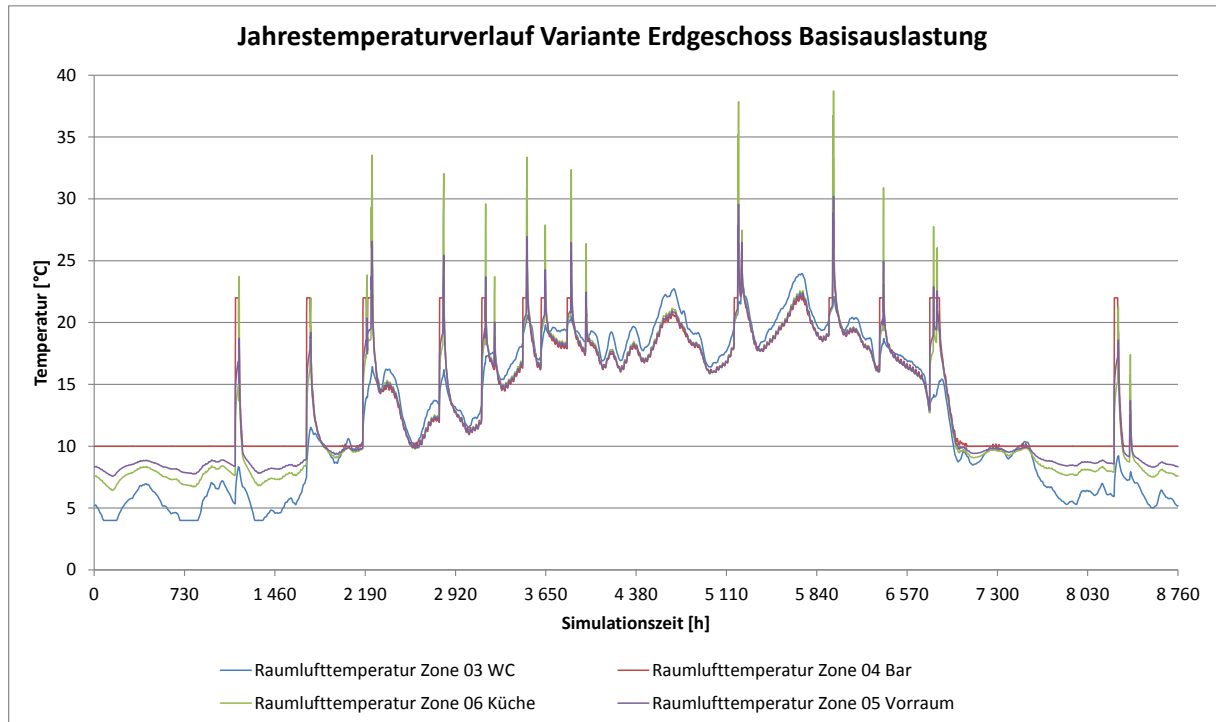


Abbildung 59: Jahrestemperaturverläufe Variante Basisauslastung

Nun werden einzelne Veranstaltungen näher betrachtet. Bei den Temperaturverläufen zwischen 2. und 6. April ist ersichtlich, dass bei der späteren Veranstaltung die Temperaturen vor allem in der Küche und in den angrenzenden Räumen wie Bar und Vorraum stärker ansteigen (Abbildung 60). Grund dafür sind die hohen internen Lasten der Küchengeräte, und die mehr als doppelt so lange Dauer der Veranstaltung am 4. April.

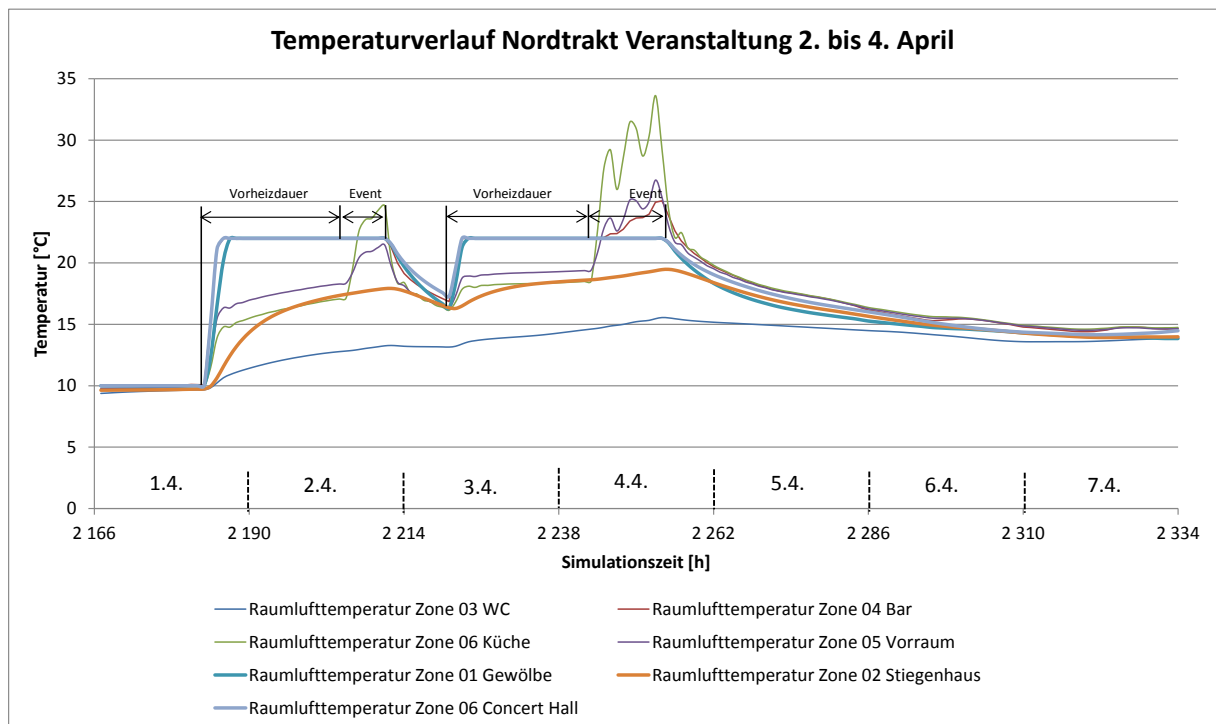


Abbildung 60: Temperaturverlauf 2. bis 6. April Variante Basisauslastung

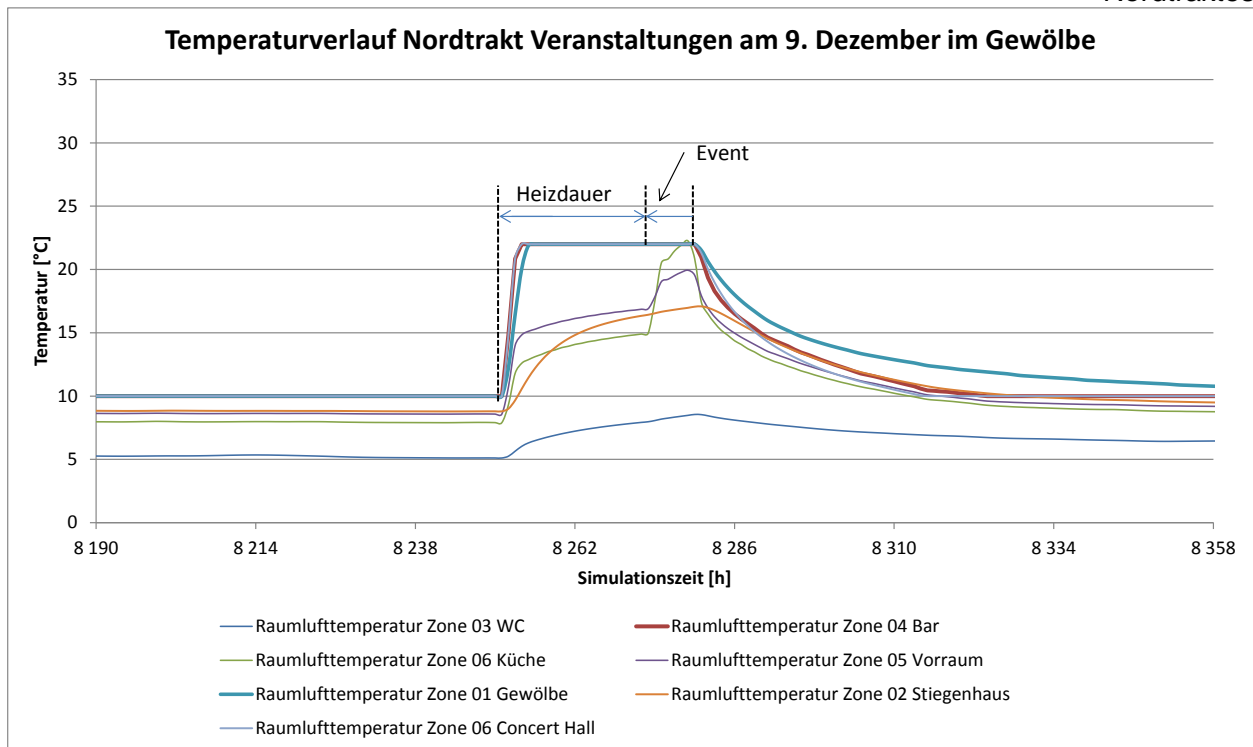


Abbildung 61: Temperaturverlauf Nordtrakt 9. bis 10. Dezember Variante Basisauslastung

Bei der Veranstaltung am 9. Dezember findet eine Veranstaltung im Gewölbe statt. Dabei wird die Bar mitbenutzt. Aufgrund der nicht vorhandenen internen Lasten in der Concert Hall sinkt dort die Raumlufttemperatur beim Abstellen der Heizung am stärksten ab (Abbildung 61).

Gesamtenergiebilanz Basisauslastung

In Tabelle 45 sind die spezifischen Gewinne und Verluste der einzelnen Zonen angegeben, in Abbildung 62 findet man die grafische Darstellung der Energiebilanz. Es ist zu erkennen, dass der Heizenergieverbrauch aufgrund der höheren Anzahl von Veranstaltungen im Gegensatz zur Variante „2011“ um etwa 15 % zunimmt. Die Jahresdauerlinien der Heizlast sind in Abbildung 91 angegeben. Man erkennt, dass nur ein geringer Anteil der installierten Leistung benötigt wird.

Tabelle 45: Energieflussdiagramm Nordtrakt Variante Basisauslastung

	Gewölbe		Vorraum		WC		Bar		Küche		Concert Hall		Stiegenhaus	
	+01	-01	+02	-02	+03	-03	+04	-04	+05	-05	+06	-06	+07	-07
	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]
Heat	104.08	0.00	0.00	0.00	5.77	0.00	117.40	0.00	0.00	0.00	155.52	0.00	0.00	0.00
Sol	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.99	0.00	3.28	0.00	2.35	0.00	6.56	0.00
Gint	7.83	0.00	0.31	0.00	0.79	0.00	4.62	0.00	26.31	0.00	2.91	0.00	1.71	0.00
Coupl	5.49	25.21	64.10	0.12	37.14	0.60	0.00	85.15	62.61	6.66	0.01	27.67	88.83	0.00
Cool	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inf	0.14	4.52	0.00	2.85	0.00	1.36	0.00	3.03	0.00	3.09	0.00	7.23	0.01	3.71
Vent	0.21	2.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trans	0.00	86.33	0.13	61.57	0.55	42.27	0.00	44.40	0.94	83.39	0.99	126.88	0.00	93.70

Nutzfläche: 280 m²

Gesamtheizenergieverbrauch Basisauslastung: 37450 kWh/a

Spezifischer Heizenergieverbrauch im Jahr 2011: 133.7 kWh/m²a

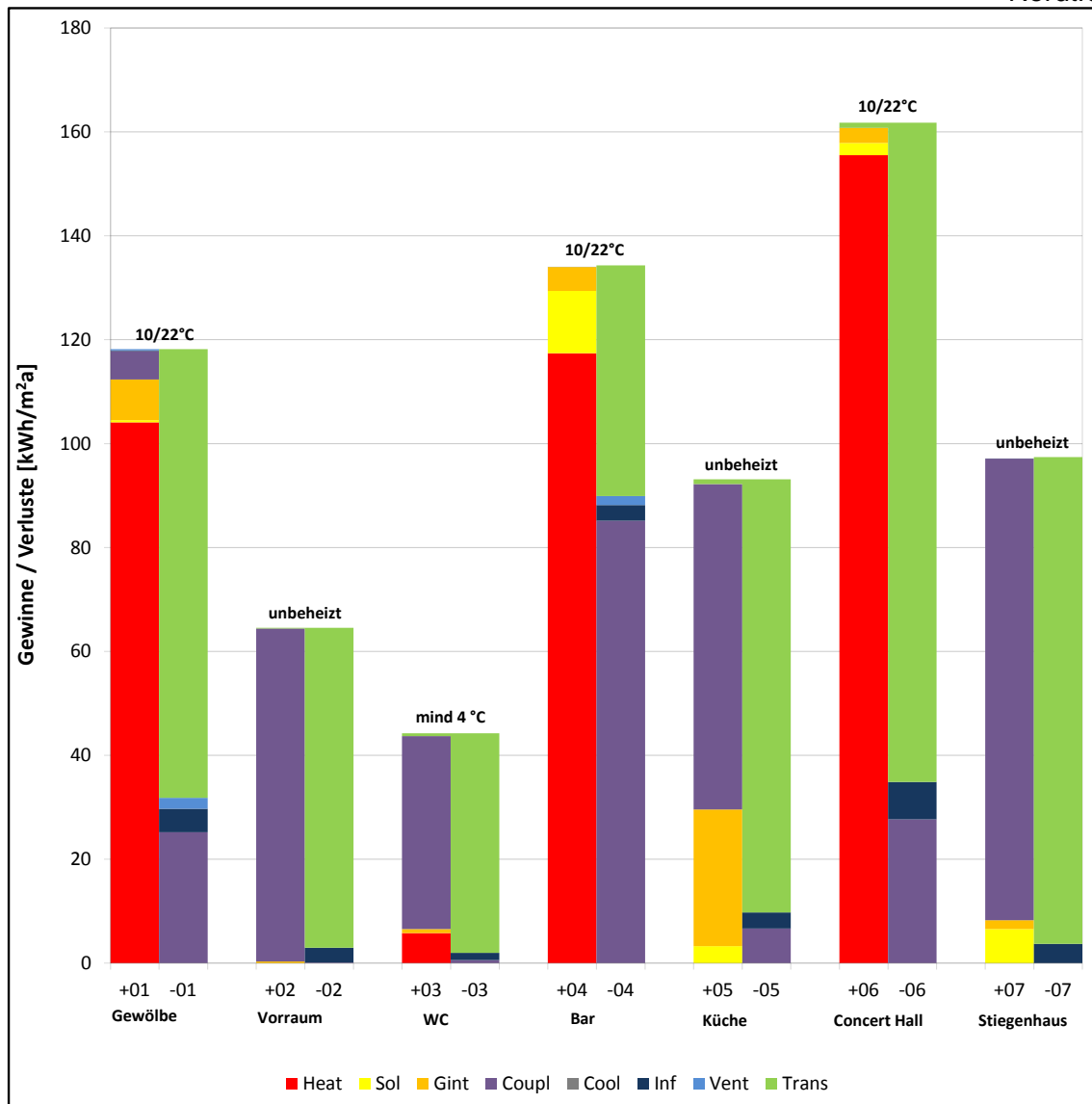
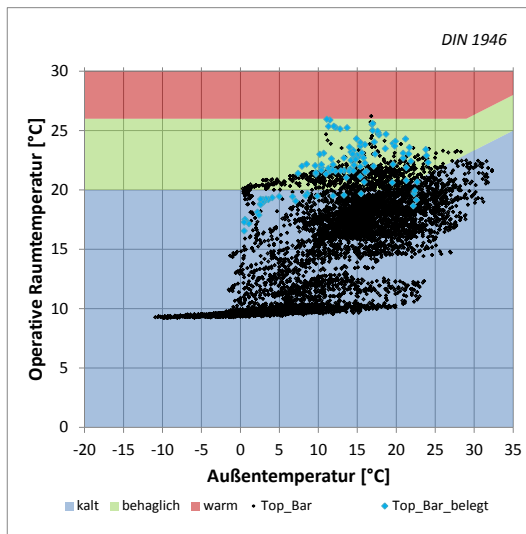
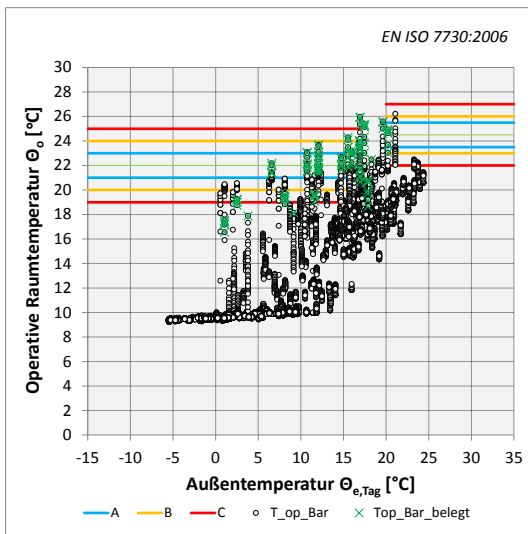


Abbildung 62: Energiebilanz des Nordtraktes Variante Basisauslastung

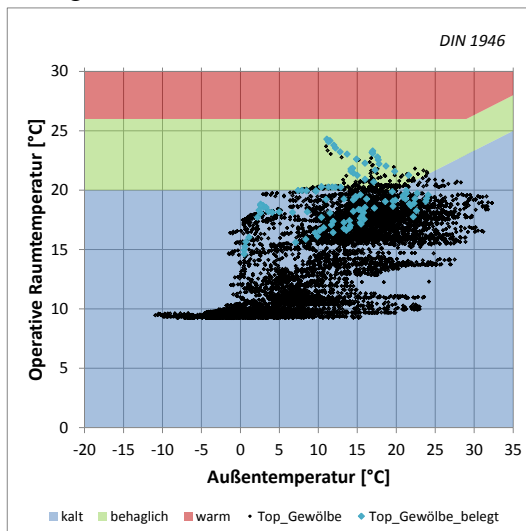
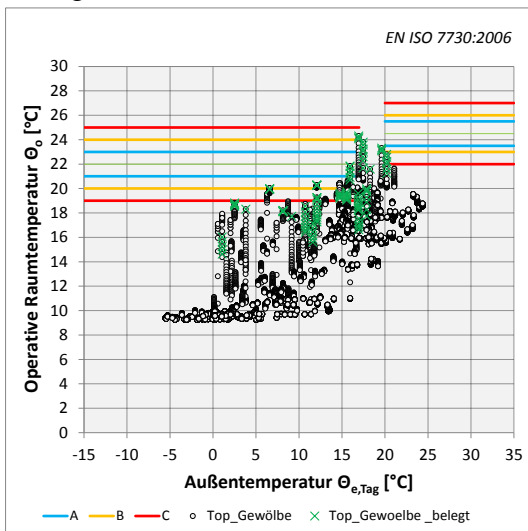
Behaglichkeitsdiagramme Variante „Basisauslastung“:

In Abbildung 66 sind die Behaglichkeitsdiagramme der EN ISO 7730 und der DIN 1946 für die beheizten Zonen des Nordtraktes dargestellt. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen von der Variante 2011 aufgrund der nahezu verdoppelten der Anzahl der Events. Daraus ist zu erkennen, dass man wie in Variante 2011 vor allem im Gewölbe und in der Concert Hall bei einer Vorheiztemperatur von 22 °C und einer Vorheizdauer von 24 h nur selten einen behaglichen Zustand vorfindet.

Behaglichkeit Bar Variante Basisauslastung:



Behaglichkeit Gewölbe Variante Basisauslastung:



Behaglichkeit Concert Hall Variante Basisauslastung:

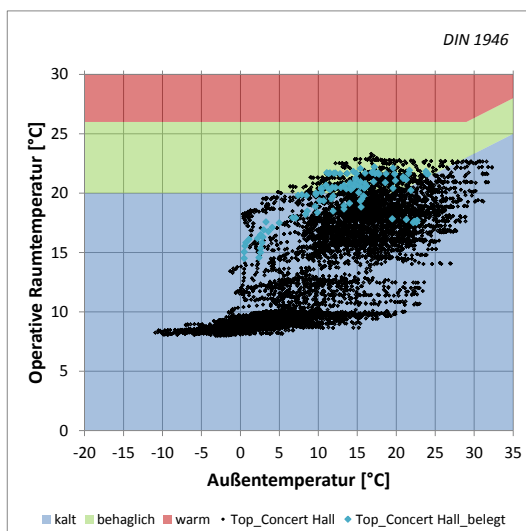
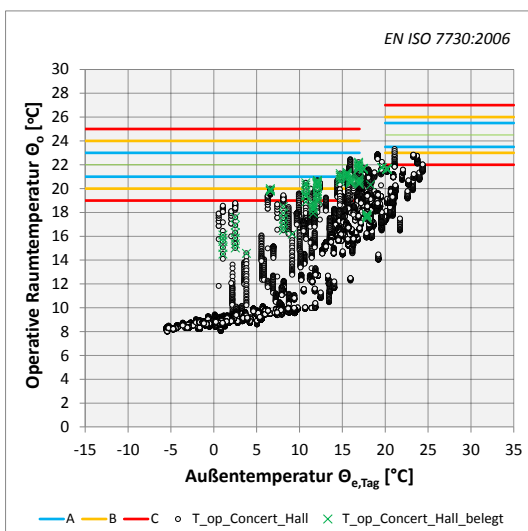


Abbildung 63: Gegenüberstellung Behaglichkeitsdiagramme EN ISO 7730 und DIN 1946 Variante Basisauslastung

5.5.3 Simulation des Nordtraktes Variante „Topauslastung“

Veranstaltungsübersicht bei voller Auslastung

In Tabelle 46 sind die Veranstaltungen angeführt, welche bei maximal angenommener Auslastung auftreten. Es wird von 25 Veranstaltungen pro Jahr im Nordtrakt ausgegangen. Dies entspricht einer ca. 3 fachen Auslastung wie im Jahr 2011.

Tabelle 46: Veranstaltungen Nordtrakt bei voller Auslastung

Datum	Zeitraum	Personenanzahl	Veranstaltungsraum
18.02.	19:00 – 22:00	65	Zone 06/04
14.03.	19:00 – 24:00	35	Zone 01/04
15.03.	15:00 – 18:00	60	Zone 06/04
02.04.	18:00 – 22:00	38	Zone 06/04
04.04.	08:00 – 17:30	28	Zone 07
05.04.	19:00 – 23:00	27	Zone 01/04
28.04.	12:00 – 18:00	38	Zone 07
12.05.	19:00 – 22:00	65	Zone 06/04
13.05.	18:00 – 02:30	44	Zone 01/04
26.05	15:00 – 20:00	65	Zone 06/04
01.06	19:00 – 24:00	35	Zone 01/04
10.06	14:00 – 18:00	65	Zone 06/04
15.06	13:00 – 18:00	30	Zone 01
20.07	18:00 – 22:00	38	Zone 06/04
05.08	18:00 – 02:30	44	Zone 01/04
03.09	13:00 – 18:00	30	Zone 01
06.09	18:00 – 02:00	45	Zone 01/04
23.09	19:00 – 22:00	65	Zone 06/04
10.10	15:00 – 18:00	60	Zone 06/04
11.10	18:00 – 22:00	38	Zone 06/04
29.10	18:00 – 02:00	45	Zone 01/04
25.11	15:00 – 18:00	65	Zone 06/04
09.12.	19:00 – 22:00	35	Zone 06/04
11.12.	19:00 – 24:00	35	Zone 01/04
15.12.	19:00 – 02:00	35	Zone 01/04

Temperaturverläufe:

Die internen Gewinne sind aus Tabelle 46 zu entnehmen. In folgenden Abbildungen wurden Jahrestemperaturverläufe einzelner Zone überlagert.

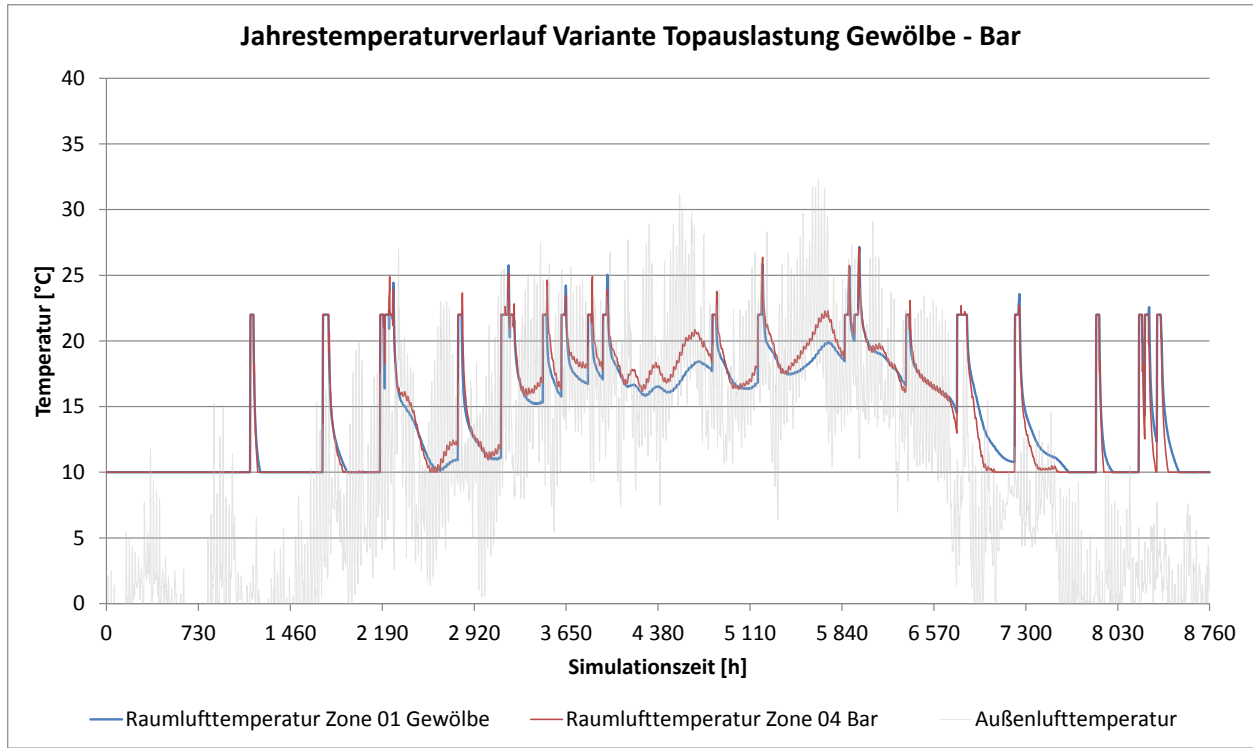


Abbildung 64: Jahresraumlufttemperaturverläufe Variante Topauslastung Gewölbe - Bar

