



Abschlussbericht

AZ: 25508-25

Umweltgerechte Bühne Wismar

Sanierung und Weiterentwicklung eines Veranstaltungsgebäudes auf dem Hochschulcampus Wismar zum Passivhausstandard

Thema: Wissenschaftliche Begleitung und Vergleich der Planungsberechnungen mit den mittels Messtechnik gewonnenen Kenngrößen und Erkenntnissen

Auftraggeber: Hansestadt Wismar
Der Bürgermeister
Herr Thomas Beyer
Am Markt 1 (Rathaus)
23966 Wismar

Bearbeiter: Prof. Dipl.-Ing. Martin Wollensak
Ing. arch. Lucia Oberfrancová
Hochschule Wismar
Philipp-Müller-Straße 14
23966 Wismar

Wismar Februar 2017

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter dem AZ: 25508-25 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

06/02		Projektkennblatt			
		der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	25508	Referat	25	Fördersumme	349.195,00 €
Antragstitel	Sanierung und Weiterentwicklung eines Veranstaltungsgebäudes auf dem Hochschulcampus Wismar zum Passivhausstandard				
Stichworte	Umweltgerechte Bühne, Sanierung, Doppelnutzung, Passivhaus-Komponenten				
Laufzeit	ca. 60 Monate	Projektzeitraum	13.06.2007-31.12.2016	Unterbrechung	04/2008-10/2012
				Projektphase(n)	1
Zwischenberichte		07/2013-12/2013 01/2014-06/2014		07/2014-12/2014 01/2015-06/2015	07/2015-12/2015 01/2016-06/2016
Bewilligungs-empfänger	Hansestadt Wismar Der Bürgermeister Herr Thomas Beyer Am Markt 1 (Rathaus) 23966 Wismar			Tel	03841 251-9000
				Fax	03841 282748
				Projektleitung Prof. Martin Wollensak Herr Norbert Frieß	
Kooperationspartner	Hochschule Wismar und Kompetenzzentrum KBauMV an der Hochschule Wismar Philipp-Müller-Straße 14 23966 Wismar Ansprechpartner Prof. Martin Wollensak, Tel. 038417537138				
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Aufbauend auf die intensiven Untersuchungen des Campusgeländes der Hochschule Wismar zur umweltgerechten Weiterentwicklung innerhalb eines vorangegangenen DBU-Forschungsprojektes, ergab sich im Rahmen der Überlegungen zur besseren Auslastung und zur Reduzierung der Flächen und durch Abstimmung mit der Hansestadt Wismar, die Möglichkeit zur Doppelnutzung des ursprünglich zum Abriss vorgesehenen Gebäudebestandes des Theaters, um so Ressourcen für einen Neubau zu sparen.</p> <p>Die Größe des vorhandenen Theaters war für die Hansestadt Wismar völlig ausreichend. Der Standort auf dem Campusgelände der Hochschule hat viele Vorteile gegenüber anderen Orten, die für einen Neubau in Frage kamen. In naher Zukunft war aus finanziellen Gründen ein Neubau zudem nicht mehr zu realisieren.</p> <p>Der bauliche Zustand des Theaterkomplexes erforderte jedoch dringend bauliche Maßnahmen. Vorangegangene Untersuchungen haben gezeigt, dass es möglich ist mit wenigen zur Verfügung stehenden Mitteln und geringem baulichen Aufwand einen Umbau durchzuführen, der wesentlich kostengünstiger, umweltschonender und energiesparender als ein Neubau in vergleichbarer Größe ist.</p> <p>Schwerpunkt der Planung war, unter Einbeziehung des Bestandes, durch Wiederverwertung einzelner Bauteile und die Ergänzung mit umweltgerecht geplanten neuen Bauteilen um das bestehende Kerngebäude herum ein „neues“ kompaktes Gebäude zu entwickeln, das weniger Energie benötigt (verbessertes A/V-Verhältnis), kurze Wege hat und dem Gebäude durch die neuen Bauteile ein neues Erscheinungsbild gibt. Der Gebäudebestand sollte nachhaltig saniert, der Energieverbrauch soweit wie möglich reduziert werden.</p>					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
<p>Die umweltgerechte Sanierung des Theatergebäudes erfolgte aufbauend auf die während der Analyse- und Recherchephase getroffenen Erkenntnisse in 3 Bauabschnitten:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bauabschnitt: Anbau eines neuen Foyers an der Südwestfassade als Pufferzone zum Außenraum für solare Warmegewinne und selektiver Rückbau des alten Foyers (der 1. BA erfolgte vor dem Projektanfang) 2. Bauabschnitt: Sanierung des Vorfoyers (Pufferzone zum Außenraum im Nordwesten), Anordnung des Ergänzungsbaus Nord(ost) mit Passivhaus-Komponenten, Sanierung des Saalgebäudes und Bühnenhauses, Erneuerung der Gebäudetechnik und Lüftung 3. Bauabschnitt: Rückbau des langen Anbaus <p>Im Rahmen der Durchführung wurden mögliche Maßnahmen anhand verschiedener Berechnungen und Messungen untersucht, aufgezeigt und optimiert. Nach der Gebäudefertigstellung wurde das Monitoring anhand des vorhandenen Messkonzepts durchgeführt, ausgewertet, Optimierungsvorschläge für den Gebäudebetrieb wurden formuliert.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					

Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Förderziele erreicht wurden. Das Förderprojekt wurde innerhalb des genehmigten Verlängerungszeitraumes abgeschlossen. Das Gebäude bietet nach Eröffnung seinen Nutzern einen gesunden und umweltfreundlichen Lebensraum für die Zukunft.

Das Werk wird auch unter Berücksichtigung der Risiken der unvorhergesehenen Kostensteigerungen sowie Bauzeitenverlängerungen Bundesweit Anerkennung finden und Anregungen für die zukünftige Gestaltung umweltgerechter Theatergebäuden geben. Mit den erreichten Kennwerten ist das neue Gebäudeensemble mit seinem einfachen nicht spektakulären Konzeptansatz vorbildhaft. Der Konzeptansatz und die Methode sind in Ihrer Form für Theaterbauten erstmalig und übertragbar auch auf Theater ähnlicher Größe. Die energetische Sanierung trägt als wirksame Klimaschutzmaßnahme unmittelbar zur Verringerung des CO₂ Ausstoßes bei. Darüber hinaus macht das Theater als Kultureinrichtung die Möglichkeit einer zukunftsweisenden, klimaneutralen Energienutzung seinen Besuchern unmittelbar sichtbar.

Durch den Erhalt des Bestandsgebäudes Theaters und seine Weiterentwicklung als vielfältig/multifunktional nutzbaren Versammlungsraum für Theater-Gastspiele, Audimax der Hochschule, Festveranstaltungen und Kongressnutzungen in Zusammenhang mit den direkt benachbarten Hörsälen wurde eine „umweltgerechte Bühne“ errichtet. Die Hochschule Wismar hat das neue Angebot bereits genutzt unter anderem zur Durchführung von Tagungen (z. B.: Brandschutztag, International Day,...), Erstimmatrikulation, Verabschiedungen, Symposien und Jubiläen.

Bei der Sanierung des Theatergebäudes wurden gemäß Antragstellung und soweit sinnvoll und finanziell verträglich nachhaltige Materialien und schadstoffarme Substanzen eingesetzt. Das Hauptgebäude wurde erhalten, saniert und um zwei neue Ergänzungsbauten ergänzt. Die Materialien der neuen Konstruktion, Boden, Wände und des Daches sind aus Beton, Kalksandstein und Holz. Das Dämmmaterial ist wegen der hohen Brandschutzanforderungen überwiegend Mineralwolle. Die Dachhaut besteht aus recycle fähiger EVA-Folie.

Zur Reduzierung des Energieverbrauches während der gesamten Nutzungsphase des Gebäudes wurde der jährliche Heizwärmebedarfs minimiert (Optimierung des Gebäudevolumens und ein gutes A/V-Verhältnis), und zum Erreichen geringer Lüftungswärmeverluste hocheffiziente Anlagentechnik mit WRG eingebaut. Das Monitoring zeigt insgesamt, dass mit der Sanierung und den integrierten Neubauten ein Gebäude mit Passivhaus-Komponenten errichtet worden ist. Der Primärenergiebedarf beträgt 111,90 kWh/m²a und entspricht damit den Anforderungen des Passivhausinstituts. Der Heizwärmebedarf von 52,10 kWh/m²a erfüllt die Anforderung an die energetische Altbausanierung von Wohngebäuden mit Passivhaus-Komponenten und Innendämmung. Für hybride Gebäudetypologien mit speziellen Nutzungen und hohen Anforderungen bestehen keine Vorgaben und Vergleichswerte.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Während der Projektdurchführung erfolgten zahlreiche Berichte und Veröffentlichungen über Projektziele, Baufortschritt und die eingeworbenen Fördermittel durch Bauherrn, Architekt und wissenschaftliche Begleitung unter anderem auch in der Tagespresse. Darüber hinaus wurden und werden zahlreiche Fachvorträge und Informationen über die wissenschaftlichen Erkenntnisse und mögliche Anschlussvorhaben gehalten.

Der Projekt- und Bauablauf wurde unter der baubegleitenden Webseite dokumentiert:
umweltgerechte-buehne.hs-wismar.de weitere Informationen: theater.wismar.de

Fazit

Die Messergebnisse des Monitorings zeigen, dass das Ziel der Sanierung unter weitgehender Nutzung wesentlicher Bestandsbauteile eine neue kompakte Gebäudeform zu schaffen, mit hochwertigen Bauteilen und wenigen Wärmeverlusten bei geringen Kosten, erreicht ist. Der Ergänzungsbau Nord(ost) wurde entsprechend des Passivhausstandards gedämmt, das Süd(west) Foyer ermöglicht solare Wärmegewinne im Winter. Das umweltfreundliche Sanierungsvorhaben konnte darüber hinaus mit vergleichsweise geringen Kosten umgesetzt werden. Nach BKI Baukosten 2014 des Baukosteninformationszentrums Deutscher Architektenkammern GmbH betragen die durchschnittliche Vergleichskosten für den Neubau Theater im Mittel 2.220, 00 Euro/m²BGF (von 1.860 bis 3.230 Euro/m²BGF) und 485 Euro/m³BRI (von 425 bis 565 Euro/m³BRI). Das Gebäude wurde unter den Mindestkostensatz mit insgesamt 1.733,9 Euro/m²BGF und 335,6 Euro/m³BRI realisiert.

06/02	Project code sheet of the German Federal Environmental Foundation			
File 25508	Department 25	Promotion 349.195 €		
Project title Renovation and further development of an environmentally friendly stage building on the campus of Wismar to passive house standard				
Keywords Environmentally sound stage, renovation, double use, passive house components				
Period 60 months	Project period 13.06.2007-31.12.2016	Project interruption 04/2008-10/2012	Project phase(s) 1	
Interim reports	07/2013-12/2013 01/2014-06/2014	07/2014-12/2014 01/2015-06/2015	07/2015-12/2015 01/2016-06/2016	
Promotion recipient	Hansestadt Wismar Der Bürgermeister Herr Thomas Beyer Am Markt 1 (Rathaus) 23966 Wismar	Phone	03841 251-9000	
		Fax	03841 282748	
Cooperation partner	Hochschule Wismar and Kompetenzzentrum KBauMV at the Hochschule Wismar Philipp-Müller-Straße 14 23966 Wismar Germany Contact person Prof. Martin Wollensak, Phone 038417537138			
				Project management Prof. Martin Wollensak Mr. Norbert Frieß
Objective and purpose of the project				
<p>On the basis of the intensive investigations on the environmentally sound further development of the campus area of the Wismar University of Applied Sciences within a previous DBU research project and by agreement with the city of Wismar, the possibility of a double use of the originally demolition resulted existing theater building arises, in order to save resources for a new building. The size of the existing theater was sufficient for Wismar. The location on the campus has many advantages over other sites that would be suitable for a new construction. In addition, a new building could not be realized in the near future for financial reasons.</p> <p>However, the structural condition of the theater complex urgently required structural measures. Previous investigations have shown that it is possible to carry out a reconstruction with a few available resources and low constructional costs, which is much more economical, environmentally-friendly and energy-saving than a new building of comparable size. The main focus of the planning was to develop a "new" compact building that requires less energy (improved A/V ratio), has short distances and gives the building a new design by integrating the original construction, re-using old building elements and supplementing it with the environmentally planned new constructions around the existing core building. The existing theater building should be sustainable renovated and the energy consumption should be reduced as far as possible.</p>				
Work steps and used methods				
<p>The environmentally sound renovation of the theater building based on the knowledge gained during the analysis and research phase was divided into 3 construction stages:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. construction stage: construction of a new foyer on the south-western facade as a buffer zone to the outside area and for solar heat gains, selective dismantling of the old foyer building 2. construction stage: refurbishment of the pre-foyer (buffer zone to the outer space in the north-west), arrangement of the additional building north (east) with passive house components, renovation of the main audience building and stage house, renewal of the building technology and ventilation 3. construction stage: dismantling of the original long barracks <p>Within the project implementation, possible measures were investigated and optimized by using different calculations and measurements. After building completion, the monitoring was carried out and evaluated, based on the monitoring concept. Optimization proposals for the building operation were formulated.</p>				
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de				

Results and discussion

In total, the promotion objectives have been achieved. The funding project was completed within the approved extension period. After completing the construction, new theater building offers its users a healthy and environmentally friendly environment for the future.

Theater Wismar will meet with the nationwide recognition and provide suggestions for the future design of environmentally sound theater buildings, despite the consideration of unforeseen cost increases as well as construction time extensions. The new building with its simple, non-spectacular concept approach is exemplary in the view of achieved results. The concept approach and the method are unique in their form for theater buildings and can also be transmitted to other theaters of similar size.

The energetic renovation contributes directly as an effective climate protection measure to the reduction of CO₂ emissions. In addition, the theater as a cultural facility makes the possibility of a future-oriented, climate-effective use of energy directly visible to its visitors.

A "environmentally sound stage" was established by the preservation of the existing theater building and further development as a multifunctional meeting space for theatrical guest performances, audimax of the university, festive events and congress use in connection with the directly adjacent lecture halls. The University of Wismar has already used the new offer, among other things, to hold meetings (e.g. fire protection days, international day, ...), matriculation, farewells, symposiums and anniversaries.

During the reconstruction of the theater building, sustainable materials and low-pollutant substances were used in accordance with the grant application and as far as reasonable and financially bearable. The main building was preserved, renovated and supplemented by two new additional structures. The materials of the new construction, floor, walls and the roof are made of concrete, sand-lime brick and wood. The insulation material is predominantly mineral wool due to the high fire protection requirements. The roof skin is made of recyclable EVA film.

In order to reduce energy consumption during the entire phase of the building's use, the annual heating requirements were minimized (optimization of the building volume and a good A/V ratio). High-efficiency ventilation system with heat recovery was installed to achieve low ventilation heat losses.

The monitoring shows in total that the final theater building corresponds to a building renovation with passive house components. The primary energy requirement of 111.90 kWh/m²a meets the requirements of the passive house. The heating requirement of 52.10 kWh/m²a fulfills the requirement for the energetic renovation of residential buildings with passive house components and interior insulation. There are no specifications or comparative values for hybrid building types with specific uses and high requirements.

Public relations and presentation

During the implementation of the project, numerous reports and publications on project objectives, construction progress and recruited funds were made by the owner, the architect and the scientific supervision, including also the daily press. In addition, numerous lectures and information on the scientific findings and possible follow-up projects have been held.

The project and construction process have been documented under the following website:

umweltgerechte-buehne.hs-wismar.de

further information: theater.wismar.de

Conclusion

The measurement results of the monitoring show that the aim of the building renovation to create a new compact building by using of existing components, with high-quality components and few heat losses at a low cost, was achieved. The additional new construction in north-east was insulated according to the passive house standard, the south-west foyer building allows solar heat gains in the winter.

In addition, the environmentally friendly renovation project could be implemented with comparatively low costs. According to BKI building costs 2014 of the building cost information center of the German architects' association (GmBH), the average comparison costs for the new theater construction are 2,220.00 euros/m²GFA (from 1,860 to 3,230 euros/m²GFA) and 485 euros/m³GBV (from 425 to 565 euros/m²GBV). The building was realized under the minimal cost limit in the sum of 1.733,9 euros/m²GFA and 335.6 euros/ m³GBV.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
Zusammenfassung	8
1 Projektablauf	9
1.1 Einleitung	9
1.2 Aufgabenstellung	10
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	10
1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen – Projektbeteiligte	11
1.5 Förderung	12
2 Ergebnisse	13
2.1 Objektbeschreibung Bestandsgebäude	13
2.1.1 <i>Allgemeine Zustandsbeschreibung</i>	13
2.1.2 <i>Bauwerk – Baukonstruktion</i>	17
2.1.3 <i>Bauwerk – technische Anlagen</i>	19
2.1.4 <i>Energieverbrauch</i>	20
2.1.5 <i>Fazit</i>	21
2.2 Objektbeschreibung Gebäude nach der Sanierung	22
2.2.1 <i>Allgemeine Beschreibung</i>	22
2.2.2 <i>Bauwerk – Baukonstruktion</i>	35
2.2.3 <i>Bauwerk – technische Anlagen und Energiekonzept</i>	46
2.2.4 <i>Energieverbrauch</i>	52
2.2.5 <i>Fazit</i>	53
2.3 Vergleich Bestandsgebäude, Referenzgebäude und Gebäude nach der Sanierung	54
2.3.1 <i>Bauwerk – Baukonstruktion</i>	54
2.3.2 <i>Bauwerk – technische Anlagen</i>	57
2.3.3 <i>Energieverbrauch</i>	58
2.3.4 <i>Fazit</i>	59
3 Monitoring	60
3.1 Messkonzept	60
3.1.1 <i>Ziele des Monitorings</i>	60
3.1.2 <i>Messkonzept</i>	62
3.1.3 <i>Messtechnik</i>	67
3.2 Ergebnisse und Bewertung	79
3.2.1 <i>Referenzräume</i>	79
3.2.1.1 <i>Ergänzungsbau Empfangshalle Süd(west), Neubau 2008</i>	79
3.2.1.2 <i>Haupt-/Saalgebäude: Vorfoyer Nordwest, Sanierung 2014</i>	84
3.2.1.3 <i>Haupt-/Saalgebäude: Zuschauerraum, Balkon, Sanierung 2014</i>	86
3.2.1.4 <i>Haupt-/Saalgebäude: Orchestergraben, Bühne, Sanierung 2014</i>	90
3.2.1.5 <i>Ergänzungsbau Nord(ost): Kammerbühne, Neubau 2014</i>	93
3.2.1.6 <i>Ergänzungsbau Nord(ost): Theaterklausen, Neubau 2014</i>	98
3.2.1.7 <i>Ergänzungsbau Nord(ost): Garderoben, Neubau 2014</i>	101
3.2.1.8 <i>Fazit und Optimierungsvorschläge aus dem Monitoring</i>	106
3.2.2 <i>Energiebilanzen</i>	107
3.2.2.1 <i>RLT-Anlage Haupt-/Saalgebäude</i>	107
3.2.2.2 <i>RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost)</i>	113
3.2.2.3 <i>Heizung</i>	118
3.2.2.4 <i>Elektro-Zähler</i>	129
3.2.2.5 <i>Energiebilanz gesamt</i>	137
3.2.2.6 <i>Fazit und Optimierungsvorschläge aus dem Monitoring</i>	139
4 Fazit	140
Literaturverzeichnis	142
Anlage: Trendkurvenausdrucke der wichtigsten Messdaten	143

Abbildungsverzeichnis

Abb.1-2	Planungsunterlagen IGEL-Institut Wismar 2007
Abb.3-5	Frieß, N.; Theater Wismar 2006
Abb.6	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar, Grundlage: Planungsunterlagen IGEL-Institut Wismar 2007
Abb.7	Oberfrancová, L.; „Umweltgerechte Bühne“ Wismar 2015
Abb.8-9	IGEL-Institut; Theater Wismar 2007
Abb.10-20	IGEL-Institut; Theater Wismar 2008
Abb.21	Planungsunterlagen IGEL-Institut Wismar 2007
Abb.22-24	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar, Grundlage: Planungsunterlagen Architekturbüro Albert und Planer Rostock 2013
Abb.25-28	Planungsunterlagen Architekturbüro Albert und Planer Rostock 2013
Abb.29-34	Oberfrancová, L.; „Umweltgerechte Bühne“ Wismar 2016
Abb.35	Schenk, P.; „Umweltgerechte Bühne“ Wismar 12/2014
Abb.36	Oberfrancová, L.; „Umweltgerechte Bühne“ Wismar 2015
Abb.37-40	Oberfrancová, L.; „Umweltgerechte Bühne“ Wismar 2013-2014
Abb.41-43	Schenk, P.; „Umweltgerechte Bühne“ Wismar 2013-2014
Abb.44-47	Oberfrancová, L.; „Umweltgerechte Bühne“ Wismar 2013-2014
Abb.48-49	Schenk, P.; „Umweltgerechte Bühne“ Wismar 2013-2014
Abb.50-52	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar, Grundlage: Planungsunterlagen IGEL-Institut Wismar 2007
Abb.53-54	Oberfrancová, L.; „Umweltgerechte Bühne“ Wismar 2016
Abb.55	Krizánková, A.; „Umweltgerechte Bühne“ Wismar 2016
Abb.56-66	Oberfrancová, L.; „Umweltgerechte Bühne“ Wismar 2015-2016
Abb.67-70	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar 2014, Pläne; Architekturbüro Albert und Planer Rostock 2013
Abb.71	Planungsunterlagen Ingenieurbüro Edgar Pech Wismar 2015
Abb.72-79	Planungsunterlagen Kieback&Peter Rostock 2014
Abb.80-226	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar 12/2016

Tabellenverzeichnis

Tab.1-9	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar, Grundlage: Planungsunterlagen IGEL-Institut Wismar 2007
Tab.10	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar, Grundlage: Verbrauchswerte Theater Wismar 2011
Tab.11-40	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar, Grundlage: Planungsunterlagen Architekturbüro Albert und Planer Rostock 2013
Tab.41	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar 03/2014
Tab.42-43	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar, Grundlage: Planungsunterlagen IGEL-Institut Wismar 2007, Planungsunterlagen Architekturbüro Albert und Planer Rostock 2013
Tab.44	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar, Grundlage: Planungsunterlagen IGEL-Institut Wismar 2007 Ingenieurbüro Edgar Pech Wismar 2013
Tab.45	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar 03/2014
Tab.46-47	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar 2016
Tab.48-49	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar, Grundlage: Veranstaltungsplan Theater Wismar 2015-2016
Tab.50-53	Wissenschaftliche Begleitung Hochschule Wismar 12/2016

Abkürzungsverzeichnis

AS	Automationssystem
BA	Bauabschnitt
BGF	Bruttogeschossfläche
BMA	Brandmeldeanlage
BRI	Bruttorauminhalt
CO ₂	Carbon Dioxid
DBU	Deutsche Bundestiftung Umwelt
DDC	Direct Digital Control
DM	Dimmer Raum
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EG	Erdgeschoss
ELA	Elektro Akustik Anlage
EnEV	Energieeinsparverordnung
E-Zähler	Elektro Zähler
FBH	Fußbodenheizung
GLT	Gebäudeleittechnik
h	Stunde
HK	Heizkreis
HLS	Heizung Lüftung Sanitär
IZ	Inselzentrale
Kg	Kilogram
KS	Kalksandstein
kW	Kilo Watt
KZ	Kalkzement
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
min	Minute
MW	Mineralwolle
NGF	Nettogeschossfläche
NRI	Nettorauminhalt
NSHV	Niederspannungshauptverteilung
OG	Obergeschoss
PE	Primärenergie
PV	Photovoltaik
RLT-Anlage	Raumlufttechnische Anlage
SiBe	Sicherheitsbeleuchtung
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
U	Umdrehung
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
UV	Unterverteilung
WMZ	Wärmemengezähler
WRG	Wärmerückgewinnung
WSV	Wärmeschutzverglasung
WW	Warmwasser

Zusammenfassung

Aufbauend auf die intensiven Untersuchungen des Campusgeländes der Hochschule Wismar zur umweltgerechten Weiterentwicklung innerhalb eines vorangegangenen DBU-Forschungsprojektes, ergab sich im Rahmen der Überlegungen zur besseren Auslastung und zur Reduzierung der Flächen und durch Abstimmung mit der Hansestadt Wismar, die Möglichkeit zur Doppelnutzung des ursprünglich zum Abriss vorgesehenen Gebäudebestandes des Theaters, um so Ressourcen für einen Neubau zu sparen. Der bauliche Zustand des Theaterkomplexes erforderte jedoch dringend bauliche Maßnahmen. Vorangegangene Untersuchungen haben gezeigt, dass es möglich ist mit wenigen zur Verfügung stehenden Mitteln und geringem baulichen Aufwand einen Umbau durchzuführen, der wesentlich kostengünstiger, umweltschonender und energiesparender als ein Neubau in vergleichbarer Größe ist.

Schwerpunkt der Planung war, unter Einbeziehung des Bestandes, durch Wiederverwertung einzelner Bauteile und die Ergänzung mit umweltgerecht geplanten neuen Bauteilen um das bestehende Kerngebäude herum ein „neues“ kompaktes Gebäude zu entwickeln, das weniger Energie benötigt (verbessertes A/V- Verhältnis, hocheffiziente Anlagentechnik mit Wärmerückgewinnung), kurze Wege hat und dem Gebäude durch die neuen Bauteile ein neues Erscheinungsbild gibt. Der Gebäudebestand sollte nachhaltig saniert, der Energieverbrauch soweit wie möglich reduziert werden.

Die umweltgerechte Sanierung des Theatergebäudes erfolgte aufbauend auf die während der Analyse- und Recherchephase getroffenen Erkenntnisse in 3 Bauabschnitten. Im Rahmen der Durchführung wurden mögliche Maßnahmen anhand verschiedener Berechnungen und Messungen untersucht, aufgezeigt und optimiert. Nach der Gebäudefertigstellung wurde das Monitoring anhand des vorhandenen Messkonzepts durchgeführt, ausgewertet, Optimierungsvorschläge für den Gebäudebetrieb wurden formuliert.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Förderziele erreicht wurden. Das Förderprojekt wurde innerhalb des genehmigten Verlängerungszeitraumes abgeschlossen. Das Gebäude bietet nach Eröffnung seinen Nutzern einen gesunden und umweltfreundlichen Lebensraum für die Zukunft. Das Werk wird auch unter Berücksichtigung der Risiken der unvorhergesehenen Kostensteigerungen sowie Bauzeitenverlängerungen Bundesweit Anerkennung finden und Anregungen für die zukünftige Gestaltung umweltgerechter Theatergebäuden geben. Mit den erreichten Kennwerten ist das neue Gebäudeensemble mit seinem einfachen nicht spektakulären Konzeptansatz vorbildhaft. Der Konzeptansatz und die Methode sind in Ihrer Form für Theaterbauten erstmalig und übertragbar auch auf Theater ähnlicher Größe.

Die energetische Sanierung trägt als wirksame Klimaschutzmaßnahme unmittelbar zur Verringerung des CO₂ Ausstoßes bei. Darüber hinaus macht das Theater als Kultureinrichtung die Möglichkeit einer zukunftsweisenden, klimaneutralen Energienutzung seinen Besuchern unmittelbar sichtbar.

Durch den Erhalt des Bestandsgebäudes Theaters und seine Weiterentwicklung als vielfältig/multifunktional nutzbaren Versammlungsraum für Theater-Gastspiele, Audimax der Hochschule, Festveranstaltungen und Kongressnutzungen in Zusammenhang mit den direkt benachbarten Hörsälen wurde eine „umweltgerechte Bühne“ errichtet. Die Hochschule Wismar hat das neue Angebot bereits genutzt unter anderem zur Durchführung von Tagungen (z. B.: Brandschutztag, International Day,...), Erstimmatrikulation, Verabschiedungen, Symposien und Jubiläen.

Die Messergebnisse des Monitorings zeigen, dass das Ziel der Sanierung unter weitgehender Nutzung wesentlicher Bestandsbauteile eine neue kompakte Gebäudeform zu schaffen, mit hochwertigen Bauteilen und wenigen Wärmeverlusten bei geringen Kosten, erreicht ist. Das umweltfreundliche Sanierungsvorhaben konnte darüber hinaus mit vergleichsweise geringen Kosten umgesetzt werden. Nach BKI Baukosten 2014 des Baukosteninformationszentrums Deutscher Architektenkammern GmbH betragen die durchschnittliche Vergleichskosten für den Neubau Theater im Mittel 2.220, 00 Euro/m²BGF (von 1.860 bis 3.230 Euro/m²BGF) und 485 Euro/m³BRI (von 425 bis 565 Euro/m³BRI). Das Gebäude wurde unter den Mindestkostensatz mit insgesamt 1.733,9 Euro/m²BGF und 335,6 Euro/m³BRI realisiert.

1 Projektablauf

1.1 Einleitung

Ort und Lage des Bauwerkes	<u>Bürgermeister-Haupt-Straße 14, 23966 Wismar</u>
Gebäudeart	<u>Ehemalige Exerzierhalle</u>
Planungszeitraum	<u>seit 2003 (nur Hauptgebäude)</u>
Bauausführung	<u>Foyeranbau 10/2006-04/2008 (1. Bauabschnitt)</u> <u>Sanierung Haupthaus und Anbau Nord 05/2013-03/2015</u> <u>(2.Bauabschnitt)</u> <u>Rückbau Barackengebäude Januar 2016 (3. Bauabschnitt)</u>
Monitoring	<u>04/2015 – 12/2016</u>
Baukosten KG 300+400 (Brutto)	<u>ca. 4.669.546,00 €</u>
Bruttogeschossfläche	<u>2.693,09 m²</u>
Nettogeschossfläche	<u>2.363,46 m²</u>
Bruttorauminhalt	<u>13.911,47 m³</u>
Nettorauminhalt	<u>12.286,00 m³</u>

Die Sanierung des Theaters der Hansestadt Wismar zur „Umweltgerechten Bühne Wismar“ ist ein wichtiger Baustein der Kooperation zwischen Hochschule und Hansestadt. Durch die Lage des Veranstaltungsgebäudes auf dem Hochschulgelände ist die bauliche Ertüchtigung zu einem wichtigen Teil des integrierten energetischen Campus Entwicklungskonzeptes der Hochschule Wismar, mit dem Ziel der nachhaltigen baulichen Weiterentwicklung zum umweltgerechten Hochschulcampus der Zukunft (DBU gefördertes Konzept Campus 2020) geworden. Das bestehende Theatergebäude der Hansestadt Wismar auf dem Campusgelände wurde zu einer multifunktionalen „umweltgerechten Bühne Wismar“ umgebaut, die somit eine Doppelnutzung durch das Theater und die Hochschule erfährt. Die Doppelnutzung des Gebäudes trägt zu signifikanten Flächen-, Ressourcen-, Energie und somit auch Kosteneinsparungen bei.

Im Rahmen der Sanierung wurden passive Energieeinsparpotentiale durch die Verringerung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste und durch passive Solarenergienutzung erreicht. Durch die Verringerung der Hüllfläche (Kompaktheit) und der Verbesserung der thermischen Hülle wurde der Energiebedarf auf ein Minimum reduziert.

Das energetische Konzept beruht auch auf der Anwendung effizienter Technologien und energiesparender Systeme, die zu einem innovativen Gesamtkonzept verbunden worden sind. Das Gesamtkonzept gliedert sich dabei in bedarfsorientierte Teilkonzepte entsprechend der unterschiedlichen Nutzungsprinzipien der einzelnen Gebäudeabschnitte bzw. Realisierungsschritte. Insbesondere trägt eine bedarfsgerechte Beleuchtungssteuerung Sorge für einen minimalen Energieverbrauch. Die Schaltung der Beleuchtung erfolgt in Abhängigkeit der Nutzung der Räume unter gezielter Einhaltung der erforderlichen Beleuchtungsstärken.

Mit den Bau- und Sanierungs- Maßnahmen wird ein besonders sinnvoller Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz geleistet, der mit geringen Ressourcen umgesetzt werden konnte. Auch wenn die Umsetzung sehr viel Zeit gedauert hat und der ursprünglich geplante Kostenansatz nicht eingehalten werden konnte, zeigt die Maßnahme wie behutsam und suffizient vorhandene Substanz zukunftsfähig umgebaut werden kann.

1.2 Aufgabenstellung

Erstellung einer Umweltgerechte Bühne Wismar durch:

- *Doppelnutzung* – Erhaltung des Theaters und Fortentwicklung als vielfältig/multifunktional nutzbaren Versammlungsraum für Theater-Gastspiele, AudiMax der Hochschule, Festveranstaltungen und Tagungsnutzungen in Zusammenhang mit den direkt benachbarten Hörsälen
- *Energie- und Ressourceneffiziente Sanierung und Anbau mit Passivhaus-Komponenten:*
 - Optimierung des Gebäudevolumens und ein gutes A/V-Verhältnis
 - Nachhaltige und energieeffiziente Sanierung des Bestandsgebäudes
 - Nord(ost)-Anbau mit Passivhaus-Komponenten
 - Reduzierung des gesamten Energieverbrauchs soweit technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll
 - geringere Bau- und Betriebskosten
 - Ressourcen schonende Bauweise, Verwendung nachwachsender Rohstoffe und ökologischer Baumaterialien
 - Umweltschonender selektiver Rückbau der Barackengebäude
 - Nutzung hoch effizienter Gebäudetechnik
- Verbesserung der Nutzungsmöglichkeiten
- Verbesserung des äußeren Erscheinungsbildes
- Sanierung notwendiger Innenausstattungen

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Förderantrag vom	<u>26.04.2007</u>
Förderbescheid	<u>13.06.2007</u>
Vorhabenbeginn	<u>13.06.2007</u>
Unterbrechung der Arbeiten (wegen Nachfinanzierung)	<u>04/2008 – 10/2012</u>
Verlängerung bis	<u>31.12.2016</u>
Vorhabensende	<u>31.12.2016</u>
<i>Gesamtlaufzeit des Vorhabens</i>	<i>ca. 60 Monate: <u>13.06.2007 - 31.12.2016</u> <u>mit Unterbrechung 04/2008 – 10/2012</u></i>
Bauausführung Foyeranbau (1. BA)	<u>10/2006 – 04/2008</u>
Planungsbeginn 2.BA	<u>10/2012</u>
Baugenehmigung (2.BA) erteilt am	<u>03/2013</u>
Bauausführung Haupthaus (2. BA)	<u>05/2013 – 03/2015</u>
Rückbau Barackengebäude (3. BA)	<u>Januar 2016</u>
Inbetriebnahme	<u>Dezember 2014 (feierliche Eröffnung 03.12.2014)</u>
<i>Gesamtbauzeit</i>	<i><u>40 Monate</u></i>
Beginn Messzeitraum Monitoring	01.07.2015
Ende Messzeitraum Monitoring	30.06.2016

Die relativ lange Projektlaufzeit und die damit verbundene Maßnahmenverlängerung begründen sich aus unerwarteten Schwierigkeiten bei der Finanzierung zusätzlicher baulicher Maßnahmen, die zunächst im Rahmen der energetischen Sanierung nicht vorgesehen waren.

Darüber hinaus haben sich durch Veränderungen bei den Rahmenbedingungen im Klimaschutz Maßnahmenanpassungen bei der Projektdurchführung über die lange Projektlaufzeit ergeben, die eine kostenneutrale Umwidmung von Fördergeldern erforderten.

Die neue Kostenverteilung hat sich insgesamt positiv im Sinne der Erfüllung der Projektzielstellung entwickelt. Insgesamt haben sich die förderfähigen Ausgaben in der Projektlaufzeit durch unvorhersehbare Kostensteigerungen erhöht, sodass der Bauherr einen höheren Eigenanteil trägt.

Die begründeten Kostenumverteilungen bewirken bei einigen Fördergegenständen Einsparungen und bei anderen Fördergegenständen höhere Ausgaben.

Unerwartete Schwierigkeiten haben sich aus der komplexen Gebäudegeometrie des Gebäudes und bei der Sanierung der Bodenplatte unter dem Saal ergeben.

1.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen – Projektbeteiligte

<u>Bauherr</u>	Hansestadt Wismar vertreten durch den Bürgermeister Herr Thomas Beyer Adresse: Am Markt 1 (Rathaus), 23966 Wismar Projektleiter: Herr Norbert Frieß Adresse: Amt für Zentrale Dienste, Abteilung Gebäudemanagement, Hinter dem Rathaus 6, 23966 Wismar
<u>Nutzer</u>	Theater der Hansestadt Wismar Adresse: Bürgermeister-Haupt-Straße 14, 23966 Wismar
<u>Konzept und Entwurf</u>	IGEL-Institut (Institut für Gebäude + Energie + Licht Planung) Prof. Dipl.-Ing. Martin Wollensak, Prof. Dr. Thomas Römhild Mitarbeiter/innen: Dipl.-Ing. Heidi Wollensak, MA. Arch. Ingo Volmering Adresse: Alter Holzhafen 19, 23966 Wismar
<u>Ausführungsplanung</u>	Architekturbüro Albert+Planer Adresse: Hinter dem Rathaus 2, 18055 Rostock
<u>Bauleitung</u>	Bau-Management Ullrich Adresse: Lise-Meitner-Ring 7, 18059 Rostock
<u>Wiss. Begleitung</u>	Hochschule Wismar Prof. Dipl.-Ing. Martin Wollensak Mitarbeiterin: Ing. arch. Lucia Oberfrancová Adresse: Philipp-Müller-Straße 14, 23966 Wismar
<u>Monitoring</u>	Hochschule Wismar, Kompetenzzentrum Bau MV Prof. Dipl.-Ing. Martin Wollensak Mitarbeiter-/in: Dipl.-Ing. Hartmut Möller, Ing. arch. Lucia Oberfrancová, Dr. Olaf Hagedorf, B.Sc. Hendrik Folkerts Adresse: Philipp-Müller-Straße 14, 23966 Wismar
<u>Tragwerksplanung</u>	Ingenieurbüro Peter Schenk Dipl.-Ing. Peter Schenk Adresse: Philipp-Müller-Straße 12, 23966 Wismar

Haustechnik Planung Ingenieurbüro für Gebäudetechnik E. Pech
Dipl.-Ing. Edgar Pech
Adresse: Dr.-Leber-Straße 34a, 23966 Wismar

Elektro Planung Ingenieurbüro für Elektroplanung Bombowsky GbR
Dipl.-Ing. Mathias Bombowsky
Adresse: Mecklenburger Straße 18, 23966 Wismar

Bau-/Raumakustik Akustikbüro Schröder und Lange GmbH
Adresse: Herrmannstraße 22, 18055 Rostock

Brandschutz Dr.-Ing. Frank Riesner
Adresse: Philipp-Müller-Straße 12, 23966 Wismar

Öffentlichkeitsarbeit

Während der Projektdurchführung erfolgten zahlreiche Berichte und Veröffentlichungen über Projektziele, Baufortschritt und die eingeworbenen Fördermittel durch Bauherrn, Architekt und wissenschaftliche Begleitung unter anderem auch in der Tagespresse. Darüber hinaus wurden und werden zahlreiche Fachvorträge und Informationen über die wissenschaftlichen Erkenntnisse und mögliche Anschlussvorhaben gehalten.

Der Projekt- und Bauablauf wurde unter der baubegleitenden Webseite dokumentiert:

umweltgerechte-buehne.hs-wismar.de

Weitere Informationen:

theater.wismar.de

1.5 Förderung

Das Bauvorhaben der „Umweltgerechten Bühne Wismar“ wurde gefördert durch:



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

2 Ergebnisse

2.1 Objektbeschreibung Bestandsgebäude

2.1.1 Allgemeine Zustandsbeschreibung

Das seit 1840 existierende Theater der Hansestadt Wismar wurde seit dem vollständigen Brandverlust von 1948 auf dem Campusgelände provisorisch in einer ehemaligen Exerzierhalle untergebracht. Seit seiner Entstehung wurde es im Laufe der Jahre um mehrere Anbauten erweitert. Die einzelnen Bauabschnitte waren deutlich erkennbar. Sie hatten keine einheitliche Gestaltung und waren gekennzeichnet durch die in ihrer Entstehungszeit vorrätigen Materialien. Die Form spielte beim Entwurf keine Rolle. Es war viel wichtiger, die für das Theater notwendigen Räume mit einem minimalen Aufwand zu errichten.

Die Anbauten hatten den Charakter von Baracken. Sie standen in keinem Bezug zur umgebenden Bebauung der Hochschule. Gebäudefluchten, Straßenverläufe und Sichtachsen wurden beim Bau nicht berücksichtigt.

Folglich störte das Theater in seiner Form die Weiterentwicklung des Campus der Hochschule im Zuge des Hochschulentwicklungsplanes. Der Theaterbau musste sich formal und inhaltlich in den Campus der Hochschule integrieren. Der Hochschule fehlte noch ein großer Versammlungsraum für beispielsweise feierliche Immatrikulationen, und Veranstaltungen mit mehr als 200 Personen. Die Hansestadt Wismar hat keinen zusätzlichen größeren kulturellen Veranstaltungsort mit festen Sitzplätzen für beispielsweise Sommerfestspiele und vor allem um Gastspiele und Theateraufführungen zu zeigen.

In der Bürgerschaft wurde alternativ zunächst über andere Standorte für ein Theater diskutiert und bereits ein Planungswettbewerb für eine Innerstädtische Lösung durchgeführt.

Die degressive Bevölkerungsentwicklung und die steigenden Kosten zwangen zu einem Umdenken. Nach wiederholten Versuchen, das Provisorium durch einen Neubau zu ersetzen, hat sich die Bürgerschaft der Hansestadt Wismar im Jahr 2006 dazu entschieden, die Bühne dauerhaft an dem provisorischen Standort zu belassen und das bestehende Provisorium schrittweise zu einer „Umweltgerechten Bühne“ unter Einbeziehung des Bestandes umzubauen, so dass das Gebäudeensemble gemeinsam mit der Hochschule Wismar als Veranstaltungshaus genutzt werden kann. Dadurch wird auch eine bessere Auslastung des Gebäudes ermöglicht. Diese Planung steht im Einklang mit einer umweltgerechten Weiterentwicklung des Campusgeländes der Hochschule Wismar.

Der bauliche Zustand des Theaters wies erhebliche Mängel auf, die eine umfassende Sanierung und einen entsprechenden Umbau notwendig machten.

Das Saalgebäude bildet mit den Seitenbühnen den ältesten Teil des Theaterkomplexes. Die Konstruktion, bestehend aus einem Stahlbeton Rahmentragwerk mit aussteifenden Ziegelmauerwerkswänden war zu Planungsbeginn noch in gutem Zustand, das Tragwerk war schlüssig ausgeprägt. Der Saal hat gute akustische Eigenschaften, die Gestalt der backsteinernen ehemaligen Exerzierhalle prägt den Charakter des Ensembles. Aus baukonstruktiver und -physikalischer Sicht war die Dachhaut sanierungsbedürftig und das Dach und die Außenwände des Saalgebäudes völlig unzureichend gedämmt.

Der lange nordöstliche Anbau, in dem sich Verwaltung und Puppenbühne befanden, war mit durchfeuchteten Grundmauern, nicht erhaltungsfähiger Dachkonstruktion und mangelhaftem Ausbaustandard in sehr schlechtem Zustand. Eine Erhaltung und Sanierung dieser Gebäudeteile war nicht zu empfehlen.

Der nordwestliche Anbau mit Eingangsbereich war ebenfalls in schlechtem baulichem Zustand. Die Toilettenanlage entsprach nicht mehr dem heutigen Standard, Toiletten standen nicht in ausreichender Anzahl zur Verfügung. Ein behindertengerechtes WC fehlte. Ein kompletter Neubau der WC-Anlagen war unumgänglich.

Der südwestlich gelegene Heizraum wurde in den Foyeranbau integriert. Er beherbergte einen Heizkessel, der 1998 eingesetzt wurde und die gesamte Gebäudeanlage mit Wärme versorgte. Die Wände waren durchfeuchtet, das aus Betonfertigteilen bestehende Dach war in sehr schlechtem Zustand und die Dachbeschichtung an mehreren Stellen undicht. Der Fußboden war

gerissen, Abwasserleitungen wurden nachträglich in den Fußboden eingebracht. Wände und Dach waren ungedämmt. Die dem Gebäude südwestlich vorgelagerten Kohlenbunker waren für andere Nutzungen ungeeignet.

Die dem Saalgebäude südwestlich vorgelagerten Kulissenmagazine prägten aufgrund ihrer Lage an der Zufahrt zum Gelände das Erscheinungsbild des Theaters. Beide Behelfsbauten wiesen eine Zimmermannsmäßige Holzkonstruktion, keinen festen Boden und eine unzureichende Pappendeckung der Dächer auf. Das westliche Magazingebäude verfügte über massige Ziegelsteinwände, das östliche über eine behelfsmäßige Bretterverkleidung. Dachdeckung und -konstruktion beider Magazine waren in schlechtem Zustand.

Durch den stufenweisen Anbau der verschiedenen ergänzenden Bereiche unter Zuhilfenahme von derzeit bescheidenen Mitteln, war sowohl aus ökologischer, technischer als auch in räumlicher und struktureller Hinsicht ein unbefriedigendes Konglomerat entstanden.

Die technischen Anlagen waren insgesamt stark sanierungsbedürftig und entsprachen aus umweltrelevanten Gesichtspunkten weder in brandschutz- noch wärmetechnischer Hinsicht den heutigen Anforderungen. Die gegenwärtigen Verbrauchswerte führten zu Umweltbelastungen und zu hohen Kosten.

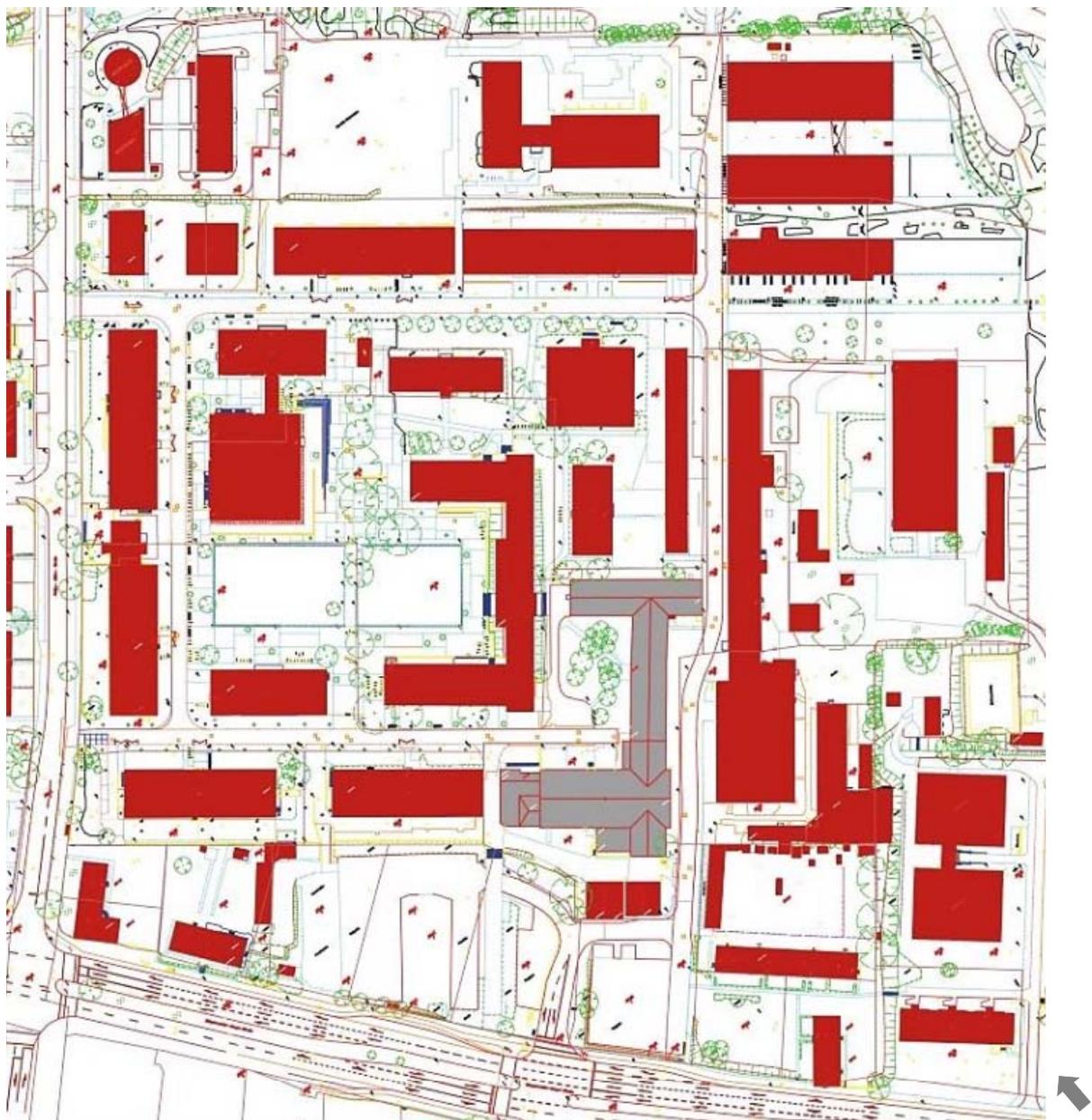


Abb.1 Lageplan Campus Hochschule Wismar, ohne Maßstab

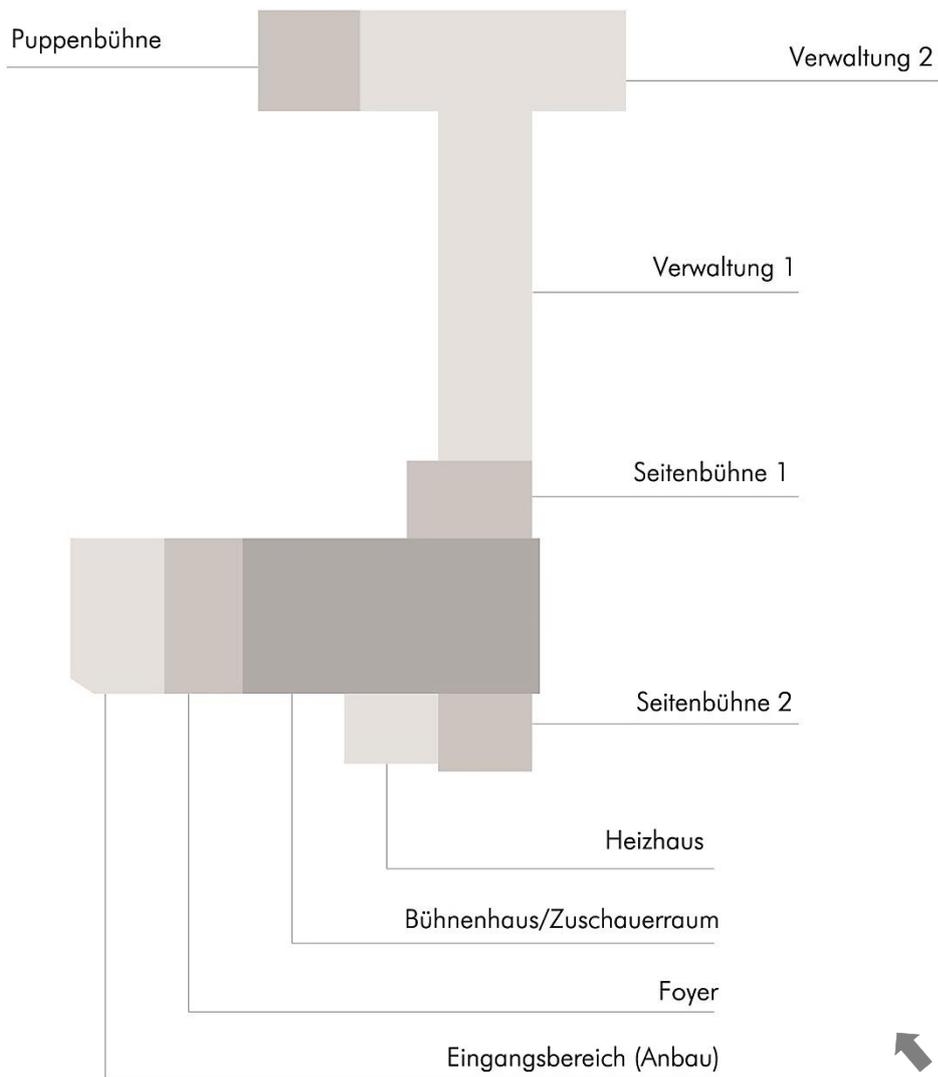


Abb.2 Bestand des Theatergeländes auf dem Campus der Hochschule Wismar, ohne Maßstab



Abb.3 Nordostansicht des Bestandsgebäudes – Eingangsbereich



Abb.4 Südostansicht des Bestandsgebäudes – Hauptgebäude und Anbau mit Verwaltung



Abb.5 Südwestansicht des Bestandsgebäudes – Hauptgebäude und Anbau mit Heizhaus und Foyer

2.1.2 Bauwerk – Baukonstruktion

Die Analyse der Gebäudehülle erfolgte auf Grundlage der Bestandspläne und einer umfangreichen Sichtung der Oberflächen. Eingehende Analysen der Bausubstanz und ergänzende Berechnungen wurden im Rahmen der Bauausführung durch Bauteilanalysen durchgeführt.

Außenwände

Die Außenwände des in Massivbauweise errichteten Gebäudekomplexes bestanden aus Ziegelmauerwerk, das als Außenhaut eine einfache Putzschicht besitzt.

Der nordöstliche Anbau, in dem sich Verwaltung und Puppenbühne befanden, war mit durchfeuchteten Grundmauern in einem unzureichenden Zustand.

In einigen Bereichen des Gebäudekomplexes war die Putzschicht schadhaft.

Die Außenwandkonstruktion des Saalgebäudes, bestehend aus einem Stahlbeton Rahmentragwerk mit aussteifenden Ziegelmauerwerk Wänden, war in einem zufriedenstellenden Zustand, das Tragwerk war schlüssig ausgeprägt. Aus bauphysikalischer Sicht bestand hierbei jedoch großer Handlungsbedarf.

Außenwand Saalgebäude Massivbauweise Hauptbaukörper		Außenwand Massivbauweise Anbauten	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / RT$: 1,40 W/m·K		Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / RT$: 1,44 W/m·K	
Gesamtdicke: 41,00 cm		Gesamtdicke: 39,50 cm	
Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	0,015 m	Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	0,015 m
Mauerwerk	0,380 m	Mauerwerk	0,365 m
Zementputz	0,015 m	Zementputz	0,015 m

Tab.1-2 Konstruktion der Außenwände des Saalgebäudes und der Anbauten – Bestand

Boden

Der Bodenaufbau entsprach den damals gängigen Aufbauten. Auf einer 30 cm starken Bodenplatte lag der Fußbodenaufbau mit geringfügiger Dämmung und einem Holzfußboden bzw. einer Fliesenschicht.

Unterhalb der Bühne befand sich ein ehemaliger Orchestergraben, der im Laufe der Zeit überbaut wurde, so dass eine Art Keller entstand. In diesem Bereich bestand die Bodenplatte nur aus Ziegelsteinen und besaß keine weiteren Aufbauten. Sie war gegen Schichtenwasser aus dem Erdreich nicht abgedichtet, so dass es bei starken Regenfällen zu Wassereintritt aus dem Erdreich in den Kellerraum kam.

Die Fußböden entsprachen nicht den Anforderungen an den Wärmeschutz und besaßen somit Handlungsbedarf.

Bodenplatte Hauptbaukörper	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/RT$: 0,331 W/m·K	
Gesamtdicke: 48,00 cm	
Holzfußboden	0,030 m
Zementestrich	0,050 m
Trittschalldämmung	0,020 m
Wärmedämmung	0,080 m
Bodenplatte Beton	0,300 m

Tab.3 Bodenplatte – Bestand

Dach

Das Dach des lang gestreckten Saalgebäudes mit seinen im Bühnenbereich östlich und westlich angegliederten Seitenbühnen besaß eine 20° Neigung und war als Satteldach mit Wellasbestplatten als Dachhaut ausgebildet. Die Unterkonstruktion stellte zwei kreuzweise überspannte Sparrenebenen (Koppelfettenebene) dar, die mit nur einer Dämmebene ausgelegt waren. Diese Konstruktion war konstruktiv auf dem Stahlbetonrahmen aufgelegt und trug unter anderem auch zur Aussteifung des Tragrahmens bei.

Auch das Dach des an die östliche Seitenbühne angebauten Verwaltungsgebäudes besaß eine beschädigte Dachhaut. Es war nicht gedämmt. Die Dämmung befand sich auf der obersten Geschossdecke und war somit bauphysikalisch die Systemgrenze; die Decke, die den Raum gegen die Außenluft abgrenzt. Es war ein Pfettendach mit einer Neigung von weniger als 20°.

Dach Saalgebäude Gefachbereich Hauptbaukörper		Dach Saalgebäude Sparrenbereich Hauptbaukörper	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/RT$: 0,604 W/mK		Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/RT$: 0,358 W/mK	
Gesamtdicke: 35,50 cm		Gesamtdicke: 35,50 cm	
Dachuntersicht Holz	0,030 m	Dachuntersicht Holz	0,030 m
Dämmung	0,040 m	Sparren	0,180 m
Sparren	0,100 m	Sparren	0,100 m
Holzverschalung	0,015 m	Holzverschalung	0,015 m
Asbestzementplatten	0,030 m	Asbestzementplatten	0,030 m
Abstand Sparren/ Kehlbalken e [m] :	1,5	Anteil	100,00%
Breite Sparren/ Kehlbalken b [m] :	0,12	Anteil	8,00%
Breite des Gefachs a [m] :	1,38	Anteil	92,00%
Oberer Grenzwert R_T' [m^2k/W] :	1,713		
Unterer Grenzwert R_T'' [m^2k/W] :	1,676		
Wärmedurchgangswiderst. R_T [m^2k/W] :	1,694		
U_{ges} [W/m^2k] :	0,590		

Tab.4-5 Dachkonstruktion des Saalgebäudes – Bestand

Die Wellasbestplatten waren aus ökologischer Sicht nicht mehr vertretbar, ebenso wie die unzureichende Dämmung im Sparrenbereich. Diese Dämmebene war ebenfalls unzureichend und trug zu hohen Transmissionswärmeverlusten bei.

Das ungedämmte Dach des Anbaus sowie deren Konstruktion wiesen erhebliche Mängel auf, die zu einer Beeinträchtigung des gesamten Tragsystems führen konnten. Die gering gedämmte oberste Geschossdecke trug zu hohen Transmissionswärmeverlusten bei.

Oberste Decke (Holzbalken) Gefachbereich Anbauten		Oberste Decke (Holzbalken) Balkenbereich Anbauten	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/RT$: 0,496 W/mK		Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/RT$: 0,694 W/mK	
Gesamtdicke: 16,00 cm		Gesamtdicke: 16,00 cm	
Unterseitige Deckenbekleidung	0,015 m	Unterseitige Deckenbekleidung	0,015 m
Lattung	0,025 m	Lattung	0,025 m
Dämmung	0,060 m	Deckenbalken	0,120 m
Abstand Sparren/ Kehlbalken e [m] :	0,7	Anteil	100,00%
Breite Sparren/ Kehlbalken b [m] :	0,08	Anteil	8,00%
Breite des Gefachs a [m] :	0,62	Anteil	92,00%
Oberer Grenzwert R_T' [m^2k/W] :	1,929		
Unterer Grenzwert R_T'' [m^2k/W] :	1,918		
Wärmedurchgangswiderst. R_T [m^2k/W] :	1,924		
U_{ges} [W/m^2k] :	0,520		

Tab.6-7 Oberste Decke der Anbauten (Holzbalkenkonstruktion) – Bestand

Fenster

Der gesamte Gebäudekomplex war mit Einscheibenverglasung in Holzfenstern mit Dreh- und teilweise Kippflügel-Beschlag versehen.

Die Einscheibenverglasung ließ erhebliche Wärmeverluste zu. Die einfache nicht gesteuerte Fensterlüftung führte zu hohen Lüftungswärmeverlusten.

Fenster Holzrahmen mit Einscheibenverglasung

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/RT$: **2,963 W/mK**

Tab.8 Fenster – Bestand

Baukenndaten

BGF Bestand	
Erdgeschoss	
Saalgebäude	1.256,90 m ²
Anbauten	1.303,47 m ²
Obergeschoss	
Saalgebäude (Theatercafe)	351,85 m ²
Gesamt	2.912,22 m²
BRI Bestand	
Saalgebäude	9.490,35 m ³
Anbauten	5.033,04 m ³
Gesamt	14.523,39 m³
Hüllfläche Bestand	
Saalgebäude	3.975,50 m ²
Anbauten	4.718,39 m ²
Hüllfläche gesamt	8.693,89 m²
A/V Verhältnis	0,60

Tab.9 Baukenndaten und A/V-Verhältnis – Bestand

2.1.3 Bauwerk – technische Anlagen

Heizung

Die gesamte Heizungsanlage für das Theater befand sich in einem Heizhaus, das südwestlich am Saalgebäude und an der Seitenbühne angebaut war.

Der Theaterkomplex besaß eine eigene Versorgung durch einen Gasheizkessel mit einer Nennwärmeleistung von 440 kW. Der Kessel war vom Typ Wolf MK 440 und Baujahr 2003. Vor dem Jahr 2003 wurde der Theaterkomplex durch zwei Kohlekessel versorgt. Bei der Umstellung auf Gasbetrieb 2003 wurden ein neuer Gasanschluss sowie die Leitungsführung innerhalb des alten Heizhauses erneuert und angepasst. Grundsätzliche Erneuerungen am Heizungsrohrnetz wurden nicht vorgenommen, d.h. alle bisher ausgeführten Arbeiten an der Wärmeversorgungsanlage beschränkten sich auf den Bereich im Heizhaus.

Die Versorgungsleitungen führten teilweise an der Außenwand entlang. Diese waren zwar gedämmt mit einer asbesthaltigen Dämmung, führten jedoch zu hohen Leitungswärmeverlusten.

Die Raumheizflächen stellten Radiatoren dar, die im Saalgebäude großflächig verkleidet wurden. Im ehemaligen Orchestergraben befanden sich ebenfalls Radiatoren, die den Bühnenraum mit hohen Energieverlusten beheizten.

Wasser/Abwasser

Die für den bestehenden Theaterkomplex bestehenden Abwasser- und Wasserleitungen waren veraltet. Die sanitären Versorgungsleitungen verursachten immer häufiger Schadensfälle und ließen auf einen schlechten Zustand des Rohrsystems schließen.

Aus heutiger Sicht war der verwendete Rohrwerkstoff Stahl verzinkt für die Trinkwasserinstallation abzulehnen. Ein Grund hierfür ist unter anderem die neue Trinkwasserverordnung, die seit Januar 2003 in Kraft ist. Sie stuft das mikrobiologische Klima, welches sich an der Rohrrinnenseite einstellt, als ungünstig ein.

Die Verteilung erfolgte über ein zentrales Rohrsystem ohne Zirkulation. Das Warmwasser wurde für das bestehende Theater in einem konventionellen Warmwasserbereiter (500l), der im Heizraum stand, erzeugt. Die Wärmedämmung der vorhandenen Leitungen war mangelhaft und entsprach nicht mehr heutigen Normen. Der Wärmeverlust war bei ständigem Betrieb enorm.

Elektroinstallation

Direkt hinter der Bühne befand sich der Elektroanschluss für den gesamten Theaterkomplex. Die gesamte Elektroinstallation war veraltet und wurde im Laufe der Zeit oft notdürftig geflickt. In den Anbauten befanden sich weitere Elektro-Unterverteilungen. Der Zustand des bestehenden Hausanschlussraumes machte es erforderlich für den Neubau des Theaterfoyers einen davon unabhängigen Hausanschluss zu planen, der den gesamten Theaterkomplex versorgt. Im Neubau wurde dazu ein neuer Verteiler eingebaut.

Lüftung

Für die Lüftung gab es keine Einrichtung. Der gesamte Gebäudekomplex einschließlich der WC-Bereiche wurde über Fenster belüftet.

2.1.4 Energieverbrauch

Die Verbrauchsdaten des Bestandsgebäudes vor Sanierung zeigten einen Wärmeverbrauch von durchschnittlich 624.740,31 kWh/a. Der Verbrauch an Elektroenergie von durchschnittlich 65.640,00 kWh/a umfasste den Lichtstrom, die Hilfsenergien und die Bühnentechnik.

Energieträger	Bestand (Verbrauch, Vergleichsjahr 2011)	CO₂ Emissionen
StromMix	65.640,00 kWh/a (25,91 kWh/m ² a)	44.832,12 kg CO ₂ /a (17,69 kg CO ₂ /m ² a)
Heizung (Erdgas)	624.740,31 kWh/a (246,64 kWh/m ² a)	154.310,86 kg CO ₂ /a (60,92 kg CO ₂ /m ² a)
Gesamtendenergie	690.380,31 kWh/a (272,55 kWh/m²a)	
Primärenergie	864.442,34 kWh/a (341,27 kWh/m²a)	
CO₂-Emissionen		199.142,98 kg CO₂/a (78,62 kg/m²a)

Tab.10 Energieverbrauch Bestandsgebäude,
Primärenergiefaktor Erdgas: 1,1, StromMix: 2,7
CO₂-Emissionen Erdgas: 0,247 kg CO₂/kWh, StromMix: 0,683 kg CO₂/kWh

2.1.5 Fazit

Die ersten Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens zur umweltgerechten Weiterentwicklung des Campusgeländes der Hochschule Wismar haben den Bedarf an einen größeren Hörsaal bestätigt. Der größte Veranstaltungsraum in der Stadt ohne feste Bestuhlung für Kongresse und Tagungen ist der Bürgerschaftssaal mit max. 300 Plätzen. Das Theater mit fester Bestuhlung hat nach Umbau ca. 450 Plätze und damit schließt den Bedarf an einem größeren Versammlungsraum am Hochschulstandort.

Der Gebäudebestand des Theaters rechtfertigte eine großzügige Sanierung. Da seit der Errichtung nur die notwendigen Unterhaltungsmaßnahmen vorgenommen wurden, bestand ein vielfältiger Sanierungsbedarf. Bei den bisherigen Maßnahmen handelte es sich um Schönheitsreparaturen, sowie um die Herstellung eines gebäudetechnischen und energetischen Mindestbedarfs. Durch den umweltgerechten Umbau wird ein Zeichen für eine behutsame und nachhaltige Lösung gesetzt, das den potentiellen Besuchern von Tagungen und Theaterveranstaltungen nicht unbemerkt bleiben wird.

Der umweltgerechte Umbau des Theaters wurde durch die Hochschule Wismar wissenschaftlich begleitet. Das Ziel war es, die erhaltenswerten Bauteile des Bestandes unter Berücksichtigung des Hochschulentwicklungsplanes in ein neues Konzept zu integrieren und eine Erweiterung der Nutzung über das reguläre Theater hinaus zu ermöglichen. Es musste also ein schrittweiser Rückbau mit einer anschließenden Ergänzung in Form eines Solitär's erfolgen. Mit dieser kompakten Bauweise wurden energetische Einsparungen und Materialeinsparungen erreicht.

2.2 Objektbeschreibung Gebäude nach der Sanierung

2.2.1 Allgemeine Beschreibung

Es gehört zur Geschichte der Hansestadt Wismar, dass die Wismarer ihr Theater von Anfang an mehrfach genutzt haben. Ursprünglich, als das Theater noch kein eigenes Gebäude besaß, wurde in verschiedenen Gebäuden nachmittags gespielt (z. B. im Hause der Papagoyen in der Lübschen Straße, im Tribunal- Fürstenhof und in Gasthäusern). Später hat sich das Fehlen eines größeren Raumes für die Theateraufführungen bemerkbar gemacht und so wurde 1828 ein Theatersaal mit 700 Plätzen im westlichen Flügel des Rathauses errichtet. 1835 wird der Wunsch, in Wismar ein eigenes Haus zu bauen, immer stärker. Am 2. Oktober 1842 wurde dann endlich das "neue Theater" nach dem Entwurf des Wismarer Baumeisters Heinrich Thormann in der Mecklenburger Straße eröffnet.

Das existierende Theater der Hansestadt Wismar ist seit dem vollständigen Brandverlust von 1948 auf dem Campusgelände in der Philipp-Müller Straße (ursprünglich Kasernengelände in der Parkstraße) provisorisch nach Vorschlägen des Architekten und Baumeisters Leo Einzig in einer ehemaligen Exerzierhalle untergebracht. Im Laufe der Jahre wurden zahlreiche Ergänzungsbauten um das Theater herum errichtet.

Die Bürgerschaft der Hansestadt Wismar hat sich im Jahr 2006 dazu entschieden, die Bühne dauerhaft an dem provisorischen Standort zu belassen und das bestehende Provisorium schrittweise zu einer „Umweltgerechten Bühne“ unter Einbeziehung des Bestandes umzubauen, so dass das Gebäudeensemble gemeinsam mit der Hochschule Wismar als Veranstaltungshaus genutzt werden kann.

„Umweltgerechte Bühne Wismar“ ist ein wichtiger Teil des von der DBU geförderten integrierten energetischen Entwicklungskonzeptes Campus 2020. Ziel der umweltgerechten Sanierung des bestehenden Theatergebäude war es, die erhaltenswerten Bauteile des Bestandes unter Berücksichtigung des Hochschulentwicklungsplanes in ein neues Konzept zu integrieren und die Entwicklung des Theatergeländes entsprechend der heute gültigen Forderungen nach umweltschonendem und nachhaltigem Umgang mit den Ressourcen voranzutreiben.

Schwerpunkt der Arbeit war, unter Einbeziehung des Bestandes durch Wiederverwertung einzelner Bauteile und die Ergänzung umweltgerecht geplanter neuer Bauteile um das bestehende Kerngebäude, ein „neues“ kompaktes Gebäude zu entwickeln, dass weniger Energie benötigt (verbessertes A/V-Verhältnis) und kurze Wege hat und somit dem Gebäude nach außen durch die neuen Bauteile ein neues Erscheinungsbild gibt.

Die neuen Gebäudeteile wurden soweit möglich in Holzbauweise entwickelt. Der Gebäudebestand ist nachhaltig saniert worden. Einzelne bestehende Einrichtungen wurden in die neuen Gebäudeteile integriert. Teile der Einrichtung z. B. Klause, wurden vollständig in dem 2-geschossigen Neubau der Garderoben integriert. Die bestehenden zum Abriss vorgesehenen Gebäude wurden partiell zurückgebaut.

Das Konzept der Integration und Erweiterung erforderte den schrittweisen Rückbau des Theaters und die Ergänzung zu einem kompakten Veranstaltungszentrum für die Hochschule, für das Theater und für Kongresse.

Die umweltgerechte Sanierung des, im Rahmen des DBU Forschungsprojektes zur umweltgerechten Weiterentwicklung der Hochschule Wismar ausgewählten Vorhabens, erfolgte aufbauend auf die während der Analyse- und Recherchephase getroffenen Erkenntnisse in 3 Arbeitsschritten.



1. Bauabschnitt Anbau eines neuen Foyers an der Südwestfassade als Pufferzone zum Außenraum für solare Wärmegewinne und Rückbau des alten Foyers (der 1. Bauabschnitt erfolgte vor Projektbeginn 2.BA)
2. Bauabschnitt Sanierung des Vorfoyers (Pufferzone zum Außenraum im Nordwesten), Anordnung des Ergänzungsbaus Nord(ost) mit Passivhaus-Komponenten Sanierung des Saalgebäudes und Bühnenhauses, Erneuerung der Gebäudetechnik und Lüftung
3. Bauabschnitt Rückbau des Anbaus

Abb.6 Teilbauabschnitte der umweltgerechten Theatersanierung

1. Bauabschnitt – Anbau eines neuen Foyers an der Südwestfassade als Pufferzone zum Außenraum für solare Wärmegewinne und selektiver Rückbau des alten Foyers

Die vorausgegangene Bestandsaufnahme im Rahmen der DBU-Forschung hat ergeben, dass die Bausubstanz des provisorischen alten Foyers in sehr schlechtem Zustand war (aufsteigende Feuchte, unzureichende Dämmung, Dach Undichtigkeiten, durchfeuchtete Wände, defekte Abwasserleitungen, beschädigter Fußbodenbelag). Eine Neunutzung wäre aus Gründen des Bauzustands der Baracke, und der dazu erforderlichen Aufwendungen auch unter Betrachtung der Umweltaspekte nicht sinnvoll.

Der Foyeranbau im Südwesten (Pufferzone Südwest) ersetzte die Funktion des alten Foyers. Der 1. Bauabschnitt erfolgte während der Antragstellung zur Förderung des 2. Bauabschnittes und wurde vor dem Anfang des Forschungsprojektes fertiggestellt. Südwest- und Nordwestfassade des Ergänzungsbaues Empfangshalle wurden zum neuen Erscheinungsbild des Theaters ausgeprägt.

Das Tragwerk des Foyer-Neubaus ist als Stützen/Träger Konstruktion ausgeprägt, mit ca. 7 m hohen Brett-schichtholz Stützen in Fassadenebene und zum Saalgebäude abfallenden Bindern im Achsmaß von ca. 6 m. Diese liegen auf einer, parallel zur Südwestwand des Saalgebäudes verlaufenden, tragenden Betonwand auf.

Die voll verglasten Fassaden sind als Elementfassaden, bestehend aus Fensterelementen in Holz-Aluminium Bauweise und horizontal verlaufenden Windaussteifungen aus Stahlprofilen, ausgebildet. Ein Sonnenschutz war aufgrund der Schutzwirkung des hohen Baumbestandes am südwestlich vorgelagerten Zufahrtsbereich nicht vorgesehen. In den niedrigeren Flachdach-Bereichen am Anschluss zum Altbau sind die Außenwände voll gedämmt und verputzt.

Der Bodenaufbau besteht aus einer Stahlbetonplatte, die abgedichtet, ausreichend gedämmt und mit einem Industriebodenbelag versehen wurde.

Das Pultdach des Foyers ist als sparsame Koppelpfettenkonstruktion aus Holz mit Zwischendämmung und Metalldeckung ausgebildet, raumseitig nach Erfordernis mit Akustikpaneelen versehen.

Um den Traufpunkt der Dachentwässerung und den Kräfteverlauf des Tragwerks des Saalgebäudes am Gelenkpunkt nicht zu stören, bleibt der Neubau mit einem Flachdachbereich an den Anschlüssen zum Bestand unterhalb dieser Ebene. Die Flachdachbereiche verfügen über einen konventionellen Aufbau und sind zu Zwecken der Bauunterhaltung begehbar. In dieser Zone des Neubaus sind die Toiletten- und Haustechnikbereiche untergebracht.



Abb.7 Außenansicht auf die verglaste Fassade des Ergänzungsbaus Empfangshalle Süd(west)



Abb.8-9 Konstruktion des Pultdaches im Bereich des Ergänzungsbaus Süd(west) Foyer

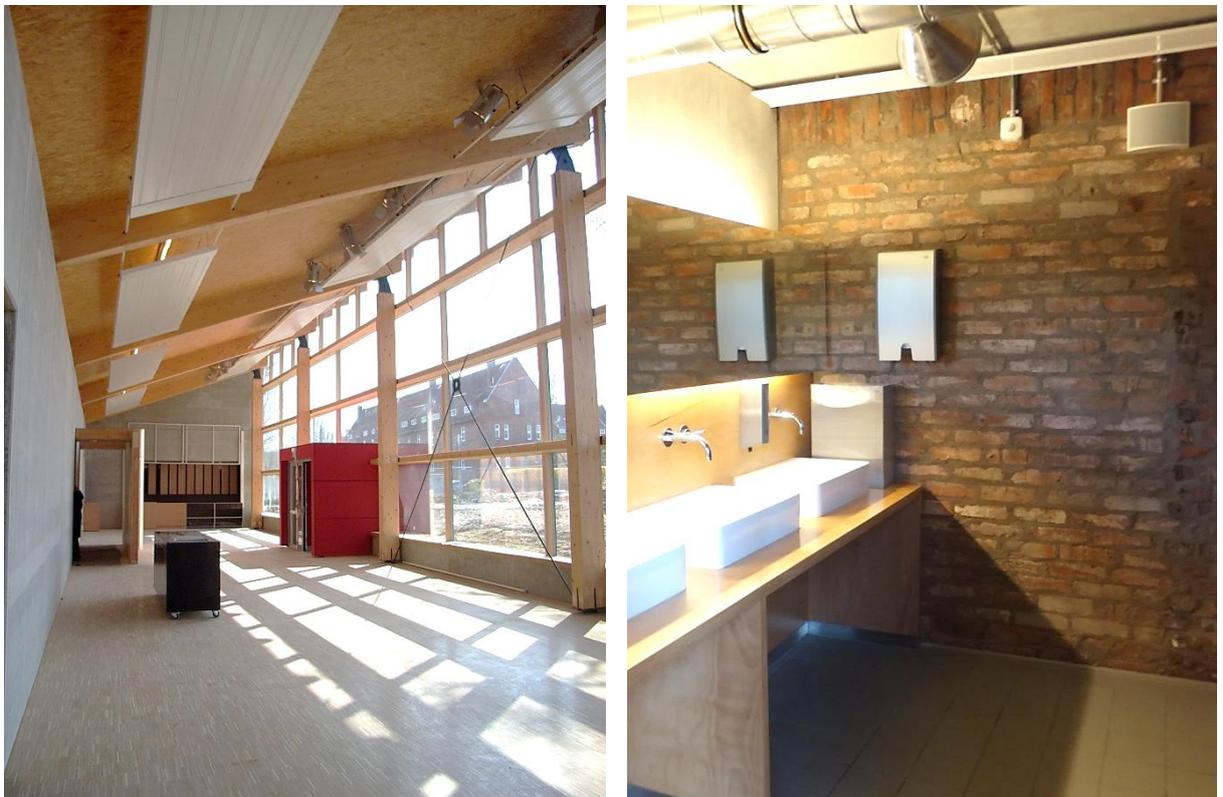


Abb.10-11 Der neue Foyerbereich und die Toiletten nach der Fertigstellung des Ergänzungsbaus Süd(west) Foyer

Die Innenausstattung der neuen Empfangshalle wurde in Kooperation von Hansestadt Wismar und Hochschule Wismar von Studierenden unter Anleitung von Prof. Wollensak und MA Ingo Volmering entworfen und in den Werkstätten der Hochschule gebaut. Die Materialkosten wurden von der Hansestadt Wismar finanziert.

Das Garderobensystem besteht aus einem an der Decke der Garderobe befestigten Schienensystem und daran eingehängten Garderobenwagen. Der Schienensystem besteht aus modularen Aluminiumelementen des MB Systembaukastens. Durch das hochwertige Schienensystem wird eine leichtläufige Bewegung der einzelnen Wagen garantiert. Die verschiebbaren Wagen garantieren zudem eine maximale Auslastung des vorhandenen Platzangebotes.

Die Garderobentheke besteht aus einem Korpus aus hellem Buchenholz, gefertigt aus wasserfest verleimten Multiplex-Platten wodurch eine lange Haltbarkeit sowie hohe Beständigkeit auch bei starker Beanspruchung des Theaterbetriebs gewährleistet werden kann. Der Personaleingang zur Garderobe wurde als verschiebbarer Kubus ebenfalls in die Theke integriert und markiert so spielerisch Eingang und Bewegung.

Durch ein nach oben und unten verschiebbares Tafelsystem, kann die Garderobe zudem verschlossen werden. Der rückwärtige Unterbau besteht ebenfalls aus Holzwerkstoffplatten von hoher Beständigkeit. Hier wurden zudem diverse Ablageflächen sowie abschließbare Schubladen integriert.

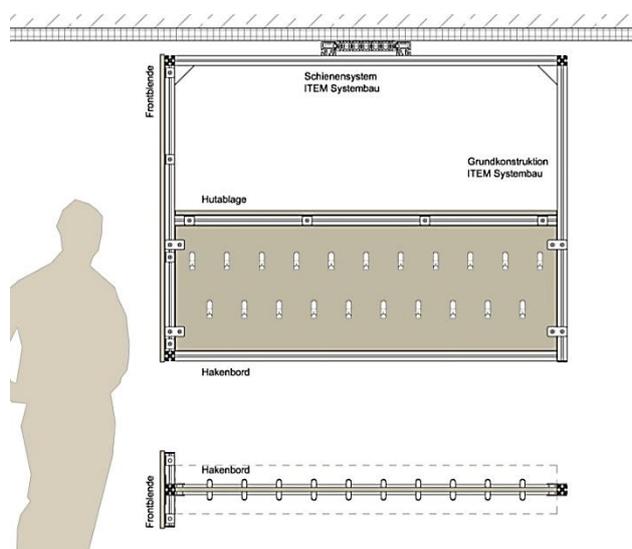


Abb.12-15 Die Garderobentheke und das Garderobensystem im Ergänzungsbaus Empfangshalle Süd(west) Foyer

Die in der Nähe der Garderobe angeordnete Theaterkasse entspricht dem Konzept der Garderobentheke bestehend aus Unterkonstruktion, Außenkorpus, Eingangswürfel und verschiebbarer Tafel. Ähnlich der Garderobe kommt auch bei der Theaterkasse eine verschließbare Tafel zum Einsatz.

Durch die Beschriftung bzw. Bedruckung „Kasse“ besteht zusätzlich die Möglichkeit, wie auch bei allen anderen Ausstattungsobjekten, spielerisch auf die „geöffnete“ oder auch „geschlossene“ Theaterkasse aufmerksam zu machen.

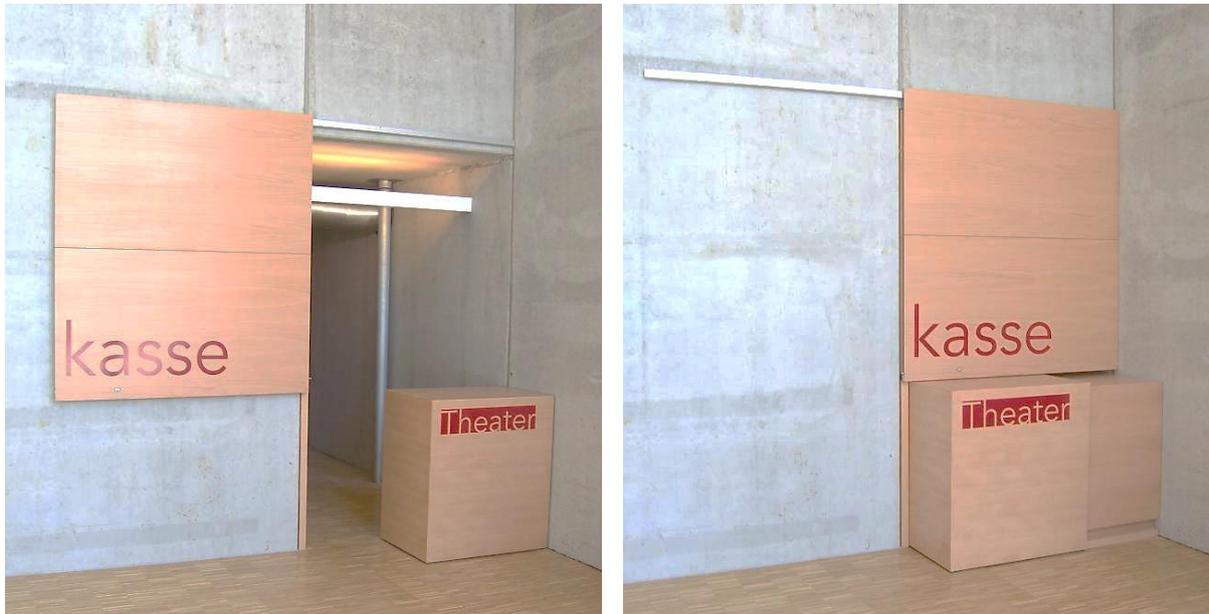


Abb.16-17 Die Theaterkasse im Ergänzungsbaus Empfangshalle Süd(west) Foyer

Die Mobile Bar als multifunktionales zweiteiliges Möbel geplant kann bei Bedarf bis auf das Doppelte erweitert werden, sodass sich ein großzügiger Tresen mit allen für die Beköstigung der Besucher notwendigen Ausstattungen ergibt. Da die Bar-Elemente auf Rollen gelagert sind, können sie je nach Bedarf frei im Raum positioniert werden.

Für eine umfassende Nutzung besteht zusätzlich die Möglichkeit eines stationären Frisch- und Abwasser- sowie Stromanschlusses. Die dazu notwendigen Medien sind am Hauptstandort der Bar in den Parkettboden eingelassen.



Abb.18 Mobile Bar im Ergänzungsbaus Empfangshalle Süd(west) Foyer



Abb.19-20 Mobile Bar im Ergänzungsbaus Empfangshalle Süd(west) Foyer

2. Bauabschnitt – Sanierung des Vorfoyers (Pufferzone zum Außenraum im Nordwesten), Anordnung des Ergänzungsbaus Nord(ost) mit Passivhaus-Komponenten, Sanierung des Saalgebäudes und Bühnenhauses, Erneuerung der Gebäudetechnik und Lüftung

Der bisher wegen seines Bauzustandes nur wenig genutzte Bankettsaal und das Vorfoyer in dem bestehenden Hauptgebäude wurden saniert und energetisch erneuert. Hauptziel war, Raum für Bankett und Tagungsversorgung sowie Kleinveranstaltungen zu gewinnen.

Die Räume sind dem Saal im Westen vorgelagert und dienen als Pufferzone zum Außenraum um die Transmissionswärmeverluste und Aufheizung des Saales zu verringern.

Der Ergänzungsbau Nord(ost) wurde so angeordnet, dass insgesamt ein kompakter Baukörper entsteht (Reduzierung A/V-Verhältnis). Die zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste an der Nordfassade erforderliche Wärmedämmschicht wurde so vor dem Hauptbaukörper (Saalbau) angeordnet, dass in dem entstehenden Zwischenraum die notwendigen Betriebsräume angeordnet wurden. Der Bau wurde umweltgerecht soweit möglich als Holzbau mit Passivhaus-Komponenten geplant und errichtet.

Nach Sanierung der Hülle erfolgten die notwendige technische und funktionale Erneuerung und der Innenausbau des Saales. Gebäudetechnik und Lüftung wurden effizient erneuert. Das Dach wurde hoch gedämmt und die Eindeckung erneuert. Im Inneren sind Bestuhlung und Wandbekleidungen den Bedürfnissen der Multifunktionalen Nutzung entsprechend angepasst worden.

Die Sanierung des Bühnenhauses erfolgte nach den neuesten Erkenntnissen der Energieeinsparung, sodass im Endergebnis ein geringer Energieverbrauch im Betrieb erreicht wurde. (siehe Messergebnis)

3. Bauabschnitt – Rückbau des Anbaus

Die vorausgegangene Bestandsaufnahme, im Rahmen der DBU Forschung, hat ergeben, dass die Bausubstanz der provisorisch errichteten Baracken, die zur Unterbringung der Bewirtschaftungsräume dienten, in sehr schlechtem Zustand war. Eine Neunutzung war aus Gründen des Bauzustands der Baracken, und der dazu erforderlichen Aufwendungen auch unter Betrachtung der Umweltaspekte nicht sinnvoll.

Der Ersatzbau im Nordosten (Pufferzone Nord(ost)) ersetzte die Funktion der Räume, sodass, die bestehenden Räume leer wurden.

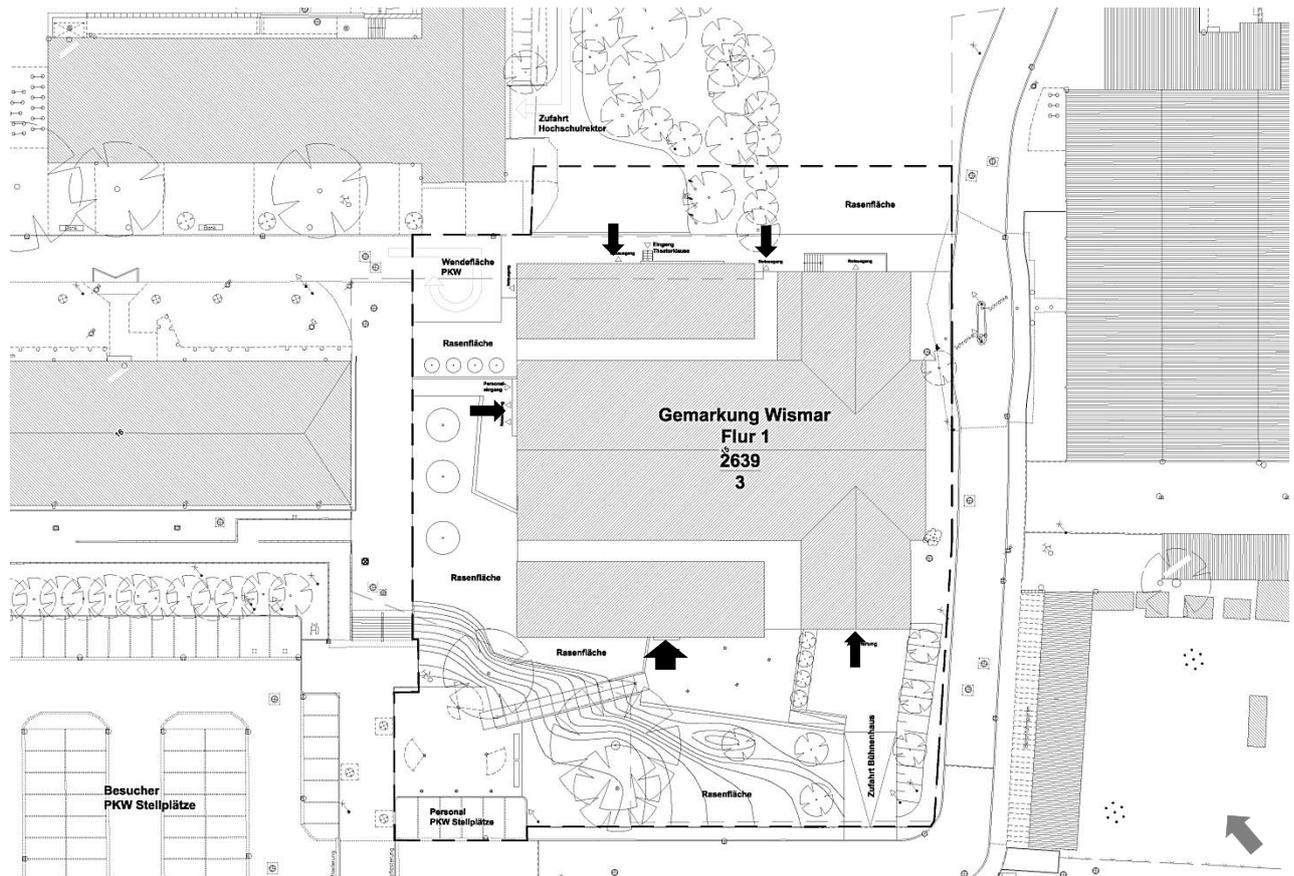
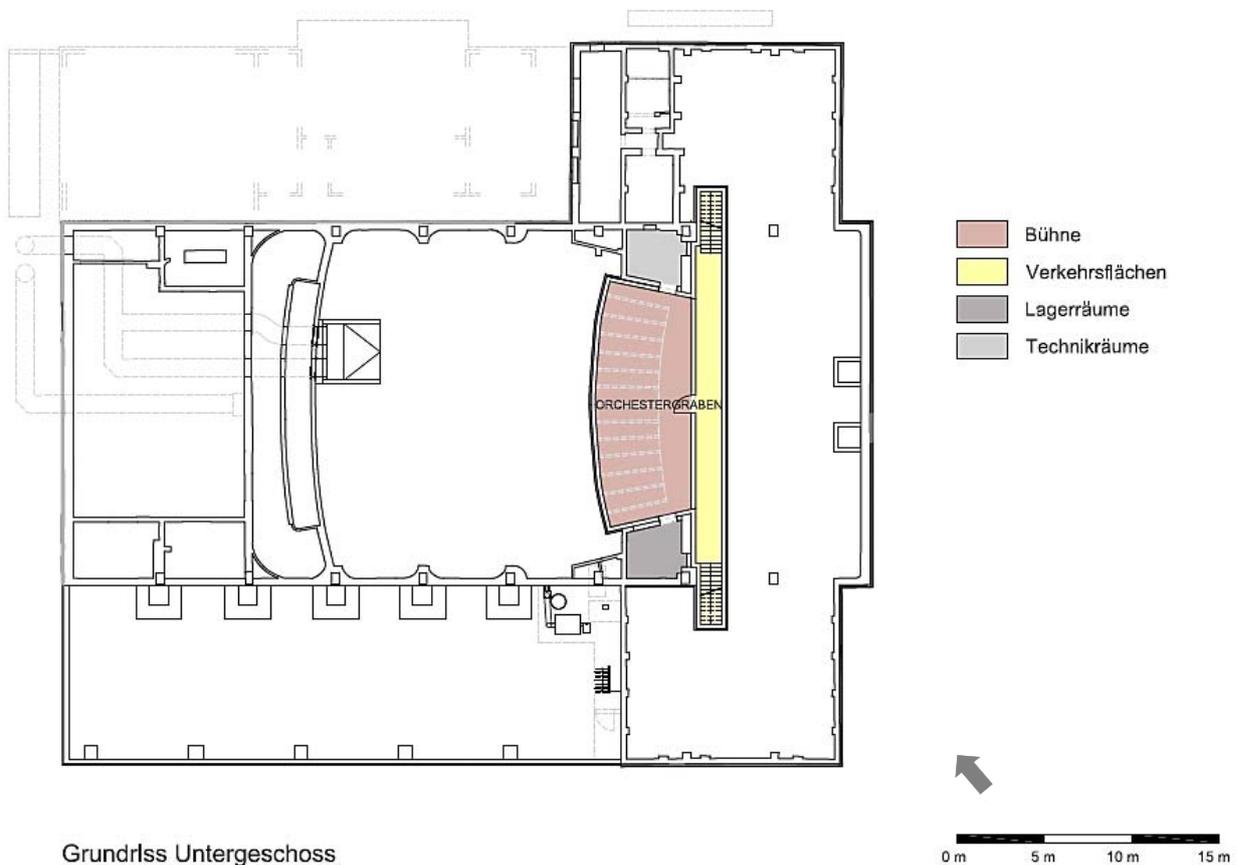


Abb.21 Lageplan – „Umweltgerechte Bühne Wismar“, ohne Maßstab



Grundriss Untergeschoss

Abb.22 Grundriss Untergeschoss (Orchestergraben) – „Umweltgerechte Bühne Wismar“

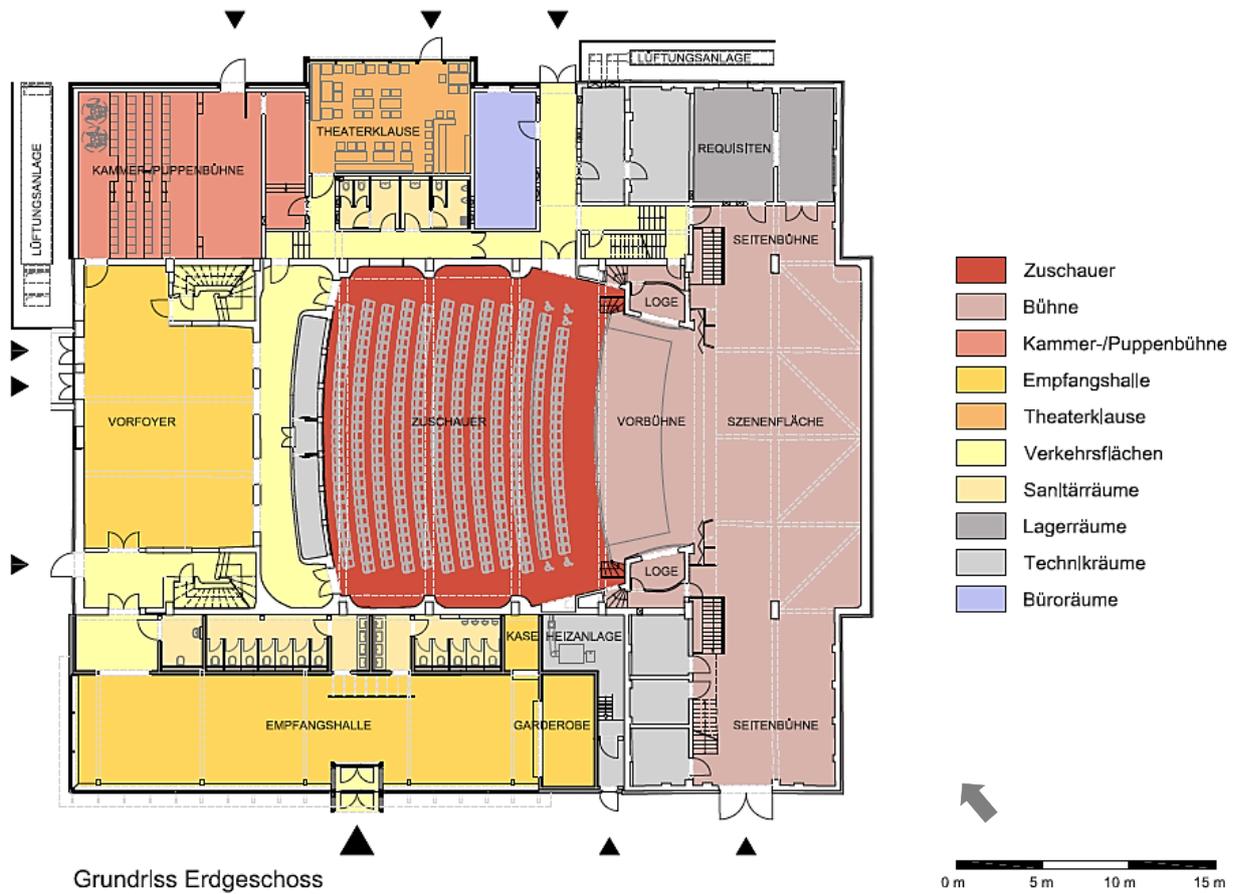


Abb.23 Grundriss Erdgeschoss – „Umweltgerechte Bühne Wismar“

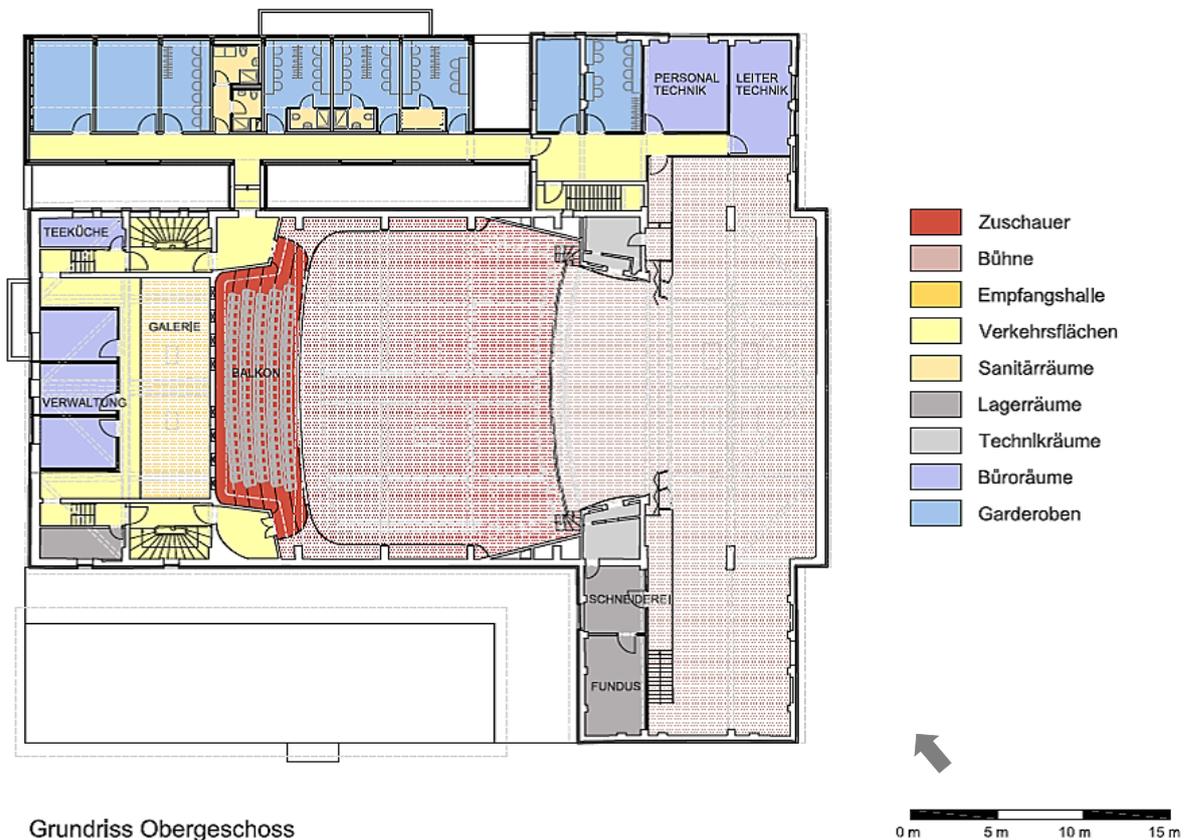


Abb.24 Grundriss Obergeschoss – „Umweltgerechte Bühne Wismar“

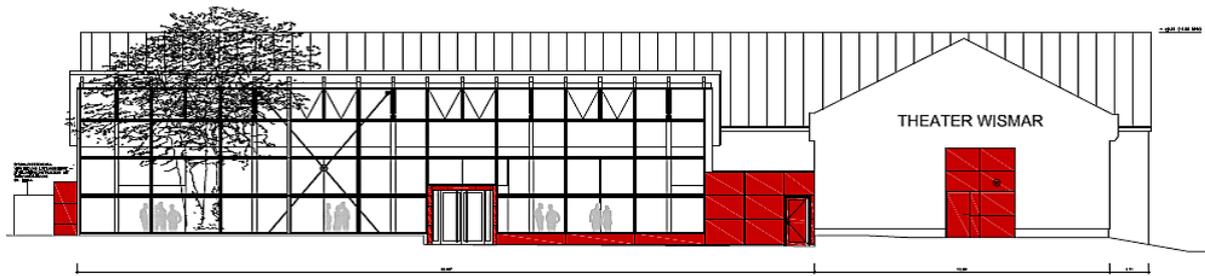


Abb.25 Ansicht Südwest – „Umweltgerechte Bühne Wismar“, ohne Maßstab



Abb.26 Ansicht Nordost – „Umweltgerechte Bühne Wismar“, ohne Maßstab

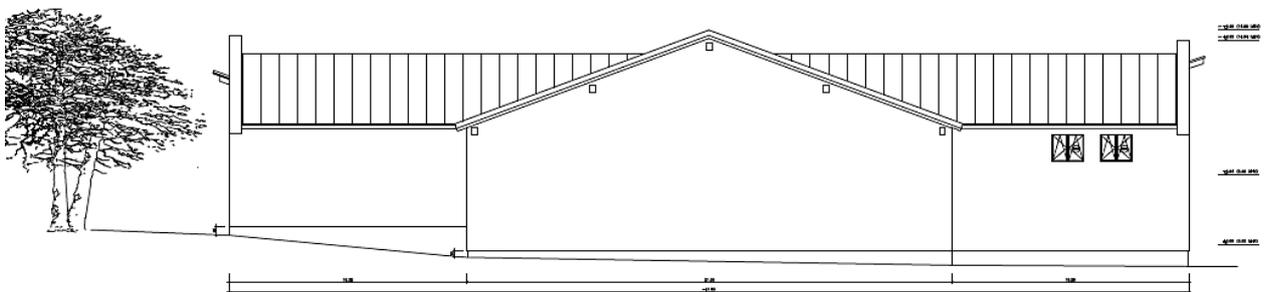


Abb.27 Ansicht Südost – „Umweltgerechte Bühne Wismar“, ohne Maßstab

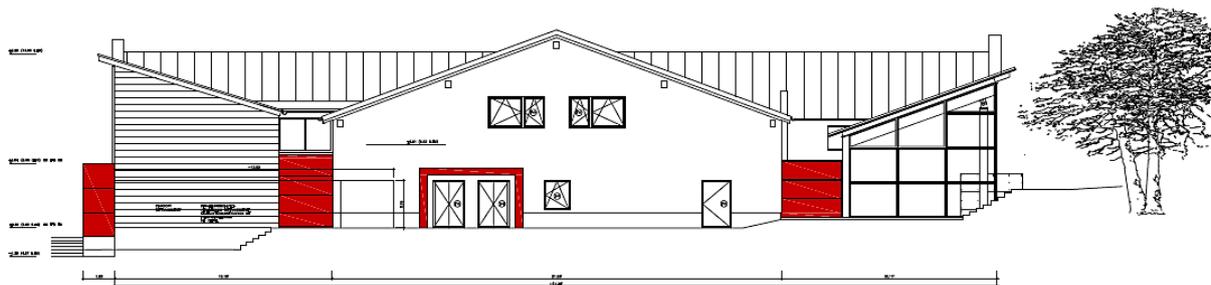


Abb.28 Ansicht Nordwest – „Umweltgerechte Bühne Wismar“, ohne Maßstab



Abb.29 Außenansicht – Haupteingang Foyeranbau Süd(west)



Abb.30 Außenansicht – Südwestseite



Abb.31 Außenansicht – Nordostseite



Abb.32 Außenansicht – Nordostseite und freie Fläche nach dem Abbruch der Barackengebäude



Abb.33 Innenansicht – Foyeranbau Süd(west)

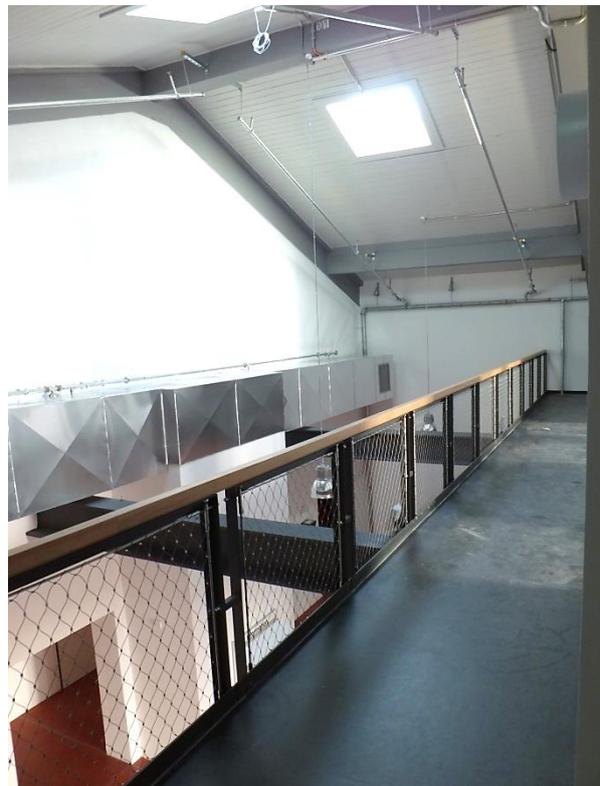


Abb.34 Innenansicht – Vorfoyer Nordwest, Ansicht von der Verwaltungsetage



Abb.35 Innenansicht – Hauptbühne

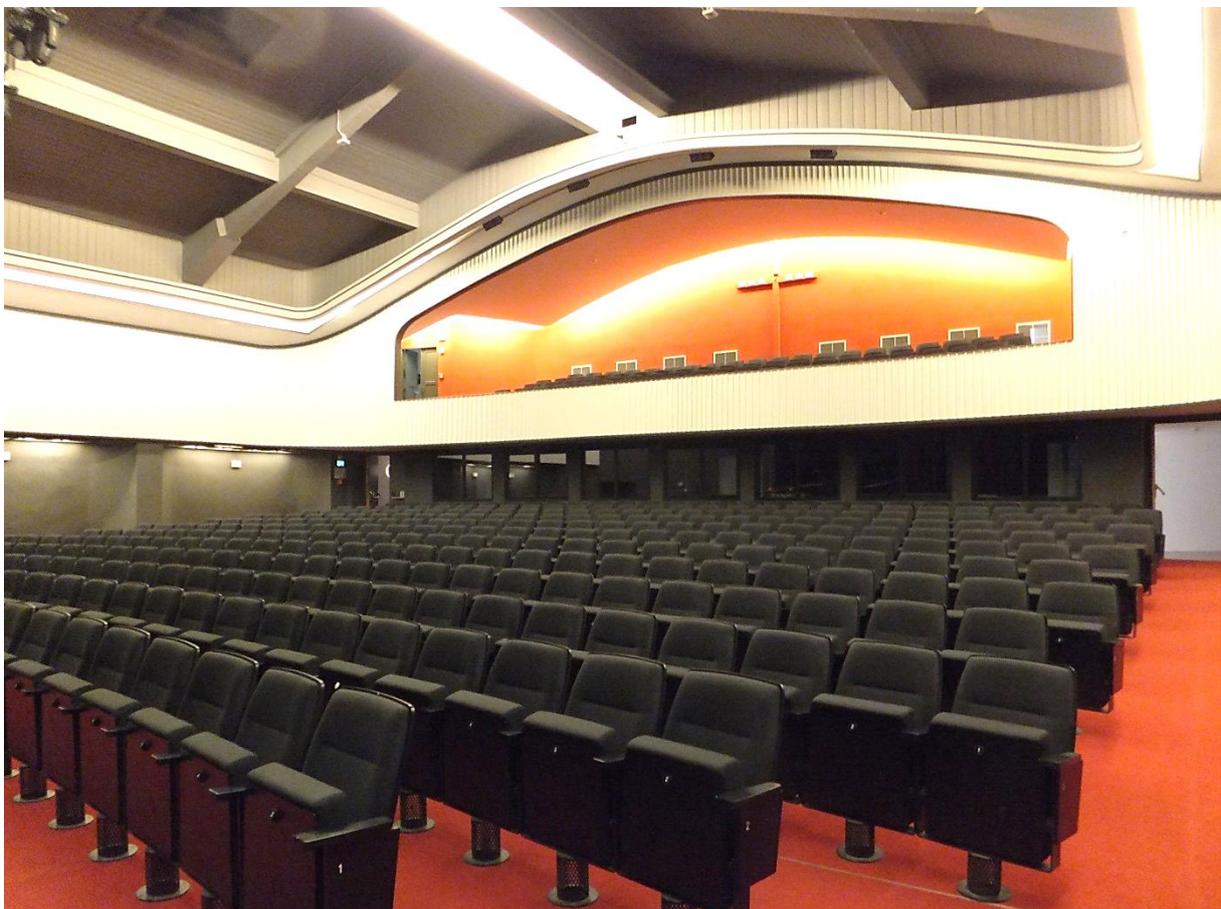


Abb.36 Innenansicht – Zuschauerraum

2.2.2 Bauwerk – Baukonstruktion

Bei der Sanierung des Theatergebäudes wurden überwiegend ökologische, leichttrennbare Materialien und schadstoffarme Verbindungsmittel eingesetzt.

