

Energieverbrauchsmonitoring (EVM) Mustersanierung 2012 – 2014

Gesamtergebnisse

Endbericht

März 2018

Auftraggeber: Klima- und Energiefonds



Christoph Lugmeyer (Projektleiter)

Daniela Bachner, Margot Grim, Klemens Schlögl

Klemens Leutgöb

Impressum

e7 Energie Markt Analyse GmbH
Walcherstraße 11/43
1020 Wien
Österreich

Telefon +43-1-907 80 26
Fax +43-1-907 80 26-10
office@e-sieben.at
<http://www.e-sieben.at>

Gender Disclaimer

Zur Gewährleistung der einfachen Lesbarkeit dieser Studie findet sich bei vielen Formulierungen die männliche Form. Sämtliche personenbezogenen Bezeichnungen sind jedoch immer geschlechtsneutral zu verstehen.

Inhaltsverzeichnis

1	Abkürzungsverzeichnis	10
2	Zielsetzung der Studie	11
2.1	Ausgewählte Projekte.....	11
3	Zusammenfassung	13
4	Wirkt die Mustersanierung?	14
4.1	CO ₂ -äquivalente Emissionen.....	14
4.2	Nutzenergie.....	15
4.3	Anteil erneuerbare Energieträger am Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes.....	17
5	Erkenntnisse	18
5.1	Lessons learned.....	18
5.2	Häufige Herausforderungen	19
6	Detaillierte Ergebnisse Energieverbrauchsmonitoring	20
6.1	Heizung.....	20
6.1.1	Wärmeverbrauch	20
6.1.2	Heizungsregelung.....	21
6.2	Lüftung	23
6.2.1	Stromverbrauch der Lüftungsanlage	23
6.2.2	Regelung	24
6.3	Kälte.....	24
6.4	Strom	25
6.4.1	PV	26
6.5	Behaglichkeit.....	26
7	Allgemeines zum Energieverbrauchsmonitoring	28
7.1	Vorteile des Energieverbrauchsmonitoring	28
7.2	Was ist bei der Planung, Umsetzung und beim Betrieb zu beachten?.....	29
7.3	Typische Fehlerquellen	30
8	Ausblick	31

9	Mustersanierungsprojekte.....	32
9.1	Atrium, Lauterach Vbg.....	32
9.1.1	Sanierungsmaßnahmen.....	33
9.1.1.1	Gebäudehülle	33
9.1.1.2	Gebäudetechnik	33
9.1.1.3	Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)	34
9.1.2	EVM-Schema	35
9.1.3	Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung	36
9.1.4	Detaillerggebnisse Energieverbrauchsmonitoring	38
9.1.4.1	Zusammenfassung	38
9.1.4.2	Energieflussbild	39
9.1.4.3	Heizwärmeverbrauch.....	40
9.1.4.4	Stromverbrauch	41
9.1.4.5	Behaglichkeit	49
9.2	LSI, Voitsberg Stmk.....	51
9.2.1	Sanierungsmaßnahmen.....	51
9.2.1.1	Gebäudehülle	51
9.2.1.2	Gebäudetechnik	52
9.2.1.3	Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)	52
9.2.2	EVM-Schema	53
9.2.3	Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung	54
9.2.4	Detaillerggebnisse Energieverbrauchsmonitoring	56
9.2.4.1	Zusammenfassung	56
9.2.4.2	Energieflussbild	56
9.2.4.3	Heizwärmeverbrauch.....	57
9.2.4.4	Stromverbrauch	61
9.2.4.5	Behaglichkeit	65
9.3	Gästehaus Maier, Mautern Stmk.....	68
9.3.1	Sanierungsmaßnahmen.....	68
9.3.1.1	Gebäudehülle	68
9.3.1.2	Gebäudetechnik	69
9.3.1.3	Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)	69
9.3.2	EVM-Schema	70
9.3.3	Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung	71
9.3.4	Detaillerggebnisse Energieverbrauchsmonitoring	73
9.3.4.1	Zusammenfassung	73

9.3.4.2	Energieflussbild	74
9.3.4.3	Heizwärmeverbrauch.....	75
9.3.4.4	Stromverbrauch	79
9.3.4.5	Behaglichkeit und CO ₂ -Konzentration.....	85
9.4	Gemeindeamt Kautzen, Nö	87
9.4.1	Sanierungsmaßnahmen.....	87
9.4.1.1	Gebäudehülle	87
9.4.1.2	Gebäudetechnik	88
9.4.1.3	Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)	88
9.4.2	EVM-Schema	89
9.4.3	Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung	90
9.4.4	Detaillerggebnisse Energieverbrauchsmonitoring.....	92
9.4.4.1	Zusammenfassung	92
9.4.4.2	Energieflussbild	92
9.4.4.3	Heizwärmeverbrauch.....	92
9.4.4.4	Stromverbrauch	98
9.4.4.5	Behaglichkeit und CO ₂ -Konzentration.....	100
9.5	Kindergarten Velden, Ktn	105
9.5.1	Sanierungsmaßnahmen.....	106
9.5.1.1	Gebäudehülle	106
9.5.1.2	Gebäudetechnik	106
9.5.1.3	Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)	107
9.5.2	EVM-Schema	108
9.5.3	Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung	109
9.5.4	Detaillerggebnisse Energieverbrauchsmonitoring.....	111
9.5.4.1	Zusammenfassung	111
9.5.4.2	Energieflussbild	112
9.5.4.3	Heizwärmeverbrauch.....	112
9.5.4.4	Stromverbrauch	115
9.5.4.5	Behaglichkeit und CO ₂ -Konzentration.....	125
9.6	Mittelschule Bad Eisenkappel, Ktn	129
9.6.1	Sanierungsmaßnahmen.....	130
9.6.1.1	Gebäudehülle	130
9.6.1.2	Gebäudetechnik	130
9.6.1.3	Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)	131
9.6.2	EVM-Schema	132

9.6.3	Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung	133
9.6.4	Detailergebnisse Energieverbrauchsmonitoring	134
9.6.4.1	Zusammenfassung	134
9.6.4.2	Energieflussbild	135
9.6.4.3	Heizwärmeverbrauch	136
9.6.4.4	Stromverbrauch	138
9.6.4.5	Behaglichkeit und CO ₂ -Konzentration	144
9.7	Schulzentrum Kirchberg am Wagram, Nö	152
9.7.1	Sanierungsmaßnahmen	153
9.7.1.1	Gebäudehülle	153
9.7.1.2	Gebäudetechnik	153
9.7.1.3	Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)	154
9.7.2	EVM-Schema	155
9.7.3	Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung	156
9.7.4	Detailergebnisse Energieverbrauchsmonitoring	158
9.7.4.1	Zusammenfassung	158
9.7.4.2	Energieflussbild	159
9.7.4.3	Heizwärmeverbrauch	159
9.7.4.4	Stromverbrauch	162
9.7.4.5	Behaglichkeit und CO ₂ -Konzentration	171
9.8	Raiffeisenbank Wildon-Lebring, Stmk.	176
9.8.1	Sanierungsmaßnahmen	177
9.8.1.1	Gebäudehülle	177
9.8.1.2	Gebäudetechnik	177
9.8.1.3	Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)	178
9.8.2	EVM-Schema	178
9.8.3	Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung	179
9.8.4	Detailergebnisse Energieverbrauchsmonitoring	181
9.8.4.1	Zusammenfassung	181
9.8.4.2	Energieflussbild	182
9.8.4.3	Heizwärmeverbrauch	183
9.8.4.4	Kühlenergieverbrauch	187
9.8.4.5	Stromverbrauch	189
9.8.4.6	Behaglichkeit und CO ₂ -Konzentration	198
9.9	Raiffeisenbank Wienerwald, Preßbaum Nö	202
9.9.1	Sanierungsmaßnahmen	202

9.9.1.1 Gebäudehülle	202
9.9.1.2 Gebäudetechnik	203
9.9.1.3 Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)	203
9.9.2 EVM-Schema	204
9.9.3 Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung	205
9.9.4 Detailergebnisse Energieverbrauchsmonitoring	207
9.9.4.1 Zusammenfassung	207
9.9.4.2 Energieflussbild	208
9.9.4.3 Heizwärmeverbrauch	209
9.9.4.4 Kühlenergieverbrauch	213
9.9.4.5 Stromverbrauch	214
9.9.4.6 Behaglichkeit und CO ₂ -Konzentration	227

1 Abkürzungsverzeichnis

BGF	Bruttogeschoßfläche
EA	Energieausweis
EEB	Endenergiebedarf
EVM	Energieverbrauchsmonitoring
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FW	Fernwärme
GLT	Gebäudeleittechnik
HEB	Heizenergiebedarf
HGT	Heizgradtage
HWB	Heizwärmebedarf
KB	Kühlbedarf
n.v.	nicht vorhanden
ppm	parts per million
PV	Photovoltaikanlage
WP	Wärmepumpe
HWB _{ref}	Heizwärmebedarf für das Referenzklima
WWWB	Warmwasserwärmebedarf
WV	Wärmeverbrauch
WW	Warmwasser

2 Zielsetzung der Studie

Mit dem Programm Mustersanierung unterstützt der Klima- und Energiefonds innovative Sanierungen mit dem Ziel Vorzeigeprojekte zu etablieren und so die Verbreitung hoher Gebäudestandards voranzutreiben. Im Rahmen der Mustersanierung werden umfassende Sanierungen von Nichtwohngebäuden gefördert, die über das übliche Sanierungsausmaß hinausgehen. Neben der thermischen Sanierung sind sowohl die Energieversorgung mittels erneuerbarer Energieträger und die Installation eines Energieverbrauchsmonitoringsystems Bestandteil der geförderten Sanierungen.

Als Energieverbrauchsmonitoring (EVM) wird ein Mess- und Datenaufzeichnungssystem bezeichnet, das Energieverbräuche und Betriebszustände laufend misst und speichert. Es dient in erster Linie der kontinuierlichen Verbrauchskontrolle und der Funktionskontrolle der technischen Anlagen. Häufig werden die Daten zur Erstellung interner Benchmarks verwendet, um den Verbrauchsverlauf zu analysieren und um Abweichungen vom Durchschnittsverbrauch zu ermitteln.

Diese Studie soll dem Leser einerseits einen Überblick über die erzielten Ergebnisse realisierter Projekte und den damit verbundenen Erfahrungen und Schwierigkeiten bieten. Andererseits soll die Studie dem Leser den Nutzen eines Energieverbrauchsmonitoring vermitteln und aufzeigen, welche Anforderungen an das Energieverbrauchsmonitoringsystem gestellt werden können und wo seine Grenzen liegen.

Vor allem bei energieeffizient geplanten Gebäuden stellt das Energieverbrauchsmonitoring ein wichtigstes Hilfsmittel dar, um zu bewerten, ob das Gebäude im Betrieb die geplanten Zielwerte auch tatsächlich erreicht und wo es weiteres Optimierungspotenzial für einen energieeffizienten Betrieb gibt.

2.1 Ausgewählte Projekte

10 Projekte aus den Einreichjahren 2012 und 2013 wurden für die Studie herangezogen, wobei bei einem Projekt die Abgrenzung der Mustersanierung zum Gesamtkomplex nicht möglich war. Somit wurden nur 9 Projekte in dieser Studie dargestellt. Die Auswahl der Projekte folgte dem Ziel, verschiedene Objekttypen mit unterschiedlichen Nutzungen, die im Rahmen der Mustersanierung gefördert wurden, zu präsentieren und unterschiedliche Ausgangssituationen und Sanierungsvarianten abzubilden. Die Vielfalt vorhandener Projekte soll vermittelt werden.

Tabelle 1: Ausgewählte Projekte

Nr	Projektbezeichnung	Jahr der Fertigstellung	BGF nach Sanierung [m ²]
1	Atrium	2014	1.833
2	LSI	2014	467

3	Gästehaus Maier	2013	361
4	Gemeindeamt Kautzen	2013	494
5	Kindergarten Velden	2013	835
6	Mittelschule Bad Eisenkappel	2014	4.828
7	Volksschule Kirchberg	2012	2.392
8	Raiffeisenbank Lebring	2012	467
9	Raiffeisenbank Pressbaum	2013	1.501

3 Zusammenfassung

Die neun sanierten Objekte haben mit Hilfe der Mustersanierung in Summe 716 t/a CO₂ eingespart. Besonders erwähnenswert ist die Versorgung der Objekte mit 100% erneuerbaren Energieträgern, welche durch Solar-, Photovoltaik Anlagen, Wärmepumpen, aber auch durch den Umstieg auf Ökostrom und biogene Fernwärme Anbietern erreicht werden konnte. Dadurch wurde nicht nur die CO₂ Emissionen auf null reduziert, sondern alle Objekte wurden im Zuge der Mustersanierung erfolgreich zu nachhaltigen Gebäuden saniert und modernisiert. Die spezifische Emissionseinsparung liegt dabei zwischen 25,5 und 121,3 kg/m².a.

Die geplanten Heizwärmebedarfswerte wurden durchwegs erreicht. 7 von 9 Projekten lagen dabei mit ihren Werten in einer nachvollziehbaren Höhe (≤ 20 kWh/m²a). Davon konnte 1 Projekt sogar den geplanten Wert unterschreiten. Abweichungen sind durchwegs im Bereich des Möglichen, da das tatsächliche Nutzungsprofil oft vom berechneten Normprofil in den Energieausweisen abweicht. Diese Abweichungen können jedoch sehr wohl auch ein Indiz auf schlecht eingestellte Haustechnik oder nicht an das Nutzungsprofil angepasste Parameter sein, wie auch unsere Monitoringergebnisse zeigen. Anhand der Ergebnisse konnten Auffälligkeiten speziell im Betrieb von Heizung- und Lüftungsanlagen aufgezeigt und in weitere Folge Optimierungen vorgenommen werden.

Des Weiteren zeigt sich, dass ein wesentliches Kriterium für einen effizienten Betrieb eine fachkundige und zuständige Person ist, die die Monitoringdaten regelmäßig prüft und Anpassungen an der Gebäudesteuerung machen kann.

4 Wirkt die Mustersanierung?

4.1 CO₂-äquivalente Emissionen

Die neun betrachteten Mustersanierungsprojekte weisen nach der Sanierung keine CO₂-äquivalenten Emissionen mehr auf, da die Wärmeversorgung entweder über biogene Fernwärme erfolgt oder eine Wärmepumpe zum Einsatz kommt, die mit Ökostrom versorgt wird. Sämtliche Projekte beziehen zertifizierten Ökostrom aus dem Netz, um den (Rest-)Stromverbrauch, der nicht mittels Photovoltaik erzeugt wird, zu decken.

Die Reduktion der CO₂-äquivalenten Emissionen für Heizen pro m²_{BGF} ist in Tabelle 2 dargestellt. Diese liegt zwischen 25,5 und 121,3 kg/m².a, was durchschnittlich pro Gebäude eine Reduktion von 73 kg/m².a bedeutet. Die Reduktion hängt stark davon ab, ob das Gebäude bereits vor der Sanierung mit biogener Fernwärme oder über eine dezentrale, fossile Wärmeversorgung beheizt wurde.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der CO₂-äquivalenten Emissionen vor und nach Sanierung der Beispielobjekte

CO ₂ -äquivalente Emissionen				
Projekt	Jahr der Fertigstellung	Vor Sanierung	Nach Sanierung	
		laut Fördereinreichung ¹	laut EVM	Spezifische Einsparung
		<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>	<i>kg/m²a CO₂</i>
Atrium	2014	96,71	0,00	121,3
LSI	2014	43,23	0,00	92,6
Gästehaus Maier	2013	37,31	0,00	103,4
Gemeindeamt Kautzen	2013	33,60	0,00	68,0
Kindergarten Velden	2013	68,00	0,00	81,4
Mittelschule Bad Eisenkappel	2014	177,23	0,00	36,7
Volksschule Kirchberg	2012	165,58	0,00	118,6
Raiffeisenbank Lebring	2012	30,88	0,00	77,2
Raiffeisenbank Pressbaum	2013	71,40	0,00	56,9

Da der Anteil erneuerbarer Energieträger an der gesamten Energieversorgung der Objekte (Wärme und Strom) 100 Prozent beträgt, konnten die CO₂-äquivalenten Emissionen durch die Sanierungen vollständig eingespart werden.

¹ Die CO₂ Werte wurden bei der Fördereinreichung durch die KPC berechnet. Wenn biogene Energieträger eingespart werden, wird fiktiv ein fossiler Brennstoff (Heizöl) zur Bestimmung der CO₂-Einsparung gegengerechnet, da hier die eingesparten erneuerbaren Energieträger für andere Objekte mit fossilen Energieträgern genutzt werden können.

4.2 Nutzenergie

Nachfolgend wird ein Vergleich zwischen berechnetem Heizwärmebedarf (HWB) vor und nach Sanierung laut Energieausweis und realem Wärmeverbrauch (WV) nach der Sanierung in Tabelle 3 dargestellt.

Die Vergleichbarkeit zwischen dem im Energieausweis berechneten Heizwärmebedarf und den gemessenen Wärmemengen ist aus mehreren Gründen nicht direkt gegeben. Einerseits ist der Heizwärmebedarf HWB eine theoretische Bedarfsgröße einer thermischen Zone ohne messbaren Charakter, der ein theoretisches Nutzungsprofil hinterlegt ist. Andererseits sind die gemessenen Werte lokal zuordenbare Größen im Energieverteilsystem und stark vom Benutzerverhalten im jeweiligen Messzeitraum abhängig. Daher ergibt sich eine große Unsicherheit bezüglich der Vergleichbarkeit von berechneten Kennwerten und gemessenen Verbräuchen. Hinzu kommt, dass in mehreren der betrachteten Objekte der Warmwasserverbrauch mit demselben Wärmemengenzähler erfasst wird (siehe Spalte 4 in Tabelle 3) wie der Heizwärmeverbrauch und daher nicht separat betrachtet werden kann. Trotz dieser Einschränkungen wird auf den Vergleich aus zwei zentralen Gründen zurückgegriffen:

- Die dargestellten Werte bieten trotz allem einen guten Anhaltspunkt um die reale Verbesserung des Energieverbrauchs des Objektes nach der Sanierung zu bewerten.
- Der Vergleich des Heizenergiebedarfs HEB aus dem Energieausweis würde elektrische Hilfsenergie beinhalten, die wiederum bei den gemessenen Werten nicht bei allen Projekten exakt erfasst wurde und zugeordnet werden kann. Dieser Vergleich wäre noch fehlerbehafteter.
- Bisher gibt es in Österreich keine normative Berechnungsgrundlage, um den Energieverbrauch im Gebäudebetrieb unter realen Bedingungen hinsichtlich Nutzungsprofil und Innentemperaturen normkonform abzubilden.

Bei energieeffizienten Gebäuden mit einem errechneten Heizwärmebedarf zwischen 10 und 25 kWh/m²a ist eine Abweichung des tatsächlichen Heizwärmeverbrauchs vom berechneten Heizwärmebedarf von 10-20 kWh/m²a meist nutzungsbedingt und/oder durch Energieverluste innerhalb des Wärmesystems erklärbar.²

² Vgl. die Ergebnisse für Wohngebäude im Projekt Inno-Cost (W. Hüttler, J. Rammerstorfer, D. Bachner: Innovation & Kosteneffizienz: Kostenoptimale Gebäudestandards für großvolumige Wohngebäude. Inno-Cost. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 14/2015. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. 2015.)

Tabelle 3: Gegenüberstellung Heizwärmebedarf aus Energieausweis und gemessenem Wärmeverbrauch für Heizen und zum Teil Warmwasser vor und nach Sanierung

Vergleich Energiekennzahlen					
Vor Sanierung		Nach Sanierung			
It. Energieausweis		It. Energieausweis		It. EVM	
Projekt	HWB _{ref}	HWB _{ref}	HWB _{ref} + WWWB	WV _{klimabereinigt}	
				ohne WW	mit WW
	<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>
Atrium	210,26	13,46	18,17	15,77	-
LSI ³	302,80	29,70	35,20	25,45 ⁴	-
Gästehaus Maier	154,82	10,57	23,35	30,38 ⁵	-
Gemeindeamt Kautzen	122,41	26,38	31,09	51,02 ⁶	-
Kindergarten Velden	178,90	21,66	31,08	-	44,39
Mittelschule Bad Eisenkappel	105,73	20,08	24,79	-	29,90
Volksschule Kirchberg	120,02	12,47	21,89	-	26,63
Raiffeisenbank Lebring	155,61	25,61	30,32	45,11	-
Raiffeisenbank Pressbaum	72,01	4,02	8,73	59,57	-

Abkürzungen:

HWB_{ref}....Heizwärmebedarf für das Referenzklima

WWWB....Warmwasserwärmebedarf

WV....Wärmeverbrauch

WW....Warmwasser

Wie die Daten zeigen, liegen bei sieben von neun Projekten die Abweichungen zwischen errechneten Bedarfswerten und dem realen Verbrauch in einer nachvollziehbaren Höhe (≤ 20 kWh/m²a). Zwei Objekte zeigen wesentliche Diskrepanzen zwischen den geplanten Werten und den tatsächlichen Verbräuchen nach der Sanierung. Diese Diskrepanzen konnten durch das Monitoring geklärt werden und es wurden bereits Optimierungen durchgeführt.

³ Daten laut Energieausweis sind für das Standortklima angegeben, da für das Referenzklima keine flächenbezogenen Kennwerte im Energieausweis enthalten waren.

⁴ Wärmeverbrauch ohne Warmwasserverbrauch, da dieses über Elektroboiler bereitgestellt wird.

⁵ Gemessener, klimabereinigter Wärmeverbrauch über die Fußbodenheizung ohne Wärmeabgabe über Lüftung (diese wurde nicht erfasst). Ertrag der Solarthermie (Heizungsunterstützung + WW) wurde separat erfasst

⁶ Wärmeverbrauch der im Haus befindlichen Wohnung (nicht Teil der Mustersanierung) wurde miterfasst.

4.3 Anteil erneuerbare Energieträger am Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes

In allen betrachteten Projekten wird nach der Sanierung 100% des Gesamtenergieverbrauchs durch erneuerbare Energieträger gedeckt. Dies erfolgt zum Teil durch eine Kombination aus biogener Nah- bzw. Fernwärme (und Wärme aus Solarthermie) in Kombination mit Ökostrom oder gänzlich durch Ökostrom (Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpe mit Ökostrom betrieben). Ökostrom wird mit Ausnahme in der Mittelschule Bad Eisenkappel zum Teil vor Ort durch Photovoltaik erzeugt, der Rest wird aus dem Stromnetz bezogen.

Tabelle 4: Anteil erneuerbarer Energieträger der Sanierungsprojekte

Anteil erneuerbarer Energieträger			
Projekt	Jahr der Fertigstellung	Anteil Erneuerbarer	Energieträger
		%	
Atrium	2014	100	Ökostrom
LSI	2014	100	Solare Wärme, Ökostrom
Gästehaus Maier	2013	100	Solare Wärme, Ökostrom
Gemeindeamt Kautzen	2013	100	Biogene Fernwärme, Ökostrom
Kindergarten Velden	2013	100	Biogene Fernwärme, Ökostrom
Mittelschule Bad Eisenkappel	2014	100	Biogene Fernwärme, Ökostrom
Volksschule Kirchberg	2012	100	Biomasse-Nahwärme, Solare Wärme, Ökostrom
Raiffeisenbank Lebring	2012	100	Ökostrom
Raiffeisenbank Pressbaum	2013	100	Ökostrom

5 Erkenntnisse

5.1 Lessons learned

Besonders erwähnenswert ist der 100% Anteil an erneuerbaren Energieträgern sowie auch die Nutzung von Ökostrom und biogene Fernwärme Anbietern bei den Projekten. Dadurch wurde nicht nur die CO₂ Emissionen auf null reduziert, sondern alle Objekte wurden im Zuge der Mustersanierung erfolgreich zu einem nachhaltigen Gebäude saniert und modernisiert.

Die Ergebnisse der Auswertung zeigen, dass beim Wärmeverbrauch nach der Sanierung in 70 Prozent der betrachteten Objekte die geplanten Zielwerte gut bzw. annähernd erreicht werden. Die geplanten Werte weichen natürlich auch von den tatsächlichen Werten ab, da die tatsächliche Nutzung des Gebäudes oft nicht ident mit jener der im Vorfeld berechneten Norm- Nutzung ist. Dadurch können sich immer wieder erhöhte Verbräuche aufgrund intensiverer Nutzung, wie zum Beispiel höhere Raumlufttemperaturen beim Heizen oder ein gewünschter längerer Heizbetrieb, ergeben. Jedoch zeigen die Ergebnisse auch, dass verstärktes Augenmerk auf die Inbetriebnahme der Anlagen (Erstprogrammierung) und den laufenden Betrieb gelegt werden muss, da eine energieeffiziente Planung der Sanierung den energieeffizienten Betrieb des Gebäudes nicht automatisch gewährleistet. Zu den wichtigsten Optimierungsmaßnahmen im Gebäudebetrieb zählen die Regelungseinstellungen der Heizungs- und Lüftungssysteme und dabei speziell die Abstimmung des Anlagenbetriebs auf die Betriebszeiten der Gebäude.

Im Bereich der Heizung wurde in sechs von neun Objekten festgestellt, dass relevante Wärmemengen außerhalb der Betriebszeiten (vor allem die Temperaturabsenkung an Wochenenden und nachts) zur Verfügung gestellt bzw. umgewälzt wurden. In vier Objekten dauerten die Heizperioden bis Mai oder sogar Juni.

Im Bereich der mechanischen Lüftung konnte in fünf von acht Objekten ein wesentliches Verbesserungspotenzial hinsichtlich bedarfsgerechter Regelung der Lüftung festgestellt werden. Dies umfasst in erster Linie die Abschaltung der Anlagen in Nichtnutzungszeiten.

Es zeigt sich, dass das Vorhandensein eines Betriebsführers bzw. die Festlegung eines Zuständigen auf Seiten des Gebäudeeigentümers/-betreibers ein wesentliches Kriterium für den energieeffizienten Betrieb und damit die Einhaltung prognostizierter Werte darstellt. In jenen drei Gebäuden, in denen jemand für die Auswertung der Monitoringdaten und Maßnahmenableitung zuständig ist, wurden bereits Mängel behoben bzw. Optimierungen durchgeführt bevor die externe Überprüfung für diesen Bericht begann.

5.2 Häufige Herausforderungen

Die Hälfte der betrachteten Gebäude verfügt über ein zuverlässiges Monitoringsystem, das gute Daten liefert.

Die größte Herausforderung bei der Auswertung der zur Verfügung gestellten Daten stellten Datenlücken verursacht durch Messausfälle, fehlende Messpunkte und nicht plausible Messwerte dar. In vier der neun Objekte kam es zu mehrtägigen bis mehrwöchigen Messausfällen mehrerer Datenpunkte. Hier empfiehlt es sich, dass stets eine Sicherungskopie der Daten im Monitoringssystem angelegt werden sollte.

Fehlende Messpunkte bei Stromkreisen waren in drei Objekten ein Hindernis für die Auswertung, während fehlende Messpunkte bei Heizkreisen in vier Objekten ein lückenhaftes Bild der Situation wiedergibt. Eine vollständige Abbildung der Energieströme ist dadurch nicht möglich.

In drei von neun Objekten konnten Daten nur in einer groben Auflösung (Erfassung in MWh oder nur Tageswerte statt 15-Minuten-Werte) analysiert werden. Je höher die Auflösung, desto besser ist auch die Auswertemöglichkeit der Daten. Hier empfiehlt es sich eine Überprüfung und Abnahme der Monitoringdaten während der Inbetriebnahmephase durchzuführen.

In einem Objekt wurde die geforderten Behaglichkeitsparameter CO₂-Konzentration und relative Feuchte nicht erfasst.

In zahlreichen Gebäuden gibt es keinen Ansprechpartner vor Ort, der für das Monitoringsystem und die Daten verantwortlich ist und Daten auslesen, anpassen und versenden kann. In solchen Fällen werden zwar umfangreiche Datensets erstellt, es ist aber schwierig, die Daten und bei Rückfragen Antworten zu erhalten. Es hat sich gezeigt, dass es auf alle Fälle Sinn macht die Betreuung des EVM Systems einer Person zu zuteilen, welche auch eine umfassende Einschulung für die Benützung und Anwendung des Monitoringsystems erhalten sollte.

6 Detaillierte Ergebnisse Energieverbrauchsmonitoring

6.1 Heizung

Der Heizwärmeverbrauch der betrachteten Objekte ist mit Ausnahme von zwei Objekten unauffällig und nutzungstypisch. Auffällig waren vor allem die Einstellungen der Heizungsregelung.

6.1.1 Wärmeverbrauch

Während in Tabelle 3 der klimabereinigte spezifische Jahreswärmeverbrauch dargestellt wurde, zeigt Tabelle 5 den maximalen spezifischen Wärmeverbrauch im verbrauchsintensivsten Monat des Betrachtungszeitraumes.

Die erzeugte bzw. bezogene Wärmemenge enthält je nach Gebäudenutzung entweder nur die Heizwärme oder Heizwärme und Warmwasser. Der durchschnittliche Wärmeverbrauch im verbrauchsintensivsten Monat (typischerweise Jänner) liegt bei 6,64 kWh/m²Monat. Der maximale flächenspezifische Wärmeverbrauch des Betrachtungszeitraumes liegt zwischen 3,7 und 8,5 kWh/m² im jeweils verbrauchsintensivsten Monat.

Tabelle 5 Erzeugte bzw. bezogene Wärmemenge im verbrauchsintensivsten Monat des Betrachtungszeitraumes

Projekt	Erzeugte bzw. bezogene Wärmemenge		
	maximale spezifische Wärmebereitstellung	Wärmeerzeuger	Versorgungsart
	<i>kWh/m²Monat</i>	<i>Typ</i>	<i>Typ</i>
Atrium	6,6	Grundwasser-WP	Heizung + WW
LSI	6,7	Luft/Wasser-WP, Solarthermie	Heizung
Gästehaus Maier	5,7	Sole/Wasser-WP, Solarthermie	Heizung + WW
Gemeindeamt Kautzen	8,5	Fernwärme	Heizung
Kindergarten Velden	Daten nicht verfügbar	Fernwärme	Heizung + WW
Mittelschule Bad Eisenkappel	6,75	Fernwärme	Heizung + WW
Volksschule Kirchberg	3,7	Nahwärme, Solarthermie	Heizung + WW
Raiffeisenbank Lebring	7,5	Sole/Wasser-WP	Heizung
Raiffeisenbank Pressbaum	7,75	Sole/Wasser-WP	Heizung

Die Wärmeverteilung, ist in keinem der betrachteten Objekte vollständig nachvollziehbar. Folgende Schwierigkeiten konnten identifiziert werden:

- Es werden nicht alle Heizkreise separat erfasst bzw. sind keine Subzähler installiert. Bei wenig komplexen Gebäuden kann die Wärmemenge des nicht erfassten Abgabesystems als Differenz zwischen Gesamtverbrauch und erfassten Wärmemengen ermittelt werden. Bei komplexeren Gebäuden (z.B.: mit Torluftschleier, Radiatoren, Fußbodenheizung und Lüftungsregister) ist eine Zuordnung zu einzelnen Gewerken aufgrund fehlender Wärmemengenzählern nicht möglich.
- In zwei Objekten sind nicht für alle Heizkreise plausible Daten verfügbar. Dies liegt zum einen an Aufzeichnungslücken, zum anderen an unterschiedlichen Messreihen desselben Objekts, die nicht denselben Zeitraum abdecken.
- In jenen vier Objekten, welche die Messdaten der Heizregister in den Lüftungen separat erfassen, zeigten sich überraschende Ergebnisse des Heizungsanteils über die Lüftung. Bei zwei Objekten betrug der Anteil der Wärmeabgabe über die Lüftung nur 0,1 bzw. 3,3 Prozent, was auf nicht funktionierende bzw. nicht in Betrieb befindliche Heizregister schließen lässt. Bei einem Objekt war die Wärmeabgabe über das Heizregister monatsweise höher als die Wärmeerzeugung. Dies bedeutet, dass die aufgezeichneten Messwerte als nicht brauchbar einzustufen sind. Im vierten Objekt waren die Messreihen unvollständig.

Daher können bei den betrachteten Objekten nur zum Gesamtwärmeverbrauch fundierte Aussagen getroffen werden.

6.1.2 Heizungsregelung

Eine dem Nutzungsprofil des Gebäudes entsprechend optimierte Heizungsregelung konnte nur in vier von zehn Objekten festgestellt werden. Zwei davon wurden im Laufe des Betrachtungsjahres optimiert und erst danach wurde die bedarfsorientierte Regelung erkennbar.

Das häufigste Problem ist eine fehlende bzw. mangelhaft umgesetzte Nacht- und Wochenendabsenkung der Heizung. In acht Projekten wurde diese Einstellung nicht oder nicht ausreichend im Zuge der Ausführung umgesetzt, wie in Abbildung 1 beispielhaft dargestellt. Die Einsparpotenziale für die Anpassung der Betriebszeiten betragen durchschnittlich 10 bis 15 Prozent, das entspricht im Durchschnitt 5.000 kWh/a pro Objekt.

Beispiel eines Heizungsmonitorings für eine nicht optimierte Heizungssteuerung

Der Carpet Plot in Abbildung 1 stellt den Heizwärmeverbrauch eines Beispielobjekts dar. Auf der x-Achse ist der zeitliche Verlauf von 0 bis 24 Uhr und auf der y-Achse sind die einzelnen Tage von 1.10.2013 bis 30.09.2014 dargestellt. Jeder einzelne 15-Minuten-Wert wird hier als Pixel eingetragen.

Wobei rote Bereiche einen hohen Verbrauch, grüne keinen Verbrauch und gelbe Bereiche den Übergang von hohen zu niedrigen Verbrauch darstellen. Am beigelegten Beispiel sieht man, dass die Anlage in der Heizperiode während der Nachtstunden und an Wochenenden ohne Absenkbetrieb oder zumindest nicht mit einem an die Nutzung angepassten Betrieb läuft. Zudem wird bis Ende Mai geheizt. Anhand des grünen Bereiches sieht man, dass die Heizungsanlage im Sommer bis Ende September ausgeschaltet war.

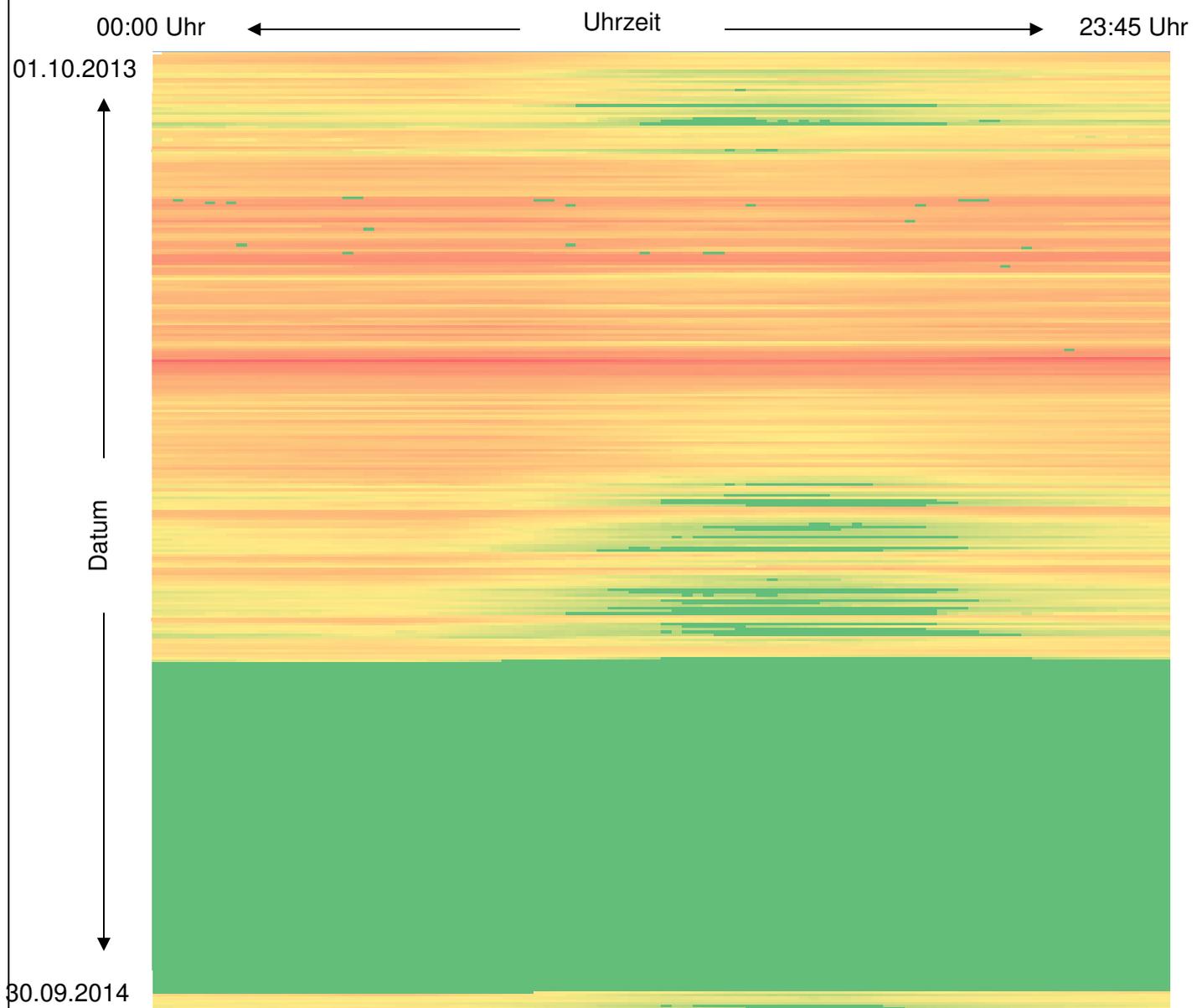


Abbildung 1: Beispiel Heizwärmeverbrauch Schule, Okt. 2013 – Sept. 2014

Außerdem weisen sechs Gebäude sehr lange Heizperioden bis Mai und teilweise sogar Juni auf.

Als markantes Beispiel für das Optimierungspotenzial bei der Regelung wurden bei einem Mustersanierungsobjekt im zweiten Betriebsjahr nach der Sanierung die Nacht- und Wochenendabsenkung aktiviert, die Einstellungen der Heizkurve verbessert, die Heizgrenztemperatur als Einschaltkriterium für die Wärmepumpe berichtigt, die Anforderungstemperatur des Pufferspeichers an die Wärmepumpe reduziert und die Wärmeanforderung durch die Lüftung im Sommer verhindert. Durch diese Maßnahmen konnte laut Bauherr der Heizwärmeverbrauch deutlich reduziert werden.

6.2 Lüftung

Bis auf ein Objekt verfügen alle betrachteten Gebäude über zentrale oder dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Der geplante Wärmerückgewinnungsgrad liegt je nach Anlage zwischen 65 und 85 Prozent.

6.2.1 Stromverbrauch der Lüftungsanlage

Der Stromverbrauch der Lüftungsanlagen ist abhängig vom Nutzungstyp des Objekts und liegt zwischen 2,4 Prozent und 26,7 Prozent des Gesamtstromverbrauchs. Der spezifische Stromverbrauch der Lüftungsanlagen pro Jahr unterliegt einer großen Schwankungsbreite auch innerhalb der Objekttypen, was sowohl auf unterschiedliche Anlagentypen, unterschiedliche Anforderungen an den Luftwechsel, als auch auf unterschiedlich gute Regelungseinstellungen zurückzuführen ist. Dieser liegt zwischen 1,71 und 9,0 kWh/m²a. In folgender Tabelle werden die Benchmarks für die unterschiedlichen Gebäudenutzungen gegenüber gestellt.

Tabelle 6: Spez. Stromverbrauch und Anteil der Lüftung am Gesamtstromverbrauch nach Objekttyp

Objekttyp	Spez. Stromverbrauch <i>kWh/m²a</i>	Anteil am Gesamtstromverbrauch %
Bank	2,1 – 9,0	2,4 – 15,8
Büro	6,96	26,0
Schule, Kindergarten	1,71 – 2,62	16,6 – 26,7
Tourismusgebäude	1,82	4,0
Sonstiges Dienstleistungsgebäude	2,34	6,0

6.2.2 Regelung

Bei fünf von acht Lüftungssystemen zeigen sich zum Teil gravierende Mängel in der Regelung.

Vier von diesen fünf Lüftungssysteme verfügen teilweise über angepasste Regelungen an die Betriebszeit. Bei der fünften Anlage wurde nach einer Änderung der Regelungsparameter überhaupt nicht mehr bedarfsorientiert geregelt. Damit kann die Effektivität der Frischluftzufuhr nicht gewährleistet werden.

In einem Objekt standen nur Tagessummen des Stromverbrauchs zu Verfügung. Somit konnten keine Schlussfolgerungen hinsichtlich Regelung gezogen werden.

Die häufigsten aufgetretenen Schwierigkeiten sind:

- Taktbetrieb der Lüftungsanlage - bewirkt regelmäßige Leistungsspitzen ohne konstanten, an die Anforderungen angepassten Luftaustausch
- Keine Wochenend-, Nacht- und Feiertagsabschaltung
- Falsch bzw. zu lang eingestellte Betriebszeiten, die nicht mit den Nutzungszeiten übereinstimmen

Das Optimierungspotenzial durch eine Anpassung der Regelungsparameter der Lüftungsanlagen ist beträchtlich und liegt zwischen 20 und 34 Prozent des Stromverbrauchs der Lüftungsanlage.

6.3 Kälte

In vier von neun Objekten sind keine Anlagen zur Gebäudekühlung installiert. In vier Objekten wird ausschließlich Free Cooling über Erdsonden, Grundwasser oder Erdkollektoren (Vorkonditionierung der Zuluft) zur Kühlung verwendet. In einem Objekt wird über die installierte Wärmepumpe im Sommer gekühlt und die Kälte über Flächenkühlung abgegeben, der Energieverbrauch bzw. die bereitgestellte Kühlenergie wird allerdings nicht separat erfasst.

Split-Klimageräte zur Kühlung von Servern sind zum Teil vorhanden, werden mit den Monitoringsystemen aber nicht separat erfasst.

In zwei Objekten konnten Einsparpotenziale hinsichtlich besserer Regelung der Kühlung (Ausschalten an Wochenenden, Begrenzung der Betriebszeiten im Herbst, Überprüfung der Regelungsparameter in Bezug auf die Außentemperatur) identifiziert werden. Da es sich dabei allerdings um Free-Cooling-Systeme handelt, ist die erzielbare Energieeinsparung zugekaufter Energie gering und auf die Stromverbrauchsreduktion der Pumpen beschränkt.

6.4 Strom

Die betrachteten Objekte weisen spezifische Jahresstromverbräuche zwischen 8,5 und 67,0 kWh/m²_{BGFA} auf. Diese hängen stark vom Objekttyp und der haustechnischen Ausstattung ab. Der Anteil der Haustechnik am Gesamtstromverbrauch beträgt zwischen 16,6 und 59,8 Prozent und enthält je nach System den Stromverbrauch von Wärmepumpen, Lüftungsanlagen, Pumpen, MSR und sonstigem Hilfsstrom.

Tabelle 7: Stromverbrauch der ausgewählten Projekte

Stromverbrauchsstruktur			
Projekt	Spezifischer Jahresstromverbrauch	Anteil Haustechnik	Verhältnis von PV-Erzeugung zu Gesamtstromverbrauch
	<i>kWh/m²a</i>	<i>Prozent</i>	
Atrium	67,00	43,9	0,71
LSI	39,96	23,7	1,16
Gästehaus Maier	42,65	25,0	0,59
Gemeindeamt Kautzen	15,58	Keine Subzähler	Daten nicht vorhanden
Kindergarten Velden	22,55 ⁷	39,0	0,67 ⁸
Mittelschule Bad Eisenkappel	8,50	26,9	Keine PV
Volksschule Kirchberg	15,76	16,6	Daten nicht vorhanden
Raiffeisenbank Lebring	87,26	Daten nicht vorhanden	0,6
Raiffeisenbank Pressbaum	59,83	59,8	0,22

Mehrere Objekte weisen hohe Betriebsstromverbräuche außerhalb der Betriebszeiten (in der Nacht, an Wochenenden bzw. während der Sommermonate in Schulen) auf. In einem Objekt entfallen 30 Prozent des Beleuchtungsstromverbrauchs auf außerhalb der Betriebszeiten.

In zwei Objekten wurde eine Licht-Aus-Funktion installiert, deren Nutzen aber auf Basis der vorhandenen Daten nicht bewertet werden kann. In einem Objekt ist die Funktion in den Stromverbrauchsdaten der Beleuchtung nicht erkennbar. Es ist anzunehmen, dass die Funktion nicht genutzt wird bzw. aktiviert wurde. Im anderen Objekt wird der Beleuchtungsstromverbrauch nicht separat erfasst.

⁷ Hochgerechnet auf 1 Jahr, konstanter Verbrauch angenommen

⁸ Daten nur für März bis Juli 2016

6.4.1 PV

Acht von neun Objekten wurden im Zuge der Sanierung mit einer Photovoltaikanlage ausgestattet. Die Größen der Anlagen variieren zwischen 4 und 50 kWp je nachdem, ob sie nur einen Teil der Energie bereitstellen oder einen Energieüberschuss über das Jahr erzeugen sollen. Die Anlagenkonfigurationen variieren zwischen reiner Süd- und Ost-West-Ausrichtung.

Das Verhältnis von erzeugtem Strom durch die PV-Anlage zu dem Gesamtstromverbrauch variiert zwischen 0,22 und 1,16, siehe Spalte 4 in Tabelle 7. Der spezifische Ertrag der Anlagen liegt zwischen 688,4 kWh/kWp der Ost-West-orientierten Anlage und 992,55 kWh/kWp der ertragreichsten Anlage.

Bei einem Objekt wurden für die Photovoltaikanlage keine Daten zur Verfügung gestellt. Bei einer Anlage wird nur die Überschusseinspeisung gemessen und die Gesamterzeugung wird nicht erfasst.

Generell weisen die Messreihen der PV-Anlagen wenige Besonderheiten auf und zeigen typische Stromerzeugungskurven mit maximalen Erträgen in den Sommermonaten Juli und August.

6.5 Behaglichkeit

Zur Beurteilung der Behaglichkeit im Gebäude wurden in allen Objekten Innentemperaturen und in acht Objekten auch die relative Feuchte und CO₂-Konzentration erfasst. Die Erfassung erfolgt entweder in (Referenz-)Räumen und/oder in den Zuluft- und Abluftsträngen.

Generell zeigt sich, dass die Behaglichkeit in den Gebäuden als sehr hoch einzustufen ist. Sowohl Innentemperaturen und relative Feuchte als auch die CO₂-Konzentrationen weisen im Großteil der Objekte sehr zufriedenstellende Werte auf und lassen auf hohen Nutzungskomfort schließen.

In drei Gebäuden treten im Sommer zu hohe Temperaturen und relative Luftfeuchtigkeiten in den Innenräumen auf. In einem Objekt liegt die relative Luftfeuchtigkeit im Winter bei einem Drittel der Messwerte deutlich zu niedrig. Es ist davon auszugehen, dass die Lüftungsanlage in diesem Objekt mit deutlich zu hohem Luftvolumenstrom betrieben wird.

Fünf der acht Objekte, in denen die CO₂-Konzentration erfasst wird, weisen sehr gute Werte und damit eine sehr hohe Raumluftqualität auf. Max. 10 Prozent der Nutzungszeit werden Werte über 1.000 ppm erreicht, die einen Grenzwert für gute Luftqualität darstellt. Das Objekt ohne mechanische Lüftung zeigt deutlich höhere Überschreitungzeiten der 1.000-ppm-Marke, weist aber immer noch eine gute Luftqualität auf.

In drei Objekten sind die Temperaturmessungen teilweise nicht plausibel. In zwei Objekten lagen laut Messergebnissen 70 Prozent der Innenraumtemperaturen niedriger als 20 °C. In einem weiteren Objekt lag die relative Feuchte der Zuluft zu 46 Prozent außerhalb des Behaglichkeitsbereichs. In demselben Objekt war die Messung der Temperatur und relativen Feuchte der Abluft zur Gänze falsch. In zwei weiteren Gebäuden sind die gemessenen Werte teilweise nicht plausibel. In diesen Fällen, ist von einer fehlenden Parametrierung der Sensoren auszugehen. Ohne Parametrierung

können Messsensoren eine falsche Messausgangsbasis besitzen und dadurch die Messwerte die realen Werte nach unten oder oben hin verfälschen..

7 Allgemeines zum Energieverbrauchsmonitoring

7.1 Vorteile des Energieverbrauchsmonitoring

Je nach Ausführung stellt das Energieverbrauchsmonitoring Daten zum Energieverbrauch, zur Leistungsaufnahme, physikalischen Größen wie Temperatur, Feuchte, Volumenstrom der unterschiedlichen haustechnischen Systeme und deren Betriebszustände, zB Klappenstellungen, Ein- und Ausschaltzeiten, aktuelle Betriebspunkte, etc. zur Verfügung. Daraus lassen sich Auswertungen von einfachen Energieflüssen bis hin zur technischen Funktionsweise einzelner Gewerke erstellen, um aus diesen Schlussfolgerungen ziehen zu können.

Ein Energieverbrauchsmonitoringsystem ist notwendig für

- die Betriebseinführung und Betriebsoptimierung von Gebäuden. Es dient durch die Erfassung und Speicherung von Verbrauchs- und Betriebsdaten sowohl der Sicherung des fehlerlosen technischen Betriebs als auch der Gewährleistung des Komforts der Nutzer.
- den Gebäudeeigentümer bzw. Gebäudebetreiber, um das Gebäude bzw. die Funktion der haustechnischen Anlagen besser zu verstehen.
- die Funktionsprüfung der Anlagen (z.B. Betriebszeiten der Lüftungsanlage, Volumenströme der Lüftungsanlage). Damit kann man kontrollieren, ob die geplanten Funktionen umgesetzt wurden.
- die Mängelfeststellung bei der Funktion von haustechnischen Anlagen und ermöglicht damit eine Betriebsoptimierung.
- die Kontrolle von geplanten und ausgeschriebenen Qualitäten: z.B. Arbeitszahl einer Wärmepumpe, Jahresertrag einer Photovoltaikanlage, etc.
- Kontrolle des laufenden Energieverbrauchs.
- die Realisierung von Energieeinsparungen.

Energieverbrauchsmonitoring liefert die Rohdaten für die Analyse. Es ersetzt nicht den Betriebsführer eines Gebäudes. Es enthält auch keine Anleitung für richtige Regelungsparameter. Diese müssen auf der Basis einer fundierten Planung festgelegt und/oder im laufenden Betrieb optimiert werden.

Monitoring liefert die Daten für eine detaillierte Analyse und stellt nur in der Kombination mit der Ableitung von Maßnahmen ein wirksames Werkzeug dar. Solange die Rohdaten nicht verarbeitet und ausgewertet werden, bietet Monitoring keinen Nutzen.

Das Energieverbrauchsmonitoring zeigt Auswirkungen von geplanten sowie ungeplanten Änderungen im Gebäudebetrieb, nicht aber deren Ursachen.

7.2 Was ist bei der Planung, Umsetzung und beim Betrieb zu beachten?

Entscheidend für ein funktionelles Energieverbrauchsmonitoring (EVM) ist die rechtzeitige Festlegung von Datenpunkten bereits während der Planungsphase des Objekts. Die nachträgliche Integration von Datenpunkten, Messpunkten bzw. Zählern in bestehenden Haustechniksystemen kostet um ein Vielfaches mehr. Es ist darauf zu achten, dass bereits in der Planungsphase (und dann aktualisiert in der Umsetzung) das EVM vollständig dokumentiert wird und ein EVM-Schema erstellt wird.

Bei der Festlegung der Datenpunkte ist zu beachten, dass die Systemgrenzen der zu messenden Verbraucher klar definiert bzw. einzelne Verbraucher getrennt erfasst werden, um später die Verbräuche richtig zuzuordnen und Schlüsse ziehen zu können. Beispielsweise lässt ein Zähler für mehrere Verbraucher wie Licht, Fan Coils und Heizungspumpen nur schwer Schlüsse über die Effizienz und Regelung der einzelnen Verbraucher zu.

Besonders bei weniger energieintensiven Verbrauchern ist die Messgenauigkeit des Zählers zu beachten, da eine zu geringe Erfassungsgenauigkeit die Daten weniger aussagekräftig werden.. Die Zählung sollte stets auf Wh genau erfolgen, das heißt bei Erfassung in kWh zumindest mit drei Nachkommastellen. Die Auswertung der Daten enthält andernfalls geringere Information hinsichtlich Regelung und Schaltzyklen, da nicht jeder Verbrauch vom System erfasst werden kann.

Grundsätzlich sind M-Bus-fähige Zähler zu bevorzugen, da diese leicht in ein mögliches Gebäudeautomationssystem oder EVM eingebunden werden können.

Ein Erfassungsintervall von 15 Minuten mit Momentanwerten (keine Mittelwertbildung) hat sich als sinnvoll erwiesen. Eventlogging oder Tagessummen bieten für die Beurteilung der Regelungsparameter keinen Informationsgehalt, weil kein Gesamtbild des Systems erfasst wird.

Hinsichtlich Datenspeicherung wird als gängiges Format CSV empfohlen, da es wenig Speicherplatz konsumiert, einfach strukturiert und vielseitig kompatibel ist. Die gespeicherten Messreihen sollten Mindestanforderungen wie Angabe der Datenpunkt ID, Messeinheit, einheitlichen Zeitstempel, usw. einhalten. Zur Erfassung jedes Datenpunkts sollte eine Spalte verwendet werden. Eine redundante Speicherung der Messdaten ist wie bei jedem anderen System sinnvoll.

Um die Qualität der erfassten Monitoringdaten zu gewährleisten, müssen im Zuge der Inbetriebnahme des Energieverbrauchsmonitorings alle Sensoren und Messfühler ordnungsgemäß auf ihre korrekte Funktionsweise überprüft, gegebenenfalls parametrisiert, und defekte Geräte ausgetauscht werden. Andernfalls kann eine fehlerhafte und mit großer Abweichung behaftete Messung das Ergebnis sein und das Monitoringergebnis qualitativ beeinflussen. Außerdem sollten die aufgezeichneten Daten auf ihre Vollständigkeit und Plausibilität geprüft werden.

Sämtliche analoge Eingänge (zB Temperaturfühler) sollten dahingehend automatisch überwacht werden, dass Fehlmessungen erkannt und als Störung ausgegeben werden. Dies kann durch die Festlegung von entsprechenden Grenzwerten der analogen Eingänge erfolgen.

Sofern vorhanden, ist es sinnvoll zur Überprüfung von Key-Performance-Indikatoren und Funktionen für Gebäude die Betriebsdaten des Gebäudes aus der Gebäudeautomation zu integrieren.

7.3 Typische Fehlerquellen

Die häufigsten Fehlerquellen im Rahmen des Energieverbrauchsmonitorings sind, wie auch bei den betrachteten Projekten gut nachvollziehbar ist, folgende:

- Fehlende Überprüfung des Monitoringsystems bzw. der übermittelten Daten bei der Inbetriebnahme.
- Einzelne Werte oder auch gesamte Messreihen einzelner Datenpunkte werden nicht aufgezeichnet.
- Die Datenaufzeichnung wird nicht auf Plausibilität überprüft. Dies ist sowohl bei der Inbetriebnahme des Monitoringsystems wichtig aber genauso im laufenden Betrieb.
- Systemgrenzen von Zählern sind nicht oder nicht richtig definiert bzw. das Messkonzept wird falsch umgesetzt. Beispielsweise ist es nicht möglich den COP einer Wärmepumpe zu bestimmen, wenn der Stromverbrauch der Wärmepumpe nicht separat, sondern gemeinsam mit Verteilpumpen und Wannenheizung oder sogar weiteren anderen Verbrauchern erfasst wird.
- Temperatur- und CO₂-Sensoren werden nicht parametrieren. Das bedeutet, dass die Messfühler nicht richtig konfiguriert (Messbereich, Skalierungsfaktoren, Grenzwerte, etc.) wurden.

8 Ausblick

Energieverbrauchsmonitoring ist einer der drei wesentlichen Bestandteile der umgesetzten Sanierungsmaßnahmen der Projekte, die im Rahmen der Mustersanierung gefördert werden. Es stellt ein wichtiges Hilfsmittel dar, um eine innovative und energieeffiziente Gebäudelösung aus der Planung auch in den realen Betrieb zu überführen und die Zielwerte im laufenden Betrieb tatsächlich zu erreichen. Dabei bietet vor allem die Optimierung im laufenden Betrieb noch erhebliches Einsparpotenzial und ist essentiell für ein energieeffizient geplantes und betriebenes Gebäude. Je komplexer Gebäude werden, desto relevanter sind Energieverbrauchsmonitoringsysteme, um die geplante Funktionsweise und den Energieverbrauch im Betrieb zu kontrollieren.

Die Ergebnisse der Datenauswertung der ausgewählten Projekte zeigen, dass trotz hochwertiger Planung und Umsetzung der geförderten Projekte vor allem bei den Regelungseinstellungen der Heizungs- und Lüftungssysteme zusätzliches Optimierungspotenzial besteht. Sie zeigen aber auch, dass die alleinige Erfassung von Daten noch keinen Nutzen bringt, solange die Daten nicht analysiert und Schlussfolgerungen daraus abgeleitet werden.

Das Energieverbrauchsmonitoring ist seit der Förderperiode 2012 fixer Bestandteil der Mustersanierung. Aus den Erfahrungen und Erkenntnissen in den geförderten Projekten können andere Bauherren für sich den Nutzen von Monitoringsystemen zur Betriebsüberwachung und -optimierung erkennen und implementieren. Hilfsmittel dazu sind auch auf der Webseite der Mustersanierung unter <http://www.mustersanierung.at/Erste-Schritte/monitoringkonzept/> zu finden.

9 Mustersanierungsprojekte

9.1 Atrium, Lauterach Vbg

Allgemeine Projektbeschreibung

Die Atrium Bauträger GmbH erhielt den Zuschlag zum Erwerb des alten Rathauses im Zentrum von Lauterach in Vorarlberg. Die Vergabeentscheidung wurde nicht zuletzt wegen des vorgelegten Entwicklungskonzeptes unter Erhalt der vorhandenen Bausubstanz von 1970 begründet. Bisher nutzte die Gemeindeverwaltung das Gebäude als Rathaus. Aufgrund des dringenden Sanierungsbedarfs sowie aus Platzmangel errichtete die Gemeinde für die bestehende Nutzung einen Neubau, in welchem auch das neue Sozialzentrum „Haus der Generationen“ untergebracht ist und veräußerte die ursprüngliche Liegenschaft. Das Ziel der Sanierung war eine nachhaltige Bestandsnachverdichtung der erhaltungswürdigen Bausubstanz im Zentrum der e5-Gemeinde Lauterach, wobei auf die Verwendung von regionalen Produkten geachtet wurde. Die Nutzung von erneuerbaren Energiequellen und die Verwendung von ökologischen Baustoffen standen ebenso im Brennpunkt wie die Erhöhung der Nutzungsqualität und Behaglichkeit.

Nach den Plänen der Atrium Bauträger GmbH entstanden auf dem sanierten Areal Flächen für Handel und Gewerbe sowie mehrere Wohneinheiten. In Verbindung mit dem Einbau von dreifach verglasten Holz-Aluminiumfenstern, der Wärmedämmung und der Anschaffung einer Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung konnte für das Gebäude Passivhausstandard erreicht werden.

Das ursprüngliche System zur Wärmeversorgung basierte auf Gas und wurde im Zuge der Mustersanierung auf eine Grundwasserwärmepumpe umgerüstet, deren Brunnenanlage auch als Free-Cooling-System im Rahmen der Gebäudekühlung Anwendung findet. Die Kälteverteilung im Gebäude erfolgt über die Fußbodenfläche, die Lüftungsanlage, sowie optional auch über Kältesegel an der Decke.

Die Energieeffizienz der Beleuchtung wurde im Zuge der Sanierung deutlich gesteigert. Waren ursprünglich Glühlampen und Leuchtstoffröhren in Verwendung, so kommen nun dimmbare LED-Stehleuchten mit Präsenzmeldern und tageslichtabhängiger Steuerung zum Einsatz.

Auf dem Dach des Gebäudes wurde eine 263 m² große Photovoltaikanlage mit einer Peakleistung von 40,5 kW installiert. Folglich ist die mittels Wärmepumpe und Photovoltaikanlage gelieferte Energie um einen Faktor 1,5 höher als die am Gebäudestandort zur Konditionierung genutzte Primärenergie. Der verbleibende elektrische Energiebedarf für den Haushalts- und Betriebsstrom wird als Ökostrom aus dem Netz bezogen.

Ausgangszustand:

<i>Eigentümer/ Betreiber</i>	<i>ATRIUM® - Raum für Ideen</i>
<i>Ansprechpartner / Kontaktpersonen</i>	<i>BM Reinhard Warger, MSc</i>

<i>Standort</i>	<i>A-6923 Lauterach, Montfortplatz 2</i>
<i>Gebäudetyp</i>	<i>Bürogebäude</i>
<i>Errichtungsjahr Bestandsgebäude</i>	<i>1968</i>
<i>Größe (BGF)</i>	<i>von 797 m² auf 1833 m² erweitert (Nachverdichtung)</i>

9.1.1 Sanierungsmaßnahmen

9.1.1.1 Gebäudehülle

Die Stahlbeton-Skelettbauweise des Gebäudes wurde durch die Sanierungsmaßnahmen weitgehend erhalten. Die ursprünglich aus 15 cm dickem Sichtbeton bestehenden Außenwände wurden durch Leichtbauwände mit 20 cm Zellulosefaserflockendämmung, 12 cm Glaswolldämmung und 8 cm DHD-Platten, welche aus Vorarlberg stammen und damit die lokale Wertschöpfung steigern, ersetzt. Durch diese Dämmmaßnahmen konnte eine Verbesserung des U-Werts von 0,68 W/(m²K) zu 0,14 W/(m²K) erreicht werden.

Der U-Wert des Daches konnte durch Einsatz einer 40 cm dicken Dämmung aus Polystyrol-Platten von 0,44 auf 0,07 W/(m²K) reduziert werden.

Auch die Kellerdecke wurde durch Verwendung einer 2 cm Steinwolldämmung und 25 cm Polystyrol-Dämmung thermisch saniert, wodurch eine Reduktion des U-Werts von 0,57 zu 0,11 W/(m²K) einherging.

Das Bestandsgebäude besaß Aluminiumfenster (4,29 W/(m²K)), welche durch dreifach verglaste Holz-Aluminiumfenster mit Argonfüllung ersetzt wurden. Die neuen Fenster weisen mit einem U-Wert von 0,89 W/(m²K) einen deutlich besseren energetischen Standard auf.

9.1.1.2 Gebäudetechnik

Heizen, Kühlen, Lüften, Warmwasser

Das ursprüngliche Heizsystem des Gebäudes war ein Gaskessel, welcher durch eine Grundwasserwärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 30 kW ersetzt wurde. Die bereitgestellte Wärme wird über eine Niedertemperatur-Fußbodenheizung verteilt. Die Brunnenanlage der Wärmepumpe dient auch zur Gebäudekühlung, wobei die Kälteverteilung über den Fußboden, Kühlsegel und die Lüftungsanlage erfolgt, wobei letztere etwa ein Drittel der Kälteleistung transportiert.

Die Lüftungsanlage des Gebäudes besteht aus einer zentralen, effizienten Wärmerückgewinnungskomponente und dezentral geregelten, variablen Volumenströmen, um bedarfsgerechten Luftwechsel zu ermöglichen.

Die Warmwasserbereitstellung erfolgt durch elektrische Untertischboiler, um Verteilverluste zu vermeiden.

Beleuchtung, Verschattungseinrichtungen

Die Beleuchtung des Gebäudes erfolgt über dimmbare, tageslichtabhängig gesteuerte Stehleuchten mit Präsenzmeldern. Durch ein außenliegendes Verschattungssystem kann eine Verminderung des Kühlbedarfs erreicht werden, wobei das System so ausgeführt worden ist, dass eine gute Ausnutzung des Tageslichts ermöglicht wird. Die Regelung erfolgt über eine zentrale Bus-Steuerung, welche auch alle anderen Haustechnikfunktionen steuert. Durch den Tausch der alten Beleuchtungseinrichtungen (Glühlampen und Leuchtstoffröhren) und die optimierte Beleuchtungsregelung, können jährliche Energieeinsparungen von etwa 8.600 kWh Strom erreicht werden.

Photovoltaikanlage

Im Zuge der Mustersanierung wurde eine 263 m² große Ost-West-ausgerichtete Photovoltaikanlage mit einer Peakleistung von 40,5 kW installiert, welche elektrische Energie für den Eigenbedarf bereitstellt. Der verbleibende Strombedarf wird bei einem Ökostromanbieter aus dem Stromnetz bezogen.

9.1.1.3 Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)

Tabelle 8 zeigt die im Energieausweis berechneten Werte des Heizwärmebedarfs* des Gebäudes im Referenzklima vor und nach der Sanierung, Abbildung 2 stellt die im Rahmen der Mustersanierung erreichte Reduktion dar. Die Energieausweisberechnung weist eine Reduktion des HWB* um 46,15 kWh/m³a oder rund 93 % im Zuge der Sanierung aus.

Tabelle 8: Vergleich Energiekennzahlen vor und nach Sanierung

Heizwärmebedarf* lt. Energieausweis	
Vor Sanierung	Nach Sanierung
<i>kWh/m³a</i>	<i>kWh/m³a</i>
49,64	3,49

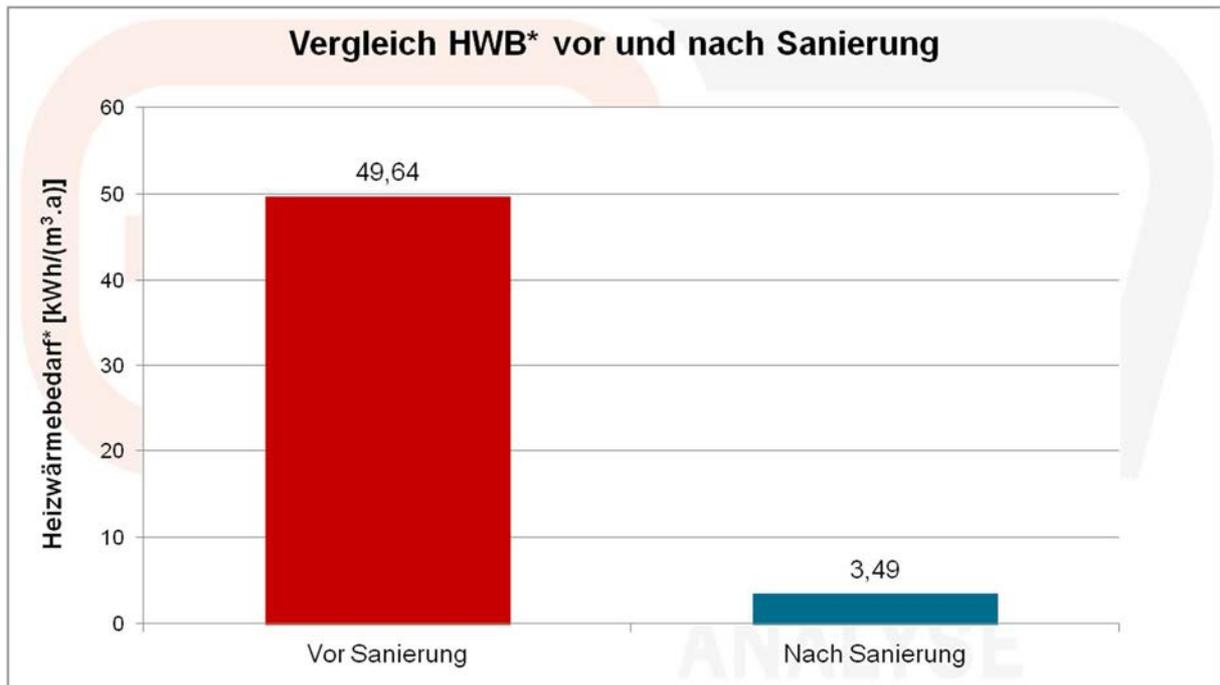


Abbildung 2: Gegenüberstellung HWB* vor und nach Sanierung

9.1.2 EVM-Schema

Um das Energieverhaltensverhalten und die Komfortparameter des Gebäudes nach der Sanierung bewerten zu können, wurde ein Monitoringsystem installiert. Dieses misst an relevanten Punkten in der Haustechnikanlage und im Gebäude Parameter wie zum Beispiel:

- Lufttemperatur
- Grundwassertemperatur
- Wärmemengen
- Stromverbrauch
- Ertrag der Photovoltaikanlage

Das Monitoringsystem erfasst die Messwerte und Zählerstände viertelstündlich und speichert diese ab. Zur Auswertung für diesen Bericht wurden Daten aus dem Monitoringsystem im Zeitraum von November 2014 bis Mai 2016 herangezogen. Die Datenpunkte des EVM sind in Abbildung 3 dargestellt.

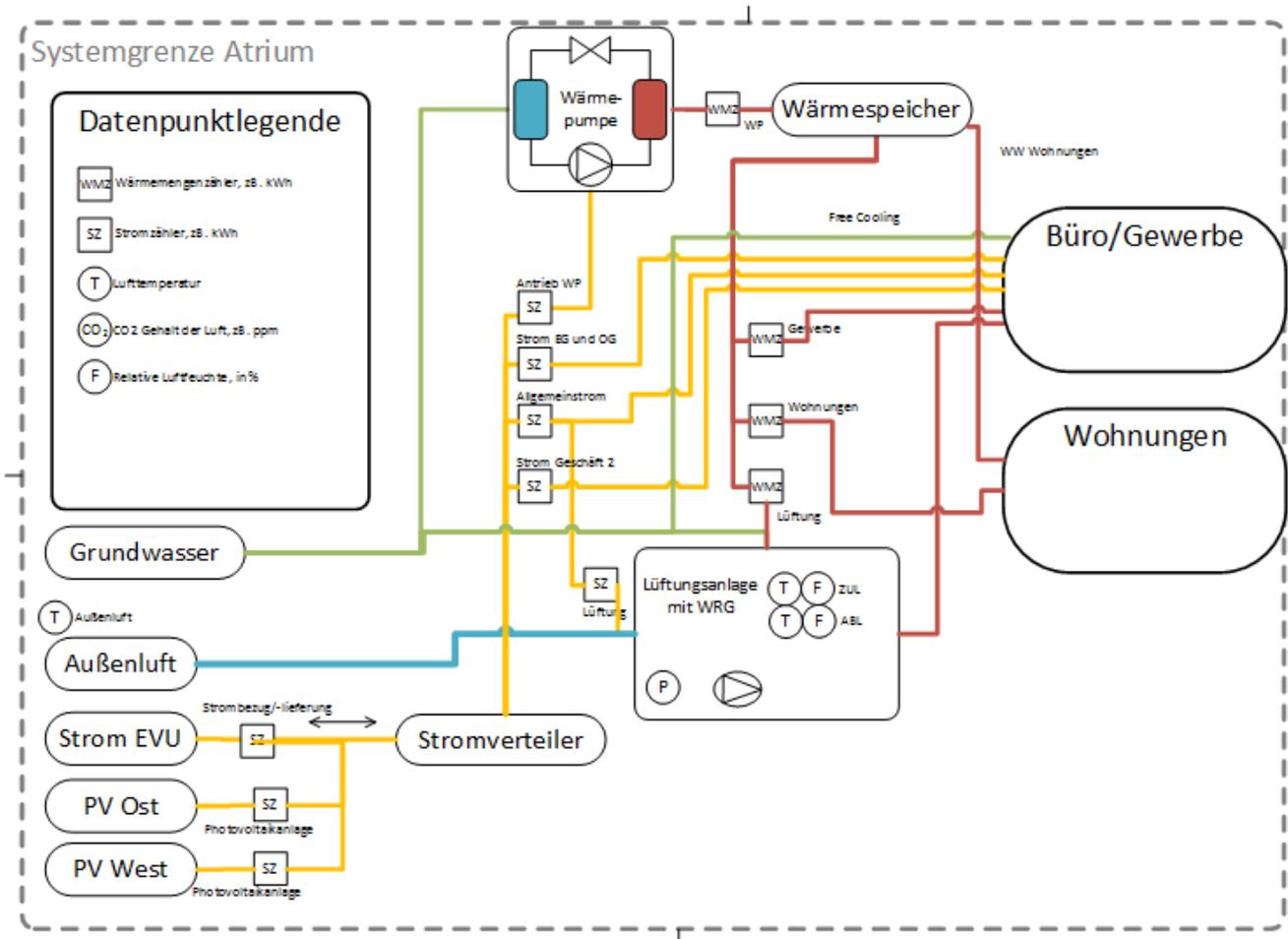


Abbildung 3: EVM-Schema mit Datenpunkten

9.1.3 Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung

Die folgenden CO₂-äquivalenten Emissionsergebnisse und Energieverbrauchsergebnisse, welche in Tabelle 9 und Tabelle 10 angegeben sind, basieren auf den Angaben der Einreichunterlagen vor der Sanierung und den gemessenen Werten durch das EVM nach der Sanierung sowie den CO₂ Faktoren aus der KPC-Förderberechnung. Nach der Sanierung ist der Wert für CO₂-äquivalente Emissionen bedingt durch das Heizen null, nachdem die Grundwasserwärmepumpe ihre elektrische Energie aus der Photovoltaikanlage bzw. von einem Ökostromanbieter bezieht.

Tabelle 9: Berechnete, CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen

CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen⁹		
Vor Sanierung	Nach Sanierung	Nach Sanierung
Fördereinreichung	Energieausweis	EVM
<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>
96,71	0,00	0,00

Tabelle 10 zeigt den Vergleich des Heizwärmebedarfs im Referenzklima laut Energieausweis vor und nach der Sanierung mit dem tatsächlich gemessenen Heizwärmeverbrauch. Letzterer entspricht der laut EVM durch die Gewerbenutzung (1.363 m²) verbrauchte Wärmemenge von 15.930 kWh in der Heizperiode Oktober 2015 bis April 2016. Die flächenspezifische Wärmemenge entspricht dem klimabereinigten Wert, welcher von von 2.584 Kd auf 3.470 Kd Heizgradtage bereinigt wurde. Bei einem derartigen Vergleich von Werten aus dem Energieausweis und tatsächlich gemessenen Werten ist zu beachten, dass unterschiedliche Nutzung und Wetterbedingungen starken Einfluss auf den Betrag dieser Werte haben und ein quantitativer Vergleich nicht sinnvoll ist.¹⁰

⁹ Die Daten der berechneten CO₂-äquivalenten Emissionen vor und nach Sanierung stammen aus den Unterlagen der Fördereinreichung, da zu diesem Zeitpunkt CO₂ nicht im EAW berechnet wurde (Versionen der OIB Richtlinie 6 vor 2011). Wenn biogene Energieträger eingespart werden, wird fiktiv ein fossiler Brennstoff (Heizöl) zur Bestimmung der CO₂-Einsparung gegengerechnet, da hier die eingesparten erneuerbaren Energieträger für andere Objekte mit fossilen Energieträgern genutzt werden können.

¹⁰ Die Vergleichbarkeit des im Energieausweis berechneten Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs (HWB und KB) einer thermischen Gebäudezone mit gemessenen Wärmemengen ist aus mehreren Gründen nicht direkt gegeben. Einerseits sind die berechneten Werte für das Gebäude vor und nach der Sanierung gute Anhaltspunkte um die Verbesserung der thermischen Qualitäten des Objektes zu bewerten. Andererseits sind die gemessenen Werte stark vom tatsächlichen Wetter und Benutzerverhalten im jeweiligen Messzeitraum abhängig. Daher ergibt sich aufgrund der Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen Messzeitraum und der theoretischen Berechnungsgrundlagen eine große Unsicherheit bezüglich der Vergleichbarkeit von Kennwerten zwischen Messung und Berechnung. Darüber hinaus sind HWB und KB theoretische Bedarfsgrößen einer thermischen Zone ohne messbaren Charakter. Gemessene Wärmemengen hingegen sind lokale zuordenbare Größen im Energieverteilungssystem.

Tabelle 10: Vergleich Heizwärmebedarf aus Energieausweis (Referenzklimawerte) zu Heizwärmeverbrauch

Vergleich Heizwärmebedarf zu Heizwärmeverbrauch		
Vor Sanierung; BGF=797 m²	Nach Sanierung; BGF= 1.363 m²	Nach Sanierung; BGF=1.363 m²
HWB Energieausweis	HWB Energieausweis	EVM
<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>
210,26	13,46	15,77

Anteil erneuerbarer Energieträger am Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes

Im Betrachtungszeitraum betrug der gesamte elektrische Energieverbrauch rund 53.400 kWh. Die Photovoltaikanlage stellte eine Energiemenge von etwa 37.900 kWh bereit, wobei hiervon circa 15 % direkt im Gebäude verbraucht wurden.

Fazit:

Die Daten aus dem EVM im vorliegenden Messzeitraum zeigen, dass die geplanten Energieeinsparungen laut Energieausweis durch die Sanierungsmaßnahmen erreicht wurden.

Der elektrische Energiebedarf wurde im Betrachtungszeitraum im Mittel zu rund 15 % direkt durch die hauseigene Photovoltaikanlage gedeckt. Der Gesamtertrag der Anlage entspricht mehr als 77 % des elektrischen Jahresenergiebedarfs. Die restliche elektrische Energiemenge wird von einem Ökostromanbieter aus dem Netz bezogen, sodass durch das Projekt Atrium Lauterach keine CO₂-Emissionen entstehen.

9.1.4 Detailergebnisse Energieverbrauchsmonitoring

9.1.4.1 Zusammenfassung

Das Monitoringsystem des Gebäudes Atrium Lauterach ist grundsätzlich relativ umfangreich und umfasst 2 Zähler für die Photovoltaikanlage, 5 Zähler für den Allgmeinstrom, jeweils einen Zähler für die Lüftungsanlage und die Wärmepumpe, 4 Wärmemengenzähler und 3 Temperatursensoren.

Feuchtwerte zur Beurteilung der Behaglichkeit werden nicht aufgezeichnet. Die ausgewerteten Daten umfassen den Zeitraum von 01.11.2014 bis 30.04.2016 in 15-Minuten-Intervallen.

Die Daten des Energieverbrauchsmonitorings (EVM) lassen ein relativ konstantes Betriebsverhalten der Wärmepumpe und der Lüftungsanlage vermuten, wobei keine Verbrauchsreduktion an Wochenenden oder in den Nachtstunden eintritt. Eine Nachtabsenkung bei der Wärmeversorgung ist aus den Aufzeichnungen nicht zu erkennen. Das ermittelte Einsparpotenzial der Lüftungsregelung beträgt etwa 37 Prozent des Lüftungsstromverbrauchs. Die Verbrauchsdaten der Lüftungsanlage lassen eine Neuregelung mit Anfang März 2015 erkennen. Die Wärmemenge, welche vom Heizregister der Lüftungsanlage bezogen worden ist, fällt so niedrig aus, dass entweder der entsprechende Wärmemengenzähler defekt ist, das Heizregister sehr selten in Betrieb oder defekt ist.

Die Photovoltaikanlage lieferte im Messzeitraum von 01.05.2015 bis 30.04.2016 rund 77 % des elektrischen Gesamtenergieverbrauchs des Gebäudes. Die spezifischen Stromverbräuche für die Lüftungsanlage und die Wärmepumpe weisen monatliche Unterschiede auf.

Zur Beurteilung der Raumluftqualität standen nur Messdaten für die Zuluft-Temperatur der Lüftungsanlage, jedoch keine Messwerte für die CO₂-Konzentration und die Luftfeuchtigkeit zur Verfügung.