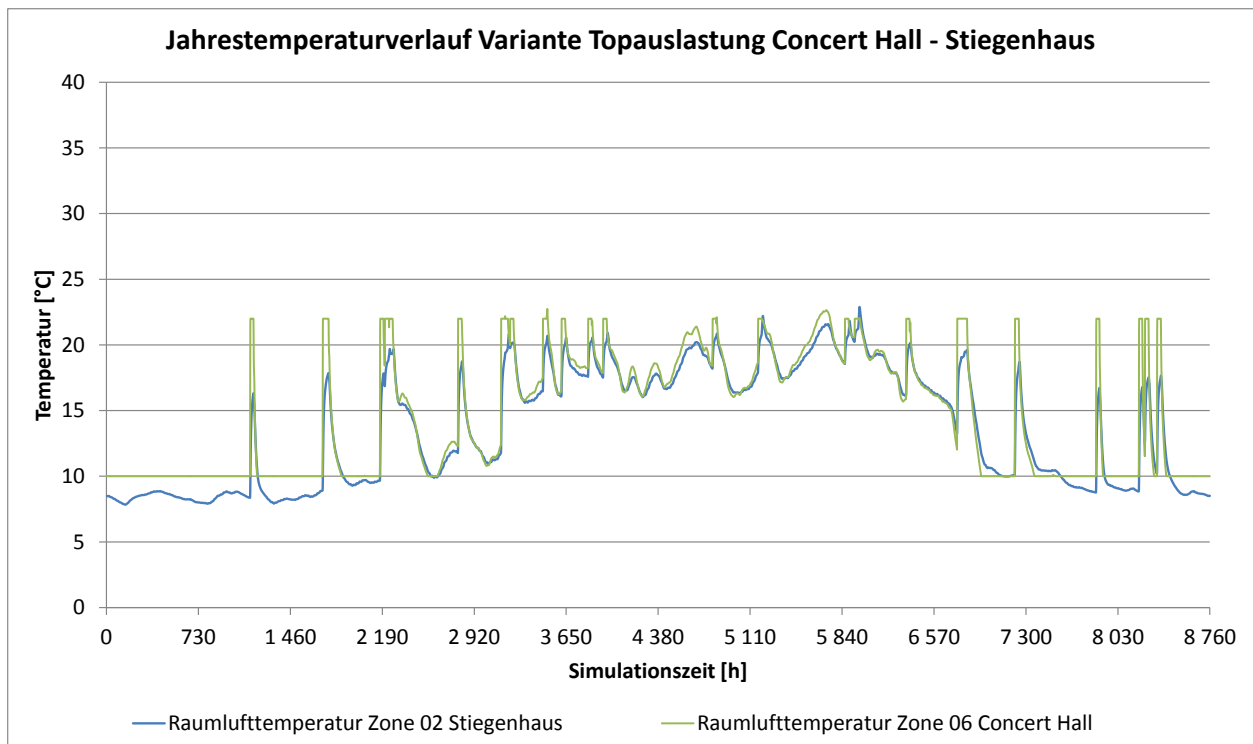


Abbildung 65: Jahresraumlufttemperaturverläufe Variante Topauslastung Concert Hall - Stiegenhaus

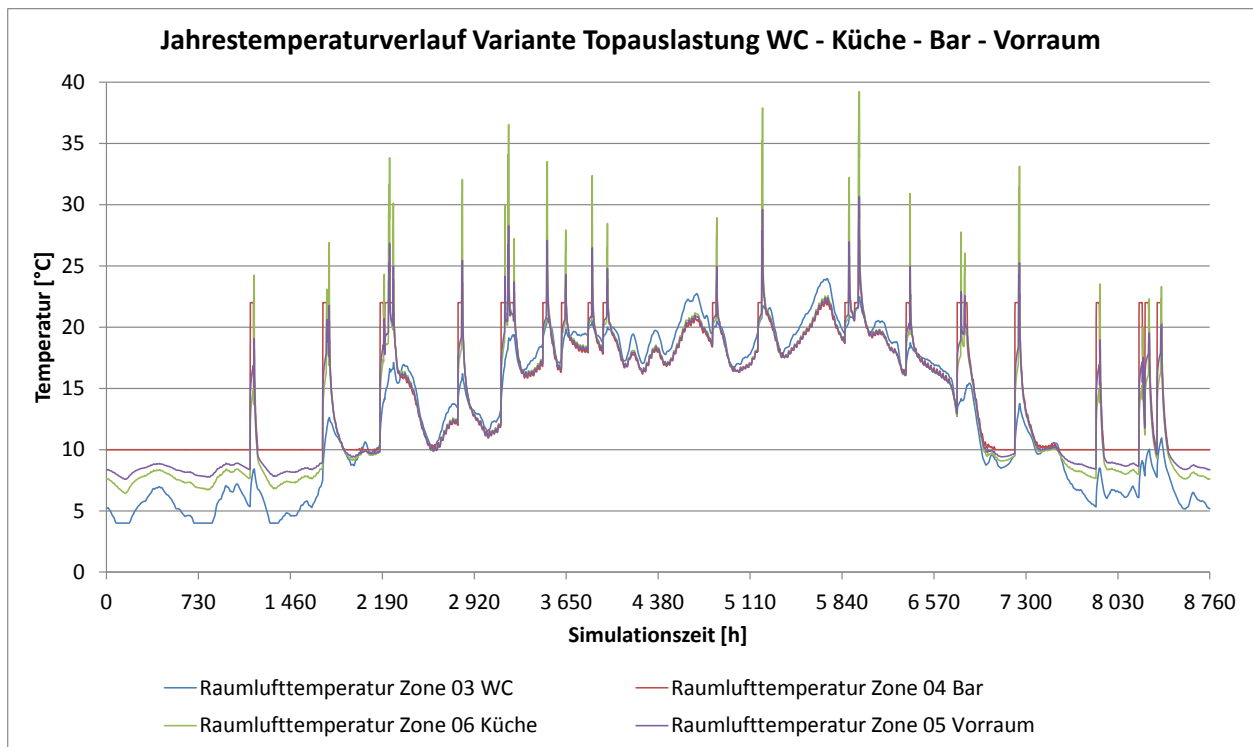


Abbildung 66: Jahrestemperaturverläufe Variante Topauslastung WC – Küche – Bar - Vorraum

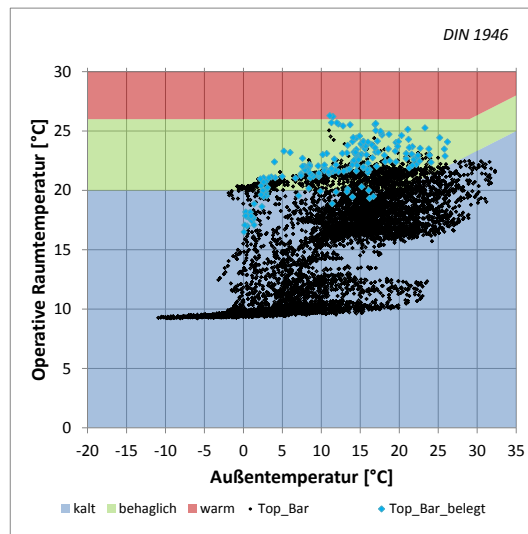
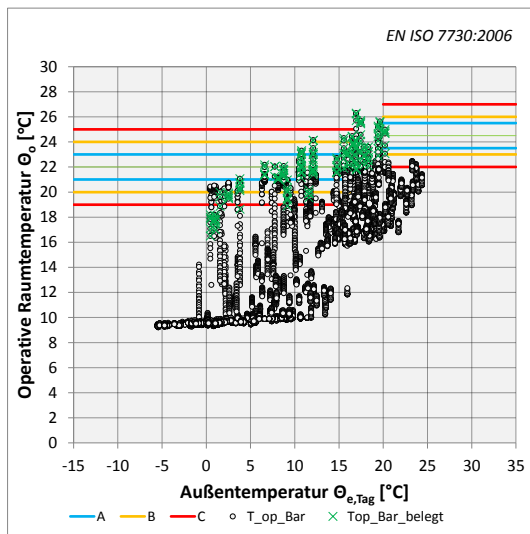
Behaglichkeitsdiagramme Topauslastung:

In Abbildung 67 sind die Behaglichkeitsdiagramme EN ISO 7730 und DIN 1946 für die beheizten Zonen des Nordtraktes dargestellt. Die eingefärbten Punkte geben die Behaglichkeit während den Veranstaltungen an. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen von der Variante 2011 an der Anzahl der Events.

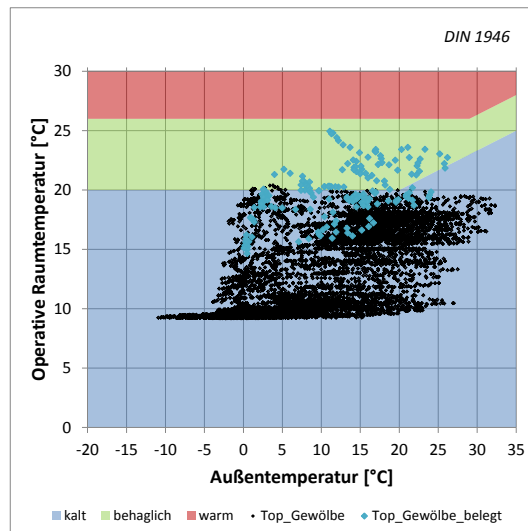
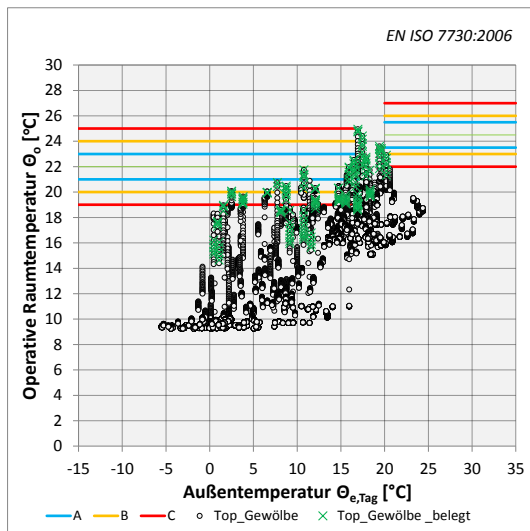
Gesamtenergiebilanz Topauslastung

In Tabelle 47 sind die spezifischen Gewinne und Verluste der einzelnen Zonen angegeben, in Abbildung 68 findet man die grafische Darstellung der Energiebilanz. Es ist zu erkennen, dass der Heizenergieverbrauch aufgrund der höheren Anzahl von Veranstaltungen im Gegensatz zur Variante „2011“ um etwa 15 % und zur Variante „Basisauslastung“ um etwa 33 % zunimmt. Die Jahresdauerlinien sind in Abbildung 92 im Anhang angegeben. Man erkennt, dass nur ein geringer Anteil der installierten Leistung benötigt wird.

Behaglichkeit Bar Topauslastung:



Behaglichkeit Gewölbe Topauslastung:



Behaglichkeit Concert Hall Topauslastung:

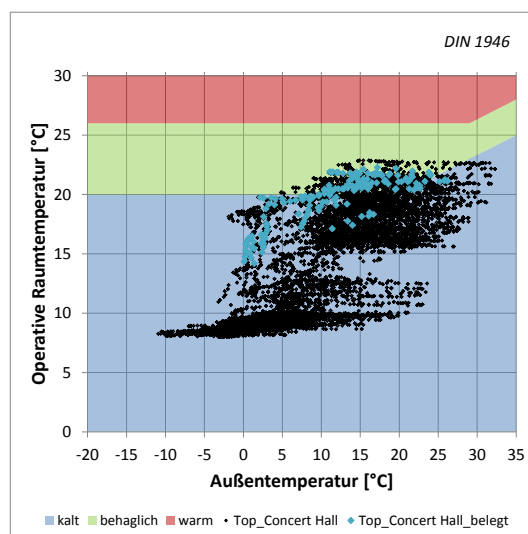
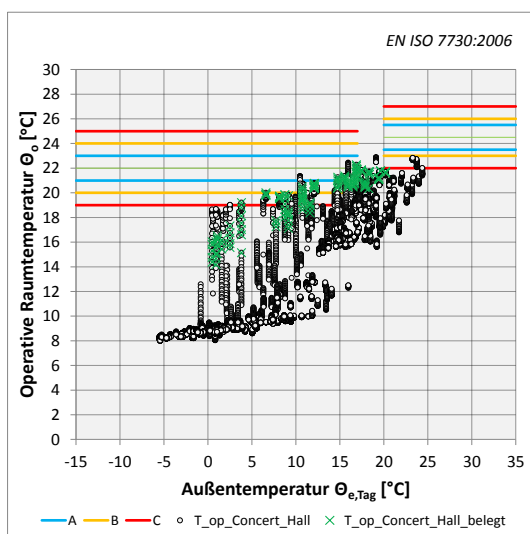


Abbildung 67: Gegenüberstellung Behaglichkeitsdiagramme EN ISO 7730 und DIN 1946 Variante Topauslastung

Tabelle 47: Energieflussdiagramm Nordtrakt Variante Topauslastung

	Gewölbe		Vorraum		WC		Bar		Küche		Concert Hall		Stiegenhaus	
	+01 [kWh/m²a]	-01 [kWh/m²a]	+02 [kWh/m²a]	-02 [kWh/m²a]	+03 [kWh/m²a]	-03 [kWh/m²a]	+04 [kWh/m²a]	-04 [kWh/m²a]	+05 [kWh/m²a]	-05 [kWh/m²a]	+06 [kWh/m²a]	-06 [kWh/m²a]	+07 [kWh/m²a]	-07 [kWh/m²a]
Heat	124.99	0.00	0.00	0.00	5.76	0.00	129.01	0.00	0.00	0.00	170.31	0.00	0.00	0.00
Sol	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.99	0.00	3.28	0.00	2.35	0.00	6.56	0.00
Gint	13.93	0.00	0.20	0.00	0.82	0.00	6.54	0.00	39.54	0.00	3.73	0.00	2.87	0.00
Coupl	3.95	32.20	73.29	0.00	41.72	0.32	0.00	93.06	63.60	6.36	0.00	28.57	101.53	0.00
Cool	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inf	0.10	5.20	0.00	3.21	0.00	1.51	0.00	3.39	0.00	3.51	0.00	8.00	0.01	4.16
Vent	0.13	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trans	0.00	103.92	0.00	70.27	0.32	46.79	0.00	49.44	0.00	96.55	0.29	140.11	0.00	107.01

Nutzfläche: 280 m²

Gesamtheizenergieverbrauch Topauslastung: 42470 kWh/a

Spezifischer Heizenergieverbrauch im Jahr 2011: 151.7 kWh/m²a

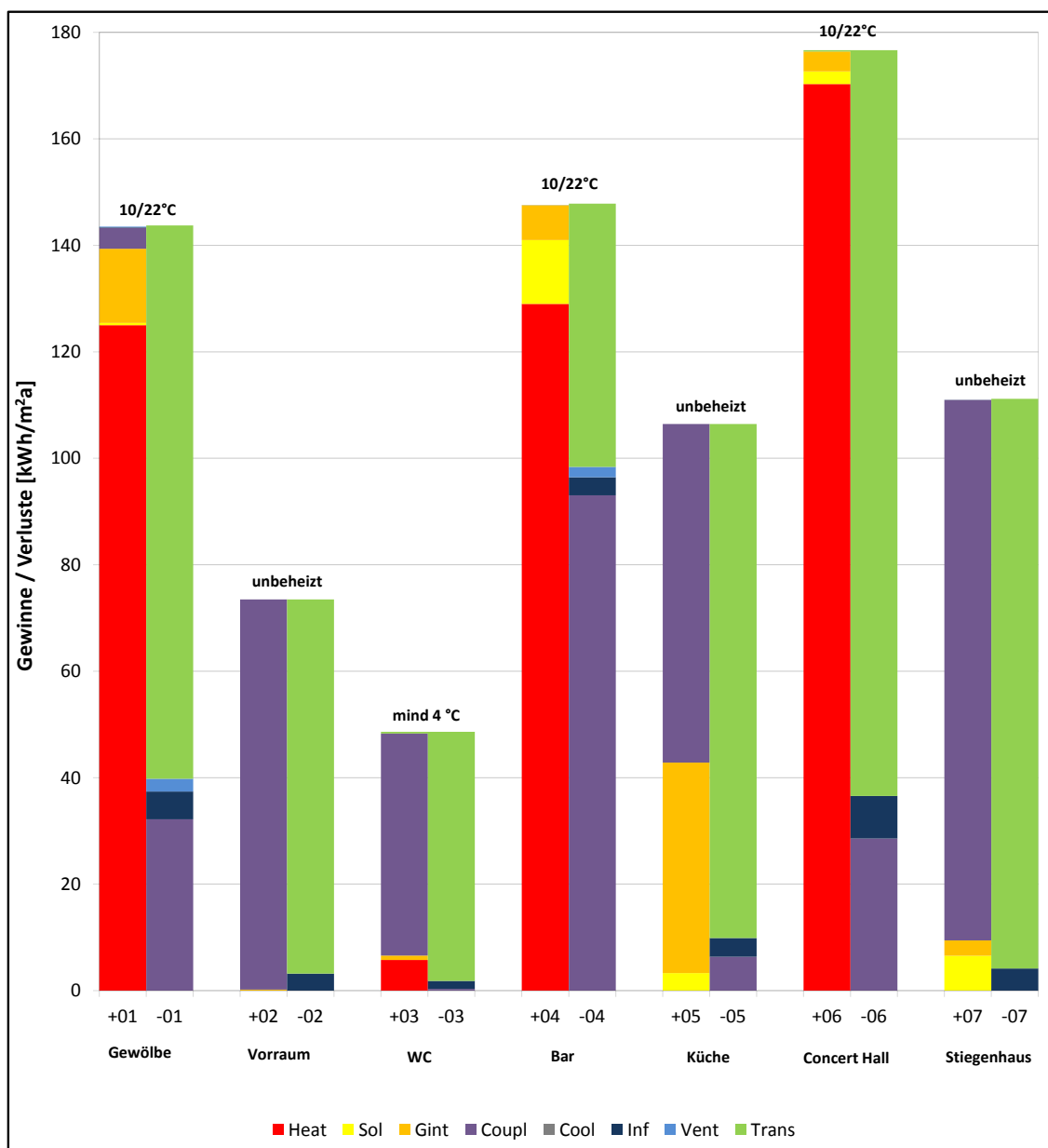


Abbildung 68: Energiebilanz des Nordtraktes Variante Topauslastung

5.6 Bestimmung des Normheizwärmebedarfs HWB des Nordtraktes und deren Umrechnung auf die gesamte Burg

Zur Bestimmung des Normheizwärmebedarfes des Nordtraktes mussten für die thermische Gebäudesimulation einige Modifizierungen vorgenommen werden. Dabei wurden die internen Lasten auf $3,75 \text{ W/m}^2$ (ÖNORM B 8110-5, 2010) eingestellt, und alle beheizbaren Räume auf eine Raumluft Solltemperatur von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ eingestellt. Der Luftaustausch zwischen den Zonen wird nicht berücksichtigt, es bleiben alle Türen geschlossen. Die größere beheizte Fläche und somit ein geringerer spezifischer Heizenergiebedarf ergibt sich bei der Miteinbeziehung des Galeriebodens in die Nutzfläche (Tabelle 48). Die Nutzgebäudeflächen wurden aus Tabelle 16 (Nettoflächen) entnommen. Aus der Summe des HWB des Nordtraktes und des HWB der restlichen Burg (Tabelle 48) ergibt sich ein jährlicher HWB der gesamten Burg Rabenstein von 732440 kWh .

Um den Normheizwärmebedarf (HWB) mit anderen Bereichen der Burg, wie z. B. dem Südtrakt vergleichen zu können, wurde der Nordtrakt für diese Simulation modifiziert. Da die anderen Trakte im Gewölbeboden nicht gedämmt sind, wurde die Gewölbebodendämmung in der Simulation entfernt. In den anderen Trakte befindet sich unter dem Dach eine Decke, keine Zone wie in der Concert Hall des Nordtraktes, daher musste der Dachaufbau so modifiziert werden, dass der U-Wert des ungedämmten Daches jenen U-Wert eines Deckenaufbaus entspricht. Der Luftaustausch zwischen den beheizten und unbeheizten Zonen wurde ausgeschaltet. Es wurde der jährliche Heizenergiebedarf je Quadratmeter mit und ohne Dämmung berechnet und in Tabelle 48 verglichen. Es ist zu erkennen, dass sich der spezifische Heizenergiebedarf (HWB) des Nordtraktes ohne Dämmung im Gewölbeboden und im Dach um ca. $27,5 \%$ erhöht.

Tabelle 48: Heizenergiebedarf mit und ohne Boden- und Dachdämmung

	Bezogen auf Gebäudefläche: [m ²]	spez. HWB Nordtrakt (Istbestand) [kWh/m ² a]	spez. HWB Nordtrakt (o. Boden und Dachdämmung) [kWh/m ² a]	HWB [kWh/a]
Nutzgebäudefläche Nordtrakt (ohne Galerieaufbau)	280	246	313	68880
Nutzgebäudefläche Nordtrakt (mit Galerieaufbau)	337.5	204	256	68880
Nutzgebäudefläche restliche Burg	2120		256	663560

5.7 Bestimmung der Normheizlast in den beheizten Zonen

Um die Normheizlast, welche für die Auslegung der Heizleistung einer Heizungsanlage maßgebend ist, durch die Gebäudesimulation bestimmen zu können, müssen einige Randbedingungen erfüllt werden (DIN EN 12831, 2003). Der Wetterdatensatz wurde über den für die Simulation benötigten Zeitraum modifiziert. Dabei wurden die Außentemperaturen in diesem Zeitraum auf die Norm-Außentemperatur von Frohnleiten (-12.2 °C) (ZAMG, 2011) abgeändert. Die Norm-Außentemperatur ist der niedrigste Zweitagesmittelwert der Lufttemperatur eines Ortes, der 10-mal in 20 Jahren erreicht oder unterschritten wurde. Außerdem wurden solare Gewinne und interne Gewinne durch Personen, Equipment und Beleuchtung vernachlässigt. Die Heizleistung wurde in der thermischen Gebäudesimulation nicht begrenzt. Die sich bei diesen Bedingungen einstellende Heizlast Q_{HEAT} , wurde durch die Simulation bestimmt und stellt die Normheizlast dar. In Tabelle 49 ist die Verteilung der Normheizlast der einzelnen beheizten Zonen bei Beheizung auf 20 °C angegeben. Dabei kann man feststellen, dass die installierte Heizleistung um 280 bis 480 % überdimensioniert ist. Normalerweise wird die installiert Heizleistung mit etwa 120-150 % der Normheizlast dimensioniert. Die Normheizlast, welche sich bei Beheizung aller Zonen auf 20 °C ergibt, ist um ca. 7 % höher, als bei alleiniger Beheizung der Zonen Gewölbe, Bar und Concert Hall (Tabelle 49 vs. Tabelle 50). Die starke Verringerung der Normheizlast in der Bar (Tabelle 50) ergibt sich aus der Beheizung der umliegenden Zonen vor allem aus der Beheizung des Concert Halls, da es keine Dämmung in der Decke zwischen Bar und Concert Hall gibt. (DIN EN 12831, 2003).

Tabelle 49: Normheizlast und installierte Heizleistung bei einzelner Beheizung der Zonen im Nordtrakt

		Gewölbe	Bar	Concert Hall	Summe
gerechnete Normheizlast [kW]	[kW]	9.9	8.4	18.1	36.4
Installierte Heizleistung [kW]	[kW]	48.0	24.0	76.0	148.0
Überdimensionierung der installierten Heizleistung	[%]	485	286	420	407

Tabelle 50: Normheizlast bei gleichzeitiger Beheizung aller Zonen im Nordtrakt

		Gewölbe	Bar	Concert Hall	Vorraum	Stiegenhaus	WC	Küche	Summe
gerechnete Normheizlast [kW]	[kW]	5.9	2.7	14.6	0.7	9.8	1.6	2.8	39.0
Installierte Heizleistung [kW]	[kW]	48.0	24.0	76.0	0.0	0.0	0.0	0.0	148.0
Überdimensionierung der installierten Heizleistung	[%]	814	888	521	-	-	-	-	379

5.8 Sensitivitätsanalyse der Vorheizdauer, Vorheiztemperatur und der Absenkttemperatur hinsichtlich der Behaglichkeit und des Heizwärmebedarfes

In der Sensitivitätsanalyse werden die Vorheizdauer, Vorheiztemperatur und Absenkttemperatur der thermischen Gebäudesimulationen abgeändert. Dies wird in Abbildung 69 anhand eines Events dargestellt. Der rote Heizungstemperaturverlauf stellt den Verlauf bei einem Event bei den Varianten 2011, Basis- und Topauslastung dar.

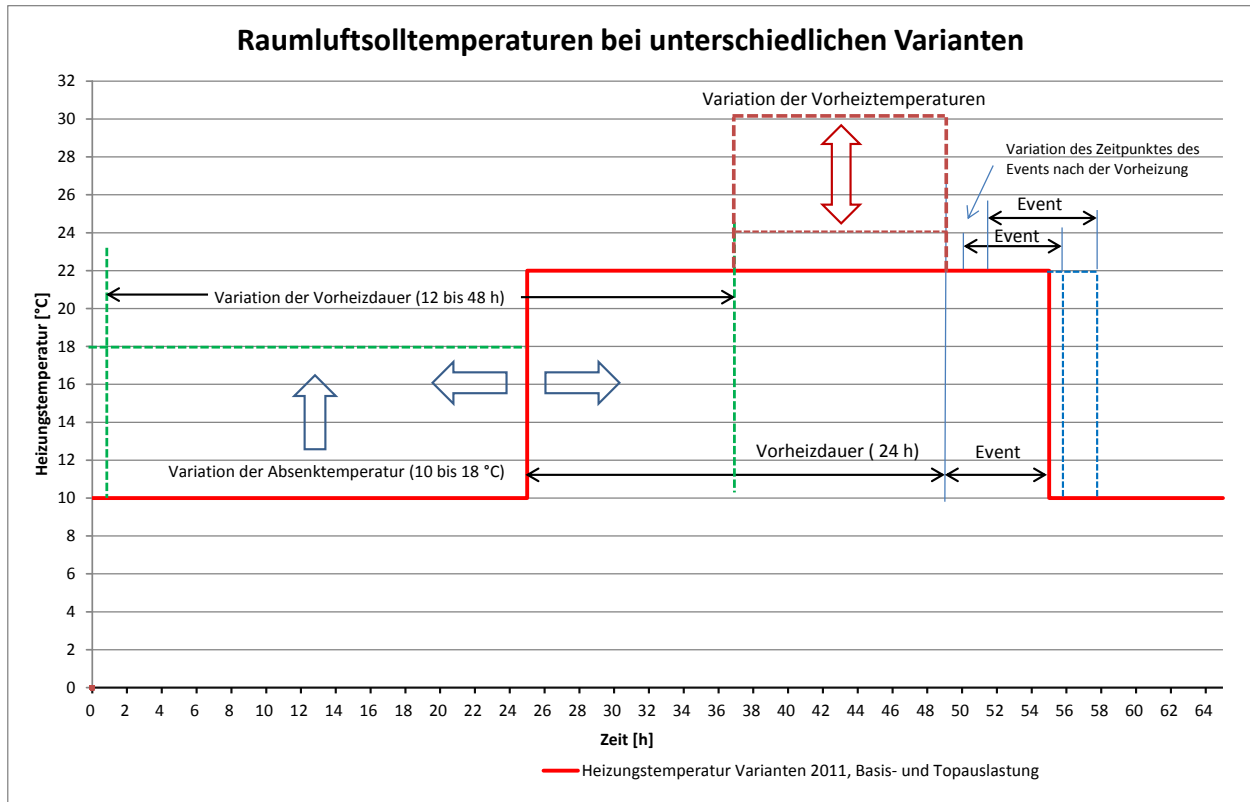


Abbildung 69: Variation der Vorheizdauer, Absenkttemperatur, Vorheiztemperatur eines Events

5.8.1 Einfluss der Vorheizdauer auf die Behaglichkeit

Im folgenden Abschnitt wurde der Einfluss der Heizdauer der Wärmepumpe im Nordtrakt, in der Variante Basisauslastung, vor den Veranstaltungen variiert und die sich daraus ergebende Veränderung der Behaglichkeit untersucht. Die Einschaltdauer vor Veranstaltungsbeginn wurde zwischen 12 und 48 h variiert. Die Raumlufttemperatur wurde während des Heizbetriebes auf 22 °C eingestellt, die Absenkttemperatur auf 10 °C. Aufgrund der hohen installierten Heizleistung ist das Aufheizen der Raumluft auf die gewünschte Temperatur innerhalb 1.5 Stunden möglich. Für die Behaglichkeit haben aber nicht nur die Raumlufttemperaturen, sondern vor allem auch die Raumumschließungsflächentemperaturen einen großen Einfluss (Gl. 5-4). Die Raumumschließungsflächen erwärmen sich aufgrund der Trägheit der Speichermassen wesentlich langsamer. In folgenden Diagrammen wird die Behaglichkeit der Bar (Abbildung 70), des Gewölbes (Abbildung 71) und der Concert Hall (Abbildung 72) mit einer Variation des Heizungsbeginns (Beheizen der Raumluft von 10 auf 22 °C) von 12, 24, 36 und 48 Stunden vor Veranstaltungsbeginn dargestellt.