Die bestehende Konstruktion des Saal- und Bühnengebäudes, die sich in einem guten Zustand befunden hat, wurde erhalten und ausreichend mit Mineralwolle gedämmt. Notwendige Schwachstellen der Konstruktion wurden saniert und verstärkt.

Die Materialien der neuen Konstruktion – Boden, Wände und Dach sind überwiegend aus Holz, Stahlbeton und Kalksandstein. Als Dämmmaterial wurde überwiegend Mineralwolle genutzt, der Einsatz wurde soweit möglich reduziert.

Die Dachabdichtung besteht aus EVA (Ethylenvinylacetat) Kunststoffbahnen.



Abb.37 Vorfoyer Nordwest in der Bauphase – bestehendes Mauerwerk und neue Konstruktion aus Stahl/Holz

Außenwände

Saalgebäude/Bühnenhaus

Die bestehenden Außenwände des Saalgebäudes und des Bühnenhauses befanden sich in einem guten Zustand. Die Hauptkonstruktion besteht aus Mauerwerk. Bei der Sanierung wurden diese Wände ausreichend gedämmt, um die Transmissionswärmeverluste zu reduzieren (nach EnEV Standard 2009).

Außenwand Hauptgebäude Massivbauweise Hauptbaukörper		Außenwand Hauptgebäude Massivbauweise Hauptbaukörper	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / RT$: 0,25 W/m²K		Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / RT$: 0,24 W/m²K	
Gesamtdicke: 44,00 cm		Gesamtdicke: 54,00 cm	
Putzmörtel aus Kalkzement	0,015 m	Putzmörtel aus Kalkzement	0,015 m
Mauerwerklinker 1.800	0,300 m	Mauerwerklinker 1.800	0,400 m
Mineralwolle o35	0,120 m	Mineralwolle o35	0,120 m
Putzmörtel aus Kalkzement	0,005 m	Putzmörtel aus Kalkzement	0,005 m

Außenwand Hauptgebäude Massivbauweise Hauptbaukörper		Außenwand Hauptgebäude Massivbauweise Hauptbaukörper	
Wärmedurchgangskoeffizient U = 1 / RT : 0,23 W/m·K		Wärmedurchgangskoeffizient U = 1 / RT : 0,22 W/m·K	
Gesamtdicke: 69,00 cm		Gesamtdicke: 85,00 cm	
Putzmörtel aus Kalkzement	0,015 m	Vorhang	0,010 m
Mauerwerklinker 1.800	0,550 m	Luftschicht	0,150 m
Mineralwolle 035	0,120 m	Putzmörtel aus Kalkzement	0,015 m
Putzmörtel aus Kalkzement	0,005 m	Mauerwerklinker 1.800	0,550 m
		Mineralwolle 035	0,120 m
		Putzmörtel aus Kalkzement	0,005 m
Außenwand Hauptgebäude Massivbauweise Hauptbaukörper, zweischalig		Außenwand Hauptgebäude Massivbauweise Hauptbaukörper, zweischalig	
Wärmedurchgangskoeffizient U = 1 / RT : 0,24 W/m·K		Wärmedurchgangskoeffizient U = 1 / RT : 0,25 W/m·K	
Gesamtdicke: 44,00 cm		Gesamtdicke: 54,00 cm	
Putzmörtel aus Kalkzement	0,015 m	Putzmörtel aus Kalkzement	0,015 m
Mauerwerklinker 1.800	0,130 m	Mauerwerklinker 1.800	0,100 m
Luftschicht	0,050 m	Luftschicht	0,170 m
Mauerwerklinker 1.800	0,120 m	Mauerwerklinker 1.800	0,130 m
Mineralwolle 035	0,120 m	Mineralwolle 035	0,120 m
Putzmörtel aus Kalkzement	0,005 m	Putzmörtel aus Kalkzement	0,005 m
Außenwand Hauptgebäude Massivbauweise Hauptbaukörper		Außenwand Hauptgebäude Massivbauweise Hauptbaukörper (Orchestergraben, gegen Erdreich)	
Wärmedurchgangskoeffizient U = 1 / RT : 0,18 W/m·K		Wärmedurchgangskoeffizient U = 1 / RT : 0,32 W/m·K	
Gesamtdicke: 48,00 cm		Gesamtdicke: 34,40 cm	
Putzmörtel aus Kalkzement	0,015 m	Stahlbeton	0,240 m
Mauerwerklinker 1.800	0,280 m	Abdichtung	0,004 m
Mineralwolle 035	0,180 m	Wärmedämmung XPS 035	0,100 m
Putzmörtel aus Kalkzement	0,005 m		

Tab.11-18 Konstruktionsaufbauten der Außenwände des Saal-/Bühnengebäudes nach der Sanierung



Abb.38 Außenansicht auf die Sanierung des Bühnenhauses in der Bauphase – Dämmen mit der Mineralwolle

Ergänzungsbau Nord(ost) mit Passivhaus-Komponenten

Die Außenwände des Ergänzungsbaus Nord(ost) bilden einen Teil des Holz Tragwerk aus vorgefertigten Elementen. Das Erdgeschoss besteht aus Kalksandsteinmauerwerk mit vorgesetzter Holzständerkonstruktion. Die Wände der Kammerbühne wurden aus akustischen Gründen aus Stahlbeton errichtet. Die Fassade ist eine elementierte Systemfassade in Holztafelbauweise.

Die Außenwände wurden mit Passivhaus-Komponenten geplant und ausgeführt. Aus statischen Gründen (Holzkonstruktion innerhalb der Dämmschicht) überschreiten die U-Werte an einigen Stellen geringfügig die Anforderungswerte, dies hat aber nur sehr geringer Einfluss auf die Gesamtenergiebilanz. Die Mehrkosten für eine höhere Dämmstärke waren aus wirtschaftlichen Gründen nur wenig effizient und höher als die erzielte Energieeinsparung. Daher wurde auf eine weitere Erhöhung der Dämmschicht verzichtet.

Außenwand Ergänzungsbau Nord(ost) Massivbau Hauptbaukörper (Erdgeschoss)		Außenwand Ergänzungsbau Nord(ost) Massivbau Kammerbühne (Erdgeschoss)	
Wärmedurchgangskoeffizient U = 1 / RT : 0,16 W/m·K Gesamtdicke: 53,94 cm		Wärmedurchgangskoeffizient U = 1 / RT : 0,16 W/m·K Gesamtdicke: 54,94 cm	
Kalksandstein 1.400	0,2400 m	Putzmörtel aus Kalkzement	0,0100 m
Holzbalken/Mineralwolle MW 035	0,1600 m	Stahlbeton	0,2400 m
OSB-Platten	0,0150 m	Holzbalken/Mineralwolle MW 035	0,1600 m
Mineralwolle MW 032	0,0800 m	OSB-Platten	0,0150 m
Diffusionsoffene Unterdeckbahn	0,0004 m	Mineralwolle MW 032	0,0800 m
Traglattung/Luftschicht	0,0340 m	Diffusionsoffene Unterdeckbahn	0,0004 m
Fassadentafel Trespa	0,0100 m	Traglattung/Luftschicht	0,0340 m
		Fassadentafel Trespa	0,0100 m
Außenwand Ergänzungsbau Nord(ost) Leichtbau Hauptbaukörper (Obergeschoss)		Außenwand Ergänzungsbau Nord(ost) Leichtbau Hauptbaukörper Wand Nordwest (Obergeschoss)	
Wärmedurchgangskoeffizient U = 1 / RT : 0,17 W/m·K Gesamtdicke: 31,49 cm		Wärmedurchgangskoeffizient U = 1 / RT : 0,15 W/m·K Gesamtdicke: 53,99 cm	
Gipskartonplatten	0,0150 m	OSB-Platten	0,0150 m
Dampfsperre	0,0005 m	Holzbalken/Luftschicht	0,2000 m
Holzbalken/Mineralwolle MW 035	0,1600 m	Gipskartonplatten	0,0250 m
OSB-Platten	0,0150 m	Dampfsperre	0,0005 m
Mineralwolle MW 032	0,0800 m	Holzbalken/Mineralwolle MW 035	0,1600 m
Diffusionsoffene Unterdeckbahn	0,0004 m	OSB-Platten	0,0150 m
Traglattung/Luftschicht	0,0340 m	Mineralwolle MW 032	0,0800 m
Fassadentafel Trespa	0,0100 m	Diffusionsoffene Unterdeckbahn	0,0004 m
		Traglattung/Luftschicht	0,0340 m
		Fassadentafel Trespa	0,0100 m
Außenwand Ergänzungsbau Nord(ost) Leichtbau Hauptbaukörper Wand Südost (Obergeschoss)		Außenwand Ergänzungsbau Nord(ost) Leichtbau Hauptbaukörper Wand Südwest (Obergeschoss)	
Wärmedurchgangskoeffizient U = 1 / RT : 0,17 W/m·K Gesamtdicke: 28,05 cm		Wärmedurchgangskoeffizient U = 1 / RT : 0,16 W/m·K Gesamtdicke: 28,05 cm	
Gipskartonplatten	0,0150 m	Gipskartonplatten	0,0150 m
Dampfsperre	0,0005 m	Dampfsperre	0,0005 m
Holzbalken/Mineralwolle MW 035	0,2000 m	Holzbalken/Mineralwolle MW 035	0,1600 m
OSB-Platten	0,0150 m	OSB-Platten	0,0150 m
EPS 030	0,0400 m	EPS 030	0,0800 m
Mineralleichtputz	0,0100 m	Mineralleichtputz	0,0100 m

Tab.19-24 Konstruktionsaufbau der Außenwände des Ergänzungsbaus Nord(ost)



Abb.39-40 Außen- und Innenansicht auf die Außenwandkonstruktion des Ergänzungsbaus Nors(ost)

Boden

Saalgebäude/Bühnenhaus

Der Bodenaufbau im Saalgebäude und Bühnenhaus wurde komplett erneuert, da der bestehende Boden nicht den heutigen technischen und bautechnischen Standards folgt. Es handelt sich um eine Stahlbetonbodenplatte (Dicke 0,15 – 0,35 m) die als Lüftungsboden genutzt wird.

Bodenplatte Hauptgebäude Bühnenhaus	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / RT : 0,27 \text{ W/mK}$ Gesamtdicke: 58,00 cm	
Holzboden	0,050 m
Holzbalken/Mineralwolle 035	0,120 m
Abdichtung	0,010 m
Stahlbeton	0,150 m
Magerbeton	0,050 m
Kiesschüttung	0,200 m

Bodenplatte Hauptgebäude Foyer, Umgang	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / RT : 0,22 \text{ W/mK}$ Gesamtdicke: 62,05 cm	
Zementestrich	0,7000 m
PE-Folie	0,0005 m
Trittschalldämmung EPS 040	0,0200 m
Wärmedämmung EPS 035	0,1200 m
Abdichtung	0,0100 m
Stahlbeton	0,1500 m
Magerbeton	0,0500 m
Kiesschüttung	0,2000 m

Bodenplatte Hauptgebäude	
Saal	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1$ / RT : 0,28 W/mK	
Gesamtdicke: 61,05 cm	
Stahlbeton	0,2000 m
PE-Folie	0,0005 m
Wärmedämmung XPS 035	0,1000 m
Abdichtung	0,0100 m
Magerbeton	0,1000 m
Kiesschüttung	0,2000 m

Bodenplatte Hauptgebäude	
Orchestergraben, Unterführung	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1$ / RT : 0,24 W/mK	
Gesamtdicke: 85,10 cm	
Linoleum	0,0500 m
Zementestrich	0,6500 m
PE-Folie	0,0005 m
Trittschalldämmung EPS 040	0,0200 m
Stahlbeton	0,3500 m
PE-Folie	0,0005 m
Wärmedämmung XPS 035	0,1000 m
Abdichtung	0,0100 m
Magerbeton	0,1000 m
Kiesschüttung	0,2000 m

Bodenplatte Hauptgebäude	
Haustechnik, Lager	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1$ / RT : 0,29 W/mK	
Gesamtdicke: 58,05 cm	
Bodenanstrich	0,0500 m
Zementestrich	0,6500 m
PE-Folie	0,0005 m
Trittschalldämmung EPS 040	0,0200 m
Wärmedämmung EPS 035	0,0800 m
Abdichtung	0,0100 m
Stahlbeton	0,1500 m
Magerbeton	0,0500 m
Kiesschüttung	0,2000 m

Bodenplatte Hauptgebäude	
Treppenhäuser, Nebenräume	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1$ / RT : 0,22 W/mK	
Gesamtdicke: 61,45 cm	
Linoleum	0,0500 m
Zementestrich	0,6500 m
PE-Folie	0,0005 m
Trittschalldämmung EPS 040	0,0200 m
Wärmedämmung EPS 035	0,1200 m
Abdichtung	0,0400 m
Stahlbeton	0,1500 m
Magerbeton	0,0500 m
Kiesschüttung	0,2000 m

Tab.25-30 Bodenaufbau des Saalgebäudes und Bühnenhauses



Abb.41 Vorbereitungsarbeiten für den Bodenausbau im Bereich Saal, Orchestergraben und Bühne



Abb.42 Bodenplatte und Sockelbereich in Orchestergraben



Abb.43 Fortsetzen der Bodenarbeiten – Wände von Orchestergraben als erhöhte Stufe des Bühnenbereiches



Abb.44 Bodenbelagsarbeiten im Bühnenbereich – Holzboden

Ergänzungsbau Nord(ost) mit Passivhaus-Komponenten

Bodenaufbau: Stahlbetonplatte wurde abgedichtet, ausreichend gedämmt um den Passivhausstandard zu erfüllen und mit einem Bodenbelag versehen.

Bodenplatte Ergänzungsbau Nord(ost) Kammerbühne	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / RT$: 0,12 W/m·K Gesamtdicke: 99,55 cm	
Teppichboden	0,1000 m
Zementestrich	0,6500 m
PE-Folie	0,0005 m
Trittschalldämmung EPS 040	0,0200 m
Wärmedämmung EPS 035	0,2400 m
Abdichtung	0,0100 m
Stahlbeton	0,3500 m
Magerbeton	0,1000 m
Kiesschüttung	0,2000 m

Bodenplatte Ergänzungsbau Nord(ost) Theaterklausur, Werkstatt, Flur	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / RT$: 0,12 W/m·K Gesamtdicke: 99,05 cm	
Linoleum	0,0500 m
Zementestrich	0,6500 m
PE-Folie	0,0005 m
Trittschalldämmung EPS 040	0,0200 m
Wärmedämmung EPS 035	0,2400 m
Abdichtung	0,0100 m
Stahlbeton	0,3500 m
Magerbeton	0,1000 m
Kiesschüttung	0,2000 m

Bodenplatte Ergänzungsbau Nord(ost) Toiletten	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / RT$: 0,12 W/m·K Gesamtdicke: 99,05 cm	
Fliesen	0,1500 m
Zementestrich	0,5500 m
PE-Folie	0,0005 m

Trittschalldämmung EPS 040	0,0200 m
Wärmedämmung EPS 035	0,2400 m
Abdichtung	0,0100 m
Stahlbeton	0,3500 m
Magerbeton	0,1000 m
Kiesschüttung	0,2000 m

Tab.31-33 Bodenaufbau des Ergänzungsbaus Nord(ost) Passivhaus



Abb.45 Fußbodenaufbau in der Kammerbühne, Abb.46 Fußbodenaufbau mit Fußbodenheizung in der Theaterklausur

Dach

Saalgebäude/Bühnenhaus

Die Tragkonstruktion des gesamten Daches im Bestand war in einem guten Zustand, so dass während der Sanierung des Saalgebäudes und des Bühnenhauses lediglich der Dachaufbau mit Dachabdichtung und -eindeckung (OSB-Platten und EVA-Dachbahn) erneuert werden musste. Das Dach wurde ausreichend mit Mineralwolle gedämmt (EnEV 2009 Standard). Nur einige Teile der Dachkonstruktion im Bereich Seitenbühne mussten ausgetauscht werden.

Satteldach Hauptgebäude	
Hauptbaukörper	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / RT$: 0,20 W/m²K	
Gesamtdicke: 31,75 cm	
Holzschalung	0,0200 m
Dampfbremse	0,0005 m
Holzbalken/Mineralwolle 035	0,2000 m
Holzbalken/Luftschicht	0,0400 m
Lattung/Luftschicht	0,0300 m
OSB-Platten	0,0250 m
Evalon Dachbahn	0,0020 m

Satteldach Hauptgebäude	
Bereich Seitenbühne	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / RT$: 0,20 W/m²K	
Gesamtdicke: 20,25 cm	
Holzschalung	0,0200 m
Dampfbremse	0,0005 m
Balken/Mineralwolle 035	0,1800 m
Evalon Dachbahn	0,0020 m

Tab.34-35 Dachaufbau des Hauptgebäudes – Saalgebäude und Bühnenhaus



Abb.47 Holzkonstruktion des Satteldaches im Bereich Seitenbühne, die erneuert wurde



Abb.48 Die obere Dachhaut des Gebäudes besteht aus einer EVA-Dachbahn (Evalon, Alwitra)

Ergänzungsbau Nord(ost) mit Passivhaus-Komponenten

Das Pultdach des Ergänzungsbau Nord(ost) wurde aus wirtschaftlichen und aus ökologischen Gesichtspunkten als eine sparsame Sparrenkonstruktion aus Holz mit Zwischendämmung aus Mineralwolle und EVA-Dachbahn Abdichtung ausgebildet. Aus bauphysikalischer Sicht erfüllt die Konstruktion die Anforderungen des Passivhausstandards.

Die Flachdachbereiche verfügen über einen konventionellen Dachaufbau und sind zu Zwecken der Bauunterhaltung begehbar.

Pultdach Ergänzungsbau Nord(ost)		Flachdach Ergänzungsbau Nord(ost)	
Hauptbaukörper		Hauptbaukörper	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / RT : 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$		Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / RT : 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	
Gesamtdicke: 45,05 cm		Gesamtdicke: 60,00 cm	
Gipskartonplatten	0,1300 m	Stahlbeton	0,250 m
Holzbalken/Luftsicht	0,3000 m	Abdichtung	0,080 m
Dampfbremse	0,0005 m	Mineralwolle 035, druckfest	0,180 m
Holzbalken/Mineralwolle 035	0,2600 m	EPS 035	0,160 m
OSB-Platten	0,0250 m	Evalon Dachbahn	0,002 m
Mineralwolle 035	0,1200 m		
Evalon Dachbahn	0,0020 m		

Tab.36-37 Dachaufbau des Ergänzungsbau Nord(ost) – Pultdach- und Flachdachbereich



Abb.49 Konstruktion des Pultdaches im Bereich des Ergänzungsbau Nord(ost)

Fenster

Saalgebäude/Bühnenhaus

Die Fenster im Bereich Im Bereich des Hauptgebäudes wurden mit Schüco Aluminium Fenster erneuert.

Fenster Aluminium

Wärmedurchgangskoeffizient $U_w = 1/RT$: **1,3 W/m²K**

Tab.38 Aluminium Fenster im Bereich des Hauptgebäudes mit Angaben zu U_w -Wert

Ergänzungsbau Nord(ost) mit Passivhaus-Komponenten

Im Bereich des Ergänzungsbaus Nord(ost) wurden Schüco Aluminium Fenster mit dem U_w -Wert im Passivhausstandard eingebaut.

Fenster Aluminium

Wärmedurchgangskoeffizient $U_w = 1/RT$: **0,8 W/m²K**

Tab.39 Aluminium Fenster im Bereich des Ergänzungsbaus Nord(ost) mit Angaben zu U_w -Wert

Baukenndaten

	NGF	BGF
Untergeschoss		
Saalgebäude (Orchestergraben)	122,5 m ²	138,43 m ²
Erdgeschoss		
Saalgebäude	1.096,82 m ²	1.240,42 m ²
Ergänzungsbau Nord(ost)	281,16 m ²	316,97 m ²
Ergänzungsbau Süd(west)	300,69 m ²	336,65 m ²
Obergeschoss		
Saalgebäude	391,75 m ²	450,51 m ²
Ergänzungsbau Nord(ost)	170,54 m ²	210,11 m ²
Gesamt	2.363,46 m²	2.693,09 m²
		BRI
Saalgebäude		10.078,44 m ³
Ergänzungsbau Nord(ost)		2.215,95 m ³
Ergänzungsbau Süd(west)		1.617,08 m ³
Gesamt	12.286,00 m³	13.911,47 m³
Hüllfläche		
Saalgebäude		3.876,32 m ²
Ergänzungsbau Nord(ost)		976,30 m ²
Ergänzungsbau Süd(west)		1.054,90 m ²
Hüllfläche gesamt		5.907,52
A/V Verhältnis		0,42

Tab. 40 Baukenndaten und A/V-Verhältnis – Gebäude nach der Sanierung

2.2.3 Bauwerk – technische Anlagen und Energiekonzept

Das energetische Konzept beruht auf der Anwendung effizienter Technologien, die zu einem innovativen Gesamtkonzept verbunden werden. Das Gesamtkonzept gliedert sich dabei in bedarfsorientierte Teilkonzepte entsprechend der unterschiedlichen Nutzungsprinzipien der einzelnen Gebäudeabschnitte/Realisierungsschritte.

Verbesserung der Nutzung und Doppelnutzung

Die Sanierung des Theaters Wismar zur „Umweltgerechten Bühne Wismar“ ermöglichte eine Weiterentwicklung, die im Einklang mit der umweltgerechten Weiterentwicklung des Campusgeländes der Hochschule Wismar steht. Durch die günstige Lage am Hochschuleingang kann die „Umweltgerechte Bühne Wismar“ als vielfältig/multifunktional nutzbaren Versammlungsraum auch für Veranstaltungen der Hochschule Wismar mitgenutzt werden, z. B. Audimax, Festveranstaltungen, Tagungen, Kongressnutzungen. Damit ist eine bessere Auslastung des Gebäudes möglich. Weiterhin wird das Theatergebäude für Theater-Gastspiele, Proben, verschiedene Kurse wie z. B. Tanzgruppen, Gymnastik, ... genutzt.

Aufgrund der verschiedenen Nutzungszeiten von Hochschule und Theater kann darüber hinaus auf die Ausweisung von Parkplätzen für die Theaternutzung verzichtet werden und stattdessen der öffentliche Hochschulparkplatz genutzt werden.

Auf die Tageslichtnutzung im Hauptsaal wurde aufgrund der daraus resultierenden akustischen Probleme verzichtet.

Verringerung der Transmissionswärmeverluste und passive Nutzung der Solarenergie

Verbesserungen der Nutzung durch Reduzierung auf den erhaltenswerten Saal. Die bestehende Anlage erstreckte sich über drei Gebäudeteile, die ein ungünstiges Außenwand/Volumen-Verhältnis hatten. Schon allein dadurch war der Transmissionswärmeverlust groß, Unterhalts- und Energiekosten waren hoch. Die Bausubstanz des Theatersaals, eine ehemalige Reithalle, war erhaltenswert und konnte weiter genutzt werden.

Durch das Vorschalten der Ergänzungsbauten vor die bestehende Ziegelsteinwand des Saalgebäudes entstand ein kompakter Baukörper mit verbessertem A/V-Verhältnis. Die längsseitigen Außenwände des vorhandenen Saalgebäudes wurden teilweise zu Innenwänden und konnten so erhalten werden. Zusätzlich entfällt eine aufwändige Fassaden-Dämmung des Saalgebäudes in diesem Bereich.

Die Wärmedämmung wurde von neuen Bauteilen mit hohen Dämmfähigkeiten der Ergänzungsbauten erzielt. Die Außenbauteile des Neubaus an der nordöstlichen Seite wurden entsprechend des Passivhausstandards hochgedämmt. Vermeidung der Wärmebrücken und hohe Anforderung an Luftdichtheit wie beim Passivhausstandard waren bei der Sanierung ebenfalls von hoher Bedeutung.

Einige Außenwände und Fenster des Hauptgebäudes sind von den Ergänzungsbauten nicht umschlossen. Sie haben eine zusätzliche Dämmung erhalten. Bodenplatte und Dach wurden dämmtechnisch optimiert. Die notwendigen Fensterflächen wurden als Wärmeschutzverglasung ausgebildet.

Die vollverglasten Fassaden des Ergänzungsbaus Süd(west) Empfangshalle ermöglichen die passive Nutzung der solaren Wärmegewinne im Winter, so wird der Heizwärmebedarf der Räume verringert.

Durch die Optimierung des Gebäudesubstanz und eine kompakte Bauweise wurden nicht nur Transmissionswärmeverluste reduziert, sondern auch die Nutzung des Gebäudes optimiert. Dies erlaubt eine sinnvolle Zuordnung der Funktionen mit wenig Verkehrsflächen und ausreichend Nutzflächen.

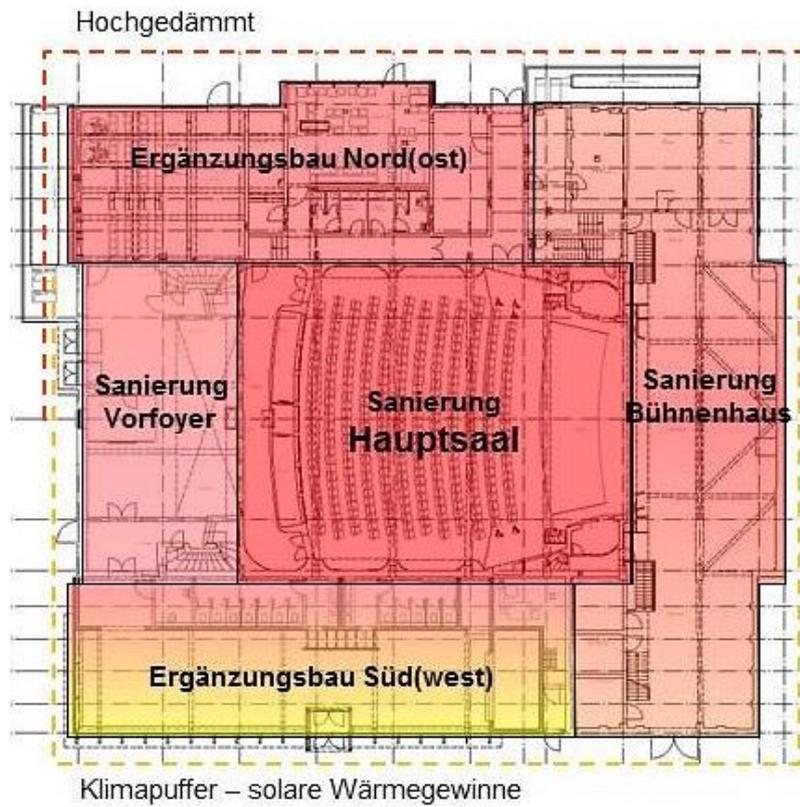


Abb.50 Energiekonzept des Theatergebäudes mit den Ergänzungsbauten

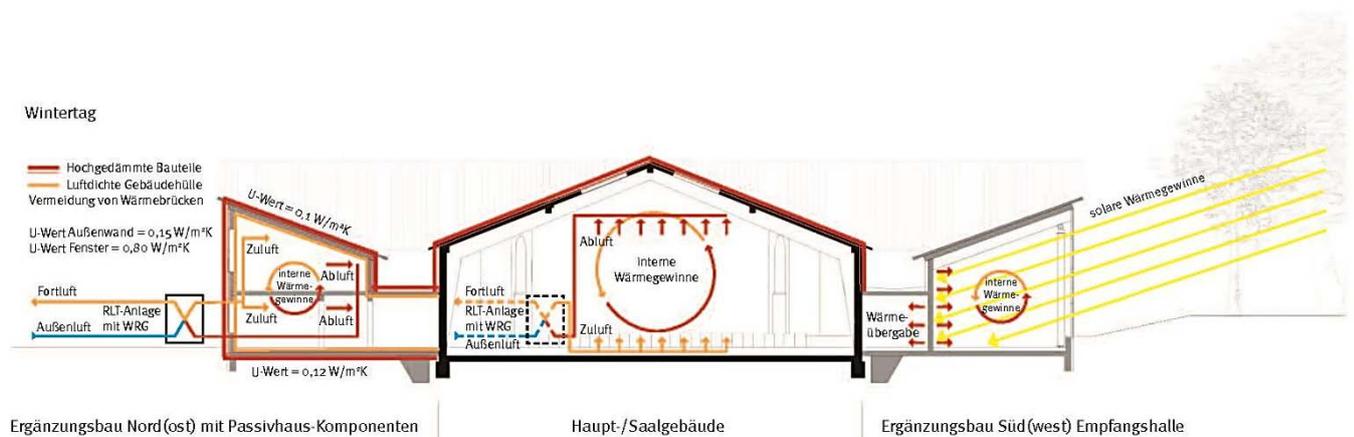


Abb.51 Energiekonzept des Theatergebäudes mit den Ergänzungsbauten – Wintertag

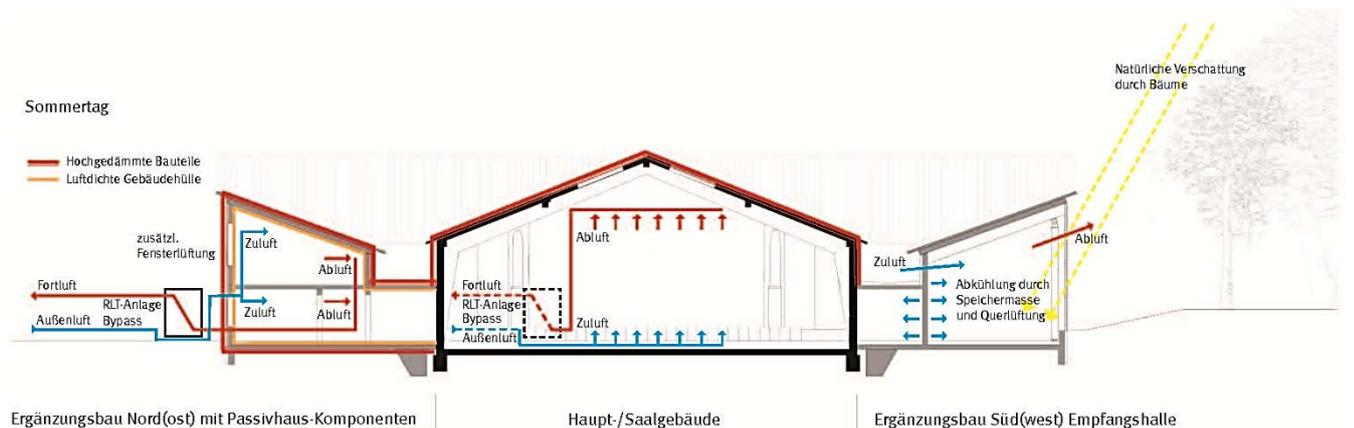


Abb.52 Energiekonzept des Theatergebäudes mit den Ergänzungsbauten – Sommertag

Lüftung

Um die Lüftungswärmeverluste zu minimieren, wurden zwei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (Kreuz-Strom-Plattenwärmetauscher), $\eta = 68\%$ für das Gebäude eingebaut, da so die geringsten Wärmeverluste zu erwarten sind. Auf den Einbau von Rotationswärmetauschern in Außenaufstellung, mit einem höheren Wirkungsgrad wurde aus hygienischen Gründen gem. VDI 6022 Blatt 1 verzichtet. Auf Grund der hohen Feuchtelasten aus der Abluft kann es hier zu Schimmelpilzbildungen kommen.

Eine Lüftungsanlage versorgt den Theatersaal, zweite den Ergänzungsbau Nord(ost). Alle andere Räume werden natürlich be- und entlüftet.

Das Foyer wird über Fensterbänder natürlich belüftet, die so angeordnet sind, dass die notwendige Luftbewegung gewährleistet wird. Im Sommer wird am Tag, das Foyer entweder geschlossen gehalten oder die Lüftungsklappen geöffnet. Durch den in Wismar fast immer vorhanden Wind wird das Foyer ausreichend belüftet um einer möglichen Überwärmung durch die Nachtauskühlung entgegen zu wirken.

Die Lüftungswärmeverluste können durch eine Reduzierung der Lüftung während der Nichtnutzung auf ein hygienisches Minimum minimiert werden. Während der Nutzungszeiten, kann die Lüftung dem Bedarf entsprechend erhöht werden.

Auf den Einbau eines Erdwärmetauschers zur Vorwärmung/Vorkühlung der Zuluft wurde aufgrund der Ergebnisse aus einer wirtschaftlichen Kostenanalyse und der geringen Betriebszeiten verzichtet.



Abb.53 Die RLT-Anlage, die das Saalgebäude versorgt



Abb.54 Die RLT-Anlage, die das Ergänzungsbau Nord (ost) versorgt



Abb.55 Die Zuluftöffnungen integriert im Stuhlbein im Theatersaal

Wärmeversorgung

Die Gasversorgung der Stadtwerke Wismar endet im Heizraum zwischen der Seitenbühne Süd und dem Südfoyer. Eine Leistungserweiterung wurde nicht erforderlich.

Ursprünglich wurde eine Gaskessel-Niedertemperaturanlage einschl. Gebläsebrenner mit einer Leistung von 440 kW installiert.

Auf Grund der beschränkter Funktionsfähigkeit, Überdimensionierung und Beschädigung durch anfallendes Kondensatwasser der Anlage hat sich der Bauherr für den Einbau einer Brennwertkesselanlage entschieden. Mit einem Brennwertkessel können Einsparungen im Gasverbrauch von ca. 10% erreicht werden.

Die sicherheitstechnische Ausrüstung gemäß DIN EN 12 828 sowie alle erforderlichen Armaturen und Verbindungsleitungen wurden neu installiert.

Es wurden 6 Heizkreise vorgesehen:

- HK 1 Ergänzungsbau Süd(west) Empfangshalle (Strahlplattenheizung)
- HK 2 Bühne (Strahlplattenheizung)
- HK 3 Bühnenhaus (Heizkörper Seitenbühnen)
- HK 4 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost) (Heizkörper, Fußbodenheizung)
- HK 5 Vorfoyer West (Heizkörper, Fußbodenheizung)
- HK 6 RLT Saal, RLT Ergänzungsbau Nord(ost) (Erhitzer)

Die Gebrauchswarmwasserbereitung für die Duschen erfolgt aus betriebswirtschaftlichen Gründen über elektrische, elektronisch geregelte dezentrale Durchlauferhitzer. Für die Teeküche und den Tresen wird das Wasser über elektrische Warmwasserspeicher erwärmt. Eine zentrale Gebrauchs-Warmwasser-Anlage wäre für den geringen Warmwasserbedarf nicht sinnvoll. Es würden erhöhte Betriebskosten für die Wärmebereitstellung der Kesselanlage und für den Zirkulationsbetrieb anfallen. An allen Waschtischen und Duschen wurden selbst schließende Wasserspararmaturen eingebaut.

Auf die solarthermische Anlage wurde aufgrund der geringen Abnahmemenge und des unregelmäßigen Wärmebedarfs (spezifische Theaternutzung) verzichtet.



Abb.56-57 Brennwertkesselanlage und Heizkreisverteilungen im Heizraum

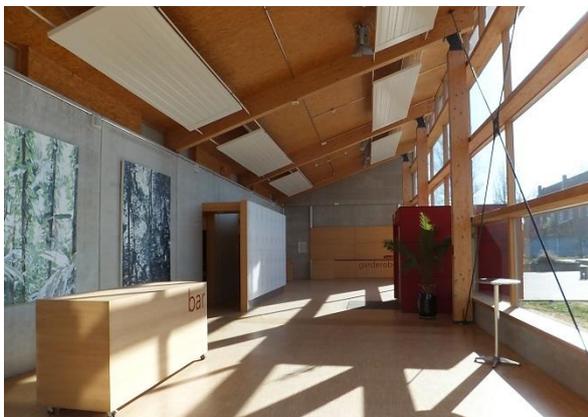


Abb.58-59 Strahlplattenheizung im Südfoyer und auf der Bühne

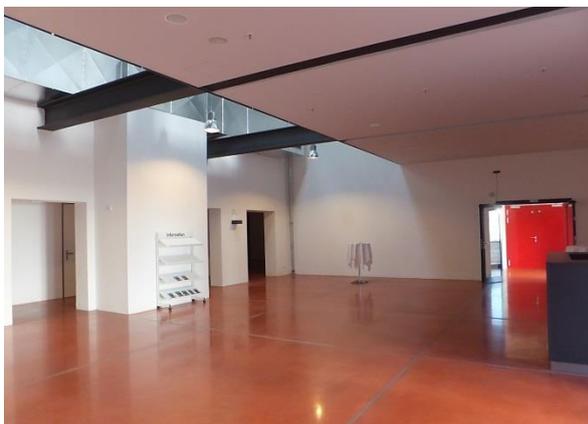


Abb.60-61 Fußbodenheizung im Vorfoyer und Heizkörper an der Seite der Kammerbühne



Abb.62-63 Bedarfsorientierte Steuerung der Temperatur in Garderoben
Abb.64 Durchlauferhitzer für das Warmwassererwärmung für die Duschen

Elektrische Energie und Beleuchtung

Nutzung verschiedener nutzungsbezogenen Beleuchtungsszenarien:

- Einbau von Präsenzmeldern
- automatische Abschaltung der Beleuchtung bei ausreichendem Tageslicht
- Einbau von modernen, energiesparenden Leuchten und Lampen

Das Objekt wurde mit energiesparenden Systemen ausgestattet. Insbesondere trägt eine bedarfsgerechte Beleuchtungssteuerung Sorge für einen minimalen Energieverbrauch. Die Schaltung der Beleuchtung erfolgt in Abhängigkeit der Nutzung der Räume. Eine weitere Maßgabe ist die gezielte Einhaltung der erforderlichen Beleuchtungsstärken. Hier wird die Möglichkeit der manuellen Einflussnahme derart eingeschränkt, dass eine Erhöhung der Beleuchtungsstärke ausgeschlossen ist. Glühlampen wurden trotz der Theaternutzung vermieden (Ausnahme Bühnentechnik).

Auf eine Photovoltaik Anlage wurde aus wirtschaftlichen Gründen verzichtet.

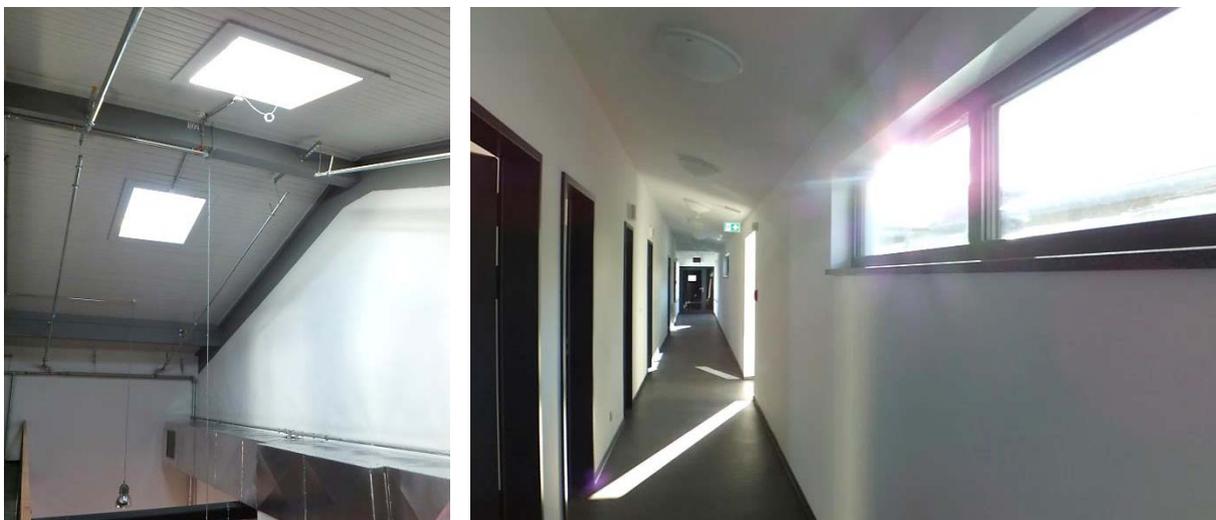


Abb.65-66 Dachfenster im Vorfoyer und Flur vor Garderoben – um die Energie für die Beleuchtung zu sparen, sind die Räume möglichst mit dem Tageslicht belichtet

Gebäudeautomation

„Das Gebäude hat Automationssysteme erhalten für die

- Wärmeversorgungsanlage
- heizungstechnischen Anlagen und für die
- Lüftungstechnischen Anlagen.

Diese bilden einen Informationsschwerpunkt.

Das Automationssystem (AS) dient der Abdeckung nachfolgender Funktionen:

- Messen
- Überwachen
- Steuern
- Regeln
- Rechnen/Optimieren

Für die Umsetzung der Steuer- und Regelfunktion der Kompaktbaugruppen sind unabhängig arbeitende Automationsstationen mit IP Netzwerk vorgesehen. Die Kommunikation mit der übergeordneten Inselzentrale (IZ) erfolgt über das IP Netzwerk, das eine Bedienung und Beobachtung aller angeschlossenen TGA von der IZ aus ermöglicht. Ebenso können von der IZ aus Parameter- und Programmänderungen in die AS vorgenommen werden.

Bei geöffneten Fenstern im Ergänzungsbau Nord(ost) „Passivhaus“ werden die zugehörigen Heizungen ausgeschaltet.

Sonstige Anlagen, die durch die DDC-Technik überwacht bzw. erfasst werden:

- Sicherheitsbereiche und Brandmeldeanlage
- Innen-/Außenbeleuchtung
- NSHV-Schrank u. EDV-Verteiler
- USV-Anlage
- Gleichrichter und Frequenzumformer

Grundlage der Planung bildet das Handbuch der Gebäudeautomation HB GA, Stand November 2007, Allgemeiner Umdruck 173.“

Quelle: Auszug aus der Planung Ingenieurbüro für Gebäudetechnik Edgar Pech

2.2.4 Energieverbrauch

Energieträger	Gebäude nach der Sanierung (EnEV Berechnung nach EnEV 2009, Stand 03/2014)		CO ₂ Emissionen
StromMix	Warmwasser 9.638,00 kWh/a (4,00 kWh/m ² a)	64.783,00 kWh/a (27,41 kWh/m ² a)	44.247,00 kg CO ₂ /a (18,72 kg CO ₂ /m ² a)
	Luftförderung 21.739,00 kWh/a (9,19 kWh/m ² a)		
	Hilfsenergie 2.008,00 kWh/a (0,85 kWh/m ² a)		
	Beleuchtung 31.398,00 kWh/a (13,28 kWh/m ² a)		
Erdgas	Heizwärme 213.665,00 kWh/a (90,40 kWh/m ² a)		52.775,00 kg CO ₂ /a (22,33 kg CO ₂ /m ² a)
Gesamtendenergie	278.448,00 kWh/a (117,81 kWh/m²a)		
Primärenergie	380.179,00 (157,50 kWh/m²a)		
CO₂-Emissionen			97.022,00 kg CO₂/a (41,05 kg/m²a)

Tab.41 Energieverbrauch „Umweltgerechte Bühne Wismar“ nach der Sanierung – Planung nach EnEV 2009, Primärenergiefaktor Erdgas: 1,1, StromMix: 2,7, CO₂-Emissionen Erdgas: 0,247 kg CO₂/kWh, StromMix: 0,683 kg CO₂/kWh

2.2.5 Fazit

Mit der Doppelnutzung des Theaters der Hansestadt Wismar und dem Umbau zum umweltgerechten Veranstaltungs- und Tagungszentrum (Umweltforum Wismar) wird öffentlichkeitswirksam die Verantwortung von Kommune und Land zum sparsamen Umgang mit vorhandenen Ressourcen demonstriert.

Durch die ökologische und umweltfreundliche Sanierung des vorhandenen Gebäudes, sowie die Errichtung der Neubauten mit innovativen Umwelttechnologien (passive Nutzung der solaren Wärmegevinne im Süden, Passivhausstandart im Norden), und den Einbau von effizienter Technik, wird vorbildhaft aufgezeigt, wie Ressourcen und Energie gespart und damit ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden kann.

Durch die umweltgerechte Sanierung und bessere Auslastung kann eine besondere Wertschätzung und Wertbeständigkeit dokumentiert werden.

Die Berechnungen weisen nach, dass das Ziel mit dem geplanten Gebäude erreicht wird. Im Rahmen des Monitorings erfolgt der Nachweis im Hinblick auf die erfolgreiche Umsetzung der Planung.

2.3 Vergleich Bestandsgebäude, Referenzgebäude und Gebäude nach der Sanierung

2.3.1 Bauwerk – Baukonstruktion

In folgender Tabelle erfolgt eine Gegenüberstellung der Transmissionswärmeverluste des Bestandsgebäudes, des Gebäudes nach der Sanierung und des Referenzgebäudes (Berechnung EnEV 2009, Ergänzungsbau Nord(ost) – mit Passivhaus Kennwerten) für einzelne Bauteile der Gebäudehülle. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass der Zustand der Gebäudehülle des Bestandsgebäudes aus bauphysikalischer Sicht starken Handlungsbedarf aufwies. Die Bauteile der Gebäudehülle des Theaters nach der Sanierung folgten dem, zur Zeit der Gebäudeplanung und -herstellung gültigen EnEV Standard (Ergänzungsbau Nord(ost) – mit Passivhaus Kennwerten).

Bauteil	Bestandsgebäude		Gebäude nach der Sanierung		Referenzgebäude
	Aufbau	U-Wert [W/m ² K]	Aufbau	U-Wert [W/m ² K]	U-Wert [W/m ² K]
Außenwand	Außenwand Hauptgebäude 0,015 m Putzmörtel 0,380 m Mauerwerk 0,015 m Zementputz		Außenwand Hauptgebäude 0,015 m KZ Putzmörtel 0,28/0,30/0,40/0,55 m Mauerwerk 0,18/0,12/0,12/0,12 m MW 0,005 m KZ Putzmörtel		
	0,410 m gesamt	1,40	0,48/0,44/0,54/0,69 m gesamt	0,18/0,25/ 0,24/0,23	0,28 (EnEV 2009)
			Außenwand Hauptgebäude zweischalig 0,015 m KZ Putzmörtel 0,10/0,13 m Mauerwerk 0,17/0,05 m Luftschicht 0,13/0,12 m Mauerwerk 0,12 /0,12 m Mineralwolle 0,005 m KZ Putzmörtel		
			0,54/ 0,44 m gesamt	0,25/0,24	0,28 (EnEV 2009)
	Außenwand Anbauten 0,015 m Putzmörtel 0,365 m Mauerwerk 0,015 m Zementputz		Ergänzungsbau Nord(ost) EG 0,010 m KZ Putzmörtel 0,240 m KS/ Stahlbeton 0,160 m Holzbalken/MW 0,015 m OSB-Platten 0,080 m Mineralwolle 0,0004 m Unterdeckbahn 0,034 m Lattung/Luftschicht 0,010 m Fassadentafel		
	0,395 m gesamt	1,44	0,549 m gesamt	0,16 *	0,15 (Passivhaus)
			Ergänzungsbau Nord(ost)OG (0,0150 m OSB-Platten) (0,200 m Holzbalken/Luft) 0,015 m Gipskartonplatten 0,0005 m Dampfsperre 0,160 m Holzbalken/MW 0,015 m OSB-Platten 0,080 m Mineralwolle 0,0004 m Unterdeckbahn 0,034 m Lattung/Luftschicht 0,010 m Fassadentafel		
			(0,5399) 0,3149 m gesamt	(0,15) 0,17 *	0,15 (Passivhaus)
			Ergänzungsbau Nord(ost)OG 0,015 m Gipskartonplatten 0,0005 m Dampfsperre 0,16/0,2 m Holzbalken/MW 0,015 m OSB-Platten 0,08/0,04 m EPS 030 0,010 m Mineralleichtputz		
			0,2805 m gesamt	0,16/0,17 *	0,15 (Passivhaus)

Dach	<u>Dach Hauptgebäude</u> 0,030 m Dachuntersicht Holz 0,180 m Sparren/ (0,040 m Dämmung) 0,100 m Sparren 0,015 m Holzverschalung 0,030 m Asbestzementplatten		<u>Dach (Hauptgebäude) Seitenbühne</u> 0,020 m Holzschalung 0,0005 m Dampfbremse (0,20)/0,18 m Balken/MW (0,04 m Balken/Luftschrift) (0,03 m Lattung/Luftschrift) (0,025 m OSB-Platten) 0,002 m Evalon Dachbahn			
	0,355 m gesamt	0,590	(0,3175) 0,2025 m gesamt	0,20	0,20 (EnEV 2009)	
	<u>Oberste Decke Anbauten</u> 0,015 m Deckenbekleidung 0,025 m Lattung 0,120 m Deckenbalken/ (0,060 m Dämmung)		<u>Ergänzungsbau Nord(ost) Pultdach</u> 0,130 m Gipskartonplatten 0,300 m Holzbalken/Luft 0,0005 m Dampfbremse 0,260 m Holzbalken/MW 0,025 m OSB-Platten 0,120 m Mineralwolle 0,002 m Evalon Dachbahn			
	0,160 m gesamt	0,520	0,4505 m gesamt	0,10	0,12 (Passivhaus)	
			<u>Ergänzungsbau Nord(ost) Flachdach</u> 0,250 m Stahlbeton 0,008 m Abdichtung 0,180 m MW druckfest 0,160 m EPS 035 0,002 m Evalon Dachbahn 0,60 m gesamt	0,10	0,12 (Passivhaus)	
Boden	<u>Bodenplatte</u> 0,030 m Holzfußboden 0,050 m Zementestrich 0,020 m Trittschalldämmung 0,080 m Wärmedämmung 0,300 m Bodenplatte Beton		<u>Bodenplatte Hauptgebäude (Foyer Umgang) Bühnenhaus</u> (0,700 m Zementestrich) (0,0005 m PE-Folie) (0,02 m EPS)/0,050 m Holz (0,120 EPS 035)/0,120 Holzbalken/Mineralwolle 0,010 m Abdichtung 0,150 m Stahlbeton 0,050 m Magerbeton 0,200 m Kiesschüttung			
	0,480 m gesamt	0,331	(0,6205 m) 0,58 m gesamt	(0,22) 0,27	0,35 (EnEV 2009)	
			<u>Bodenplatte Hauptgebäude (Orchestergraben) Saal</u> (0,050 m Linoleum) (0,650 m Zementestrich) (0,0005 m PE-Folie) (0,020 m EPS 040) (0,35 m)/0,20 m Stahlbeton 0,0005 m PE-Folie 0,100 m XPS 035 0,010 m Abdichtung 0,100 m Magerbeton 0,200 m Kiesschüttung			
			(0,851 m) 0,6105 m gesamt	(0,24) 0,28	0,35 (EnEV 2009)	
			<u>Bodenplatte Hauptgebäude Haustechnik/Nebenräume</u> 0,050 m Linoleum 0,650 m Zementestrich 0,0005 m PE-Folie 0,020 m EPS 040 0,08/0,12 m EPS 035 0,010 m Abdichtung 0,150 m Stahlbeton 0,050 m Magerbeton 0,200 m Kiesschüttung			
		0,5805/0,6145 m gesamt	0,29/0,22	0,35 (EnEV 2009)		

			Ergänzungsbau Nord(ost) 0,10/0,05/0,15 m Teppich/ Linoleum/Fliesen 0,65/0,55 m Zementestrich 0,0005 m PE-Folie 0,020 m EPS 040 0,24 m EPS 035 0,010 m Abdichtung 0,350 m Stahlbeton 0,100 m Magerbeton 0,200 m Kiesschüttung		
			0,9955/0,9905 m gesamt	0,12	0,12 (Passivhaus)
Fenster	Fenster Holzrahmen mit Einscheibenverglasung	2,963	Fenster Aluminium mit Wärmeschutzverglasung	1,30	1,30 (EnEV 2009)
			Fenster Aluminium mit 3-fach Wärmeschutzverglasung	0,80	0,80 (Passivhaus)

Tab.42 Überblick über die wichtigsten Bauteile der Gebäudehülle – Vergleich Bestandsgebäude, Gebäude nach der Sanierung und Referenzgebäude (Berechnung EnEV 2009, Ergänzungsbau Nord(ost) – mit Passivhaus Kennwerten)
* Die Außenwände des Ergänzungsbaus Nord(ost) wurden mit Passivhaus-Komponenten geplant und ausgeführt. Aus statischen Gründen (Holzkonstruktion innerhalb der Dämmschicht) überschreiten die U-Werte an einigen Stellen geringfügig die Anforderungswerte, dies hat aber nur sehr geringer Einfluss auf die Gesamtenergiebilanz. Die Mehrkosten für eine höhere Dämmstärke waren aus wirtschaftlichen Gründen nur wenig effizient und höher als die erzielte Energieeinsparung. Daher wurde auf eine weitere Erhöhung der Dämmschicht verzichtet.

Baukenndaten

Die Kompaktheit von Baukörpern wird durch das Verhältnis der wärmeabgebenden Hüllfläche (A) zum beheizten Volumen (V) angegeben, dem sogenannten A/V-Verhältnis. Je kleiner das A/V-Verhältnis, desto geringer ist der spez. Energiebedarf pro m³ beheiztem Raum bei sonst gleichen Bedingungen. Ein höheres A/V-Verhältnis muss durch höhere Dämmdicke ausgeglichen werden.

Das Bestandgebäude wies vor Durchführung der Maßnahmen ein vergleichbar schlechtes A/V-Verhältnis von 0,6 auf. Ziel der Sanierung war ein kompaktes Gebäude, das eine geringe wärmeabgebende Hüllfläche aufweist. Mit der Sanierung konnte das A/V-Verhältnis auf 0,42 reduziert werden. Bei konstantem Gebäudevolumen wurde die Außenhüllfläche um 32 % reduziert, dabei wurden alle Funktionen eingehalten und die Nutzungsabläufe optimiert.

	Bestandsgebäude	Gebäude nach der Sanierung	Reduzierung Sanierung gegenüber Bestand um
BGF	2.912,22 m ²	2.693,09 m ²	7,5 %
BRI	14.523,39 m ³	13.911,47 m ³	4,2 %
Hüllfläche	8.693,89	5.907,52	32,0 %
A/V Verhältnis	0,60	0,42	

Tab.43 Außenfläche/Volumen-Verhältnis – Vergleich Bestandsgebäude und Gebäude nach der Sanierung

2.3.2 Bauwerk – technische Anlagen

Die Gebäudetechnischen Anlagen entsprechen den zum Zeitpunkt der Gebäudeplanung und -herstellung gültigen Anforderungen an eine effiziente Energie- und Ressourcensparende Gebäudetechnik. Die Steuerung wurde möglichst einfach ausgeführt.

	Bestandsgebäude	Gebäude nach der Sanierung
Heizung		
Übergabe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Radiatoren, teilweise verkleidet 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deckenstrahlplatten (Empfangshalle, Bühne) ▪ Niedertemperatur Fußbodenheizung (Theaterklausur, Dusche, Vorfoyer West) ▪ Heizkörper (Seitenbühnen, Kammerbühne, Flure, Toiletten) ▪ Erhitzer (RLT-Anlagen) ▪ Bedarfsgerechte Temperatursteuerung
Verteilung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Teilweise an der Außenwand geführt, veraltet 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Neue Verteilung innerhalb der thermischen Hülle ▪ 6 Heizkreise
Erzeugung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gasheizkessel (Erdgas) Typ Wolf MK 440 kW 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Brennwertkessel (Erdgas) 185 kW ▪ Passive Vorwärmung der Luft durch die solare Gewinne (Empfangshalle Süd (west)) ▪ Aktive Vorwärmung der Luft über die RLT-Anlagen mit Wärmerückgewinnung
Warmwasser		
Verteilung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veraltet, im schlechten Zustand ▪ Rohrwerkstoff Stahl verzinkt ▪ Zentrales Rohrsystem ohne Zirkulation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wassersparende Armaturen
Erzeugung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Warmwasserbereiter 500 l 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dezentrale Durchlauferhitzer in Duschen ▪ Elektrische Warmwasserspeicher in Klausur
Lüftung		
Übergabe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Freie Lüftung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zu- und Abluftöffnungen in einzelnen Räumen (Theatersaal, Kammerbühne, Theaterklausur, Garderoben) ▪ Freie Lüftung (Ergänzungsbau Süd(west), Büroräume)
Verteilung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Freie Lüftung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lüftungsrohre ▪ Freie Lüftung
Erzeugung	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zwei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (Plattenwärmetauscher) $\eta = 68\%$ für Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost), Lage im Außenbereich
Elektrische Energie und Beleuchtung		
Verteilung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veraltet, im schlechten Zustand 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Neue Verteilung ▪ Bedarfsgerechte Beleuchtungssteuerung
Erzeugung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ StromMix 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ StromMix

Tab.44 Haustechnischen Anlagen – Vergleich Bestandsgebäude und Gebäude nach der Sanierung

2.3.3 Energieverbrauch

In folgender Tabelle erfolgt eine Gegenüberstellung der Energieverbräuche und des CO₂ Ausstoßes des Bestandsgebäudes, des Gebäudes nach der Sanierung und des Referenzgebäudes (Berechnung EnEV 2009) im Hinblick auf den Energieverbrauch im Gebäudebetrieb. Die Planung erfolgte entsprechend der Antragstellung.

Gemäß Planung (Berechnung EnEV 2009) wird mit der Sanierung des Theatergebäudes gegenüber dem Bestand 56,77 % Gesamtenergie, 53,85 % Primärenergie und 47,79 % Co₂-Emissionen eingespart. Das entspricht eine Unterschreitung des Gesamtenergieverbrauchs des sanierten Gebäudes zum Referenzgebäude um 57,36 %, bei gleichzeitig 52,72 % der Primärenergie und 52,40 % der CO₂-Emissionen Einsparung.

Energieträger	Bestand (Verbrauch Vergleichsjahr 2011)	Gebäude nach der Sanierung (Berechnung EnEV 2009)		Referenzgebäude Sanierung (Berechnung EnEV 2009, 140 % Regel)		Einsparung Planung – Bestand	Einsparung Planung – Referenz
StromMix	65.640,00 kWh/a (25,91 kWh/ma)	Warmwasser	64.783,00 kWh/a (27,41 kWh/ma)	Warmwasser	69.765,00 x 1,4 = 97.671,00 kWh/a (29,52 x 1,4 = 41,32 kWh/ma)		
		Luftförderung		Luftförderung			
		Hilfsenergie		Hilfsenergie			
		Beleuchtung		Beleuchtung			
Heizung (Erdgas)	624.740,31 kWh/a (246,64 kWh/ma)	213.665,00 kWh/a (90,40 kWh/ma)		396.558,00 x 1,4 = 555.181,20 kWh/a (167,86 x 1,4 = 234,99 kWh/ma)			
Gesamtenergie	690.380,31 kWh/a (272,55 kWh/ma)	278.448,00 kWh/a (117,81 kWh/ma)		466.322,00 x 1,4 = 652.852,00 kWh/a (197,38 x 1,4 = 276,31 kWh/ma)		154,74 kWh/ma (56,77 %)	158,50 kWh/ma (57,36 %)
Primärenergie	864.442,34 kWh/a (341,27 kWh/ma)	380.179,00 (157,50 kWh/ma)		574.374 x 1,4 = 804.123,6 kWh/a (237,9 x 1,4 = 333,1 kWh/ma)		183,77 kWh/ma (53,85 %)	175,60 kWh/ma (52,72 %)
CO₂-Emissionen	199.142,98 kg CO₂/a (78,62 kg CO₂/ma)	97.022,00 kg CO₂/a (41,05 kg/ma)		145.599,32 x 1,4 = 203.839,05 kg CO₂/a (61,6 x 1,4 = 86,24 kg CO₂/ma)		37,57 kg CO₂/ma (47,79 %)	45,19 kg CO₂/ma (52,40 %)

Tab.45 Energieverbrauch Bestandsgebäude, Gebäude nach der Sanierung und Referenzgebäude (Berechnung EnEV 2009)
Primärenergiefaktor Erdgas: 1,1, StromMix: 2,7, CO₂-Emissionen Erdgas: 0,247 kg CO₂/kWh, StromMix: 0,683 kg CO₂/kWh

2.3.4 Fazit

Das zur Ausführung gekommene Planungskonzept entspricht der Zielstellung aus dem Förderantrag.

Der Vergleich der Bereiche Bauwerk – Baukonstruktion und Bauwerk, technische Anlagen mit den eingeführten Standards und dem Bestandsgebäude zeigt auf, dass weitreichende Einsparungen an Primärenergie und CO₂-Emission gemäß Planung erfolgen werden, die im Rahmen des Monitorings geprüft werden müssen.

Theatergebäude werden als Sondergebäude geplant und errichtet. Die Energieverluste und -bedarfe sind dementsprechend bisher weitgehend unkontrolliert. Ein Passivhausstandard für diese Art von Gebäuden wurde bisher nicht entwickelt. Ein definierter Passivhausstandard für Nichtwohngebäude existiert nur für Bildungsgebäude (Heizbedarf 9-22,8 kWh/m²a – Quelle: Passivhaus Institut: Leitfaden für energieeffiziente Bildungsgebäude. Darmstadt Juli 2010, S.11), Krankenhäuser, Hallenbäder. Theatergebäude wurden wegen ihrer individuellen Ausprägung bisher nicht im Passivhausstandard erfasst.

EnerPHit ist der etablierte Standard für die Altbaumodernisierung eines Wohngebäudes mit Passivhaus-Komponenten. Bei der Sanierung von bestehenden Gebäuden können sehr weitreichende Energieeinsparungen zwischen 75 und 90% umgesetzt werden. Wegen der verbleibenden Wärmebrücken ist bei energetischen Altbaumodernisierungen das Erreichen des Passivhaus-Standards nicht immer realistisch. Deshalb hat das Passivhaus Institut für solche Gebäude die Zertifizierung „EnerPHit – Zertifizierte Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten“ entwickelt.

Die „Umweltgerechte Bühne“ wurde anhand der Prinzipien der Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten geplant und ausgeführt. Das Konzept besteht aus mehreren Bauteilen, die ein kompaktes Gebäude zusammen bilden. Der sanierte Hauptsaal und die sanierte Bühne befinden sich im „Herz“ des Gebäudes und folgen dem gültigen EnEV Standard, sie sind von den ergänzenden Bauteilen geschützt – zum Nordosten mit dem Neubau mit Passivhaus-Komponenten, zum Südwesten mit der verglasten Empfangshalle, die zur solaren Wärme gewinnen beitragen. Das Gebäude bildet zusammen ein Komplex, der mittels „low-cost“ Budget einen sehr energieeffizienten Gebäudebetrieb verspricht.

3 Monitoring

3.1 Messkonzept

3.1.1 Ziele des Monitorings

Mit dem Ziel Passivhaus- oder Niedrigenergiestandard zu erreichen werden insbesondere beim Bauen im Bestand hohe Qualitätsstandards angestrebt, die nur durch ein Zusammenwirken von Gebäudekonstruktion und Haustechnik unter Nutzung von Kommunikationstechnik erreicht werden können. Dazu gehört als Grundlage auch die intensive Zusammenarbeit von Architekten und Gebäudetechnikern in Abstimmung mit den Bauherren und Nutzern in der Planungsphase, und die praktische Umsetzung mit den Bauunternehmen und Handwerkern in der Ausführungsphase.

Als Ergebnis dieser Prozesse steht im Regelfall nicht ein funktionierendes Gebäude, dass alle Parameter und Nutzungseigenschaften erreicht, sondern ein notwendiger Optimierungsprozess, der nur in Zusammenarbeit aller Beteiligten mit den Nutzern bewältigt werden kann. Das Planungselement der Integration zwischen Bauhülle und Haustechnik muss auch in der Übergabe- und Nutzungsphase errungen und gelebt werden, bis die Technik erreicht, wozu sie geplant wurde und die Nutzer gelernt haben, sie sachgerecht zu verwenden.

Die Verwendung von Messwerten und die Auswertung von Energieverbrauchsdaten nach funktional trennbaren Gebäudebereichen stellt damit nicht ein überflüssiges, weil kosten verursachendes Add-On dar, sondern auch einen integralen Bestandteil der Planungs-, Bau- und Übergabephase. So wie zu einem erfolgreichen Planungs- und Bauprozess eine Qualitätssicherung zur Einhaltung von Bauzeiten und Bauqualitäten gehört, ist ein Monitoringkonzept, die Messung und Auswertung ein Teil des Qualitätsmanagements für die Erreichung der energetischen Ziele.

Zum einen soll die messtechnische Begleitung auch Aufschluss darüber geben, ob die geplanten Einsparungen an Primärenergie und CO₂-Emissionen bzw. die zu erreichenden energetischen Standards für End- und Primärenergie durch die Umsetzung der Baumaßnahme tatsächlich erzielt wurden. Zum anderen sollen die so gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse dem Nutzer und Betreiber des Gebäudes eine Hilfestellung zur verbesserten Bedienung und Benutzung geben, um Möglichkeiten der Optimierung auszuschöpfen.

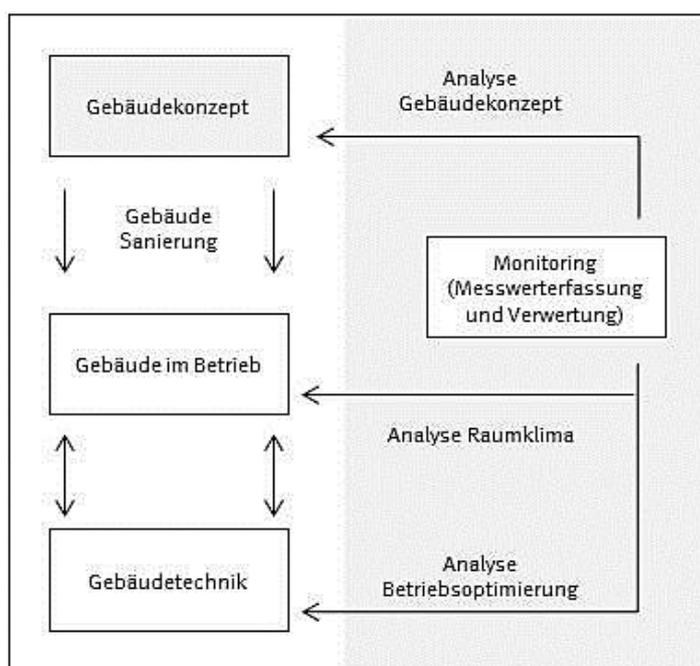


Abb.67 Schema Verflechtung Monitoring innerhalb der Maßnahme

Dabei ist zu beachten, dass das Nutzerverhalten und der sachgerechte Umgang mit der Gebäudetechnik einen maßgeblichen Einfluss auf dieses Ergebnis nehmen können und damit in den Optimierungsprozess einzubeziehen sind. Ausgangspunkt für das Monitoring bildet der Funktionsnachweis der Bauteile, die Verbrauchsergebnisse einer ersten Nutzungsphase und die anschließende Optimierung von technischen Einstellungen, Gebäudeleittechnik und Nutzerverhalten. Anfängliche Abweichungen der Verbrauchswerte von den Zielwerten um den Faktor 1,5-2 sind nicht ungewöhnlich sondern Ausdruck des komplexen Zusammenspiels von Gebäude, Technik und Nutzern sowie notwendiger Lernprozesse bei allen Beteiligten.

Für die Bildung der Energiekennwerte ist die Erfassung der Energieströme erforderlich. Dazu werden alle für die energetische Bewertung von Endenergie und Primärenergieeinsatz relevanten Energieströme nach sinnvoll getrennten funktionalen Einheiten erfasst. Der elektrische Energieverbrauch wird in die Sektoren Beleuchtung, Lüftung, Warmwasserbereitung Bühnentechnik, diverse Technik (d. h. Hilfsenergie), und nutzerbezogener Verbrauch (z. B. Kopierer u. a.) aufgeteilt, um die verschiedenen Anteile der jeweiligen Sektoren untersuchen zu können. Hilfsweise können neben Energieverbrauchsmessungen einzelner Stränge auch Zeiterfassungen für Nutzungszeiten einheitlicher Verbraucher (z. B. Beleuchtung) zur Kostensenkung verwendet werden. Bei unverhältnismäßig hohem Aufwand für das Nachrüsten von Messungen vor kann auch auf die Erfassung und Interpretation von Lastgängen zurückgegriffen werden, aus deren Analyse auf "Verbrauchsarten" rückgeschlossen werden kann (siehe DIN V 18599 Bbl.1).

Zum Erfassen sind hier auch die passiven Wärmegewinne (solare und interne Wärmegewinne, sowie Abwärmenutzung durch WRG) und den zusätzlichen Bedarf auf die Heizung.

Durch regelmäßige Messungen in ausgewählten Räumen bzw. an zentralen Punkten der Haustechnik können Regelungsstrategien verbessert bzw. an die tatsächlichen Anforderungen (Klima, Gebäude, Nutzer) angepasst werden. Damit kann die Nutzerakzeptanz entscheidend verbessert und der Energieverbrauch optimiert werden.

Ergänzend hierzu sind die Erfassung des lokalen Klimas und des Raumklimas erforderlich, aus denen dann Behaglichkeit und gesundheitsrelevante Kenngrößen abzuleiten und zu bewerten sind. Auf der Basis empfundener Behaglichkeit sind schließlich Nutzerverhalten und Nutzerkomfort zu bewerten. Durch temporäre Messungen in verschiedenen Räumen bzw. an der zentralen Abluftanlage der Gebäude können Regelungsstrategien verbessert bzw. an die tatsächlichen Anforderungen (Klima, Gebäude, Nutzer) angepasst werden. Damit kann die Nutzerakzeptanz entscheidend verbessert werden.

Zusätzlich soll messtechnisch nachgewiesen werden, welche Qualität des gebäudeklimatischen, insbesondere des thermischen, aber auch des gesundheitlichen und visuellen Komforts die Sanierung erreicht hat. Über exemplarische Messungen soll der thermische und der visuelle Komfort in den ausgewählten Räumen zu unterschiedlichen Jahres- und Tageszeiten überprüft werden. Aufgrund der zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel können bestimmte Bereiche lediglich exemplarisch gemessen und auf das gesamte Gebäude hochgerechnet werden.

Ergänzend dazu sind noch Messungen in den ausgewählten Bauteilen (z. B. die erdberührten Bauteile unter dem Gebäude) durchzuführen.

Die Messdatensammlung sollte vorzugsweise dezentral auf einem hierfür bereitgestellten Rechner im KBauMV, Hochschule Wismar vorgenommen werden. Angemessene Erfassungsfrequenzen und Speicherzeiträume sind je nach erfassten Daten zu bestimmen und abzusichern.

Das Monitoring soll auch die Optimierung im Gebäudebetrieb (Funktionsoptimierung der haustechnischen Anlagen, Reduzierung des Energie- und Wasserverbrauchs) unterstützen.

3.1.2 Messkonzept

Die Durchführung des Monitoring ist in 2 Arbeitsschritte gegliedert:

- Phase 1: 01.07.2015 – 30.06.2016
Durchführung Monitoring.
Kontinuierliche Aufnahme der Messdaten und Wartung der messtechnischen Anlagen.
- Phase 2: 01.07.2016 – 31.12.2016
Auswertung der Daten und Darstellung der Ergebnisse des Monitoring.
Hinweise zur Anlagentechnischen Optimierung.

In der Phase der Erfassung und Bewertung der zu erreichenden Werte wurde das Messsystem in Betrieb genommen. Eine Funktionskontrolle aller Sensoren und der Datenspeicherung/-übertragung wurde durchgeführt.

Durch die Gegenüberstellung von Soll- und Istwerten im laufenden Betrieb in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen, sollen Störungen bzw. Regelungsfehler im Betrieb der Anlagen direkt aufgedeckt und zur Problembehandlung und Optimierung ausgewertet werden. Dabei ist nach den Modalitäten der Inbetriebnahme Phase (1. Heizperiode) und dem folgenden 1-jährigen Optimierungszeitraum (einer weiteren Sommer-/Kühlperiode und Heizperiode) zu unterscheiden. Größen der Gebäudeautomation bzw. Anlagenüberwachung sind dabei einzubeziehen.

Hier ist grundsätzlich zwischen globalen Maßnahmen, den fest installierten Messeinrichtungen zur Bilanzierung der Energieströme und Erfassung der Regelparameter, und den mobilen Messungen zur Erfassung des Gebäudeklimas bzw. zur Fehleranalyse zu unterscheiden.

Einmal-Messungen und Überprüfungen zur Bewertung der Qualität der Bauausführung

- Thermografie

Zur Bestimmung der Oberflächentemperatur und Qualität der Gebäudehülle wurden während der Bauausführung stichprobeartig Thermografie Aufnahmen mit einer Wärmebildkamera durchgeführt um die Qualität der Bauausführung zu kontrollieren.

- Blower Door Prüfung

Auf eine Prüfung der Luftdichtheit der Gebäudehülle wurde wegen der Komplexität des Gebäudes und aus technischen Gründen verzichtet.

Stichprobenhaft wurden Begehungen zur Sichtung einer mängelfreien Ausführung durchgeführt. Die fachgerechte Ausführung wird durch Erklärungen der Fachbauleitung garantiert.

Dauerhafte exemplarische Messungen

mittels mobiler Sensoren, in ausgewählten Referenzräumen, sowie einem Datenübertragungs- und Speichersystem

- Die Erfassung der Raumlufttemperatur

Lufttemperatur ist eine der wichtigsten Größen für fast alle Wärmeaustauschmechanismen.

- Die Erfassung der Raumluftfeuchtigkeit

Raumluftfeuchtigkeit ist für den Wärmeaustausch von Bedeutung, jedoch auch für die Behaglichkeit, sowie das bauphysikalisch gesunde Raumklima. Zu hohe Luftfeuchtigkeit verringert die Wärmeabfuhr und erzeugt Schäden durch Schweißwasser und Schimmelbildung. Zu trockene Luft führt zu Austrocknung der menschlichen Schleimhäute, sowie erhöhter Staubbildung und elektrostatischer Aufladung. Hierzu wurden Feuchtigkeitsmessungen in Abhängigkeit der Anwesenheit von Personen durchgeführt.

- CO₂-Gehalt der Raumluf

Der CO₂-Gehalt ist einer der wesentlichen Indikatoren der Raumlufqualität. Bei zu hoher CO₂-Konzentration können Rückschlüsse auf die Luftwechselrate gezogen werden.

- Fensterstellung

Sofern Öffnung und Schließung von Fenstern manuell betätigt werden können, sind diese Bewegungen in Häufigkeit, Dauer und Tag/Uhrzeit zu erfassen und bei Auswertung der Messwerte mit Umweltbedingungen und Heizenergieströmen ins Verhältnis zu setzen. (Foyer Süd(west))

- Strahlungstemperatur

Sonneneinstrahlung und Strahlungstemperatur sind besonders für die Bewertung der solaren Wärmegewinne in dazu relevanten Räumen zu erfassen.

- Anwesenheit von Personen

Die Anwesenheit von Personen ist einer der wichtigsten Indikatoren für Energieoptimierung des Gebäudes. Optimierung der Nutzung der Räume, sowie des Nutzerverhaltens dient zur großen Energieeinsparungen. Die Behaglichkeit in den Räumen ist während derer Nutzung zu gewährleisten. Durch Anzahl der Personen, die die Räume nutzen, können auch interne Wärmegewinne erfasst werden.

- Parameter der Bauteile

Der Entwurf und Konstruktion der Bauelemente eines Gebäudes muss viele Aspekte verfolgen. Anhand des Monitoring können die entworfenen Konstruktionen, bei welchen sich einige Fragen stellen, überprüfen werden. Aufgrund der Messungen können die weiter optimiert werden.

Gemessene Werte in den Referenzräumen:

Empfangshalle Süd(west)

- Raumlufemperatur, Raumlufefeuchtigkeit, CO₂-Gehalt der Raumluf (3 verschiedene Höhen)
- Anwesenheit von Personen
- Fensterstellung/Nachströmöffnungen
- Strahlungstemperatur

Hauptsaal, Bühne und Orchestergraben (Mitte)

- Raumlufemperatur, Raumlufefeuchtigkeit, CO₂-Gehalt der Raumluf (4 verschiedene Höhen)
- Anwesenheit und Anzahl von Personen, interne Wärmegewinne
- Luftgeschwindigkeit

Garderoben, Klause Nord(ost)

- Raumlufemperatur, Raumlufefeuchtigkeit, CO₂-Gehalt der Raumluf
- Anwesenheit von Personen

Kammerbühne (Nord(ost))

- Raumlufemperatur, Raumlufefeuchtigkeit, CO₂-Gehalt der Raumluf
- Anwesenheit und Anzahl von Personen, interne Wärmegewinne

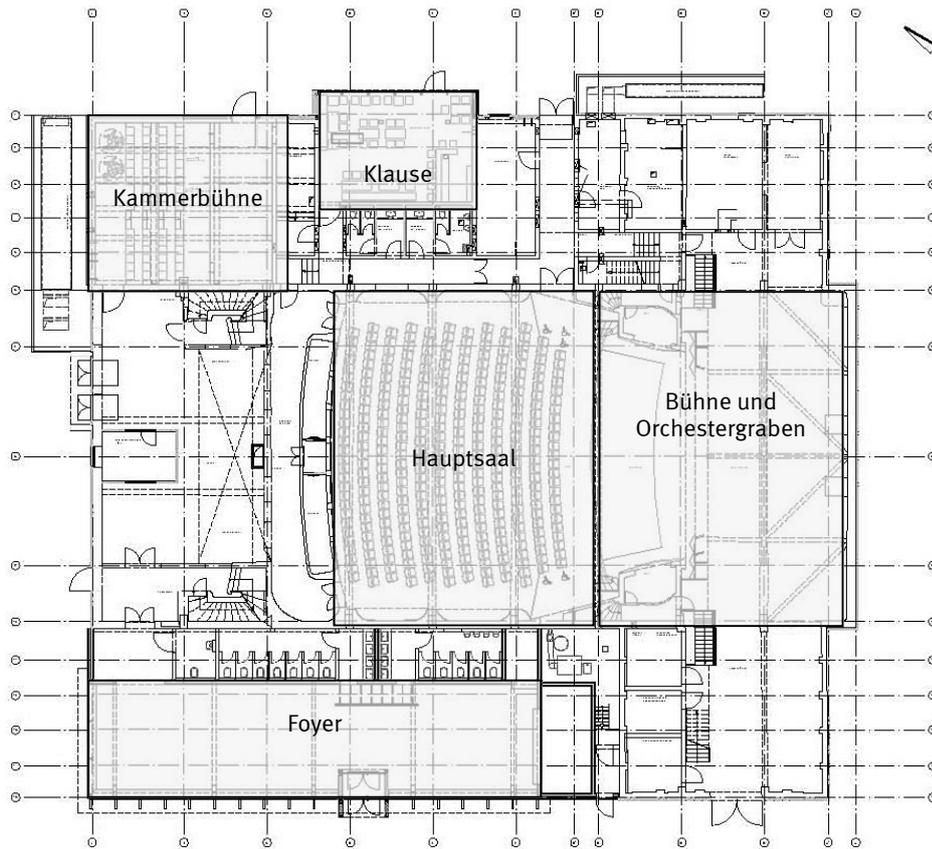


Abb.68 Grundriss Erdgeschoss mit markierten exemplarischen Messräumen, ohne Maßstab

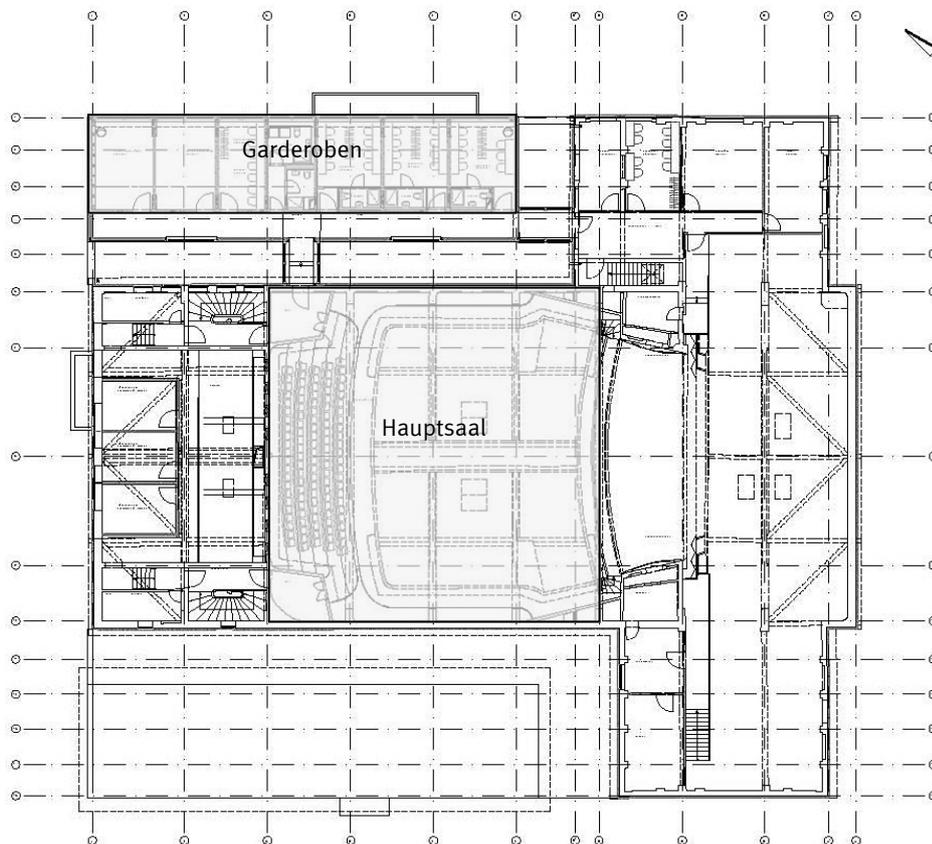


Abb.69 Grundriss Obergeschoss mit markierten exemplarischen Messräumen, ohne Maßstab

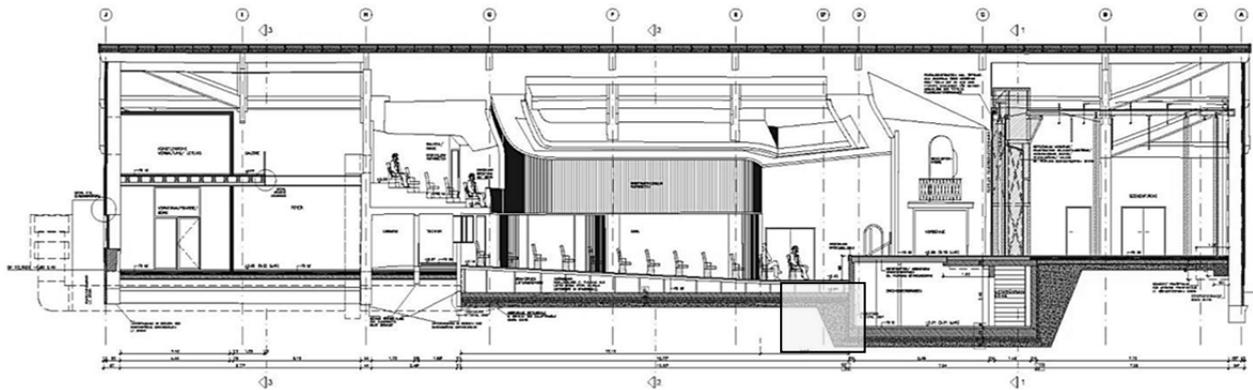


Abb.70 Schnitt mit markierten exemplarischen Messstellen an Bauteilen, ohne Maßstab

Dauerhafte Gesamtmessungen

mittels fest installierter Sensoren an sinnvoller Stelle im Anlagen-System eingebracht, sowie einem Datenübertragungs- und Speichersystem

- Lüftung – zwei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, $\eta = 68\%$

Zur Bilanzierung der Energieströme sind alle Volumenströme an beiden Lüftungsanlagen, sowie die Anzahl der Betriebsstunden und Störmeldungen zu erfassen. Dies geschieht in Abhängigkeit der Anlagenführung mit den zugehörigen Temperaturen (Zu-, Ab-, Frisch- und Fortluft), dem Stromverbrauch der Ventilatoren, sowie den daraus errechneten Wärmemengen, die über den Wärmetauscher vorhandener Wärmerückgewinnungsanlagen zu- bzw. abgeführt werden. Die Wärmemengen (elektrisch) des Erhitzers in den Lüftungsanlagen sind auch zu erfassen. Die Messung von Volumenströmen kann als indirekte Erfassung (Messung der Strömungsgeschwindigkeit) über Druckmessblenden, Ventilatordrehzahlen, o. ä. erfolgen.

- Heizung – Gasbrennwertkessel, $Q_N = 185$ kW, 6 Heizkreise

Zur Bewertung der Energieströme sind Durchfluss- bzw. Wärmemengenzähler mit Temperaturmessfühlern im Vor- und Rücklauf für jeden Heizkreis und noch separat für: Saal (Konvektoren), Theaterklausen (Fußbodenheizung), Kammerbühne und Garderoben einschließlich Betriebszeiten und Störmeldungen zu installieren. Der gesamte Gasverbrauch ist auch zu erfassen.

- Wasserverbrauch und Warmwasservorbereitung

Gemessene Werte: Kaltwasserverbrauch, Stromverbrauch Durchlauferhitzer und Warmwasserspeicher, Rücklauf- und Vorlauftemperaturen. Energieströme sind über Wärmemengenzähler, sowie Betriebsstundenzähler zu erfassen.

- Stromverbrauch und Betriebsstunden

Auch hier sind die o.g. Gruppierungen bereits in der Planung zu berücksichtigen. Des Weiteren muss unterschieden werden zwischen den Bereichen Beleuchtung, Bühnentechnik einschließlich Beleuchtung, Lüftungsanlagen, Warmwasservorbereitung (Durchlauferhitzer), der möglichen sonstigen Energie (innere Wärmelasten), sowie der Energie für den Gerätenstrom (z. B. Rechner). Sollten die Anforderungen im Konflikt zu gängigen Regeln der Elektroinstallation stehen, sind für beide Seiten akzeptable Kompromisse zu finden.

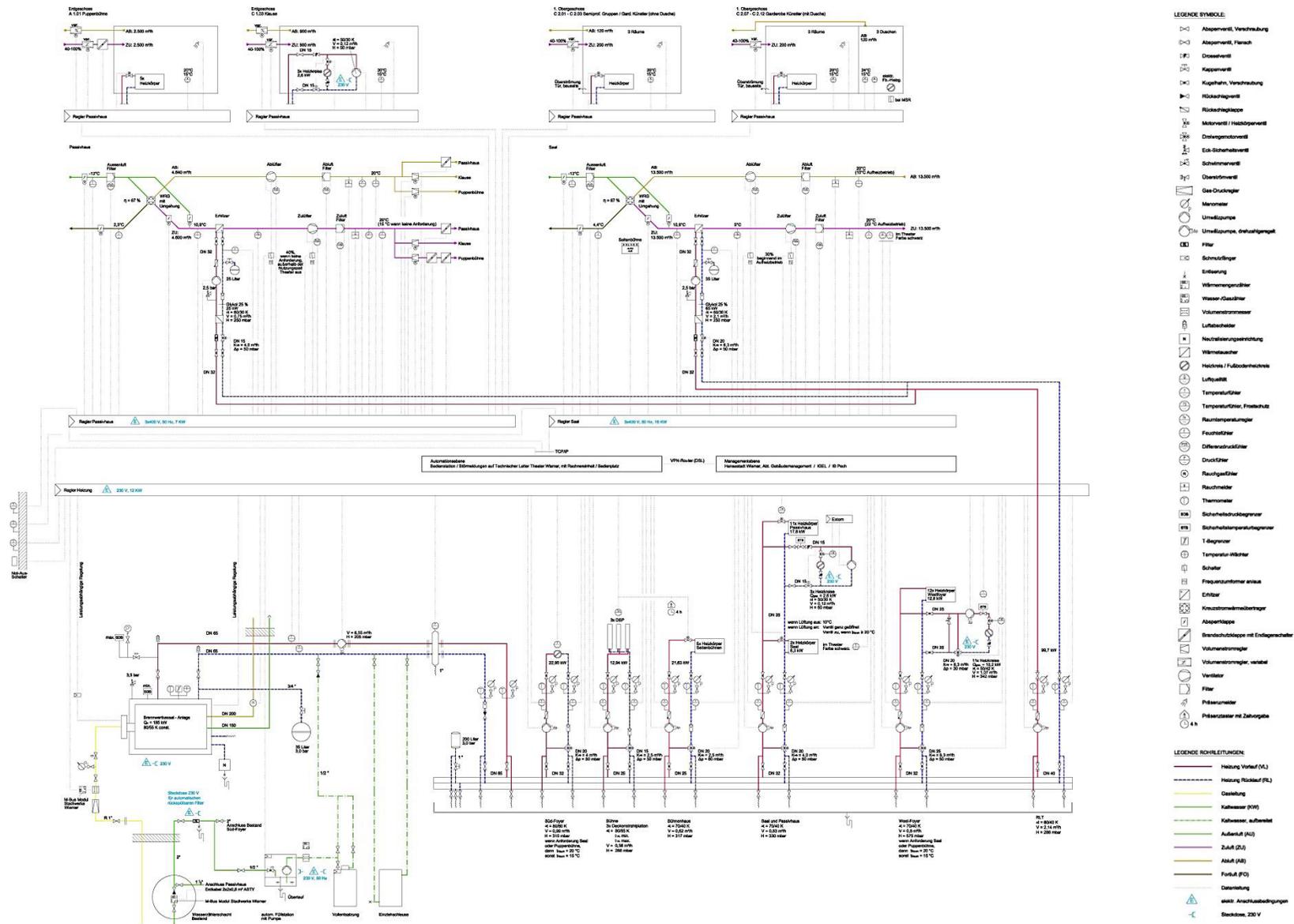


Abb.71 Schaltschema HLS-Installation Auszug aus der Ausführungsplanung, IB Edgar Pech, Wismar

Erfassung Klimadaten

Die meteorologischen Größen wurden durch die Wetterstation auf dem Gelände der Hochschule Wismar aufgezeichnet. Folgende meteorologische Größen werden aufgezeichnet:

- Windgeschwindigkeit und Windrichtung
- Regen
- Atmosphärischer Druck
- Temperatur- und Luftfeuchte
- Leuchtstärke
- Globalstrahlung (horizontal)
- Diffusstrahlung (horizontal)

Auswertung und Dokumentation

Alle relevanten Erkenntnisse aus den oben beschriebenen Arbeitsschritten wurden zusammengefasst und ausgewertet. Die erfassten Werte werden in Hinblick auf die Einhaltung der gesetzl. Vorschriften, die Forderungen des Fördergebers und die angestrebten Qualitäten bewertet.

Empfehlungen bezüglich der Nachregelung von Anlagenkomponenten und zum Nutzerverhalten werden ausgesprochen.

Die Auswertung und Erkenntnisse aus den Messungen werden dem Nutzer und dem Fördergeber gegenüber im vorliegenden Abschlussbericht dokumentiert und dargestellt

3.1.3 Messtechnik

Im Gebäude wurden insgesamt 35 Zähler und 93 Messfühler eingebaut, die jeweils mit einer digitalen Verkabelung mit einem Messwerterfassungs-PC verbunden wurden.

Die Datenübertragung erfolgte mit Hilfe einer Software, die als Semesterprojektarbeit an der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Hochschule Wismar von dem Studenten B.Sc. Hendrik Folkerts, unter der Anleitung von Dr. Olaf Hagendorf entwickelt wurde.

Die entwickelte Software ist noch im Erprobungsstadium und soll zielführend im Sinn einer besseren Lesbarkeit weiter entwickelt werden.