9.1.4.2 Energieflussbild

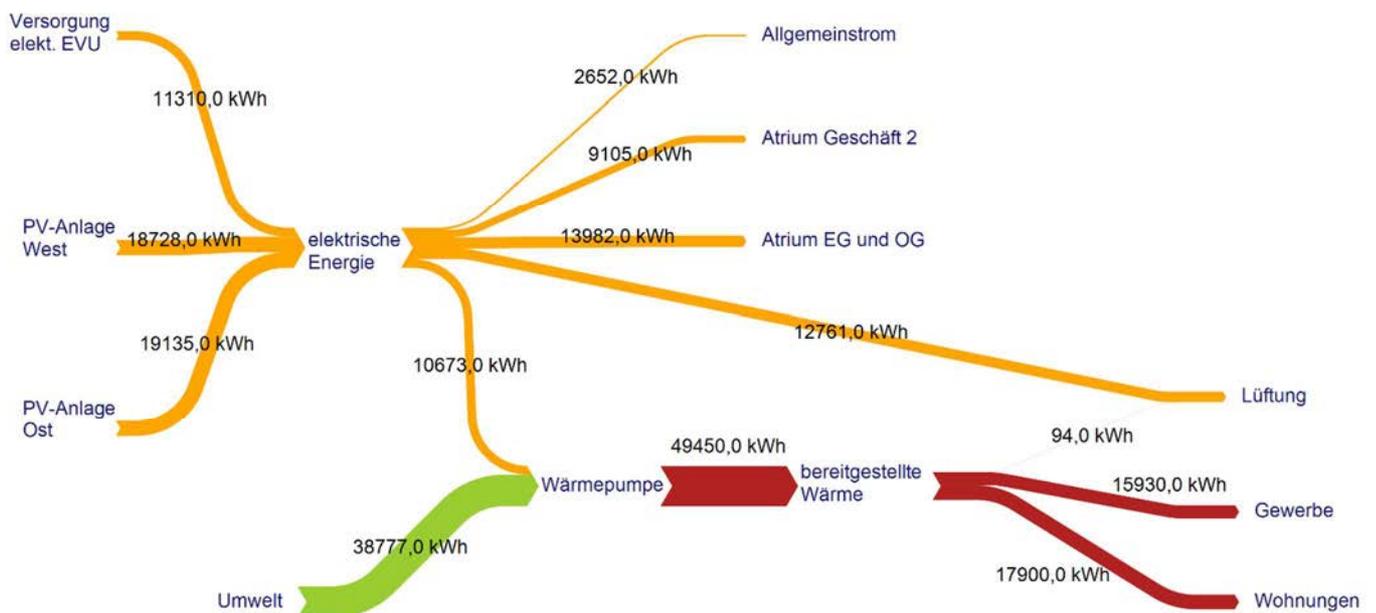


Abbildung 4: Energiefluss Bilanz 01.05.2015 bis 30.04.2016

9.1.4.3 Heizwärmeverbrauch

Abbildung 5 stellt die Monatsbilanz der von der Wärmepumpe bereitgestellten flächenspezifischen Wärmemenge dar. Die gesamte Wärmemenge der Anlage betrug im Betrachtungszeitraum von Mai 2015 bis April 2016 rund 49.450 kWh, welche über Grundwasserwärmepumpe mithilfe elektrischer Energie bereitgestellt wird. Die vorhandene Zählerstruktur des EVM weist für den Heizwärmeverbrauch folgende Ergebnisse für den Betrachtungszeitraum aus:

- Bereitgestellte Wärmemenge der Wärmepumpe 49.450 kWh
- Wärmemenge Gewerbe 15.930 kWh
- Wärmemenge Lüftung 94 kWh
- Wärmemenge Wohnungen (*nicht Teil der Mustersanierung*) 17.900 kWh

Aufgrund der sehr geringen Wärmemenge, welche von der Lüftungsanlage bezogen worden ist, stellt sich die Frage, ob die Zuluft über das betroffene Register überhaupt nennenswert beheizt wird. Der Wärmeverbrauch der Wärmepumpe außerhalb der Heizsaison (in Abbildung 5 orange dargestellt) entspricht der Wärmemenge zur Warmwasseraufbereitung in sechs Wohnungen, welche sich im Dachgeschoß des Gebäudes befinden. Diese sind nicht Bestandteil der Mustersanierung.

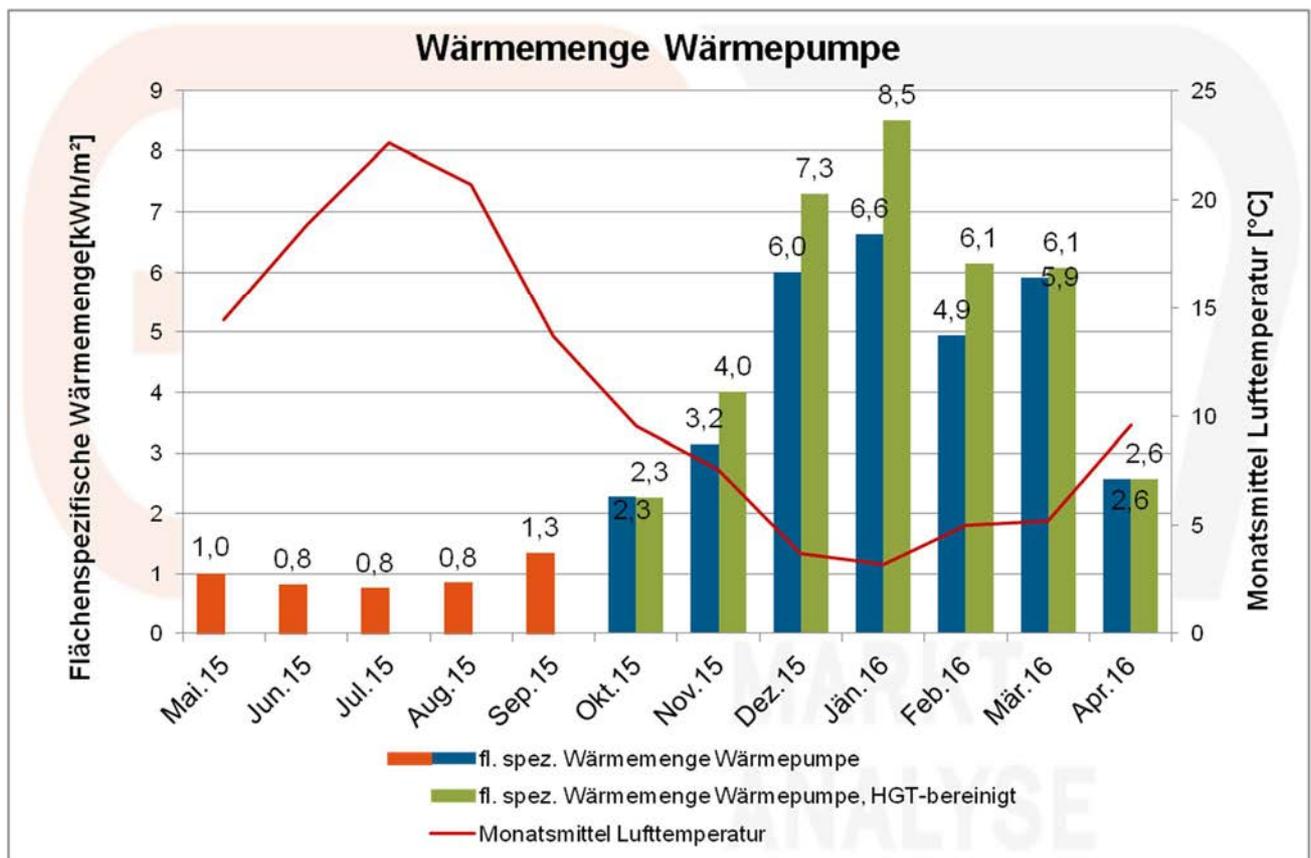


Abbildung 5: Monatsbilanz der bereitgestellten Wärme der Wärmepumpe, mittels EVM gemessen

9.1.4.4 Stromverbrauch

In Abbildung 6 wird die Verteilung des gesamten elektrischen Energieverbrauchs im Betrachtungszeitraum nach Verbrauchern dargestellt. Die Aufteilung der Verbraucher entspricht den Messpunkten des EVMs.

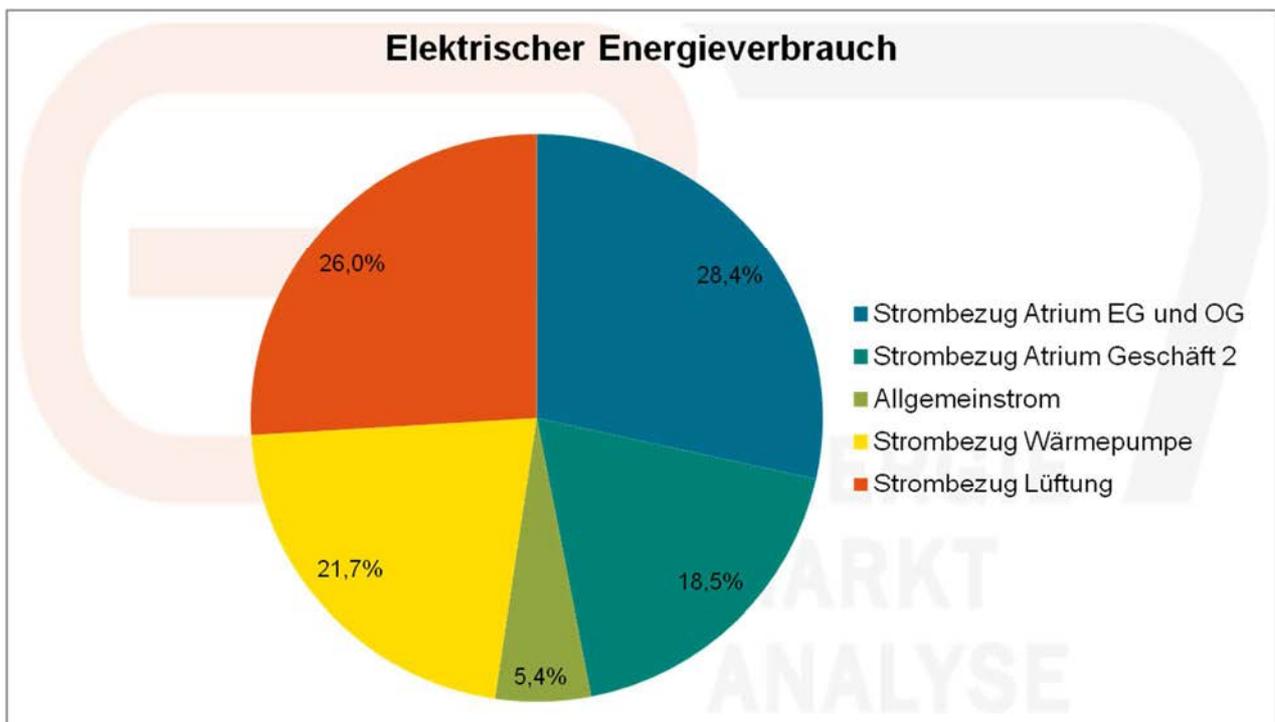


Abbildung 6: Verteilung gesamter elektrischer Energieverbrauch

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch gesamt (01.05.2015 – 30.04.2016) 49.173 kWh

Abbildung 7 stellt die Monatsbilanz des gesamten elektrischen Energieverbrauchs dar, wobei die einzelnen Verbrauchssektoren hervorgehoben sind. Es zeigt sich in diesem Vergleich, dass insbesondere der Energiebedarf der Lüftungsanlage und der Wärmepumpe entsprechenden Schwankungen unterliegt.

Dem elektrischen Energieverbrauch von rund 49.170 kWh in der Betrachtungsperiode steht ein entsprechender Ertrag der Photovoltaikanlage von etwa 37.900 kWh gegenüber, wobei hiervon etwa 5.600 kWh oder 15 % direkt im Gebäude verbraucht worden sind.

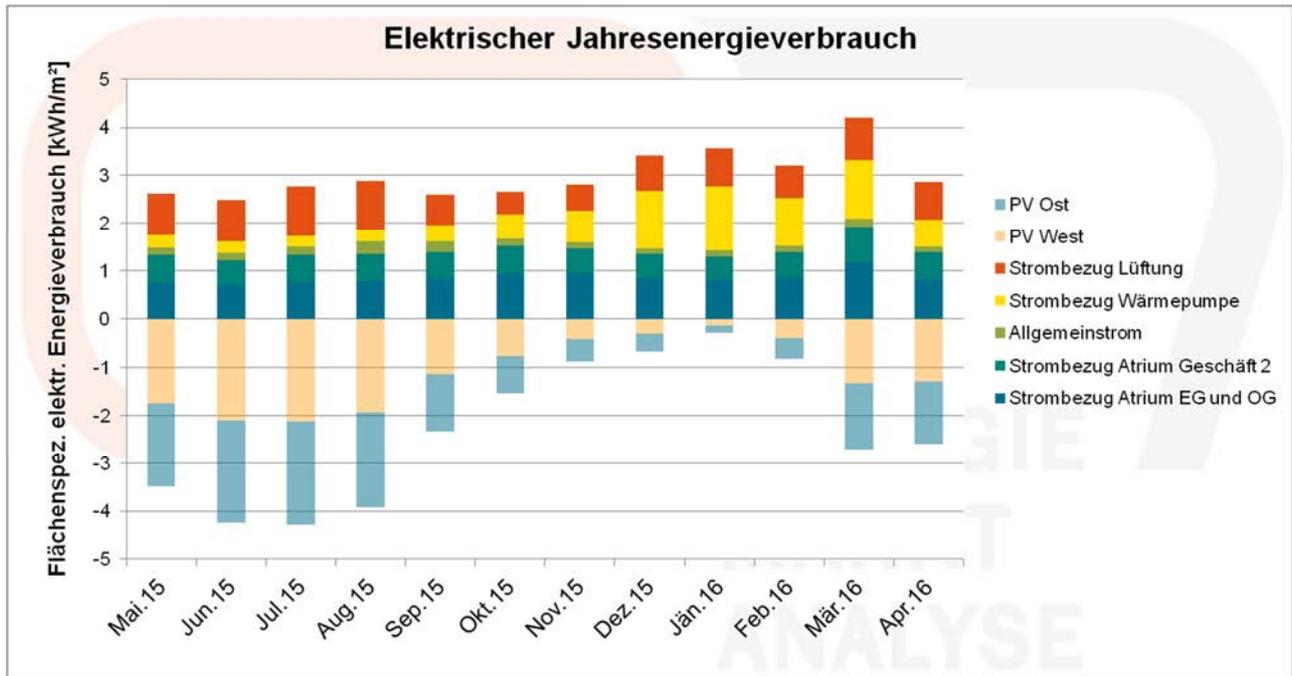


Abbildung 7: Monatsbilanz gesamter elektrischer Energieverbrauch

Auffälligkeiten:

- Der Ertrag der PV-Anlage erreicht in den Monaten Juni, Juli und August seine Maximalwerte, während im Jänner der geringste Wert zu verzeichnen ist.

Nachfolgend werden die einzelnen Stromverbraucher separat betrachtet und analysiert.

Allgemeinstrom

Abbildung 8 stellt die Monatsbilanz des Allgemeinstromverbrauchs, den Nutzerstrombezugs für EG und OG sowie für das Geschäft 2 im Betrachtungszeitraum dar. In den Sommermonaten stieg der Allgemeinstrom und war im August mehr als doppelt so hoch wie in einem Wintermonat. Die Verbrauchsschwankungen der beiden anderen Zählpunkte sind vermutlich auf das jeweilige Nutzerverhalten und die Nutzungsdauer des Gebäudes zurückzuführen.

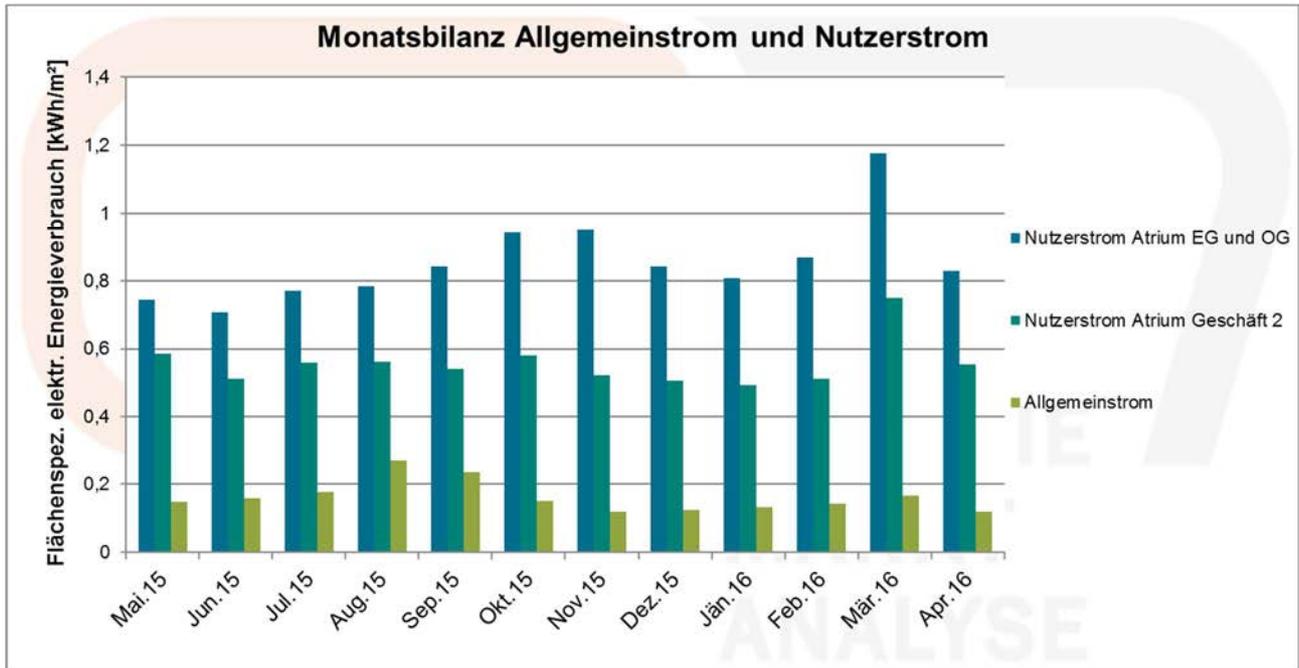


Abbildung 8: Monatsbilanz Allgemeinstrom und Nutzerstrom

Gemessener Stromverbrauch (01.05.2015 – 30.04.2016):

- Stromverbrauch für Allgemeinstrom 2.652 kWh
Anteil am Gesamtstromverbrauch: 5,4 Prozent
- Stromverbrauch Atrium Geschäft 2 9.105 kWh
Anteil am Gesamtstromverbrauch: 18,5 Prozent
- Stromverbrauch Atrium EG und OG 13.982 kWh
Anteil am Gesamtstromverbrauch: 28,4 Prozent

Photovoltaikanlage

Abbildung 9 stellt den Ertrag der Photovoltaikanlage (50 kWp) dem Energieverbrauch auf Monatsebene gegenüber. Dabei wird deutlich, dass erwartungsgemäß in den Monaten Mai bis August ein Überschuss der Photovoltaikanlage zu verzeichnen ist, während insbesondere in der Periode Oktober bis Februar der Energieverbrauch deutlich über dem jeweiligen Ertrag liegt.

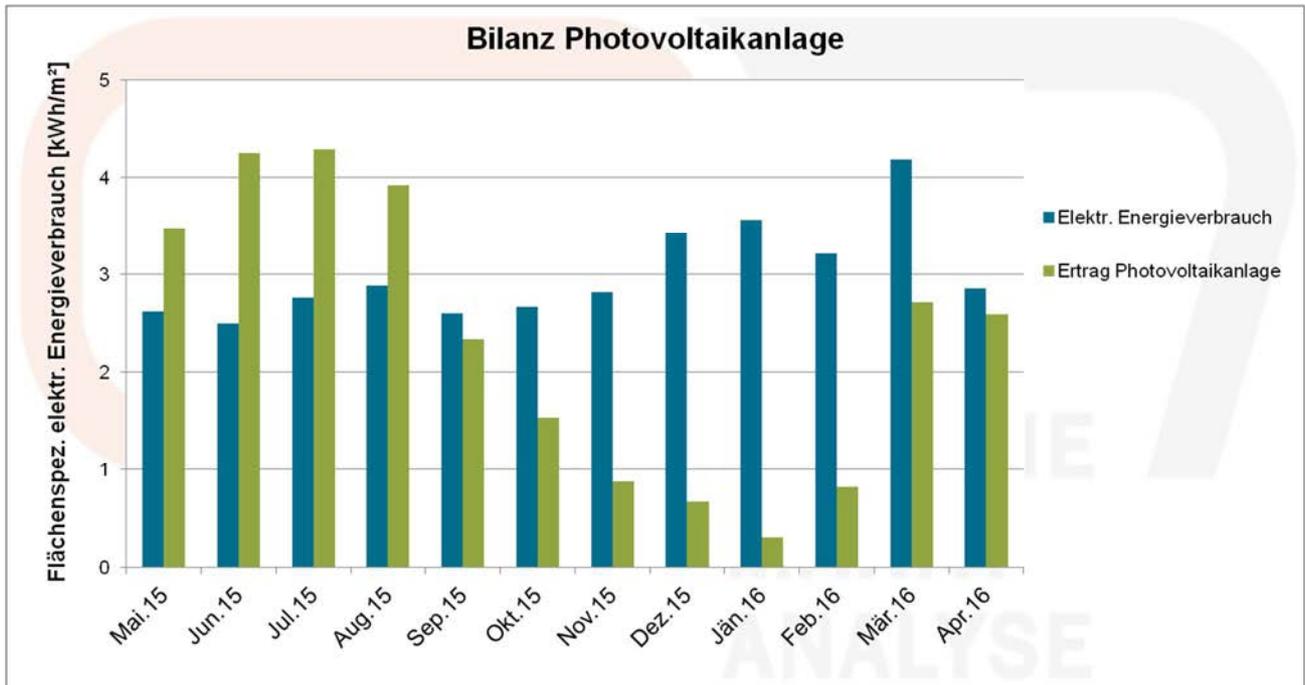


Abbildung 9: Monatsbilanz Photovoltaik-Ertrag und Energieverbrauch

Gemessene Stromerzeugung (01.05.2015 – 30.04.2016):

- Stromerzeugung PV-West 18.728 kWh
- Stromerzeugung PV-Ost 19.135 kWh
- Prozent des elektrischen Gesamtenergieverbrauchs 77 Prozent

Der spezifische Ertrag der Anlage beträgt 934 Kilowattstunden pro Kilowatt Peak. Der Ertrag der nach Osten ausgerichteten Module ist im Mittel um 4 % höher als jener der West-Module. Der Eigenverbrauchsanteil jedes Monats lag im Mittel bei 19,8 %, der höchste Anteil bei 38,5 %, der niedrigste bei 10,2 %.

Haustechnische Anlagen

Abbildung 10 zeigt die Monatsbilanz des elektrischen Energieverbrauchs der Lüftungsanlage und der Grundwasserwärmepumpe. Es zeigt sich, dass sich die Verbrauchsentwicklung der beiden Anlagen entgegengesetzt entwickelt. Bei höheren Monatsmitteltemperaturen ist der Verbrauch der Wärmepumpe naturgemäß gering, der Lüftungsbedarf aber besonders hoch. Mit sinkender Außentemperatur geht der Lüftungsbedarf zurück und die nachgefragte Wärmemenge entsprechend nach oben. Der bedarfsgerechte Einsatz der Lüftungsanlage wird durch dezentral geregelte, variable Volumenströme erreicht.

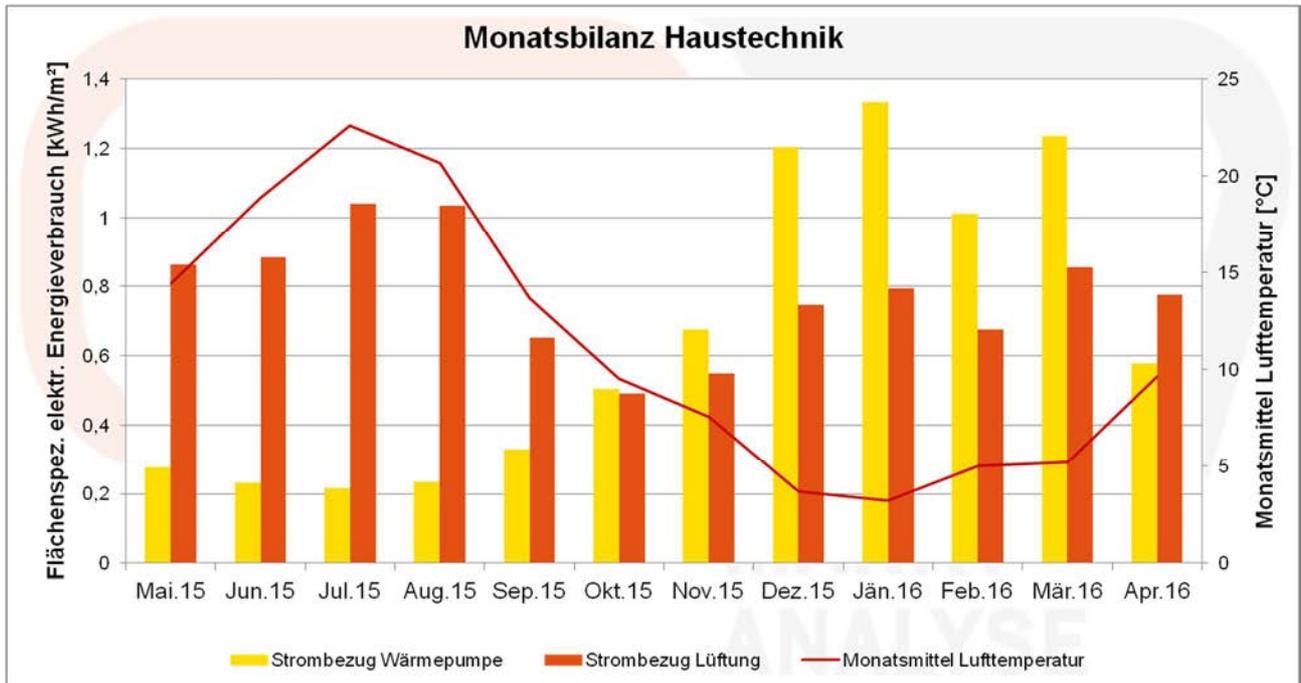


Abbildung 10: Monatsbilanz haustechnische Anlagen

Gemessener Stromverbrauch (01.05.2015 – 30.04.2016):

- Stromverbrauch für die Wärmepumpe 10.673 kWh
Anteil am Gesamtstromverbrauch 21,7 Prozent
- Stromverbrauch für die Lüftungsanlage 12.761 kWh
Anteil am Gesamtstromverbrauch 26 Prozent

Für den Betrieb der Wärmepumpe wurden rund 10.700 kWh (circa 22 % des Gesamtverbrauchs), für den Betrieb der Lüftungsanlage etwa 12.800 kWh (circa 26 % des Gesamtverbrauchs) aufgebracht. Die mittlere Jahresarbeitszahl der Grundwasserwärmepumpe lag bei 4,3, ihr geringster Monatswert betrug 3,5, die höchste Arbeitszahl je Monat betrug 5,0.

Abbildung 11 zeigt den Carpet-Plot der Wärmepumpe im Zeitraum vom 10.11.2014 bis zum 01.06.2015. Jeder Tag entspricht einer Zeile, jede Spalte einem Viertelstundenmesswert beginnend bei 00:00 Uhr ganz links bis 23:45 ganz rechts. Weiße Felder stellen Datenlücken dar, rote Zellen markieren relativ hohe Verbrauchswerte, grüne relativ niedrige. Die übrigen Verbrauchswerte sind in abgestuften Gelbtönen markiert. Abbildung 12 zeigt die Mittelwerte der Verbräuche für jeden Wochentag im angegebenen Zeitraum.

- Es zeigt sich dabei, dass keine besondere Abhängigkeit der Verbrauchskurve vom Wochentag gegeben ist, wie etwa ein Verbrauchsrückgang an Wochenenden.

- Darüber hinaus kann man einen höheren Verbrauch zwischen 10:00 und 20:00 Uhr erkennen, allerdings können aus den Messdaten keine Aussagen über das Regelverhalten der Anlage abgeleitet werden.
- Auf Basis der Verbrauchswerte ist keine besondere Heizkurveneinstellung (Nachtabenkung) oder eine wochentagsabhängige Regelung erkennbar.

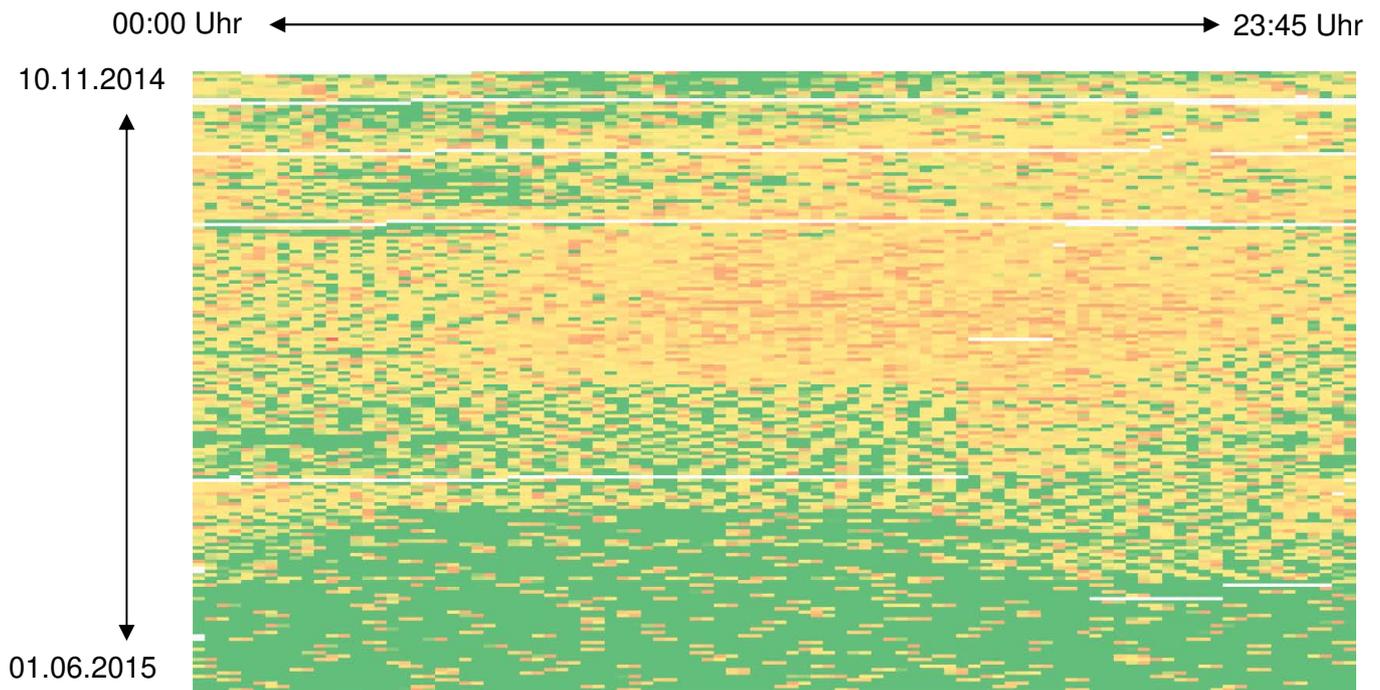


Abbildung 11: Carpet-Plot, Strombezug Wärmepumpe

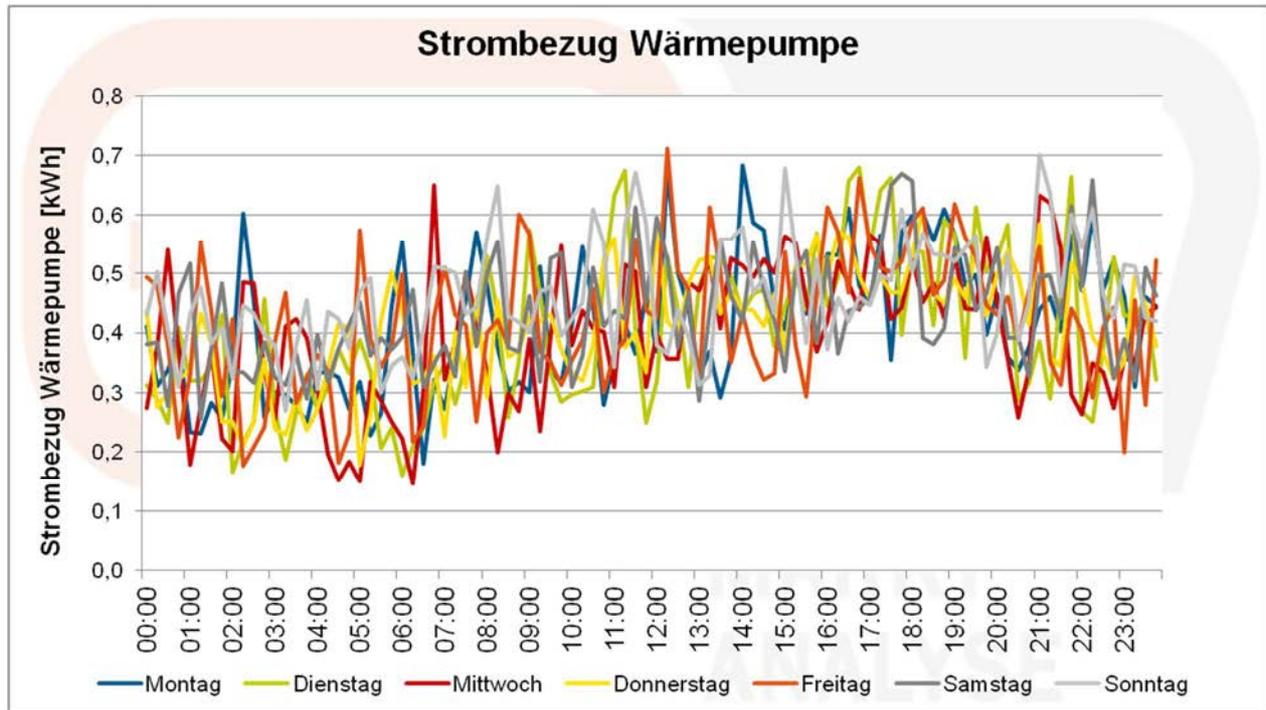


Abbildung 12: Mittelwertkurven Strombezug Wärmepumpe

Abbildung 13 zeigt den Carpet-Plot der Verbrauchswerte der Lüftungsanlage im Zeitraum vom 11.11.2014 bis zum 27.05.2015. Dabei zeigt sich in der oberen Hälfte des Carpet-Plots eine deutliche Ansammlung roter Zellen und damit eines höheren Verbrauchs.

Auffälligkeiten:

- Auch hier zeigt sich kein wochentagsabhängiges Regelverhalten der Anlage.
- Ab März 2015 dürfte die Regelung der Lüftungsanlage angepasst worden sein, da der Verbrauch deutlich reduziert ist.
- Die Einsparung durch Nacht- und Wochenendabschaltung beträgt ca. 4.700 kWh oder 37 Prozent.

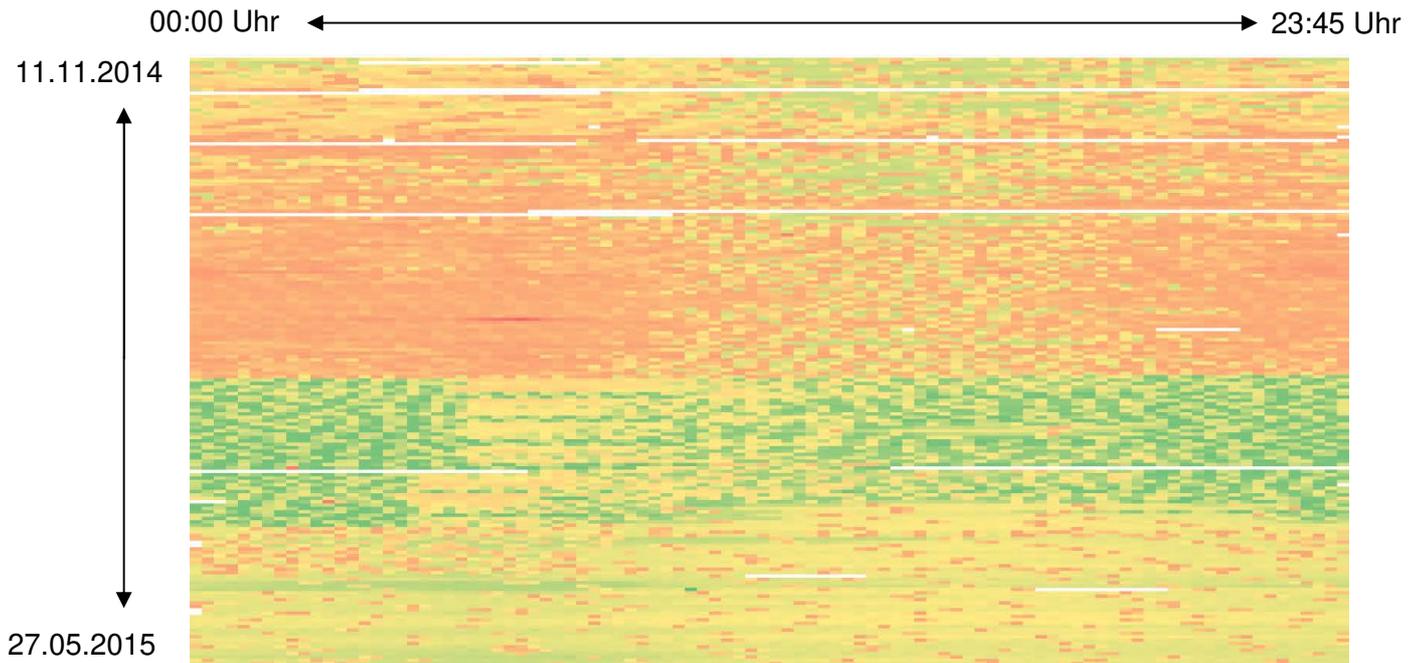


Abbildung 13: Carpet-Plot Strombezug Lüftung, November 2014 – Mai 2015

Abbildung 14 stellt die Mittelwerte der Energieverbräuche der Lüftungsanlage im angegebenen Zeitraum dar, welche ebenso einen konstanten Anlagenbetrieb über den Tag erkennen lassen.

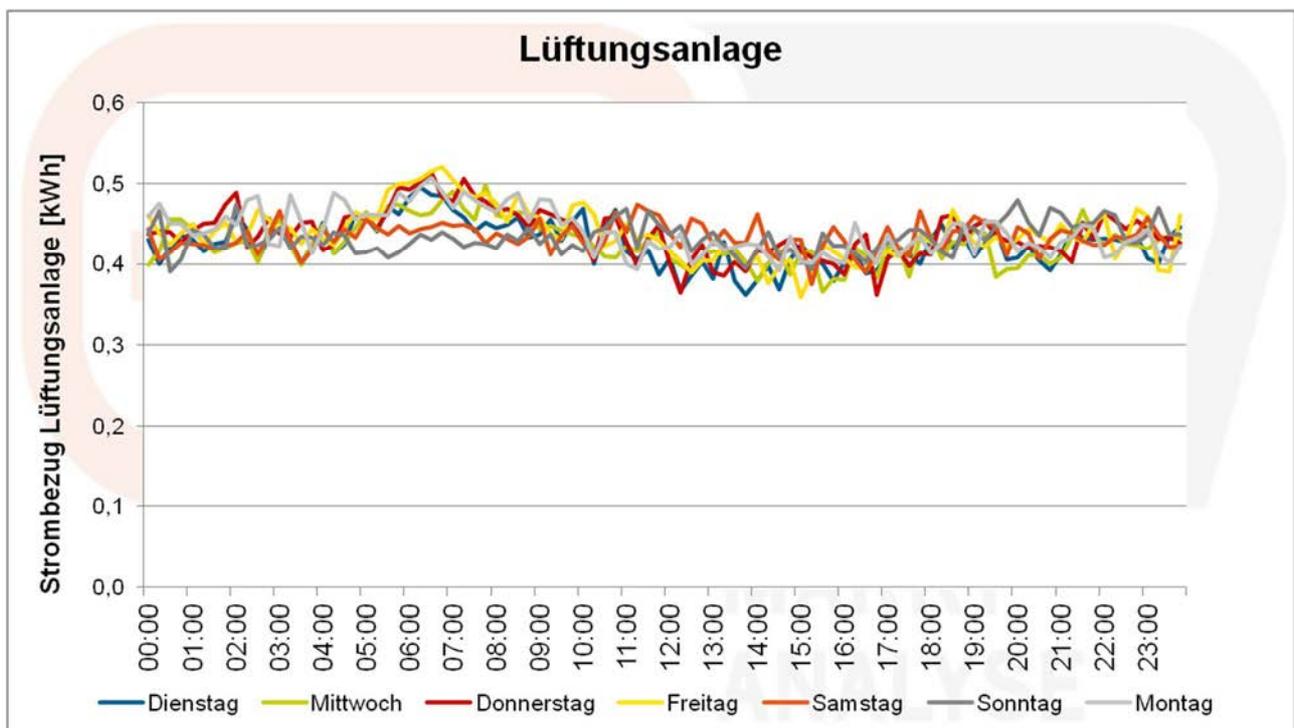


Abbildung 14: Mittelwertkurven Strombezug Lüftung

Fazit:

Die Verbrauchswerte in den Zeitperioden, welche für die Carpet-Plots herangezogen wurden, deuten auf ein konstantes Betriebsverhalten der Wärmepumpe und der Lüftungsanlage hin. Demzufolge ist für die Wärmeversorgung keine Nachtabsenkung eingestellt und die Lüftung läuft in konstantem Betrieb rund um die Uhr. Die Verbrauchsdaten der Lüftungsanlage deuten auf eine Neuregelung mit Anfang März 2015 hin. Das ermittelte Einsparpotenzial bei der Lüftungsregelung beträgt 37 Prozent oder 4.700 kWh/a.

Der Energieverbrauch der Wärmepumpe außerhalb der Heizperiode entspricht der Wärmemenge zur Warmwasserbereitstellung von sechs Wohnungen, welche sich im Dachgeschoß des Gebäudes befinden.

Die relativ geringe Wärmemenge, welche von der Lüftungsanlage bezogen wurde, legt den Schluss nahe, dass die Zuluft entweder nicht nennenswert beheizt wird, das Heizregister defekt ist oder der Wärmemengenzähler nicht richtig funktioniert.

9.1.4.5 Behaglichkeit

Zur Beurteilung der Behaglichkeit in Räumlichkeiten werden üblicherweise Parameter wie die relative Luftfeuchtigkeit, die Raumlufttemperaturen und der CO₂-Gehalt in diesen gemessen. Das verwendete EVM-System sieht allerdings nur eine Aufzeichnung der Zuluft- und Abluft-Temperatur der Lüftungsanlage vor, sodass eine ausführliche Diskussion der Behaglichkeit für dieses Projekt nicht möglich ist. Mehr als 99,5 % der gemessenen Zuluft-Temperaturwerte liegen im Temperaturfenster zwischen 20 und 26 °C, welches im Allgemeinen als „behaglich“ empfunden wird. Der Jahresverlauf der Zuluft-Temperaturwerte ist in Abbildung 15 dargestellt.

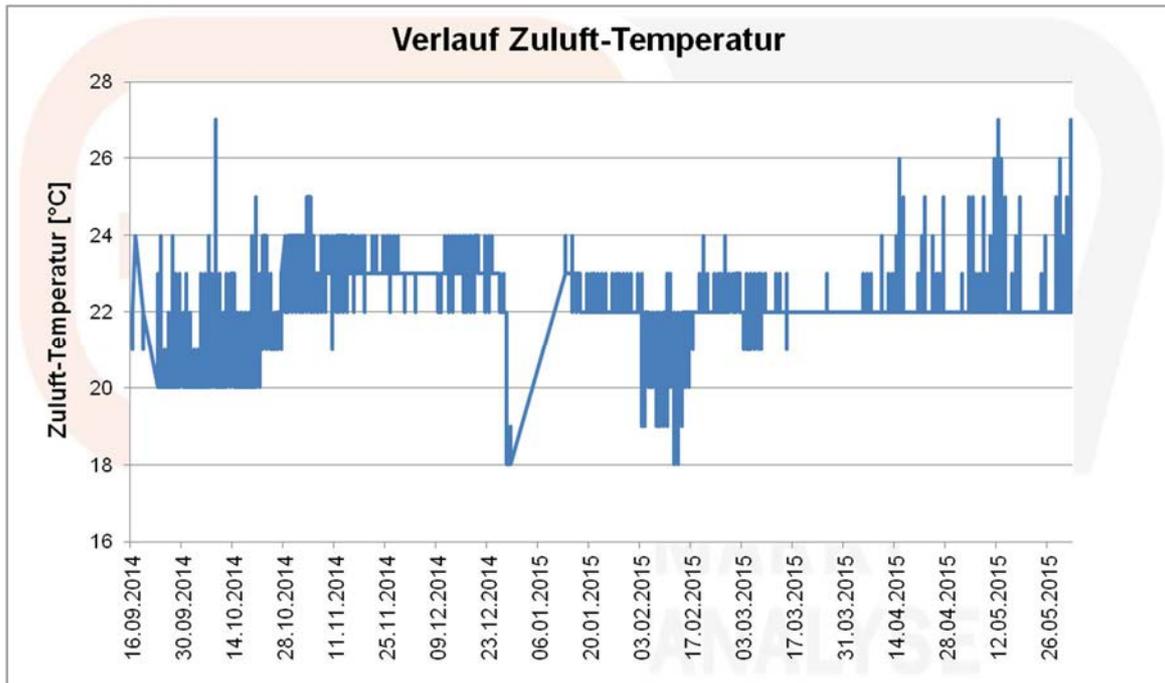


Abbildung 15: Jahresverlauf der Zuluft-Temperatur

9.2 LSI, Voitsberg Stmk

Allgemeine Projektbeschreibung

„Das ehemalige Zielpunkt-Geschäftsgebäude in Voitsberg, welches im Jahre 1991 errichtet worden ist, wurde von der LSI Leistungsgruppe von Installateuren erworben und aufgrund der ineffizienten Gebäudehülle saniert. Das Gebäude entspricht nach der Sanierung dem silbernen klima:aktiv-Qualitätsstandard. Beim Gebäude handelt es sich um einen eingeschossigen Massivbau mit Flachdach. Voitsberg ist Teil der Klima- und Energiemodellregion „Regionales Energiekonzept Lipizzanerheimat“.

Die Wärmebereitstellung erfolgte im Bestand über fossile Fernwärme von der Energie Steiermark. Durch die Installation einer thermischen Solaranlage wird nun bis zu 70 % des Wärmebedarfs bereitgestellt. Den Restbetrag übernimmt eine Wärmepumpe, welche auch zu Kühlzwecken verwendet wird. Es wurden ebenso 2 Photovoltaik-Anlagen installiert, welche über das Jahr gesehen mehr elektrische Energie liefert, als das Gebäude verbraucht. In Summe weist das Gebäude eine positive Energiebilanz auf und erzeugt mehr als verbraucht wird. Energieeffizienzmaßnahmen wurden durch Optimierung der Beleuchtung und mit Hilfe eines Energieverbrauchsmonitoring-Systems gesetzt.

Ausgangszustand:

<i>Eigentümer/ Betreiber</i>	<i>LSI Leistungsgruppe von Installateuren Handelsges.m.b.H.</i>
<i>Ansprechpartner / Kontaktpersonen</i>	<i>Herbert Reisinger</i>
<i>Standort</i>	<i>A-8570 Voitsberg, Grazer Vorstadt 82</i>
<i>Gebäudetyp</i>	<i>Büro- und Schulungsgebäude</i>
<i>Errichtungsjahr Bestandsgebäude</i>	<i>1991</i>
<i>Größe (BGF)</i>	<i>467 m²</i>

9.2.1 Sanierungsmaßnahmen

9.2.1.1 Gebäudehülle

Das Bürogebäude ist ein ebenerdiges, L-förmiges Objekt, welches im sanierten Teil Büroräume und Seminarräume aufweist. Das Gebäude hat eine Brutto-Grundfläche von 958 m², davon wurden im Zuge der Mustersanierung 467 m² saniert. Die bestehenden Fassadenflächen und die Dachkonstruktion wurden mit einer Wärmedämmschicht neu hergestellt und die opaken Fassadenelemente getauscht. Die Außenwände des Gebäudes wurden in einer 20 cm

Wärmedämmung mit EPS-Platten ausgebildet und weisen einen U-Wert von 0,13 W/m²K auf. Die Dachkonstruktion wurde um 14 cm PIR Hochleistungsdaämmstoff erweitert und weist einen U-Wert von 0,11 W/m²K auf. Die neuen Holzalu-Wärmeschutzfenster mit 3-Scheibenverglasung haben einen U-Wert von 0,83 W/m²K.

9.2.1.2 Gebäudetechnik

Heizen, Kühlen, Lüften, Warmwasser

Die Heizwärme wird mittels einer thermischen Solaranlage mit einer Größe von 72 m² und einer reversiblen Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 16,2 kW und einer Kühlleistung von 17,4 kW sicher gestellt. Die Verteilung der Heizenergie erfolgt über eine Fußbodenheizung und Heizregister der Lüftungsanlage. Die Frischluft wird über dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung bereitgestellt. Das Warmwasser wird durch Elektroboiler erwärmt.

Beleuchtung, Verschattungseinrichtungen

Die Beleuchtung wurde durch energieeffiziente LED-Leuchten getauscht. An den Fenstern wurde ein automatisches sowie sonnenstandabhängiges und über den Lichtkuppeln ein fixes Verschattungssystem installiert.

Photovoltaik-Anlage

Das Gebäude verfügt über zwei Photovoltaikanlagen. Die große mit einer Fläche von 129 m² hat eine Gesamtleistung von 20 kWp. Die Anlage speist den Überschussstrom in das EVU-Netz ein. Die kleine Anlage hat eine Größe von 16 m² und eine Gesamtleistung von 2,5 kWp. Die Anlage speist in einen Batteriespeicher ein.

9.2.1.3 Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)

Tabelle 11 zeigt die im Energieausweis berechneten Werte des Heizwärmebedarfs* des Gebäudes im Referenzklima vor und nach der Sanierung, Abbildung 16 stellt die im Rahmen der Mustersanierung erreichte Reduktion dar. Die Energieausweisberechnung weist eine Reduktion des HWB* um 47,1 kWh/m³a oder rund 86 % im Zuge der Sanierung aus.

Tabelle 11: Vergleich Energiekennzahlen vor und nach Sanierung

Heizwärmebedarf* lt. Energieausweis	
Vor Sanierung	Nach Sanierung
<i>kWh/m³a</i>	<i>kWh/m³a</i>
54,7	7,6

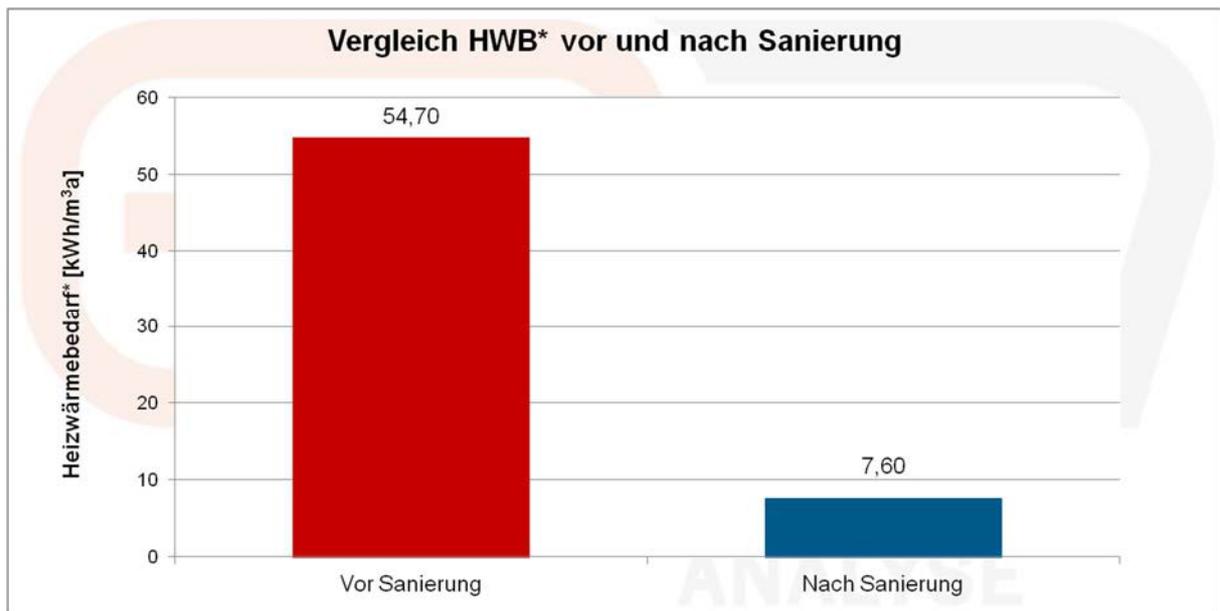


Abbildung 16: Gegenüberstellung HWB* vor und nach Sanierung

9.2.2 EVM-Schema

Um das Energieverhaltensverhalten und die Komfortparameter des Gebäudes nach der Sanierung bewerten zu können wurde ein Monitoringsystem installiert. Dieses misst an relevanten Punkten in der Haustechnikanlage und im Gebäude Parameter wie zum Beispiel:

- Lufttemperatur
- Wärmemengen
- Stromverbrauch

Das Monitoringsystem erfasst die Messwerte und Zählerstände viertelstündlich und speichert diese ab. Zur Auswertung für diesen Bericht wurden Daten aus dem Monitoringsystem im Zeitraum von **01.01. bis 31.12.2015** herangezogen. Die Datenpunkte des EVM sind Abbildung 17 dargestellt.

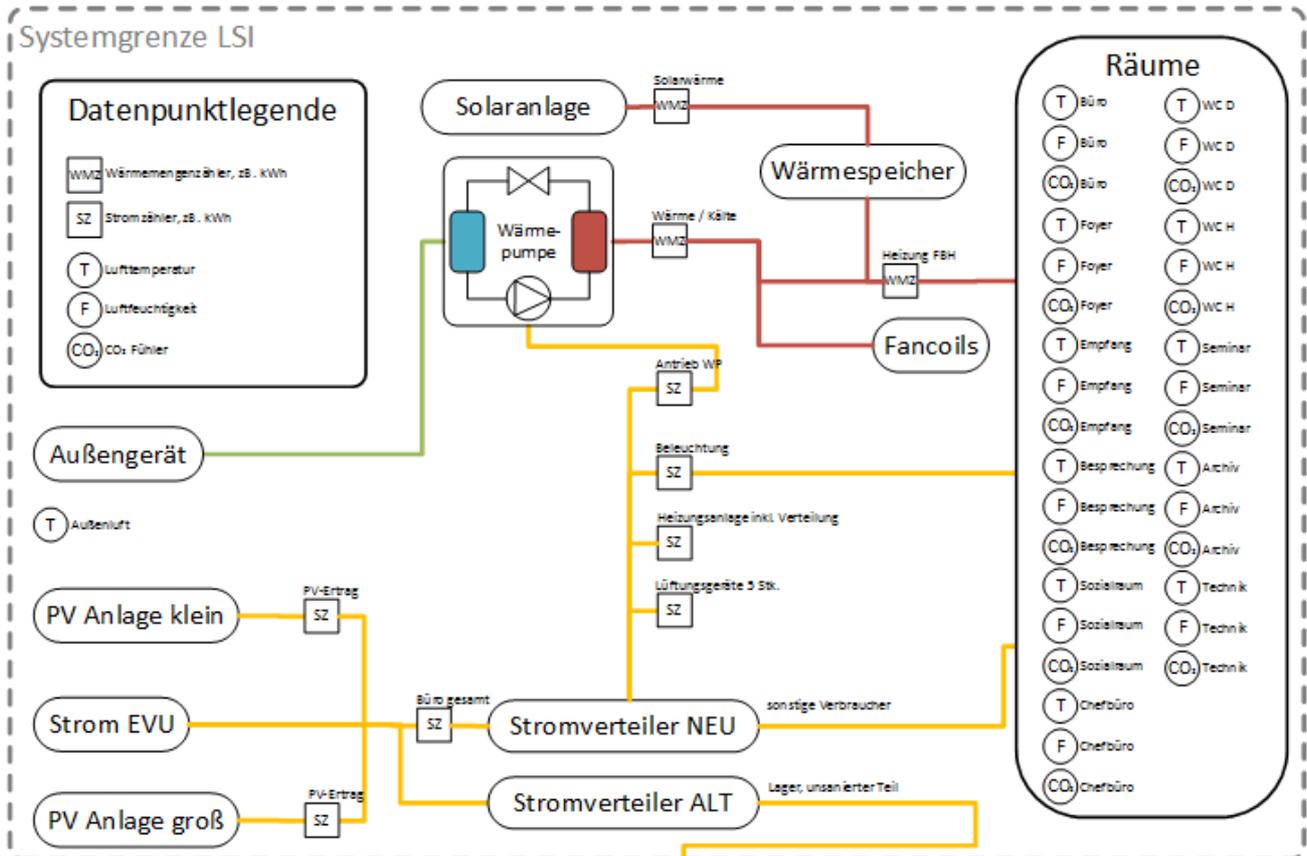


Abbildung 17: EVM-Schema mit Datenpunkten

9.2.3 Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung

Die folgenden CO₂-äquivalenten Emissionsergebnisse und Endenergieverbrauchsergebnisse, welche in Tabelle 12 und Tabelle 13 angegeben sind, basieren auf den Angaben der Einreichunterlagen vor der Sanierung und den gemessenen Werten durch das EVM nach der Sanierung sowie den CO₂-Faktoren aus der KPC-Förderberechnung. Nach der Sanierung ist der Wert für CO₂-äquivalente Emissionen aufgrund der Versorgung durch Bezug von Ökostrom null.

Tabelle 12: Berechnete, CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen

CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen¹¹		
Vor Sanierung lt.	Nach Sanierung	Nach Sanierung
Fördereinreichung	Energieausweis	EVM
<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>
43,23	0	0

Im Messzeitraum nach der Sanierung wurde durch die PV-Anlage innerhalb der zwölf Monate 21.735 kWh elektrische Energie produziert. In Summe wurden 9.738 kWh Strom aus dem EVU-Netz bezogen. Durch den Bezug von Ökostrom verursacht diese Menge elektrischer Energie keine CO₂-Emissionen. Die CO₂-Emissionen vor der Sanierung basieren auf der Berechnung der KPC bei der Fördereinreichung. Diese ist anteilig für den HEB angegeben. In Tabelle 12 sind die CO₂-Emissionen gegenübergestellt. Daraus ergibt sich für das vorliegende Gebäude im Zeitraum von 01.01. bis 31.12.2015 eine Einsparung von 43,23 t CO₂ im Vergleich zum Jahr vor der Sanierung. Die bei diesen Berechnungen verwendeten CO₂-Emissionsfaktoren wurden aus dem Dokument zur Förderungsberechnung für betriebliche Umweltförderung der Kommunal Kredit Public Consulting entnommen.¹²

Tabelle 13 zeigt den Vergleich der Nutzenergie¹³ für Heizen vor und nach der Sanierung. Der Wert vor der Sanierung (Spalte 1) wurde im Zuge der Mustersanierung vom Projektverantwortlichen erfasst und stellt in diesem Fall einen berechneten Jahresverbrauchswert (HWB) auf Basis des Energieausweises dar. Der Planwert nach der Sanierung (Spalte 2) wurde ebenfalls vom Projektverantwortlichen angegeben und stellt eine erste Schätzung auf Basis des Energieausweises (HWB) dar. Der im EVM ermittelte Wert nach der Sanierung (Spalte 3) repräsentiert die Nutzenergie für Wärme, welche von 3034 Kd Heizgradtage im Jahr 2015 auf 3615 Kd Heizgradtage laut Energieausweis bereinigt wurde. Ein Vergleich von realen Verbrauchswerten vor und nach der Sanierung ist in diesem Fall nicht möglich, da keine Verbrauchswerte vor der Sanierung vorhanden sind.

¹¹ Die Daten der berechneten CO₂-äquivalenten Emissionen vor und nach Sanierung stammen aus den Unterlagen der Fördereinreichung, da zu diesem Zeitpunkt CO₂ nicht im EAW berechnet wurde (Versionen der OIB Richtlinie 6 vor 2011). Wenn biogene Energieträger eingespart werden, wird fiktiv ein fossiler Brennstoff (Heizöl) zur Bestimmung der CO₂-Einsparung gegengerechnet, da hier die eingesparten erneuerbaren Energieträger für andere Objekte mit fossilen Energieträgern genutzt werden können.

¹² http://www.publicconsulting.at/uploads/_infoblatt_frderungsberechnung.pdf

¹³ Die Vergleichbarkeit des im Energieausweis berechneten Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs (HWB und KB) einer thermischen Gebäudezone mit gemessenen Wärmemengen ist aus mehreren Gründen nicht direkt gegeben. Einerseits sind die berechneten Werte für das Gebäude vor und nach der Sanierung gute Anhaltspunkte um die Verbesserung der thermischen Qualitäten des Objektes zu bewerten. Andererseits sind die gemessenen Werte stark vom tatsächlichen Wetter und Benutzerverhalten im jeweiligen Messzeitraum abhängig. Daher ergibt sich aufgrund der Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen Messzeitraum und der theoretischen Berechnungsgrundlagen eine große Unsicherheit bezüglich der Vergleichbarkeit von Kennwerten zwischen Messung und Berechnung. Darüber hinaus sind HWB und KB theoretische Bedarfsgrößen einer thermischen Zone ohne messbaren Charakter. Gemessene Wärmemengen hingegen sind lokale zuordenbare Größen im Energieverteilungssystem.

Tabelle 13: Vergleich Heizwärmebedarf aus Energieausweis zu Heizwärmeverbrauch nach Sanierung (HGT bereinigt)

Vor Sanierung	Nach Sanierung	Nach Sanierung
HWB Energieausweis	HWB Energieausweis	EVM
<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>
302,8	29,7	25,45

Anteil erneuerbarer Energieträger am Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes

100% des Gesamtenergieverbrauchs wurden durch erneuerbare Energieträger gedeckt.

Fazit:

Die Daten aus dem EVM im vorliegenden Messzeitraum zeigen, dass die geplanten Energieeinsparungen durch die Sanierungsmaßnahmen erreicht wurden.

9.2.4 Detailergebnisse Energieverbrauchsmonitoring

9.2.4.1 Zusammenfassung

Die Ergebnisse zeigen, dass die Sanierung wirkt und die Haustechnik bis auf die Betriebszeiten der Lüftungsanlage an Feiertagen gut funktioniert. Zu hinterfragen wären die Betriebszeiten der Lüftungsanlagen für den Seminarbereich, die Einstellungen der Kurbelwannenheizung sowie die unterschiedlichen Stromverbrauchsstrukturen in den Nachtstunden. Außerdem scheinen die CO₂ Sensoren aufgrund unplausibler Werte nicht parametrisiert zu sein.

9.2.4.2 Energieflussbild

Die Abbildung 18 zeigt das Energieflussbild des Gebäudes der Firma LSI. Die Kältemenge für die Kühlung wurde nicht gemessen sondern auf Basis des Stromverbrauchs der Wärmepumpe berechnet.



Abbildung 18: Energiefluss Bilanz 01.01 bis 31.12.2015

9.2.4.3 Heizwärmeverbrauch

Im sanierten Bürogebäude stellen die Solaranlage und die Wärmepumpe die Wärme für Heizzwecke zur Verfügung. Ein Wärmemengenzähler zeichnet die Wärmemenge auf, die an die Fußbodenheizung geschickt wird. In Abbildung 19 ist die Monatsbilanz dieser Heizwärme in kWh/m²_{BGF} im Betrachtungszeitraum dargestellt. In Summe wurden 9.974 kWh Heizwärme verbraucht. Davon wurden 3.329 kWh durch die Wärmepumpe und 6.798 kWh aus dem Speicher, welcher von der Solaranlage beladen wird, bereitgestellt.

Heizwärmeverbrauch:

9.974 kWh/a

Heizwärmeverbrauch spez.:

21,4 kWh/m²_{BGF}a

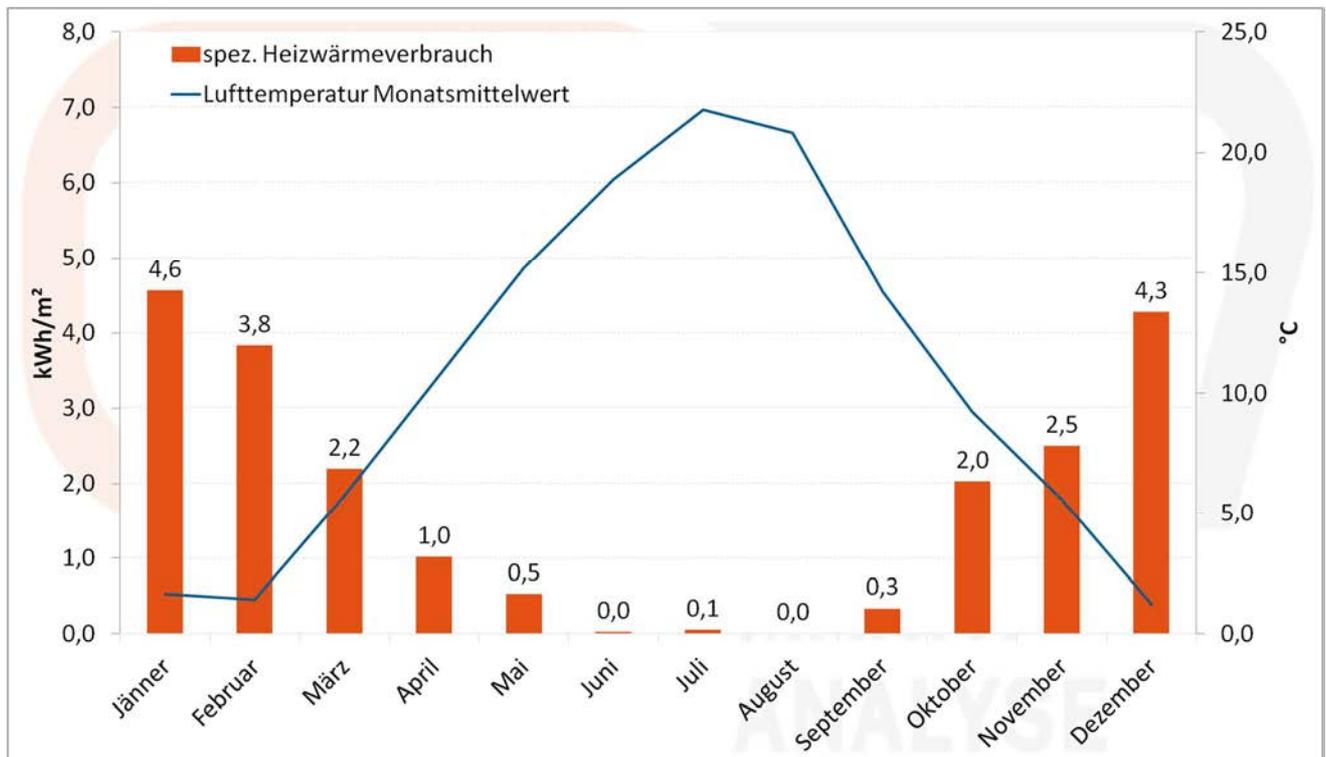


Abbildung 19: Monatsbilanz spez. Heizwärmeverbrauch in kWh/m²

In folgender Abbildung sind die monatlichen Erträge von Wärmeenergie aus Solaranlage und Wärmepumpe dem Heizwärmeverbrauch gegenüber gestellt. Etwa 68% der Heizwärme wurde durch die Solaranlage gedeckt.

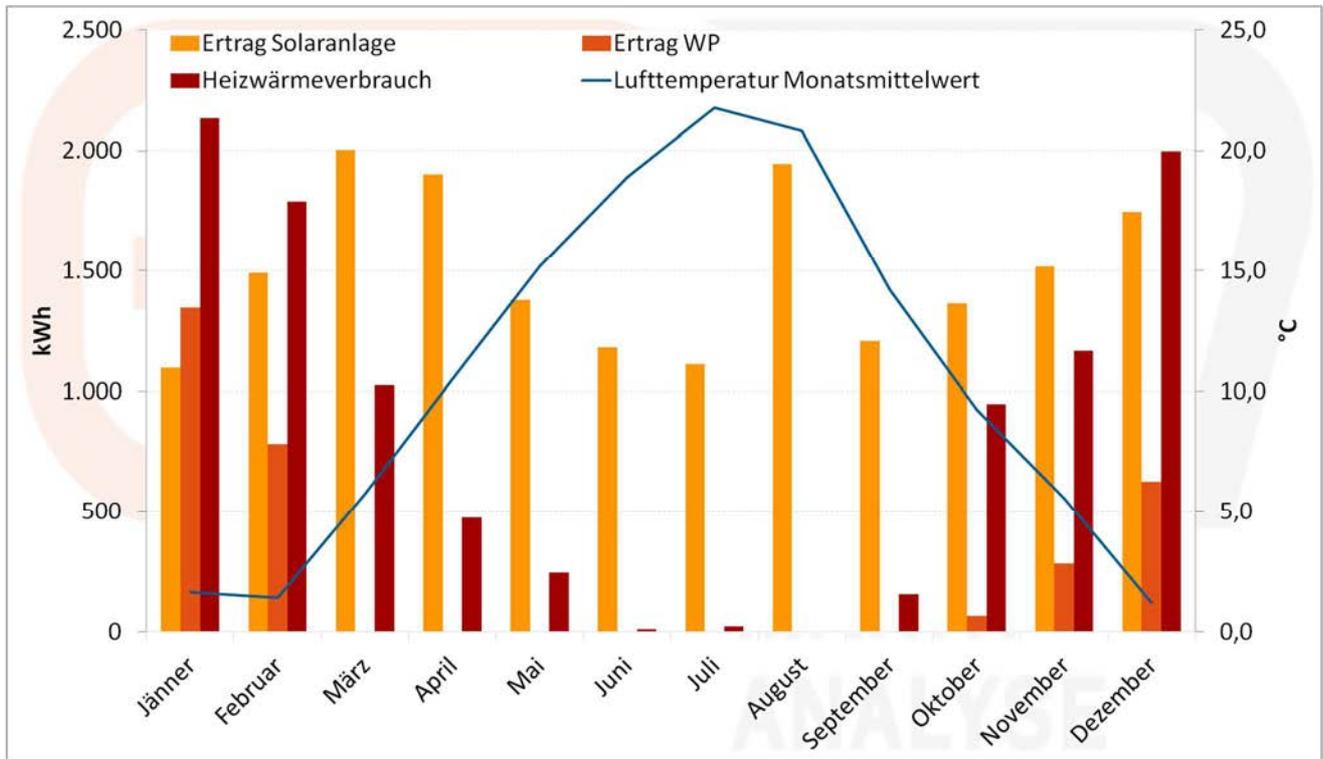


Abbildung 20: Monatsbilanz Erträge Solaranlage und Wärmepumpe sowie Heizwärmeverbrauch

Solaranlage

Am Dach des Gebäudes ist eine Solaranlage mit einer Fläche von 72m² installiert. Die Anlage lieferte im Betrachtungszeitraum 17.900 kWh Wärmeenergie in den Speicher.

Gesamtlieferung Wärmeenergie: 17.900 kWh/a

Gesamtlieferung pro m² Kollektorfläche: 249 kWh/a*m²

Reversible Wärmepumpe

Die Wärmepumpe liefert sowohl Wärme- als auch Kühlenergie. Im Betrachtungszeitraum benötigte diese in Summe 3.329 kWh elektrische Energie, wobei eine Kurbelwannenheizung mit 50W elektrischer Leistung und eine Verteilpumpe mitgemessen wurden. Die gelieferte Kältemenge für die Fan Coils im Sommer wurde nicht erfasst.

Gesamtlieferung Wärmeenergie (Heizbetrieb): 3.175 kWh/a

Stromverbrauch im Heizbetrieb: 1.961 kWh/a

Stromverbrauch im Kühlbetrieb:

1.372 kWh/a

Arbeitszahl im Heizbetrieb:

1,62

Die Arbeitszahl liegt in Wahrheit etwas höher, da nicht nur der Stromverbrauch der Wärmepumpe gemessen wurde. Dennoch bleibt die Arbeitszahl niedrig.

Im folgenden Carpet-Plot ist der Heiz- und Kühlbetrieb der Wärmepumpe zu sehen. In der Heizperiode war die Wärmepumpe primär in den Nachtstunden in Betrieb (= roter Bereich in den Wintermonaten). Der gelbe Bereich markiert einen niedrigen Verbrauch, der möglicherweise durch die Kurbelwannenheizung verursacht wurde.

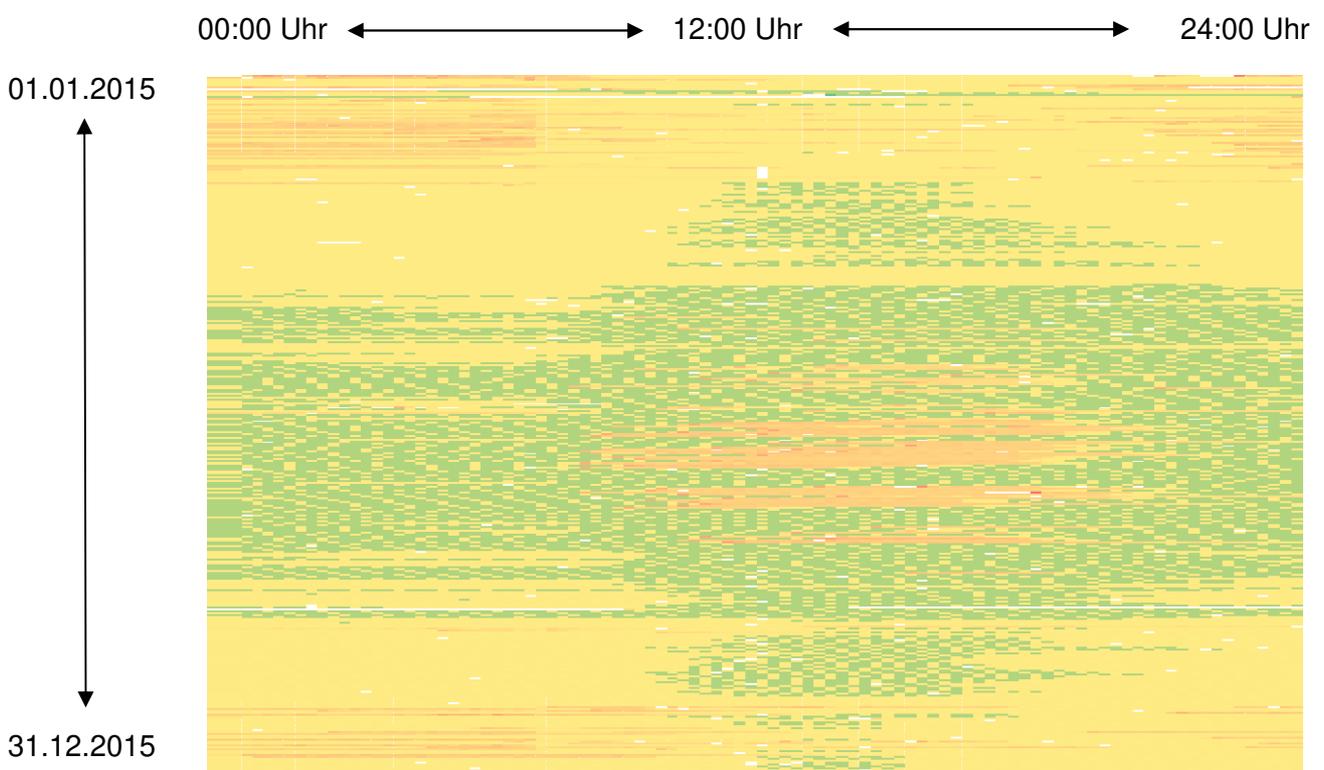


Abbildung 21: Carpet-Plot Stromverbrauch WP

In Abbildung 22 ist der Stromverbrauch durch die Kurbelwannenheizung, welche sich ab einer Außenlufttemperatur kleiner gleich 10°C einschaltet, zu erkennen.

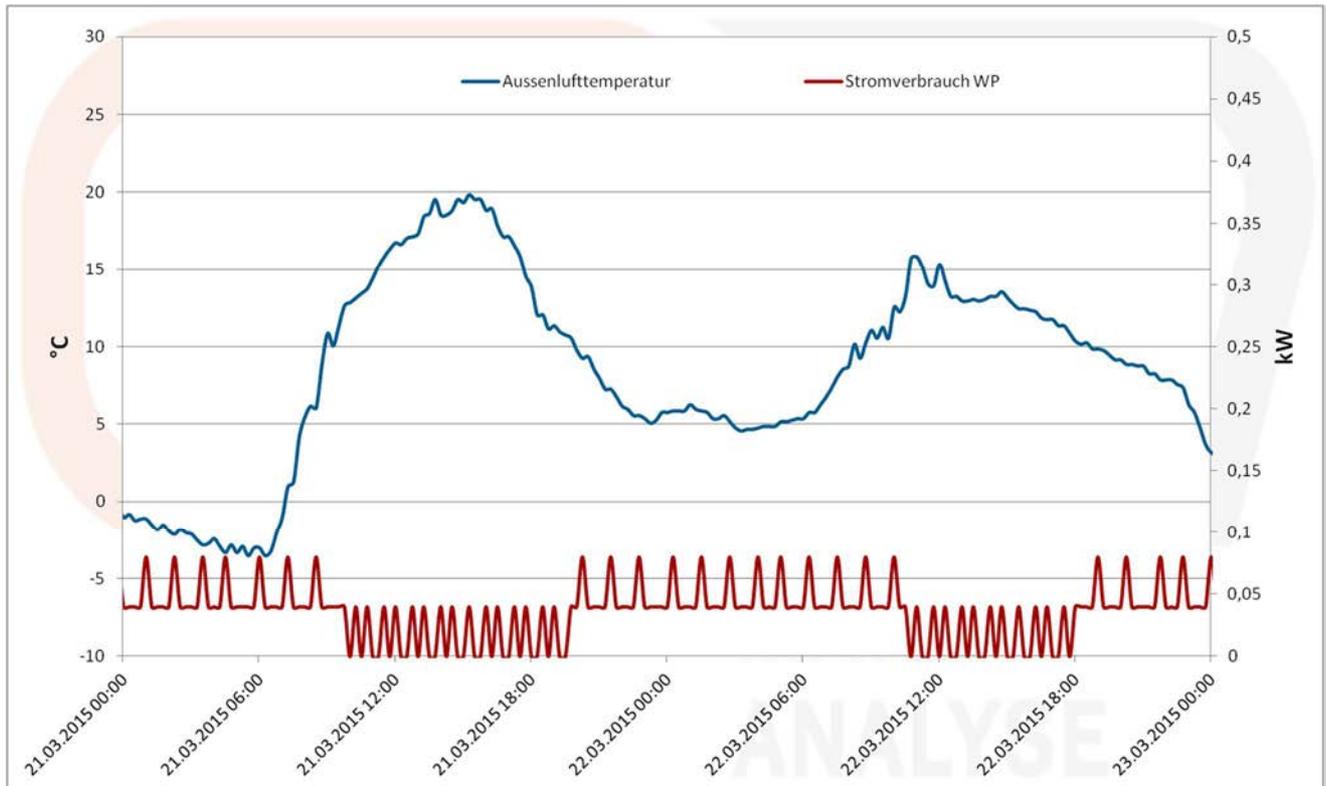


Abbildung 22: Stromverbrauch durch die Kurbelwannenheizung

Fazit:

Es sollte die Einstellung der Kurbelwannenheizung geprüft werden, ob diese tatsächlich schon ab einer Außenlufttemperatur kleiner gleich 10°C betrieben werden muss. Außerdem ist die Arbeitszahl im Heizbetrieb sehr gering.