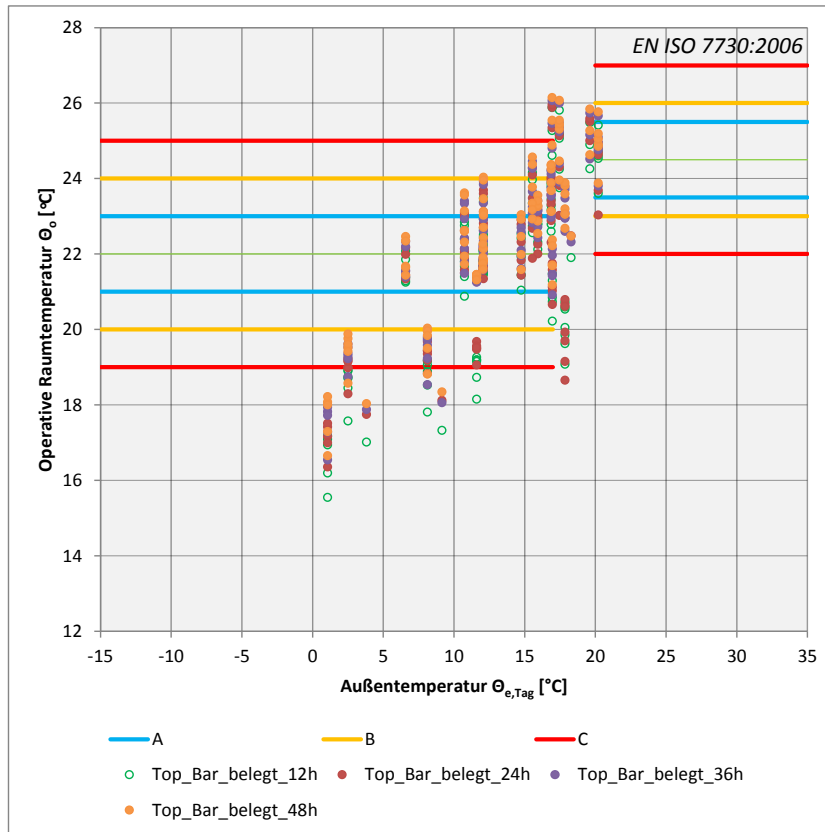


Abbildung 70: Behaglichkeit in der Bar in Abhängigkeit von der Vorheizungsdauer

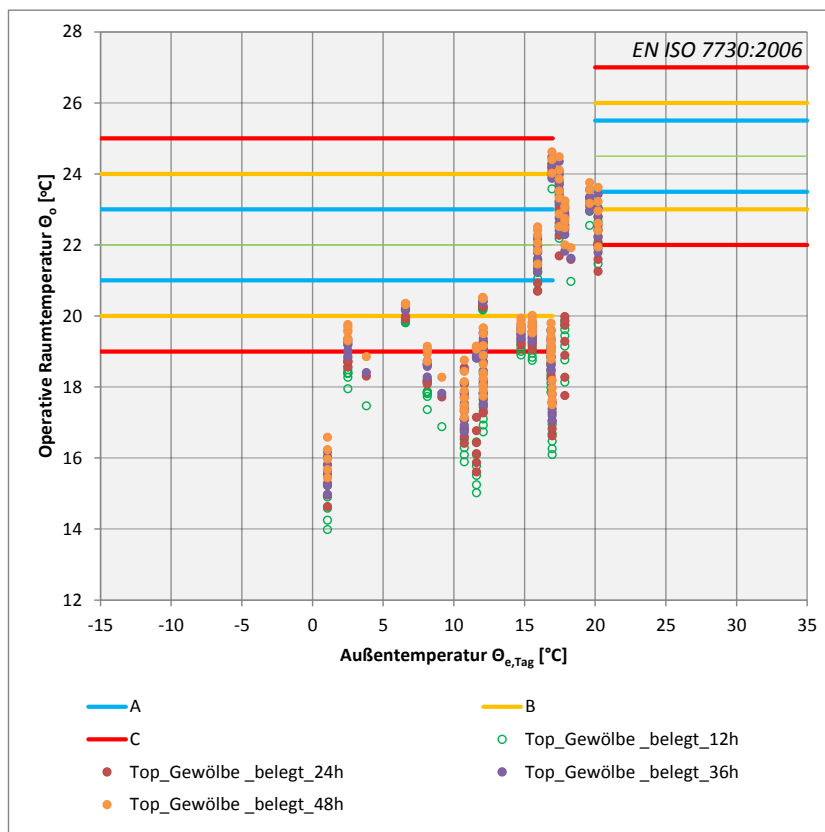


Abbildung 71: Behaglichkeit im Gewölbe in Abhängigkeit von der Vorheizungsdauer

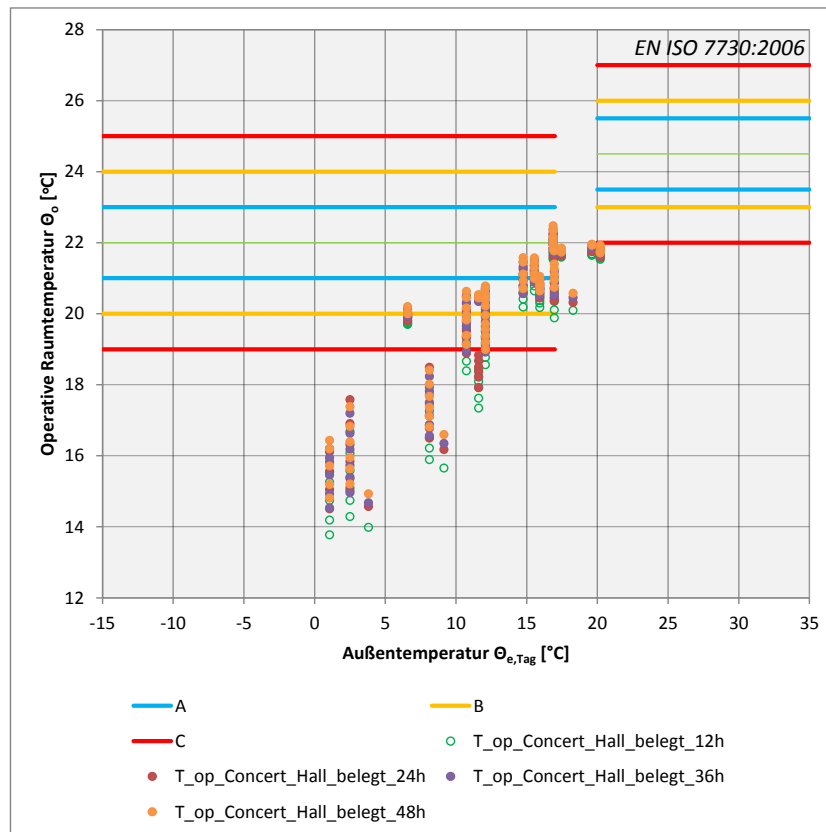


Abbildung 72: Behaglichkeit in der Concert Hall in Abhängigkeit von der Vorheizdauer

Durch die Verlängerung der Vorheizdauer vor Veranstaltungsbeginn ist eine deutliche Zunahme der Behaglichkeit zu erreichen. Es ist zu erkennen, dass in der Bar, welche sich im Geschoß zwischen Gewölbe und Concert Hall befindet, deutlich höhere operative Raumlufttemperaturen auftreten (Abbildung 70), als im Gewölbe und im Concert Hall (Abbildung 71-71). Dies ist vor allem auf die höheren Raumumschließungsflächentemperaturen zurückzuführen und auf die hohen internen Lasten in der Küche, welche durch den Luftwechsel mit der Bar eine Raumlufttemperaturerhöhung bewirken. Die Einhaltung der Behaglichkeit nach EN ISO 7730 ist in der Concert Hall, selbst beim Einschalten der Heizung auf eine Heizungstemperatur von 22 °C 48 h vor Veranstaltungen, nicht gegeben.

5.8.2 Variation der Absenkttemperatur außerhalb der Veranstaltungen im Nordtrakt

Die mittlere operative Temperatur ($T_{op,m}$) in den beheizten Räumen des Nordtraktes bei Belegung, welche im Wesentlichen für die thermische Behaglichkeit verantwortlich ist, ist in Tabelle 51 für die Variante Basisauslastung, in Abhängigkeit der Vorheizdauer und der Absenkttemperatur vor einer Veranstaltung, angegeben. Starttemperatur ist jene Absenkttemperatur, auf welche die beheizten Räume außerhalb der Veranstaltungen gehalten werden. Je höher die Absenkttemperatur, desto höher sind die operativen Raumtemperaturen. Grund dafür sind vor allem die höheren Ausgangstemperaturen der Raumumschließungsflächen, welche erheblich zur Behaglichkeit beitragen. Bei Erhöhung der Vorheizdauer vor einer

Veranstaltung haben die Umschließungsflächen mehr Zeit um sich zu erwärmen, somit steigen dabei auch die operativen Raumtemperaturen. Die Variation der Absenkttemperatur und der Vorheizdauer der Heizung vor einer Veranstaltung hat einen wesentlichen Einfluss auf den Heizwärmebedarf. Bei Erhöhung der Absenkttemperatur von 10 auf 18 °C steigt der jährliche Heizwärmebedarf auf über das Doppelte (Tabelle 52). Grund dafür ist vor allem die geringe Auslastung des Nordtraktes, wodurch der Zeitraum außerhalb der Veranstaltungen lange ist, und dadurch der zusätzliche Heizenergiebedarf für die Erhöhung der Absenkttemperatur stark steigt.

Tabelle 51: mittlere operative Temperaturen bei Belegung, Variation der Absenkttemperatur und Vorheizdauer (Basisauslastung für ein gesamtes Jahr)

			Vorheizdauer der Heizung vor der Veranstaltung [h]			
			12	24	36	48
Absenkttemperatur vor der Beheizung [°C]	10	Gewölbe Zone 01	18.42	18.93	19.24	19.46
		Bar Zone 04	20.79	21.12	21.24	21.31
		Concert H. Zone 07	19.53	19.87	20.03	20.12
	14	Gewölbe Zone 01	19.01	19.39	19.62	19.78
		Bar Zone 04	21.45	21.48	21.32	21.37
		Concert H. Zone 07	20.40	20.43	20.10	20.17
	18	Gewölbe Zone 01	19.74	20.61	20.68	20.16
		Bar Zone 04	21.21	21.86	21.88	21.44
		Concert H. Zone 07	19.99	20.80	20.83	20.23

Tabelle 52: jährlicher Heizwärmebedarf [kWh/a] und spez. HWB [kWh/m²a] des Nordtraktes bei unterschiedlichen Varianten ganzjährig beheizt

		Vorheizdauer der Heizung vor der Veranstaltung [h]			
		12	24	36	48
Absenkttemperatur vor der Beheizung [°C]	10	32831	35002	37580	39531
		97	107	111	117
	14	52505	54036	56095	57600
		156	160	166	171
	18	77992	78770	79860	80690
		231	234	237	239

Die operative Raumtemperatur, welche für die Behaglichkeit in einen Raum ausschlaggebend ist, ergibt sich aus dem Mittelwert von Raumluft- und Umschließungsflächentemperatur und den Wärmeübergangskoeffizienten für Strahlung und Konvektion (Gl. 5-4). Bei niedrigeren Wandtemperaturen ist somit die operative Temperatur immer niedriger als die

Raumlufttemperatur. In Abbildung 73 ist ein Beispiel anhand eines Events am Anfang Jänner in der Zone 01 (Gewölbe) dargestellt. Als Oberflächentemperatur des Gewölbes ($T_{\text{Oberfläche_Gewölbe}}$) wurde die mittlere Oberflächentemperatur der umschließenden Wände verwendet.

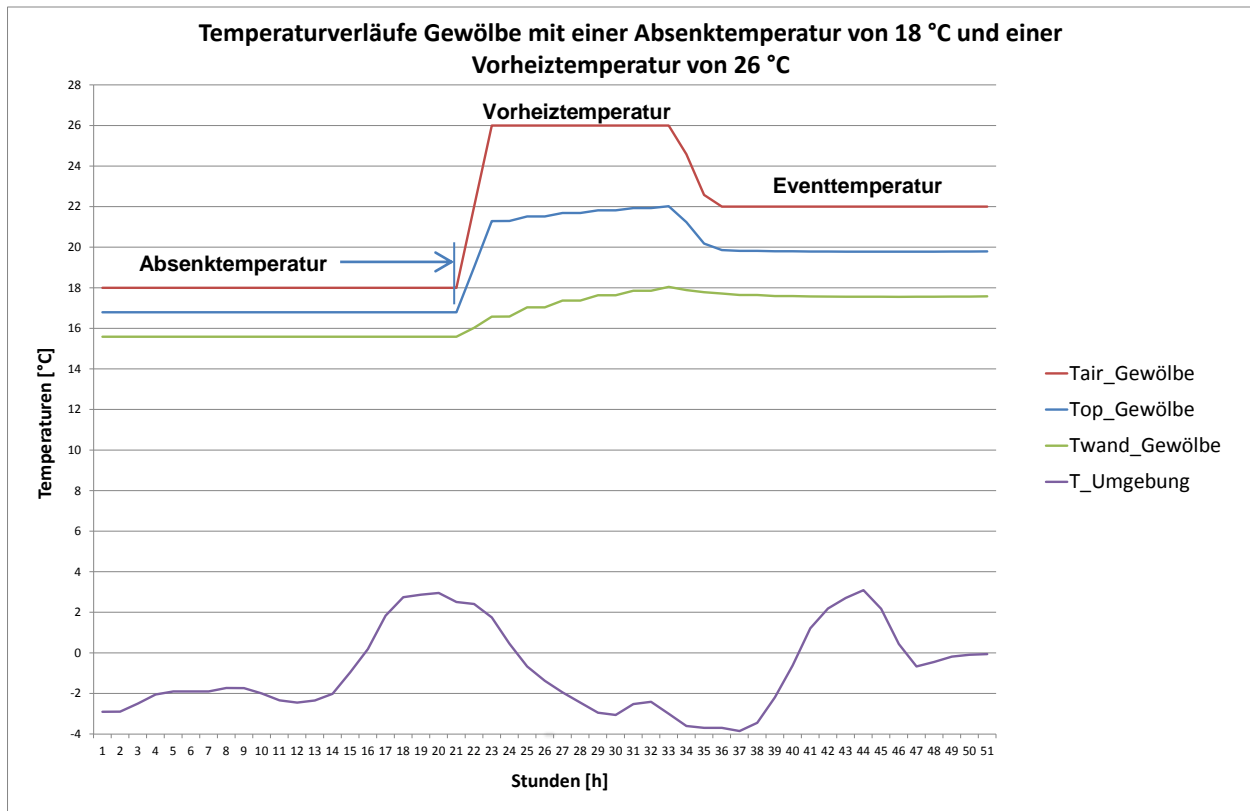


Abbildung 73: Temperaturverläufe im Gewölbe bei einer Veranstaltung

Die dynamischen Wärmespeicherkapazitäten (Tabelle 54) einer 24 h Periode in den beheizten Zonen haben einen wesentlichen Einfluss auf den operativen Temperaturverlauf. Sie setzen sich aus den Wärmekapazität der internen Speichermassen (Tabelle 17) und der Speichermassen der Wände, Decken und Böden (Tabelle 53) zusammen. Die Berechnungen der Einflusstiefe bei Temperaturschwankungen einer 24 h Periode erfolgen nach Gl. 5-2 und Gl. 5-3 (B. Keller, S. Rutz 2011). Bei mehrschichtigen Wänden wird die Einflusstiefe mit Gleichungen durch Reihenentwicklung nach (Clemens, 2000) abgeschätzt.

Da die Umschließungsflächen bei Zonen mit einer hohen dynamischen Wärmespeicherfähigkeit, wie dem Gewölbe, wesentlich länger brauchen um sich zu erwärmen, steigt dort auch die operative Raumtemperaturen (Abbildung 75) in diesen Räumen langsamer an. Um eine ausreichende operative Raumtemperatur in diesen Räumen zu erreichen, kann die Absenkttemperatur und die Vorheiztemperatur erhöht werden (Abbildung 74-76).

Tabelle 53: dynamische Wärmespeicherkapazitäten der Wandflächen der beheizten Zonen einer 24 h Periode

Zone 04 Bar:							
	Baustoff	Fläche [m ²]	Eindringtiefe [m] (24 h Periode)	Dichte [kg/m ³]	Masse [kg]	spez. Wärmekap. [kJ/kgK]	Wärmekapazität [kJ/K]
Außenwände mit Decke:	Sandstein	2.4	0.178	2600	1111	0.8	933
Verglasung:	Glas	24.5	0.006	2000	294	1.0	294
Türen:	Holz	7.0	0.040	600	168	2.1	353
Gipswände:	Gips	27.6	0.015	900	373	1.0	373
	Mineralwolle	27.6	0.026	60	43	1.0	43
Betonmauern:	Beton	5.8	0.138	2000	1587	1.0	1587
Gewölbeboden:	Estrich	102.5	0.070	2000	14350	1.0	14350
	XPS	102.5	0.106	25	272	1.4	380
Decke:	Gips	102.5	0.024	900	2214	1.0	2214
	XPS	102.5	0.033	25	85	1.4	118
	Holz	102.5	0.010	600	615	2.1	1292
Summe Wärmekapazität:							21937
Zone Concert Hall:							
	Baustoff	Fläche [m ²]	Eindringtiefe [m] (24 h Periode)	Dichte [kg/m ³]	Masse [kg]	spez. Wärmekap. [kJ/kgK]	Wärmekapazität [kJ/K]
Boden:	Holz	102.5	0.050	600	3075	2.1	6458
	XPS	102.5	0.012	25	31	1.4	43
Verglasung:	Glas	5.0	0.006	2000	60	1.0	60
Außenwände:	Sandstein	90.0	0.178	2600	41652	0.8	34988
Betonwände:	Beton	27.4	0.138	2000	7562	1.0	7562
Dach:	Gips	110.0	0.015	900	1485	1.0	1485
	Mineralwolle	110.0	0.080	60	528	1.0	528
Summe Wärmekapazität:							51124
Zone 01 Gewölbe:							
	Baustoff	Fläche [m ²]	Eindringtiefe [m] (24 h Periode)	Dichte [kg/m ³]	Masse [kg]	spez. Wärmekap. [kJ/kgK]	Wärmekapazität [kJ/K]
Außenmauern und Decke:	Sandstein	222.5	0.178	2600	102973	0.8	86497
Gewölbeboden:	Estrich	102.5	0.070	2000	14350	1.0	14350
	XPS	102.5	0.106	25	272	1.4	380
Summe Wärmekapazität:							101228

Tabelle 54: dynamische Wärmekapazitäten der beheizten Zonen einer 24 h Periode

	Wärmekapazität der internen Speichermasse (Tabelle 17) [kJ/K]	Wärmekapazitäten der Wände, Decken und Böden (Tabelle 53) [kJ/K]	Summe der Wärmekapazitäten (24 h Periode) [kJ/K]
Bar	6508	21937	28445
Concert Hall	27677	51124	78801
Gewölbe	13658	101228	114886

In folgenden Abbildungen ist die operative Raumtemperatur der Zonen Bar, Gewölbe und Concert Hall bei durchgehender Beheizung dargestellt. Dabei wird die Absenkttemperatur vor dem Heizbeginn (10, 14 und 18 °C) und die Vorheizungstemperatur (24, 26, 28 und 30 °C) der variiert. Die drei beheizten Zonen können auf unterschiedliche Temperaturen beheizt werden. Die Simulation wurde während einer kalten Woche im Jänner 2011 durchgeführt. Die Nomenklatur der operativen Raumtemperaturen in den Diagrammen 74-76 erfolgt nach folgendem Schema:

--„BAR_24/10“

--Bezeichnung der Zone_Vorheizungstemperatur/Absenkttemperatur

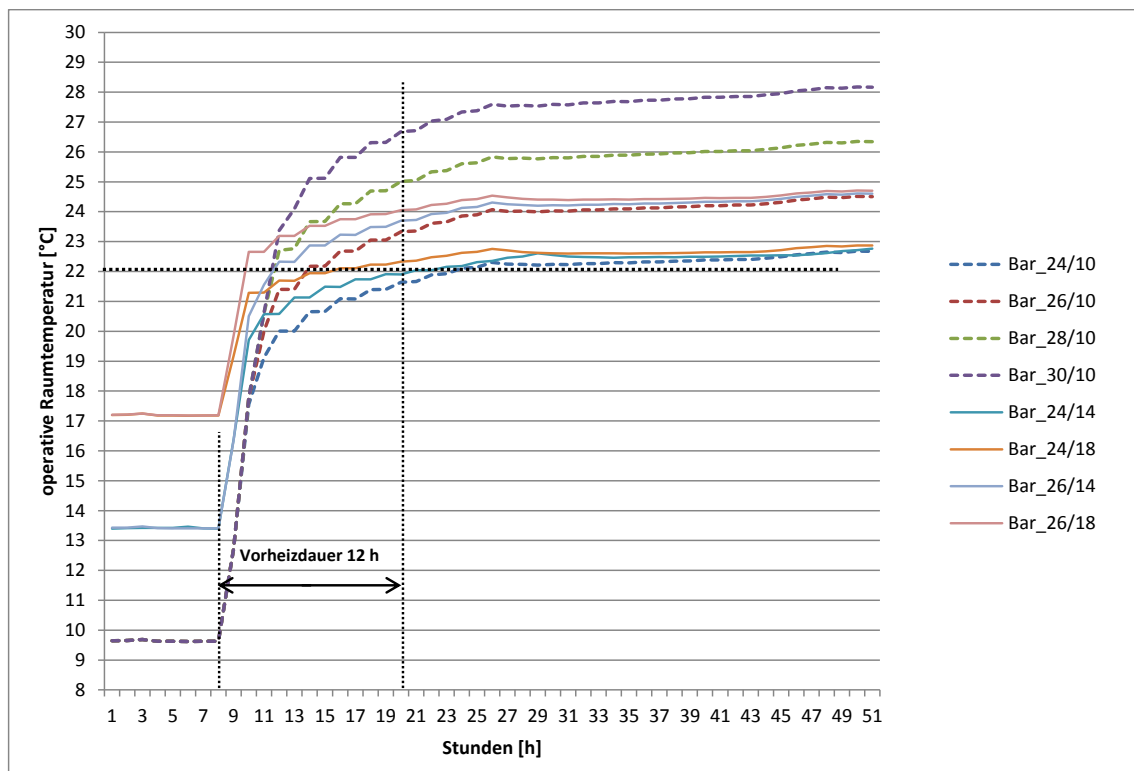


Abbildung 74: operative Raumtemperatur Bar

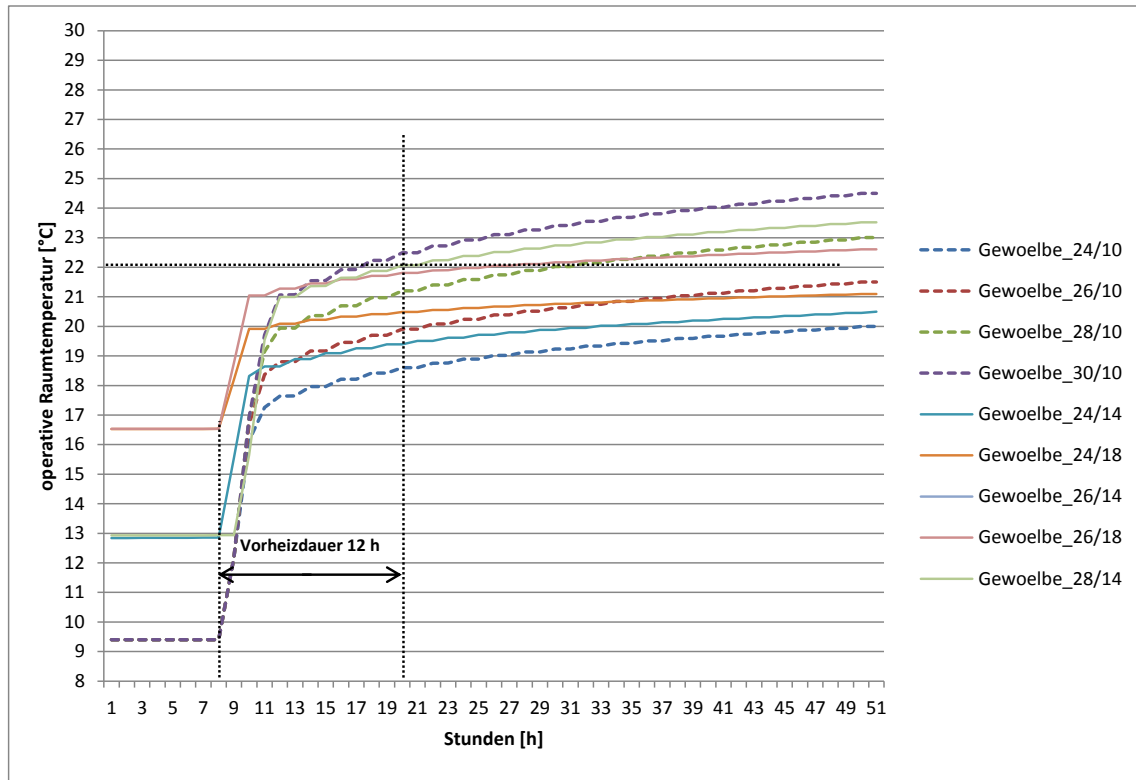


Abbildung 75: operative Raumtemperatur Gewölbe

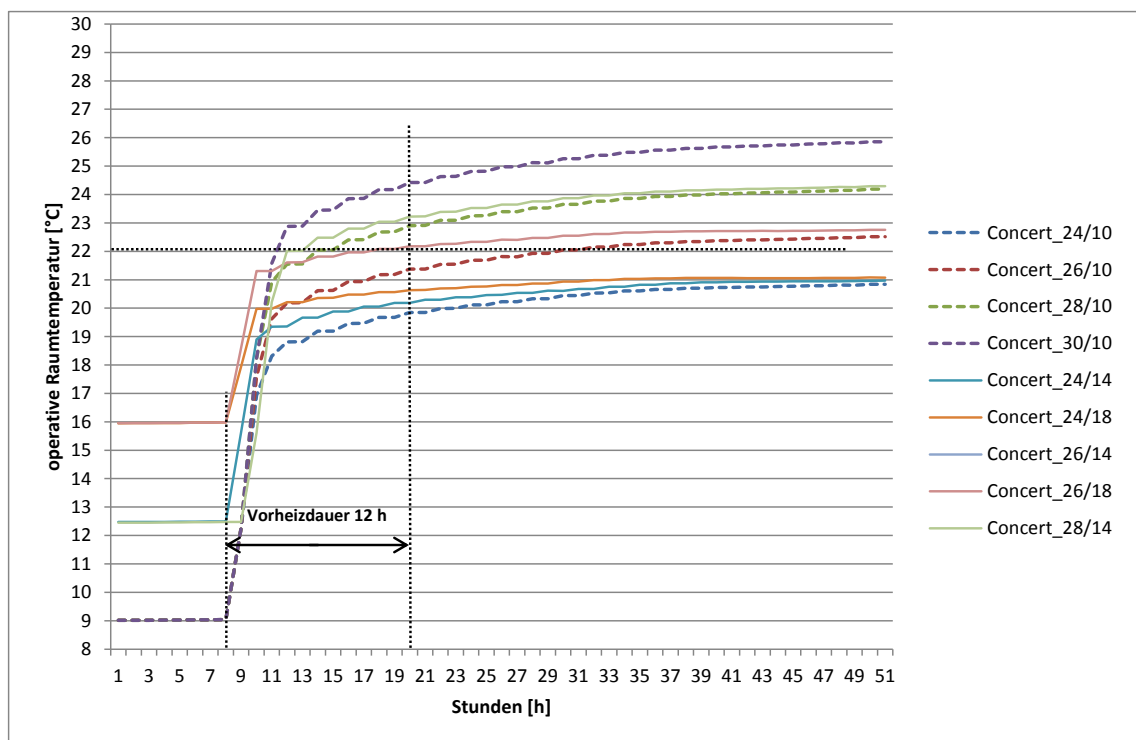


Abbildung 76: operative Raumtemperatur Concert Hall

In den Abbildung 74-75 werden jene Vorheiztemperaturen der beheizten Zonen bei einer Vorheizdauer von 12 h und unterschiedlichen Absenkttemperaturen abgelesen, um nach diesen

12 h eine operative Raumtemperatur von 22 °C zu erreichen (Schnittpunkte der punktierten Linien). Aus den Abbildungen ist zu erkennen, dass mit der Erhöhung der Absenkttemperaturen die Vorheiztemperaturen bei gleichbleibender Behaglichkeit abnehmen. Die Temperaturen werden in den Tabelle 55-56 angeführt.