18. November 2014 13:27:11
9.24.03

Anlagenbild: Theater



Datei: Theater-Übersicht.px

1 / 26

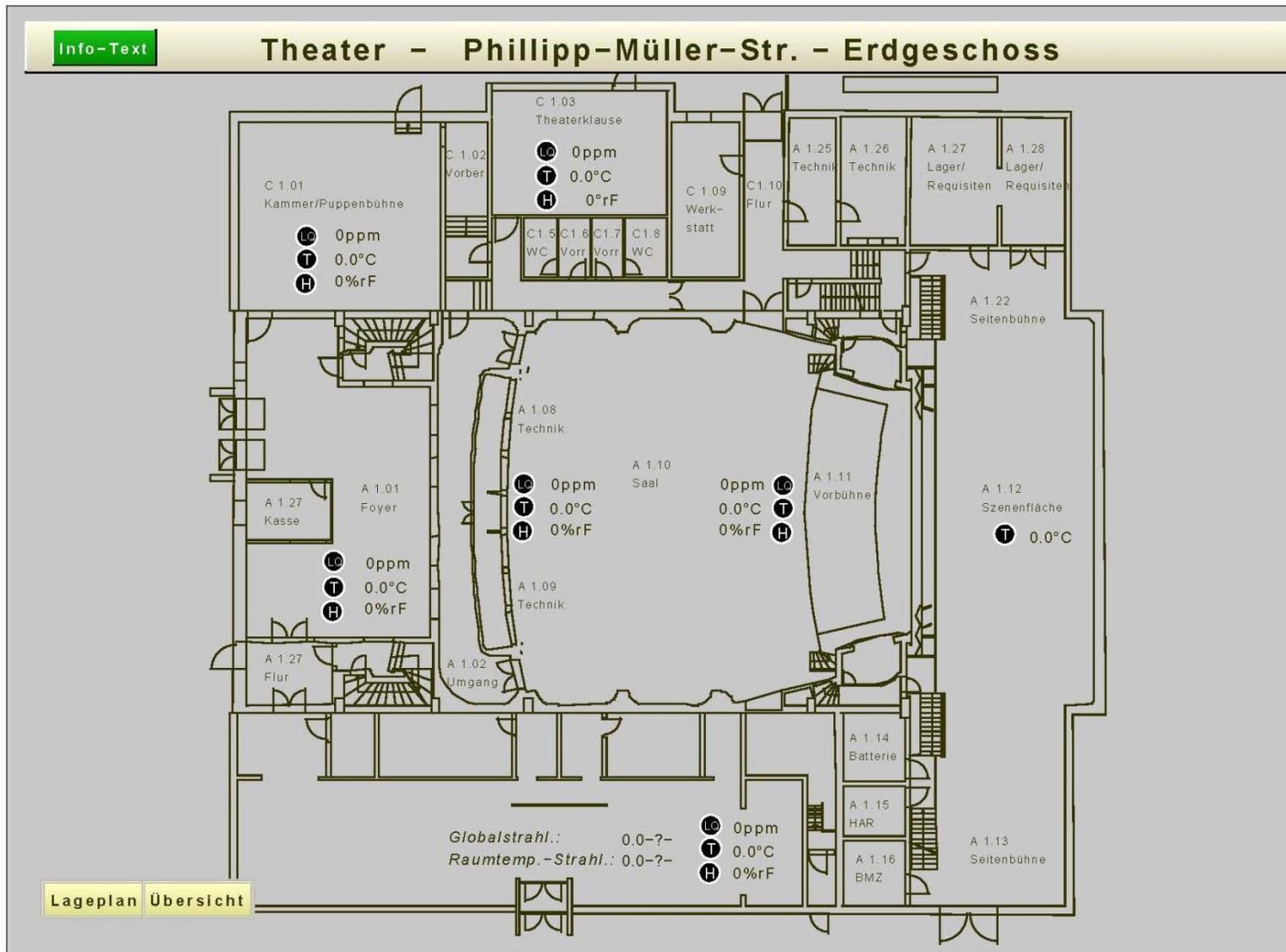
Kieback&Peter

Abb.72 Anlagenbild Theater – Übersicht, Auszug aus der Dokumentation Messtechnik, Kieback&Peter GmbH&Co.KG

18. November 2014 13:27:11
9:24:03

2 / 26

Kieback & Peter



Anlagenbild: Erdgeschoss

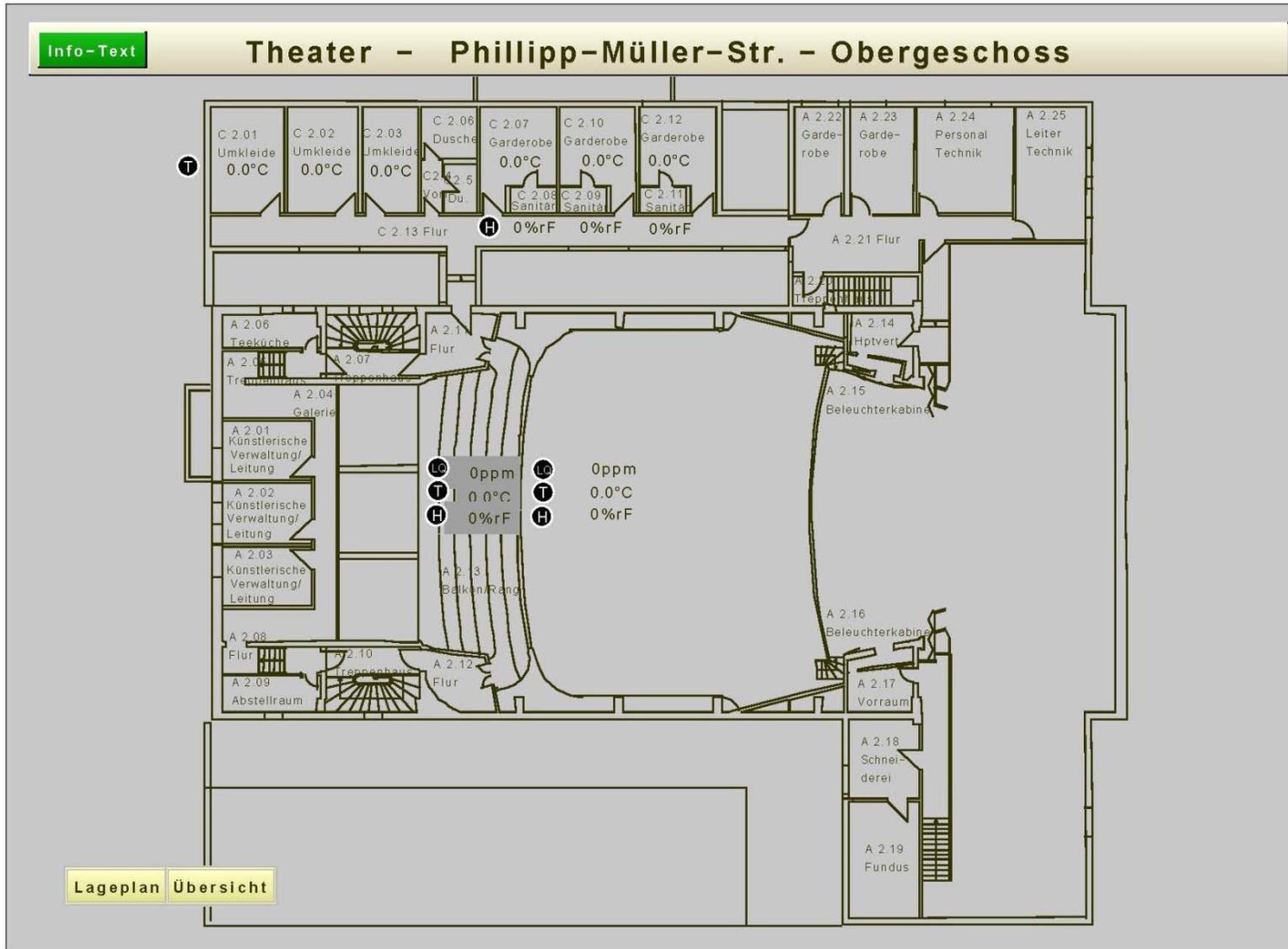
Datei: Theater-EG.px

Abb.73 Anlagenbild Theater – Erdgeschoss, Auszug aus der Dokumentation Messtechnik, Kieback&Peter GmbH&Co.KG

18. November 2014 13:27:11
9.24.03

3 / 26

Kieback & Peter



Anlagenbild: Obergeschoss

Datei: Theater-OG;.jpx

Abb.74 Anlagenbild Theater – Obergeschoss, Auszug aus der Dokumentation Messtechnik, Kieback&Peter GmbH&Co.KG

Info-Text

Theater – Philipp-Müller-Str. – Zähler

Wärmemengenzähler

	HK01 Süd Foyer	HK02 Bühne	HK03 Bühnenhaus	HK04 Saal Pass.H.	HK05 West Foyer	LA01 Passivh.	LA02 Saal
Energie [kWh] :	0	0	0	0	0	0	0
Leistung [kW] :	0	0	0	0	0	0	0
Volumenstrom [m³/h] :	0	0	0	0	0	0	0
VL-Temperatur [°C] :	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
RL-Temperatur [°C] :	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Volumen [m] :	0	0	0	0	0	0	0
Betrieb [h] :	0	0	0	0	0	0	0
Zustand :	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL

Elektrozähler

	A1.006 WWB Bstd. x Leistung	C2.004 Durchlauf- Erhitzer	C2.008 Durchlauf- Erhitzer	C2.009 Durchlauf- Erhitzer	C2.011 Durchlauf- Erhitzer	RLT- Anlagen	Bühnen- technik
Energie [kWh] :	0	0	0	0	0	0	0
Zustand :	AUS	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL

Lageplan
Übersicht

Abb.78 Anlagenbild Theater – Zähler, Auszug aus der Dokumentation Messtechnik, Kieback&Peter GmbH&Co.KG

18. November 2014 13:27:11
9:24:03

25 / 26

Kieback & Peter

Info-Text **Theater – Phillipp-Müller-Str. – Theater-Monitoring-01**

0.0°C

Foyer	Saal	Puppenbühne
E/11: Fenstersteuerung: AUS	G/08 Decke: CO2-Konzentration: 0ppm Raumtemperatur: 0.0°C Raumfeuchte: 0%rF	CO2-Konzentration: 0ppm Raumtemperatur: 0.0°C Raumfeuchte: 0%rF
E/13: Bewegungsmelder: AUS CO2-Konzentration: 0ppm Raumtemperatur: 0.0°C Raumfeuchte: 0%rF	G/08 Saal unten: CO2-Konzentration: 0ppm Raumtemperatur: 0.0°C Raumfeuchte: 0%rF	
E/15 Globalstrahlungsfühler: 0.0-?- Raumtemperaturstrahlung: 0.0-?-	C/08 Orchester: CO2-Konzentration: 0ppm Raumtemperatur: 0.0°C Raumfeuchte: 0%rF	
Foyer/Garderobe Nord: CO2-Konzentration: 0ppm Raumtemperatur: 0.0°C Raumfeuchte: 0%rF	B/08 Bühne: Raumtemperatur: 0.0°C	
	H/08 Balkon: CO2-Konzentration: 0ppm Raumtemperatur: 0.0°C Raumfeuchte: 0%rF	

Lageplan

Anlagenbild: Monitoring

Datei: Theater-Monitoring-01.px

Abb.79 Anlagenbild Theater – Raumparameter, Auszug aus der Dokumentation Messtechnik, Kieback&Peter GmbH&Co.KG

Sensoren im Gebäude – Zähler

Nr.	Zähler
	Wärmemengezähler
01	WMZ HK 1 Empfangshalle Süd(west)
02	WMZ HK 2 Bühne
03	WMZ HK 3 Bühnenhaus
04	WMZ HK 4 Saal, Ergänzungsbau Nord(ost)
05	WMZ HK 5 Vorfoyer Nordwest
06	WMZ HK 6 RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost)
07	WMZ RLT Anlage Saal
	Elektrozähler
08	E-Zähler RLT-Anlage Saal Energie Zulüfter
09	E-Zähler RLT-Anlage Saal Energie Ablüfter
10	E-Zähler RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Energie Zulüfter
11	E-Zähler RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Energie Ablüfter
12	E-Zähler C 1.103 Theaterklausen
13	E-Zähler P12 C 1.103 Theaterklausen
14	E-Zähler P2 Bühne links
15	E-Zähler P1 Bühne rechts
16	E-Zähler P1 Lichtregie
17	E-Zähler P2 A 2.013 Balkon
18	E-Zähler P1 Kammerbühne
19	E-Zähler P6 Durchlauferhitzer C 2.05, C 2.06
20	E-Zähler P7 Durchlauferhitzer C 2.08, C 2.09, C 2.011
21	E-Zähler P8 Theatergraben
22	E-Zähler P9 Bühne Steckdose 63 A
23	E-Zähler P10 Bühne Steckdose 63 A
24	E-Zähler P11 Bühne Steckdose 32 A
25	E-Zähler P12 Bühne Steckdose 32 A
26	E-Zähler P13 Bühne Steckdose 16 A
27	E-Zähler P14 Bühnentechnik
28	E-Zähler P15 Bühne Steckdose 125 A
29	E-Zähler 2P11 Dimmerraum A 1.14
30	E-Zähler 2P12 Dimmerraum A 2.14
31	E-Zähler 2P13 Dimmerraum A 1.17
32	E-Zähler 2P15 RLT Kammerbühne Ergänzungsbau Nord(ost)
33	E-Zähler 2P16 Reserve A 1.15
34	E-Zähler 2P17 Heizung Lüftung
35	E-Zähler 2P9 RLT Saal

Tab.46 Liste der Zähler im Gebäude – „Umweltgerechte Bühne Wismar“

Sensoren im Gebäude – Messfühler

Nr.	Messfühler
	Technik
01	HK 1 Vorlauftemperatur
02	HK 1 Rücklauftemperatur
03	HK 2 Vorlauftemperatur
04	HK 2 Rücklauftemperatur
05	HK 3 Vorlauftemperatur
06	HK 3 Rücklauftemperatur
07	HK 4 Vorlauftemperatur
08	HK 4 Rücklauftemperatur
09	HK 5 FBH Vorlauftemperatur
10	HK 5 FBH Rücklauftemperatur
11	HK 6 Vorlauftemperatur
12	HK 6 Rücklauftemperatur
13	HK 7 Vorlauftemperatur
14	HK 7 Rücklauftemperatur
15	HKE 1 Vorlauftemperatur Kessel primär
16	HKE 1 Vorlauftemperatur Kessel sekundär
17	HKE 1 Rücklauftemperatur Kessel primär
18	HKE 1 Rücklauftemperatur Kessel sekundär
19	RLT-Anlage Saal Temperatur Außen
20	RLT-Anlage Saal Temperatur Zuluft
21	RLT-Anlage Saal Temperatur Zuluft nach Erhitzer
22	RLT-Anlage Saal Temperatur Rücklauf nach Erhitzer
23	RLT-Anlage Saal Temperatur Fortluft
24	RLT-Anlage Saal Temperatur Abluft
25	RLT-Anlage Saal Ventil Erhitzer Stellung
26	RLT-Anlage Saal Stellung WRG Bypassklappe
27	RLT-Anlage Saal Drehzahl Zulüfter
28	RLT-Anlage Saal Drehzahl Ablüfter
29	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Temperatur Außen
30	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Temperatur Zuluft
31	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Temperatur Zuluft nach Erhitzer
32	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Temperatur Rücklauf nach Erhitzer
33	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Temperatur Fortluft
34	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Temperatur Abluft
35	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Kammerbühne VRS Stellung Zuluft
36	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Kammerbühne VRS Stellung Abluft
37	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Theaterklause VRS Stellung Zuluft
38	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Theaterklause VRS Stellung Abluft
39	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Garderobe C 2.001 VRS Stellung Zuluft
40	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Garderobe C 2.001 VRS Stellung Zuluft
41	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Garderobe C 2.002 VRS Stellung Zuluft
42	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Garderobe C 2.003 VRS Stellung Zuluft
43	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Garderobe C 2.007 VRS Stellung Zuluft
44	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Garderobe C 2.010 VRS Stellung Zuluft
45	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Garderobe C 2.012 VRS Stellung Zuluft
46	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Drehzahl Zulüfter
47	RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Drehzahl Ablüfter
	Ergänzungsbau Empfangshalle Süd(west)
48	Raumlufttemperatur
49	Strahlungstemperatur
50	Raumluftfeuchte
51	CO ₂ Konzentration
52	Fensterkontakt
53	Präsenzmelder
54	Globalstrahlung
	Haupt-/Saalgebäude Vorfoyer West

55	Raumlufttemperatur
56	FBH Oberflächentemperatur
	Haupt-/Saalgebäude Zuschauerraum, Balkon
57	Raumlufttemperatur in 3 m Höhe
58	Raumlufttemperatur unter der Decke
59	Raumlufttemperatur Balkon
60	Raumluftfeuchte in 3 m Höhe
61	Raumluftfeuchte unter der Decke
62	Raumluftfeuchte Balkon
63	CO ₂ Konzentration in 3 m Höhe
64	CO ₂ Konzentration unter der Decke
65	CO ₂ Konzentration Balkon
	Haupt-/Saalgebäude Orchestergraben, Bühne
66	Raumlufttemperatur unter der Decke, Bühne
67	Raumlufttemperatur unter der Decke, Orchestergraben
68	Erdtemperatur
69	Raumluftfeuchte unter der Decke, Orchestergraben
70	CO ₂ Konzentration unter der Decke, Orchestergraben
	Ergänzungsbau Nord(ost) Kammerbühne
71	Raumlufttemperatur
72	Raumluftfeuchte
73	CO ₂ Konzentration
74	Präsenzmelder
	Ergänzungsbau Nord(ost) Theaterklausen
75	Raumlufttemperatur
76	Raumluftfeuchte
77	CO ₂ Konzentration
78	Präsenzmelder
	Ergänzungsbau Nord(ost) Künstlergarderoben
79	Raumlufttemperatur Garderobe C 2.001
82	Raumlufttemperatur Garderobe C 2.002
81	Raumlufttemperatur Garderobe C 2.003
82	Raumlufttemperatur Garderobe C 2.007
83	Raumlufttemperatur Garderobe C 2.010
84	Raumlufttemperatur Garderobe C 2.012
85	Raumluftfeuchte Garderobe C 2.007
86	Raumluftfeuchte Garderobe C 2.010
87	Raumluftfeuchte Garderobe C 2.012
88	Präsenzmelder Garderobe C 2.001
89	Präsenzmelder Garderobe C 2.002
90	Präsenzmelder Garderobe C 2.003
91	Präsenzmelder Garderobe C 2.007
92	Präsenzmelder Garderobe C 2.010
93	Präsenzmelder Garderobe C 2.012
	Gesamt

Tab.47 Liste der Messfühler im Gebäude – „Umweltgerechte Bühne Wismar“

3.2 Ergebnisse und Bewertung

Hauptziel des Monitorings ist der Nachweis, dass die geplanten Einsparungen an Primärenergie und CO₂-Emission durch die Sanierung im Betrieb tatsächlich erzielt wurden. Die anschließende Auswertung der Messwerte hat zum Ziel, die Effizienz der angewandten, teils neuartigen, Maßnahmen nachzuweisen. Die Lüftungs- und Heizsysteme, sowie die einzelne Energieverbräuche werden genauer untersucht. Ein anderer Schwerpunkt war der Nachweis des thermischen Komforts sowie der Raumluftqualität in exemplarischen Referenzräumen (Theatersaal, Orchestergraben, Bühne, Kammerbühne, Foyer, Garderoben, Theaterklause). Durch gewonnene Erkenntnisse können Regelungsstrategien verbessert bzw. an die tatsächlichen Anforderungen (Klima, Gebäude, Nutzer) angepasst werden. Damit kann die Nutzerakzeptanz entscheidend verbessert werden.

Die Messwerte wurden von 01.06.2015 bis 31.12.2016 gesammelt. Die Auswertung bezieht sich auf die gemessenen Werte für das Referenzjahr im Zeitraum vom 01.06.2015 bis 30.06.2016.

3.2.1 Referenzräume

Die Qualität der Innenumwelt ist für die Nutzerzufriedenheit, aber auch für Gesundheit und Wohlbefinden, von entscheidender Bedeutung. Das Wohlbefinden wird von objektiv fassbaren und subjektiven Faktoren beeinflusst. Die objektiven Ursachen mangelnden Wohlbefindens sind schlechte Raumluft, zu niedrige oder zu hohe Raumtemperaturen, Raumfeuchten, Zugerscheinungen, ungünstige Lichtverhältnisse und Innenausstattung.

In den Referenzräumen wurden Raumlufttemperatur, CO₂ Belastung und relative Luftfeuchte gemessen. Für die Referenzräume wurden Temperaturwerte von 20 °C (bis 26 °C im Sommer) und relative Luftfeuchten zwischen 40 und 65 % während der Nutzungszeit angenommen. Als Grenzwert für die Luftqualität wurde 1.500 ppm CO₂ Belastung angenommen. Die Beleuchtungsstärke im Zuschauerbereich beträgt 200 Lux, an der Bühne 1.000 Lux und im Foyer 300 Lux.

3.2.1.1 Ergänzungsbau Empfangshalle Süd(west), Neubau 2008

Innentemperatur und -feuchtigkeit, Fenstersteuerung, Anwesenheit von Personen

Die Innenraumlufttemperatur wurde zwischen 19-38 °C gemessen, die Raumluftfeuchtigkeit zwischen 31-52 % innerhalb des Referenzjahres, unabhängig von den Nutzungszeiten (Abb.80).

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit im Jahresverlauf 2015/16 Ergänzungsbau Süd(west)

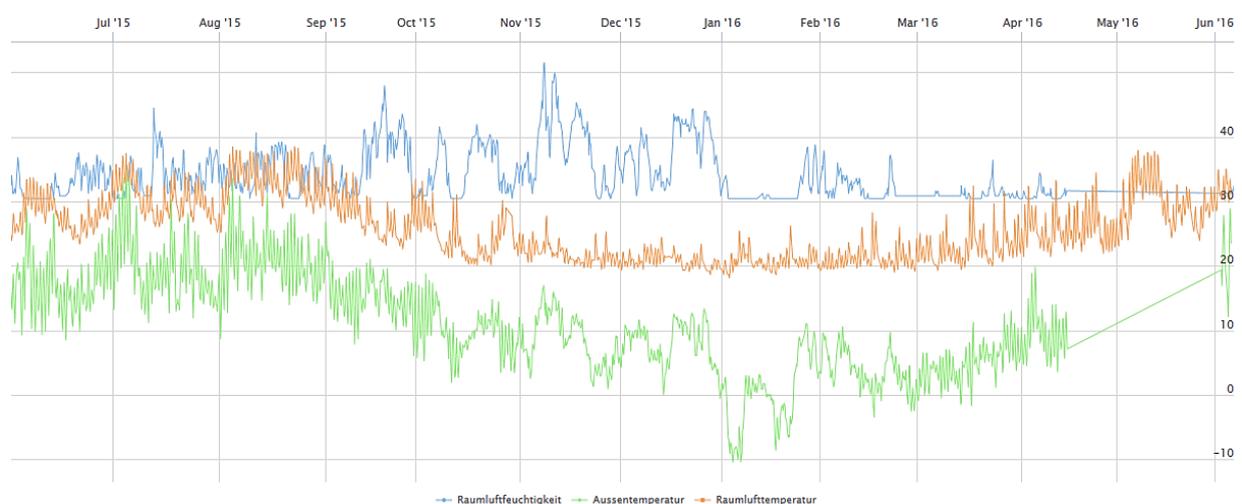


Abb.80 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit im Ergänzungsbau Süd(west), Referenzjahr, [°C/%]

Die Innenlufttemperatur im Sommer beträgt zwischen 24-38 °C, die Raumlufffeuchtigkeit zwischen 31-48 %, unabhängig von Nutzungszeiten (Abb.81). Die Höchsttemperaturen wurden Anfang Juli und im August gemessen, wenn die Außentemperatur teilweise über 30 °C gestiegen ist. Der Temperaturunterschied zwischen Außen/Innen beträgt teilweise 10 °C, in Abhängigkeit von der Globalstrahlung. Aus diesem Grund wurden die Globalstrahlung und Fenstersteuerung in Juli und August näher untersucht (Abb.82-83).

Die sehr hohen Außen- und Innentemperaturen im Foyer wurden an nacheinander folgenden sonnigen Tagen ohne Bewölkung und ohne Nutzung gemessen. Die Innenluftfeuchtigkeit steigt mit der sinkenden Globaleinstrahlung. Die Innenluftfeuchtigkeit während der Sommer 2015 liegt hauptsächlich zwischen 30-40 %, knapp unter der Behaglichkeitsgrenze.

Die Messwerte zeigen, dass die hohen Temperaturen überwiegend bei geschlossenen Fenstern gemessen worden sind. (Theater Schließzeit im August) Die zur Auskühlung des Foyers erforderlichen Fenster blieben im Sommer meistens geschlossen. Aus diesem Grund wurden einzelne Woche/Tage genauer untersucht. (Abb.84-85)

Als Ursache dafür wird vermutet, dass die schattenspendenden Bäume als natürlicher Sonnenschutz vor dem Südfoyer gefällt worden sind. Es wird empfohlen, entsprechende Ersatzbepflanzung vorzunehmen.

Raumlufftemperatur und -feuchtigkeit Juni – August 2015 Ergänzungsbau Süd(west)

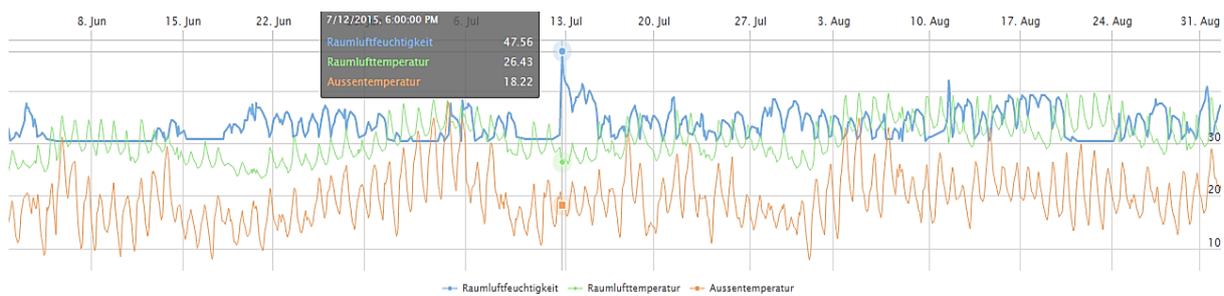


Abb.81 Außentemperatur, Raumlufftemperatur und -feuchtigkeit Ergänzungsbau Süd(west), Juni – August 2015, [°C/%]

Globalstrahlung Juli – August 2015 Ergänzungsbau Süd(west)

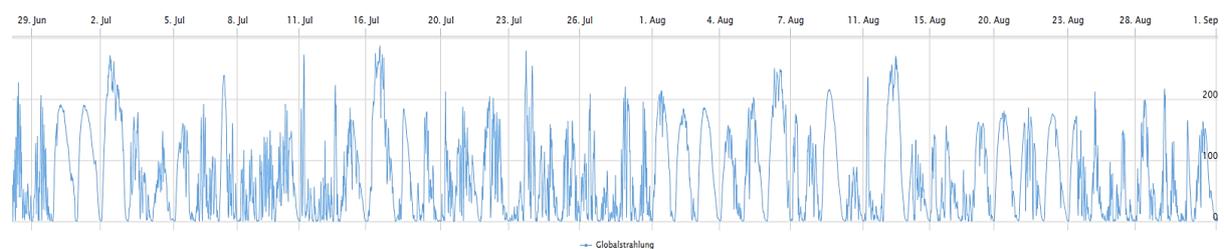


Abb.82 Globalstrahlung gemessen an der Außenfassade im Ergänzungsbau Süd(west), Juli – August 2015, [W/m²]

Fenstersteuerung Juli – August 2015 Ergänzungsbau Süd(west)

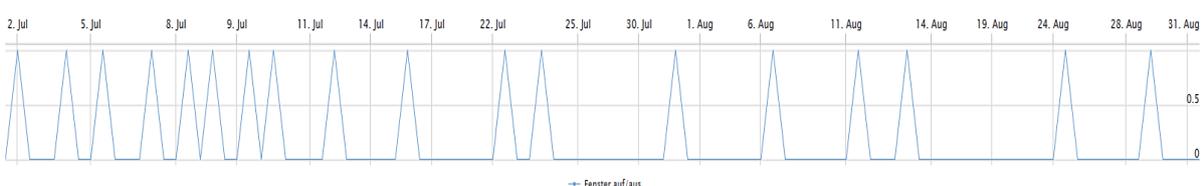


Abb.83 Fenstersteuerung im Ergänzungsbau Süd(west), Juli – August 2015, [0 – zu/1 – auf]

Die Außentemperatur in der ersten Woche Juli 2015 („Extremwetterlage Hitzewelle“) ist in Abhängigkeit zu den steigenden Globalstrahlung am 3.7.2015 bis auf 35 °C gestiegen. In dieser

Woche wurden die Fenster nur einmal am 2.7.2015 um 11:32 Uhr geöffnet. In dieser Zeit war die Globalstrahlung am höchsten. Die Innentemperatur ist nach dem Öffnen der Fenster leicht gesunken. Bei regelmäßiger Querlüftung und Lüftung während der Nacht konnte die Innentemperatur im Süd(west) Foyer deutlich reduziert werden.

Der Einbau einer temperaturabhängigen Steuerung der zusätzlichen Fensteröffnungen (Betätigung der Lüftungsmotoren der Fenster) während der Extremwetterlagen zur Vermeidung von Überhitzungen sollte daher geprüft werden.

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit erste Woche Juli 2015 Ergänzungsbau Süd(west) („Extremwetterlage Hitzewelle“)

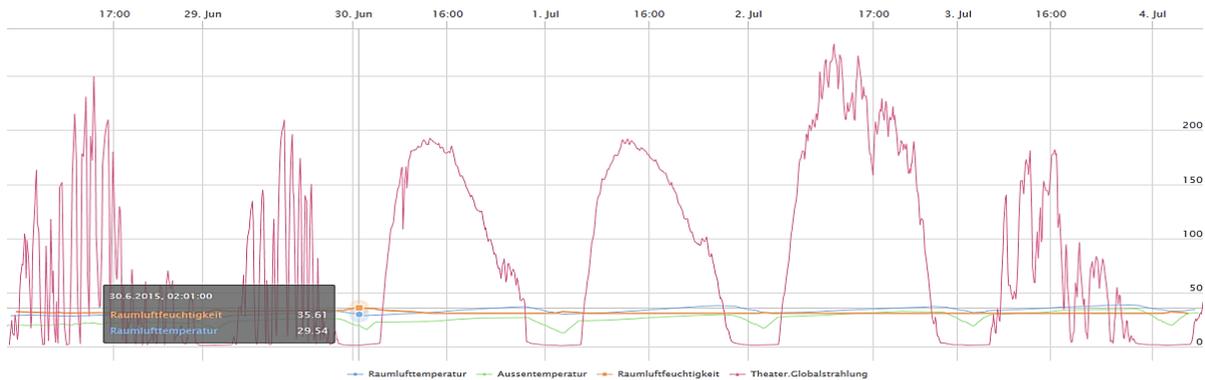


Abb.84 Außentemperatur, Globalstrahlung, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit im Ergänzungsbau Süd(west), erste Woche Juli 2015 (vom 28.6. bis 4.7.2015) – „Extremwetterlage Hitzewelle“, [°C/%/W/m²]

Fenstersteuerung erste Woche Juli 2015 Ergänzungsbau Süd(west) („Extremwetterlage Hitzewelle“)

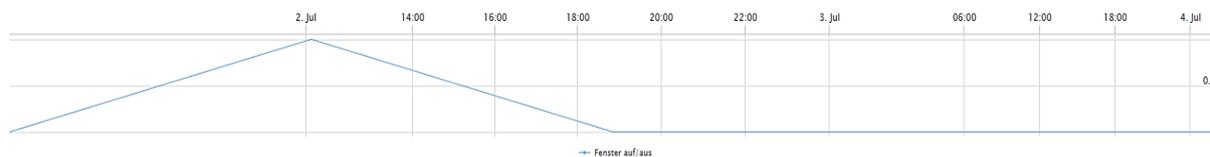


Abb.85 Fenstersteuerung im Ergänzungsbau Süd(west), erste Woche Juli 2015 (vom 28.6. bis 4.7.2015) – „Extremwetterlage Hitzewelle“, [0 – zu/1 – auf]

In der Übergangszeit zwischen September – Dezember 2015 wurde die Innentemperatur zwischen 20-32 °C und die Raumluftfeuchtigkeit zwischen 30-52 % gemessen. Mit dem Heizen des Foyers wurde im November angefangen, wenn die Außentemperatur unter 10 °C gesunken ist. Die Fenster wurden in der zweiten Hälfte September bis Anfang Oktober regelmäßig geöffnet und zur Abkühlung genutzt.

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit September – November 2015 Ergänzungsbau Süd(west)

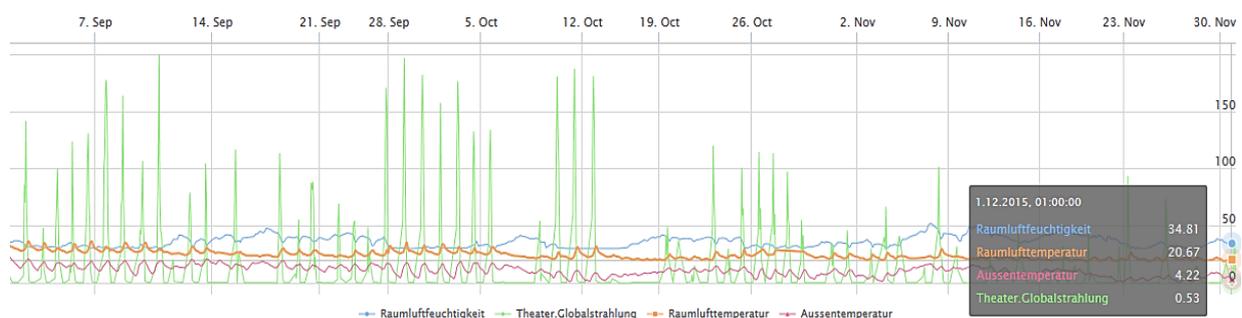


Abb.86 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Ergänzungsbau Süd(west), Sept. – Nov. 2015, [°C/%]

Die Innenlufttemperatur im Winter beträgt zwischen 20-28 °C. Der Einfluss der Sonnenstrahlung auf die Innenraumtemperatur kann man an den sonnigen Tagen beobachten.

Voreingestellt ist die Abschaltung der Heizung bei einer Globalstrahlung über 100 W/m².

Die Messung zeigt, dass zurzeit keine Temperaturabsenkung außerhalb der Nutzungszeiten stattfindet (hohe Temperaturen außerhalb der Nutzungszeiten, z. B. Weihnachtsferien).

Die Fenster wurden während der Winter die ganze Zeit geschlossen gehalten.

Die Raumluftheuchtigkeit lag im Referenzjahr zwischen 30-45 %.

Die Messwerte zeigen, dass die Voreinstellung der Heizungsabschaltung auf 50 W/m² Globalstrahlung geprüft werden sollte. Eine Temperaturabsenkung der Grundbeheizung auf 17 °C während längerer Schließzeiten könnte zu weiteren Einsparungen führen.

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Dezember 2015 – Februar 2016 Ergänzungsbau Süd(west)

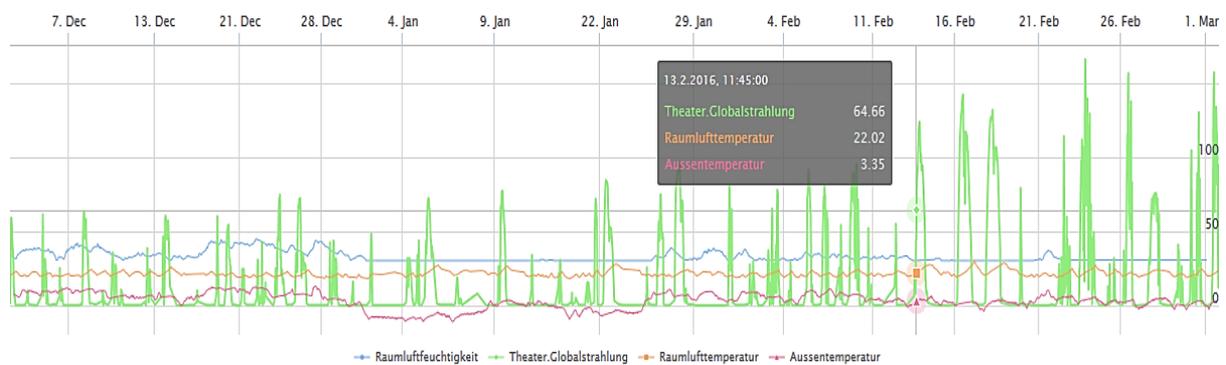


Abb.87 Außentemperatur, Globalstrahlung, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Ergänzungsbau Süd(west), Dez. 2015 – Feb. 2016, [°C/%/W/m²]

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit 19.-26.1.2016 Ergänzungsbau Süd(west)

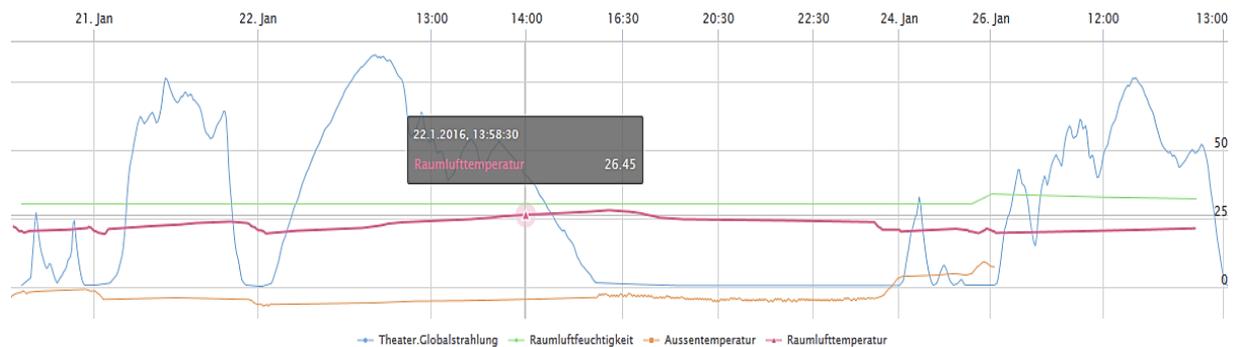


Abb.88 Außentemperatur, Globalstrahlung, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Ergänzungsbau Süd(west), 19.-26.1.2016, [°C/%/W/m²]

Bewegungsmelder 19.-26.1.2016 Ergänzungsbau Süd(west)

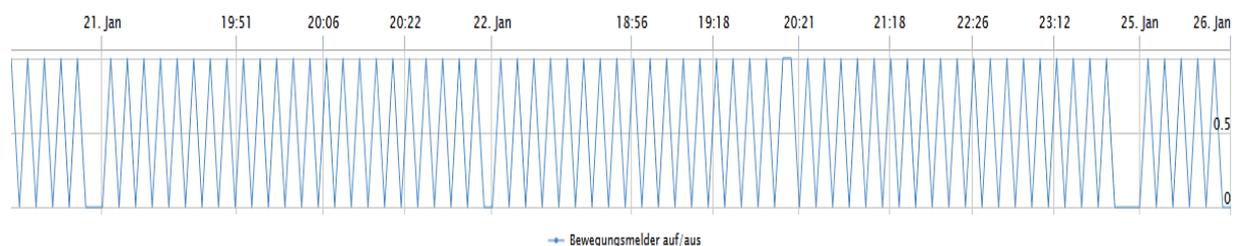


Abb.89 Anwesenheit von Personen Ergänzungsbau Süd(west), 19.-26.1.2016, [1 – anwesend/o – nicht anwesend]

CO₂ Konzentration – Innenraumluftqualität, Anwesenheit von Personen

Die Auswertung der CO₂ Messungen im Süd(west) Foyers hat eine sehr geringe CO₂ Belastung während des ganzen Jahres ergeben. Die Raumluftqualität ist als hygienisch unbedenklich und behaglich einzustufen. Vom Juni bis November 2015 liegt die CO₂ Konzentration zwischen 200-350 ppm. Während der Wintermonate schwankt sie regelmäßig zwischen 250-1.000 ppm, in Abhängigkeit von den Nutzungszeiten. Die höchste CO₂ Konzentration 1.167,26 ppm wurde am 21.11.2015 um 18:00 Uhr gemessen.

Raumluftqualität im Jahresverlauf 2015/16 Ergänzungsbau Süd(west)

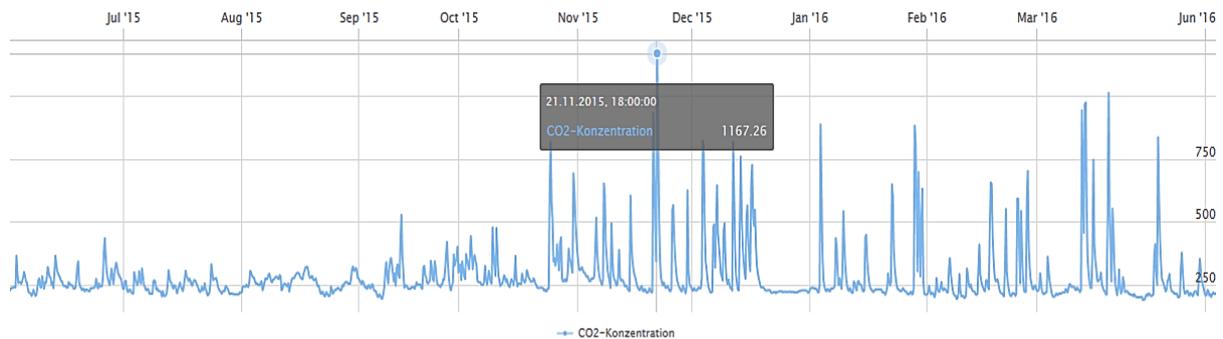


Abb.90 CO₂ Konzentration im Ergänzungsbau Süd(west), Referenzjahr, [ppm]

Raumluftqualität 18-26.11.2015 Ergänzungsbau Süd(west)

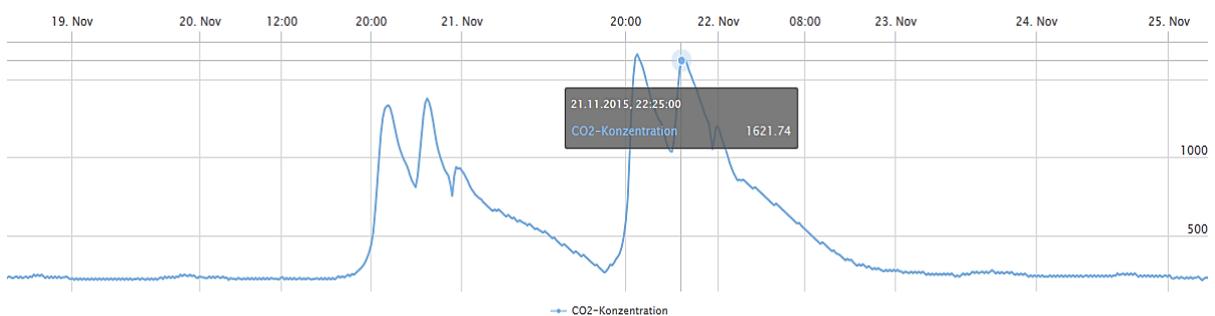


Abb.91 CO₂ Konzentration im Ergänzungsbau Süd(west), 18.-26.11.2015, [ppm]

Bewegungsmelder 18.-26.11.2015 Ergänzungsbau Süd(west)

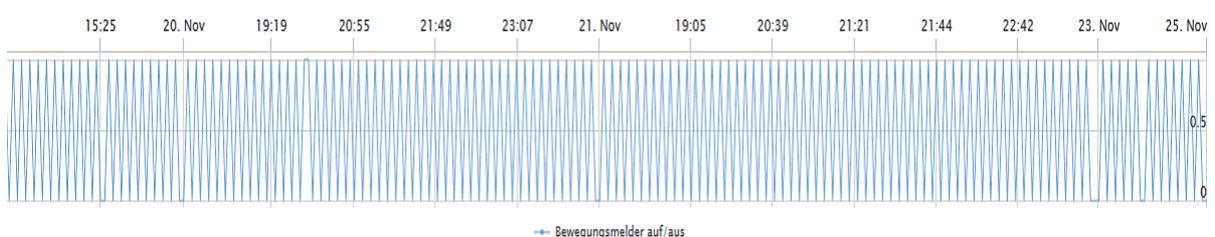


Abb.92 Anwesenheit von Personen Ergänzungsbau Süd(west), 18.-26.11.2015, [1 – anwesend/o – nicht anwesend]

3.2.1.2 Haupt-/Saalgebäude: Vorfoyer Nordwest, Sanierung 2014

Innentemperatur und Oberflächentemperatur Fußbodenheizung

Festgestellt werden kann, dass keine Unterschiede zwischen der Innenraumlufttemperatur und Oberflächentemperatur der Fußbodenheizung gemessen wurden. Es wurden Temperaturen zwischen 20-27 °C innerhalb des Referenzjahres unabhängig von Nutzungszeiten gemessen (Abb.93).

Raumlufttemperatur im Jahresverlauf 2015/16 Vorfoyer Nordwest

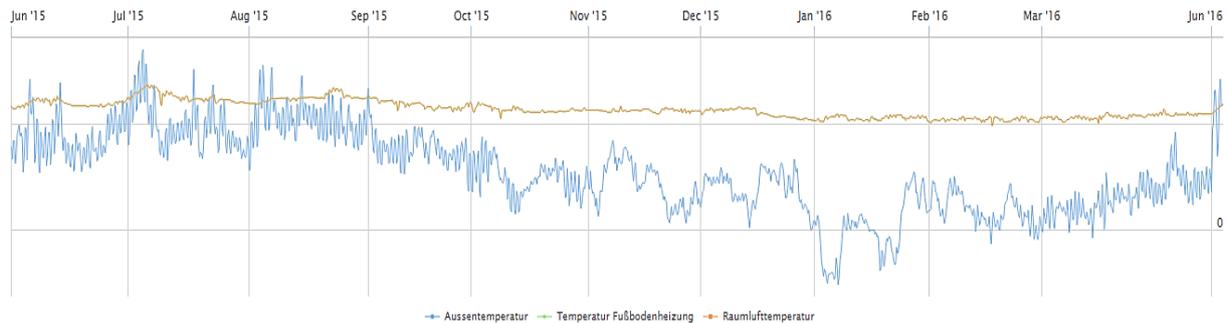


Abb.93 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur FBH Vorfoyer Nordwest, Referenzjahr, [°C]

Die Innenlufttemperatur im Sommer beträgt zwischen 23-27 °C, unabhängig von Nutzungszeiten (Abb.94). Die Höchsttemperaturen (27 °C) wurden Anfang Juli gemessen, wenn die Außentemperatur teilweise über 30 °C gestiegen ist („Extremwetterlage Hitzewelle“).

Raumlufttemperatur Juni – August 2015 Vorfoyer Nordwest

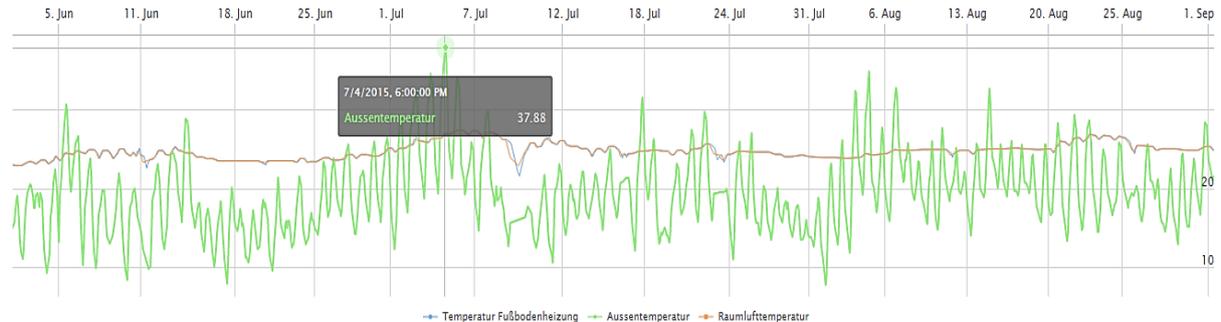


Abb.94 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und Oberflächentemp. FBH Vorfoyer Nordwest, Juni – August 2015, [°C]

Raumlufttemperatur 2.7-9.7.2015 („Extremwetterlage Hitzewelle“) Vorfoyer Nordwest

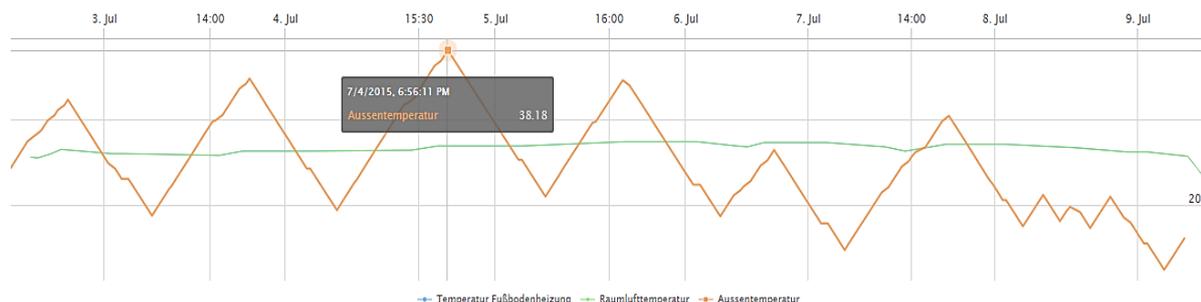


Abb.95 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und Oberflächentemp. der FBH Vorfoyer Nordwest, 2.7-9.7.2015, [°C]

Die Innenraumlufttemperatur in der Übergangszeit (Herbst 2015) wurde auf einem hohen Temperaturniveau (zwischen 24-25 °C), unabhängig von Nutzungszeiten geregelt (Abb.96). Eine Überprüfung des Temperaturniveaus für die Grundbeheizung wird empfohlen.

Raumlufttemperatur September – November 2015 Vorfoyer Nordwest

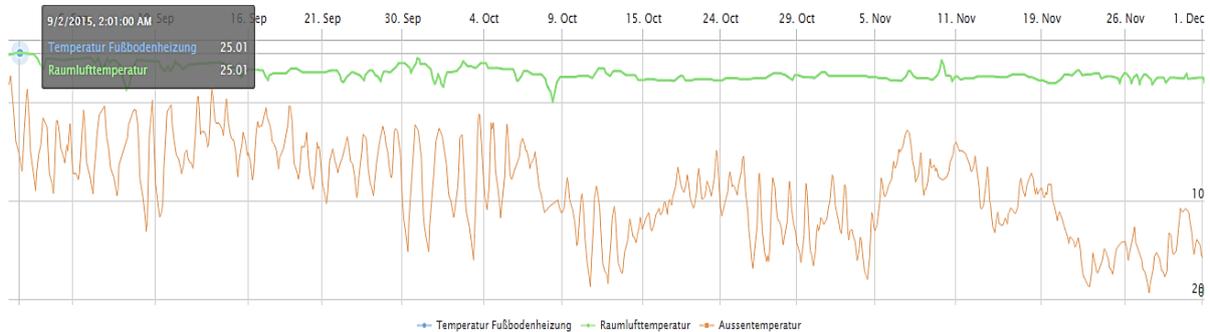


Abb.96 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und Oberflächentemp. FBH Vorfoyer Nordwest, Sept. – Nov. 2015, [°C]

Die Innenlufttemperatur im Winter wurde zwischen 20-23 °C gemessen, unabhängig von Nutzungszeiten (Abb.97).

Die Messung zeigt, dass zurzeit keine Temperaturabsenkung außerhalb der Nutzungszeiten stattfindet (hohe Temperaturen außerhalb der Nutzungszeiten, z. B. Weihnachtsferien).

Raumlufttemperatur Dezember 2015 – Februar 2016 Vorfoyer Nordwest

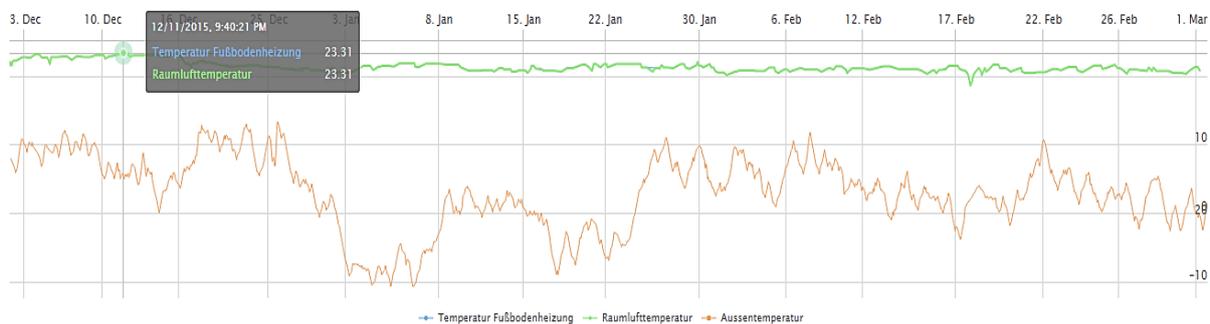


Abb.97 Außentemp., Raumlufttemperatur und Oberflächentemp. FBH Vorfoyer Nordwest, Dez. 2015 – Febr. 2016, [°C]

Die Innenlufttemperatur in der Übergangszeit (Frühling 2016) beträgt zwischen 20-23 °C, unabhängig von Nutzungszeiten (Abb.98).

Raumlufttemperatur März – Mai 2016 Vorfoyer Nordwest

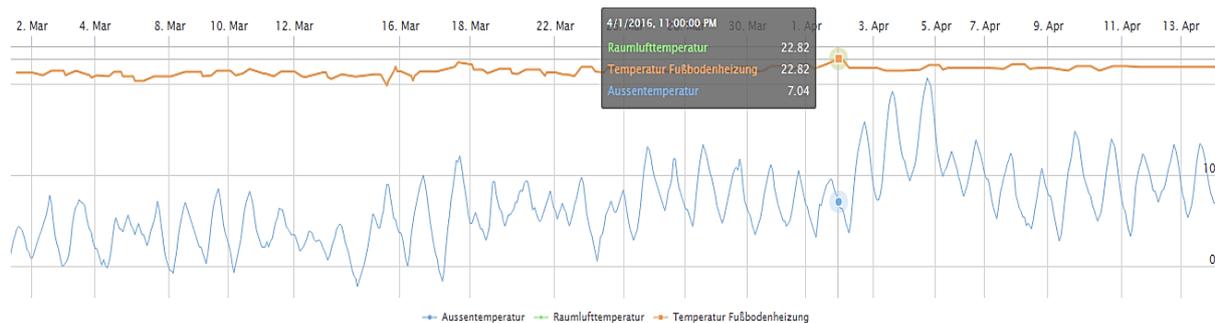


Abb.98 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und Oberflächentemp. FBH Vorfoyer Nordwest, März – Mai 2016, [°C]

3.2.1.3 Haupt-/Saalgebäude: Zuschauerraum, Balkon, Sanierung 2014

Innentemperatur

Die Innenraumlufttemperatur wurde zwischen 19-28 °C gemessen in Abhängigkeit von der Außentemperatur, unabhängig von den Nutzungszeiten (Abb.99). Die Innenraumlufttemperatur wurde in 3 Höhen gemessen – im Zuschauerraum unten, an der Decke und am Balkon.

Raumlufttemperatur im Jahresverlauf 2015/16 Zuschauerraum und Balkon

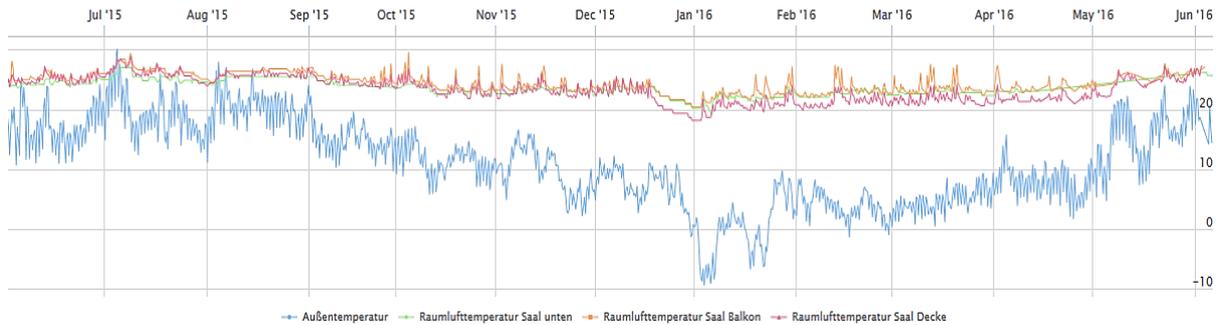


Abb.99 Außentemperatur, Raumlufttemperatur in 3 Höhen Zuschauerraum und Balkon, Referenzjahr, [°C]

Sept. 2015	Oktober 2015	Nov. 2015	Dezember 2015	Januar 2016	Februar 2016	März 2016	April 2016	Mai 2016	Juni 2016
10.09. 19.30 Uhr	01.10. 19.30 Uhr	07.11. 20.00 Uhr	03.12. 19.30 Uhr	03.01. 18.00 Uhr	14.02. 17.00 Uhr	01.03. 19.30 Uhr	01.04. 19.30 Uhr	01.05. 15.00 Uhr	03.06. 19.30 Uhr
11.09. 19.30 Uhr	03.10. 16.00 Uhr	09.11. 18.00 Uhr	04.12. 18.00 Uhr	07.01. 19.30 Uhr	17.02. 19.30 Uhr	03.03. 19.30 Uhr	07.04. 19.30 Uhr	08.05. 18.00 Uhr	28.06. 19.00 Uhr
12.09. 19.30 Uhr	04.10. 16.00 Uhr	11.11. 19.30 Uhr	11.12. 19.30 Uhr	09.01. 16.00 Uhr	21.02. 17.00 Uhr	12.03. 19.30 Uhr	17.04. 16.00 Uhr	22.05. 17.00 Uhr	
24.09. 19.00 Uhr	09.10. 19.30 Uhr	14.11. 19.00 Uhr		21.01. 19.30 Uhr	24.02. 19.30 Uhr	13.03. 15.00 Uhr	21.04. 19.30 Uhr		
25.09. 17.00 Uhr	10.10. 17.00 Uhr	19.11. 19.30 Uhr		22.01. 19.30 Uhr	25.02. 19.30 Uhr	19.03. 17.00 Uhr	30.04. 19.30 Uhr		
	24.10. 19.30 Uhr	20.11. 19.30 Uhr		28.01. 19.30 Uhr		20.03. 18.00 Uhr			
	25.10. 16.00 Uhr	21.11. 19.30 Uhr		29.01. 19.30 Uhr					
	30.10. 19.30 Uhr	25.11. 19.30 Uhr		30.01. 16.00 Uhr					
		29.11. 18.00 Uhr							

Tab.48 Spielplan für das Große Saal vom September 2015 bis Juni 2016

Die Innenlufttemperatur im Sommer wurde zwischen 23-30 °C gemessen, unabhängig von den Nutzungszeiten (Abb.100). Die Temperatur am Balkon und unter der Decke im Saal ist 2-5 °C höher als im Saal unten. Die Höchsttemperaturen unter dem Saaldecke, am Balkon (29,8 °C) und im Saal unten (27 °C) wurden Anfang Juli gemessen, wenn die Außentemperatur teilweise über 30 °C (bis zu 38 °C) gestiegen ist.

Die Temperaturen im Saal unten wurden durchgehend innerhalb des Komfortbereiches gemessen. Die gemessenen Temperaturen innerhalb der Nutzbereiche übersteigen nur an wenigen Tagen zeitweise auf dem Balkon die 26°C Grenze und können daher als noch akzeptabel angesehen werden, insbesondere, da die höheren Temperaturen in der Regel in den Sommermonaten (August auf dem Balkon zwischen 23 und 28 °C) während der Schließzeit des Theaters (Sommerpause) und der Vorlesungsfreien Zeit gemessen wurden.

Raumlufttemperatur Juni – August 2015 Zuschauerraum und Balkon

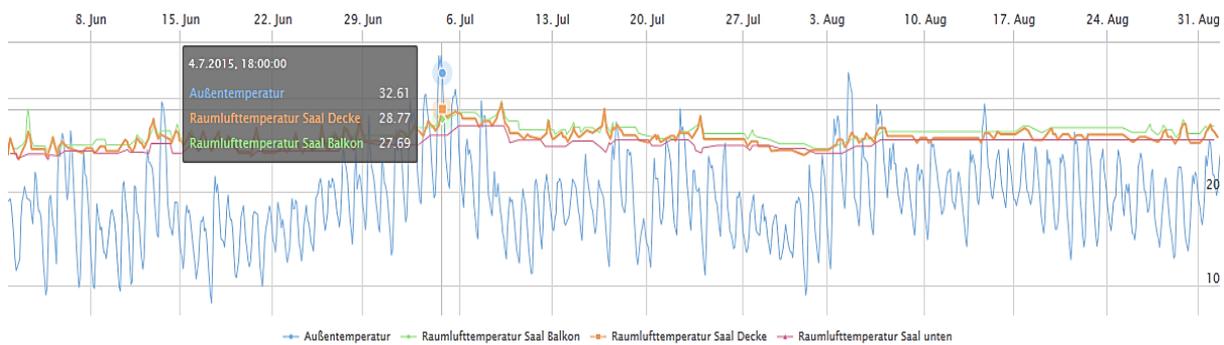


Abb.100 Außentemperatur, Raumlufttemperatur in 3 Höhen Zuschauerraum und Balkon, Juni – August 2015, [°C]

In der Übergangszeit (Herbst) wurden relativ hohe Temperaturen am Balkon und unter der Decke im Saal im Vergleich zur Außentemperatur gemessen (Das Höchstwert am Balkon am 4.10.2015 um 21:25 Uhr war 33 °C). Die Temperatur im Saal unten beträgt zwischen 22-25 °C. Die Temperaturspitzen korrespondieren mit den Nutzungszeiten des Saales und deswegen kann davon ausgegangen werden, dass sie durch die internen Wärmegewinne (anwesende Personen) erreicht wurden. Weiterhin wurde ein hohes Temperaturniveau im Saal auch außerhalb der Nutzungszeiten gemessen (Temperatur Grundbeheizung 23 °C).

Eine Absenkung der Grundbeheizung des Saales in Abhängigkeit zu den Nutzungszeiten und der Besucheranzahl sollte daher überprüft werden.

Raumlufttemperatur September – November 2015 Zuschauerraum und Balkon

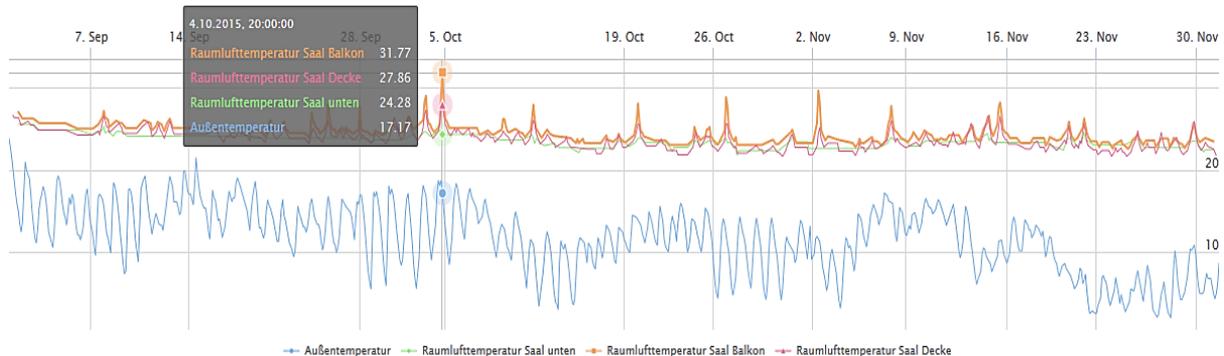


Abb.101 Außentemperatur, Raumlufttemperatur in 3 Höhen Zuschauerraum und Balkon, Sept. – November 2015, [°C]

Die Raumlufttemperatur im Saal im Winter wurde zwischen 20-27 °C gemessen, die Spitzen hängen mit den Nutzungszeiten zusammen und deswegen kann davon ausgegangen werden, dass sie durch die internen Wärmegewinne (anwesende Personen) erreicht wurden. Die Höchsttemperaturen wurden am Balkon gemessen (am 30.1.2016 um 18:18 Uhr 30 °C). Die Temperaturen unter der Saaldecke sind im Januar und Februar teilweise niedriger als die Temperaturen im Saal unten. Während der Weihnachtsferien, bei den Außentemperaturen teilweise -10 °C, ist die Temperatur unter der Saaldecke bis auf 18 °C gesunken.

Abb.103 zeigt die Temperaturverläufe in der kältesten Woche im Winter 2015/16. Am 3.1.2016 um 18:00 Uhr war die erste Veranstaltung nach den Weihnachtsferien. Die Temperatur im Saal beträgt 22 °C, am Balkon 24 °C.

Die Messung zeigt, dass zurzeit keine Temperaturabsenkung außerhalb der Nutzungszeiten stattfindet (hohe Temperaturen außerhalb der Nutzungszeiten). Die Einstellung der Grundbeheizung des Saales in Abhängigkeit zu den Nutzungszeiten und Besucheranzahl sollte daher überprüft werden.

Raumlufttemperatur Dezember 2015 – Februar 2016 Zuschauererraum und Balkon

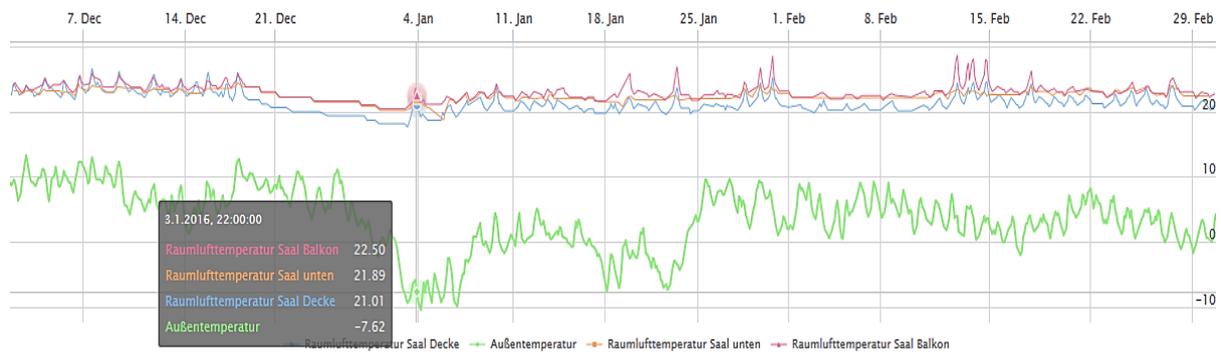


Abb.102 Außentemperatur, Raumlufttemperatur in 3 Höhen Zuschauererraum und Balkon, Dez. 2015 – Februar 2016, [°C]

Raumlufttemperatur 29.12.2015 – 6.1.2016 (kälteste Woche) Zuschauererraum und Balkon

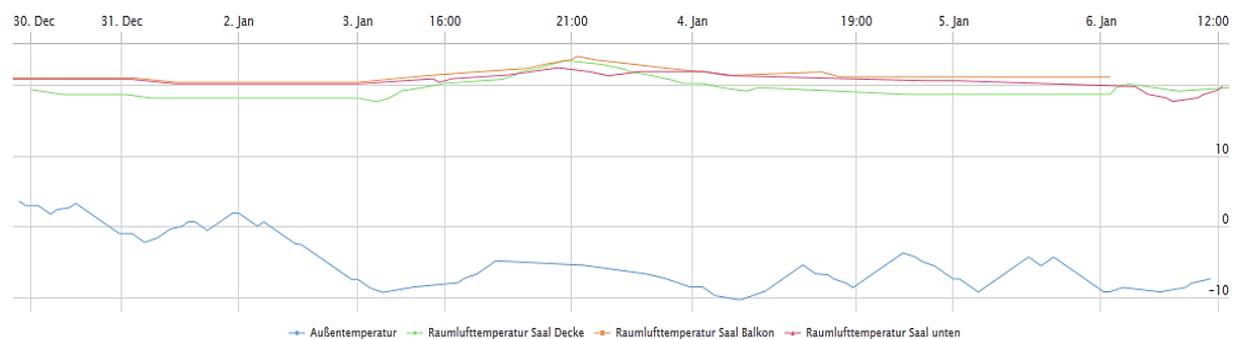


Abb.103 Außentemperatur, Raumlufttemperatur in 3 Höhen Zuschauererraum und Balkon, 29.12.2015 – 6.1.2016, [°C]

In der Übergangszeit (Frühling) wurde relativ hohe Temperatur am Balkon und unter der Decke im Saal im Vergleich zu Außentemperatur gemessen (Das Höchstwert am Balkon am 20.03.2016 um 21:10 Uhr war 31 °C). Die Temperatur im Saal unten wurde zwischen 22-24 °C gemessen. Die Temperaturspitzen korrespondieren mit den Nutzungszeiten des Saales und deswegen kann davon ausgegangen werden, dass sie durch die internen Wärmegewinne (anwesende Personen) erreicht wurden. Weiterhin wurde hohes Temperaturniveau im Saal auch außerhalb der Nutzungszeiten gemessen.

Eine Absenkung der Grundbeheizung des Saales in Abhängigkeit zu den Nutzungszeiten und der Besucheranzahl sollte daher überprüft werden.

Raumlufttemperatur März – Mai 2016 Zuschauererraum und Balkon

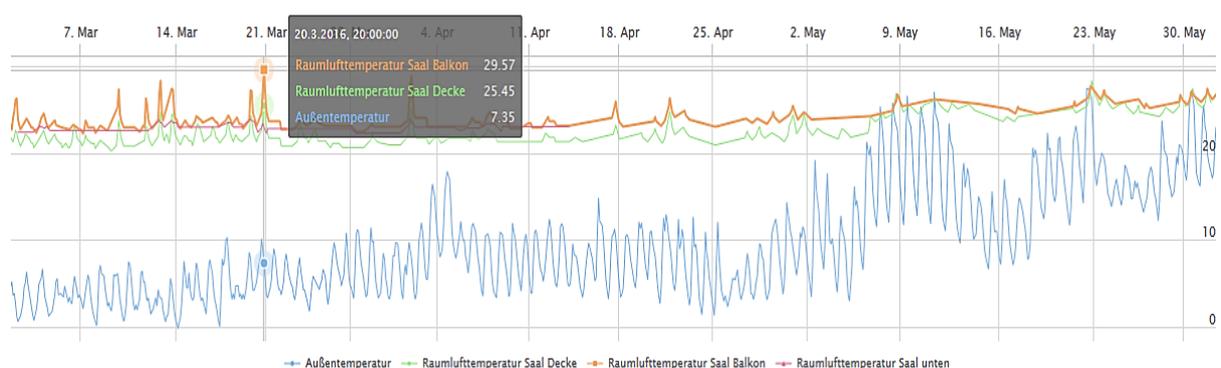


Abb.104 Außentemperatur, Raumlufttemperatur in 3 Höhen Zuschauererraum und Balkon, März – Mai 2016, [°C]

Innenraumfeuchtigkeit

Die Innenraumfeuchtigkeit im Jahresverlauf 2015/16 beträgt zwischen 30-54 %. Im Sommer wurde die Innenraumfeuchtigkeit im Bereich von 35-54 %, in der Übergangszeit von 30-45 % und im Winter von 30-40 % gemessen.

Raumluftfeuchtigkeit im Jahresverlauf 2015/16 Zuschauerraum und Balkon

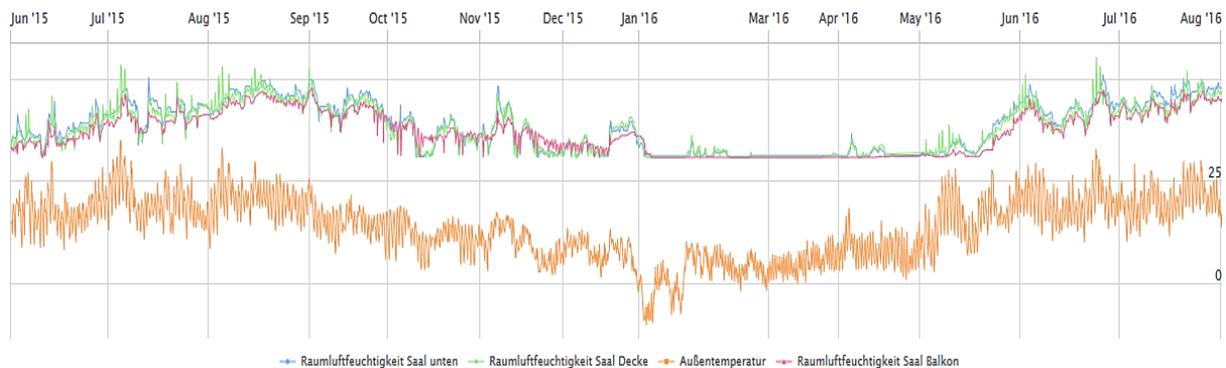


Abb.105 Außentemperatur, Raumluftfeuchtigkeit in 3 Höhen Zuschauerraum und Balkon, Referenzjahr, [°C/%]

CO₂ Konzentration – Innenraumluftqualität

Die Auswertung des Zuschauerraums und Balkons hat eine sehr geringe CO₂ Belastung während des ganzen Jahres ergeben. Die Raumluftqualität ist hygienisch unbedenklich.

Die CO₂ Konzentration wurde in 3 Höhen gemessen – im Zuschauerraum unten, an der Decke und am Balkon. Die CO₂ Konzentration im Saal unten und am Balkon weist permanent sehr gute Raumluftqualität bis zum 500 ppm auf. Die Werte am Balkon sind höher und unterscheiden sich zum Saal unten um 200-400 ppm. Die Höchstwerte wurden im Saal unter der Decke (bis zu 1.000 ppm) gemessen.

Die höchste CO₂ Konzentration im Durchschnitt wurde vom September 2015 – März 2016 (während der Nutzungszeiten), die niedrigste CO₂ Konzentration während der Sommerpause, Weihnachtsferien und im Frühling gemessen.

Der höchste Wert der CO₂ Konzentration von 2.000 ppm wurde am 9.9.2015, zwischen 18:00-01:00 (die einzige Überschreitung des Grenzwertes) gemessen.

Raumluftqualität im Jahresverlauf 2015/16 Zuschauerraum und Balkon

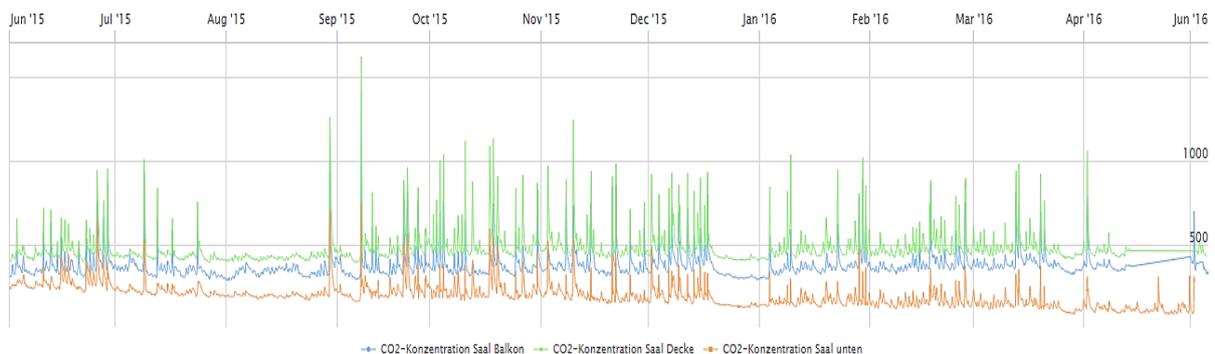


Abb.106 CO₂ Konzentration im Zuschauerraum und Balkon, Referenzjahr, [ppm]

3.2.1.4 Haupt-/Saalgebäude: Orchestergraben, Bühne, Sanierung 2014

Innentemperatur

Die Innenraumlufttemperatur im Orchestergraben beträgt zwischen 20-24 °C und an der Bühne zwischen 20-39 °C in Abhängigkeit von der Nutzung der Bühnentechnik.

Die Innenraumlufttemperatur wurde in 3 Höhen gemessen – im Orchestergraben, an der Bühne und unter der Bühnendecke.

Raumlufttemperatur im Jahresverlauf 2015/16 Orchestergraben, Bühne

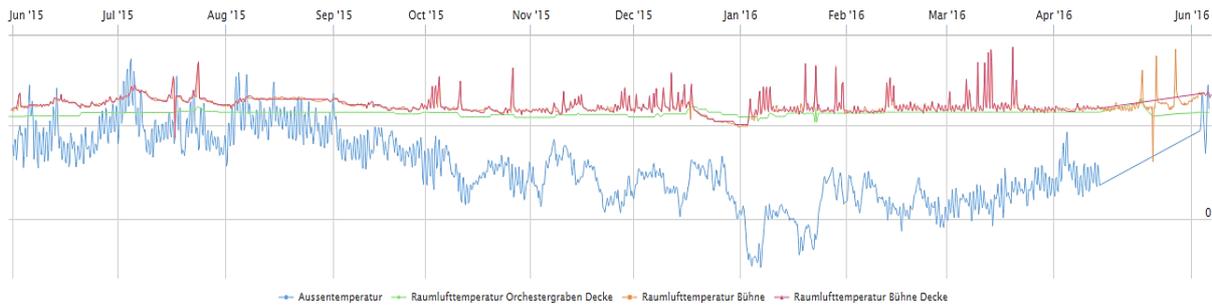


Abb.107 Außentemperatur, Raumlufttemperatur Orchestergraben, Bühne, Referenzjahr, [°C]

Die Raumlufttemperatur im Orchestergraben im Sommer beträgt in der Komfortzone 22-23 °C. Die Temperaturen an der Bühne und unter der Bühnendecke sind identisch und betragen im Durchschnitt zwischen 25-26 °C, mit den Spitzen in der wärmsten Woche Anfang Juli (bis 29 °C), und Ende Juli (bis 39 °C). Die Spitzen Ende Juli sind unabhängig von der Außentemperatur (kältere Sommertage) und liegen an der Nutzung der Bühnentechnik während der Veranstaltungen.

Raumlufttemperatur Juni – August 2015 Orchestergraben, Bühne

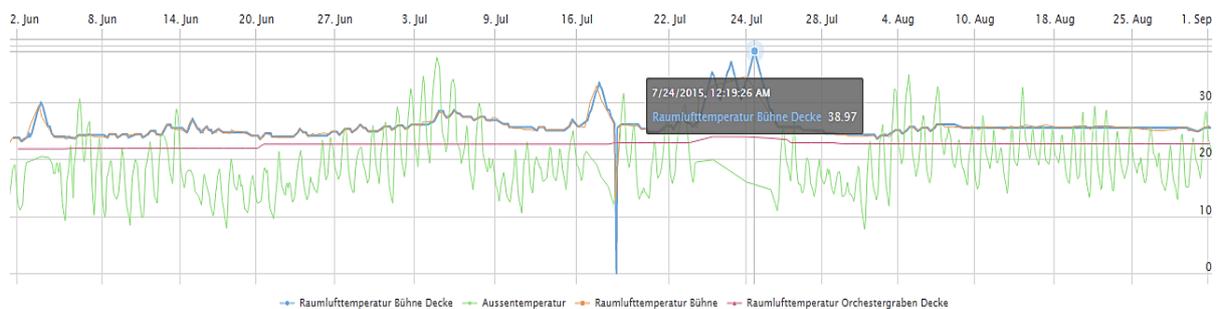


Abb.108 Außentemperatur, Raumlufttemperatur Orchestergraben, Bühne, Juni – August 2015, [°C]

Raumlufttemperatur 13.8.-20.8.2015 (Normalwetter) Orchestergraben, Bühne

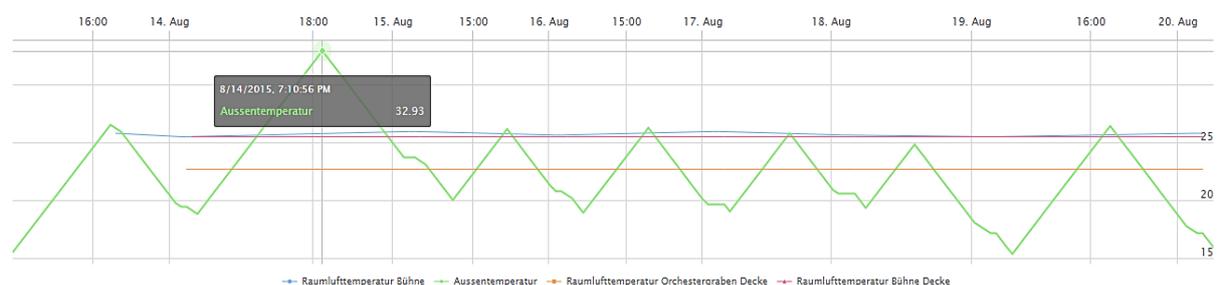


Abb.109 Außentemperatur, Raumlufttemperatur Orchestergraben, Bühne, 13.8.-20.8.2015, [°C]

Die Raumlufttemperatur im Orchestergraben in der Übergangszeit (Herbst) beträgt in der Komfortzone 21-23 °C. Die Temperaturen an der Bühne und unter der Bühnendecke sind identisch und betragen im Durchschnitt zwischen 22-25 °C, mit den Spitzen während der Nutzung der Bühnentechnik (bis 39 °C), unabhängig von der Außentemperatur.

Raumlufttemperatur September – November 2015 Orchestergraben, Bühne

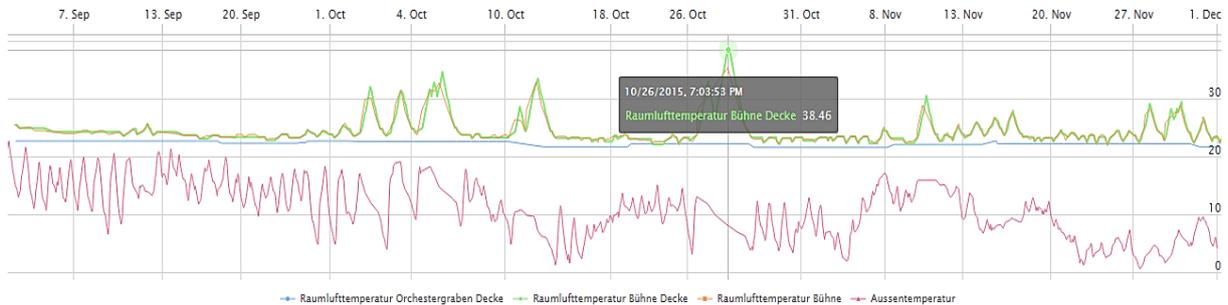


Abb.110 Außentemperatur, Raumlufttemperatur Orchestergraben, Bühne, September – November 2015, [°C]

Die Raumlufttemperatur im Orchestergraben im Winter beträgt in der Komfortzone 21-23 °C. Die Temperaturen an der Bühne und unter der Bühnendecke sind identisch und betragen im Durchschnitt zwischen 21-25 °C, mit den Spitzen während der Nutzung der Bühnentechnik (bis 37 °C), unabhängig von der Außentemperatur.

Abb.112 zeigt die Temperaturverläufe in einer Woche im Winter 2015/16. Am 11.12.2015 um 19:30 Uhr hat eine Veranstaltung mit der Nutzung der Bühnentechnik stattgefunden. Die Temperatur im Orchestergraben Saal bewegte sich um 22 °C, an der Bühne bis zur Spitze 35 °C.

Die Messung zeigt, dass zurzeit keine Temperaturabsenkung außerhalb der Nutzungszeiten stattfindet (hohe Temperaturen außerhalb der Nutzungszeiten). Die Bühnenbeheizung in Abhängigkeit zu den Nutzungszeiten und Nutzung der Bühnentechnik sollte überprüft werden.

Raumlufttemperatur Dezember 2015 – Februar 2016 Orchestergraben, Bühne

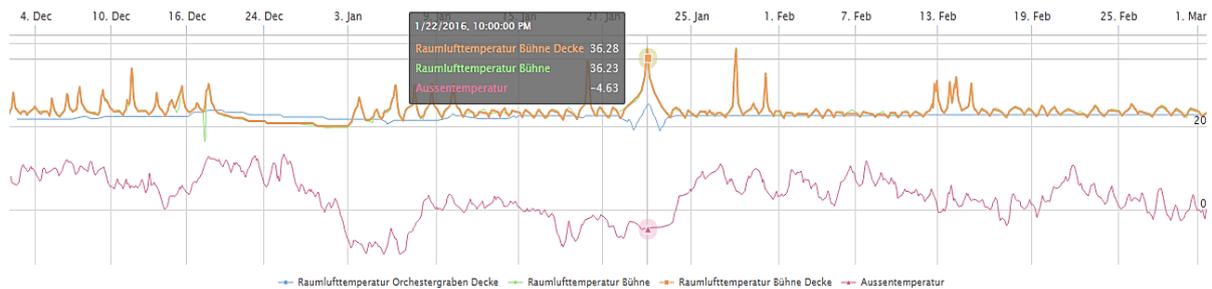


Abb.111 Außentemperatur, Raumlufttemperatur Orchestergraben, Bühne, Dezember 2015 – Februar 2016, [°C]

Raumlufttemperatur 10.12-17.12.2015 (Normalwetter) Orchestergraben, Bühne

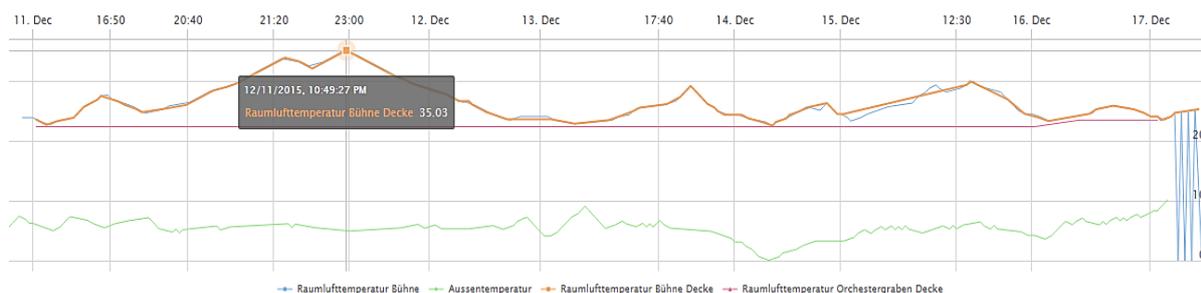


Abb.112 Außentemperatur, Raumlufttemperatur Orchestergraben, Bühne, 10.12.-17.12.2015, [°C]

Innenraumfeuchtigkeit

Die Innenraumfeuchtigkeit im Jahresverlauf 2015/16 liegt innerhalb der Komfortzone zwischen 30-70 %. Im Sommer wurde die Innenraumfeuchtigkeit im Bereich von 50-70 %, in der Übergangszeit von 40-60 % und im Winter von 30-50 % gemessen.

Raumluftfeuchtigkeit im Jahresverlauf 2015/16 Orchestergraben



Abb.113 Außentemperatur, Raumluftfeuchtigkeit Orchestergraben unter der Decke, Referenzjahr, [°C/%]

Temperatur der Erde unter dem Gebäude

Zur Sondierung des Einflusses der Wärmebrücken zum Erdreich, wurde ein Temperaturfühler in der Erde unter dem Gebäude eingebaut.

Die Messung zeigt, dass die Temperatur der Erde unter dem Gebäude ganzjährig sehr stabil ist. Die Temperatur verläuft im Bereich von 19-19,5 °C im Winter und Übergangszeit und 20 °C während der Sommermonate (Abb.114).

Temperatur der Erde unter dem Gebäude im Jahresverlauf 2015/16

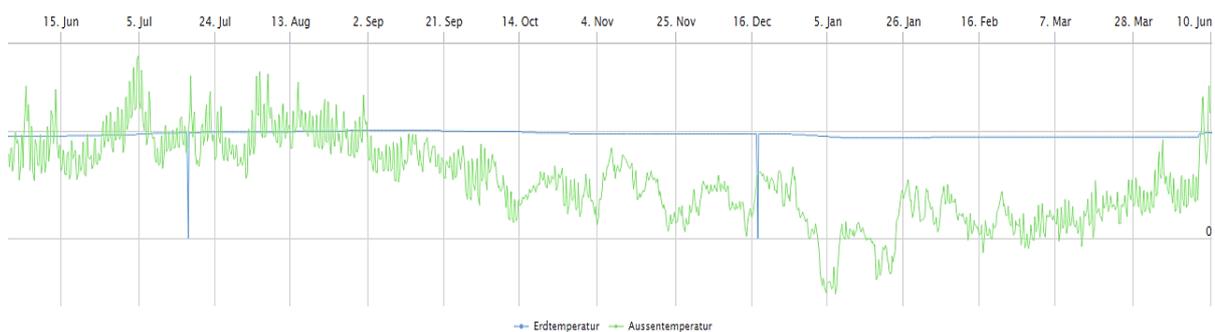


Abb.114 Außentemperatur, Raumluftfeuchtigkeit in 3 Höhen Zuschauerraum und Balkon, Referenzjahr, [°C]

3.2.1.5 Ergänzungsbau Nord(ost): Kammerbühne, Neubau 2014

Innentemperatur und -feuchtigkeit und Anwesenheit von Personen

Die Innenraumlufttemperatur beträgt zwischen 20-26 °C in Abhängigkeit von Außentemperatur und Nutzungszeiten (Abb.115). Die Innenraumluftfeuchtigkeit liegt zwischen 30-65 %, steigt im Sommer und sinkt im Winter.

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit im Jahresverlauf 2015/16 Kammerbühne Nord(ost)

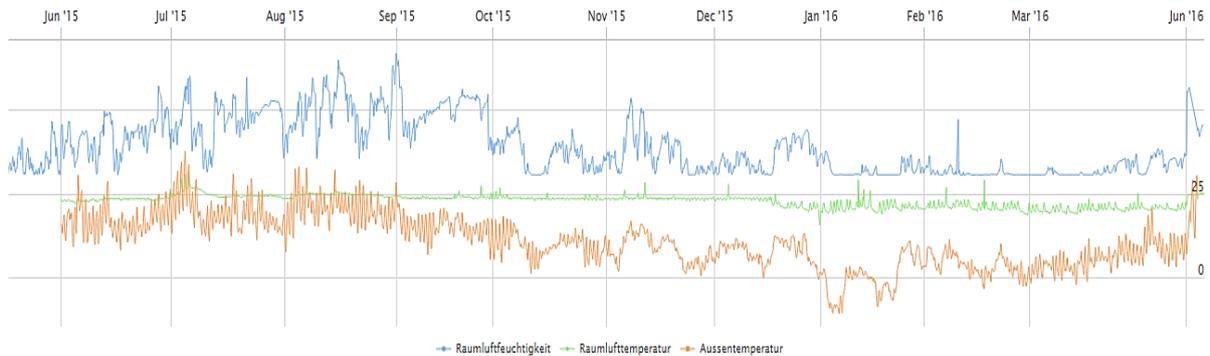


Abb.115 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), Referenzjahr, [°C, %]

Die Raumlufttemperatur in der Kammerbühne im Sommer beträgt zwischen 22-25 °C, mit den Spitzen in der wärmsten Woche Anfang Juli (über 30 °C). In der Woche wurde die Anwesenheit der Personen in der Kammerbühne in der Messung jeden Tag vermerkt. Die Kammerbühne wurde ab Mitte Juli und den ganzen August weniger genutzt (Sommerpause).

Die Raumluftfeuchtigkeit liegt im Sommer im Komfortbereich zwischen 30-70 %.

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Juni – August 2015 Kammerbühne Nord(ost)

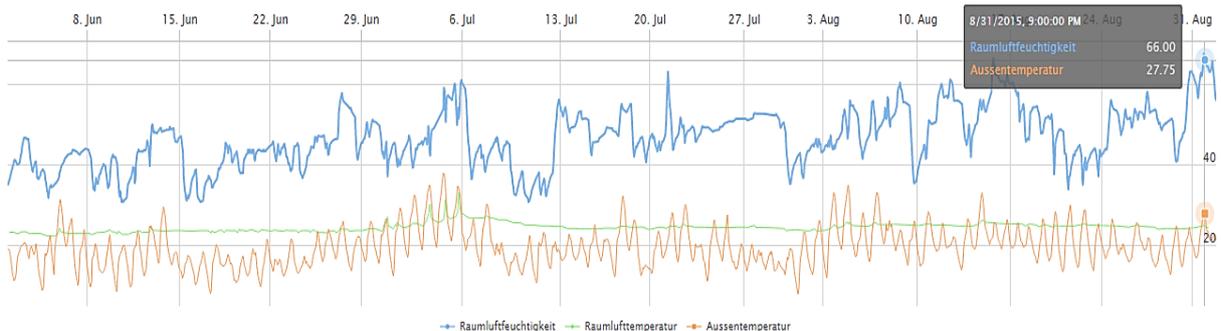


Abb.116 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), Juni – August 2015, [°C, %]

Präsenzmelder Juni – August 2015 Kammerbühne Nord(ost)

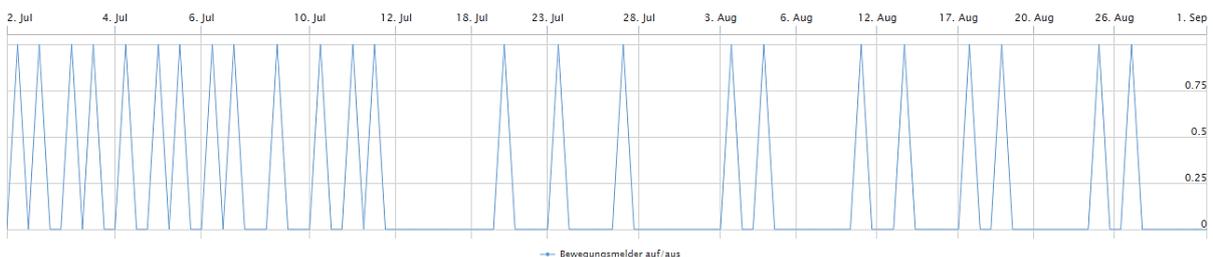


Abb.117 Anwesenheit von Personen Kammerbühne Nord(ost), Juni – August 2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit erste Woche Juli 2015 Kammerbühne Nord(ost)
(„Extremwetterlage Hitzewelle“)

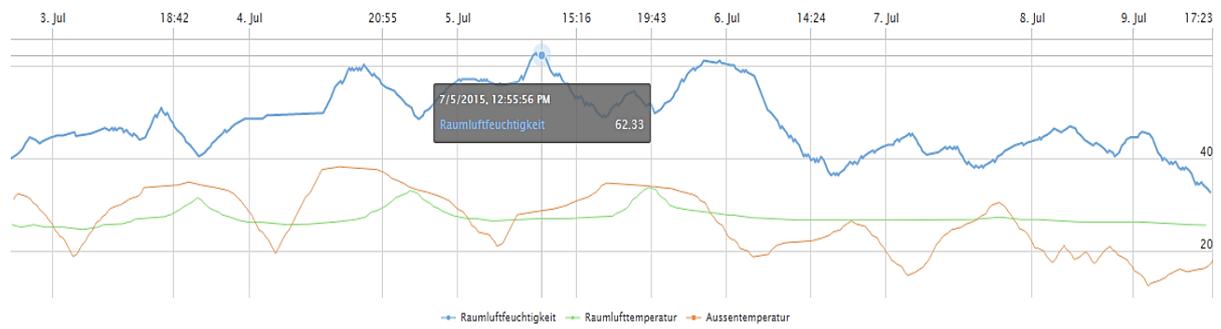


Abb.118 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), 2.7.-9.7.2015, [°C,%]

Präsenzmelder erste Woche Juli 2015 Kammerbühne Nord(ost) („Extremwetterlage Hitzewelle“)

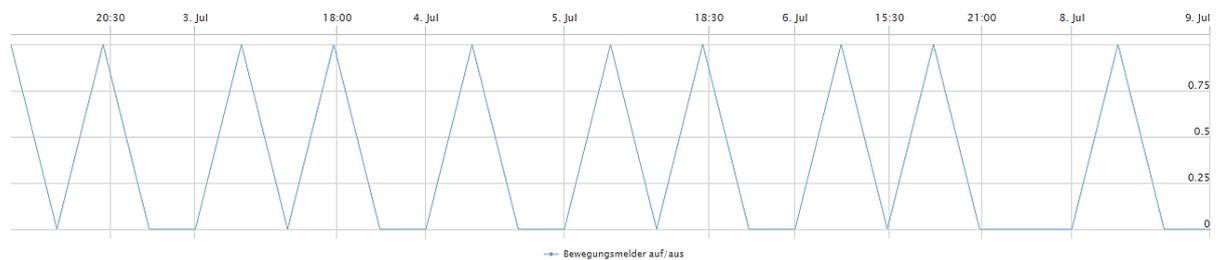


Abb.119 Anwesenheit von Personen Kammerbühne Nord(ost), 2.7.-9.7.2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit 13.8.-20.8.2015 Kammerbühne Nord(ost) (Normalwetter)

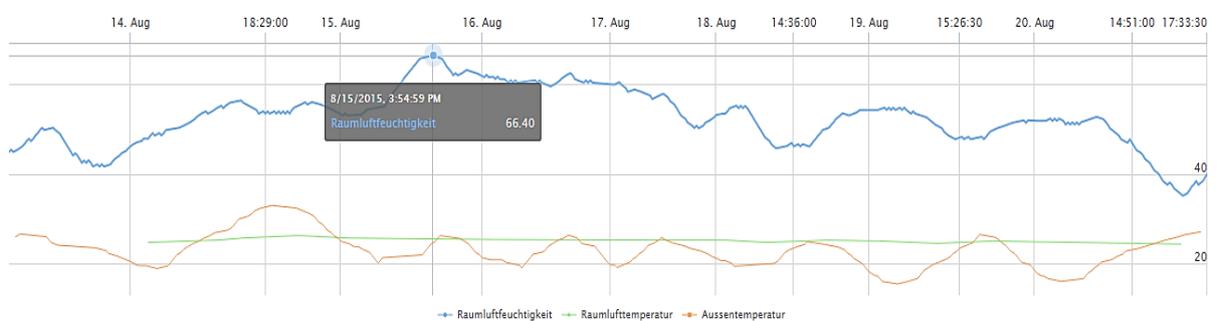


Abb.120 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), 13.8.-20.8.2015, [°C,%]

Präsenzmelder 13.8.-20.8.2015 Kammerbühne Nord(ost) (Normalwetter)



Abb.121 Anwesenheit von Personen Kammerbühne Nord(ost), 13.8.-20.8.2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

Die Innentemperatur in der Übergangszeit (Herbst) beträgt zwischen 22-24 °C, unabhängig von der Außentemperatur und Nutzungszeiten.

Die Raumluftheuchtigkeit liegt im Komfortbereich zwischen 30-60 %, sinkt mit der sinkenden Außentemperatur.

Die Kammerbühne wurde in September – November 2015 regelmäßig genutzt.

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit September – November 2015 Kammerbühne Nord(ost)

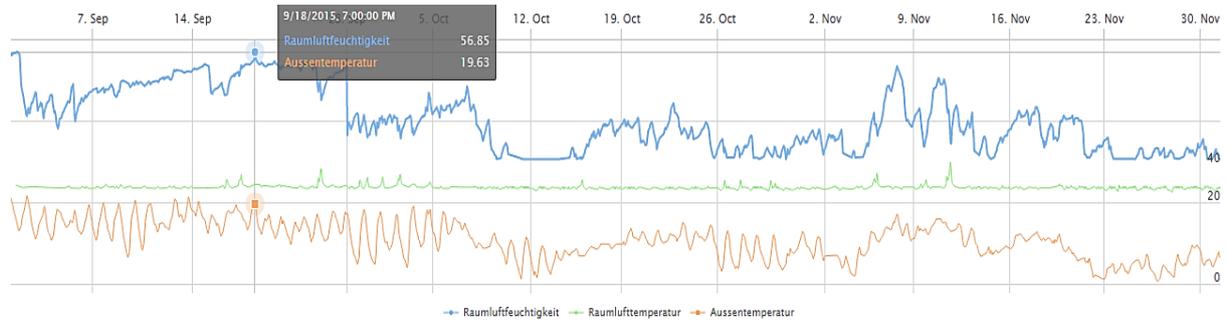


Abb.122 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), Sept. – Nov. 2015, [°C,%]

Präsenzmelder September – November 2015 Kammerbühne Nord(ost)

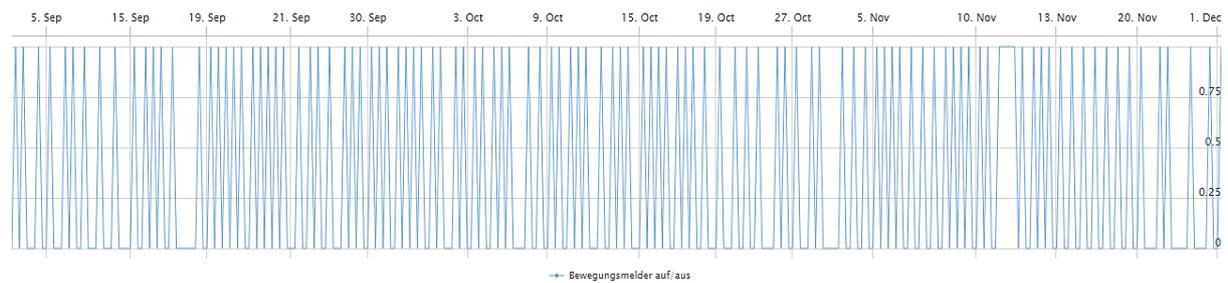


Abb.123 Anwesenheit von Personen Kammerbühne Nord(ost), Sept. – Nov. 2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

Sept. 2015	Oktober 2015	Nov. 2015	Dezember 2015	Januar 2016	Februar 2016	März 2016	April 2016	Mai 2016	Juni 2016
17.09. 19.30 Uhr	02.10. 19.30 Uhr	05.11. 19.30 Uhr	06.12. 16.00 Uhr	03.01. 15.00 Uhr	02.02. 10.00 Uhr	20.03. 16.00 Uhr	28.04. 19.30 Uhr	08.05. 16.00 Uhr	02.06. 19.30 Uhr
23.09. 19.30 Uhr	15.10. 19.30 Uhr		07.12. 9.00 Uhr	15.01. 19.30 Uhr	03.02. 10.00 Uhr	21.03. 10.00 Uhr		10.05. 9.30 Uhr	05.06. 16.00 Uhr
27.09. 16.00 Uhr	26.10. 10.00 Uhr		7.12. 11.00 Uhr		04.02. 16.00 Uhr	22.03. 10.00 Uhr		11.05. 9.30 Uhr	23.06. 19.30 Uhr
28.09. 9.30 Uhr	27.10. 10.00 Uhr		13.12. 16.00 Uhr		06.02. 19.30 Uhr	23.03. 10.00 Uhr		22.05. 15.00 Uhr	27.06. 10.00 Uhr
30.09. 9.30 Uhr	29.10. 10.00 Uhr		15.12. 9.00 Uhr		09.02. 10.00 Uhr	31.03. 19.30 Uhr		29.05. 17.00 Uhr	27.06. 11.30 Uhr
30.09. 19.30 Uhr	29.10. 16.00 Uhr		15.12. 11.00 Uhr		11.02. 16.00 Uhr				27.06. 19.00 Uhr
									28.06. 10.00 Uhr
									28.06. 11.30 Uhr

Tab.49 Spielplan für die Kammerbühne vom September 2015 bis Juni 2016

Die gemessene Innentemperatur im Winter beträgt zwischen 20-24 °C, unabhängig von der Außentemperatur und Nutzungszeiten.

Die Raumluftheuchtigkeit liegt zwischen 30-40 %, sinkt mit der sinkenden Außentemperatur.

Die Kammerbühne wurde in Dezember 2015 – Februar 2016 regelmäßig genutzt, außer Weihnachtsferien von 23.12.2015 bis 3.1.2016.

Die Messung zeigt deutlich, dass zurzeit keine Temperaturabsenkung außerhalb der Nutzungszeiten stattfindet (hohe Temperaturen außerhalb der Nutzungszeiten). Die Grundtemperatur der Kammerbühnenbeheizung in Abhängigkeit zu den Nutzungszeiten sollte überprüft werden.