Anmerkung Gebäudeeigentümer:

Laut WP Hersteller Daikin darf an der Kurbelwannenheizung keine Veränderung vorgenommen werden, diese dient zur Betriebssicherheit und Gewährleistung der Maschine.

Auf den ersten Blick ist das Ergebnis der Arbeitszahl sehr schlecht. Man muss jedoch die anlagenspezifische Betrachtung relativieren.

- WP heizt nur zu den ungünstigsten Zeitpunkten, dann wenn die Solaranlage und Puffer keine Wärme liefern.
- bei Nebeltagen mit hoher Luftfeuchtigkeit, da sind die Abtauprozesse des Kaltwassersatzes natürlich sehr AZ mindernd
- bei sehr tiefen Temperaturen, wenn die Puffertemperatur nicht mehr ausreicht, ist natürlich die AZ sehr schlecht

- durch die Doppelfunktion Heizen/Kühlen ist der Standby Aufwand relativ groß im Verhältnis zur gelieferten Energie
- durch die Doppelfunktion Heizen/Kühlen ist eine einstufige Kreislumpumpe mit hoher Stromaufnahme im Primärkreis, welche natürlich ein Kompromiss ist und vom Hersteller zum Funktionsschutz vorgegeben wurde. Im Kühlbetrieb müssen sowohl FanCoils über den WT und der FBH Kreis damit beschickt werden.
- Würde die WP als Vollheizung eingesetzt werden wäre eine JAZ von 3 durchaus realistisch.

9.2.4.4 Stromverbrauch

Insgesamt wurde 18.662 kWh elektrische Energie verbraucht. Von den PV-Anlagen wurden in Summe 21.735 kWh geliefert. Davon wurden 12.810 kWh von der PV-Anlage direkt in das EVU-Netz eingespeist.

Gesamtstromverbrauch: 18.662 kWh/a

Gesamtstromverbrauch spez.: 39,96 kWh/m²_{BGFa}

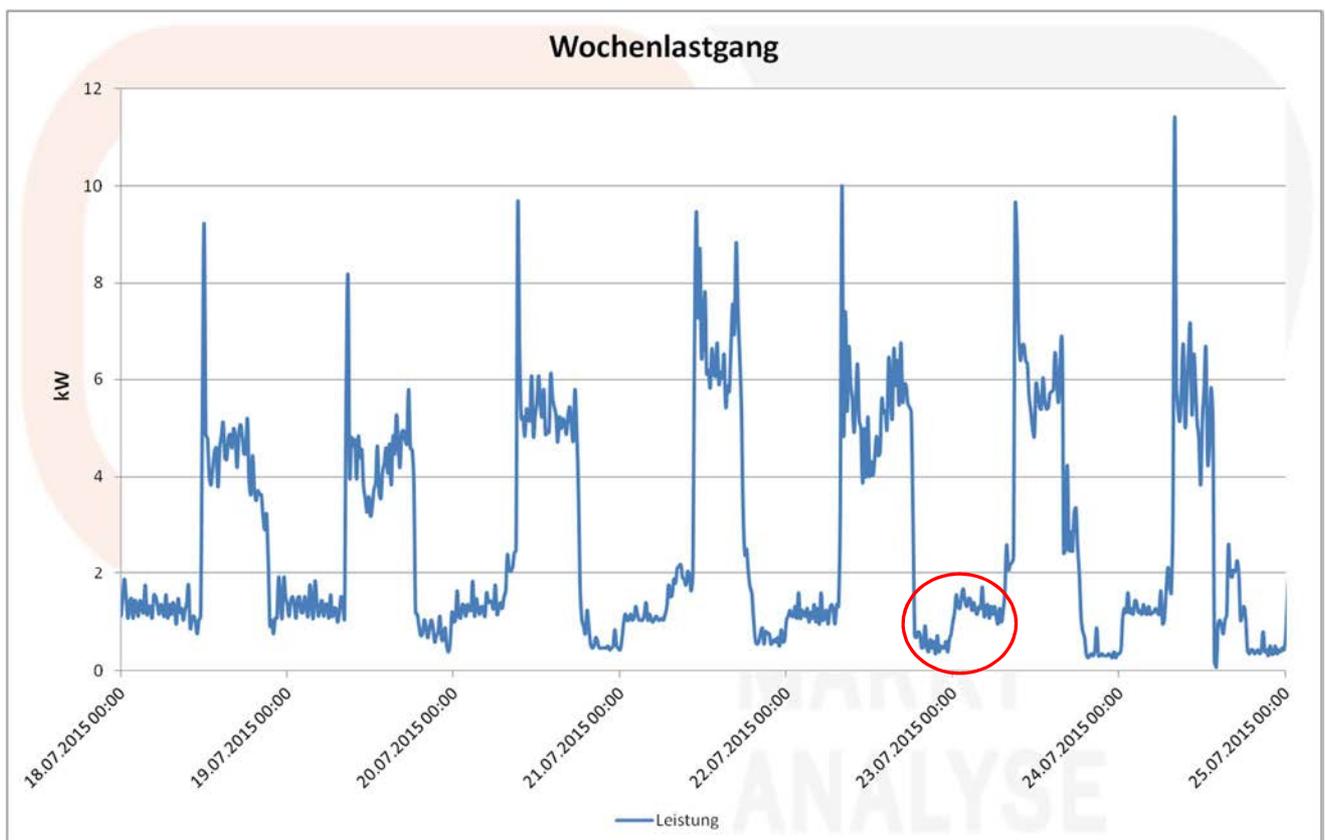


Abbildung 23: Wochenlastgang Gesamtstromverbrauch

Auffällig sind die unterschiedlichen Grundlasten in den Nachtstunden und das Einschalten eines Verbrauchers, wie die Lüftungsanlage im Seminarraum, gegen Mitternacht.

Fazit:

Es sollten die unterschiedlichen Verbrauchsstrukturen in den Nachtstunden überprüft und die Verbraucher, welche sich wie die Lüftungsanlagen für den Seminarbereich speziell um Mitternacht einschalten, evaluiert werden.

Anmerkung Gebäudeeigentümer:

Die Betriebszeiten der Lüftungsanlagen werden überprüft und geändert.

Photovoltaik-Anlage

Die große PV-Anlage hat eine Gesamtleistung von 20 kWp und die kleine 2,5 kWp. Beide lieferten im Betrachtungszeitraum für den Standort typische Ertragswerte.

Große PV-Anlage (20kWp):

Stromertrag: 19.851 kWh/a

Stromertrag spezifisch: 992,55 kWh/kWp

Kleine PV-Anlage (2,5kWp):

Stromertrag: 1.884 kWh/a

Stromertrag spezifisch: 754 kWh/kWp

Anmerkung Gebäudeeigentümer:

Der Minderertrag der kleinen PV-Anlage resultiert aus einer Verschattung eines großen Baumes vom Nachbargrundstück im Frühjahr und Herbst.

Lüftungsanlage

In Summe wurde von allen fünf dezentralen Anlagen für den Betrachtungszeitraum 1.092 kWh Strom verbraucht. Die Lüftungsanlage für das Büro läuft Montag bis Freitag von jeweils 7 bis 18 Uhr, jedoch auch an Feiertagen. In der Abbildung 24 ist zu sehen, dass die beiden Lüftungsanlagen für den Seminarbereich in den Sommermonaten bereits ab Mitternacht laufen, jedoch nicht mit regelmäßigen Betriebszeiten.

Stromverbrauch Lüftungsanlage: 1.092 kWh/a
Anteil am Gesamtstromverbrauch: 6 %

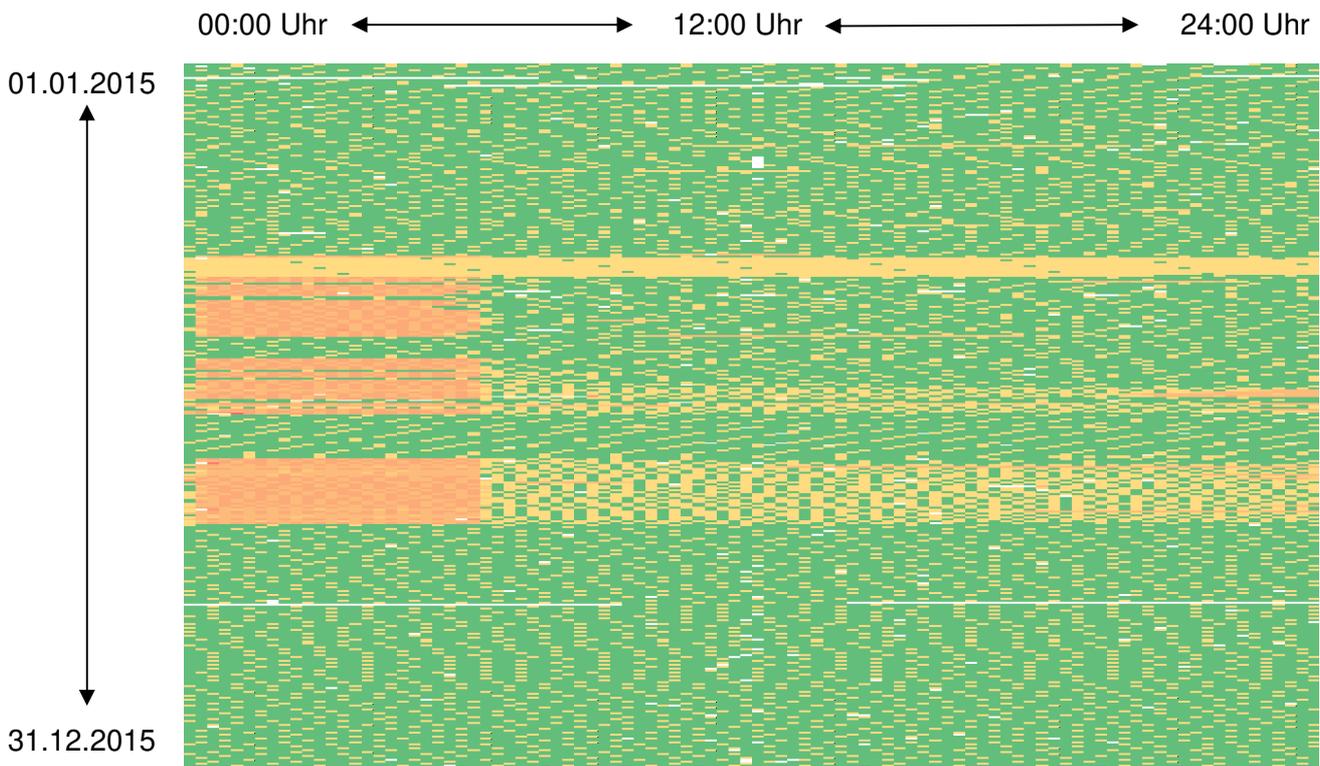


Abbildung 24: Carpetplot Lüftung Seminar

Fazit:

Die Lüftungsanlagen im Büro und den WC-Anlagen laufen auch an Feiertagen. Durch eine Optimierung der Betriebszeiten der Lüftungsanlagen könnte der Stromverbrauch reduziert werden. Die Betriebszeiten der Seminarlüftungsanlagen sollten überprüft werden.

Anmerkung Gebäudeeigentümer:

Die Betriebszeiten der Lüftungsanlagen werden überprüft und geändert.

Beleuchtung

Stromverbrauch Beleuchtung:	1.624 kWh/a
Davon: Mo-Fr zwischen 6-20 Uhr	1.132 kWh/a
Außerhalb der Betriebszeiten und an Wochenenden	492 kWh/a
Anteil am Gesamtstromverbrauch:	9 %

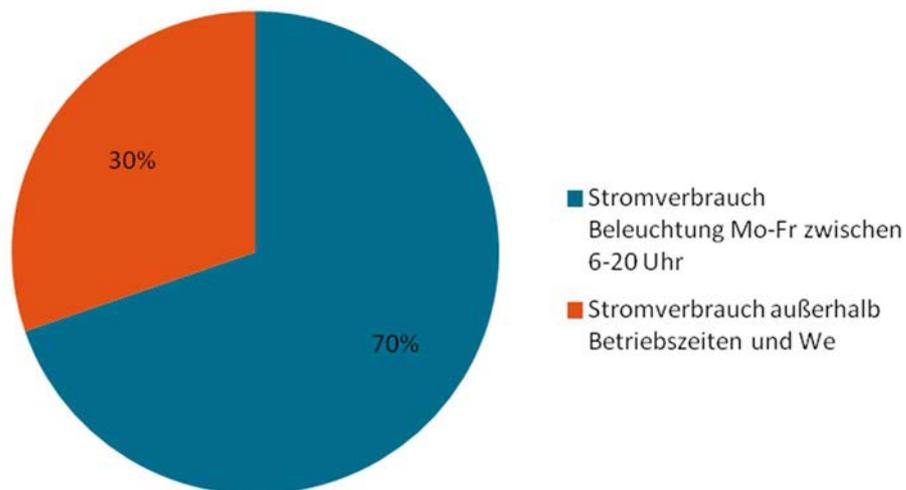
Stromverbrauch Beleuchtung

Abbildung 25: Verteilung Stromverbrauch Beleuchtung

Fazit:

Es ist der erhöhte Stromverbrauch für Beleuchtung außerhalb der Betriebszeiten und an Wochenenden zu hinterfragen.

Anmerkung Gebäudeeigentümer:

Der erhöhte Stromverbrauch resultiert zum einen von 10 Fluchtwegsbeleuchtungen, welche gesetzlich vorgeschrieben sind. Dies sind 10 Zumtobel LED Leuchten à 4,5 Watt die 24 Stunden 365 Tage in Betrieb sein müssen. Der Wochenendverbrauch liegt an der wöchentlichen Grundreinigung des Objektes, vorwiegend Samstag morgens, wo es im Herbst und Winter noch dunkel ist.

9.2.4.5 Behaglichkeit

Um die Behaglichkeit in den Räumlichkeiten analysieren zu können wurden auch Raumlufttemperaturen, relative Luftfeuchten und CO₂-Werte gemessen.

CO₂ in ppm:

Die CO₂ Werte in den Referenzräumen steigen meist nicht um mehr als 400ppm an. Jedoch scheinen einige Messwerte nicht plausibel auf Grund von scheinbar nicht parametrisierten CO₂ Sensoren. Wie in Abbildung 26 zu erkennen ist, haben die drei Kurven einen ähnlichen Verlauf, aber jeweils eine unterschiedliche Ausgangsbasis. Ein durchschnittlicher Ausgangswert liegt etwa bei 400ppm, welcher ein typischer Wert für die Konzentration in der Außenluft ist.

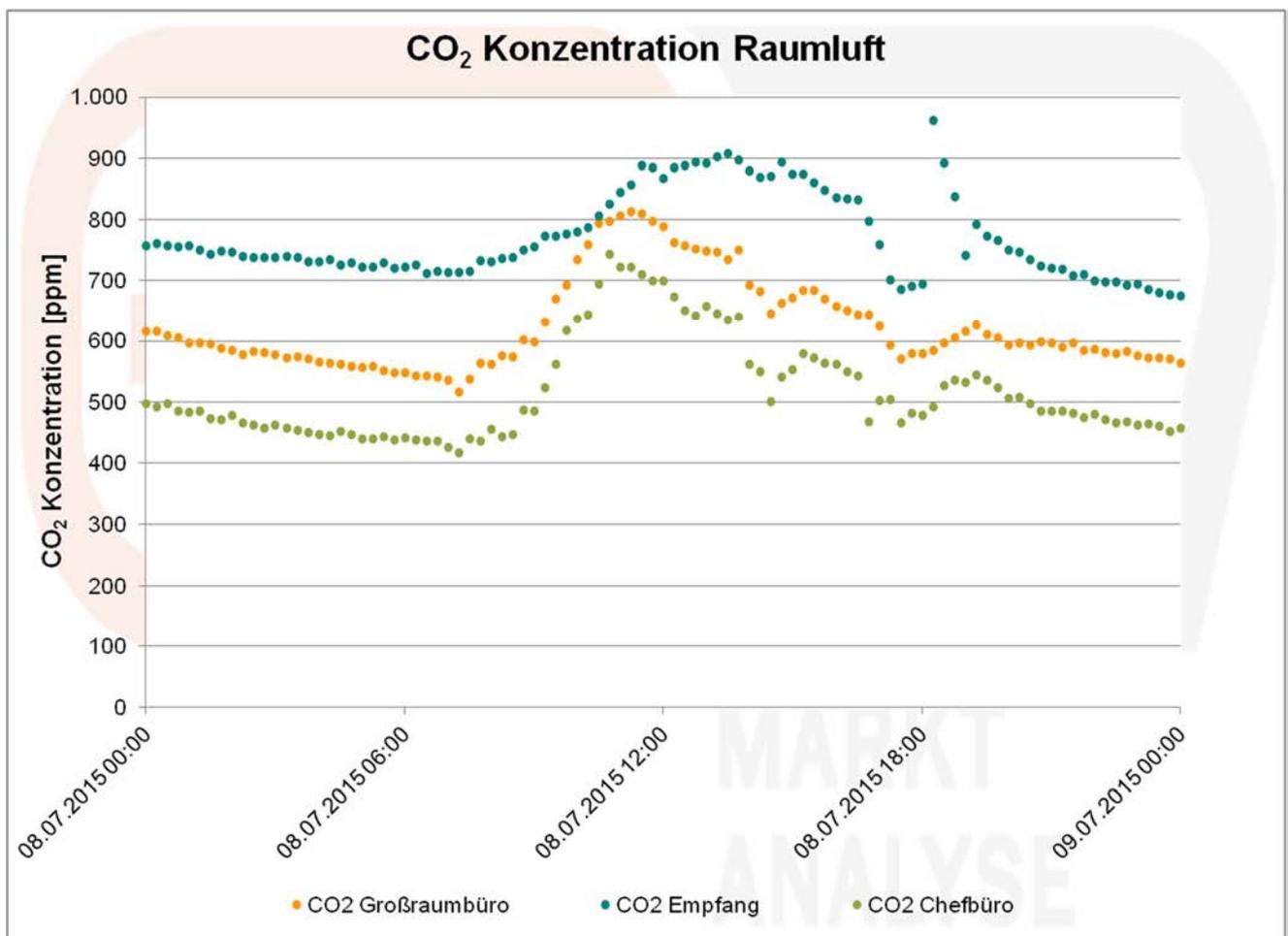


Abbildung 26: Tagesverlauf der CO₂-Konzentration in den Referenzräumen

Relative Luftfeuchtigkeit:

Die Messungen für das Büro zeigen, dass die Werte durchwegs in der Behaglichkeitszone (innerhalb der blauen Linien) liegen. Nur in den Sommermonaten stieg die relative Luftfeuchte bis zu 70% an.

Anmerkung Gebäudeeigentümer:

Der Anstieg der rel. Luftfeuchtigkeit im Sommerbetrieb resultiert daraus, dass vorwiegend über die Fußbodenheizung gekühlt wird und die Fancoils (mit Entfeuchtung) nur minimal verwendet werden.

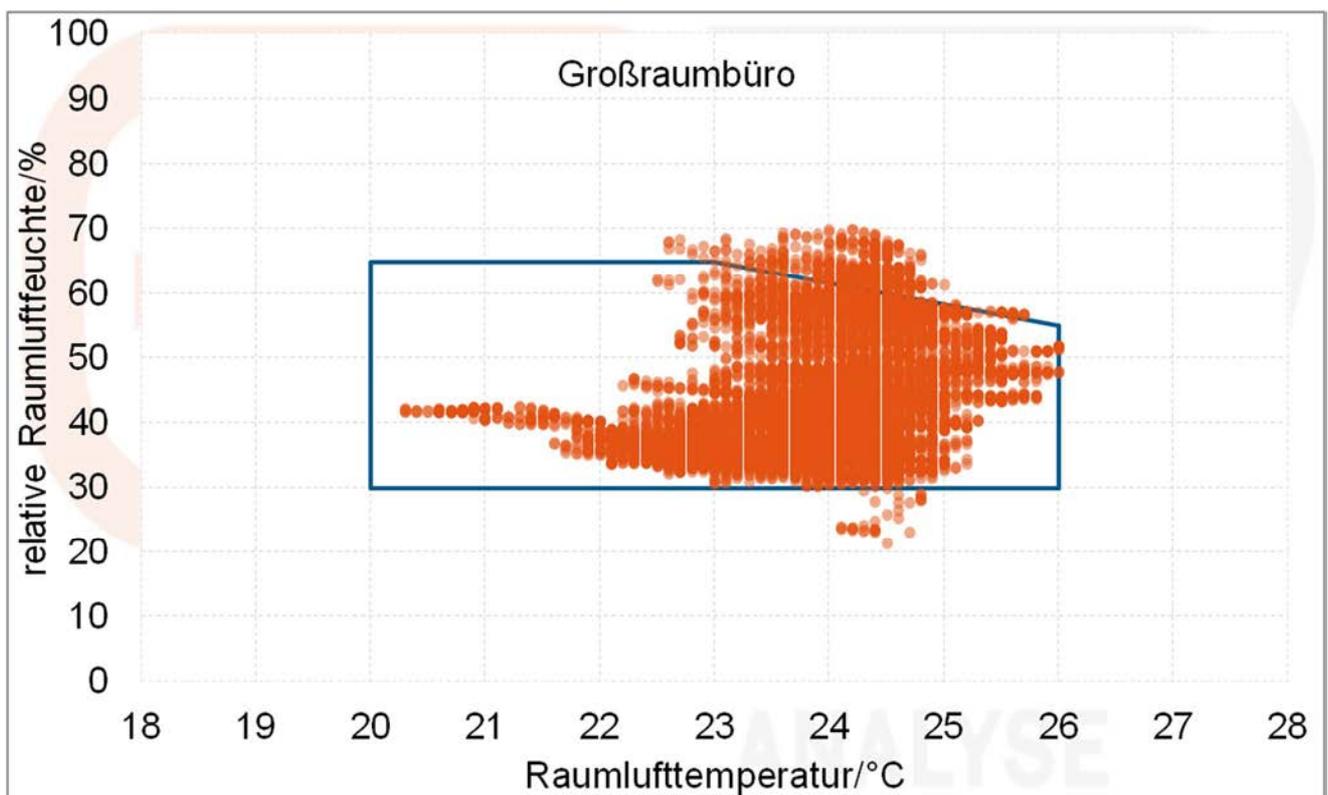


Abbildung 27: Komfortdiagramm: Behaglichkeit Raumlufttemperatur zu Raumluftfeuchte

Raumlufttemperaturen:

Abbildung 28 zeigt das Komfortdiagramm¹⁴ für das Großraumbüro im Gebäude. Die Messwerte liegen zum Größten Teil alle innerhalb des Komfortbereichs. Die Diagramme für den Empfang und das Chefbüro sehen ähnlich aus.

¹⁴ Erklärung Diagramm: In dieser Darstellung sollten möglichst alle Datenpunkte innerhalb der grünen Zone sein. Dieser Bereich kennzeichnet den Bereich mit Raumluftzuständen, die von den meisten Menschen als angenehm und komfortabel

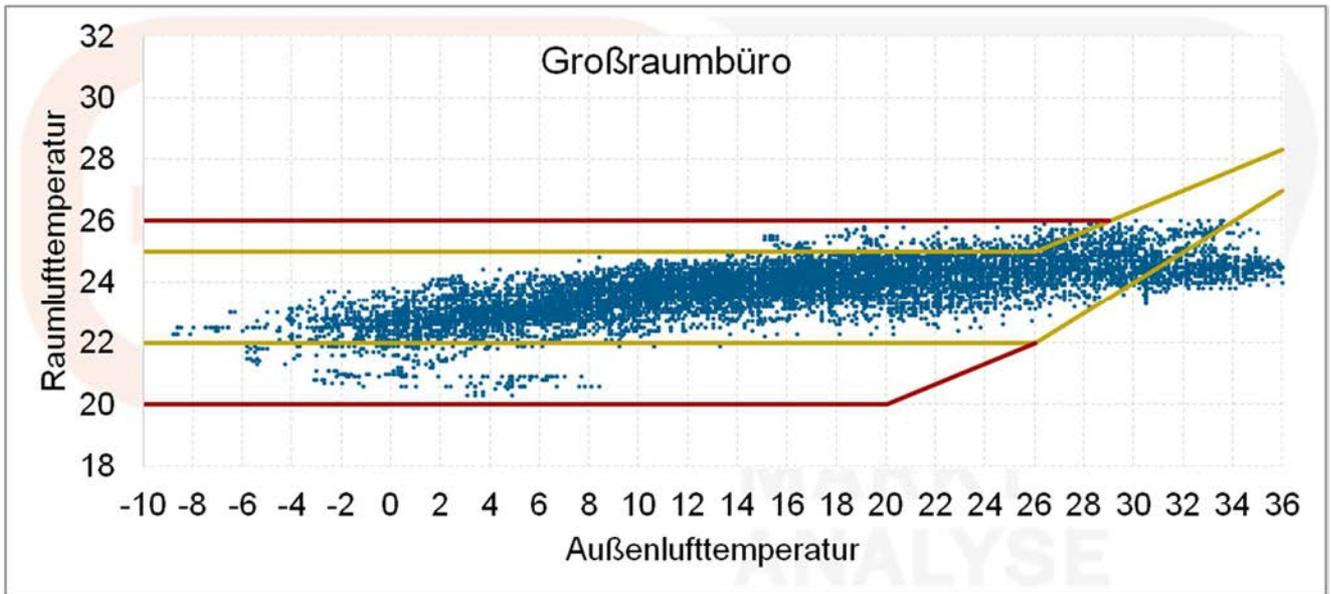


Abbildung 28: Komfortdiagramm: Behaglichkeit Raumlufttemperatur zu Außenlufttemperatur

bezeichnet werden. Davon abweichend ist die Raumlufttemperatur in Abhängigkeit zur Außenlufttemperatur entweder zu kalt/zu warm. Es werden nur die Werte an Wochentagen zwischen 7:00 und 20:00 Uhr dargestellt.

9.3 Gästehaus Maier, Mautern Stmk

Allgemeine Projektbeschreibung

Das Gästehaus ist ein Nebengebäude des Familiengasthofs Maier in Mautern in der Steiermark und wurde um 1658 errichtet. Aufgrund des nicht mehr zeitgemäßen Komfort- und Effizienzniveaus wurde das Gästehaus umfassend saniert.

Ziel war die Erhaltung der Gebäudesubstanz bei gleichzeitiger Verbesserung des Nutzungskomforts und Reduktion der Betriebskosten. Es sollte ein Vorzeigeobjekt hinsichtlich Energieeffizienz, Nutzung erneuerbarer Energiequellen und ein Gebäude mit höchstem Komfort in einer von Abwanderung betroffenen Region geschaffen werden. Ziel war die Errichtung eines Plusenergiegebäudes.

Die Dämmung der Gebäudehülle erfolgte überwiegend mit ökologischen Dämmstoffen. Das Gebäude wurde mit einer Raumluftheizungsanlage mit 85 % Wärmerückgewinnungsgrad ausgestattet. Die Wärmeversorgung erfolgt über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe. Die Heizungsverteilung erfolgt über Radiatoren zur Grundlastabdeckung sowie Heizregister in den Lüftungsanlagen zur Spitzenlastabdeckung. Eine aktive Kühlung ist nicht erforderlich. Eine freie Nachtkühlung ist möglich.

Das Beleuchtungssystem wurde durch den Einsatz von LED-Leuchten optimiert. Eine 22 m² große Solarthermieanlage unterstützt die Wärmeversorgung des Gebäudes. Die 80 m² große Photovoltaikanlage mit einer Peakleistung von 12 kW produziert den Strom für den Eigenbedarf.

Ausgangszustand:

<i>Eigentümer/ Betreiber</i>	<i>Gerhard Maier</i>
<i>Ansprechpartner / Kontaktpersonen</i>	<i>Gerhard Maier</i>
<i>Standort</i>	<i>A-8774 Mautern, Hauptstraße 2</i>
<i>Gebäudetyp</i>	<i>Gästehaus</i>
<i>Errichtungsjahr Bestandsgebäude</i>	<i>1658</i>
<i>Größe (BGF)</i>	<i>361 m² vor Sanierung</i>
	<i>361 m² nach Sanierung</i>

9.3.1 Sanierungsmaßnahmen

9.3.1.1 Gebäudehülle

Die Fassade des Gebäudes wurde mit 24 cm Mineralschaumplatten gedämmt. Ein U-Wert von 0,16 W/m²K wird damit erreicht. Die Holz-Alu-Wärmeschutzfenster mit 3-Scheiben-Verglasung weisen

einen U-Wert von durchschnittlich 0,90 W/m²K auf. Die Kellerdecke wurde mit 8 cm EPS gedämmt und erreicht einen U-Wert von 0,28 W/m²K. Eine Perimeterdämmung mit 20 cm XPS wurde ausgeführt und 7 cm EPS wurden auf dem Kellerfußboden verlegt. Teile der obersten Geschoßdecke zum Dachraum und der Dachschräge waren bereits mit 12 bzw. mit 5 cm EPS-Platten gedämmt. Die oberste Geschoßdecke wurde mit 30 cm Zelloosedämmung und die Dachschräge mit 30 cm Holzweichfaserplatten als Zwischensparrendämmung gedämmt (U-Wert 0,12 bzw. 0,18 W/m²K).

9.3.1.2 Gebäudetechnik

Heizen, Kühlen, Lüften, Warmwasser

Das Gästehaus wird über die Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Wärme versorgt. Zusätzlich wurde eine Solarthermieanlage für die Warmwasserproduktion und Heizungsunterstützung installiert. Wärme wird mittels Radiatoren und Heizregister in der Lüftung in den Innenraum eingebracht. Die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sorgt für eine energieeffiziente Be- und Entlüftung des Gebäudes und Aufrechterhaltung einer guten Raumluftqualität. Die Warmwasserbereitstellung erfolgt über die Wärmepumpe und Solarthermieanlage.

Beleuchtung, Verschattungseinrichtungen

Die künstliche Beleuchtung des sanierten Gebäudes wird zur Gänze über LED-Leuchten bewerkstelligt. Außen liegende Raffstores reduzieren die Kühllast.

Photovoltaik, Solarthermie, sonstige Anlagen

Die Nutzung von Sonnenenergie erfolgt mittels einer 80 m² großen Photovoltaikanlage mit einer Peakleistung von 12 kW sowie einer Solarthermieanlage mit einer Größe von 24 m².

9.3.1.3 Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)

Tabelle 14 zeigt die im Energieausweis berechneten Werte des Heizwärmebedarfs des Gebäudes im Referenzklima vor und nach der Sanierung. Abbildung 29 stellt die im Rahmen der Mustersanierung erreichte Reduktion dar. Die Energieausweisberechnung weist eine Reduktion des HWB um 41,00 kWh/m³a (=88%) im Zuge der Sanierung aus.

Tabelle 14: Vergleich Energiekennzahlen vor und nach Sanierung

Heizwärmebedarf* lt. Energieausweis	
Vor Sanierung	Nach Sanierung
<i>kWh/m³a</i>	<i>kWh/m³a</i>
46,45	5,45

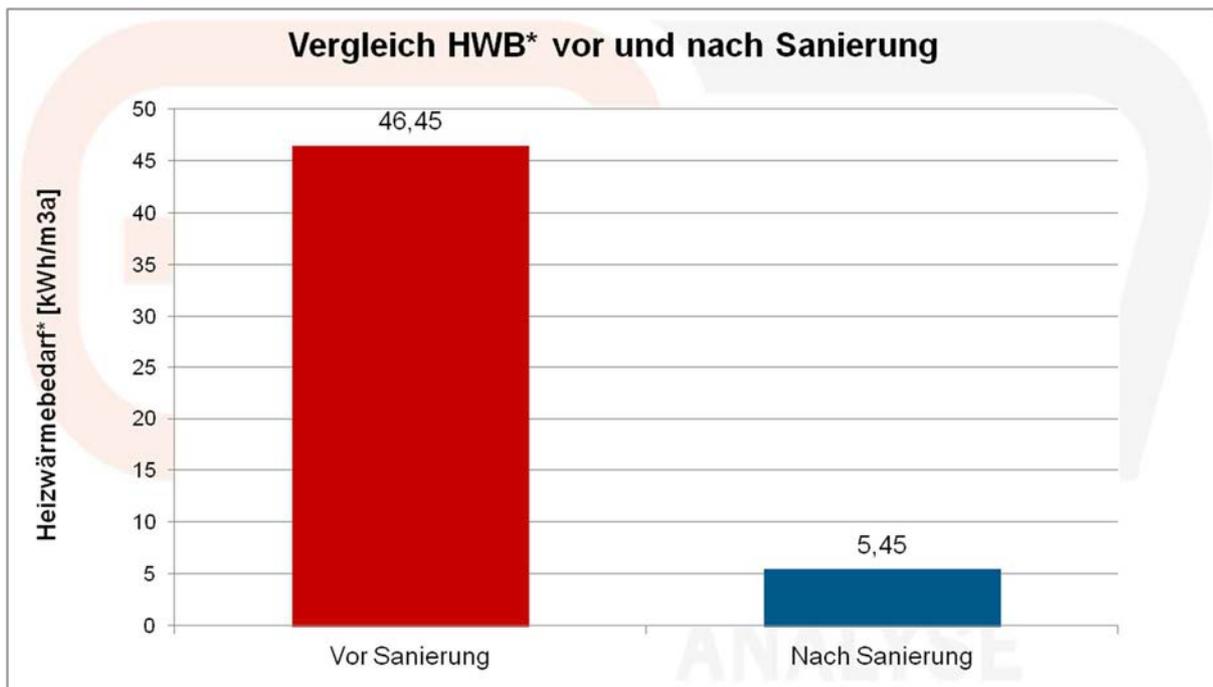


Abbildung 29: Gegenüberstellung HWB* vor und nach Sanierung

9.3.2 EVM-Schema

Um das Energieverbrauchsverhalten und die Komfortparameter des Gebäudes nach der Sanierung bewerten zu können wurde ein Monitoringsystem installiert. Dieses misst an relevanten Punkten in der Haustechnikanlage und im Gebäude Parameter wie zum Beispiel:

- Temperaturen
- Wärmemengen
- Stromverbrauch.

Das Monitoringsystem erfasst die Messwerte und Zählerstände eventgesteuert und speichert diese ab. Zur Auswertung für diesen Bericht wurden Daten aus dem Monitoringsystem im Zeitraum von 1.1.2014 bis 31.12.2014 herangezogen. Die Datenpunkte des EVM sind in Abbildung 30 dargestellt.

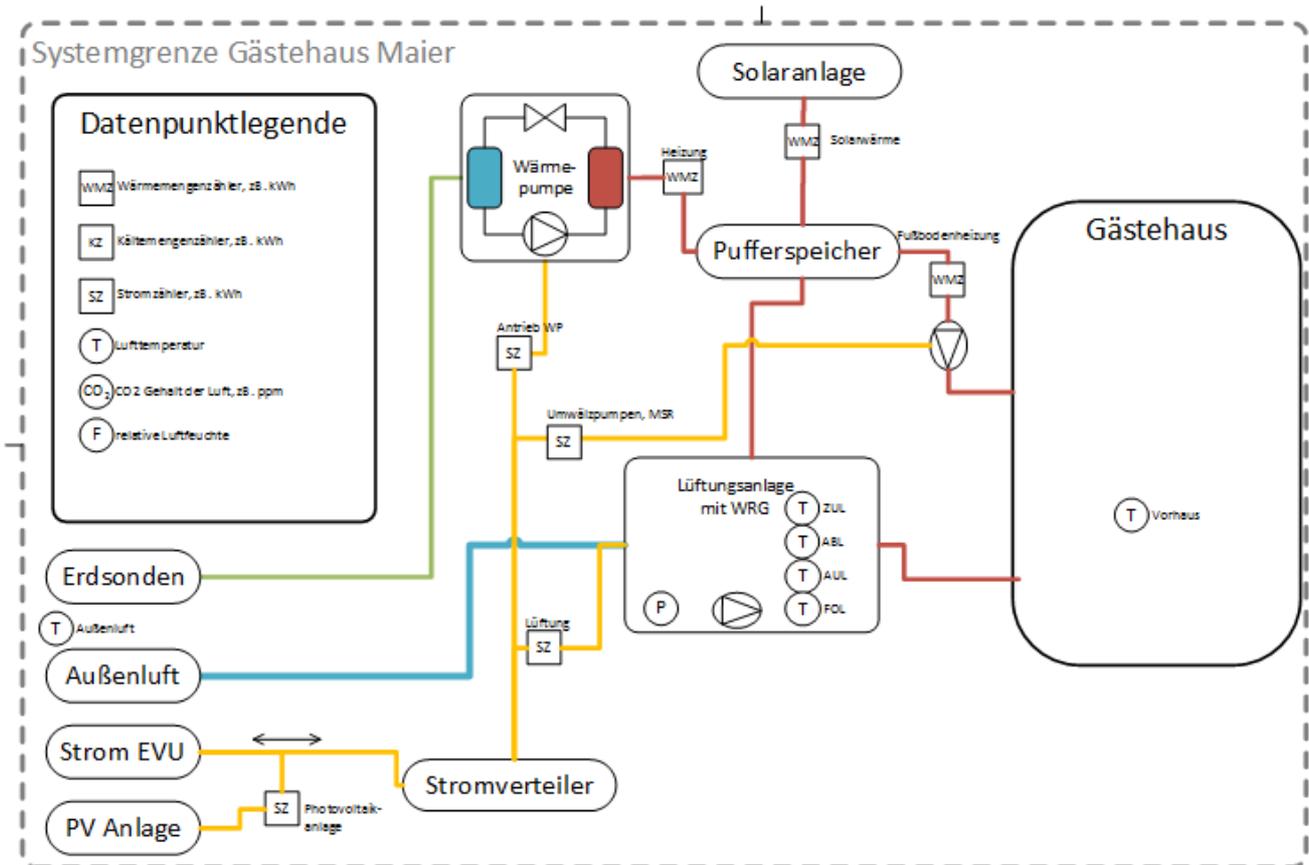


Abbildung 30: EVM-Schema mit Datenpunkten

9.3.3 Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung

Die folgenden CO₂-äquivalenten Emissionsergebnisse und Energieverbrauchsergebnisse, welche in Tabelle 15 und Tabelle 16 angegeben sind, basieren auf den Angaben der Einreichunterlagen vor der Sanierung und den gemessenen Werten durch das EVM nach der Sanierung sowie den CO₂ Faktoren aus der KPC-Förderberechnung. Nach der Sanierung ist der Wert für CO₂-äquivalente Emissionen bedingt durch das Heizen mit der mit Ökostrom versorgten Wärmepumpe null.

Tabelle 15: Berechnete, CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen

CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen¹⁵		
Vor Sanierung	Nach Sanierung	Nach Sanierung
Fördereinreichung	Energieausweis	EVM
<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>
37,31	0,00	0,00

Tabelle 16 zeigt den Vergleich des Heizwärmebedarfs im Referenzklima laut Energieausweis vor und nach der Sanierung mit dem tatsächlich gemessenen Heizwärmeverbrauch.¹⁶ Vergleicht man die beiden flächenspezifischen Werte des HWB, so wird für die Mustersanierung eine relative Reduktion von 93,0 % errechnet. Der im EVM ermittelte Wert nach der Sanierung (Spalte 3) repräsentiert die Nutzenergie für Wärme, welche von 2.488 Kd Heizgradtage im Jahr 2014 in Graz auf 3400 Kd Heizgradtage laut Referenzklima im Energieausweis bereinigt wurde. Vergleicht man den klimabereinigten Wert des Heizwärmeverbrauchs qualitativ mit dem HWB-Wert vor der Sanierung, so beträgt die relative Reduktion 80 %. Diese Vergleiche veranschaulichen die Wirksamkeit der Mustersanierung deutlich. Ein Vergleich von realen Verbrauchswerten vor und nach der Sanierung ist in diesem Fall nicht möglich, da keine Verbrauchswerte vor der Sanierung vorhanden sind.

Tabelle 16: Vergleich Nutzenergie Heizen vor und nach Sanierung

Vergleich Heizwärmebedarf zu Heizwärmeverbrauch		
Vor Sanierung	Nach Sanierung	Nach Sanierung
HWB Energieausweis	HWB Energieausweis	EVM
<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>
154,82	10,57	30,38 ¹⁷

¹⁵ Die Daten der berechneten CO₂-äquivalenten Emissionen vor und nach Sanierung stammen aus den Unterlagen der Fördereinreichung, da zu diesem Zeitpunkt CO₂ nicht im EAW berechnet wurde (Versionen der OIB Richtlinie 6 vor 2011). Wenn biogene Energieträger eingespart werden, wird fiktiv ein fossiler Brennstoff (Heizöl) zur Bestimmung der CO₂-Einsparung gegengerechnet, da hier die eingesparten erneuerbaren Energieträger für andere Objekte mit fossilen Energieträgern genutzt werden können.

¹⁶ Die Vergleichbarkeit des im Energieausweis berechneten Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs (HWB und KB) einer thermischen Gebäudezone mit gemessenen Wärmemengen ist aus mehreren Gründen nicht direkt gegeben. Einerseits sind die berechneten Werte für das Gebäude vor und nach der Sanierung gute Anhaltspunkte um die Verbesserung der thermischen Qualitäten des Objektes zu bewerten. Andererseits sind die gemessenen Werte stark vom tatsächlichen Wetter und Benutzerverhalten im jeweiligen Messzeitraum abhängig. Daher ergibt sich aufgrund der Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen Messzeitraum und der theoretischen Berechnungsgrundlagen eine große Unsicherheit bezüglich der Vergleichbarkeit von Kennwerten zwischen Messung und Berechnung. Darüber hinaus sind HWB und KB theoretische Bedarfsgrößen einer thermischen Zone ohne messbaren Charakter. Gemessene Wärmemengen hingegen sind lokale zuordenbare Größen im Energieverteilsystem.

¹⁷ Gemessene Wärmeabgabe (Abgegebene Wärmemenge an Fußbodenheizung), klimabereinigt

Anteil erneuerbarer Energieträger am Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes

100% des Gesamtenergieverbrauchs wurden durch erneuerbare Energieträger gedeckt.

Fazit

Der Strombedarf wird zu 59 Prozent aus der eigenen Photovoltaikanlage und zu 41 Prozent aus Ökostrom gedeckt. Dadurch entstehen beim Projekt Gästehaus Maier keine CO₂-Emissionen.

9.3.4 Detailergebnisse Energieverbrauchsmonitoring

9.3.4.1 Zusammenfassung

Das Monitoringsystem des Gästehauses Maier erfasst Stromverbräuche mehrerer Zähler, Wärmemengen der Wärmepumpe und Solarthermieanlage sowie Temperaturen der Luftströme der Lüftungsanlage und des Vorhauses. Die ausgewerteten Daten umfassen den Zeitraum von 01.01.2014 bis 31.12.2014. Bei den Temperaturen standen Stundenwerte, bei den Verbrauchswerten allerdings nur Tagessummen aus der eventgesteuerten Erfassung zur Verfügung.

Die Heizwärme wird über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe bereitgestellt. Der Betrieb der Wärmepumpe entspricht den Anforderungen im Gebäude. Die bereitgestellte Wärmemenge für die Heizung ist generell niedrig und nachvollziehbar und entspricht der thermischen Gebäudequalität. Der Anteil der Solarthermieanlage zur Heizungsunterstützung wird nicht separat erfasst.

Über die Fußbodenheizung wird auch im Juni Wärme an das Heizungssystem geliefert. Die über das Heizregister der Lüftung abgegebene Wärmemenge wird nicht separat erfasst und kann daher nicht beurteilt werden. Eine Optimierung der Betriebszeiten der Heizung wird empfohlen. Eine Kühlung ist im Gebäude nicht vorhanden.

Die Stromverbräuche wurden nur einmal pro Tag aufgezeichnet. Eine Auswertung des Stromverbrauchsprofils ist daher nicht möglich. Da im Monitoringsystem nicht alle Verbraucher einzeln gemessen werden und die Abrechnungszeiträume des Gesamtstromverbrauchs (aus der Abrechnung des Energieversorgers) nicht mit dem Betrachtungszeitraum des Monitorings übereinstimmen, ist eine Analyse des Gesamtstromverbrauchs nur auf Basis einer Extrapolation möglich. Die vorhandenen Stromverbrauchsdaten sind unauffällig. Die Photovoltaikanlage liefert rund 59 Prozent des Gesamtstromverbrauchs. Die Regelung der Lüftungsanlage konnte auf Basis der vorhandenen Daten nicht beurteilt werden.

Die Behaglichkeit konnte nur zum Teil beurteilt werden, da relative Feuchte und CO₂-Konzentration der Luftvolumenströme nicht erfasst werden. Die Temperaturmessungen zeigen in weiten Bereichen zu geringe Temperaturen und damit einen mangelnden Innenraumluftkomfort an. Da es von Seiten des Gebäudeeigentümers keine Beanstandungen hinsichtlich Raumluftkomfort gibt, ist von fehlerhaften Messdaten oder einer falschen Platzierung der Sensoren auszugehen.

9.3.4.2 Energieflussbild

Da der tatsächliche Gesamtstromverbrauch des Betrachtungszeitraumes 2014 nicht erfasst wurde und aus der Abrechnung des Energieversorgers nicht ableitbar ist, kann kein Energieflussdiagramm erstellt werden.

9.3.4.3 Heizwärmeverbrauch

- Gemessene Heizenergieerzeugung Wärmepumpe (1.1.2014 – 31.12.2014): 6.250,60 kWh
- Ertrag Solarthermie (1.1.2014 – 31.12.2014): 8.366,70 kWh

Der gesamte Heizenergieverbrauch ergibt sich aus der gemessenen Wärmeerzeugung aus der Sole-Wasser-Wärmepumpe, die an den Heizungspuffer geliefert wird, und dem Ertrag der thermischen Solaranlage. Der Ertrag der Solaranlage wird sowohl für Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung verwendet. Eine Zuordnung der Wärmemengen ist nicht möglich.

Eine Heizgradtagsbereinigung der erzeugten Heizwärme wurde auf Basis des 30-jährigen Mittels der Klimadaten für Graz durchgeführt. Die klimabereinigten Daten stellen die erzeugte Wärmemenge umgerechnet auf die Temperaturen eines durchschnittlichen Jahres dar.

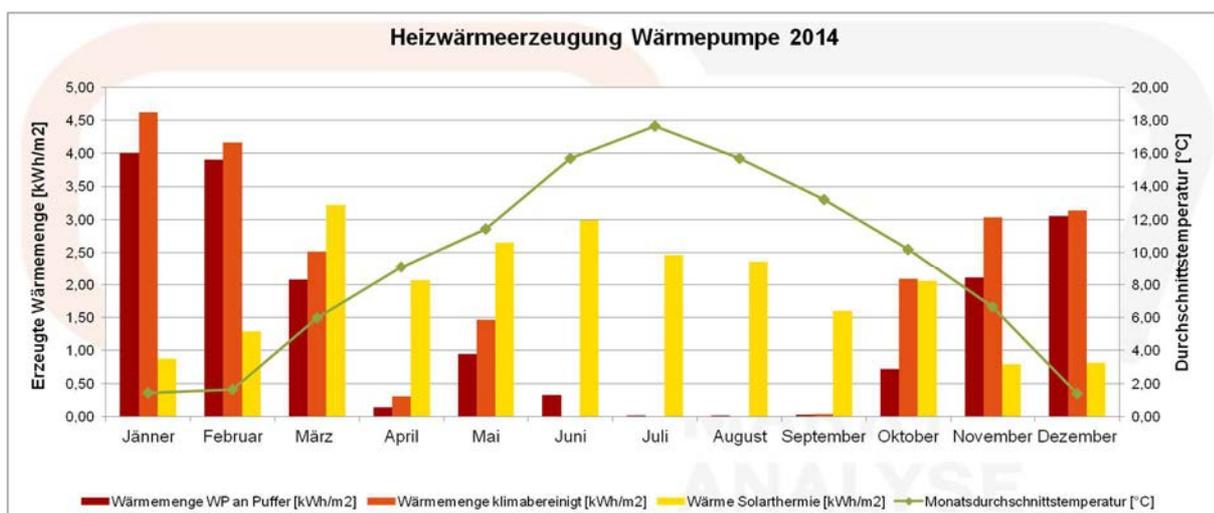


Abbildung 31: Erzeugte Wärmemenge der Wärmepumpe an Puffer und Solarthermie in kWh/m², 2014, gemessen und klimabereinigt

Auffälligkeiten:

- Die tatsächlich bereitgestellte Wärmemenge durch die Wärmepumpe stimmt gut mit den klimabereinigten Wärmemengen überein. Es handelte sich also um ein sehr typisches Jahr.
- Interessant ist, dass auch im Juni Wärme an den Heizungspuffer geliefert wird.
- Der höhere Verbrauch im Mai korreliert mit dem leichten Einbruch der Durchschnittstemperatur.
- Die gelieferte Wärmemenge an den Heizungspuffer ist als relativ niedrig zu bewerten und stimmt gut mit der thermischen Gebäudequalität überein.
- Der Anteil für die Heizungsunterstützung, der von der Solaranlage geliefert wird, wird nicht separat erfasst. Die Grafik zeigt allerdings, dass auch in den Wintermonaten eine nicht zu vernachlässigende Wärmemenge von der Solaranlage bereitgestellt wird.

Abbildung 32 stellt den Wärmeverbrauch über das Jahr 2014 zeitlich dar, wobei rote Felder hohe Verbräuche und grüne Felder keine Verbräuche darstellen. Auf der x-Achse ist der zeitliche Verlauf von 0 bis 24 Uhr und auf der y-Achse das Datum von 1.1.2014 bis 31.12.2014 dargestellt. Da es sich bei Monitoringsystem um eine eventgesteuerte Aufzeichnung handelt, werden nur jene Messpunkte erfasst, in denen tatsächlich eine Leistungsaufnahme erfolgt. Die Zeiten, in denen keine Leistung von der Wärmepumpe aufgenommen wird, bleiben leer und werden nicht vom System erfasst. Anhand der Daten ist zu erkennen, dass die Wärmepumpe in der Heizperiode verstärkt in den Nachtstunden in Betrieb ist (orange Felder), während im Sommer vor allem in den frühen Morgenstunden und am Abend Leistung für die Warmwasserbereitung bezogen wird (rote Felder). Die Heizperiode dauert von Ende Oktober bis Ende April.

Auffälligkeiten

- Der Heizungsbetrieb dauert bis Ende April 2014 und beginnt wieder Ende Oktober 2014, vorwiegend in den Nachtstunden.
- In den Sommermonaten bezieht die Wärmepumpe Leistung für die Warmwasserbereitung vor allem in den frühen Morgenstunden zwischen 05:00 und 11:00 Uhr und abends ab ca. 18:00 Uhr.
- Die maximale Leistungsaufnahme betrug 37,91 kW.
- Die aufgenommene Leistung für die Warmwasserbereitung ist etwa 5 kW höher (rote Felder) als für die durchschnittliche Heizwärmebereitstellung.

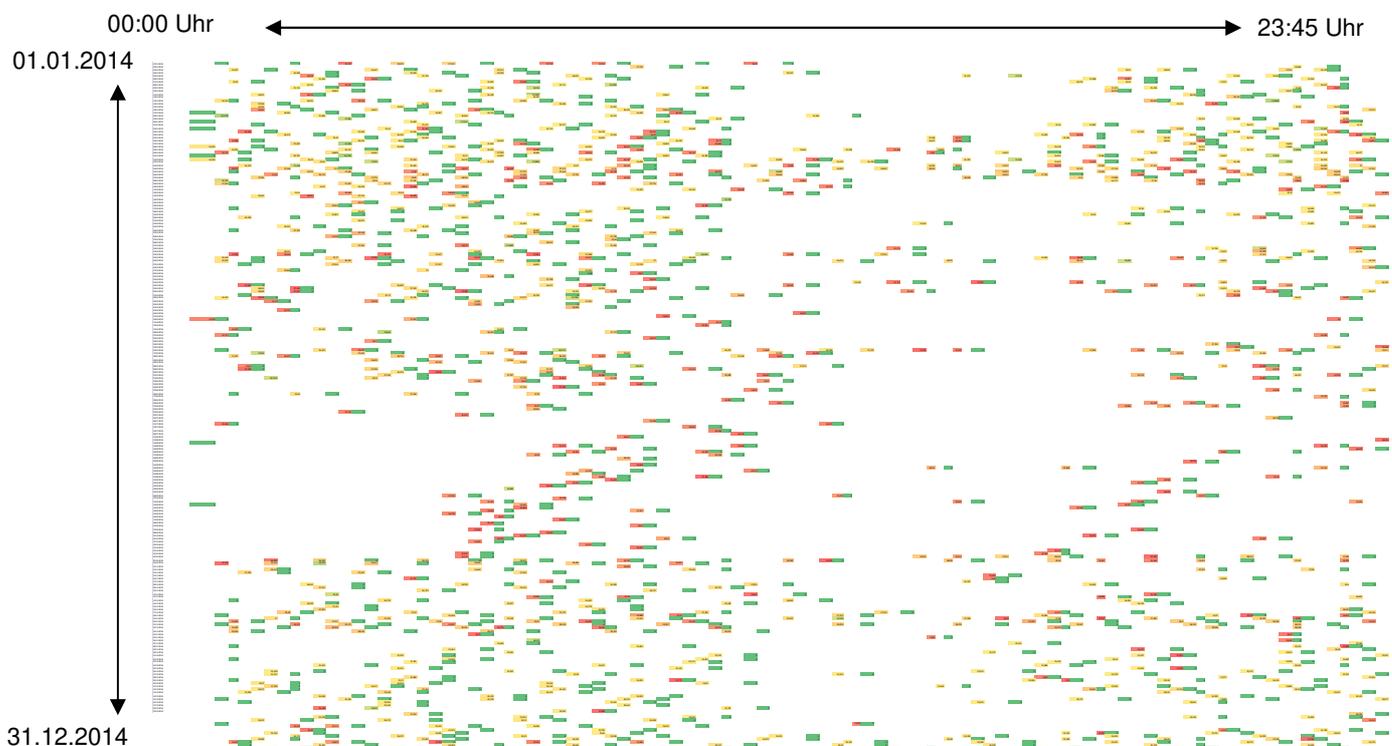


Abbildung 32: Betriebszeiten der Wärmepumpe, 2014

Fazit

Der Betrieb der Wärmepumpe entspricht den Anforderungen im Gebäude. Die bereitgestellte Wärmemenge für Heizung und Warmwasser ist generell niedrig und nachvollziehbar.

Wärmeabgabe

Gemessene Wärmeabgabe(1.1.2014 – 31.12.2014):

- | | |
|--|---------------|
| ▪ Gemessener Heizenergieverbrauch FBH | 8.755,60 kWh |
| ▪ Heizenergieverbrauch Lüftungsregister | nicht erfasst |
| ▪ Differenz Heizwärmeerzeugung WP und Heizenergieverbrauch FBH | -2.505,00 kWh |

Das Heizregister der Lüftung wird nicht separat erfasst. Eine Information über die gesamte Heizwärmeverteilung (Fußbodenheizung und Lüftung) ist daher nicht möglich. Auf Basis anderer Objekte ist aber davon auszugehen, dass die Wärmeabgabe über die Lüftung vernachlässigbar gering ist.

Ein weiterer kritischer Aspekt bei der Beurteilung des Heizenergieverbrauchs ist der Anteil der thermischen Solaranlage an der Heizenergie. Da der Ertrag der Solaranlage nur gesamt erfasst wird (Heizungsunterstützung und Warmwasserproduktion, siehe orange Säulen in Abbildung 33), kann die gesamte bereitgestellte Wärmemenge für die Heizung nicht ermittelt werden. Die Differenz zwischen abgegebener Wärmemenge und der bereitgestellten Wärme durch die Wärmepumpe wird in Abbildung 33 dargestellt und ist zur Gänze der thermischen Solaranlage zuzurechnen. Die grauen Säulen stellen die Wärmebereitstellung durch die Wärmepumpe dar und die orangen Säulen sind die monatlichen Gesamterträge der thermischen Solaranlage. Der Beitrag der Solaranlage zur Heizwärme beträgt zumindest 2.505 kWh.

Auffälligkeiten:

- Von März bis Oktober liefert die Solaranlage große Wärmemengen, die für die Warmwassererzeugung genutzt werden können.
- Interessant ist, dass im Dezember geringfügig mehr Wärme über die Fußbodenheizung abgegeben wurde, als über die Wärmepumpe UND Solarthermie bereitgestellt wurde (insgesamt 40 kWh). Möglicherweise handelt es sich hierbei um gespeicherte Restwärme aus dem Pufferspeicher.

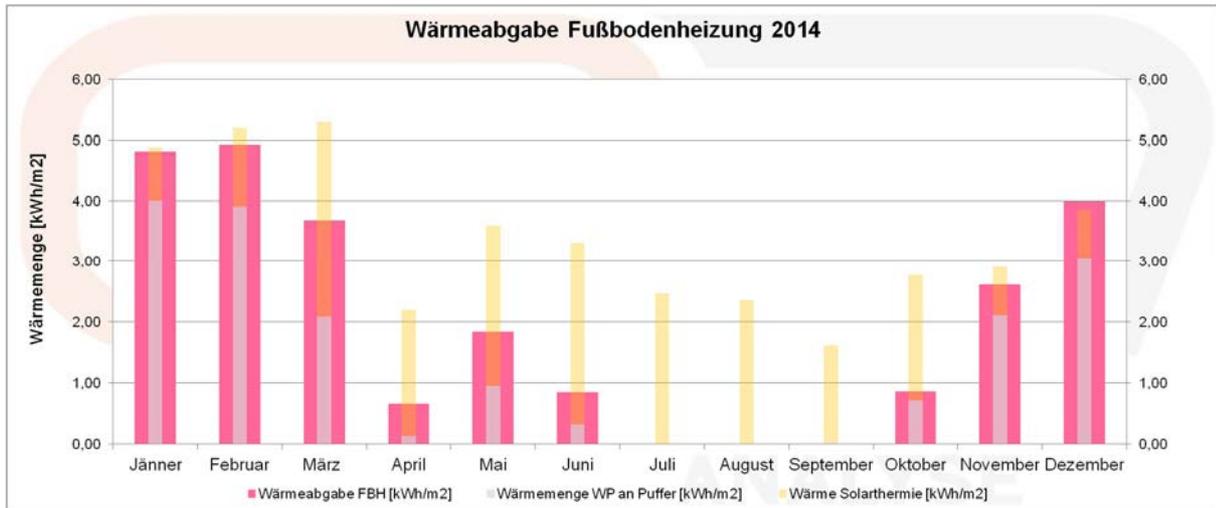


Abbildung 33: Wärmeabgabe über Fußbodenheizung, 2014

Fazit

Die Heizungsregelung sollte insofern optimiert werden, als im Juni ein Heizbetrieb nicht erforderlich ist. Da das Heizregister der Lüftung nicht erfasst ist, konnte die Wärmeabgabe über die Lüftung nicht beurteilt werden.

Die Differenz zwischen abgegebener Wärmemenge über die Fußbodenheizung und die bereitgestellte Wärmemenge durch die Wärmepumpe ist beträchtlich. Die Solarthermieanlage liefert in der Heizperiode mindestens 2.505 kWh.

9.3.4.4 Stromverbrauch

Unabhängig vom Messsystem wurde der Jahresstromverbrauch des Gästehauses mittels der Energieabrechnung eruiert. Die Daten daraus sind für die Jahre 2013 bis 2015 in Tabelle 17 angeführt. Der gemessene Stromverbrauch im Jahr 2014 betrug 3.679 kWh, jedoch ohne Allgemeinstrom. Zwischen dem vom Monitoringsystem erfassten Stromverbrauch und dem vom Zähler erfassten Wert liegt eine Diskrepanz aufgrund der fehlenden Daten für Allgemeinstrom vor.

Der Gesamtstromverbrauch wird nicht vom Monitoringsystem erfasst. Auf Basis der Stromerzeugungsdaten der Photovoltaik und der Abrechnung durch den Energieversorger wurde auf den Gesamtstromverbrauch zurück gerechnet. Es ergibt sich ein extrapolierter Gesamtverbrauch im Jahr 2014 von insgesamt 15.400 kWh.

Tabelle 17: Jahresstromverbrauch des Gästehauses (laut Abrechnung)

Jahr	Stromverbrauch (Zähler)	Stromverbrauch (Monitoring)
	<i>kWh/a</i>	<i>kWh/a</i>
2013-2014	8.751	3.417 ¹⁸
2014-2015	3.436	3.617

Fazit

Die Daten aus dem Monitoring und der Stromabrechnung durch den Energieversorger sind nicht miteinander vergleichbar, da die Betrachtungszeiträume nicht übereinstimmen und nicht alle Verbraucher bzw. Stromkreise vom Monitoringsystem erfasst werden. Eine detaillierte Analyse des Gesamtstromverbrauchs ist daher nicht möglich.

Die Stromverbräuche wurden nur einmal pro Tag aufgezeichnet. Eine Auswertung des Stromverbrauchsprofils ist daher nicht möglich.

Gesamtstromverbrauch

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch gesamt (extrapoliert) 15.400 kWh
- Ertrag Photovoltaik gemessen (1.1.2014 – 31.12.2014) 9.133 kWh

¹⁸ Gemessener Verbrauch enthält Daten von August 2013 bis Juni 2014. Nur Lüftung, Wärmepumpe und Umwälzpumpe, ohne Allgemeinstrom – Gesamtstromverbrauch wird vom Monitoring nicht erfasst.

Der Stromverbrauch gesamt ergibt sich aus der Summe des vom Energieversorger gelieferten Stromes und der Stromerzeugung aus der PV-Anlage im Jahr 2014. Es wurde jedoch nur der Gesamtertrag der PV-Anlage, nicht jedoch der eingespeiste Stromanteil, gemessen. Die Position Allgemeinstrom ist die Differenz zwischen gesamtem, errechnetem Stromverbrauch und gemessenem Stromverbrauch.

Auffälligkeiten:

- Der Gesamtstromverbrauch setzt sich zusammen aus den Zählerständen für die Wärmepumpe, die Umwälzpumpen, Lüftung und dem extrapolierten Allgemeinstrom.
- Der Stromverbrauch für Allgemeinstrom stellt dreiviertel des gesamten Stromverbrauchs dar und enthält Beleuchtung und Nutzerstrom und etwaige andere Verbraucher, die nicht bekannt sind.

Abbildung 34 zeigt den monatlichen spezifischen Stromverbrauch pro Quadratmeter BGF gegliedert nach Verbrauchern auf Basis des extrapolierten Gesamtstromverbrauchs. Auf der negativen Skala ist die Stromerzeugung durch die Photovoltaikanlage dargestellt.

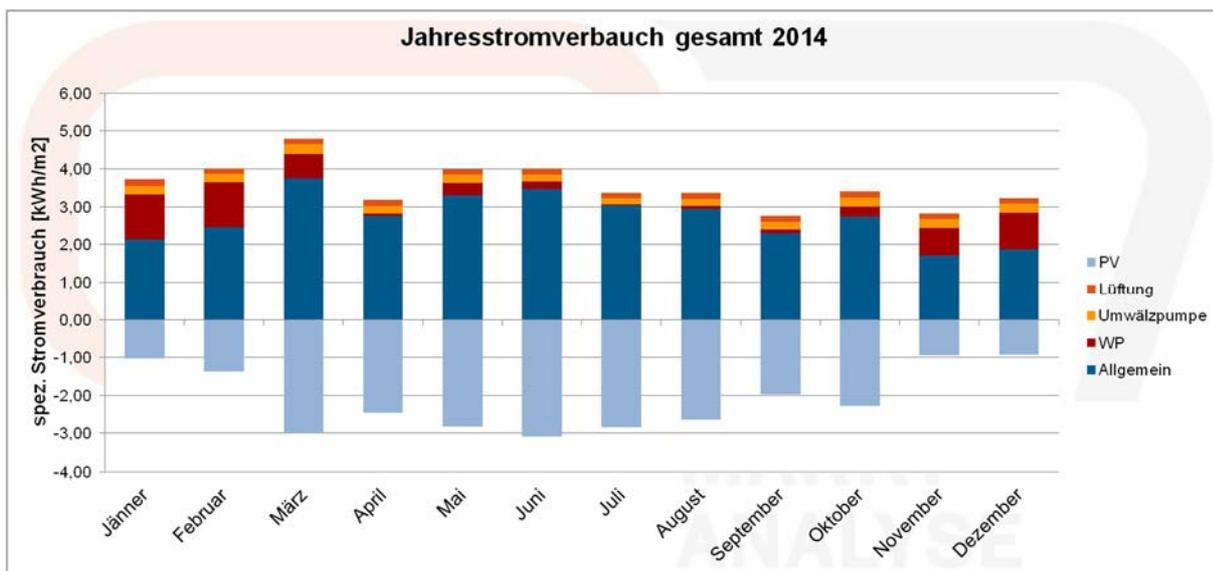


Abbildung 34: Monatlicher spezifischer Stromverbrauch und –erzeugung nach Verbrauchern, 2014

Auffälligkeiten:

- Der Stromverbrauch für Umwälzpumpen ist in allen Monaten annähernd konstant. Der Großteil der Pumpenenergie dürfte für die Warmwasserversorgung aufgewendet werden.
- Auffallend ist der hohe Ertrag der Photovoltaikanlage im März. Zwar ist bei niedrigen Außentemperaturen der spezifische Ertrag der Anlage höher als bei hohen

Außentemperaturen, allerdings sind die Einstrahlung und die Anzahl der Sonnenstunden im März wesentlich niedriger als z.B. im Juni.

- Der spezifische Stromverbrauch ist im Vergleich zu anderen Objekten durchschnittlich.
- Die Werte für Allgemeinstrom wurden aus der Differenz von Strombezug aus dem Netz und Stromeinspeisung gegenüber erfassten Stromverbräuchen ermittelt. Im Vergleich zu den Verbräuchen von Wärmepumpe und Lüftung erscheinen die Verbräuche sehr hoch, was aufgrund des Objekttyps nachvollziehbar ist.
- Die höheren Verbräuche im Sommerhalbjahr im Vergleich zum Winterhalbjahr (Ausnahme März) entsprechen der größeren Auslastung in den Sommermonaten.

Nachfolgend werden die wichtigsten Stromverbraucher separat betrachtet und analysiert.

Photovoltaik

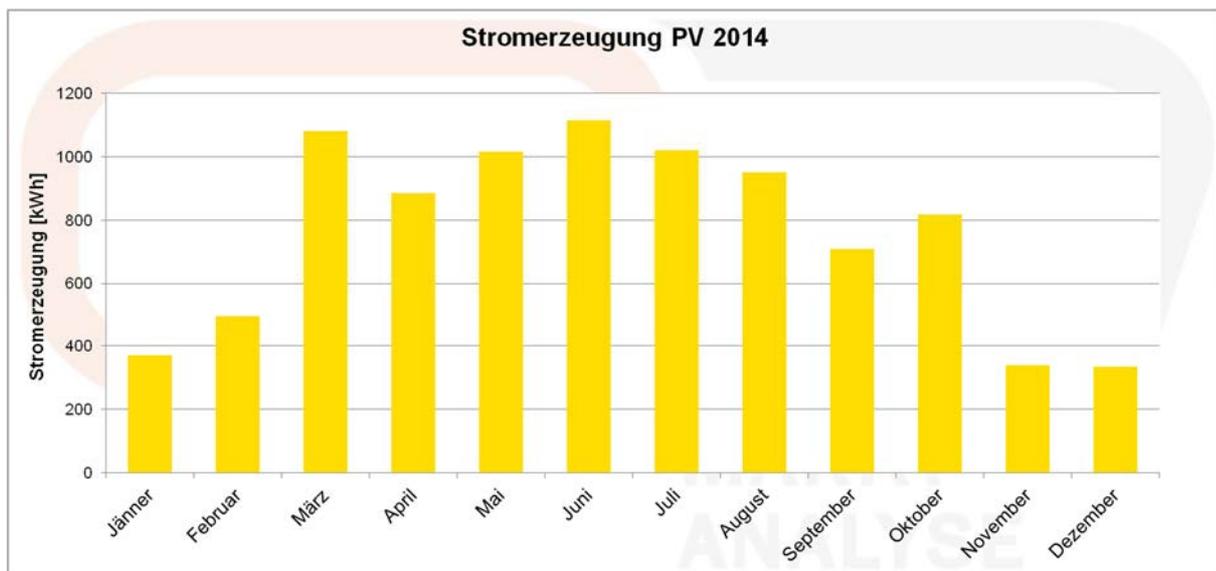


Abbildung 35: Monatsbilanz Erträge der Photovoltaikanlage in kWh, 2014

Gemessene Stromerzeugung:

- Stromerzeugung der Photovoltaikanlage (01.01.2014 – 31.12.2014) 9.133 kWh
- Prozent des Gesamtstromverbrauchs 59,3 %

Der spezifische Ertrag der Anlage beträgt 761 Kilowattstunden pro Kilowatt Peak und ist damit sehr niedrig.

An der Erzeugungskurve auffällig sind die hohen Erträge im März und Oktober. Diese Spitzen dürften auf markante Schönwetterperioden zurückzuführen sein.

Allgemeinstrom

Der Allgemeinstrom wird nicht separat erfasst. Er wurde daher aus den Abrechnungsdaten des Energieversorgers und den Messdaten der erfassten Stromkreise rückgerechnet. Konkret handelt es sich dabei um die Differenz zwischen gesamtem, errechnetem Stromverbrauch und gemessenem Stromverbrauch von Wärmepumpe, Umwälzpumpen und Lüftung.

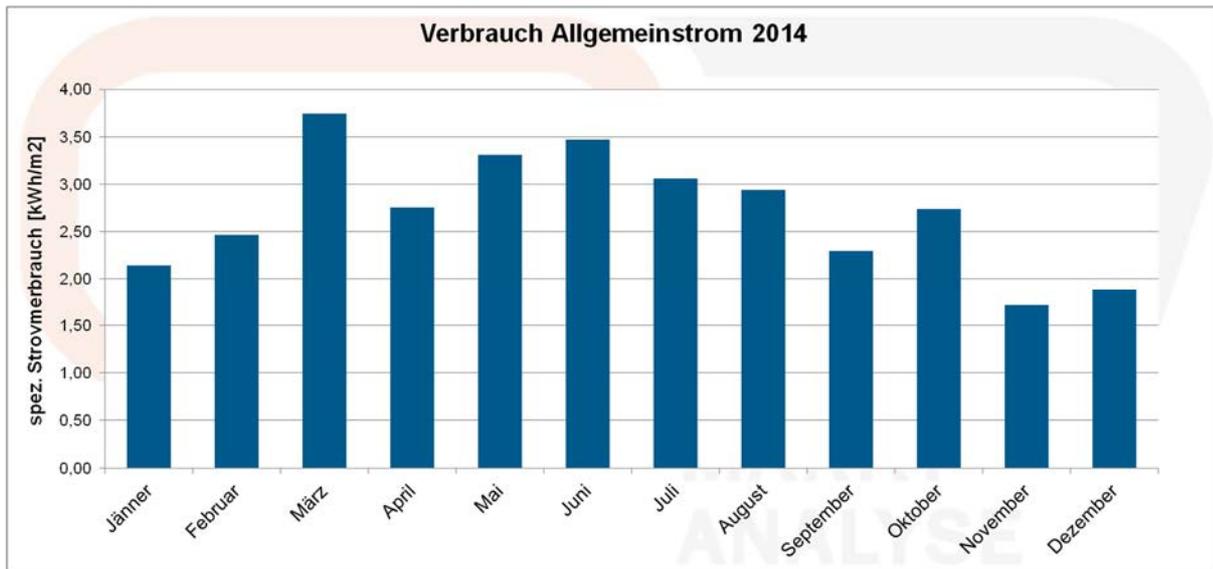


Abbildung 36 Monatsbilanz Allgemeinstrom als Differenz von errechnetem Stromverbrauch und gemessenen Stromverbräuchen in kWh/m²

Stromverbrauch:

- Stromverbrauch für Allgemeinstrom (extrapoliert, 01.01.2014 – 31.12.2014) 11.724 kWh
- Anteil am Gesamtstromverbrauch: 76 %

Im Allgemeinstrom sind Beleuchtung und Nutzerstrom enthalten. Welche weiteren Verbraucher enthalten sind, ist nicht bekannt.

Auffälligkeiten:

- Der Stromverbrauch für Allgemeinstrom ist in den Sommermonaten höher als in den Wintermonaten, was aufgrund der Auslastung begründet sein dürfte.
- Eine Ausnahme bildet der März mit einem besonders hohen spezifischen Verbrauch.
- Die Kategorie Allgemeinstrom stellt die größte Kategorie im Gästehaus dar.

Umwälzpumpen

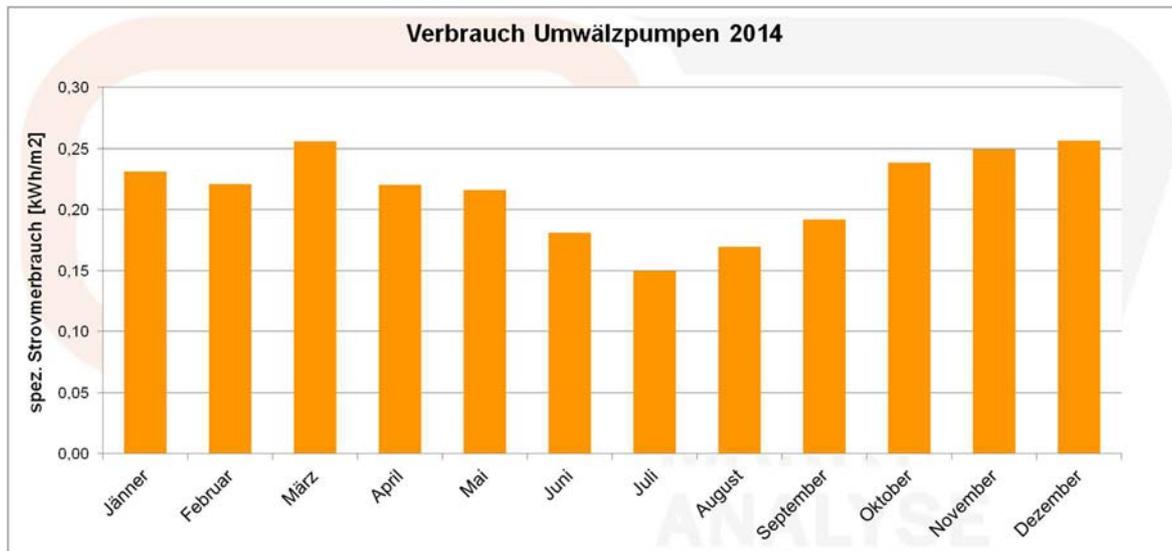


Abbildung 37: Monatlicher elektrischer Energieverbrauch der Umwälzpumpen in kWh/m²

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch für Umwälzpumpen (1.1.2014 – 31.12.2014) 932 kWh
- Anteil am Gesamtstromverbrauch: 6 %

Auffälligkeiten:

- Der Stromverbrauch der Pumpen weist deutliche jahreszeitliche Schwankungen auf. Der Betrieb der Warmwasserpumpen ist für den Grundverbrauch verantwortlich. In der Heizperiode verursachen zusätzlich zu Heizungspumpen Stromverbrauch.

Wärmepumpe

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch durch WP (1.1.2014 – 31.12.2014) 2.090 kWh
- Anteil am Gesamtstromverbrauch: 13,6 %
- Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe 3,0

Auffälligkeiten:

- Der Stromverbrauch der Wärmepumpe passt zu der gelieferten Wärmemenge, wobei die Jahresarbeitszahl dabei eher im unteren möglichen Bereich liegt.

Lüftungsanlage

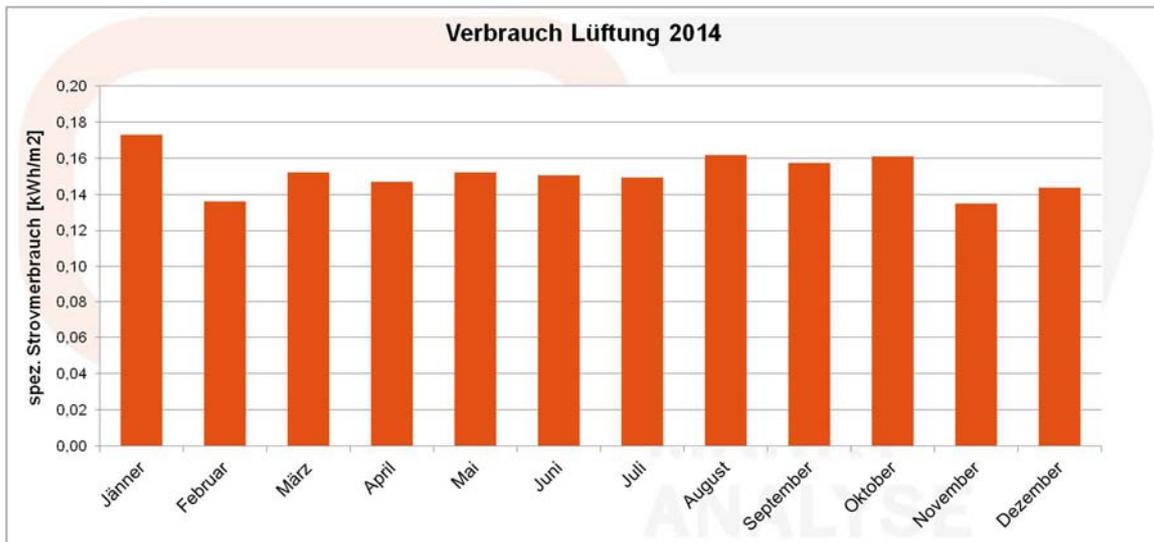


Abbildung 38: Monatlicher elektrischer Energieverbrauch der Lüftungsanlage in kWh/m²

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch für Lüftung (1.1.2014 – 31.12.2014) 657 kWh
- Anteil am Gesamtstromverbrauch: 4 %

Auffälligkeiten:

- Der Stromverbrauch für die Lüftung ist niedrig.
- Der Stromverbrauch der Lüftung weist keine großen jahreszeitlichen Schwankungen auf.

Da der Stromverbräuche der Lüftung nicht als 15-Minuten-Werte zur Verfügung standen, sondern als Tagessummen, kann die Effizienz der Lüftungsregelung nicht beurteilt werden.

Fazit

Die Daten zum Stromverbrauch sind nicht vollständig. Der Gesamtstromverbrauch wird nicht erfasst. Es stehen keine 15-Minuten-Werte zur Verfügung, sondern nur Tagessummen. Eine Beurteilung des Stromverbrauchsprofils ist daher nicht möglich.

Der extrapolierte Gesamtstromverbrauch ist durchschnittlich und korreliert mit der Auslastung des Gebäudes.

Die Lüftungsanlage weist einen sehr konstanten und generell niedrigen Stromverbrauch auf. Die Einstellung der Regelung kann auf Basis der vorhandenen Daten nicht beurteilt werden.

9.3.4.5 Behaglichkeit und CO₂-Konzentration

Eine umfassende Beurteilung der Behaglichkeit ist für das Objekt nicht möglich, da Luftfeuchtigkeit und CO₂-Konzentration nicht aufgezeichnet werden. Die Messung der Lufttemperatur in den Zu- und Abluftsträngen der Lüftungsanlage sowie in einem Referenzraum stehen zur Verfügung.

Die gemessenen Innenraumtemperaturen im Vorhaus des Gebäudes lagen zu 65 Prozent unterhalb des Komfortbereichs 20°C.

Die Abbildung 39 und Abbildung 40 zeigen die Lufttemperatur nach Jahreszeiten gegliedert.