Tabelle 55: HWB bei unterschiedlichen Abschaltzeitdauer und Vorheiztemperaturen bei einer Absenkttemperatur von 10 °C

		a)	b)
Absenklufttemperatur T_m	[°C]	10	10
Vorheizdauer	[h]	12	12
Abschaltung der Heizung vor den Veranstaltungen	[h]	1	3
Vorheiztemperaturen (vor den Veranstaltungen):			
Vorheiztemperatur Gewölbe	[°C]	30	30
Vorheiztemperatur Bar	[°C]	24	24
Vorheiztemperatur Concert Hall	[°C]	27	27
Raumlufftemperaturen während der Veranstaltungen:			
Eventtemperatur Gewölbe	[°C]	22	22
Eventtemperatur Bar	[°C]	22	22
Eventtemperatur Concert Hall	[°C]	22	22
Heizwärmebedarf	[kWh]	31366	31606

Tabelle 56: HWB bei unterschiedlichen Abschaltzeitdauer und Vorheiztemperaturen bei einer Absenkttemperatur von 14 °C

		a)	b)
Absenklufttemperatur T_m	[°C]	14	14
Vorheizdauer	[h]	12	12
Abschaltung der Heizung vor den Veranstaltungen	[h]	1	3
Vorheiztemperaturen (vor den Veranstaltungen):			
Vorheiztemperatur Gewölbe	[°C]	28	28
Vorheiztemperatur Bar	[°C]	24	24
Vorheiztemperatur Concert Hall	[°C]	26.5	26.5
Raumlufftemperaturen während der Veranstaltungen:			
Eventtemperatur Gewölbe	[°C]	22	22
Eventtemperatur Bar	[°C]	22	22
Eventtemperatur Concert Hall	[°C]	22	22
Heizwärmebedarf	[kWh]	50866	51027

Tabelle 57: HWB bei unterschiedlichen Abschaltzeitdauer und Vorheiztemperaturen bei einer Absenkttemperatur von 18 °C

		a)	b)
Absenklufttemperatur T_m	[°C]	18	18
Vorheizdauer	[h]	12	12
Abschaltung der Heizung vor den Veranstaltungen	[h]	1	3
Vorheiztemperaturen (vor den Veranstaltungen):			
Vorheiztemperatur Gewölbe	[°C]	26	26
Vorheiztemperatur Bar	[°C]	23	23
Vorheiztemperatur Concert Hall	[°C]	25.5	25.5
Raumlufftemperaturen während der Veranstaltungen:			
Eventtemperatur Gewölbe	[°C]	22	22
Eventtemperatur Bar	[°C]	22	22
Eventtemperatur Concert Hall	[°C]	22	22
Heizwärmebedarf	[kWh]	77290	77380

5.8.3 Einfluss der Vorheiztemperaturen, Absenkttemperatur und des Abschaltzeitpunktes der Heizung vor den Veranstaltungen auf die Behaglichkeit

Vor den Veranstaltungen ist die Heizung für 12 h in Betrieb. Die Heizungstemperatur in den beheizten Räumen wird so weit erhöht, dass sich in den beheizten Zonen nach diesen 12 h eine operative Raumtemperatur von jeweils 22 °C einstellt. Die dafür benötigte Raumtemperatur wird aus den Tabelle 55-58 bei der Stunde 20 abgelesen, da die Heizung im Diagramm bei Stunde 8 startet. Die Heizungstemperatur wird in der Variante „a“ eine und in der Variante „b“ drei Stunden vor den Veranstaltungen auf 22 °C Raumlufftemperatur zurückgedreht und für die Dauer der Veranstaltung auf diesem Temperaturniveau gehalten.

Es werden drei Varianten untersucht, einmal mit einer Absenklufttemperatur T_m von 10, 14 und 18 °C und dabei die sich einstellende Behaglichkeit (Abbildung 77-78) und der Heizwärmebedarf (Tabelle 55) verglichen. Die Beheizung der Burg wurde bei einer mittleren Heizgrenztemperatur von über 12 °C abgestellt.

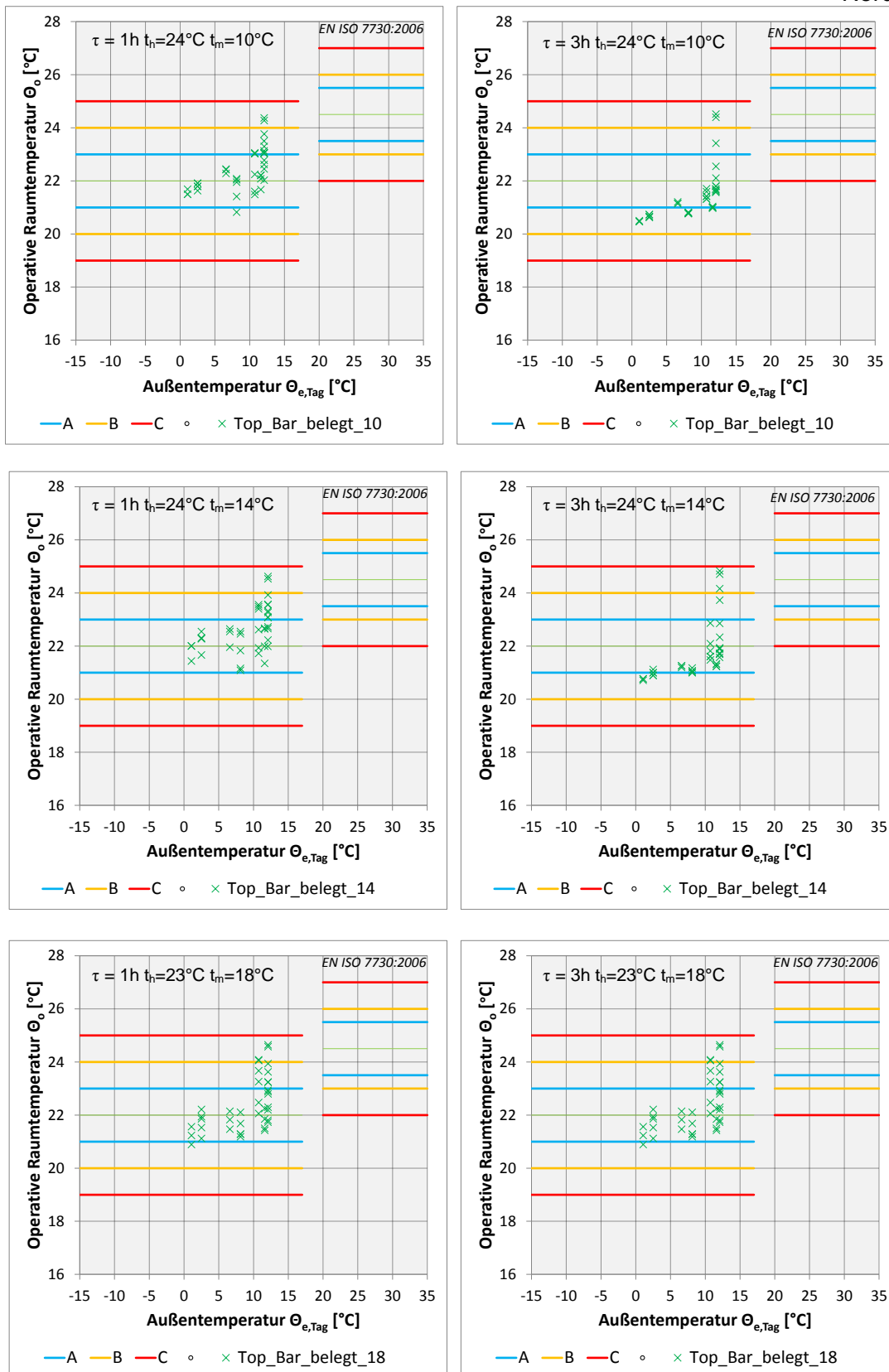


Abbildung 77: Vergleich Behaglichkeitsdiagramme Bar im Nutzungszeitraum Heizperiode

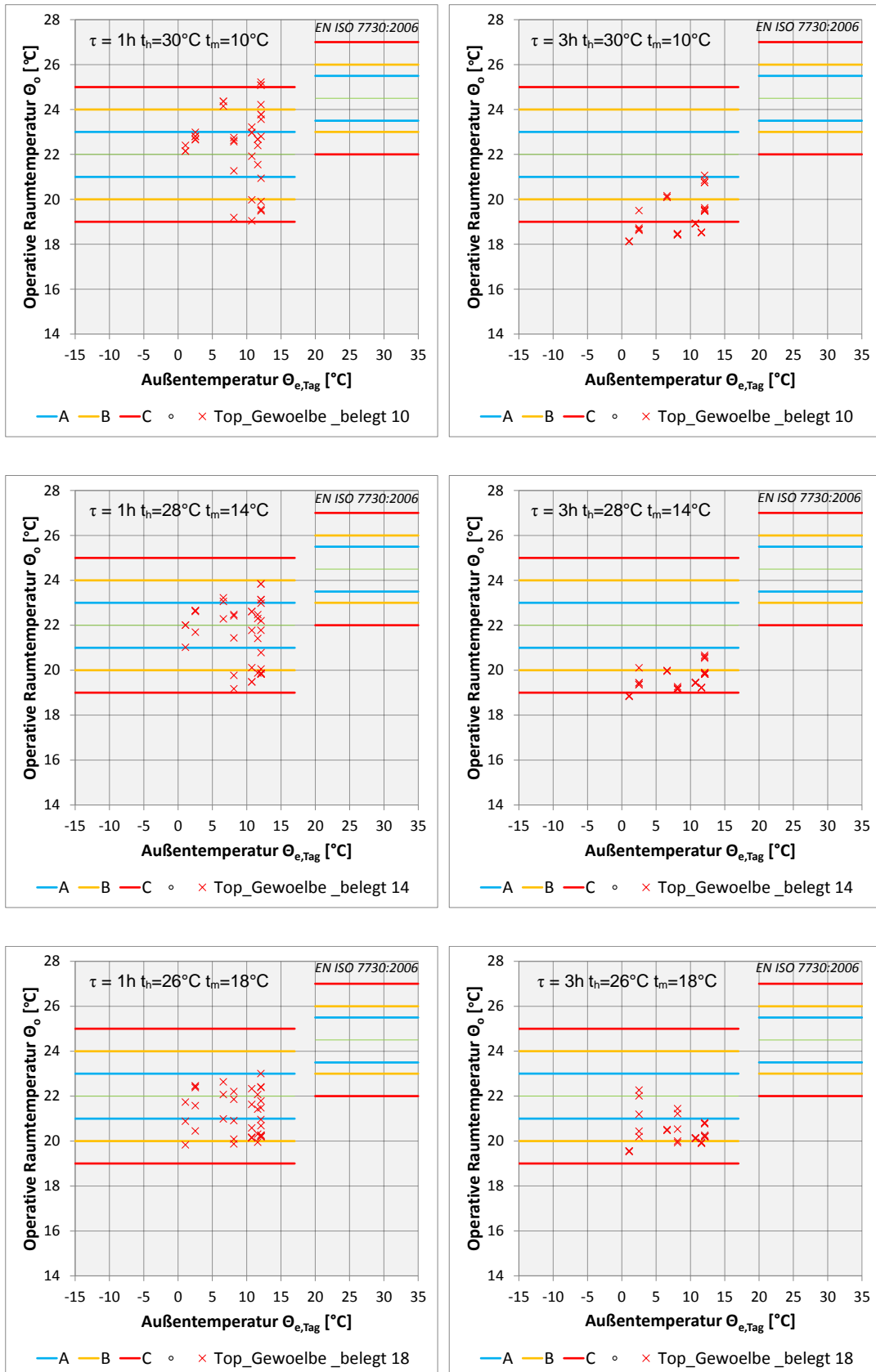


Abbildung 78: Vergleich Behaglichkeitsdiagramme Gewölbe im Nutzungszeitraum Heizperiode

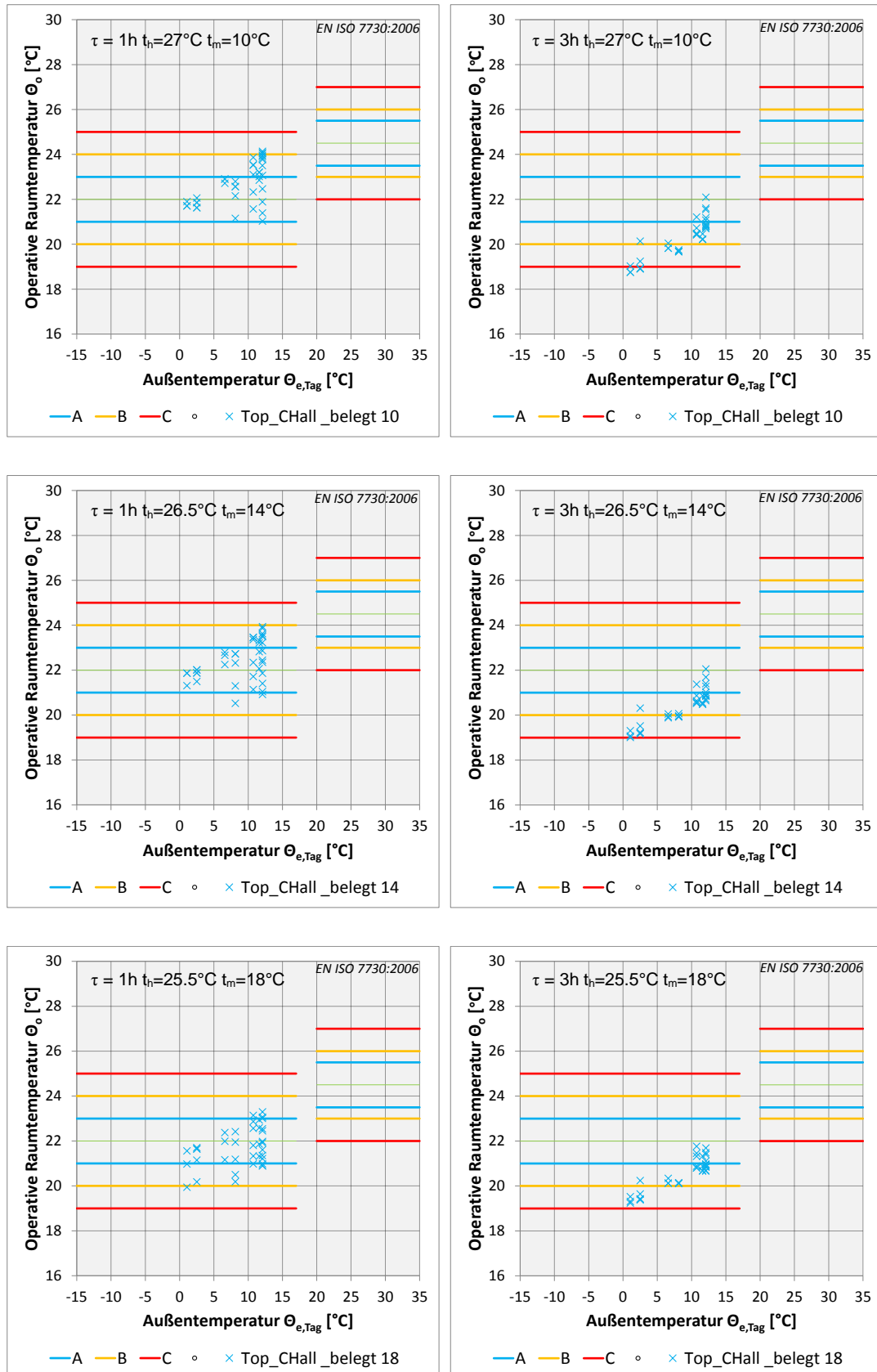


Abbildung 79: Vergleich Behaglichkeitsdiagramme Concert Hall im Nutzungszeitraum Heizperiode

Aufgrund der geringen Nutzung durch Veranstaltungen steigt der jährliche Heizwärmebedarf des Nordtraktes bei Erhöhung der Absenkttemperatur von 10 auf 18 °C um mehr als das Doppelte an (Tabelle 55-56). Bei einer höheren Absenkttemperatur steigt vor allem in der Concert Hall und im Gewölbe die Behaglichkeit an (Abbildung 77 und 78), da die hohen internen Speichermassen in diesen Zonen, schon vor Heizbeginn ein höheres Temperaturniveau aufweisen und während der Vorheizdauer nicht mehr so stark erwärmt werden müssen, um eine ausreichende operative Raumtemperatur zu erreichen (Gl. 5-4). Bei einer Absenkung der Raumtemperatur auf 10 °C ist ein behaglicher Zustand durch Erhöhung der Vorheiztemperatur oder Vorheizdauer zu erreichen. Dies ist bei kurzfristig geplanten Veranstaltungen oft nicht möglich, höhere Vorheiztemperaturen führen zu höheren, als möglicherweise unangenehm empfundenen Raumlufttemperaturen vor allem zu Beginn von Veranstaltungen.

Durch die in dieser Variante kurze Vorheizdauer von 12 h nehmen die internen Speichermassen in dieser Zeit wenig Wärme auf, welche bei tieferen Raumtemperaturen wieder an den Innenraum abgegeben werden kann. Daher kommt es bei Variante „b“, bei Beginn der Veranstaltungen 3 h nach der Vorheizdauer (Variante „a“ Beginnen sie eine Stunde danach), zu einem zu hohen Temperaturabfall und somit zu einer geringeren Behaglichkeit, als in Variante „a“.

Beheizt man alle Zonen mit derselben Vorheiztemperatur (z.B. 26 °C) würden sich nach der Vorheizdauer unterschiedliche operative Raumtemperaturen einstellen. Um dies zu verhindern wurden die Vorheiztemperaturen laut (Tabelle 55-56) abgeändert. Durch das Fehlen der Dämmung zwischen der Bar und der Concert Hall kommt es aufgrund der unterschiedlichen Temperaturen zwischen diesen Zonen zu einem Wärmetransport von der höher beheizten Zone (Concert Hall) zur kühleren (Bar) Zone. Um ein zu weites Absinken der Raumtemperatur der Concert Hall zu verhindern wird dort die Vorlaufheiztemperatur erhöht (27 °C) und die Heizlast steigt in der Concert Hall an. In der Bar kann die Heizungstemperatur auf 24 °C gesenkt werden.

6 KONZEPT ZUR VERMESSUNG DER WÄRMEPUMPE

Die Wirtschaftlichkeit einer Kompressionswärmepumpenanlage wird neben den Installations- und Wartungskosten vor allem von der, für den Betrieb benötigten, Strommenge bestimmt. Wärmepumpen mit höherer Effizienz können mit derselben zugeführten Strommenge mehr Nutzwärme erzeugen. Um die Effizienz der Heizanlage bestimmen zu können, muss der Kältemittelkreislauf vermessen und die zugeführte Strommenge ermittelt werden. In diesem Kapitel wird unter anderem ein Messsystem dargestellt, welches die relevanten Messwerte für folgende Diplomarbeiten liefern soll.

Aufgrund der momentan fehlenden Messwerte musste die thermischen Gebäudesimulationen in Kapitel 6 anhand abgeschätzter Randbedingungen wie Vorheizdauer, Vorheiztemperatur und Absenkttemperatur, durchgeführt werden. Mit der Aufbereitung der für die thermische Gebäudesimulation relevanten Messwerten, wie Raumlufttemperaturen und den zu ermittelnden Heizenergiebedarf (HWB), soll es möglich werden, die thermische Gebäudesimulation anhand der Messergebnisse zu überprüfen.

6.1 Bestimmung der Effizienz der Anlage

Um die Effizienz der Luft- Luft Wärmepumpe bestimmen zu können, muss das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand der Wärmepumpenanlage, auch als COP-Wert bezeichnet, bestimmt werden (Gl. 6-1). Der Nutzen wird durch die abgegebene Wärmeleistung dargestellt, der Aufwand durch die von den Außen- und Innengeräten aufgenommene Stromleistung.

$$COP = \frac{Q_{HEAT}}{P_{eAußen} + P_{eInnen}} \quad (Gl. 6-1)$$

Die abgegebene Wärmeleistung \dot{Q}_{HEAT} wird durch die Menge des Kältemittelmassenstroms und die spezifische Enthalpiedifferenz in den Kondensatoren der Innengeräte berechnet (Gl. 6-2).

$$Q_{HEAT} = m \cdot (h_{zu} - h_{ab}) \quad (Gl. 6-2)$$

Zur Bestimmung der Jahresarbeitszahl SPF muss die abgegebene Wärmemenge \dot{Q}_{Nutz} und aufgenommene Strommenge W_{el} der Außengeräte über den Zeitraum eines Jahres summiert werden (Gl. 6-3).

$$\text{Jahresarbeitszahl SPF} = \frac{Q_{Nutz}}{W_{el}} = \frac{Q_{Heat} d\tau}{W_{el}} \quad (Gl. 6-3)$$

Zur Bestimmung der von der Wärmepumpe abgegebenen Wärmeleistung \dot{Q}_{HEAT} muss ein Messsystem in den Kältemittelkreislauf integriert werden. Um die spezifischen Enthalpien h_{zu} und h_{ab} bestimmen zu können, muss jeweils Temperatur und Druck des Kältemittels an den Messstellen bekannt sein. Der Kältemittelmassenstrom kann aufgrund der Kontinuität an einer beliebigen Stelle des Kältemittelkreislaufs gemessen werden.

Folgende Messgrößen müssen bestimmt werden:

- Massenstrom im Kältemittelkreislauf
- Temperatur und Druck vor und nach dem Kondensator
- Stromleistung P_e welche von Innen- und Außengerät aufgenommen wird

6.2 Lage des Messsystems in der Wärmepumpenanlage

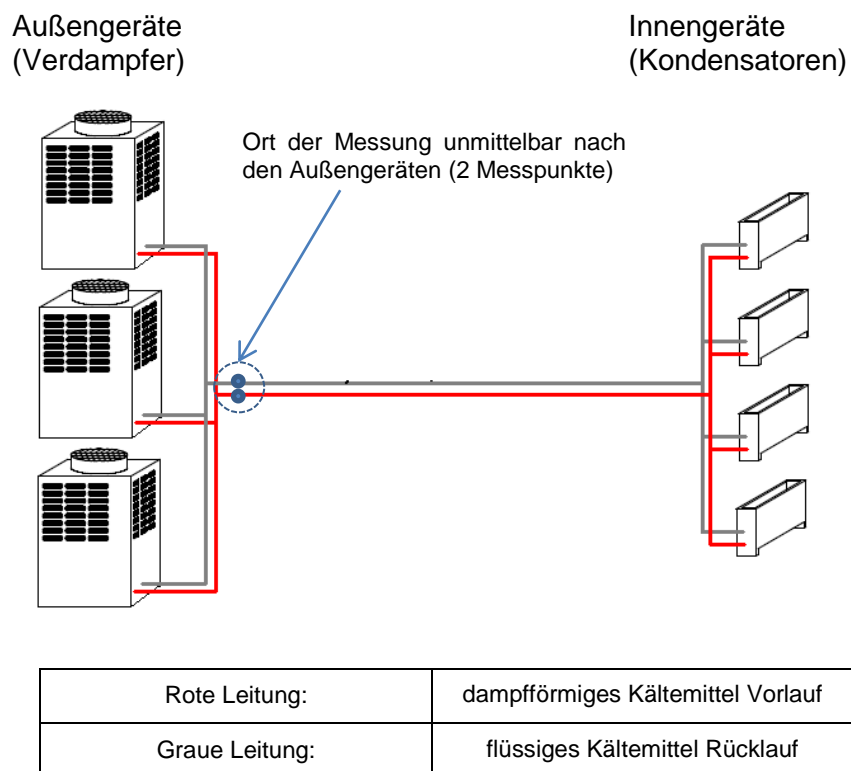


Abbildung 80: Lage des Messsystems in einem Wärmepumpenkreis

Meist sind in einem Heizkreis mehrere Innengeräte mit mehreren Außengeräten durch eine gemeinsame Vor- und Rücklaufkältemittelleitung verbunden. Der Kältemittelmassenstrom kann im Vor- oder Rücklauf gemessen werden (Abbildung 79). Um einen Wärmepumpenkreis vermessen zu können, bietet es sich an, die Wärmemenge unmittelbar nach der Zusammenführung der Leitungen der Außengeräte zu messen. Das Platzangebot für die Installation eines Messsystems ist an dieser Stelle höher als unmittelbar vor der Verzweigung der gemeinsamen Kältemittelleitung zu den einzelnen Innengeräten. In Abbildung 80 ist die Lage der Messung in einem schematischen Wärmepumpenkreis dargestellt.

Konzept zur Vermessung der Wärmepumpe

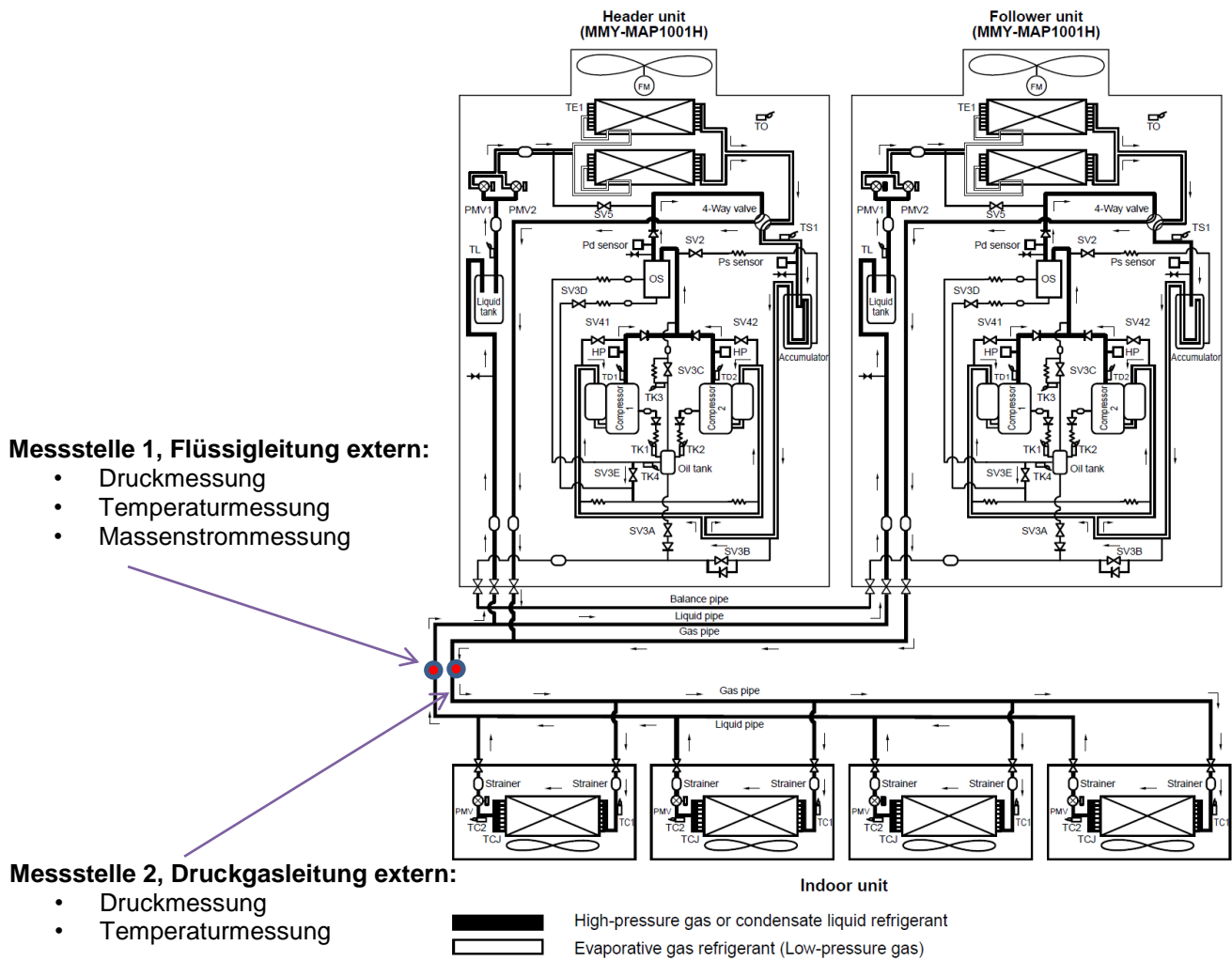


Abbildung 81: Externe Messstellen im Kältemittelkreis einer Außeneinheit

6.3 Bestimmung des Messbereichs Nord- und Südtrakt:

Um ein geeignetes Messverfahren auswählen zu können, muss zuerst der Messbereich der Messung bestimmt werden. In Abbildung 82 ist der Wärmepumpenkreislauf im τ/h -Diagramm des Kältemittels R410A im Betriebspunkt dargestellt. In Tabelle 58 und 60 sind die Bereiche der zu messenden Größen angeführt. Die niedrigeren Strömungsgeschwindigkeiten im Schlosstrakt im Gegensatz zum Nordtrakt ergeben sich durch die geringere Nennwärmeleistung der Innengeräte. Die Eigenschaften des Kältemittels sind in Tabelle 1 im Anhang angeführt. Die Enthalpiedifferenz im Kondensator wurde mittels Stoffwertprogramm EES (Klein, 9.1.2012) bestimmt.