Raumlufthtemperatur und -feuchtigkeit Dezember 2015 – Februar 2016 Kammerbühne Nord(ost)

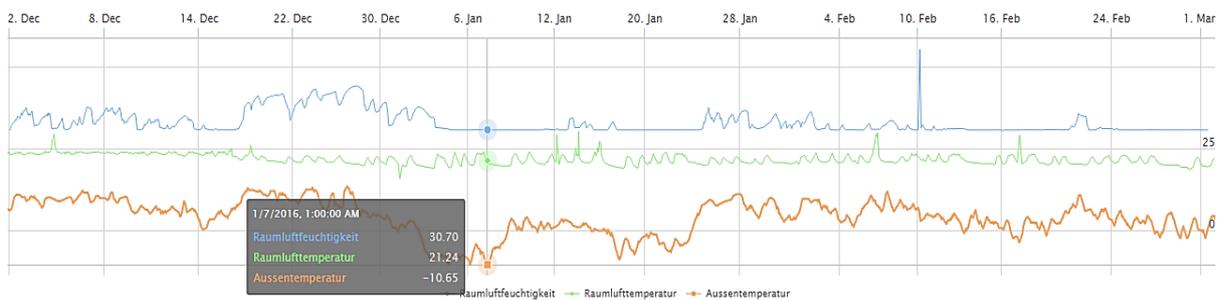


Abb.124 Außentemp., Raumlufthtemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), Dez. 2015 – Feb. 2016, [°C,%]

Präsenzmelder Dezember 2015 – Februar 2016 Kammerbühne Nord(ost)

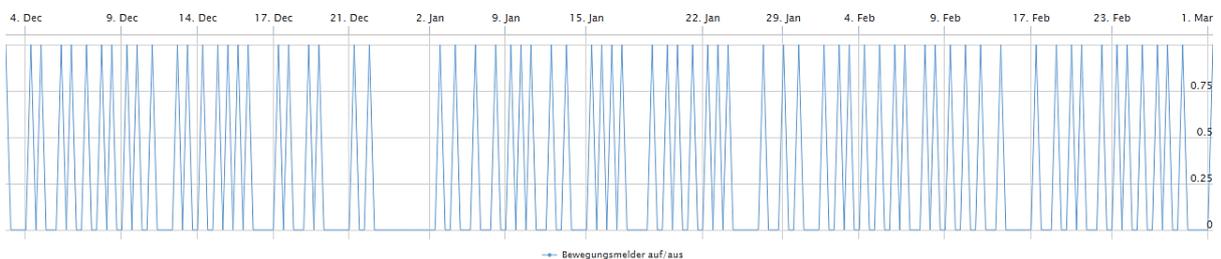


Abb.125 Personenanwesenheit Kammerbühne Nord(ost), Dez. 2015 – Feb. 2016, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

Die Innentemperatur in der Übergangszeit (Frühling) beträgt zwischen 20-24 °C, unabhängig von der Außentemperatur und Nutzungszeiten.

Die Raumluftheuchtigkeit liegt zwischen 30-40 %.

Die Kammerbühne wurde in März – Mai 2016 weniger genutzt.

Raumlufthtemperatur und -feuchtigkeit März – Mai 2016 Kammerbühne Nord(ost)

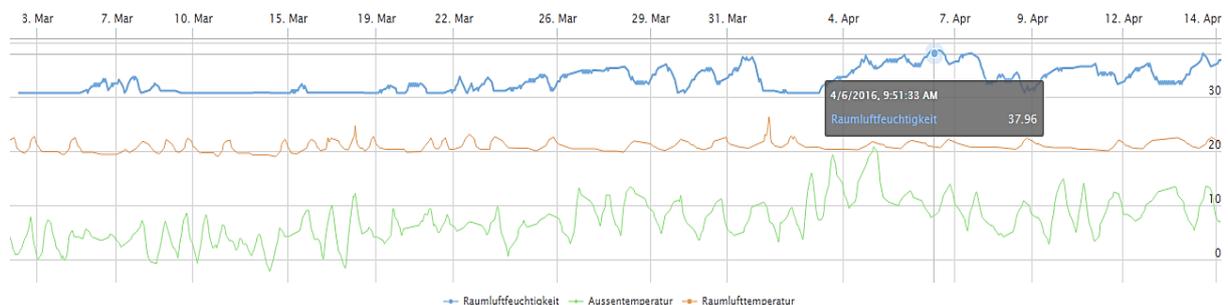


Abb.126 Außentemperatur, Raumlufthtemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), März – Mai 2016, [°C,%]

Präsenzmelder März – Mai 2016 Kammerbühne Nord(ost)

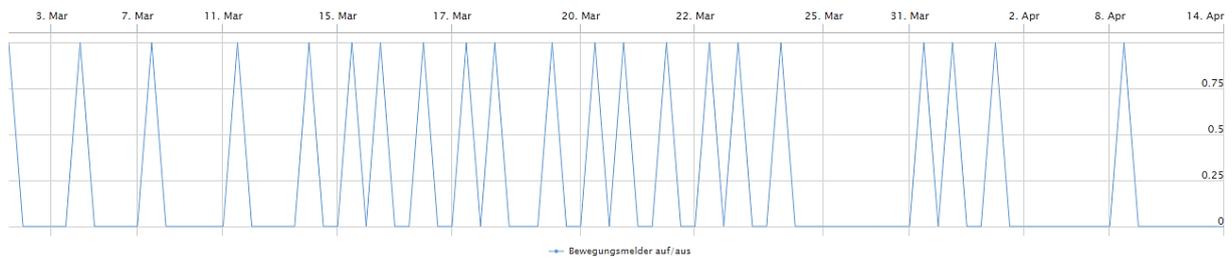


Abb.127 Anwesenheit von Personen Kammerbühne Nord(ost), März – Mai 2016, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

CO₂ Konzentration – Innenraumluftqualität

Die Auswertung der Kammerbühne hat eine sehr geringe CO₂ Belastung während des ganzen Jahres ergeben. Die Raumluftqualität ist hygienisch unbedenklich. Die CO₂ Konzentration weist sehr gute Raumluftqualität bis zum 500 ppm auf. Die Spitzen werden während der Veranstaltungen gemessen und liegen im Bereich bis zum 1.250 ppm. (Abb.128-129)

Raumluftqualität im November 2015 Kammerbühne Nord(ost)

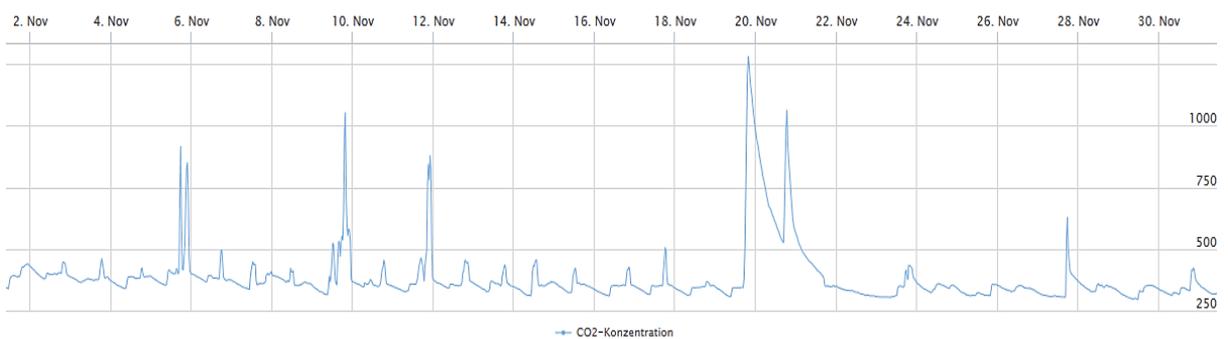


Abb.128 CO₂ Konzentration in der Kammerbühne, November 2015, [ppm]

Raumluftqualität in einer November Woche 2015 Kammerbühne Nord(ost)

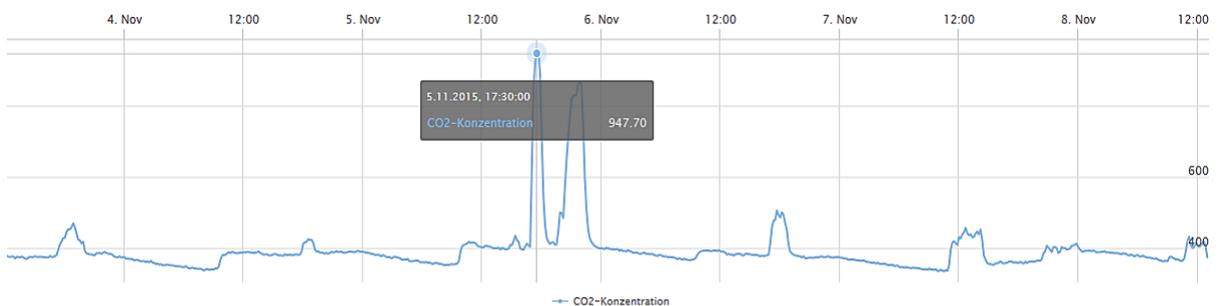


Abb.129 CO₂ Konzentration in der Kammerbühne, 3.11.-9.11. 2015, [ppm]

3.2.1.6 Ergänzungsbau Nord(ost): Theaterklausur, Neubau 2014

Innentemperatur und -feuchtigkeit und Anwesenheit von Personen

Die gemessene Innenraumlufttemperatur beträgt 22-28 °C in Abhängigkeit von der Außentemperatur, unabhängig von den Nutzungszeiten (Abb.130). Die Innenraumluftfeuchtigkeit liegt zwischen 30-60 %, steigt im Sommer und sinkt im Winter.

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit im Jahresverlauf 2015/16 Theaterklausur Nord(ost)

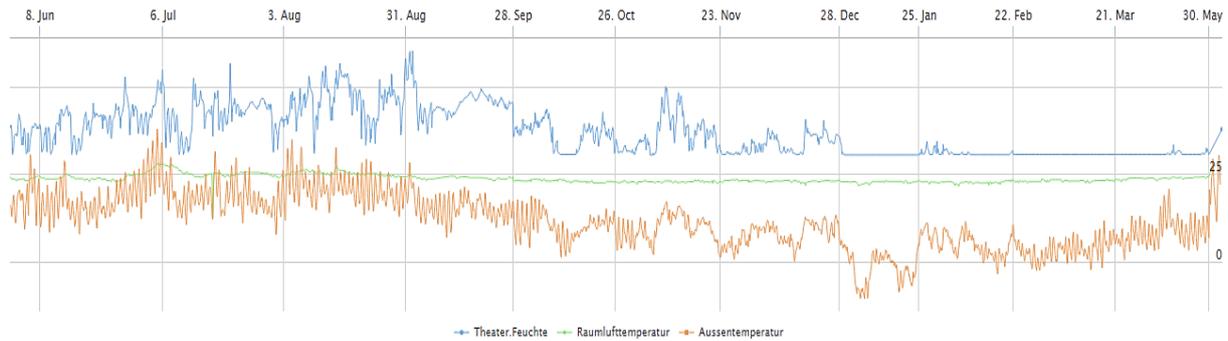


Abb.130 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Theaterklausur Nord(ost), Referenzjahr, [°C,%]

Die Raumlufttemperatur in der Theaterklausur im Sommer beträgt zwischen 24-28 °C, mit den Spitzen in der wärmsten Woche Anfang Juli (28 °C). In der Woche wurde die Anwesenheit der Personen in der Theaterklausur in der Messung jeden Tag vermerkt. Die Theaterklausur wurde ab Mitte Juli weniger genutzt (Sommerpause).

Die Raumluftfeuchtigkeit liegt im Sommer im Komfortbereich zwischen 30-60 %.

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Juni – August 2015 Theaterklausur Nord(ost)

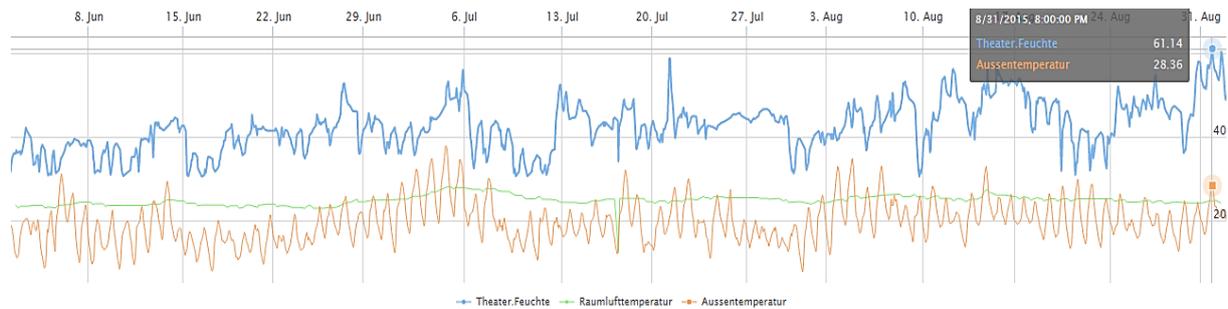


Abb.131 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Theaterklausur Nord(ost), Juni – August 2015, [°C,%]

Präsenzmelder Juli – August 2015 Theaterklausur Nord(ost)

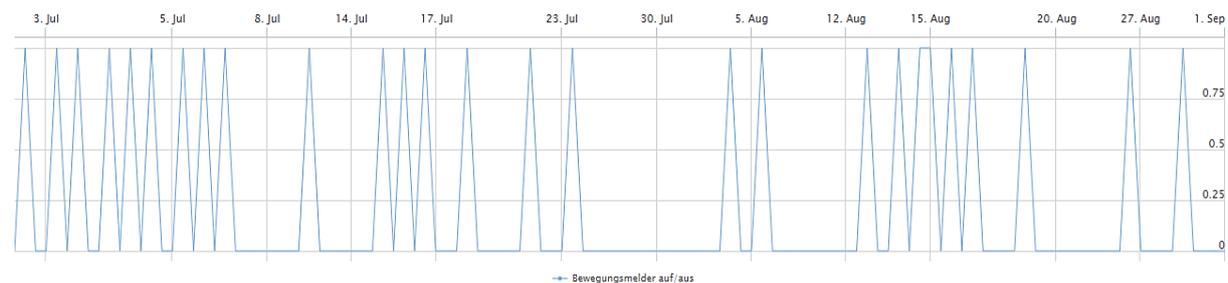


Abb.132 Anwesenheit von Personen Theaterklausur Nord(ost), Juli – August 2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

Die Innentemperatur in der Übergangszeit (Herbst) beträgt zwischen 22-24 °C, unabhängig von der Außentemperatur und Nutzungszeiten.

Die Raumluftfeuchtigkeit liegt zwischen 30-50 %, sinkt mit der sinkenden Außentemperatur.

Die Theaterklausur wurde im September – November 2015 regelmäßig genutzt.

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit September – November 2015 Theaterklausur Nord(ost)

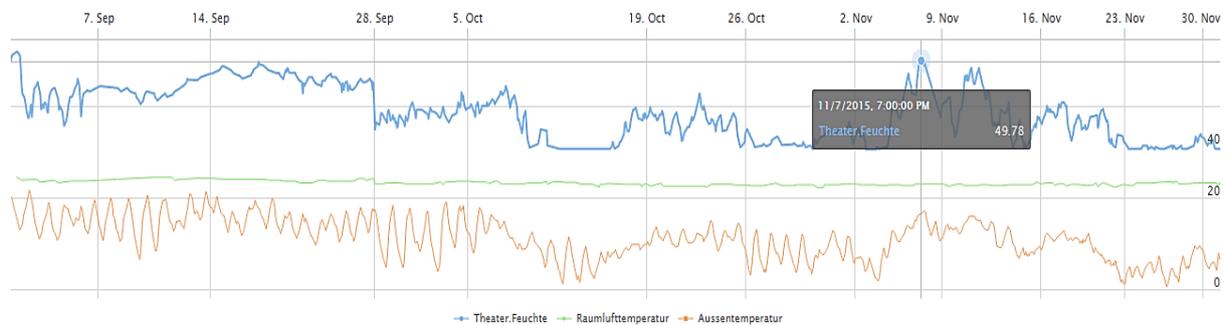


Abb.133 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Theaterklausur Nord(ost), Sept. – Nov. 2015, [°C,%]

Präsenzmelder September – November 2015 Theaterklausur Nord(ost)

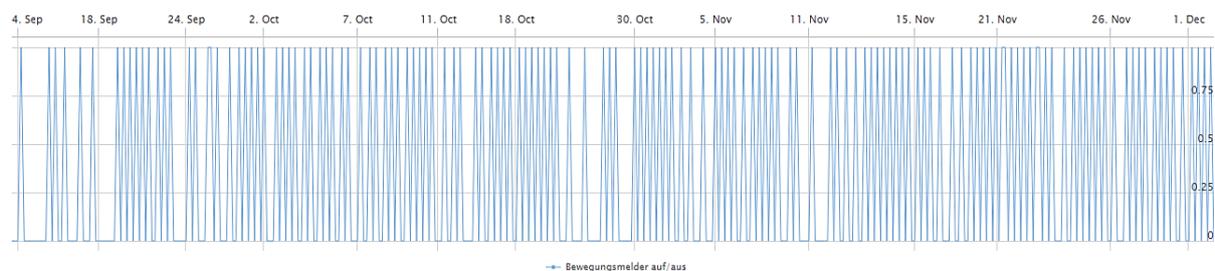


Abb.134 Anwesenheit von Personen Theaterklausur Nord(ost), Sept. – Nov. 2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

Die Innentemperatur im Winter beträgt zwischen 21-23 °C, unabhängig von der Außentemperatur und Nutzungszeiten.

Die Raumluftfeuchtigkeit liegt zwischen 30-40 %, sinkt mit der sinkenden Außentemperatur.

Die Theaterklausur wurde in Dezember 2015 – Februar 2016 regelmäßig genutzt.

Die Messung zeigt, dass zurzeit keine Temperaturabsenkung außerhalb der Nutzungszeiten stattfindet (hohe Temperaturen außerhalb der Nutzungszeiten). Die Grundbeheizung und Nachtabsenkung der Theaterklausur in Abhängigkeit zu den Nutzungszeiten sollte daher überprüft werden.

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Dezember 2015 – Februar 2016 Theaterklausur Nord(ost)

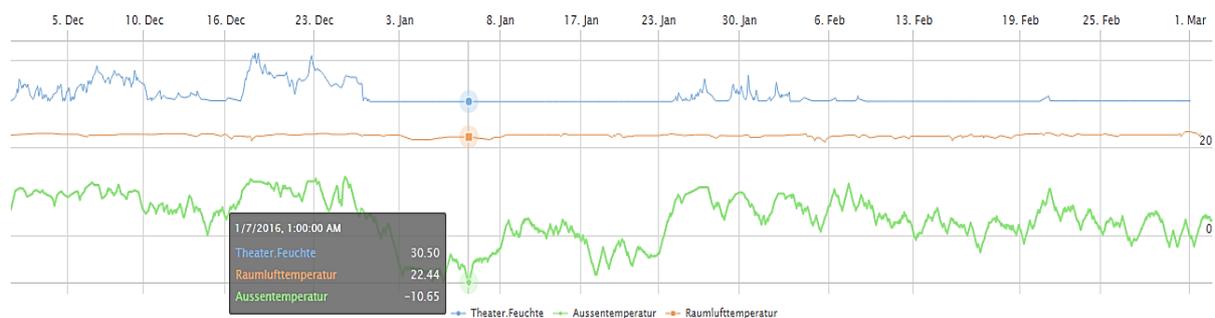


Abb.135 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Theaterklausur, Dez. 2015 – Februar 2016, [°C,%]

Präsenzmelder Dezember 2015 – Februar 2016 Theaterklausen Nord(ost)

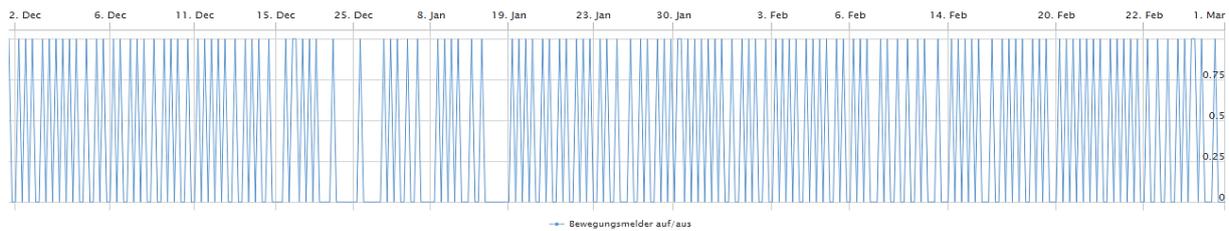


Abb.136 Anwesenheit von Personen Theaterklausen, Dez. 2015 – Feb. 2016, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

Die Innentemperatur in der Übergangszeit (Frühling) beträgt zwischen 21-24 °C, unabhängig von der Außentemperatur und Nutzungszeiten.

Die Raumluftfeuchtigkeit liegt zwischen 30-35 %.

Die Theaterklausen wurden in März – Mai 2016 regelmäßig genutzt.

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit März – Mai 2016 Theaterklausen Nord(ost)

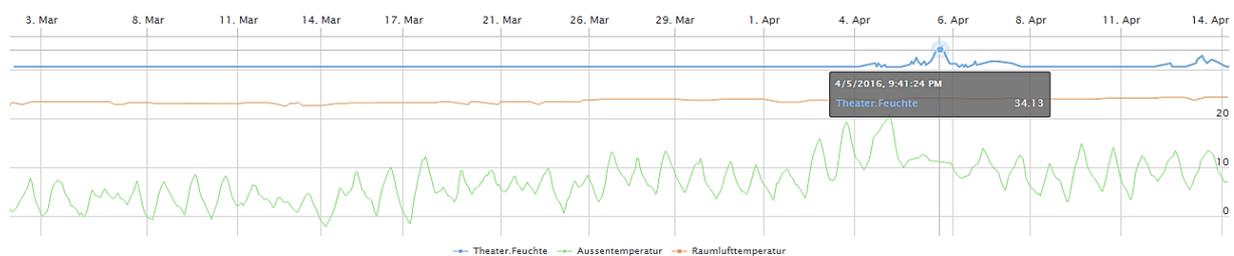


Abb.137 Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Theaterklausen Nord(ost), März – Mai 2016, [°C,%]

Präsenzmelder März - Mai 2016 Theaterklausen Nord(ost)

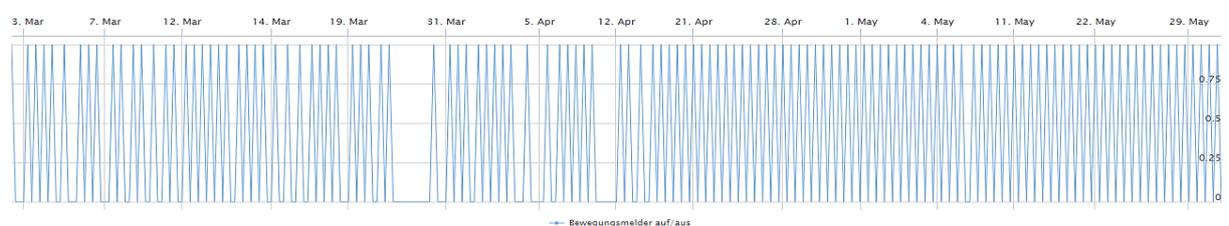


Abb.138 Anwesenheit von Personen Theaterklausen Nord(ost), März – Mai 2016, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

CO₂ Konzentration – Innenraumluftqualität

Die Auswertung der Theaterklausen hat eine sehr geringe CO₂ Belastung während des ganzen Jahres ergeben. Die Raumluftqualität ist hygienisch unbedenklich.

Die CO₂ Konzentration weist sehr gute Raumluftqualität bis zum 1.000 ppm auf.

Raumluftqualität im November 2015 Kammerbühnen Nord(ost)

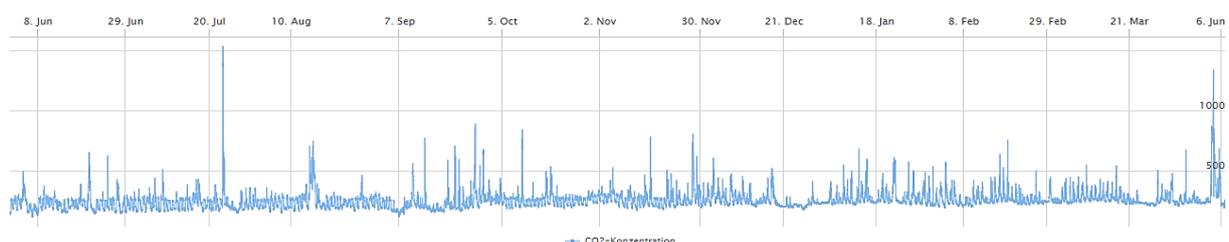


Abb.139 CO₂ Konzentration in der Theaterklausen, Referenzjahr, [ppm]

3.2.1.7 Ergänzungsbau Nord(ost): Garderoben, Neubau 2014

Innentemperatur und -feuchtigkeit, Fußbodentemperatur und Anwesenheit von Personen

Die gemessene Innenraumlufttemperatur in Garderoben beträgt 20-30 °C, die Fußbodentemperatur zwischen 20-28 °C in Abhängigkeit von Außentemperatur, unabhängig von Nutzungszeiten (Abb.140-141). Die Innenraumluftfeuchtigkeit liegt zwischen 20-65 %, steigt im Sommer und sinkt im Winter (Abb.142).

Innenraumlufttemperatur im Jahresverlauf 2015/16 Garderoben Nord(ost)

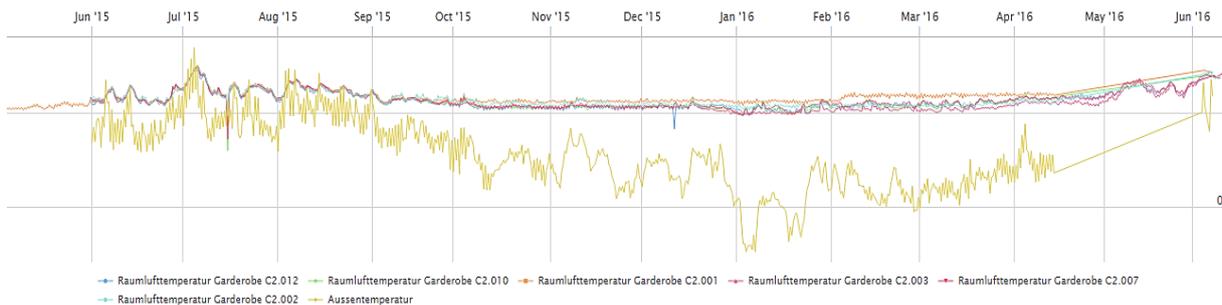


Abb.140 Außen- und Innenraumlufttemperatur Garderoben Nord(ost), Referenzjahr, [°C]

Fußbodentemperatur im Jahresverlauf 2015/16 Garderoben Nord(ost)

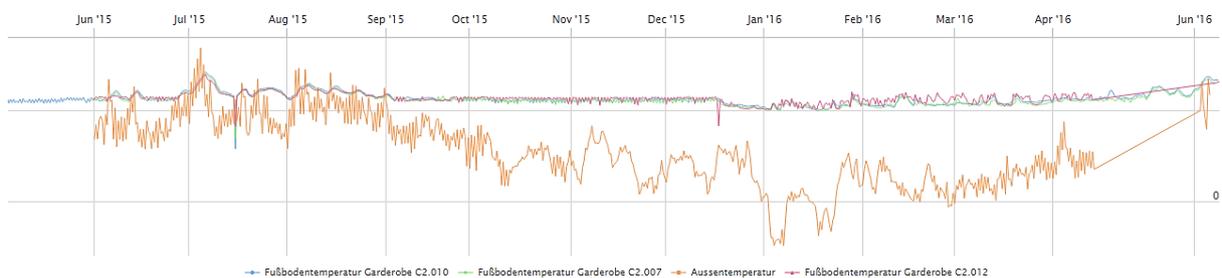


Abb.141 Fußbodentemperatur Garderoben Nord(ost), Referenzjahr, [°C]

Raumluftfeuchte im Jahresverlauf 2015/16 Garderoben Nord(ost)

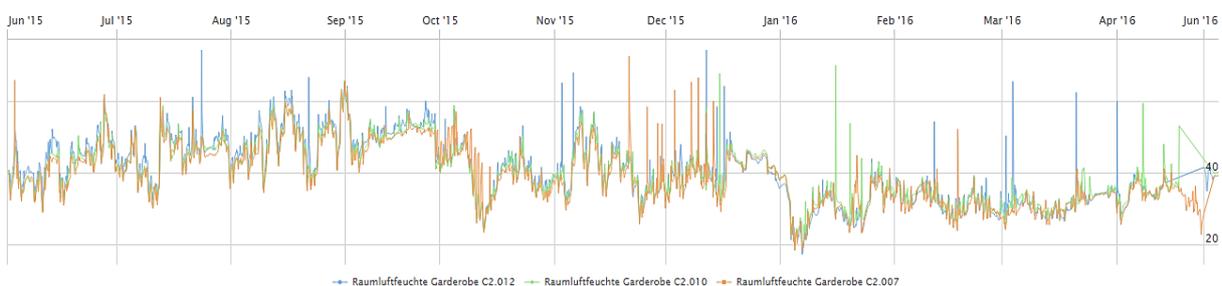


Abb.142 Raumluftfeuchte Garderoben Nord(ost), Referenzjahr, [%]

Die Raumlufttemperatur in den Garderoben im Sommer beträgt zwischen 23-26 °C, mit den Spitzen in der wärmsten Woche Anfang Juli (bis zum 30 °C). Die Fußbodentemperatur ist ca. 1-2 °C niedriger als Raumtemperatur. In der Woche wurde die Anwesenheit der Personen in den Garderoben in der Messung jeden Tag vermerkt. Die Garderoben wurden im Sommer regelmäßig genutzt.

Die Raumluftfeuchtigkeit liegt im Sommer im Komfortbereich zwischen 40-60 %.

Raumlufttemperatur Juni – August 2015 Garderoben Nord(ost)

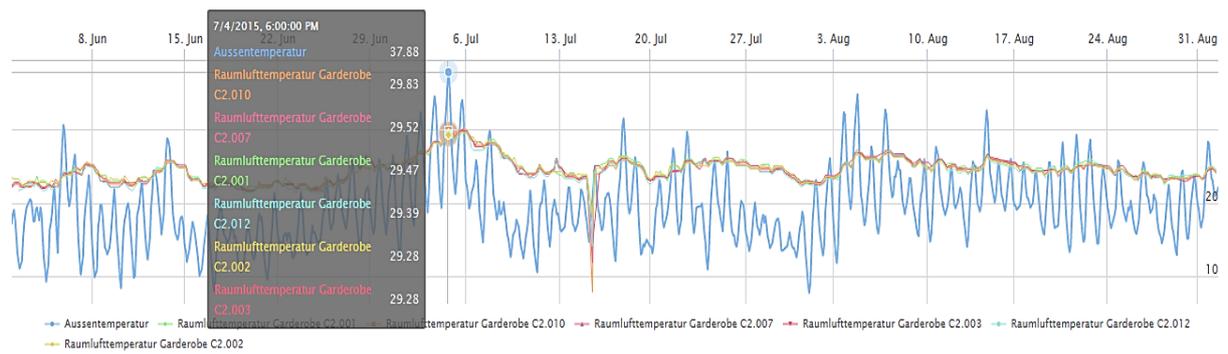


Abb.143 Außen- und Raumlufttemperatur Garderoben Nord(ost), Juni – August 2015, [°C]

Fußbodentemperatur Juni – August 2015 Garderoben Nord(ost)

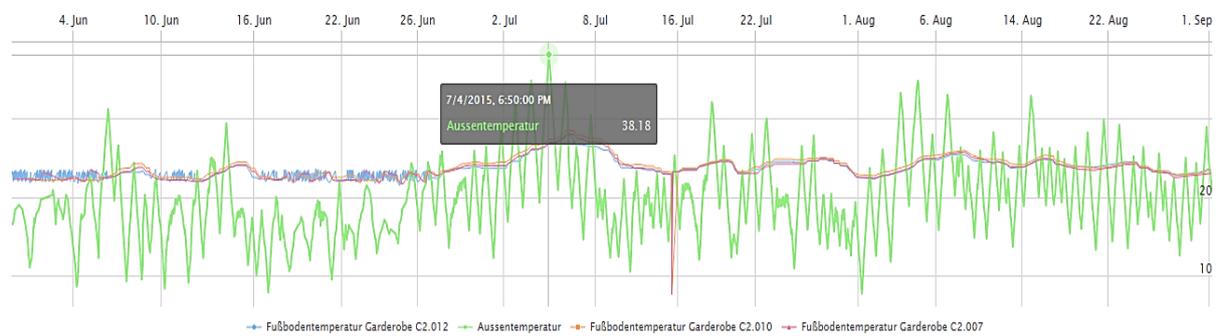


Abb.144 Fußbodentemperatur Garderoben Nord(ost), Juni – August 2015, [°C]

Raumlufttemperatur 13.8.-20.8.2015 (Normalwetter) Garderoben Nord(ost)

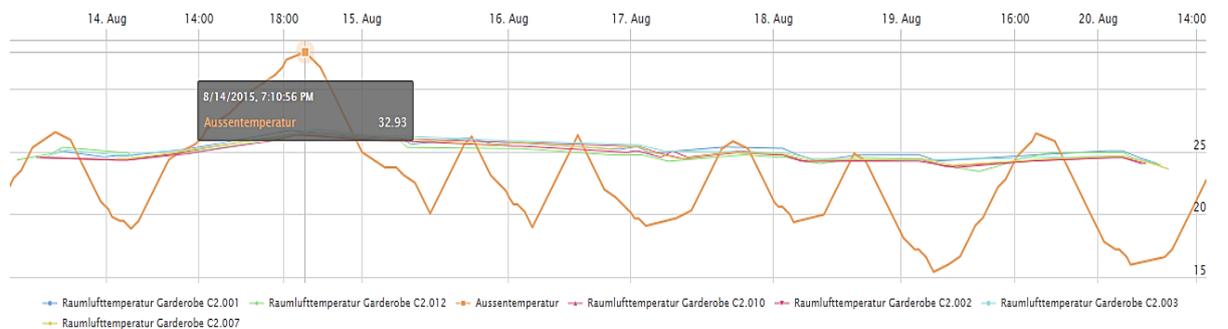


Abb.145 Außen- und Raumlufttemperatur Garderoben Nord(ost), 13.8.-20.8.2015 (Normalwetter), [°C]

Anwesenheit von Personen 13.8.-20.8.2015 Garderoben Nord(ost)

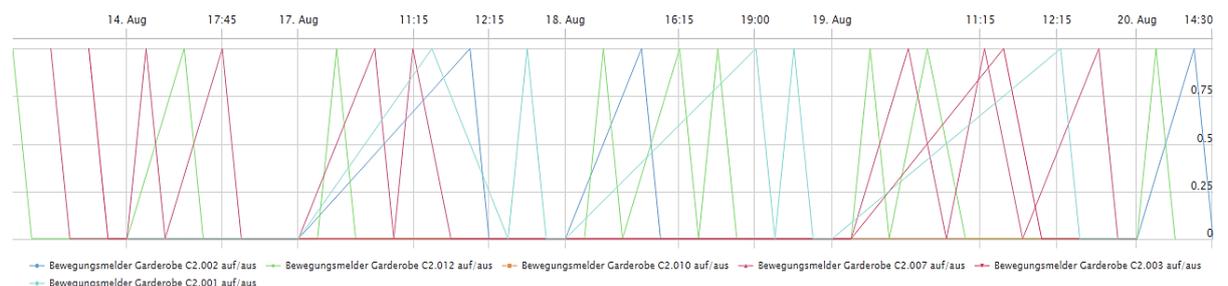


Abb.146 Anwesenheit von Personen Garderoben Nord(ost), 13.8.-20.8.2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

Die Innentemperatur in der Übergangszeit (Herbst) beträgt zwischen 22-24 °C, unabhängig von der Außentemperatur. Die Fußbodentemperatur liegt etwa 1-2 °C höher.

Die Raumluchtfeuchtigkeit liegt zwischen 25-60 %, sinkt mit der sinkenden Außentemperatur.

Die Garderoben wurden im September – November 2015 regelmäßig genutzt.

Raumlufttemperatur September – November 2015 Garderoben Nord(ost)

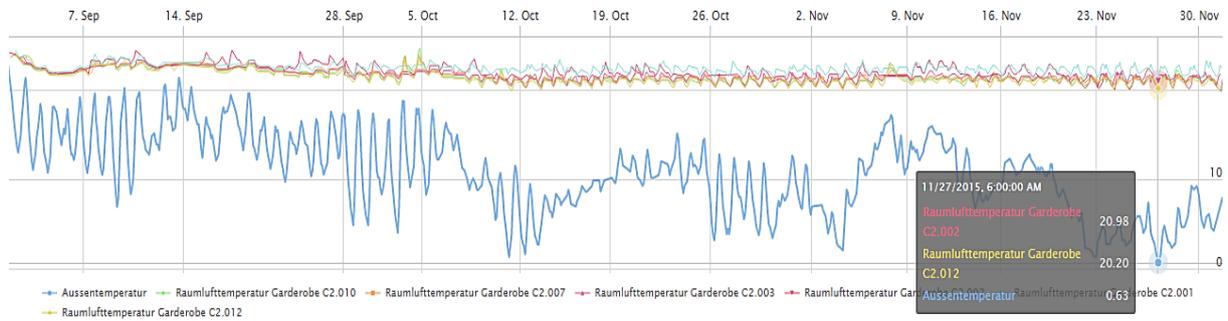


Abb.147 Außen- und Raumlufttemperatur Garderoben Nord(ost), September – November 2015, [°C]

Fußbodentemperatur September – November 2015 Garderoben Nord(ost)

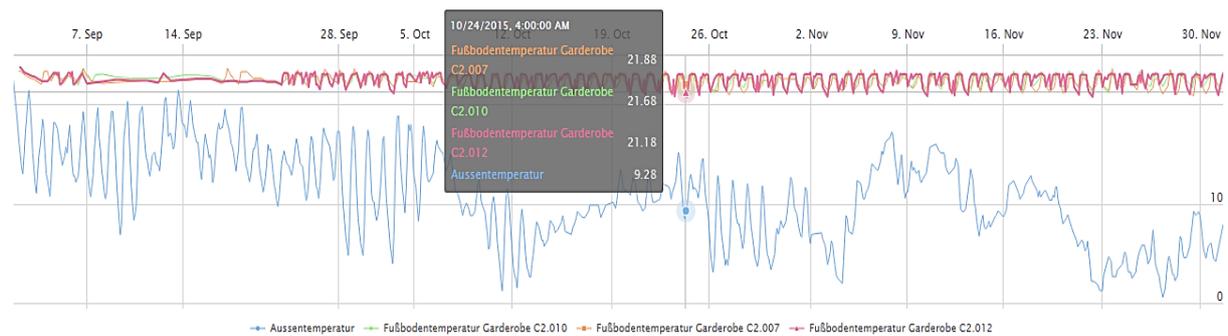


Abb.148 Außen- und Fußbodentemperatur Garderoben Nord(ost), September – November 2015, [°C]

Anwesenheit von Personen September – November 2015 Garderoben Nord(ost)

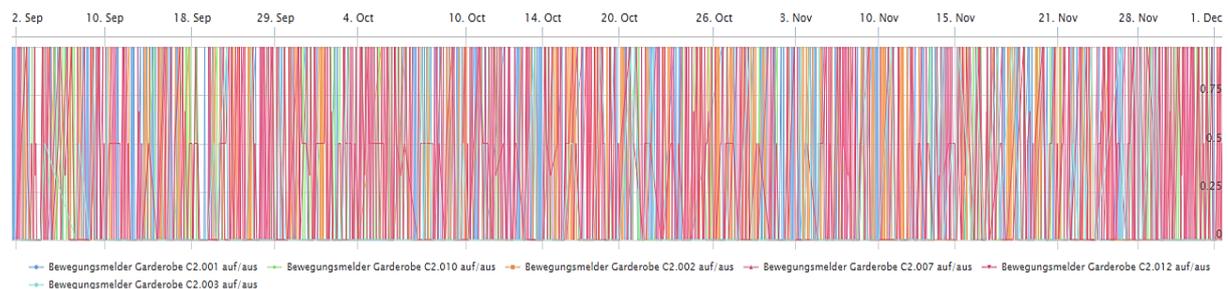


Abb.149 Anwesenheit von Personen Garderoben Nord(ost), Sept. – Nov. 2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

Die Innen- und Fußbodentemperatur im Winter wurde zwischen 20-24 °C gemessen, unabhängig von der Außentemperatur. Die Innen- und Fußbodentemperatur sinkt in der Nacht und steigt am Tag im Bereich 1-3 °C. Dies kann an dem Präsenzmelder liegen, der an den Heizkörpern eingebaut ist und die Beheizung der Räume steuert. Die Temperatur außerhalb der Nutzungszeiten liegt immer über 20 °C.

Die Raumluchtfeuchtigkeit liegt zwischen 20-60 %, sinkt mit der sinkenden Außentemperatur.

Die Garderoben wurden im Dezember 2015 – Februar 2016 regelmäßig genutzt.

Die Messung zeigt, dass zurzeit keine Temperaturabsenkung außerhalb der Nutzungszeiten stattfindet (hohe Temperaturen außerhalb der Nutzungszeiten). Die Beheizung der Garderoben und Einstellungen an den Präsenzmeldern in Abhängigkeit zu den Nutzungszeiten sollten daher überprüft werden.

Raumlufttemperatur Dezember 2015 – Februar 2016 Garderoben Nord(ost)

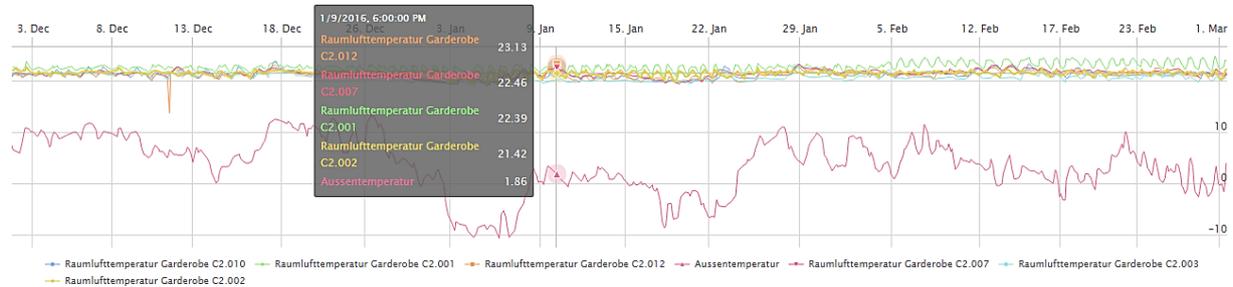


Abb.150 Außen- und Raumlufttemperatur Garderoben Nord(ost), Dezember 2015 – Februar 2016, [°C]

Fußbodentemperatur Dezember 2015 – Februar 2016 Garderoben Nord(ost)

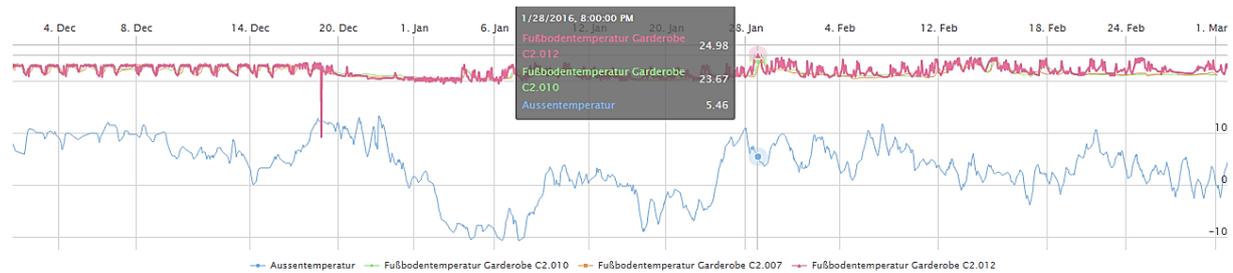


Abb.151 Außen- und Fußbodentemperatur Garderoben Nord(ost), Dezember 2015 – Februar 2016, [°C]

Raumlufttemperatur 10.12.-17.12.2015 (Normalwetter) Garderoben Nord(ost)

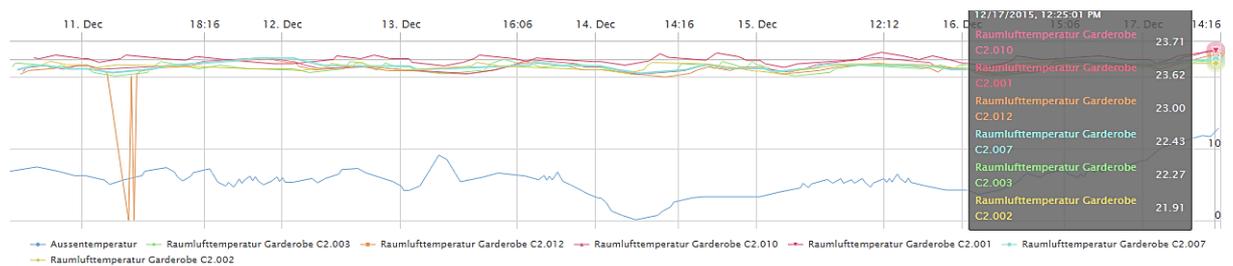


Abb.152 Außen- und Raumlufttemperatur Garderoben Nord(ost), 10.12.-17.12.2015 (Normalwetter), [°C]

Fußbodentemperatur 10.12.-17.12.2015 (Normalwetter) Garderoben Nord(ost)

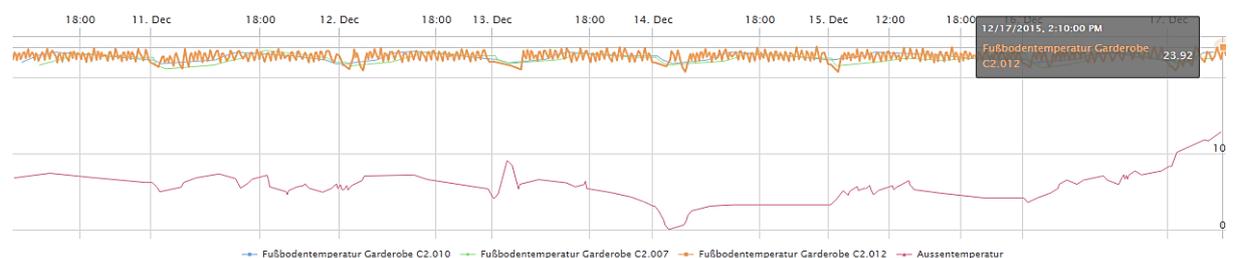


Abb.153 Außen- und Fußbodentemperatur Garderoben Nord(ost), 10.12.-17.12.2015 (Normalwetter), [°C]

Anwesenheit von Personen 10.12.-17.12.2015 Garderoben Nord(ost)

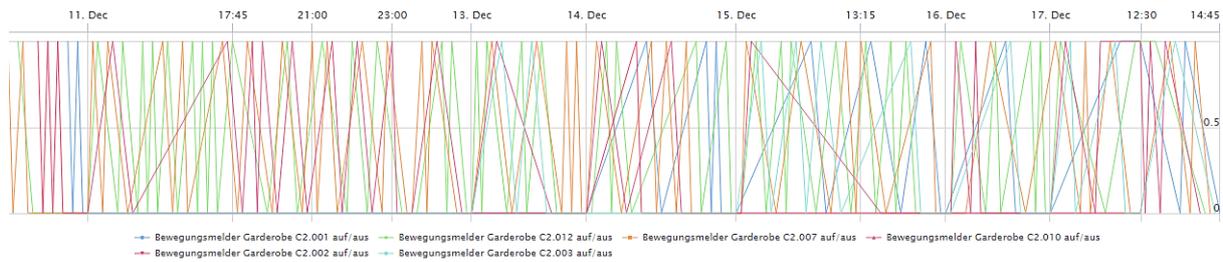


Abb.154 Anwesenheit von Personen Garderoben Nord(ost), 10.12.-17.12.2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

Die Innen- und Fußbodentemperatur in der Übergangszeit (Frühling) beträgt zwischen 20-27 °C. Die Raumluftfeuchtigkeit liegt zwischen 25-40 %, steigt mit der steigenden Außentemperatur. Die Garderoben wurden im März – Mai 2016 regelmäßig genutzt.

Raumlufttemperatur März – Mai 2016 Garderoben Nord(ost)

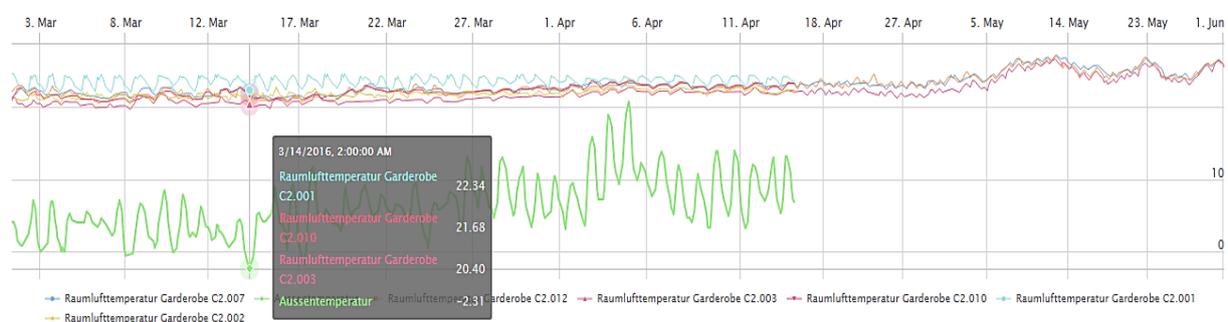


Abb.155 Außen- und Raumlufttemperatur Garderoben Nord(ost), März – Mai 2016, [°C]

Fußbodentemperatur März – Mai 2016 Garderoben Nord(ost)

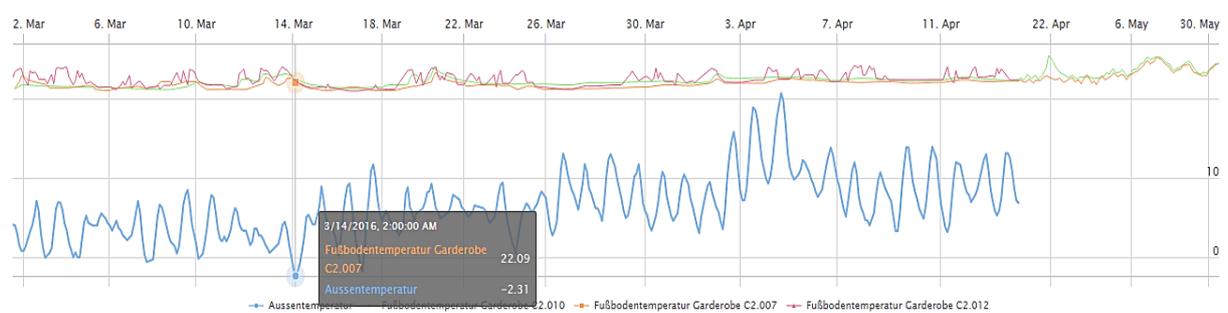


Abb.156 Außen- und Fußbodentemperatur Garderoben Nord(ost), März – Mai 2016, [°C]

Anwesenheit von Personen März – Mai 2016 Garderoben Nord(ost)

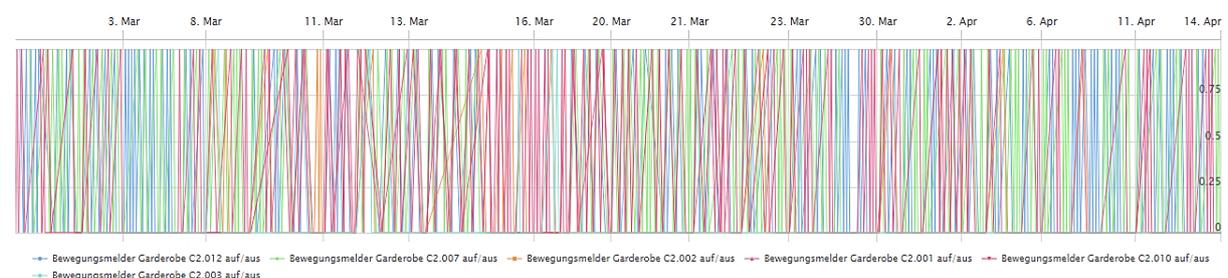


Abb.157 Anwesenheit von Personen Garderoben Nord(ost), März – Mai 2016, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend]

3.2.1.8 Fazit und Optimierungsvorschläge aus dem Monitoring

Positiv:

- Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Innentemperatur in der Empfangshalle Süd(west) im Winter – Wirkung als Wärmespeicher der solaren Wärmegewinne
- Einfluss der internen Wärmegewinne im Saal (Personenwärme, Bühnentechnik)
- Sehr gute Innenraumluftqualität in allen Referenzräumen innerhalb des ganzen Jahres
 - *Niedrige Werte der CO₂-Konzentration (im Durchschnitt unter 500 ppm, während der größeren Veranstaltungen bis zum 1.250 ppm)*
 - *Behagliche Innenraumlufttemperatur und -feuchtigkeit (Temperatur im Durchschnitt zwischen 20-27 °C, Feuchtigkeit zwischen 30-65 %)*
- Die Wärmelinse unter dem Gebäude – Temperatur der Erde unter dem Gebäude ganzjährig zwischen 19-20 °C
- Relativ gute Ausnutzung der Räume

Negativ:

- relativ niedrige Luftfeuchtigkeit in den Referenzräumen (hauptsächlich im Saal und in den Garderoben) im Winter
- Innenraumtemperaturen in allen Referenzräumen im Winter zu hoch (keine Absenkung der Heizung außerhalb der Nutzungszeiten)
- Innenraumtemperaturen Empfangshalle Süd(west) im Sommer zu hoch
- Innenraumtemperaturen am Balkon, unter der Decke im Saal und an der Bühne während der größeren Veranstaltungen ganzjährig zu hoch (Bühnentechnik, Personenwärme)
- Relativ geringe Nutzung des Gebäudes im Sommer

Optimierungspotenziale:

- Reduzierung der Wärmeverluste und Steigerung der Effizienz der Heizung
 - *Bedarfsgerechte Steuerung der Heizung in einzelnen Räumen (z. B. Absenkung der Heizung außerhalb der Nutzungszeiten)*
 - *Bessere Nutzung der passiven Wärmegewinne (solare Gewinne durch Empfangshalle Süd(west), interne Gewinne im Saal und an der Bühne – Personenwärme, Bühnentechnik)*
- Senkung der Temperaturen in der Empfangshalle Süd(west) im Sommer durch bessere Nutzung der vorhandenen Querlüftung (z. B. Einbau einer temperaturabhängigen Steuerung der Fensteröffnungen während der Extremwitterungslagen zur Vermeidung von Überhitzungen) und Wiedererrichtung eines natürlichen Sonnenschutzes durch Ersatzbepflanzung
- Steigerung der Effizienz der Lüftungsanlage (Anhand der gute CO₂ Werte konnte sie weniger ausgelegt werden)

3.2.2 Energiebilanzen

3.2.2.1 RLT-Anlage Haupt-/Saalgebäude

Temperatur Außenluft, Zuluft, Zuluft vor dem Erhitzer, Rücklauf Erhitzer, Abluft, Fortluft, Drehzahl

Die Abbildung 158 zeigt die Temperaturverläufe der Außenluft, Zuluft, Zuluft vor dem Erhitzer, Rücklauf Erhitzer, Abluft und Fortluft innerhalb des Referenzjahres. Bei den Temperaturverläufen im Jahresablauf wurden unterschiedliche Werte gemessen, daher wurden die Jahreszeiten einzeln betrachtet (folgende Abbildungen).

Die RLT-Anlage wird über eine Fernbedienung des Betreibers – Zeitprogramm gesteuert. Die Nutzungszeiten werden über die Fernbedienung eingegeben, und darüber die RLT-Anlage an und abgeschaltet.

Die Abbildung 159 zeigt die Drehzahlverläufe der Zu- und Abluft innerhalb des Referenzjahres. Die RLT-Anlage weist bis zum 12.7.2015 eine sehr geringe Drehzahl mit wenigen Ausnahmen auf. Festgestellt wurde ein Messfehler, der ab dem 13.7.2015 behoben wurde. Danach wurde die RLT-Anlage regelmäßig erfasst, Drehzahl Zu- und Ablüfter ist äquivalent.

Die Abhängigkeit von Drehzahl und Volumenstrom konnte im Rahmen des Vorhabens nicht eindeutig geklärt werden, daher wird auf eine weitere Dokumentation und Erfassung der Drehzahl verzichtet.

Die Volumenströme wurden zur Nutzungsbeginn der RLT-Anlage zu hoch eingestellt. Die hohe Luftgeschwindigkeit verursachte Probleme mit den Filtern, Geräuschentwicklung und daher Störmeldungen der Anlage. Die Einstellung der Volumenströme wurde im Februar 2016 korrigiert. Der maximale Luftvolumenstrom wurde auf maximal 70 % reduziert.

Temperaturen RLT-Anlage im Jahresverlauf Haupt-/Saalgebäude

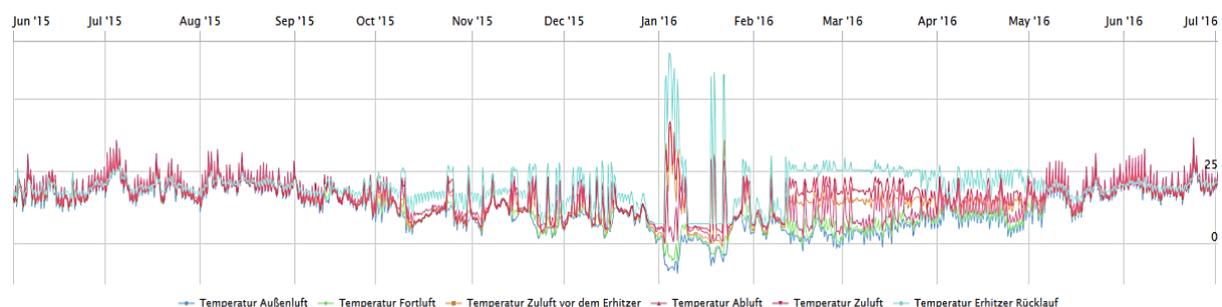


Abb.158 Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude, Referenzjahr, [°C]

Drehzahl RLT-Anlage im Jahresverlauf Haupt-/Saalgebäude

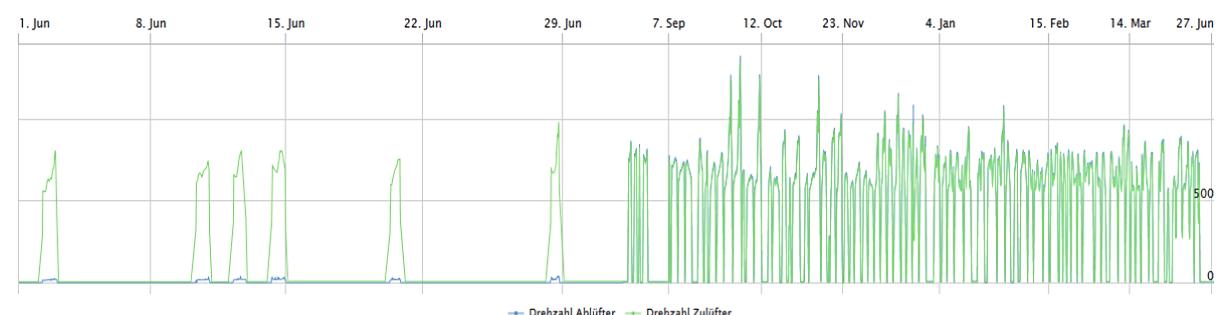


Abb.159 Drehzahl RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude, Referenzjahr, [U/min]

Die gemessenen Temperaturen in der RLT-Anlage im Sommer in der Nacht sind äquivalent zu der Außenlufttemperatur. Im Tagesverlauf wurden die Temperaturspitzen zwischen 15.00-21.00 Uhr gemessen. Die Temperatur der Zuluft beträgt maximal 28 °C und ist 2-6 °C kühler als die Außenlufttemperatur. Die Temperaturunterschiede erklären sich aus der Führung der Zu- und Abluftrohre im Erdreich. Die Messwerte im Erhitzer sind irrelevant, da nur geringe Volumenströme wegen der geschlossenen Klappe zu verzeichnen sind. In der Ablufttemperatur wurden teilweise Temperaturen bis 30-37 °C gemessen. Die höchsten Temperaturen wurden Anfang Juli, am 3.-4. und am 14. August gemessen.

Temperaturen RLT-Anlage im August 2015 Haupt-/Saalgebäude

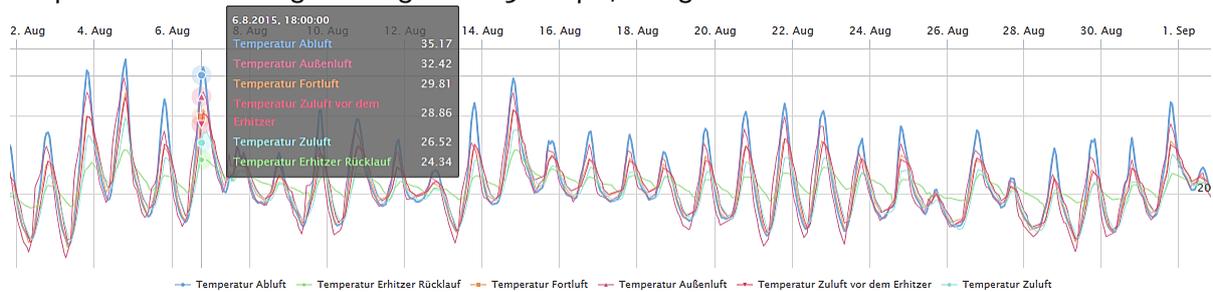


Abb.160 Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude im August 2015, [°C]

Temperaturen RLT-Anlage am 2.-5. August 2015 Haupt-/Saalgebäude

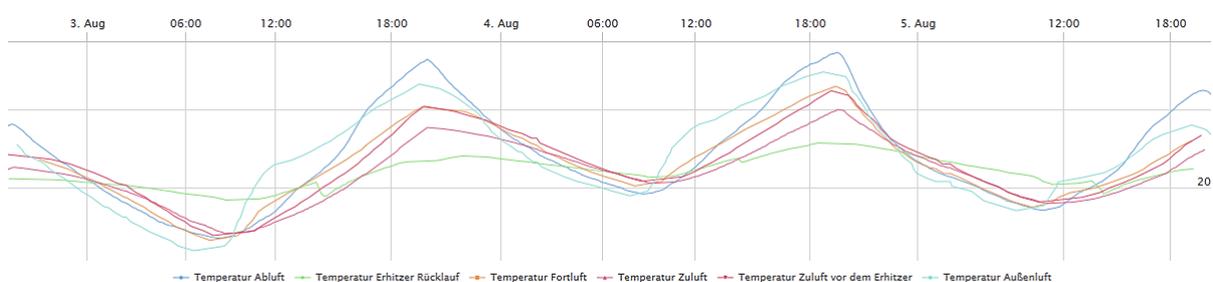


Abb.161 Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude am 2.-5. August 2015, [°C]

In Übergang- und Wintermonaten (November 2015 – Juni 2016) wurde die Wärmerückgewinnung genutzt. Vom Februar bis Mai 2016 wurden Temperaturdifferenzen aus Wärmerückgewinnung von bis zu 18 °C gemessen. Im Januar 2016 ist die Zuluft- und Rücklauftemperatur im Erhitzer kurzzeitig stark angestiegen. Ursache dafür ist, dass bei einem geringen Luftvolumenstrom bei geschlossener Luftklappe das Heizregister eingeschaltet wurde und damit die Lufttemperatur im Erhitzer überproportional angestiegen ist. Hier sollte die Einstellung der Lüftungsanlage überprüft werden. Während der Weihnachtsferien vom 29.12.2015 bis 3.1.2016 wurde die Lüftungsanlage ausgeschaltet. Die gemessenen Temperaturen ohne Luftvolumenstrom entsprechen damit annähernd den Außentemperaturen.

Die Zulufttemperatur im Normalbetrieb beträgt zwischen 20-25 °C, außerhalb des Betriebes sinkt sie auf 5-10 °C entsprechend der Außenlufttemperatur. Der Unterschied zur Temperatur der Außenluft im Normalbetrieb beträgt zwischen 15-20 °C – die Wärmerückgewinnung. Die Temperatur der Fortluft sinkt gegenüber der Abluft um 10-15 °C.

Die Messwerte zeigen, dass zu Beginn des Nutzungsbetriebes die Wärmezufuhr über den Erhitzer sehr hoch ist (zeitweise im Rücklauf bis zu 40 °C Temperaturdifferenz). Die Wärmezufuhr wird mit dem Erreichen der Zieltemperatur zurückgefahren. Die Messwerte zeigen, dass durch die Wärmerückgewinnung bereits 20 °C Zulufttemperatur erreicht wird. Im Dauerbetrieb werden Rücklauftemperaturen von ca. 30 °C gemessen. Zur Optimierung der Energieverbräuche sollte die Regelung der Temperaturen im Erhitzer unter Berücksichtigung der inneren Wärmelasten überprüft werden.

Die Temperatur- und Drehzahlverläufe zeigen, dass die Einstellung der Lüftungsanlage betriebsunabhängig nur durch eine unregelmäßige individuelle Eingabe erfolgt. Weitere Energieeinsparungen konnten durch eine bedarfsgerechte Steuerung der Lüftungsanlage erfolgen. Die gemessene CO₂ Werte in den Räumen sind hygienisch unbedenklich.

Temperaturen RLT-Anlage Dezember 2015 – Januar 2016 Haupt-/Saalgebäude

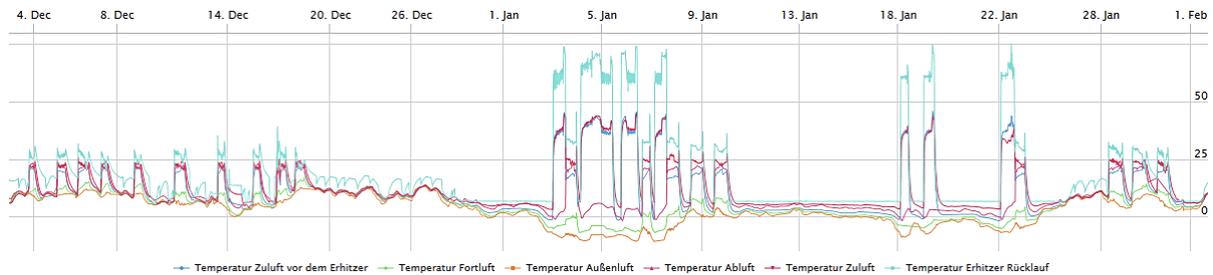


Abb.162 Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Dezember 2015 – Januar 2016, [°C]

Temperaturen RLT-Anlage vom 27.12.2015 bis zum 2.1.2016 Haupt-/Saalgebäude

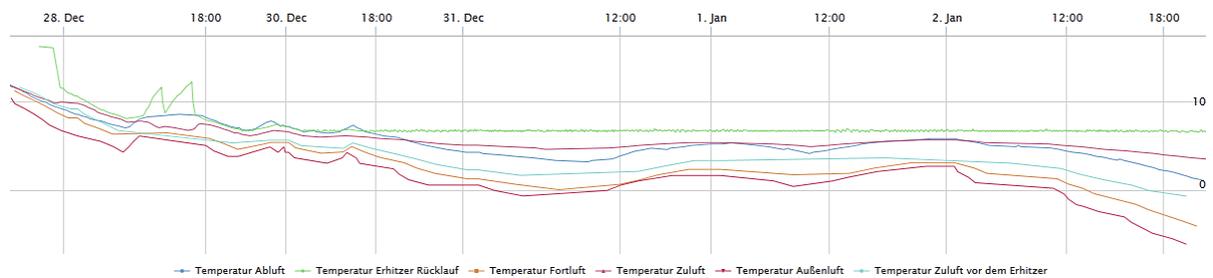


Abb.163 Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude vom 27.12.2015 bis zum 2.1.2016, [°C]

Temperaturen RLT-Anlage vom 24.1.2016 bis zum 30.1.2016 Haupt-/Saalgebäude

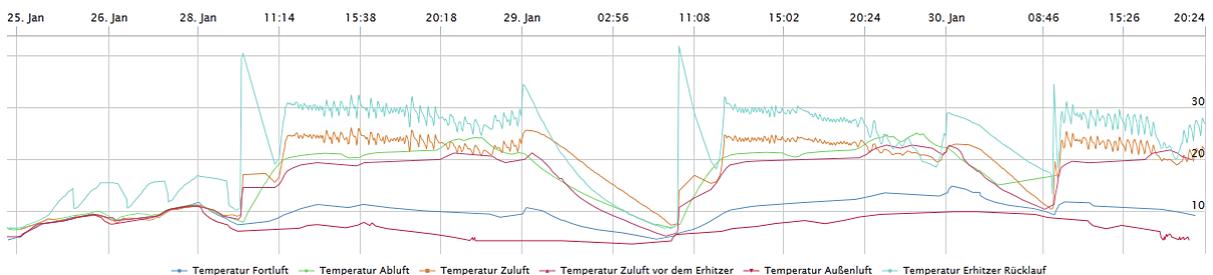


Abb.164 Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude vom 24.1.2016 bis zum 30.1.2016, [°C]

Temperaturen RLT-Anlage vom 21.2.2016 bis zum 27.2.2016 Haupt-/Saalgebäude

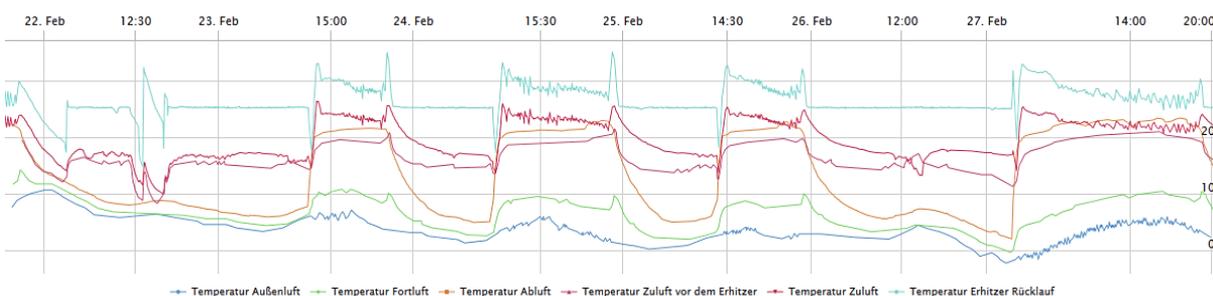


Abb.165 Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude vom 21.2.2016 bis zum 27.2.2016, [°C]

Stellung Bypassklappe und Ventil vom Erhitzer

Die Abbildungen 166-170 zeigen die Stellung der Bypassklappe der Wärmerückgewinnung, sowie des Ventils des Erhitzers. Die Stellung ist thermisch nach Zulufttemperatur geregelt. Zuerst läuft die Wärmerückgewinnung auf 100 % und erst wenn die Temperatur nicht ausreicht, wird der Erhitzer angeschaltet.

In der Übergangsjahreszeit und den Wintermonaten wird der Bypass nur teilweise genutzt (Stellung der Bypassklappe zwischen 50-100 %). Die Messungen zeigen, dass in den Wintermonaten der Bypass teilweise genutzt wird bei höheren Innentemperaturen durch innere Wärmelasten. Auch in den Sommermonaten wird zeitweise kein Bypass genutzt bei niedrigen Innentemperaturen.

Der Erhitzer wurde im Sommer ausgeschaltet. Im Winter wird der Erhitzer individuell abhängig von den Nutzungszeiten eingeschaltet. Die gemessenen Innenraumlufttemperaturen im Winter zeigen einen sehr gleichmäßigen Temperaturverlauf auf hohem Temperaturniveau auch außerhalb der Nutzungszeiten.

WRG Bypassklappe Stellung RLT-Anlage im Jahresverlauf Haupt-/Saalgebäude

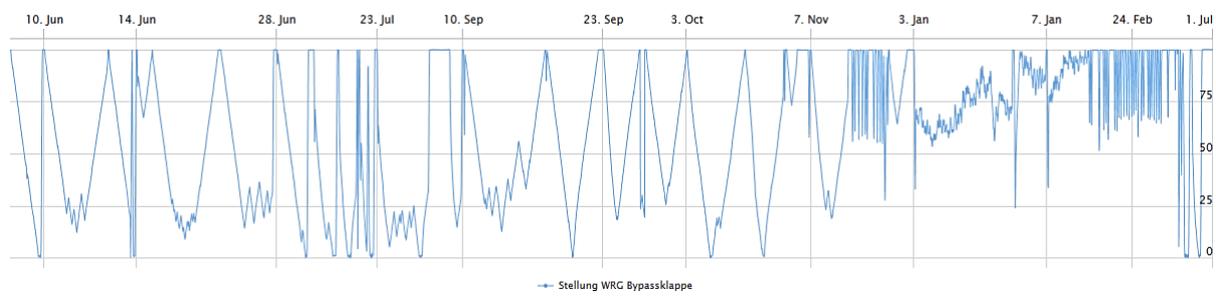


Abb.166 RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe, Referenzjahr, [0 % – Bypass/100% – WRG]

WRG Bypassklappe und Ventil Erhitzer Stellung RLT-Anlage im August 2015 Haupt-/Saalgebäude



Abb.167 RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe und Ventil Erhitzer Stellung im August 2015, [0 % – Bypass/100% – WRG, 0 % – Ventil zu/100% – Ventil auf]

WRG Bypassklappe Stellung RLT-Anlage Dezember 2015 – Januar 2016 Haupt-/Saalgebäude



Abb.168 RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe Dezember 2015 – Januar 2016, [0 % – Bypass/100% – WRG]

WRG Bypassklappe und Erhitzer Stellung RLT-Anlage 24.1.2016 – 30.1.2016 Haupt-/Saalgebäude

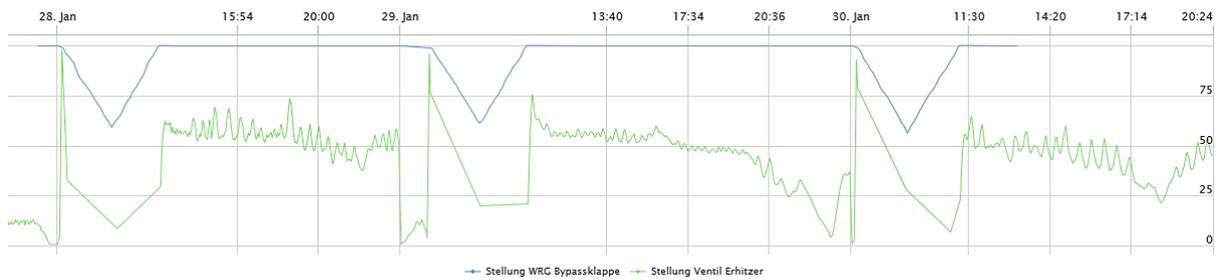


Abb.169 RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe und Ventil Erhitzer Stellung 24.1.2016 – 30.1.2016, [0 % – Bypass/100% – WRG, 0 % – Ventil zu/100% – Ventil auf]

WRG Bypassklappe und Erhitzer Stellung RLT-Anlage 21.2.2016 – 27.2.2016 Haupt-/Saalgebäude

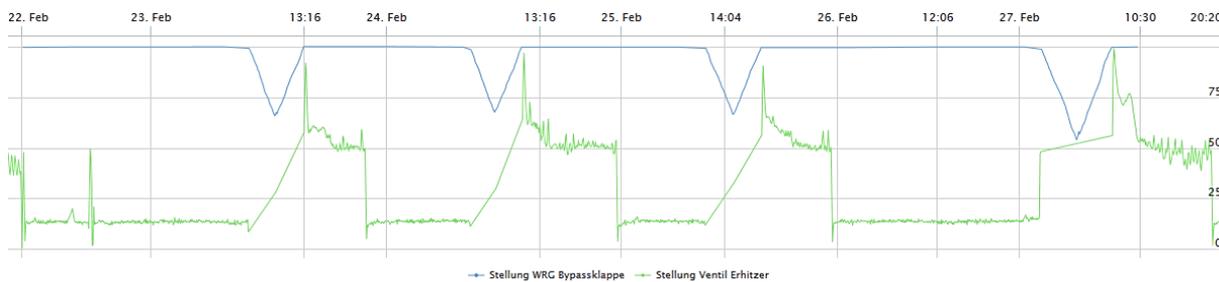


Abb.170 RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe und Ventil Erhitzer Stellung 21.1.2016 – 27.1.2016, [0 % – Bypass/100% – WRG, 0 % – Ventil zu/100% – Ventil auf]

Untersuchung Lüftungsanlage und CO₂-Konzentration Haupt-/Saalgebäude während der Veranstaltungen am 3.10.2015 und 4.10.2015 um 16:00 Uhr

CO₂-Konzentration 2.10.2015 bis zum 5.10.2015 Haupt-/Saalgebäude

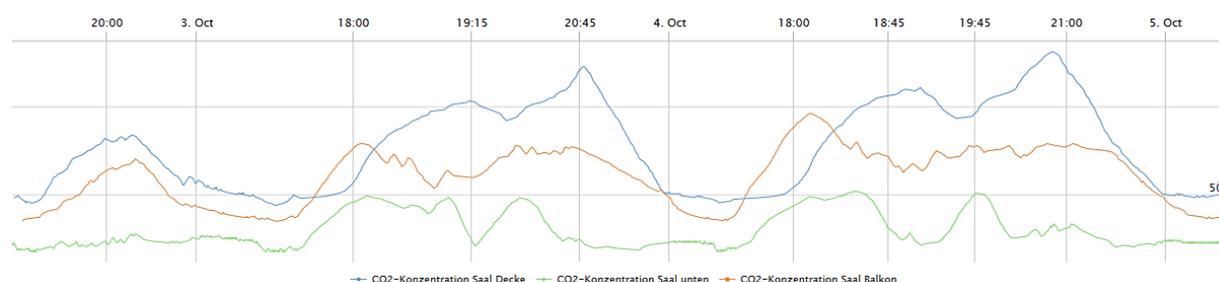


Abb.171 CO₂-Konzentration Haupt-/Saalgebäude vom 2.10.2015 bis zum 5.10.2015, [ppm]

Temperaturen RLT-Anlage vom 2.10.2015 bis zum 5.10.2015 Haupt-/Saalgebäude

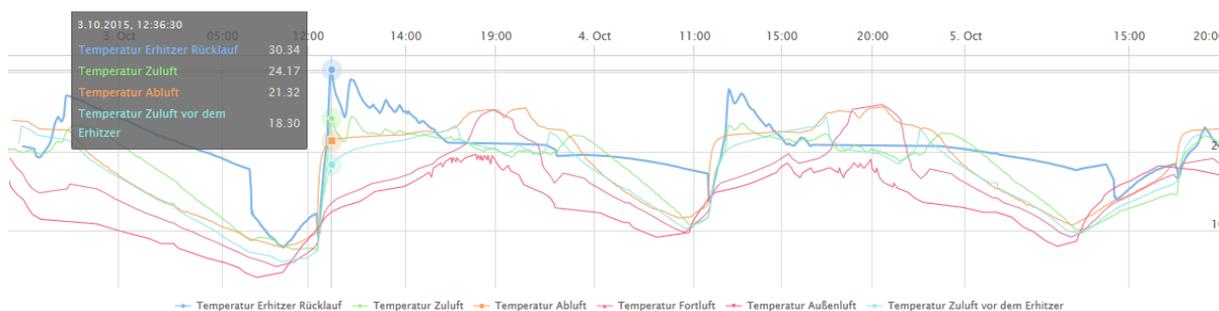


Abb.172 Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude vom 2.10.2015 bis zum 5.10.2015, [°C]

WRG Bypassklappe und Erhitzer Stellung RLT-Anlage 2.10.2015 – 5.10.2015 Haupt-/Saalgebäude

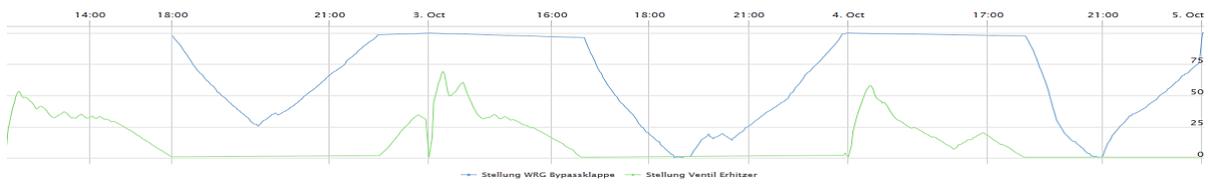


Abb.173 RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe und Ventil Erhitzer Stellung 2.10.2015 – 5.10.2015, [0 % – Bypass/100% – WRG, 0 % – Ventil zu/100% – Ventil auf]

Untersuchung Lüftungsanlage und CO₂-Konzentration Haupt-/Saalgebäude während der Veranstaltungen am 3.12.2015 um 19:30 Uhr und 4.12.2015 um 18:00 Uhr

CO₂-Konzentration 2.12.2015 bis zum 5.12.2015 Haupt-/Saalgebäude

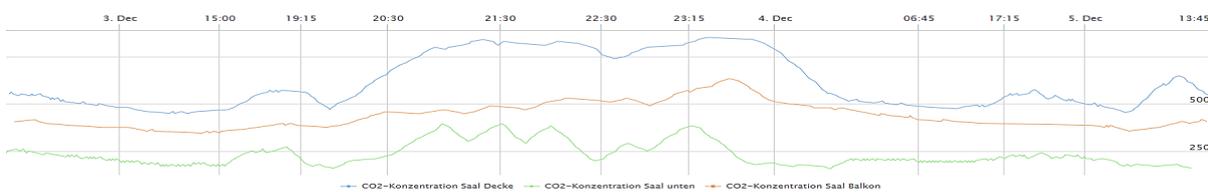


Abb.174 CO₂-Konzentration Haupt-/Saalgebäude vom 2.12.2015 bis zum 5.12.2015, [ppm]

Raumlufttemperatur 2.12.2015 bis zum 5.12.2015 Haupt-/Saalgebäude

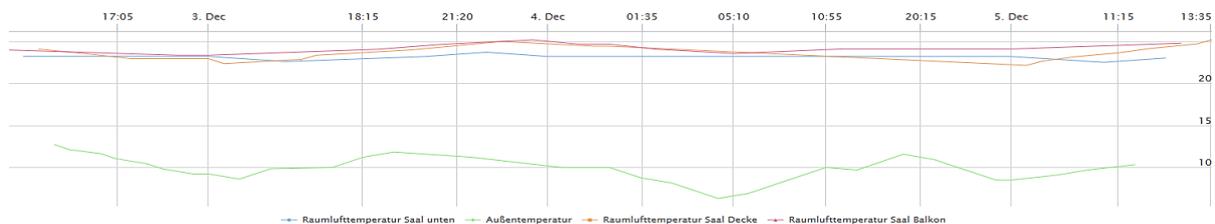


Abb.175 Raumlufttemperatur Haupt-/Saalgebäude vom 2.12.2015 bis zum 5.12.2015, [°C]

Temperaturen RLT-Anlage vom 2.12.2015 bis zum 5.12.2015 Haupt-/Saalgebäude

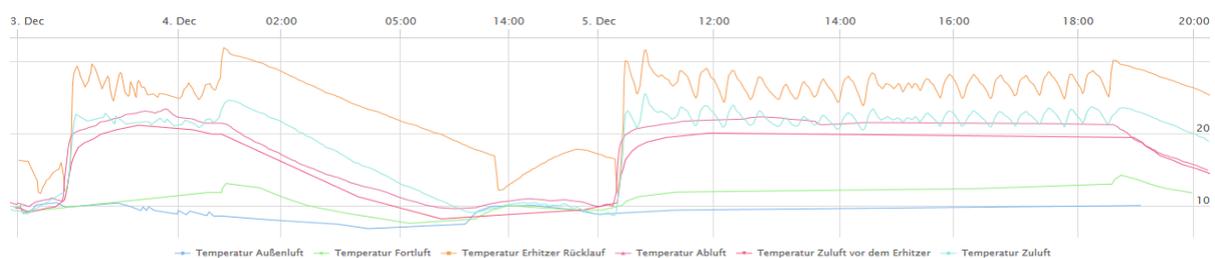


Abb.176 Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude vom 2.12.2015 bis zum 5.12.2015, [°C]

WRG Bypassklappe und Erhitzer Stellung RLT-Anlage 2.12.2015 – 5.12.2015 Haupt-/Saalgebäude



Abb.177 RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe und Ventil Erhitzer Stellung 2.12.2015 – 5.12.2015, [0 % – Bypass/100% – WRG, 0 % – Ventil zu/100% – Ventil auf]

3.2.2.2 RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost)

Temperatur Außenluft, Zuluft vor dem Erhitzer, Abluft, Fortluft, Drehzahl, Luftvolumenstrom

Die Abbildung 178 zeigt die Temperaturverläufe der Außenluft, Zuluft vor dem Erhitzer, Abluft und Fortluft innerhalb des Referenzjahres. Bei den Temperaturverläufen im Jahresablauf wurden unterschiedliche Werte gemessen, daher wurden die Jahreszeiten einzeln betrachtet (folgende Abbildungen).

Die RLT-Anlage wird über eine Fernbedienung des Betreibers – Zeitprogramm gesteuert. Die Nutzungszeiten werden über die Fernbedienung eingegeben, und darüber die RLT-Anlage an und abgeschaltet.

Die Abbildung 179 zeigt die Drehzahlverläufe der Zu- und Abluft innerhalb des Referenzjahres. Die Drehzahl der Zulüfter bewegt sich bis 2.000 U/min, die Drehzahl der Ablüfter bis 700 U/min. Die Unterschiede zwischen den Drehzahlen von Zulüfter und Ablüfter liegen an der unterschiedlichen Drehzahleinstellung des Zu- und Ablüfters (Auslegung Drehzahl Zulüfter 2.890 U/min., Ablüfter 1.440 U/min.). Der Ablüfter wurde am 11.10.2016 ausgetauscht, da er nicht funktioniert hat.

Die Abhängigkeit von Drehzahl und Volumenstrom konnte im Rahmen des Vorhabens nicht eindeutig geklärt werden, daher wird auf eine weitere Dokumentation und Erfassung der Drehzahl verzichtet.

Die Volumenströme wurden zur Nutzungsbeginn der RLT-Anlage zu hoch eingestellt. Die hohe Luftgeschwindigkeit verursachte Probleme mit den Filtern, Geräuschentwicklung und daher Störmeldungen der Anlage. Die Einstellung der Volumenströme wurde im Februar 2016 korrigiert. Der maximale Luftvolumenstrom wurde auf maximal 70 % reduziert.

Temperaturen RLT-Anlage im Jahresverlauf Ergänzungsbau Nord(ost)

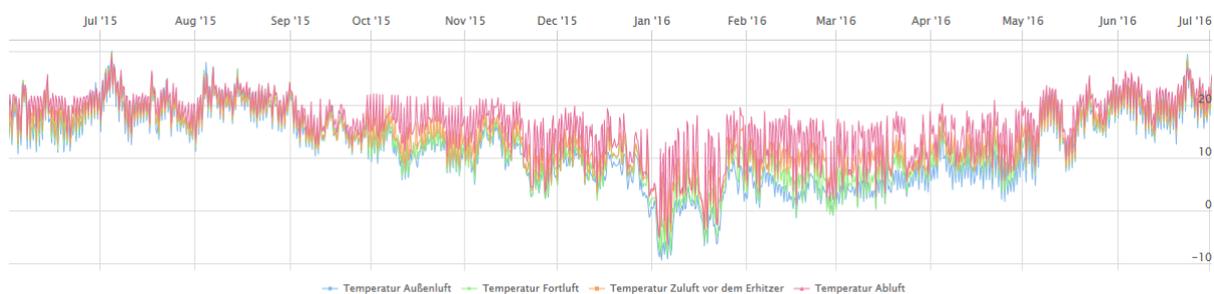


Abb.178 Lufttemperatur RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Referenzjahr, [°C]

Drehzahl RLT-Anlage im Jahresverlauf Ergänzungsbau Nord(ost)

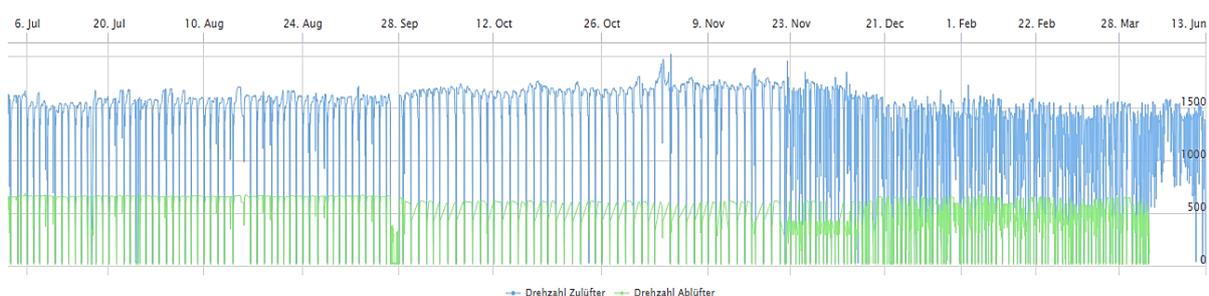


Abb.179 Drehzahl RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Referenzjahr, [U/min]

Die gemessenen Temperaturen in der RLT-Anlage im Sommer in der Nacht sind äquivalent zu der Außenlufttemperatur. Einzelne Spitzenwerte zeigen den Einfluss der Außentemperatur bei Extremwetterlage und reduzierten Lüftungsbetrieb (Schließzeit).

Die höchsten Temperaturen wurden Anfang Juli und am 3.-4. August gemessen.

Temperaturen RLT-Anlage Juni – August 2015 Ergänzungsbau Nord(ost)

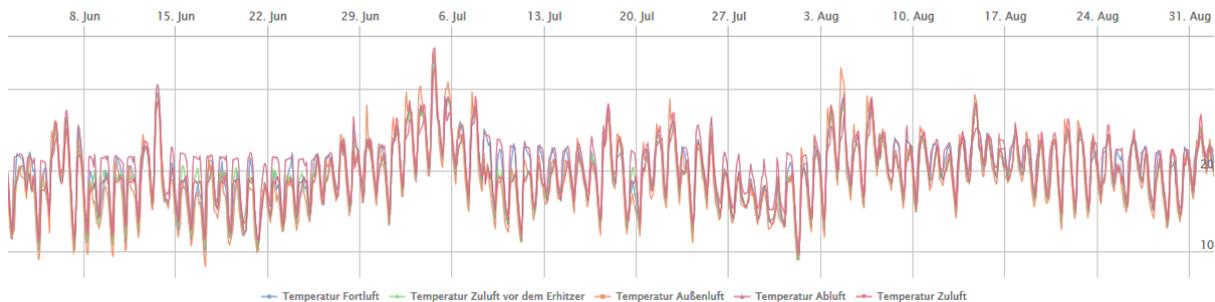


Abb.180 Lufttemperatur RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Juni – August 2015, [°C]

In Übergang- und Wintermonaten (November 2015 – Juni 2016) wurde die Wärmerückgewinnung genutzt. Die hohen Temperaturdifferenzen der RLT-Anlage im Tagesverlauf bei relativ konstanten Raumtemperaturen weist auf eine unregelmäßige Raumluftzufuhr der Regeleinheiten hin, die die nur zeitweise Nutzung der belüfteten Räume aufzeigt.

Während der Weihnachtsferien vom 29.12.2015 bis 3.1.2016 wurde die Lüftungsanlage ausgeschaltet. Die gemessenen Temperaturen ohne Luftvolumenstrom entsprechen damit annähernd den Außentemperaturen.

Die gemessene CO₂ Werte in den Räumen sind hygienisch unbedenklich.

Temperaturen RLT-Anlage September – November 2015 Ergänzungsbau Nord(ost)

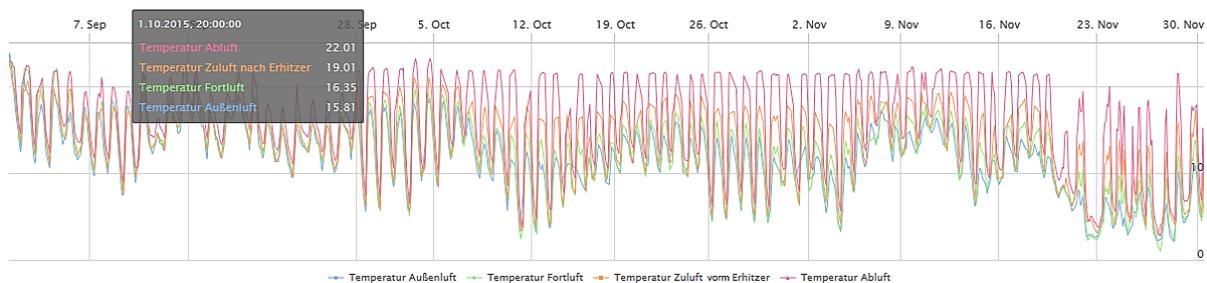


Abb.181 Lufttemperatur RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost) s, September – November 2015, [°C]

Temperaturen RLT-Anlage Dezember 2015 – Februar 2016 Ergänzungsbau Nord(ost)

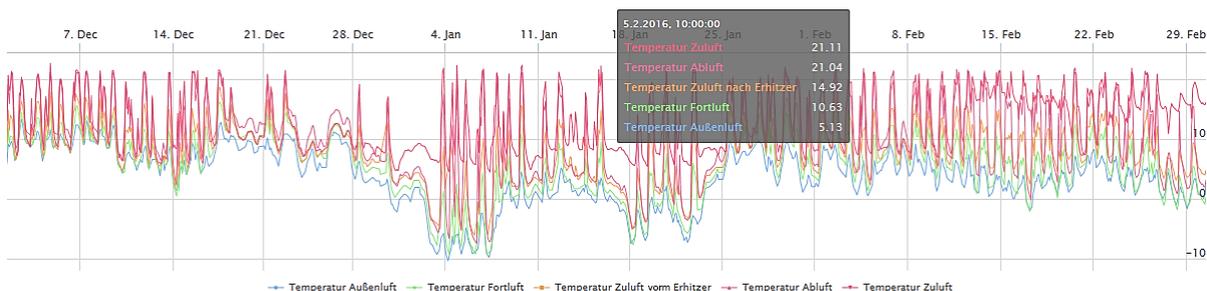


Abb.182 Lufttemperatur RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Dezember 2015 – Februar 2016, [°C]

Temperaturen RLT-Anlage 17.1.-23.1.2016 Ergänzungsbau Nord(ost)

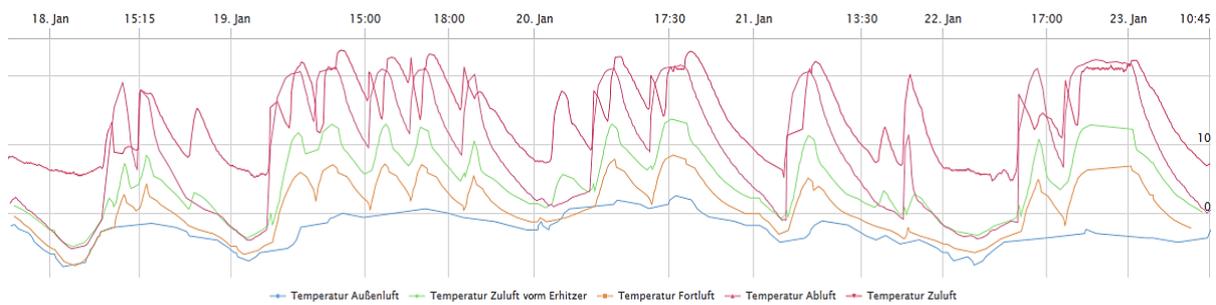


Abb.183 Lufttemperatur RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), 17.1.-23.1.2016, [°C]

Luftvolumenstrom RLT-Anlage 17.1.-23.1.2016 Ergänzungsbau Nord(ost)

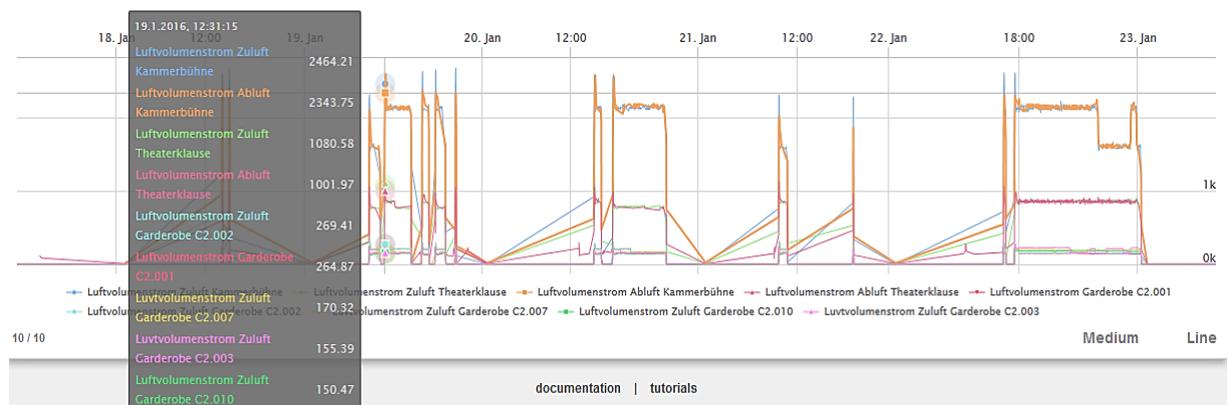


Abb.184 Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), 17.1.-23.1.2016, [m³/h]

Die Lüftungsanlage des Passivhauses ist für 4.600 m³/h Zuluft und 4.840 m³/h Abluft ausgelegt (Kammerbühne Zuluft = Abluft = 2.500 m³/h, Theaterklausur Zuluft = Abluft = 900 m³/h, Garderoben Zuluft = 400 m³/h, Abluft = 240 m³/h)

Aus den Abbildungen 185-189 ist ersichtlich, dass im Referenzjahr die volle Auslegung der Lüftungsanlage regelmäßig genutzt wurde, ohne Berücksichtigung des Betriebes und der Raumluftqualität – Luftwechselrate Theaterklausur ca. 4,7 h⁻¹, Kammerbühne ca. 7,5 h⁻¹. Es besteht ein großes Energieeinsparpotential in einer Optimierung der Regelung der Anlage.

Luftvolumenstrom RLT-Anlage im Jahresverlauf Ergänzungsbau Nord(ost)



Abb.185 Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Referenzjahr, [m³/h]

Luftvolumenstrom RLT-Anlage Juni – August 2015 Ergänzungsbau Nord(ost)

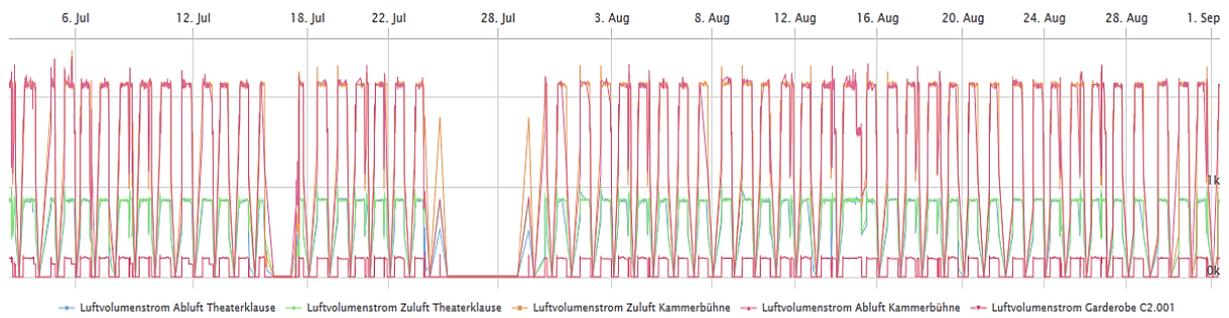


Abb.186 Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Juni – August 2015, [m³/h]

Luftvolumenstrom RLT-Anlage September – November 2015 Ergänzungsbau Nord(ost)

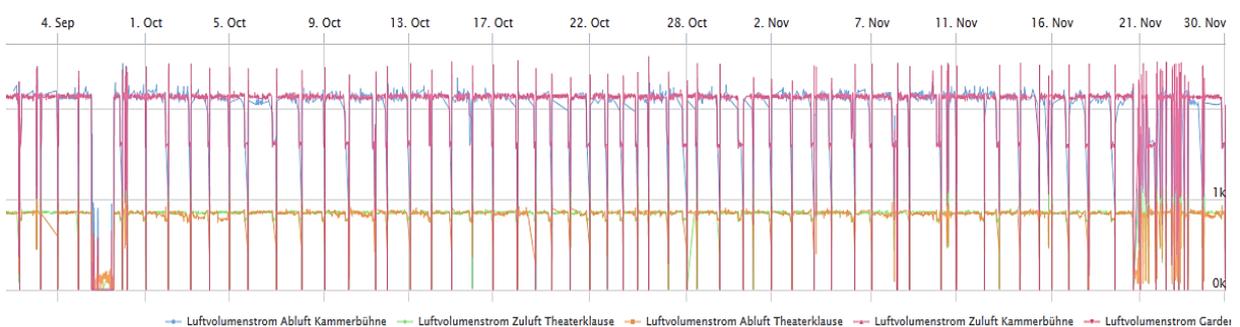


Abb.187 Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), September – November 2015, [m³/h]

Luftvolumenstrom RLT-Anlage Dez. 2015 – Februar 2016 Ergänzungsbau Nord(ost)

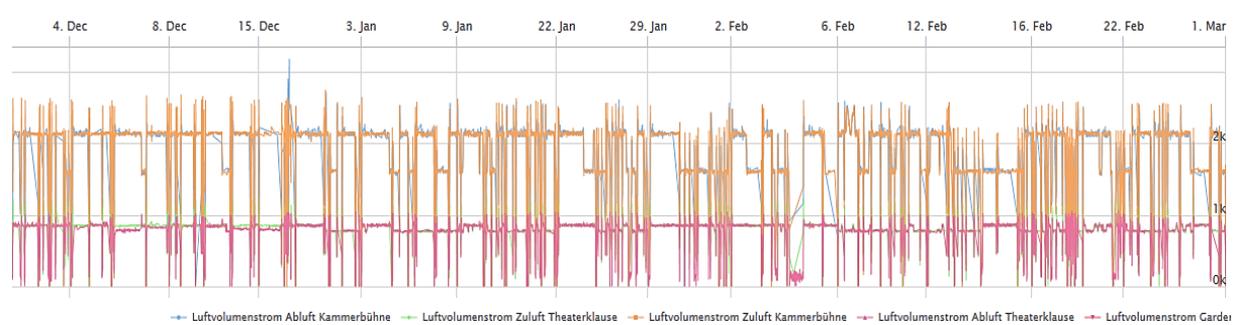


Abb.188 Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Dez. 2015 – Februar 2016, [m³/h]

Luftvolumenstrom RLT-Anlage März – Juni 2016 Ergänzungsbau Nord(ost)



Abb.189 Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), März – Juni 2016, [m³/h]

Die Messwerte der Luftvolumenströme nach dem ersten Referenzjahr in September 2016 bis Januar 2017 zeigen eine erste Optimierung und bedarfsgerechte Anpassung der Luftvolumenströme (Abb.190-191).