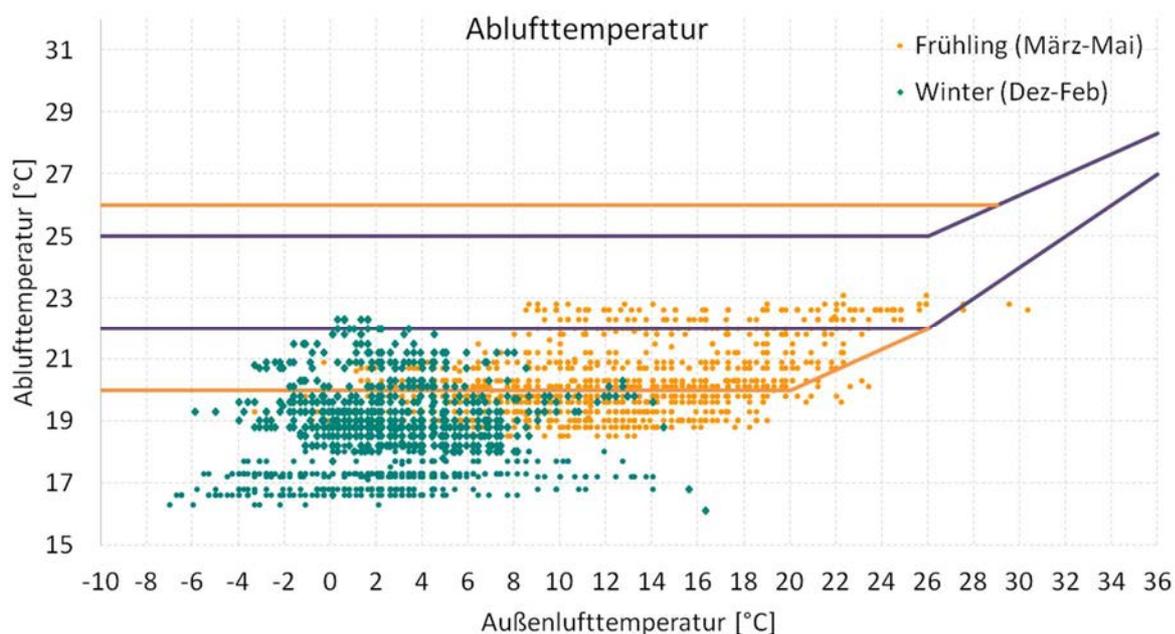


Abbildung 39: Komfortdiagramm Zuluft; Nachtstunden gefiltert; Messpunkte Winter und Frühling des Jahres 2014

Die Messwerte für Winter und Frühling 2014 (1.1. – 31.5.2014 und 1.12. – 31.12.2014, 07:00 – 20:00 Uhr) liegen zu 68% außerhalb des Komfortbereichs, da die gemessene Ablufttemperatur häufig zu niedrig ist.

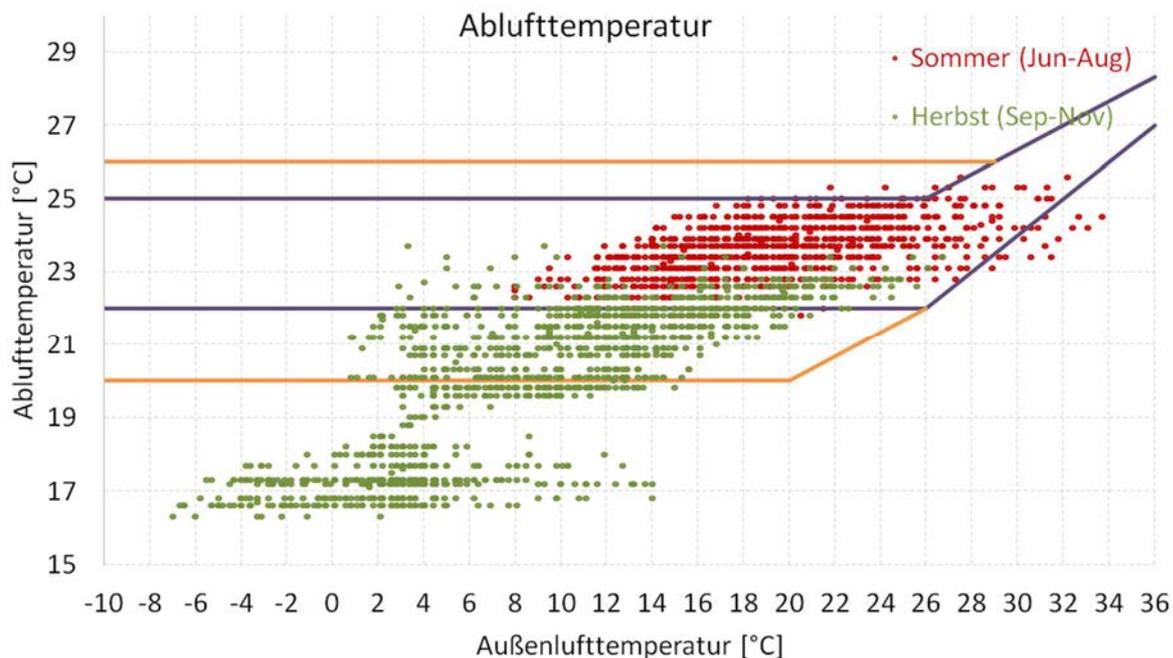


Abbildung 40: Komfortdiagramm Abluft EG; Wochenenden und Nachtstunden gefiltert; Messpunkte des Jahres 2014

Abbildung 40 stellt das Behaglichkeitsdiagramm für die Abluft während der Sommer- und Herbstperiode dar. Die gemessene Ablufttemperatur bewegte sich im Betrachtungszeitraum (01.06. bis 01.11.2014, 07:00 Uhr bis 20:00 Uhr) zwischen 16,3 und 27,5 °C. Die Messwerte liegen zu etwa 10 % außerhalb des Komfortbereichs, da die Ablufttemperatur zu niedrig war.

Fazit

Eine umfassende Bewertung des Innenraumkomforts ist nicht möglich, da die relative Feuchte und die CO₂-Konzentration nicht erfasst werden. Die gemessenen Temperaturen in der Abluft und im Vorhaus des Gebäudes weisen in weiten Teilen zu niedrige Temperaturen auf. Da es von Seiten des Gebäudeeigentümers keinen Hinweis auf niedrige Behaglichkeit hinsichtlich der Innenraumtemperaturen gibt, ist davon auszugehen, dass die Sensoren nicht richtig platziert wurden bzw. nicht ordentlich funktionieren und einen falschen Messbereich aufweisen.

Rückmeldung Gebäudeeigentümer

Die Gäste sind zufrieden, loben die Lüftung da sie kaum wahrnehmbar ist. Im Badezimmer möchten sie es manchmal wärmer.

9.4 Gemeindeamt Kautzen, NÖ

Allgemeine Projektbeschreibung

Im Rahmen einer Mustersanierung wurde das Gemeindeamt der Marktgemeinde Kautzen thermisch-energetisch saniert. Die Außenwände wurden gedämmt und die alten undichten Fenster wurden durch moderne dreifach verglaste Isolierfenster ersetzt. Ziel der Sanierung war es, ein Vorzeigeprojekt in Sachen Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energiequellen im Ort zu schaffen. Darüber hinaus entsprach der thermische Standard des Bestandsgebäudes nicht mehr den Ansprüchen der Zeit.

Die Wärmeversorgung des Gebäudes erfolgt nach der Sanierung weiterhin über die örtliche Fernwärme, welche aus Biomasse aus der Region erzeugt wird. Die Warmwasserversorgung erfolgt mittels Elektro-Kleinspeicher, um Verteilverluste zu verhindern. Weiters erfolgte eine Umstellung des Beleuchtungssystems auf T5-Leuchtelemente mit elektronischen Vorschaltgeräten, wobei zusätzlich ein Lichtlenksystem und eine bedarfsgerechte Steuerung der Leuchten zum Einsatz kommen. Eine Photovoltaikanlage mit einer Peak-Leistung von 3,9 kW rundet das Sanierungskonzept ab.

Ausgangszustand:

<i>Eigentümer/ Betreiber</i>	Gemeinde Kautzen
<i>Ansprechpartner / Kontaktpersonen</i>	Bgm. Manfred Wühl, Amtsleiter Franz Eglau
<i>Standort</i>	A-3851 Kautzen, Waidhofnerstraße 14
<i>Gebäudetyp</i>	Büro- und Wohngebäude
<i>Errichtungsjahr Bestandsgebäude</i>	1978
<i>Größe (BGF)</i>	494 m ² (638,20 m ² mit Wohnung)

9.4.1 Sanierungsmaßnahmen

9.4.1.1 Gebäudehülle

Durch die durchgeführte Dämmung der Außenwände mit 20 cm EPS-F-Plus konnte deren U-Wert von 0,70 W/(m².K) auf 0,13 W/(m².K) verbessert werden. Bei der obersten Geschossdecke konnte durch eine 30 cm dicke Polystyrol-Dämmung eine U-Wert-Reduktion von 0,75 auf 0,11 W/(m².K) erreicht werden, der U-Wert der Kellerdecke beträgt nach erfolgter Sanierung mit 20 cm Polystyrol-Dämmung 0,26 W/(m².K).

Der Balkon des Sitzungssaales des Gebäudes wurde zur Vermeidung von Wärmebrücken abgerissen, nachdem für diesen keine Notwendigkeit gesehen wurde. Ein zweiter Balkon, welcher für den im Gebäude vorhandenen Wohnraum vorgesehen ist, wurde erhalten und thermisch saniert.

9.4.1.2 Gebäudetechnik

Heizen, Kühlen, Lüften, Warmwasser

Die Wärmeversorgung des Gebäudes erfolgt seit 1990 durch das örtliche Biomasse-Fernwärmenetz. Die Regelung der Heizungsanlage erfolgt außentemperaturgeführt und eine Nacht- und Wochenendabsenkung ist grundsätzlich vorgesehen. Die Wärmeverteilung und –abgabe erfolgt auch nach der Mustersanierung durch die bestehende Heizkörperinfrastruktur.

Das Gebäude wird nicht aktiv gekühlt; die Lüftung erfolgt über Fensterlüftung, wobei die Luftqualität von den Gebäudenutzern mit Hilfe von CO₂-Ampeln beurteilt wird. Die Warmwasserbereitstellung erfolgt mittels Elektro-Kleinspeicher.

Beleuchtung

Die Leuchtmittel des Gebäudes wurden im Rahmen der Mustersanierung durch T5-Leuchten mit elektronischen Vorschlagern ersetzt. Zusätzlich wurde ein Lichtlenksystem installiert.

Photovoltaik-Anlage

Nachdem die Gemeinde die Anschaffung von Solarthermie- und Photovoltaikanlagen fördert, wurde zum Erreichen einer entsprechenden Vorbildwirkung auch das Gemeindeamt mit einer Photovoltaikanlage versehen. Als Teil einer Klima- und Energiemodellregion ist die Gemeinde bemüht, einen möglichst hohen Eigenverbrauchsanteil der erzeugten Solarenergie zu erreichen.

9.4.1.3 Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)

Tabelle 24 zeigt die im Energieausweis berechneten Werte des Heizwärmebedarfs* des Gebäudes im Referenzklima vor und nach der Sanierung. Abbildung 41 stellt die im Rahmen der Mustersanierung erreichte Reduktion dar. Die Energieausweisberechnung weist eine Reduktion des HWB* um 28,55 kWh/m³a oder rund 77 % im Zuge der Sanierung aus.

Tabelle 18: Vergleich Energiekennzahlen vor und nach Sanierung

Heizwärmebedarf* lt. Energieausweis	
Vor Sanierung	Nach Sanierung
<i>kWh/m³a</i>	<i>kWh/m³a</i>
37,26	8,71

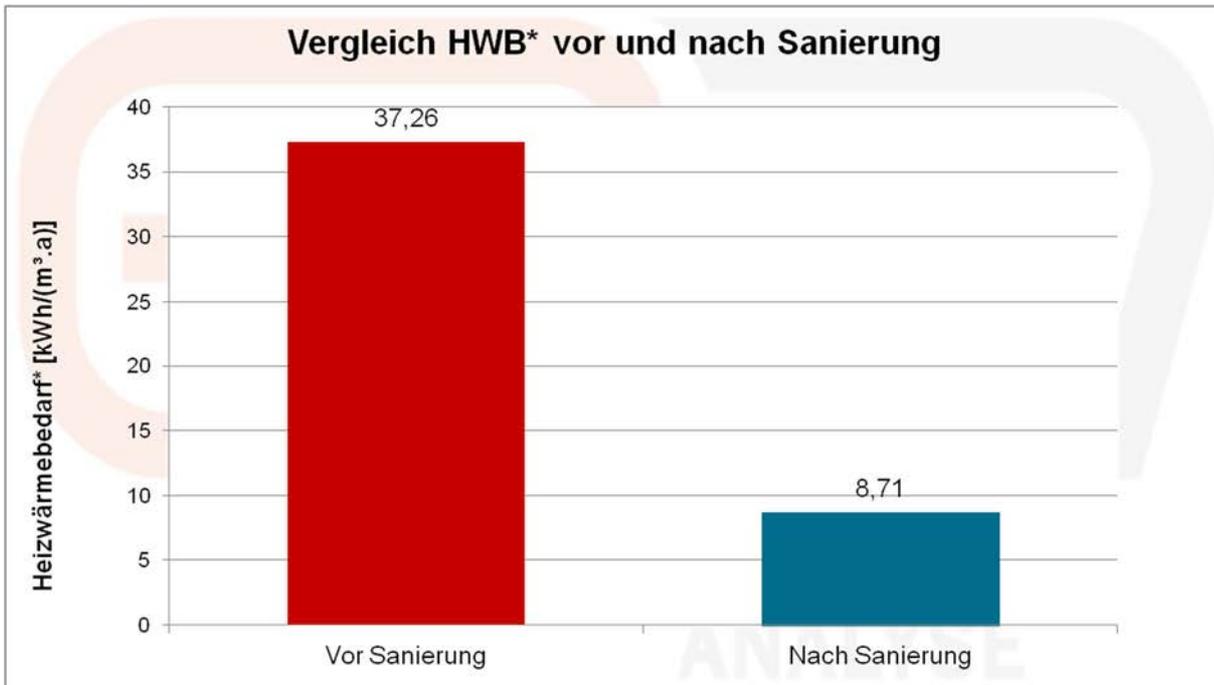


Abbildung 41: Gegenüberstellung HWB* vor und nach Sanierung

9.4.2 EVM-Schema

Um das Energieverhaltensverhalten und die Komfortparameter des Gebäudes nach der Sanierung bewerten zu können, wurde ein Monitoringsystem installiert. Dadurch sind auf Viertelstundenbasis Messwerte für die Parameter elektrischer Energieverbrauch, Wärmeenergieverbrauch, den Ertrag der Photovoltaikanlage, Raumtemperatur, Raumfeuchte und CO₂-Konzentration verfügbar.

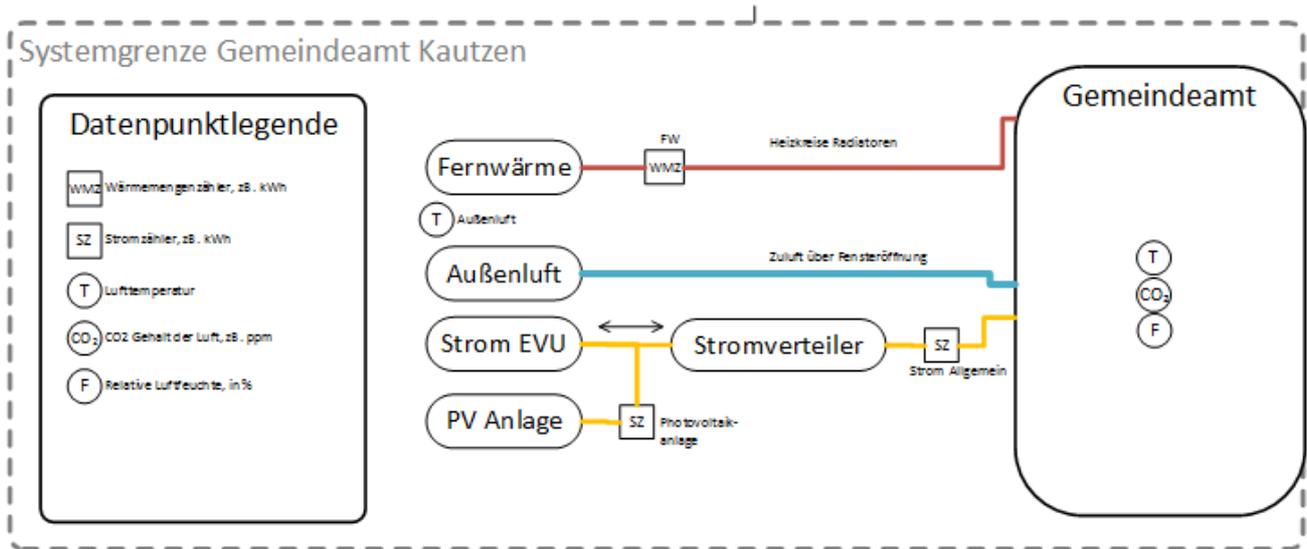


Abbildung 42: EVM-Schema mit Datenpunkten

9.4.3 Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung

Die folgenden CO₂-äquivalenten Emissionsergebnisse und Energieverbrauchsergebnisse, welche in Tabelle 19 angegeben sind, basieren auf den Angaben der Einreichunterlagen vor der Sanierung und den gemessenen Werten durch das EVM nach der Sanierung sowie den CO₂-Faktoren aus der KPC-Förderberechnung. Nach der Sanierung ist der Wert für CO₂-äquivalente Emissionen bedingt durch das Heizen null, nachdem das Heizsystem mittels biogener Fernwärme versorgt wird.

Tabelle 19: Berechnete, CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen

CO ₂ -äquivalente Emissionen durch Heizen ¹⁹		
Vor Sanierung	Nach Sanierung	Nach Sanierung
Fördereinreichung	Energieausweis	EVM
t/a CO ₂	t/a CO ₂	t/a CO ₂
33,60	0,00	0,00

¹⁹ Die Daten der berechneten CO₂-äquivalenten Emissionen vor und nach Sanierung stammen aus den Unterlagen der Fördereinreichung, da zu diesem Zeitpunkt CO₂ nicht im EAW berechnet wurde (Versionen der OIB Richtlinie 6 vor 2011). Wenn biogene Energieträger eingespart werden, wird fiktiv ein fossiler Brennstoff (Heizöl) zur Bestimmung der CO₂-Einsparung gegengerechnet, da hier die eingesparten erneuerbaren Energieträger für andere Objekte mit fossilen Energieträgern genutzt werden können.

Tabelle 20 zeigt den Vergleich des Heizwärmebedarfs im Referenzklima laut Energieausweis vor und nach der Sanierung mit dem tatsächlich gemessenen Heizwärmeverbrauch.²⁰ Der gesamte Heizwärmeverbrauch für das Jahr 2015 betrug rund 31.140 kWh. Vergleicht man die beiden flächenspezifischen Werte des HWB im Referenzklima laut Energieausweis, so wird für die Mustersanierung eine relative Reduktion von 78,4 % errechnet. Vergleicht man den HGT-bereinigten Wert des Heizwärmeverbrauchs, welcher mit Hilfe des EVMs als Gesamtwärmeverbrauch ermittelt worden ist, qualitativ mit dem HWB-Wert vor der Sanierung, so beträgt die relative Reduktion 58,3 %.

Tabelle 20: Vergleich Heizwärmebedarf aus Energieausweis (Referenzklimawerte) zu Heizwärmeverbrauch

Vergleich Heizwärmebedarf zu Heizwärmeverbrauch		
Vor Sanierung; BGF=607,80 m²	Nach Sanierung; BGF= 638,20 m²	Nach Sanierung; BGF=638,20 m²
HWB Energieausweis	HWB Energieausweis	EVM
<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>
122,41	26,38	51,02

Anteil erneuerbarer Energieträger am Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes

Der Stromverbrauch betrug im Betrachtungszeitraum 7.698 kWh. Die Photovoltaik-Anlage mit einer Peak-Leistung von 3,9 kW erzielte dem gegenüber einen Ertrag von 382 kWh, was im Bilanzvergleich einem Deckungsgrad von 4,9 % entspricht.

Die Wärmeerzeugung erfolgt mittels Biomasse. Der Gesamtwärmeverbrauch betrug rund 31.140 kWh.

Fazit:

Die Messwerte der Photovoltaikanlage stehen im krassen Gegensatz zur angegebenen Peak-Leistung von 3,9 kW. Die gemessene Spitzenleistung betrug rund 690 W, der Ertrag der Anlage fällt entsprechend gering aus. Es sollte die Funktionalität der Anlage und des Stromzählers überprüft werden.

²⁰ Die Vergleichbarkeit des im Energieausweis berechneten Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs (HWB und KB) einer thermischen Gebäudezone mit gemessenen Wärmemengen ist aus mehreren Gründen nicht direkt gegeben. Einerseits sind die berechneten Werte für das Gebäude vor und nach der Sanierung gute Anhaltspunkte um die Verbesserung der thermischen Qualitäten des Objektes zu bewerten. Andererseits sind die gemessenen Werte stark vom tatsächlichen Wetter und Benutzerverhalten im jeweiligen Messzeitraum abhängig. Daher ergibt sich aufgrund der Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen Messzeitraum und der theoretischen Berechnungsgrundlagen eine große Unsicherheit bezüglich der Vergleichbarkeit von Kennwerten zwischen Messung und Berechnung. Darüber hinaus sind HWB und KB theoretische Bedarfsgrößen einer thermischen Zone ohne messbaren Charakter. Gemessene Wärmemengen hingegen sind lokale zuordenbare Größen im Energieverteilungssystem.

9.4.4 Detailergebnisse Energieverbrauchsmonitoring

9.4.4.1 Zusammenfassung

Das Monitoringsystem des Gemeindeamts Kautzen umfasst einen Wärmezähler, einen Stromzähler und einen Zähler für den Ertrag der Photovoltaikanlage sowie Sensoren zur Messung der Innentemperaturen, Luftfeuchtigkeit und der CO₂-Konzentration. Die ausgewerteten Daten umfassen den Zeitraum von 01.01.2015 bis 30.12.2015 in 15-Minuten-Intervallen.

Die Wärmeverbrauchsdaten zeigen, dass in der Messperiode eine Optimierung der Heizungsregelung stattgefunden hat. Die optimierte Nachtabenkung zwischen 00:00 und 06:00 Uhr führte im Vergleich der mittleren Verbrauchswerte der ersten zur zweiten Heizsaison zu einer Reduktion von rund 70 %. Nachdem hier unterschiedliche Heizperioden verglichen werden, ist diese Einsparung als qualitativer Indikator anzusehen.

Bei der Auswertung der Messdaten zum Stromverbrauch und dem Ertrag der Photovoltaikanlage zeigte sich, dass der Direktverbrauch des Solarstroms offenbar von keinem der beiden Zähler erfasst wird. Dadurch zeigt sich untertags in Abhängigkeit des Anlagenertrags ein reduzierter Stromverbrauch gegenüber den Nachtstunden. Der gemessene Jahresertrag der Anlage ist mit weniger als 400 kWh gegenüber der angegebenen Peakleistung viel zu gering, sofern die Anlage oder der Stromzähler korrekt funktioniert. Separate Stromzähler für einzelne Verbraucher oder Gewerke sind nicht vorhanden.

Die Raumluftqualität ist angesichts der Messwerte verbesserungswürdig. Rund 77 % der Temperaturmesswerte zeigen eine geringere Temperatur als 20 °C, was allerdings aufgrund dessen, dass der Heizenergieverbrauch im Gegenzug nicht auffallend niedrig ist, möglicherweise schlicht auf nicht parametrisierte Sensoren und dadurch fehlerhafte Messwerte zurückzuführen sein könnte. Bezüglich der Luftfeuchtigkeit liegen praktisch alle Messwerte im Komfortfenster. Die CO₂-Konzentration ist relativ hoch, etwa jeder dritte Messwert liegt über 1.000 ppm.

9.4.4.2 Energieflussbild

Da der Ertrag der PV-Anlage nicht plausibel erscheint und ansonsten nur Daten für den gesamte Stromverbrauch, sowie den gesamten Heizwärmeverbrauch vorhanden sind, würde ein Energieflussbild wenig Aussagekraft besitzen.

9.4.4.3 Heizwärmeverbrauch

Abbildung 43 stellt die Monatsbilanz des flächenspezifischen Wärmeverbrauchs dar. Der klimabereinigte Heizwärmeverbrauch ist in den Monaten Jänner, November und Dezember relativ

hoch, in den restlichen Monaten niedriger als dem Standardklima entsprechen würde. Des Weiteren wird die lange Heizsaison deutlich, nachdem im Mai, Juni und September ein teils deutlicher Wärmeverbrauch aufgetreten ist.

Der Heizwärmeverbrauch weist im Zeitraum vom 01.01.2015 bis 30.12.2015 einen Verbrauch von 31.130 kWh auf. Messdaten für den 31.12.2015 sind nicht vollständig verfügbar. Eine Subzählerstruktur existiert nicht.

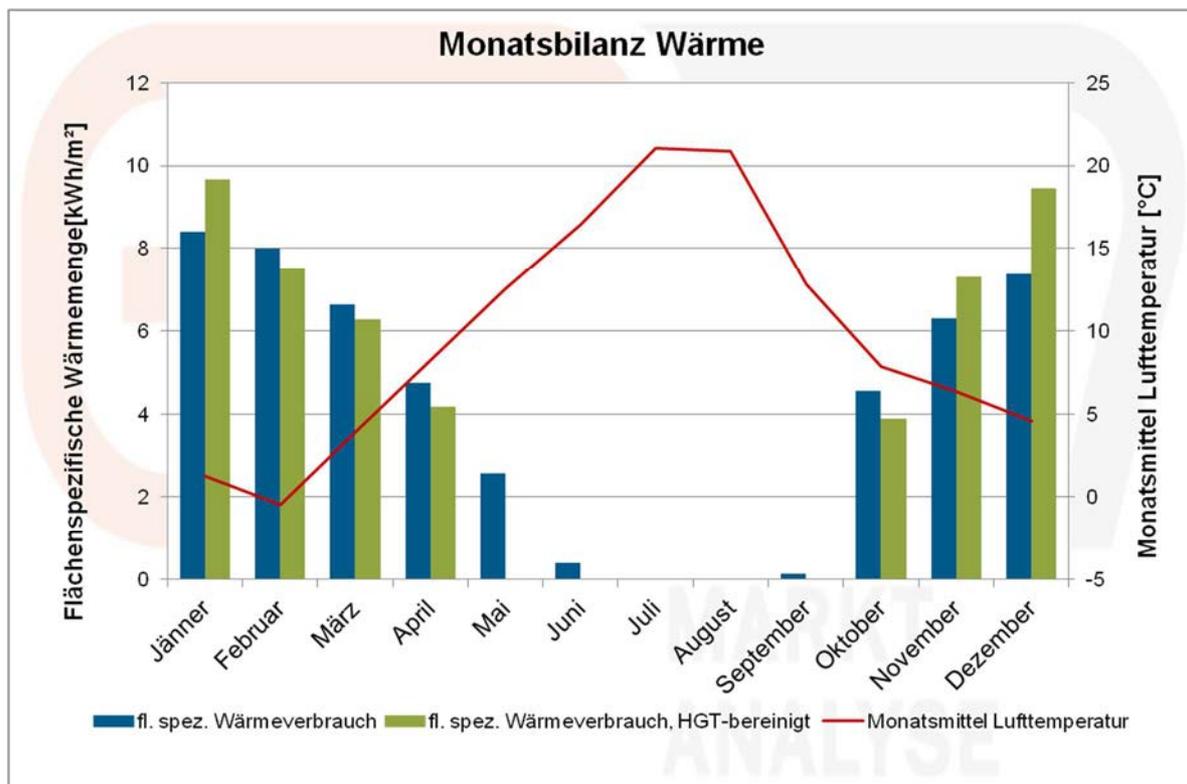


Abbildung 43: Monatsbilanz des Wärmeverbrauchs, mittels EVM gemessen und klimabereinigt, 2015

Abbildung 44 stellt den Carpet-Plot des Wärmeverbrauchs dar. In diesem ist jeder gemessene Viertelstundenverbrauchswert im Betrachtungszeitraum als farbige Zelle dargestellt. Grüne Verbrauchsfelder entsprechen einem sehr geringen bzw. null Energieverbrauch, rote Felder stellen die höchsten Verbrauchswerte dar. Die Wertebereiche zwischen den Extrema sind in Gelbstufen dargestellt. Jede Zeile entspricht einem Tag, jede Spalte einem Viertelstundenwert (ganz links 00:00 Uhr, ganz rechts 23:45 Uhr). Aus dem Carpet-Plot sind das Ende und der Beginn der Heizperiode klar ersichtlich. Vergleicht man die Heizsaison zu Jahresbeginn und zu Jahresende, so wird deutlich, dass sich diese in ihrem Verhalten deutlich unterscheiden, was auf eine Änderung der Heizungssteuerung hindeutet. Der Zeitpunkt mit dem höchsten Verbrauch ist für beide Situationen gleich, jedoch mit unterschiedlicher Intensität.

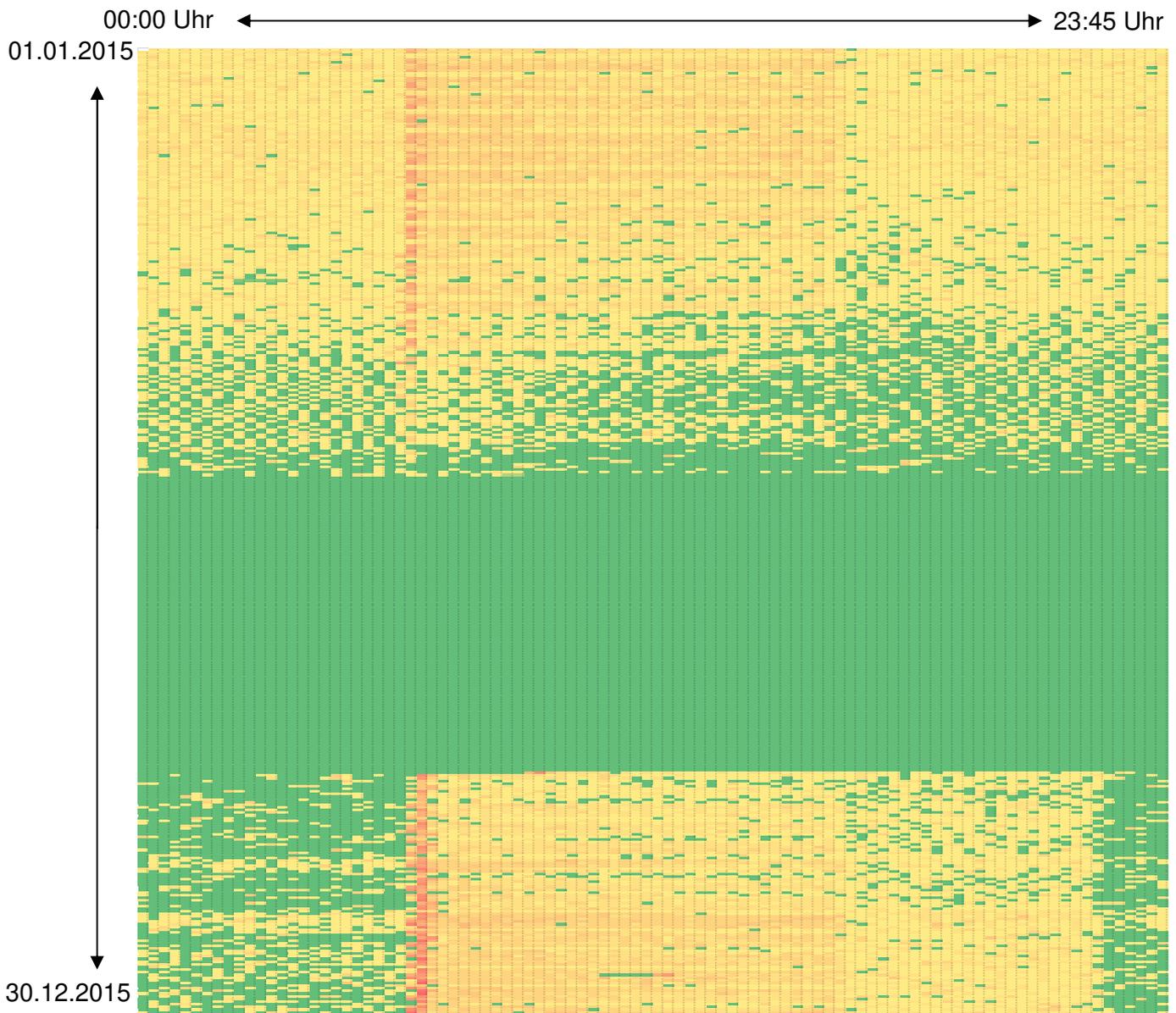


Abbildung 44: Carpet-Plot, Wärmeverbrauch, 2015

Abbildung 45 zeigt den Mittelwert der Wärmeverbrauchswerte in Abhängigkeit des Wochentags und der Tageszeit. Daraus wird ersichtlich, dass sich die einzelnen Werkstage sehr ähnlich verhalten. Auch die Samstage und Sonntage gleichen einander. Der Wärmeverbrauch der Sonntage ist im Mittel deutlich höher als jener der Samstage.

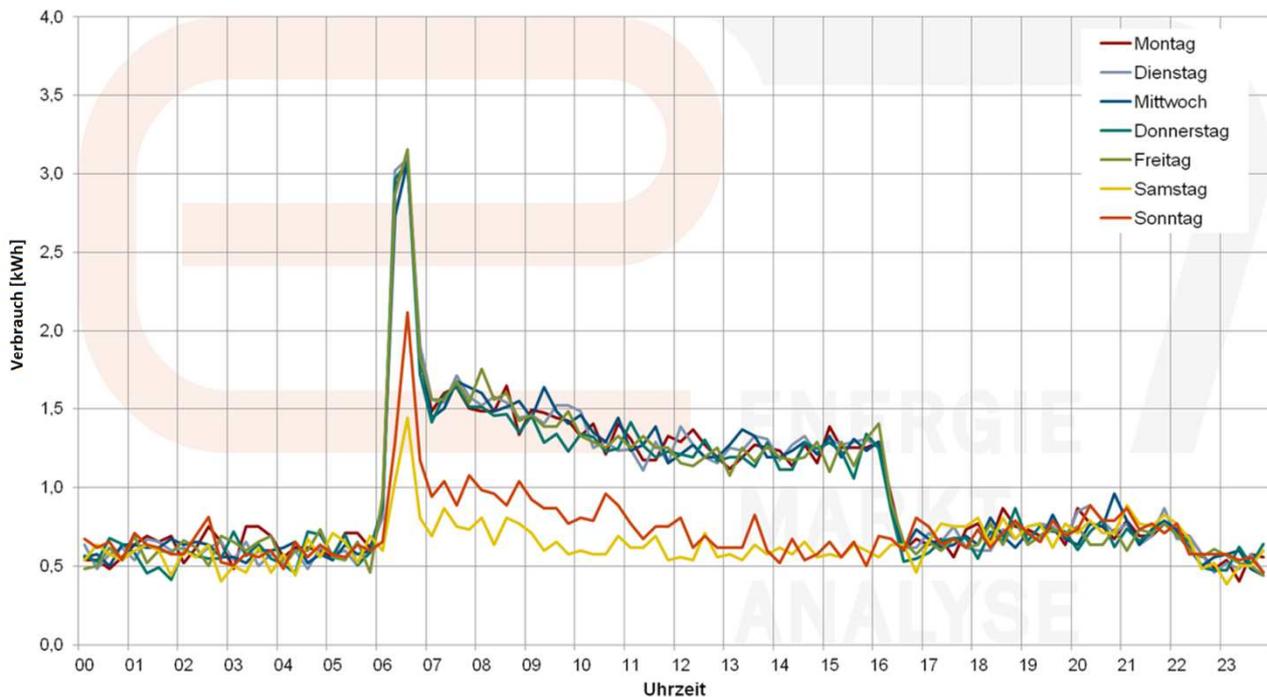


Abbildung 45: Mittelwertlastgänge nach Wochentagen, Heizwärmeverbrauch 2015, Gemeindeamt Kautzen

Nachdem aus dem Carpet-Plot in Abbildung 44, wie erwähnt, ein unterschiedliches Verbrauchsverhalten der Heizsaison zu Jahresbeginn und zu Jahresende erkennbar ist, stellen die folgenden beiden Abbildungen die mittleren Verbrauchskurven für diese beiden Zeiträume dar. Es wird dabei deutlich, dass die Heizperiode zu Jahresende (vgl. Abbildung 47) ein deutlich geringeres Verbrauchsniveau aufweist, als jene zu Jahresbeginn (vgl. Abbildung 46). Interessant ist, dass mit dem Start der Anlage zwischen 06:00 und 07:00 Uhr jeweils der höchste Energieverbrauch auftritt. Am Jahresende war die Nachtabsenkung deutlich stärker ausgeprägt, nachdem die einzelnen Viertelstundenverbräuche hier deutlich unter 0,5 kWh liegen, während diese bei Jahresbeginn jeweils über 1 kWh lagen. Die Heizkurve zu Jahresende zeigt darüber hinaus eine zweistufige Absenkung, welche durch einen reduzierten Heizbetrieb zwischen 17:00 und 22:00 Uhr und einer starken Absenkung zwischen 23:00 und 06:00 Uhr gekennzeichnet ist. An Wochenenden bleibt das System, mit Ausnahme der Lastspitze zwischen 06:00 und 07:00 Uhr im Teillastbetrieb.

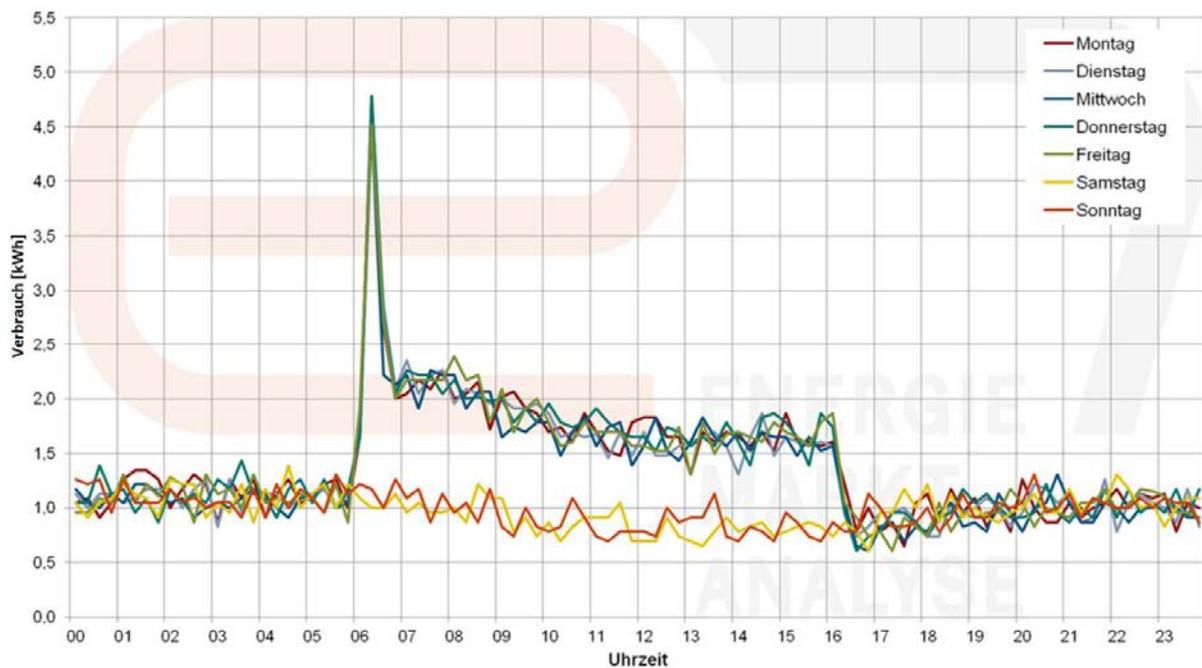


Abbildung 46: Mittelwertlastgänge nach Wochentagen, Heizwärmeverbrauch 2015, Heizperiode zu Jahresbeginn

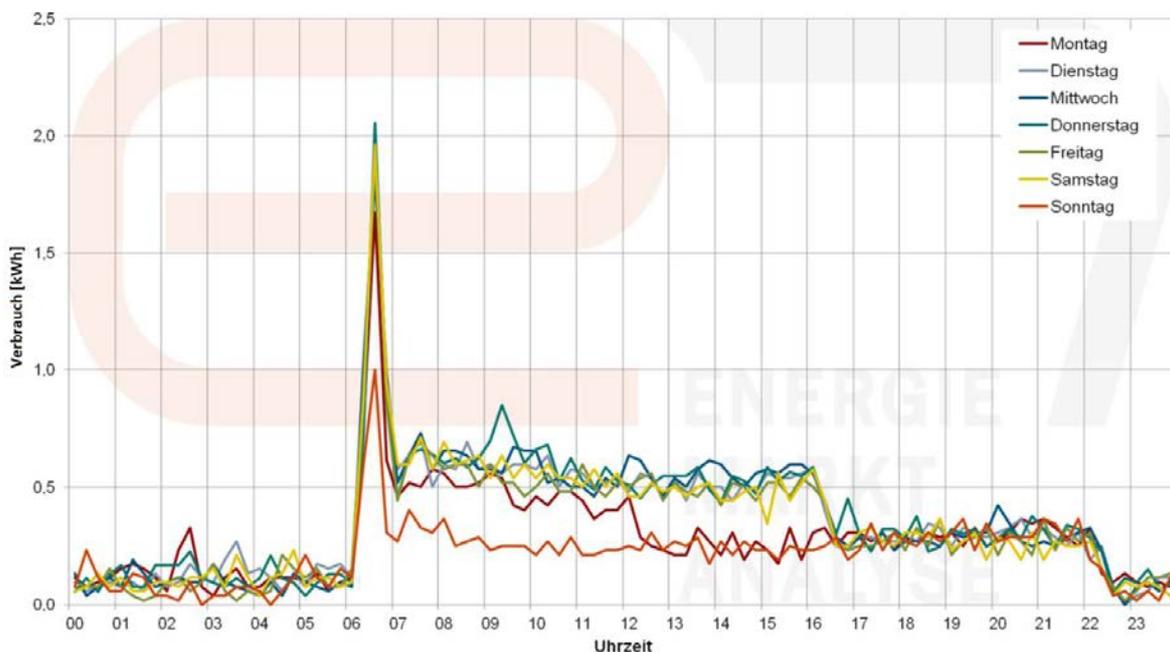


Abbildung 47: Mittelwertlastgänge nach Wochentagen, Heizwärmeverbrauch 2015, Heizperiode zu Jahresende

Auffälligkeiten:

- Die Heizsaison ist sehr lange und dauert bis Juni. Die Heizsaison endete erst am 10.06.2015, die folgende beginnt am 01.10.2015.
- Die beiden Heizsaisonen, die im Betrachtungszeitraum liegen, haben ein deutlich unterschiedliches Anlagenverhalten. Jene zu Jahresende weist eine zweistufige

Nachtabenkung mit Stufe 1 ab 17:00 Uhr an Werktagen und Stufe 2 zwischen 23:00 und 06:00 Uhr auf, jene zu Jahresbeginn erreicht den reduzierten Betrieb bereits um 17:00 Uhr.

- Die optimierte Nachtabenkung zwischen 00:00 und 06:00 Uhr führte im Vergleich der mittleren Verbrauchswerte der ersten zur zweiten Heizsaison zu einer Reduktion von rund 70 % oder 2.100 kWh. Nachdem hier unterschiedliche Heizperioden verglichen werden, ist diese Einsparung als rein qualitativer Indikator anzusehen.

Fazit:

Die Heizsaison dauert bis Anfang Juni. Es ist zu prüfen, ob dies erforderlich ist und optimiert werden kann.

Offenbar wurde während des Betrachtungszeitraums die Heizkurve bereits adaptiert und das Anlagenbetriebsverhalten geändert.

9.4.4.4 Stromverbrauch

Der Stromverbrauch in der analysierten Messperiode betrug 7.698 kWh. Weitere Subzähler zur Verteilung des Verbrauchs auf verschiedene Gewerke und Verbraucher sind nicht vorhanden.

Abbildung 48 stellt den mittleren Stromverbrauch in Abhängigkeit vom Wochentag und der Uhrzeit dar. Dabei scheint der gemessene Stromverbrauch tagsüber deutlich niedriger als in den Nachtstunden zu sein, was allerdings auf den Direktverbrauch der elektrischen Energie, welche von der Photovoltaikanlage bereitgestellt wird, zurückzuführen ist. An Samstagen ist der Residualverbrauch, welcher über das Stromnetz gedeckt wird, im Mittel fast null. Zwischen 00:00 und 06:00 Uhr ist der Grundlastverbrauch gut erkennbar und für alle Wochentage sehr ähnlich.



Abbildung 48: Tagesdurchschnittsprofil elektrischer Stromverbrauch nach Wochentag, 01.01.2015 bis 31.12.2015

Abbildung 49 stellt den Carpet-Plot des Stromverbrauchs von 01.01.2015 bis 31.12.2015 dar. Die x-Achse zeigt die Tageszeit von 00:00 bis 23:45 Uhr, die y-Achse entspricht dem Datum von 01.01.2015 (oben) bis 31.12.2015 (unten). Jeder Tag entspricht einer Zeile, jede Spalte einem Viertelstundenmesswert beginnend bei 00:00 Uhr ganz links bis 23:45 ganz rechts. Rote Zellen zeigen einen hohen Verbrauch, grüne Zellen entsprechen einem niedrigen Wert. Es ist deutlich zu erkennen, dass der aufgezeichnete Stromverbrauch während der Tagesstunden deutlich zurückgeht, was durch die Stromerzeugung der PV-Anlage hervorgerufen wird.

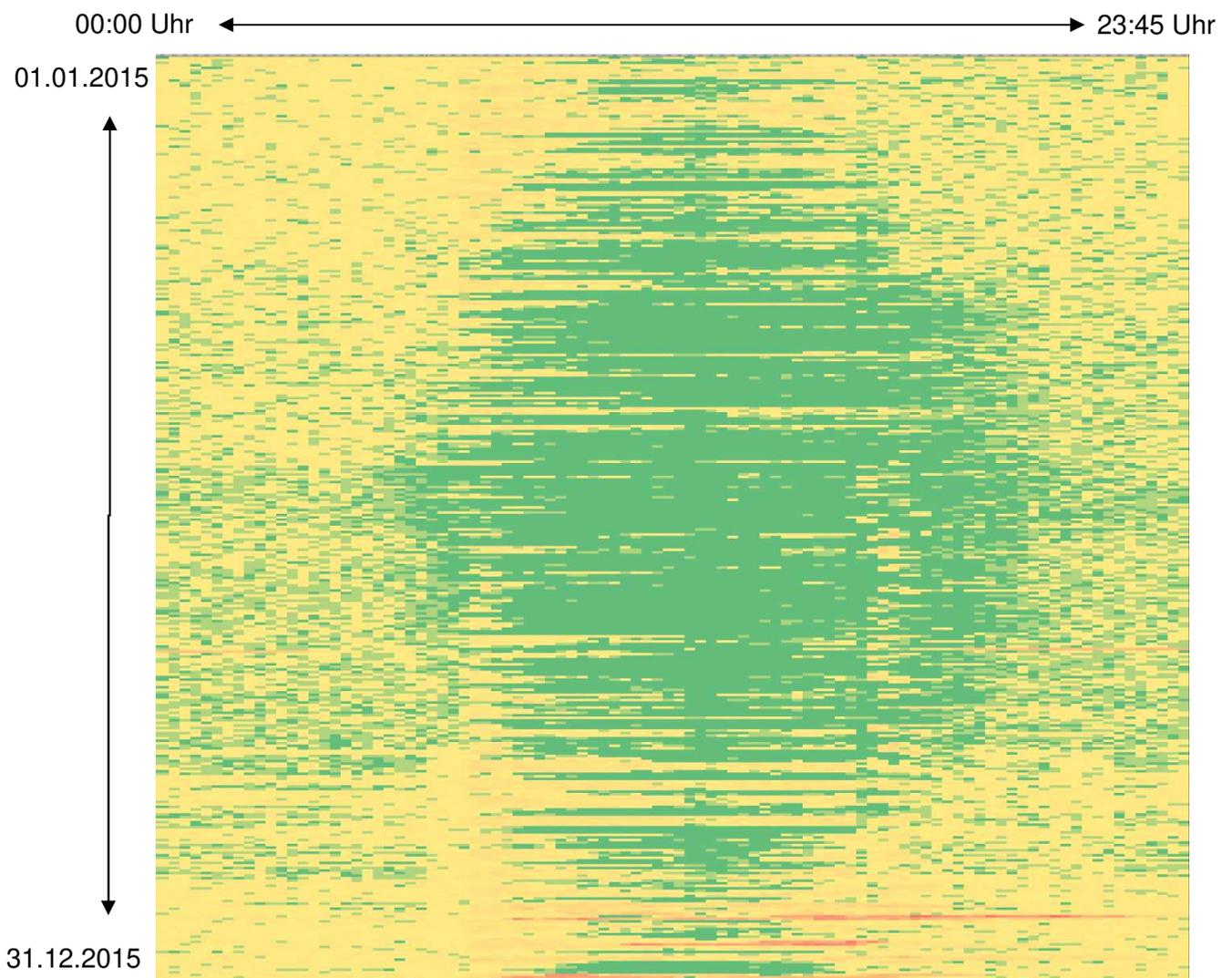


Abbildung 49: Carpet plot des Jahresstromverbrauchs 2015

Auffälligkeiten:

- In den Nachtstunden (abseits des Tagesgeschäfts) ist der Stromverbrauch recht konstant (Grundlastbetrieb).
- Auch für den Carpet-Plot ist der Direktverbrauch des PV-Stroms deutlich zu erkennen. Die grünen Felder („Grüne Ellipse“) in der Abbildung entsprechen der Sonneneinstrahlungsdauer und markieren jene Zeiträume, in welchen die PV-Anlage Energie bereitstellt.

Photovoltaik-Anlage

Die Photovoltaik-Anlage, welche im Zuge der Mustersanierung installiert wurde, erzielte im Jahr 2015 laut Aufzeichnung einen Ertrag von 382 kWh. Abbildung 50 zeigt den Carpet-Plot für den Anlagenertrag, welcher auf Basis von Stundenwerten für die Analyse zur Verfügung gestanden ist. Jede Zeile entspricht hierbei einer Uhrzeit (beginnend mit 00:00 Uhr links oben), jede Spalte

entspricht einem Kalendertag (beginnend mit dem 01.01.2015 links oben). Rote Felder entsprechen dabei keinem Anlagenertrag, grüne Felder einem besonders hohen. Die Werte zwischen diesen Extrema sind in abgestuften Gelbtönen dargestellt. Der dargestellte Verlauf erreicht erwartungsgemäß zur Mittagszeit den Maximalwert, die Anlage stellt im Mittel zwischen 07:00 und 19:00 Uhr Energie zur Verfügung. Nachdem die gemessenen Ertragswerte allerdings allesamt für die vorliegende Anlagengröße viel zu niedrig sind, misst der Zählpunkt der Anlage vermutlich nur jenen Ertrag, welcher ins Stromnetz eingespeist wird. Der Direktverbrauchsanteil wird jedoch nicht aufgezeichnet, was den relativ geringen Jahresertrag von 382 kWh erklären würde.



Abbildung 50: Carpet-Plot, Photovoltaik-Ertrag

Fazit:

Dem Gesamtstromverbrauch von 7.698 kWh steht ein Photovoltaik-Ertrag von 382 kWh gegenüber. Damit kann die PV-Anlage nur rund 5 % des Stromverbrauchs in der Jahresbilanz decken. Dies ist aufgrund der angegebenen Anlagengröße von 3,9 kWp sehr wenig. Es liegt die Vermutung nahe, dass der Zählpunkt der PV-Anlage nur jenen Ertrag misst, der ins Stromnetz eingespeist wird.

Anmerkung Gebäudeeigentümer:

Laut EVU-Abrechnung wurden im Zeitraum 1.5.2015 bis 30.4.2016 ein Stromüberschuss von 1.859 kWh eingespeist. Das lässt vermuten, dass der Stromzähler nicht korrekt aufzeichnet.

9.4.4.5 Behaglichkeit und CO₂-Konzentration

Um die personenbezogenen Komfortparameter im Gebäude zu erfassen, wurden die Parameter Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur und CO₂-Konzentration gemessen. Für die Analyse standen die Daten aus dem Zeitraum vom 17.06.2014 bis zum 28.03.2015 zur Verfügung. Die Auswertung ist auch vor dem Hintergrund interessant, dass die Belüftung des Gebäudes nicht über eine mechanische Lüftung erfolgt, sondern über Fensterlüftung, wobei die Beurteilung der Luftqualität durch CO₂-Ampeln unterstützt wird.

Komfortdiagramme

Das Verhältnis von Raumtemperatur und relativer Luftfeuchte gibt Aufschluss über die Behaglichkeit im Innenraum. Abbildung 51 zeigt das Komfortdiagramm²¹ des Referenzraums, zu welchem Messdaten vorliegend sind, mit sämtlichen Messwerten, während in Abbildung 52 nur die Betriebszeiten ohne Wochenenden und Nachtstunden von 22:00 bis 7:00 Uhr dargestellt sind (Feiertage nicht berücksichtigt).

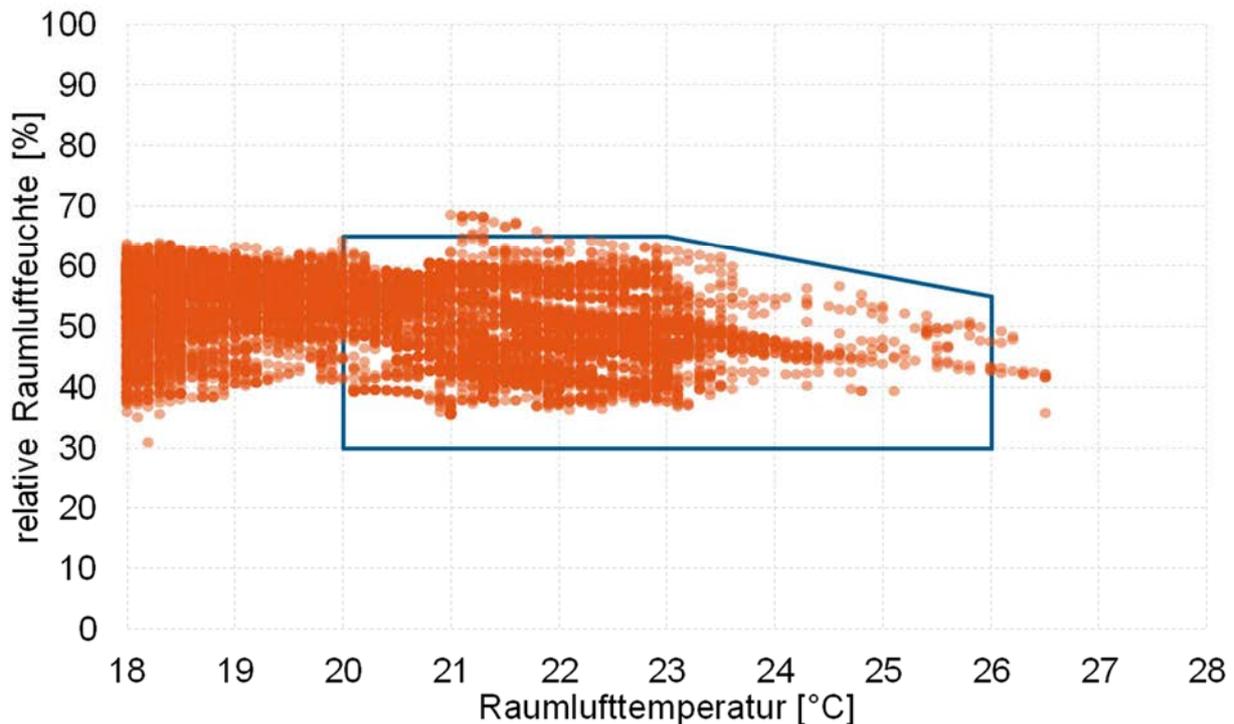


Abbildung 51: Komfortdiagramm, alle Messwerte, 17.06.2014 bis 28.03.2015

Man erkennt aus den Komfortdiagrammen, dass die Messwerte insbesondere im unteren Temperaturbereich angeordnet sind und insbesondere in Abbildung 52 eine sehr große Anzahl an Datenpunkten außerhalb des Behaglichkeitsfensters liegt. Rund 77 % der Messwerte zeigen eine geringere Temperatur als 20 °C, nur etwa 0,1 % eine höhere als 26 °C. Nur 0,03 % der Werte haben eine geringere relative Luftfeuchtigkeit als 30 %, 3,8 % eine solche von mehr als 60 %.

²¹ Erklärung Diagramm: In dieser Darstellung sollten möglichst alle Datenpunkte innerhalb der grünen Zone sein. Dieser Bereich kennzeichnet den Bereich mit Raumluftzuständen, die von den meisten Menschen als angenehm und komfortabel bezeichnet werden. Davon abweichend ist die Luft entweder zu trocken/zu feucht und/oder zu kalt/zu warm.

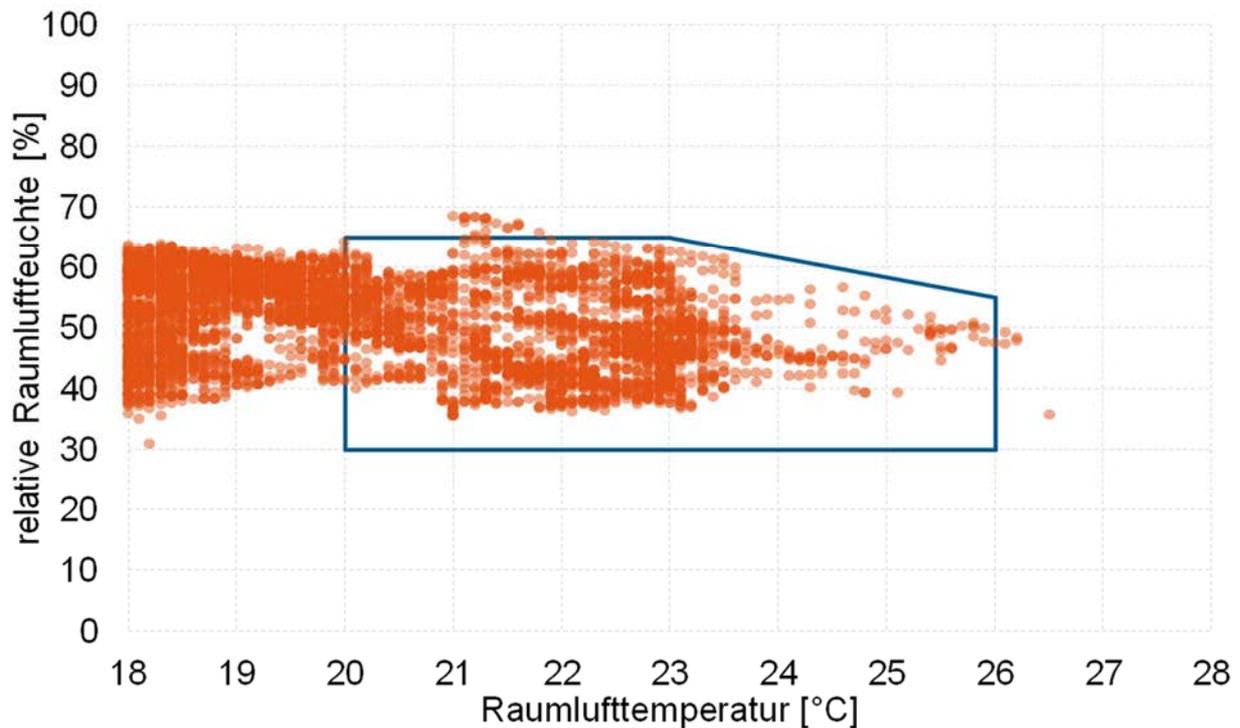


Abbildung 52: Komfortdiagramm, Wochenenden und Nachtstunden (22:00-7:00) gefiltert, 17.06.2014 bis 28.03.2015

Anmerkung Gebäudeeigentümer:

Laut Nutzer gibt es keine Probleme mit zu geringen Temperaturen. Möglicherweise ein Fehler bei der Aufzeichnung.

CO₂-Konzentration

Der maximal zulässige Grenzwert am Arbeitsplatz von 5.000 ppm wurde zu keinem Zeitpunkt annähernd erreicht. Die höchste gemessene CO₂-Konzentration betrug 2.749 ppm, die niedrigste 353 ppm. Rund 28,3 % der Messwerte lagen über der Pettenkofer-Zahl von 1.000 ppm.

Abbildung 53 stellt einen Carpet-Plot sämtlicher Messwerte im Betrachtungszeitraum dar. Rote Felder verdeutlichen hierbei besonders hohe Konzentrationen, grüne hingegen relativ niedrige. Der Wertebereich dazwischen ist in unterschiedlichen Gelbtönen dargestellt.

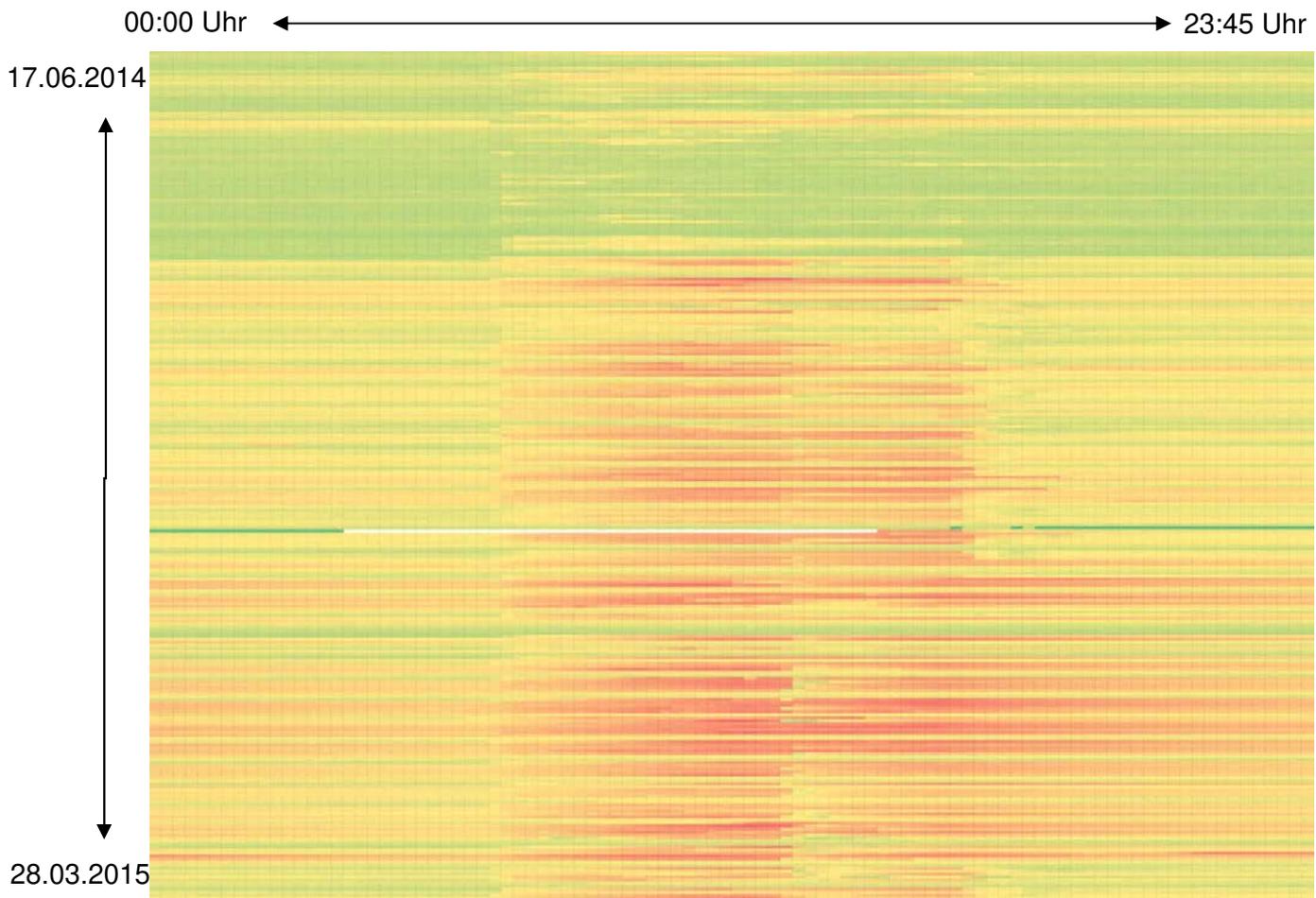
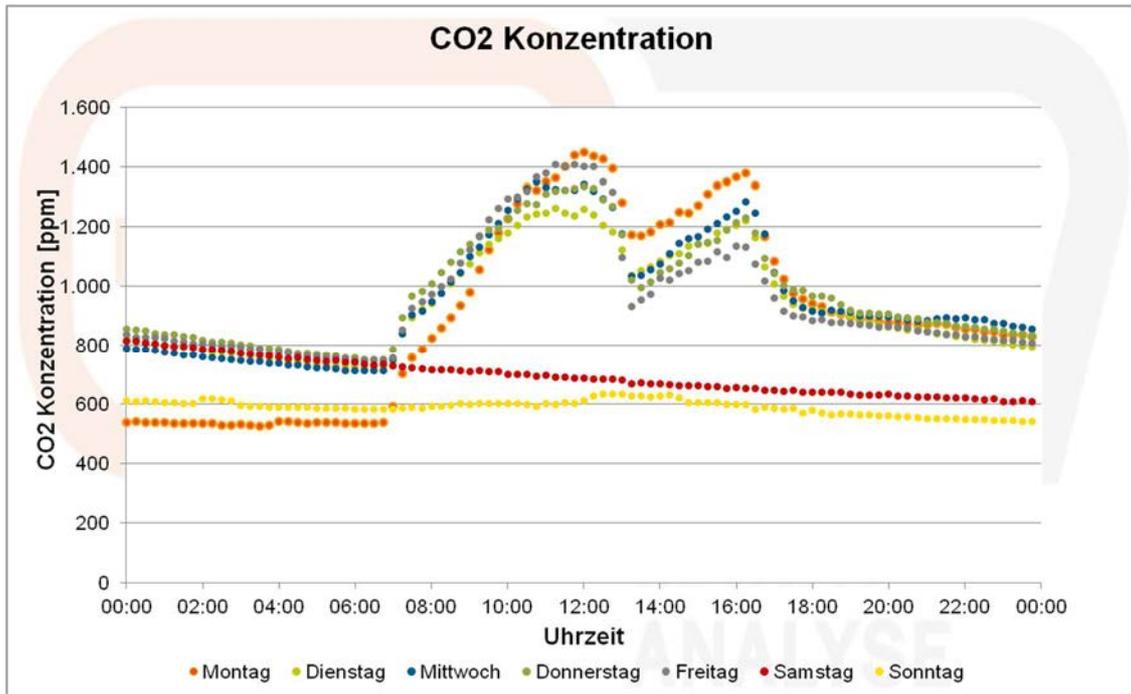


Abbildung 53: Carpet-Plot, CO₂-Konzentration, 17.06.2014 bis 28.03.2015

Abbildung 54 stellt die Mittelwerte der Messwerte in Abhängigkeit des jeweiligen Wochentages dar. Dabei zeigt sich, dass zwischen 06:00 und 12:00 Uhr die CO₂-Konzentration an Werktagen ansteigt, danach bis ca. 14:00 Uhr sinkt und wieder ansteigt, ehe sie ab 16:00 Uhr zurückgeht. Am Samstag geht die CO₂-Konzentration sukzessive zurück, was sich am Sonntag zunächst fortsetzt, ehe bis Montagfrüh ein konstantes Minimalniveau erreicht wird. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass in dieser Zeit das Gebäude nicht besetzt ist und dadurch kein Anstieg der CO₂-Konzentration eintritt, sondern durch die vorhandene Luftdurchmischung eine Abnahme ermöglicht wird.

Abbildung 54: Mittelwert CO₂-Konzentration nach Wochentag, 17.06.2014 bis 28.03.2015**Fazit:**

Die verfügbaren Temperaturmessdaten weisen überwiegend eine Innentemperatur auf, welche außerhalb des Behaglichkeitsfensters liegt.

Die CO₂-Konzentrationen sind während der Nutzungszeiten als eher hoch zu bewerten und liegen zu 28,3 Prozent über 1.000 ppm, was einen Grenzwert für sehr gute Luftqualität darstellt. Die maximale Arbeitsplatzkonzentration von 5.000 ppm wurde zu keinem Zeitpunkt erreicht. Jedoch zeigen die Daten, dass auch ohne mechanische Lüftungsanlage eine ausreichende Raumluftqualität erzielt werden kann.

9.5 Kindergarten Velden, Ktn

Allgemeine Projektbeschreibung

Der gemeindeeigene Kindergarten in Velden am Wörthersee (Kärnten) befindet sich in einer gründerzeitlichen Villa aus ca. 1920. Die Gruppenräume befinden sich in einem Zubau aus den 1970er Jahren. Die zentrale Lage des Gebäudes, die Grünflächen, die gut erhaltene Bausubstanz, der architektonische Wert sowie die grundsätzliche Zufriedenheit der Nutzer mit dem Gebäude sprachen für eine Sanierung anstatt eines Neubaus. Das Gebäude wurde einer thermischen Sanierung auf Passivhausqualität unterzogen, um den Nutzungskomfort zu erhöhen und das Gebäude den pädagogischen Anforderungen sowie dem aktuellen Stand der Technik anzupassen.

Im Zuge der Sanierung wurde das Gebäude thermisch saniert und eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingebaut. Das Lüftungsgerät entspricht den Anforderungen an den Passivhausstandard mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 85%. Die Wärme wird nach der Sanierung weiterhin von der örtlichen Fernwärme aus Biomasse geliefert.

Zur Steigerung der Energieeffizienz der Beleuchtung wurde das bestehende Beleuchtungssystem (Glühlampen und Leuchtstoffröhren) gegen ein LED-System mit tageslichtabhängiger Regelung getauscht. Damit soll der beleuchtungsinduzierte Stromverbrauch um etwa 55% reduziert werden. Zusätzlich wird eine 88m²- Photovoltaikanlage mit einer Peak-Leistung von 10kW Strom für den Eigenbedarf produzieren.

Ausgangszustand:

<i>Eigentümer/ Betreiber</i>	Marktgemeinde Velden am Wörther See
<i>Ansprechpartner / Kontaktpersonen</i>	Dr. Helmut Kusternik
<i>Standort</i>	Velden am Wörthersee, Bäckerteichstrasse 9
<i>Gebäudetyp</i>	Kindergarten
<i>Errichtungsjahr Bestandsgebäude</i>	1890 / 1978 (Zubau)
<i>Größe (BGF)</i>	835 m ²

9.5.1 Sanierungsmaßnahmen

9.5.1.1 Gebäudehülle

Die Außenwände der Villa und des Anbaus wurden mit zusätzlich 12 cm Steinwolle bzw. 36 cm Isocell Zellulosefaser versehen. Der U-Wert konnte so von 1,75 bzw. 0,51 W/m²K auf 0,30 bzw. 0,09 W/m²K reduziert werden.

Die Decke zum Dachraum der Villa wurde wie die Dachschräge mit 26 cm Steinwolle-Dämmplatten gedämmt. Der U-Wert wurde von 0,19 bzw. 0,29 W/m²K auf 0,07 bzw. 0,08 W/m²K verbessert.

Das Flachdach des Anbaus wurde mit 36 cm Steinwolle-Einblasung verbessert. Der U-Wert wurde von 0,42 auf 0,08 W/m²K gesenkt.

Die Kellerdecke der Villa wurde mit 24 cm Steinwolle (U-Wert von 0,67 W/m²K auf 0,11 W/m²K) und der erdanliegende Fußboden des Anbaus mit 30 cm XPS Top 30 (U-Wert von 0,65 W/m²K auf 0,10 W/m²K) gedämmt.

Die Außenwände der historischen Villa wurden mittels 8cm Kalziumsilikatplatten innen gedämmt.

Die bestehenden Fenster wurden durch Holzfenster mit 3 Scheibenverglasung mit einem durchschnittlichen U-Wert von 0,92 W/m²K ersetzt.

Die Fensteraußenflügel der bestehenden Kastenfenster wurden erhalten, um das Erscheinungsbild zu wahren. Daher wurden die Fensterrahmen behandelt und lediglich das Glas gegen Isolierglas getauscht. Die Innenfensterflügel wurden durch neue Isolierglasfenster ersetzt.

9.5.1.2 Gebäudetechnik

Heizen, Kühlen, Lüften, Warmwasser

Das bestehende Gebäude wird mit Fernwärme aus Biomasse beheizt. Die Warmwassererzeugung erfolgt zentral ebenfalls mit Fernwärme. Die Wärmeversorgung nach der Sanierung wurde daher nicht verändert. Die Wärmeabgabe erfolgt durch Wand- und Fußbodenheizung, Radiatoren sowie die Lüftung.

Zur Reduzierung der Kühllast wurde ein außen liegendes Verschattungssystem in Form von elektrisch gesteuerten Raffstores installiert. Der bauliche Sonnenschutz reduziert die Kühllast gegen Null.

Im Zuge der Sanierung wurde in das Gebäude eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingebaut. Das Lüftungsgerät entspricht den Anforderungen des Passivhausstandard. Der Wärmerückgewinnungsgrad der Lüftungsanlage beträgt 85 %.

Die Lufteinbringung in die Gruppenräume erfolgt mit geringster Luftgeschwindigkeit mittels Luftsäcken aus Leinenmaterial zur optimalen Luftverteilung im Raum. Durch dieses Konzept wird sowohl die Beeinträchtigung durch Schall als auch Luftbewegung vermieden.

Beleuchtung, Regelungstechnik

Zur Steigerung der Energieeffizienz im Bereich Beleuchtung wurde das bestehende Beleuchtungssystem (Glühlampen und Leuchtstoffröhren) gegen LED-Systeme mit tageslichtabhängiger Regelung getauscht. Damit konnte der Stromverbrauch der Beleuchtung um etwa 55 % reduziert werden.

Zur Anlagenoptimierung wurden die Mess-, Steuer- und Regelungstechnik des Objektes erweitert. Die Heizung wird außentemperaturgesteuert und die Lüftungsregelung erfolgt mittels CO₂-Fühlern.

Photovoltaik-Anlage

Eine Photovoltaikanlage mit einer Peak-Leistung von 10 kW kann ca. 9 MWh an Strom für den Eigenbedarf produzieren. Die Modulfläche der Anlage beträgt 88 m².

Der Stromverbrauch im Kindergarten betrug vor der Sanierung im Jahr 2010 rund 11.450 kWh. Der Kindergarten Velden kann somit zu ca. 80% mit selbst erzeugtem Strom versorgt werden.

9.5.1.3 Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)

Tabelle 21 zeigt die im Energieausweis berechneten Werte des Heizwärmebedarfs* des Gebäudes im Referenzklima vor und nach der Sanierung, Abbildung 55 stellt die im Rahmen der Mustersanierung erreichte Reduktion dar. Die Energieausweisberechnung weist eine Reduktion des HWB* um 46,77 kWh/m³a oder rund 88,8 % im Zuge der Sanierung aus.

Tabelle 21: Vergleich Energiekennzahlen vor und nach Sanierung

Heizwärmebedarf* lt. Energieausweis	
Vor Sanierung	Nach Sanierung
<i>kWh/m³a</i>	<i>kWh/m³a</i>
52,66	5,89

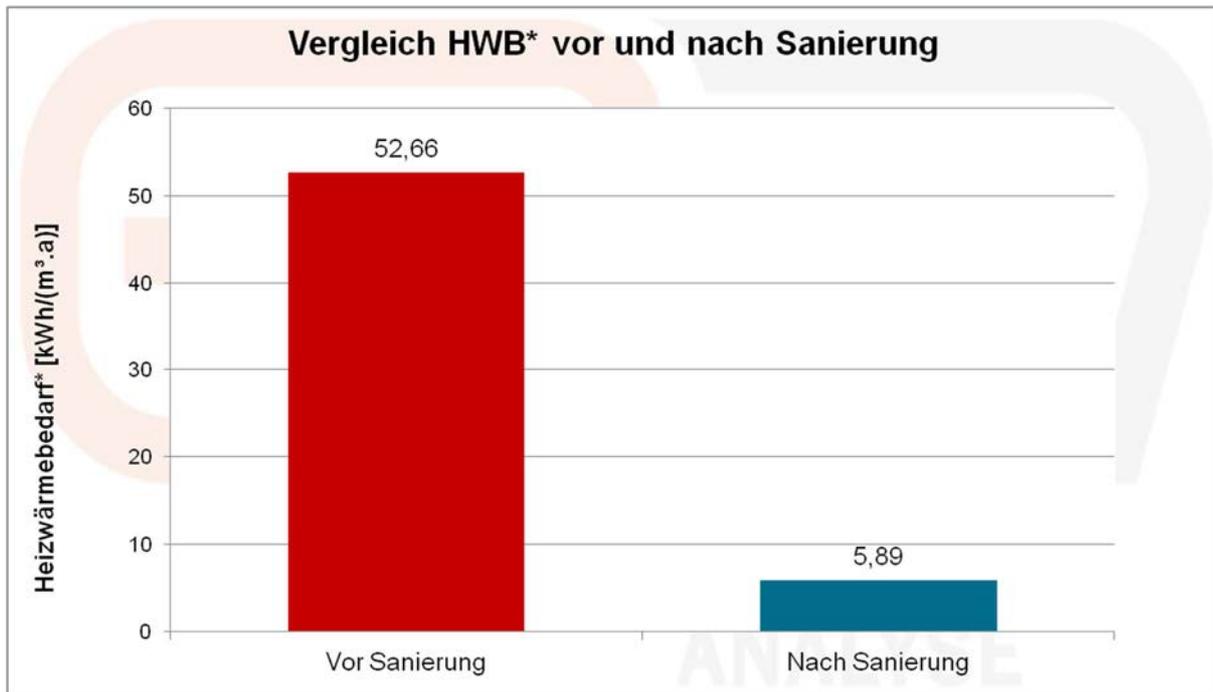


Abbildung 55: Gegenüberstellung HWB* vor und nach Sanierung

9.5.2 EVM-Schema

Um das Energieverhaltensverhalten und die Komfortparameter des Gebäudes nach der Sanierung bewerten zu können, wurde ein Monitoringsystem installiert. Dieses misst an relevanten Punkten in der Haustechnikanlage und im Gebäude folgende Parameter:

- Raumlufttemperatur, CO₂-Konzentration und relative Luftfeuchte
- Zuluft-, Außenluft, Fortluf- und Ablufttemperatur sowie die zugehörigen Luftfeuchten der Lüftungsanlage
- Elektrischer Energieverbrauch der Lüftungsanlage, des Hilfsstromverbrauchs und des Allgemeinstroms
- Wärmeenergieverbrauch gesamt, der Wärmeabgabesysteme und der Warmwasserversorgung

Das Monitoringsystem erfasst die Messwerte und Zählerstände viertelstündlich und speichert diese ab. Zur Auswertung für diesen Bericht wurden Daten aus dem Monitoringsystem im Zeitraum von 07.03.2016 bis 04.05.2016 und vom 19.06.2016 bis zum 19.07.2016 herangezogen. Die Datenpunkte des EVM sind in Abbildung 56 dargestellt.