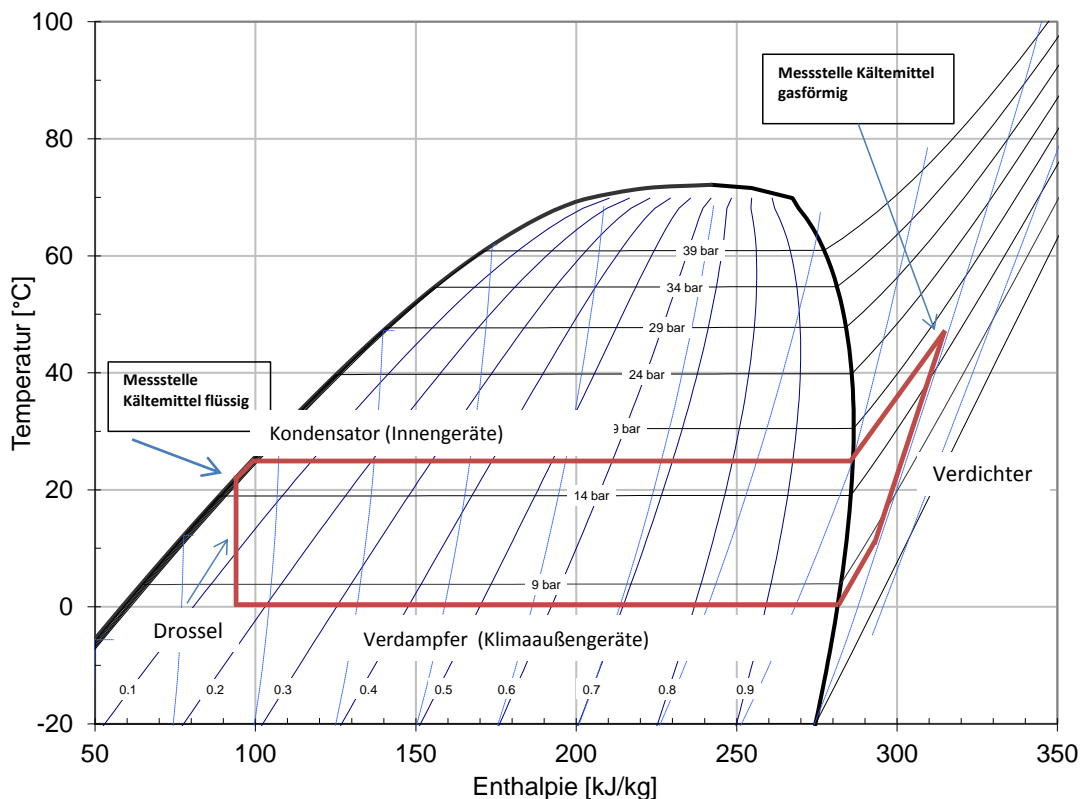


Abbildung 82: Temperatur - Enthalpie Diagramm der Wärmepumpe im Auslegungspunkt

Tabelle 58: Physikalische Eigenschaften des Kältemittels an den Messstellen

Maximaler / Minimaler Druck in der Flüssigleitung:	35 / 17 bar
Maximale / Minimale Temperatur in der Flüssigleitung:	50 / 15 °C
Strömungsgeschwindigkeit in der Flüssigleitung :	0,63 bis 2,1 m/s Nordtrakt, (d = 15,9 x 1) 0,46 bis 1,53 m/s Schlosstrakt (d = 15,9 x 1)
Maximaler / Minimaler Druck gasseitig:	35 / 17 bar (d = 34,9 x 1,5)
Maximale / Minimale Temperatur gasseitig:	90 / 45 °C (d = 34,9 x 1,5)
Strömungsgeschwindigkeit gasseitig:	2,1 bis 7 m/sec Nordtrakt, 1,5 bis 5 m/sec Schlosstrakt

Tabelle 59: Strömungsgeschwindigkeiten an den Messstellen

Stömungsgeschwindigkeiten des Kältemittels an möglichen Messstellen			
Kondensationstemperatur (Annahme)	t_{Kond}	[°C]	25
Verdampfungstemperatur (Annahme)	t_{verd}	[°C]	0
Überhitzung vor dem Kompressor (Annahme)	t_{sup}	[°C]	10
Unterkühlung vor der Drossel (Annahme)	t_{sub}	[°C]	3
Enthalpiedifferenz Kondensator	h_{kon}	[kJ/kg]	222
maximale Wärmeleistung Kondensator	Q_{kon}	[kW]	76
maximaler Kältemittelmassenstrom	\dot{m}	[kg/s]	0.343
minimaler Kältemittelmassenstrom	\dot{m}	[kg/s]	0.102
Mindestteillast		[%]	30
Messung vor der Drossel (flüssig)			
Dichte Kältemittel vor der Drossel	ρ	[kg/m ³]	1062
Durchmesser Kupferrohr Messstelle	$D_{\text{flüssig}}$	[mm]	13.9
Querschnittsfläche Messstelle	$A_{\text{flüssig}}$	[mm ²]	152
maximale Strömungsgeschwindigkeit	$v_{\text{Ström_max}}$	[m/sec]	<u>2.12</u>
minimale Strömungsgeschwindigkeit	$v_{\text{Ström_min}}$	[m/sec]	<u>0.64</u>
Messung nach dem Kompressor (gasförmig)			
Dichte Kältemittel nach dem Kompressor	ρ	[kg/m ³]	55
Durchmesser Kupferrohr Messstelle	$D_{\text{flüssig}}$	[mm]	31.9
Querschnittsfläche Messstelle	$A_{\text{flüssig}}$	[mm ²]	798.8
maximale Strömungsgeschwindigkeit	$v_{\text{Ström_max}}$	[m/s]	<u>7.81</u>
minimale Strömungsgeschwindigkeit	$v_{\text{Ström_min}}$	[m/s]	<u>2.34</u>

Das vorhin beschriebene Messsystem beruht auf der kältemittelseitigen Heizenergiebestimmung. Die luftseitige Heizenergiebestimmung ist wesentlich aufwendiger als die kältemittelseitige. Grund dafür ist die höhere Anzahl der zu vermessenden Innengeräte. Zum Beispiel gibt es im Nordtrakt 2 Außeneinheiten, welche bei kältemittelseitiger Heizenergiemessung vermessen werden müssen, jedoch 14 Innengeräte die andernfalls zu vermessen wären. Ein Vorteil der luftseitigen Heizenergiebestimmung besteht in der Berücksichtigung der Kältemittelleitungsverluste zwischen den Außen und Innengeräten.

In an diese Diplomarbeit anschließenden Arbeiten sollen zur Effizienzbestimmung drei Außeneinheiten vermessen werden. Ein Vorschlag der zu vermessenden Außeneinheiten ergibt sich aus der Veranstaltungübersicht 2011 (Tabelle 42). Ein weiterer Vorteil für die Installation der Messgeräte ist, dass diese Außengeräte in unmittelbarer Nähe liegen.

- 1 x Nordtrakt Außeneinheit für das Gewölbe und die Bar
- 1 x Nordtrakt Außeneinheit für die Galerie und die Concert Hall
- 1 x Schlosstrakt Außeneinheit für die Rittersäle.

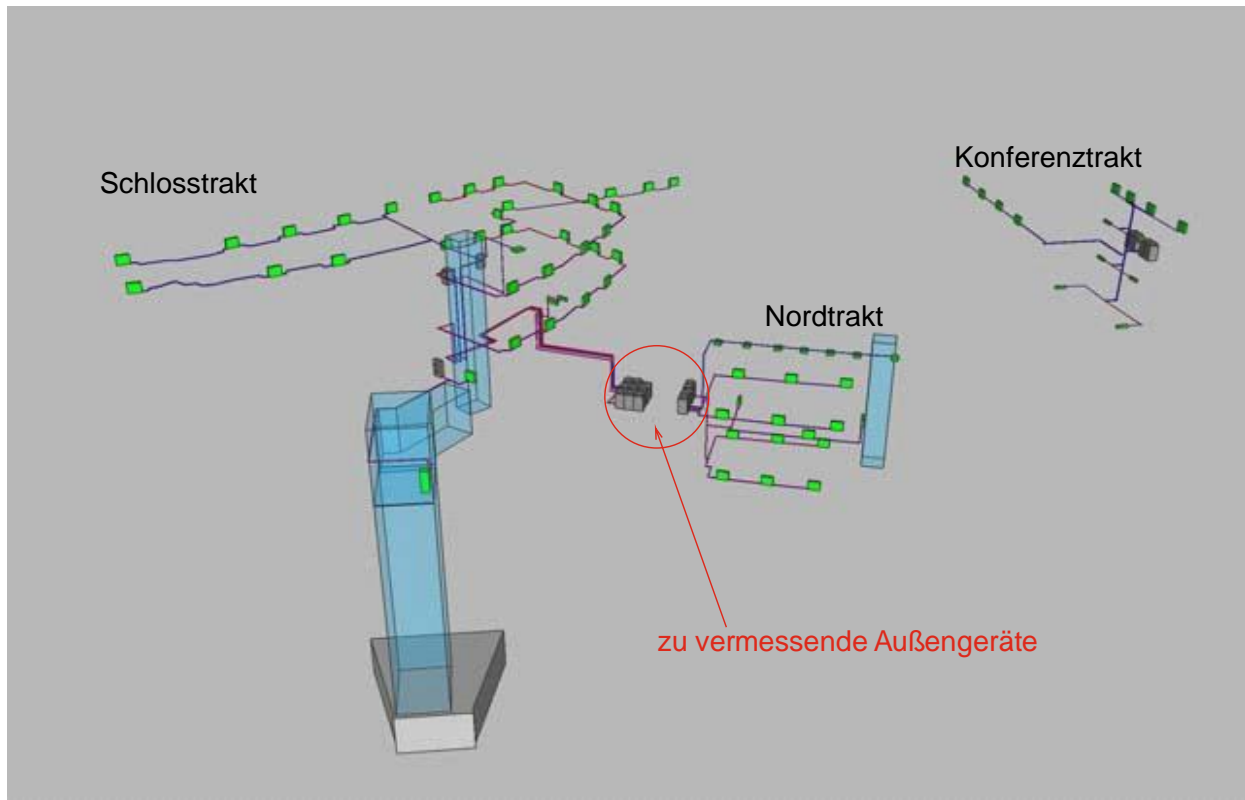


Abbildung 83: Lage der zu vermessenden Außengeräte (<http://www.burg-rabenstein.at>, 24.1.2012)

Da sich die zu vermessenden Außengeräte des Nord- und Schlosstraktes in unmittelbarer Nähe befinden und 2011 am häufigsten in Betrieb waren, wurden diese zur Vermessung ausgewählt (Abbildung 83).

6.4 Messgeräte zur Massenstrombestimmung

Der Massenstrom kann grundsätzlich an einer beliebigen Stelle im Kältemittelkreis gemessen werden. In Abhängigkeit von Druck und Temperatur des Kältemittels liegt das Kältemittel entweder in flüssigem oder gasförmigem Zustand vor. Befindet sich die Messstelle unmittelbar vor oder nach dem Kompressor, ist das Kältemittel gasförmig, unmittelbar vor der Drossel flüssig.

Im folgenden Teil sind einige Massenstrommessverfahren zur Massenstrommessung in Rohrleitungen angeführt und ihre Eigenschaften beschrieben.

- a) Magnetisch Induktive Messung (MID)
- b) Ultraschalldurchflussmessung
- c) Coriolismessverfahren
- d) Wirbelstrommessung
- e) Thermische Massenstrommessung

a) Magnetisch Induktive Messung MID:

Beim MID wird das nicht ferromagnetische Messrohr mit einem elektrisch leitfähigen Medium durchströmt. Durch die am Rohr angeordneten stromdurchflossenen Magnetspulen wird im Messrohr ein Magnetfeld erzeugt. Durch die Durchströmung des Messrohrs mit einem leitfähigen Medium wird an die am Messrohr angebrachten Elektroden eine Spannung induziert, welche proportional zur Fließgeschwindigkeit und somit als ein Maß für die Höhe des Massenstroms ausgewertet werden kann. In Abbildung 84 ist das Messprinzip des MID-Messverfahrens dargestellt.

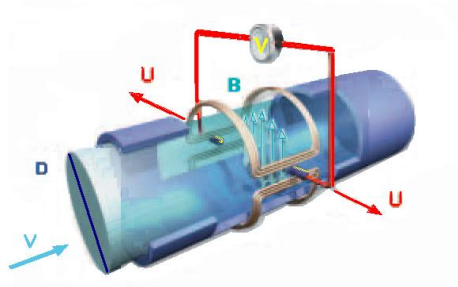


Abbildung 84: Messprinzip MID (Grundlagen Magnetisch Induktive Durchflusmessung Krohne, Nov. 2003)

Eigenschaften MID:

- Nicht verwendbar bei Luftblasen im Strömungsmedium
- Medium muss elektrisch leitend sein $> 5\mu\text{S}/\text{cm}$ (R410A $0,0255\ \mu\text{S}/\text{cm}$)
- Nicht geeignet für Kohlenwasserstoffe als Messmedium
- Genauigkeit 0.2-0.5 %
- Maximale Temperatur des Mediums von 200°C
- Mindestströmungsgeschwindigkeit $0,5\ \text{m}/\text{sec}$
- Probleme bei Ablagerungen im Querschnitt
- Ein- und Auslaufstrecken müssen berücksichtigt werden 10 bis $20 D_{\text{Rohr}}$
- Äußerst geringe Druckverluste

b) Ultraschallmessung:

Bei der Ultraschallmessung wird ein Schallsignal durch das fließende Medium gesendet (Abbildung 85). Bei der Laufzeitmessung ist der Zeitunterschied des ausgesendeten und empfangenen Signals das Maß für die Geschwindigkeit, bei der Doppler-Ultraschallmessung die Frequenzverschiebung.

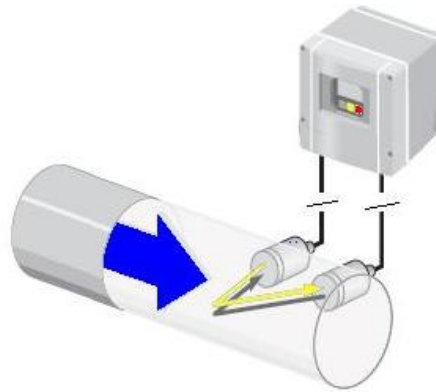


Abbildung 85: Ultraschallmassenstrommessverfahren (<http://www.de.endress.com>, 4.5.2012)

Eigenschaften Ultraschallmessverfahren:

- Nur für Flüssigkeiten geeignet
- Kältemittelkreis muss beim „clamp on“ Messverfahren nicht geöffnet werden, einfachere Installation
- Laufzeitmessung nicht verwendbar bei Luftblasen im Strömungsmedium, Medium muss homogen sein und einen möglichst geringen Feststoffanteil haben.
- Probleme bei Ablagerungen im Rohrquerschnitt der Messung
- Genauigkeit mobile Messung mit auf dem Rohr aufgesetzten Sensor „clamp on“ 2-3%
- Genauigkeit bei Messung mit Sensor im Rohr „in line“ 0,5%
- Ein- und Auslaufstrecken müssen berücksichtigt werden bei Messung „clamp on“ 15 bis 20 x D_{Rohr} bei „in line“ Ultraschallmessung 5 bis 15 x D_{Rohr}

c) Coriolismessung:

Bei diesem Messverfahren wird die Kraft gemessen, welche durch die Erdrotation auf eine Masse (strömendes Medium) ausübt wird. Das im Messrohr mit der Geschwindigkeit v strömende Medium wird quer zur Strömungsrichtung in Schwingung (Schwingfrequenz ω) gesetzt (Abbildung 86). Dabei treten proportional zum Massenstrom Corioliskräfte F_c auf, welche durch einen Messsensor gemessen werden.

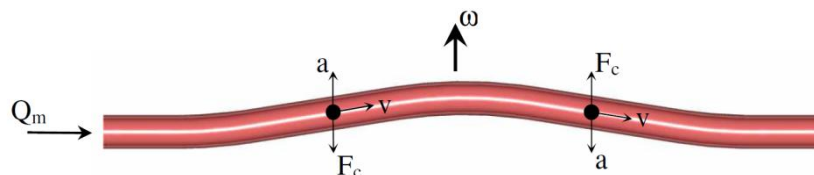


Abbildung 86: Messprinzip Coriolismessung (Steffen, 2004)

Eigenschaften Coriolismessverfahren:

- Höherer Druckverlust als bei den anderen angeführten Messverfahren, Abschätzung im Anhang (Kapitel 9.1)
- Durchmesser des Messaufnehmers DN 8 bis DN 80
- Hohe Genauigkeiten möglich, je nach Messgerät bis +/- 0,15%
- Unabhängig von physikalischen Eigenschaften des Mediums
- Es müssen keine Ein- und Auslaufstrecken berücksichtigt werden
- Massenstrommessung unabhängig von der Zusammensetzung
- Für gasförmige und flüssige Medien einsetzbar

d) Wirbelstrommessung (VORTEX):

Dabei wird die Wirbelfrequenz hinter einem Störkörper, welcher sich im Strömungsmedium befindet, gemessen. In Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit ändert sich die Wirbelfrequenz, welche ein Maß für den Durchfluss darstellt.

Eigenschaften

- Temperaturbereich: -200 bis 400 °C
- Genauigkeit +/- 2 %
- Ein- und Auslaufstrecken müssen berücksichtigt werden: 15 bis 50 x D_{Rohr}
- Bei Flüssigkeiten möglichst steigend durchströmter Einbau
- Es befindet sich ein Staukörper im Strömungsmedium
- Nur für dünnflüssige Medien wie Gase Dampf und Flüssigkeiten geeignet

e) Thermische Massenstrommessung:

Bei der thermischen Massenstrommessung wird ein Temperatursensor, welcher sich im Messrohr befindet, vom Medium umströmt. In Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit ändert sich die Temperatur des Sensors. Um die Temperatur des Sensors konstant zu halten, wird er elektrisch beheizt. Der Heizstrom ist ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit und somit für den Durchfluss.

- Nur für Gase ohne Feuchtigkeitstropfen geeignet
- Ein- und Auslaufstrecken müssen berücksichtigt werden 15 bis 50 x D_{Rohr}
- Nur im unteren Temperaturbereich einsetzbar max. 70 bis 100 °C
- Geringfügiger Druckverlust
- Genauigkeit unter 3 %

6.4.2 Auswahl eines geeigneten Messgerätes:

Massenstrommessung:

Da es sich bei unserer Messung um ein Kältemittel handelt, welches zu den Kohlenwasserstoffen zählt, ist das magnetisch induktive Massenstrommessverfahren von vorne herein auszuschließen. Die Genauigkeit des „clamp on“ Ultraschallmessverfahrens ist für unsere Messung nicht ausreichend, das „in line“ Messverfahren bei der Firma Endress und Hauser derzeit (noch für ein Jahr) nur für einen 25 mm Rohrdurchmesser erhältlich, welches bei der Installation aufgrund des unpassenden Rohrdurchmessers zu einen höheren Installationsaufwand führt. Da die Kosten der Coriolismassenstrommessung nur geringfügig höher sind als bei Messverfahren vergleichbarer Genauigkeit, das Messverfahren eine hohe Genauigkeit bietet, keine Ein- und Auslaufstrecken berücksichtigt werden müssen, auf der flüssigen und gasförmigen Seite eingesetzt werden kann und der Druckverlust nicht allzu groß ist (Berechnung siehe Anhang 9.1), wird dieses Messverfahren bevorzugt.

Druckmessung:

Zur Druckmessung soll ein Absolutdruckmessgerät zum Einsatz kommen. Der Systemdruck wirkt auf die Prozessmembrane des Druckmittlers und wird von einer Druckmittlerfüllflüssigkeit auf die Prozessmembrane des Sensors übertragen. Die Prozessmembrane wird ausgelenkt und eine Füllflüssigkeit überträgt den Druck auf eine Widerstandmessbrücke. Die druckabhängige Änderung der Brückenausgangsspannung wird gemessen und ausgewertet (http://www.de.endress.com/#products/absolut_ueberdruck, 4.5.2012).

Temperaturmessung:

Die Temperatur soll mittels Pt100 Widerstandsthermometer gemessen werden. Dieser ändert in Abhängigkeit der Temperatur seinen Widerstand, welcher gemessen wird.

Strommengenmessung:

Für die Strommengenmessung soll ein Multifunktionales Leistungsmessgerät zum Einsatz kommen. Dieses kann die Wirk-, Blind-, und Scheinleistung eines 3-Phasen Wechselstroms messen und dadurch die Leistungsaufnahme der Außengeräte bestimmen. Dafür werden die drei Ströme und Spannungen der Phasen, deren Phasenverschiebung zueinander und die Frequenz gemessen. Aufgrund der geringen Leistung der Innengeräte (Gebläseleistung von 40-100W je Innengerät entspricht etwa 1 % der Gesamtleistung) wird auf eine Stromleistungsmessung der Innengeräte verzichtet. Da die meisten 3-phasen Starkstrom Leistungsmessgeräte für zu geringen Nennstrom ausgelegt sind, wird hierzu zusätzlich ein Stromwandler benötigt.

6.5 Möglichkeiten zur Messdatenerfassung

Die von den Messgeräten erfassten Daten müssen zur Auswertung an das Institut für Wärmetechnik (IWT) an der TU-Graz übermittelt werden. Dazu stehen zwei Varianten zur Auswahl. In der Variante „IWT-Datenerfassung“ (Abbildung 87) soll das Institut die komplette Datenerfassung wie Messkonzept, Kalibrierung, Einrichtung, Betreuung, Datenerfassung- und Auswertung übernehmen, in der Variante „Aircond-Datenerfassung“ (Abbildung 88) sollen die gemessenen Daten von der Firma Aircond in das vorhandene LON-Netzwerk eingebunden werden, das Institut wäre für das Erstellen des Messkonzeptes, die Kalibrierung und Datenauswertung zuständig. In Abbildung 87 ist die IWT-Datenerfassung anhand eines Schemas dargestellt. Dabei werden Druck, Temperatur und der Kältemittelmassenstrom an den Messpunkten im Kältemittelkreislauf und die Stromaufnahme der Außengeräte von den Messgeräten gemessen und mit einem analogen Signal an eine Siemens Analogbaugruppe gesendet, welche die Werte im Anschluss über den Prozessor an den bestehenden Testo-Server der Burg Rabenstein übermittelt. Messwerte für Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte, welche ebenfalls an den Testo-Server übermittelt werden, können somit zusammen mit den vorhin erfassten Werten zur Auswertung an das IWT gesendet werden.

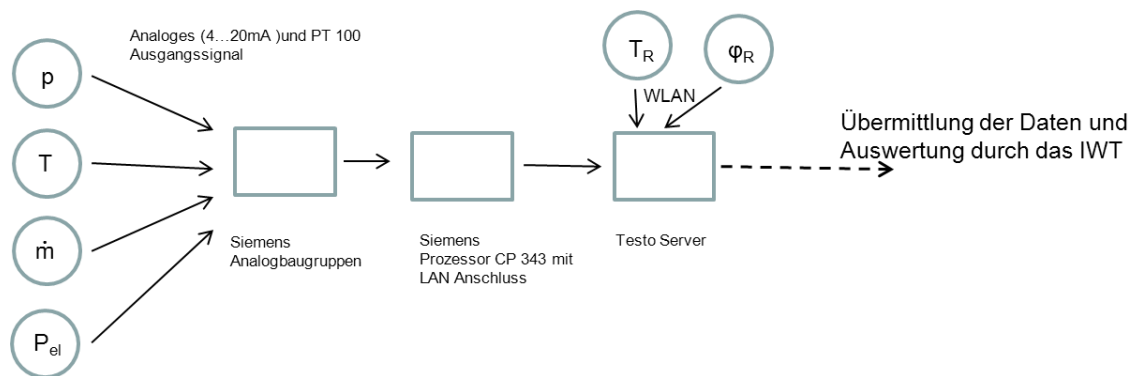


Abbildung 87: Variante "IWT-Datenerfassung"

In der Variante „Aircond-Datenerfassung“ (Abbildung 88) werden die Messdaten für Druck, Temperatur und Massenstrom mit einer Profibus-LON Netzwerkschnittstelle über das vorhandene LON-Netzwerk an das Interface der Firma Aircond gesendet und im Anschluss an das IWT übermittelt. Messwerte für Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte werden separat über den bereits bestehenden Testo-Server übermittelt.

Konzept zur Vermessung der Wärmepumpe

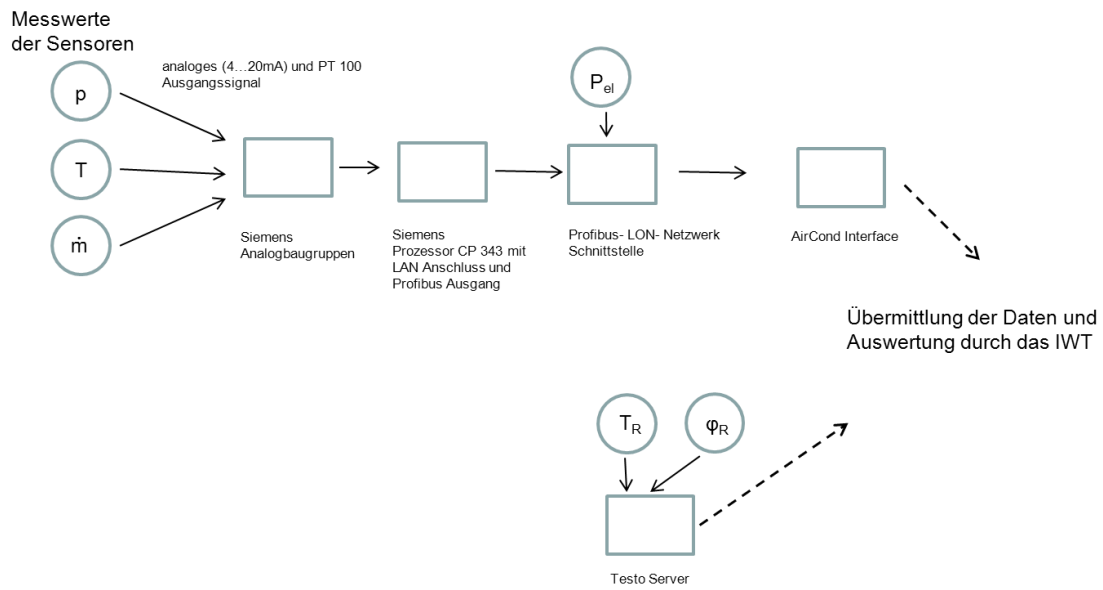


Abbildung 88: Variante "Aircond-Datenerfassung"

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Beheizung der unter Denkmalschutz stehenden Burg Rabenstein mit einer Multisplit Luft/Luft-Wärmepumpenanlage mit variabel regelbarem Kältemittelfluss. Diese besteht aus elf Wärmepumpenkreisen mit je ein bis drei Außengeräten und 2 bis 12 Innengeräten. Die Heizungsanlage mit ihren Komponenten wurde dokumentiert, um den Leser über den Aufbau der Anlage und ihrer Eigenschaften einen Überblick zu verschaffen und um Diplomanden, die sich in Zukunft mit der Burg Rabenstein und vor allem ihrer Wärmepumpenanlage beschäftigen, den Einstieg in die Arbeit zu erleichtern.

Ein Ziel der Arbeit war es einerseits, eine ideale Regelstrategie für einen sporadisch genutzten Trakt in der Burg zu finden, um den Heizenergiebedarf zu minimieren, ohne auf ein behagliches Klima in den Zeiten der Nutzung zu verzichten. Dabei wurden thermische Gebäudesimulationen mit dem Programm TRNSYS anhand des Nordtraktes der Burganlage durchgeführt. Es wurden unter anderem der Nordtrakt mit der Verschattung der umgebenden Bauten mit dem Programm Google SketchUp abgebildet, Klimadaten aufbereitet und Eingabedaten des Gebäudes wie Lage, Ausrichtung, interne Speichermassen, Wand- und Fensteraufbauten, Erdreichtemperaturen, sowie die internen Lasten bestimmt.