Luftvolumenstrom RLT-Anlage September – November 2016 Ergänzungsbau Nord(ost)

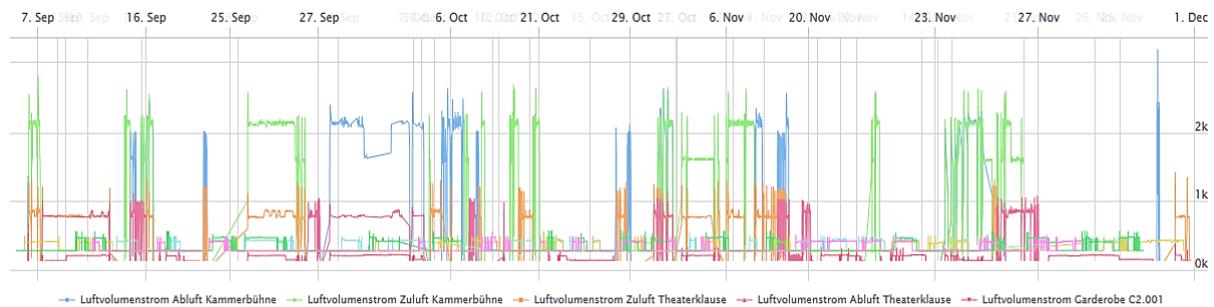


Abb.190 Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), September – November 2016, [m³/h]

Luftvolumenstrom RLT-Anlage Dezember 2016 – Januar 2017 Ergänzungsbau Nord(ost)

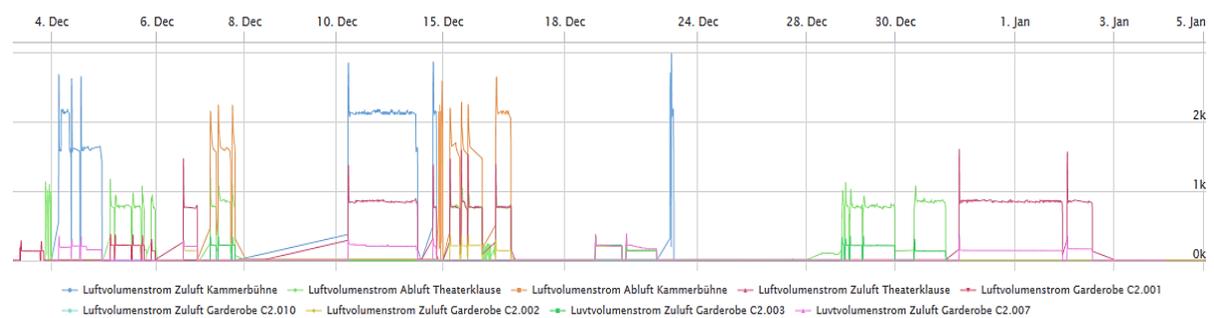


Abb.191 Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Dezember 2016 – Januar 2017, [m³/h]

3.2.2.3 Heizung

Gas- und Wärmeverbrauch Brennwertkessel 185 kW (Erdgas) und einzelne Heizkreise

Der gesamte abgelesene Gasverbrauch für den Zeitraum vom 1.1.2016 bis 31.12.2016 beträgt 123.154,62 kWh/a. Insgesamt wurde in allen Heizkreisen eine Wärmeerzeugung von 117.706,00 kWh/a gemessen. Der Unterschied zwischen Wärmeerzeugung und Gasverbrauch beträgt 5.448,62 kWh/a (4,4 %).

Monat	WMZ HKo1 Foyer Süd(west)	WMZ HKo2 Bühne	WMZ HKo3 Bünnenhaus	WMZ HKo4 Saal und Ergänzungsbau Nord(ost)	WMZ HKo5 Vorfoyer Nordwest	WMZ HKo6 Erhitzer RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost)	WMZ HKo6 Erhitzer RLT-Anlage Hauptgebäude	Gesamt	Gas (Ablesung)	Unterschied
Jan 16	5.687,00	2.381,00	6.742,00	4.905,00	3.649,00	833,00	3.007,00	27.204,00		
Feb 16	3.600,00	1.742,00	4.360,00	3.438,00	2.503,00	885,00	2.788,00	19.316,00		
Mrz 16	2.175,00	1.597,00	4.057,00	3.171,00	2.594,00	558,00	1.964,00	16.116,00		
Apr 16	415,00	715,00	2.644,00	2.051,00	1.632,00	215,00	515,00	8.187,00		
Mai 16	16,00	654,00	529,00	477,00	258,00	142,00	354,00	2.430,00		
Jun 16	4,00	36,00	27,00	24,00	15,00	0,00	0,00	106,00		
Juli 16	2,00	33,00	35,00	28,00	13,00	0,00	0,00	111,00		
Aug 16	8,00	51,00	53,00	77,00	25,00	0,00	0,00	214,00		
Sep 16	0,00	60,00	39,00	97,00	25,00	7,00	7,00	235,00		
Okt 16	950,00	1.096,00	2.089,00	1.744,00	1.796,00	338,00	1.073,00	7.286,00		
Nov 16	2.985,00	1.582,00	4.242,00	2.365,00	2.826,00	1.190,00	1.484,00	16.674,00		
Dez 16	4.001,00	1.333,00	5.208,00	3.619,00	2.219,00	494,00	1.153,00	18.027,00		
Jahr 16	19.843,00	11.280,00	30.025,00	21.996,00	17.555,00	4.662,00	12.345,00	117.706,00	123.154,62	5.448,62 (4,4 %)

Tab.50 Wärmemengezählung (Erzeugung) Heizkreise 1-6 und Gasverbrauch vom 1.1.2016 bis 31.12.2016, [kWh]

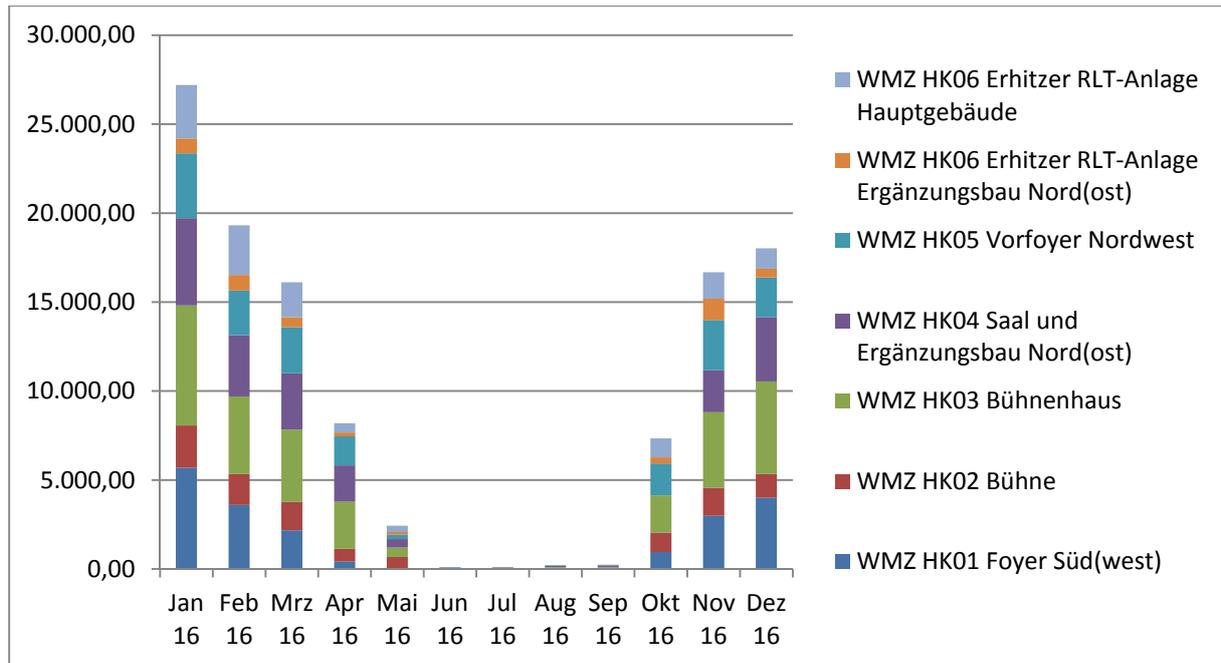


Abb.192 Wärmemengezählung (Erzeugung) Heizkreise 1-6 und Gasverbrauch vom 1.1.2016 bis 31.12.2016, [kWh]

Vorlauf- und Rücklauftemp. Kessel und Erhitzer RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost)

In den Abbildungen 193-197 wird die gemessene Vorlauf- und Rücklauf-temperatur des Kessels und des Erhitzers in der RLT-Anlage für den Ergänzungsbau Nord(ost) dargestellt. Die Vorlauf- und Rücklauf-temperatur des Kessels wird in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur reguliert.

Der Kessel wird leistungsgeregelt. Sollte einer der Abnehmer (Heizkreise) Wärmebedarf haben, wird der Kessel angefordert. So kann es auch sein, dass die Kesseltemperatur durch geringe Leistungsabnahme sehr schnell ansteigt und der Kessel nach Abschaltung noch „nachbrennt“. Die hohe Temperatur sorgt aber auch für eine kleinere Kesseltaktung bei geringem Wärmebedarf (im Sommer).

Der Heizkreis für den Heizregister der RLT-Anlagen wurde für die Vorlauf-temperatur 80 °C und Rücklauf-temperatur 40 °C ausgelegt, die RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) $\Delta t = 60/30$ K. Die Vorlauf-temperatur der RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) wurde nur im Sommer gemessen und beträgt überwiegend unter 30 °C. Die Rücklauf-temperatur der RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) beträgt ganzjährig zwischen 25-40 °C, mit der Ausnahme der kältesten Tage im Winter, wo sie bis 65 °C steigt. Im Winter beträgt sie im Durchschnitt zwischen 20-40 °C, im Sommer beträgt sie unter 30 °C.

Vorlauf- und Rücklauf-temperatur Jahresverlauf Kessel und RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost)

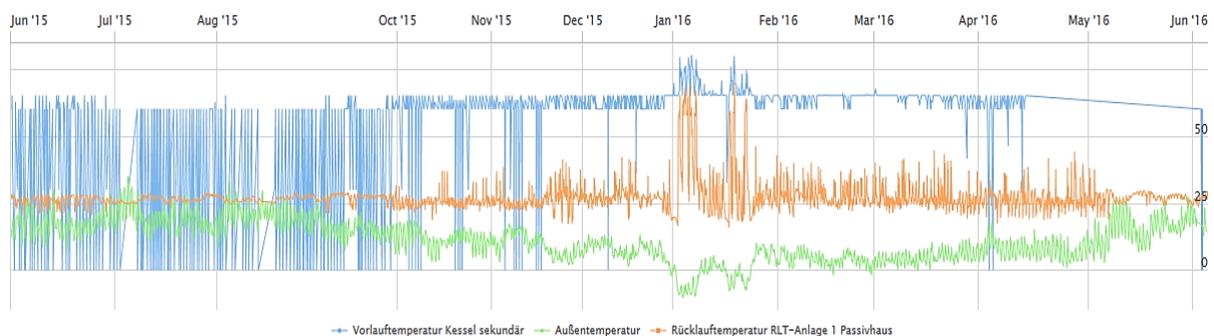


Abb.193 Vorlauf-temperatur Kessel und Rücklauf-temperatur RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost), Referenzjahr, [°C]

Vorlauf- /Rücklauf temp. Kessel und RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Dez. 2015 – Jan. 2016

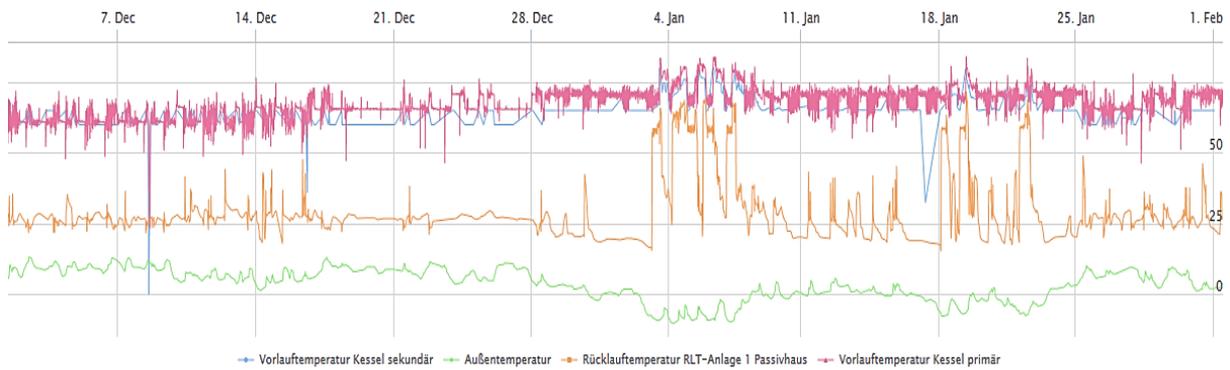


Abb.194 Vorlauf- und Rücklauf temperatur Kessel und RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost), Referenzjahr, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf temperatur Kessel Juli – August 2015

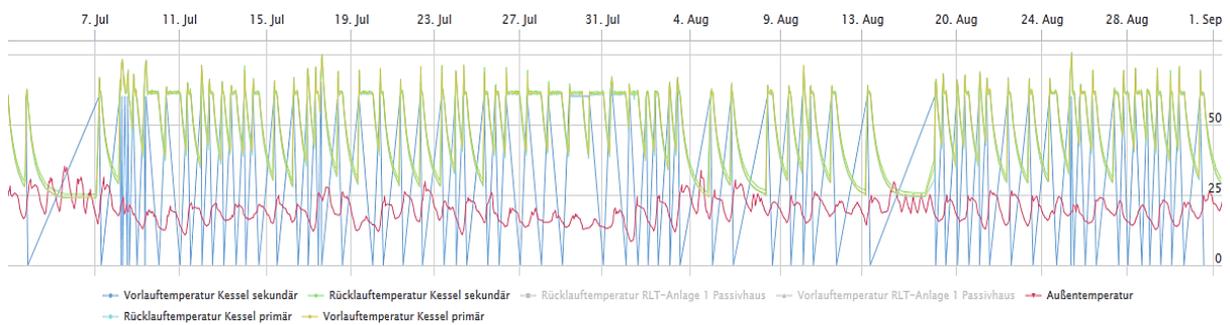


Abb.195 Vorlauf- und Rücklauf temperatur Kessel Juli – August 2015, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf temperatur RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Juli – August 2015

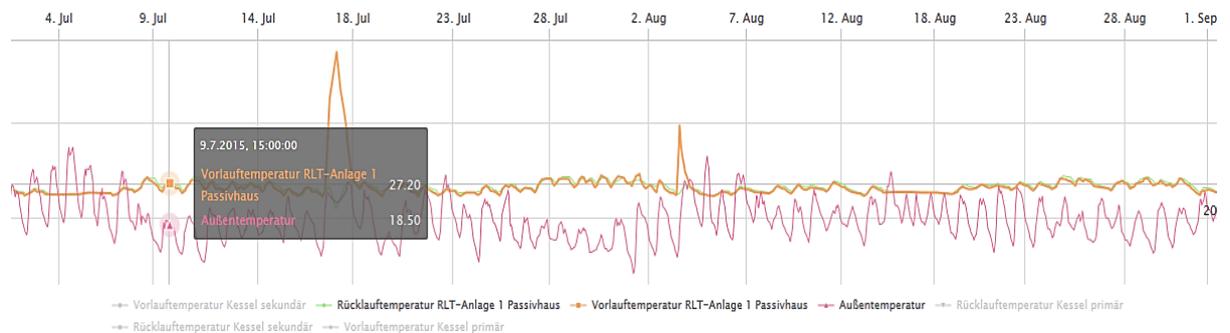


Abb.196 Vorlauf- und Rücklauf temperatur RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost), Juli – August 2015, [°C]

Vorlauf- /Rücklauf temperatur RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Dezember 2016



Abb.197 Vorlauf- und Rücklauf temperatur RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost), Dezember 2016, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf­temperatur HK01 Ergänzungsbau Süd(west)

In den Abbildungen 198-200 wird die gemessene Vorlauf- und Rücklauf­temperatur des Heizkreises 01 Ergänzungsbau Empfangshalle Süd(west) dargestellt.

Die Vorlauf- und Rücklauf­temperatur des Heizkreises 01 wird in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur reguliert und wurde im Referenzjahr zwischen 20-72 °C gemessen (Auslegung Heizkreis 01 $\Delta t = 80/60$ K). Die Spitzen der Vorlauf­temperatur bei den niedrigsten Außentemperaturen im Januar 2016 betragen bis zu 72 °C. Im Sommer wurden Temperaturen zwischen 25-40 °C gemessen. Die Zähler sind an den Heizrohren im Kesselraum eingebaut und können im Sommer von dem Raumtemperaturen beeinflusst werden.

Vorlauf- und Rücklauf­temperatur im Jahresverlauf HK 01 Ergänzungsbau Süd(west)

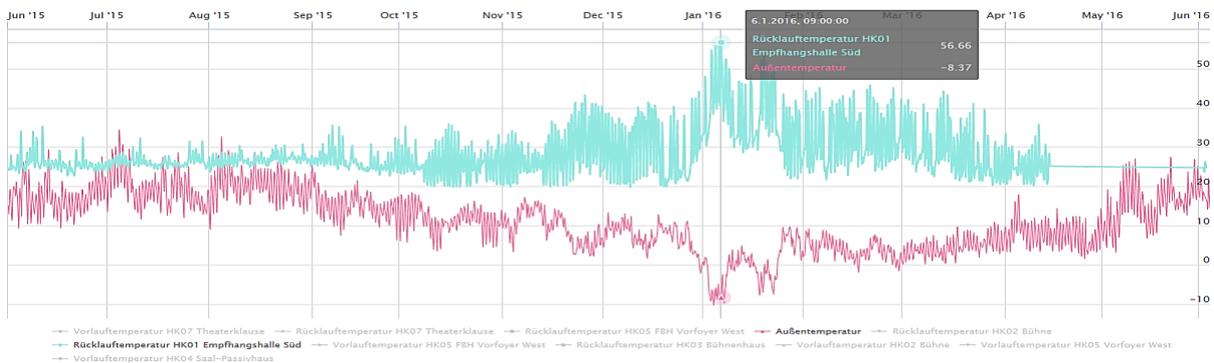


Abb.198 Vorlauf- und Rücklauf­temperatur Ergänzungsbau Süd(west), Referenzjahr, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf­temperatur Dezember 2015 – Januar 2016 HK01 Ergänzungsbau Süd(west)

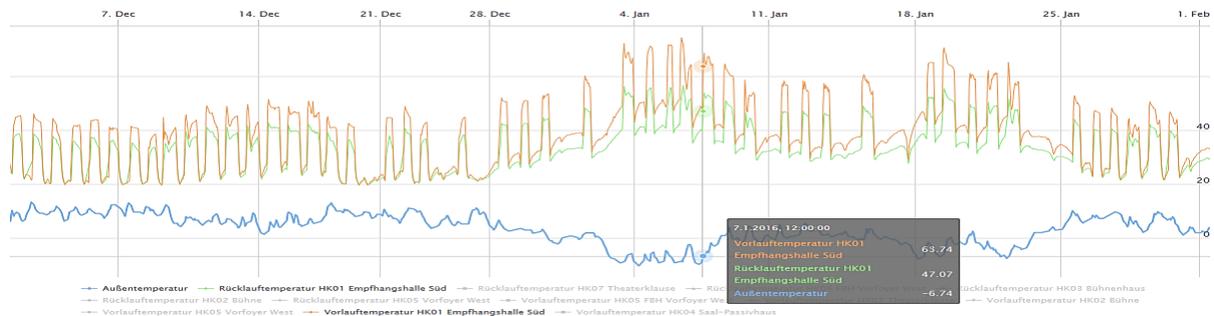


Abb.199 Vorlauf- und Rücklauf­temperatur Ergänzungsbau Süd(west), Dezember 2015 – Januar 2016, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf­temperatur Juli – August 2015 HK01 Ergänzungsbau Süd(west)

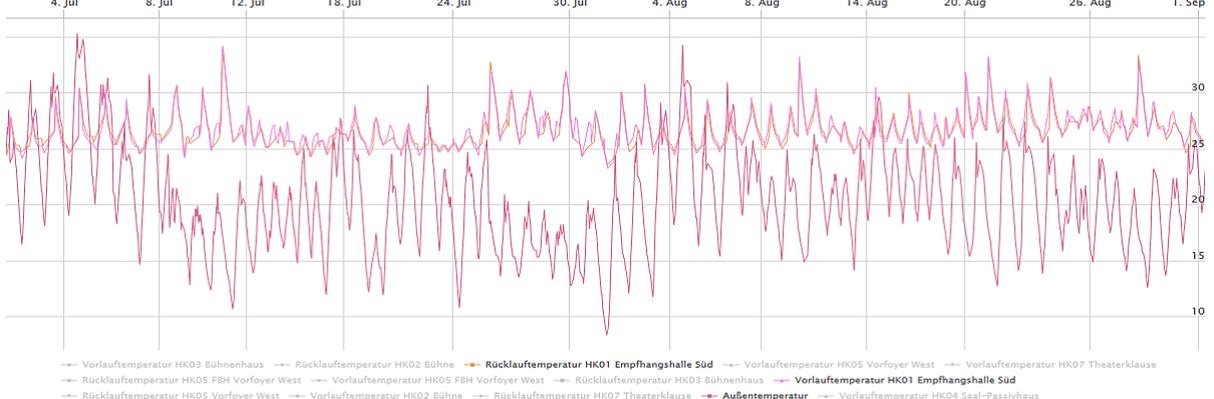


Abb.200 Vorlauf- und Rücklauf­temperatur Ergänzungsbau Süd(west), Juli – August 2015, [°C]

Vorlauf- und Rücklauftemperatur HKo2 Bühne

In den Abbildungen 201-203 wird die gemessene Vorlauf- und Rücklauftemperatur des Heizkreises o2 Bühne dargestellt.

Die Vorlauf- und Rücklauftemperatur des Heizkreises o2 wird in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur reguliert und wurde im Referenzjahr zwischen 20-65 °C gemessen (Auslegung Heizkreis o2 $\Delta t = 80/65$ K). Die Spitzen der Vorlauftemperatur bei den niedrigsten Außentemperaturen im Januar 2016 betragen bis zu 65 °C. Im Sommer wurden Temperaturen zwischen 25-30 °C gemessen. Die Zähler sind an den Heizrohren im Kesselraum eingebaut und können im Sommer von den Raumtemperaturen beeinflusst werden.

Die Messung zeigt eine Absenkung der Vorlauf- und Rücklauftemperatur während der Weihnachtsferien zwischen 29.12.2015 – 3.1.2016 – die Regelung der Bühnenbeheizung ist einfach über Display Raumregler im Schrank im Heizraum bedienbar. Bei einfachen Bedienungen der Technik sind die Nutzer bereit, der Energieeinsparung zu folgen. Am besten wäre eine zentrale Bedieneinheit zur bedarfsgerechten Regelung aller technischen Anlagen mit dem Ziel der Optimierung zur Energieeinsparung.

Vorlauf- und Rücklauftemperatur im Jahresverlauf HKo2 Bühne

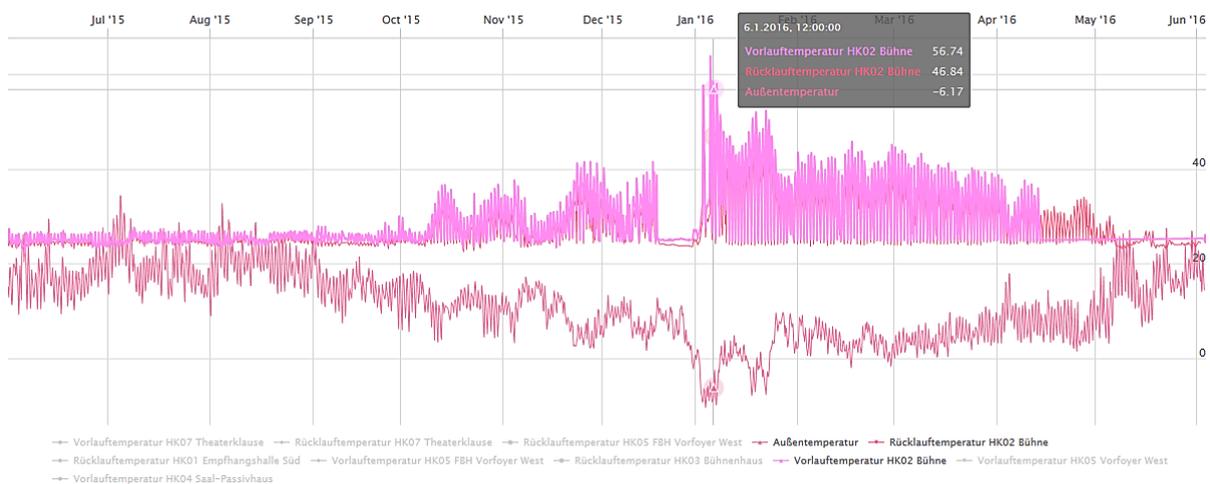


Abb.201 Vorlauf- und Rücklauftemperatur HKo2 Bühne, Referenzjahr, [°C]

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Dezember 2015 – Januar 2016 HKo2 Bühne

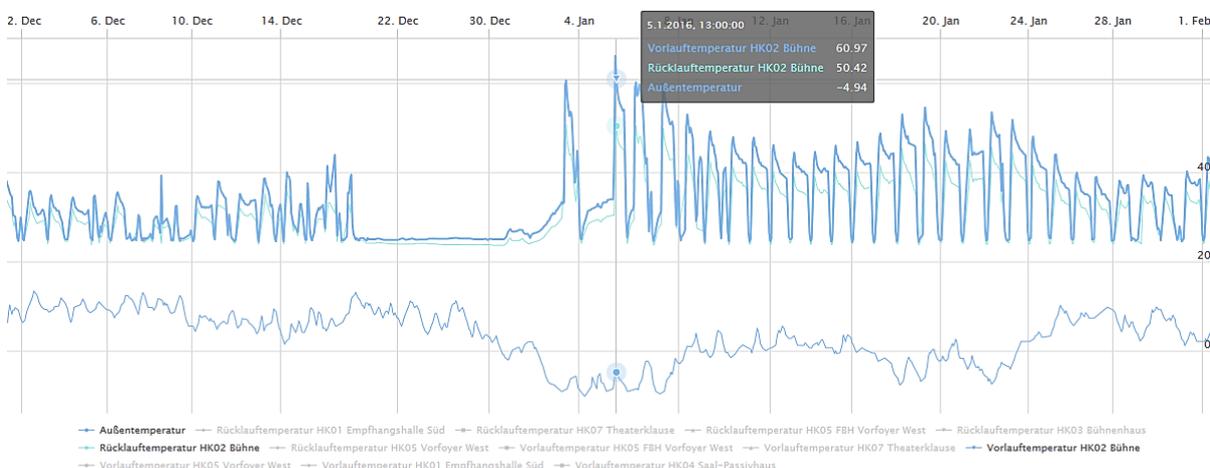


Abb.202 Vorlauf- und Rücklauftemperatur HKo2 Bühne, Dezember 2015 – Januar 2016, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf-temperatur Juli – August 2015 HKo2 Bühne



Abb.203 Vorlauf- und Rücklauf-temperatur HKo2 Bühne, Juli – August 2015, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf-temperatur HKo3 Bühnenhaus

In den Abbildungen 204-206 wird die gemessene Vorlauf- und Rücklauf-temperatur des Heizkreises 03 Bühnenhaus dargestellt.

Die Vorlauf- und Rücklauf-temperatur des Heizkreises 03 wird in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur reguliert und wurde im Referenzjahr zwischen 23-65 °C gemessen (Auslegung Heizkreis 03 $\Delta t = 70/40$ K). Die Spitzen der Vorlauf-temperatur bei den niedrigsten Außentemperaturen im Januar 2016 betragen bis zu 65 °C.

Im Sommer wurden Temperaturen zwischen 23-30 °C gemessen. Die Zähler sind an den Heizrohren im Kesselraum eingebaut und können im Sommer von dem Raumtemperaturen beeinflusst werden.

Die Messung zeigt eine Absenkung der Vorlauf- und Rücklauf-temperatur während der Weihnachtsferien zwischen 29.12.2015 – 3.1.2016 – die Regelung der Bühnenbeheizung ist einfach über Display Raumregler im Schrank im Heizraum bedienbar. Bei einfachen Bedienungen der Technik sind die Nutzer bereit, der Energieeinsparung zu folgen. Am besten wäre eine zentrale Bedieneinheit zur bedarfsgerechten Regelung aller technischen Anlagen mit dem Ziel der Optimierung zur Energieeinsparung.

Vorlauf- und Rücklauf-temperatur im Jahresverlauf HKo3 Bühnenhaus

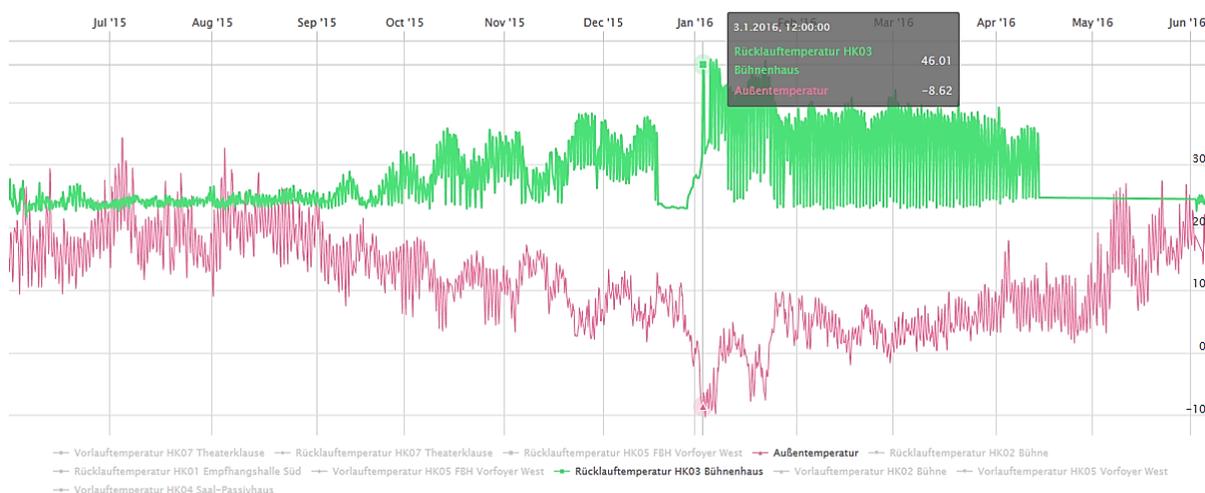


Abb.204 Vorlauf- und Rücklauf-temperatur HKo3 Bühnenhaus, Referenzjahr, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf Temperatur Dezember 2015 – Januar 2016 HK03 Bühnenhaus

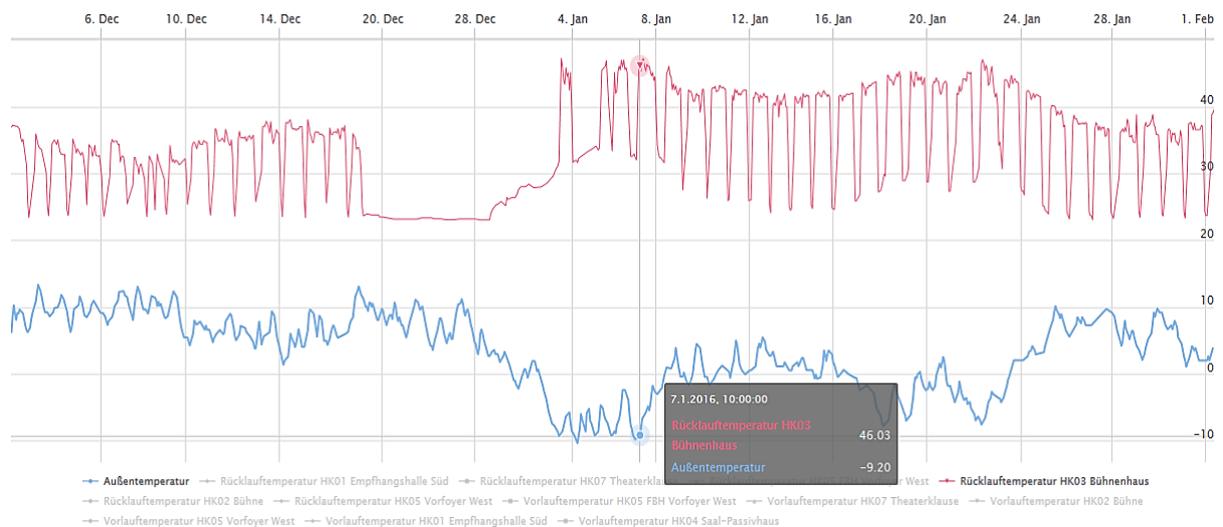


Abb.205 Vorlauf- und Rücklauf Temperatur HK03 Bühnenhaus, Dezember 2015 – Januar 2016, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf Temperatur Juli – August 2015 HK03 Bühnenhaus



Abb.206 Vorlauf- und Rücklauf Temperatur HK03 Bühnenhaus, Juli – August 2015, [°C]

Vorlauftemperatur HK04 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost)

In den Abbildungen 207-209 wird die gemessene Vorlauftemperatur des Heizkreises 04 Saal und Passivhaus dargestellt.

Die Vorlauf- und Rücklauf Temperatur des Heizkreises 04 wird in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur reguliert und wurde im Referenzjahr zwischen 20-68 °C gemessen (Auslegung Heizkreis 04 $\Delta t = 70/40$ K). Die Spitzen der Vorlauftemperatur bei den niedrigsten Außentemperaturen im Januar 2016 betragen bis zu 68 °C.

Im Sommer wurden Temperaturen zwischen 22-35 °C gemessen. Die Zähler sind an den Heizrohren im Kesselraum eingebaut und können im Sommer von dem Raumtemperaturen beeinflusst werden.

Vorlauftemperatur im Jahresverlauf HK04 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost)

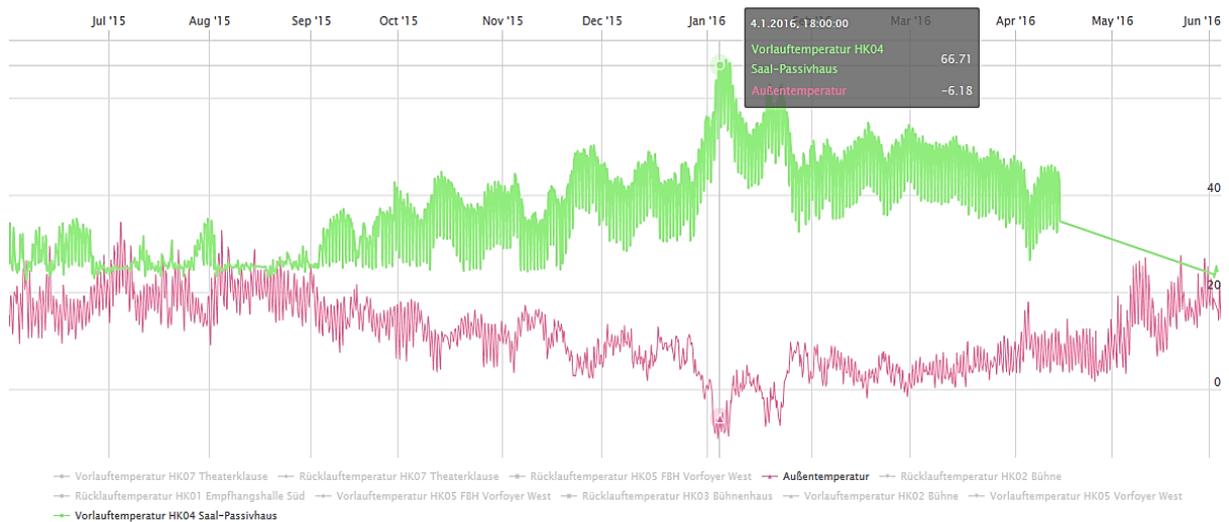


Abb.207 Vorlauftemperatur HK04 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost), Referenzjahr, [°C]

Vorlauftemperatur Dezember 2015 – Januar 2016 HK04 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost)

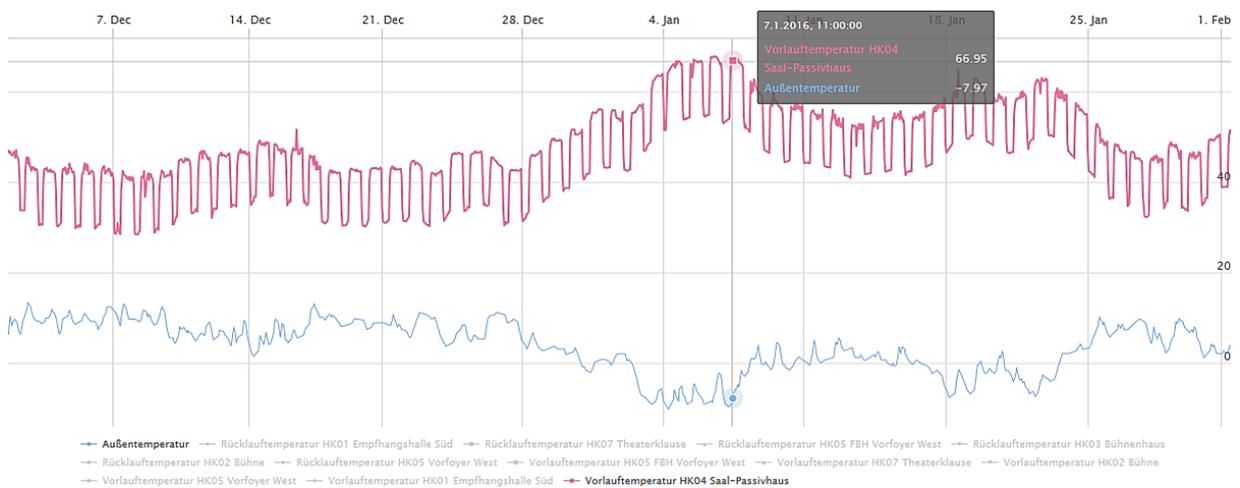


Abb.208 Vorlauftemperatur HK04 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost), Dezember 2015 – Januar 2016, [°C]

Vorlauftemperatur Juli – August 2015 HK04 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost)



Abb.209 Vorlauftemperatur HK04 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost), Juli – August 2015, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf­temperatur FBH Theater­klaus­e

In den Abbildungen 210-212 wird die gemessene Vorlauf­temperatur der Fußboden­heizung Theater­klaus­e dargestellt.

Die Vorlauf- und Rücklauf­temperatur der Fußboden­heizung wird in Abhängigkeit von der Außenluft­temperatur reguliert und wurde im Referenz­jahr zwischen 20-35 °C gemessen (Auslegung Heizkreis 04 $\Delta t = 50/30$ K). Die Spitzen der Vorlauf­temperatur bei den niedrigsten Außen­temperat­uren im Januar 2016 betragen bis zu 35 °C.

Im Sommer wurden Temperaturen zwischen 20-30 °C gemessen. Die Zähler sind an den Heizrohren im Kesselraum eingebaut und können im Sommer von dem Raum­temperat­uren beeinflusst werden.

Vorlauf- und Rücklauf­temperatur im Jahres­verlauf FBH Theater­klaus­e



Abb.210 Vorlauf- und Rücklauf­temperatur FBH Theater­klaus­e, Referenz­jahr, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf­temperatur Dezember 2015 – Januar 2016 FBH Theater­klaus­e

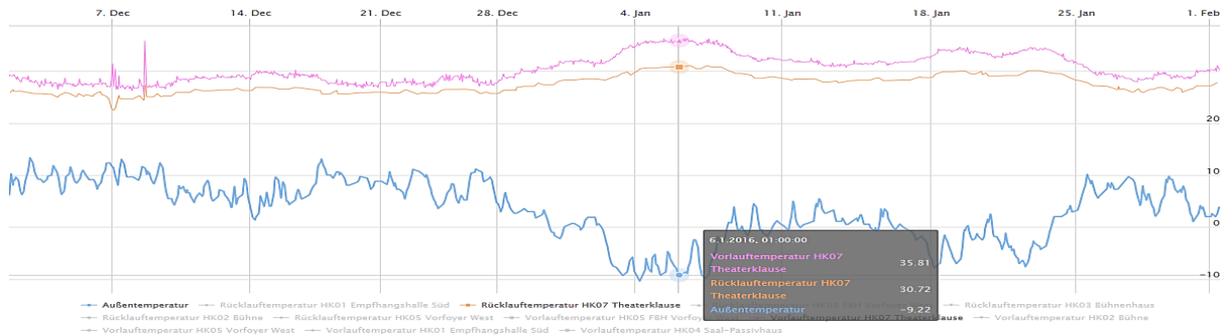


Abb.211 Vorlauf- und Rücklauf­temperatur FBH Theater­klaus­e, Dezember 2015 – Januar 2016, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf­temperatur Juli – August 2015 FBH Theater­klaus­e

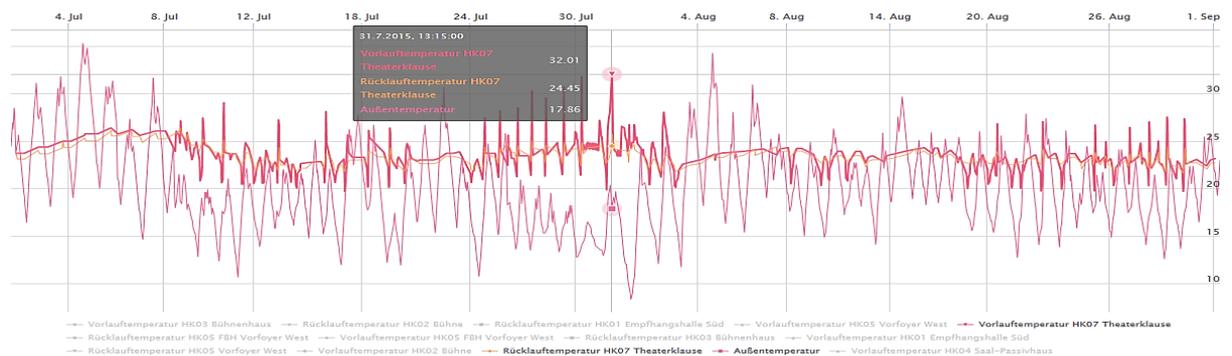


Abb.212 Vorlauf- und Rücklauf­temperatur FBH Theater­klaus­e, Juli – August 2015, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf temperatur HK05 Vorfoyer Nordwest

In den Abbildungen 213-218 wird die gemessene Vorlauf- und Rücklauf temperatur des Heizkreises 05 Vorfoyer Nordwest, sowie der Fußbodenheizung separat dargestellt.

Die Vorlauf- und Rücklauf temperatur des Heizkreises 05 wird getrennt für die Niedertemperatur Fußbodenheizung und Radiatoren in der Verwaltung erfasst und in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur reguliert.

Die Vorlauf- und Rücklauf temperatur der Radiatoren wurde im Referenzjahr zwischen 20-63 °C gemessen (Auslegung Heizkreis 05 $\Delta t = 70/40$ K). Die Spitzen der Vorlauf temperatur bei den niedrigsten Außentemperaturen im Januar 2016 betragen bis zu 63 °C.

Im Sommer wurden Temperaturen zwischen 22-35 °C gemessen. Die Zähler sind an den Heizrohren im Kesselraum eingebaut und können im Sommer von dem Raumtemperaturen beeinflusst werden.

Die Vorlauf- und Rücklauf temperatur der Fußbodenheizung wurde im Referenzjahr zwischen 25-45 °C gemessen (Auslegung Heizkreis 05 $\Delta t = 50/42$ K). Die Spitzen der Vorlauf temperatur bei den niedrigsten Außentemperaturen im Januar 2016 betragen bis zu 45 °C.

Im Sommer wurden Temperaturen zwischen 22-35 °C gemessen. Die Zähler sind an den Heizrohren im Kesselraum eingebaut und können im Sommer von dem Raumtemperaturen beeinflusst werden.

Vorlauf temperatur im Jahresverlauf HK05 Vorfoyer Nordwest

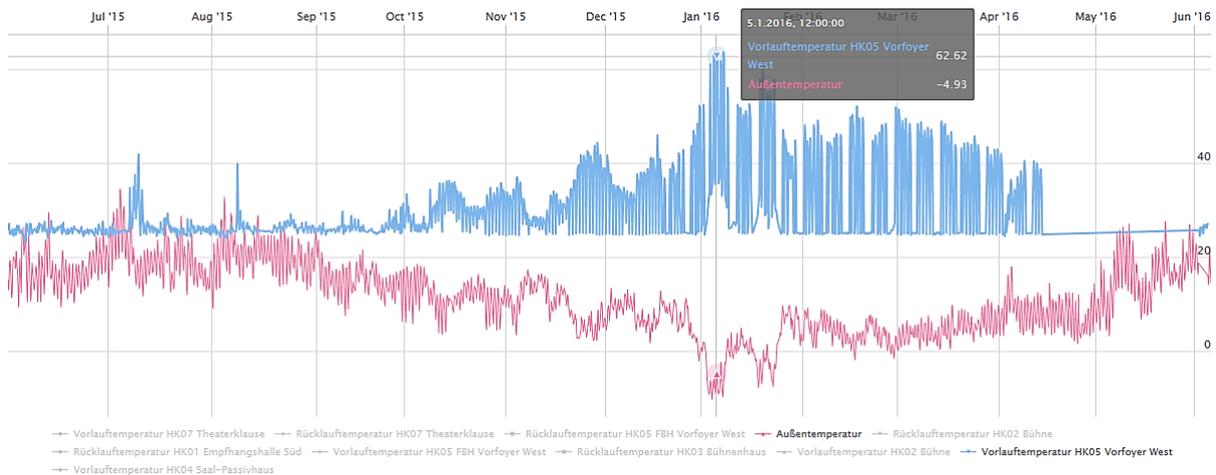


Abb.213 Vorlauf temperatur HK05 Vorfoyer Nordwest, Referenzjahr, [°C]

Vorlauf- und Rücklauf temperatur im Jahresverlauf HK05 FBH Vorfoyer Nordwest

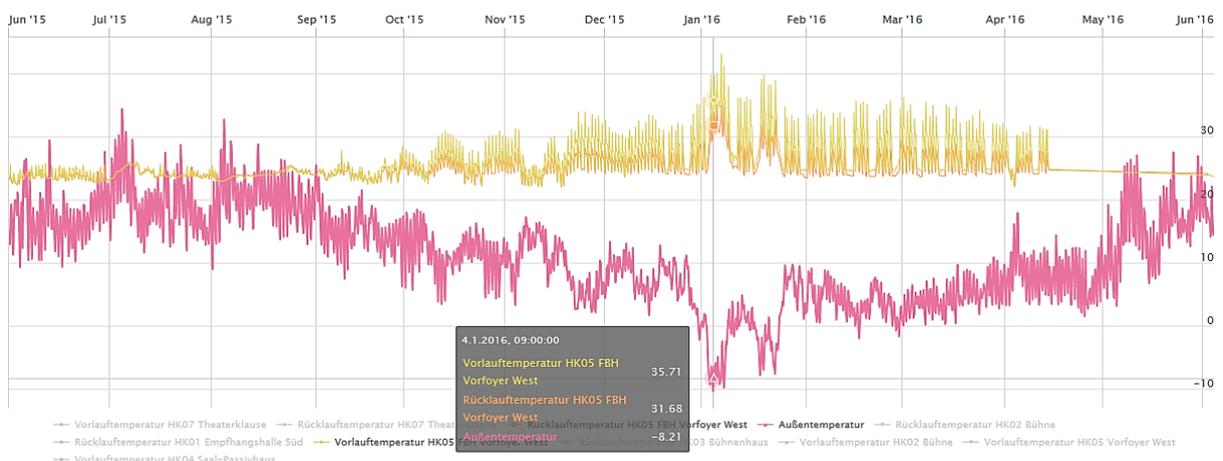


Abb.214 Vorlauf- und Rücklauf temperatur HK05 FBH Vorfoyer Nordwest, Referenzjahr, [°C]

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Dezember 2015 – Januar 2016 HK05 Vorfoyer Nordwest

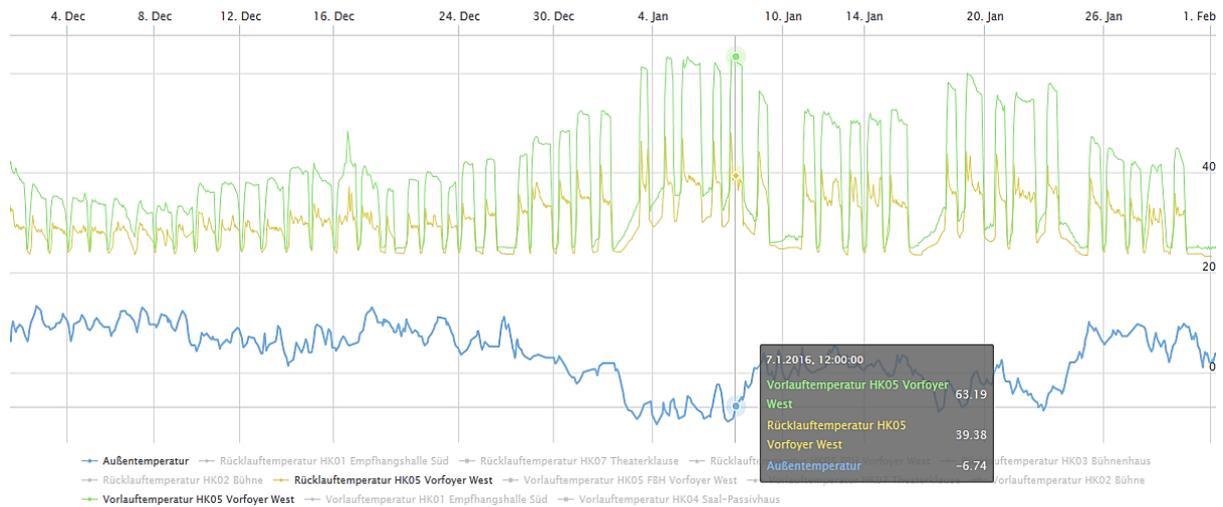


Abb.215 Vorlauf- und Rücklauftemperatur HK05 Vorfoyer Nordwest, Dezember 2015 – Januar 2016, [°C]

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Dezember 2015 – Januar 2016 HK05 FBH Vorfoyer Nordwest

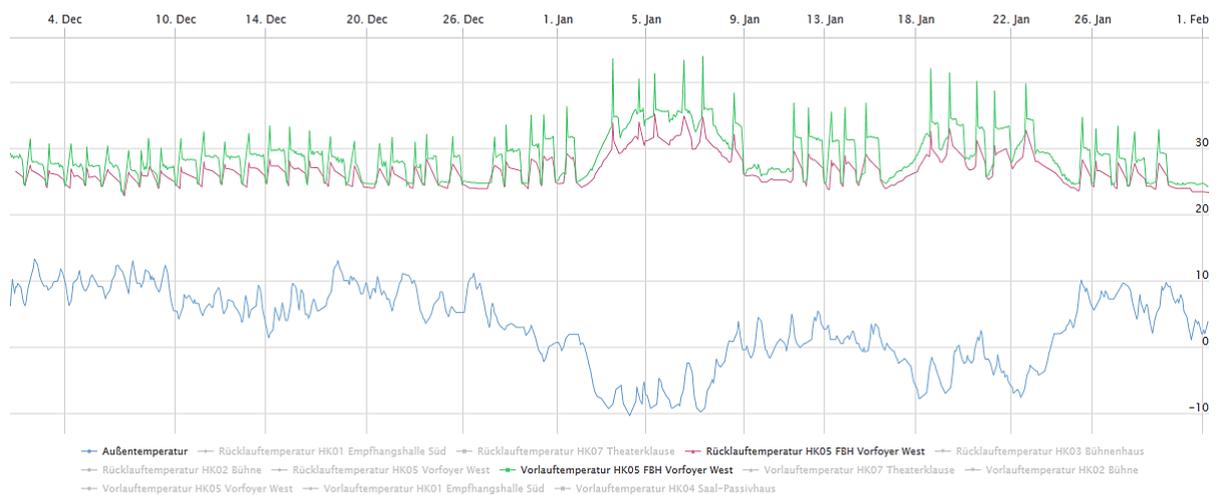


Abb.216 Vorlauf- und Rücklauftemperatur HK05 FBH Vorfoyer Nordwest, Dezember 2015 – Januar 2016, [°C]

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Juli – August 2015 HK05 Vorfoyer Nordwest

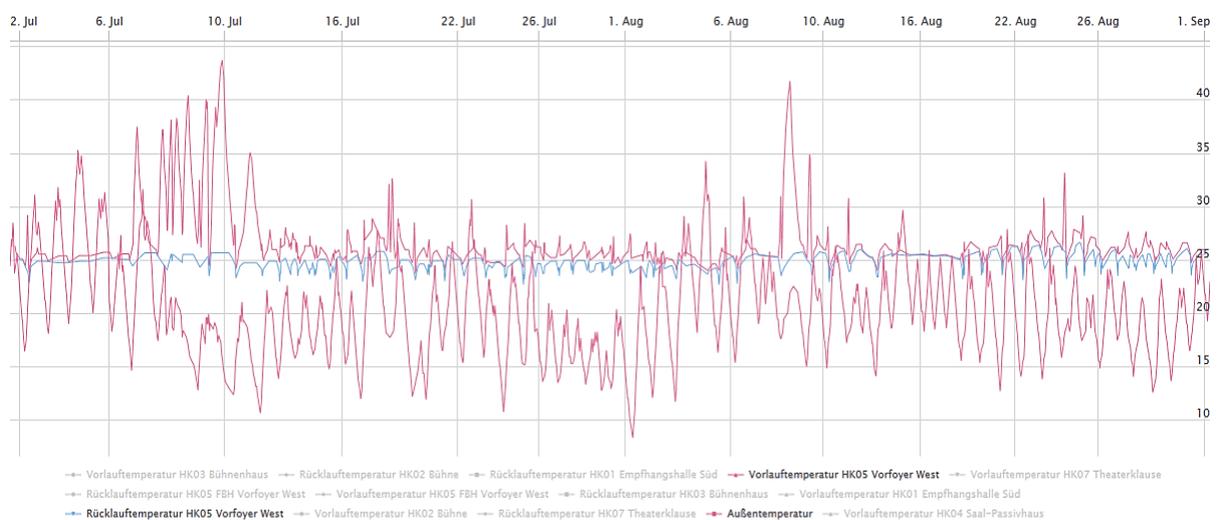


Abb.217 Vorlauf- und Rücklauftemperatur HK05 Vorfoyer Nordwest, Juli – August 2015, [°C]

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Juli – August 2015 HK05 FBH Vorfoyer Nordwest

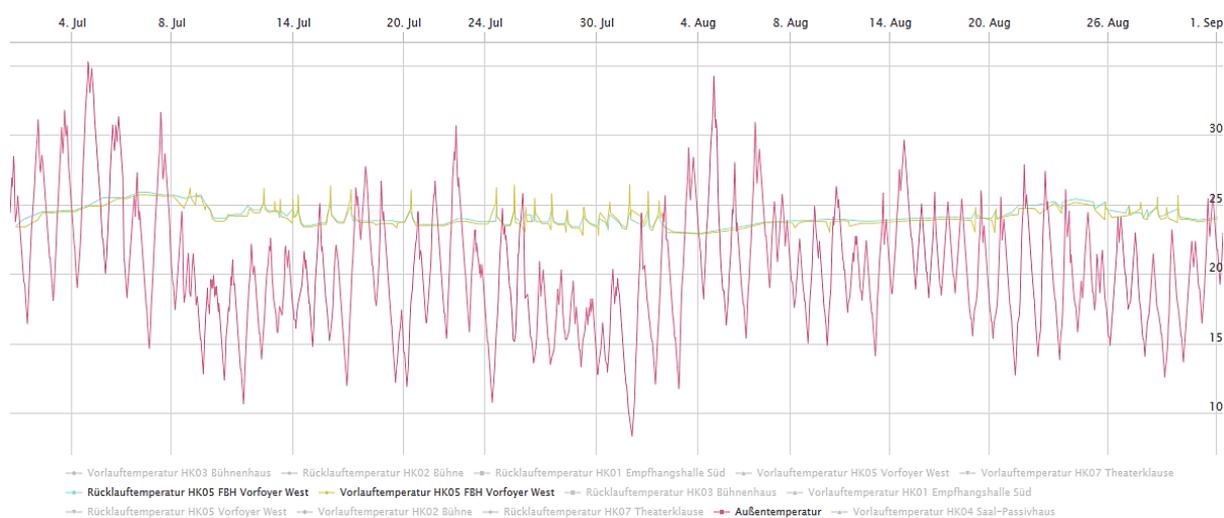


Abb.218 Vorlauf- und Rücklauftemperatur HK05 FBH Vorfoyer Nordwest, Juli – August 2015, [°C]

3.2.2.4 Elektro-Zähler

Die Tabellen 51 und 52 stellen die Stromverbraucher des Theatergebäudes und deren Verbräuche dar. Zur Auswertung wird das letzte gemessene Jahr 2016 genutzt, da hier die Daten vollständig vorliegen. Insgesamt wurde 25 % des Stromverbrauchs (15.577,00 kWh/a aus 61.240,00 kWh/a) des Jahres 2016 messtechnisch erfasst. Der Stromverbrauch steigt in Wintermonaten und sinkt in Sommermonaten.

Aus wirtschaftlichen Gründen und wegen Planungsänderungen im Zuge der Ausführung konnten nicht alle maßgeblichen Verbraucher erfasst werden. Die Messergebnisse bei den gemessenen Stromkreisen lassen vermuten, dass das nachträglich nach Erstellung des Messkonzeptes geplante und eingebaute Notstromaggregat (Wärmeentwicklung) für die Sprinkleranlage zu hohen Stromverbräuchen führt. Darüber hinaus sollte die Außenbeleuchtung, sowie die Bühnenbeleuchtung im Hinblick auf ihre Verbräuche überprüft werden.

Um den Stromverbrauch zu reduzieren, konnten Synergien zwischen der 2016 neu eingebauten regenerativen Energieversorgung der Hochschule Wismar, z. B. die Mitnutzung der neuen BHKW Anlage der Hochschule Wismar für die Notstromversorgung genutzt werden.

Weiterhin wäre optimal, den E-Zähler M-Bus fähig zu machen.

Bei den technischen Anlagen (NSHV) wurden die RLT-Anlagen und die GLT-Heizung erfasst. Die RLT-Anlagen verbrauchten 6.123,00 kWh/a, die GLT-Heizung 2.343,00 kWh/a.

In NSHV wurden nicht erfasst; Zentrale GLT, UV Foyer (alt), Dimmer Raum A 1.14 (Zentrales Batteriesystem), Dimmer Raum A 2.14 (Hauptverteilung), Dimmer Raum A 2.17 (Vorraum Beleuchterkabine), SiBe Raum A 1.14/1, BMA Raum A 1.16 (Brandmeldezentrale), ELA Raum A 1.16, Datenschrack A 1.16, Lüfter Raum A 1.14/1, Reserve, Beleuchtung Raum A 1.14, 1.15 (Hausanschluss), 1.16, 2.18 (Schneiderei), 2.19 (Findus), Beleuchtung Außen, DCF Antenne, Fühler, Steckdose Raum A 1.14, 1.15, 1.16, 2.18, Reserve A 2.19, UV8 (Dimmerraum über Loge A 2.17) – Kraftsteckdose, Steckdose Dimmer, UV9 (Dimmerraum über Loge A 2.14) – Kraftsteckdose, Steckdose Dimmer, UV10 (Zentrales Batteriesystem A 1.14) – Kraftsteckdose, Steckdose Dimmer.

Bei der Bühnentechnik Hauptsaal wurden mehrere Steckdosen und Kraftsteckdosen (für Beleuchtung, Scheinwerfer, Licht, Ton, frei verfügbar), sowie Beleuchtung Bühne, linke und

rechte Seite, UV Bühnentechnik Seitenbühne Werkstatt (UV 7) erfasst. Insgesamt wurde 6.281,00 kWh/a gemessen.

In UV 2-5 wurden nicht erfasst; UV2 Beleuchtung: A 1.10 (Saal), A 1.19 (Loge), A 1.20 (Umgang Bühne), A 1.22 (Seitenbühne), A 2.14 (Hauptverteilung), A 2.15 (Beleuchterkabine), UV2 Netzanschluss RWA: A 1.10 (Saal), A 1.12 (Szenenfläche), Beamer BMA, Notbeleuchtung SK 3, SK 4, Reserve, UV3 Beleuchtung: A 1.11 (Vorbühne), A 1.12 (Szenenfläche), A 1.13 (Seitenbühne), A 1.16 (Brandmeldezentrale), A 1.17 (Loge), A 1.18 (Umgang Bühne), A 2.17 (Vorraum der Beleuchterkabine), UV3 Netzanschluss: Bühnenvorhang, Beamer BMA, Notbeleuchtung SK 3, SK 4, Reserve, UV4: Steckdose A 1.07 (Vorraum Technik), A 1.09 (Lichtregie), A 1.10 (Saal), Beleuchtung A 1.10 (Saal), Netzanschluss Tür A 2.10, A 2.11 (Treppenhaus Vorfoyer, Flur vor Balkon), Reserve, UV5 Beleuchtung: A 1.07 (Vorraum Technik), A 1.08 (Tonregie), A 1.09 (Lichtregie), A 2.13 (Balkon), Lüfter A 1.09 (Lichtregie), Reserve.

Bei der Bühnentechnik Kammerbühne (UV 6) wurden zwei Steckdosen für Beleuchtung erfasst. Insgesamt wurde 267,00 kWh/a gemessen.

In UV 6 wurden nicht erfasst; Beleuchtung, Steckdose: C 1.01 (Kammerbühne), C 1.02 (Vorbereitung), Reserve.

In UV 7 wurden Durchlauferhitzer für die Warmwassererzeugung in den Duschen (Garderoben) erfasst. Insgesamt wurde 177,00 kWh/a gemessen.

In UV 7 wurden nicht erfasst; Beleuchtung: C 2.01, 2.02, 2.03 (Garderoben), C 2.07, 2.10, 2.12 (Garderoben), C 2.13 (Flur vor Garderoben), C 2.21 Flur EG + Treppenhaus, A 0.01 (Unterführung Bühne), A 0.02 (Orchestergraben), A 0.03 (Technik), A 0.04 (Lager), A 1.23 (Zentrale GLT), A 1.24 (Zentrale Nasssprühanlage), A 1.25 (Lager Requisiten), A 1.26 (Lager Requisiten), A 1.28 (Lager unter Treppen), A 2.21 (Flur vor Technikbüro), A 2.22, 2.23 (Garderoben), A 2.24 (Personal Technik), A 2.25 (Leiter Technik), Steckdosen: A 1.23 (Zentrale GLT), A 1.24 (Zentrale Nasssprühanlage), A 1.25 (Lager Requisiten), A 1.26 (Lager Requisiten), A 1.28 (Lager unter Treppen), C 2.01, 2.02, 2.03 (Garderoben), C 2.07, 2.10, 2.12 (Garderoben), C 2.05, 2.06, 2.08, 2.09, 2.11 (Dusche), C 2.13 (Flur vor Garderoben), A 2.20 (Treppenhaus), A 2.21 (Flur vor Technikbüro), A 2.22, 2.23 (Garderoben), A 2.24 (Personal Technik), A 2.25 (Leiter Technik), Netzteil Koppler A 1.25 (Lager Requisiten), Bewegungsmelder, Ausschalter, Wechselschalter, RWA Raum A 2.20 (Treppenhaus), Inspizient Raum A 1.22 (Seitenbühne), Netzanschluss Tür Raum A 0.01, A 0.02 (Unterführung Bühne, Orchestergraben), Fußbodenheizung und Ansteuerung von GLT C 2.05, 2.06, 2.08, 2.09, 2.11 (Duschen), Notbeleuchtung SK 1, SK 2, SK 9, SK 10, SK 15, SK 16, SK 17, SK 18, Reserve, ELA SK 6, ELA SK 7, BMA Ring EG, BMA Ring OG, Beleuchtung: C 2.01, 2.02, 2.03 (Garderoben), C 2.07, 2.10, 2.12 (Garderoben), C 2.13 (Flur vor Garderoben), C 2.21 Flur EG + Treppenhaus, A 0.01 (Unterführung Bühne), A 0.02 (Orchestergraben), A 0.03 (Technik), A 0.04 (Lager), A 1.23 (Zentrale GLT), A 1.24 (Zentrale Nasssprühanlage), A 1.25 (Lager Requisiten), A 1.26 (Lager Requisiten), A 1.28 (Lager unter Treppen), A 2.21 (Flur vor Technikbüro), A 2.22, 2.23 (Garderoben), A 2.24 (Personal Technik), A 2.25 (Leiter Technik).

In der Theaterklausur (UV 1) wurden Steckdosen und Kraftanschluss Tresen (auch Durchlauferhitzer) und Steckdose Kraftanschluss Wand (Kochherd) erfasst. Insgesamt wurde 386,00 kWh/a gemessen. Beleuchtung der Theaterklausur wird nicht erfasst.

In UV 1 wurden nicht erfasst; Beleuchtung Theaterklausur, Beleuchtung, Netzanschluss Tür, RWA, Bewegungsmelder, Reserve, Steckdose, Kraftanschluss: C 1.04 (Flur vor Klausur), C 1.05/C 1.06 (WC+Vorraum D), C 1.07/C 1.08 (WC+Vorraum H), C 1.09 (Werkstatt), C 1.10 (Flur vor Werkstatt), A 1.01 (Vorfoyer), A 1.02 (Umgang), A 1.04 (Treppenhaus Vorfoyer), A 1.05 (Putzmittelraum), A 1.06 (Treppenhaus Vorfoyer), A 1.27 (Kasse), A 2.01 (Büro), A 2.02 (Büro), A 2.03 (Büro), A 2.04 (Galerie vor Büros), A 2.05 (Flur oben Vorfoyer), A 2.06 (Teeküche), A 2.07 (Treppenhaus Vorfoyer), A 2.08 (Flur oben Vorfoyer), A 2.09 (Abstellraum), A 2.10 (Treppenhaus Vorfoyer), A 2.11 (Flur vor Balkon), A 2.12 (Flur vor Balkon), A 2.13 (Balkon), Notbeleuchtung SK 5, SK 6, SK 11, SK 12, SK 13, SK 14, SK 19, SK 20, SK 21, SK 22, Reserve.

Theater Technik (NSHV)	Bühnentechnik Hauptsaal (UV 2, UV 3, UV 4, UV 5, UV 7)	Bühnentechnik Kammerbühne (UV 6)	Durchlauferhitzer Garderoben (UV7)	Theaterklausen (UV 1)
RLT Kammerbühne	Steckdosen – Scheinwerfer Balkon, Scheinwerfer für Dauerstrom, bewegte Scheinwerfer, Tonanlage und -pult, Beleuchtung, Beleuchtung für Orchesterpulte (UV 7), frei verfügbar	2 x Kraftsteckdosen Beleuchtung	Raum C2.08-10	Steckdosen und Kraftanschluss Tresen, Steckdose Kraftanschluss Wand (Kochherd)
RLT Saal	Kraftsteckdosen Licht, Ton, Kraftsteckdosen Szenenfläche Licht, Ton (UV 7)		Raum C2.05-06	
GLT Heizung	Beleuchtung linke und rechte Seite, Beleuchtung Bühne		Reserve	
Reserve	UV Bühnentechnik Seitenbühne Werkstatt (UV 7)			
Nicht erfasst (NSHV)	Nicht erfasst (UV 2, UV 3, UV 4, UV 5)	Nicht erfasst (UV 6)	Nicht erfasst (UV 7 – Garderoben, Orchestergr., Technikräume/-büros)	Nicht erfasst (UV 1 – Ergänzungsbau Passivhaus, Vorfoyer NW)
Zentrale GLT, UV Foyer (alt), DR A 1.14 (Zentr. Batteriesystem), DR A 2.14 (Hauptverteilung), DR A 2.17 (Vorraum Beleuchterkabine), SiBe Raum A 1.14, Datenschränk, ELA, BMA, Raum A 1.16 (Brandmeldezent.), Lüfter Raum A 1.14, Reserve, Beleuchtung Raum A 1.14, 1.15 (Hausanschluss), 1.16, 2.18 (Schneiderei), 2.19 (Findus), DCF Antenne, Fühler, Steckdose Raum A 1.14-1.16, 2.18, Reserve A 2.19, Beleuchtung Außen	UV2 Beleuchtung: A 1.10 (Saal), A 1.19 (Loge), A 1.20 (Umgang Bühne), A 1.22 (Seitenbühne), A 2.14 (Hauptverteilung), A 2.15 (Beleuchterkabine) UV2 Netzanschluss RWA: A 1.10 (Saal), A 1.12 (Szenenfläche), Beamer BMA Notbeleuchtung SK 3, SK 4 Reserve	Beleuchtung, Steckdose: C 1.01 (Kammerbühne) C 1.02 (Vorbereitung) Reserve	Beleuchtung: C 2.01-03, 07, 10, 12 (Garderoben), C 2.13 (Flur vor Garderoben), C 2.21 Flur EG + Treppenhaus, A 0.01 (Unterführung Bühne), A 0.02 (Orchestergraben), A 0.03 (Technik), A 0.04 (Lager), A 1.23 (Zentrale GLT), A 1.24 (Zentr. Nasssprühanlage), A 1.25 (Lager Requisiten), A 1.26 (Lager Requisiten), A 1.28 (Lager unter Treppen), A 2.21 (Flur vor Technikbüro), A 2.22, 2.23 (Garderoben), A 2.24 (Personal Technik), A 2.25 (Leiter Technik), Bewegungsmelder, Ausschalter, Wechselschalter, RWA Raum A 2.20 (Treppenhaus), Inspiz. Raum A 1.22 (Seitenbühne) Netzanschluss Tür Raum A 0.01, A 0.02 (Unterführung Bühne, Orchestergraben) Reserve	Beleuchtung Theaterklausen Beleuchtung, Netzanschluss Tür, RWA, Bewegungsmelder, Reserve, Steckdose, Kraftanschluss: C 1.04 (Flur vor Klausen), C 1.05/C 1.06 (WC+Vorraum D), C 1.07/C 1.08 (WC+Vorraum H), C 1.09 (Werkstatt), C1.10 (Flur vor Werkstatt), A 1.01 (Vorfoyer), A 1.02 (Umgang), A 1.04 (Treppenhaus Vorfoyer), A 1.05 (Putzmittelraum), A 1.06 (Treppenhaus Vorfoyer), A 1.27 (Kasse), A 2.01-3 (Büros), A 2.04 (Galerie vor Büros), A 2.05 (Flur oben Vorfoyer), A 2.06 (Teeküche), A 2.07 (Treppenhaus Vorfoyer), A 2.08 (Flur oben Vorfoyer), A 2.09 (Abstellraum), A 2.10 (Treppenhaus Vorfoyer), A 2.11-12 (Flure vor Balkon), A 2.13 (Balkon)

<p>UV 8 (Dimmerraum über Loge A 2.17): Kraftsteckdose, Steckdose Dimmer</p>	<p>UV3 Beleuchtung: A 1.11 (Vorbühne), A 1.12 (Szenenfläche), A 1.13 (Seitenbühne), A 1.16 (Brandmeldezentrale), A 1.17 (Loge), A 1.18 (Umgang Bühne), A 2.17 (Vorraum der Beleuchterkabine),</p> <p>UV3 Netzanschluss: Bühnenvorhang, Beamer BMA</p> <p>Notbeleuchtung SK 3, SK 4</p> <p>Reserve</p>		<p>Steckdosen: A 1.23 (Zentrale GLT), A 1.24 (Zentr. Nasssprühanlage), A 1.25-26 (Lager Requisiten), A 1.28 (Lager unter Treppen), C 2.01-03, 07, 10, 12 (Garderoben), C 2.05-06, 2.08-09, 2.11 (Dusche), C 2.13 (Flur vor Garderoben), A 2.20 (Treppenhaus), A 2.21 (Flur vor Technikbüro), A 2.22, 2.23 (Garderoben), A 2.24 (Personal Technik), A 2.25 (Leiter Technik), Netzteil Koppler A 1.25 (Lager Requisiten)</p>	<p>Notbeleuchtung SK 5, SK 6, SK 11, SK 12, SK 13, SK 14, SK 19, SK 20, SK 21, SK 22</p> <p>Reserve</p>
<p>UV 9 (Dimmerraum über Loge A 2.14): Kraftsteckdose, Steckdose Dimmer</p>	<p>UV4 Beleuchtung: A 1.10 (Saal)</p> <p>UV4Steckdosen: A 1.07 (Vorraum Technik), A 1.09 (Lichtregie), A 1.10 (Saal)</p> <p>UV4Netzanschluss: Tür A 2.10, A 2.11 (Treppenhaus Vorfoyer, Flur vor Balkon)</p> <p>Reserve</p>		<p>Beleuchtung: C 2.01-03, 07, 10, 12 (Garderoben), C 2.13 (Flur vor Garderoben), C 2.21 Flur EG + Treppenhaus, A 0.01 (Unterführung Bühne), A 0.02 (Orchestergraben), A 0.03 (Technik), A 0.04 (Lager), A 1.23 (Zentrale GLT), A 1.24 (Zentr. Nasssprühanlage), A 1.25 (Lager Requisiten), A 1.26 (Lager Requisiten), A 1.28 (Lager unter Treppen), A 2.21 (Flur vor Technikbüro), A 2.22, 2.23 (Garderoben), A 2.24 (Personal Technik), A 2.25 (Leiter Technik)</p>	
<p>UV 10 (Zentr. Bat-teriesystem A 1.14): Kraftsteckdose, Steckdose Dimmer</p>	<p>UV5 Beleuchtung: A 1.07 (Vorraum Technik), A 1.08 (Tonregie), A 1.09 (Lichtregie), A 2.13 (Balkon), Lüfter A 1.09 (Lichtregie)</p> <p>Reserve</p>		<p>Fußbodenheizung und Ansteuerung von GLT (Duschen) C 2.05, 2.06, 2.08, 2.09, 2.11</p> <p>ELA SK 6, ELA SK 7 BMA Ring EG, BMA Ring OG</p>	

Tab.51 Liste der Stromverbraucher im Gebäude, die erfasst und nicht erfasst werden

Monat	Theater Technik (NSHV)			Bühnentechnik Hauptsaal (UV 2-5, 7)	Bühnentechnik Kammerbühne (UV 6)	Durchlauferhitzer Garderoben (UV7)	Theaterklausen (UV 1)	Gesamt	Abgelesen	Nicht erfasst
	RLT-Anlage Kammerbühne	RLT- Anlage Saal	GLT Heizung							
				Steckdosen – Tonanlage, beweg. Scheinwerfer, frei verfügbar, Beleuchtung, Kraftsteckdosen Licht, Ton, Beleuchtung	2 x Kraftsteckdosen für Beleuchtung	Raum C2.05-06, C2.08-10	Steckdosen und Kraftanschluss Tresen, Steckdose Kraftanschluss Wand - Kochherd			
Jan 16	140,00	600,00	237,00	840,00	18,00	26,00	40	1.901,00		
Feb 16	190,00	600,00	214,00	743,00	22,00	20,00	15	1.804,00		
Mrz 16	120,00	600,00	234,00	825,00	27,00	18,00	20	1.844,00		
Apr 16	118,00	300,00	132,00	617,00	13,00	15,00	21	1.565,00		
Mai 16	145,00	150,00	132,00	297,00	13,00	14,00	36	778,00		
Jun 16	125,00	150,00	132,00	141,00	56,00	8,00	25	581,00		
Juli 16	124,00	69,00	81,00	408,00	8,00	7,00	24	713,00		
Aug 16	76,00	115,00	83,00	51,00	3,00	8,00	17	350,00		
Sep 16	178,00	382,00	90,00	572,00	18,00	10,00	24	1.256,00		
Okt 16	181,00	257,00	186,00	431,00	48,00	12,00	35	1.102,00		
Nov 16	246,00	703,00	236,00	660,00	35,00	21,00	40	1.906,00		
Dez 16	120,00	430,00	237,00	983,00	3,00	14,00	89	1.873,00		
Jahr 16	1.767,00	4.356,00	2.343,00	6.281,00	267,00	177,00	386	15.577,0	61.240,00	45.663,0 (75 %)

Tab.52 Elektrozahlung und -ablesung Stromverbraucher im Gebäude, Jahr 2016, [kWh]

Gemessener Stromverbrauch Jahr 2016, gesamt 15.577,00 kWh/a

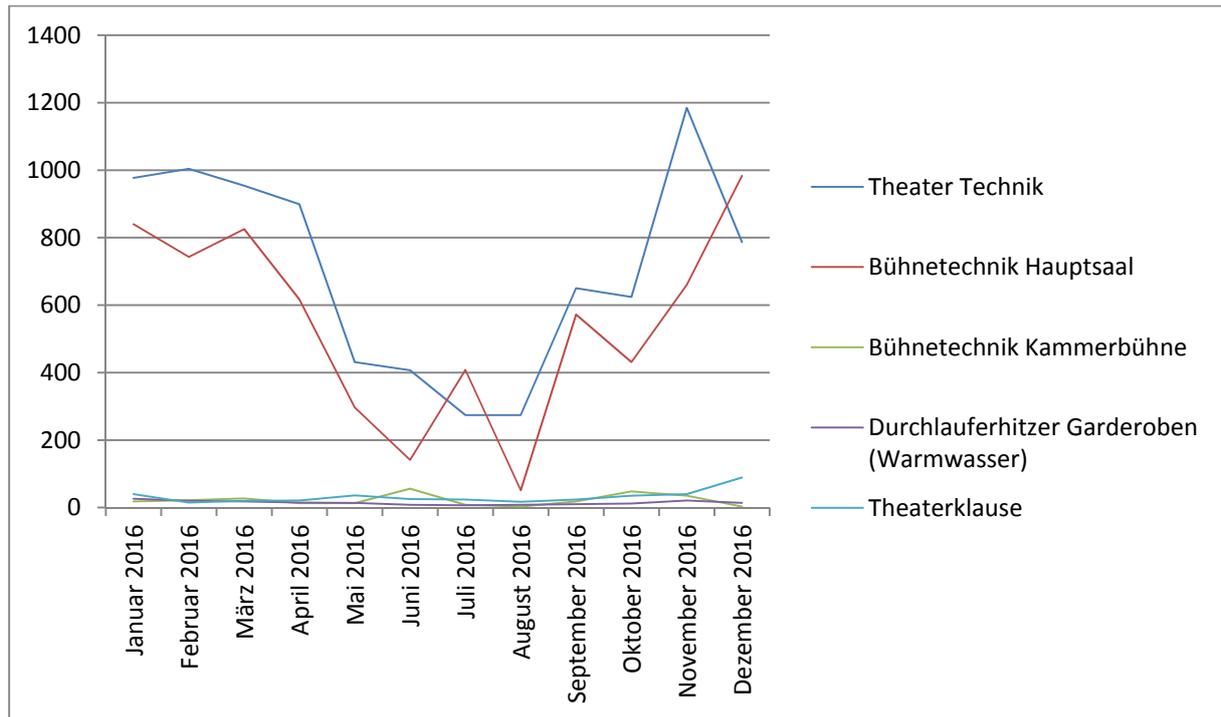


Abb.219 Gemessener Stromverbrauch nach Verbraucher, Jahr 2016, [kWh]

Gemessener Stromverbrauch E-Zähler Theater Technik Jahr 2016, gesamt 8.466,00 kWh/a

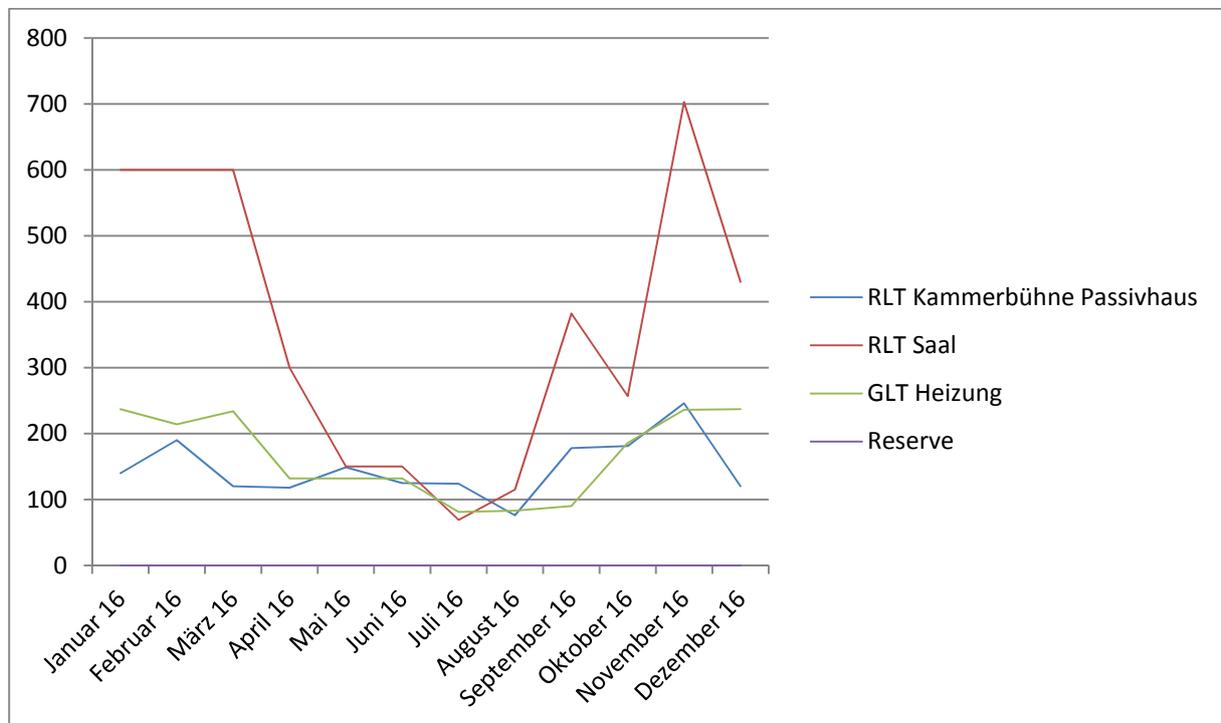


Abb.220 Gemessener Stromverbrauch E-Zähler Theater Technik, Jahr 2016, [kWh]

Gemessener Stromverbrauch E-Zähler Bühnentechnik Saal Jahr 2016, gesamt 6.281,00 kWh/a

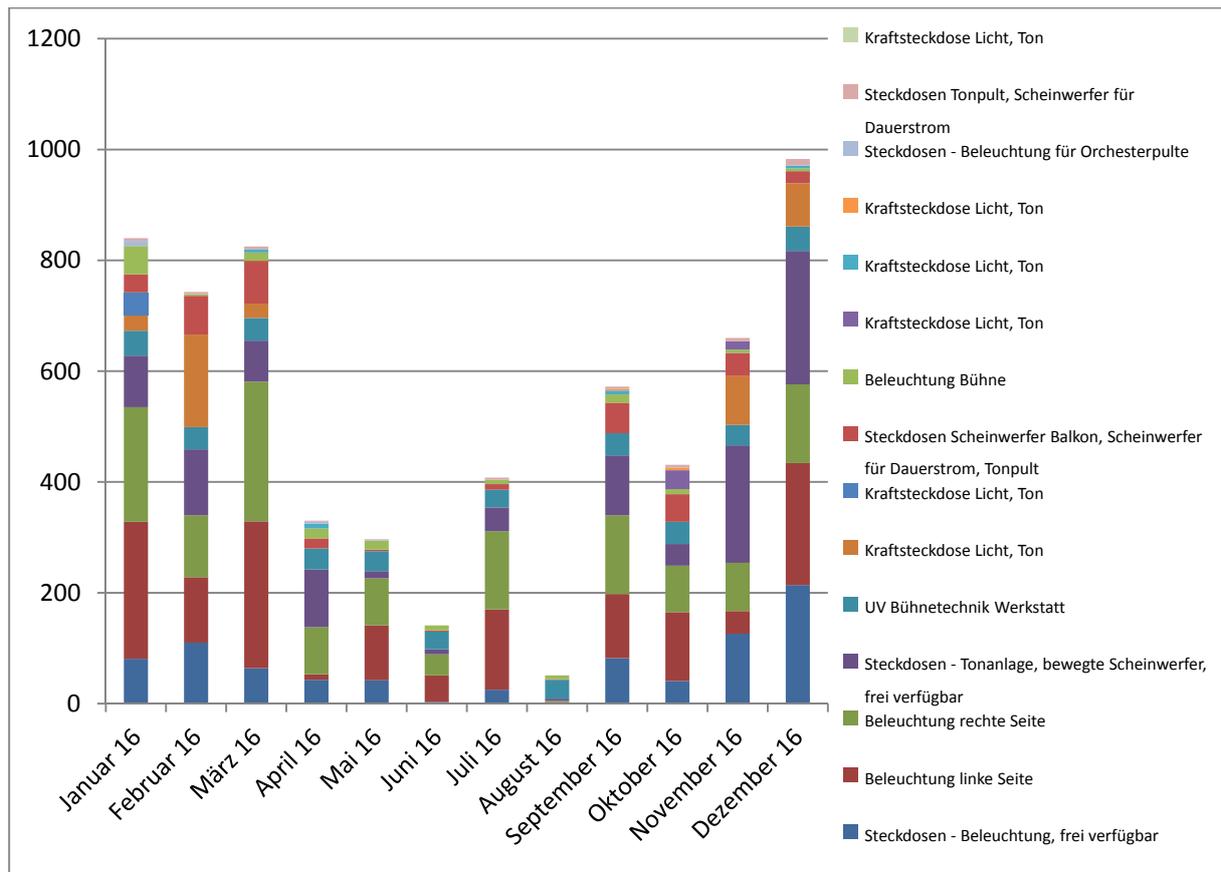


Abb.221 Gemessener Stromverbrauch E-Zähler Bühnentechnik Hauptsaal, Jahr 2016, [kWh]

Gemessener Stromverbrauch Bühnentechnik Kammerbühne Jahr 2016, gesamt 267,00 kWh/a

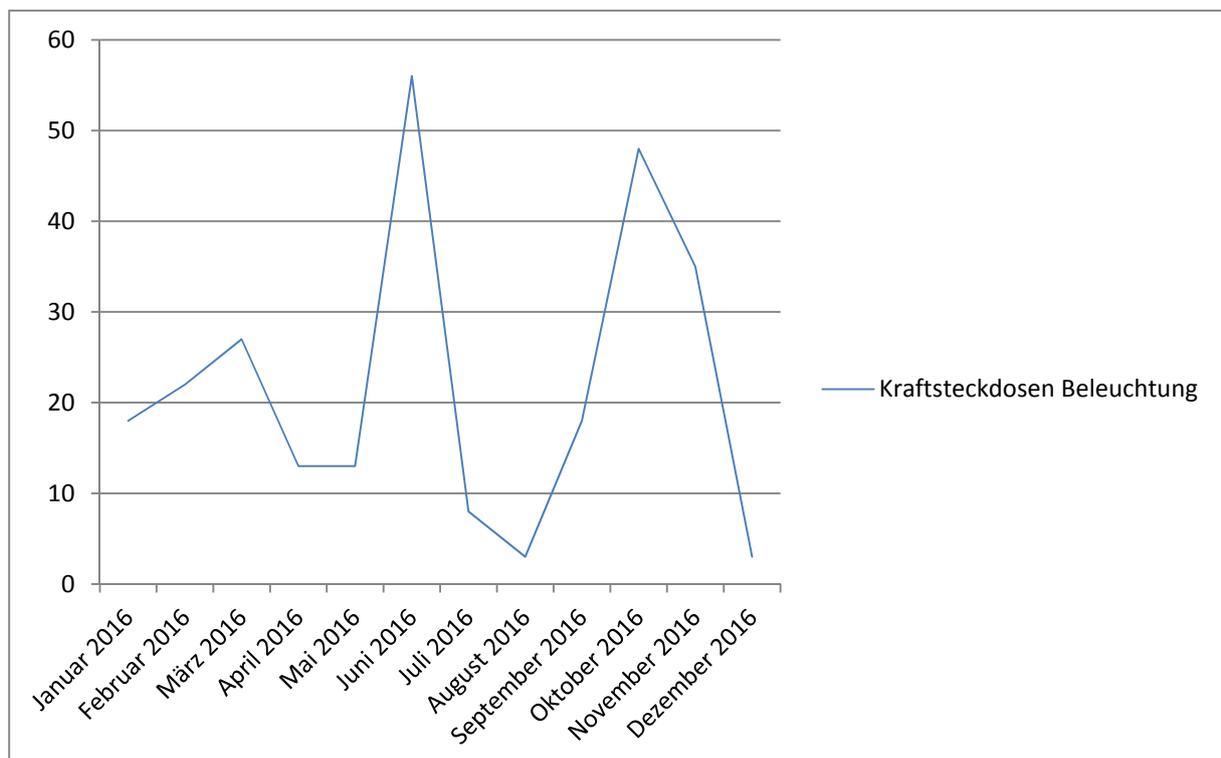


Abb.222 Gemessener Stromverbrauch E-Zähler Bühnentechnik Kammerbühne, Jahr 2016, [kWh]

Gemessener Stromverbrauch Durchlauferhitzer Duschen Jahr 2016, gesamt 177,00 kWh/a

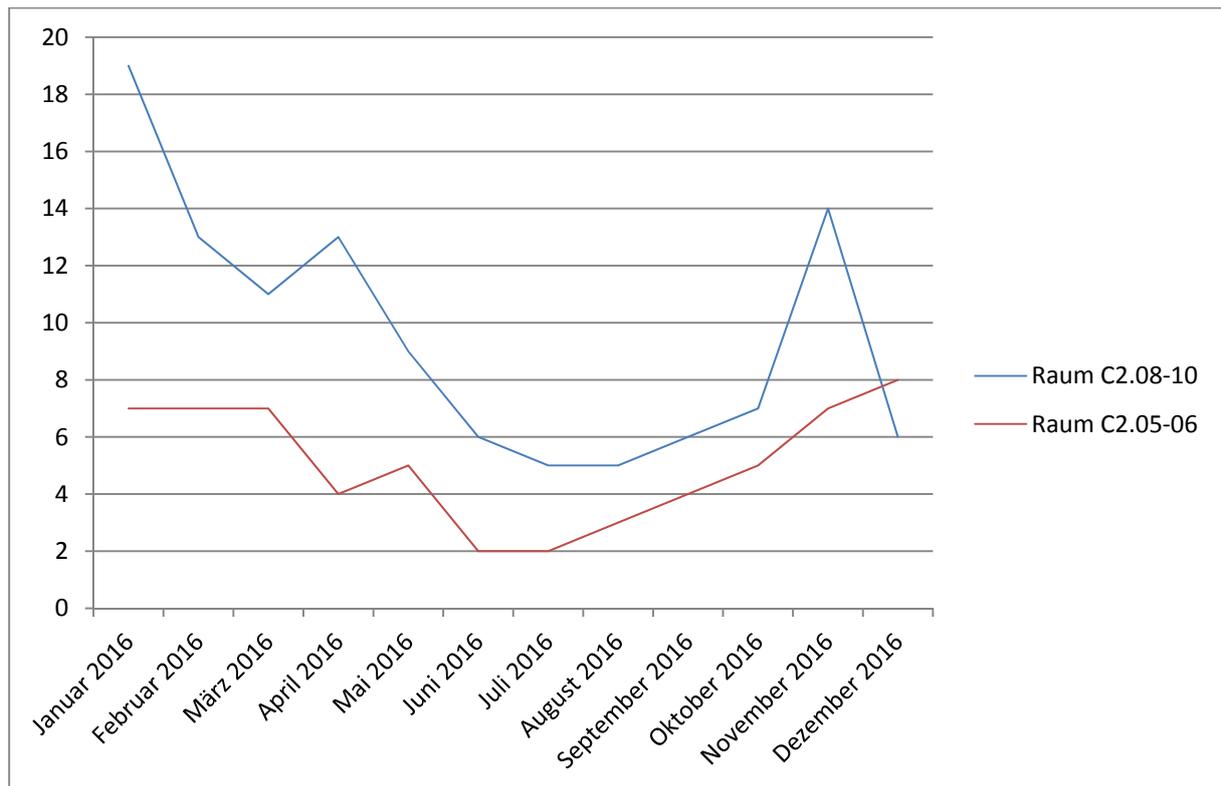


Abb.223 Gemessener Stromverbrauch E-Zähler Durchlauferhitzer Duschen (Garderoben), Jahr 2016, [kWh]

Gemessener Stromverbrauch E-Zähler Theaterklausur Jahr 2016, gesamt 386,00 kWh/a

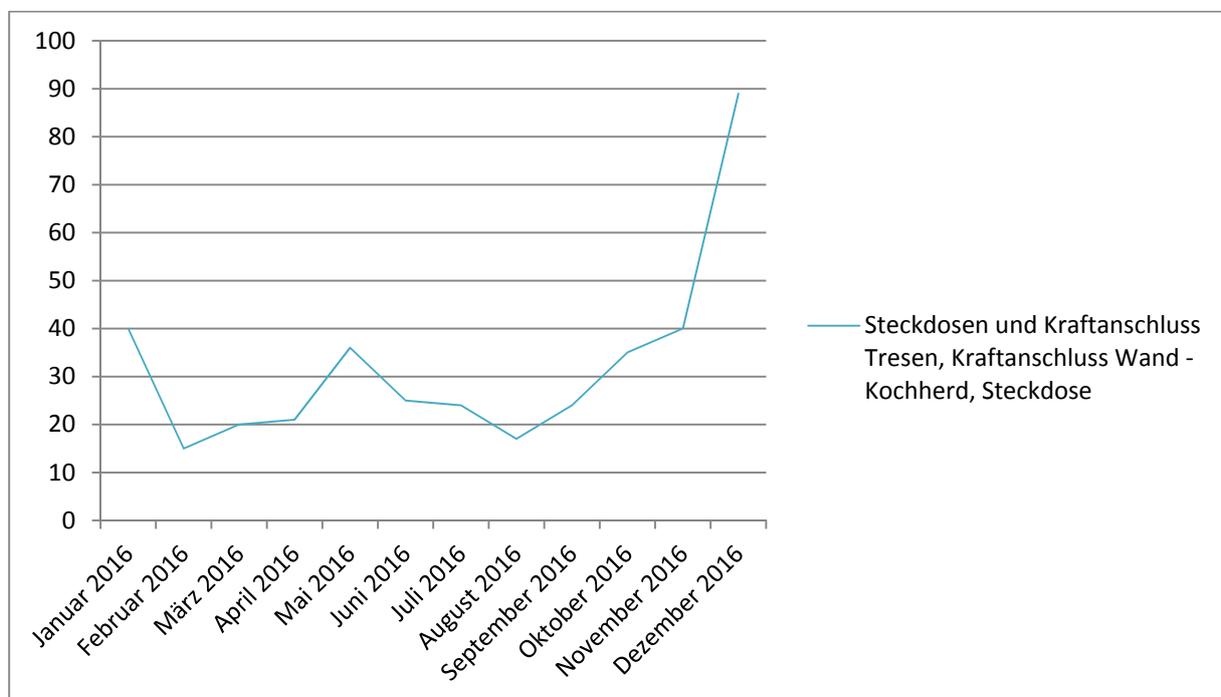


Abb.224 Gemessener Stromverbrauch E-Zähler Theaterklausur, Jahr 2016, [kWh]

3.2.2.5 Energiebilanz gesamt

Energieträger	vor Sanierung (Vergleichsjahr 2011)	Gebäude nach der Sanierung (Berechnung nach EnEV 2009, Stand 03/2014)		Gebäude nach der Sanierung (Monitoring Jahr 2016)		Einsparung Sanierung - Bestand
StromMix	65.640,00 kWh/a (25,91 kWh/ma)	Warmwasser 9.638,00 kWh/a (4,00 kWh/ma)	64.783,00 kWh/a (27,41 kWh/ma)	Warmwasser 177,00 kWh/a (0,07 kWh/ma)	61.240,00 kWh/a (25,90 kWh/ma)	4.400,00 kWh/a (6,70 %)
		Luftförderung 21.739,00 kWh/a (9,19 kWh/ma)		Luftförderung 6.123,00 kWh/a (2,59 kWh/ma)		
		Beleuchtung 31.398,00 kWh/a (13,28 kWh/ma)		Bühnentechnik 6.548,00 kWh/a (2,77 kWh/ma)		
		Hilfsenergie 2.008,00 kWh/a (0,85 kWh/ma)		Beleuchtung, Hilfsenergie, Notstrom, Gebrauchstrom, ... 48.392 kWh/a (20,47 kWh/ma)		
Heizung (Erdgas)	624.740,31 kWh/a (246,64 kWh/ma)	213.665,00 kWh/a (90,40 kWh/ma)		123.154,62 kWh/a (52,10 kWh/ma)		501.585,69 kWh/a (80,29 %)
Gesamtendenergie	690.380,31 kWh/a (272,55 kWh/ma)	278.448,00 kWh/a (117,81 kWh/ma)		184.394,62 kWh/a (78,02 kWh/ma)		505.985,69 kWh/a (73,3 %)
Primärenergie	864.442,34 kWh/a (341,27 kWh/ma)	380.179,00 kWh/a (157,50 kWh/ma)		270.130,62 kWh/a (111,90 kWh/ma)		594.311,72 kWh/a (68,75 %)
CO₂-Emissionen	199.142,98 kg CO₂/a (78,62 kg CO₂/ma)	97.022,00 kg CO₂/a (41,05 kg CO₂/ma)		72.246,11 kg CO₂/a (30,50 kg CO₂/ma)		126.896,87 kg CO₂/a (63,72 %)

Tab.53 Energieverbrauch Gebäude vor der Sanierung (Vergleichsjahr 2011), Gebäude nach der Sanierung (Berechnung EnEV 2009), Gebäude nach der Sanierung (Monitoring Jahr 2016)
 Primärenergiefaktor Erdgas: 1,1, StromMix: 2,4-2,7, CO₂-Emissionen Erdgas: 0,247 kg CO₂/kWh, StromMix: 0,683 kg CO₂/kWh

Die Tabelle 53 zeigt den Energieverbrauch des Theatergebäudes im Vergleich zum Bestand und zur Planung nach EnEV 2009. Der Heizwärmebedarf sinkt gegenüber dem Bestand um 80,29 %, Einsparung von 501.585,69 kWh/a Erdgas. Dies zeigt eine sehr positive Auswirkung der umweltgerechten Sanierung (kompaktes Baukörper, hochwertige Bauteile). Der Stromverbrauch ist nur um 6,7 % gesunken. Dies begründet sich aus dem nutzungsspezifischen Verbrauch eines Theaters (Bühnentechnik, Technik, Beleuchtung, ...), Optimierung der Beleuchtung (mehrere, aber effiziente Leuchten nach den heutigen Standard) und zusätzliche Verbraucher – Lüftungsanlage und Notstromversorgung für Löschanlage. Der Warmwasserverbrauch ist sehr gering. Dies weist auf eine geringe Nutzung der Duschkmöglichkeiten in den Garderoben hin.

Die Gesamtendenergie ist um 73,3 % gesunken, Einsparung von 505.985,69 kWh/a. Um weitere Energie einzusparen, sollten die Regelung der Gebäudetechnik optimiert und Möglichkeiten der Strom- und Heizenergieeinsparung untersucht werden. Die Primärenergie ist um 68,75 % gesunken, Einsparung von 594.311,72 kWh/a, und die CO₂-Emissionen sind um 63,72 % gesunken, Einsparung von 126.896,87 %. Um weitere Primärenergie und CO₂-Emissionen zu sparen, sollte z. B. Nutzung der erneuerbaren Energien für die Stromerzeugung und Synergien mit der Campus Energieversorgung untersucht werden.