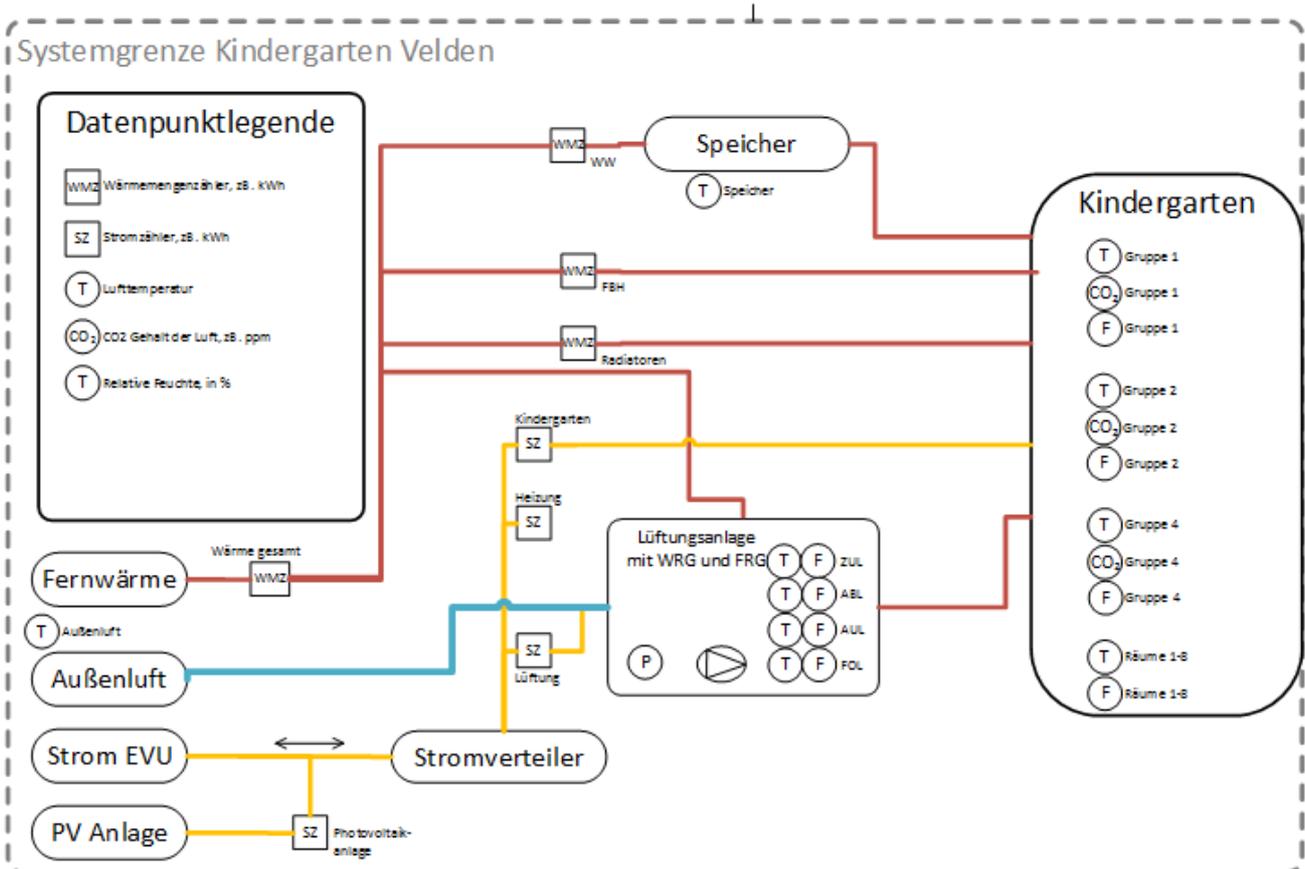


Abbildung 56: EVM-Schema mit Datenpunkten

9.5.3 Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung

Die folgenden CO₂-äquivalenten Emissionsergebnisse und Energieverbrauchsergebnisse, welche in Tabelle 22 und Tabelle 23 angegeben sind, basieren auf den Angaben der Einreichunterlagen vor der Sanierung und den gemessenen Werten durch das EVM nach der Sanierung sowie den CO₂-Faktoren aus der KPC-Förderberechnung. Nach der Sanierung ist der Wert für CO₂-äquivalente Emissionen bedingt durch das Heizen Null, nachdem das Heizsystem mittels biogener Fernwärme versorgt wird.

Tabelle 22: Berechnete, CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen

CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen²²		
Vor Sanierung	Nach Sanierung	Nach Sanierung
Förderereinreichung	Energieausweis	EVM
<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>
68,00	0,00	0,00

Das EVM-System des Gebäudes lieferte zur Auswertung keine verlässlichen Daten. Für die Heizsaison 2016 standen Daten vom 07.03.2016 bis 04.05.2016 und vom 19.06.2016 bis zum 19.07.2016 zur Verfügung. Anhand der mehrwöchigen Datenlücke zeigt sich, dass die Datenaufzeichnung nicht problemlos funktioniert. Um dennoch einen qualitativen Vergleich mit dem Heizwärmeverbrauch aus dem Energieausweis zustande zu bringen, wurde der mittlere Tagesenergieverbrauch der vollständig aufgezeichneten Tage in der Messperiode berechnet und mit der Anzahl der Heizgradtage aus dem Jahr 2015 multipliziert, um eine Hochrechnung für den Jahresenergieverbrauch zu erlangen. Tabelle 23 zeigt den Vergleich des Heizwärmebedarfs im Referenzklima laut Energieausweis vor und nach der Sanierung mit diesem hochgerechneten Heizwärmeverbrauch.²³ Vergleicht man die beiden flächenspezifischen Werte des HWB, so wird für die Mustersanierung eine relative Reduktion von 87,9 % errechnet.

Vergleicht man den hochgerechneten Heizwärmeverbrauch mit dem HWB-Wert nach der Sanierung, so beträgt die relative Reduktion 75,2 %. Dieser grobe, qualitative Vergleich zeigt dennoch den grundsätzlichen Erfolg der Mustersanierung auf.

²² Die Daten der berechneten CO₂-äquivalenten Emissionen vor und nach Sanierung stammen aus den Unterlagen der Förderereinreichung, da zu diesem Zeitpunkt CO₂ nicht im EAW berechnet wurde (Versionen der OIB Richtlinie 6 vor 2011). Wenn biogene Energieträger eingespart werden, wird fiktiv ein fossiler Brennstoff (Heizöl) zur Bestimmung der CO₂-Einsparung gegengerechnet, da hier die eingesparten erneuerbaren Energieträger für andere Objekte mit fossilen Energieträgern genutzt werden können.

²³ Die Vergleichbarkeit des im Energieausweis berechneten Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs (HWB und KB) einer thermischen Gebäudezone mit gemessenen Wärmemengen ist aus mehreren Gründen nicht direkt gegeben. Einerseits sind die berechneten Werte für das Gebäude vor und nach der Sanierung gute Anhaltspunkte um die Verbesserung der thermischen Qualitäten des Objektes zu bewerten. Andererseits sind die gemessenen Werte stark vom tatsächlichen Wetter und Benutzerverhalten im jeweiligen Messzeitraum abhängig. Daher ergibt sich aufgrund der Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen Messzeitraum und der theoretischen Berechnungsgrundlagen eine große Unsicherheit bezüglich der Vergleichbarkeit von Kennwerten zwischen Messung und Berechnung. Darüber hinaus sind HWB und KB theoretische Bedarfsgrößen einer thermischen Zone ohne messbaren Charakter. Gemessene Wärmemengen hingegen sind lokale zuordenbare Größen im Energieverteilungssystem.

Tabelle 23: Vergleich Heizwärmebedarf aus Energieausweis (Referenzklimawerte) zu Heizwärmeverbrauch

Vergleich Heizwärmebedarf zu Heizwärmeverbrauch		
Vor Sanierung; BGF=835 m²	Nach Sanierung; BGF=835 m²	Nach Sanierung; BGF=835 m²
HWB Energieausweis	HWB Energieausweis	EVM
<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>
178,90	21,66	44,39

Anteil erneuerbarer Energieträger am Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes

Das Gebäude wird bereits seit längerem durch Fernwärme aus Biomasse mit Wärme versorgt. Die im Rahmen der Sanierung errichtete Photovoltaik-Anlage verzeichnete einen Ertrag von 4.637 kWh, was einem mittleren Tagesertrag von 32 kWh entspricht. Der restliche Stromverbrauch wird mittels Ökostrom aus dem Netz gedeckt.

Fazit:

Der Heizenergieverbrauch des Gebäudes wird durch Fernwärme aus Biomasse gedeckt. Die Photovoltaik-Anlage, welche im Rahmen der Mustersanierung installiert worden ist, lieferte im Betrachtungszeitraum einen Betrag, welcher rund 67 % des elektrischen Energieverbrauchs des Gebäudes entspricht. Die Prognose eines Anlagenertrags von 9 MWh/a dürfte erreicht werden. Der Energieverbrauch des Gebäudes wird damit zu einem hohen Anteil durch erneuerbare Energieträger vor Ort gedeckt.

9.5.4 Detailergebnisse Energieverbrauchsmonitoring

9.5.4.1 Zusammenfassung

Das Monitoringsystem des Kindergarten Velden umfasst zwei Wärmezähler, vier elektrische Energiezähler sowie Sensoren zur Aufzeichnung der Raumlufttemperatur, -feuchte und CO₂-Konzentration in 12 Räumen. Das Messsystem funktioniert allerdings unzuverlässig, sodass zur Auswertung zwei Zeitperioden von 07.03.2016 bis 04.05.2016 und vom 19.06.2016 bis zum 19.07.2016 zur Verfügung standen. Detaillierte Auswertungen über einen gesamten Jahresverlauf sind daher zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich.

Die Daten des Energieverbrauchsmonitorings (EVM) zeigen, dass der Tagesbetrieb den größten Anteil am Energieverbrauch ausmacht.

Für die nähere Auswertung des Heizenergieverbrauchs ist die Datenqualität des Messsystems zu gering. Für den Zählpunkt der Radiatoren sind die Messdaten deutlich aussagekräftiger und es zeigt sich, dass für eine Reihe von Tagen nachts höhere Verbräuche auftreten als tagsüber. Dies lässt auf eine Heizungsregelung ohne Nachtabsenkung schließen, was möglicherweise sogar zu Übererwärmung führt.

Die Messdaten der Lüftungsanlagen waren ebenso wenig aufschlussreich, es zeigt sich ein verstärkter Betrieb zwischen 06:00 und 20:00 Uhr. Rund 27 % des Energieverbrauchs fallen an Wochenenden an. Dies spricht für einen unveränderten Betrieb der Anlage auch an Wochenenden. Das Einsparpotenzial durch Wochenendabschaltung beträgt damit rund 330 kWh.

Die Photovoltaik-Anlage konnte 67,07 % des elektrischen Energiebedarfs des Gebäudes bereitstellen.

Aus den Behaglichkeitsmessungen geht hervor, dass die Luftfeuchtigkeit oftmals zu niedrig ist, was in zu hohen Luftwechselraten begründet sein kann. Die CO₂-Messwerte sind hinsichtlich des Tagesverlaufs nur bedingt aussagekräftig, liegen allerdings allesamt deutlich unter 800 ppm.

9.5.4.2 Energieflussbild

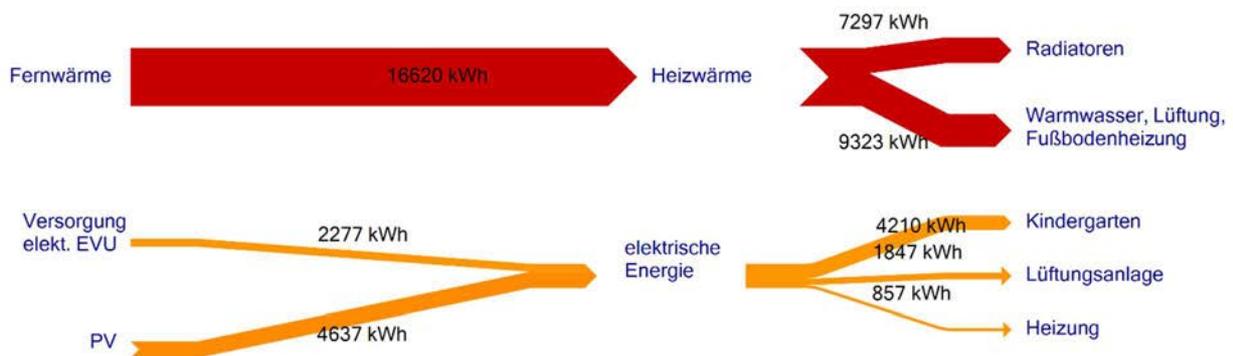


Abbildung 57: Energiefluss Bilanz 07.03.2016 bis 19.07.2016

9.5.4.3 Heizwärmeverbrauch

Das bestehende EVM-System zeichnete die Heizwärmeverbrauchsdaten mangel- bzw. lückenhaft auf. So stehen für die Analyse nur im Zeitraum von 07.03.2016 bis 19.07.2016 Daten zur Verfügung, wobei in diesem Zeitraum eine Datenlücke von 04.05. bis 19.06. aufgetreten ist. Auch die Detailliertheit der Aufzeichnung ist nicht ideal, wie aus dem Carpet-Plot des Heizenergieverbrauchs in Abbildung 58 deutlich wird. Der weiße Streifen in Abbildung 58 entspricht der angesprochenen

Datenlücke. Die Detailliertheit der Messwerte, ist sehr dürftig, nachdem diese allesamt zwischen 9,984 und 10,016 kWh liegen und damit wenig Information über die Anlagenregelung geben.

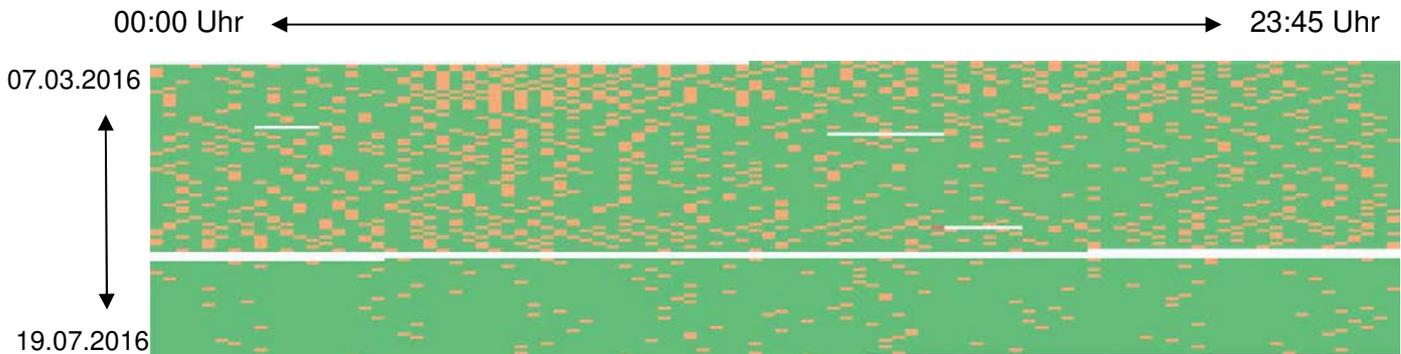


Abbildung 58: Carpet-Plot, Heizenergieverbrauch, 2016

Aufgrund der kumulierten Erfassung von Verbrauchsdaten, kann der Energieverbrauch innerhalb einer Datenlücke bestimmt werden. Für den Messzeitraum von 07.03.2016 bis 19.07.2016 ergeben sich die folgenden Energiemengen je nach Zählpunkt:

- Fernwärme 16.620 kWh
- Wärmeabgabe Radiatoren 7.297 kWh

Auf Samstag und Sonntage entfallen 23,1 % des gesamten Fernwärmebezugs, was 2.910 kWh entspricht.

Abbildung 59 zeigt den Carpet-Plot der Messwerte des Heizenergieverbrauchs der Radiatoren. Auch hierbei ist die Datenlücke als weißes Band deutlich erkennbar. Ab 22.06. sind alle Verbrauchswerte null, sodass dieser Tag das Ende der Heizsaison markiert. Allerdings wäre gerade der Verbrauchsübergang am Ende der Heizsaison interessant, welcher jedoch in den Zeitraum der Datenlücke fällt. 20,3 % des Wärmeverbrauchs der Radiatoren fällt an Wochenenden an, das entspricht 1.478 kWh.

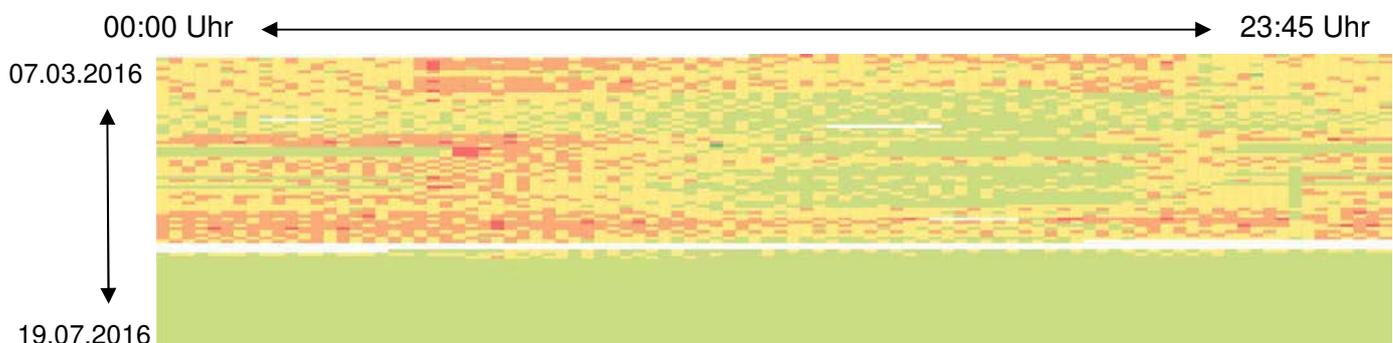


Abbildung 59: Carpet-Plot: Radiatoren, 2016

Abbildung 60 zeigt die Tagesbilanz des Fernwärmebezugs und des Wärmeverbrauchs der Radiatoren. Auf der Sekundärachse ist die mittlere Tagestemperatur aufgetragen. Auch in diesem Bild ist die Datenlücke entsprechend zu erkennen. Dabei wird deutlich, dass die Wärmeabgabe über die Radiatoren erst um den 20.06. null wird. Der Fernwärmebezug geht hingegen nicht gegen null, nachdem diese auch für die Warmwasseraufbereitung verantwortlich ist und somit der Grundlast entspricht. Der Mittelwert der Messwerte nach der Heizperiode liegt bei rund 40 kWh.

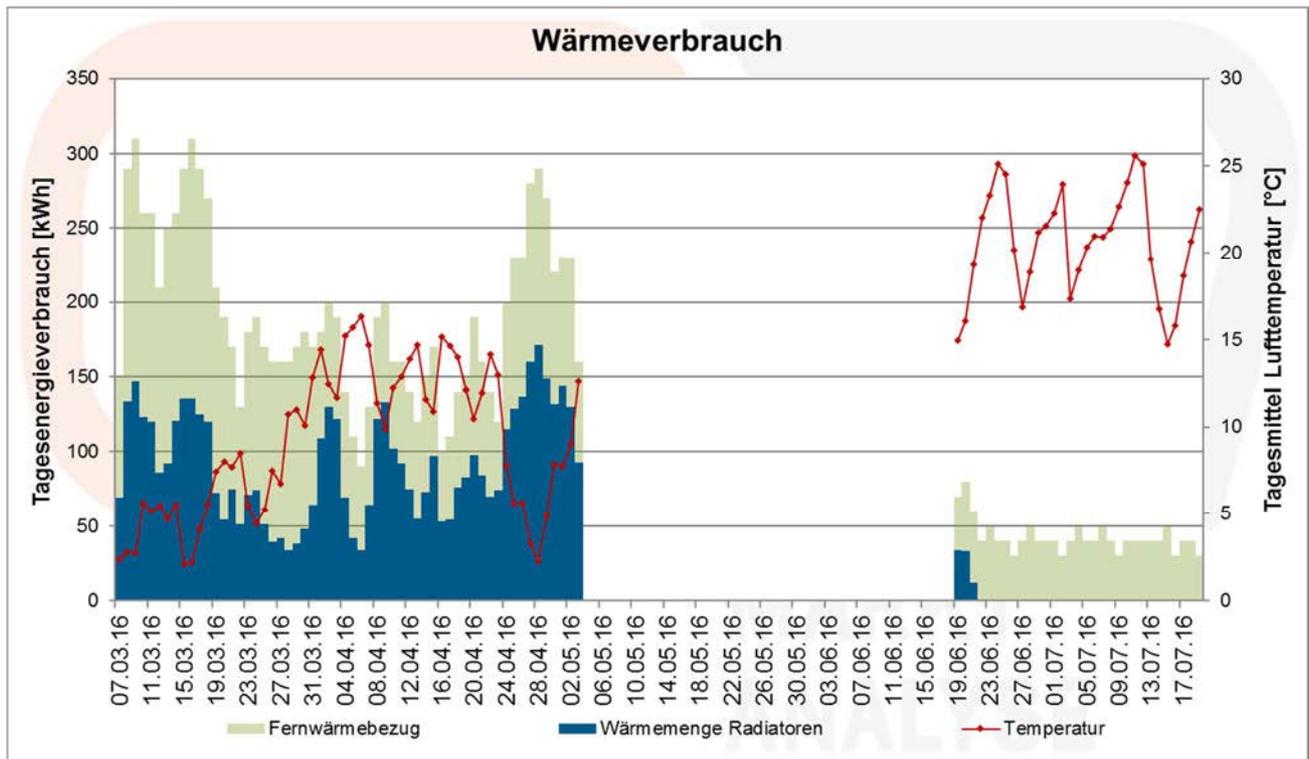


Abbildung 60: Tagesbilanz Wärmeverbrauch, 2016

Im Mittel werden 47,9 % des Wärmeverbrauchs über die Radiatoren abgegeben. Der Rest entspricht der Wärmeabgabe über Fußbodenheizung, Lüftung und Warmwasseraufbereitung.

Auffälligkeiten:

- Der Energieverbrauch der Radiatoren geht kurz nach dem Wiederbeginn der Messaufzeichnung gegen null. Der Fernwärmebezug bleibt zum Zwecke der Warmwasserbereitstellung erhalten.
- Der Anteil der gemessenen Energieverbrauchswerte der Radiatoren am Gesamtverbrauch ist mit knapp 50 % relativ gering und zeigt eine unvollständige Aufzeichnung der Wärmeverteilung im Gebäude.

Fazit:

Die Aufzeichnung der Messdaten verläuft sehr unzuverlässig und lässt keine detaillierten Schlussfolgerungen zu. Die Verbrauchsprognose auf Basis der Messdaten zeigt, dass der Wärmeenergieverbrauch der prognostizierten Reduktion laut Energieausweisberechnung gerecht wird. Der Carpet-Plot der Radiatoren zeigt für die Heizsaison für einige Tage nachts höhere Verbräuche als tagsüber. Auf Samstage und Sonntage entfallen 23,1 % des gesamten Fernwärmebezugs, was 2.910 kWh entspricht.

9.5.4.4 Stromverbrauch

Analog zum Heizenergieverbrauch standen auch für den elektrischen Energieverbrauch Verbrauchsdaten im Zeitraum von 07.03.2016 bis 19.07.2016 Daten zur Verfügung, auch hier ist die Datenlücke von 04.05. bis 19.06. aufgetreten. Der Energieverbrauch der Datenlücke ist aufgrund der kumulativen Zählweise bekannt. Die EVM-Zählerpunkte weisen folgenden Energieverbrauch im Betrachtungszeitraum auf:

▪ Stromverbrauch aller Zähler	6.914 kWh
▪ Stromverbrauch Lüftungsanlage	1.847 kWh
▪ Stromverbrauch Kindergarten	4.210 kWh
▪ Stromverbrauch Heizung	857 kWh
▪ Energieertrag Photovoltaik-Anlage	4.637 kWh

Die Photovoltaik-Anlage konnte damit 67,07 % des elektrischen Energiebedarfs des Gebäudes bereitstellen. Abbildung 61 zeigt die anteilmäßige Verteilung der einzelnen Zählerpunkte am elektrischen Gesamtenergieverbrauch. Man erkennt daraus, dass der Zählerpunkt „Kindergarten“ besonders großen Anteil am Gesamtverbrauch hat und mehr als die beiden Haustechnikanlagen in Summe bezieht.

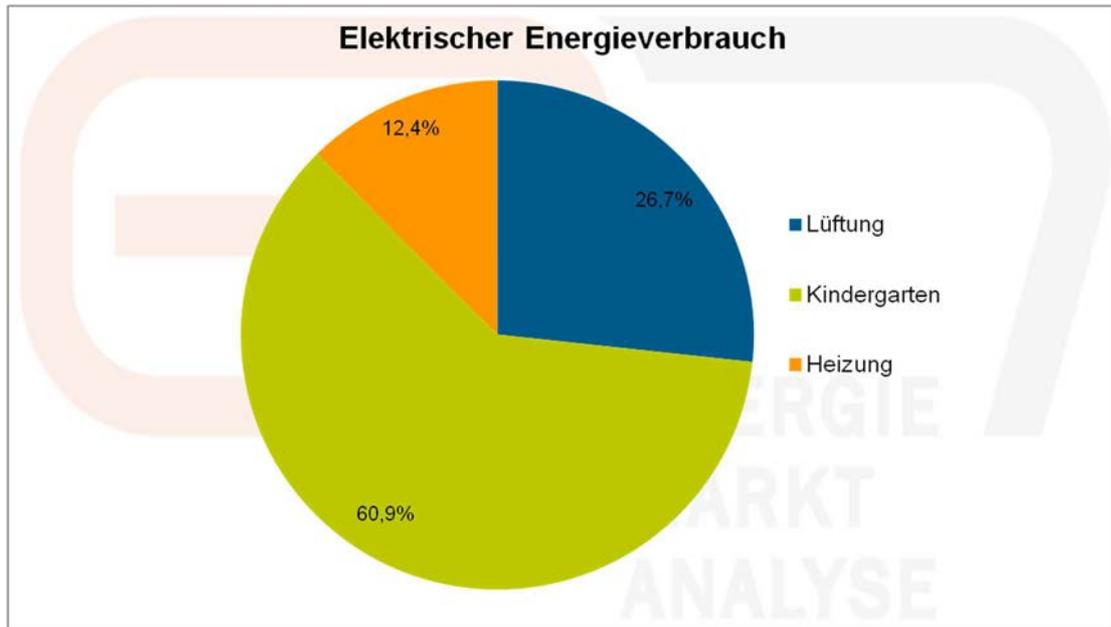


Abbildung 61: Verteilung gesamter elektrischer Energieverbrauch, 07.03.2016 bis 19.07.2016

Abbildung 62 zeigt die flächenspezifische Tagesbilanz des Strombezugs der 3 Zählpunkte dar. Der Ertrag der Photovoltaik-Anlage ist jeweils auf der negativen y-Achse dargestellt. Man erkennt aus den Darstellungen, dass der Stromverbrauch der Lüftung und der Heizungsanlage relativ konstant ausfällt und der Betriebsstrom für die mitunter starken Schwankungen der Nachfrage hauptverantwortlich ist. Die Datenlücke ist ebenfalls klar erkennbar.

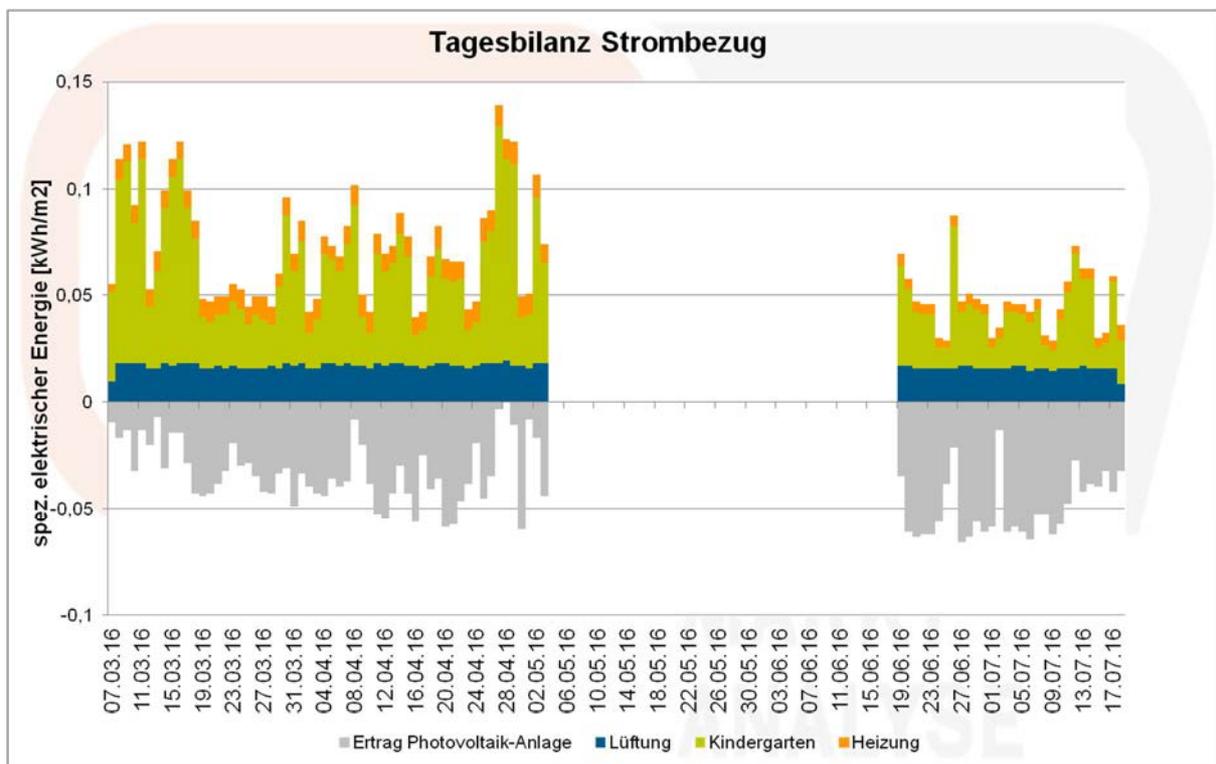


Abbildung 62: Flächenspezifische Tagesbilanz elektrischer Energieverbrauch, 07.03.2016 bis 19.07.2016

Auffälligkeiten:

- Der Betriebsstrom hat den größten Einfluss auf den Energieverbrauch.
- Die haustechnischen Stromverbraucher Lüftung und Heizung weisen einen relativ konstanten Verbrauch auf.
- Die Wochenenden und Ferienzeiten (Ostersonntag 2016: 27.3.) sind deutlich als „Kerben“ in der Tagesbilanz zu erkennen.
- Die von der Photovoltaik-Anlage bereitgestellte Energiemenge übertrifft den durch den Betrieb verursachten Verbrauch um rund 10 %.
- Der Energieverbrauch in der ersten Messperiode ist deutlich höher als in der zweiten.

Nachfolgend werden die einzelnen Stromverbraucher separat betrachtet und analysiert.

Strombezug Lüftung

Abbildung 63 zeigt den Carpet-Plot der Lüftungsanlage im Zeitraum von 07.03.2016 bis 19.07.2016. Die x-Achse zeigt die Tageszeit von 00:00 bis 23:45 Uhr, die y-Achse entspricht dem Datum von 07.03.2016 (oben) bis 19.07.2016 (unten). Jeder Tag entspricht einer Zeile, jede Spalte einem Viertelstundenmesswert beginnend bei 00:00 Uhr ganz links bis 23:45 ganz rechts. Rote Zellen zeigen einen hohen Verbrauch, grüne Zellen entsprechen dem Wert 0. Es wird dabei deutlich, dass in den Nachtstunden die Anlage in deutlich reduziertem Einsatz ist.

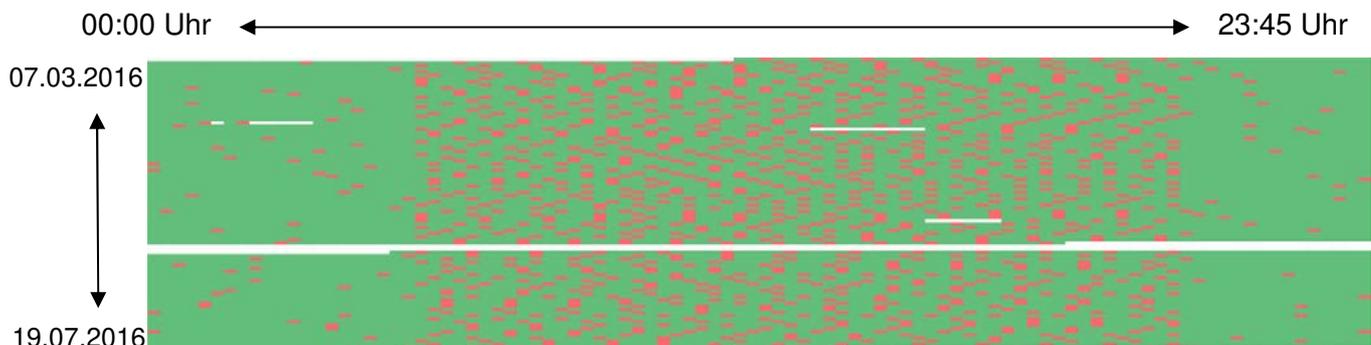


Abbildung 63: Carpet-Plot, Lüftungsanlage, 07.03.2016 bis 19.07.2016

Abbildung 64 zeigt die flächenspezifische Tagesbilanz des elektrischen Energieverbrauchs der Lüftungsanlage. Dabei wird deutlich, dass der Tagesenergieverbrauch der Anlage relativ konstant ausfällt und beispielsweise keine Wochenenden aus der Darstellung erkennbar sind. Dies lässt einen relativ konstanten Betrieb der Anlage vermuten. Der Energieverbrauch der Anlage an Samstagen und Sonntagen entspricht 328 kWh oder 17,8 %.

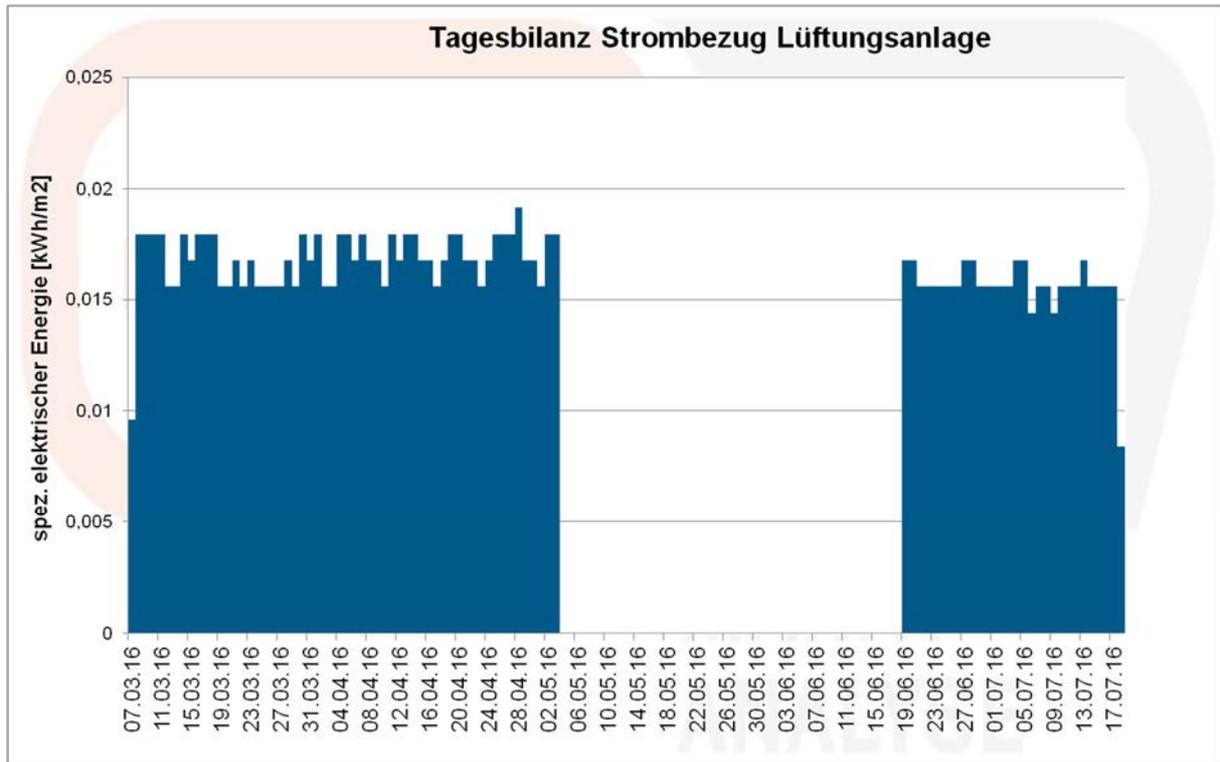


Abbildung 64: Flächenspezifische Tagesstromverbrauch, Lüftungsanlage, 07.03.2016 bis 19.07.2016

Abbildung 65 zeigt die Mittelwertkurve aller Verbrauchswerte der Lüftungsanlage in Abhängigkeit der Zeit. Daraus wird deutlich, dass die Anlage zwischen 05:00 und 20:00 Uhr in Betrieb ist. Die starken Schwankungen der Verbrauchskurve entsprechen den „rot-grün-Übergängen“ im Carpet-Plot.

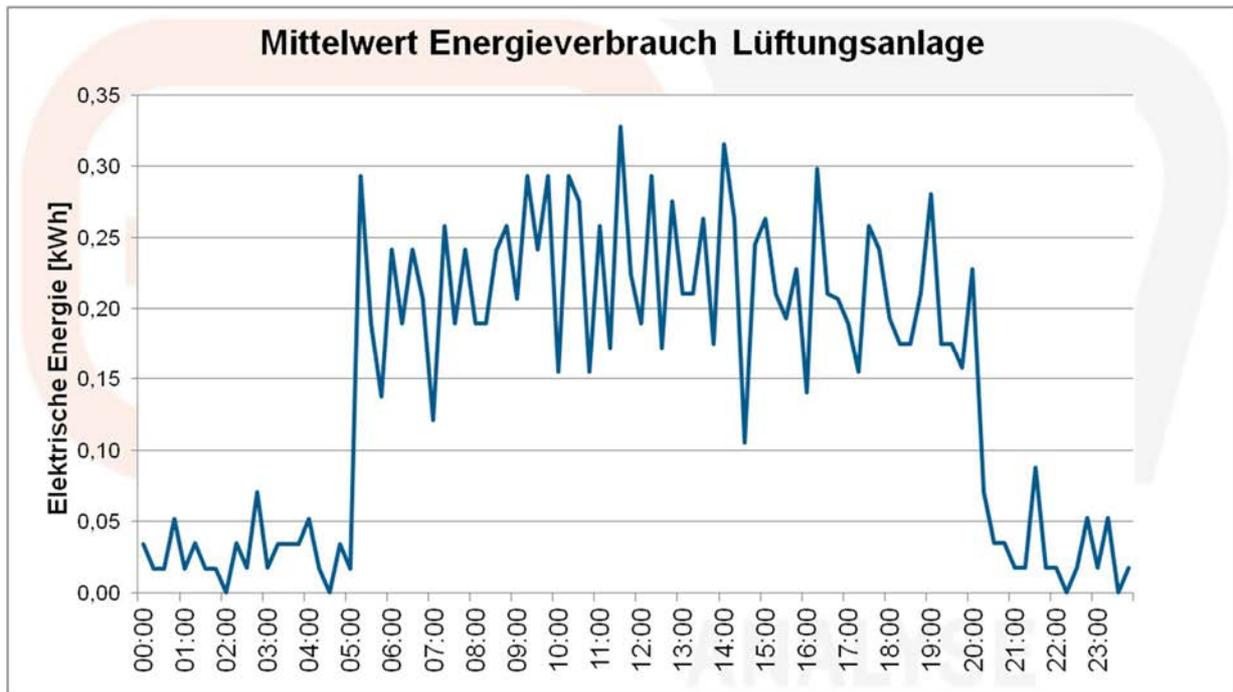


Abbildung 65: Mittelwert des Stromverbrauchs, Lüftungsanlage, 07.03.2016 bis 19.07.2016

Auffälligkeiten:

- Die Anlage weist einen relativ konstanten Tagesenergieverbrauch auf.
- Rund 27 % des Energieverbrauchs fällt an Wochenenden an. Dies spricht für einen unveränderten Betrieb der Anlage auch an Wochenenden. Das Einsparpotenzial durch Wochenendabschaltung beträgt damit rund 330 kWh.

Stromverbrauch Kindergarten

Abbildung 66 zeigt den Carpet-Plot des Zählpunkts „Kindergarten“, welcher den „Tagesbetrieb“ abbildet. Die x-Achse zeigt die Tageszeit von 00:00 bis 23:45 Uhr, die y-Achse entspricht dem Datum von 07.03.2016 (oben) bis 19.07.2016 (unten). Jeder Tag entspricht einer Zeile, jede Spalte einem Viertelstundenmesswert beginnend bei 00:00 Uhr ganz links bis 23:45 ganz rechts. Rote Zellen zeigen einen hohen Verbrauch, grüne Zellen entsprechen dem Wert 0.

Im Carpet plot sind Wochenenden und die Osterferienzeit deutlich erkennbar, nachdem für diese Zeilen das typische Verbrauchsmuster von Werktagen nicht auftritt. Dennoch macht der Verbrauch an Samstagen und Sonntagen 1.565 kWh oder rund 37 % aus. In den Nachtstunden von 20:00 Uhr bis 06:00 Uhr fallen 2.015 kWh oder rund 48 % des Energieverbrauchs an.

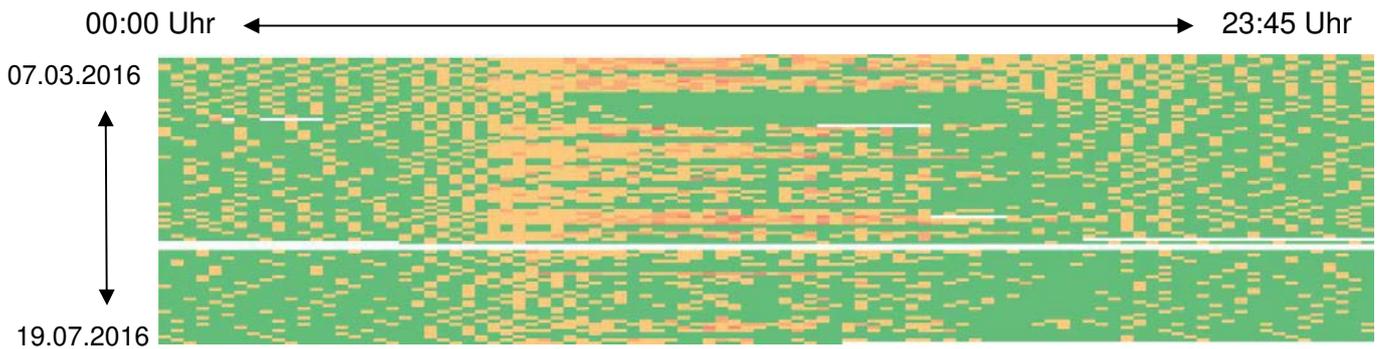


Abbildung 66: Carpet-Plot Stromverbrauch Kindergarten, 07.03.2016 bis 19.07.2016

Abbildung 67 zeigt die flächenspezifische Tagesbilanz des elektrischen Energieverbrauchs des Zählpunkts Kindergarten, welche analog zum Carpet-Plot die Verbrauchsreduktion an Wochenenden und in der Osterferienwoche verdeutlicht.

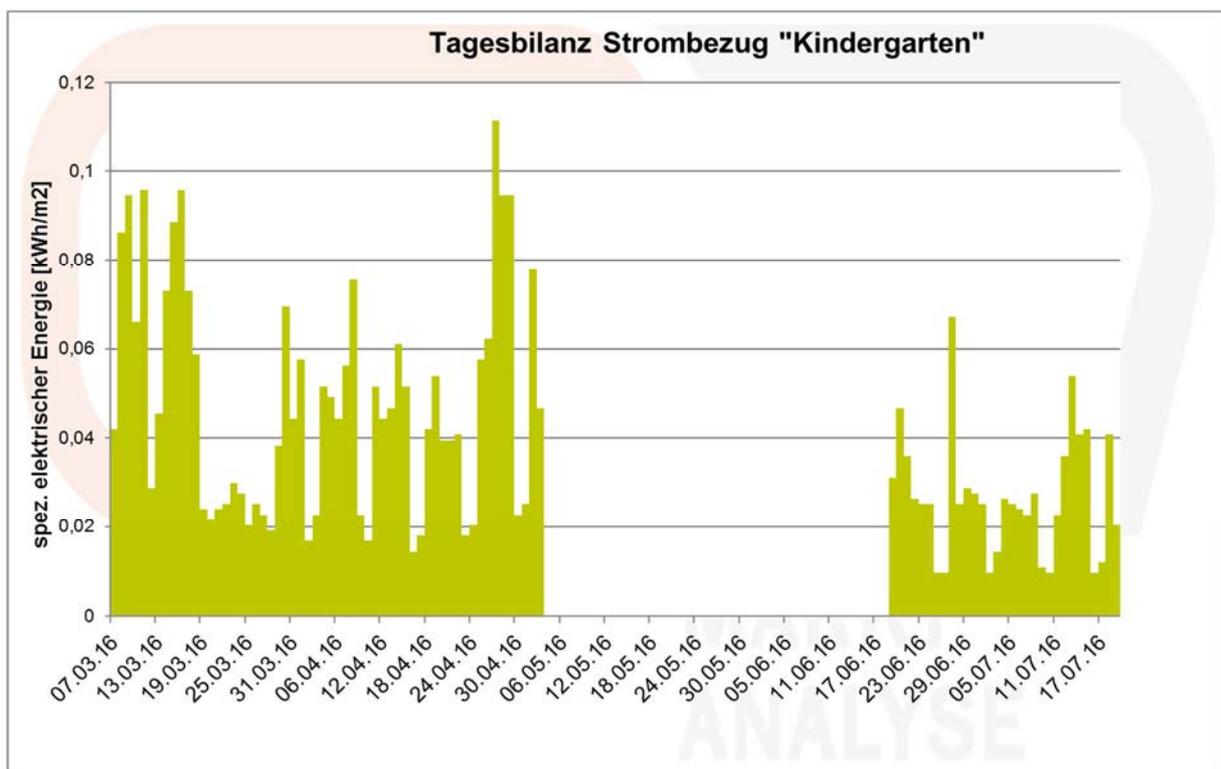


Abbildung 67: Flächenspezifische Tagesbilanz, Kindergarten, 07.03.2016 bis 19.07.2016

Abbildung 68 zeigt die Mittelwertkurve aller Verbrauchswerte in Abhängigkeit der Zeit. Daraus wird deutlich, dass das Gebäude zwischen 05:00 und ca. 16:00 Uhr in Betrieb ist.

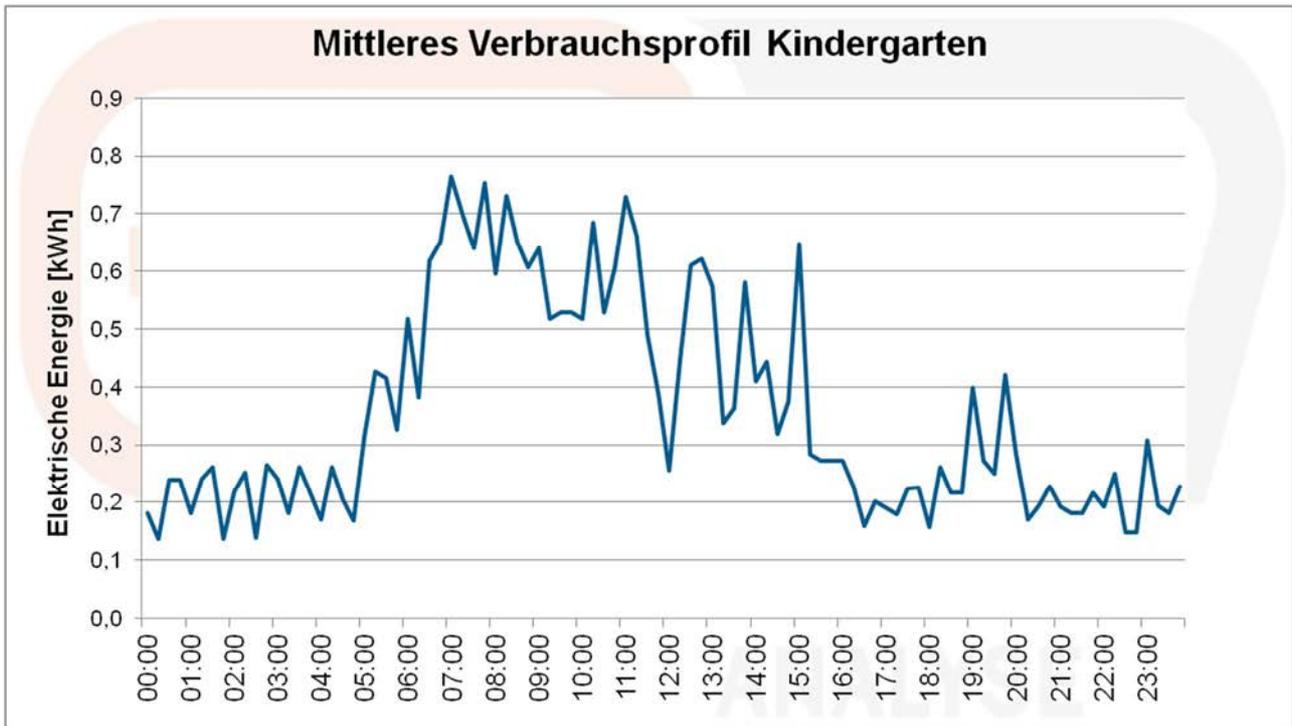


Abbildung 68: Mittelwert des Stromverbrauchs, Kindergarten, 07.03.2016 bis 19.07.2016

Auffälligkeiten:

- Trotz deutlich geringerer Verbrauchswerte an Samstagen und Sonntagen entfallen 1.565 kWh (37 %) des Energieverbrauchs auf Wochenenden.
- In den Nachtstunden von 20:00 Uhr bis 06:00 Uhr fallen 2.015 kWh oder rund 48 % des Energieverbrauchs an.

Strombezug Heizung

Abbildung 69 zeigt den Carpet-Plot des Stromverbrauchs der Heizungsanlage. Die x-Achse zeigt die Tageszeit von 00:00 bis 23:45 Uhr, die y-Achse entspricht dem Datum von 07.03.2016 (oben) bis 19.07.2016 (unten). Jeder Tag entspricht einer Zeile, jede Spalte einem Viertelstundenmesswert beginnend bei 00:00 Uhr ganz links bis 23:45 Uhr ganz rechts. Die roten Zellen zeigen hier weniger den Verbrauchsverlauf dar, als die Zählrate der Energiezähler. Damit zeigt die Abfolge von grünen und roten Zellen an, ob viel oder wenig Verbrauch aufgetreten ist. Es ist etwa erkennbar, dass nach der Datenlücke (weißes Band) deutlich mehr grüne Zellen zwischen roten Feldern anzutreffen sind als davor. Dies verdeutlicht qualitativ, dass nach der Datenlücke ein entsprechend geringerer Verbrauch anfällt als davor.

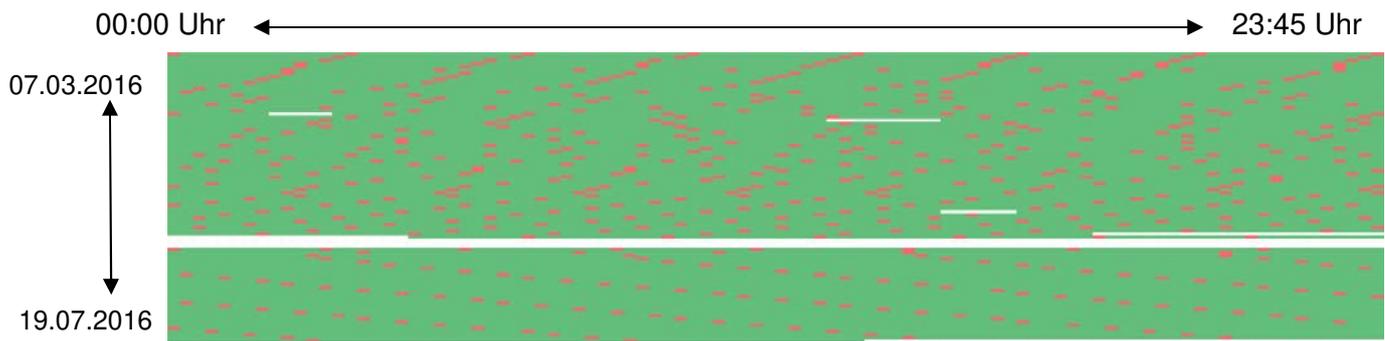


Abbildung 69: Carpet-Plot, Heizung

Abbildung 70 zeigt die flächenspezifische Tagesbilanz des elektrischen Energieverbrauchs der Heizungsanlage. Es wird dabei deutlich, dass der tägliche Stromverbrauch sehr konstant ausfällt. Nach der Datenlücke, ab ca. 20.06., ist der Tagesstromverbrauch nicht nur deutlich geringer, sondern weist auch ein regelmäßiges Muster auf, welches durch die Wochenenden verursacht wird. Der Restanteil ab 19.06.2016 ist vermutlich auf die Warmwasserbereitstellung zurückzuführen (Grundlast).

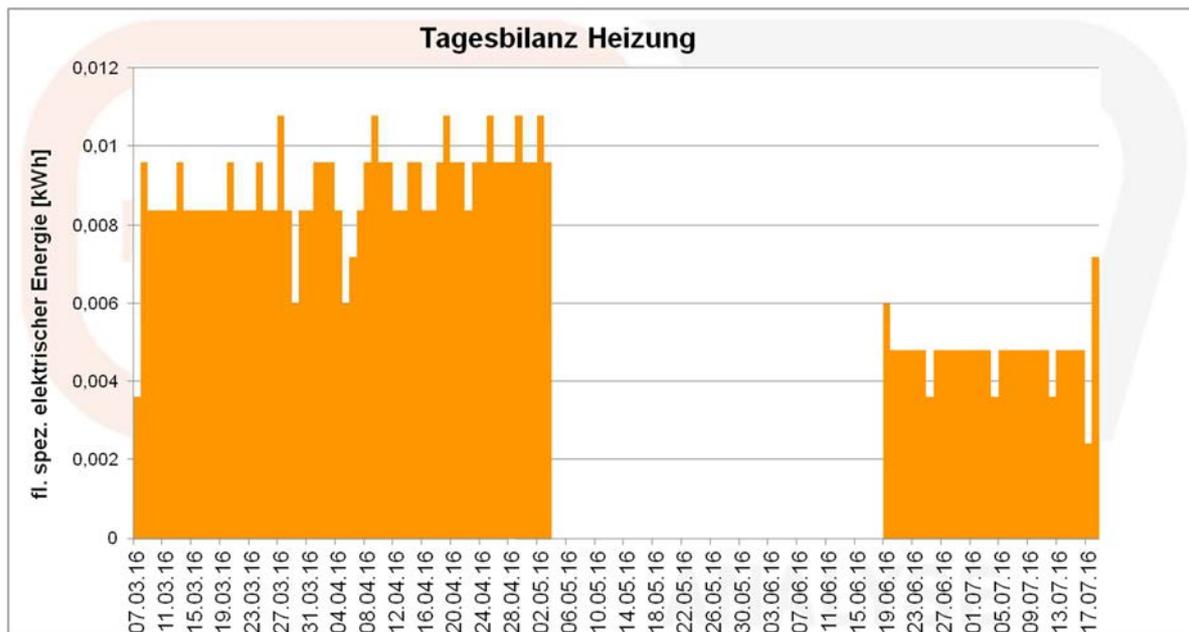


Abbildung 70: Flächenspezifische Tagesbilanz, Stromverbrauch Heizung

Auffälligkeiten:

- Der Energieverbrauch reduziert sich nach dem Ende der Heizsaison deutlich.
- Die Energieverbrauchsdaten lassen auf einen sehr konstanten Betrieb der Anlage schließen, der nicht bedarfsgerecht geregelt ist.

Energieertrag Photovoltaik-Anlage

Abbildung 71 zeigt den Carpet-Plot des Energieertrags der Photovoltaik-Anlage, wobei rote Felder keinem Energiegewinn und grüne Zellen besonders hohen entsprechen. Es zeigt sich dabei deutlich, dass die Tage im oberen Teil der Abbildung immer länger werden und sich folglich auch die grün-eingefärbten Zellen immer weiter in den Abend hinein ausbreiten. Der Ertrag der Anlage beträgt im Betrachtungszeitraum 4.637 kWh. Dies entspricht bei der Peakleistung von 10 kW einem durchschnittlichen spezifischen Ertrag von 463,7 kWh/kWp im Betrachtungszeitraum von knapp 4,5 Monaten.



Abbildung 71: Carpet-Plot, Photovoltaik-Ertrag

Abbildung 72 zeigt die flächenspezifische Tagesbilanz der bereitgestellten Energie der Photovoltaik-Anlage. Man erkennt daraus, dass diese sehr starke Schwankungen aufweist und mit fortschreitendem Datum tendenziell höher ausfällt.

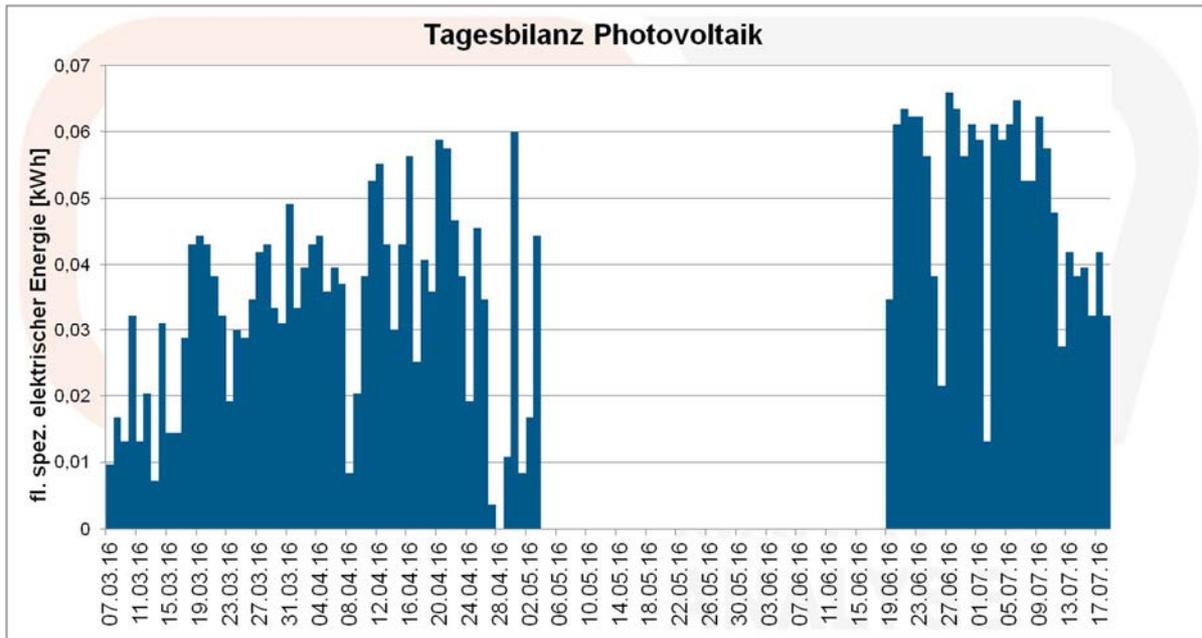


Abbildung 72: Flächenspezifische Tagesbilanz, Photovoltaik-Ertrag

Abbildung 73 stellt den mittleren Energieertrag der Anlage in Abhängigkeit der Tageszeit dar. Es wird ersichtlich, dass diese zwischen 07:00 und 19:00 Uhr Erträge liefern kann und die Produktion ihr Maximum zwischen 11:00 und 14:00 Uhr erreicht.

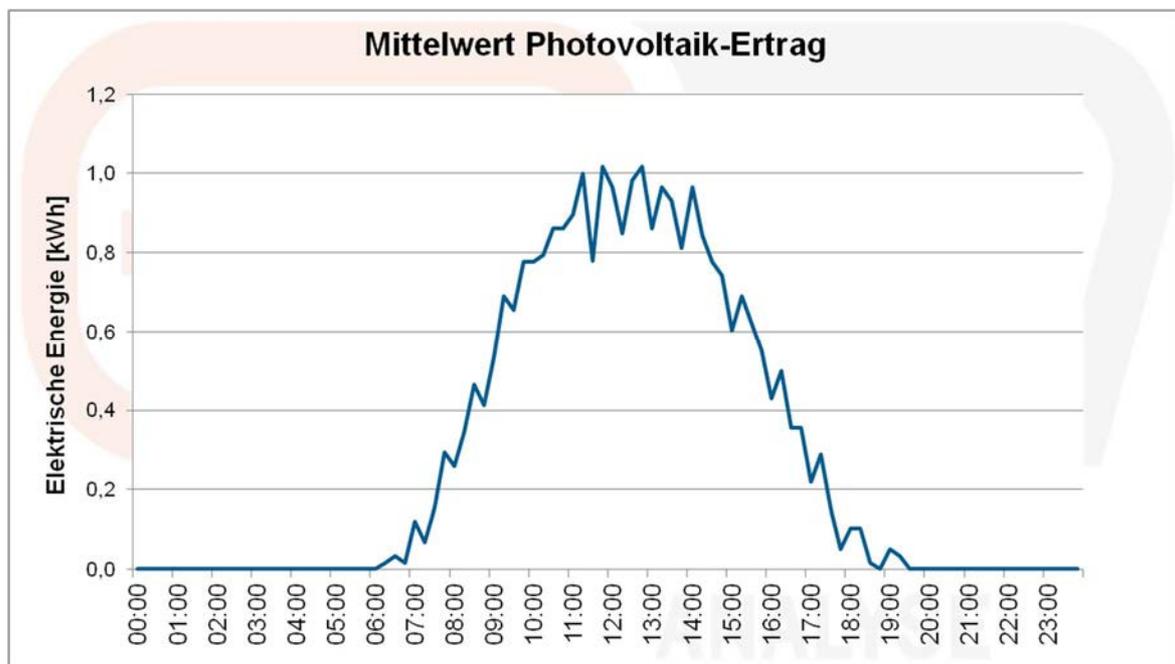


Abbildung 73: Mittelwert des Verbrauchs, Photovoltaik-Ertrag

Auffälligkeiten:

- Die Anlage lieferte im Betrachtungszeitraum rund 67 % des elektrischen Energiebedarfs des Gebäudes.

Fazit:

Der Betrieb der haustechnischen Anlagen weist einen relativ konstanten Energieverbrauch auf, auch an Wochenenden.

Der Tagesenergieverbrauch der Lüftungsanlage ist relativ konstant und weist keine Wochenendabschaltung auf. Der Energieverbrauch der Anlage an Samstagen und Sonntagen entspricht 328 kWh oder 17,8 %.

Beim Stromverbrauch des Kindergartens ist eine deutliche Reduktion an Wochenenden und in der Osterferienzeit erkennbar. Dennoch macht der Verbrauch an Samstagen und Sonntagen 1.565 kWh oder rund 37 % aus.

Allerdings ist aufgrund der lückenhaften Aufzeichnung und der geringen Auflösung der Daten das Betriebsverhalten der haustechnischen Anlagen im Detail nicht zu bewerten.

9.5.4.5 Behaglichkeit und CO₂-Konzentration

Um die personenbezogenen Komfortparameter im Gebäude zu erfassen, wurden die Parameter CO₂-Konzentration, Raumluftheuchte und Raumlufttemperatur in zwölf Räumen gemessen und aufgezeichnet. Für die hier angeführte Betrachtung wurden die Messwerte von 07.03. bis 19.07 verwendet.

Komfortdiagramme

Das Verhältnis von Raumtemperatur und relativer Luftfeuchte gibt Aufschluss über die Behaglichkeit im Innenraum. Abbildung 74 zeigt das Komfortdiagramm²⁴ mit sämtlichen Messwerten für den Raum der Gruppe 4 im Erdgeschoss, während in Abbildung 75 jeweils Wochenenden und Nachtstunden von 22:00 bis 7:00 Uhr nicht dargestellt sind (Feiertage nicht berücksichtigt).

²⁴ Erklärung Diagramm: In dieser Darstellung sollten möglichst alle Datenpunkte innerhalb der grünen Zone sein. Dieser Bereich kennzeichnet den Bereich mit Raumlufzuständen, die von den meisten Menschen als angenehm und komfortabel bezeichnet werden. Davon abweichend ist die Luft entweder zu trocken/zu feucht und/oder zu kalt/zu warm.

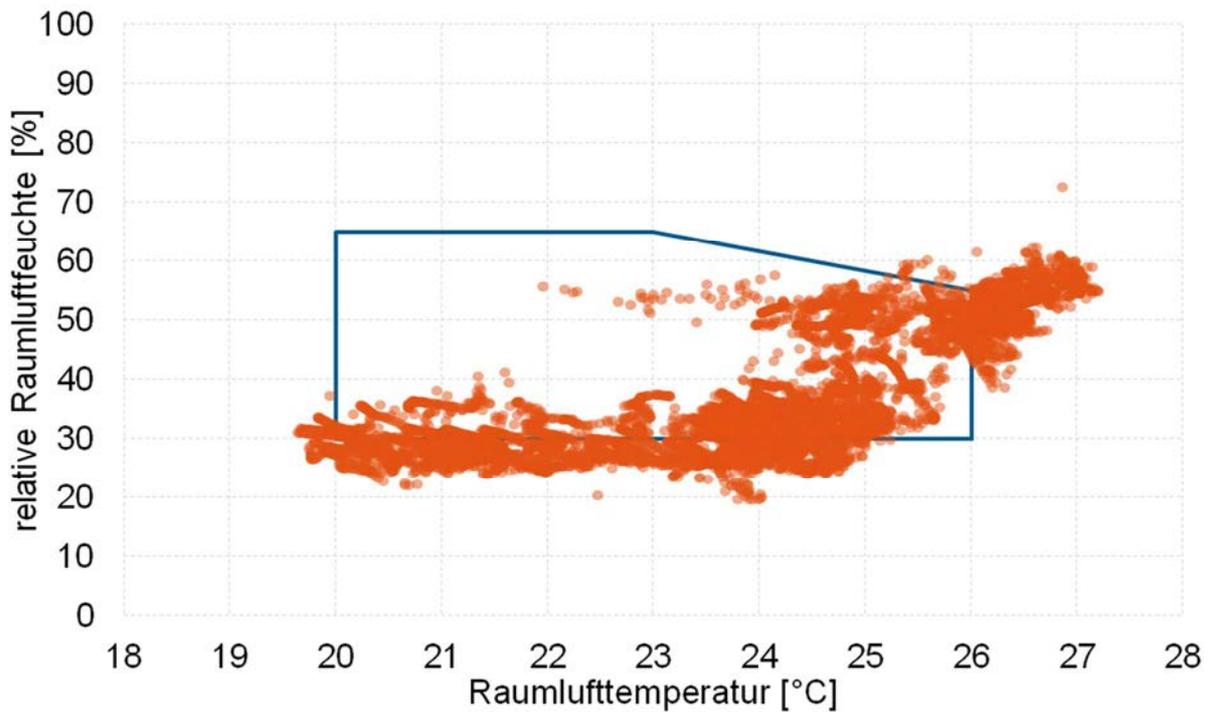


Abbildung 74: Behaglichkeitsfenster Gruppe 4 EG, alle Werte, 07.03. bis 19.07.2016

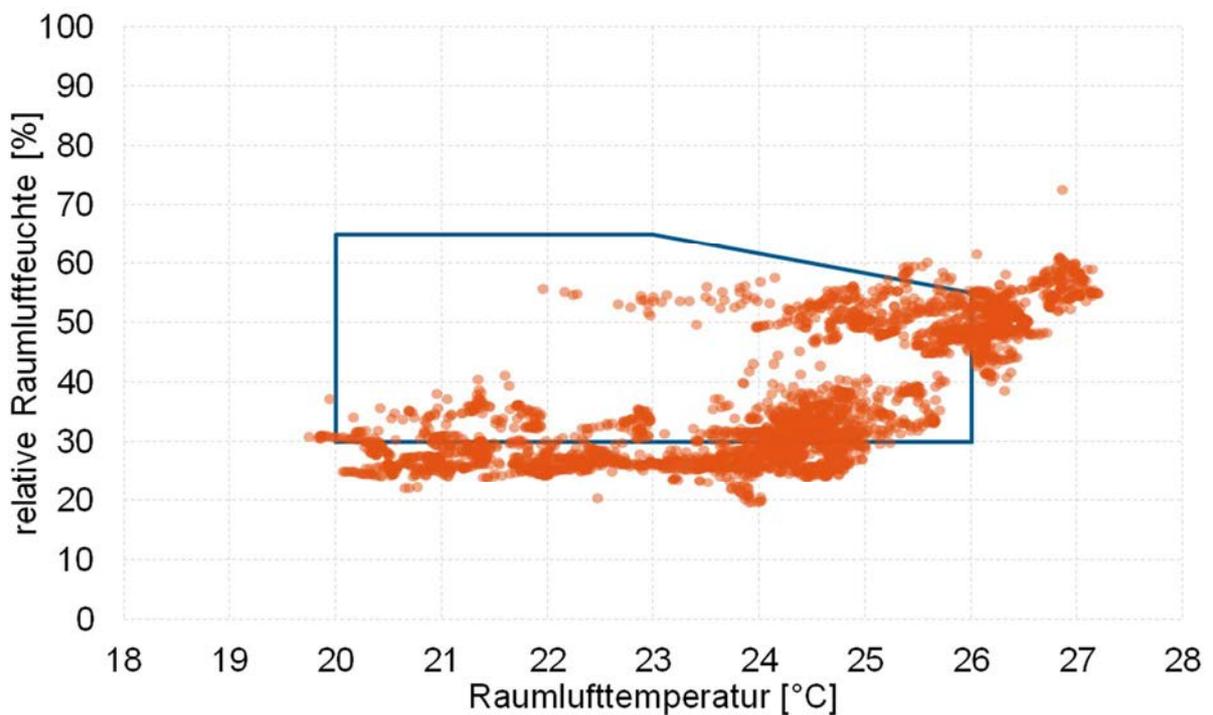


Abbildung 75: Behaglichkeitsfenster Gruppe 4 EG, ohne Wochenenden und Nachtstunden (22:00 – 07:00 Uhr), 07.03. bis 19.07.2016

Man erkennt aus dieser Betrachtung, dass die relative Raumluftfeuchte meist am unteren Ende des Behaglichkeitsfensters angesiedelt ist. Rund 1,7 % der Messwerte zeigen eine geringere Temperatur

als 20 °C, etwa 18,4 % eine höhere als 26 °C. Kein Temperaturwert liegt über 28 °C, daher kann davon ausgegangen werden, dass der Behaglichkeitsbereich zwar überschritten, die Nutzung des Raumes dadurch aber nicht wesentlich eingeschränkt wird. Etwa 31,7 % der Werte haben eine geringere relative Luftfeuchtigkeit als 30 %. Es ist davon auszugehen, dass die Lüftungsanlage mit einer konstanten Luftmenge betrieben wird, die vor allem im Winter zu trockener Luft führt.

CO₂-Konzentration

Im Folgenden wird auch die CO₂-Konzentration für den Raum der Gruppe 4 im Erdgeschoss exemplarisch diskutiert. Insgesamt werden für drei Räume Messwerte zur CO₂-Konzentration aufgezeichnet. Es zeigt sich, dass der maximal zulässige Grenzwert am Arbeitsplatz von 5.000 ppm für keinen einzigen Messwert erreicht worden ist. Die maximale Konzentration erreichte rund 1.400 ppm. Nur 17 Messwerte liegen über der Pettenkofer-Zahl von 1.000 ppm.

Abbildung 76 stellt die Mittelwerte der Messwerte in Abhängigkeit des jeweiligen Wochentages dar. Es zeigt sich dabei, dass die CO₂-Konzentration in etwa im Zeitraum von 08:00 bis 12:00 Uhr vom ansonsten konstant gemessenen Wertenniveau um 600 ppm abweicht. Sofern diese auffällige Konstanz der Messwerte nicht auf Messfehler zurückzuführen ist sondern der tatsächlichen Raumnutzung entspricht, sprechen die Ergebnisse sehr für eine gut funktionierende Durchmischung der Raumluft durch die Lüftungsanlage.

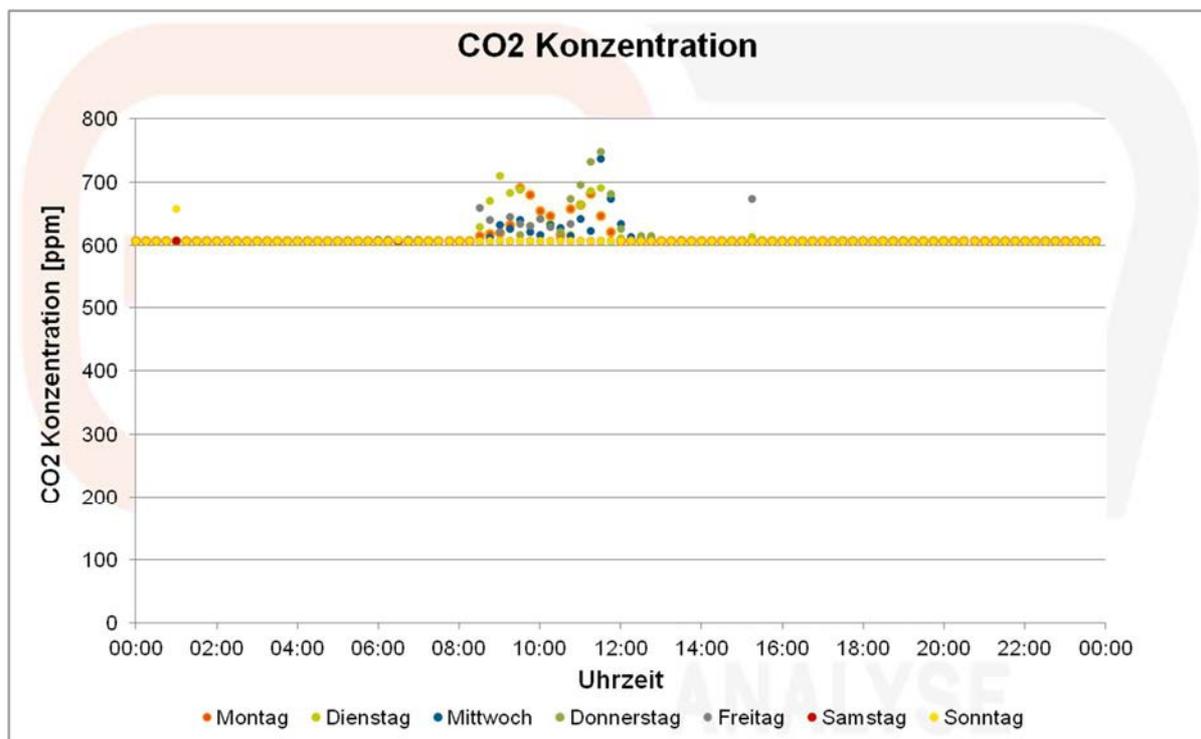


Abbildung 76: Mittelwert CO₂-Konzentration nach Wochentag, Gruppe 4, Erdgeschoss, 07.03. bis 19.07.2016

Auffälligkeiten:

- Das CO₂-Niveau liegt mit Ausnahme eines kurzen Zeitfensters am Vormittag im Mittel konstant bei einem Wert von rund 600 ppm, was auf hohe Luftvolumenströme schließen lässt.

Fazit:

Die Raumluft des Referenzraums weist eine etwas zu niedrige relative Feuchte sowie teils überhöhte Temperaturen auf, was allerdings den Tagesbetrieb nicht weiter einschränkt. Die CO₂-Konzentration weist einen sehr konstanten Verlauf auf. Die Behaglichkeit ist als gut zu beurteilen. Die von der Lüftungsanlage transportierten Luftmengen dürften zu groß sein.

9.6 Mittelschule Bad Eisenkappel, Ktn

Allgemeine Projektbeschreibung

Die „Immobilienverwaltung Schulgemeindeverband Völkermarkt KG“ führte die thermische Sanierung der Hauptschule Bad Eisenkappel durch. Aufgrund der demografischen Entwicklung gingen in den letzten Jahren die SchülerInnenzahlen stark zurück. Um die regionale Infrastruktur zu erhalten, entschloss man sich zu einer Generalsanierung. Im Rahmen des neuen Nutzungskonzepts im sanierten Gebäude wurden die Neue Mittelschule sowie die Volksschule Bad Eisenkappel, die Musikschule, die örtliche Nachmittagsbetreuung und außerdem eine Bibliothek integriert.

Die Gebäudehülle wurde thermisch saniert. Die bestehenden Fenster wurden durch neue Alu-Fenster, mit einem U-Wert von 1,21 W/(m²K), ersetzt. Die Beschattung ist durch zentral gesteuerte Außenraffstore gegeben.

Die Beheizung erfolgt auch nach der Sanierung über das örtliche Nahwärmenetz. Lediglich die Konfiguration wurde aufgrund der Maßnahmen (mechanische Be- und Entlüftungsanlage für die Aufenthaltsräume mit 85% Wärmerückgewinnung; Verringerung der Gebäudeheizlast) auf neun Heizgruppen mit einer bedarfsgerechten Steuerung geändert. Das Warmwasser wird dezentral erzeugt.

Zur Steigerung der elektrischen Energieeffizienz wurde das Beleuchtungssystem optimiert, indem nun LEDs und effiziente Leuchtstofflampen verwendet werden. Durch die Beleuchtungsumstellung können jährlich 5 MWh Energie eingespart werden.

Ausgangszustand:

<i>Eigentümer/ Betreiber</i>	Immobilienverwaltung Schulzentrum Völkermarkt KG
<i>Ansprechpartner / Kontaktpersonen</i>	<i>Mag. Daniela Leiter-Kuschnig</i>
<i>Standort</i>	9100 Bad Eisenkappel Nr. 313, Kärnten
<i>Gebäudetyp</i>	Schulzentrum (Haupt-, -Volks- und Musikschule)
<i>Errichtungsjahr Bestandsgebäude</i>	1965
<i>Größe (BGF)</i>	4.828 m ²

9.6.1 Sanierungsmaßnahmen

9.6.1.1 Gebäudehülle

Das Außenmauerwerk wurde durch 18 cm Mineralwolle-Putzträgerplatten verbessert (U-Wert von 0,78 W/(m²K) auf 0,16 W/(m²K)). Auch der erdanliegende Boden wurde mit 13 cm XPS bzw. EPS (U-Wert von 2,82 W/(m²K) auf 0,25 W/(m²K)) gedämmt. Im Bereich der Decke zum Dachraum wurden 18 cm EPS eingesetzt und damit der U-Wert auf 0,20 W/(m²K) verbessert. Die bestehenden Fenster mit einem durchschnittlichen U-Wert von 2,56 W/(m²K) wurden durch neue Alu-Fenster mit einem U-Wert von 1,21 W/(m²K) ersetzt.

9.6.1.2 Gebäudetechnik

Heizen, Kühlen, Lüften, Warmwasser

Die bereits vorhandene Raumheizung und Warmwasserbereitung über biogene Fernwärme wurde beibehalten. Im Zuge der Sanierung wurde in das Schulgebäude eine mechanische Be- und Entlüftungsanlage für die Versorgung der Hauptaufenthaltsräume eingebaut. Der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung beträgt ca. 85%.

Die Warmwasserbereitung erfolgt teilweise über Fernwärme mithilfe von Frischwassermodulen.

Die Beschattung ist durch händisch gesteuerte Außenraffstore gegeben.

Beleuchtung, Verschattungseinrichtungen

Die ineffiziente Bestandsbeleuchtung wurde auf effiziente Leuchten und Leuchtmittel (LED bzw. effiziente Leuchtstofflampen) umgestellt. Mit der Beleuchtungsumstellung können jährlich etwa 5 MWh Strom eingespart werden. Der Gesamtstrombedarf verändert sich aufgrund des zusätzlichen Strombedarfs der Lüftungsanlage allerdings nicht.

Der Strombedarf wird über Ökostrom aus dem Netz gedeckt.

9.6.1.3 Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)

Tabelle 24 zeigt die im Energieausweis berechneten Werte des Heizwärmebedarfs* des Gebäudes im Referenzklima vor und nach der Sanierung, Abbildung 77 stellt die im Rahmen der Mustersanierung erreichte Reduktion dar. Die Energieausweisberechnung weist eine Reduktion des HWB* um 25,62 kWh/m³a oder rund 81 % im Zuge der Sanierung aus.