Um den Heizenergiebedarf für kommende Jahre mit einer unterschiedlichen jährlichen Auslastung abschätzen zu können, wurde ausgehend vom Jahr 2011, noch je eine Variante mit einer zu erwartenden Basisauslastung und eine Variante mit Topauslastung simuliert. In der Variante Basisauslastung wird von einer künftigen durchschnittlichen Nordtraktauslastung, bei der Variante Topauslastung von einer maximalen Auslastung des Nordtraktes ausgegangen. Dabei wurde die Behaglichkeit bei einer Beheizung auf 22 °C Raumlufttemperatur, einer Vorheizdauer von 24 h und einer Absenkttemperatur auf 10 °C bestimmt und Jahresdauerlinien der Heizlast in den beheizten Zonen abgebildet. Aus den Jahresdauerlinien ist zu erkennen, dass nur ein geringer Teil der installierten Heizleistung benötigt wird. Ein behaglicher Zustand ist vor allem in den Zonen mit hoher Speichermasse nur sehr selten zu erreichen, da bei diesen Randbedingungen ein rechtzeitiges Erwärmen der Wandumschließungsflächen nicht möglich ist.

Aufgrund der geringen Anzahl von Veranstaltungen im Nordtrakt konnte festgestellt werden, dass der Effekt der Energieeinsparung durch Absenken der Raumlufttemperatur außerhalb der Veranstaltungen am größten ist (Tabelle 60). Jedoch muss bei einer niedrigeren Absenkttemperatur die Heizung bei der Wiederaufheizung mit einem höheren Temperaturniveau betrieben werden bzw. die Vorheizdauer erhöht werden, um während den Veranstaltungen einen behaglichen Raumzustand zu erzielen. In der Tabelle 61 sind die operativen Raumtemperaturen bei Variation der Absenkttemperatur und Vorheizdauer bei einer konstanten Vorheiztemperatur von 22 °C angegeben. Aufgrund des niedrigen HWB sind die Varianten mit niedriger Absenkttemperaturen und längeren Vorheizdauer zu bevorzugen. Längere Vorheizdauern sind aber vor allem bei kurzfristig geplanten Veranstaltungen nicht möglich.

Tabelle 60: jährlicher Heizwärmebedarf [kWh/a] und [kWh/m²a] und des Nordtraktes bei unterschiedlichen Varianten ganzjährig beheizt (vergleiche mit Tabelle 62)

		Vorheizdauer der Heizung vor der Veranstaltung [h]			
		12	24	36	48
Absenkttemperatur vor der Beheizung [°C]	10	32831	35002	37580	39531
		97	107	111	117
	14	52505	54036	56095	57600
		156	160	166	171
	18	77992	78770	79860	80690
		231	234	237	239

Tabelle 61: mittlere operative Temperaturen bei Belegung, Variation der Absenkttemperatur und Vorheizdauer vgl. mit Tabelle 61)

			Vorheizdauer der Heizung vor der Veranstaltung [h]			
			12	24	36	48
Absenkttemperatur vor der Beheizung [°C]	10	Gewölbe Zone 01	18.42	18.93	19.24	19.46
		Bar Zone 04	20.79	21.12	21.24	21.31
		Concert H. Zone 07	19.53	19.87	20.03	20.12
	14	Gewölbe Zone 01	19.01	19.39	19.62	19.78
		Bar Zone 04	21.45	21.48	21.32	21.37
		Concert H. Zone 07	20.40	20.43	20.10	20.17
	18	Gewölbe Zone 01	19.74	20.61	20.68	20.16
		Bar Zone 04	21.21	21.86	21.88	21.44
		Concert H. Zone 07	19.99	20.80	20.83	20.23

Außerdem wurde mittels thermischer Gebäudesimulation der spezifische Normheizwärmebedarf des Nordtraktes bestimmt. Aufgrund der alleinigen Dämmung des Gewölbebodens und der Decke des Dachgeschosses des Nordtraktes ergab sich ein Normheizwärmebedarf von 204 kWh/m²a, welcher weit über dem eines Niedrigenergiehauses von ca. 50 kWh/m²a, aber im Bereich vergleichbarer Altbauten liegt. In weiterer Folge wurde der spezifische Normheizwärmebedarf ungedämmter Bereiche der Burganlage, durch Entfernen der Dämmung im Nordtrakt, bestimmt. Dieser liegt bei etwa 256 kWh/m²a. Daraus ist ersichtlich, dass allein durch die Dämmung des Gewölbes und der Decke des Dachgeschosses der restlichen Burganlage, der Heizwärmebedarf um 27.5 % gesenkt werden kann.

Bei einer Nutzfläche der Burg Rabenstein von 2400 m² ergibt sich beim derzeitigen Aufbau, ein jährlicher Norm-HWB von 732440 kWh/a, welcher durch eine Dämmung des Gewölbebodens

und der Decke des Dachgeschosses der kompletten Burg um 113360 kWh/a gesenkt werden könnte.

In einer weiteren Gebäudesimulation wurde die Normheizlast der beheizten thermischen Zonen des Nordtraktes bestimmt. Durch den Vergleich der in der Simulation bestimmten Heizlast mit der installierten Heizleistung konnte festgestellt werden, dass die Heizungsanlage im Nordtrakt bis zu 400 % überdimensioniert ist. Durch diese massive Überdimensionierung kann eine kurzfristige Aufheizung der Raumlufttemperatur ermöglicht werden.

In einer weiteren Simulation wurde der Einfluss der Absenkttemperatur, Vorheiztemperaturen und des Abschaltzeitpunktes der Heizung vor den Veranstaltungen, auf die Behaglichkeit untersucht. Die Vorheiztemperaturen in den beheizten Zonen wurden daraufhin geregelt, dass nach der zur Verfügung stehenden Vorheizzeit ein behaglicher Zustand vorherrscht. Dabei konnte die Vorheiztemperatur in der Bar, welche sich zwischen den angrenzenden beheizten Zonen befindet, aufgrund des Wärmeübergangs der umliegenden Zonen, gesenkt werden. Aus der Simulation ist zu erkennen, dass vor allem die Behaglichkeit bei einem längeren Zeitraum zwischen der Vorheizung und der Veranstaltung abnimmt.

Zuletzt wurde zur Bestimmung des COP und SPF Wertes der Luft/Luft-Wärmepumpe ein Messkonzept entworfen, welches die im Kältemittelkreislauf an die Innengeräte abgegebene Wärmeleistung, und die dafür benötigte Leistungsaufnahme der Wärmepumpe misst. Die Wärmeleistung soll durch Messung des Kältemittelmassenstroms, Druck und Temperaturen im Kältemittelkreislauf, die Stromaufnahme mittels Leistungsmessgerät, bestimmt werden. In an diese Diplomarbeit anschließende Arbeiten soll dieses Messsystem in drei Wärmepumpenheizungskreise in der Burg Rabenstein installiert werden. Durch Aufzeichnung der aus den Messungen erhaltenen Messwerte über einen längeren Zeitraum (Heizperioden) wird es möglich sein, die Effizienz der Wärmepumpenanlage bei unterschiedlichen Randbedingungen zu bestimmen.

In weiterer Folge wird es möglich sein, durch Aufzeichnung der Raumlufttemperaturen, Absenkttemperaturen, Vorheizdauer- und Temperaturen der beheizten Zonen die bestehenden thermischen Gebäudesimulationen daraufhin abzuändern und anhand der dabei erhaltenen Ergebnisse zu validieren.

8 LITERATUR

B. Keller, S. Rutz (2011): „Pinpoint – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigen Bauen“, 2. Aufl. © vdf Hochschulverlag 2011

C.F. Müller (2008): Taschenbuch der Kältetechnik, Heidelberg, München, Landsber, Berlin, Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH, ISBN 978-3-7880-7824-9

Clemens Joachim (2000) : „Entwicklung eines einfachen Modells zur Abschätzung der sommerlichen Überwärmung in Gebäuden, Diplomarbeit Physik, Universität Siegen

Dassault Systèmes (2004): 3-d Zeichenprogramm „Catia“ Version 5.15.

DIN EN 12831 (2003): Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast

Energie-Control Austria (2011): „Statistikbroschüre 2011“, Wien

Gertis K. und Hauser G. (1975): „Energieeinsparung durch instationäres Heizen in Wohnungen“, HLH 26 Nr.5 Mai, Institut für Bauphysik der Fraunhofer-Gesellschaft; Verlag Wilhelm Ernst & Sohn KG, Berlin, München, Düsseldorf

Helwig Runa Tabea (2005): „Thermische Behaglichkeit“, TU München

Kasuda, T. (1965) and Archenbach: “P.R. "Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States”, ASHRAE Transactions, Vol. 71, Part 1,

Klein S.A. (9.1.2012): “Engineering Equation Solver”, Transsolar Energietechnik GmbH Stuttgart

Krainer Wolfgang (2009): „Bodenschutzbericht 2009“, Graz, FA10B - Landwirtschaftliches Versuchszentrum, Referat Boden- und Pflanzenanalytik

ÖNORM B 8110-5 (2010): „Wärmeschutz im Hochbau“, 01.01.2010, Österreichisches Normungsinstitut

OENORM_ON_V_31 (1.12.2001): „Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen“, Wien, Österreichisches Normungsinstitut

Plag Ralf (2012): „U-Wert-Rechner“, <http://www.u-wert.net>, Mannheim

Polierplan (2007): „Schnittzeichnungen Burg Rabenstein“, Frohnleiten, Burg Rabenstein Informations- und Betriebs GesmbH

Recknagel Hermann, Sprenger Eberhard, Schramek Ernst-Rudolf (2007): „Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik“, Oldenbourg Industrieverlag München, 73. Auflage

Steffen Roland (2004): „Industrielle Durchflussmessung“

TESS LLC (2010): “Simulation Studio Trnsys 17”, (Transient System Simulation) Version 17.00.0019

Toshiba Carrier Corporation (2004): „TOSHIBA Service Manual“, Tokyo Japan

Transsolar (2010): „TRNBuild 2.0“, TRANSSOLAR Energietechnik GmbH, Version 17.00.0019

Trimble Navigation Ltd. (2010): “Google SketchUp Version 8.0.4811” © 2010 Google

VDI-2078 (2012): “Berechnung von Kühllast und Raumtemperaturen von Räumen und Gebäuden”

ZAMG (2011): Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, „Wetterdaten 2011 Frohnleiten“http://www.zamg.ac.at/produkte/thema/klimainformation/daten_statistiken

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Geographische Lage der Burg Rabenstein (http://www.burg-rabenstein.at/de/burg-rabenstein/anfahrt , 12.4.2012).....	3
Abbildung 2: Burg Rabenstein Ansicht von Norden (http://www.stmk.wifi.at 12.4.2012)	4
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Burganlage (http://www.burg-rabenstein.at , 20.5.2012).....	4
Abbildung 4: t-s Diagramm Kompressionswärmepumpe	5
Abbildung 5: Grundkomponenten einer Wärmepumpe	5
Abbildung 6: Multisplit Klimaanlage (http://www.nemec.at/klima-multisplit.htm , 17.4.2012)	10
Abbildung 7: Mögliche Leitungsverzweigungen bei Multisplit Klimaanlagen (http://www.toshiba-klima.net/katalog , 15.3.2012).....	10
Abbildung 8: Wärmepumpenanlage der Hoheggerkeusche (http://www.burg-rabenstein.at/de/heating-for-history , 13.4.2012)	11
Abbildung 9: Wärmepumpenanlage im Schloss-, Süd-, Nord- und Konferenztrakt	12
Abbildung 10: Aufbau des Klima Innengeräts (Toshiba Service Manual, 2004)	14
Abbildung 11: MMU-AP 0121/0151MH (http://www.toshiba-klima.net/produkte , 13.4.2012)	17
Abbildung 12: MMK-AP0241H (http://www.toshiba-klima.net/produkte , 13.4.2012)	18
Abbildung 13: MML-AP0241H (http://www.toshiba-klima.net/produkte , 13.4.2012)	18
Abbildung 14: MML-AP0241BH (http://www.toshiba-klima.net/produkte , 13.4.2012)	18
Abbildung 15: MMF-AP0481H (http://www.toshiba-klima.net/produkte , 13.4.2012)	18
Abbildung 16: Aufbau des Außengerätes (Toshiba Service Manual, 2004)	19
Abbildung 17: Schematischer Aufbau der Außengeräte (Toshiba Service Manual, 2004)	20
Abbildung 18: Anlage im Heizbetrieb (Toshiba Service Manual, 2004).....	21
Abbildung 19: Anlage im Kühlbetrieb (Toshiba Service Manual, 2004).....	22
Abbildung 20: Außengerät MMY-MAP 0501HT8/0601HT8 (http://www.toshiba-klima.net/produkte , 13.4.2012)	23
Abbildung 21: Außengerät MMY-MAP 801HT8/1001HT8/1201HT8 (http://www.toshiba-klima.net/produkte , 13.4.2012)	23
Abbildung 22: Doppel Rollkolbenkompressor (http://www.toshiba-klima.net , 13.4.2012)	24
Abbildung 23: Regelcharakteristik der pulsgesteuerten Motorventile im Außengerät (Toshiba Service Manual, 2004).....	27
Abbildung 24: Nordtrakt Burg Rabenstein (Heimrath, 12.11. 2012)	29
Abbildung 25: Verlauf der Außenlufttemperatur, Global- und Diffusstrahlung und der Windgeschwindigkeit im Jahr 2011 am Standort Frohnleiten.....	31
Abbildung 26: Geologie am Standort der Burg Rabenstein, aus der GIS Steiermark (www.gis.steiermark.at , 10.1.2012)	34
Abbildung 27: ungestörte Erdreichtemperaturen in verschiedenen Tiefen am Beispiel Karbonatquarzit.....	35
Abbildung 28: Lage des Nordtraktes anhand des Grundrisses der Burg Rabenstein.....	36
Abbildung 29: Galerie (http://www.burg-rabenstein.at 3.3.2012).....	38
Abbildung 30: Gewölbe (http://www.burg-rabenstein.at 3.3.2012)	38
Abbildung 31: Bar mit Fensterfront (http://www.burg-rabenstein.at 3.3.2012)	38
Abbildung 32: Concert Hall (http://www.burg-rabenstein.at 3.3.2012).....	38
Abbildung 33: Lift im Stiegenhaus (http://www.burg-rabenstein.at 3.3.2012)	38
Abbildung 34: Thermische Zonen der Gebäudesimulation des Keller-, Erd- und des Ober- und Dachgeschosses.....	39
Abbildung 35: Nordtrakt unverschattet Ansicht von Südwesten	40
Abbildung 36: Nordtrakt unverschattet Ansicht von Nordosten	40
Abbildung 37: Verschattung des Nordtraktes durch Burgmauern und angrenzende Bauten	41
Abbildung 38: Temperaturverlauf des Notstromaggregatraums.....	46
Abbildung 39: Tagesverlauf des mechanischen Luftwechsels in Bar und Gewölbe	46
Abbildung 40: Dachaufbau (Polierplan Burg Rabenstein Längsschnitt 15.10.2007).....	51
Abbildung 41: Verteilung der internen Lasten des Gewölbes vom 28. März 2011 mit einer Belegung von 30 Personen, für die Zone 1 des Nordtraktes.....	58

Abbildung 42: Gegenüberstellung der Behaglichkeitsdiagramme DIN 1946 und EN ISO 7730.	59
Abbildung 43: Vergleich der Behaglichkeitsdiagramme anhand eines beheizten Raumes.....	60
Abbildung 44: Jahrestemperaturverlauf Zone 1 und 4 ohne Verschattung.....	61
Abbildung 45: Jahrestemperaturverlauf Zone 1 und 4 mit Verschattung durch Burgmauern.....	62
Abbildung 46: Jahrestemperaturverlauf Zone 1 und 4 mit Verschattung.....	62
Abbildung 47: Temperaturverläufe der unbeheizten Zonen 01 und 04 von 6. bis 16. Mai 2011 in Abhängigkeit der Verschattung.....	63
Abbildung 48: Gegenüberstellung Behaglichkeitsdiagramme EN ISO 7730 und DIN 1946 im Leerlauf ohne Verschattung	64
Abbildung 49: Änderung der Behaglichkeit in Abhängigkeit der Verschattung anhand der thermischen Zone 4 (Bar).....	65
Abbildung 50 Jahresraumlufttemperaturverläufe Nordtrakt Variante 2011 Gewölbe – Bar.....	67
Abbildung 51: Jahresraumlufttemperaturverläufe Nordtrakt Variante 2011 Stiegenhaus – Concert Hall	68
Abbildung 52: Jahresraumlufttemperaturverläufe Nordtrakt Variante 2011 Bar – Küche – WC - Vorraum	68
Abbildung 53: Temperaturverlauf Nordtrakt 15. Juni 2011.....	69
Abbildung 54: Temperaturverlauf Nordtrakt 9. bis 16. Dezember 2011 im Gewölbe	70
Abbildung 55: Energiebilanz des Nordtraktes 2011	71
Abbildung 56: Gegenüberstellung Behaglichkeitsdiagramme EN ISO 7730:2005 und DIN 1946 Variante 2011.....	72
Abbildung 57: Jahresraumlufttemperaturverläufe Variante Basisauslastung Gewölbe – Bar	74
Abbildung 58: Jahresraumlufttemperaturverläufe Variante Basisauslastung Concert Hall - Stiegenhaus	74
Abbildung 59: Jahrestemperaturverläufe Variante Basisauslastung	75
Abbildung 60: Temperaturverlauf 2. bis 6. April Variante Basisauslastung	75
Abbildung 61: Temperaturverlauf Nordtrakt 9. bis 10. Dezember Variante Basisauslastung.....	76
Abbildung 62: Energiebilanz des Nordtraktes Variante Basisauslastung	77
Abbildung 63: Gegenüberstellung Behaglichkeitsdiagramme EN ISO 7730 und DIN 1946 Variante Basisauslastung.....	78
Abbildung 64: Jahresraumlufttemperaturverläufe Variante Topauslastung Gewölbe - Bar.....	80
Abbildung 65: Jahresraumlufttemperaturverläufe Variante Topauslastung Concert Hall - Stiegenhaus	80
Abbildung 66: Jahrestemperaturverläufe Variante Topauslastung WC – Küche – Bar - Vorraum	81
Abbildung 67: Gegenüberstellung Behaglichkeitsdiagramme EN ISO 7730 und DIN 1946 Variante Topauslastung.....	82
Abbildung 68: Energiebilanz des Nordtraktes Variante Topauslastung.....	83
Abbildung 69: Variation der Vorheizdauer, Absenkttemperatur, Vorheiztemperatur eines Events	86
Abbildung 70: Behaglichkeit in der Bar in Abhängigkeit von der Vorheizungsdauer.....	87
Abbildung 71: Behaglichkeit im Gewölbe in Abhängigkeit von der Vorheizungsdauer	87
Abbildung 72: Behaglichkeit in der Concert Hall in Abhängigkeit von der Vorheizungsdauer....	88
Abbildung 73: Temperaturverläufe im Gewölbe bei einer Veranstaltung.....	90
Abbildung 74: operative Raumtemperatur Bar.....	92
Abbildung 75: operative Raumtemperatur Gewölbe	93
Abbildung 76: operative Raumtemperatur Concert Hall.....	93
Abbildung 77: Vergleich Behaglichkeitsdiagramme Bar im Nutzungszeitraum Heizperiode	96
Abbildung 78: Vergleich Behaglichkeitsdiagramme Gewölbe im Nutzungszeitraum Heizperiode	97
Abbildung 79: Vergleich Behaglichkeitsdiagramme Concert Hall im Nutzungszeitraum Heizperiode	98
Abbildung 80: Lage des Messsystems in einem Wärmepumpenkreis.....	101
Abbildung 81: Externe Messstellen im Kältemittelkreis einer Außeneinheit	102
Abbildung 82: Temperatur - Enthalpie Diagramm der Wärmepumpe im Auslegungspunkt	103

Abbildung 83: Lage der zu vermessenden Außengeräte (http://www.burg-rabenstein.at , 24.1.2012).....	105
Abbildung 84: Messprinzip MID (Grundlagen Magnetisch Induktive Durchflusmessung Krohne, Nov. 2003).....	106
Abbildung 85: Ultraschallmassenstrommessverfahren (http://www.de.endress.com , 4.5.2012).....	107
Abbildung 86: Messprinzip Coriolismessung (Steffen, 2004)	107
Abbildung 87: Variante "IWT-Datenerfassung"	110
Abbildung 88: Variante "Aircond-Datenerfassung".....	111
Abbildung 89: „p/h Diagramm“ R410A (http://gunar.lima-city.de , 25.3.2012)	126
Abbildung 90: Jahresdauerlinien der Heizlast Variante 2011	127
Abbildung 91: Jahresdauerlinien der Heizlast Variante Topauslastung.....	128
Abbildung 92: Jahresdauerlinien der Heizlast Variante Basisauslastung	129
Abbildung 93: Außengerät Draufsicht (Toshiba Service Manual 2004)	130
Abbildung 94: Vorderansicht Außengerät (Toshiba Service Manual 2004)	130
Abbildung 95: Hinteransicht Außengerät (Toshiba Service Manual 2004)	131
Abbildung 96: Vorder- und Hinteransicht eines TOSHIBA S-MMS Außengerätes (Toshiba Service Manual 2004)	131
Abbildung 97: Wärmepumpeneinheit Salon - Spielzimmer - Neogotikzimmer (Konferenztrakt)	136
Abbildung 98: Wärmepumpeneinheit Studio - Bettzimmer - Künstlerzimmer (Konferenztrakt)	136
Abbildung 99: Wärmepumpeneinheit Rittersäle (Schlosstrakt)	136
Abbildung 100: Wärmepumpeneinheit Küche/Wohnzimmer – Diele (Schlosstrakt).....	136
Abbildung 101: Wärmepumpeneinheit Stube - Wohnzimmer (Schlosstrakt)	136
Abbildung 102: Wärmepumpeneinheit Lift – Büro (Schlosstrakt)	136
Abbildung 103: Wärmepumpeneinheit Bibliothek, Musikzimmer (Schlosstrakt)	136
Abbildung 104: Wärmepumpeneinheit Gewölbe – Bar (Nordtrakt).....	136
Abbildung 105: Wärmepumpeneinheit Concert Hall - Galerie (Nordtrakt)	136
Abbildung 106: Wärmepumpeneinheit Dachboden - Saal (Schlosstrakt)	136
Abbildung 107: Wärmepumpeneinheit Dachboden – Erdgeschoß (Schlosstrakt)	136

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Technische Eigenschaften R410A	7
Tabelle 2: Technische Daten der Klimaanlage (Toshiba Rohrleitungsplan, 12.1.2012)	9
Tabelle 3: Traktweise Zuordnung der Innen und Außengeräte	13
Tabelle 4: Temperatursensoren der Innengeräte (Toshiba Service Manual, 2004).....	15
Tabelle 5: Abhängigkeit der Gebläsebetriebsmoden von der Kältemittelvorlauftemperatur (Toshiba Service Manual, 2004).....	16
Tabelle 6: Raumlufttemperaturbereiche der Innengeräte (Toshiba Service Manual, 2004).....	16
Tabelle 7: Technische Daten der 4 Wege Kassetten Innengeräte (http://www.toshiba-klima.net/produkte , 13.4.2012)	17
Tabelle 8: Technische Daten der Wand- und Truheninnengeräte (http://www.toshiba-klima.net/produkte , 13.4.2012)	18
Tabelle 9: Ventile für die Regelung des Ölkreislaufs des Wärmepumpen- Außengerätes (Toshiba Service Manual 2004).....	25
Tabelle 10: Aufgabe der Temperatur- und Drucksensoren (Toshiba Service Manual, 2004)	26
Tabelle 11: Verteilung der Strahlung, Außenlufttemperatur und Luftfeuchtigkeit.....	32
Tabelle 12: Monatsauswertung der Außenlufttemperatur Frohnleiten 2011	32
Tabelle 13: Klimadatenauswertung Frohnleiten 2011	33
Tabelle 14: Physikalische Eigenschaften des Burguntergrundes von Karbonatquarzit (OENORM_ON_V_31, 1.12.2001)	33
Tabelle 15: Ausrichtung der Außenflächen des Nordtraktes	36
Tabelle 16: Geometrie und thermische Zonierung des Nordtraktes (Polierplan, 2007)	37
Tabelle 17: Speichermassen bzw. zusätzliche Wärmekapazitäten der thermischen Zonen des Nordtraktes.....	42
Tabelle 18: Speichermasse bzw. Wärmekapazität der Gewölbedecke aufgrund der Geometriekorrektur (TRNBuild Datenbank, 2011)	44
Tabelle 19: Temperaturleitfähigkeiten gängiger Baustoffe und Eindringtiefen (B. Keller, S. Rutz, 2011).....	45
Tabelle 20: mechanischer Luftwechsel in Bar und Gewölbe (e-mail von Bojan Klopčič, 13.12.2011, experto@siol.net)	47
Tabelle 21: Luftvolumenstrom zwischen den Zonen durch die Türöffnungen.....	47
Tabelle 22: Wand- Decken und Bodenaufbauten Kellergeschoß (Polierplan, 2007)	48
Tabelle 23: Wand und Deckenaufbau Erdgeschoß (Polierplan, 2007).....	49
Fortsetzung Tabelle 24: Wand und Deckenaufbau Erdgeschoß (Polierplan, 2007)	49
Tabelle 25: Wand und Dachaufbau Concert Hall und Galerie (Polierplan, 2007).....	50
Tabelle 26: Wand- Boden und Dachaufbau Stiegenhaus (Polierplan, 2007).....	50
Tabelle 27: Aufbau Außenwand	50
Tabelle 28: Dachaufbau (Polierplan, 2007).....	51
Tabelle 29: Dachaufbau für die Eingabe in die thermische Gebäudesimulation.....	51
Tabelle 30: Außentüren Nordtrakt (Polierplan, 2007).....	52
Tabelle 31: Außenfenster Nordtrakt (Polierplan, 2007).....	53
Tabelle 32: Aluportale und Glastüren zwischen Zone 2 (Stiegenhaus) und den angrenzenden Zonen (Polierplan, 2007)	53
Tabelle 33: radiativer und konvektiver Anteil der Beleuchtungsleistung (VDI 2078).....	54
Tabelle 34: Wärmeabgabe durch Leuchtmittel in den Zonen des Nordtraktes	55
Tabelle 35: Personenspezifische interne Lasten durch Personen.....	56
Tabelle 36: Interne Lasten des Equipments in den Räumen des Nordtraktes	56
Tabelle 37: Exemplarische Darstellung der internen Lasten vom 28. März 2011 mit einer Belegung von 30 Personen, für die Zonen des Nordtraktes (vergleiche auch mit Tabelle 42) ..	57
Tabelle 38: Leistung der Innengeräte in den Zonen (Toshiba Rohrleitungsplan, 12.1.2012).....	58
Tabelle 39: Behaglichkeitsbereiche EN ISO 7730, Auslegungskriterien für thermische Behaglichkeit (Auslegungskriterium für thermische Behaglichkeit Aachen, 2008)	60
Tabelle 40: Vergleich der mittleren operativen jährlichen Raumtemperaturen	65