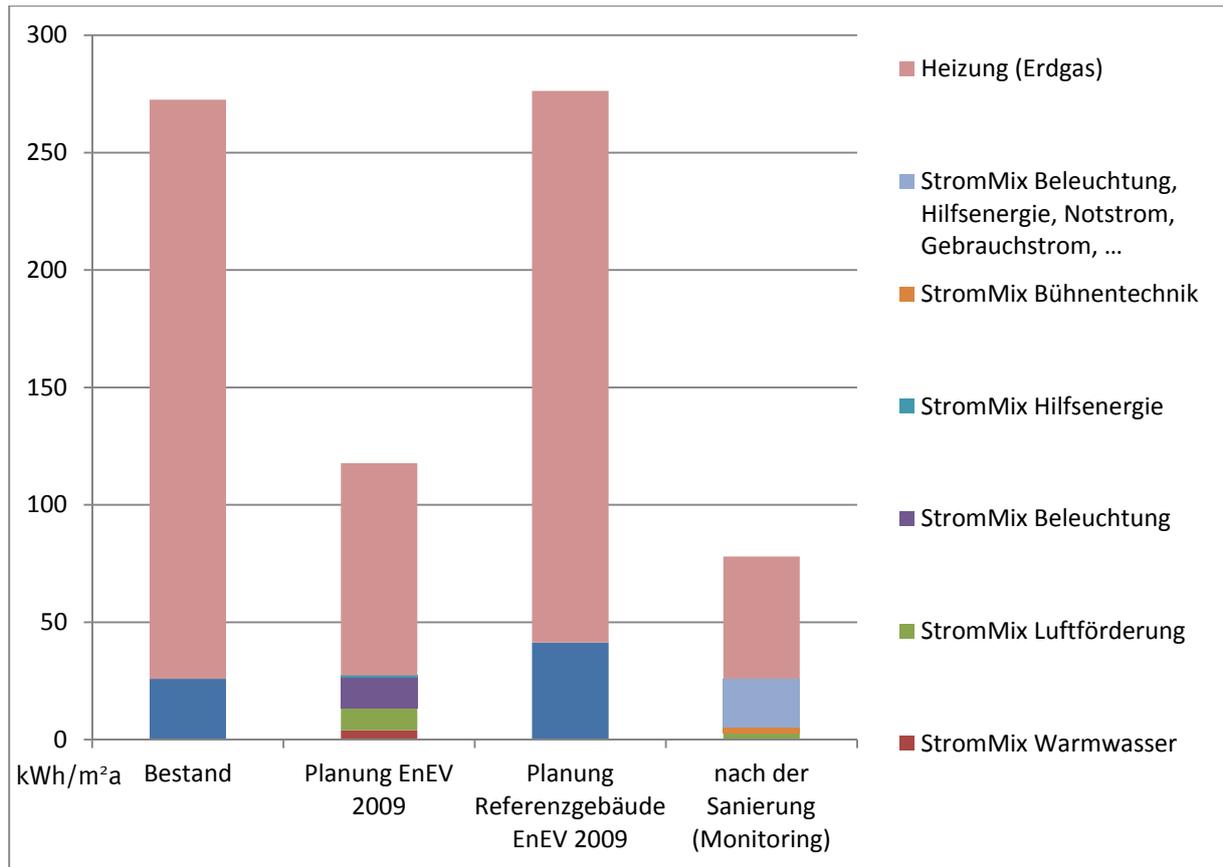


Abb.225 Vergleich Gesamtenergie Betrieb Bestandsgebäude (Vergleichsjahr 2011), Planung (Berechnung EnEV 2009), Referenzgebäude (Berechnung EnEV 2009) und Ergebnisse aus dem Monitoring (Jahr 2016)

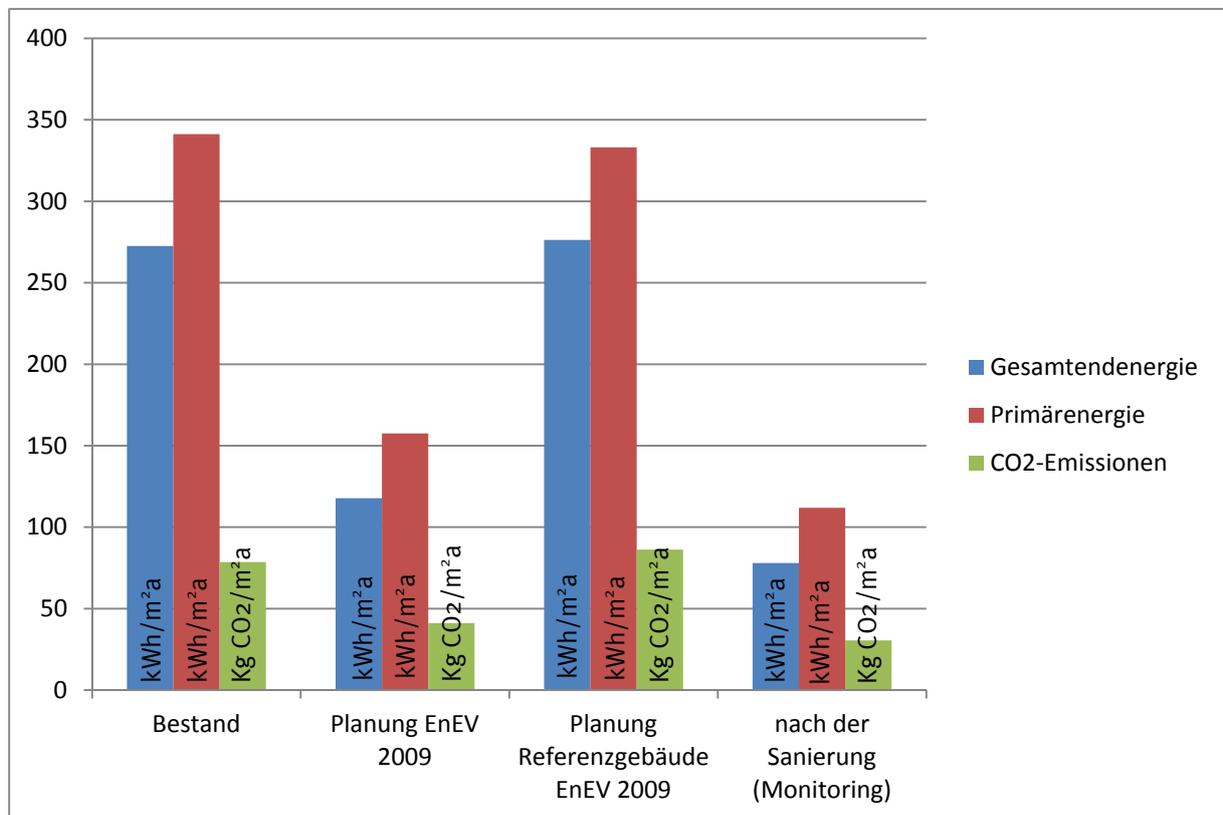


Abb.226 Vergleich Gesamtenergie, Primärenergie und CO-Emissionen Betrieb Bestandsgebäude (Vergleichsjahr 2011), Planung (Berechnung EnEV 2009), Referenzgebäude (Berechnung EnEV 2009) und Ergebnisse aus dem Monitoring (Jahr 2016)

3.2.2.6 Fazit und Optimierungsvorschläge aus dem Monitoring

Positiv:

- Der gesamte Endenergie-, Primärenergieverbrauch und CO₂-Ausstoß konnte mit der Sanierung deutlich reduziert werden.
- Der gemessene Heizwärmebedarf ist niedriger als nach EnEV Berechnung.
- Der Energiebedarf für das Warmwasser und die Luftförderung ist weniger als geplant.
- Der Stromverbrauch für Beleuchtung ist ähnlich dem geplanten.
- Effiziente Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen in den Übergangsjahrzeiten und Wintermonaten.
- Die Lüftungsanlagen waren während der Sommerferien außer Betrieb/sommerlicher Bypass wurde genutzt.
- Niedrige Wärmeverluste innerhalb der Heizung (4,4 % im Jahr 2016)
- Absenkung der Heizung während der Weihnachtsferien HKo₂ Bühne und HKo₃ Bühnenhaus – einfache Regelung über Display Raumregler im Schrank im Heizraum. Bei einfachen Bedienungen der Technik sind die Nutzer bereit, der Energieeinsparung zu folgen.

Optimierungspotenziale:

- Reduzierung des Heizenergieverbrauchs:
 - *Heizwärmeabsenkung außerhalb der Nutzungszeiten/in Theaterferien/ im Sommer*
- Steigerung der Effizienz der Lüftungsanlage/Senkung der Energieverbrauchs
 - *Optimierung der Regelung und Einstellungen der Anlagen*
 - *Reduzierung des Volumenstroms und Betriebszeit der RLT-Anlage, bzw. Ausschalten der RLT-Anlage außerhalb der Nutzungszeiten/in Theaterferien*
 - *Reduzierung des Volumenstroms der RLT-Anlage - bedarfsgerechte Lüftung, z. B. Lüftung läuft nur während der Nutzung der einzelnen Räume (Probe, Veranstaltung, ...)*
 - *Optimierung der Regelung der Stellung von Bypassklappen und Ventilen Erhitzer*
- Vereinfachung der Regelung einzelner Technikkomponenten – zentrale Bedieneinheit zur bedarfsgerechten Regelung aller technischen Anlagen, Gebäudeautomation, GLT Zugang (die Räume können über Zeitprogramm an der GLT gesteuert werden, aber ganze Heizkreise nur in der Heizzentrale und dies ist zu aufwendig)
- Überprüfung und Reduzierung des Strombedarfs für Außenbeleuchtung, Beleuchtung im Saal (Scheinwerfer), Hilfsenergie, Notstromversorgung, Gebrauchstrom, ... (z. B. Verbrauch der elektrischen Geräte prüfen, bedarfsgerechte Steuerung der Beleuchtung, Mitnutzung der BHKW Anlage der Hochschule Wismar für die Notstromversorgung, ...)
- Das Monitoring sollte zur Optimierung der Energieeinsparung und Überprüfung der Einstellungen der Gebäudetechnik durch das Ingenieurbüro Edgar Pech weitergeführt werden
- Zur optimalen Funktion der Anlagentechnik sind regelmäßige Wartungen erforderlich, insbesondere die Lüftungsöffnungen müssen frei von Verunreinigungen bleiben.

4 Fazit

Die Projektdurchführung erfolgte im Anschluss an eine ganzheitliche integrale Planung unter Beteiligung von Bauherren, Nutzer und mit allen Planern unter Mitwirkung der Hochschule Wismar die ergänzend die Konzeptentwicklung, Berechnungen zur Energie- und Ressourceneffizienz, der CO₂ Bilanzierung und Simulationen wissenschaftlich begleitet hat.

Die wissenschaftliche Begleitung erfolgte baubegleitend und ging über die Fertigstellung des Gebäudes im Rahmen eines messtechnischen Monitorings hinaus. Das Monitoring hat wesentlich für die Einhaltung der Energiesparpläne im realen Betrieb, Optimierung der Gebäudetechnik und zur Nutzung der Gebäude Erkenntnisse ergeben.

Im Einzelnen wurden die nachfolgend aufgeführten Planungsziele mit Erfolg umgesetzt:

- *Doppelnutzung* – Erhaltung des Bestandsgebäudes Theaters und Fortentwicklung als vielfältig/multifunktional nutzbaren Versammlungsraum für Theater-Gastspiele, Audimax der Hochschule, Festveranstaltungen und Kongressnutzungen in Zusammenhang mit den direkt benachbarten Hörsälen.
Die Hochschule Wismar hat das neue Angebot bereits genutzt unter anderem zur Durchführung von Tagungen (z. B.: Brandschutztag, International Day,...), Erstimmatrikulation, Verabschiedungen, Symposien und Jubiläen.
- *Energie- und Ressourceneffiziente Sanierung und Anbau im Passivhausstandard:*
 - Optimierung des Gebäudevolumens und ein gutes A/V-Verhältnis
 - Nachhaltige Sanierung des Bestandsgebäudes
 - Nord(ost)-Anbau mit Passivhaus-Komponenten
 - Reduzierung des gesamten Energieverbrauchs soweit wie möglich
 - geringere Bau- und Betriebskosten
 - Ressourcen schonende Bauweise, Verwendung nachwachsender Rohstoffe und ökologischer Baumaterialien soweit möglich und wirtschaftlich sinnvoll
 - Nutzung hoch effizienter Gebäudetechnik
- Verbesserung der Nutzungsmöglichkeiten
- Verbesserung des äußeren Erscheinungsbildes
- Sanierung notwendiger Innenausstattungen

Das Monitoring zeigt insgesamt, dass mit der Sanierung und den integrierten Neubauten ein Gebäude mit Passivhaus-Komponenten errichtet worden ist. Der Primärenergiebedarf beträgt 111,90 kWh/m²a und entspricht damit den Anforderungen des Passivhausinstituts. Der Heizwärmebedarf von 52,10 kWh/m²a erfüllt die Anforderung an die energetische Altbausanierung von Wohngebäuden mit Passivhaus-Komponenten und Innendämmung. Für hybride Gebäudetypologien mit speziellen Nutzungen und hohen Anforderungen bestehen keine Vorgaben und Vergleichswerte.

Das umweltfreundliche Sanierungsvorhaben konnte darüber hinaus mit vergleichsweise geringen Kosten umgesetzt werden. Nach BKI Baukosten 2014 des Baukosteninformationszentrums Deutscher Architektenkammern GmbH betragen die durchschnittliche Vergleichskosten für den Neubau Theater im Mittel 2.220, 00 Euro/m²BGF (von 1.860 bis 3.230 Euro/m²BGF) und 485 Euro/m³BRI (von 425 bis 565 Euro/m³BRI).

Das Gebäude wurde unter den Mindestkostensatz mit insgesamt 1.733,9 Euro/m²BGF und 335,6 Euro/m³BRI realisiert.

Bei der Sanierung des Theatergebäudes wurden gemäß Antragstellung und soweit sinnvoll und finanziell verträglich nachhaltige Materialien und schadstoffarme Substanzen eingesetzt. Das Hauptgebäude wurde erhalten, saniert und um zwei neue Ergänzungsbauten ergänzt. Die Materialien der neuen Konstruktion, Boden, Wände und des Daches sind aus Beton, Kalksandstein und Holz. Das Dämmmaterial ist wegen der hohen Brandschutzanforderungen überwiegend Mineralwolle. Die Dachhaut besteht aus recycle fähiger EVA-Folie.

Die Messergebnisse des Monitorings zeigen, dass das Ziel der Sanierung unter weitgehender Nutzung wesentlicher Bestandsbauteile eine neue kompakte Gebäudeform zu schaffen, mit hochwertigen Bauteilen und wenigen Wärmeverlusten bei geringen Kosten erreicht ist. Der Ergänzungsbau Nord(ost) wurde entsprechend des Passivhausstandards gedämmt, das Süd(west) Foyer ermöglicht solare Wärmegewinne im Winter.

Zur Reduzierung des Energieverbrauches während der gesamten Nutzungsphase des Gebäudes wurde der jährliche Heizwärmebedarfs minimiert, und zum Erreichen geringer Lüftungswärmeverluste hocheffiziente Anlagentechnik mit Wärmerückgewinnung eingebaut.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Förderziele erreicht wurden. Das Förderprojekt wurde innerhalb des genehmigten Verlängerungszeitraumes abgeschlossen. Das Vorhaben wurde bereits vor Fertigstellung in zahlreichen Veröffentlichungen und Presseberichten sowie auf internationalen Konferenzen wegen des ökologischen Konzeptes als wegweisendes zukunftsorientiertes Bauen gewürdigt.

Das Gebäude bietet nach Eröffnung seinen Nutzern einen gesunden und umweltfreundlichen Lebensraum für die Zukunft. Das Werk wird auch unter Berücksichtigung der Risiken der unvorhergesehenen Kostensteigerungen sowie Bauzeitenverlängerungen Bundesweit Anerkennung finden und Anregungen für die zukünftige Gestaltung umweltgerechter Theatergebäuden geben.

Mit den erreichten Kennwerten ist das neue Gebäudeensemble mit seinem einfachen nicht spektakulären Konzeptansatz vorbildhaft. Der Konzeptansatz und die Methode sind in Ihrer Form für Theaterbauten erstmalig und übertragbar auch auf Theater ähnlicher Größe.

Literaturverzeichnis

- Architekturbüro Albert und Planer Rostock; Planungsunterlagen
- BMUB; Leitfaden Nachhaltiges Bauen
- DIN EN 15251:2012-12 Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik
- DIN V 18599 1-11: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwasser und Beleuchtung; 02/2007
- EnEV 2009 Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV 2009)
- IGEL-Institut Wismar; Planungsunterlagen
- Ingenieurbüro Edgar Pech Wismar; Planungsunterlagen
- Ingenieurbüro für Elektroplanung Bombowsky Wismar; Planungsunterlagen
- Kieback&Peter; GLT und Messtechnik
- Passivhaus Institut; Altbaumodernisierung mit Passivhaus-Komponenten. Darmstadt November 2009
- Passivhaus Institut; EnerPHit – Altbaumodernisierung mit Passivhaus-Komponenten
- Passivhaus Institut; Leitfaden für energieeffiziente Bildungsgebäude. Darmstadt Juli 2010
- Passivhaus Institut; PHPP – Passivhaus Projektierungspaket
- Projektskizze zum Antrag auf Förderung der umweltgerechten Bühne in Wismar
- Software Dämmwerk 2009 (EnEV Berechnung)
- Software WUFI 2D WUFI 2D V2.1, Software zur zweidimensionalen Simulation von Wärme- und Feuchtetransport, Fraunhofer Institut für Bauphysik



Anlage zum Abschlussbericht

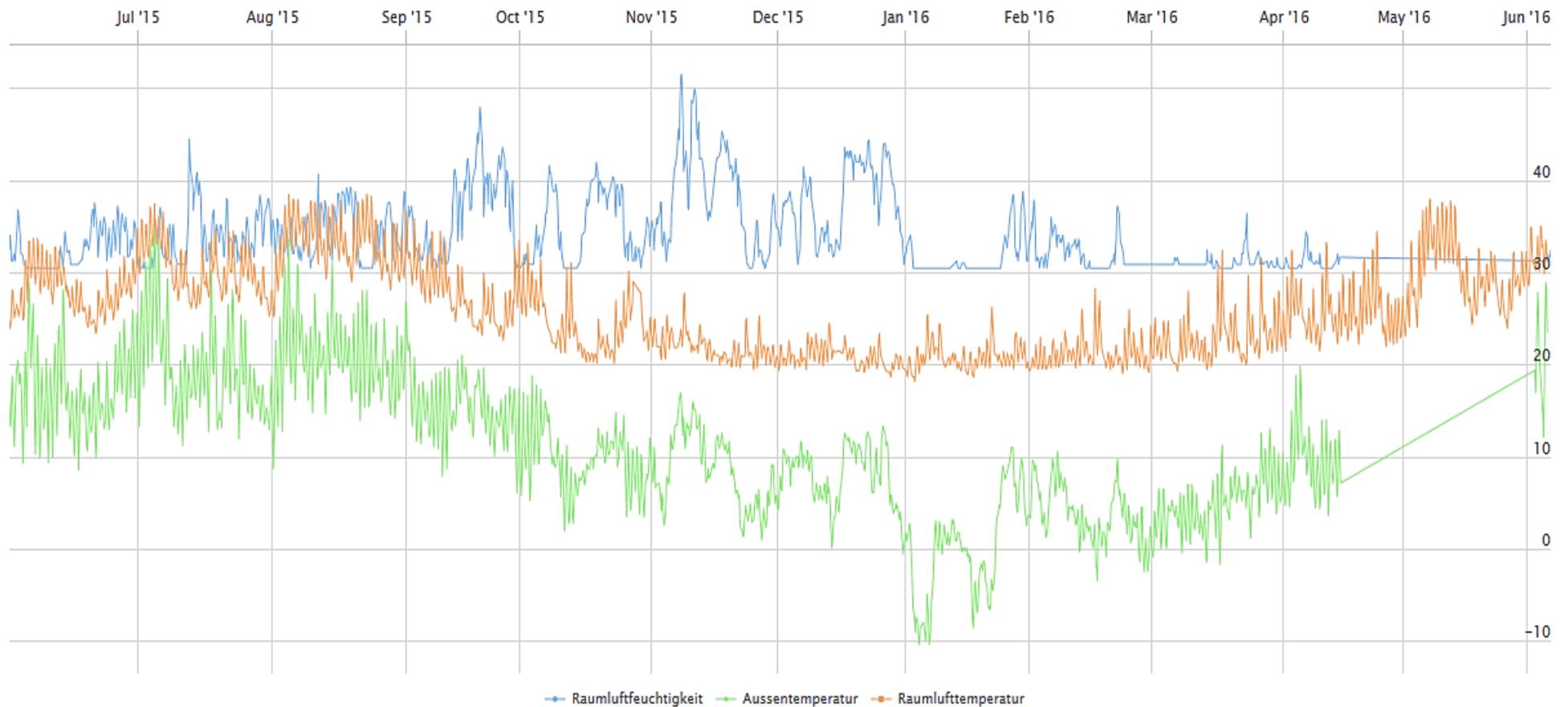
Trendkurvenausdrucke der wichtigsten Messdaten

AZ: 25508-25

Umweltgerechte Bühne Wismar

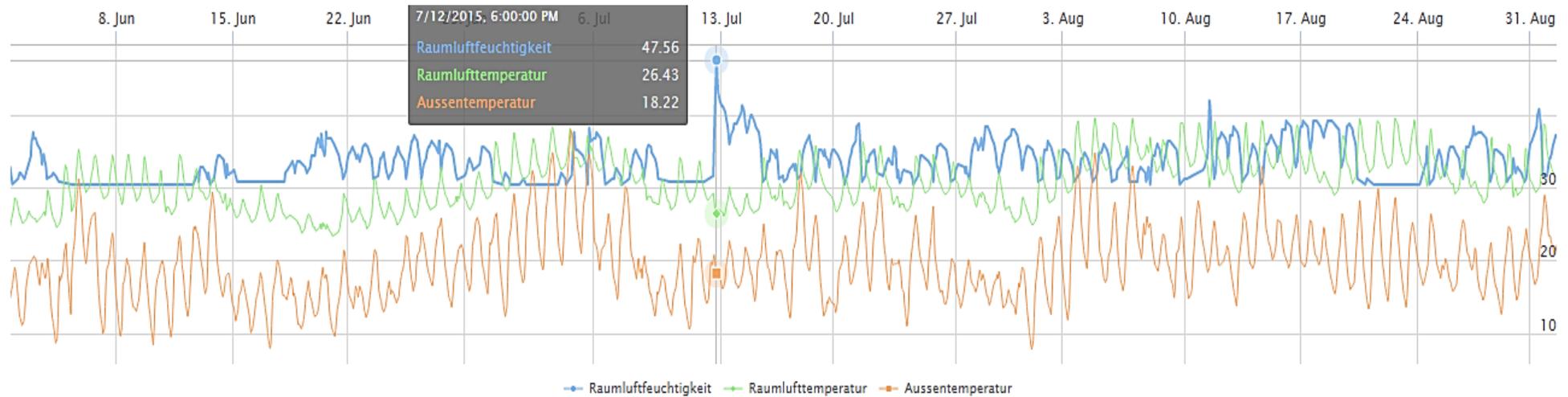
Sanierung und Weiterentwicklung eines Veranstaltungsgebäudes auf dem Hochschulcampus Wismar zum Passivhausstandard

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit im Jahresverlauf 2015/16 Ergänzungsbau Süd(west)



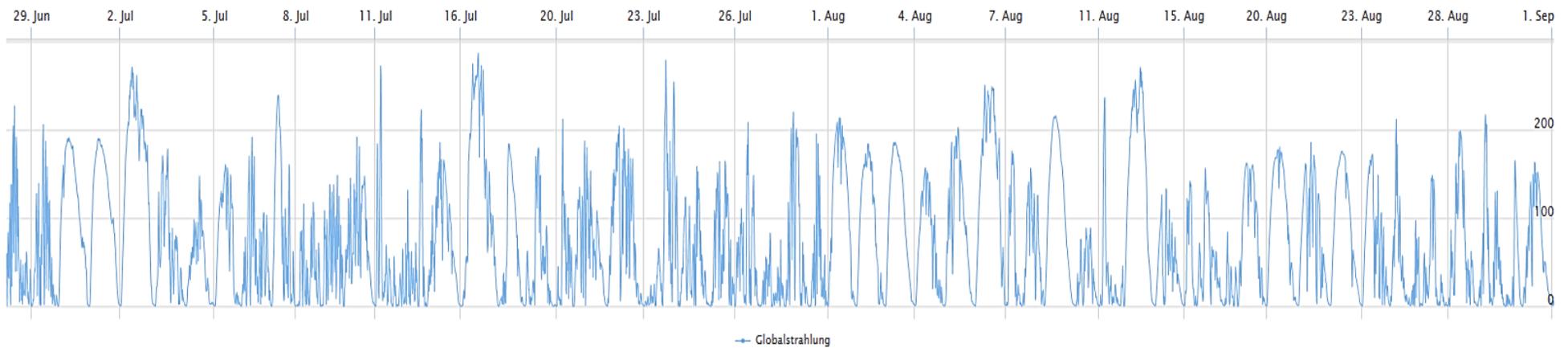
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit im Ergänzungsbau Süd(west), Referenzjahr, [°C/%] (Abschlussbericht Abb.8o)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Juni – August 2015 Ergänzungsbau Süd(west)



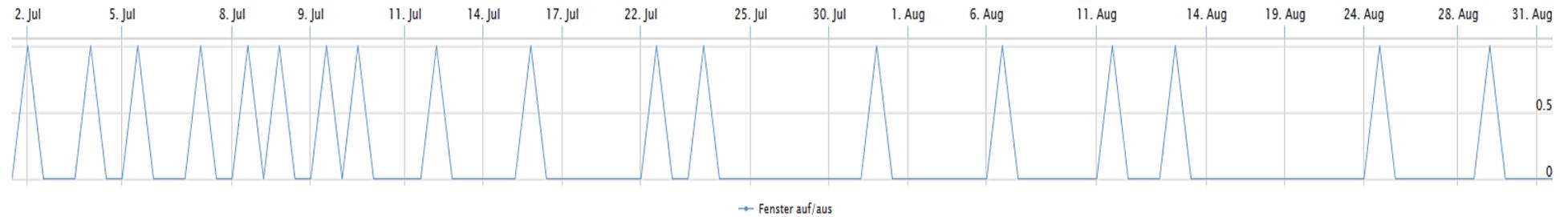
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Ergänzungsbau Süd(west), Juni – August 2015, [°C/%] (Abschlussbericht Abb.81)

Globalstrahlung Juli – August 2015 Ergänzungsbau Süd(west)



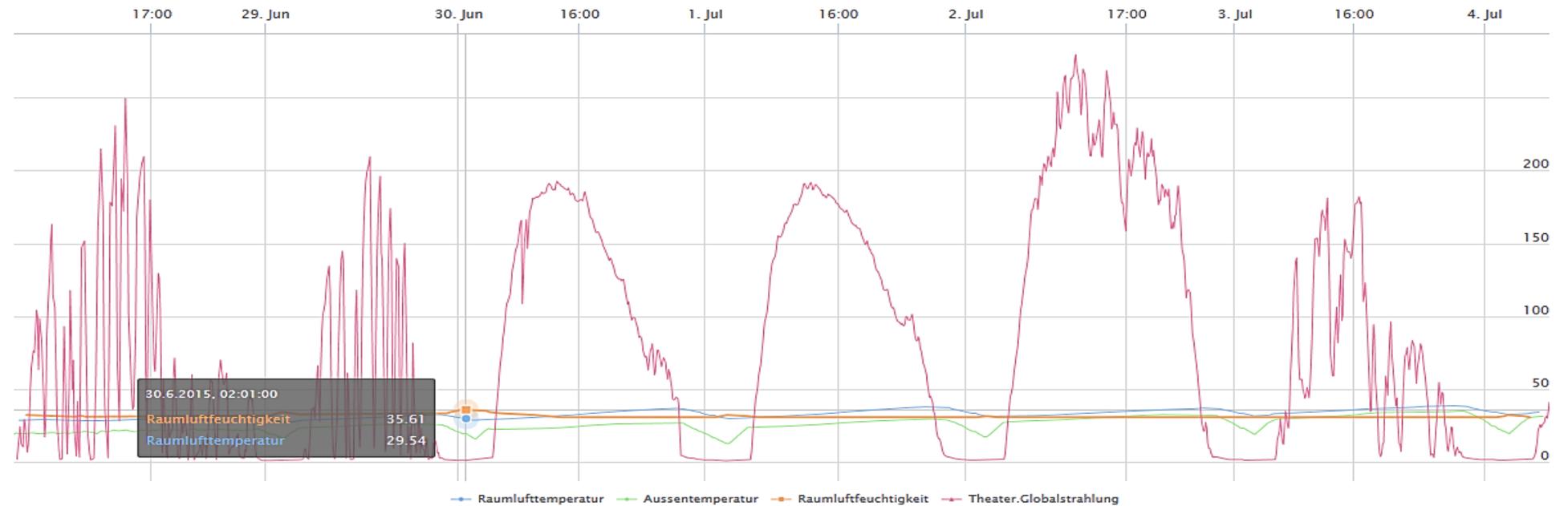
Globalstrahlung gemessen an der Außenfassade im Ergänzungsbau Süd(west), Juli – August 2015, [W/m²] (Abschlussbericht Abb.82)

Fenstersteuerung Juli – August 2015 Ergänzungsbau Süd(west)



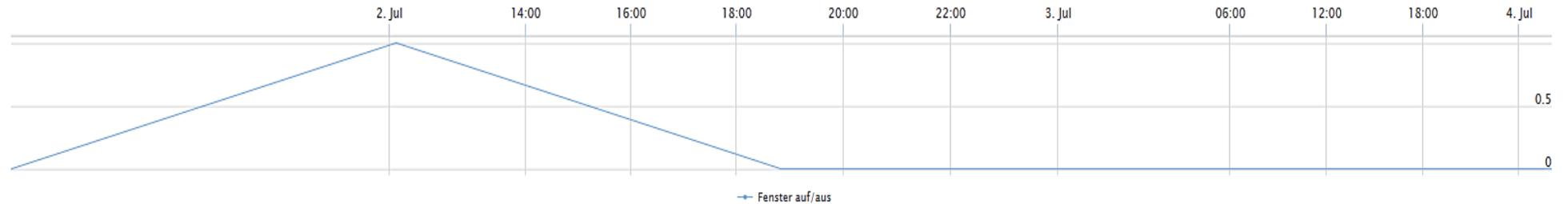
Fenstersteuerung im Ergänzungsbau Süd(west), Juli – August 2015, [0 – zu/1 – auf] (Abschlussbericht Abb.83)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit erste Woche Juli 2015 Ergänzungsbau Süd(west) („Extremwetterlage Hitzewelle“)



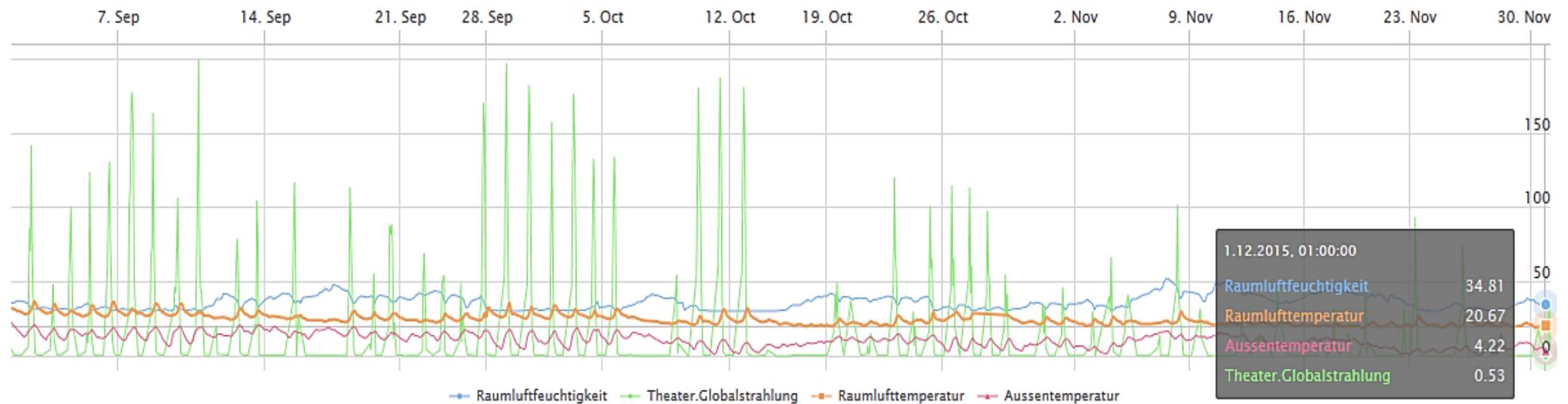
Außentemperatur, Globalstrahlung, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit im Ergänzungsbau Süd(west), erste Woche Juli 2015 (vom 28.6. bis 4.7.2015) – „Extremwetterlage Hitzewelle“, [°C/%/W/m²] (Abschlussbericht Abb.84)

Fenstersteuerung erste Woche Juli 2015 Ergänzungsbau Süd(west) („Extremwetterlage Hitzewelle“)



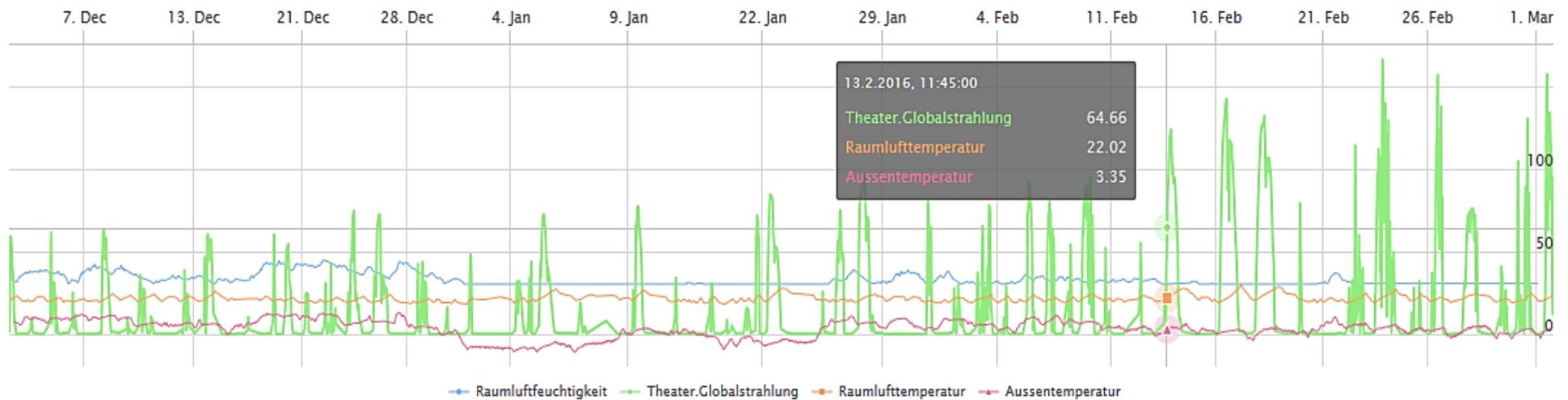
Fenstersteuerung im Ergänzungsbau Süd(west), erste Woche Juli 2015 (vom 28.6. bis 4.7.2015) – „Extremwetterlage Hitzewelle“, [o – zu/1 – auf] (Abschlussbericht Abb.85)

Raumlufthtemperatur und -feuchtigkeit September – November 2015 Ergänzungsbau Süd(west)



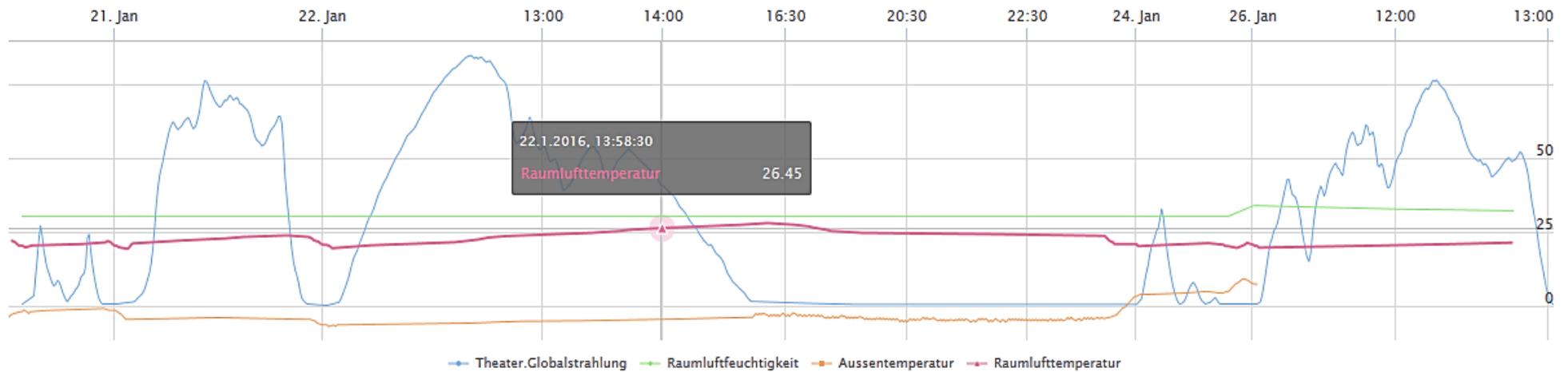
Außentemperatur, Raumlufthtemperatur und -feuchtigkeit Ergänzungsbau Süd(west), Sept. – Nov. 2015, [°C/%] (Abschlussbericht Abb.86)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Dezember 2015 – Februar 2016 Ergänzungsbau Süd(west)



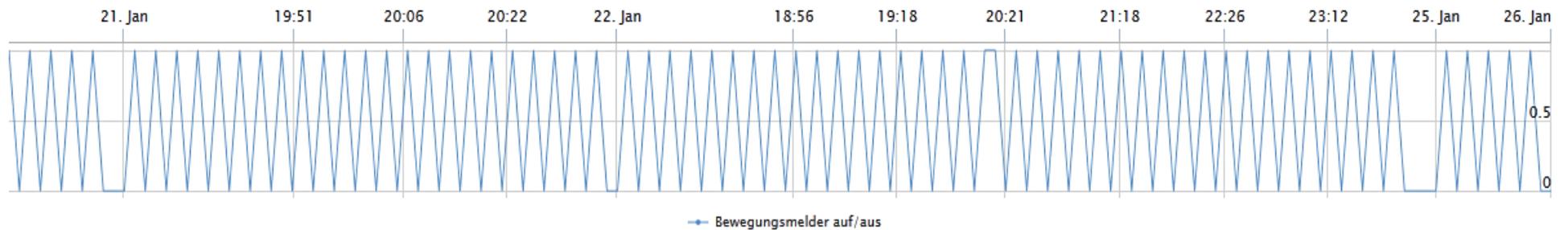
Außentemperatur, Globalstrahlung, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Ergänzungsbau Süd(west), Dez. 2015 – Feb. 2016, [$^{\circ}\text{C}/\%/W/m^2$] (Abschlussbericht Abb.87)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit 19.-26.1.2016 Ergänzungsbau Süd(west)



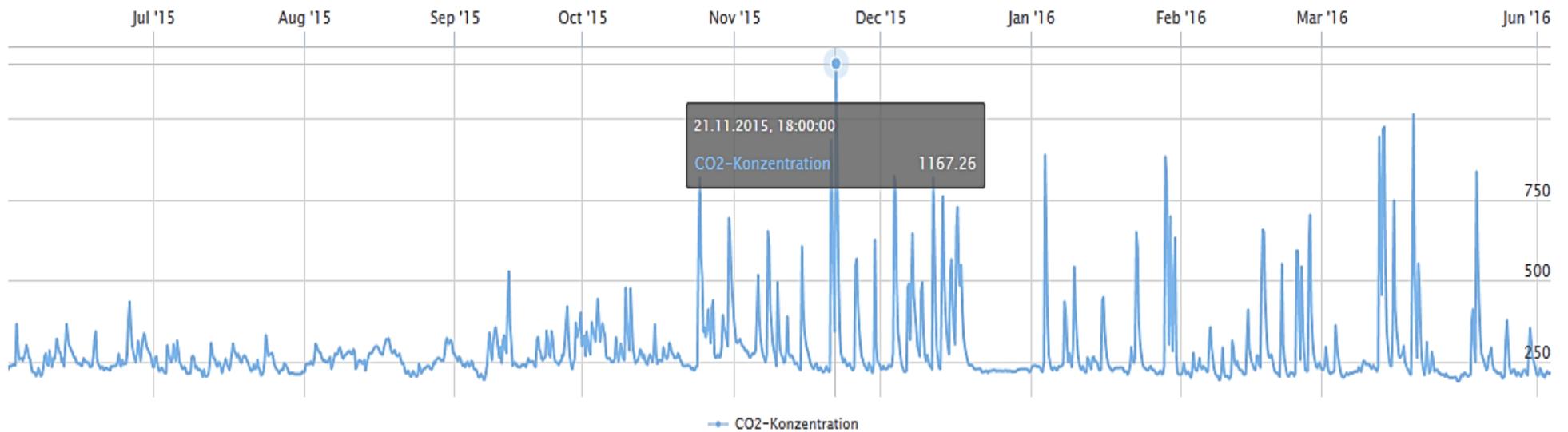
Außentemperatur, Globalstrahlung, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Ergänzungsbau Süd(west), 19.-26.1.2016, [$^{\circ}\text{C}/\%/W/m^2$] (Abschlussbericht Abb.88)

Bewegungsmelder 19.-26.1.2016 Ergänzungsbau Süd(west)



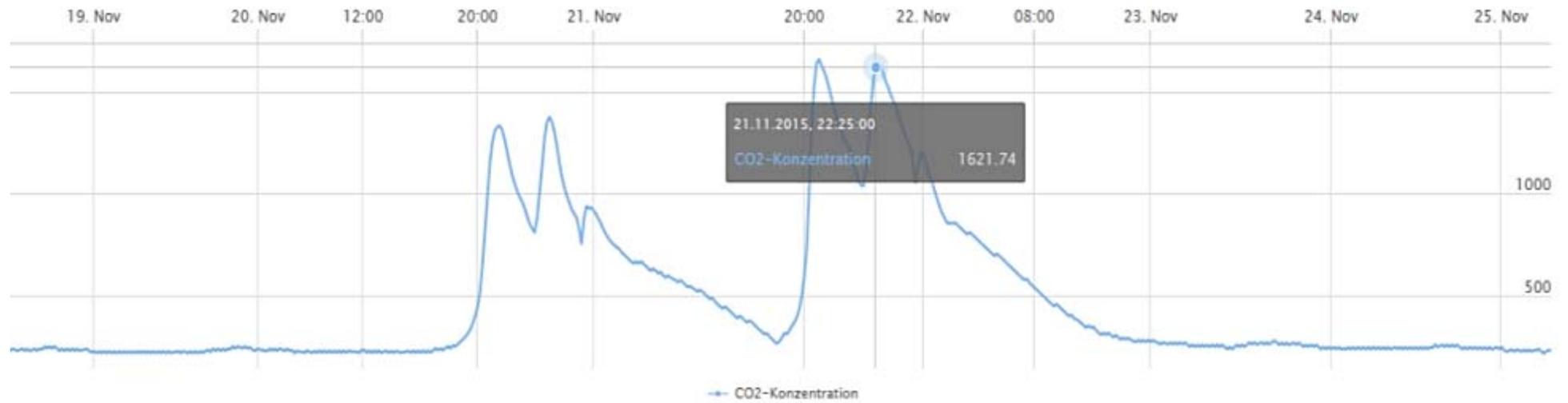
Anwesenheit von Personen Ergänzungsbau Süd(west), 19.-26.1.2016, [1 – anwesend/o – nicht anwesend] (Abschlussbericht Abb.89)

Raumluftqualität im Jahresverlauf 2015/16 Ergänzungsbau Süd(west)



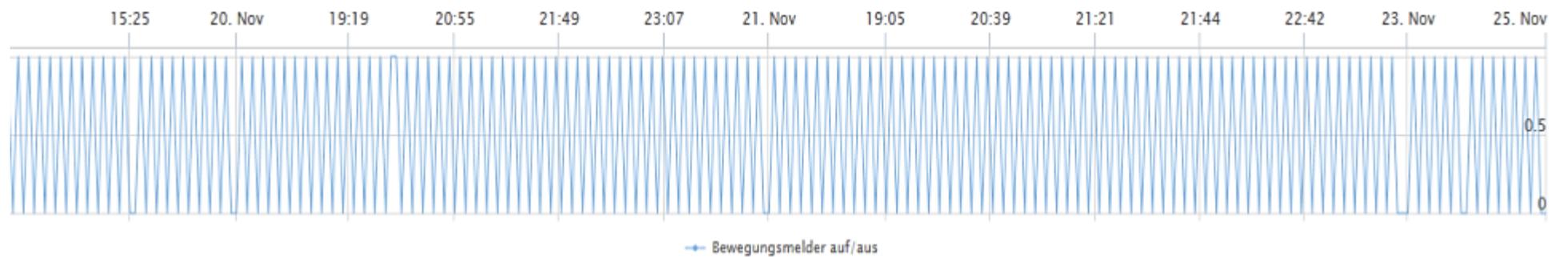
CO₂ Konzentration im Ergänzungsbau Süd(west), Referenzjahr, [ppm] (Abschlussbericht Abb.90)

Raumluftqualität 18-26.11.2015 Ergänzungsbau Süd(west)



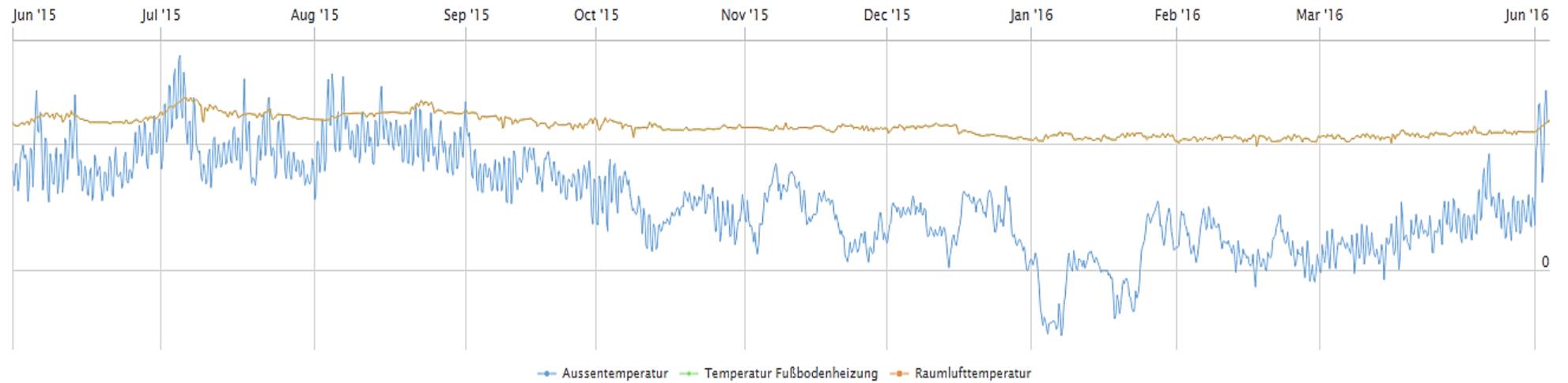
CO₂ Konzentration im Ergänzungsbau Süd(west), 18.-26.11.2015, [ppm] (Abschlussbericht Abb.91)

Bewegungsmelder 18.-26.11.2015 Ergänzungsbau Süd(west)



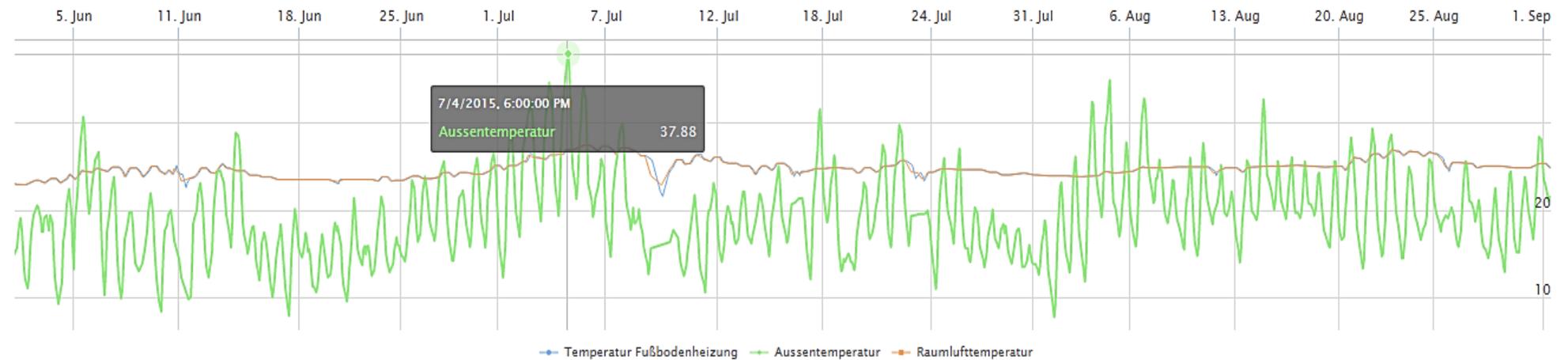
Anwesenheit von Personen Ergänzungsbau Süd(west), 18.-26.11.2015, [1 – anwesend/o – nicht anwesend] (Abschlussbericht Abb.92)

Raumlufttemperatur im Jahresverlauf 2015/16 Vorfoyer Nordwest



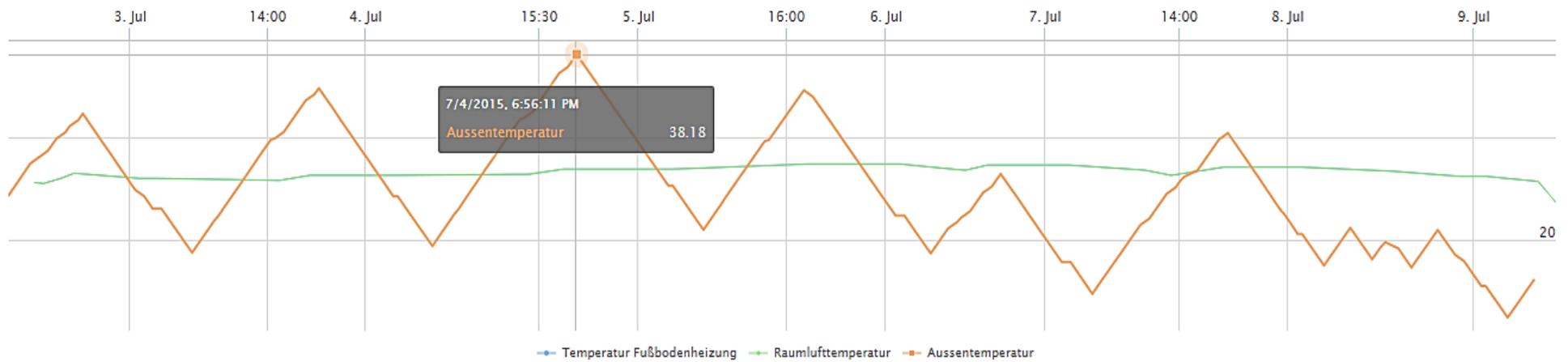
Außen-temperatur, Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur FBH Vorfoyer Nordwest, Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.93)

Raumlufttemperatur Juni – August 2015 Vorfoyer Nordwest



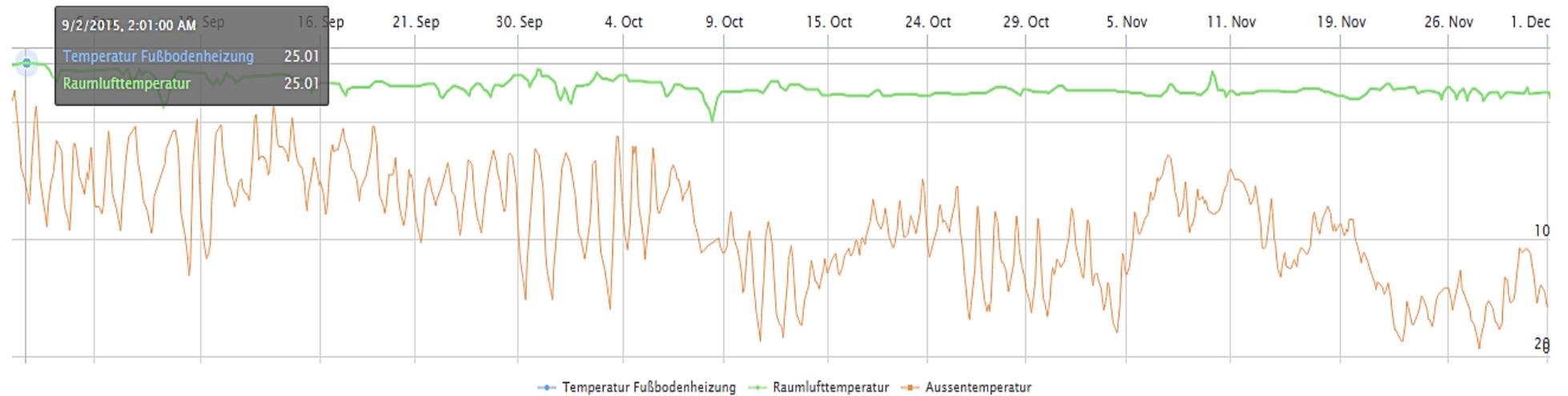
Außen-temperatur, Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur FBH Vorfoyer Nordwest, Juni – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.94)

Raumlufttemperatur 2.7-9.7.2015 („Extremwetterlage Hitzewelle“) Vorfoyer Nordwest



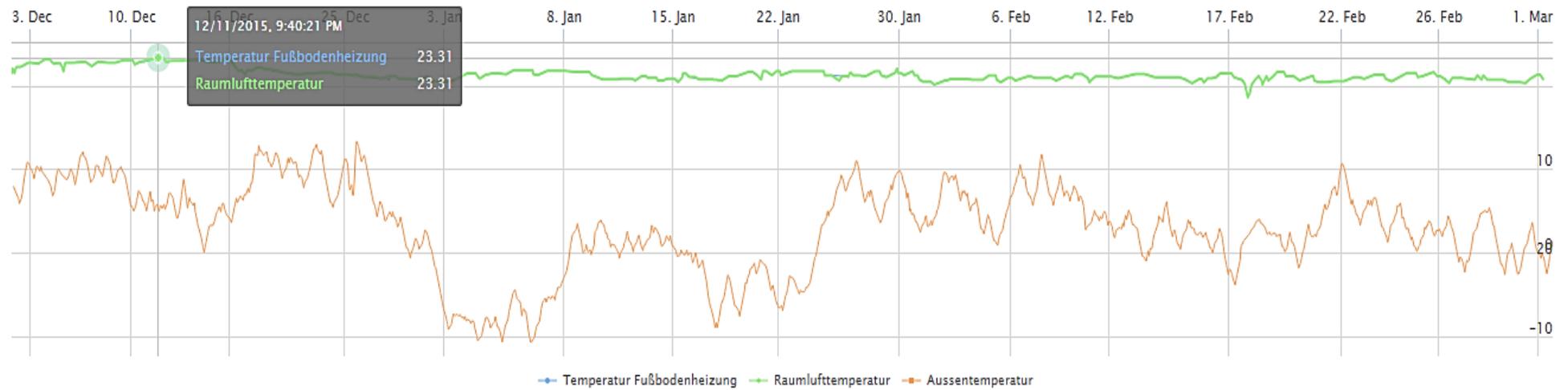
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur der FBH Vorfoyer Nordwest, 2.7-9.7.2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.95)

Raumlufttemperatur September – November 2015 Vorfoyer Nordwest



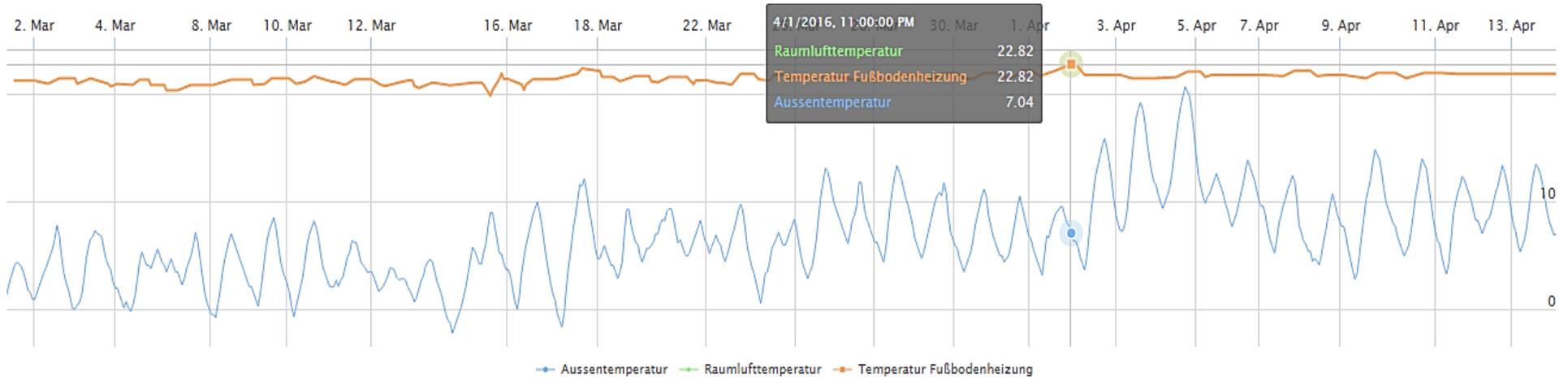
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur FBH Vorfoyer Nordwest, Sept. – Nov. 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.96)

Raumlufttemperatur Dezember 2015 – Februar 2016 Vorfoyer Nordwest



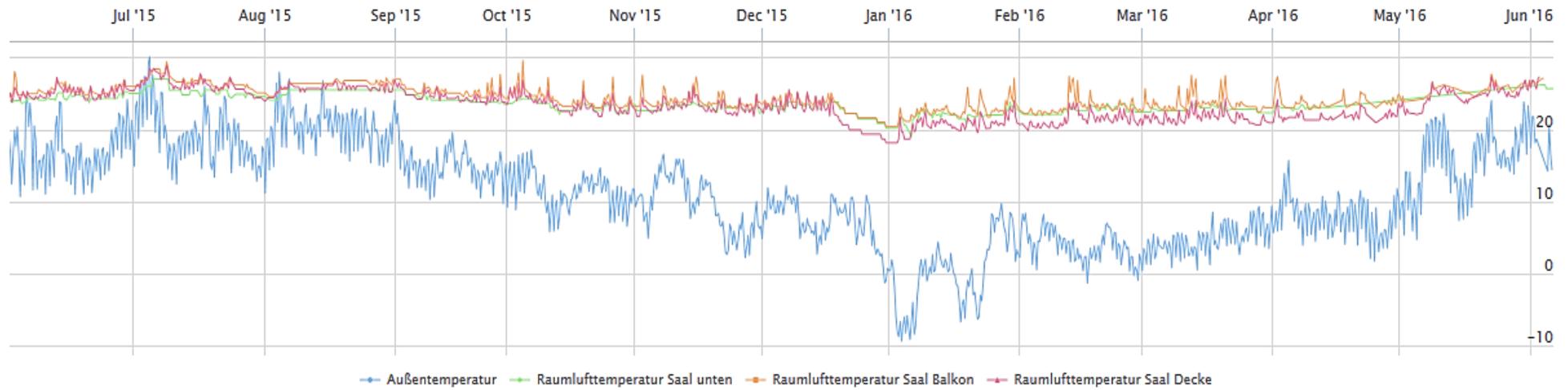
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur FBH Vorfoyer Nordwest, Dez. 2015 – Febr. 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.97)

Raumlufttemperatur März – Mai 2016 Vorfoyer Nordwest



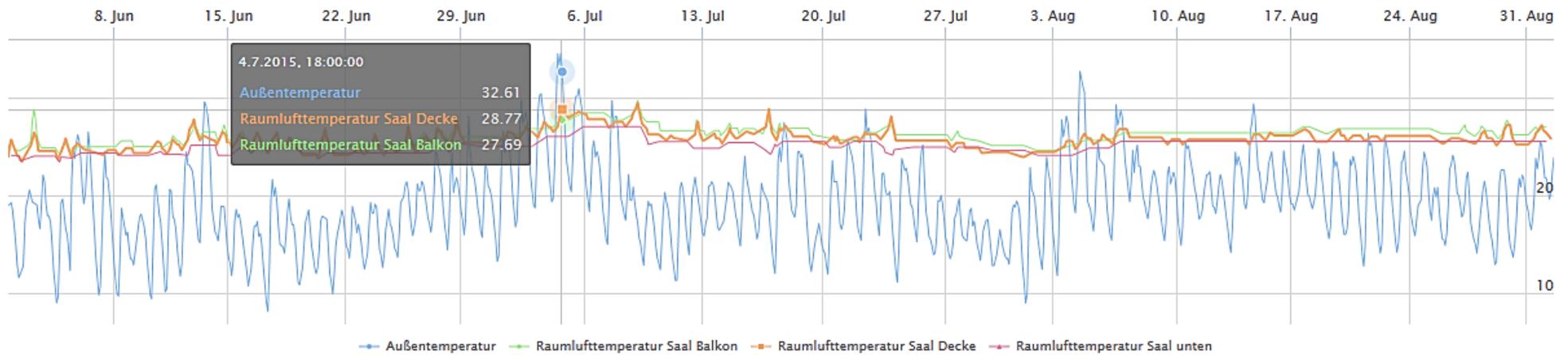
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur FBH Vorfoyer Nordwest, März – Mai 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.98)

Raumlufttemperatur im Jahresverlauf 2015/16 Zuschauerraum und Balkon



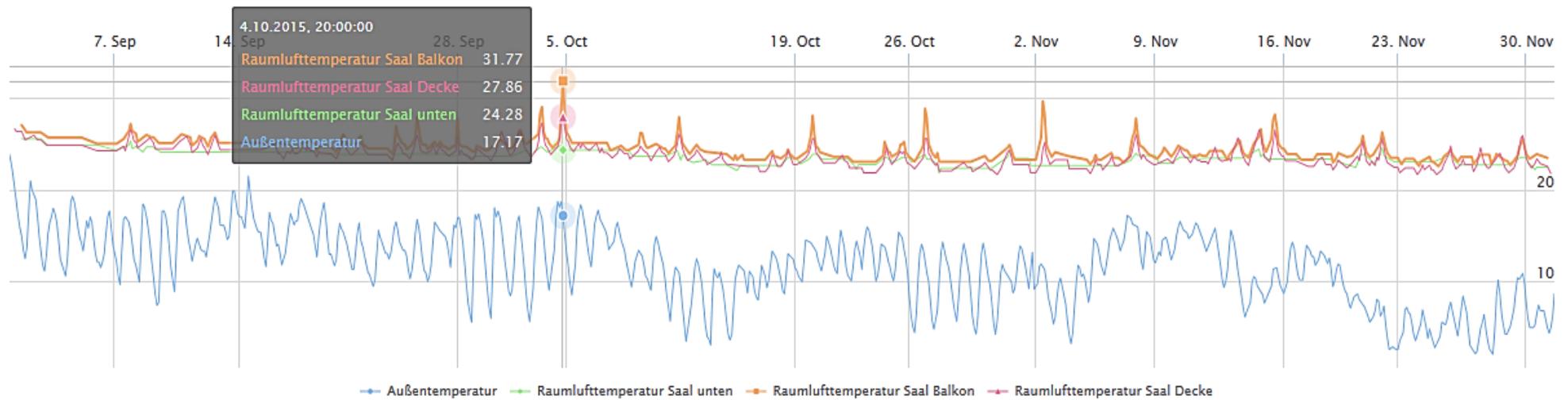
Außentemperatur, Raumlufttemperatur in 3 Höhen Zuschauerraum und Balkon, Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.99)

Raumlufttemperatur Juni – August 2015 Zuschauerraum und Balkon



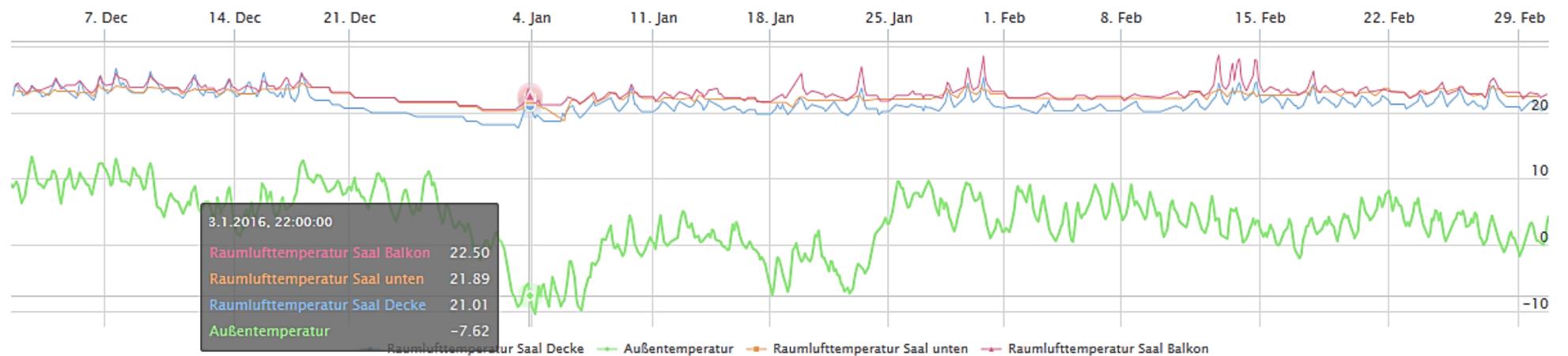
Außentemperatur, Raumlufttemperatur in 3 Höhen Zuschauerraum und Balkon, Juni – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.100)

Raumlufttemperatur September – November 2015 Zuschauerraum und Balkon



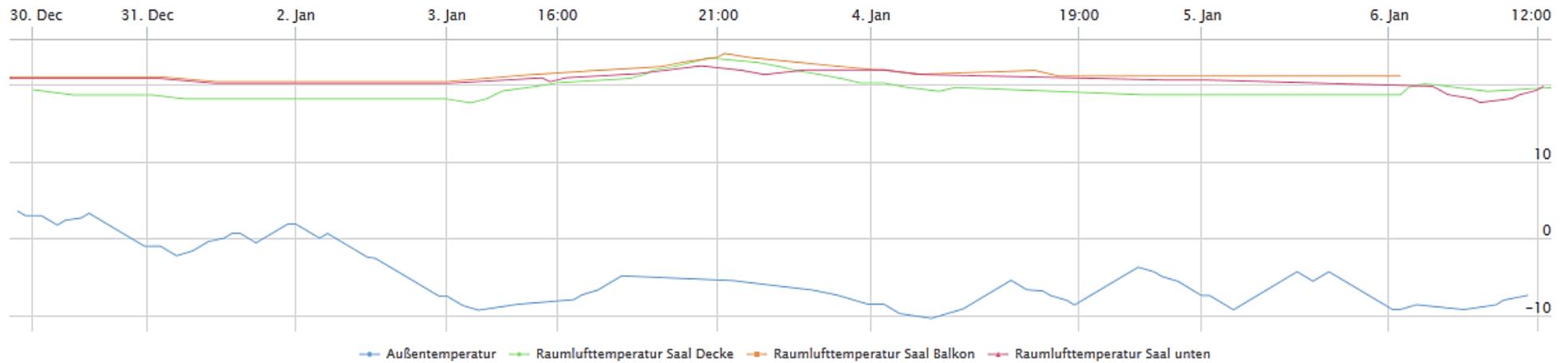
Außentemperatur, Raumlufttemperatur in 3 Höhen Zuschauerraum und Balkon, Sept. – November 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.101)

Raumlufttemperatur Dezember 2015 – Februar 2016 Zuschauerraum und Balkon



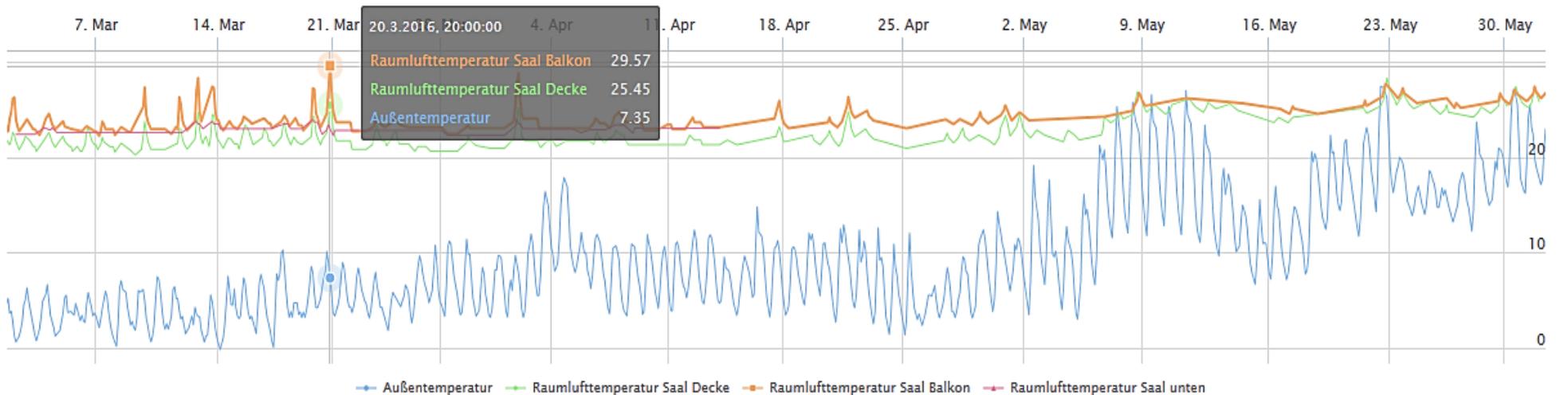
Außentemperatur, Raumlufttemperatur in 3 Höhen Zuschauerraum und Balkon, Dez. 2015 – Februar 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.102)

Raumlufttemperatur 29.12.2015 – 6.1.2016 (kälteste Woche) Zuschauerraum und Balkon



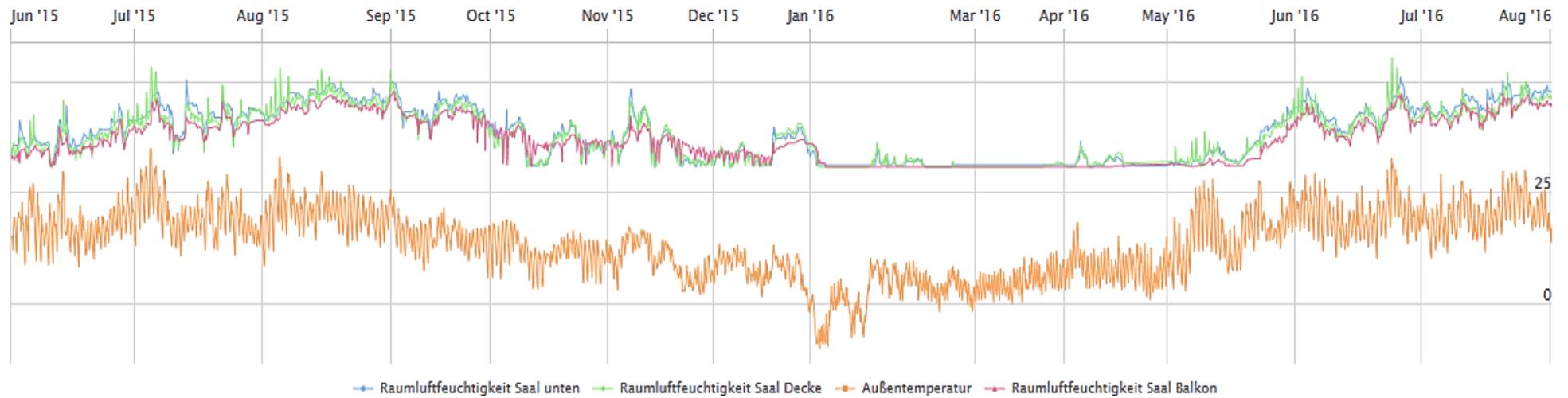
Außentemperatur, Raumlufttemperatur in 3 Höhen Zuschauerraum und Balkon, 29.12.2015 – 6.1.2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.103)

Raumlufttemperatur März – Mai 2016 Zuschauerraum und Balkon



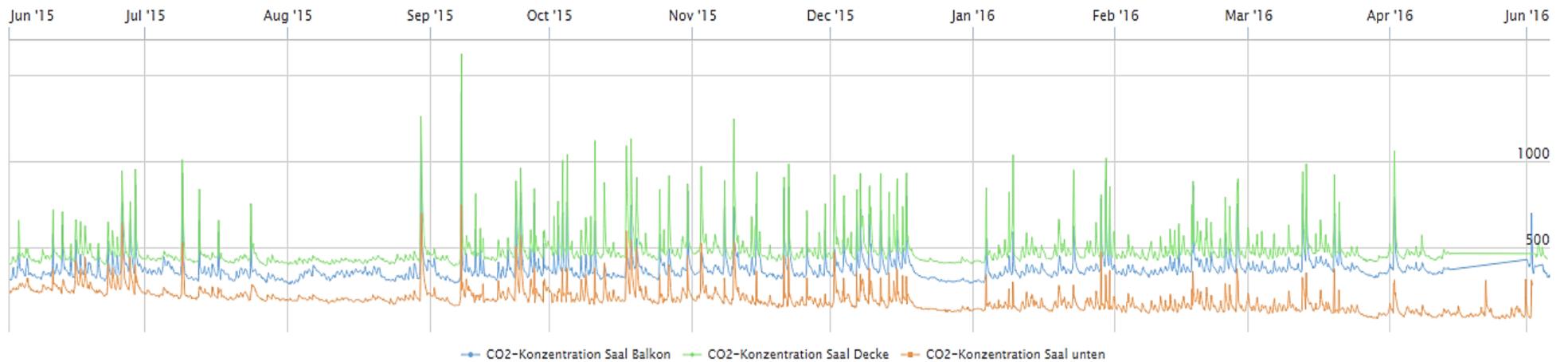
Außentemperatur, Raumlufttemperatur in 3 Höhen Zuschauerraum und Balkon, März – Mai 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.104)

Raumluftfeuchtigkeit im Jahresverlauf 2015/16 Zuschauerraum und Balkon



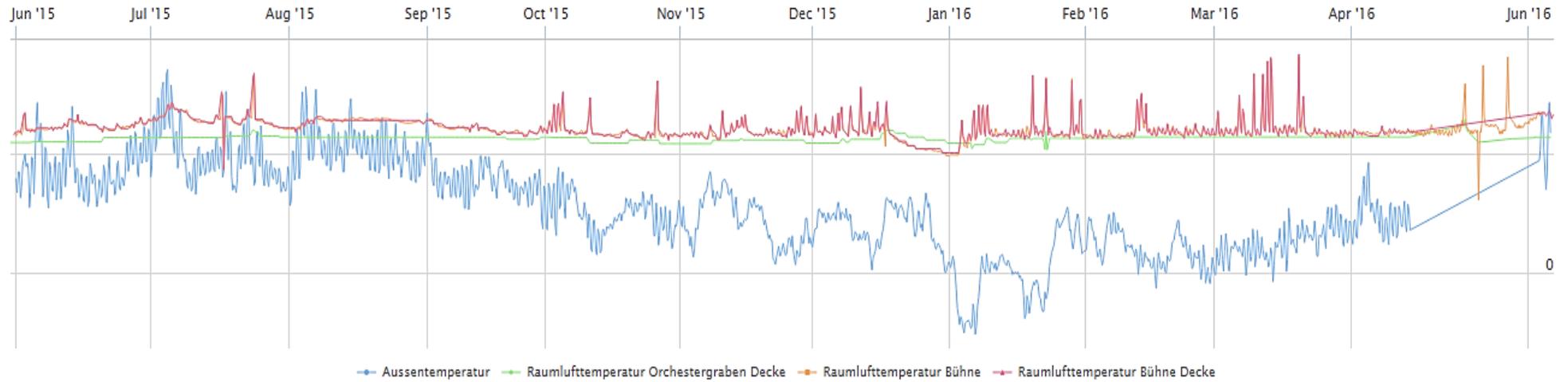
Außentemperatur, Raumlufffeuchtigkeit in 3 Höhen Zuschauerraum und Balkon, Referenzjahr, [°C/%] (Abschlussbericht Abb.105)

Raumluftqualität im Jahresverlauf 2015/16 Zuschauerraum und Balkon



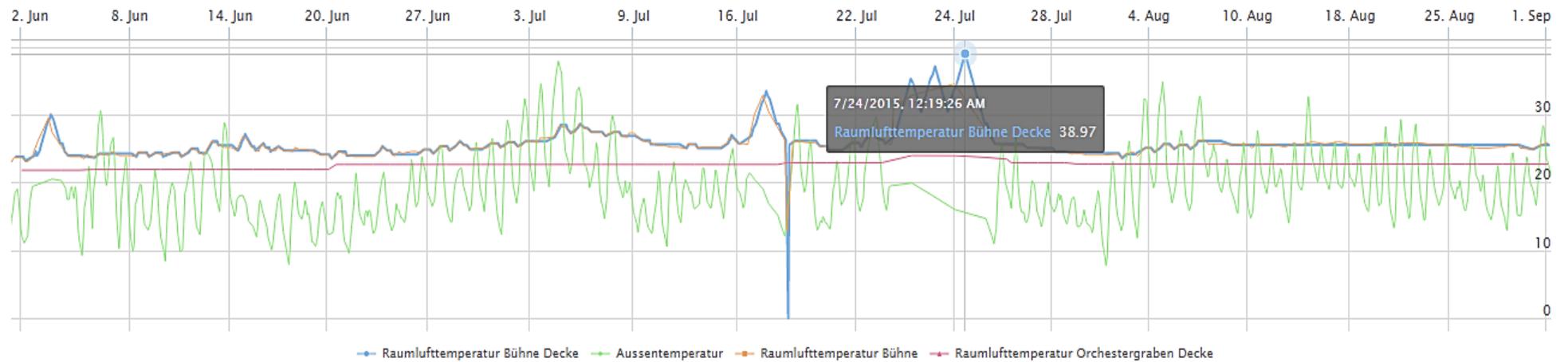
CO₂ Konzentration im Zuschauerraum und Balkon, Referenzjahr, [ppm] (Abschlussbericht Abb.106)

Raumlufttemperatur im Jahresverlauf 2015/16 Orchestergraben, Bühne



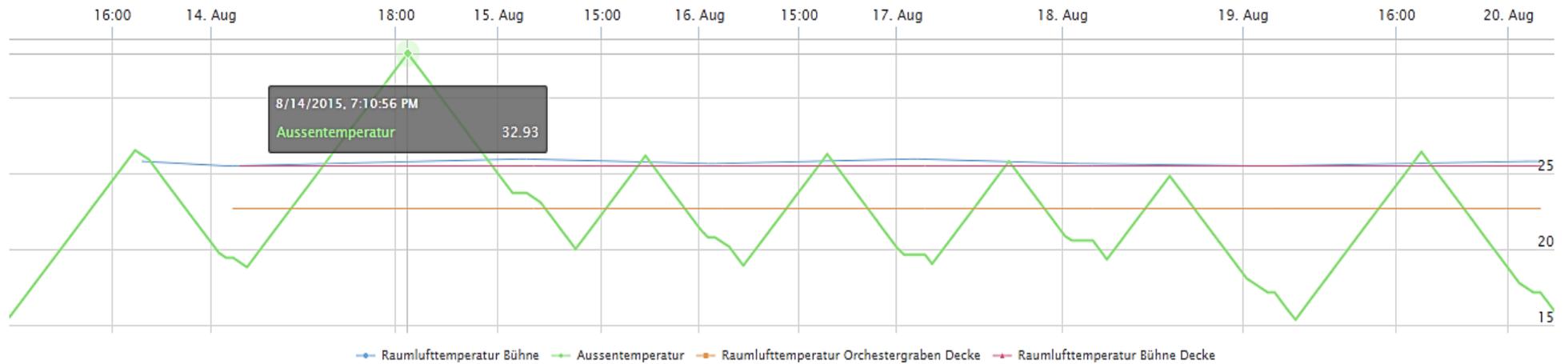
Außentemperatur, Raumlufttemperatur Orchestergraben, Bühne, Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.107)

Raumlufttemperatur Juni – August 2015 Orchestergraben, Bühne



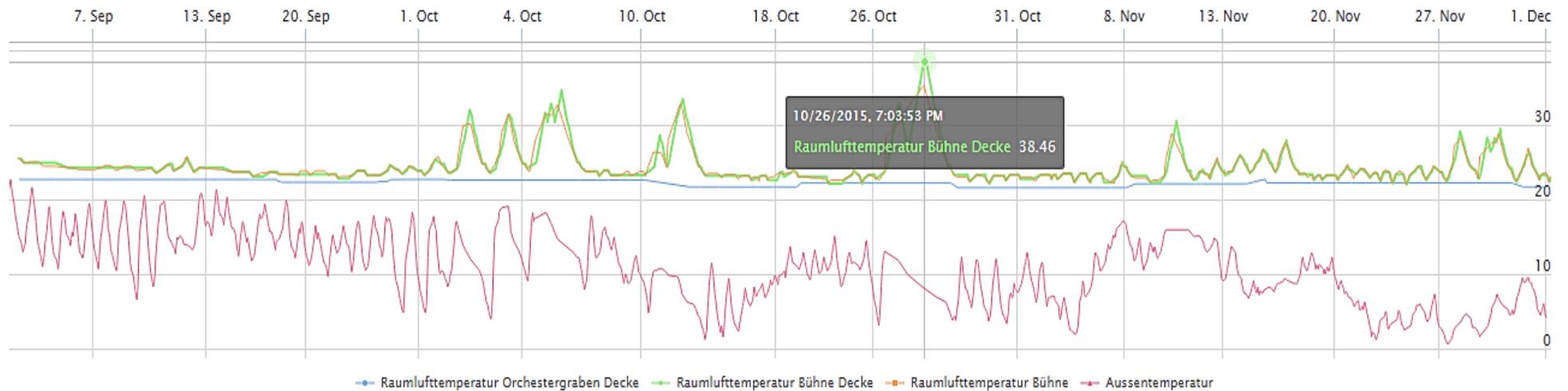
Außentemperatur, Raumlufttemperatur Orchestergraben, Bühne, Juni – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.108)

Raumlufttemperatur 13.8.-20.8.2015 (Normalwetter) Orchestergraben, Bühne



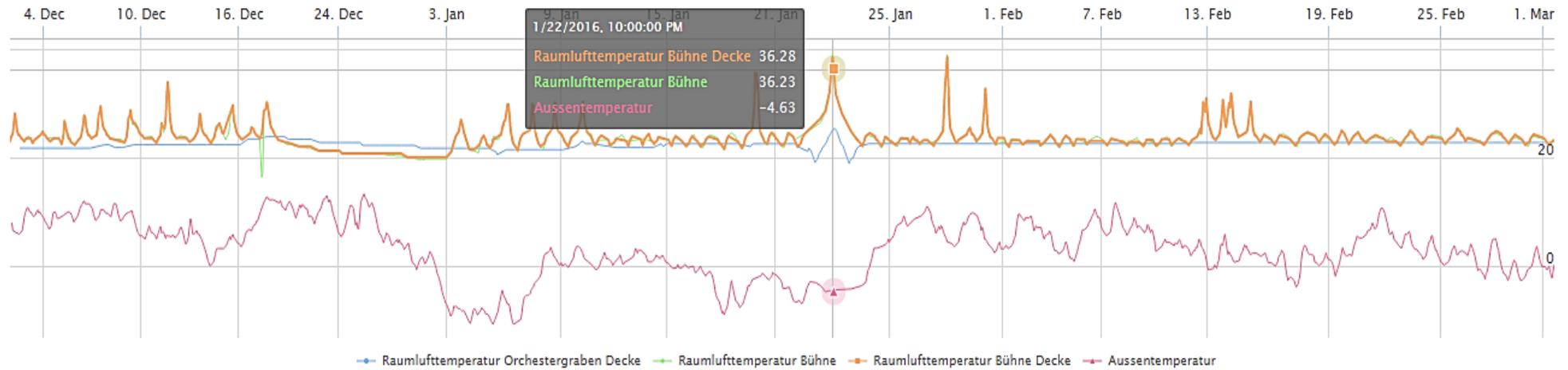
Außentemperatur, Raumlufttemperatur Orchestergraben, Bühne, 13.8.-20.8.2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.109)

Raumlufttemperatur September – November 2015 Orchestergraben, Bühne



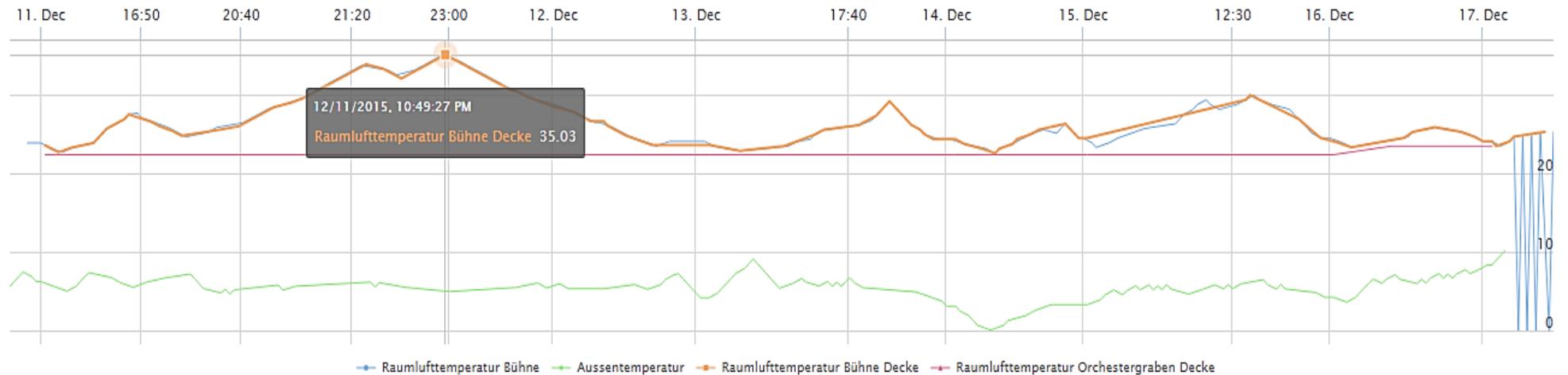
Außentemperatur, Raumlufttemperatur Orchestergraben, Bühne, September – November 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.110)

Raumlufttemperatur Dezember 2015 – Februar 2016 Orchestergraben, Bühne



Außentemperatur, Raumlufttemperatur Orchestergraben, Bühne, Dezember 2015 – Februar 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.111)

Raumlufttemperatur 10.12-17.12.2015 (Normalwetter) Orchestergraben, Bühne



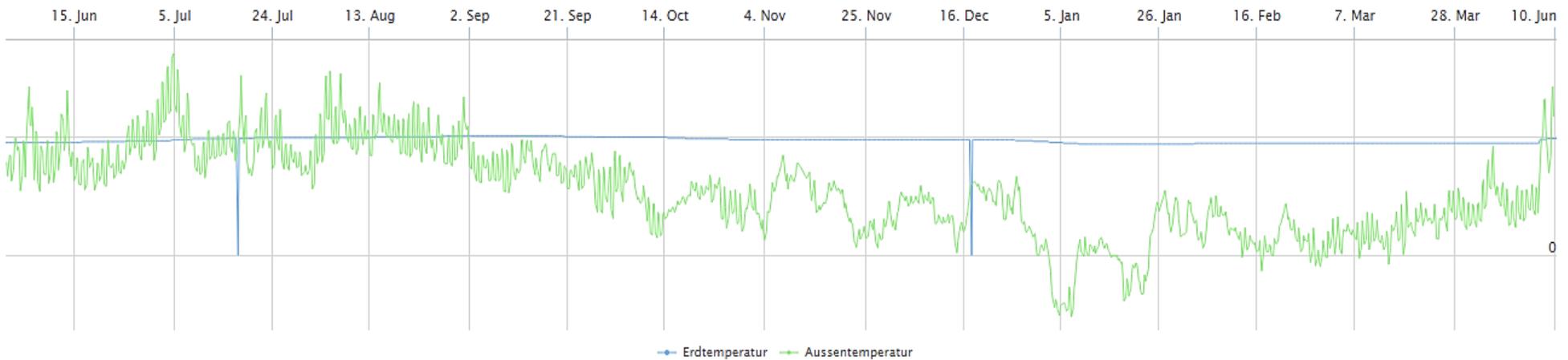
Außentemperatur, Raumlufttemperatur Orchestergraben, Bühne, 10.12.-17.12.2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.112)

Raumluftfeuchtigkeit im Jahresverlauf 2015/16 Orchestergraben



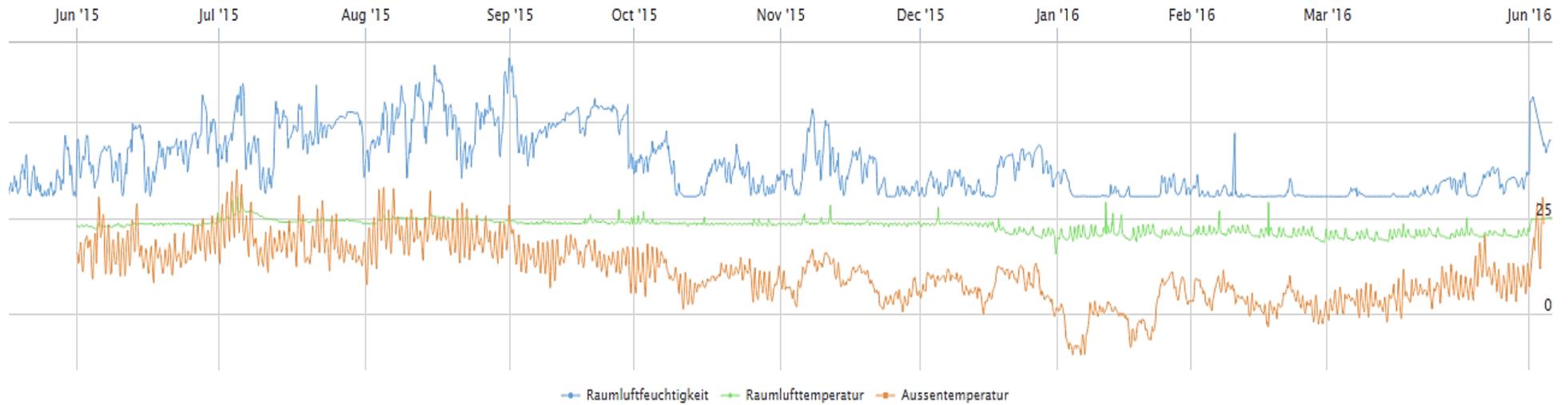
Außentemperatur, Raumluftfeuchtigkeit Orchestergraben unter der Decke, Referenzjahr, [°C/%] (Abschlussbericht Abb.113)

Temperatur der Erde unter dem Gebäude im Jahresverlauf 2015/16



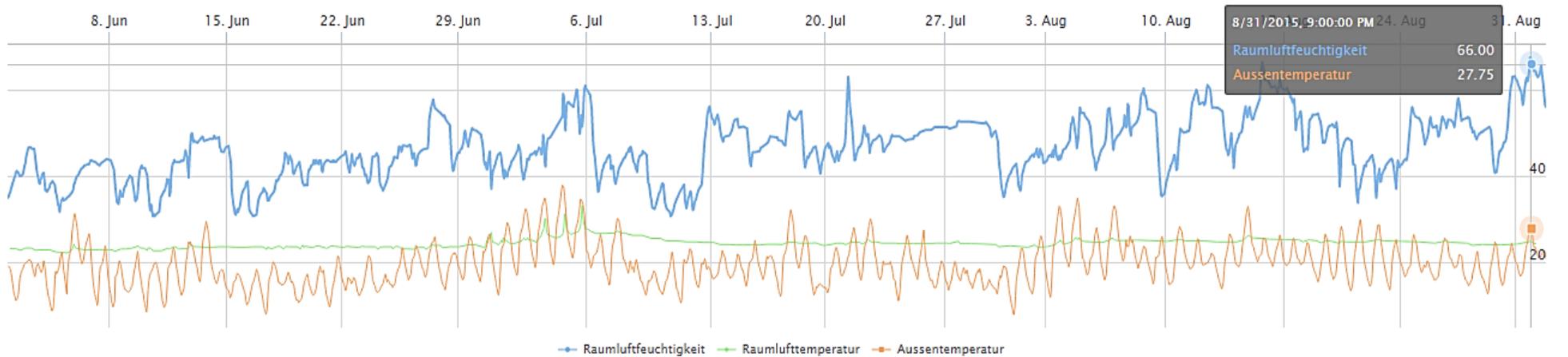
Außentemperatur, Raumluftfeuchtigkeit in 3 Höhen Zuschauerraum und Balkon, Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.114)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit im Jahresverlauf 2015/16 Kammerbühne Nord(ost)



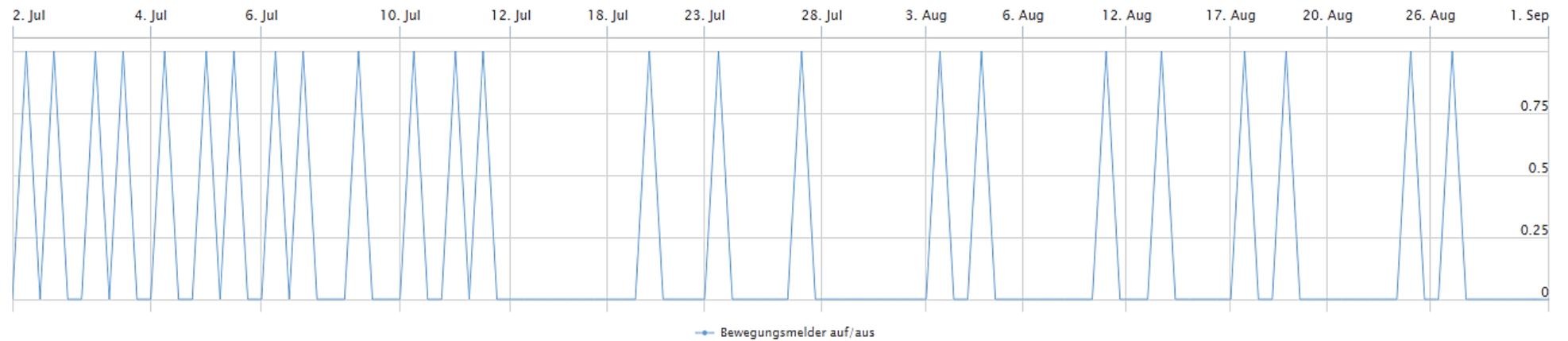
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), Referenzjahr, [°C,%] (Abschlussbericht Abb.115)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Juni – August 2015 Kammerbühne Nord(ost)



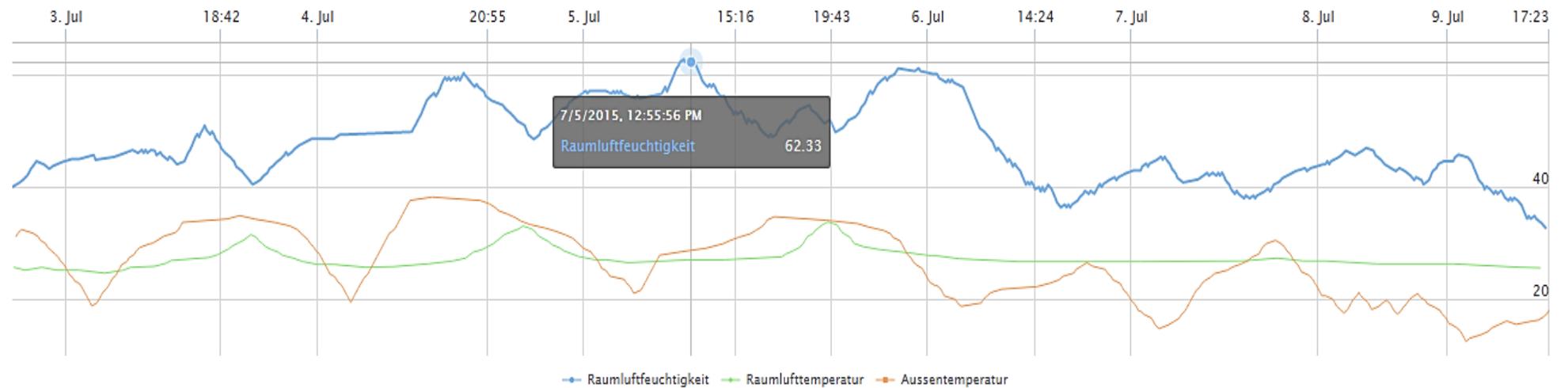
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), Juni – August 2015, [°C,%] (Abschlussbericht Abb.116)

Präsenzmelder Juni – August 2015 Kammerbühne Nord(ost)



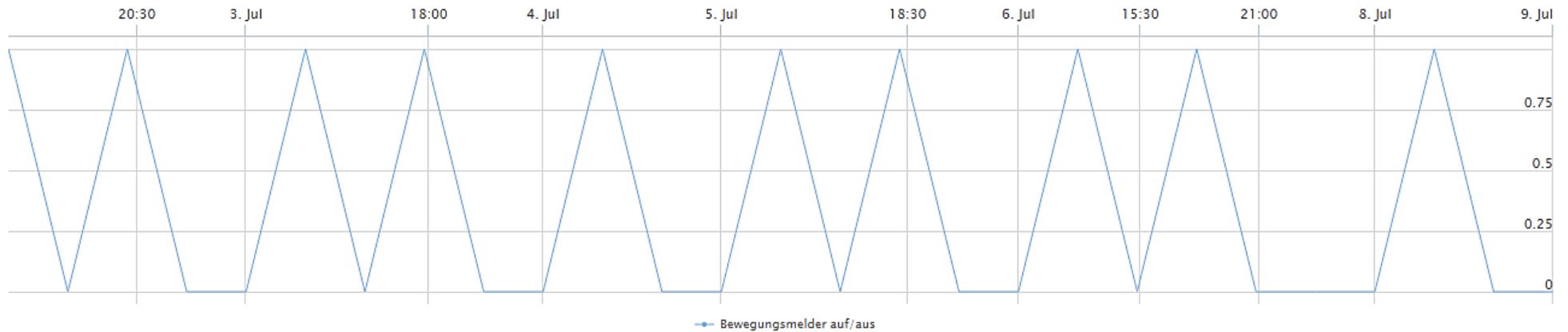
Anwesenheit von Personen Kammerbühne Nord(ost), Juni – August 2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.117)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit erste Woche Juli 2015 Kammerbühne Nord(ost) („Extremwetterlage Hitzewelle“)



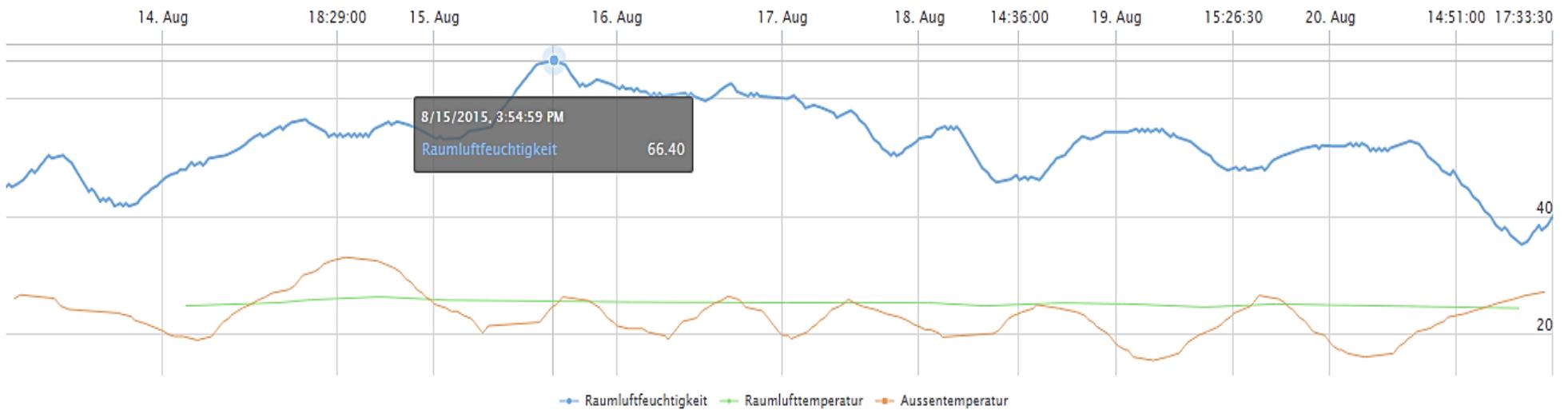
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), 2.7.-9.7.2015, [°C,%] (Abschlussbericht Abb.118)

Präsenzmelder erste Woche Juli 2015 Kammerbühne Nord(ost) („Extremwetterlage Hitzewelle“)



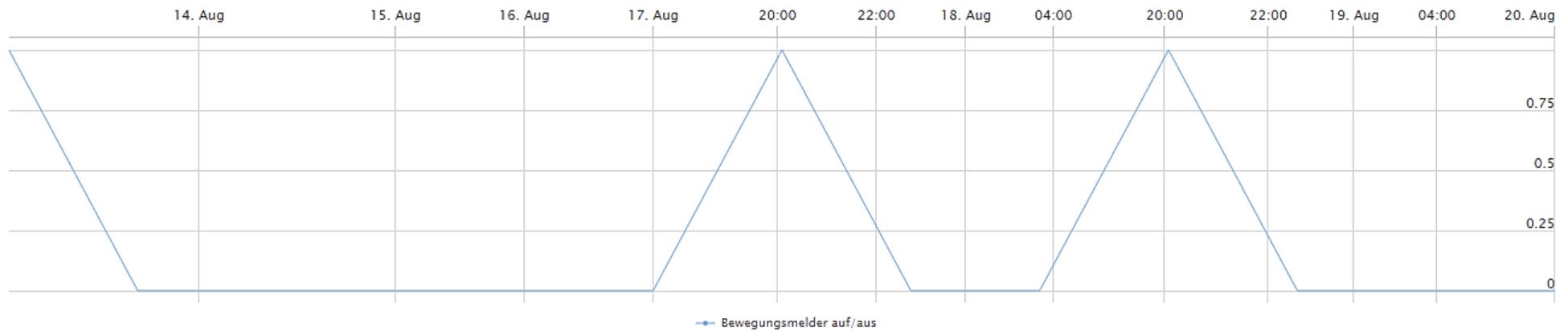
Anwesenheit von Personen Kammerbühne Nord(ost), 2.7.-9.7.2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.119)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit 13.8.-20.8.2015 Kammerbühne Nord(ost) (Normalwetter)