Tabelle 24: Vergleich Energiekennzahlen vor und nach Sanierung

Heizwärmebedarf* lt. Energieausweis	
Vor Sanierung	Nach Sanierung
<i>kWh/m³a</i>	<i>kWh/m³a</i>
31,57	5,95

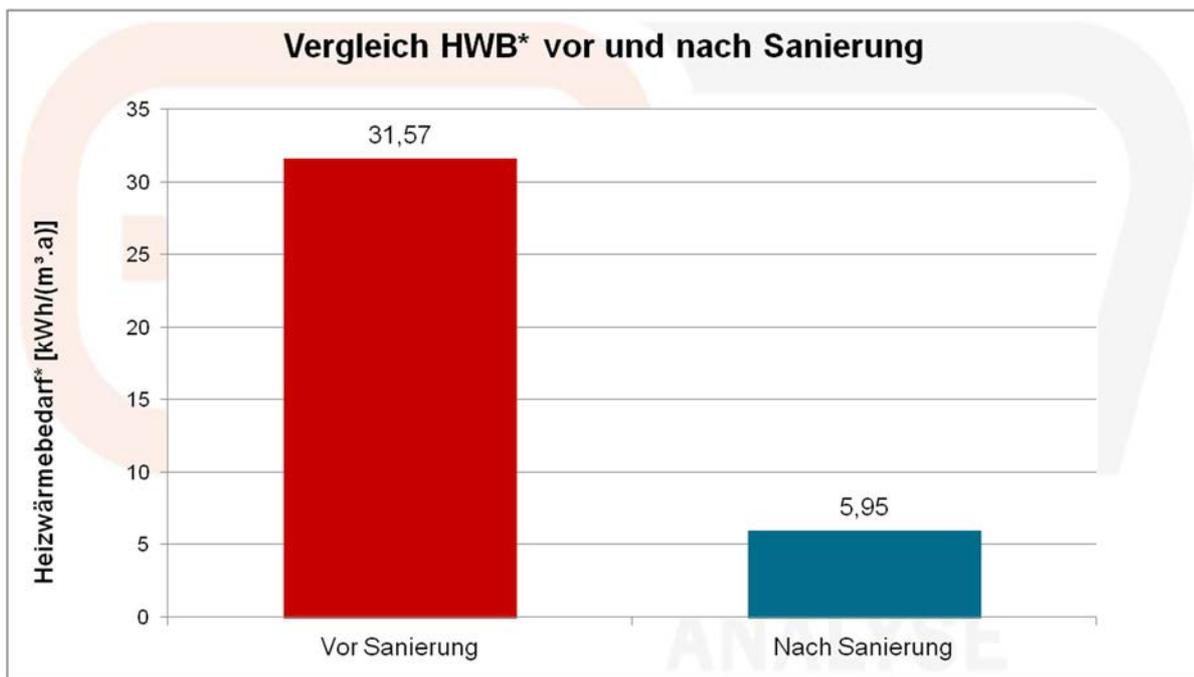


Abbildung 77: Gegenüberstellung HWB* vor und nach Sanierung

9.6.2 EVM-Schema

Um das Energieverbrauchsverhalten und die Komfortparameter des Gebäudes nach der Sanierung bewerten zu können, wurde ein Monitoringsystem installiert. Dieses misst an relevanten Punkten in der Haustechnikanlage und im Gebäude folgende Parameter:

- Raumlufftemperatur, CO₂-Konzentration und relative Luftfeuchte
- Zuluft-, Außenluft, Fortluft- und Ablufttemperatur sowie die zugehörigen Luftfeuchten der Lüftungsanlage
- Elektrische Energieverbräuche der verschiedenen Verbraucher
- Von der Fernwärme bereitgestellte Wärmemenge, die Verbräuche für Warmwasser und einzelne Verbräuche zur Bereitstellung von Raumwärme.

Das Monitoringsystem erfasst die Messwerte und Zählerstände viertelstündlich und speichert diese ab. Zur Auswertung für diesen Bericht wurden Daten aus dem Monitoringsystem im Zeitraum von 01.01. bis 31.12.2015 herangezogen. Die Datenpunkte des EVM sind in Abbildung 78 dargestellt.

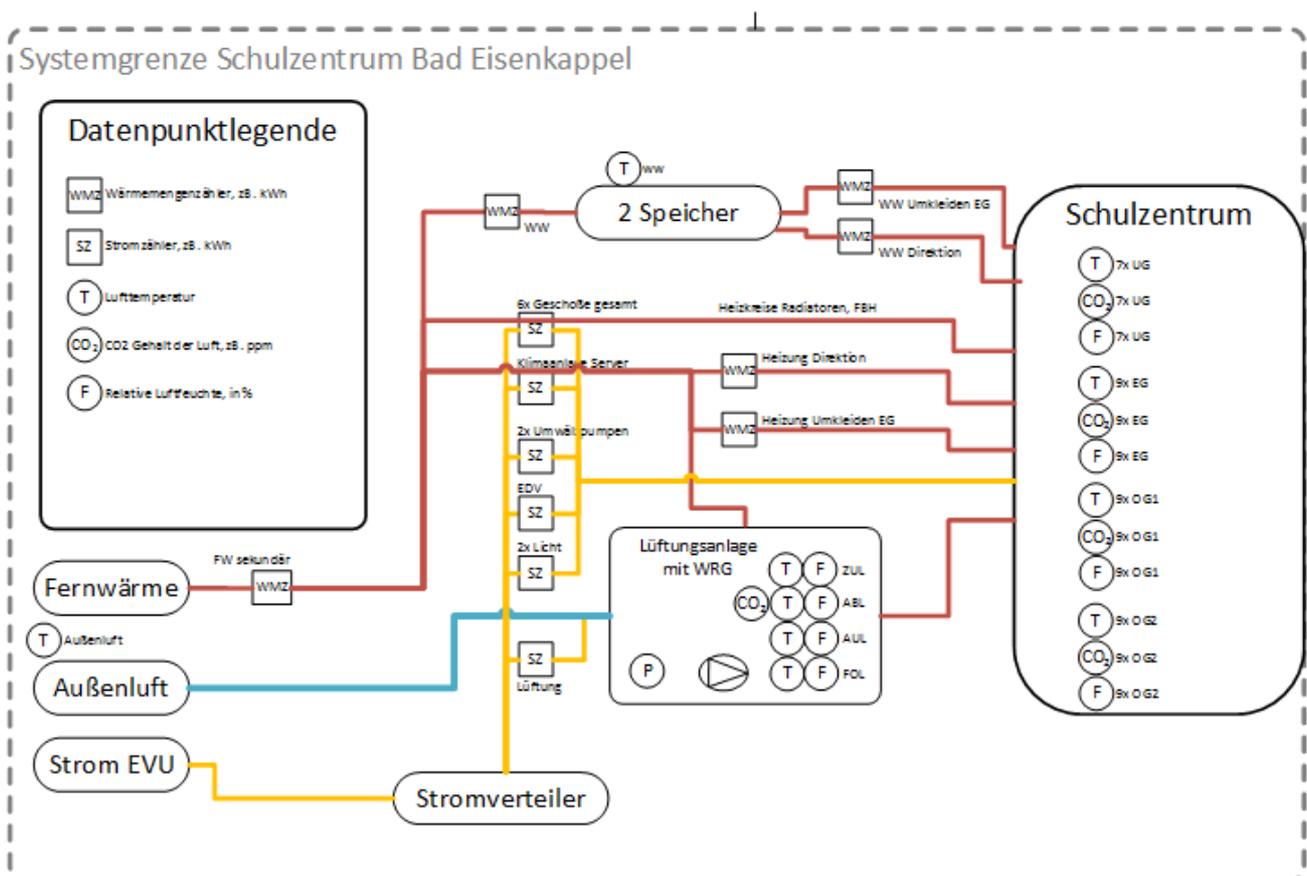


Abbildung 78: EVM-Schema mit Datenpunkten

9.6.3 Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung

Die folgenden CO₂-äquivalenten Emissionsergebnisse und Energieverbrauchsergebnisse, welche in Tabelle 25 angegeben sind, basieren auf den Angaben der Einreichunterlagen vor der Sanierung und den gemessenen Werten durch das EVM nach der Sanierung sowie den CO₂-Faktoren aus der KPC-Förderberechnung. Nach der Sanierung ist der Wert für CO₂-äquivalente Emissionen bedingt durch das Heizen Null, nachdem das Heizsystem mittels Biomasse-Fernwärme versorgt wird.

Tabelle 25: Berechnete, CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen

CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen²⁵		
Vor Sanierung lt	Nach Sanierung	Nach Sanierung
Fördereinreichung	Energieausweis	EVM
<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>
177,23	0,00	0,00

Tabelle 26 zeigt einen Vergleich des Heizwärmebedarfs im Referenzklima des Energieausweises vor und nach der Sanierung mit dem tatsächlich gemessenen Heizwärmeverbrauch.²⁶ Vergleicht man die beiden flächenspezifischen Werte des HWB, so wird für die Mustersanierung eine relative Reduktion von 81,0 % errechnet. Vergleicht man den HGT-bereinigten Wert des Heizwärmeverbrauchs, welcher mit Hilfe des EVMs als primärer Gesamtwärmebezug aus dem Fernwärmenetz ermittelt wurde, qualitativ mit dem HWB-Wert vor der Sanierung, so beträgt die relative Reduktion 71,7 %. Dieser Vergleich veranschaulicht die Wirksamkeit der Mustersanierung deutlich.

Tabelle 26: Vergleich Heizwärmebedarf aus Energieausweis (Referenzklimawerte) zu Heizwärmeverbrauch

Vergleich Heizwärmebedarf zu Heizwärmeverbrauch		
Vor Sanierung	Nach Sanierung	Nach Sanierung
HWB Energieausweis	HWB Energieausweis	EVM
<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>
105,73	20,08	29,90

²⁵ Die Daten der berechneten CO₂-äquivalenten Emissionen vor und nach Sanierung stammen aus den Unterlagen der Fördereinreichung, da zu diesem Zeitpunkt CO₂ nicht im EAW berechnet wurde (Versionen der OIB Richtlinie 6 vor 2011). Wenn biogene Energieträger eingespart werden, wird fiktiv ein fossiler Brennstoff (Heizöl) zur Bestimmung der CO₂-Einsparung gegengerechnet, da hier die eingesparten erneuerbaren Energieträger für andere Objekte mit fossilen Energieträgern genutzt werden können.

²⁶ Die Vergleichbarkeit des im Energieausweis berechneten Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs (HWB und KB) einer thermischen Gebäudezone mit gemessenen Wärmemengen ist aus mehreren Gründen nicht direkt gegeben. Einerseits sind die berechneten Werte für das Gebäude vor und nach der Sanierung gute Anhaltspunkte um die Verbesserung der thermischen Qualitäten des Objektes zu bewerten. Andererseits sind die gemessenen Werte stark vom tatsächlichen Wetter und Benutzerverhalten im jeweiligen Messzeitraum abhängig. Daher ergibt sich aufgrund der Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen Messzeitraum und der theoretischen Berechnungsgrundlagen eine große Unsicherheit bezüglich der Vergleichbarkeit von Kennwerten zwischen Messung und Berechnung. Darüber hinaus sind HWB und KB theoretische Bedarfsgrößen einer thermischen Zone ohne messbaren Charakter. Gemessene Wärmemengen hingegen sind lokale zuordenbare Größen im Energieverteilungssystem.

Anteil erneuerbarer Energieträger am Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes

Der Stromverbrauch aller Zählpunkte betrug im Betrachtungszeitraum 2015 insgesamt 41.036 kWh und wurde durch einen Ökostromanbieter aus dem Verbrauchsnetz gedeckt. Der primäre Fernwärmebezug entsprach 82.155 kWh und wurde durch das lokale Biomasse-Fernwärmenetz bereitgestellt. Folglich wird der gesamte Energieverbrauch des Gebäudes durch erneuerbare Energieträger gedeckt.

Fazit:

Die Daten aus dem EVM im vorliegenden Messzeitraum zeigen, dass die geplanten Energieeinsparungen durch die Sanierungsmaßnahmen erreicht wurden.

Durch die Nutzung von erneuerbaren Energiequellen zur Deckung des Gebäudeenergieverbrauchs fallen keine energiebedingten CO₂-Emissionen am Standort an.

9.6.4 Detailergebnisse Energieverbrauchsmonitoring

9.6.4.1 Zusammenfassung

Das Monitoringsystem des Schulzentrums Bad Eisenkappel ist sehr umfangreich und umfasst fünf Wärmezähler, 13 elektrische Energiezähler, sowie Aufzeichnungen der relativen Luftfeuchtigkeit, der Lufttemperatur und der CO₂-Konzentration in insgesamt 34 Räumen. Die ausgewerteten Daten umfassen den Zeitraum von 01.01.2015 bis 31.12.2015 in 15-Minuten-Intervallen.

Der Wärmeenergieverbrauch konnte durch die Mustersanierung deutlich gesenkt werden. Laut Energieausweis wurde eine Reduktion des Heizenergieverbrauchs von ursprünglich rund 635.000 kWh auf 107.000 kWh geplant, was in etwa erreicht werden konnte (HGT-bereinigter Wärmeverbrauch 2015: 144.338 kWh). Etwa 10 % werden im Zeitraum Mai bis September durch die Warmwasserbereitstellung verbraucht (15.172 kWh). Rund 18 % des gesamten Wärmeverbrauchs fällt an Wochenenden an (26.755 kWh). Bei Ausnutzung dieses Optimierungspotentials ist der angestrebte Zielwert zu erreichen.

Der spezifische Energieverbrauch der Lüftungsanlage ist unauffällig, es zeigt sich insbesondere in den Ferienmonaten ein bedarfsgerechter Betrieb.

Die Raumluftqualität ist, sowohl was die Raumlufttemperatur und -feuchte betrifft, als auch in Bezug auf die CO₂-Konzentration stark vom jeweiligen Raum und dessen Verwendung abhängig.

9.6.4.2 Energieflussbild

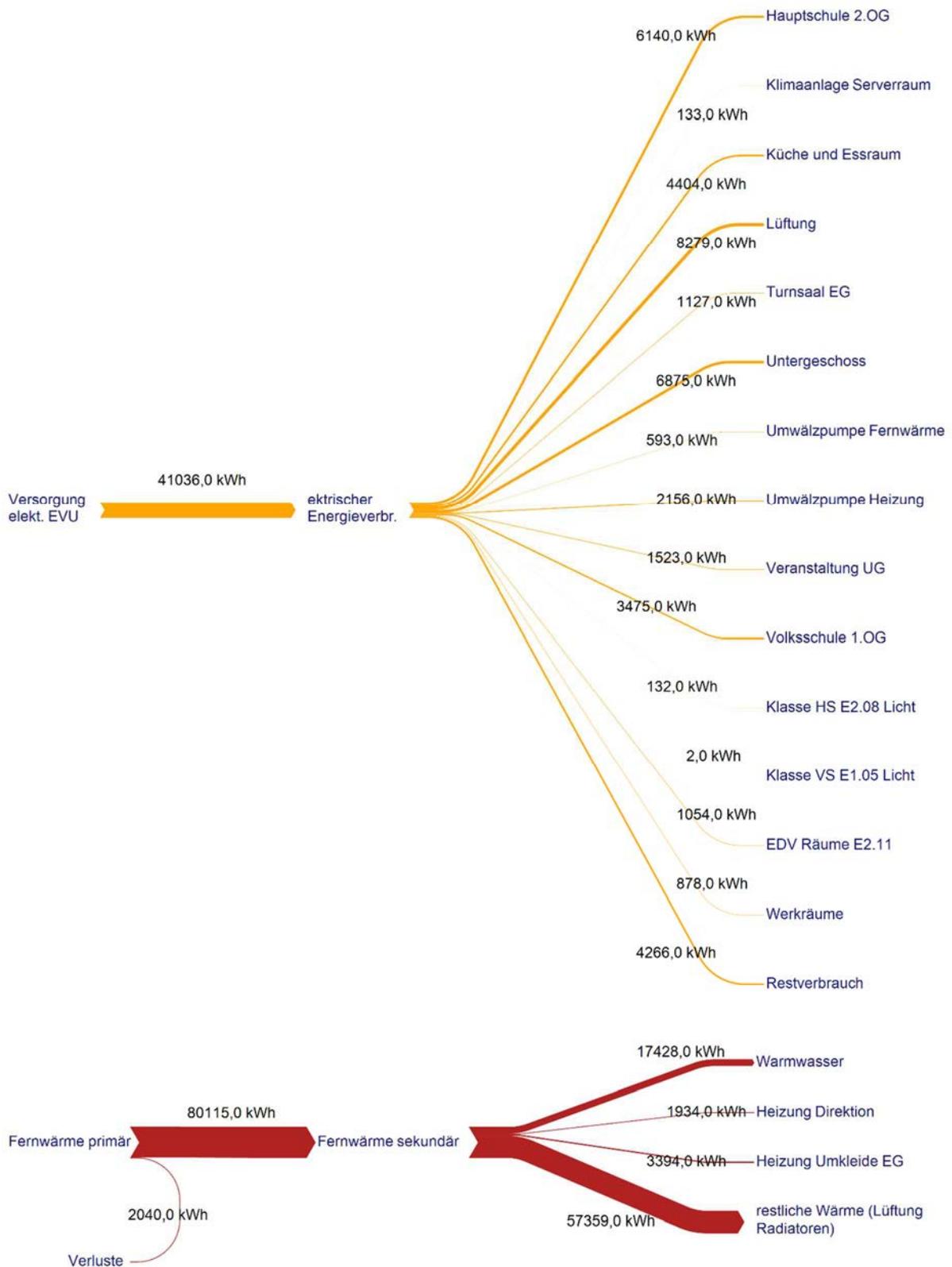


Abbildung 79: Energiefluss Bilanz 01.01. bis 31.12.2015

9.6.4.3 Heizwärmeverbrauch

Abbildung 80 stellt die Monatsbilanz des flächenspezifischen Wärmeverbrauchs dar. Dabei zeigt sich, dass mit Ausnahme des Monats Jänner die klimabereinigten Werte unterhalb der tatsächlich gemessenen Verbrauchswerte liegen. Besonders interessant ist, dass für jeden Monat ein Wärmeverbrauch aufgezeichnet worden ist und damit die Anlage offenbar das gesamte Jahr über in Betrieb gewesen ist.

Die Zähler des EVM weisen für den Heizwärmeverbrauch folgende Ergebnisse für den Betrachtungszeitraum von 01.01.2015 bis 31.12.2015 aus:

▪ Fernwärme primär	82.155 kWh
▪ Fernwärme sekundär	80.115 kWh
▪ Heizung Direktion	1.934 kWh
▪ Warmwasser	17.428 kWh
▪ Heizung Umkleide EG	3.394 kWh

Die Differenz der beiden Zählpunkte „Fernwärme primär“ und „Fernwärme sekundär“ entspricht 2,5 % und dürfte den Verlusten im System entsprechen.

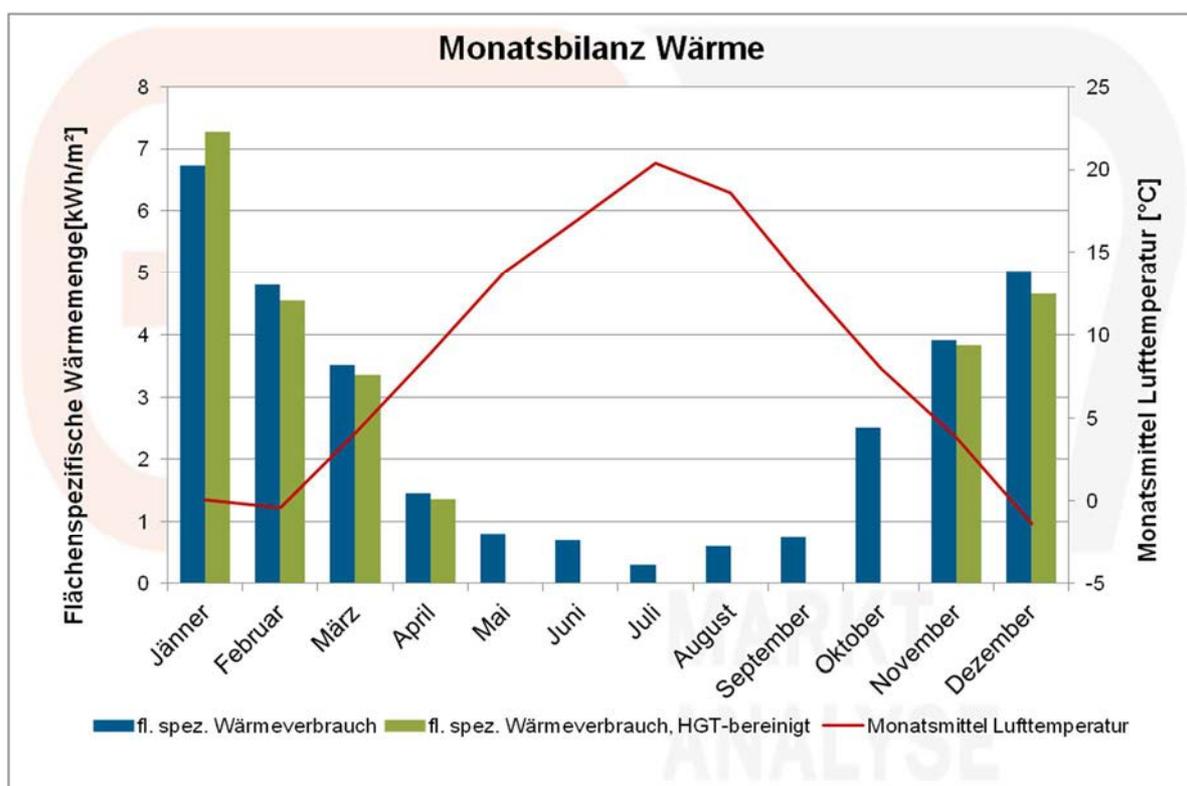


Abbildung 80: Monatsbilanz des Wärmeverbrauchs, mittels EVM gemessen

Abbildung 81 zeigt die Tagesdurchschnittsprofile der Viertelstundenmesswerte des Wärmeverbrauchs in Abhängigkeit der Tageszeit und des Wochentages. Daraus ist erkennbar, dass der Heizungsstart ab 03:00 Uhr erfolgt und gegen 20:30 eine Nachtabsenkung einsetzt. An

Samstagen und Sonntagen kommt es im Mittel zu einem reduzierteren Heizbetrieb; 17,7 % des Gesamtwärmeverbrauchs traten am Wochenende auf. Die Zuluft der Lüftungsanlage wird über ein Heizregister, welches durch die Fernwärme versorgt wird, beheizt. Da die Warmwasserversorgung ebenfalls über Fernwärme erfolgt, wird auch in der Nichtheizperiode Wärme bezogen. Interessant ist allerdings, dass es auch im Juli und August zu einer Wärmenachfrage kommt.

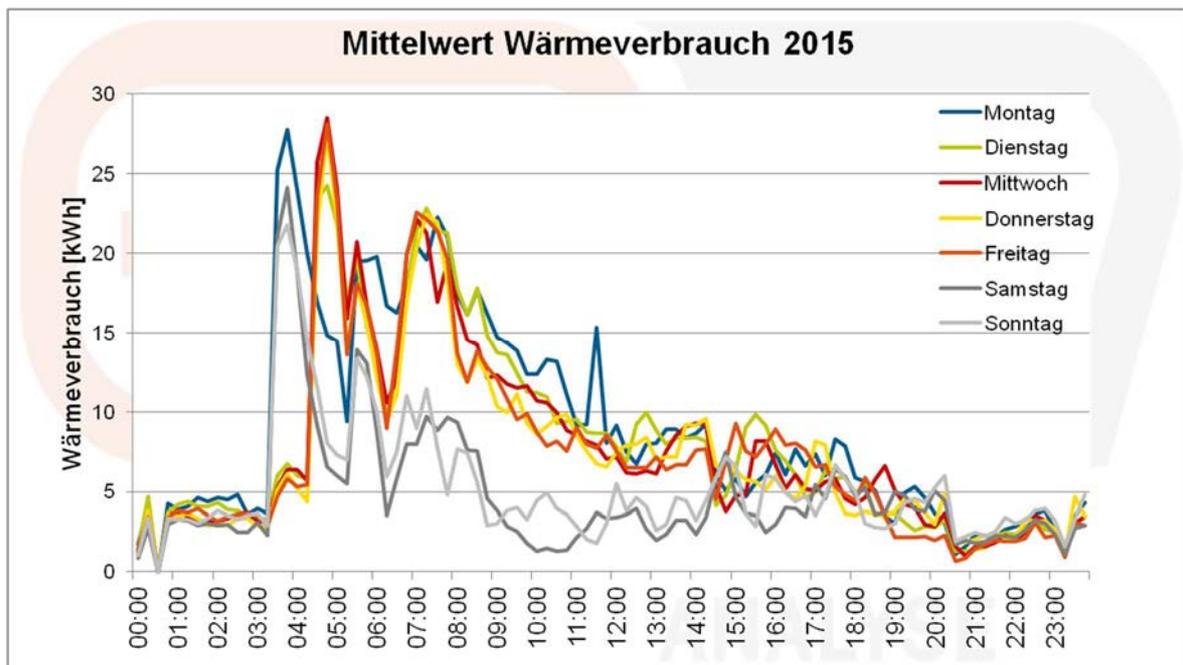


Abbildung 81: Mittelwert Wärmeverbrauch in Abhängigkeit des Wochentages

Auffälligkeiten:

- Es wird das ganze Jahr über Wärmeenergie verbraucht.
- Rund 10 % des Wärmeverbrauchs wird im Zeitraum von Mai bis September und damit außerhalb der Heizsaison für die Warmwasserbereitstellung verbraucht (15.172 kWh). Fraglich ist allerdings, warum auch im Juli und August Wärme verbraucht wird.
- Rund 18 % des Wärmeverbrauchs fällt an Wochenenden an (26.755 kWh)

Fazit:

Der Wärmeenergieverbrauch konnte durch die Mustersanierung deutlich gesenkt werden. Geplant war eine Reduktion des Heizenergieverbrauchs von ursprünglich rund 635.000 kWh auf 107.000 kWh, was in etwa erreicht werden konnte (HGT-bereinigter Wärmeverbrauch 2015: 144.338 kWh).

9.6.4.4 Stromverbrauch

In Abbildung 82 ist die Verteilung des gesamten Stromverbrauchs gemäß den Messpunkten im EVM dargestellt, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit geringe Energieverbräuche nicht dargestellt sind. Abbildung 83 zeigt die Monatsbilanz des gesamten Stromverbrauchs unterteilt in die einzelnen Sektoren. In der folgenden Aufzählung sind alle mittels EVM-Zählpunkten gemessenen Energieverbräuche angegeben:

▪ Stromverbrauch aller Zähler	41.036 kWh
▪ Hauptschule 2.OG	6.140 kWh
▪ Klimaanlage Serverraum	133 kWh
▪ Küche und Essraum	4.404 kWh
▪ Lüftung	8.279 kWh
▪ Turnsaal EG	1.127 kWh
▪ Untergeschoss	6.875 kWh
▪ Umwälzpumpe Fernwärme	593 kWh
▪ Umwälzpumpe Heizung	2.156 kWh
▪ Veranstaltung UG	1.523 kWh
▪ Volksschule 1.OG	3.475 kWh
▪ Klasse HS E2.08 Licht	132 kWh
▪ Klasse VS E1.05 Licht	2 kWh
▪ EDV Räume E2.11	1.054 kWh
▪ Werkräume EG	878 kWh
▪ Restverbrauch	4.266 kWh

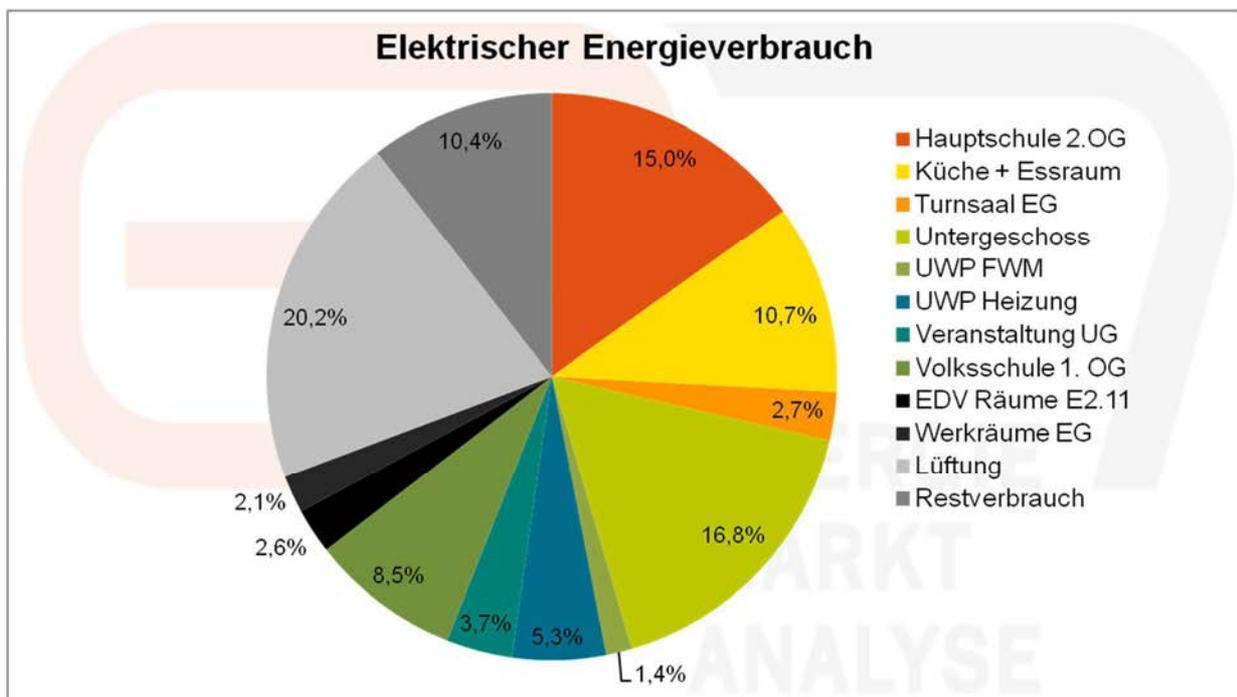


Abbildung 82: Verteilung gesamter elektrischer Energieverbrauch, 2015

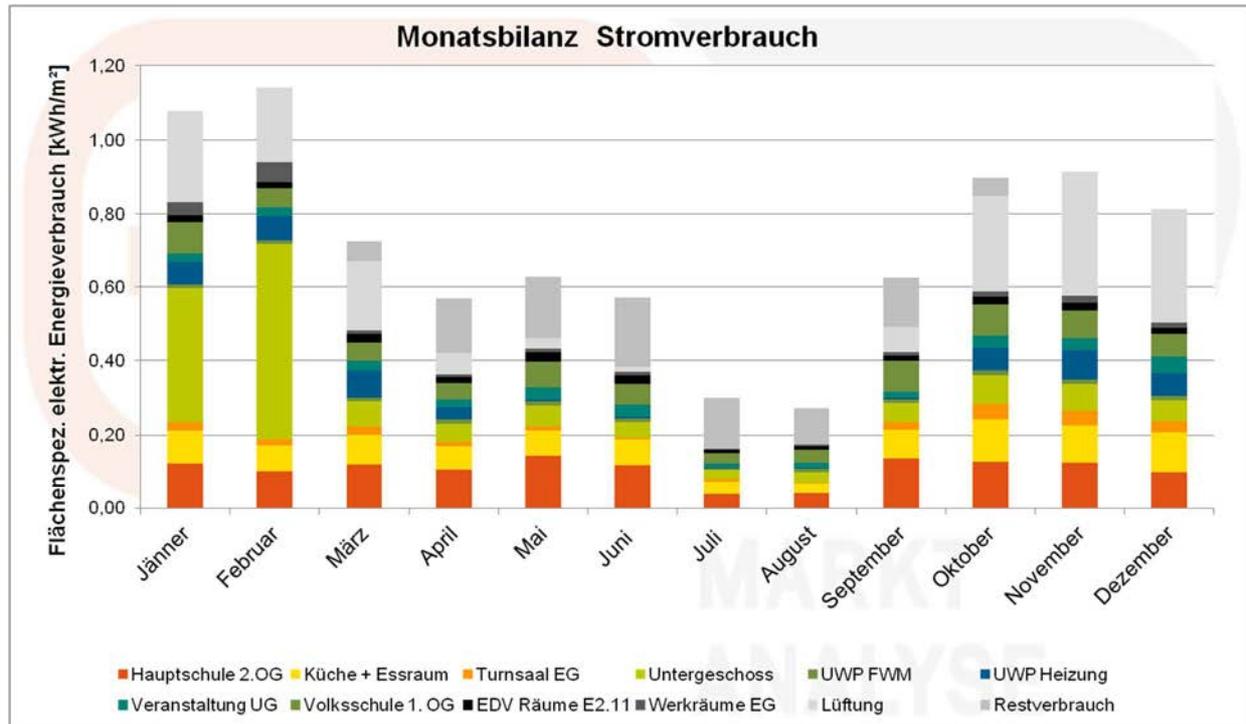


Abbildung 83: Monatsbilanz gesamter elektrischer Energieverbrauch, 2015

Auffälligkeiten:

- Der Energieverbrauch im Jänner und Februar fällt deutlich höher aus als in den übrigen Monaten. Dies ist insbesondere auf den Zählpunkt „Untergeschoss“ zurückzuführen.
- Der Energieverbrauch im Juli und im August ist deutlich geringer, was vermutlich insbesondere auf die reduzierte Gebäudenutzung zurückzuführen ist.

Nachfolgend werden die einzelnen Stromverbraucher separat betrachtet und analysiert.

Aufenthaltsräume

Abbildung 84 zeigt die Monatsbilanz des Stromverbrauchs der Hauptschule, der Küche und des Essraumes, des Turnsaals, der Volksschule und des Zählpunkts für Veranstaltungen im Untergeschoss.

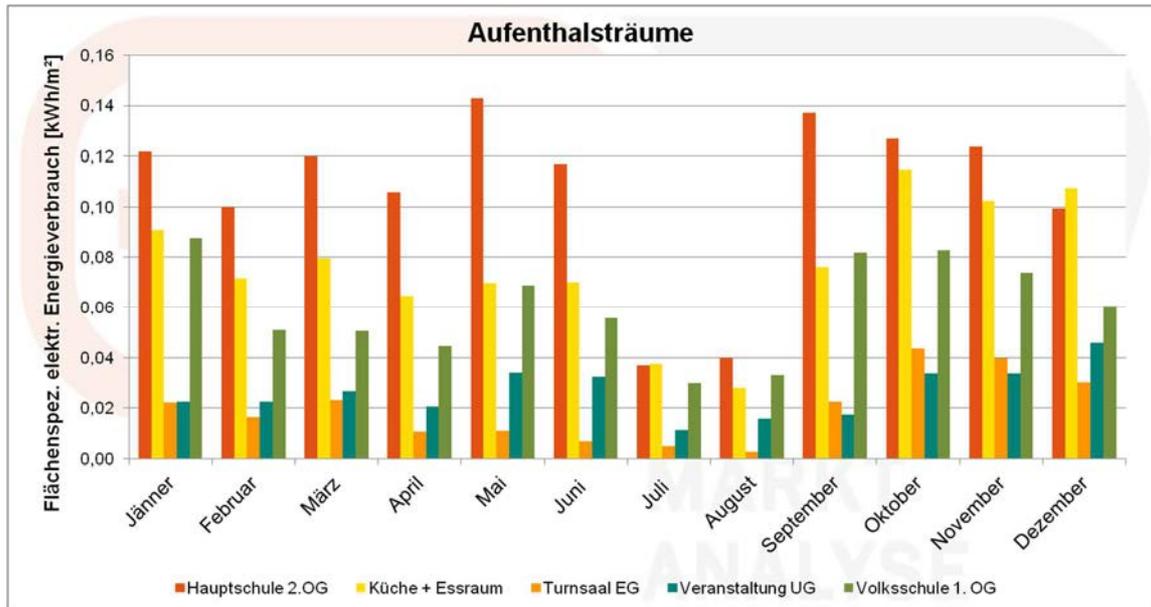


Abbildung 84: Monatsbilanz Aufenthaltsräume, 2015

Auffälligkeiten:

- Es zeigt sich eine Reduktion aller flächenspezifischen elektrischen Energieverbräuche im Juli und im August (Sommerferien).
- Der Verlauf des Stromverbrauchs der Volksschule verhält sich ähnlich zu jenem der Hauptschule.

Haustechnik

Abbildung 85 zeigt die Monatsbilanz der haustechnischen Stromverbraucher sowie den Verlauf des Restverbrauchs, welcher sich aus nicht näher erfassten Verbrauchern zusammensetzt.

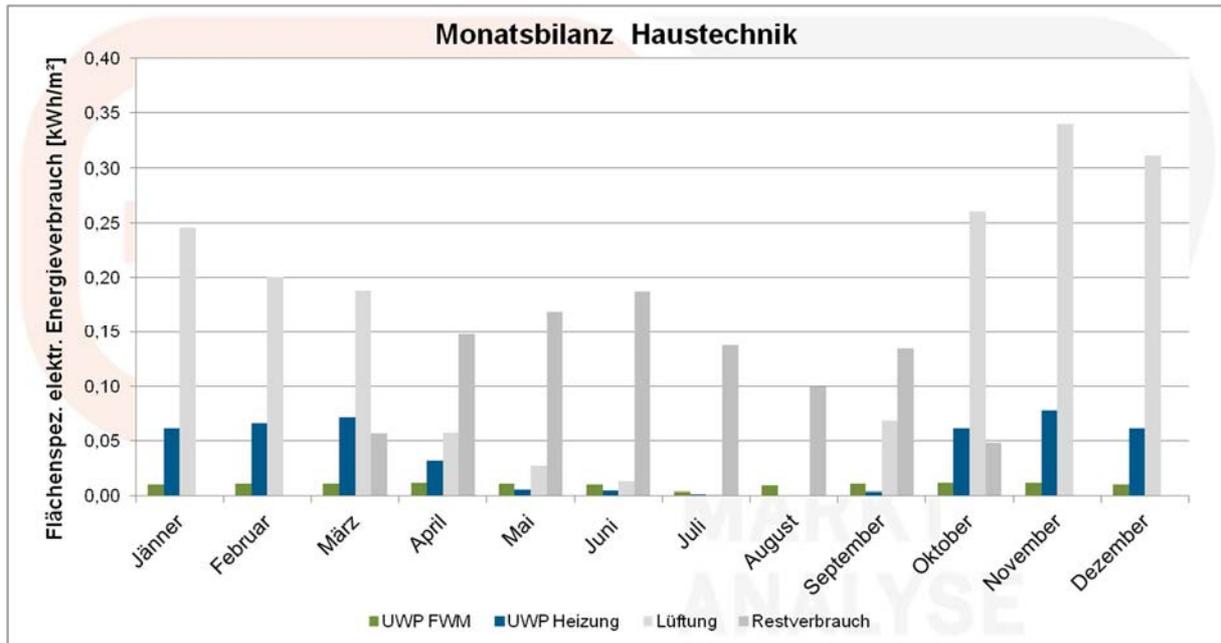


Abbildung 85: Monatsbilanz Haustechnik, 2015

Auffälligkeiten:

- Der Stromverbrauch der Umwälzpumpe der Fernwärme ist das Jahr über praktisch konstant mit Ausnahme eines Rückgangs im Juli.
- Der Stromverbrauch der Umwälzpumpe der Heizung weist in den Monaten Mai bis September sehr geringe Werte auf, ist allerdings auch außerhalb der Heizsaison nicht null. Dies könnte auf die Beheizung der Zuluft der Lüftungsanlage zurückzuführen sein.

Abbildung 86 stellt den Carpet plot für die Lüftung im Jahr 2015 dar. Die x-Achse zeigt die Tageszeit von 00:00 bis 23:45 Uhr, die y-Achse entspricht dem Datum von 01.01.2015 (oben) bis 31.12.2015 (unten). Jeder Tag entspricht einer Zeile, jede Spalte einem Viertelstundenmesswert beginnend bei 00:00 Uhr ganz links bis 23:45 ganz rechts. Rote Zellen zeigen einen hohen Verbrauch, grüne Zellen entsprechen dem Wert 0. Es ist deutlich zu erkennen, dass der aufgezeichnete Stromverbrauch ab den frühen Morgenstunden ansteigt und den Betriebszeiten der Schule entspricht. Auch zu erkennen ist, dass an den Wochenenden (grüne Linien zwischen regelmäßiger Balkenstruktur) die Lüftungsanlage nicht in Betrieb ist. In den Ferien ist die Anlage nicht in Betrieb. Auffällig ist die Spalte um 23:30 Uhr, die sich daraus ergibt, dass die Messwerte in kWh aufgezeichnet werden und dies eine zu grobe Einheit für den Stromverbrauch der Anlage ist. Der kumulierte Verbrauch wird dann immer um 23:30 Uhr aufgezeichnet.

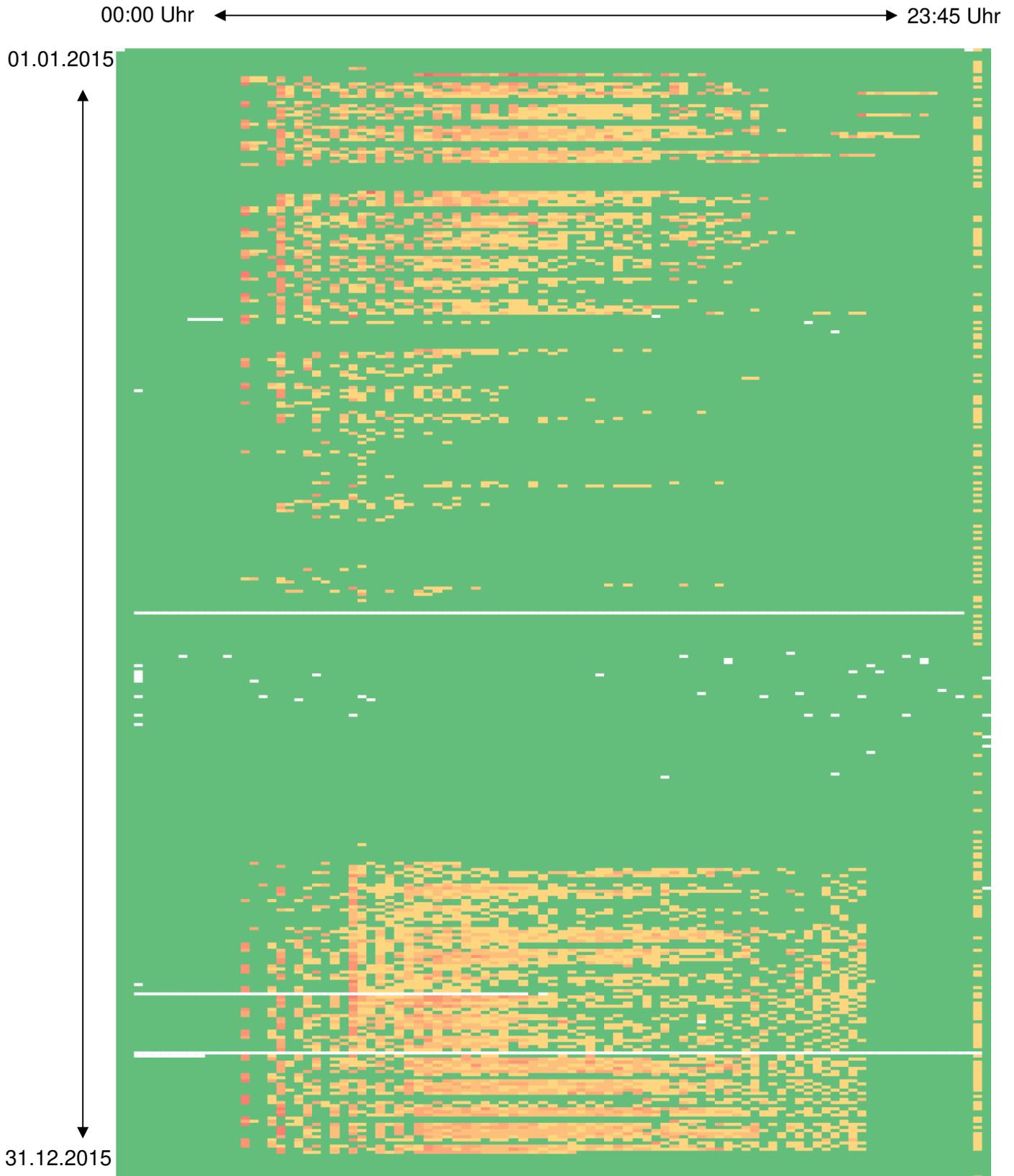


Abbildung 86: Carpet-Plot Lüftung, 2015

Auffälligkeiten:

- Der Verbrauch der Lüftungsanlage ist in den Monaten Oktober, November und Dezember deutlich höher als in den übrigen, wobei er insbesondere von Mai bis August sehr gering ausfällt.
- Aus dem Carpet-Plot der Lüftungsanlage geht deutlich hervor, dass die Anlage in den Ferienzeiten bedarfsgerecht in Betrieb ist.

Spezialräume

Abbildung 87 zeigt den Stromverbrauch des Zählpunkts für das Untergeschoss, der EDV-Räume und der Werkräume.

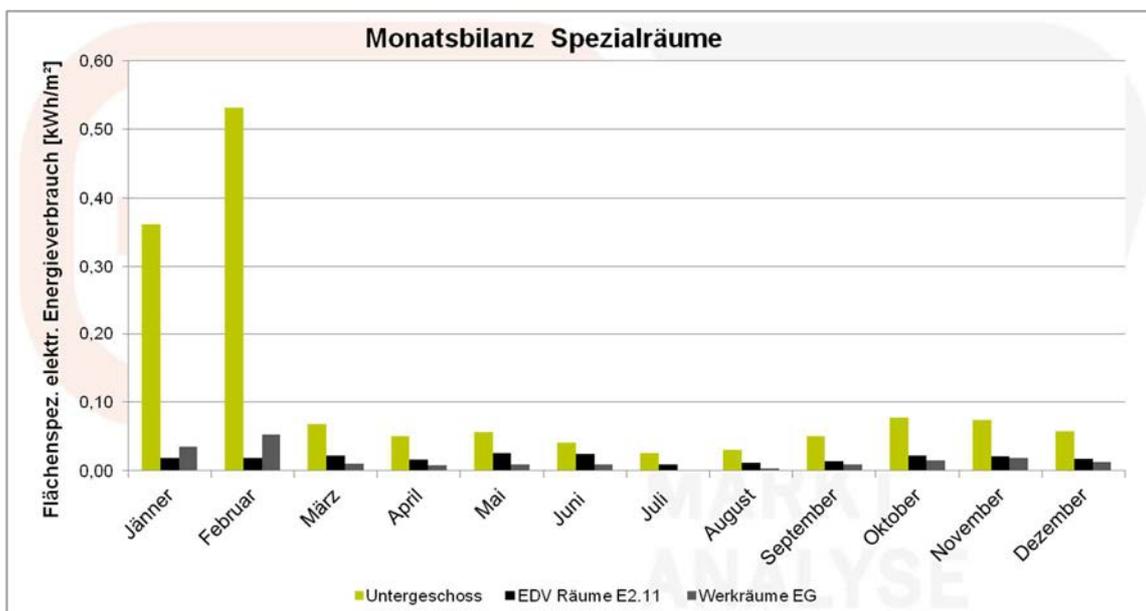


Abbildung 87: Monatsbilanz Spezialräume

Auffälligkeiten:

- Der Zählpunkt „Untergeschoss“ zeigt im Jänner und Februar besonders stark ausgeprägte Energieverbräuche.

Fazit:

Die Lüftungsanlage wird bedarfsgerecht geregelt. Die Umwälzpumpe der Fernwärme weist ein praktisch konstantes Betriebsverhalten im Jahresverlauf auf. Der Stromverbrauch der Umwälzpumpe der Heizung ist außerhalb der Heizsaison deutlich geringer.

9.6.4.5 Behaglichkeit und CO₂-Konzentration

Um die personenbezogenen Komfortparameter im Gebäude zu erfassen, wurden die Parameter CO₂-Konzentration, Raumlufffeuchte und Raumlufftemperatur im Erdgeschoss in 9 Räumen, im Obergeschoss 1 in 9 Räumen, im Obergeschoss 2 ebenso in 9 Räumen und im Untergeschoss in 7 Räumen gemessen. Somit sind Aufzeichnungen der Komfortparameter in insgesamt 34 Räumen und damit in sehr umfangreichem Ausmaß für dieses Gebäude vorhanden.

Komfortdiagramme

Das Verhältnis von Raumtemperatur und relativer Luftfeuchte gibt Aufschluss über die Behaglichkeit im Innenraum. Abbildung 88 und Abbildung 90 zeigen das Komfortdiagramm²⁷ des Lehrerzimmers im Erdgeschoss des Gebäudes mit sämtlichen Messwerten des ersten bzw. zweiten Halbjahres, während in Abbildung 89 und Abbildung 91 jeweils die Betriebszeiten ohne Wochenenden und Nachtstunden von 22:00 bis 7:00 Uhr dargestellt sind (Feiertage nicht berücksichtigt).

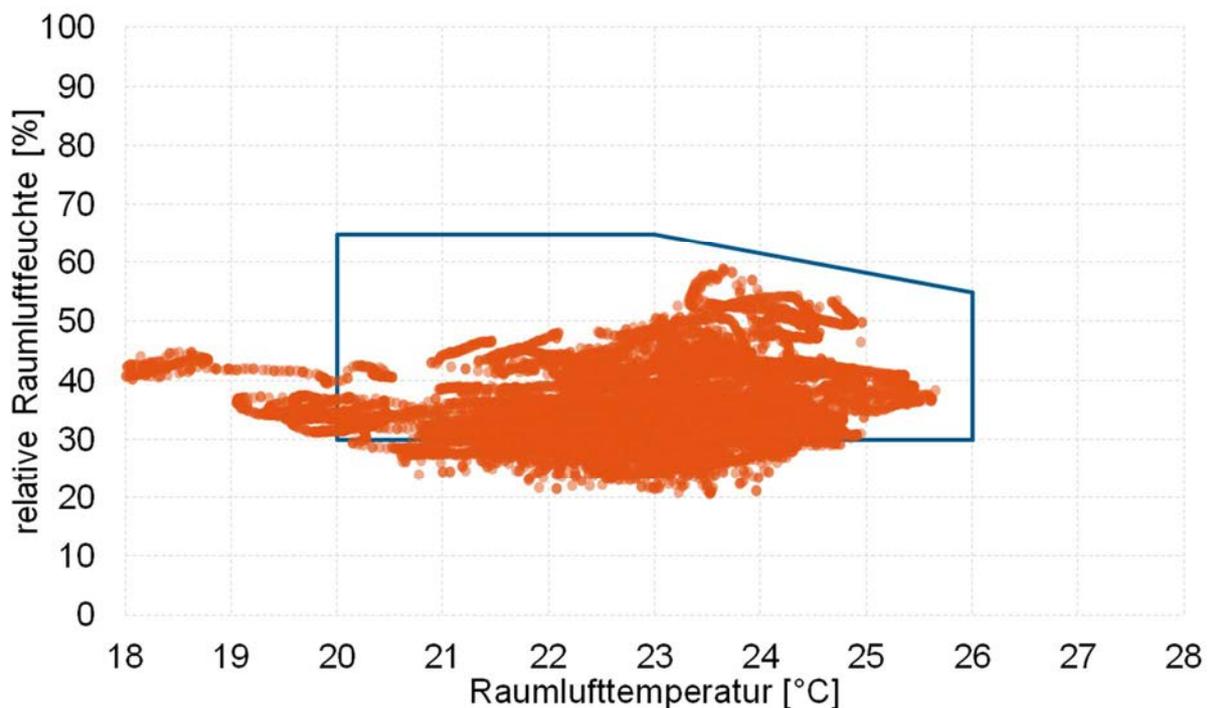


Abbildung 88: Lehrerzimmer, 1. Halbjahr, alle Werte

²⁷ Erklärung Diagramm: In dieser Darstellung sollten möglichst alle Datenpunkte innerhalb der grünen Zone sein. Dieser Bereich kennzeichnet den Bereich mit Raumlufzuständen, die von den meisten Menschen als angenehm und komfortabel bezeichnet werden. Davon abweichend ist die Luft entweder zu trocken/zu feucht und/oder zu kalt/zu warm.

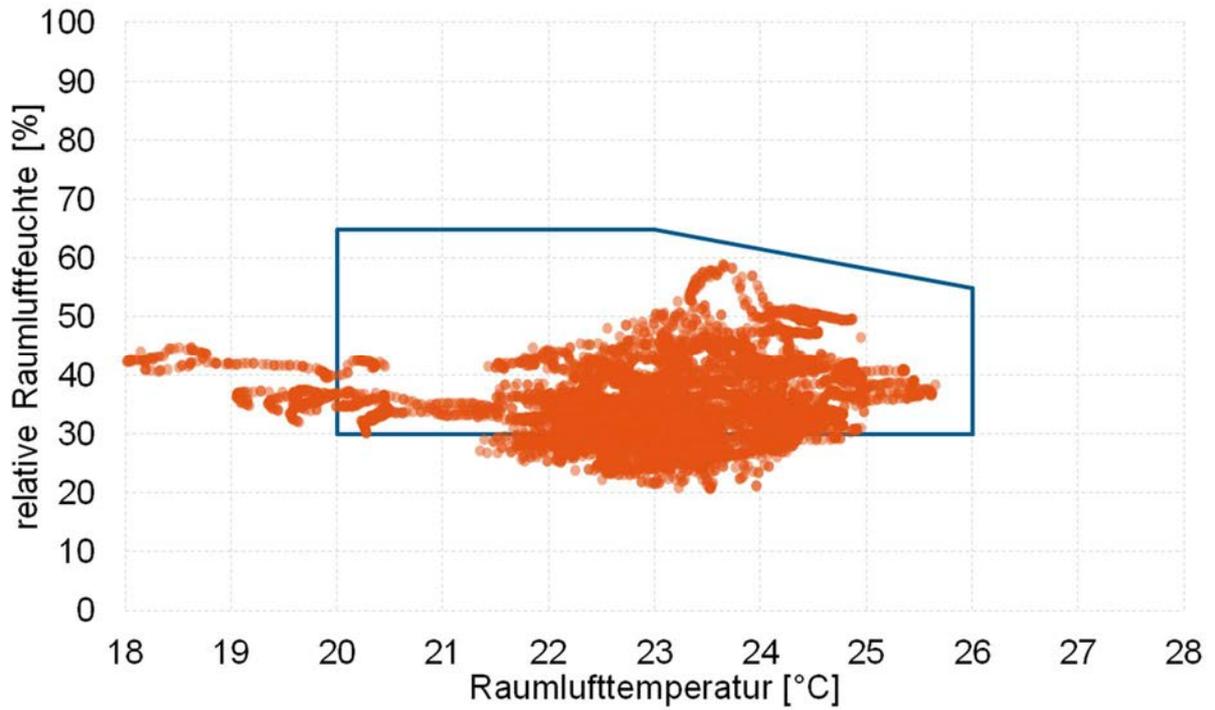


Abbildung 89: Lehrerzimmer, 1. Halbjahr, ohne Wochenenden und Nachtstunden (22:00-7:00)

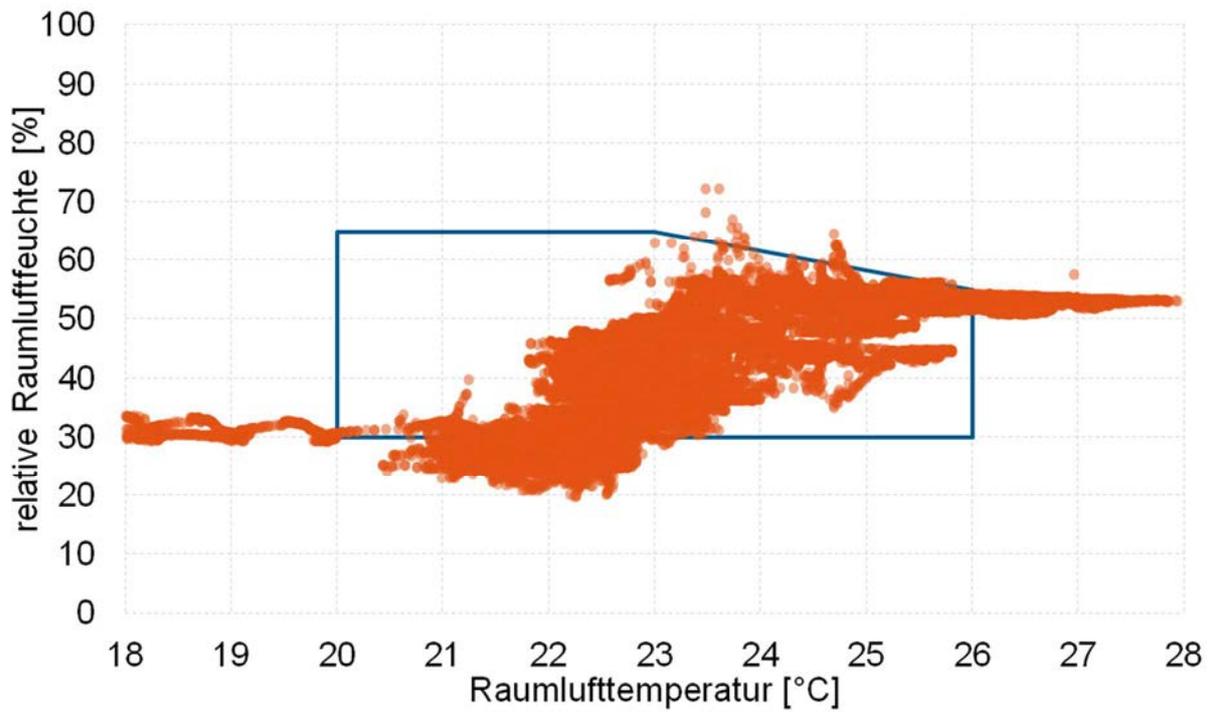


Abbildung 90: Lehrerzimmer, 2. Halbjahr, alle Werte

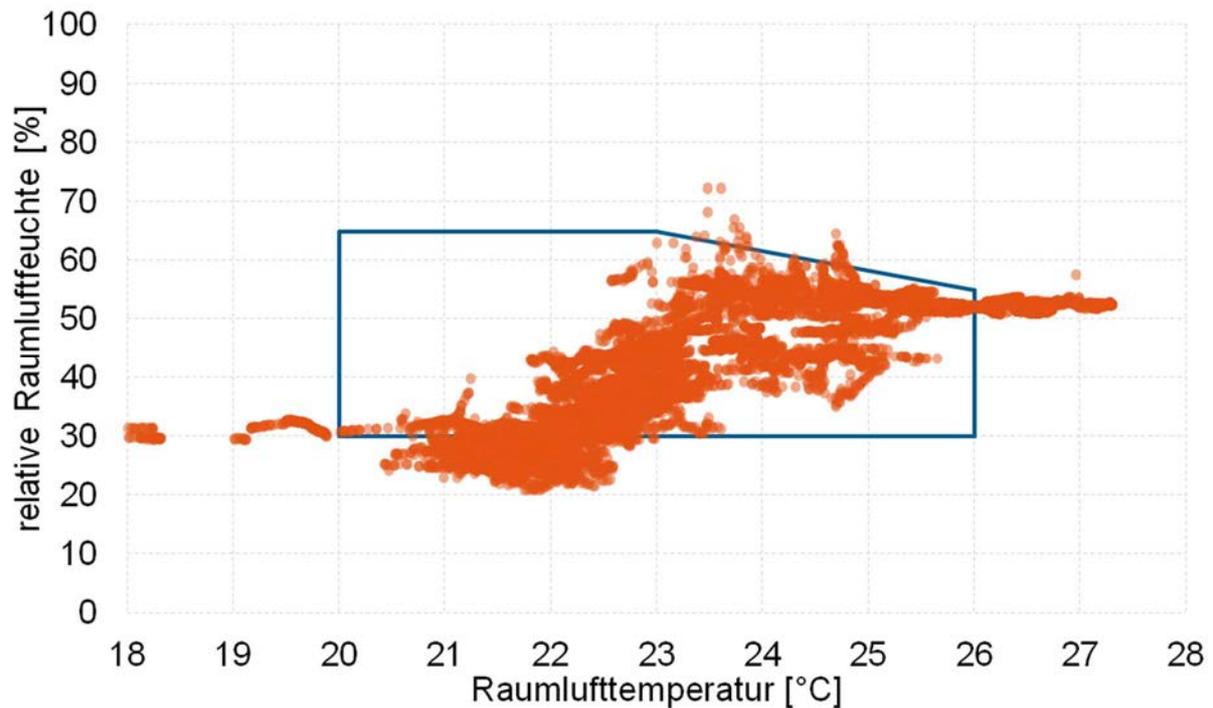


Abbildung 91: Lehrerzimmer, 2. Halbjahr, ohne Wochenenden und Nachtstunden (22:00-7:00)

Der Vergleich der Komfortdiagramme der beiden Halbjahre macht deutlich, dass sich die Komfortparameter für die beiden Halbjahre deutlich unterscheiden. Im ersten Halbjahr liegen die Messwerte zum Großteil im als behaglich empfundenen Temperaturfenster zwischen 21,5 und 25,5 °C, wobei allerdings für eine große Anzahl an Messwerten die relative Luftfeuchtigkeit unter 30 % und damit außerhalb des Behaglichkeitsfensters liegt. Im zweiten Halbjahr zeigen die Messwerte ein deutlich anderes Bild, hier treten deutlich höhere Temperaturen und höhere Feuchtegehalte auf.

Rund 5,0 % der Messwerte zeigen eine geringere Temperatur als 20 °C und etwa 6,5 % eine höhere als 26 °C. Etwa 15,7 % der Werte haben eine geringere relative Luftfeuchtigkeit als 30 %.

Die folgenden Tabellen (Tabelle 27 bis Tabelle 30) zeigen die Auswertungen der übrigen Referenzräume in den unterschiedlichen Gebäudegeschossen, wobei jeweils alle Messwerte für die Bewertung herangezogen wurden. Für das Erdgeschoss (vgl. Tabelle 27) fällt insbesondere auf, dass für den Turnsaal 1 über ein Drittel aller Messwerte eine Temperatur von weniger als 20 °C aufweisen. Für den Turnsaal 2 traten bei 18,4 % der Messwerte Temperaturen von mehr als 26 °C auf, was für einen Sportraum hoch ist und vermutlich auf seine entsprechende Fensterausrichtung zurückzuführen ist. Treten diese hohen Temperaturen insbesondere in der Nichtnutzungszeit auf (Sommerferien), so ist nicht davon auszugehen, dass die Nutzung eingeschränkt bzw. eine hohe Nachfrage nach Kühlung gegeben ist. Der technische Werkraum weist mit einem Anteil von 42,1 % von Messwerten mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von mehr als 60 % einen auffällig hohen Feuchtegehalt auf; der entsprechende Anteil des textilen Werkraums liegt bei 35,0 %.

Tabelle 27: Behaglichkeitsparameter, Referenzräume Erdgeschoss

	Bibliothek	Holzbläser	Lehrerzimmer	Musik	Harmonika	Tech. Werken	Tex. Werken	Turnsaal 1	Turnsaal 2
T < 20 °C	7,1%	4,6%	5,2%	3,6%	6,9%	9,3%	11,9%	34,3%	20,0%
T > 26 °C	2,5%	0,0%	6,5%	0,0%	9,5%	0,3%	0,0%	0,0%	18,4%
RF < 30 %	3,8%	4,5%	15,7%	5,2%	1,7%	0,0%	0,0%	1,1%	2,2%
RF > 60 %	2,3%	2,6%	0,1%	2,4%	1,7%	42,1%	35,0%	0,8%	0,1%

Tabelle 28 vergleicht unter anderem sechs Klassenräume aus dem 1. Obergeschoss miteinander, wobei sich diese vermutlich aufgrund ihrer unterschiedlichen Ausrichtung zur Sonne in ihren Temperatur- und Feuchtwerten entsprechend unterscheiden.

Tabelle 28: Behaglichkeitsparameter, Referenzräume 1. Obergeschoss

	Garderobe	Gruppenraum 3	Gruppenraum 11	Klasse 4	Klasse 5	Klasse 6	Klasse 7	Klasse 8	Klasse 10
T < 20 °C	4,0%	5,2%	6,3%	3,3%	3,2%	3,6%	3,2%	3,2%	7,0%
T > 26 °C	6,9%	3,4%	2,5%	5,6%	8,6%	7,3%	6,2%	3,8%	0,6%
RF < 30 %	0,0%	0,3%	0,0%	2,0%	3,8%	8,3%	1,9%	2,2%	0,0%
RF > 60 %	2,2%	0,7%	2,6%	0,8%	0,3%	1,7%	0,6%	1,6%	2,7%

Tabelle 29 zeigt die Referenzräume aus dem 2. Obergeschoss, wobei hierbei unter anderem das Lager für Chemie und Physik auffällig ist, bei welchem 20,5 % der Werte unter 20 °C liegen, allerdings 27,5 % über 26 °C aufweisen und damit ein sehr breites Temperaturspektrum auftritt. Der Klassenraum 10 stellt mit einem Anteil von 16,3 % von Messwerten mit einer Temperatur unter 20 °C einen relativ kalten Raum dar. Mit dem EDV Raum, den beiden Gruppenräumen, dem Klassenraum 10 und dem Lager für Chemie und Physik weisen im 2. Obergeschoss fünf Räumlichkeiten relativ viele niedrige Temperaturwerte auf.

Tabelle 29: Behaglichkeitsparameter, Referenzräume 2. Obergeschoss

	Chemie	EDV 11	Gruppenraum 13	Gruppenraum 13a	Klasse 5	Klasse 6	Klasse 7	Klasse 8	Klasse 10	Lager CH/PH
T < 20 °C	6,8%	18,7%	26,9%	22,7%	4,4%	6,4%	5,6%	6,2%	16,3%	20,5%
T > 26 °C	7,1%	4,1%	2,2%	2,5%	7,5%	7,0%	6,0%	5,1%	3,6%	27,5%
RF < 30 %	0,5%	0,5%	1,0%	0,6%	1,3%	1,0%	1,2%	0,3%	0,3%	3,9%
RF > 60 %	0,2%	3,0%	2,8%	2,4%	1,8%	2,7%	3,4%	4,1%	3,1%	0,0%

Tabelle 30 zeigt die Auswertung der Behaglichkeitsmessung für die Referenzräume im Untergeschoss des Gebäudes. Dabei sind insbesondere die relativ hohen Feuchtwerte für die Garderobe und den Saiteninstrumente-Raum sowie die Häufigkeit niedriger Temperaturen interessant.

Tabelle 30: Behaglichkeitsparameter, Referenzräume Untergeschoss

	Garderobe	Küche & Essraum	Nachmittagsbetreuung	Gesang/Klavier	Saiteninstrumente	Gymnastik
T < 20 °C	13,6%	9,1%	4,4%	25,9%	17,2%	-
T > 26 °C	0,0%	15,3%	12,4%	0,0%	0,0%	-
RF < 30 %	0,3%	6,7%	1,4%	6,0%	13,2%	3,6%
RF > 60 %	20,1%	0,5%	0,2%	1,0%	20,6%	8,8%

CO₂-Konzentration

In Tabelle 31 sind die Bewertungen der Messergebnisse für die CO₂-Konzentration im Jahr 2015 für die Referenzräume des Gebäudes dargestellt. Es zeigt sich, dass der maximal zulässige Grenzwert am Arbeitsplatz von 5.000 ppm für keinen einzigen Messwert erreicht worden ist. Bei Betrachtung der aufgezeichneten Maximalkonzentrationen zeigt sich zudem, dass diese sehr deutlich unterhalb dieses Grenzwertes liegen. Für den Textilen Werkraum liegen 12,0 % über der Pettenkofer-Zahl von 1000 ppm, was einem deutlich höheren Anteil gegenüber den übrigen Räumen entspricht.

Tabelle 31: CO-Messwerte, Referenzräume

	Minimum	Mittelwert	Maximum	> 1000 ppm	> 5000 ppm
EG Bibliothek	515	638	1.250	0,4%	0
EG Holzbläser	378	546	2.004	3,6%	0
EG Lehrerzimmer	428	557	1.523	0,4%	0
EG Musik	350	531	2.004	1,5%	0
EG Harmonika	306	497	2.004	3,7%	0
EG Tech. Werken	354	605	2.005	7,3%	0
EG Tex. Werken	336	666	2.003	12,0%	0
EG Umkleide Knaben	337	606	1.954	4,7%	0
EG Umkleide Mädchen	386	646	2.007	7,2%	0
1.OG Garderobe	424	627	2.004	5,6%	0
1. OG Gruppenraum 3	333	526	1.720	0,6%	0
1. OG Gruppenraum 11	253	514	2.009	3,2%	0
1. OG Klasse 4	20	602	2.003	4,7%	0
1. OG Klasse 5	20	664	2.008	7,0%	0
1. OG Klasse 6	20	551	1.974	3,3%	0
1. OG Klasse 7	322	528	2.007	2,4%	0
1. OG Klasse 8	349	598	2.001	6,8%	0
1. OG Klasse 10	337	567	2.006	3,3%	0
2. OG Chemie	20	607	2.000	0,7%	0
2. OG EDV	310	531	2.004	1,5%	0
2. OG Gruppenraum 13a	20	511	2.004	2,0%	0
2. OG Gruppenraum 13a	347	497	2.003	1,2%	0
2. OG Klasse 5	20	548	2.001	2,4%	0
2. OG Klasse 6	370	577	2.007	5,9%	0

2. OG Klasse 7	405	594	2.001	4,0%	0
2. OG Klasse 8	347	563	2.000	4,8%	0
2. OG Klasse 10	253	507	2.006	2,4%	0
UG Garderobe	445	621	1.581	1,9%	0
UG Küche & Essraum	434	607	2.003	0,3%	0
UG Nachmittagsbetreuung	407	570	2.005	0,6%	0
UG Blechbläser	551	737	2.004	3,6%	0
UG Gesang/Klavier	300	598	2.002	2,3%	0
UG Saiteninstrumente	443	634	2.007	6,6%	0
UG Gymnastik	334	676	2.004	2,0%	0

Im Folgenden wird die CO₂-Konzentration des Raumes „1. OG Klasse 5“ detaillierter und exemplarisch analysiert, nachdem dieser Klassenraum jener ist, welcher den höchsten Anteil an Messwerten mit mehr als 1000 ppm aufweist. Abbildung 92 stellt einen Carpet-Plot sämtlicher CO₂-Messwerte für diesen Klassenraum im Betrachtungszeitraum dar. Rote Felder verdeutlichen hierbei besonders hohe Konzentrationen, grüne hingegen relativ niedrige. Der Wertebereich dazwischen ist in unterschiedlichen Gelbtönen dargestellt.

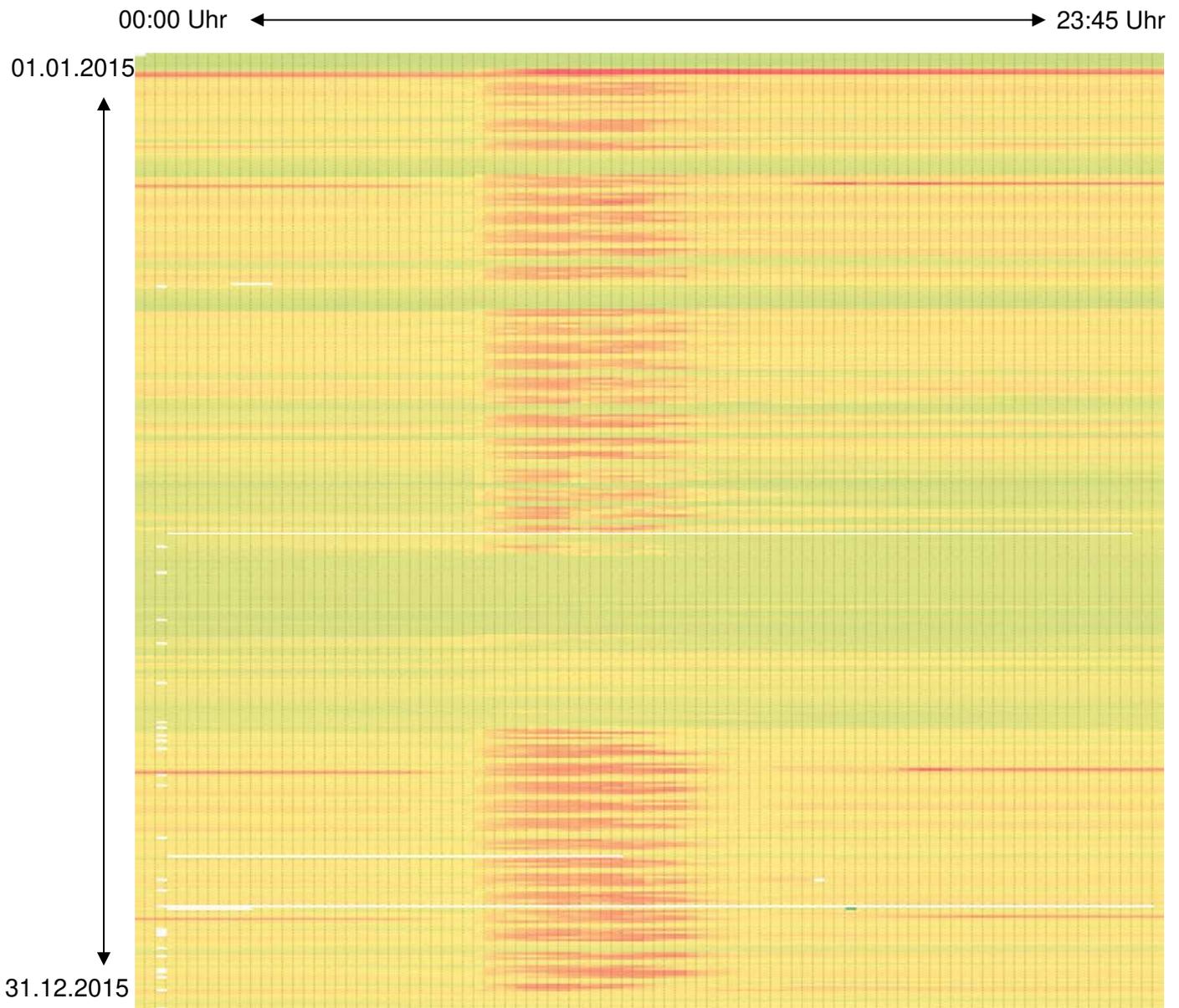


Abbildung 92: Carpet-Plot, CO₂-Konzentration, 1. OG Klasse 5, 2015

Auffälligkeiten:

- Man erkennt aus dem Carpet-Plot deutlich die Periode der Sommerferien (grün-gelbes Band ohne rote Felder).
- Die rötlichen Streifen entsprechen den Vormittagen, an welchen das Klassenzimmer besetzt ist und eine hohe Nutzungsdichte aufweist.

Abbildung 93 stellt die Mittelwerte der Messwerte im Raum „1. OG Klasse 5“ in Abhängigkeit des jeweiligen Wochentages dar. Es zeigt sich dabei, dass die CO₂-Konzentration im Zeitraum von 08:00 Uhr bis 14:00 Uhr besonders hoch ist. Ebenso wird deutlich, dass die CO₂-Konzentration ab Freitagnachmittag bis Montag 08:00 Uhr immer weiter sinkt, nachdem der Klassenraum hier nicht in Verwendung ist. Der CO₂-Gehalt ist an Mittwoch- und Donnerstagnachmittagen höher als an den übrigen Tagen.

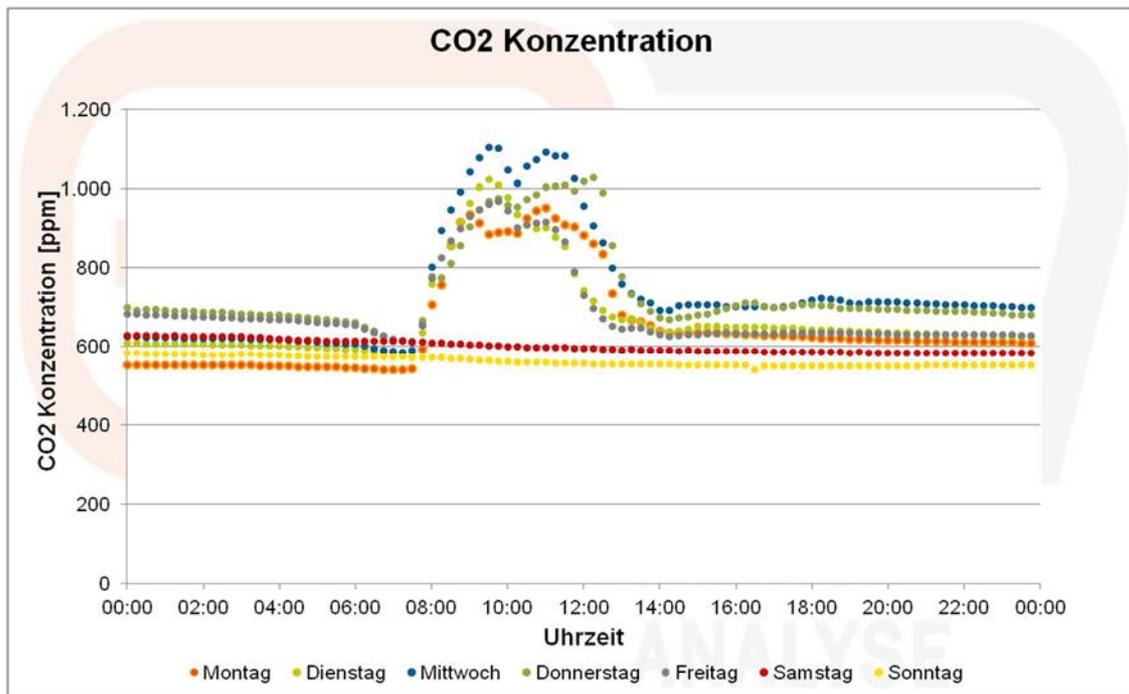


Abbildung 93: Mittelwert CO₂-Konzentration nach Wochentag, 1. OG Klasse 5, 2015

Fazit:

Die CO₂-Konzentrationen weisen für alle Messräume relativ niedrige Werte auf, was für eine gute Luftqualität im Gebäude spricht. Die überwiegende Anzahl der Referenzräume weist auch Temperatur- und Feuchtwerte auf, welche im entsprechenden Behaglichkeitsfenster liegen.

9.7 Schulzentrum Kirchberg am Wagram, NÖ

Allgemeine Projektbeschreibung

Das Schulzentrum Kirchberg am Wagram, welches die Volks- und die Hauptschule, sowie die Polytechnische Schule beherbergt, wurde im Rahmen einer Mustersanierung erweitert und auf zeitgemäßen Standard gebracht. Die thermische Qualität der Gebäudehülle entspricht nun Passivhausstandard. Ziel der Sanierung war es, Angestellten, Kindern und Besuchern zu vermitteln, welche Vorteile ein nachhaltiges Gebäude bietet, indem ein langfristiges Vorzeigeprojekt für guten Schulbetrieb umgesetzt wurde.

Die Gebäudehülle wurde thermische saniert. Bei den Fenstern des sanierten Gebäudes handelt es sich um dreifach verglaste Isoliergläser mit Argonfüllung.