Tabelle 41: Verteilung der Personen auf den Nordtrakte bei einer Veranstaltung im Concert Hall am 11.11.2011	66
Tabelle 42: Veranstaltungen Nordtrakt 2011	67
Tabelle 43: Energiebilanz Nordtrakt Variante 2011.....	70
Tabelle 44: Veranstaltungen bei Variante „Basisauslastung“	73
Tabelle 45: Energieflussdiagramm Nordtrakt Variante Basisauslastung	76
Tabelle 46: Veranstaltungen Nordtrakt bei voller Auslastung.....	79
Tabelle 47: Energieflussdiagramm Nordtrakt Variante Topauslastung.....	83
Tabelle 48: Heizenergiebedarf mit und ohne Boden- und Dachdämmung	84
Tabelle 49: Normheizlast und installierte Heizleistung bei einzelner Beheizung der Zonen im Nordtrakt	85
Tabelle 50: Normheizlast bei gleichzeitiger Beheizung aller Zonen im Nordtrakt	85
Tabelle 51: mittlere operative Temperaturen bei Belegung, Variation der Absenkttemperatur und Vorheizdauer (Basisauslastung für ein gesamtes Jahr)	89
Tabelle 52: jährlicher Heizwärmebedarf [kWh/a] und spez. HWB [kWh/m ² a] des Nordtraktes bei unterschiedlichen Varianten ganzjährig beheizt.....	89
Tabelle 53: dynamische Wärmespeicherkapazitäten der Wandflächen der beheizten Zonen einer 24 h Periode	91
Tabelle 54: dynamische Wärmekapazitäten der beheizten Zonen einer 24 h Periode	91
Tabelle 55: HWB bei unterschiedlichen Abschaltzeitdauer und Vorheiztemperaturen bei einer Absenkttemperatur von 10 °C	94
Tabelle 56: HWB bei unterschiedlichen Abschaltzeitdauer und Vorheiztemperaturen bei einer Absenkttemperatur von 14 °C	94
Tabelle 57: HWB bei unterschiedlichen Abschaltzeitdauer und Vorheiztemperaturen bei einer Absenkttemperatur von 18 °C	95
Tabelle 58: Physikalische Eigenschaften des Kältemittels an den Messstellen	103
Tabelle 59: Strömungsgeschwindigkeiten an den Messstellen	104
Tabelle 60: jährlicher Heizwärmebedarf kWh/a] und [kWh/m ² a] und des Nordtraktes bei unterschiedlichen Varianten ganzjährig beheizt (vergleiche mit Tabelle 62)	113
Tabelle 61: mittlere operative Temperaturen bei Belegung, Variation der Absenkttemperatur und Vorheizdauer vgl. mit Tabelle 61)	113
Tabelle 62: Technische Daten der Außengeräte (http://www.toshiba-klima , 13.4.2012)	132
Tabelle 63: Zuordnung der Innen- und Außengeräte (Toshiba Rohrleitungsplan, 12.1.2012) .	135

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Nomenklatur:

Energiebilanzdiagramm:

Heat	zugeführte Heizwärme
Sol	Solare Gewinne
Gint	Interne Gewinne
Coupl	Gewinn/Verluste durch Luftaustausch zwischen den Zonen
Inf	Wärmeverluste durch Infiltration
Vent	Energiefluss durch mechanische Belüftung

IWT	Institut für Wärmetechnik
PMV	Pulsgesteuertes Motor Ventil
WT	Wärmetauscher

Formelzeichen:

a_{ERDE}	Temperaturleitfähigkeit Erdreich	[m ² /s]
α_k	Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion	[W/m ² K]
α_s	Wärmeübergangskoeffizient für Strahlung	[W/m ² K]
c	spezifische Wärmekapazität	[kJ/kgK]
c_{Erde}	spezifische Wärmekapazität des Erdreiches	[kJ/kgK]
COP	Leistungszahl der Wärmepumpe (Coefficient of Performance	[-]
d	Durchmesser des Messrohrs Coriolismessgerät	[mm]
Δp	Druckverlust Coriolismessgerät	[mbar]
E_a	jährlich aufgenommene Strommenge	[kWh]
g-Wert	Energiedurchlassgrad Verglasung	[%]
h	spezifische Enthalpie	[kJ/kgK]
I	Strahlungsintensität	[W/m ²]
k	Druckverlustkoeffizient	[-]
λ	Wärmeleitfähigkeit	[W/mK]
λ_{ERDE}	Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches	[W/mK]
\dot{m}	Massenstrom	[kg/s]
ν	Zähigkeit	[m ² /s]
$P_{Kompressor}$	elektrische Leistungsaufnahme des Wärmepumpenkompressors	[W]
P_{Hilf}	Leistungsaufnahme der Hilfsaggregate	[W]
P_{eInnen}	elektrische Leistung der Innengeräte	[kWh]
$P_{eAußen}$	elektrische Leistung der Außengeräte	[kWh]
\dot{Q}	Wärmeleistung	[W]
Q_a	Jährlich abgegebene Wärmemenge	[Wh]
ρ	Dichte	[kg/m ³]
ρ_{ERDE}	Dichte des Erdreiches	[kg/m ³]

σ_{24}	Eindringtiefe	[m]
Re	Reynoldszahl	[-]
SPF	Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe	[-]
t_{amb}	Außenlufttemperatur	[°C]
t_e	empfundene Raumtemperatur	[°C]
t_l	Raumlufttemperatur	[°C]
t_{op}	operative Raumtemperatur	[°C]
t_u	Temperatur der Umschließungsflächen	[°C]
t_h	Vorheizlusttemperatur	[°C]
t_m	Absenkttemperatur	[°C]
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient	[W/m ² K]

9 ANHANG

9.1 Berechnung des Druckverlustes durch das Coriolis-massenstrommessgerät

Proline Promass 40 E (Firma: Endress & Hauser)

a) Medium: flüssiges Kältemittel R410A (Drosseleintritt)

$$p = 18 \text{ bar}$$

$$\tau = 21 \text{ °C}$$

$$m = 0,34 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$d = 8,3 \text{ mm bei DN 15,}$$

$$d = 12 \text{ mm bei DN 25,}$$

$$v_{R410A_fl} = 1,1318 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\rho = 1062 \text{ kg/m}^3$$

$$K = 7,62 \cdot 10^6 \text{ bei DN15}$$

$$K = 1,89 \cdot 10^6 \text{ bei DN25}$$

$$Re = \frac{2 \cdot m}{\pi \cdot d \cdot \vartheta \cdot \rho}$$

Gl. 8-1

$$Re = 219337 \text{ bei DN 15}$$

$$Re = 151708 \text{ bei DN 25}$$

$$Re > 2300$$

$$\Delta p = K \cdot \vartheta^{0,25} \cdot m^{1,85} \cdot \rho^{-0,86}$$

Gl. 8-2

Für Durchmesser DN 15:

$$\Delta p_{max} = 48 \text{ mbar}$$

Für Durchmesser DN 25:

$$\Delta p_{max} = 12 \text{ mbar}$$

b) Medium: gasförmiges Kältemittel R410A (Kompressoraustritt)

$$p = 18 \text{ bar}$$

$$\tau = 57 \text{ °C}$$

Nenn Durchmesser: DN 40

$$K = 4.42 \cdot 10^5$$

$$\rho = 55 \text{ kg/m}^3$$

$$v_{R410A_gas} = 2.57 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\Delta p_{max} = 43 \text{ mbar}$$

9.2 p/h-Diagramm von R410A

In Abbildung 89 ist ein p/h-Diagramm des Kältemittels R410A dargestellt.

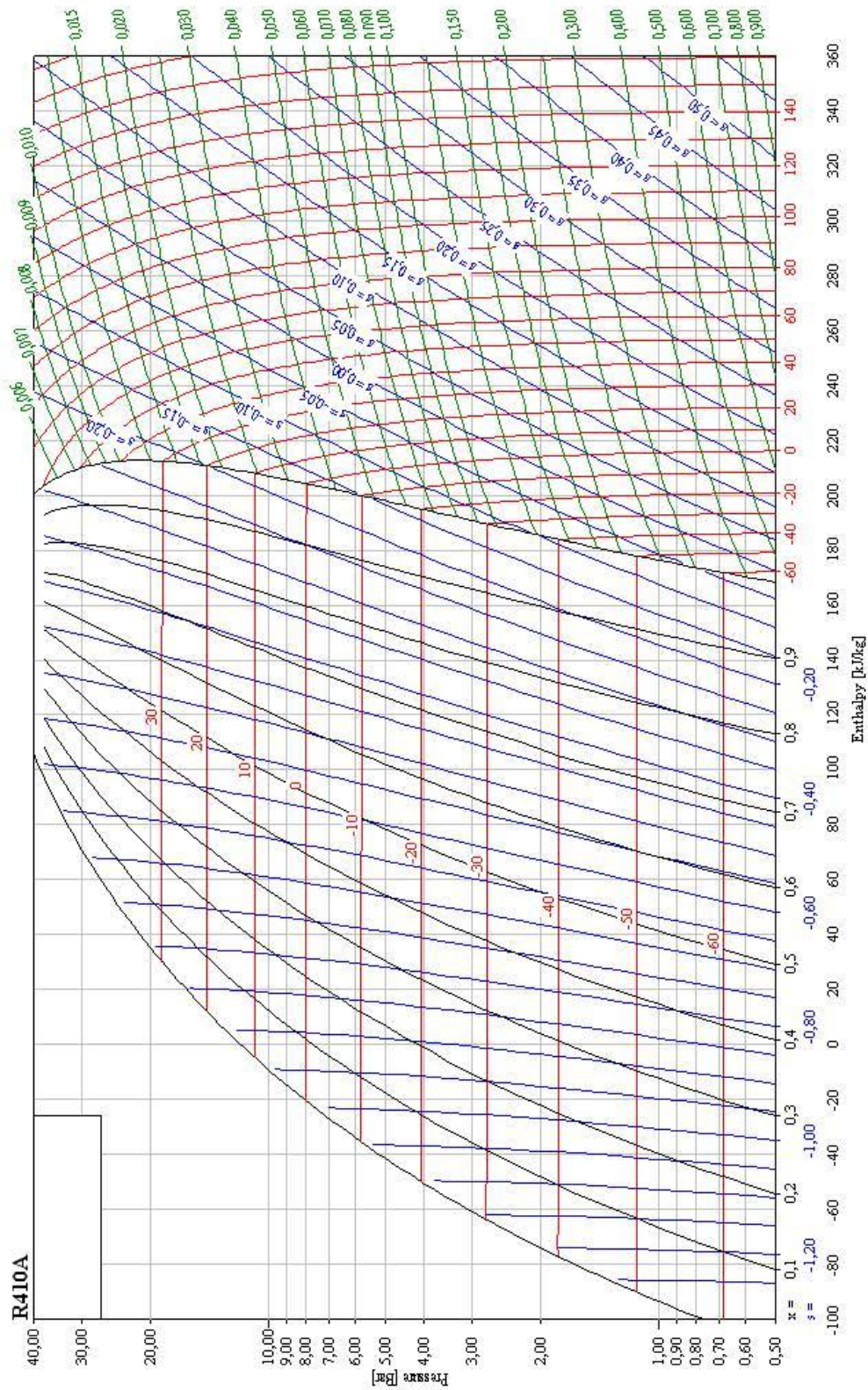


Abbildung 89: „p/h Diagramm“ R410A (<http://gunar.lima-city.de>, 25.3.2012)

9.3 Jahresdauerlinien der Heizlast

In folgenden Diagrammen sind Jahresdauerlinien der Heizlast dargestellt (Abbildung 90-88).

Jahresdauerlinien der Heizlast Variante „2011“:

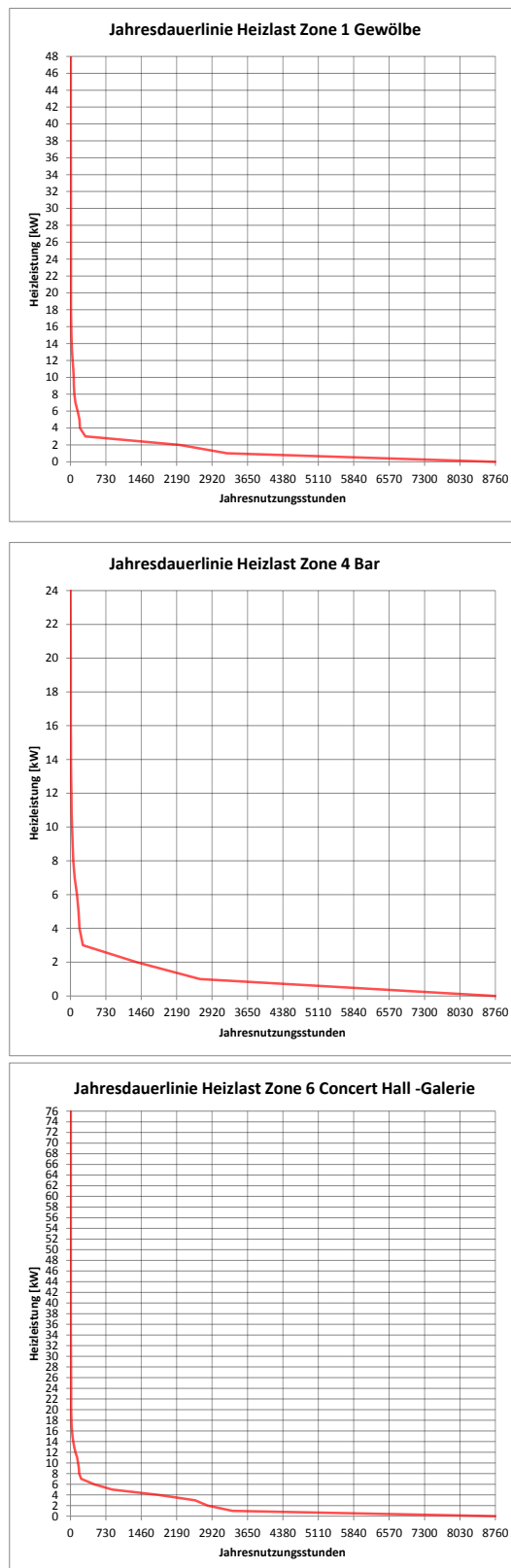


Abbildung 90: Jahresdauerlinien der Heizlast Variante 2011

Jahresdauerlinien der Heizlast Variante „Basisauslastung“:

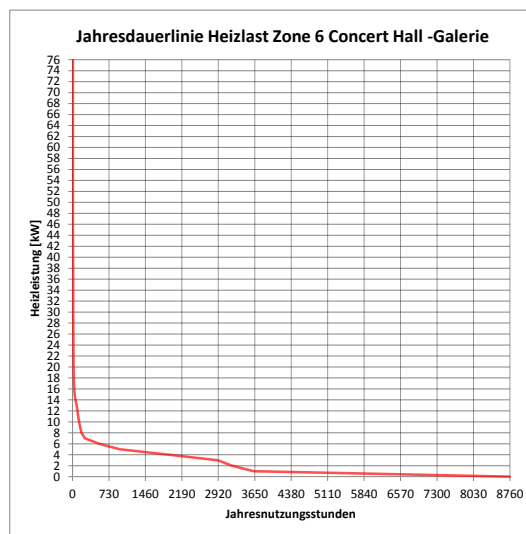
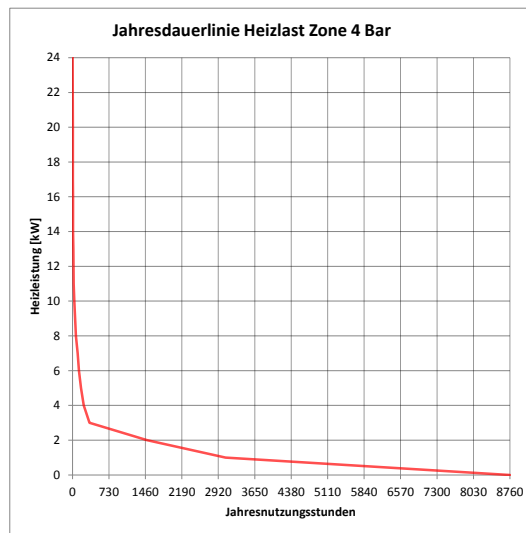
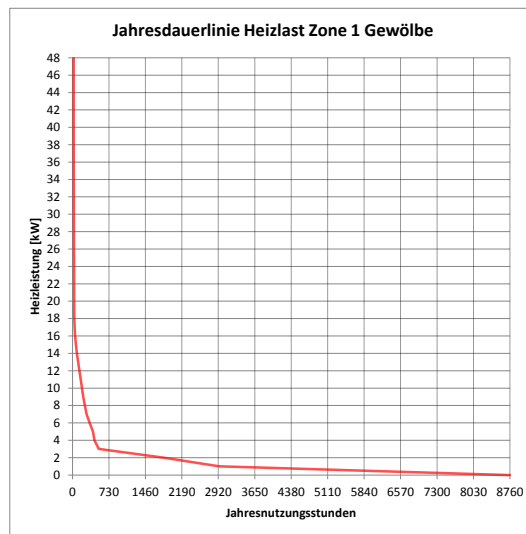


Abbildung 91: Jahresdauerlinien der Heizlast Variante Topauslastung

Jahresdauerlinien der Heizlast Variante „Topauslastung“:

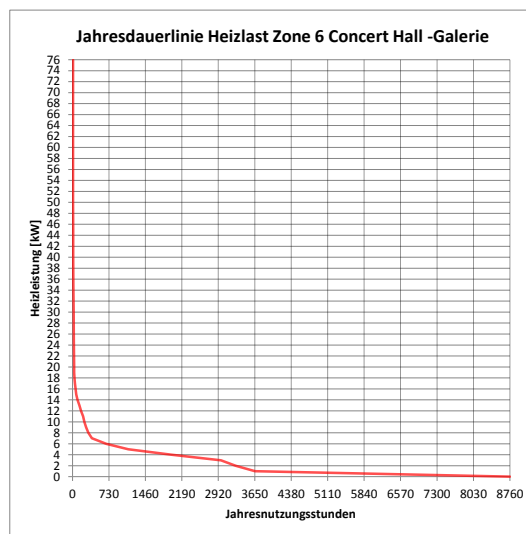
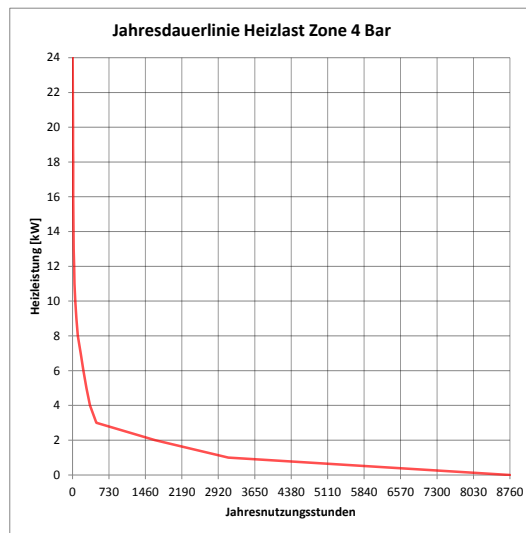
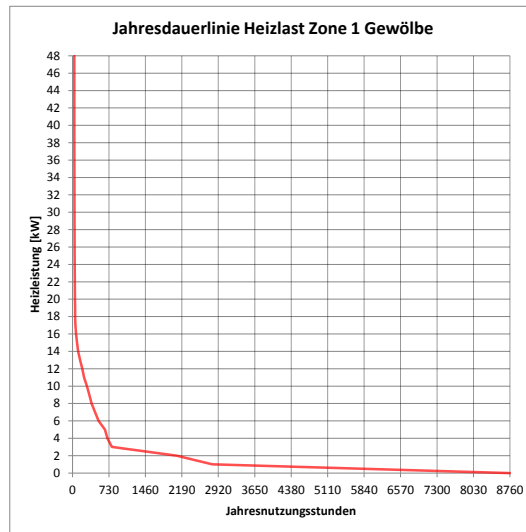


Abbildung 92: Jahresdauerlinien der Heizlast Variante Basisauslastung

9.4 Detailzeichnungen der Außengeräte

In Abbildung 93-96 sind die Ventile, Sensoren und Komponenten eines TOSHIBA S-SMM Außengerätes ersichtlich.

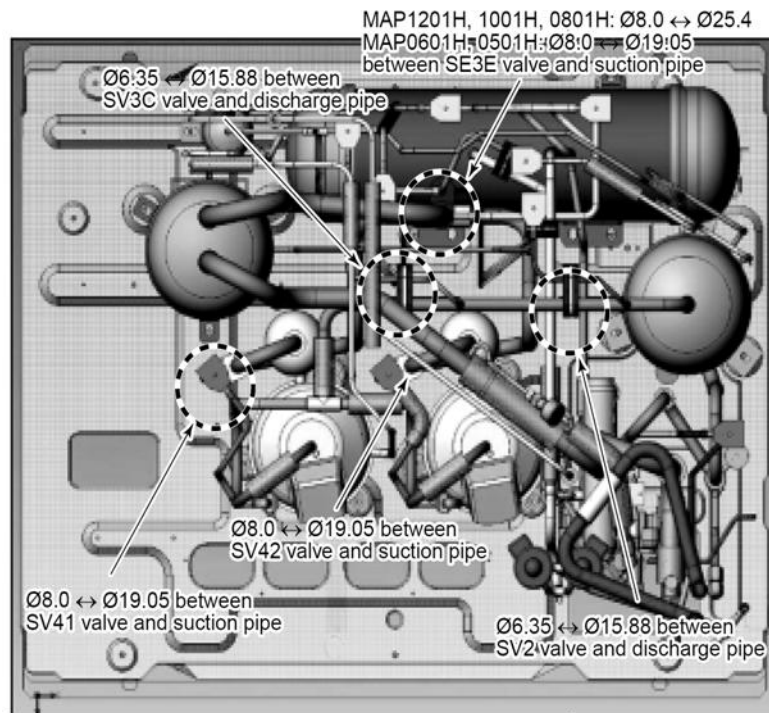


Abbildung 93: Außengerät Draufsicht (Toshiba Service Manual, 2004)

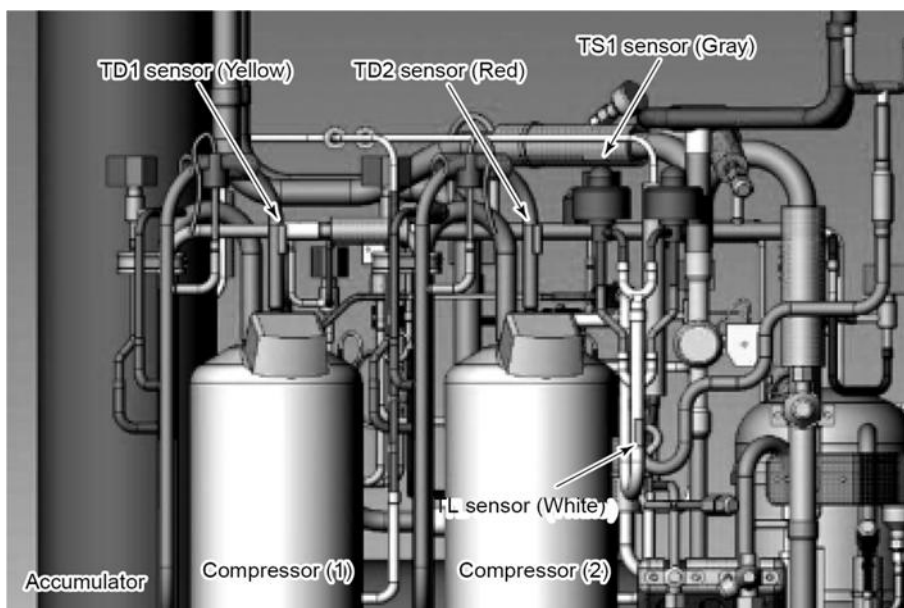


Abbildung 94: Vorderansicht Außengerät (Toshiba Service Manual, 2004)

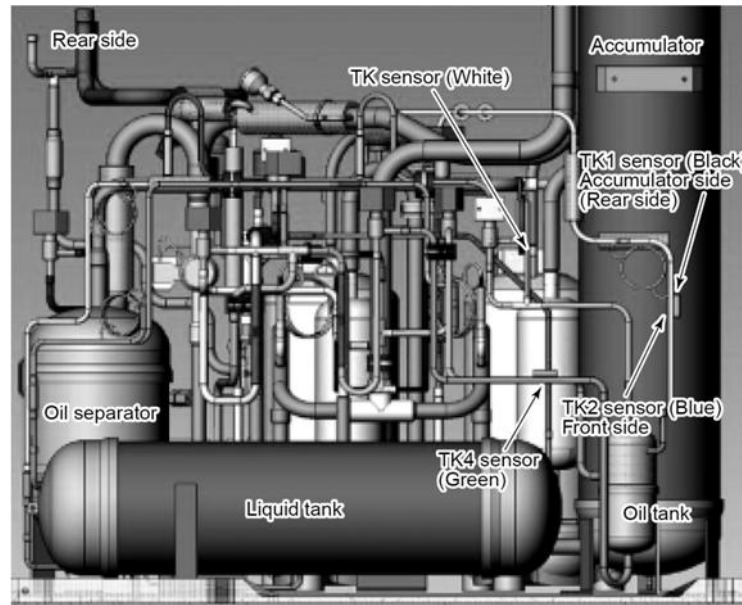


Abbildung 95: Hinteransicht Außengerät (Toshiba Service Manual, 2004)

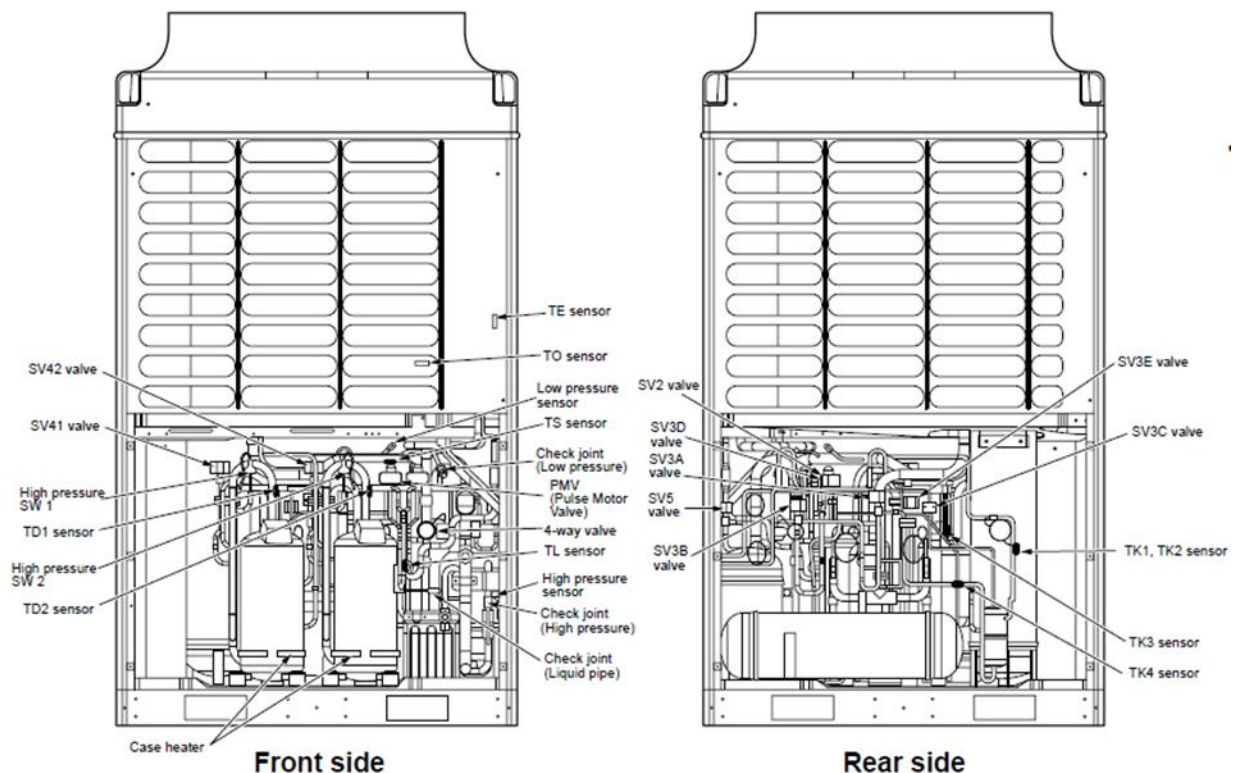


Abbildung 96: Vorder- und Hinteransicht eines TOSHIBA S-MMS Außengerätes (Toshiba Service Manual, 2004)

In Tabelle 62 sind die technischen Daten der Außengeräte angeführt. Die Kältemittelfüllung variiert je nach Leitungslänge und ist für Standardleitungslängen angegeben. Die Werte der Kühl- und Heizleistung gelten für Nennbedingungen, beim Kühlen mit einer Raumlufttemperatur von 27 °C und einer Außentemperatur von 35 °C und beim Heizen mit einer Raumlufttemperatur

von 20 °C und einer Außenlufttemperatur von 7 °C. Die standard Leitungslänge entspricht einer 5 m Hauptleitungslänge plus 2.5 m Zweigleitungslänge.