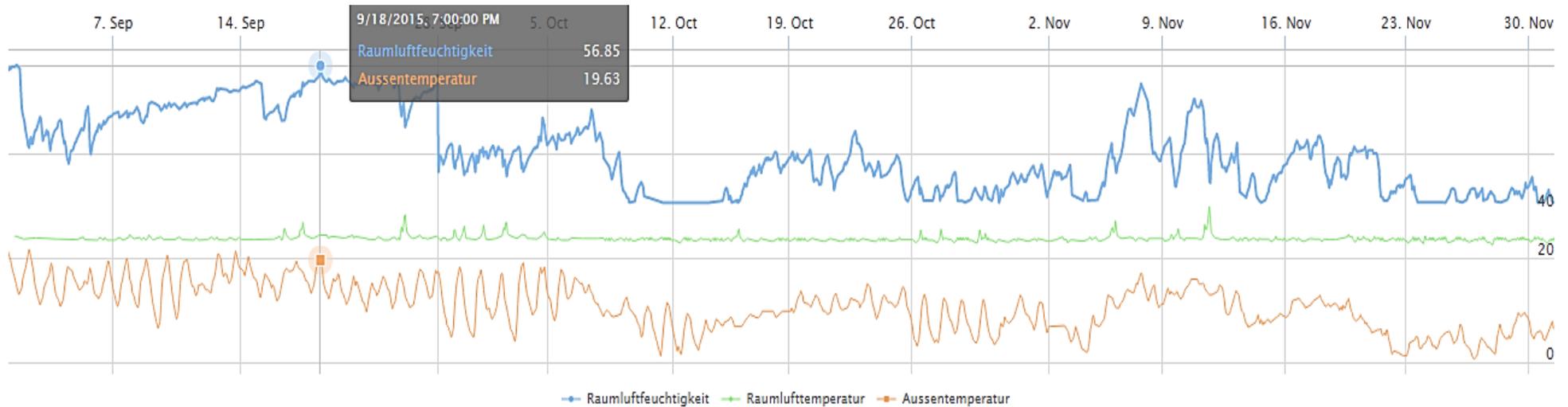
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), 13.8.-20.8.2015, [°C,%] (Abschlussbericht Abb.120)

Präsenzmelder 13.8.-20.8.2015 Kammerbühne Nord(ost) (Normalwetter)



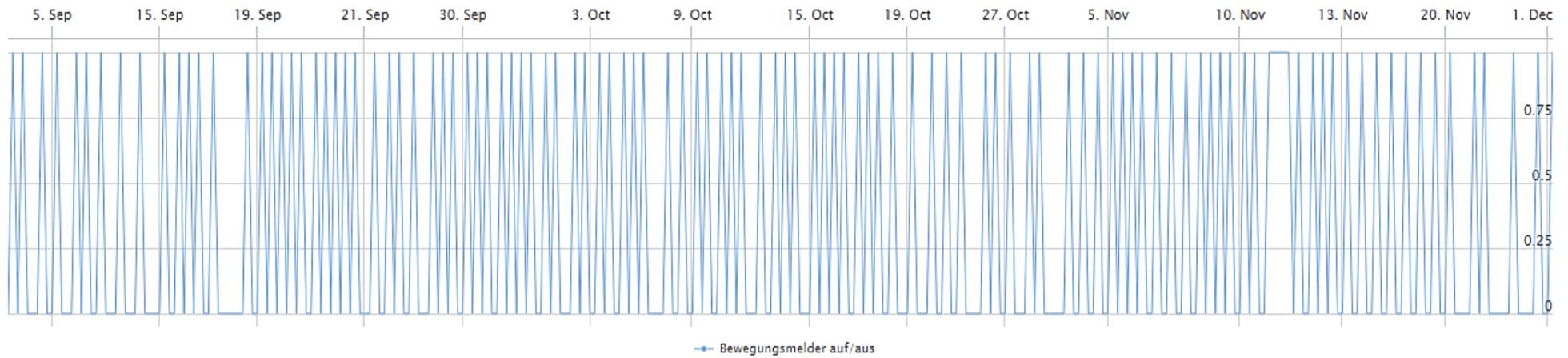
Anwesenheit von Personen Kammerbühne Nord(ost), 13.8.-20.8.2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.121)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit September – November 2015 Kammerbühne Nord(ost)



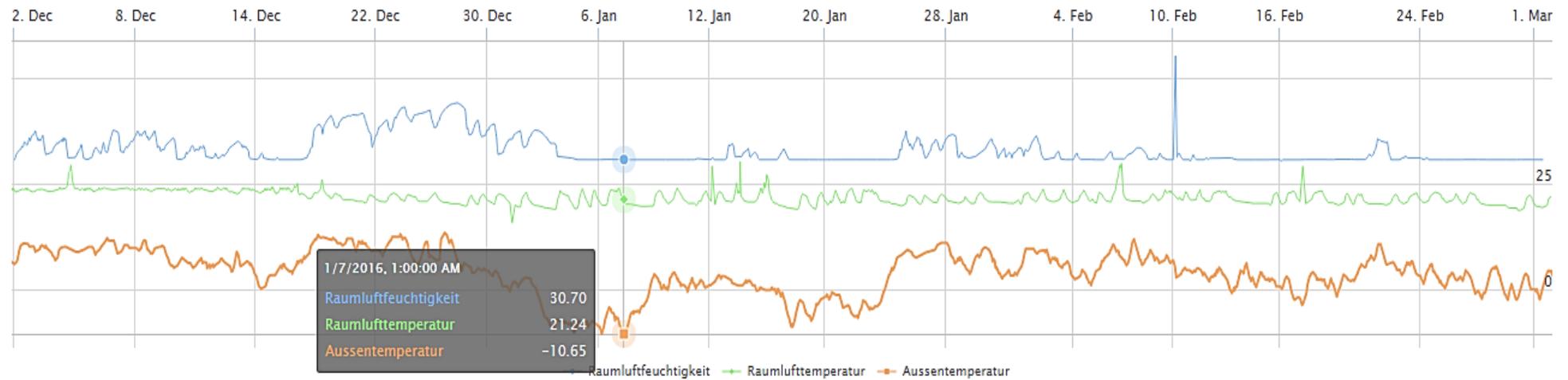
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), Sept. – Nov. 2015, [°C,%] (Abschlussbericht Abb.122)

Präsenzmelder September – November 2015 Kammerbühne Nord(ost)



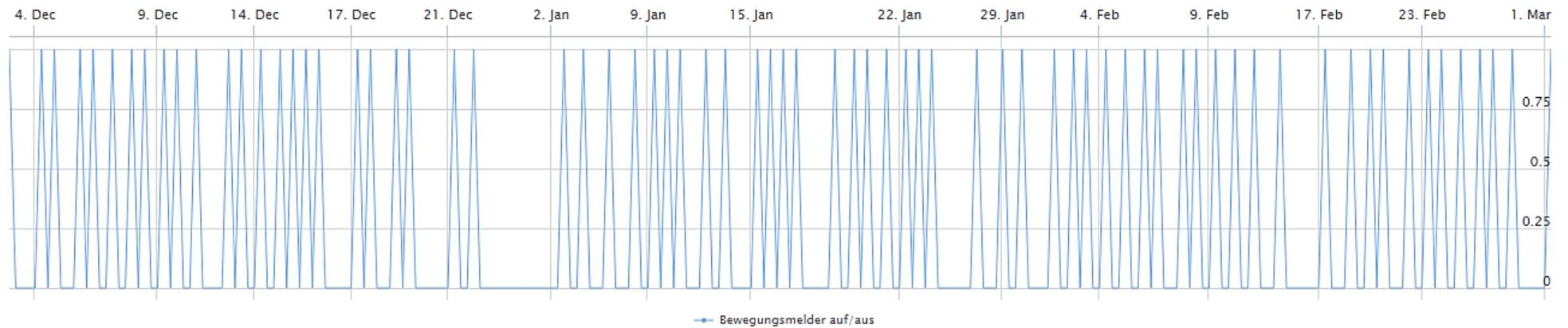
Anwesenheit von Personen Kammerbühne Nord(ost), Sept. – Nov. 2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.123)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Dezember 2015 – Februar 2016 Kammerbühne Nord(ost)



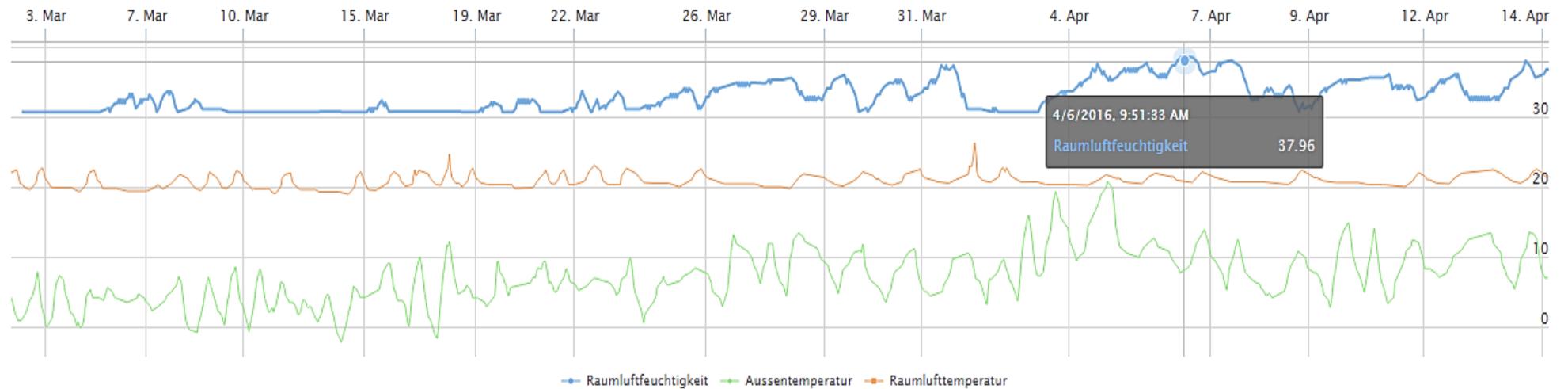
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), Dez. 2015 – Feb. 2016, [°C,%] (Abschlussbericht Abb.124)

Präsenzmelder Dezember 2015 – Februar 2016 Kammerbühne Nord(ost)



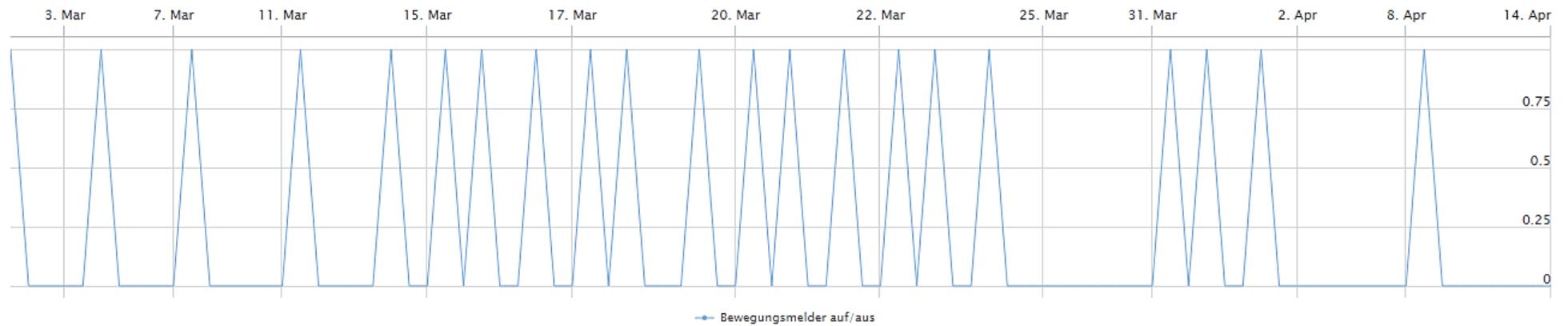
Personenanwesenheit Kammerbühne Nord(ost), Dez. 2015 – Feb. 2016, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.125)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit März – Mai 2016 Kammerbühne Nord(ost)



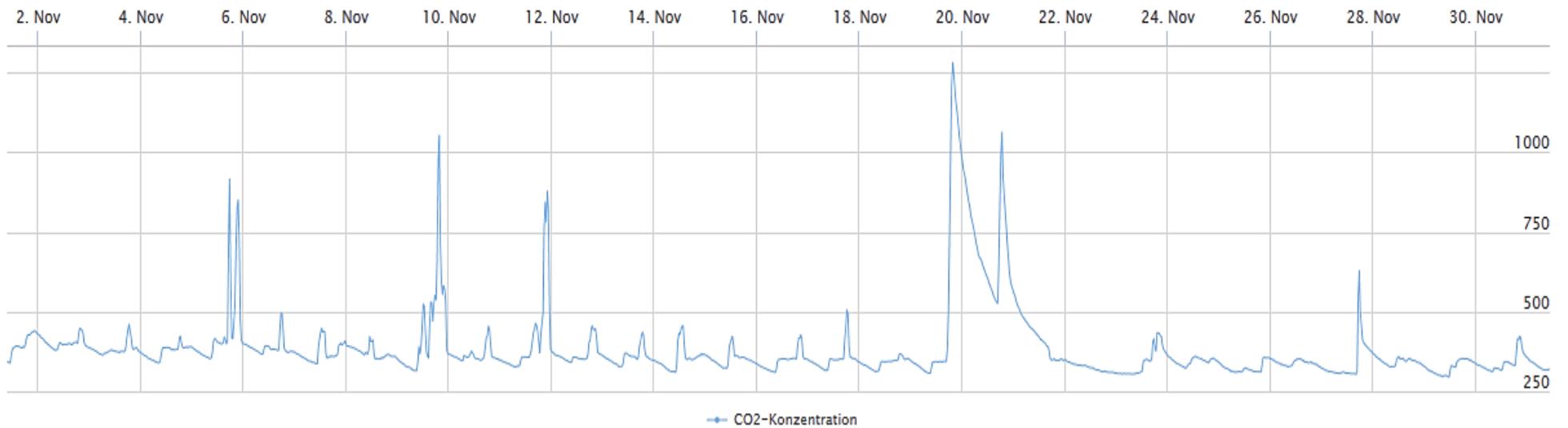
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Kammerbühne Nord(ost), März – Mai 2016, [°C,%] (Abschlussbericht Abb.126)

Präsenzmelder März – Mai 2016 Kammerbühne Nord(ost)



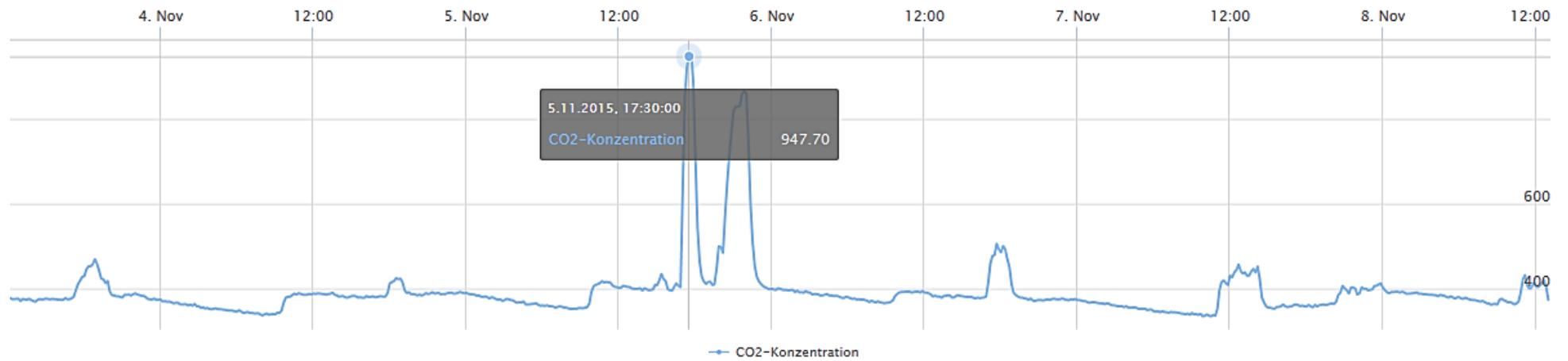
Anwesenheit von Personen Kammerbühne Nord(ost), März – Mai 2016, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.127)

Raumluftqualität im November 2015 Kammerbühne Nord(ost)



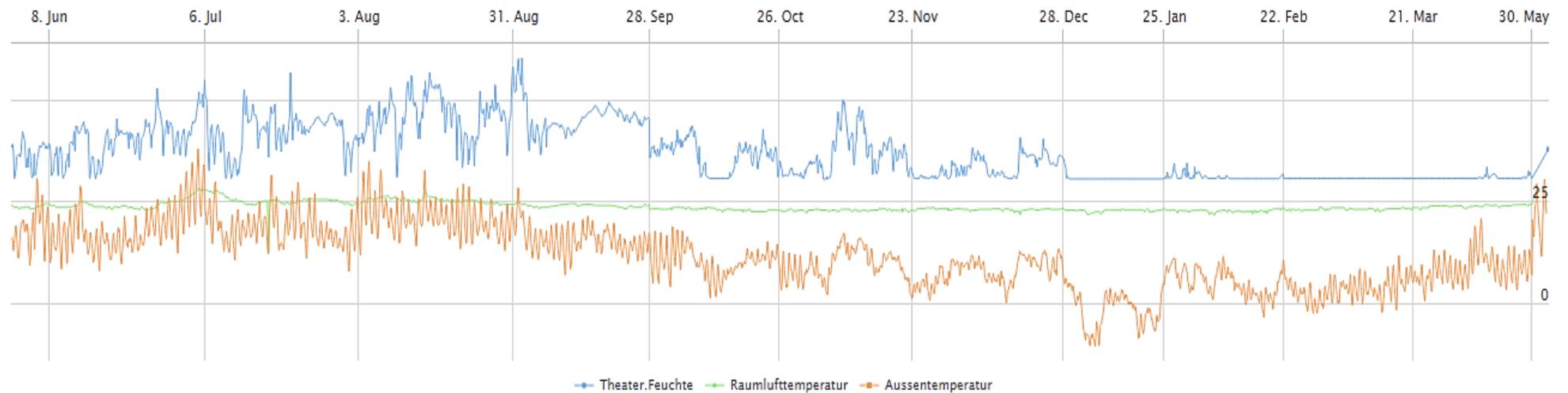
CO₂ Konzentration in der Kammerbühne, November 2015, [ppm] (Abschlussbericht Abb.128)

Raumluftqualität in einer November Woche 2015 Kammerbühne Nord(ost)



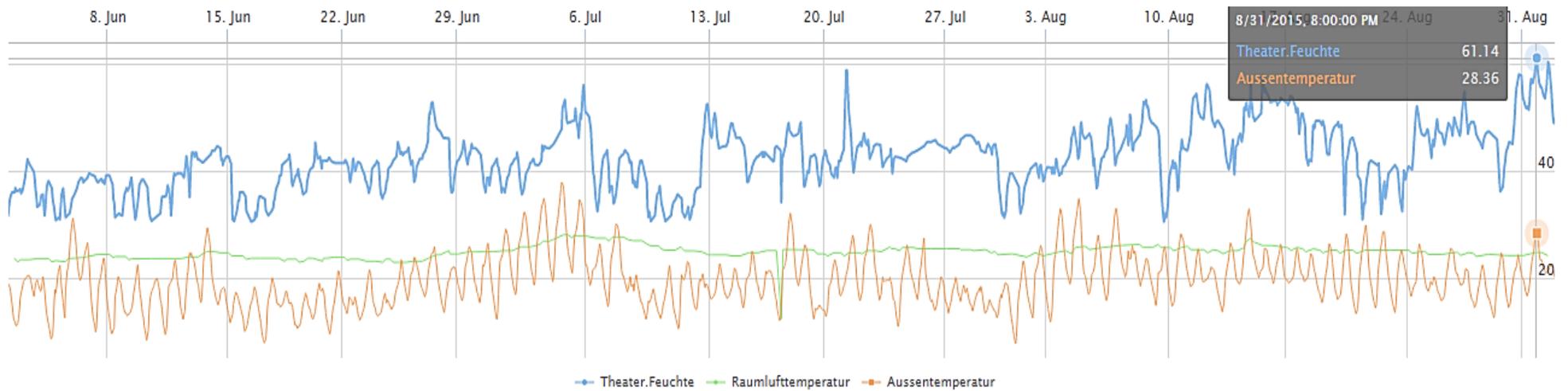
CO₂ Konzentration in der Kammerbühne, 3.11.-9.11. 2015, [ppm] (Abschlussbericht Abb.129)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit im Jahresverlauf 2015/16 Theaterklausur Nord(ost)



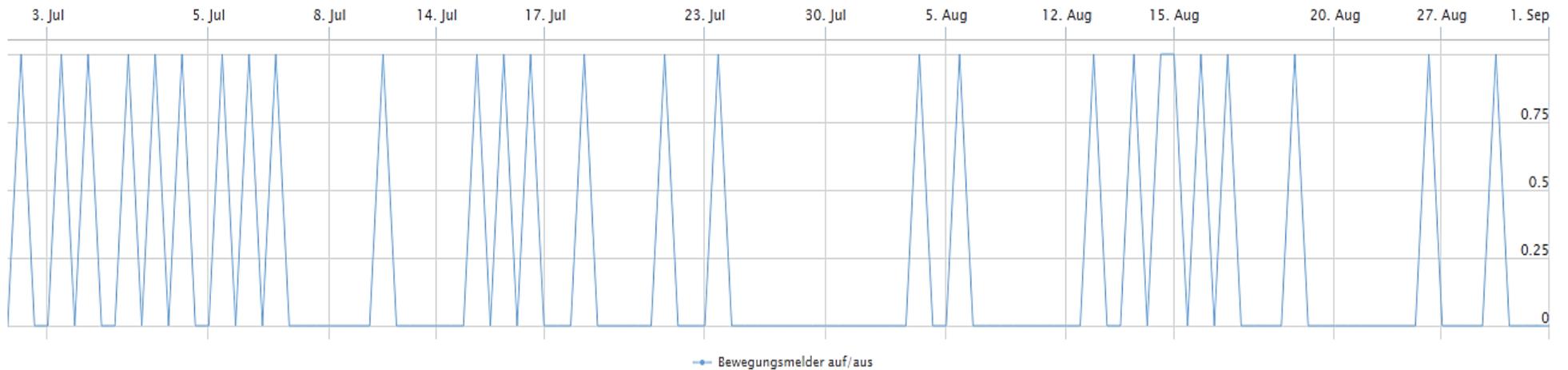
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Theaterklausur Nord(ost), Referenzjahr, [°C,%] (Abschlussbericht Abb.130)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Juni – August 2015 Theaterklausur Nord(ost)



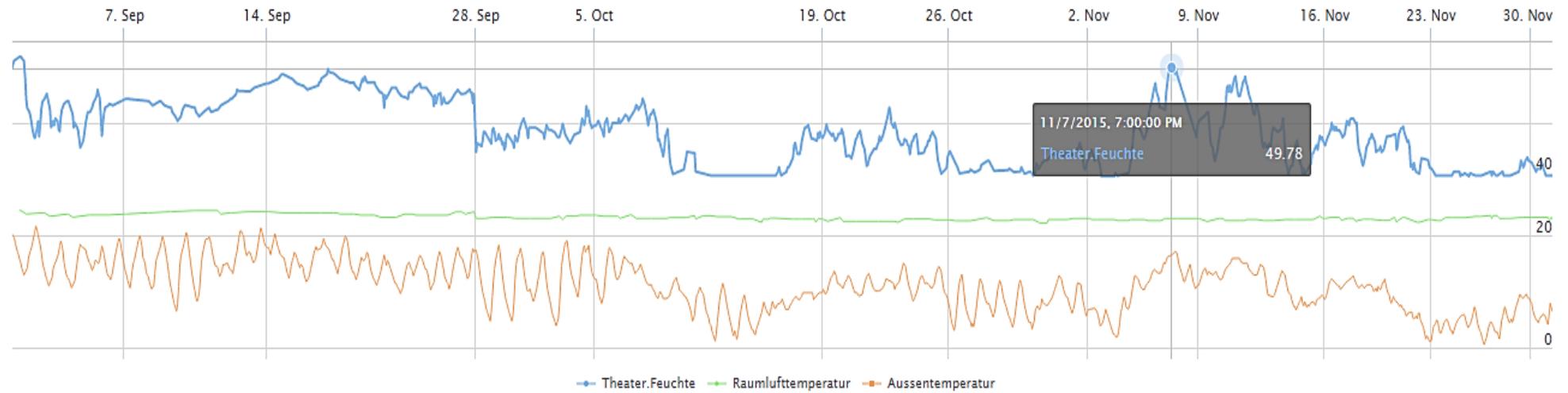
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Theaterklausur Nord(ost), Juni – August 2015, [°C,%] (Abschlussbericht Abb.131)

Präsenzmelder Juli – August 2015 Theaterklausur Nord(ost)



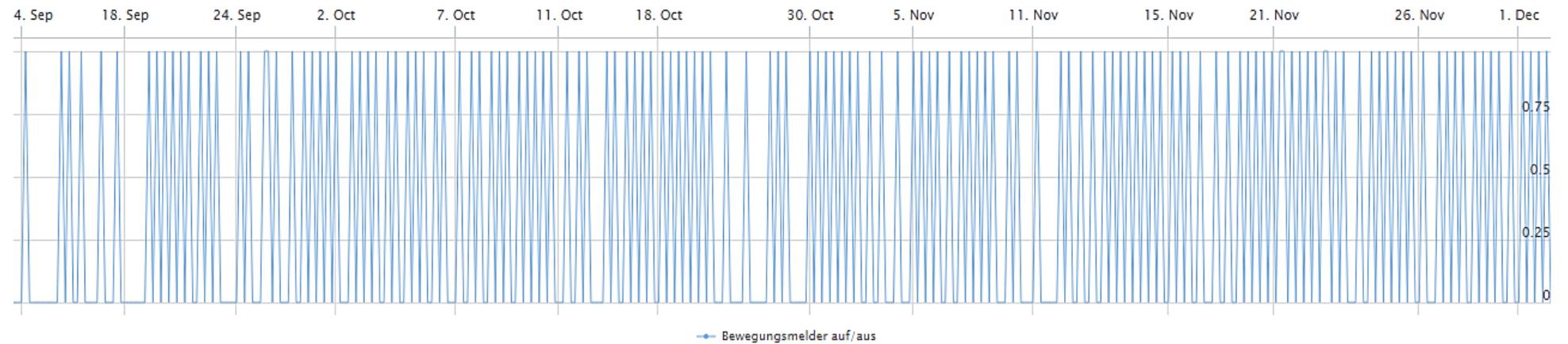
Anwesenheit von Personen Theaterklausur Nord(ost), Juli – August 2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.132)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit September – November 2015 Theaterklausur Nord(ost)



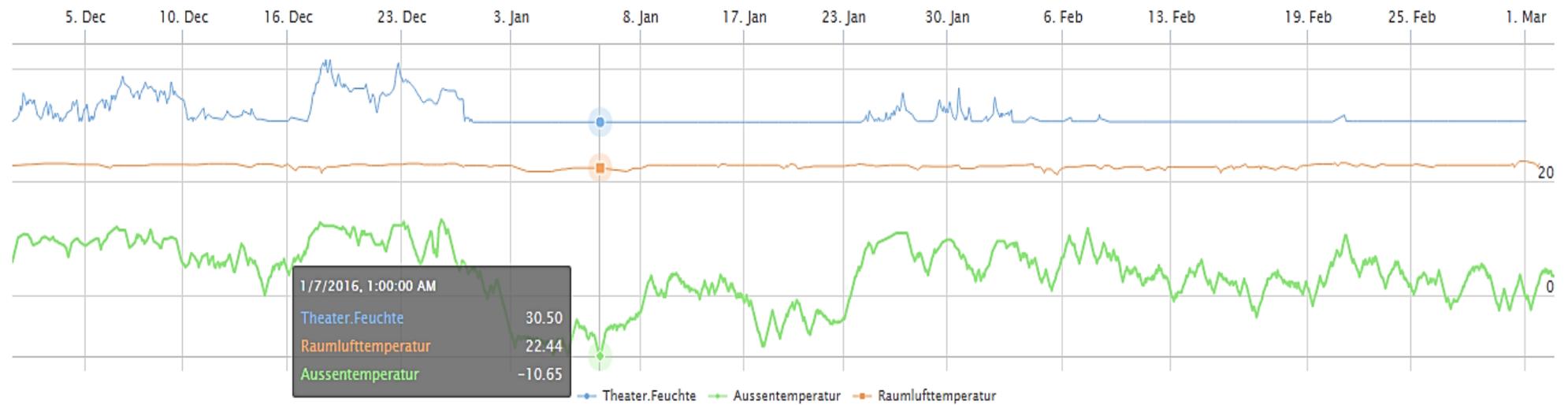
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Theaterklausur Nord(ost), Sept. – Nov. 2015, [°C,%] (Abschlussbericht Abb.133)

Präsenzmelder September – November 2015 Theaterklausur Nord(ost)



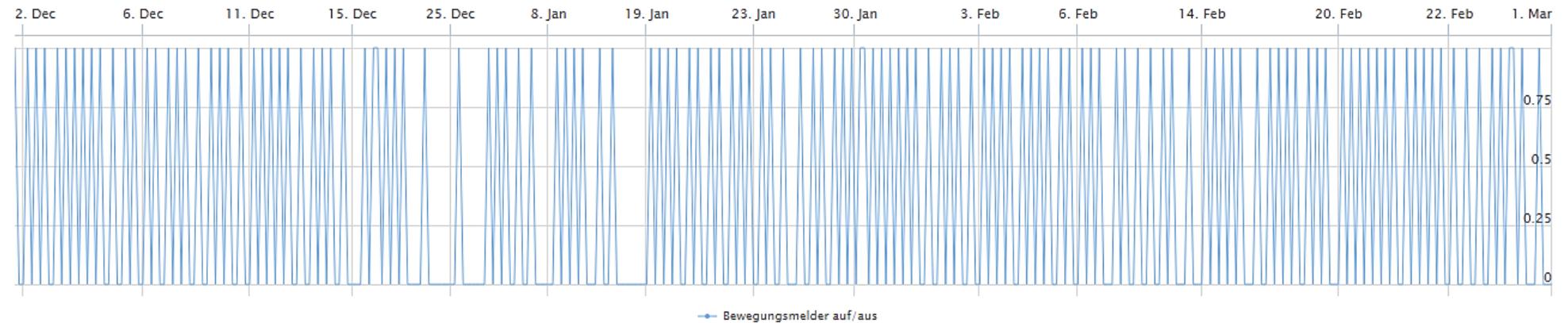
Anwesenheit von Personen Theaterklausur Nord(ost), Sept. – Nov. 2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.134)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Dezember 2015 – Februar 2016 Theaterklausur Nord(ost)



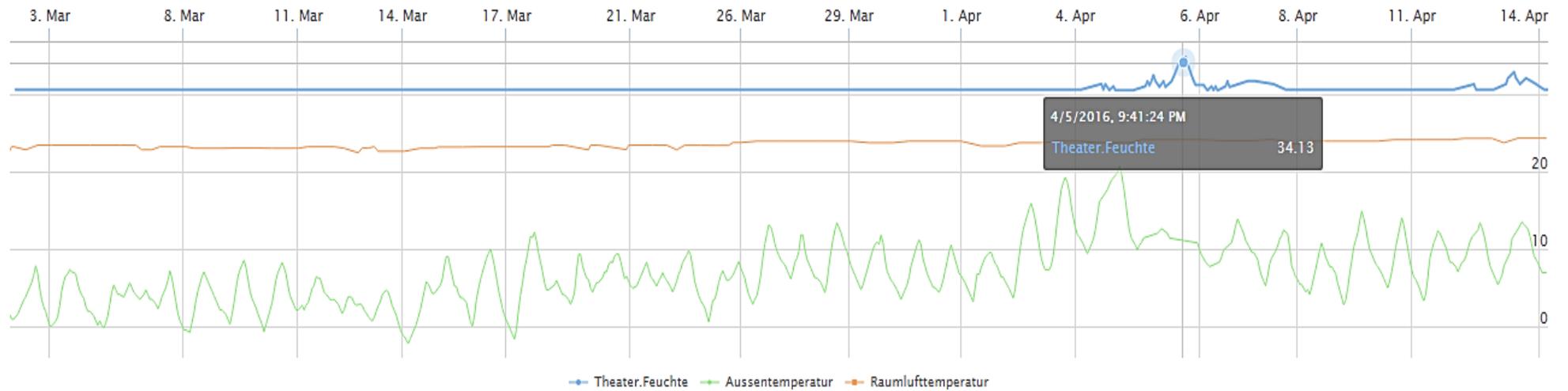
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Theaterklausur, Dez. 2015 – Februar 2016, [°C,%] (Abschlussbericht Abb.135)

Präsenzmelder Dezember 2015 – Februar 2016 Theaterklausur Nord(ost)



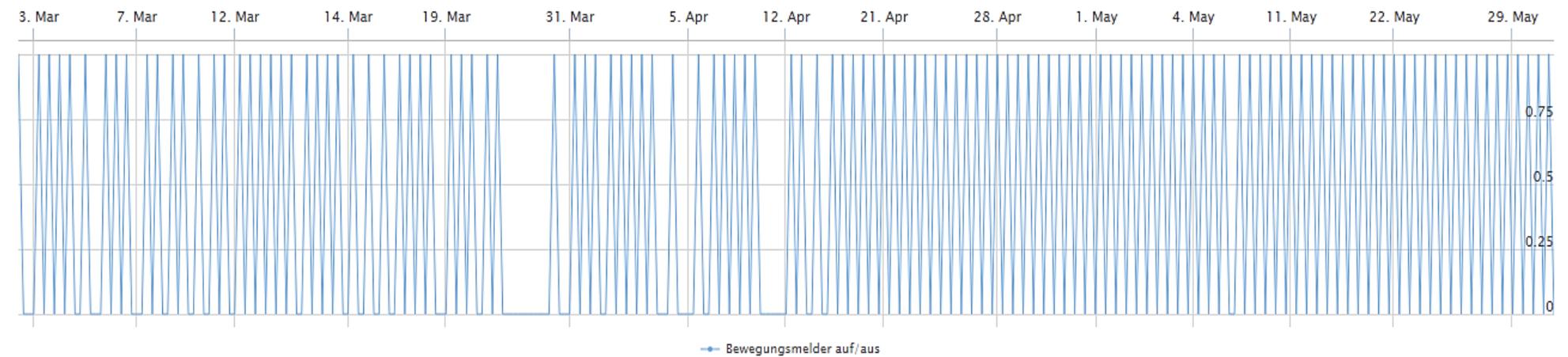
Anwesenheit von Personen Theaterklausur, Dez. 2015 – Feb. 2016, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.136)

Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit März – Mai 2016 Theaterklausur Nord(ost)



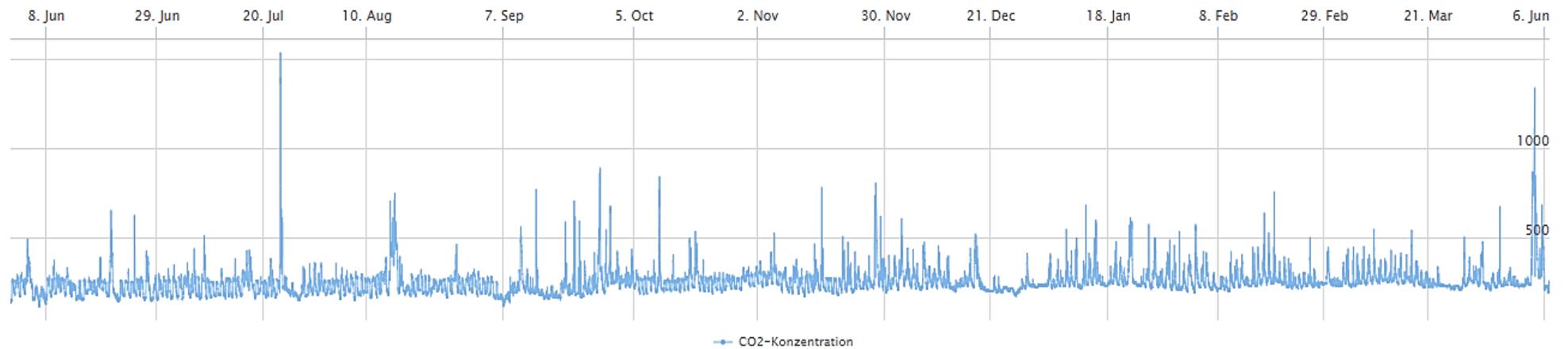
Außentemperatur, Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit Theaterklausur Nord(ost), März – Mai 2016, [°C,%] (Abschlussbericht Abb.137)

Präsenzmelder März - Mai 2016 Theaterklausur Nord(ost)



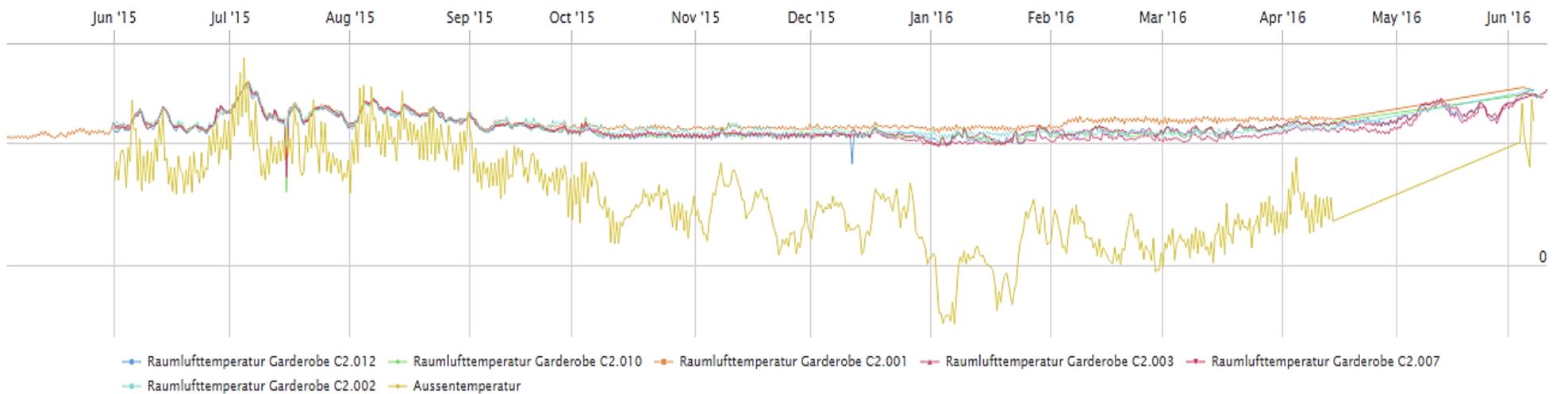
Anwesenheit von Personen Theaterklausur Nord(ost), März – Mai 2016, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.138)

Raumluftqualität im November 2015 Kammerbühne Nord(ost)



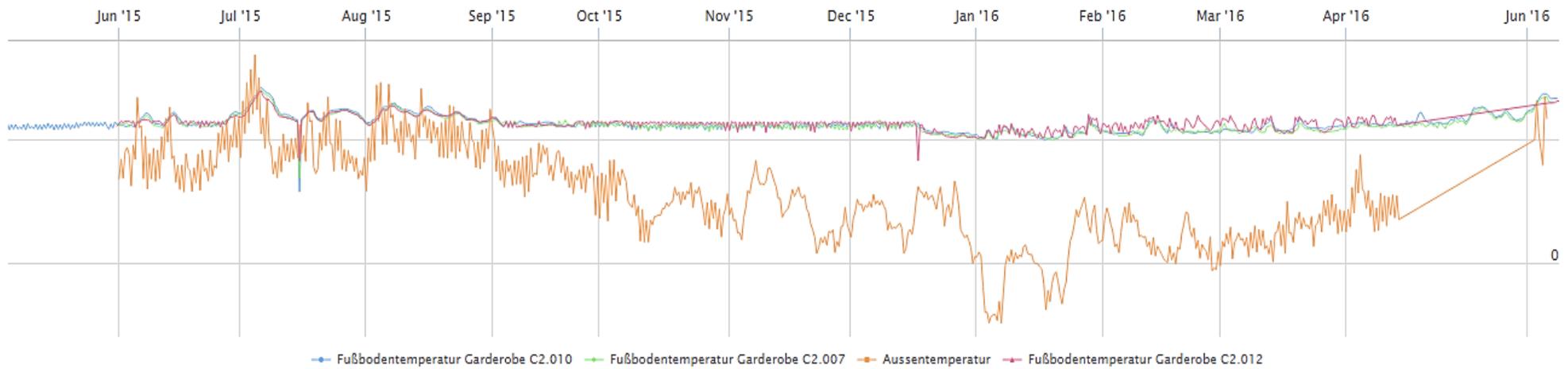
CO₂ Konzentration in der Theaterklausur, Referenzjahr, [ppm] (Abschlussbericht Abb.139)

Innenraumlufttemperatur im Jahresverlauf 2015/16 Garderoben Nord(ost)



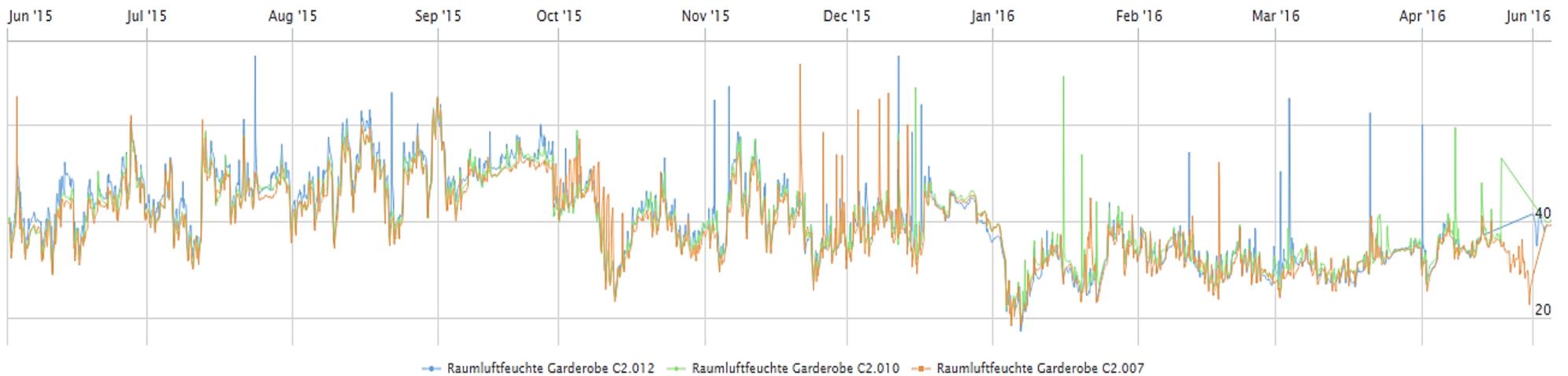
Außen- und Innenraumlufttemperatur Garderoben Nord(ost), Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.140)

Fußbodentemperatur im Jahresverlauf 2015/16 Garderoben Nord(ost)



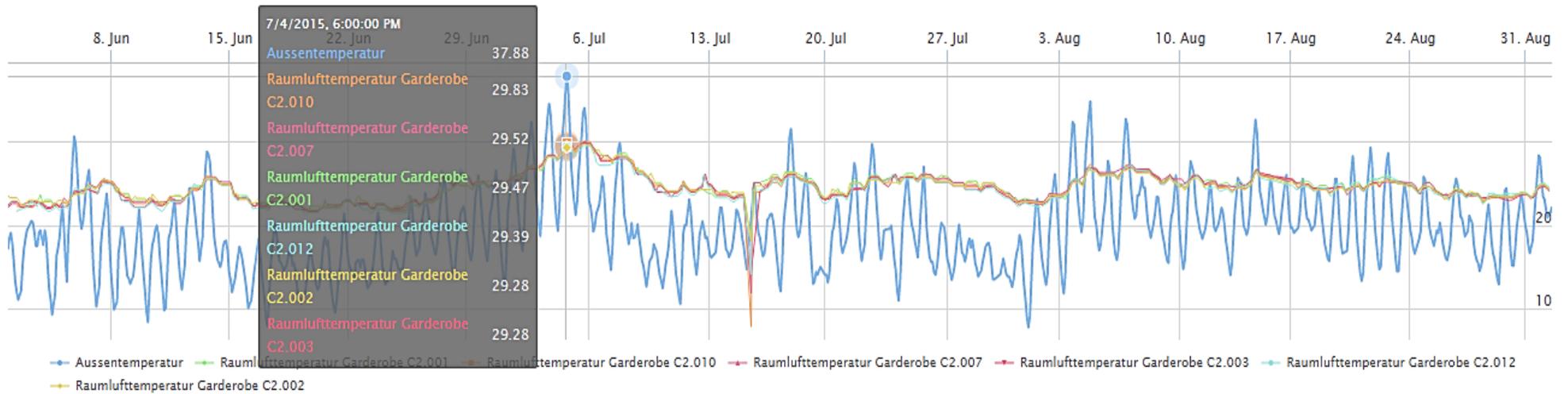
Fußbodentemperatur Garderoben Nord(ost), Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.141)

Raumluftfeuchte im Jahresverlauf 2015/16 Garderoben Nord(ost)



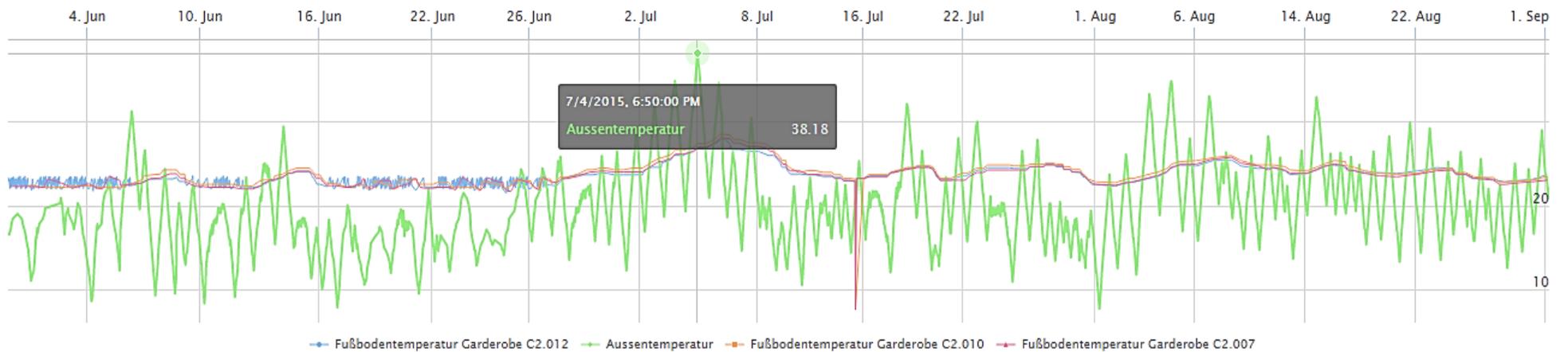
Raumluftfeuchte Garderoben Nord(ost), Referenzjahr, [%](Abschlussbericht Abb.142)

Raumlufttemperatur Juni – August 2015 Garderoben Nord(ost)



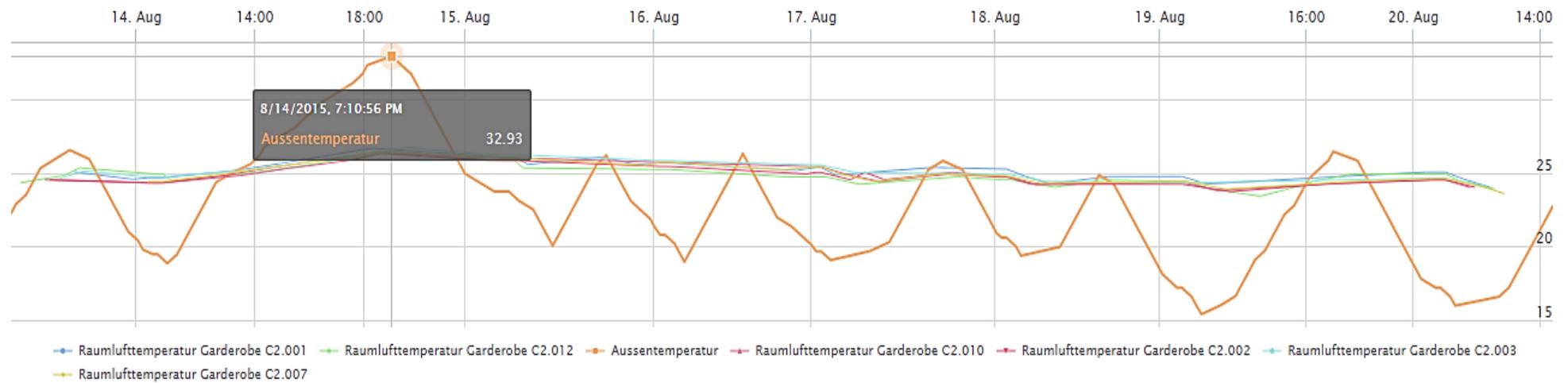
Außen- und Raumlufttemperatur Garderoben Nord(ost), Juni – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.143)

Fußbodentemperatur Juni – August 2015 Garderoben Nord(ost)



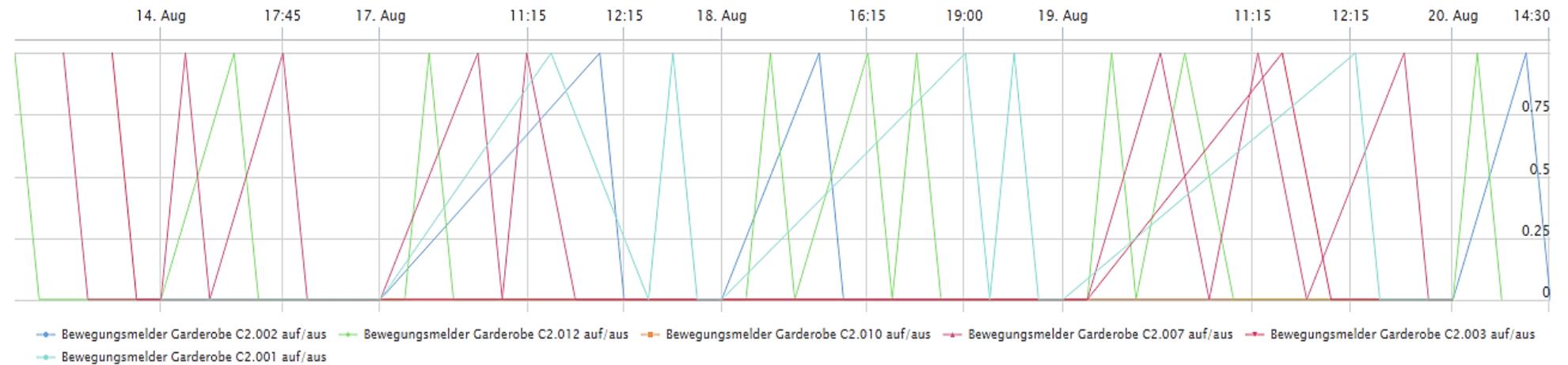
Fußbodentemperatur Garderoben Nord(ost), Juni – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.144)

Raumlufttemperatur 13.8.-20.8.2015 (Normalwetter) Garderoben Nord(ost)



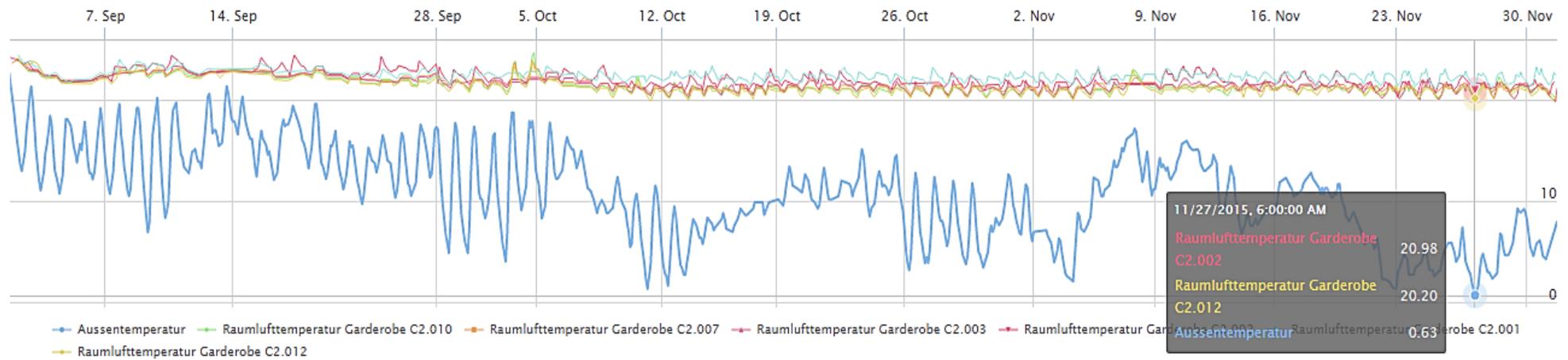
Außen- und Raumlufttemperatur Garderoben Nord(ost), 13.8.-20.8.2015 (Normalwetter), [°C] (Abschlussbericht Abb.145)

Anwesenheit von Personen 13.8.-20.8.2015 Garderoben Nord(ost)



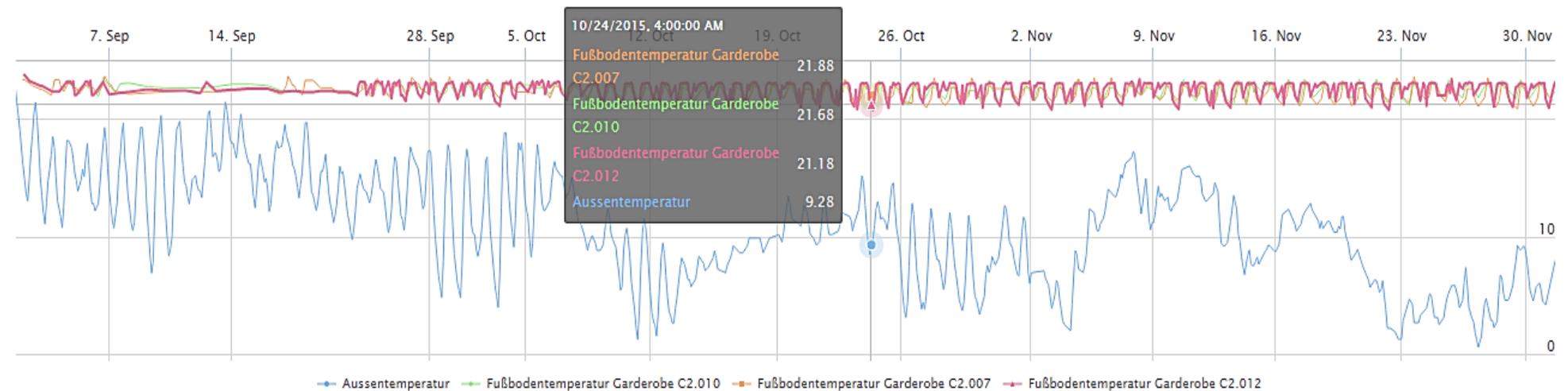
Anwesenheit von Personen Garderoben Nord(ost), 13.8.-20.8.2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.146)

Raumlufthtemperatur September – November 2015 Garderoben Nord(ost)



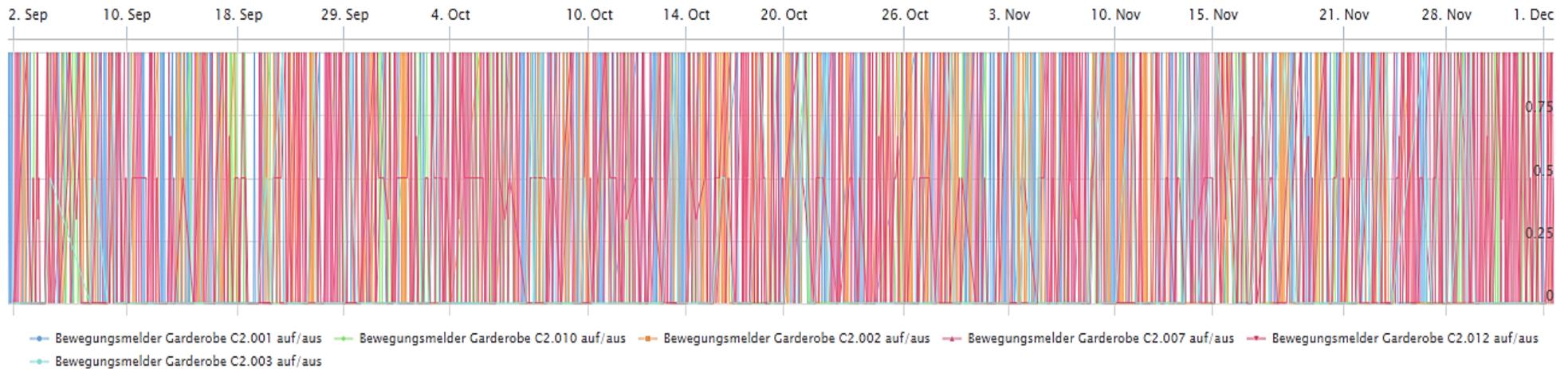
Außen- und Raumlufthtemperatur Garderoben Nord(ost), September – November 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.147)

Fußbodentemperatur September – November 2015 Garderoben Nord(ost)



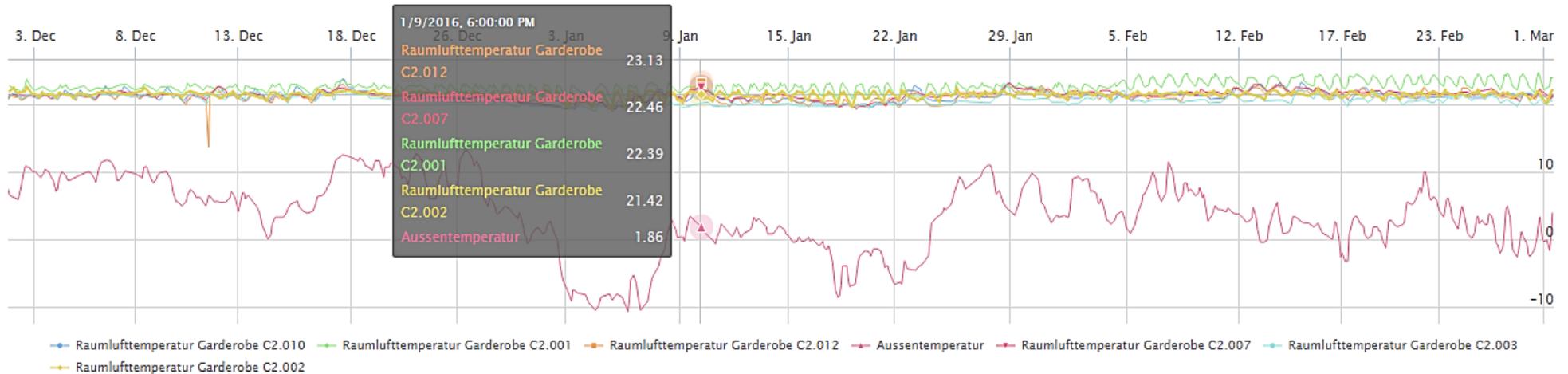
Außen- und Fußbodentemperatur Garderoben Nord(ost), September – November 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.148)

Anwesenheit von Personen September – November 2015 Garderoben Nord(ost)



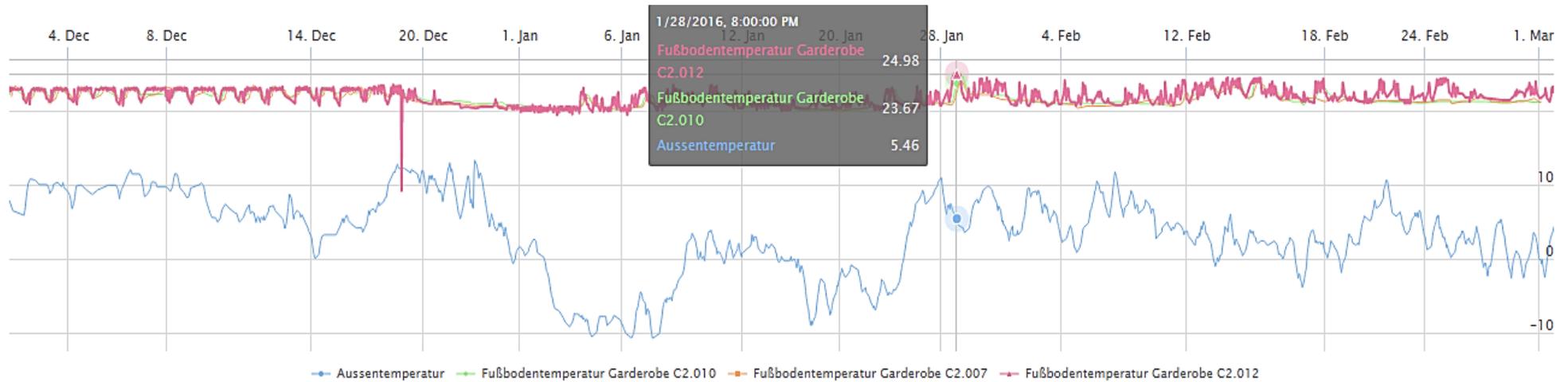
Anwesenheit von Personen Garderoben Nord(ost), Sept. – Nov. 2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.149)

Raumlufttemperatur Dezember 2015 – Februar 2016 Garderoben Nord(ost)



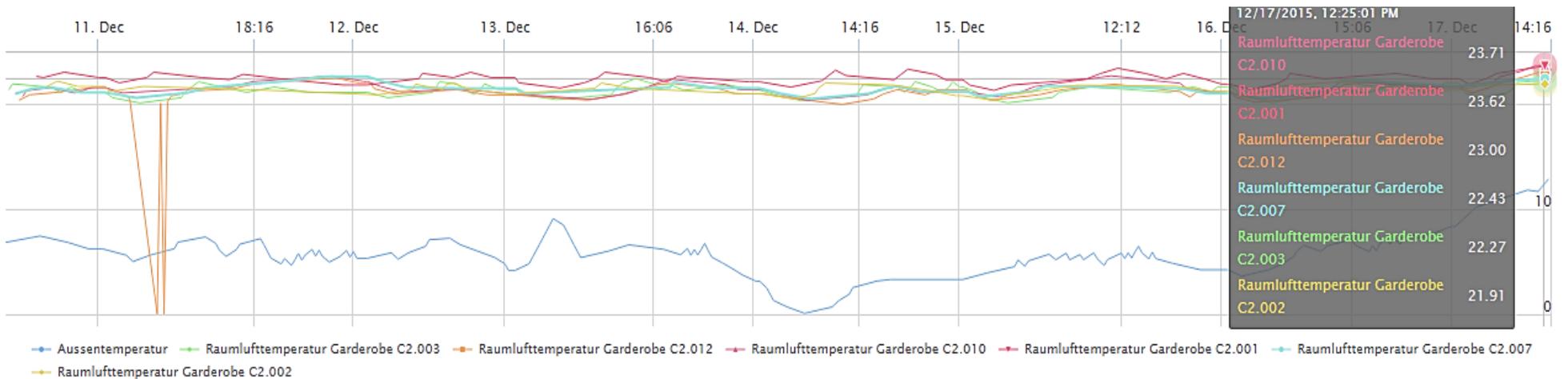
Außen- und Raumlufttemperatur Garderoben Nord(ost), Dezember 2015 – Februar 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.150)

Fußbodentemperatur Dezember 2015 – Februar 2016 Garderoben Nord(ost)



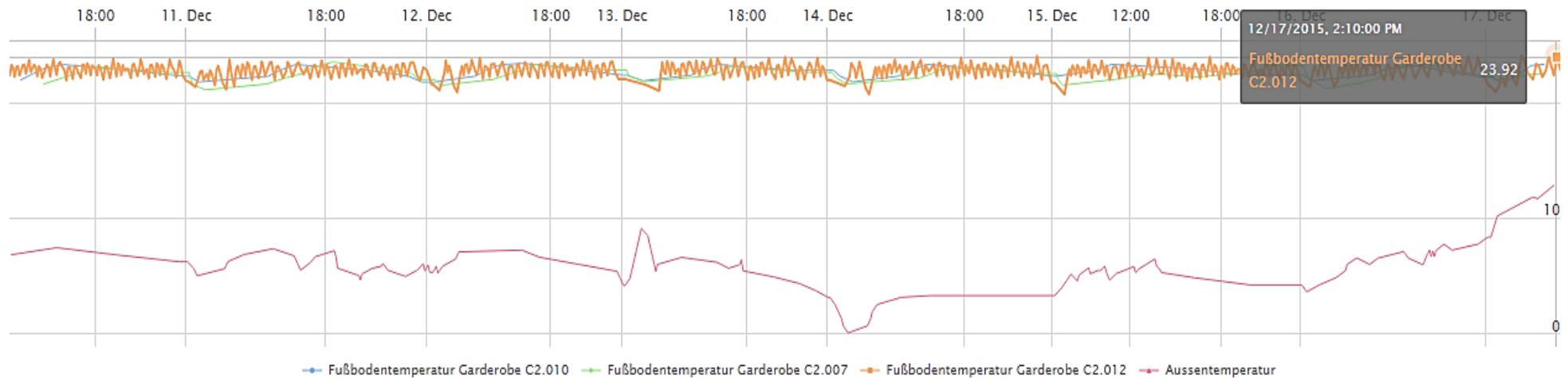
Außen- und Fußbodentemperatur Garderoben Nord(ost), Dezember 2015 – Februar 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.151)

Raumlufttemperatur 10.12.-17.12.2015 (Normalwetter) Garderoben Nord(ost)



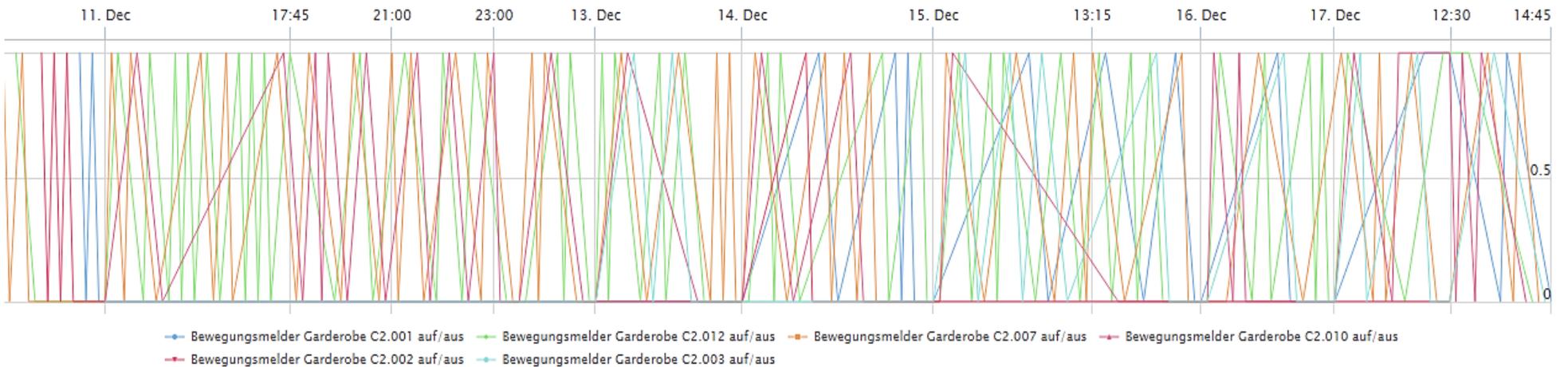
Außen- und Raumlufttemperatur Garderoben Nord(ost), 10.12.-17.12.2015 (Normalwetter), [°C] (Abschlussbericht Abb.152)

Fußbodentemperatur 10.12.-17.12.2015 (Normalwetter) Garderoben Nord(ost)



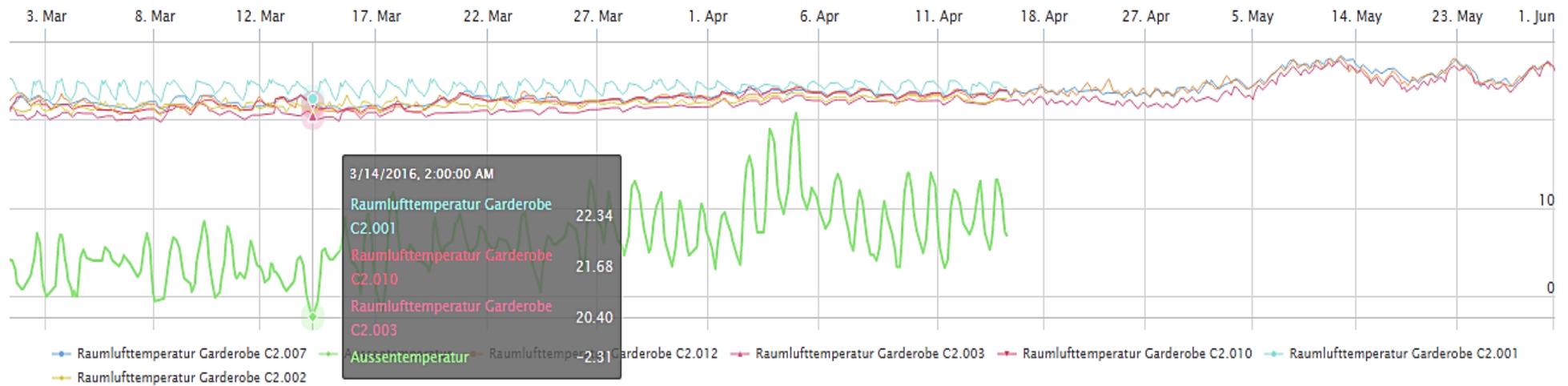
Außen- und Fußbodentemperatur Garderoben Nord(ost), 10.12.-17.12.2015 (Normalwetter), [°C] (Abschlussbericht Abb.153)

Anwesenheit von Personen 10.12.-17.12.2015 Garderoben Nord(ost)



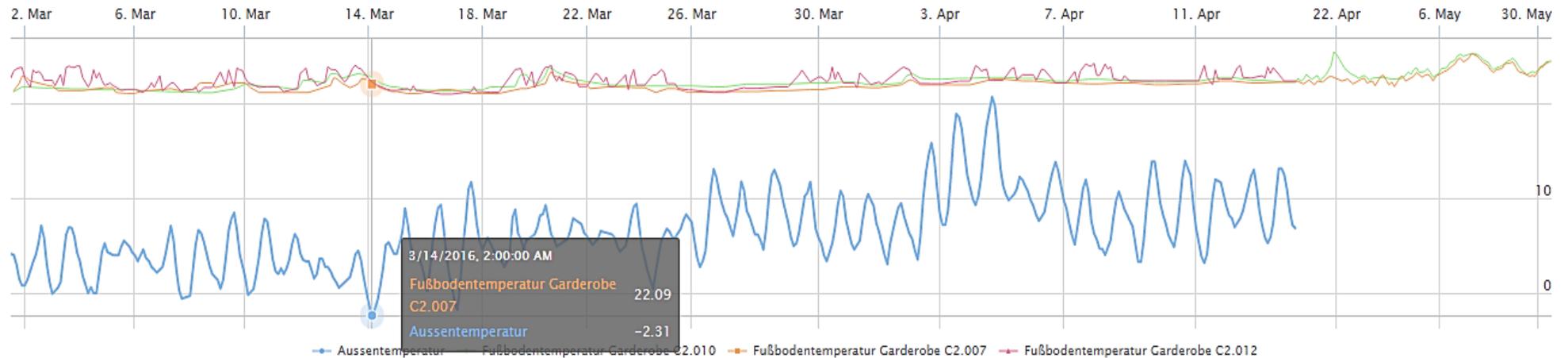
Anwesenheit von Personen Garderoben Nord(ost), 10.12.-17.12.2015, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.154)

Raumlufttemperatur März – Mai 2016 Garderoben Nord(ost)



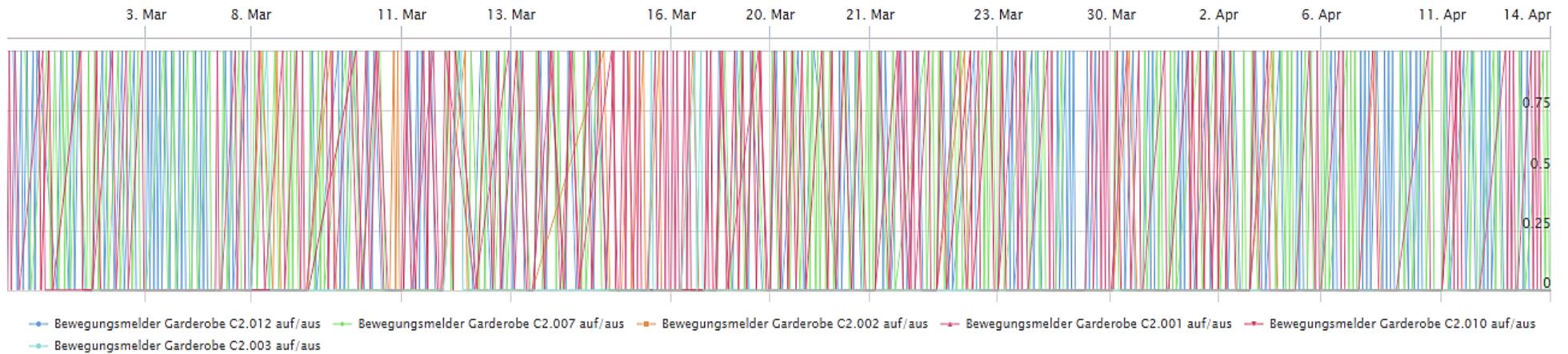
Außen- und Raumlufttemperatur Garderoben Nord(ost), März – Mai 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.155)

Fußbodentemperatur März – Mai 2016 Garderoben Nord(ost)



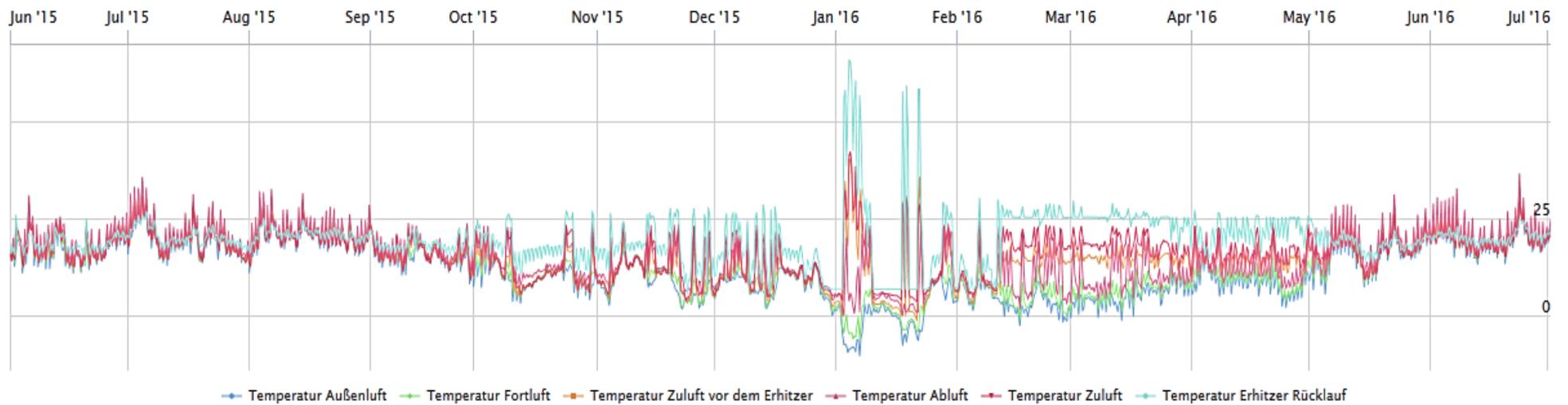
Außen- und Fußbodentemperatur Garderoben Nord(ost), März – Mai 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.156)

Anwesenheit von Personen März – Mai 2016 Garderoben Nord(ost)



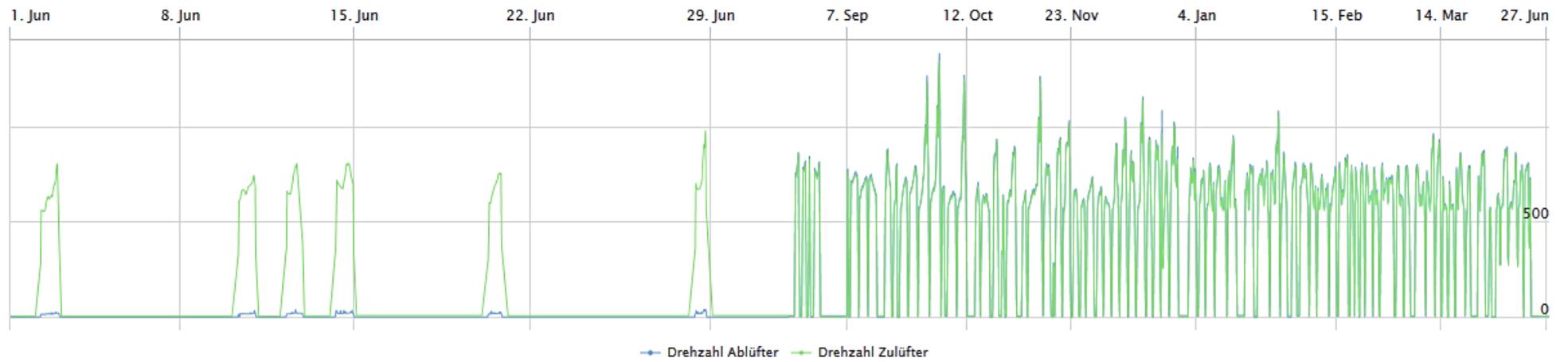
Anwesenheit von Personen Garderoben Nord(ost), März – Mai 2016, [0 – nicht anwesend/ 1 – anwesend] (Abschlussbericht Abb.157)

Temperaturen RLT-Anlage im Jahresverlauf Haupt-/Saalgebäude



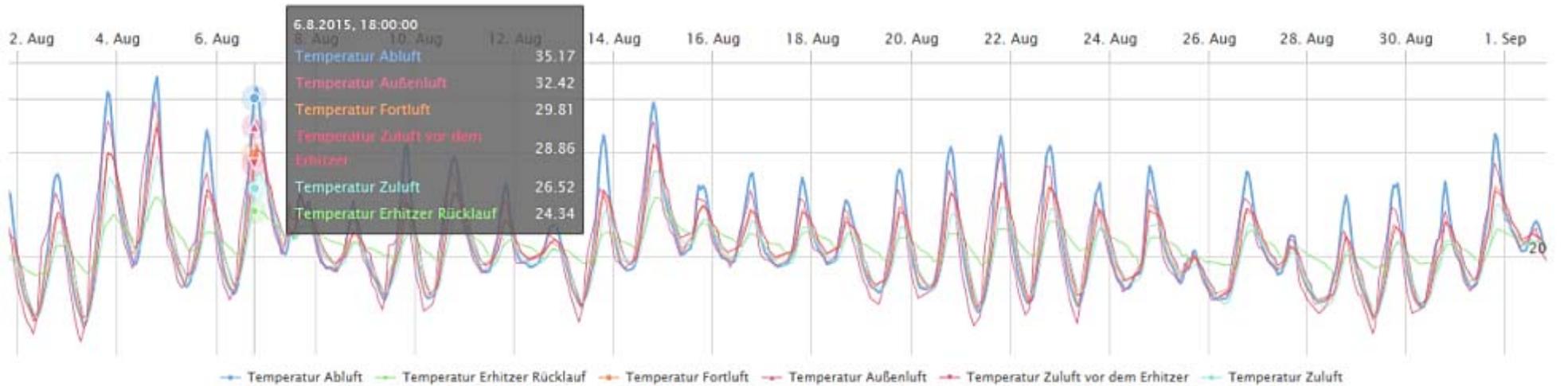
Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude, Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.158)

Drehzahl RLT-Anlage im Jahresverlauf Haupt-/Saalgebäude



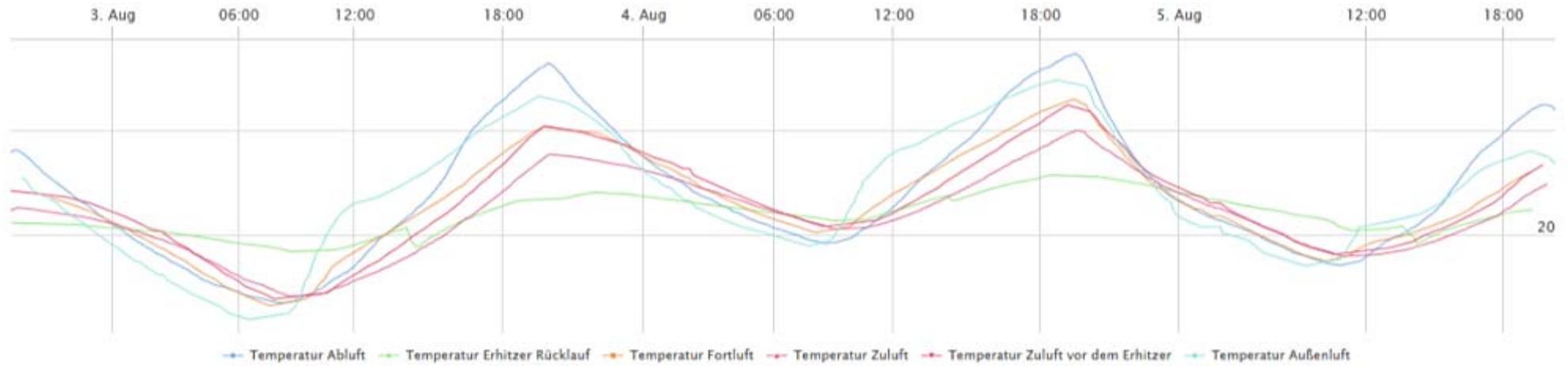
Drehzahl RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude, Referenzjahr, [U/min] (Abschlussbericht Abb.159)

Temperaturen RLT-Anlage im August 2015 Haupt-/Saalgebäude



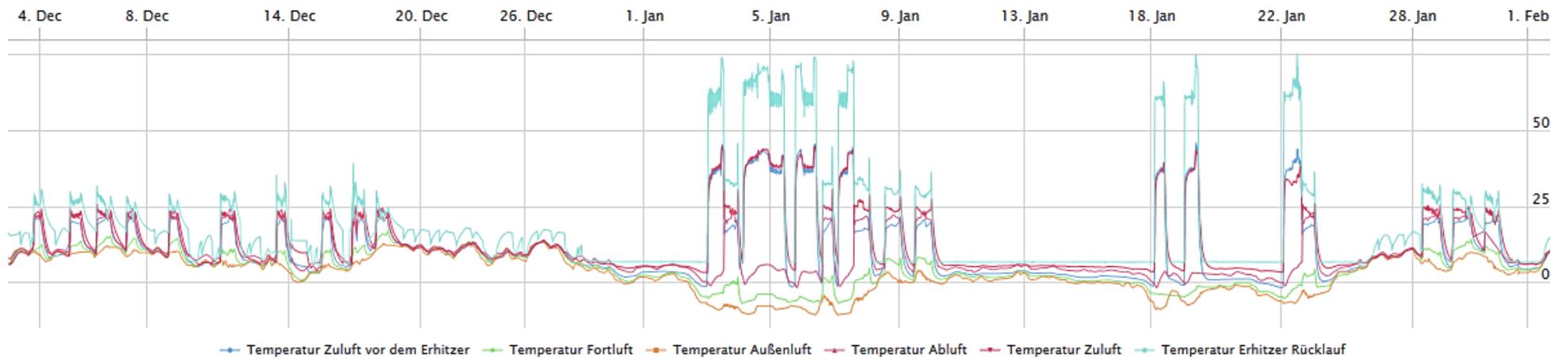
Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude im August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.160)

Temperaturen RLT-Anlage am 2.-5. August 2015 Haupt-/Saalgebäude



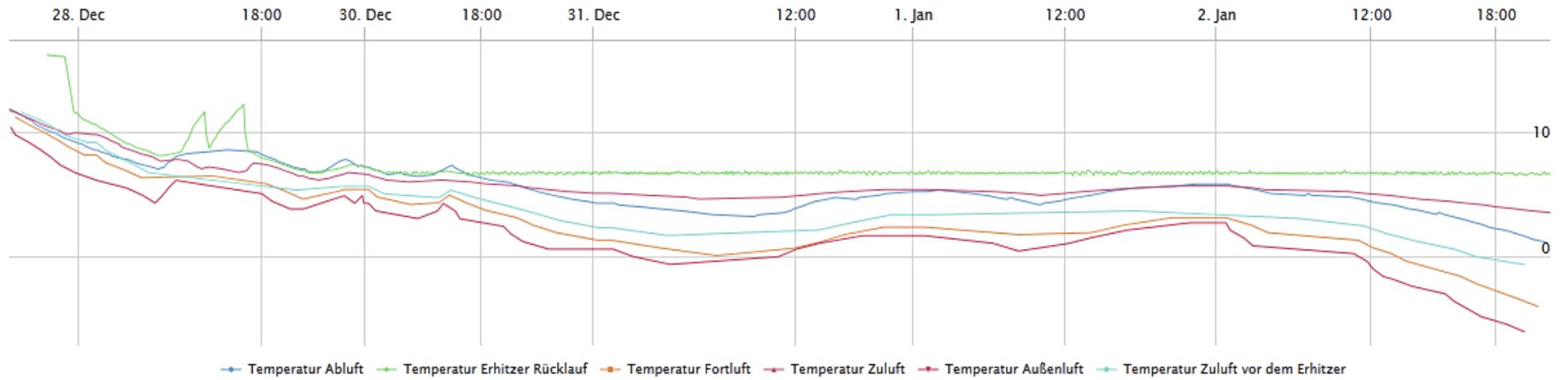
Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude am 3.-4. August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.161)

Temperaturen RLT-Anlage Dezember 2015 – Januar 2016 Haupt-/Saalgebäude



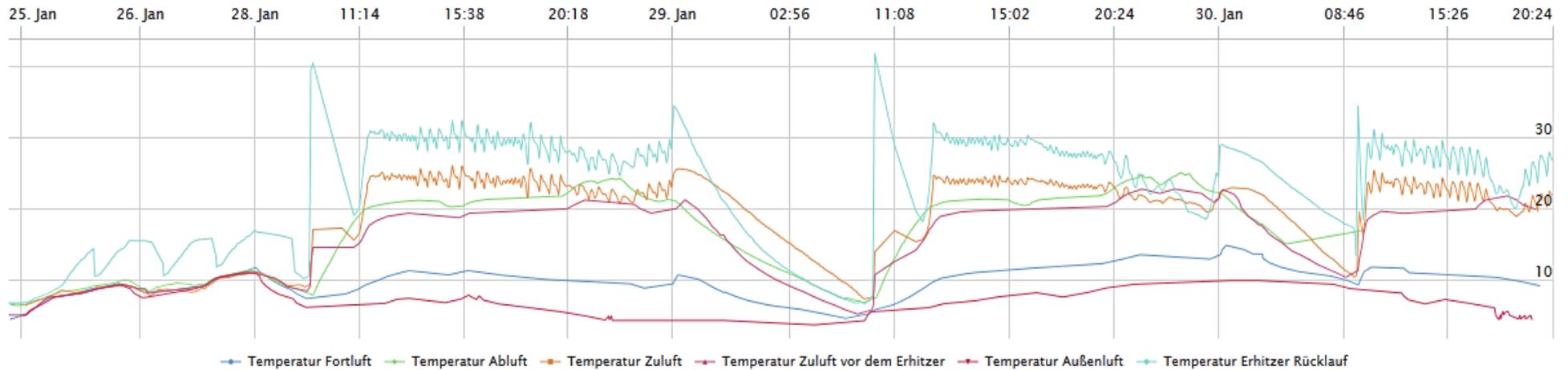
Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Dezember 2015 – Januar 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.162)

Temperaturen RLT-Anlage vom 27.12.2015 bis zum 2.1.2016 Haupt-/Saalgebäude



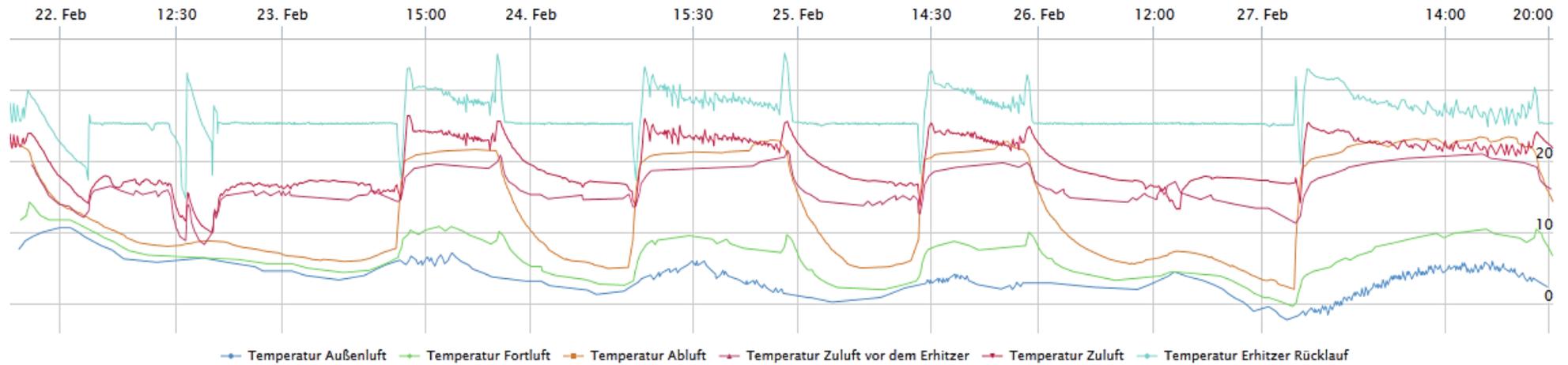
Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude vom 27.12.2015 bis zum 2.1.2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.163)

Temperaturen RLT-Anlage vom 24.1.2016 bis zum 30.1.2016 Haupt-/Saalgebäude



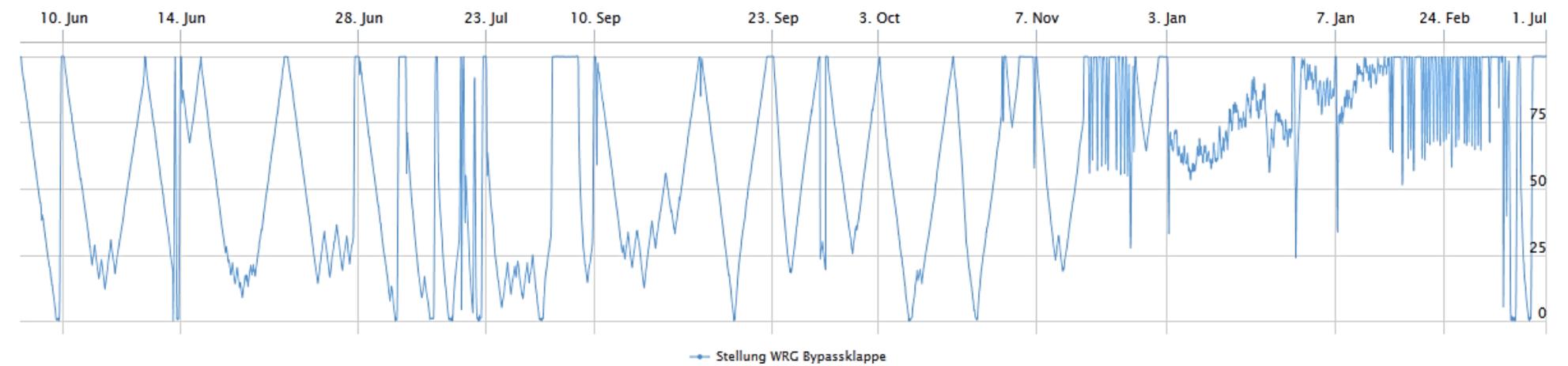
Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude vom 24.1.2016 bis zum 30.1.2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.164)

Temperaturen RLT-Anlage vom 21.2.2016 bis zum 27.2.2016 Haupt-/Saalgebäude



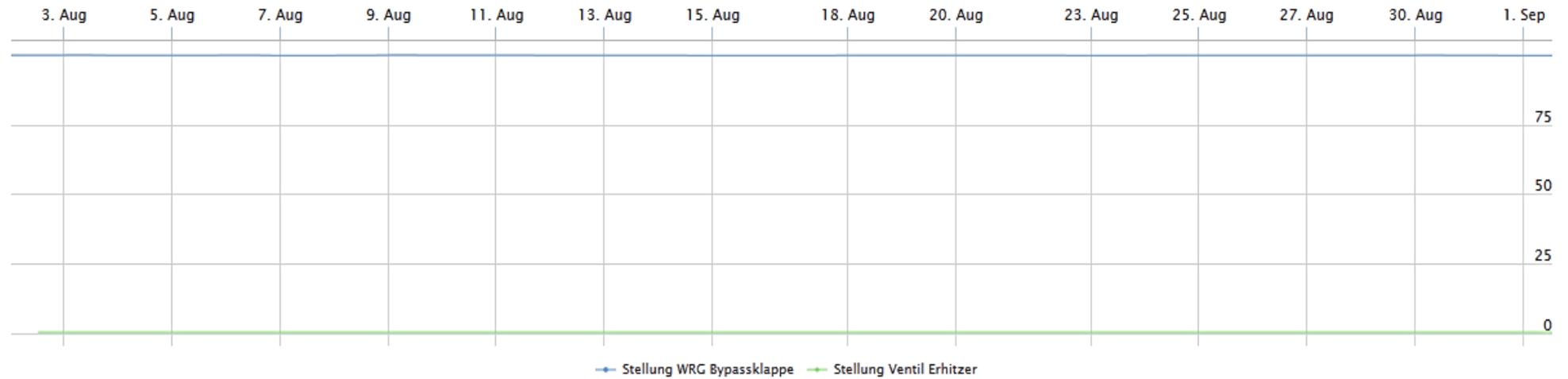
Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude vom 21.2.2016 bis zum 27.2.2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.165)

WRG Bypassklappe Stellung RLT-Anlage im Jahresverlauf Haupt-/Saalgebäude



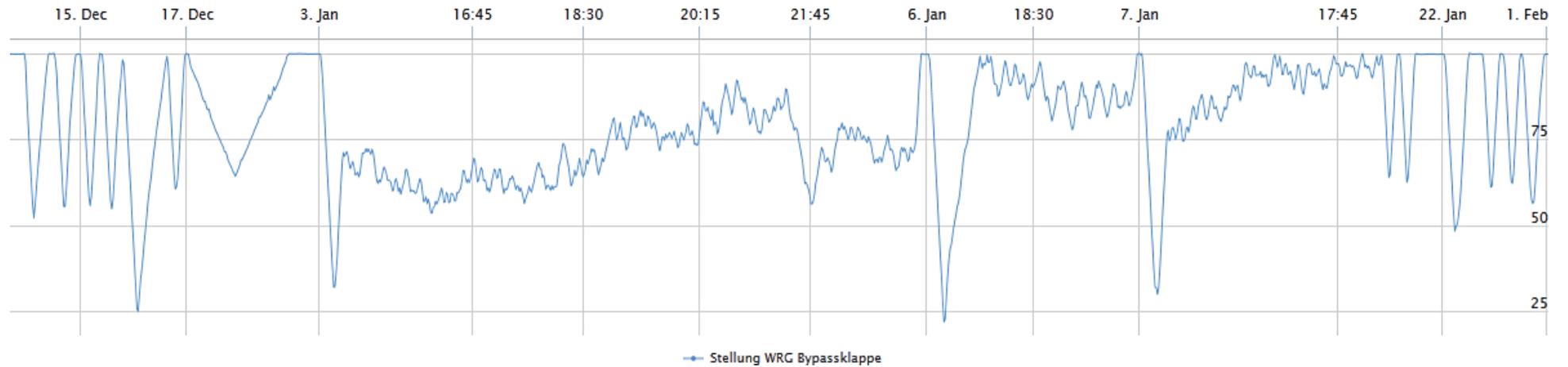
RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe, Referenzjahr, [0 % – Bypass/100% – WRG] (Abschlussbericht Abb.166)

WRG Bypassklappe und Ventil Erhitzer Stellung RLT-Anlage im August 2015 Haupt-/Saalgebäude



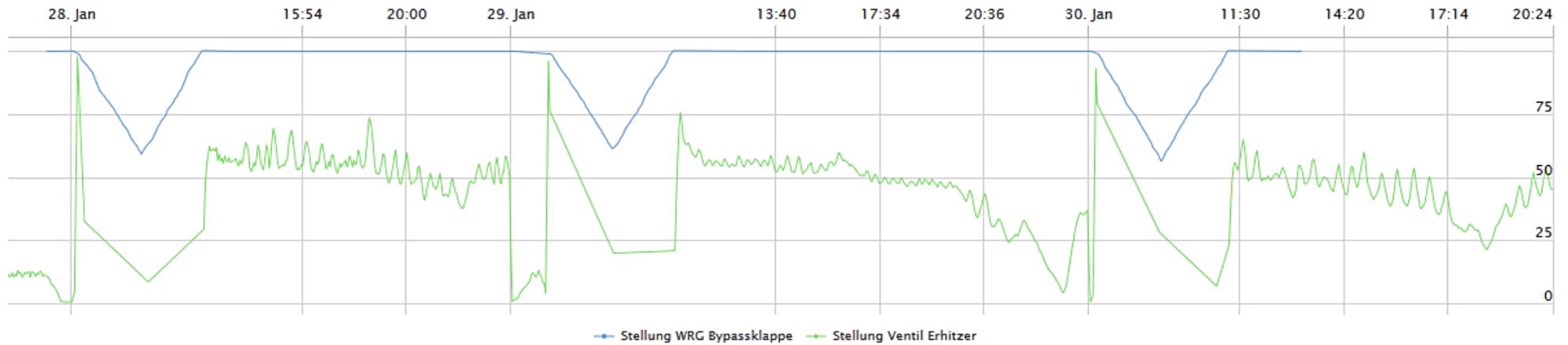
RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe und Ventil Erhitzer Stellung im August 2015, [0 % – Bypass/100% – WRG, 0 % – Ventil zu/100% – Ventil auf] (Abschlussbericht Abb.167)

WRG Bypassklappe Stellung RLT-Anlage Dezember 2015 – Januar 2016 Haupt-/Saalgebäude



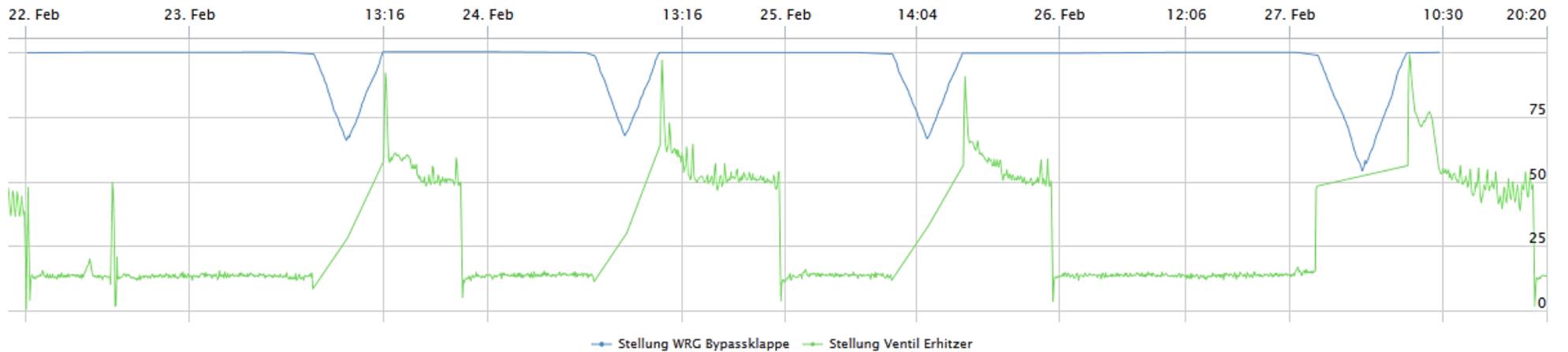
RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe Dezember 2015 – Januar 2016, [0 % – Bypass/100% – WRG] (Abschlussbericht Abb.168)

WRG Bypassklappe und Erhitzer Stellung RLT-Anlage 24.1.2016 – 30.1.2016 Haupt-/Saalgebäude



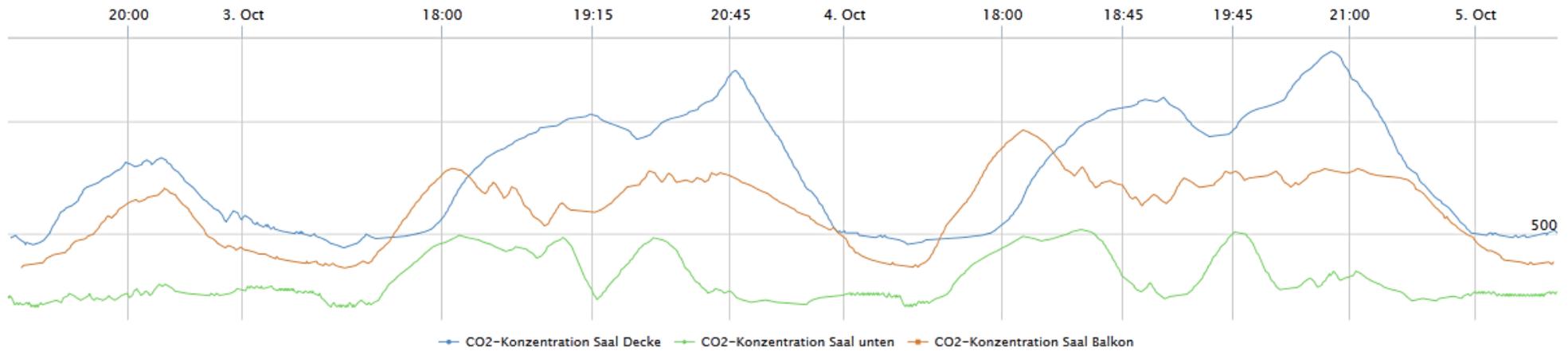
RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe und Ventil Erhitzer Stellung 24.1.2016 – 30.1.2016, [0 % – Bypass/100% – WRG, 0 % – Ventil zu/100% – Ventil auf]
(Abschlussbericht Abb.169)

WRG Bypassklappe und Erhitzer Stellung RLT-Anlage 21.2.2016 – 27.2.2016 Haupt-/Saalgebäude