Neben der thermischen Sanierung wurde eine Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 85 % angeschafft, welche den gestellten Anforderungen des Passivhausstandards entspricht. Die Wärmeerzeugung wurde von einer Ölheizung auf eine Biomassenahwärmanlage umgestellt, wobei in diesem Zusammenhang eine außentemperaturgesteuerte Regelungstechnik angeschafft wurde, welcher eine jährliche Energieeinsparung in der Größenordnung von 3.000 kWh Heizenergie prognostiziert wird. Zur Bereitstellung erneuerbarer Energie wurde eine 8,4 m² große Solarthermieanlage zur Unterstützung des Heizsystems installiert. Darüber hinaus wurde ein Erdkollektor mit einer Fläche von rund 500 m² errichtet, welcher das Heizregister der Lüftungsanlage versorgt und eine Reduktion der Zulufttemperatur mittels Free Cooling in der Kühlsaison um bis zu 5 °C erreicht. Eine 133 m² Photovoltaikanlage mit einer Peakleistung von 19,6 kW wurde ebenfalls installiert.

Ausgangszustand:

<i>Eigentümer/ Betreiber</i>	Volksschulgemeinde Kirchberg am Wagram
<i>Ansprechpartner / Kontaktpersonen</i>	Volksschule: VD SR Helga Nimmervoll Gemeinde: Vzbgm. Erwin Mantler
<i>Standort</i>	A- 3470 Kirchberg am Wagram, Auf der Schanz 5
<i>Gebäudetyp</i>	Schule
<i>Errichtungsjahr Bestandsgebäude</i>	1950; Volksschule wurde im Jahr 1972 bezogen.
<i>Größe (BGF)</i>	von 1.396m ² auf 2.392 m ² erweitert

9.7.1 Sanierungsmaßnahmen

9.7.1.1 Gebäudehülle

Im Zuge der Mustersanierung wurde die Gebäudehülle des Schulzentrums umfassend saniert, um Passivhausstandard erreichen zu können. Die Außenwände im ersten und zweiten Obergeschoß, welche als Holzriegelwände ausgeführt worden sind, wurden mit 30 cm ökologischem Zellulosedämmstoff gedämmt, sodass ein U-Wert von 0,12 W/(m².K) erreicht werden konnte. Die Stahlbetonwände im Kellergeschoß wurden mit 37 cm XPS/EPS Plus gedämmt und erzielten nach der Sanierung einen U-Wert von 0,093 W/(m².K).

Das Dach des Altbestandes wurde mit einer EPS-Plus Gefälledämmung gedämmt, sodass sich dessen U-Wert auf 0,076 W/(m².K) verbessert hat. Einen vergleichbaren U-Wert erreicht auch der Fußboden nach erfolgter Dämmung mit XPS. Die dreifach verglasten Isoliergläser mit Argonfüllung erreichen einen U-Wert von 0,64 W/(m².K).

9.7.1.2 Gebäudetechnik

Heizen, Kühlen, Lüften, Warmwasser

Das Heizsystem des Gebäudes basierte ursprünglich auf einem Ölkessel, welcher im Zuge der Mustersanierung durch einen Biomassekessel ersetzt worden ist, um den Einsatz erneuerbarer Energieträger zu fördern. Der Biomassekessel versorgt neben dem Nahwärmenetz des Schulzentrums (Volksschule, Neue Mittelschule, Polytechnische Schule) auch Gemeindegebäude.

Im Zuge der Mustersanierung erfolgte der Einbau einer Lüftungsanlage mit einer Rückfeuchtezahl von 78 %. Im Winter wird die Zuluft über einen rund 500 m² großen Erdwärmekollektor vorgewärmt. Die Regelung der Anlage erfolgt bedarfsgerecht über CO₂-Sensoren. In den Sommernächten erfolgt durch manuelle Querlüftung und entsprechendes Speichermassemanagement die Kühlung des Gebäudes auf energieschonendem Wege.

Die Wärmeverteilungssysteme und die Heizkörperinfrastruktur wurden im Gegensatz zur Wärmebereitstellung nicht adaptiert, nachdem diese wenige Jahre vor Beginn der Mustersanierung saniert worden waren.

Der Erdkollektor wird auch für die Kühlung der Zuluft im Sommer verwendet, wobei über diese Art der Free-Cooling-Nutzung eine Reduktion der Temperatur des Volumenstroms um bis zu 5 K gegenüber der Außenlufttemperatur erreicht werden kann.

Beleuchtung, Verschattungseinrichtungen

Bei der architektonischen Planung des Umbaus wurde darauf Wert gelegt, die Wände derart zu gestalten, dass eine optimale Ausnutzung des Tageslichtangebots erfolgen kann. Hierbei wurde insbesondere auf die tiefstehende Wintersonne Rücksicht genommen, sodass neben einer Reduktion des Beleuchtungsenergiebedarfs auch ein solarer Wärmeeintrag erfolgen kann. Um diesen Effekt im Sommer entsprechend reduzieren zu können, wurde ein außenliegender Sonnenschutz installiert. Zur Steigerung der Energieeffizienz erfolgte zudem der Umstieg auf Energiesparlampen.

Photovoltaik- und Solarthermieanlage

Eine 8,4 m² große thermische Solaranlage mit einer Peakleistung von 5,88 kW ermöglicht die Aufbereitung des Warmwassers. Zusätzlich wurde im Zuge der Mustersanierung eine 132,77 m² große Photovoltaikanlage mit einer Peakleistung von 19,6 kW installiert. Aufgrund des Nutzungsverhaltens des Gebäudes ist von einem relativ hohen Direktnutzungsgrad auszugehen. Der verbleibende Stromverbrauch wird über einen Ökostromanbieter aus dem Netz bezogen.

Um die jeweils aktuelle Energieerzeugungssituation für Besucher und Gebäudenutzer zu verdeutlichen, wurde im Eingangsbereich des Schulzentrums eine entsprechende Bildschirmanzeige installiert.

9.7.1.3 Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)

Tabelle 24 zeigt die im Energieausweis berechneten Werte des Heizwärmebedarfs* des Gebäudes im Referenzklima vor und nach der Sanierung, Abbildung 94 stellt die im Rahmen der Mustersanierung erreichte Reduktion dar. Die Energieausweisberechnung weist eine Reduktion des HWB* um 32,92 kWh/m³a oder rund 91 % im Zuge der Sanierung aus.

Tabelle 32: Vergleich Energiekennzahlen vor und nach Sanierung

Heizwärmebedarf* lt. Energieausweis	
Vor Sanierung	Nach Sanierung
<i>kWh/m³a</i>	<i>kWh/m³a</i>
36,05	3,13

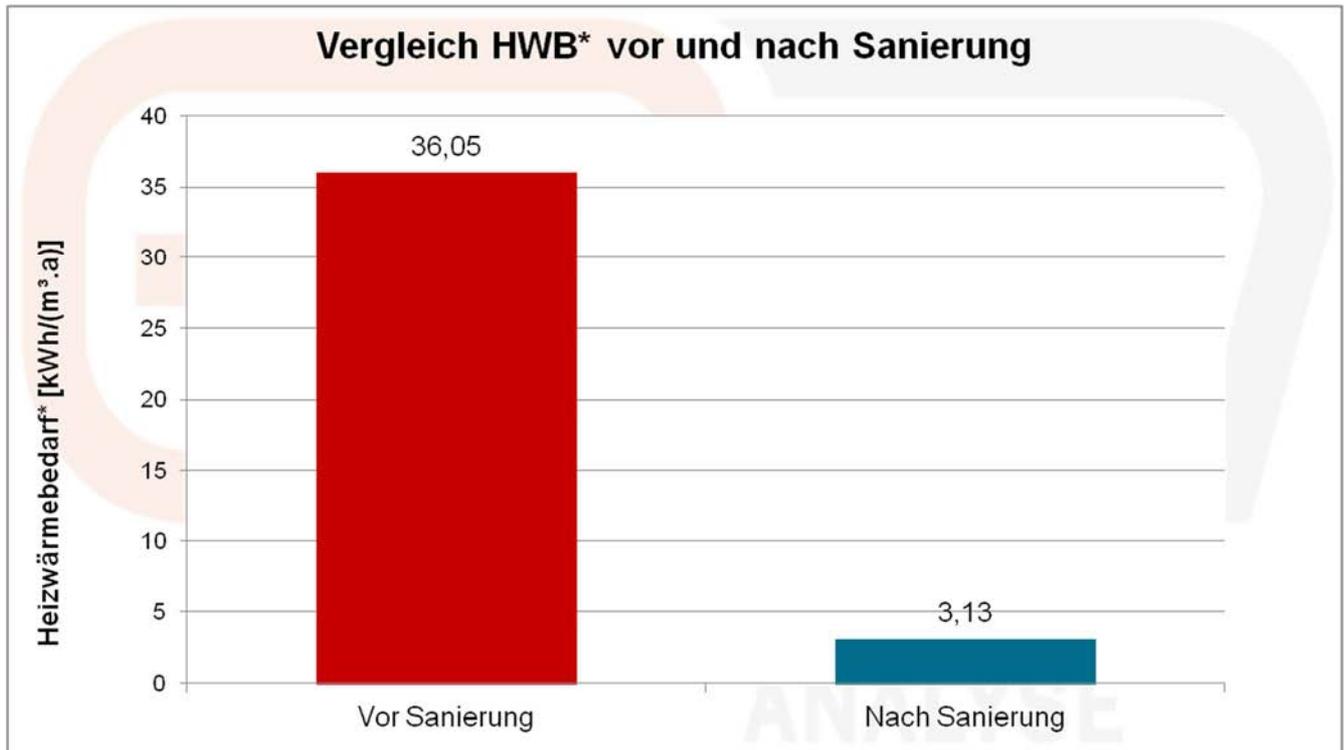


Abbildung 94: Gegenüberstellung HWB* vor und nach Sanierung

9.7.2 EVM-Schema

Um das Energieverhaltensverhalten und die Komfortparameter des Gebäudes nach der Sanierung bewerten zu können, wurde ein Monitoringsystem installiert. Dieses misst an relevanten Punkten in der Haustechnikanlage und im Gebäude folgende Parameter:

- Raumlufttemperatur, CO₂-Konzentration und relative Luftfeuchte
- Zuluft-, Außenluft, Fortluft- und Ablufttemperatur sowie die zugehörigen Luftfeuchten der Lüftungsanlage
- Elektrischer Energieverbrauch der Beleuchtung, der Lüftungsanlage, Hilfsstromverbrauch und Gesamtstromverbrauch
- Wärmeenergieverbrauch gesamt, der Heizkörper und gelieferte Wärmemenge der Solarthermieanlage

Das Monitoringsystem erfasst die Messwerte und Zählerstände viertelstündlich und speichert diese ab. Zur Auswertung für diesen Bericht wurden Daten aus dem Monitoringsystem im Zeitraum von 01.10.2013 bis 30.09.2014 herangezogen. Die Datenpunkte des EVM sind Abbildung 95 dargestellt.

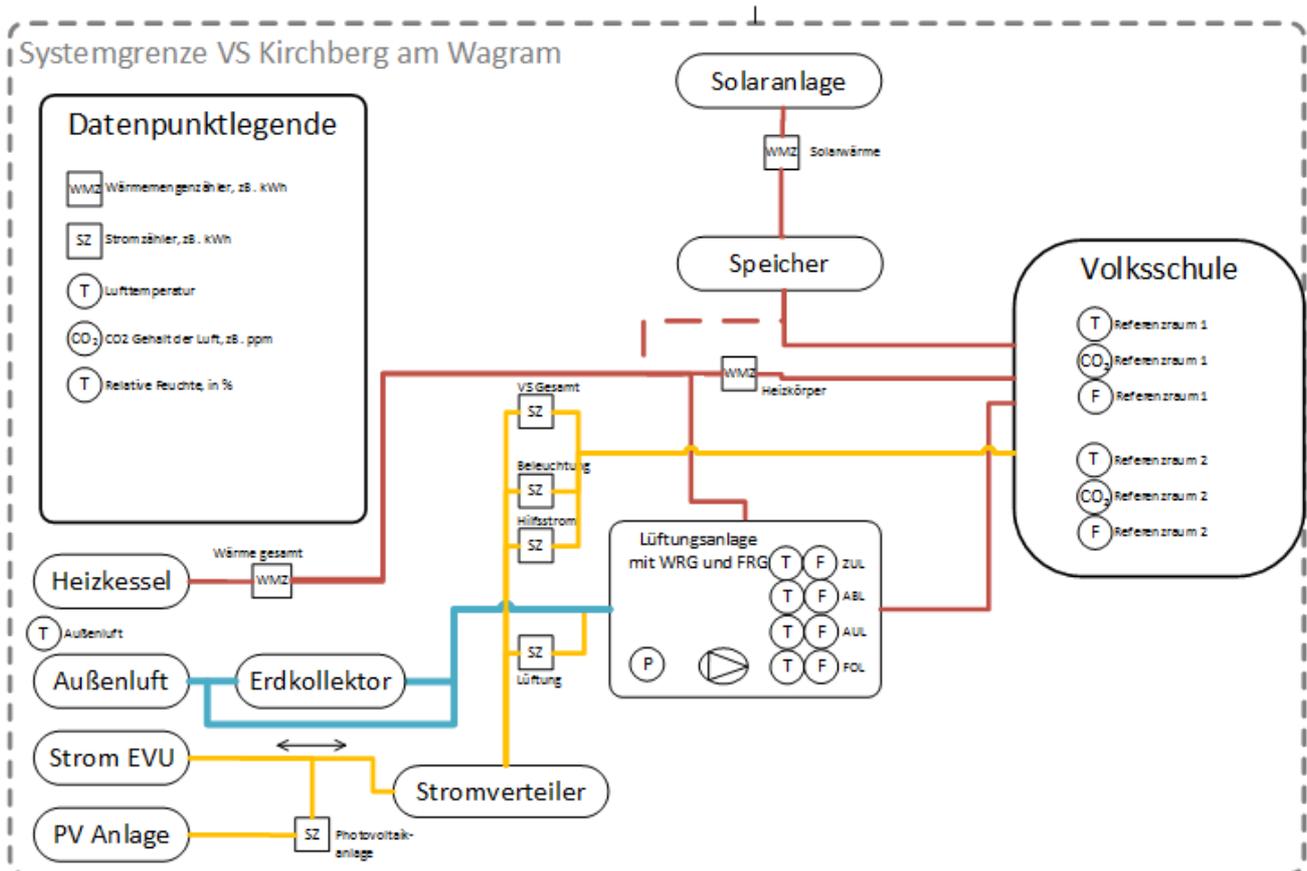


Abbildung 95: EVM-Schema mit Datenpunkten

9.7.3 Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung

Die folgenden CO₂-äquivalenten Emissionsergebnisse und Energieverbrauchsergebnisse, welche in Tabelle 33 angegeben sind, basieren auf den Angaben der Einreichunterlagen vor der Sanierung und den gemessenen Werten durch das EVM nach der Sanierung sowie den CO₂ Faktoren aus der KPC-Förderberechnung. Nach der Sanierung ist der Wert für CO₂-äquivalente Emissionen bedingt durch das Heizen null, nachdem das Heizsystem mittels Biomasse befeuert wird.

Tabelle 33: Berechnete, CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen

CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen²⁸		
Vor Sanierung	Nach Sanierung	Nach Sanierung
Fördereinreichung	Energieausweis	EVM
<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>
165,58	0,00	0,00

Tabelle 34 zeigt den Vergleich des Heizwärmebedarfs* im Referenzklima laut Energieausweis vor und nach der Sanierung mit dem tatsächlich gemessenen Heizwärmeverbrauch.²⁹ Vergleicht man die beiden flächenspezifischen Werte des HWB*, so wird für die Mustersanierung eine relative Reduktion von 83,3 % errechnet. Vergleicht man den klimabereinigten Wert des Heizwärmeverbrauchs, welcher mit Hilfe des EVMs als Gesamtwärmeverbrauch ermittelt worden ist, qualitativ mit dem HWB*-Wert vor der Sanierung, so beträgt die relative Reduktion 77,8 %. Dieser Vergleich veranschaulicht die Wirksamkeit der Mustersanierung deutlich.

Tabelle 34: Vergleich Heizwärmebedarf aus Energieausweis (Referenzklimawerte) zu Heizwärmeverbrauch

Vergleich Heizwärmebedarf zu Heizwärmeverbrauch		
Vor Sanierung; BGF=1.396 m²	Nach Sanierung; BGF= 2.392 m²	Nach Sanierung; BGF=2.392 m²
HWB Energieausweis	HWB Energieausweis	EVM
<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>
120,02	12,47	26,63

Anteil erneuerbarer Energieträger am Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes

Der Stromverbrauch aller Zählpunkte betrug im Betrachtungszeitraum 37.690 kWh. Die Photovoltaik-Anlage mit einer Peak-Leistung von 19,6 kWp erzielte dem gegenüber einen Ertrag von 16.500 kWh

²⁸ Die Daten der berechneten CO₂-äquivalenten Emissionen vor und nach Sanierung stammen aus den Unterlagen der Fördereinreichung, da zu diesem Zeitpunkt CO₂ nicht im EAW berechnet wurde (Versionen der OIB Richtlinie 6 vor 2011). Wenn biogene Energieträger eingespart werden, wird fiktiv ein fossiler Brennstoff (Heizöl) zur Bestimmung der CO₂-Einsparung gegengerechnet, da hier die eingesparten erneuerbaren Energieträger für andere Objekte mit fossilen Energieträgern genutzt werden können.

²⁹ Die Vergleichbarkeit des im Energieausweis berechneten Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs (HWB und KB) einer thermischen Gebäudezone mit gemessenen Wärmemengen ist aus mehreren Gründen nicht direkt gegeben. Einerseits sind die berechneten Werte für das Gebäude vor und nach der Sanierung gute Anhaltspunkte um die Verbesserung der thermischen Qualitäten des Objektes zu bewerten. Andererseits sind die gemessenen Werte stark vom tatsächlichen Wetter und Benutzerverhalten im jeweiligen Messzeitraum abhängig. Daher ergibt sich aufgrund der Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen Messzeitraum und der theoretischen Berechnungsgrundlagen eine große Unsicherheit bezüglich der Vergleichbarkeit von Kennwerten zwischen Messung und Berechnung. Darüber hinaus sind HWB und KB theoretische Bedarfsgrößen einer thermischen Zone ohne messbaren Charakter. Gemessene Wärmemengen hingegen sind lokale zuordenbare Größen im Energieverteilungssystem.

(19.10.2013 – 30.10.2014), was im Bilanzvergleich einem Deckungsgrad von 44 % entspricht. Nachdem die verbleibende Stromnachfrage bei einem Ökostromanbieter bezogen wird, erfolgt die Versorgung mit elektrischer Energie des Gebäudestandorts nach der Mustersanierung gänzlich auf erneuerbarem Wege.

Die Wärmeerzeugung erfolgt mittels Biomasse, eine Solarthermieanlage mit einer Peak-Leistung von 5,88 kW übernimmt die Warmwasserbereitstellung und erzielte im Betrachtungszeitraum einen Ertrag von 2.783 kWh. Der Gesamtwärmeverbrauch betrug 51.092 kWh, wobei davon 43.756 kWh über die Heizkörper abgegeben wurden, was 85,6 % entspricht.

Fazit:

Die Daten aus dem EVM im vorliegenden Messzeitraum zeigen, dass die geplanten Energieeinsparungen durch die Sanierungsmaßnahmen erreicht wurden.

Der Anteil erneuerbarer Energieträger zur Versorgung des Gebäudes konnte durch die Mustersanierung deutlich gesteigert werden. Die hauseigene Photovoltaik-Anlage deckt 44 % des elektrischen Energieverbrauchs ab, der Restverbrauch wird durch einen Ökostromanbieter gedeckt. Die Wärmeversorgung erfolgt mittels Biomasse und Solarthermie, sodass auch die Wärmeversorgung gänzlich auf erneuerbaren Energiequellen basiert.

9.7.4 Detailergebnisse Energieverbrauchsmonitoring

9.7.4.1 Zusammenfassung

Das Monitoringsystem der Volksschule Kirchberg am Wagram umfasst drei Wärmemengenzähler und vier Stromzähler, sowie in zwei Referenzräumen Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur und CO₂-Konzentration der Raumluft und darüber hinaus Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit der Zu- und Abluftstränge der Lüftungsanlage.

Die ausgewerteten Daten umfassen den Zeitraum von 01.10.2013 bis 30.09.2014 in 15-Minuten-Intervallen. Mit Ausnahme von mehreren einzelnen Messwerten, welche offensichtlich viel zu hoch ausfallen, läuft das Messsystem zuverlässig.

Die Daten des Energieverbrauchsmonitorings (EVM) zeigen, dass vor allem bei der Heizung und der Lüftungsanlage Einsparpotenzial besteht. Für die Heizungsanlage gibt es weder ein Feiertags- bzw. Wochenendprogramm, noch eine Nachtabsenkung. Darüber hinaus dauerte die Heizsaison bis Mai und damit sehr lange. An Wochenenden und in den Nachtstunden (20:00 bis 06:00 Uhr) fallen etwa 30.700 kWh oder 60 % des Gesamtwärmeverbrauchs an, sodass in Abhängigkeit der thermischen

Trägheit des Gebäudes (erforderlicher Wärmeeintrag in den Nachtstunden und nach Wochenenden und Feiertagen) ein erhebliches Einsparpotenzial gegeben ist.

Die Lüftungsanlage verfügt über ein Wochenend- und Feiertagsprogramm. In den Semesterferien betrug der Energieverbrauch 88,1 kWh, nachdem die Anlage zwar in einem anderen Betriebszustand läuft, allerdings nicht gänzlich außer Betrieb ist. Der Energieverbrauch kann noch weiter reduziert werden, indem die Anlage zumindest teilweise gänzlich außer Betrieb genommen wird. Zwischen 19:00 und 06:00 Uhr verbraucht die Anlage rund 6.245 kWh, was etwa 31 % des gesamten Anlagenverbrauchs entspricht. Interessant ist auch die Tatsache, dass die Monatsverbräuche von Juli und August keine deutliche Reduktion aufweisen.

Der Energiezähler für die Beleuchtung zeigt für die Sommermonate einen deutlichen Verbrauchsrückgang.

Die Raumluftqualität ist gut, vor allem was die CO₂-Konzentrationen im Innenraum betreffen. Rund 16 % aller Messwerte zeigen eine geringere Temperatur als 20 °C, etwa 8,5 % eine höhere als 26 °C. Etwa 4,5 % aller Werte haben eine geringere relative Luftfeuchtigkeit als 30 %.

9.7.4.2 Energieflussbild

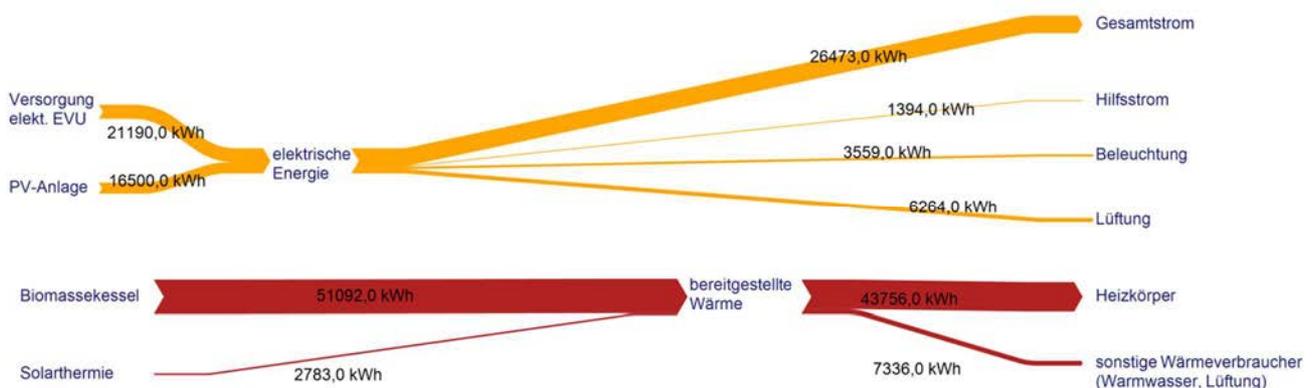


Abbildung 96: Energiefluss Bilanz 01.10.2013 bis 30.09.2014

9.7.4.3 Heizwärmeverbrauch

Abbildung 97 stellt die Monatsbilanz des flächenspezifischen Wärmeverbrauchs dar. Die vorhandene Zählerstruktur des EVM weist für den Heizwärmeverbrauch folgende Ergebnisse für den Betrachtungszeitraum von 01.10.2013 bis 30.09.2014 aus:

- | | |
|---------------------------------|------------|
| ▪ Gesamte Wärmemenge | 51.092 kWh |
| ▪ Wärmemenge Heizkörper | 43.756 kWh |
| ▪ Wärmemenge Solarthermieanlage | 2.783 kWh |

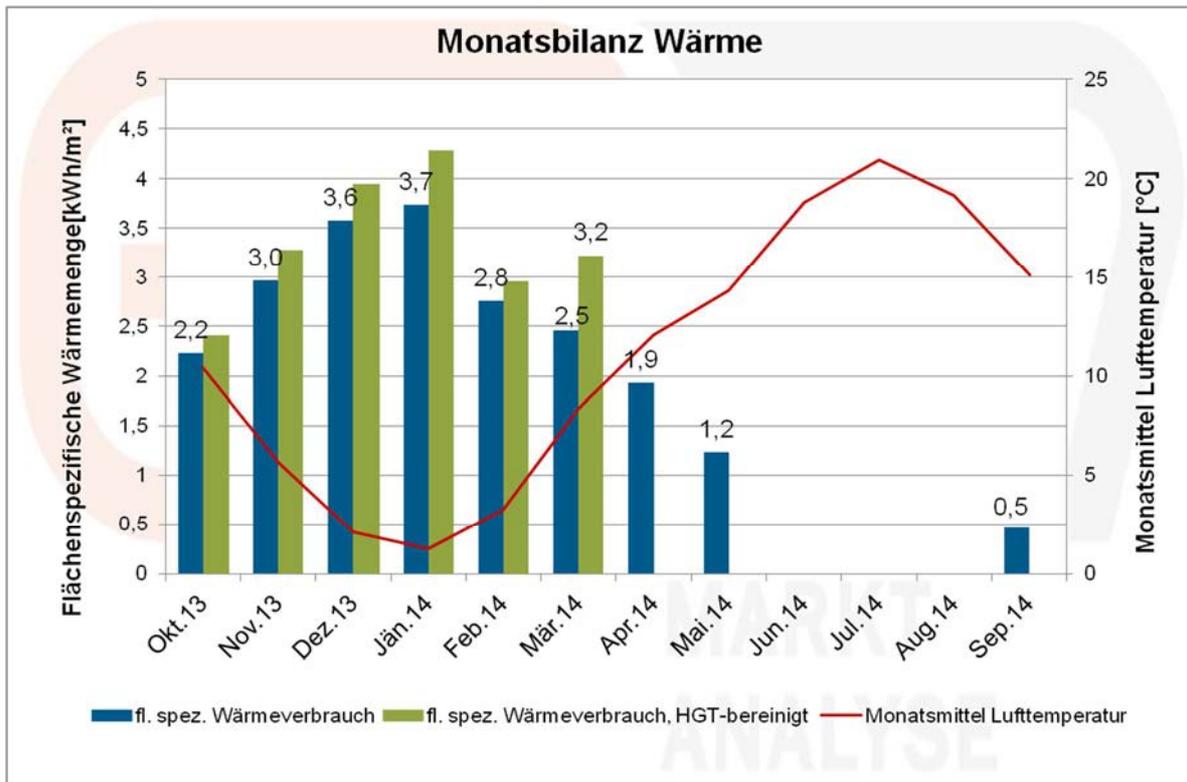


Abbildung 97: Monatsbilanz des Wärmeverbrauchs, mittels EVM gemessen

Abbildung 98 stellt den Carpet-Plot des Wärmeverbrauchs dar. In diesem ist jeder gemessener Viertelstundenverbrauchswert im Betrachtungszeitraum als farbige Zelle dargestellt. Die x-Achse zeigt die Tageszeit von 00:00 bis 23:45 Uhr, die y-Achse entspricht dem Datum von 01.10.2013 (oben) bis 30.09.2014 (unten). Jeder Tag entspricht einer Zeile, jede Spalte einem Viertelstundenmesswert beginnend bei 00:00 Uhr ganz links bis 23:45 ganz rechts. Grüne Verbrauchsfelder entsprechen einem sehr geringen bzw. null Energieverbrauch, rote Felder stellen die höchsten Verbrauchswerte dar. Die Wertebereiche zwischen den Extrema sind in Gelbstufen dargestellt.

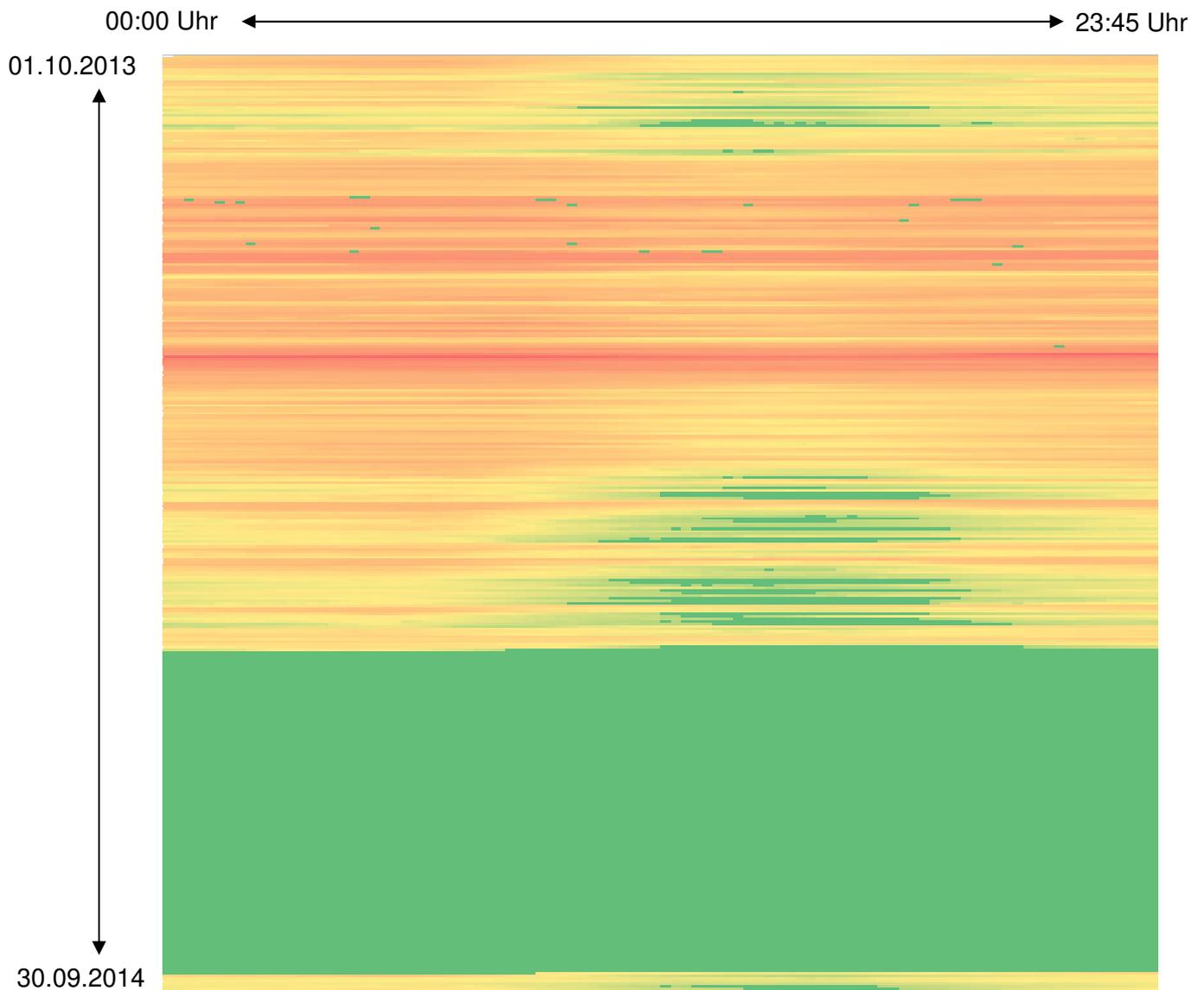


Abbildung 98: Carpet-Plot, Wärmeverbrauch VS Kirchberg, 01.10.2013 bis 30.09.2014

Auffälligkeiten:

- Die Heizsaison ist sehr lange und dauert bis Mai. Dies kann auf die außentemperaturgeregelte Steuerung zurückzuführen sein. Eine weitere mögliche Ursache könnte in der Warmwasserbereitstellung liegen. Sofern in der Übergangszeit gerne Fenster geöffnet werden, kann die Eingabe eines fixen Enddatums der Heizsaison, je nach Behaglichkeitsempfindung, zu einer Einsparung überflüssiger Heizenergie führen.
- Die Heizungsanlage startete am 23.9.2013 und wurde am 20.05.2014 abgedreht.

- An Feiertagen und Wochenenden ist die Anlage standardmäßig in Normalbetrieb. 14.349 kWh oder 28,1 % des Wärmeenergieverbrauchs fallen an Samstagen und Sonntagen an, wo das Schulzentrum grundsätzlich nicht genutzt wird.
- Es ist keine besondere Heizkurve bzw. Nachtabsenkung aus den Verbrauchsmustern erkennbar. Etwa 22.700 kWh oder 45 % des Gesamtheizenergiebedarfs werden im Zeitraum von 20:00 bis 06:00 Uhr verbraucht.

Fazit:

Das Anlagenverhalten außerhalb der Gebäudenutzungszeiten sollte angepasst werden. Die Heizsaison endete im Betrachtungszeitraum erst im Mai. Es gibt weder ein Feiertags- bzw. Wochenendprogramm, noch eine erkennbare Nachtabsenkung oder Heizkurve.

Die Anlagensteuerung sollte um eine bedarfsgerechte Verkürzung der Heizperiode sowie eine Nachtabsenkung mit Feiertagsprogramm erweitert werden. An Wochenenden und in den Nachtstunden (20:00 bis 06:00 Uhr) fallen etwa 30.700 kWh oder 60 % des Gesamtwärmeverbrauchs an, sodass in Abhängigkeit der thermischen Trägheit des Gebäudes (erforderlicher Wärmeeintrag in den Nachtstunden und nach Wochenenden und Feiertagen) ein erhebliches Einsparpotenzial gegeben ist.

9.7.4.4 Stromverbrauch

In Abbildung 99 ist die Verteilung des gesamten Stromverbrauchs gemäß den Messpunkten im EVM dargestellt. Abbildung 100 zeigt die Monatsbilanz des gesamten Stromverbrauchs unterteilt in die einzelnen Sektoren. Im Betrachtungszeitraum liefern die Energiezähler die folgende Aufschlüsselung:

▪ Stromverbrauch aller Zähler	37.690 kWh
▪ Allgemein	26.473 kWh
▪ Beleuchtung	3.559 kWh
▪ Lüftung	6.264 kWh
▪ Hilfsstrom	1.394 kWh

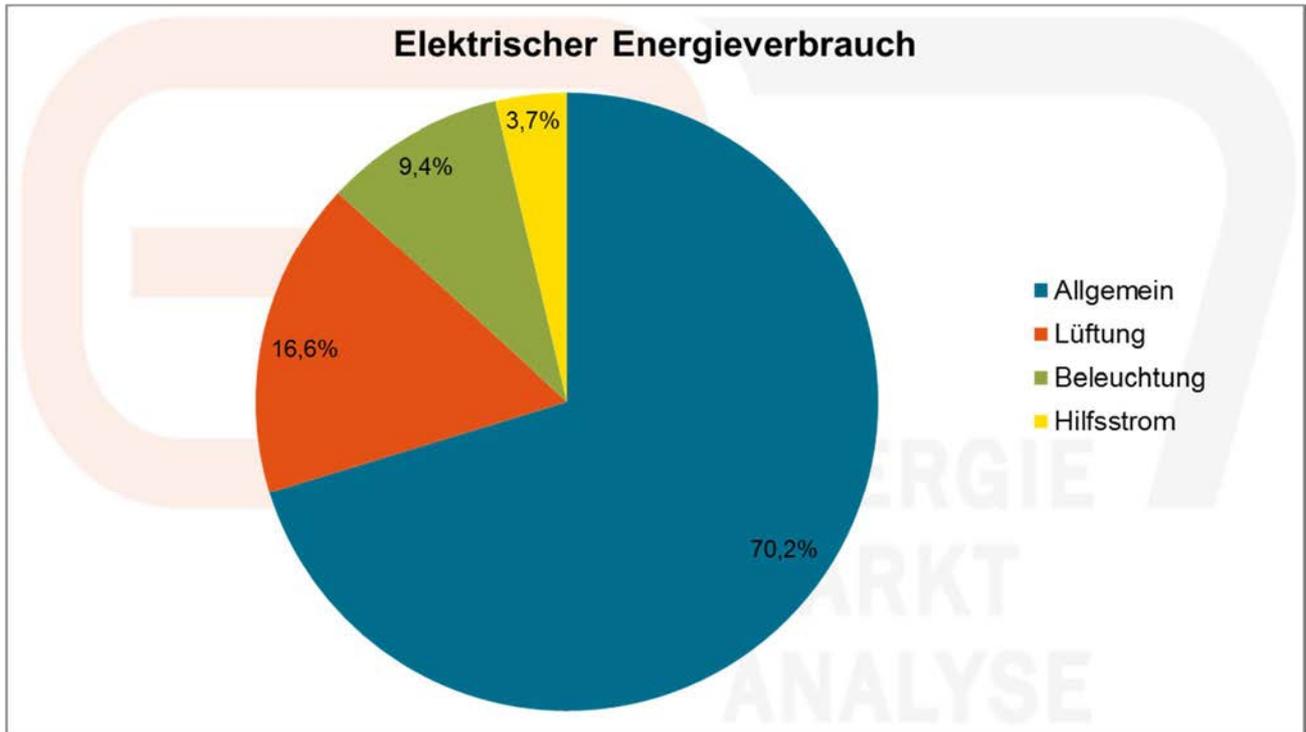


Abbildung 99: Verteilung gesamter elektrischer Energieverbrauch, 01.10.2013 bis 30.09.2014

Auffälligkeiten:

- Der Zählerpunkt „Allgemein“ dominiert die Aufschlüsselung des Energieverbrauchs. Es ist nicht klar, welche Verbraucher unter diesem zusammengefasst werden.

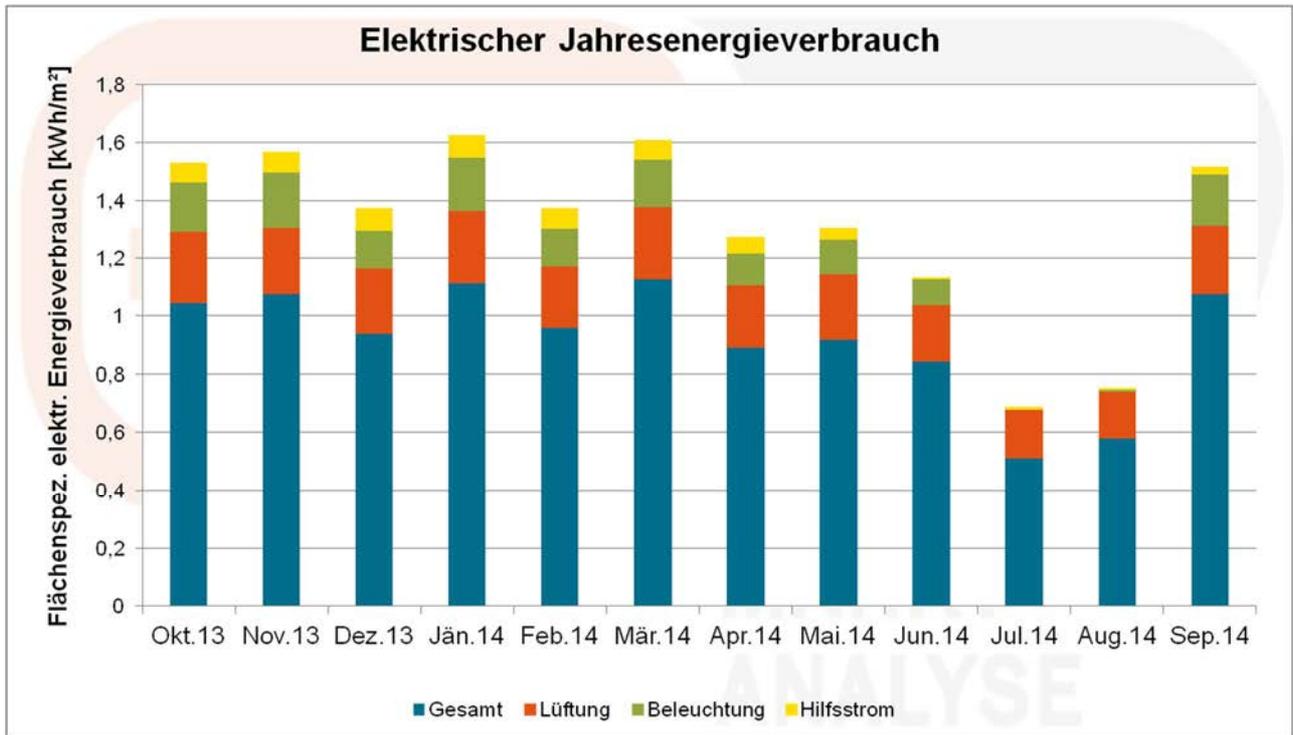


Abbildung 100: Monatsbilanz gesamter elektrischer Energieverbrauch spezifisch in [kWh/m²], 01.10.2013 bis 30.09.2014

Auffälligkeiten:

- Der Energieverbrauch der Lüftung ist sehr konstant. Sie weist auch in den Ferienmonaten Juli und August keinen nennenswerten Rückgang auf.
- Obwohl ein entsprechender Rückgang des Energieverbrauchs für die Ferienmonate erkennbar ist, betrifft dieser insbesondere die Beleuchtung und den Hilfsstrom. Die Reduktion des Zählpunkts „Gesamt“ ist jedoch relativ gering.

Nachfolgend werden die einzelnen Stromverbraucher separat betrachtet und analysiert.

Gesamtstrom

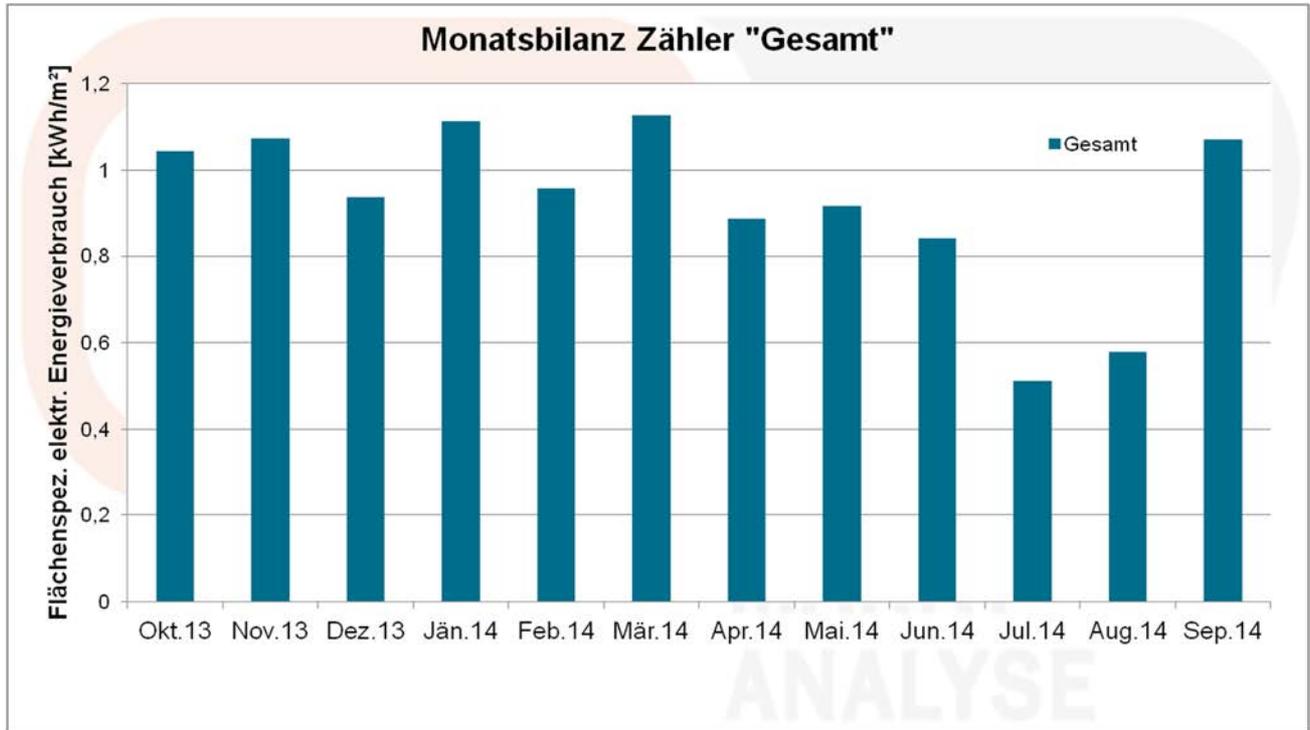


Abbildung 101: Monatsbilanz Zählpunkt „Gesamt“ in [kWh/m²], 01.10.2013 bis 30.09.2014

Auffälligkeiten:

- Auffallend ist der relativ konstante Verlauf des Energieverbrauchs. Die Reduktion in den Sommermonaten Juli und August ist relativ gering.
- Der geringere Verbrauch in Monaten wie z.B. Dezember ist auf Ferienzeiten oder eine geringere Anzahl an Tagen, wie z.B. im Falle des Februars oder Aprils, zurückzuführen.
- In den Messdaten zeigte sich ein Peak-Verbrauchswert von 78,01 kWh als Viertelstundenwert am 25.06.2014 um 05:15 Uhr, sowie ein Wert von 18,98 kWh als Viertelstundenwert am 21.03.2014 um 08:15 Uhr. Ein weiterer unplausibler Verbrauchswert ist am 15.11.2013 um 17:45 Uhr mit 6,56 kWh vermerkt. Nachdem der Mittelwert aller Viertelstundenverbrauchswerte bei 0,76 kWh liegt, ist davon auszugehen, dass das Messsystem hier fehlerhafte Werte gespeichert hat.

Hilfsstrom

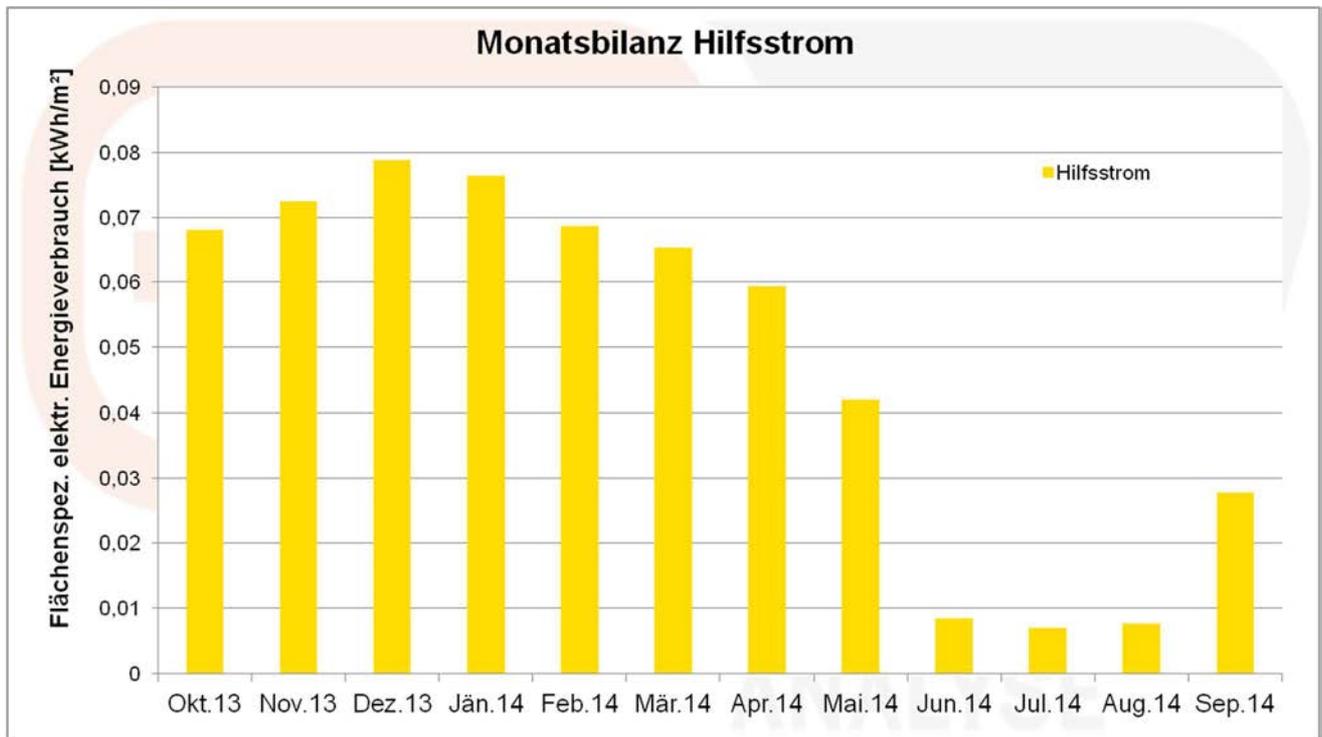


Abbildung 102: Monatsbilanz Hilfsstrom in [kWh/m²], 01.10.2013 bis 30.09.2014

Auffälligkeiten:

- Der absolute flächenspezifische Energieverbrauch dieses Zählpunkts fällt sehr gering aus. Es ist ein deutlicher saisonaler Verlauf des Energieverbrauchs über die Monate hinweg erkennbar.
- Eine starke Verbrauchsreduktion ist nicht nur für Juli und August erkennbar, sondern auch für den Juni. Dies liegt vermutlich insbesondere an der in diesen 3 Monaten außer Betrieb gestellten Heizungsanlage.
- In der Verbrauchsstruktur für Hilfsstrom verhalten sich Wochenenden und Feiertage gleich wie Werktage. Es ist in der Verbrauchscharakteristik damit im Einklang zum Wärmeverbrauch kein Unterschied zu erkennen, ob an einem Tag das Gebäude genutzt wird oder nicht.

Lüftung

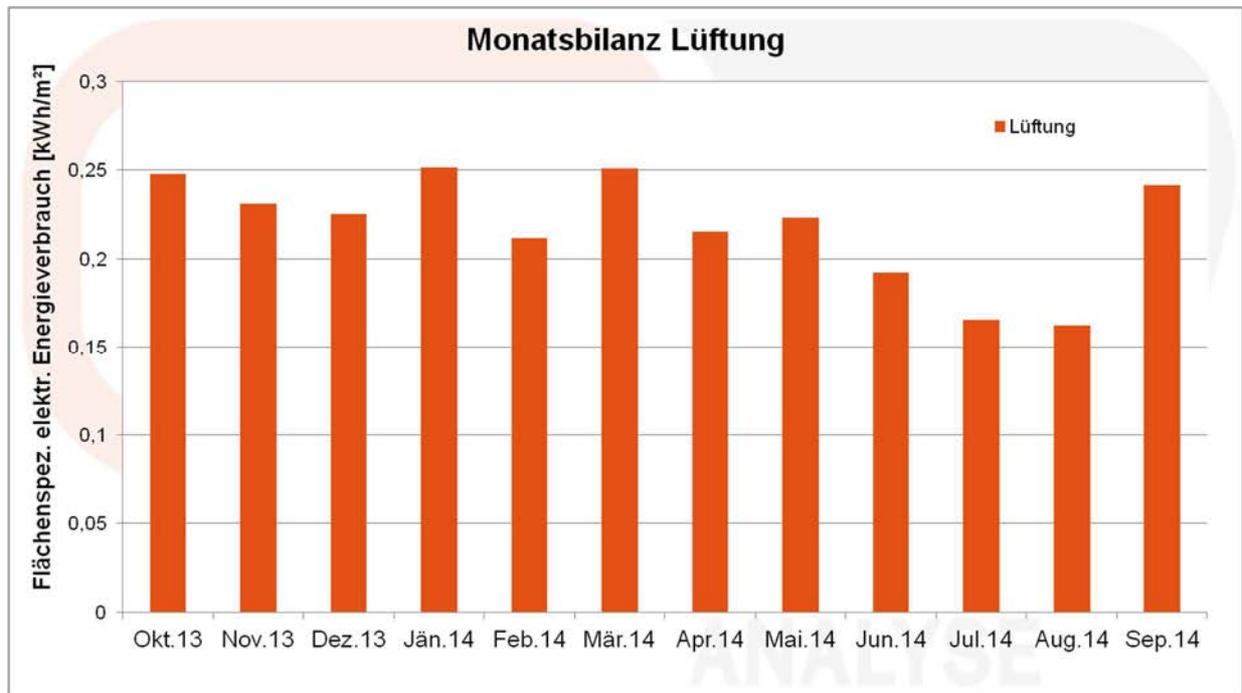


Abbildung 103: Monatsbilanz Lüftung in [kWh/m²], 01.10.2013 bis 30.09.2014

Abbildung 103 stellt den flächenspezifischen, monatlichen Stromverbrauch der Lüftungsanlage dar. Abbildung 104 zeigt den Carpet-Plot des Stromverbrauchs der Lüftungsanlage. Die x-Achse zeigt die Tageszeit von 00:00 bis 23:45 Uhr, die y-Achse entspricht dem Datum von 01.10.2013 (oben) bis 30.09.2014 (unten). Jeder Tag entspricht einer Zeile, jede Spalte einem Viertelstundenmesswert beginnend bei 00:00 Uhr ganz links bis 23:45 ganz rechts. Rote Zellen zeigen einen hohen Verbrauch, grüne Zellen einen niedrigen Wert.

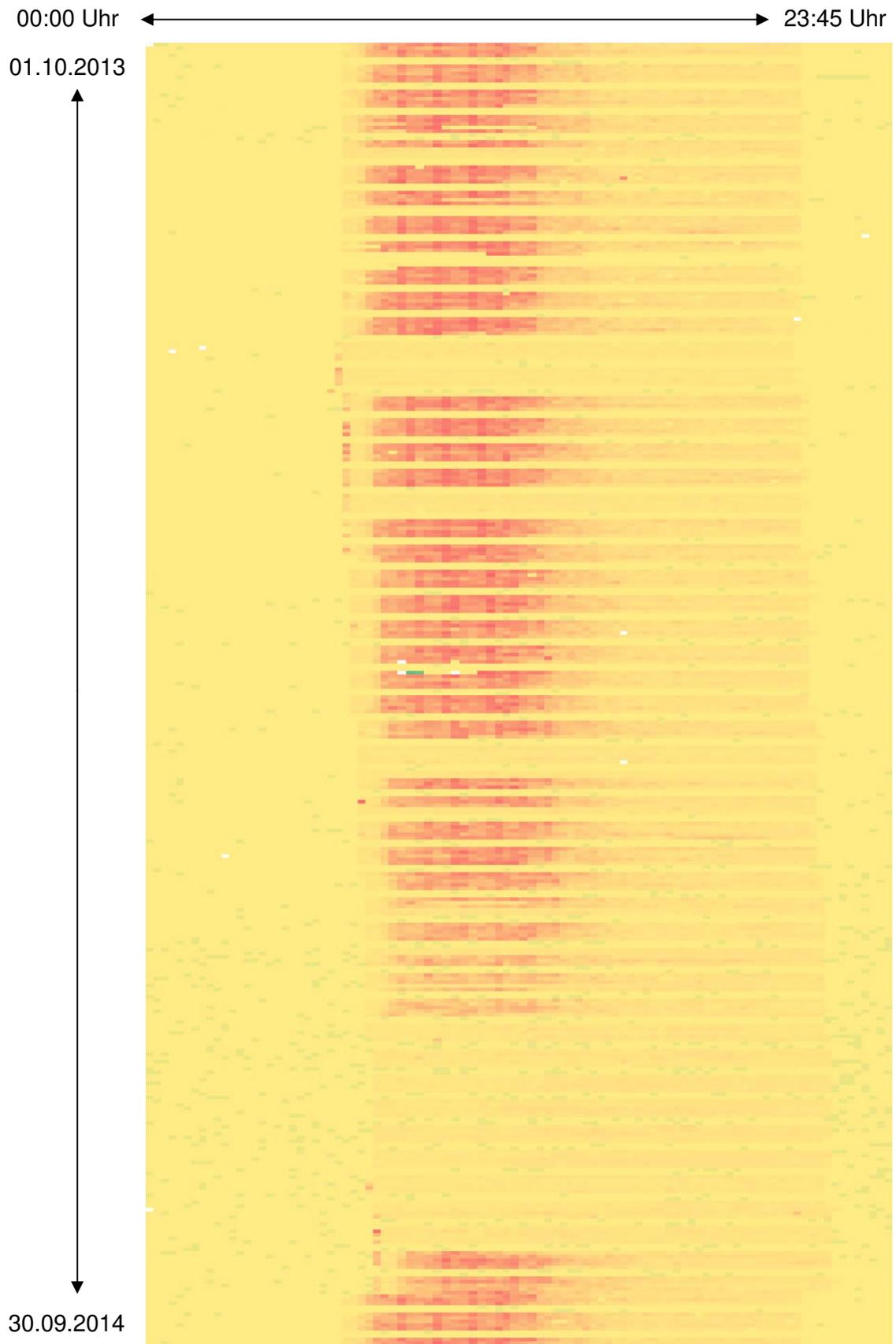


Abbildung 104: Carpet-Plot Lüftungsanlage, 01.10.2013 bis 30.09.2014

Abbildung 105 stellt das Tagesdurchschnittsprofil der Leistungsaufnahme der Lüftung im Betrachtungszeitraum dar. Die Werktage weisen dabei ein sehr konstantes Profil auf, Wochenenden unterscheiden sich deutlich durch die geringe Leistungsaufnahme.

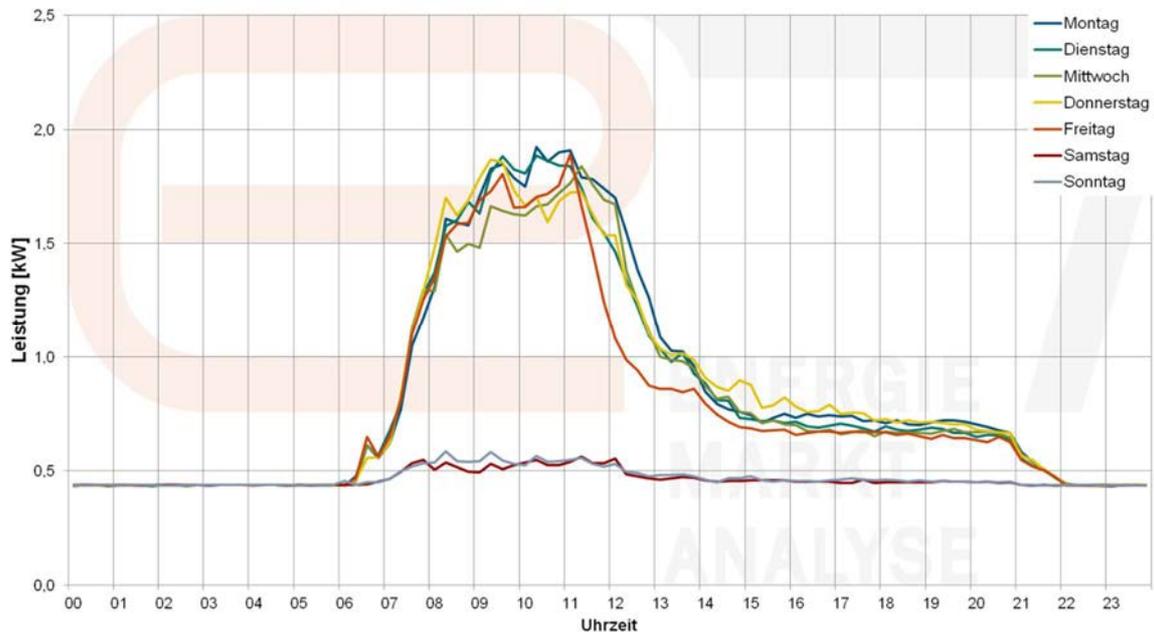


Abbildung 105: Mittelwertkurven der Leistungsaufnahme, 01.10.2013 bis 30.09.2014

Auffälligkeiten:

- Auffallend ist der relativ konstante Verlauf des Verbrauchs. Der geringe Rückgang des Verbrauchs in den Sommermonaten ist interessant, nachdem in diesem Zeitraum aufgrund des Nutzungstyps Schule ein stark reduziertes Nutzerverhalten zu vermuten ist.
- Analog zum Zählpunkt „Gesamtstrom“ tritt auch hier am 21.03.2014 um 18:15 Uhr mit einem Viertelstundenwert von 17,59 kWh ein unplausibel hoher Messwert auf.
- In den Nachtstunden weist die Anlage einen stündlichen, gemessenen Verbrauch von 0,44 kWh auf (Grundverbrauch).
- In der Verbrauchsstruktur sind Wochenenden gut erkennbar (vgl. Carpet-Plot Abbildung 104), da die Anlage an diesen nicht in Betrieb ist. Es ist aus den Messdaten auch erkennbar, dass die Anlage ein Feiertagsprogramm hinterlegt hat und in Ferienzeiten (z.B. Weihnachtsferien, Semesterferien) ein reduziertes Programm fährt. Der Verbrauch in der Semesterferienwoche betrug 88,1 kWh.
- Der Energieverbrauch kann noch weiter reduziert werden, indem die Anlage zumindest teilweise gänzlich außer Betrieb ist. Zwischen 19:00 und 06:00 Uhr verbraucht die Anlage rund 6.245 kWh, was etwa 31 % des gesamten Anlagenverbrauchs entspricht.

Beleuchtung

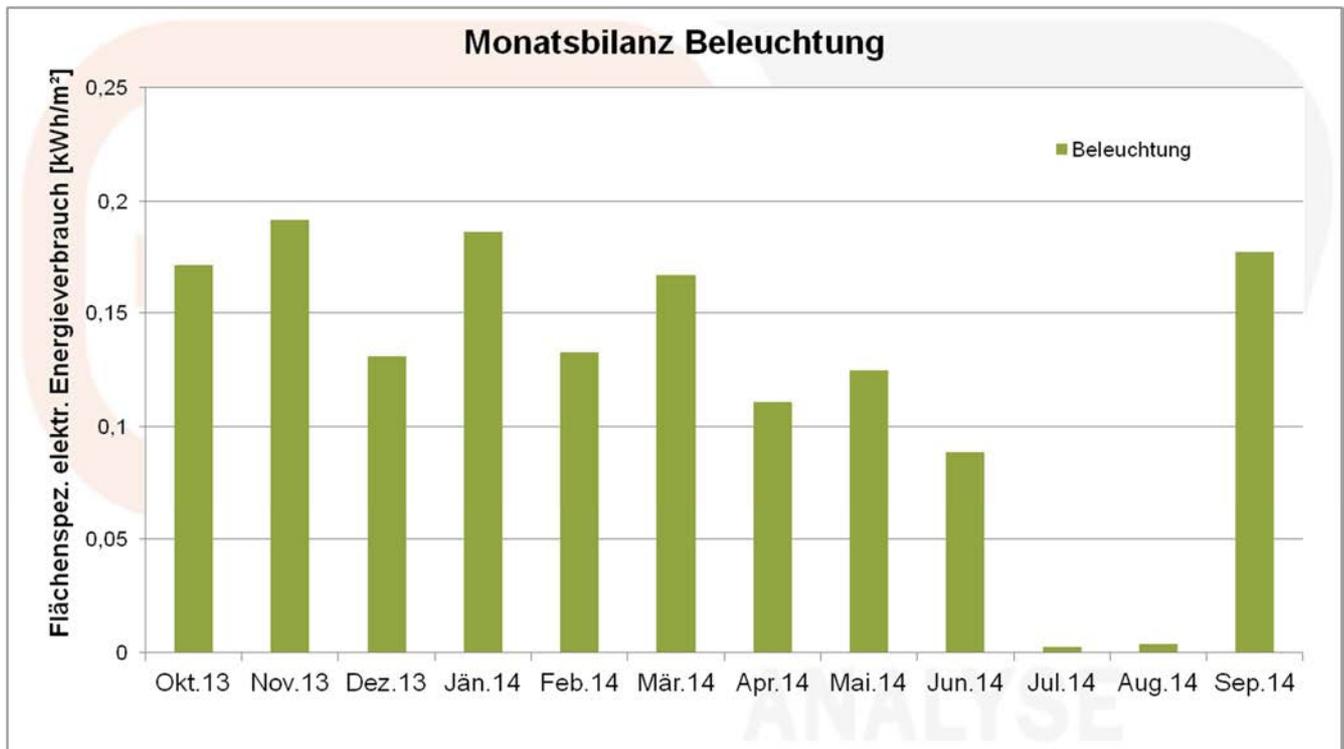


Abbildung 106: Monatsbilanz Beleuchtung in [kWh/m²], 01.10.2013 bis 30.09.2014

Auffälligkeiten:

- Es zeigt sich ein deutlicher Rückgang des Energieverbrauchs für Beleuchtungszwecke in den Sommermonaten, was grundsätzlich für einen achtsamen Umgang mit der Beleuchtungssteuerung spricht.
- Die Monate April, Mai und Juni zeigen einen etwas geringeren Beleuchtungseinsatz.
- Aus den Messwerten ist erkennbar, dass die Beleuchtung des Öfteren über Wochenenden in Betrieb ist. Im Zeitraum von 19:00 bis 06:00 Uhr fallen rund 100 kWh oder 3 % des Beleuchtungsenergieverbrauchs an.

Fazit:

Der Energieverbrauch der Lüftungsanlage deutet darauf hin, dass die Anlage rund um die Uhr zumindest einen geringen Volumenstrom liefert und somit nie gänzlich außer Betrieb ist. Daher ist auch in den Ferienmonaten Juli und August ist kein nennenswerter Rückgang erkennbar. Die Regelung ist folglich nicht optimal an den Bedarf angepasst. Die Lüftung verfügt über ein Feiertags- und Ferienprogramm, sodass an diesen Tagen der konstante Betrieb erfolgt, jedoch kein höherer Luftwechsel untertags (vgl. Abbildung 105).

Der Energieverbrauch des Zählpunkts „Gesamt“ zeigt in den Ferienmonaten Juli und August nur einen geringen Verbrauchsrückgang.

Einige vom EVM aufgezeichnete Verbrauchswerte sind unplausibel und verfälschen damit den Gesamtverbrauch. Abgesehen davon ist die Datenqualität des EVM-Systems sehr hoch.

9.7.4.5 Behaglichkeit und CO₂-Konzentration

Um die personenbezogenen Komfortparameter im Gebäude zu erfassen, wurde in zwei Referenzräumen Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur und CO₂-Konzentration und in den Zu- und Abluftsträngen der Lüftungsanlage Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur gemessen, wovon einer der beiden Datensätze zur Auswertung zur Verfügung stand.

Komfortdiagramme

Das Verhältnis von Raumtemperatur und relativer Luftfeuchte gibt Aufschluss über die Behaglichkeit im Innenraum. Abbildung 107 zeigt das Komfortdiagramm³⁰ des Referenzraums, zu welchem Messdaten zur Verfügung gestanden sind, mit sämtlichen Messwerten, während in Abbildung 108 die Betriebszeiten ohne Wochenenden und Nachtstunden von 22:00 bis 7:00 Uhr dargestellt sind (Feiertage nicht berücksichtigt).

³⁰ Erklärung Diagramm: In dieser Darstellung sollten möglichst alle Datenpunkte innerhalb der grünen Zone sein. Dieser Bereich kennzeichnet den Bereich mit Raumlufzuständen, die von den meisten Menschen als angenehm und komfortabel bezeichnet werden. Davon abweichend ist die Luft entweder zu trocken/zu feucht und/oder zu kalt/zu warm.

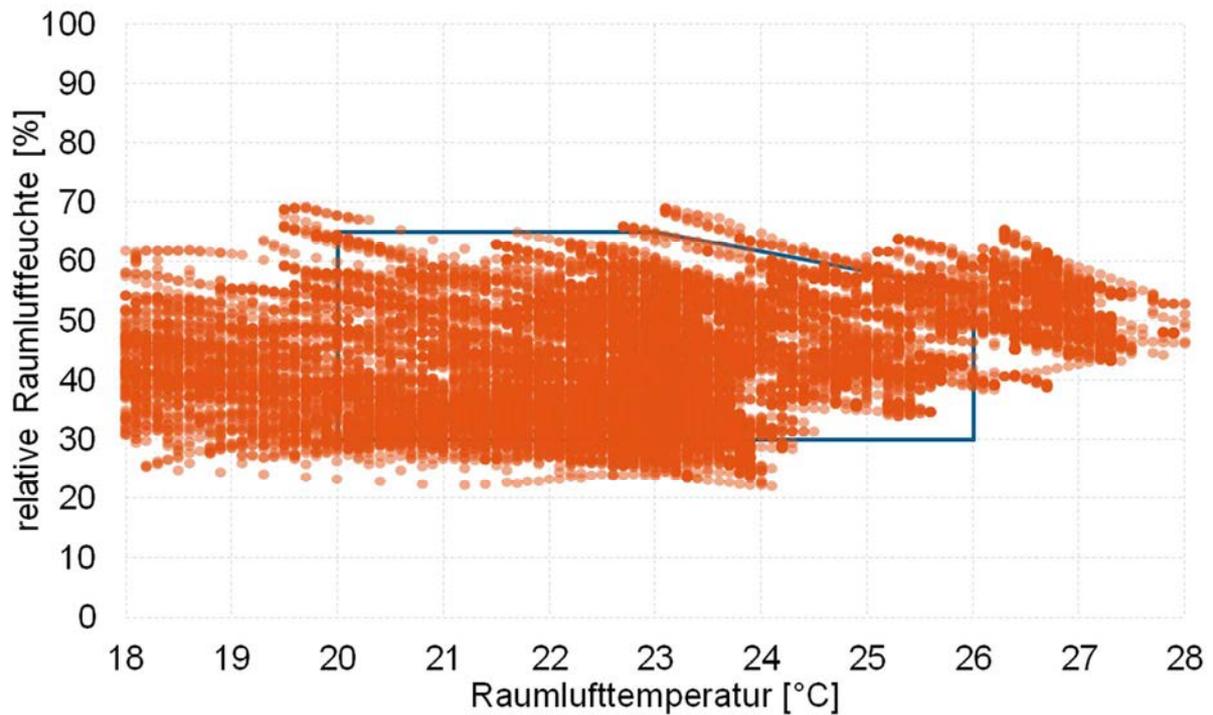


Abbildung 107: Komfortdiagramm Referenzraum, alle Messwerte, 01.10.2013 bis 30.09.2014

Man erkennt aus den Komfortdiagrammen, dass die Messwerte einen sehr breiten Temperaturbereich einnehmen. In Abbildung 107 ist erkennbar, dass der überwiegende Anteil der Datenpunkte im behaglichen Bereich liegt. Rund 16 % aller Messwerte zeigen eine geringere Temperatur als 20 °C, etwa 8,5 % eine höhere als 26 °C. Etwa 4,5 % aller Werte haben eine geringere relative Luftfeuchtigkeit als 30 %.

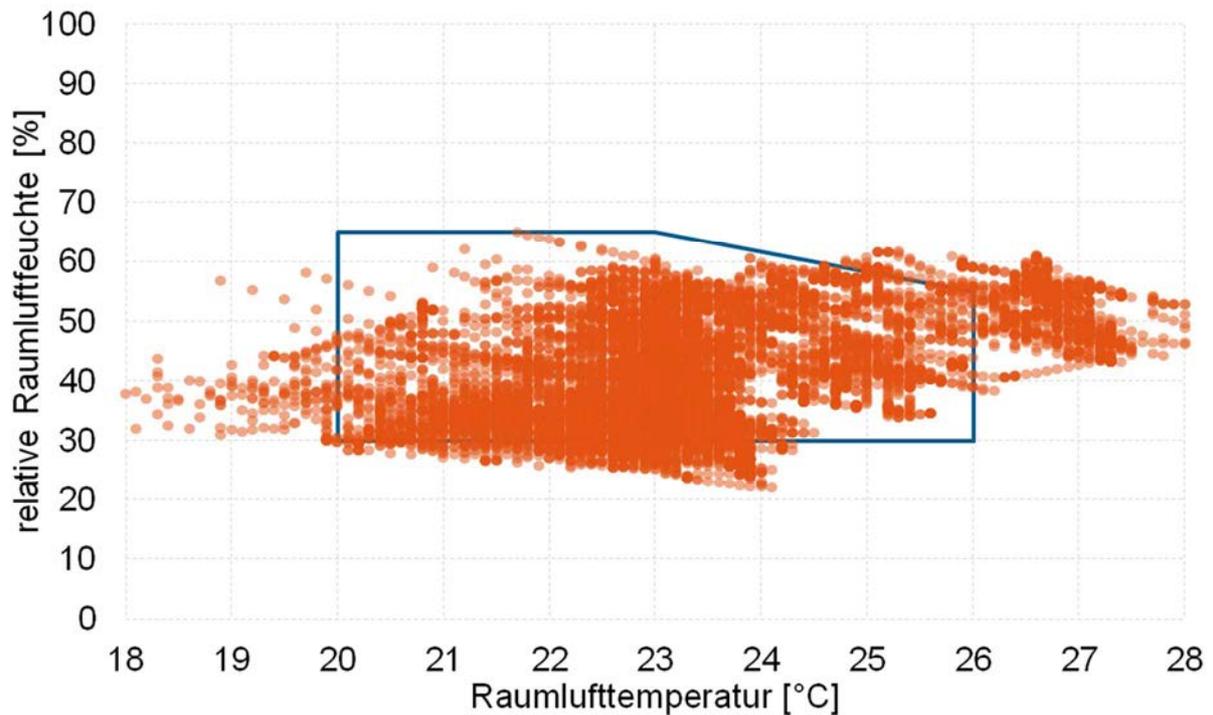


Abbildung 108: Komfortdiagramm Referenzraum, ohne Wochenenden und Nachtstunden (22:00-7:00), 01.10.2013 bis 30.09.2014

CO₂-Konzentration

Der maximal zulässige Grenzwert am Arbeitsplatz von 5.000 ppm wurde zu keinem Zeitpunkt annähernd erreicht. Die höchste gemessene CO₂-Konzentration betrug 1.522 ppm, die niedrigste 371 ppm. Nur 0,35 % der Messwerte lagen über der Pettenkofer-Zahl von 1.000 ppm.

Abbildung 109 stellt einen Carpet-Plot sämtlicher Messwerte im Betrachtungszeitraum dar. Rote Felder verdeutlichen hierbei besonders hohe Konzentrationen, grüne hingegen relativ niedrige. Der Wertebereich dazwischen ist in unterschiedlichen Gelbtönen dargestellt.

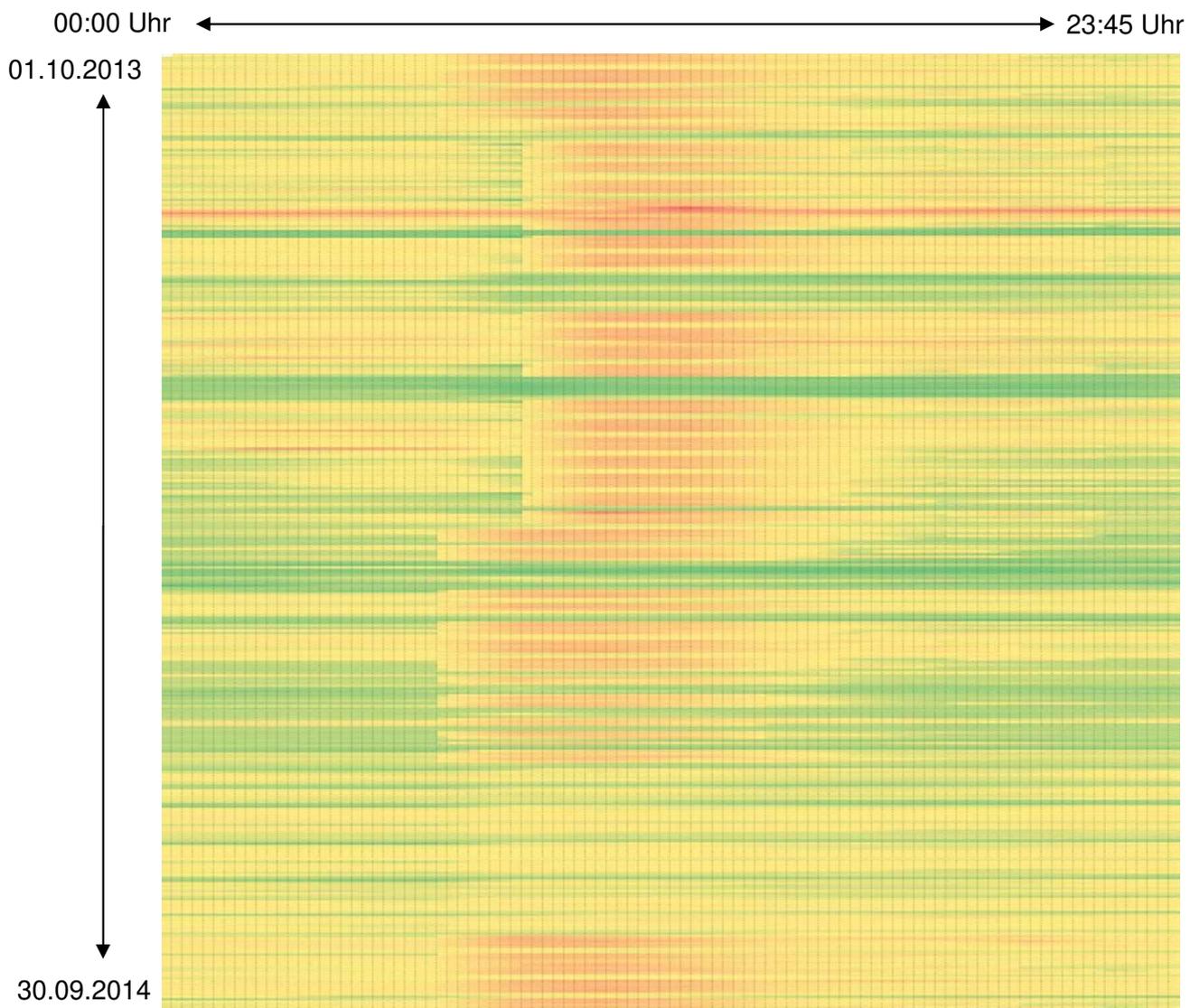
Abbildung 109: Carpet-Plot, CO₂-Konzentration, 01.10.2013 bis 30.09.2014

Abbildung 110 stellt die Mittelwerte der Messwerte in Abhängigkeit des jeweiligen Wochentages dar. Dabei zeigt sich für alle Tage ein ähnliches Grundniveau zwischen 00:00 und 06:00 Uhr sowie von 22:00 bis 24:00 Uhr, mit Ausnahme der Freitagskurve, bei welcher bereits ab 02:00 Uhr früh ein Anstieg über eine mittlere CO₂-Konzentration von 500 ppm zu erkennen ist. Die mittlere CO₂-Konzentration korreliert mit der Betriebszeit des Gebäudes und steigt ab ca. 06:00 Uhr an, erreicht das Maximum um ca. 10:00 Uhr und sinkt bis zum Abend wieder auf das Grundniveau. Donnerstags ist die Konzentration zwischen 14:00 und 18:00 Uhr gegenüber den anderen Wochentagen erhöht. Zwischen 18:00 und 21:00 Uhr zeigt sich ein Anstieg der mittleren CO₂-Konzentration für Montage, was auf eine regelmäßige Nutzung des Gebäudes zu dieser Zeit hindeutet.