Tabelle 62: Technische Daten der Außengeräte (<http://www.toshiba-klima>, 13.4.2012)

	MMY-MAP 0801HT8	MMY-MAP 1001HT8	MMY-MAP 0501HT8
Kühlleistung [kW]	22.4	28.0	14.0
Leistungsaufnahme Kühlen [kW]	5.7	7.7	3.7
Heizleistung [kW]	25.0	31.5	16.0
Leistungsaufnahme Heizen [kW]	5.9	7.9	3.8
Luftleistung [m ³ /h]	9900	10500	9000
Kältemittelfüllung Kühlen/Heizen	11.0/12.5	11.0/12.5	8.0/8.5
Gasleitung Durchmesser[mm]	22.2	22.2	15.9
Flüssigkeitsl. Durchmesser[mm]	12.7	12.7	9.5
Betriebsbereich Kühlen [°C]	-5 bis 34	-5 bis 34	-5 bis 34
Betriebsbereich Heizen [°C]	-20 bis 16	-20 bis 16	-20 bis 16

	MMY-MAP 0601HT8	MMY-MAP 1201HT8
Kühlleistung [kW]	16.0	33.5
Leistungsaufnahme Kühlen [kW]	3.6	11.9
Heizleistung [kW]	18.0	37,5
Leistungsaufnahme Heizen [kW]	3.84	10.2
Luftleistung [m ³ /h]	9000	10500
Kältemittelfüllung Kühlen/Heizen	8.0/8.5	11.0/12.5
Gasleitung Durchmesser[mm]	19.05	29.60
Flüssigkeitsl. Durchmesser[mm]	9.52	12.70
Betriebsbereich Kühlen [°C]	-5 bis 34	-5 bis 34
Betriebsbereich Heizen [°C]	-20 bis 16	-20 bis 16

9.5 Eingabedaten der Zonen für die thermische Gebäudesimulation mit TRNBuild:

Zone Gewölbe:

Nettovolumen:	356	[m ³]
Kapazität interne Speichermasse:	35031	[Kj/K]
Infiltration:	0.1	[h ⁻¹]
max. Belüftung TUmgebung:	175.5	[m ³ /h]
max. Heizungsleistung:	48	[KW]
max. Kühlleistung:	42.6	[KW]
Interne Gewinne Equipment:	4 450	[KW]
Interne Gewinne Beleuchtung:	2 600	[KW]
Luftaustausch mit Zone Stiegenhaus	400	[m ³ /h]

Zone Bar:

Nettovolumen:	151.5	[m ³]
Kapazität interne Speichermasse:	6.51	[kJ/K]
Infiltration:	0.1	[h ⁻¹]
max. Belüftung:	94.5	[m ³ /h]
max. Heizungsleistung:	24.0	[kW]
max. Kühlleistung:	21.3	[kW]
Interne Gewinne Equipment:	0.20	[kW]
Interne Gewinne Beleuchtung:	1.44	[kW]
Luftaustausch mit Zone Vorraum	250	[m ³ /h]
Luftaustausch mit Zone Stiegenhaus	400	[m ³ /h]
Luftaustausch mit Zone WC	35	[m ³ /h]
Luftaustausch mit Zone Küche	250	[m ³ /h]

Zone Küche:

Nettovolumen:	69.7	[m ³]
Kapazität interne Speichermasse:	0.26	[kJ/K]
Infiltration:	0.1	[h ⁻¹]
max. Belüftung:	-	[m ³ /h]
max. Heizungsleistung:	-	[kW]
max. Kühlleistung:	-	[kW]
Interne Gewinne Equipment:	5.82	[kW]
Interne Gewinne Beleuchtung:	0.30	[kW]
Luftaustausch mit Zone Bar	250	[m ³ /h]
Luftaustausch mit Zone Vorraum	250	[m ³ /h]

Zone Technikraum:

Nettovolumen:	22.4	[m ³]
Kapazität interne Speichermasse:	0.06	[kJ/K]
Infiltration:	0.1	[h ⁻¹]
max. Belüftung:	-	[m ³ /h]
max. Heizungsleistung:	-	[KW]
max. Kühlleistung:	-	[KW]
Interne Gewinne Equipment:	-	[KW]
Interne Gewinne Beleuchtung:	0.06	[KW]
Luftaustausch mit Zone Bar	250	[m ³ /h]
Luftaustausch mit Zone Küche	250	[m ³ /h]

Zone WC:

Nettovolumen:	18.5	[m ³]
Kapazität interne Speichermasse:	0.8	[kJ/K]
Infiltration:	0.1	[h ⁻¹]
max. Belüftung:	-	[m ³ /h]
max. Heizungsleistung:	-	[KW]
max. Kühlleistung:	-	[KW]
Interne Gewinne Equipment:	-	[KW]
Interne Gewinne Beleuchtung:	0.12	[KW]
Luftaustausch mit Zone Bar	35	[m ³ /h]

Zone Concert Hall:

Nettovolumen:	596	[m ³]
Kapazität interne Speichermasse:	28	[kJ/K]
Infiltration:	0.1	[h ⁻¹]
max. Belüftung:	-	[m ³ /h]
max. Heizungsleistung:	76	[KW]
max. Kühlleistung:	67.8	[KW]
Interne Gewinne Equipment:	0.35	[KW]
Interne Gewinne Beleuchtung:	3.82	[KW]
Luftaustausch mit Zone Stiegenhaus	800	[m ³ /h]

Zone Stiegenhaus:

Nettovolumen:	269.8	[m ³]
Kapazität interne Speichermasse:	36	[kJ/K]
Infiltration:	0.1	[h ⁻¹]
max. Belüftung:	-	[m ³ /h]
max. Heizungsleistung:	-	[KW]
max. Kühlleistung:	-	[KW]
Interne Gewinne Equipment:	0.5	[KW]
Interne Gewinne Beleuchtung:	0.8	[KW]
Luftaustausch mit Zone Bar	400	[m ³ /h]
Luftaustausch mit Zone Concert Hall	800	[m ³ /h]
Luftaustausch mit Zone Gewölbe	400	[m ³ /h]

9.6 Wärmepumpenkreise auf Rabenstein

Die Zuordnung der Außengeräte zu den jeweiligen Innengeräten ist in Tabelle 63 angegeben. In Abbildung 97-107 sind Rohrleitungspläne der Wärmepumpenanlage von Burg Rabenstein dargestellt. (Toshiba Rohrleitungsplan, 12. Januar 2011)

Tabelle 63: Zuordnung der Innen- und Außengeräte (Toshiba Rohrleitungsplan, 12.1.2012)

Schlosstrakt:

Außeneinheit	Außengeräte	Leitungen	Leitungslänge [m] Durchmesser Vorlauf [mm] Durchmesser Rücklauf [mm]	Innengeräte	Raumbenennung
	MMY - MAP0801HT8	1.6 22.2 12.7	1.6 15.9 9.5	MML-AP0241BH	NEOGOT ZIMMER CT 1
MMY - MAP 2601HT8	MMY - MAP0801HT8	0.5 22.2 12.7	1.6 15.9 9.5	MML-AP0241BH	NEOGOT ZIMMER CT 2
	MMY - MAP0801HT8	0.5 22.2 12.7	1.7 15.9 9.5	MML-AP0241BH	RUHEZIMMER CT 3
	MMY - MAP0801HT8	0.5 22.2 12.7	1.7 15.9 9.5	MML-AP0241BH	SPIELZIMMER CT 4
		1.1 28.6 15.9	1.7 15.9 9.5	MML-AP0241BH	SPIELZIMMER CT 5
		4.9 34.9 15.9	1.5 15.9 9.5	MML-AP0241BH	SPIELZIMMER CT 6
		6.4 28.6 15.9	1.5 15.9 9.5	MML-AP0241BH	SALON CT 7
		5.0 28.6 15.9	1.3 15.9 9.5	MML-AP0241BH	SALON CT 8
		6.9 28.6 15.9	4.7 22.2 12.7	MML-AP0241BH	SALON CT 9
		3.7 28.6 15.9	9.3 22.7 12.7	MML-AP0241BH	SALON CT 10
		4.2 15.9 9.5	1.1 15.9 9.5	MML-AP0241BH	SALON CT 10

Außeneinheit	Außengeräte	Leitungen	Leitungslänge [m] Durchmesser Vorlauf [mm] Durchmesser Rücklauf [mm]	Innengeräte	Raumbenennung
	MMY - MAP1001HT8	1.6 22.2 12.7	1.5 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Gang
MMY - MAP 2801HT8	MMY - MAP1001HT9	0.5 22.2 12.7	1.1 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Studio
	MMY - MAP1001HT9	0.5 22.2 12.7	5.2 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Studio
	MMY - MAP1001HT10	0.5 22.2 12.7	1.2 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Studio
		1.1 28.6 15.9	1.2 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Stube
		12.3 28.6 15.9	1.2 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Stube
		4.2 28.6 15.9	1.7 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Künstlerzimmer
		5.4 28.6 15.9	1.8 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Bettzimmer
		4.8 22.2 12.7	1.9 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Bettzimmer
		5.6 22.2 12.7	3.9 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Bettzimmer
		3.9 15.9 9.5	5 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Studio

Außeneinheit	Außengeräte	Leitungen	Leitungslänge [m] Durchmesser Vorlauf [mm] Durchmesser Rücklauf [mm]	Innengeräte	Raumbenennung		
MMY - MAP 1801HT8	MMY - MAP0801HT9	66 28.6 15.9	12.5 22.2 12.9	1 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Großer Rittersaal	
							6.5 15.9 9.5
	MMY - MAP0801HT10		0.3 22.2 12.7	13.0 22.2 12.7	1.0 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Großer Rittersaal
					1.0 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Großer Rittersaal

Außeneinheit	Außengeräte	Leitungen	Leitungslänge [m] Durchmesser Vorlauf [mm] Durchmesser Rücklauf [mm]	Innengeräte	Raumbenennung
MCY - MAP 0501HT		21.0 15.9 9.5	4.0 15.9 9.5	MMK-AP0181H	Stube
			3.0 12.7 6.4	MML-AP0241BH	Wohnzimmer
MCY - MAP 0601HT		1.0 15.9 9.5	14.0 12.7 6.4	MML - AP0181H	Büro
			15.0 12.7 6.4	MMF - AP0481H	Lift
MCY - MAP 0601HT		14.9 19.1 9.5	4.3 15.9 9.5	MMD-AP0361BH	Küche/Wohnzimmer
			4.9 12.7 6.4	MMD-AP0151BH	Diele

Südtrakt:

Außeneinheit	Außengeräte	Leitungen	Leitungslänge [m] Durchmesser Vorlauf [mm] Durchmesser Rücklauf [mm]	Innengeräte	Raumbenennung		
MMY-MAP1201 HT8		17.5 28.6 12.7	4.0 22.2 12.7	0.5 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Bibliothek	
				0.5 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Bibliothek	
			12.0 22.2 12.7	2.0 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Bibliothek	
				4.0 15.9 9.5	2.0 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Musikzimmer
				3.0 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Musikzimmer	

Nordtrakt:

Außeneinheit	Außengeräte	Leitungen	Leitungslänge [m] Durchmesser Vorlauf [mm] Durchmesser Rücklauf [mm]	Innengeräte	Raumbenennung				
MMY - MAP 2411HT8	MMY - MAP1201HT8	0,5 28,6 12,7	3	4,3 22,2 12,7	4.4 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Bar		
					1.4 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Bar		
	MMY - MAP1201HT8	1,6 28,6 12,8	34,9 15,9	5,7 28,6 15,9	7.7 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Bar		
					1.2 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Gewölbe		
	MMY - MAP1201HT8	1,6 28,6 12,8	34,9 15,9	5,7 28,6 15,9	1.2 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Gewölbe		
					4.5 22,2 12,7	4,3 15,9 9,5	1.2 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Gewölbe
	MMY - MAP1201HT8	1,6 28,6 12,8	34,9 15,9	5,7 28,6 15,9	4.7 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Gewölbe		
					1.2 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Gewölbe		
	MMY - MAP1201HT8	1,6 28,6 12,8	34,9 15,9	5,7 28,6 15,9	5.6 22,2 12,7	4,2 15,9 9,5	1.2 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Gewölbe
					5.1 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Gewölbe		

Außeneinheit	Außengeräte	Leitungen	Leitungslänge [m] Durchmesser Vorlauf [mm] Durchmesser Rücklauf [mm]	Innengeräte	Raumbenennung				
MMY - MAP 2411HT8	MMY - MAP1201HT8	0,5 28,6 12,7	4,7	10,5 22,2 12,7	1.2 9.5 5.4	MMU-AP0121MH	Galerie		
					1.2 12.7 5.4	MMU-AP0151MH	Galerie		
	MMY - MAP1201HT8	1,5 28,6 12,8	34,9 15,9	1,0 28,6 15,9	2,4 22,2 12,7	2,4 15,9 9,5	1.2 12.7 5.4	MMU-AP0151MH	Galerie
					2,4 15,9 9,5	2,4 45,9 9,5	1.2 12.7 5.4	MMU-AP0151MH	Galerie
	MMY - MAP1201HT8	1,5 28,6 12,8	34,9 15,9	1,0 28,6 15,9	2,4 15,9 9,5	2,4 15,9 9,5	1.2 12.7 5.4	MMU-AP0151MH	Galerie
					4.5 9.5 5.4	MMU-AP0121MH	Galerie		
	MMY - MAP1201HT8	1,5 28,6 12,8	34,9 15,9	1,0 28,6 15,9	5,5 22,2 12,7	4,3 4,9 9,5	1.0 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Concert Hall
					1.0 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Concert Hall		
	MMY - MAP1201HT8	1,5 28,6 12,8	34,9 15,9	1,0 28,6 15,9	7,5 22,2 12,7	5,0 15,9 9,5	1.0 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Concert Hall
					5.5 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Concert Hall		

Konferenztrakt:

Außeneinheit	Außengeräte	Leitungen	Leitungslänge [m] Durchmesser Vorlauf [mm] Durchmesser Rücklauf [mm]	Innengeräte	Raumbenennung			
MMY - MAP 2001HT8	MMY - MAP1001HT8	1.4 22.2 12.7	1.8 28.5	0.7 15.9 9.5	3.8 12.7 9.4	MML-AP0151BH	Dachboden	
				9.5	3.9 12.7 9.5	MML-AP0181BH	Dachboden	
	MMY - MAP1001HT8	6.4 22.2 12.8	15.9	1.0 28.6 15.9				
					5.0 15.9 9.5	MMK-AP0241H	Zone 3	
				6.0 15.9 9.5	MMK-AP0241H	Zone 2		
				5.8 15.9 9.5	MMK-AP0241H	Zone 1		
				0.3 22.2 12.7	9.4 15.9 9.5	9.0 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Saal
				0.3 22.2 12.7				
				1.0 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Saal		

Außeneinheit	Außengeräte	Leitungen	Leitungslänge [m] Durchmesser Vorlauf [mm] Durchmesser Rücklauf [mm]	Innengeräte	Raumbenennung			
MMY - MAP 2001HT8	MMY - MAP1001HT8	1.4 22.2 12.7	3.8 28.5	0.7 15.9 9.5	4.4 12.7 9.4	MML-AP0151BH	Dachboden	
				9.5	8.1 12.7 9.5	MML-AP0181BH	Dachboden	
	MMY - MAP1001HT8	6.4 22.2 12.8	15.9	1.2 28.6 15.9				
					5.2 15.9 9.5	MMK-AP0241H	Zone 3	
				6.0 15.9 9.5	MMK-AP0241H	Zone 2		
				5.8 15.9 9.5	MMK-AP0241H	Zone 1		
				0.5 22.2 12.7	17.4 15.9 9.5	9.8 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Saal
				0.5 22.2 12.7				
				1.0 15.9 9.5	MML-AP0241BH	Saal		

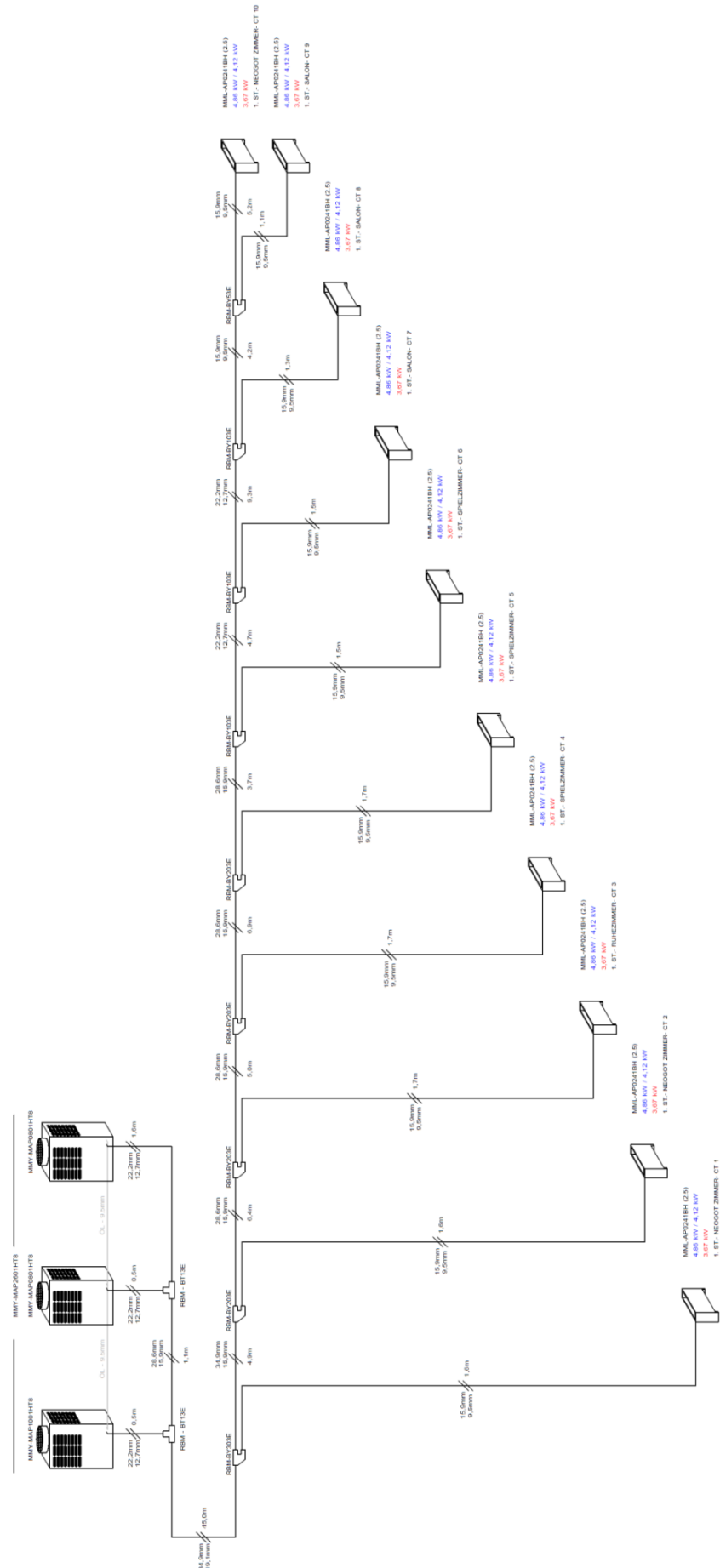


Abbildung 97: Wärmepumpeneinheit Salon - Spielzimmer - Neogotikzimmer (Konferenztrakt)

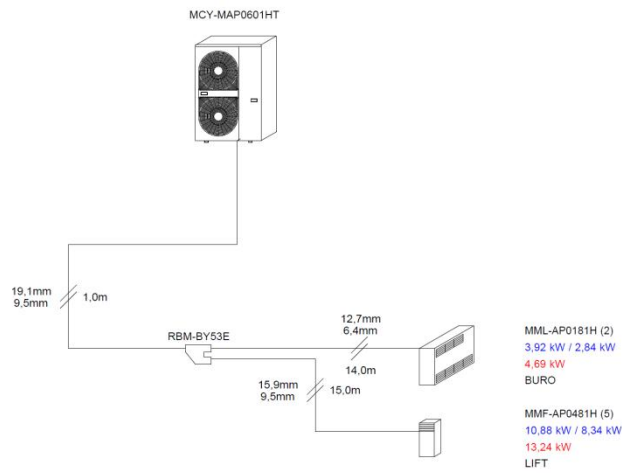


Abbildung 102: Wärmepumpeneinheit Lift – Büro (Schlosstrakt)

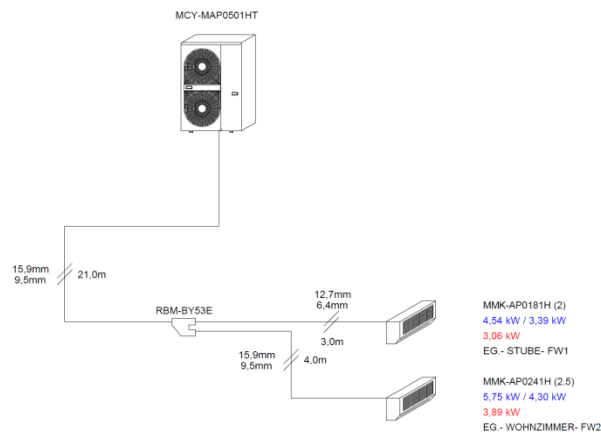


Abbildung 101: Wärmepumpeneinheit Stube - Wohnzimmer (Schlosstrakt)

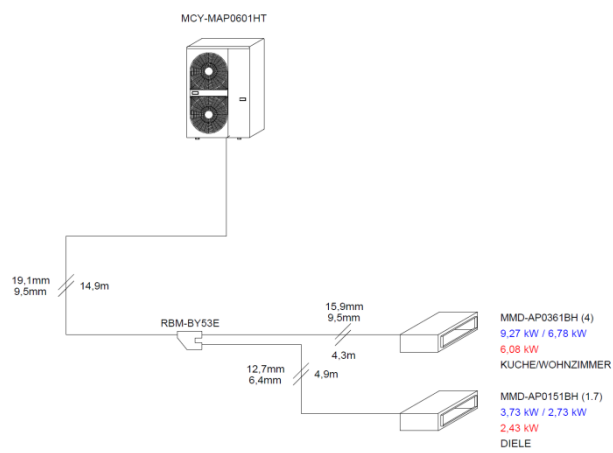


Abbildung 100: Wärmepumpeneinheit Küche/Wohnzimmer – Diele (Schlosstrakt)

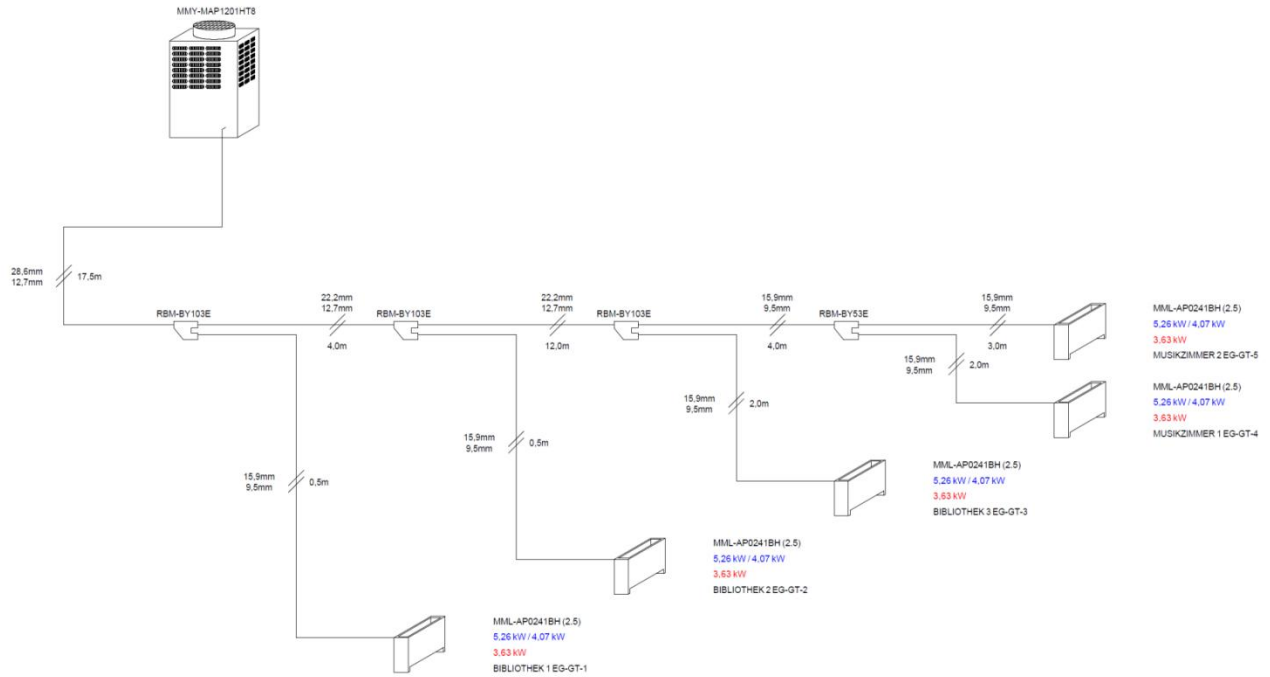


Abbildung 103: Wärmepumpeneinheit Bibliothek, Musikzimmer (Schlosstrakt)

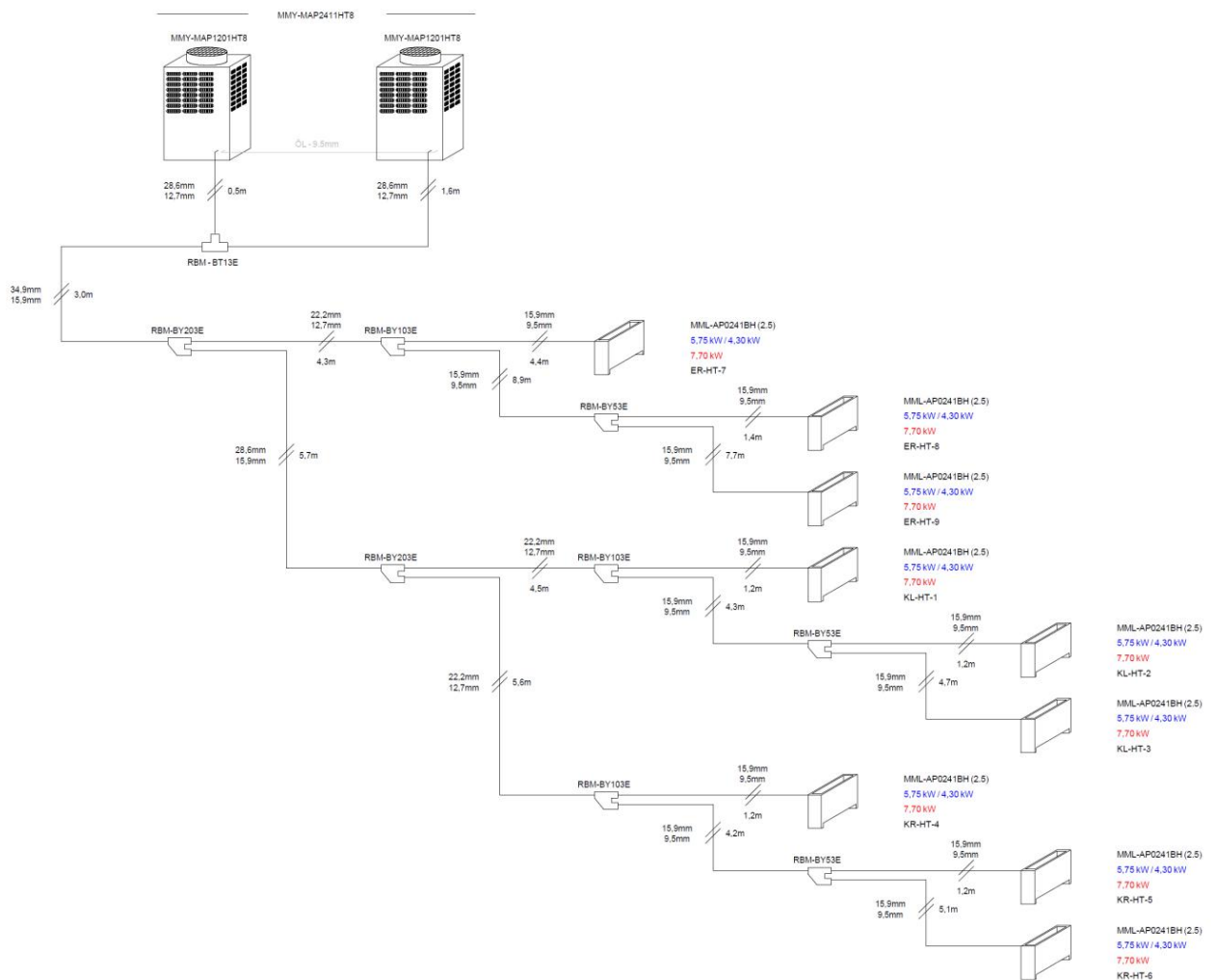


Abbildung 104: Wärmepumpeneinheit Gewölbe – Bar (Nordtrakt)