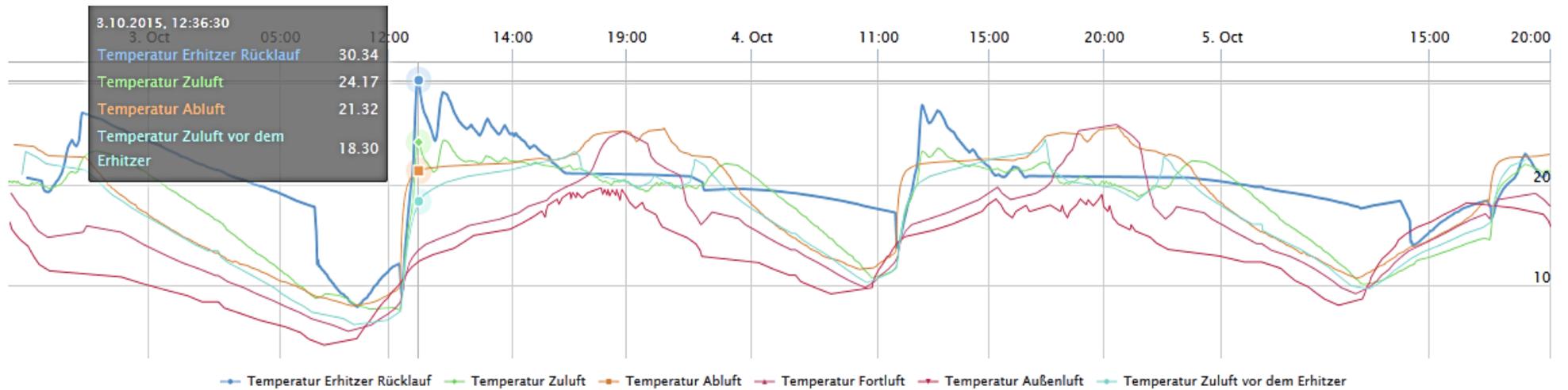
RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe und Ventil Erhitzer Stellung 21.1.2016 – 27.1.2016, [0 % – Bypass/100% – WRG, 0 % – Ventil zu/100% – Ventil auf]
(Abschlussbericht Abb.170)

CO₂-Konzentration 2.10.2015 bis zum 5.10.2015 Haupt-/Saalgebäude



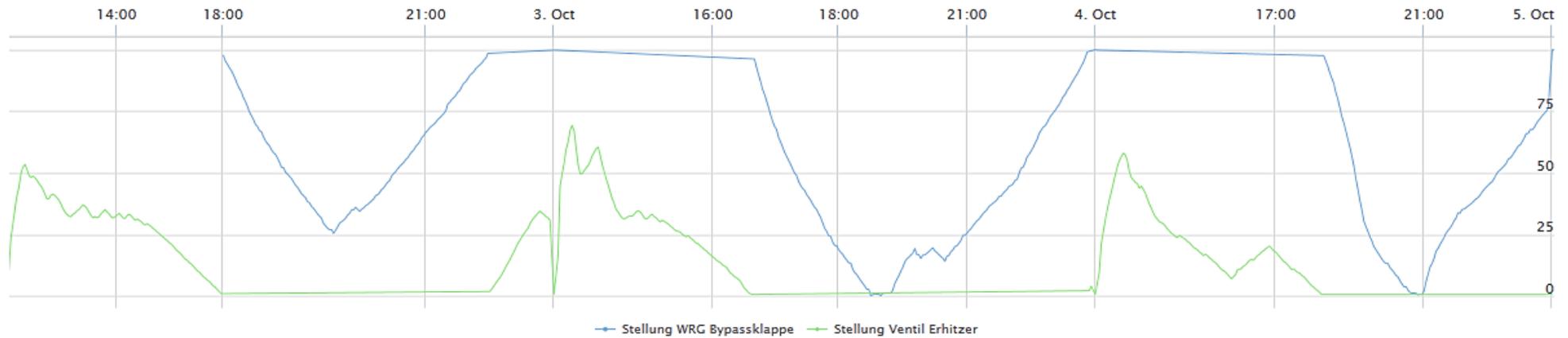
CO₂-Konzentration Haupt-/Saalgebäude vom 2.10.2015 bis zum 5.10.2015, [ppm] (Abschlussbericht Abb.171)

Temperaturen RLT-Anlage vom 2.10.2015 bis zum 5.10.2015 Haupt-/Saalgebäude



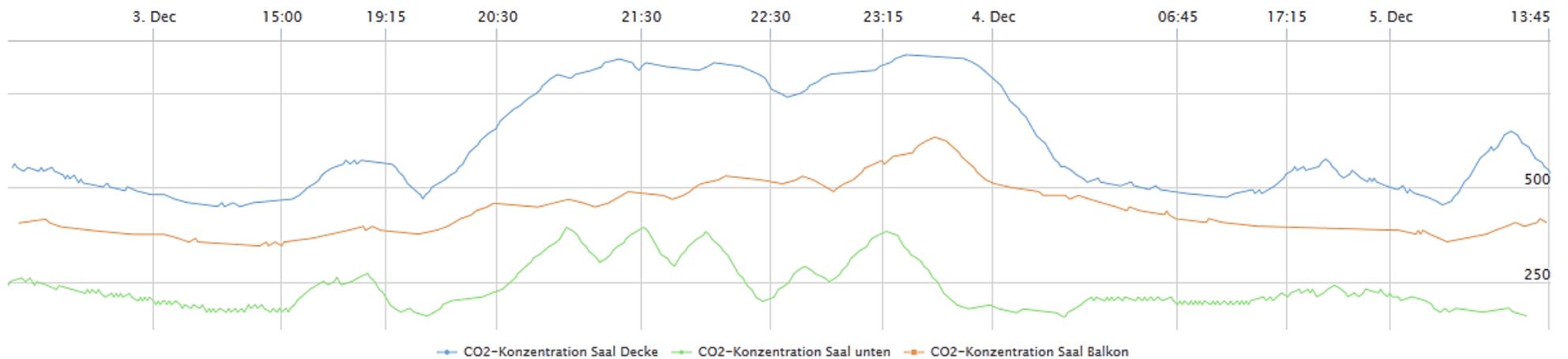
Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude vom 2.10.2015 bis zum 5.10.2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.172)

WRG Bypassklappe und Erhitzer Stellung RLT-Anlage 2.10.2015 – 5.10.2015 Haupt-/Saalgebäude



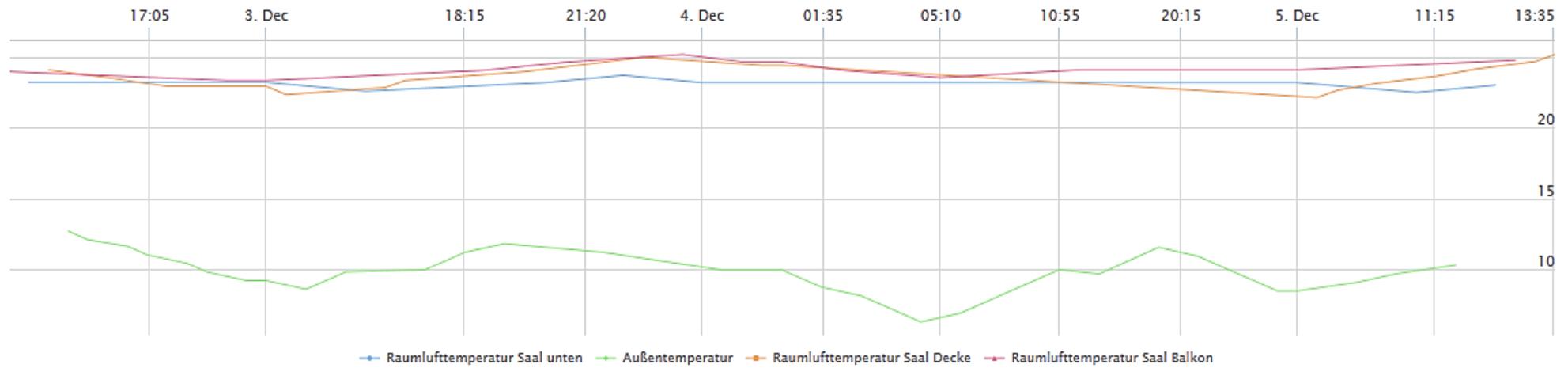
RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe und Ventil Erhitzer Stellung 2.10.2015 – 5.10.2015, [0 % – Bypass/100% – WRG, 0 % – Ventil zu/100% – Ventil auf] (Abschlussbericht Abb.173)

CO₂-Konzentration 2.12.2015 bis zum 5.12.2015 Haupt-/Saalgebäude



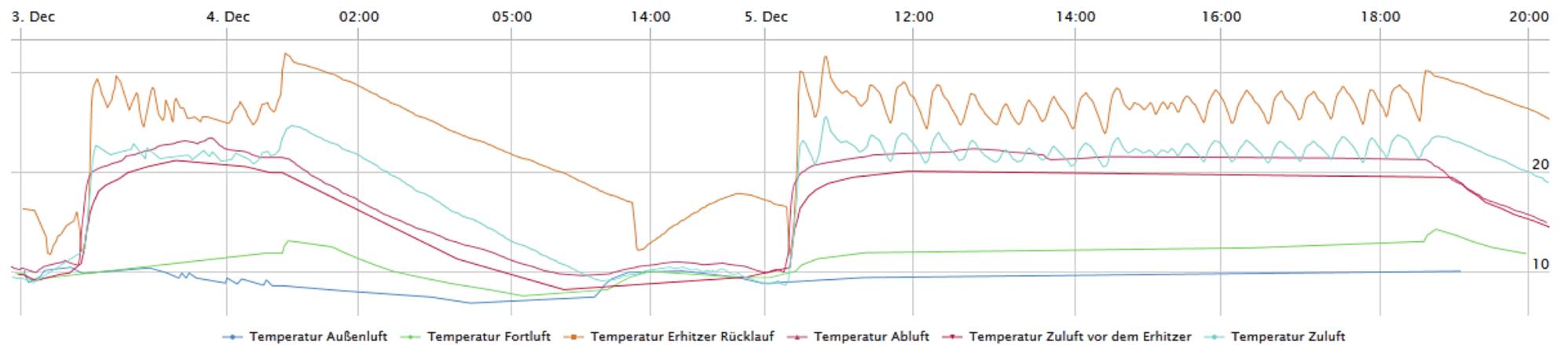
CO₂-Konzentration Haupt-/Saalgebäude vom 2.12.2015 bis zum 5.12.2015, [ppm] (Abschlussbericht Abb.174)

Raumlufttemperatur 2.12.2015 bis zum 5.12.2015 Haupt-/Saalgebäude



Raumlufttemperatur Haupt-/Saalgebäude vom 2.12.2015 bis zum 5.12.2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.175)

Temperaturen RLT-Anlage vom 2.12.2015 bis zum 5.12.2015 Haupt-/Saalgebäude



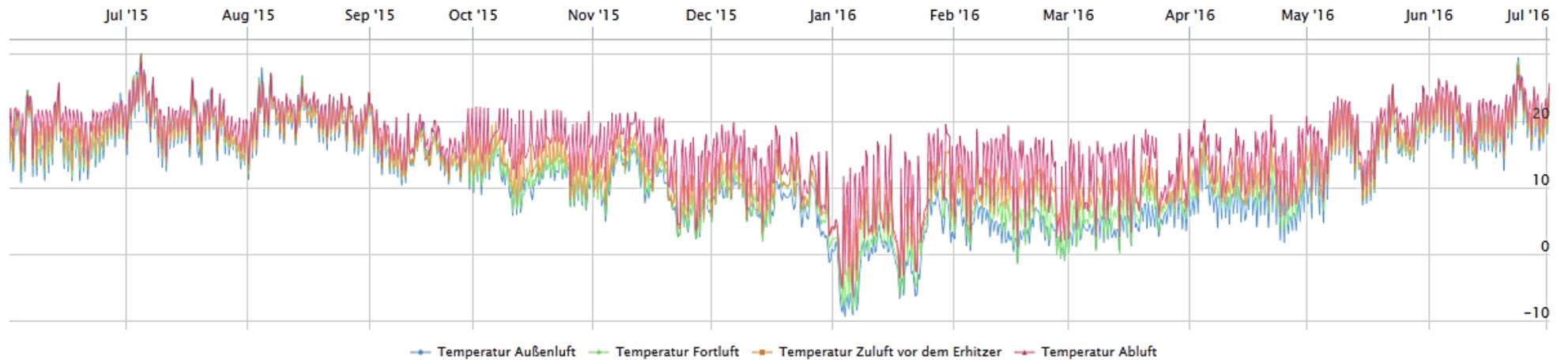
Lufttemperatur RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude vom 2.12.2015 bis zum 5.12.2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.176)

WRG Bypassklappe und Erhitzer Stellung RLT-Anlage 2.12.2015 – 5.12.2015 Haupt-/Saalgebäude



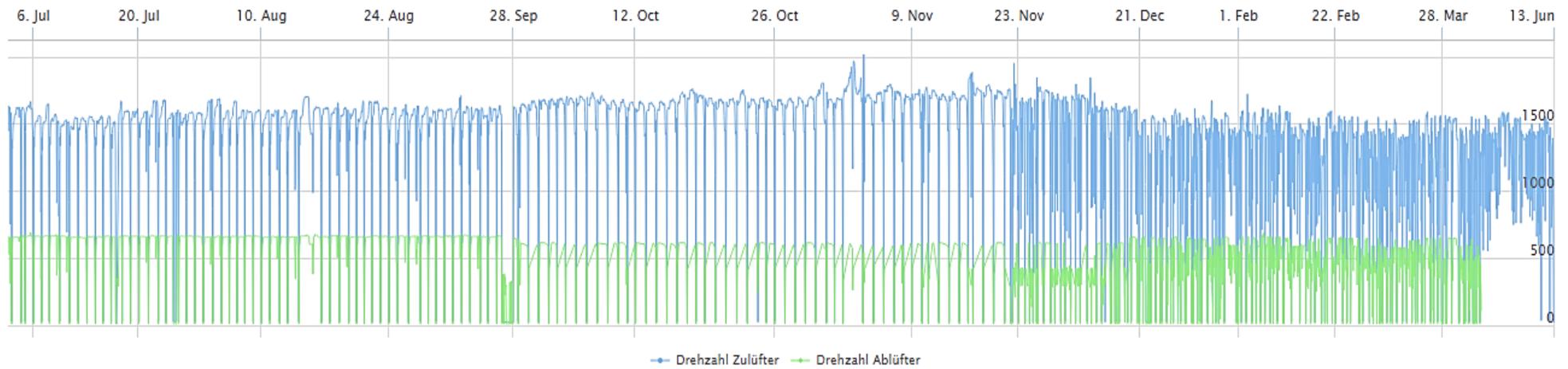
RLT-Anlage für Haupt-/Saalgebäude Bypassklappe und Ventil Erhitzer Stellung 2.12.2015 – 5.12.2015, [0 % – Bypass/100% – WRG, 0 % – Ventil zu/100% – Ventil auf] (Abschlussbericht Abb.177)

Temperaturen RLT-Anlage im Jahresverlauf Ergänzungsbau Nord(ost)



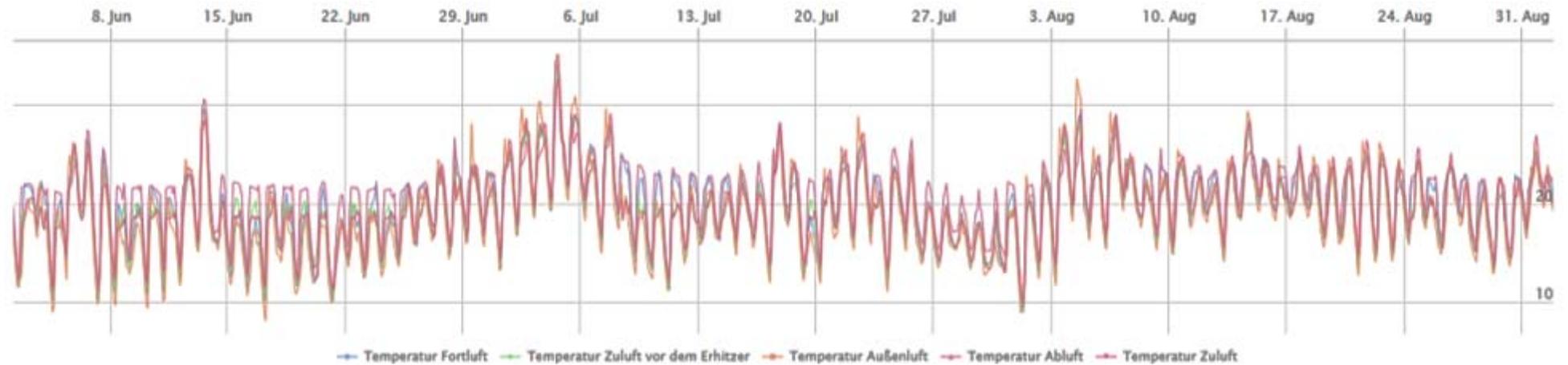
Lufttemperatur RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.178)

Drehzahl RLT-Anlage im Jahresverlauf Ergänzungsbau Nord(ost)



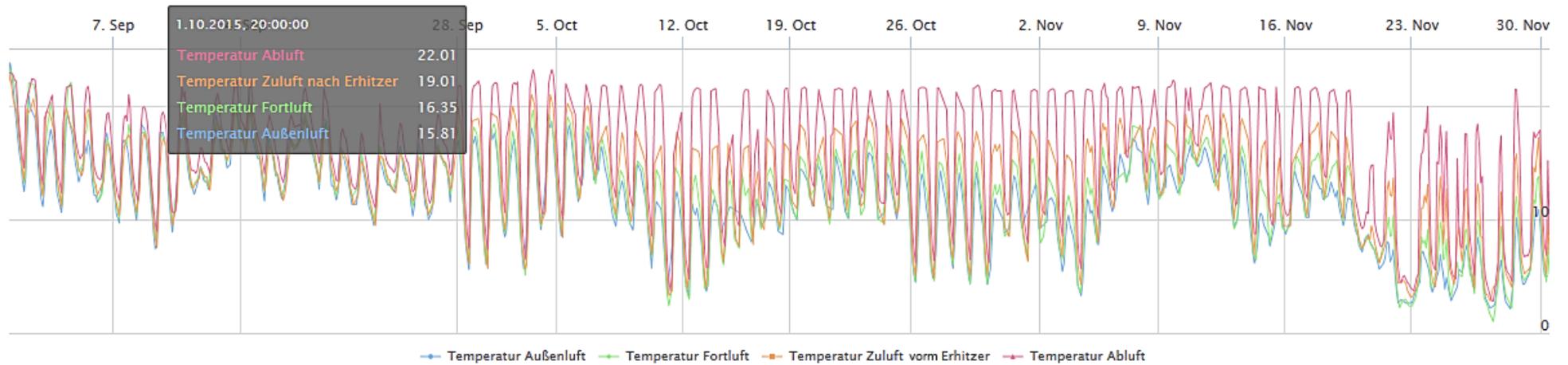
Drehzahl RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Referenzjahr, [U/min] (Abschlussbericht Abb.179)

Temperaturen RLT-Anlage Juni – August 2015 Ergänzungsbau Nord(ost)



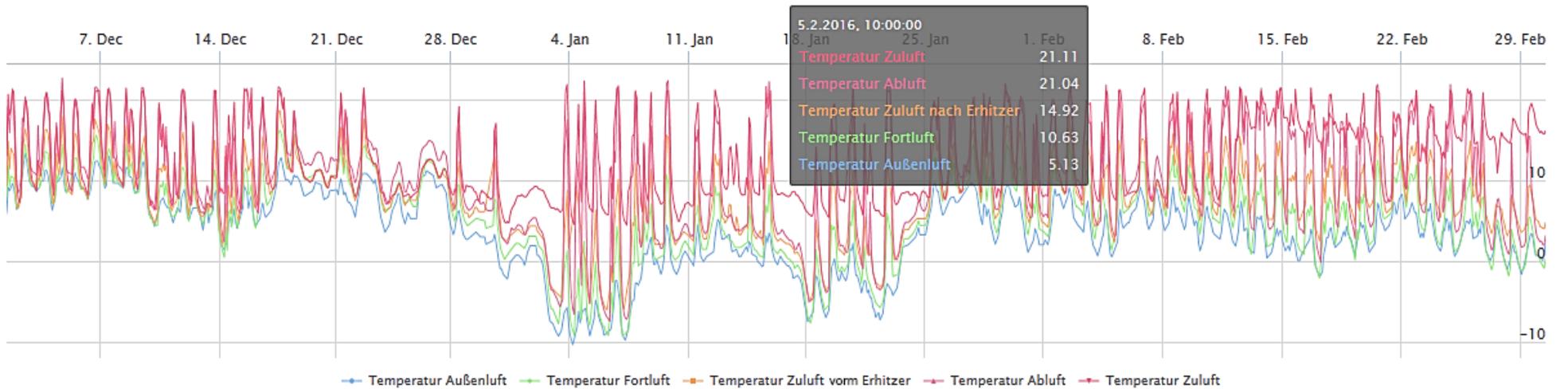
Lufttemperatur RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Juni – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.180)

Temperaturen RLT-Anlage September – November 2015 Ergänzungsbau Nord(ost)



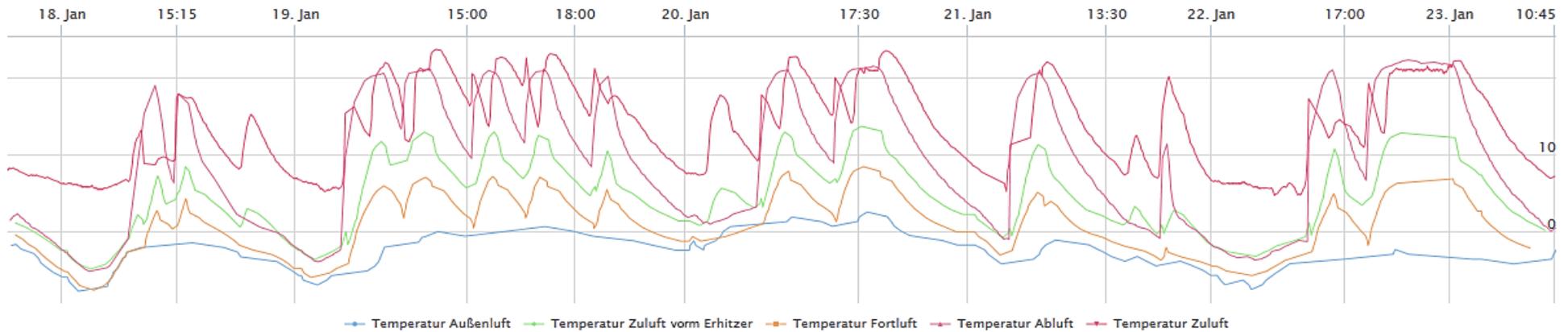
Lufttemperatur RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost) s, September – November 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.181)

Temperaturen RLT-Anlage Dezember 2015 – Februar 2016 Ergänzungsbau Nord(ost)



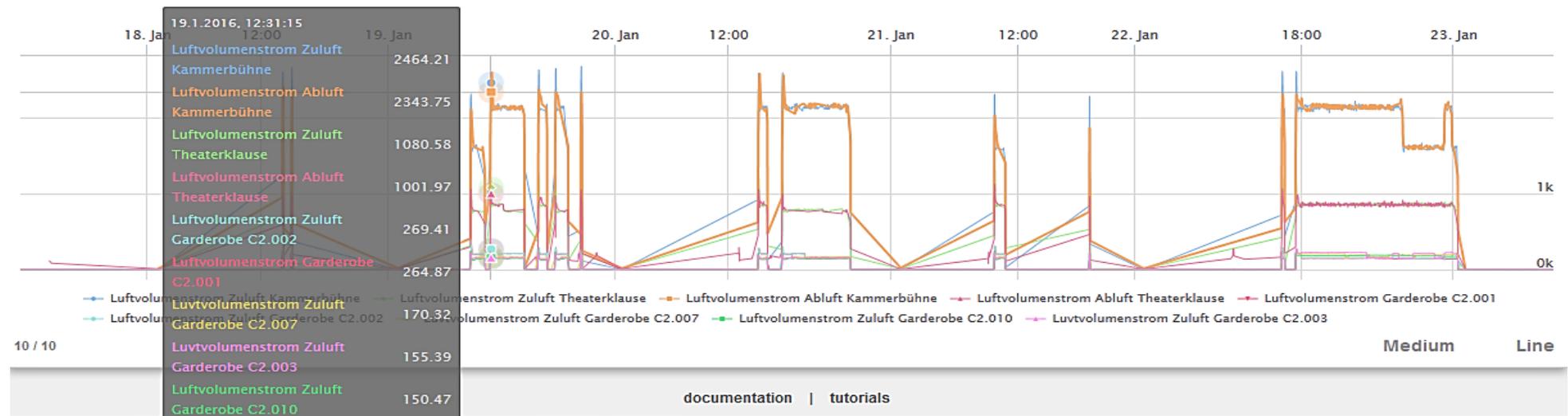
Lufttemperatur RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Dezember 2015 – Februar 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.182)

Temperaturen RLT-Anlage 17.1.-23.1.2016 Ergänzungsbau Nord(ost)



Lufttemperatur RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), 17.1.-23.1.2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.183)

Luftvolumenstrom RLT-Anlage 17.1.-23.1.2016 Ergänzungsbau Nord(ost)



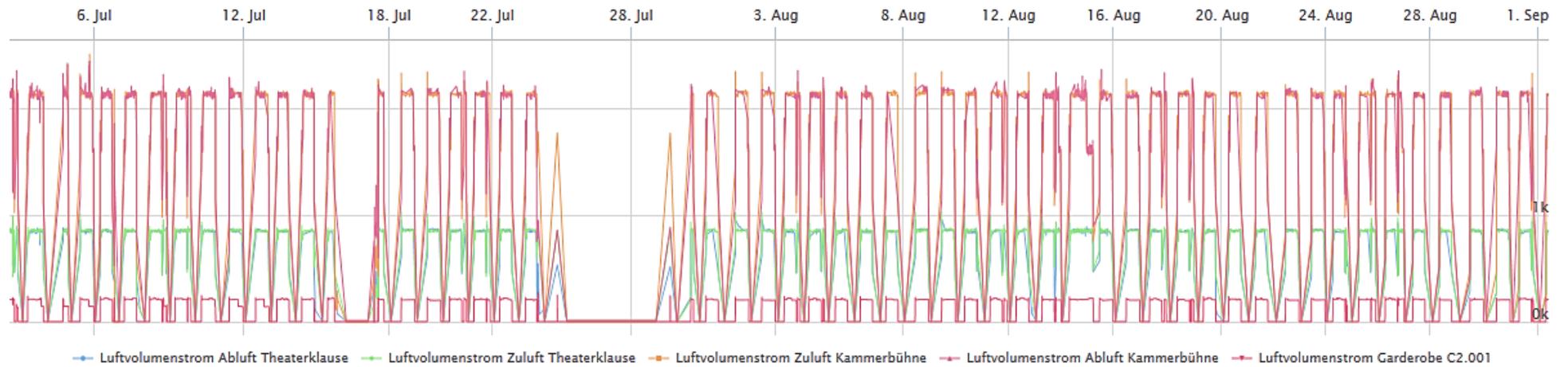
Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), 17.1.-23.1.2016, [m³/h] (Abschlussbericht Abb.184)

Luftvolumenstrom RLT-Anlage im Jahresverlauf Ergänzungsbau Nord(ost)



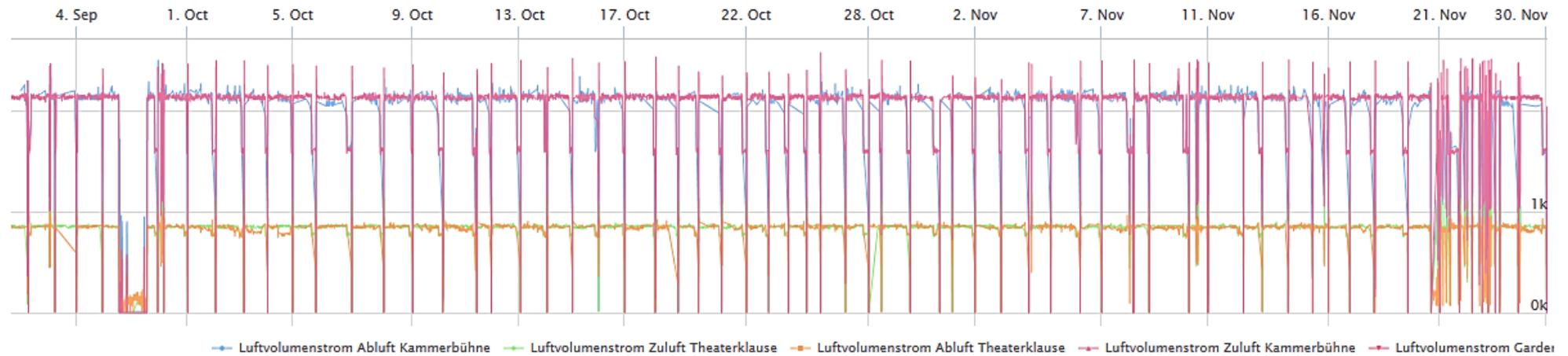
Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Referenzjahr, [m³/h] (Abschlussbericht Abb.185)

Luftvolumenstrom RLT-Anlage Juni – August 2015 Ergänzungsbau Nord(ost)

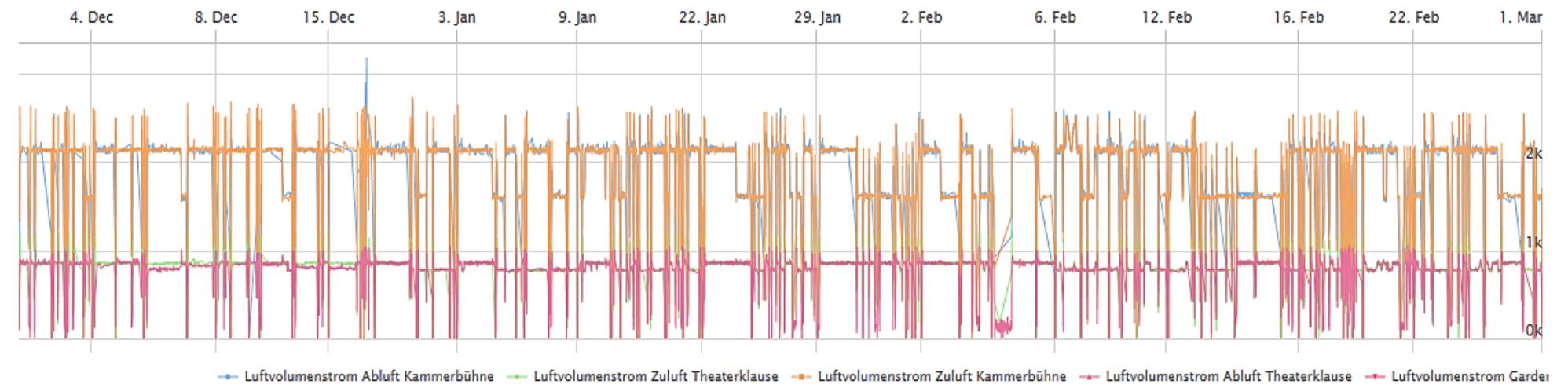


Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Juni – August 2015, [m³/h] (Abschlussbericht Abb.186)

Luftvolumenstrom RLT-Anlage September – November 2015 Ergänzungsbau Nord(ost)

Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), September – November 2015, [m³/h] (Abschlussbericht Abb.187)

Luftvolumenstrom RLT-Anlage Dez. 2015 – Februar 2016 Ergänzungsbau Nord(ost)

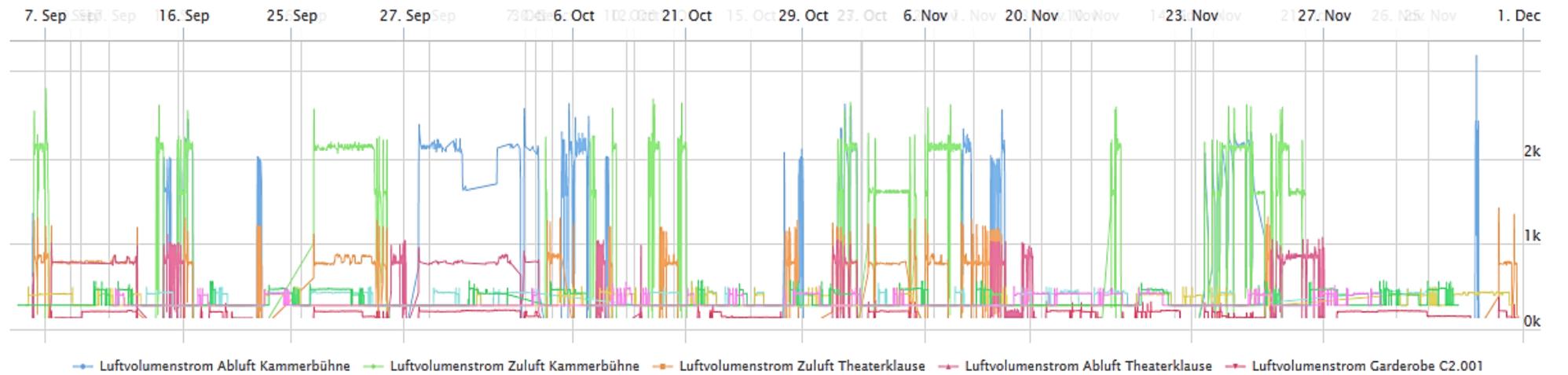
Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Dez. 2015 – Februar 2016, [m³/h] (Abschlussbericht Abb.188)

Luftvolumenstrom RLT-Anlage März – Juni 2016 Ergänzungsbau Nord(ost)



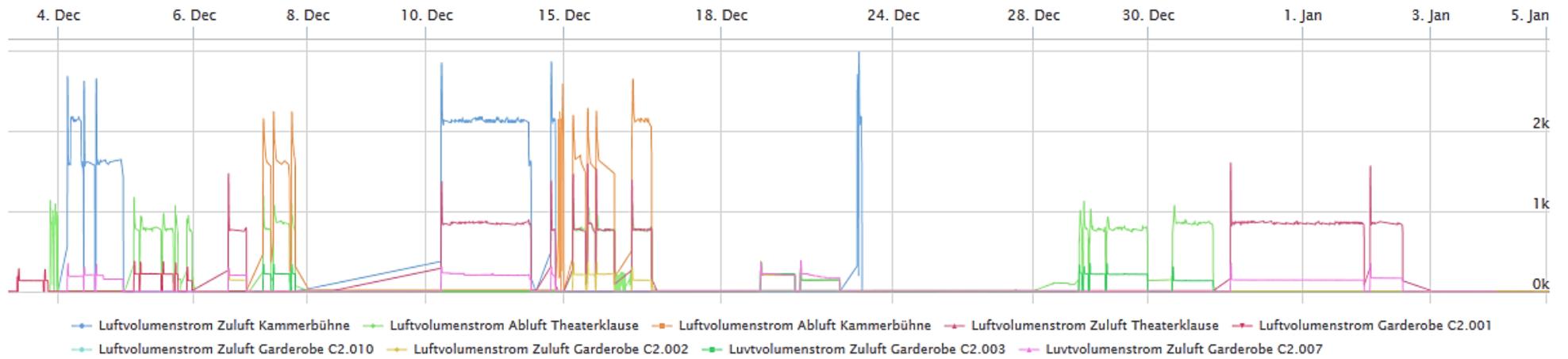
Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), März – Juni 2016, [m³/h] (Abschlussbericht Abb.189)

Luftvolumenstrom RLT-Anlage September – November 2016 Ergänzungsbau Nord(ost)



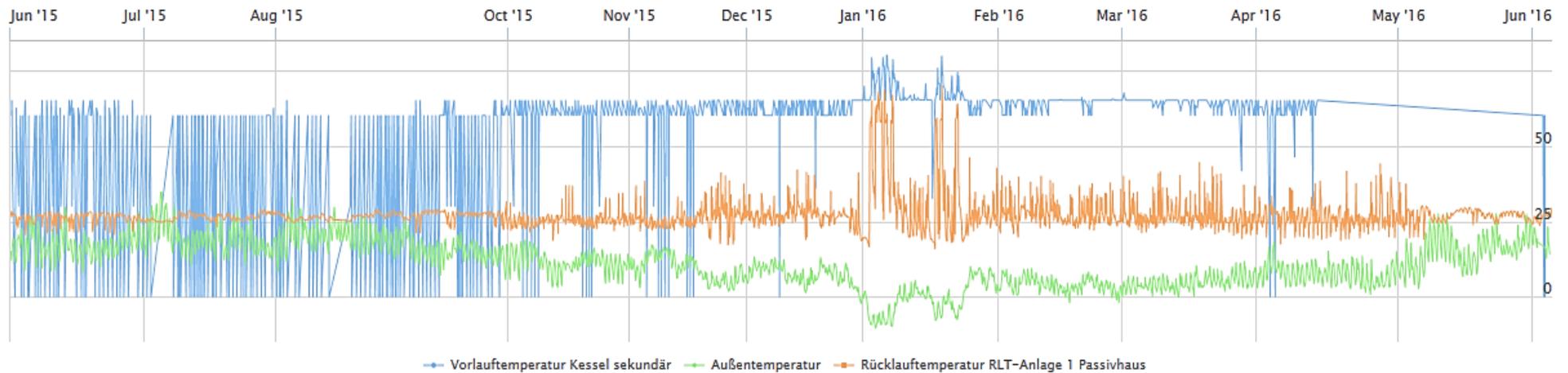
Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), September – November 2016, [m³/h] (Abschlussbericht Abb.190)

Luftvolumenstrom RLT-Anlage Dezember 2016 – Januar 2017 Ergänzungsbau Nord(ost)



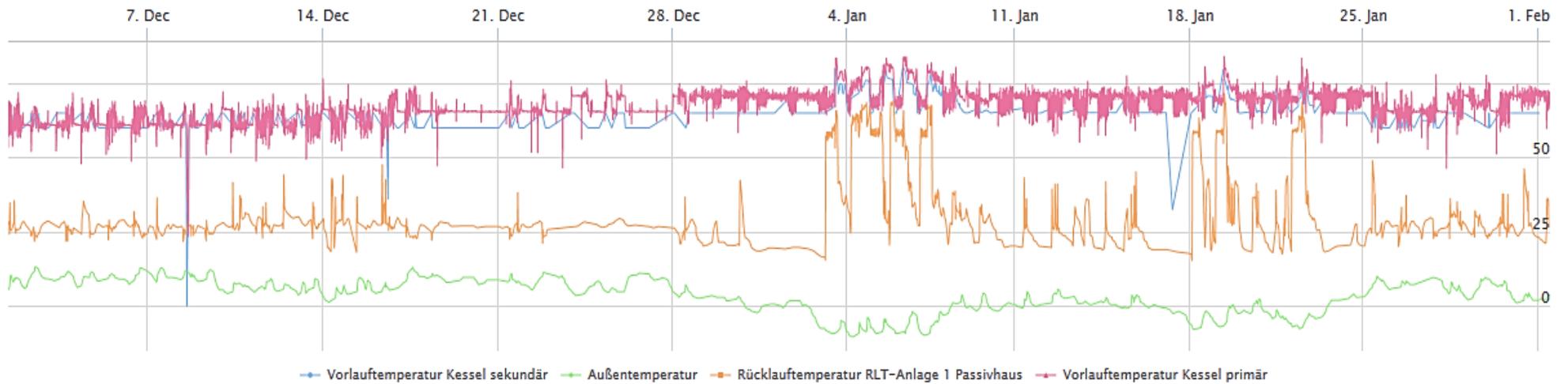
Luftvolumenstrom RLT-Anlage für Ergänzungsbau Nord(ost), Dezember 2016 – Januar 2017, [m³/h] (Abschlussbericht Abb.191)

Vorlauf- und Rücklauf temperatur Jahresverlauf Kessel und RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost)



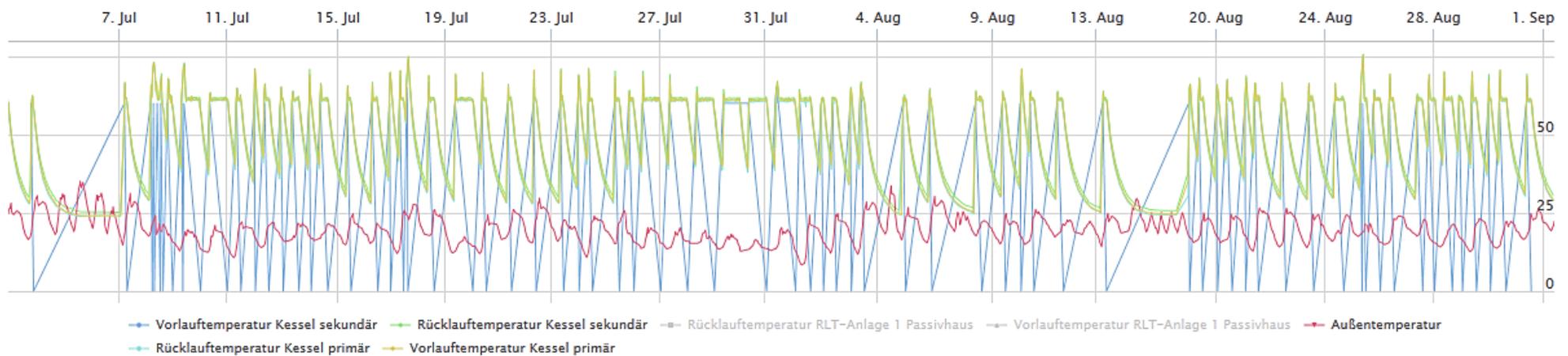
Vorlauftemperatur Kessel und Rücklauftemperatur RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost), Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.193)

Vorlauf- /Rücklauf-temp. Kessel und RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Dez. 2015 – Jan. 2016



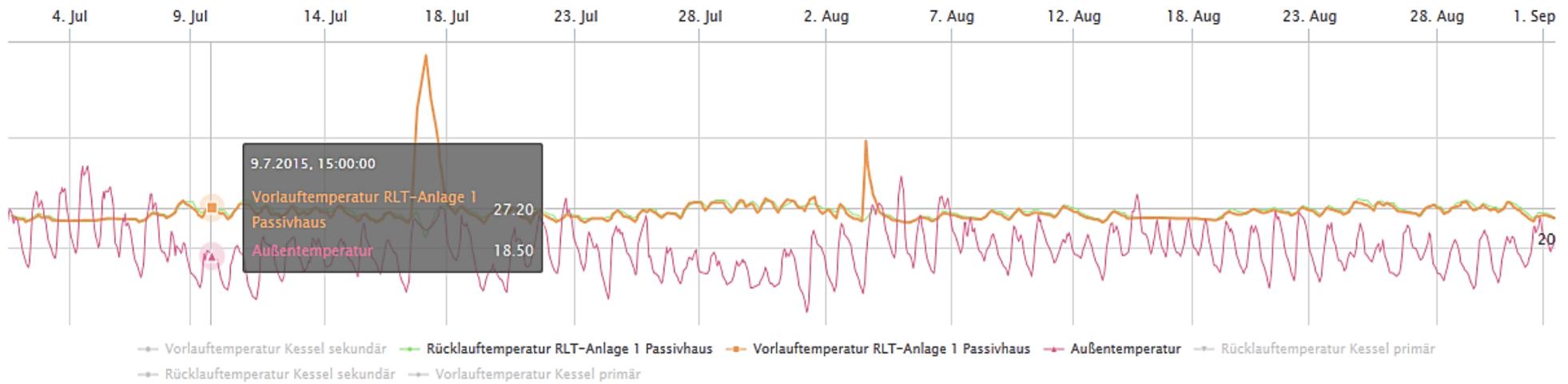
Vorlauf- und Rücklauf-temperatur Kessel und RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost), Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.194)

Vorlauf- und Rücklauf-temperatur Kessel Juli – August 2015



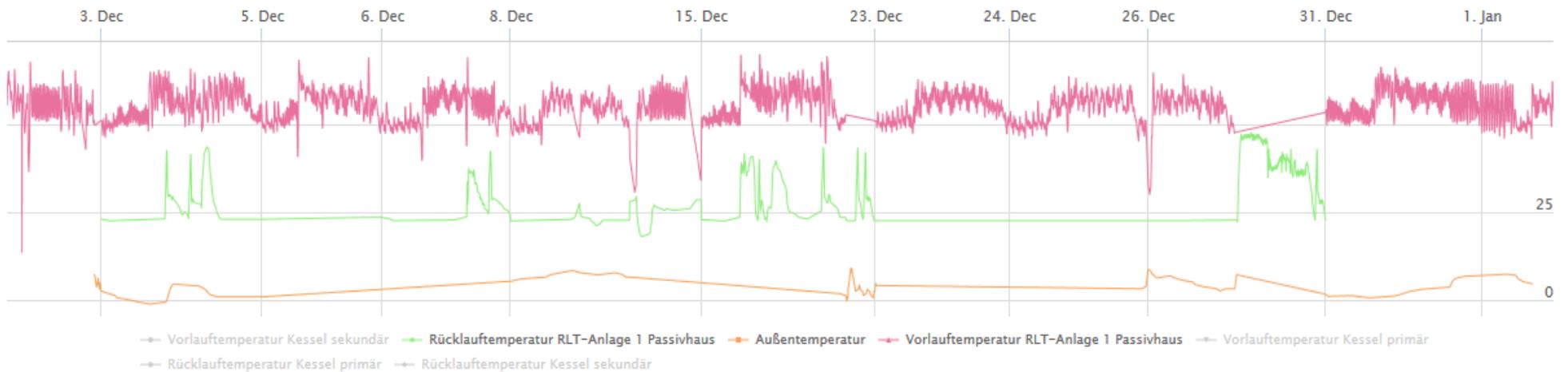
Vorlauf- und Rücklauf-temperatur Kessel Juli – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.195)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Juli – August 2015



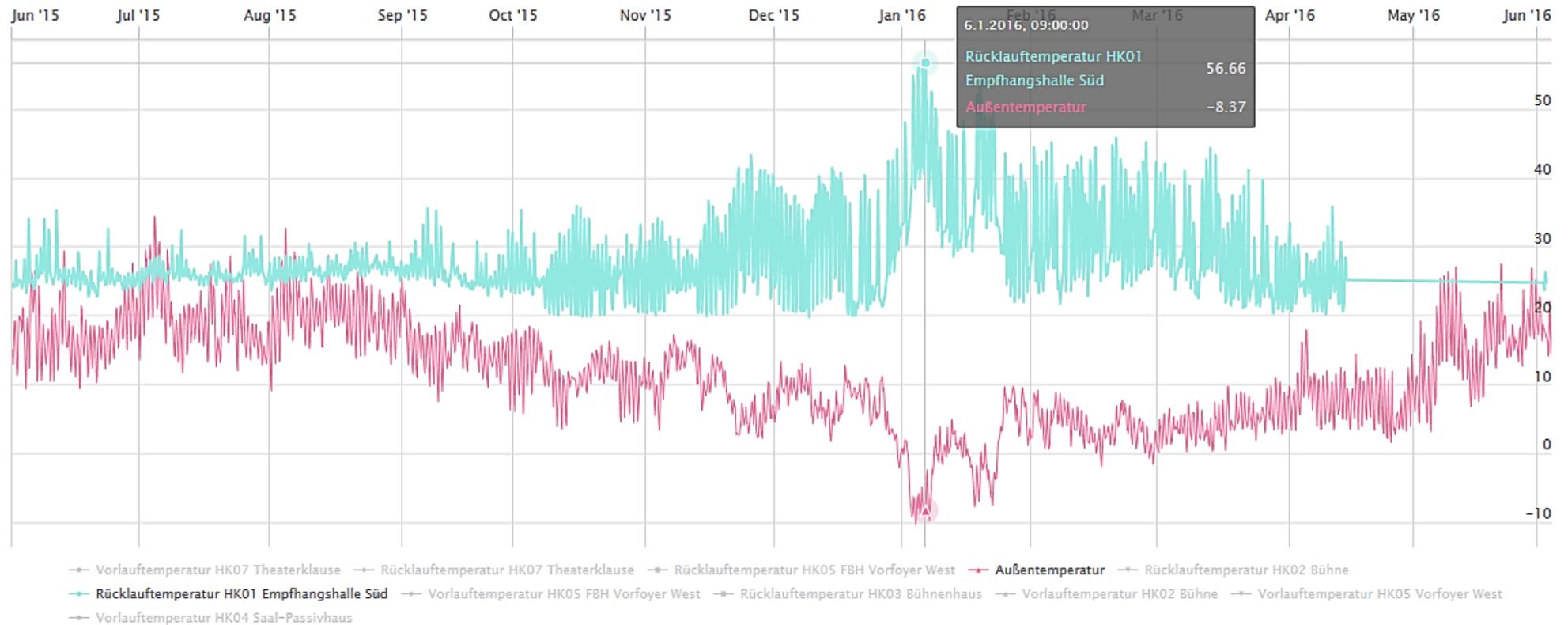
Vorlauf- und Rücklauftemperatur RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost), Juli – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.196)

Vorlauf- /Rücklauftemperatur RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost) Dezember 2016



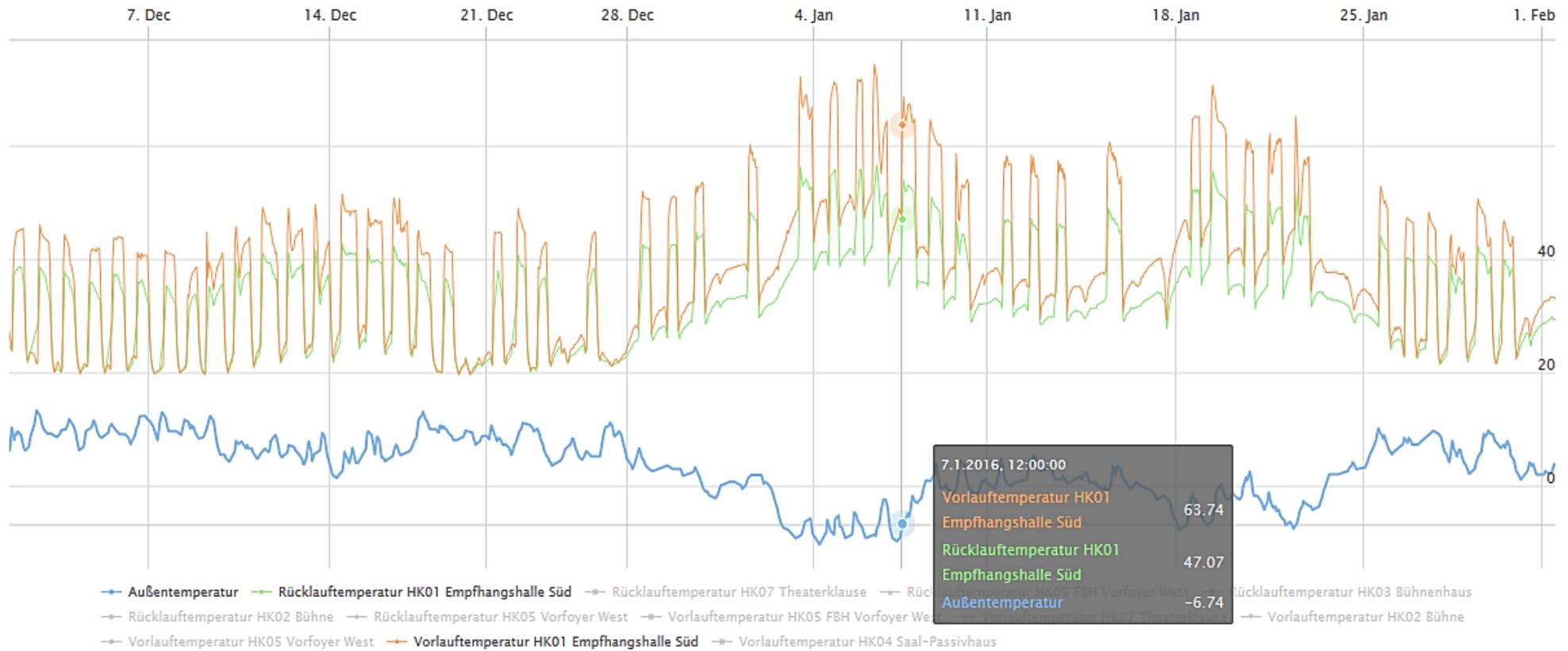
Vorlauf- und Rücklauftemperatur RLT-Anlage Ergänzungsbau Nord(ost), Dezember 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.197)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur im Jahresverlauf HK 01 Ergänzungsbau Süd(west)



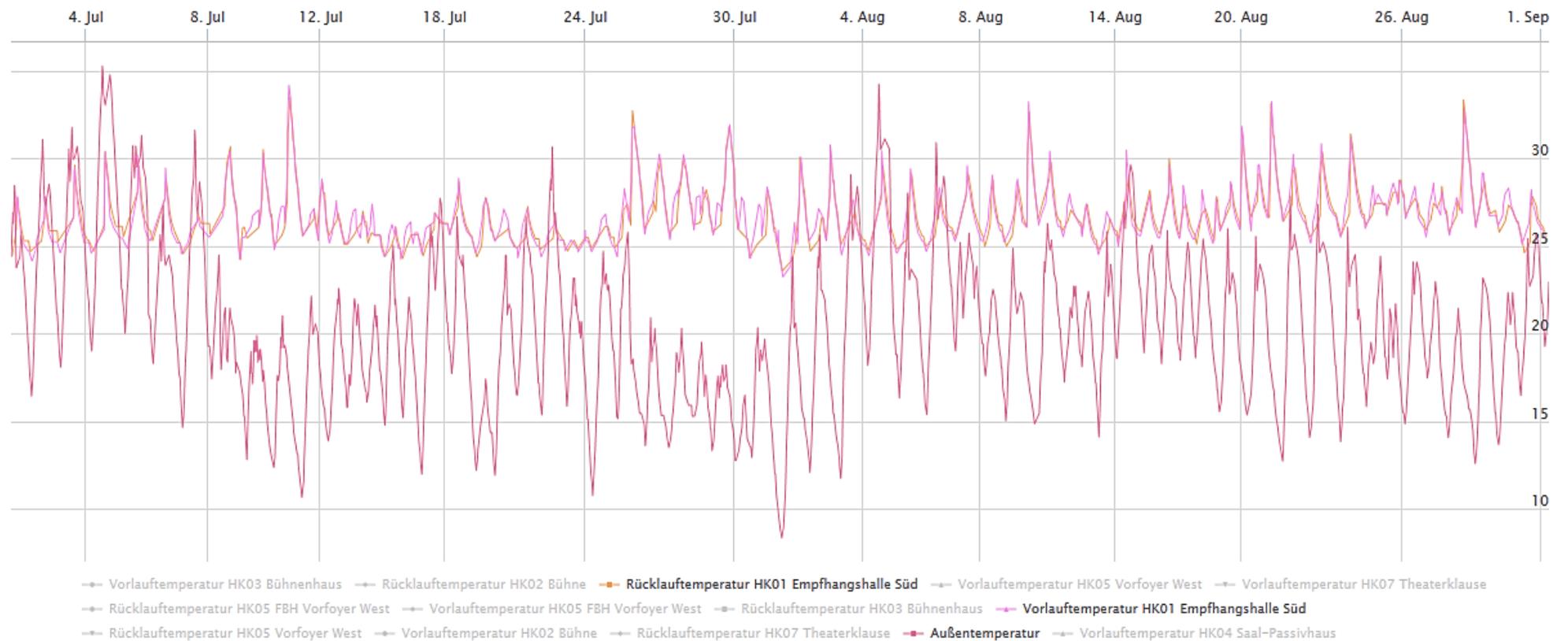
Vorlauf- und Rücklauftemperatur Ergänzungsbau Süd(west), Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.198)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Dezember 2015 – Januar 2016 HK01 Ergänzungsbau Süd(west)



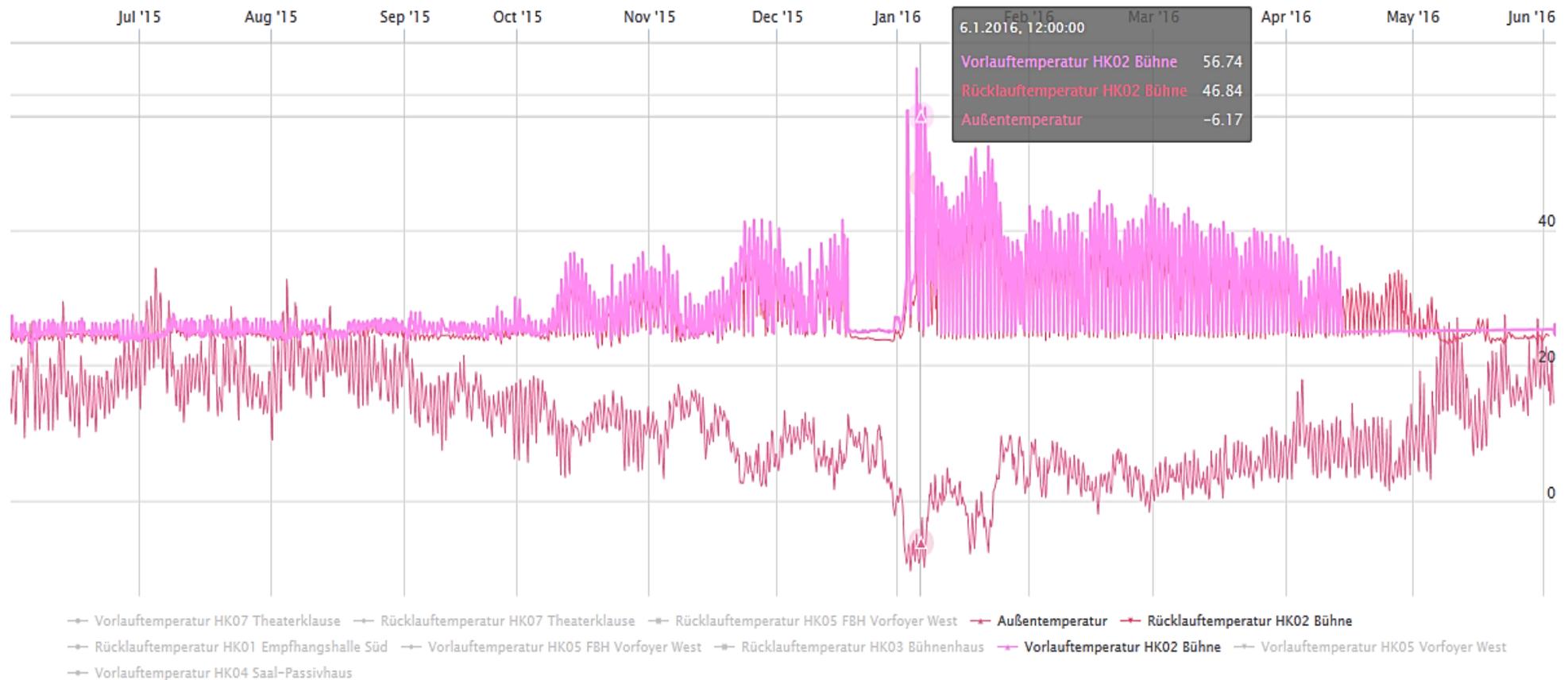
Vorlauf- und Rücklauftemperatur Ergänzungsbau Süd(west), Dezember 2015 – Januar 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.199)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Juli – August 2015 HK01 Ergänzungsbau Süd(west)



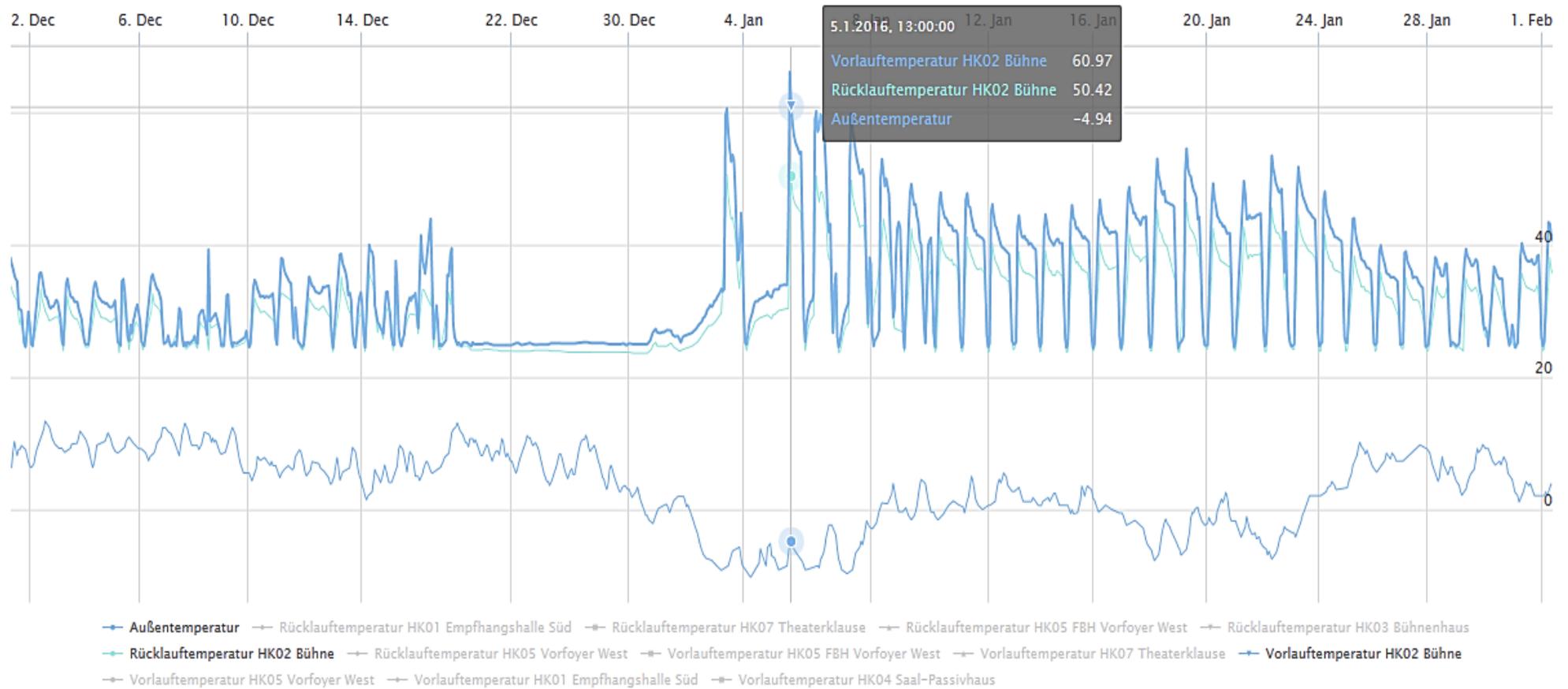
Vorlauf- und Rücklauftemperatur Ergänzungsbau Süd(west), Juli – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.200)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur im Jahresverlauf HK02 Bühne



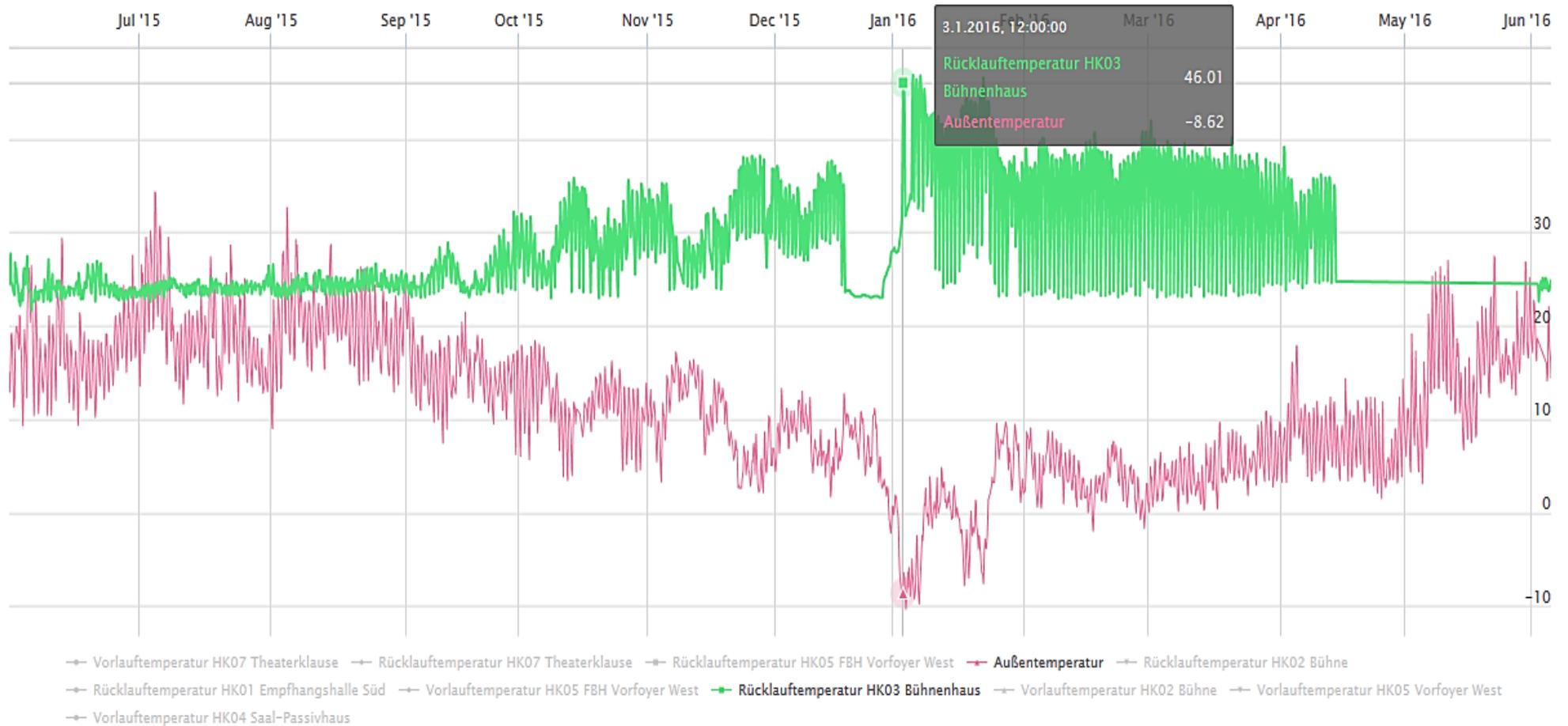
Vorlauf- und Rücklauftemperatur HK02 Bühne, Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.201)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Dezember 2015 – Januar 2016 HK02 Bühne



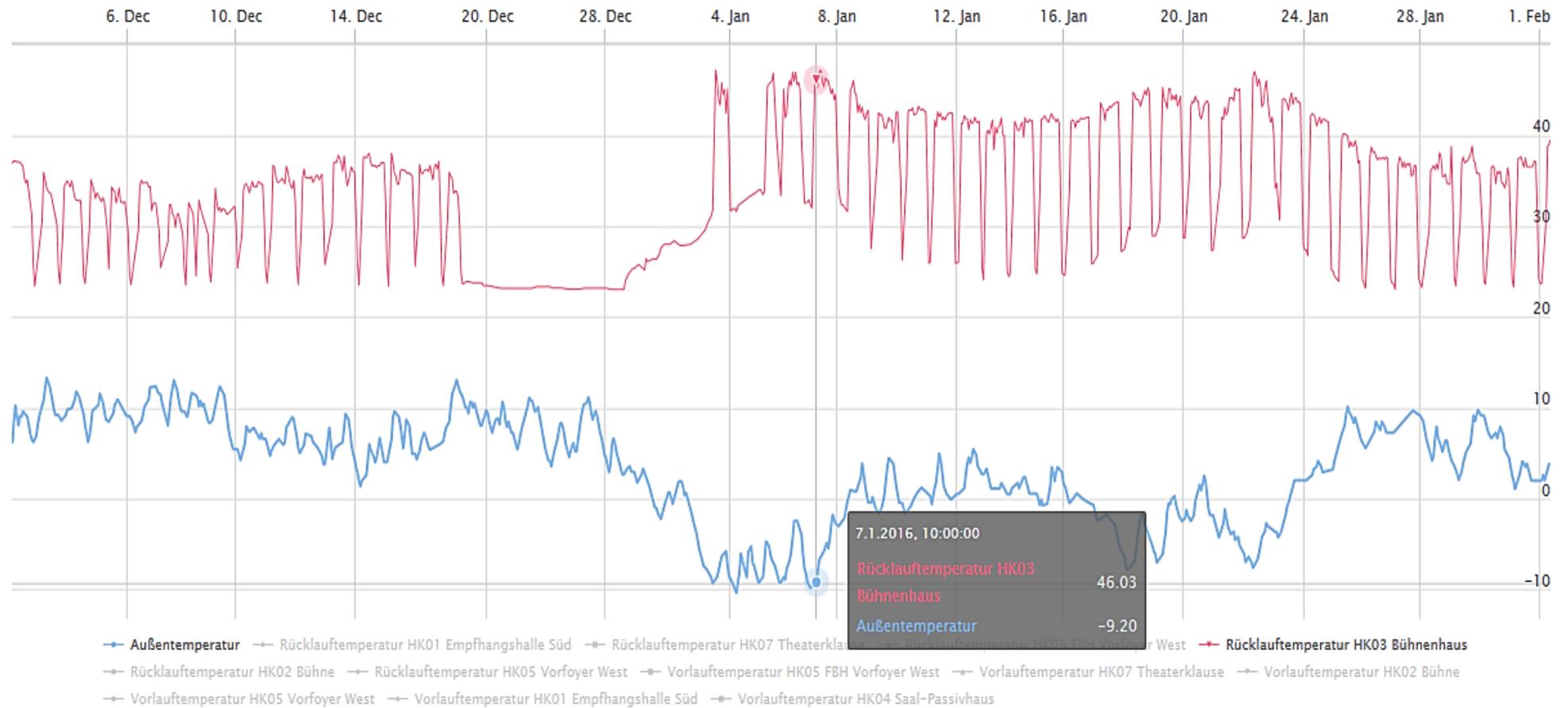
Vorlauf- und Rücklauftemperatur HK02 Bühne, Dezember 2015 – Januar 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.202)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur im Jahresverlauf HK03 Bühnenhaus



Vorlauf- und Rücklauftemperatur HK03 Bühnenhaus, Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.204)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Dezember 2015 – Januar 2016 HK03 Bühnenhaus



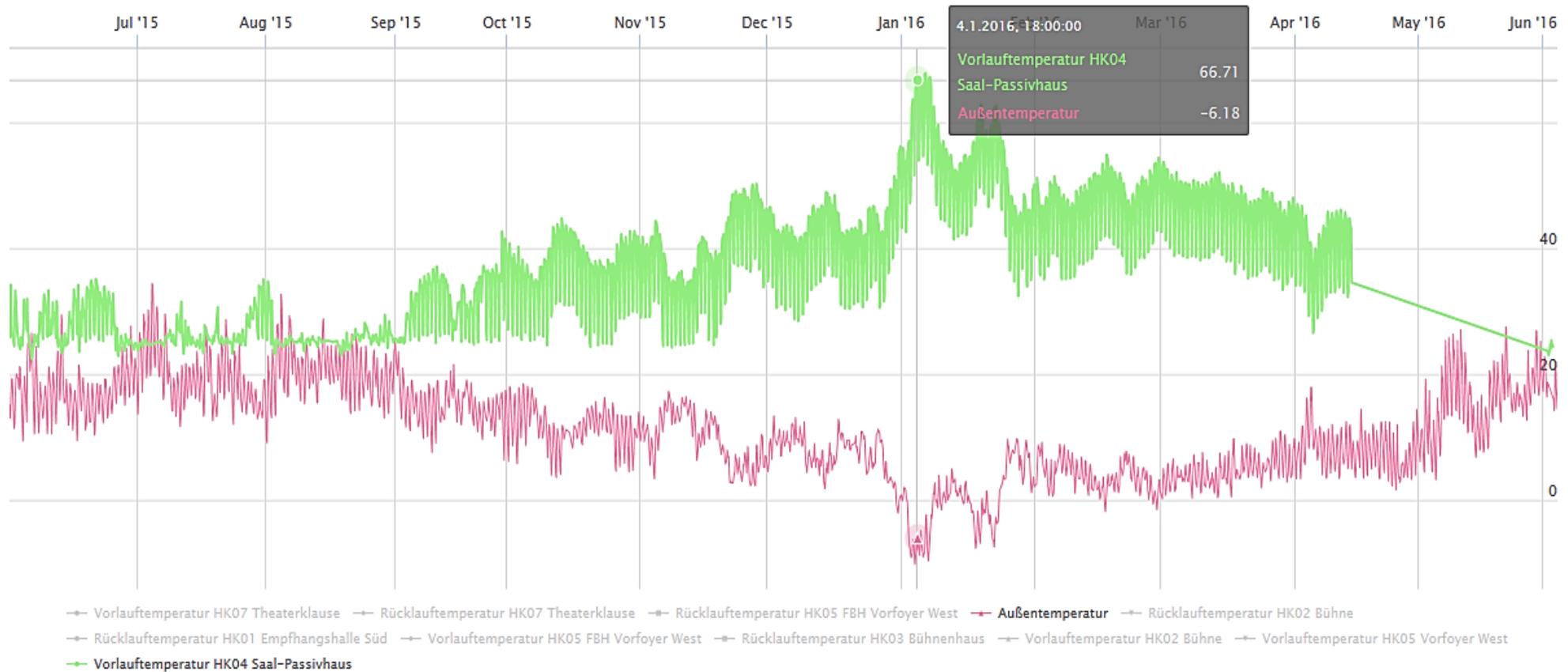
Vorlauf- und Rücklauftemperatur HK03 Bühnenhaus, Dezember 2015 – Januar 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.205)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Juli – August 2015 HK03 Bühnenhaus



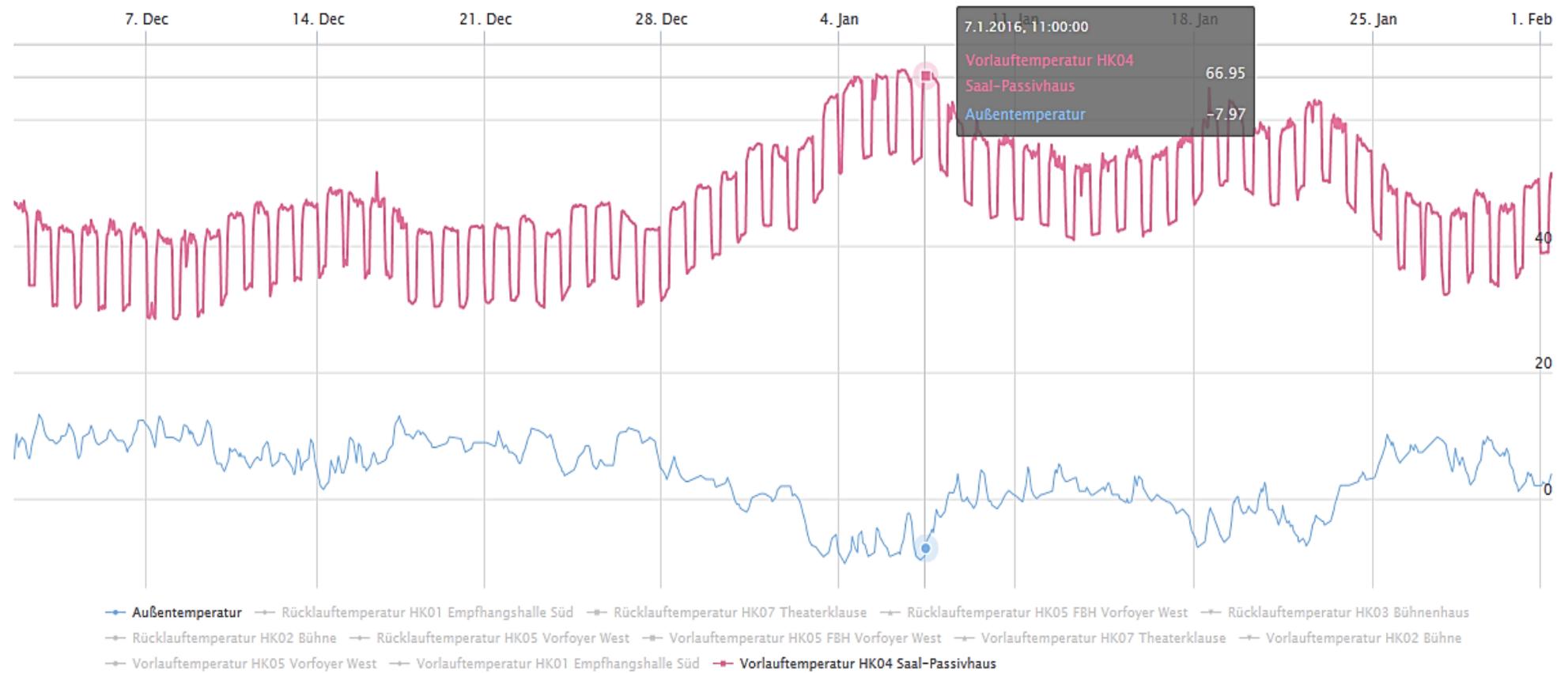
Vorlauf- und Rücklauftemperatur HK03 Bühnenhaus, Juli – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.206)

Vorlauftemperatur im Jahresverlauf HK04 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost)



Vorlauftemperatur HK04 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost), Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.207)

Vorlauftemperatur Dezember 2015 – Januar 2016 HK04 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost)



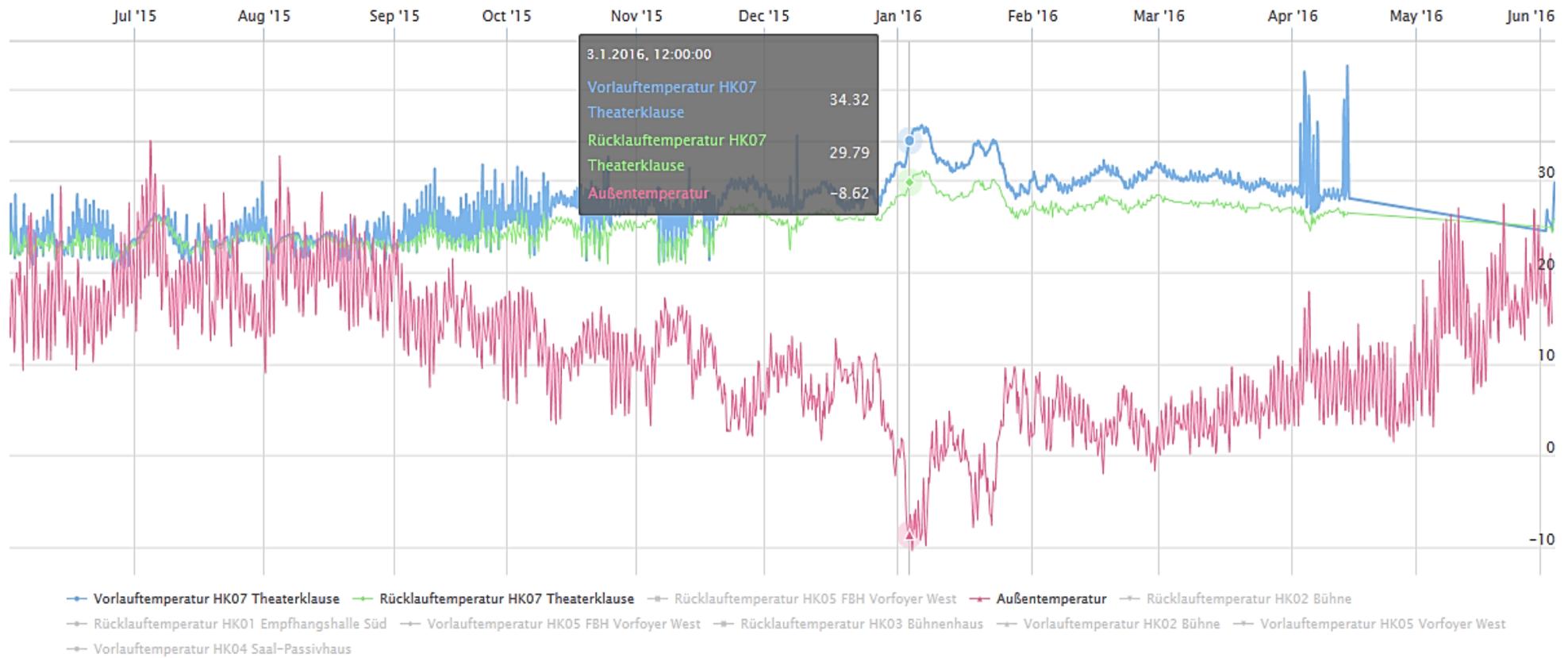
Vorlauftemperatur HK04 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost), Dezember 2015 – Januar 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.208)

Vorlauftemperatur Juli – August 2015 HKo4 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost)



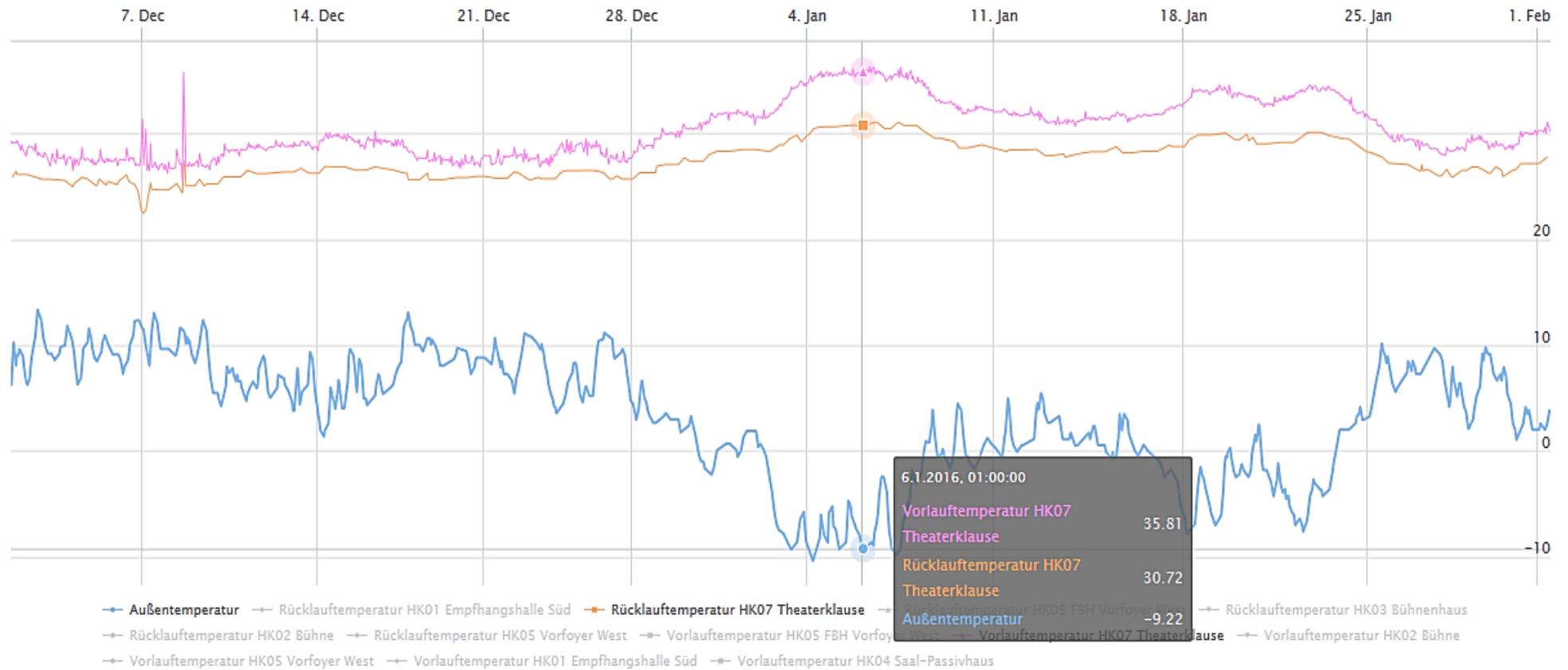
Vorlauftemperatur HKo4 Theatersaal und Ergänzungsbau Nord(ost), Juli – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.209)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur im Jahresverlauf FBH Theaterklausen



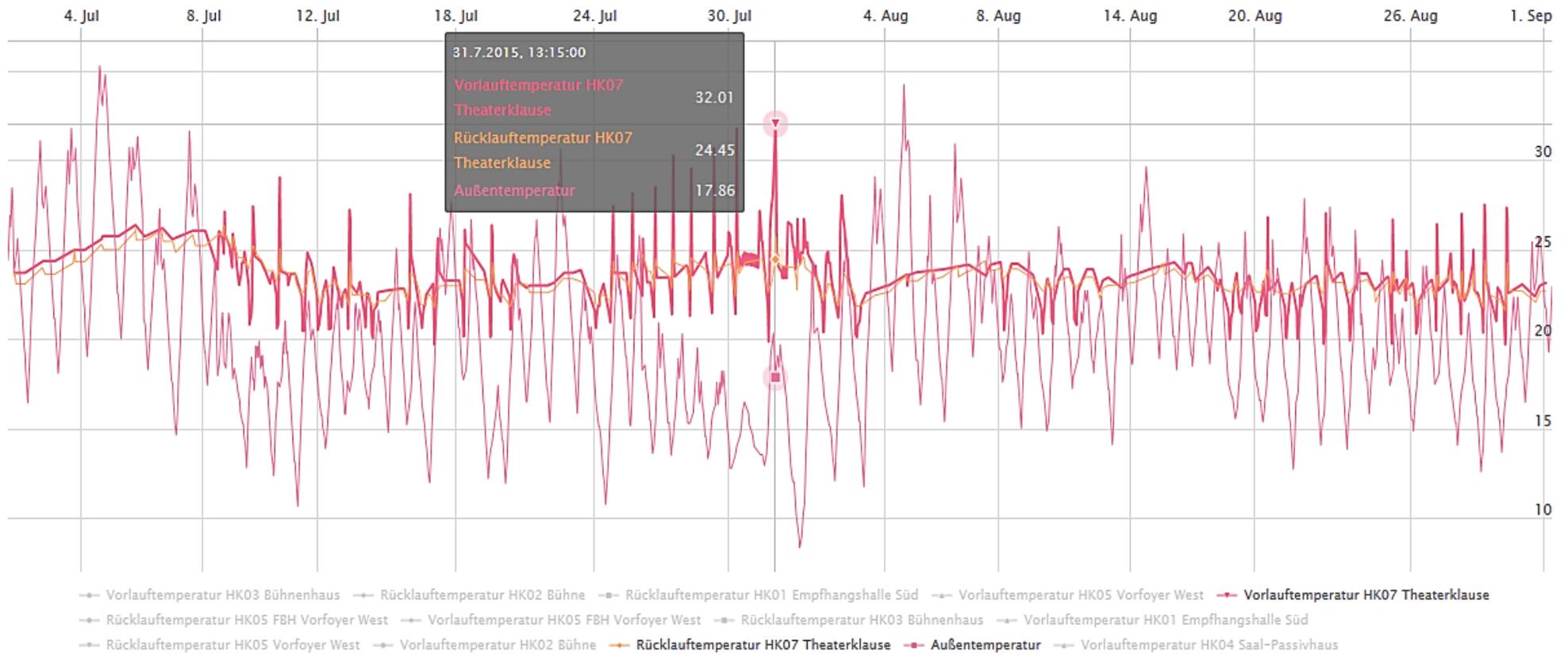
Vorlauf- und Rücklauftemperatur FBH Theaterklausen, Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.210)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Dezember 2015 – Januar 2016 FBH Theaterklaus



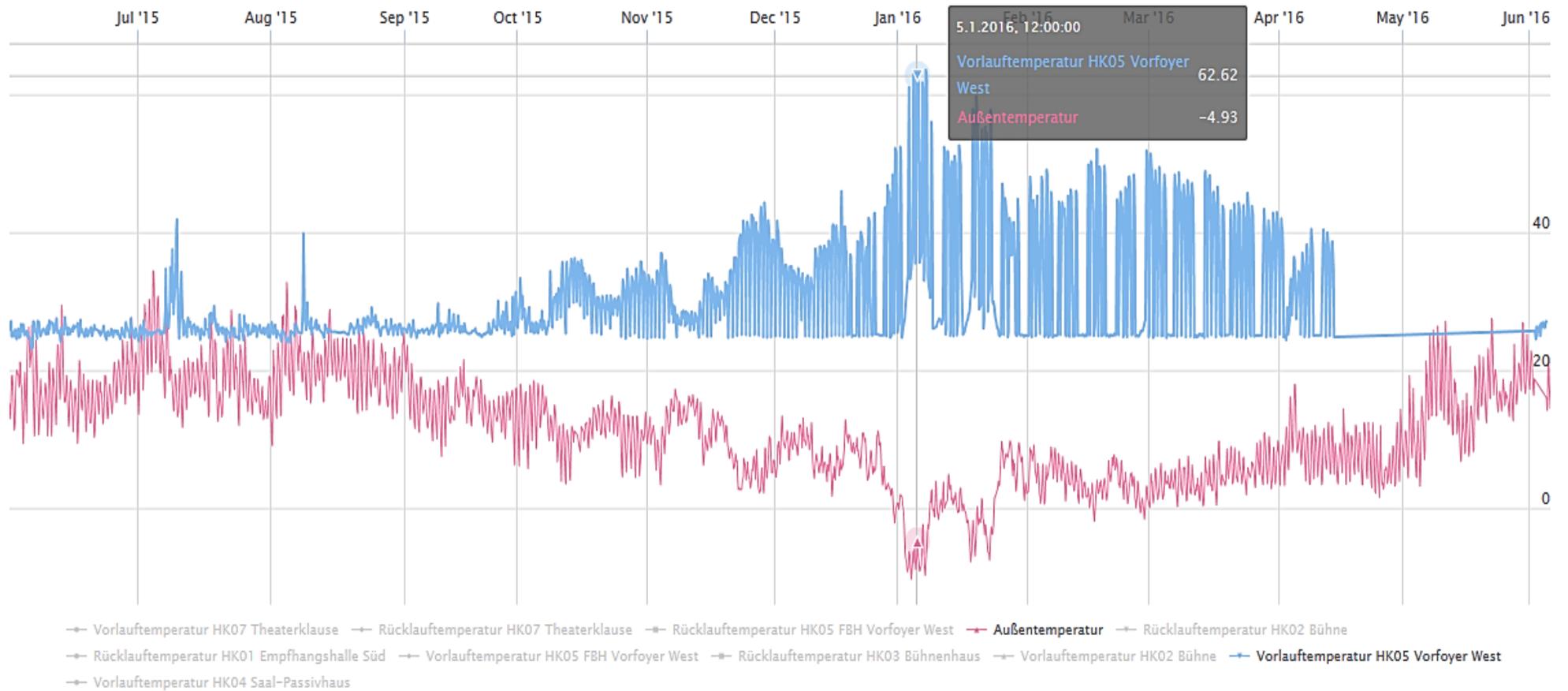
Vorlauf- und Rücklauftemperatur FBH Theaterklaus, Dezember 2015 – Januar 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.211)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Juli – August 2015 FBH Theaterklause



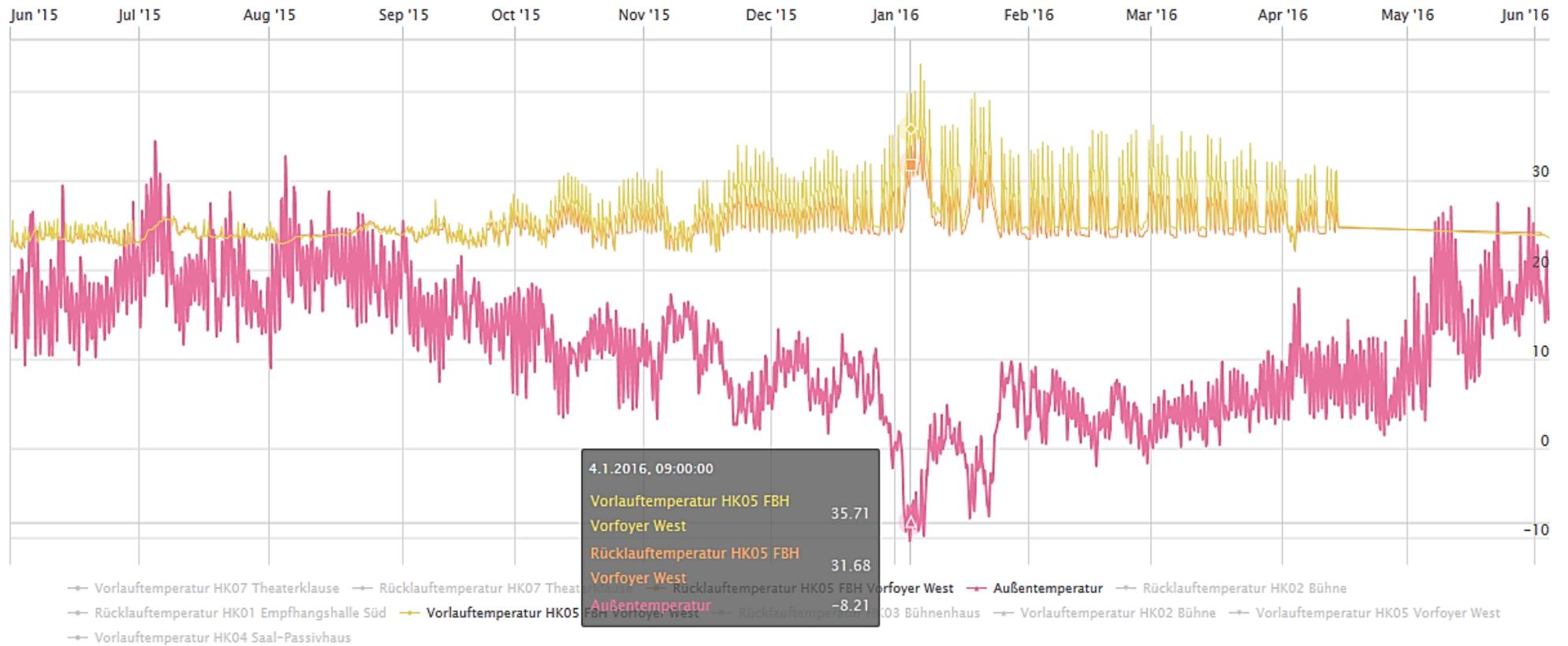
Vorlauf- und Rücklauftemperatur FBH Theaterklause, Juli – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.212)

Vorlauftemperatur im Jahresverlauf HK05 Vorfoyer Nordwest



Vorlauftemperatur HK05 Vorfoyer Nordwest, Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.213)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur im Jahresverlauf HK05 FBH Vorfoyer Nordwest



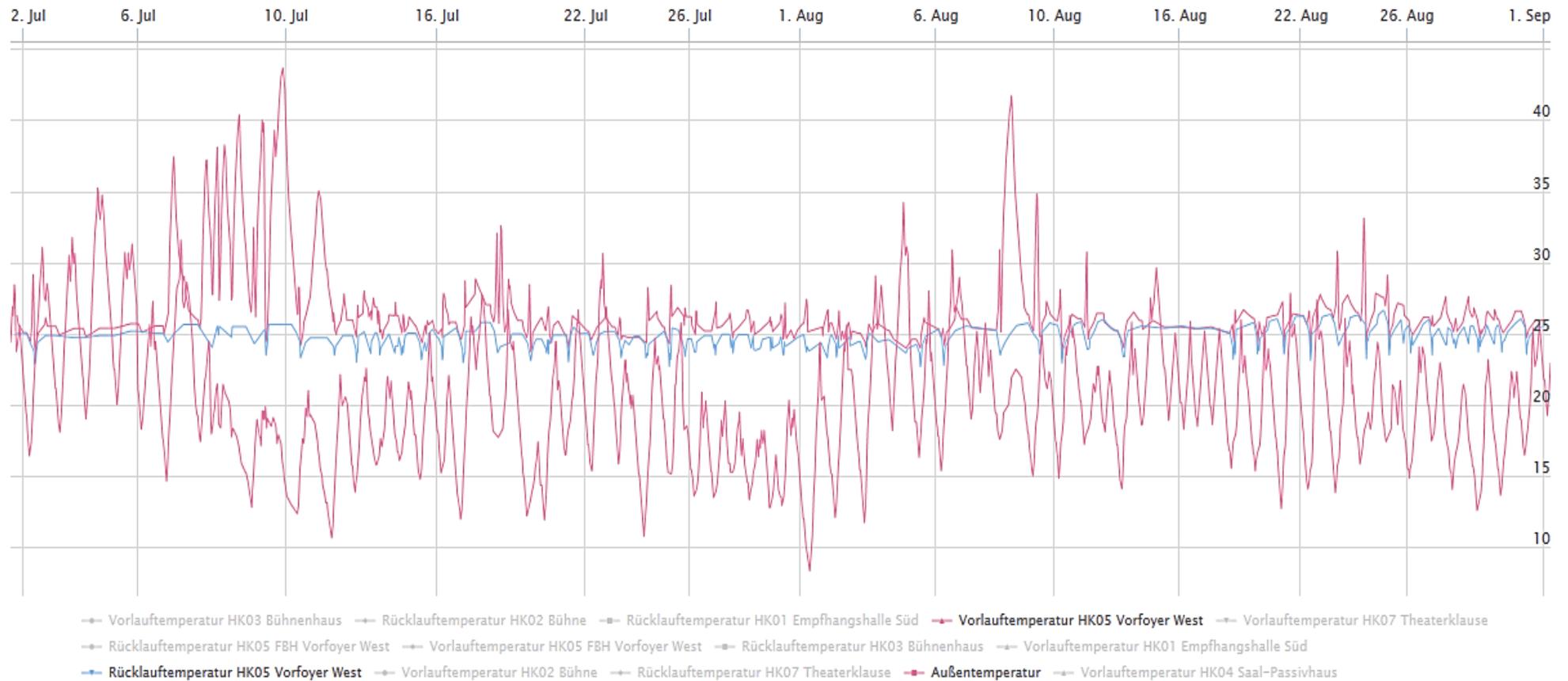
Vorlauf- und Rücklauftemperatur HK05 FBH Vorfoyer Nordwest, Referenzjahr, [°C] (Abschlussbericht Abb.214)

Vorlauf- und Rücklauf-temperatur Dezember 2015 – Januar 2016 HK05 FBH Vorfoyer Nordwest



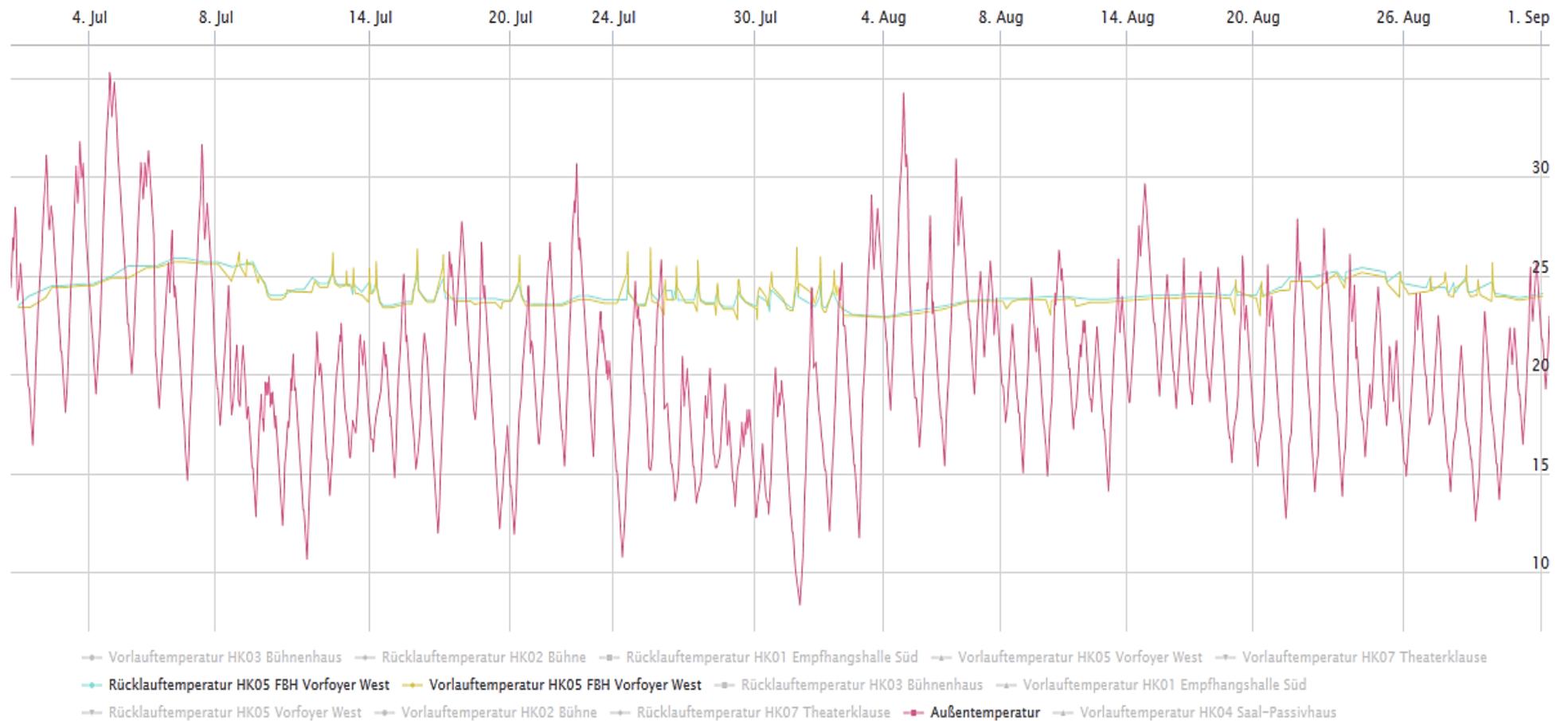
Vorlauf- und Rücklauf-temperatur HK05 FBH Vorfoyer Nordwest, Dezember 2015 – Januar 2016, [°C] (Abschlussbericht Abb.216)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Juli – August 2015 HK05 Vorfoyer Nordwest



Vorlauf- und Rücklauftemperatur HK05 Vorfoyer Nordwest, Juli – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.217)

Vorlauf- und Rücklauftemperatur Juli – August 2015 HK05 FBH Vorfoyer Nordwest



Vorlauf- und Rücklauftemperatur HK05 FBH Vorfoyer Nordwest, Juli – August 2015, [°C] (Abschlussbericht Abb.218)