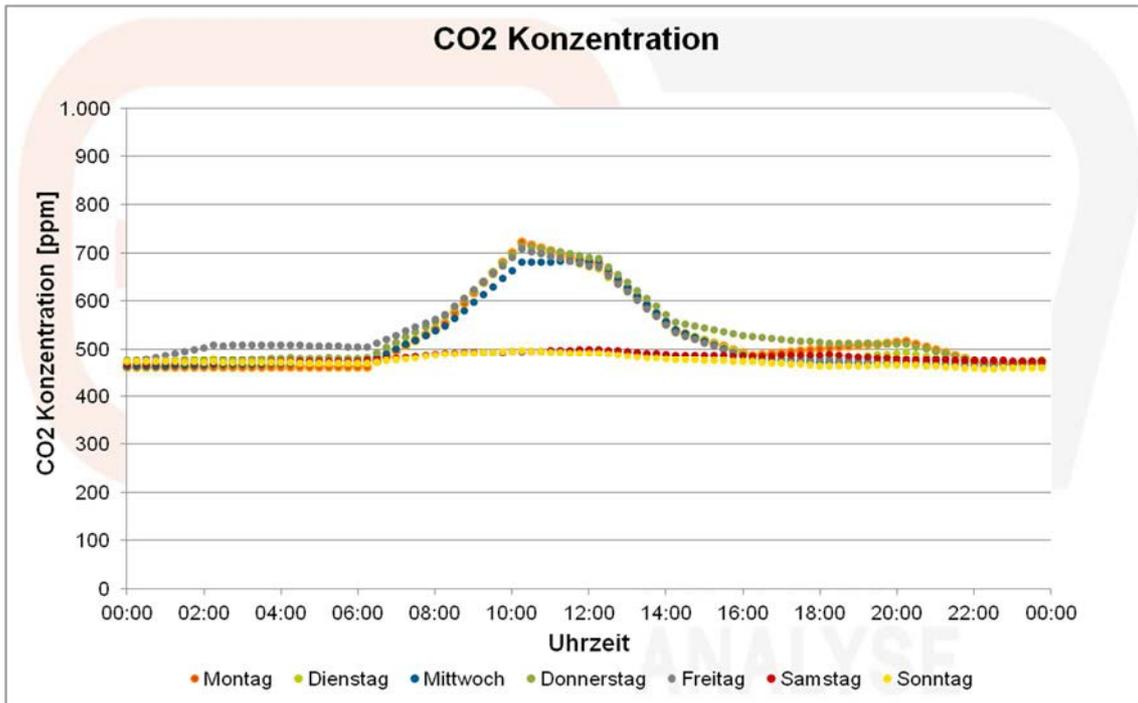


Abbildung 110: Mittelwert CO2-Konzentration nach Wochentag

Fazit:

Die Messwerte der Behaglichkeitsparameter lassen grundsätzlich darauf schließen, dass den Gebäudenutzern ein überwiegend hoher Komfort geboten wird.

9.8 Raiffeisenbank Wildon-Lebring, Stmk

Allgemeine Projektbeschreibung

Grund der Sanierung war neben einer Flächenerweiterung vor allem die Schaffung optimaler Innenraumverhältnisse und eines guten Nutzungskomforts für die MitarbeiterInnen bei gleichzeitiger Reduktion der Betriebskosten und dem Beitrag zum Klimaschutz. Ziel war die Schaffung eines Vorzeigeobjekts hinsichtlich Energieeffizienz mit lokaler Energieerzeugung und der Verwendung umweltfreundlicher Produkte aus der Region. Auf dieser Basis wurde die Filiale Lebring der Raiffeisenbank Wildon-Lebring 2012 einer umfassenden thermischen Sanierung und einer Erweiterung der Bruttogrundfläche unterzogen.

Neben der Dämmung der Außenbauteile und dem Einbau neuer Holz-Alu-Wärmeschutzfenster mit außenliegendem Sonnenschutz wurde eine Raumluftheizungsanlage mit 70 % Wärmerückgewinnungsgrad eingebaut. Als Ersatz für den Erdgaskessel wurde eine Sole-Wasser-Wärmepumpe installiert. Die Wärmepumpe wird sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen verwendet. Die neue Heizungsverteilung erfolgt über eine Niedertemperatur-Fußboden- und Deckenheizung. Über eine stille Kühlung (Kühldecke) werden im Sommer die Räume temperiert.

Das Beleuchtungssystem wurde optimiert, indem Präsenzmelder mit einer tageslichtabhängigen Steuerung und einem zentralen „Licht-Aus“ kombiniert wurden. Eine 155 m²- Photovoltaikanlage mit einer Peak-Leistung von 28 kW produziert Strom für den Eigenbedarf. Der restliche Strombedarf wird über Ökostrom aus dem Netz gedeckt.

Ausgangszustand:

<i>Eigentümer/ Betreiber</i>	<i>Raiffeisenbank Wildon-Lebring eGen</i>
<i>Ansprechpartner / Kontaktpersonen</i>	<i>Dir. Karl M. Kaiser</i>
<i>Standort</i>	<i>A-8403 Lebring, Grazerstraße 6</i>
<i>Gebäudetyp</i>	<i>Bankstelle</i>
<i>Errichtungsjahr Bestandsgebäude</i>	<i>1972</i>
<i>Größe (BGF)</i>	<i>400 m² vor Sanierung</i>
	<i>467 m² nach Sanierung</i>

9.8.1 Sanierungsmaßnahmen

9.8.1.1 Gebäudehülle

Die Fassade des Gebäudes wurde mit 20 cm Steinwolle-Wärmedämmplatten gedämmt und erreicht einen U-Wert von 0,16 W/m²K. Die Holz-Alu-Wärmeschutzfenster weisen einen U-Wert von durchschnittlich 0,89 W/m²K auf. Der Fußbodenaufbau wurde mit 40 cm Schaumglasschotter und 8 cm EPS gedämmt und weist nun einen U-Wert von 0,20 W/m²K auf. Der U-Wert des Flachdachs beträgt nach dem Einbau von 35 cm EPS-Wärmedämmplatten 0,11 W/m²K.

9.8.1.2 Gebäudetechnik

Heizen, Kühlen, Lüften, Warmwasser

Das Bankgebäude verfügt über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe, um die benötigte Heizenergie bereitzustellen. 6 Tiefenbohrungen unter den Parkplätzen dienen als Wärmequelle. Wärme wird mittels Fußboden- und Deckenheizung und Torluftschleier in den Innenraum eingebracht. Die Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 70 % sorgt für eine energieeffiziente Be- und Entlüftung der Bank. Im Sommer wird über die Free Cooling Funktion und Erdsonden gekühlt und die Kälte über die Kühldecke in die Räume eingebracht. Zum Abführen der hohen Kühllasten des Serverraums ist dort eine zusätzliche Splitklimaanlage installiert. Die Warmwasserbereitstellung erfolgt über Untertischspeicher.

Beleuchtung, Verschattungseinrichtungen

Die künstliche Beleuchtung der sanierten Filiale wird mittels elektrisch hocheffizienter Leuchtmittel bewerkstelligt. Die Lichtsteuerung erfolgt mit einem außenlichtabhängigen Sensor und kann individuell übersteuert werden. In den Sozial- und Sanitärbereichen dienen Präsenzmelder und eine „Licht-Aus“-Funktion der Lichtsteuerung.

Photovoltaik, Solarthermie, sonstige Anlagen

Die Nutzung von Sonnenenergie erfolgt mittels einer Photovoltaikanlage mit einer Peakleistung von 28 kW. Eine Solarthermieanlage wurde aufgrund des geringen Warmwasserbedarfs nicht realisiert.

9.8.1.3 Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)

Tabelle 35 zeigt die im Energieausweis berechneten Werte des Heizwärmebedarfs* des Gebäudes im Referenzklima vor und nach der Sanierung. Abbildung 111 stellt die im Rahmen der Mustersanierung erreichte Reduktion dar. Die Energieausweisberechnung weist eine Reduktion des HWB* um 48,14 kWh/m³a (=81%) im Zuge der Sanierung aus.

Tabelle 35: Vergleich Energiekennzahlen vor und nach Sanierung

Heizwärmebedarf* lt. Energieausweis	
Vor Sanierung	Nach Sanierung
<i>kWh/m³a</i>	<i>kWh/m³a</i>
59,26	11,12

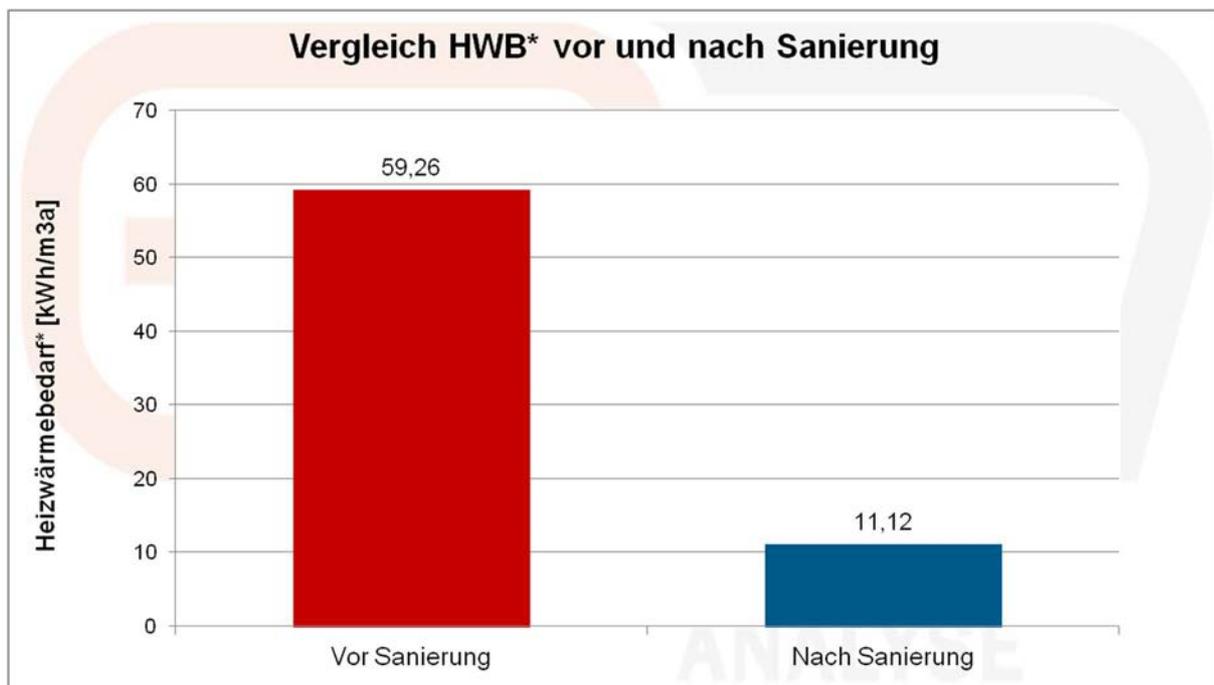


Abbildung 111: Gegenüberstellung HWB* vor und nach Sanierung

9.8.2 EVM-Schema

Um das Energieverbrauchsverhalten und die Komfortparameter des Gebäudes nach der Sanierung bewerten zu können wurde ein Monitoringsystem installiert. Dieses misst an relevanten Punkten in der Haustechnikanlage und im Gebäude Parameter wie zum Beispiel:

- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit

- Wärmemengen
- Stromverbrauch
- CO₂-Gehalt der Luft

Das Monitoringsystem erfasst die Messwerte und Zählerstände viertelstündlich und speichert diese ab. Zur Auswertung für diesen Bericht wurden Daten aus dem Monitoringsystem im Zeitraum von 18.1.2014 bis 31.12.2014 herangezogen. Die Datenpunkte des EVM sind Abbildung 112 dargestellt.

EVM-SCHEMA

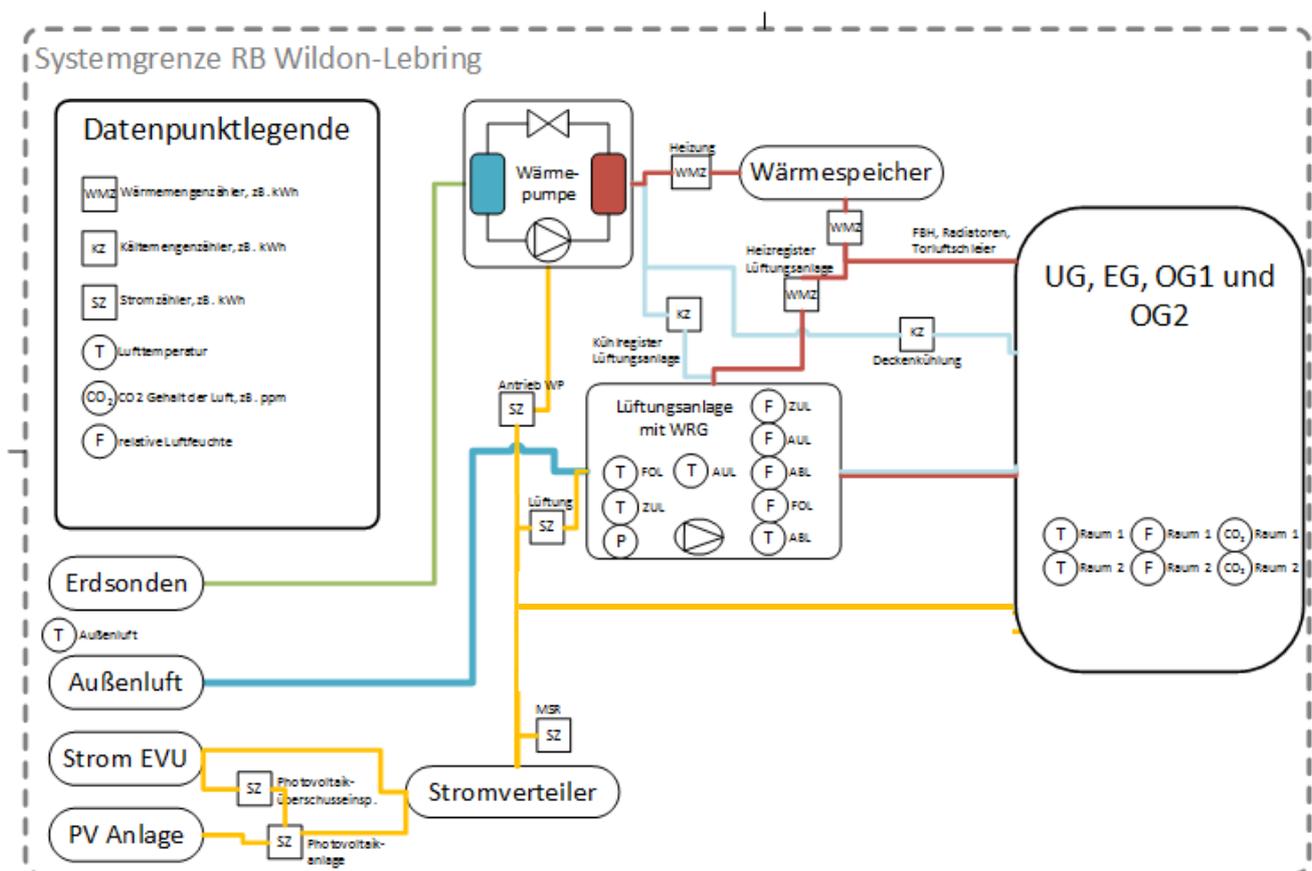


Abbildung 112: EVM-Schema mit Datenpunkten

9.8.3 Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung

Die folgenden CO₂-äquivalenten Emissionsergebnisse und Energieverbrauchsergebnisse, welche in Tabelle 36 und Tabelle 37 angegeben sind, basieren auf den Angaben der Einreichunterlagen vor der Sanierung und den gemessenen Werten durch das EVM nach der Sanierung sowie den CO₂ Faktoren aus der KPC-Förderberechnung. Nach der Sanierung ist der Wert für CO₂-äquivalente Emissionen bedingt durch das Heizen mit der mit Ökostrom versorgten Wärmepumpe null.

Tabelle 36: Berechnete, CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen

CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen³¹		
Vor Sanierung	Nach Sanierung	Nach Sanierung
Fördererinreichung	Energieausweis	EVM
<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>
30,88	0,00	0,00

Tabelle 37 zeigt den Vergleich des Heizwärmebedarfs im Referenzklima laut Energieausweis vor und nach der Sanierung mit dem tatsächlich gemessenen Heizwärmeverbrauch.³² Vergleicht man die beiden flächenspezifischen Werte des HWB, so wird für die Mustersanierung eine relative Reduktion von 83,5 % errechnet. Der im EVM ermittelte Wert nach der Sanierung (Spalte 3) repräsentiert die Nutzenergie für Wärme, welche von 2488 Kd Heizgradtage im Jahr 2014 auf 3400 Kd Heizgradtage laut Referenzklima im Energieausweis bereinigt wurde. Vergleicht man den klimabereinigten Wert des Heizwärmeverbrauchs qualitativ mit dem HWB-Wert vor der Sanierung, so beträgt die relative Reduktion 71,0 %. Diese Vergleiche veranschaulichen die Wirksamkeit der Mustersanierung deutlich. Ein Vergleich von realen Verbrauchswerten vor und nach der Sanierung ist in diesem Fall nicht möglich, da keine Verbrauchswerte vor der Sanierung vorhanden sind.

Tabelle 37: Vergleich Nutzenergie Heizen vor und nach Sanierung mit klimabereinigten Heizwärmeverbrauch

Vergleich Heizwärmebedarf zu Heizwärmeverbrauch		
Vor Sanierung	Nach Sanierung	Nach Sanierung
HWB Energieausweis	HWB Energieausweis	EVM
<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>
155,61	25,61	45,11 ³³

³¹ Die Daten der berechneten CO₂-äquivalenten Emissionen vor und nach Sanierung stammen aus den Unterlagen der Fördereinreichung, da zu diesem Zeitpunkt CO₂ nicht im EAW berechnet wurde (Versionen der OIB Richtlinie 6 vor 2011). Wenn biogene Energieträger eingespart werden, wird fiktiv ein fossiler Brennstoff (Heizöl) zur Bestimmung der CO₂-Einsparung gegengerechnet, da hier die eingesparten erneuerbaren Energieträger für andere Objekte mit fossilen Energieträgern genutzt werden können.

³² Die Vergleichbarkeit des im Energieausweis berechneten Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs (HWB und KB) einer thermischen Gebäudezone mit gemessenen Wärmemengen ist aus mehreren Gründen nicht direkt gegeben. Einerseits sind die berechneten Werte für das Gebäude vor und nach der Sanierung gute Anhaltspunkte um die Verbesserung der thermischen Qualitäten des Objektes zu bewerten. Andererseits sind die gemessenen Werte stark vom tatsächlichen Wetter und Benutzerverhalten im jeweiligen Messzeitraum abhängig. Daher ergibt sich aufgrund der Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen Messzeitraum und der theoretischen Berechnungsgrundlagen eine große Unsicherheit bezüglich der Vergleichbarkeit von Kennwerten zwischen Messung und Berechnung. Darüber hinaus sind HWB und KB theoretische Bedarfsgrößen einer thermischen Zone ohne messbaren Charakter. Gemessene Wärmemengen hingegen sind lokale zuordenbare Größen im Energieverteilsystem.

³³ Gemessene Wärmeabgabe (Fußbodenheizung und Lüftung), klimabereinigt

Anteil erneuerbarer Energieträger am Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes

100% des Gesamtenergieverbrauchs wurden durch erneuerbare Energieträger (Ökostrom) gedeckt.

Fazit

Der Strombedarf wird zu 32 Prozent aus der eigenen Photovoltaikanlage und zu 68 Prozent aus Ökostrom gedeckt. Dadurch entstehen beim Projekt RB Lebring keine CO₂-Emissionen.

9.8.4 Detailergebnisse Energieverbrauchsmonitoring

9.8.4.1 Zusammenfassung

Das Monitoringsystem der Raiffeisenbank Wildon-Lebring erfasst Stromverbräuche einzelner Gewerke, Wärmemengen der Wärmepumpe und Wärmeabgabesysteme, die Raumluftparameter Temperatur, Feuchte und CO₂ sowie Temperaturen und Feuchte der Luftströme der Lüftungsanlage. Die ausgewerteten Daten umfassen den Zeitraum von 18.01.2014 bis 31.12.2014 in 15-Minuten-Intervallen. Ein genereller Messausfall der Strom- und Wärmemessungen trat von 26.03. bis 12.04.2014 auf. Ungeklärt bleibt, warum der Stromzähler der MSR keine Daten erfasst hat.

Die Daten des Energieverbrauchsmonitorings (EVM) zeigen, dass vor allem bei der Lüftungsanlage Handlungsbedarf besteht.

Die Betriebszeiten der Lüftung sind nicht an den tatsächlichen Bedarf angepasst. Im ersten Halbjahr stimmten die Betriebszeiten der Lüftung mit den Banköffnungszeiten überein, im zweiten Halbjahr wurde die Regelung geändert und ist nicht mehr bedarfsgerecht. Die Lüftungsanlage weist einen sporadischen Taktbetrieb auf, wodurch der Energieverbrauch der Lüftung sehr niedrig ist. Das Heizregister der Lüftungsanlage war kaum, das Kühlregister gar nicht in Betrieb.

35 % der gemessenen Kältemenge der Deckenkühlung können durch eine Optimierung der Regelung eingespart werden. Da die Kühlenergie allerdings zum Großteil über ein Free Cooling System aus den Tiefenbohrungen bereitgestellt wird, sind die Einsparungen an zugekaufter Energie gering.

Die Heizung über die Sole-Wasser-Wärmepumpe funktioniert grundsätzlich sehr gut. Eine weitere Optimierung durch bessere Nacht- und Wochenendabsenkung würde zusätzliche 8 Prozent der abgegebenen Wärmemenge über die Fußbodenheizung einsparen. Die Heizung war im Jahr 2014 bis Ende Mai in Betrieb. Die Heizperiode sollte begrenzt werden.

Stromverbraucher sind kaum separat erfasst. Eine detaillierte Darstellung des Stromverbrauchs nach Verbraucher ist daher nur unter Vorbehalt möglich.

Dem Gebäudeeigentümer wird empfohlen die Regelung der Lüftungsanlage und der Kühlung sowie die Heizperiode anzupassen.

9.8.4.2 Energieflussbild

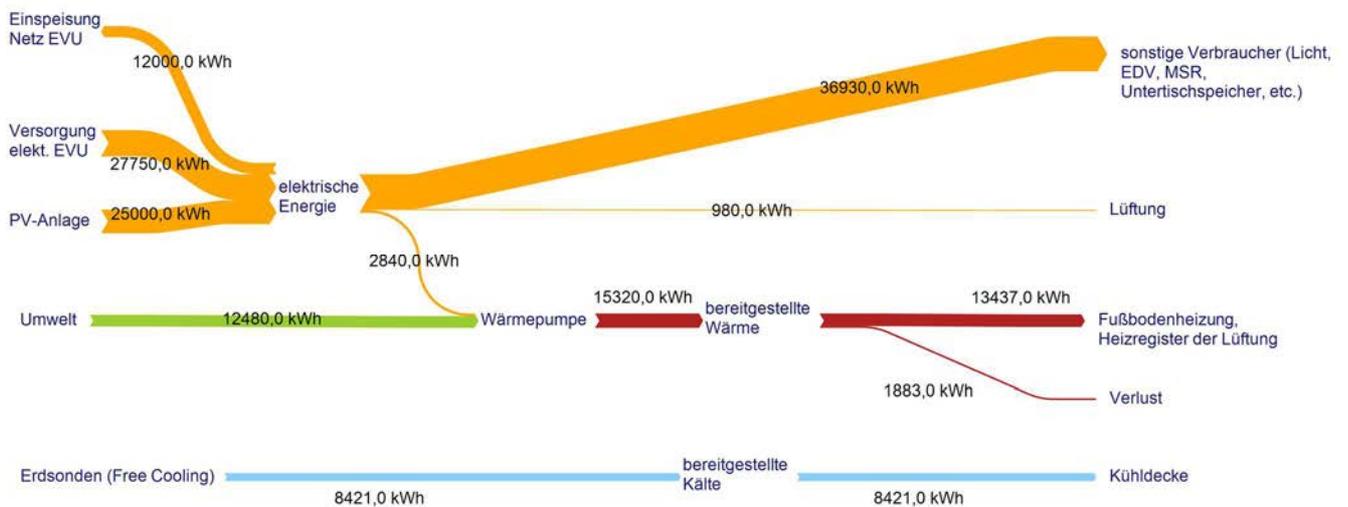


Abbildung 113: Energiefluss Jahresbilanz 2014

9.8.4.3 Heizwärmeverbrauch

- Gemessene Heizwärmeerzeugung (18.1.2014 – 31.12.2014): 15.320 kWh

Der Heizenergieverbrauch ergibt sich aus der gemessenen Wärmeabgabe nach der Wärmepumpe. Der Monat Jänner weist einen verhältnismäßig niedrigen Verbrauch auf, da die Messung erst mit 18.1.2014 gestartet wurde. Eine Heizgradtagsbereinigung der erzeugten Heizwärme wurde auf Basis des 30-jährigen Mittels der Klimadaten für Graz durchgeführt.

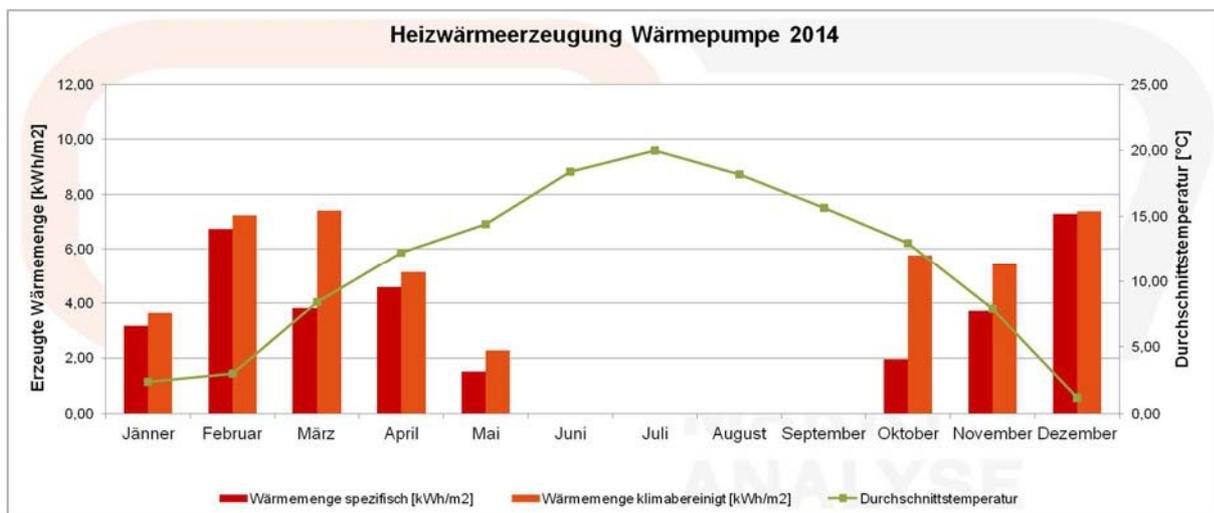


Abbildung 114: Erzeugte Wärmemenge der Wärmepumpe in kWh/m², 2014, gemessen und klimabereinigt

Auffälligkeiten:

- Von 25. März bis 13.04.2014 kam es zu einem Ausfall der Messung. Der kumulierte Verbrauch dieser Periode wurde am 13.04.2014 erfasst. Dadurch ist der gemessene Verbrauch im März geringer als der tatsächliche Verbrauch. Allerdings ist die Wärmeerzeugung bezogen auf das langjährige Temperaturmittel trotzdem sehr hoch. Der Heizbetrieb startete am 8. Oktober 2014, was für diesen Monat einen niedrigeren tatsächlichen Verbrauch erklärt.
- Die erzeugte Wärmemenge im Oktober ist klimabereinigt (bezogen auf die langjährigen Monatsmitteltemperaturen) sehr hoch. Dies lässt darauf schließen, dass speziell in den Übergangszeiten mehr Heizenergie an das System geliefert wird, als erforderlich wäre.

Abbildung 115 stellt die Betriebszeiten der Wärmepumpe über das Jahr 2014 dar, wobei rote Felder den Betrieb und grüne Felder die Ausschaltzeiten der Wärmepumpe darstellen. Auf der x-Achse ist der zeitliche Verlauf von 0 bis 24 Uhr und auf der y-Achse das Datum von 18.01.2014 bis 31.12.2014 dargestellt. Deutlich zu erkennen ist der Betrieb im Winter von Jänner bis Ende Mai und dort jeweils verstärkt ab 06:30 Uhr sowie der Betrieb von Anfang Oktober bis Ende Dezember.

Auffälligkeiten:

- Zwischen 26.03.2014 und 13.04.2014 kam es zu einem Ausfall der Messung. Der kumulierte Heizwärmeverbrauch dieser Periode wurde am 13.04.2014 aufgezeichnet.
- Auffällig ist der regelmäßige Betrieb der Wärmepumpe auch in den Nachtstunden.
- Die Heizperiode geht bis Ende Mai.

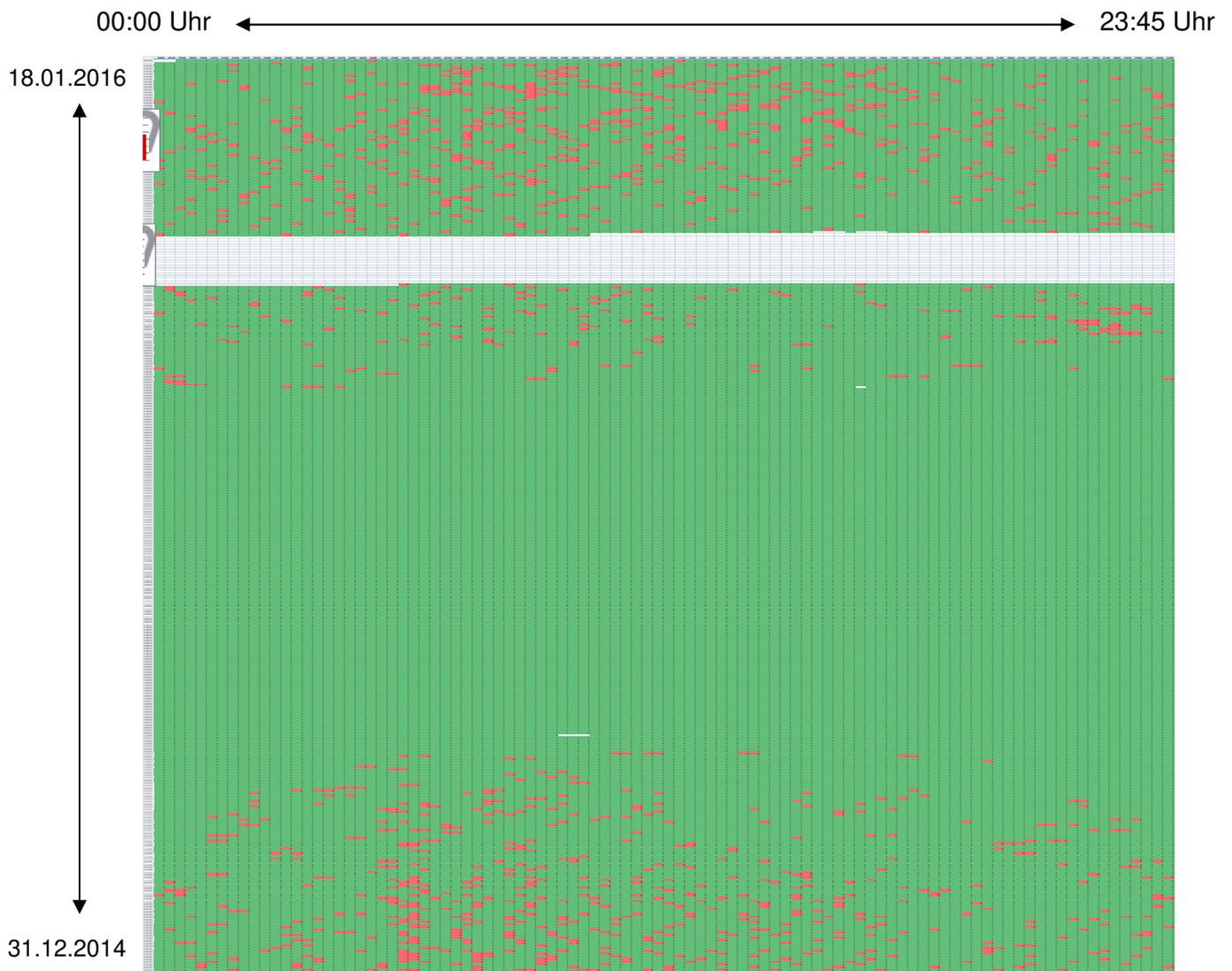


Abbildung 115: Betriebszeiten der Wärmepumpe 2014

Wärmeabgabe

Gemessene Wärmeabgabe:

- Wärmemenge abgegeben über Fußbodenheizung und Heizregister der Lüftung (18.01.2014 – 31.12.2014) 13.437 kWh
- Verluste zwischen Wärmeerzeugung und –abgabe 1.883 kWh (12 Prozent)

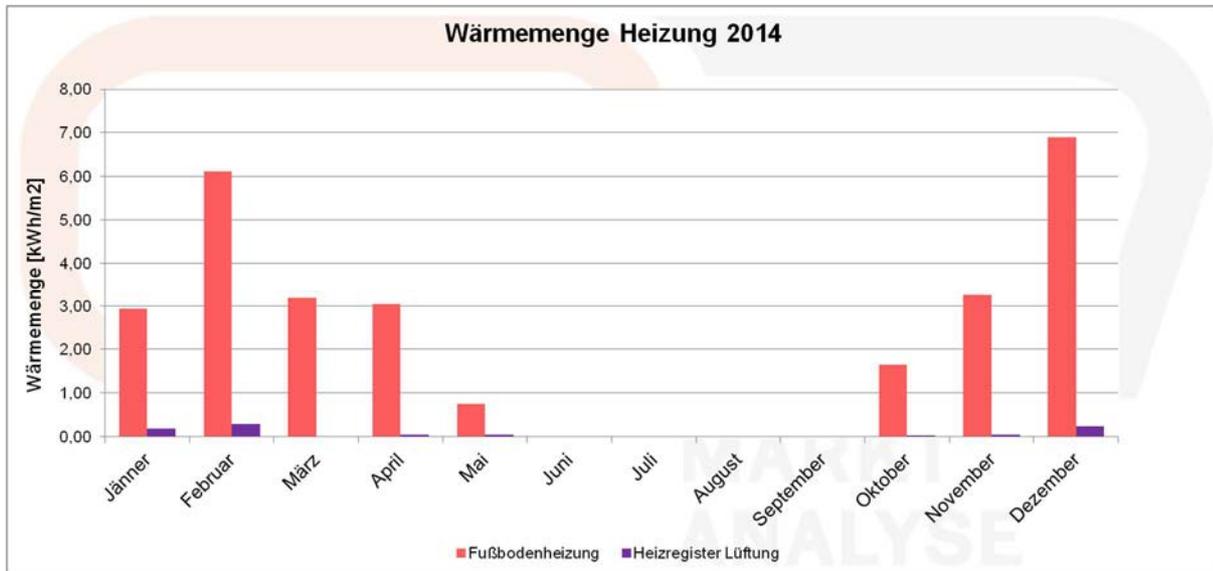


Abbildung 116: Wärmeabgabe über Fußbodenheizung und Heizregister Lüftung, 2014

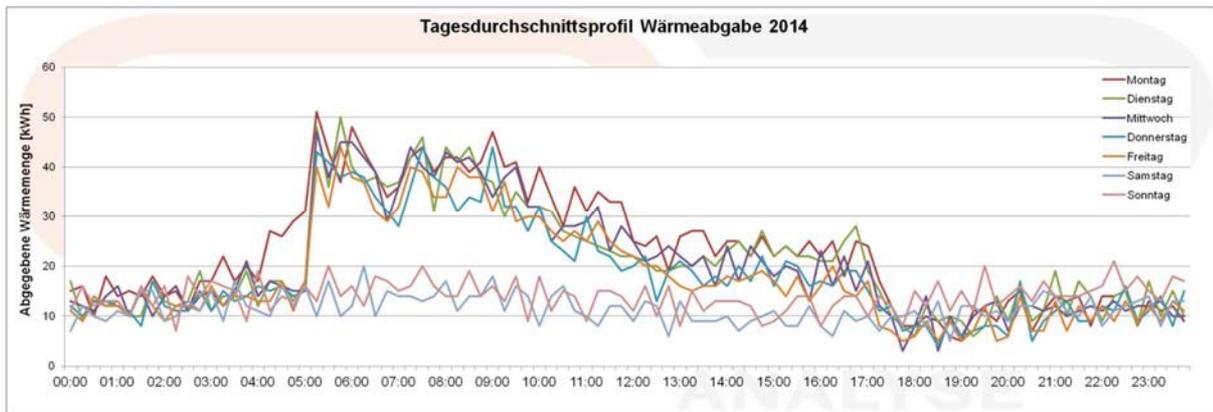


Abbildung 117: Tagesdurchschnittsprofil Wärmeabgabe Fußbodenheizung, 2014

Auffälligkeiten:

- Der Großteil der Wärmebereitstellung erfolgt über die Fußbodenheizung (96,7 Prozent).
- Das Heizregister der Lüftung wird nur zu einem geringen Anteil für die Beheizung des Gebäudes genutzt (3,3 Prozent). Dies lässt sich auch im Kapitel 3.5.9 Lüftungsanlage ablesen, da die Lüftung nur in sporadischem Taktbetrieb lief.
- Die Differenz zwischen Heizwärmeerzeugung und gemessener Wärmeabgabe beträgt 12 Prozent. Dies enthält sowohl Wärme, die über Radiatoren und den Torluftschleier abgegeben wird, als auch Verluste des Verteilsystems.

- Die Wärmeabgabe ist an die Betriebszeiten des Gebäudes angepasst. Eine Nacht- und Wochenendabsenkung ist zu erkennen. Allerdings deutet das Profil der Wärmeabgabe an die Fußbodenheizung auf weiteres Optimierungspotenzial hin. Das errechnete Einsparpotenzial durch eine Optimierung der Regelung beträgt etwa 8 Prozent oder 1.100 kWh/a.

Fazit

Die Wärmepumpe sowie die Wärmeabgabe sind nicht optimal geregelt. Das Einsparpotenzial beim Heizwärmeverbrauch beträgt ca. 1.100 kWh/a.

Der Heizbetrieb geht bis Mai. Es wird empfohlen, die Heizperiode zu verkürzen und die Heizung ab Ende April außer Betrieb zu nehmen.

Rückmeldung Gebäudebetreiber

Nach mehreren Besprechungen vor Ort mit den Fachfirmen wurden die Probleme nacheinander abgearbeitet. Da war z.B. ein Steuerungsventil von der Installationsfirma, dass verkehrt eingebaut war. Erst im Zuge der Besprechungen vor Ort sind wir auf solche Fehler gestoßen. Des Weiteren wurde ein zusätzlicher Puffer für die Kühlung installiert und die Steuer- / Regeltechnik überarbeitet, um effizienter zu werden. Die Anlage funktioniert seit dem sehr gut.

9.8.4.4 Kühlenergieverbrauch

Der Kühlenergieverbrauch wurde aus der Kälteabgabe an die Deckenkühlung und das Kühlregister der Lüftung ermittelt.

Gemessene Kältemenge:

- Kältemenge abgegeben über Deckenkühlung (18.01.2014 – 31.12.2014) 8.421 kWh
- Kältemenge abgegeben über Kältereister der Lüftung 0 kWh

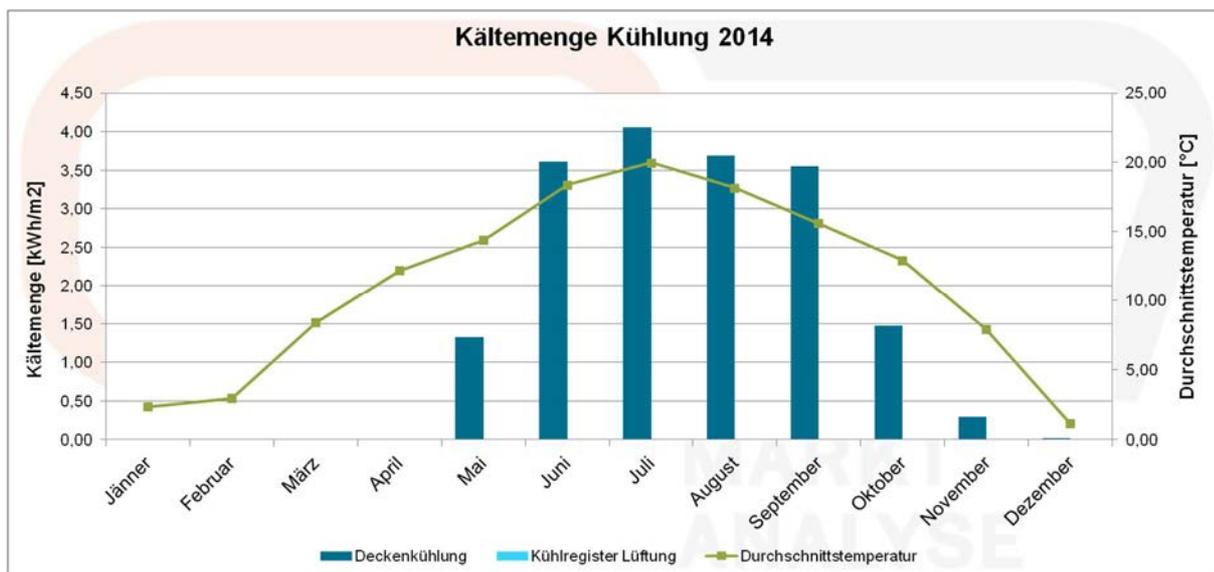


Abbildung 118: Kältemenge Deckenkühlung, 2014

Auffälligkeiten:

- Überraschend ist, dass 2014 auch im November und in vernachlässigbarem Ausmaß (8 kWh) im Dezember gekühlt wurde. In dieser Jahreszeit sollte die Kühlung nicht in Betrieb sein.
- Warum das Kühlregister der Lüftungsanlage nicht in Betrieb war, ist nicht nachvollziehbar.
- Der restliche Kurvenverlauf ist ohne Besonderheiten.

Abbildung 119 zeigt den zeitlichen Verlauf des Kühlenergieverbrauchs.

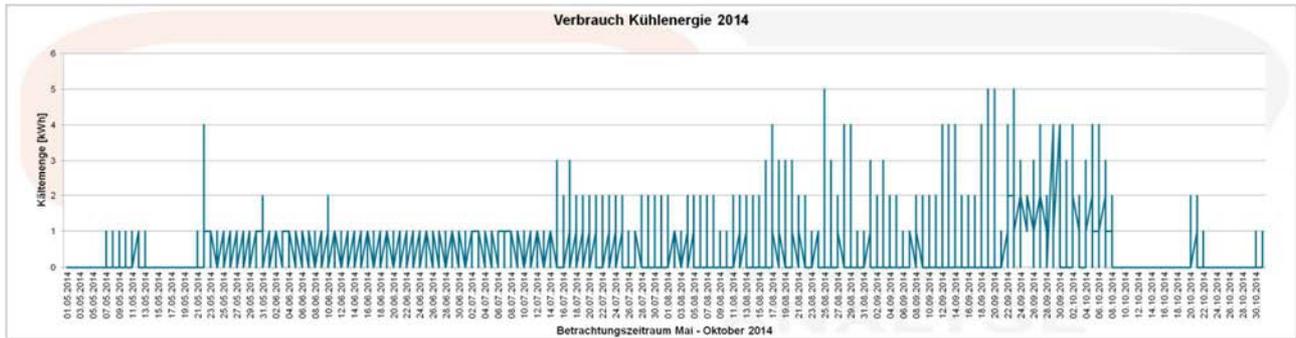


Abbildung 119: Kältemenge Deckenkühlung, Mai bis Oktober 2014

Auffälligkeiten:

- Der höhere tägliche Verbrauch ab Juli ist realistisch. Allerdings steigt ab 12.09.2014 bis 06.10.2014 der tägliche Verbrauch regelmäßig auf 4 kWh und darüber. Zu dieser Jahreszeit sollte der Kälteverbrauch nicht höher sein als im Juli. Eine fehlerhafte Regelung der Anlage in diesem Zeitraum ist wahrscheinlich.
- Die Kühlung wird auch an Wochenenden betrieben.
- Das Einsparpotenzial durch eine Abschaltung der Kühlung ab Anfang Oktober und eine Optimierung der Regelung (Außentemperaturanpassung und Wochenendabschaltung) beträgt knapp 3.000 kWh oder 35 Prozent. Da die Kälte allerdings über Free Cooling von den Tiefenbohrungen bezogen wird, ist das Einsparpotenzial auf den Stromverbrauch für den Pumpenbetrieb beschränkt und die Einsparung an zugekaufter elektrischer Energie damit gering.

Fazit

Durch bessere Regelung der Kühlung (Ausschalten an Wochenenden, Begrenzung der Betriebszeiten im Herbst, Überprüfung der Regelungsparameter in Bezug auf die Außentemperatur) kann Energie eingespart werden ohne das Komfortempfinden in der Filiale zu verschlechtern. Das Einsparpotenzial beträgt ca. 3.000 kWh oder 35 Prozent thermischer Energie. Das Einsparpotenzial an elektrischer Energie ist gering, da die Kälte über Free Cooling bereitgestellt wird.

9.8.4.5 Stromverbrauch

Gesamtstromverbrauch

Insgesamt wurde für den Zeitraum von 02.11.2013 bis 01.11.2014 laut EVU Rechnung 27.750kWh elektrische Energie geliefert und gleichzeitig etwa 12.000 kWh durch die PV-Anlage als Überschuss ins Netz eingespeist. Da jedoch im Monitoring erst ab 11. Februar 2014 für knapp 10 Monate Messdaten aufgezeichnet wurden, kann ein Gesamtstromverbrauch für 2014 nur annäherungsweise genannt werden. Wenn man den gemessenen PV Ertrag auf ein ganzes Jahr, unter Berücksichtigung typischer Ertragswerte im Jahr 2014, extrapoliert, dann kann von einem Jahresertrag der Anlage von zirka 25.000 kWh ausgegangen werden. Somit beläuft sich der Gesamtstromverbrauch auf zirka 40.750 kWh.

Tabelle 38: Jahresstromverbrauch der gesamten Filiale

Jahr	Stromverbrauch (Abrechnung EVU und extrapolierter PV Jahresertrag)
	<i>kWh/a</i>
2014	40.750

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch gesamt (11.2.2014 – 31.12.2014) 23.150 kWh

Stromverbrauch laut EVU Rechnung:

- Stromverbrauch gesamt (02.11.2013 – 01.11.2014) 27.750 kWh

Auffälligkeiten:

- Die Messreihe für MSR wies keine Daten auf. Offensichtlich ist der Zähler defekt. Eine gesonderte Auswertung war daher nicht möglich.
- Der Stromverbrauch der Wärmepumpe ist im Verhältnis zum gesamten gemessenen Stromverbrauch sehr niedrig.

Abbildung 120 zeigt den monatlichen spezifischen Stromverbrauch pro Quadratmeter BGF gegliedert nach Verbrauchern. Auf der negativen Skala ist die Stromerzeugung durch die Photovoltaikanlage dargestellt. Für den Stromverbrauch wird die Messreihe Einspeisung herangezogen, da angenommen wird, dass es sich dabei um den Nettostrombezug aus dem Netz handelt. Der Gesamtstromverbrauch würde sich demnach aus der Summe aus PV gesamt und Einspeisung zusammensetzen.

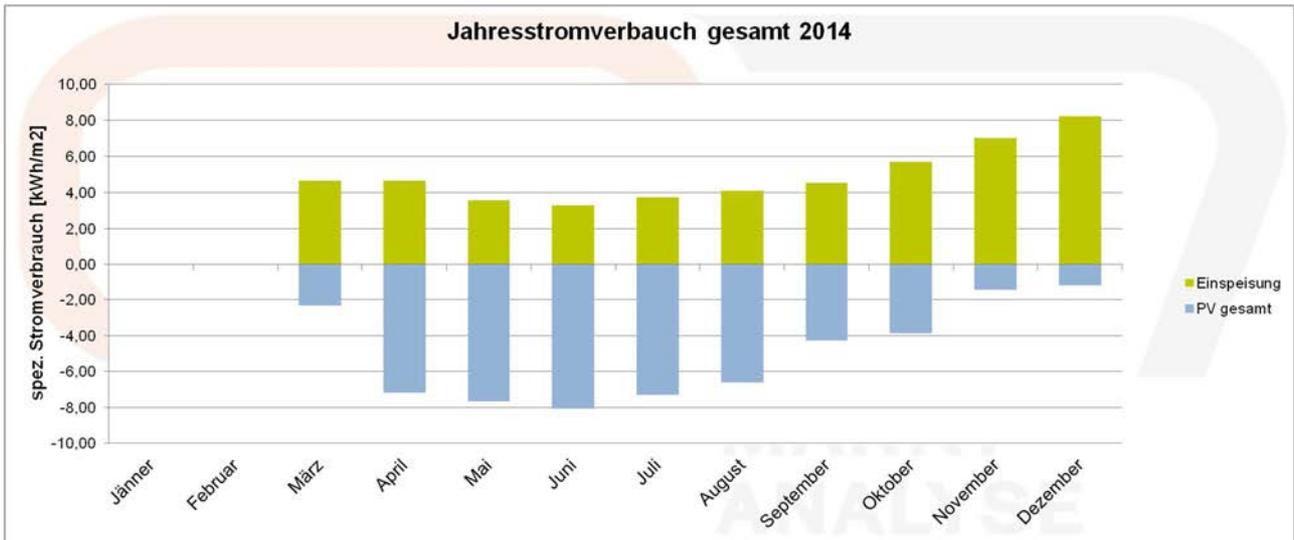


Abbildung 120: Monatlicher spezifischer Stromverbrauch und –erzeugung, 2014

Auffälligkeiten

- Der Stromverbrauch gesamt (aus Einspeisung und PV-Erzeugung) weist einen deutlich saisonalen Verlauf mit geringen Verbräuchen in den Wintermonaten auf.
- Nicht alle Stromverbraucher werden vom Monitoring richtig erfasst bzw. ist nicht klar, was in den Messreihen tatsächlich enthalten ist. Beim Gebäudeeigentümer wurden Informationen diesbezüglich angefordert.

Nachfolgend werden die einzelnen Stromverbraucher separat betrachtet und analysiert.

Photovoltaik

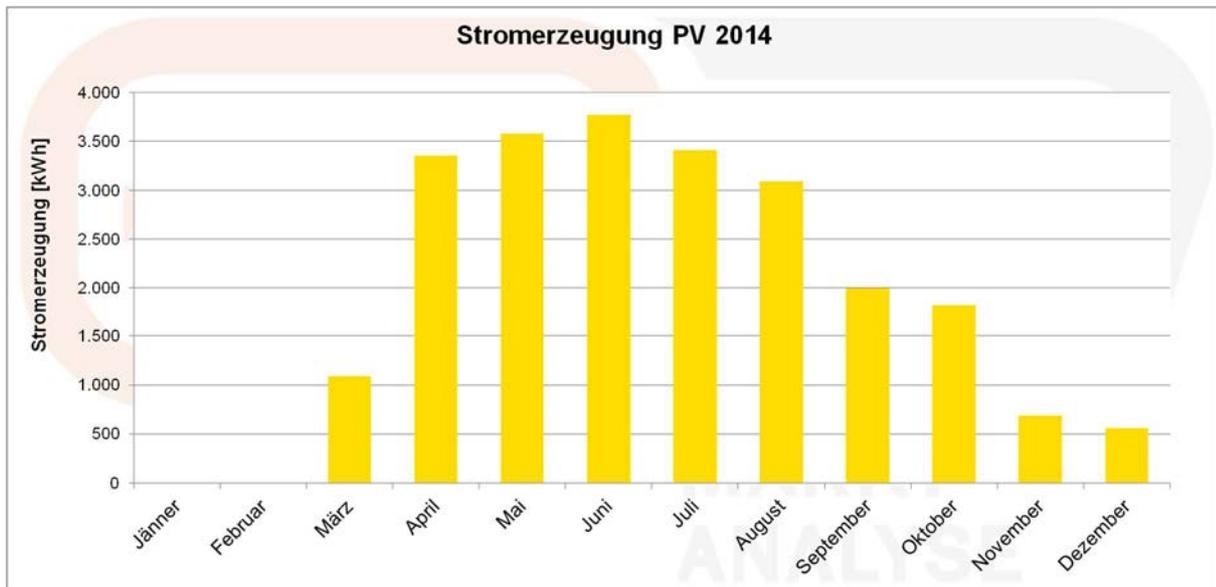


Abbildung 121: Monatsbilanz Erträge der Photovoltaikanlage in kWh

Gemessene Stromerzeugung:

- Stromerzeugung der Photovoltaikanlage (11.2.2014 – 31.12.2014) 23.359 kWh
- Jahresstromerzeugung der PV-Anlage extrapoliert: 25.000 kWh
- Verhältnis zu Gesamtstromverbrauch 61 %

Die Messdaten der PV-Anlage für Februar fehlen aufgrund eines Ausfalls des Zählers. Der Ertrag wurde kumuliert am 24.03.2014 aufgezeichnet.

Der spezifische Ertrag der Anlage beträgt rund 893 Kilowattstunden pro Kilowatt Peak.

Die Erzeugungskurve weist keine Auffälligkeiten auf.

Einspeisung

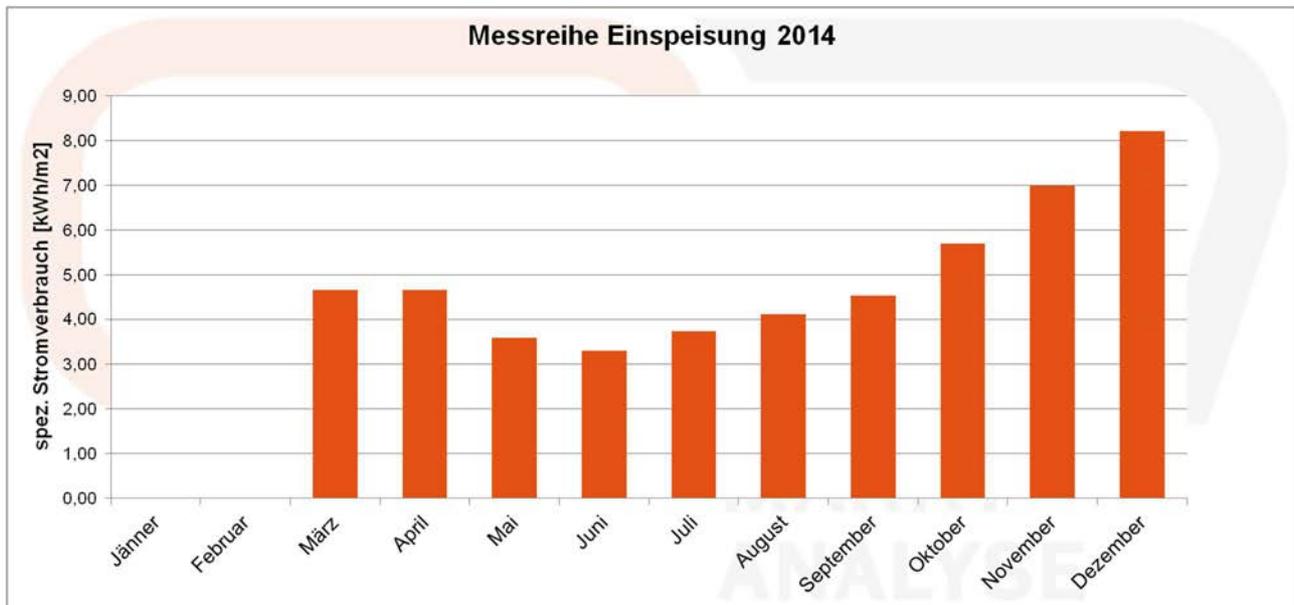


Abbildung 122 Monatsbilanz Einspeisung in kWh/m²

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch Allgemein (11.2.2014 – 31.12.2014) 23.150 kWh

Es wird angenommen, dass die Messreihe Einspeisung den Nettostrombezug aus dem Netz abbildet. Dies bedeutet, dass jener Teil des Gesamtstromverbrauchs, der nicht direkt über die Photovoltaikanlage gedeckt wird, aus dem Netz bezogen wird und in dieser Messreihe erfasst wird. Der Gesamtstromverbrauch ergibt sich demnach aus der Kurve Einspeisung und dem direkt genutzten Anteil der Stromerzeugung der Photovoltaikanlage.

Auffälligkeiten:

- Die Messreihe Einspeisung weist in den Sommermonaten deutlich niedrigere Verbräuche auf als in den Wintermonaten. Dies ist insofern nachvollziehbar, als die Photovoltaikanlage im Sommer wesentlich mehr Ertrag liefert als im Winter.
- Die Stromverbräuche für Beleuchtung, EDV, Server, Splitklimagerät, Untertischspeicher und Allgemeinstrom der Bankfiliale werden nicht separat erfasst. Diese Verbraucher können somit nicht bewertet werden und gehen in den Gesamtstromverbrauch der Filiale ein.

In Abbildung 123 ist der Carpet Plot der Messreihe Einspeisung im Zeitraum von 11.2.2014 bis 31.12.2014 dargestellt. Die x-Achse zeigt die Tageszeit von 00:00 bis 23:45 Uhr, die y-Achse entspricht dem Datum von 11.02.2014 (oben) bis 31.12.2014 (unten). Jeder Tag entspricht einer Zeile, jede Spalte einem Viertelstundenmesswert beginnend bei 00:00 Uhr ganz links bis 23:45 ganz rechts. Rote Zellen zeigen einen hohen Verbrauch, grüne Zellen entsprechen dem Wert 0. Es ist deutlich zu erkennen, dass der aufgezeichnete Stromverbrauch vor allem in frühen Abendstunden hoch ist und in den letzten Wochen des Betrachtungszeitraumes hohe Verbräuche auftreten. Die

Grafik als gesamtes kann als Negativ der Stromerzeugung durch die Photovoltaik-Anlage gedeutet werden, da die grünen Zellen während der Tagesstunden dem typischen Erzeugungsprofil der Photovoltaik entsprechen.

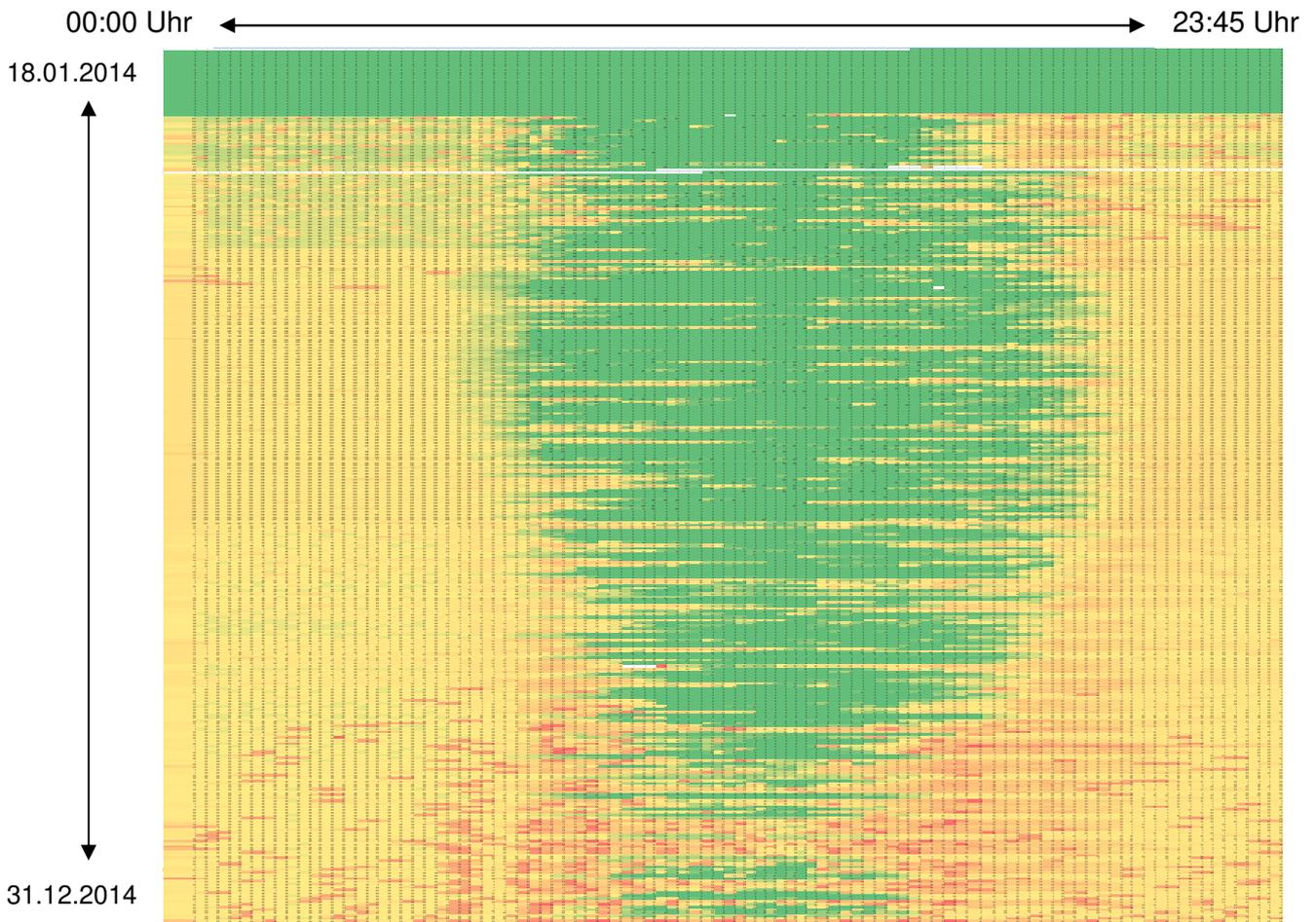


Abbildung 123: Carpet Plot Messreihe Einspeisung 2014

Wärmepumpe

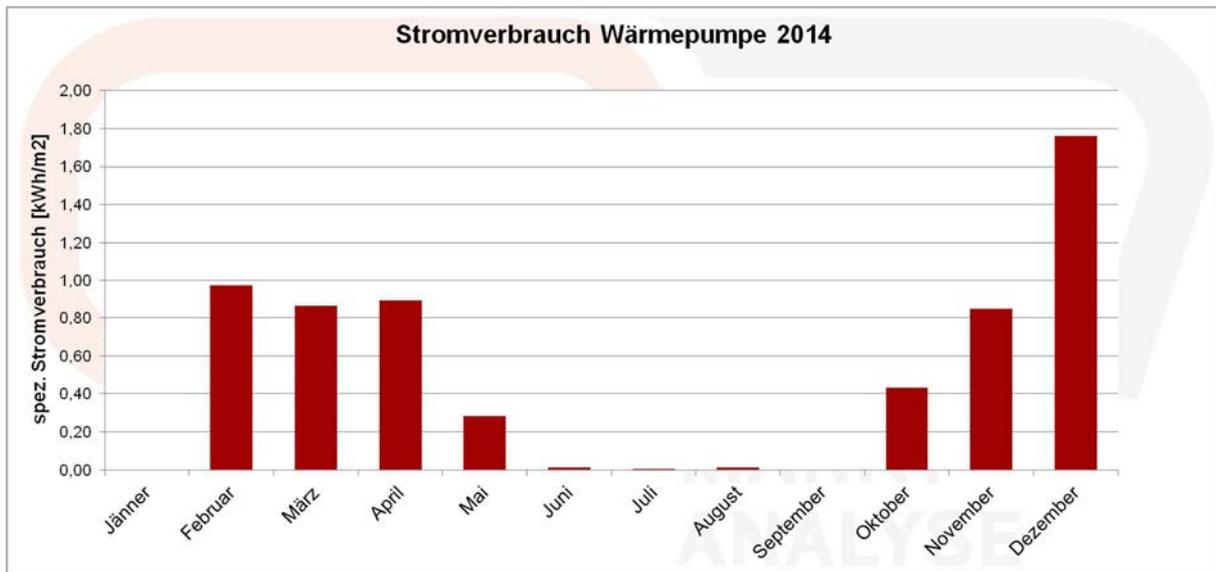


Abbildung 124: Monatlicher elektrischer Energieverbrauch der Wärmepumpe in kWh/m²

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch der Wärmepumpe (11.2.2014 – 31.12.2014) 2.840 kWh
- Anteil am Gesamtstromverbrauch: 7 %
- Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe 4,52

Die Wärmepumpe wird nur für Heizen verwendet. Die Kühlenergie wird von den Tiefenbohrungen über Free Cooling bereitgestellt.

Auffälligkeiten

- Die Wärmepumpe wird ausschließlich für Heizen verwendet. Der spezifische Energieverbrauch ist durchschnittlich.
- Der Betrieb der Wärmepumpe ist nicht auf die Betriebszeiten des Gebäudes abgestimmt.

Lüftungsanlage

Abbildung 125 stellt den spezifischen Stromverbrauch der Lüftungsanlage für das Jahr 2014 dar. Die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung dient auch als Stützlüftung zur Kondensat Vermeidung an der Kühldecke.

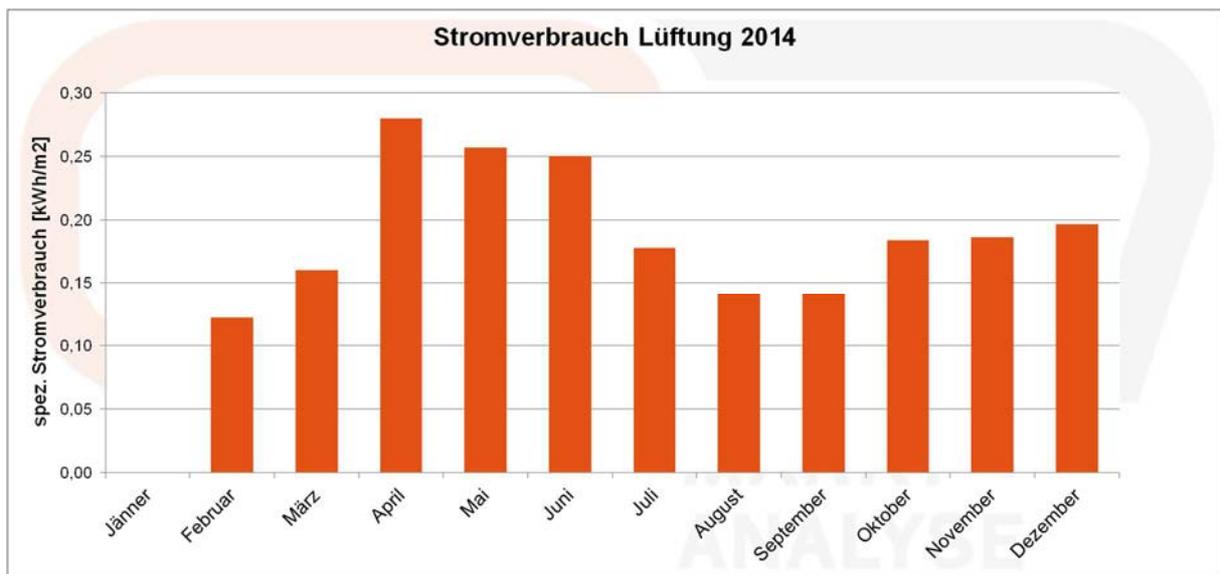


Abbildung 125: Monatlicher elektrischer Energieverbrauch der Lüftungsanlage in kWh/m²

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch für Lüftung (11.2.2014 – 31.12.2014) 980 kWh
- Anteil am Gesamtstromverbrauch: 2,4 %

Auffälligkeiten:

- Der Stromverbrauch für die Lüftung ist generell sehr niedrig.
- Im Februar und März sowie im August und September ist der Stromverbrauch der Lüftung im Vergleich zu den restlichen Monaten deutlich reduziert.



Abbildung 126: Carpet Plot Stromverbrauch Lüftung [kWh], 2014

Der Carpet Plot in Abbildung 126 stellt den Energieverbrauch in kWh der Lüftung als 15-Minuten-Werte über das Betrachtungsjahr 2014 ab 11.2.2014 dar.

Auffälligkeiten:

- Vom Beginn der Aufzeichnungsperiode bis zum 10.07.2014 sind die Betriebszeiten der Lüftungsanlage an die Betriebszeiten des Gebäudes angepasst. Ab Juli bis zum Jahresende ist die Lüftungsanlage in drei Zeitblöcken in Betrieb: Morgens von 5:45 bis 08:15 Uhr, mittags von 11:30 bis 14:00 Uhr bzw. bis 16:15 Uhr im Winter und abends 20:15 bis 22:00 Uhr.
- Wie in den anderen Messreihen kam es auch hier zwischen 26.03. und 12.04.2014 zu einem Ausfall der Datenaufzeichnung.
- Deutlich zu erkennen ist, dass die Lüftungsanlage nur in sporadischem Taktbetrieb lief. Von einer bedarfsgerechneten Frischluftzufuhr kann nicht ausgegangen werden.

- Der Lüftungsbetrieb abends liegt vollständig außerhalb der Öffnungszeiten der Bank. In dieser Zeit werden 109 kWh verbraucht. Dies entspricht 11 Prozent des gesamten Energieverbrauchs der Lüftungsanlage.
- An Wochenenden erfolgt ausschließlich ein Stützbetrieb der Lüftung mit geringen Verbräuchen. Eine vollständige Abschaltung findet nicht statt.

Abbildung 127 stellt den Stromverbrauch der Lüftungsanlage exemplarisch für eine Woche im Juli 2014 dar.



Abbildung 127: Wochenlastgang Gesamtstromverbrauch Wo 26 von 23.06.2014 bis 30.06.2014

Auffälligkeiten:

- In der betrachteten Woche im Sommer findet ein regelmäßiger Taktbetrieb der Lüftung statt. Es ist davon auszugehen, dass die Regelung nicht dem tatsächlichen Frischluftbedarf entspricht. Die Einschaltzeit der Lüftungsanlage beträgt jeweils nur ein paar Minuten mit sechs bis acht Stunden Pause dazwischen. Eine Anpassung des Lüftungsbetriebs an die Betriebszeiten des Objekts wird empfohlen.

Fazit

Die Lüftungsanlage läuft nicht optimal. Zu Beginn der Betrachtungsperiode entsprachen die Betriebszeiten der Lüftung den Öffnungszeiten des Gebäudes. Allerdings kam es im Juli 2014 zu einer Umstellung, wonach die Lüftungsanlage in einen Taktbetrieb fiel, der nicht dem Bedarf im Objekt entspricht. Eine Anpassung der Regelung der Lüftungsanlage an die Öffnungszeiten und den tatsächlichen Frischluftbedarf wird empfohlen. Eine Energieeinsparung wird dann bei längeren Betriebszeiten nicht erzielt.

Rückmeldung Gebäudebetreiber

Aktuell wird die Anlage optimiert und neu eingestellt.

9.8.4.6 Behaglichkeit und CO₂-Konzentration

Um die personenbezogenen Komfortparameter im Gebäude zu erfassen, wurde in zwei Referenzräumen Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur und CO₂-Konzentration und den Zu- und Abluftsträngen der Lüftungsanlage Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur gemessen.

Das Verhältnis von Raumtemperatur und relativer Luftfeuchte gibt Aufschluss über die Behaglichkeit im Innenraum. Abbildung 128 zeigt das Komfortdiagramm³⁴ für Referenzraum 1 für den Zeitraum MO-FR 06:00 Uhr bis 18:00 Uhr (Feiertage nicht berücksichtigt).

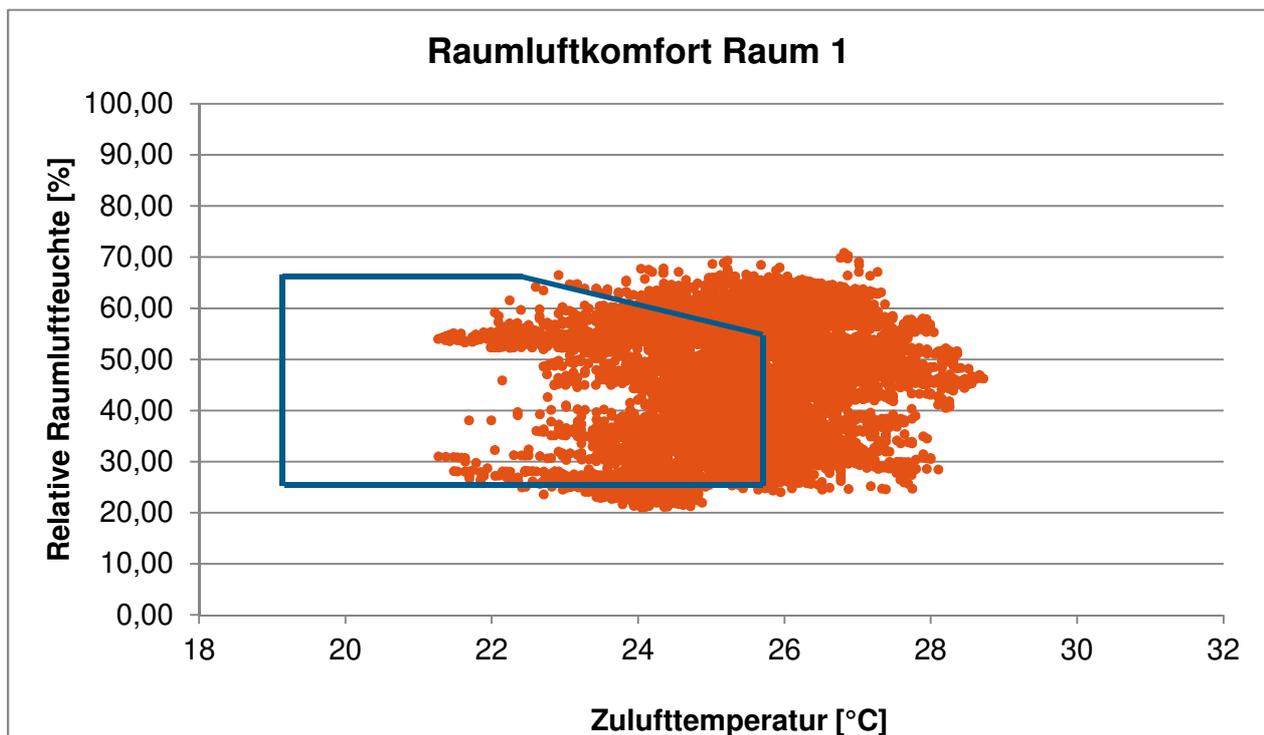


Abbildung 128: Komfortdiagramm Zuluft; Wochenenden und Nachtstunden gefiltert; Messpunkte des Jahres 2014

Die Messwerte liegen zu 33% außerhalb des Komfortbereichs, da die Raumtemperatur häufig zu hoch (rechts der blauen Zone; 25 Prozent der Messwerte) ist. Die maximale Temperatur während der Betriebsstunden betrug allerdings nur 28,7 °C, was als noch akzeptabel betrachtet werden kann. Die relative Feuchte liegt mehrheitlich (89,7 %) im optimalen Bereich zwischen 30 und 65 Prozent.

³⁴ Erklärung Diagramm: In dieser Darstellung sollten möglichst alle Datenpunkte innerhalb der grünen Zone sein. Dieser Bereich kennzeichnet den Bereich mit Raumlufzuständen, die von den meisten Menschen als angenehm und komfortabel bezeichnet werden. Davon abweichend ist die Luft entweder zu trocken/zu feucht und/oder zu kalt/zu warm.

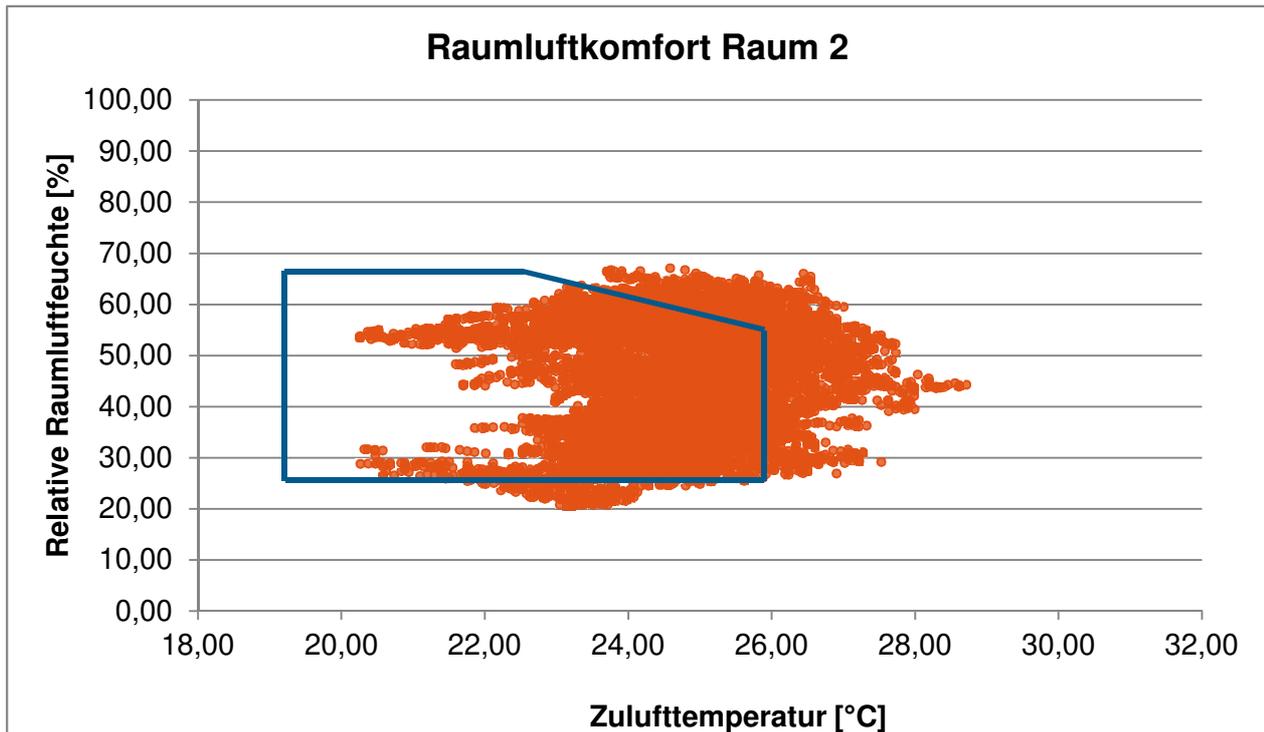


Abbildung 129: Komfortdiagramm Abluft EG; Wochenenden und Nachtstunden gefiltert; Messpunkte des Jahres 2014

Abbildung 129 stellt das Behaglichkeitsdiagramm für Referenzraum 2 dar. Die gemessene Raumlufthumidität bewegte sich im Betrachtungszeitraum (18.01. bis 31.12.2014, MO-FR, 06:00 Uhr bis 18:00 Uhr) zwischen 20,3 und 28,7 °C und die gemessene relative Feuchtigkeit lag zwischen 20,6 und 67,2 Prozent. Die Messwerte liegen zu etwa 21 % außerhalb des Komfortbereichs, da die Raumtemperatur teilweise zu hoch ist (rechts der blauen Zone, 12 Prozent) bzw. die Raumlufffeuchte außerhalb des optimalen Bereichs liegt (10 Prozent der Messwerte).

CO₂-Konzentration

Abbildung 130 stellt den durchschnittlichen Tagesverlauf der CO₂-Konzentration der Raumlufte nach Wochentagen für Referenzraum 1 dar. Die durchschnittliche maximale Belastung lag bei 901 ppm. Der Verlauf an Werktagen ist ähnlich. Die CO₂-Konzentration steigt ab ca. 07:30 Uhr an und erreicht mittags die absolute Spitze. Bis ca. 14:00 sinkt die CO₂-Konzentration dann wieder und steigt am Nachmittag noch einmal auf ein Niveau über 800 ppm an. Am Abend sinkt die Kurve langsam auf das Ausgangsniveau von 650-670 ppm ab. Interessant ist, dass das durchschnittliche Minimum am Montag in den frühen Morgenstunden erreicht wird und noch immer bei 575 ppm liegt, während Außenluft etwa 380 ppm aufweist. Die durchschnittlichen Minimalkonzentration erreichen also nie Außenluftqualität.

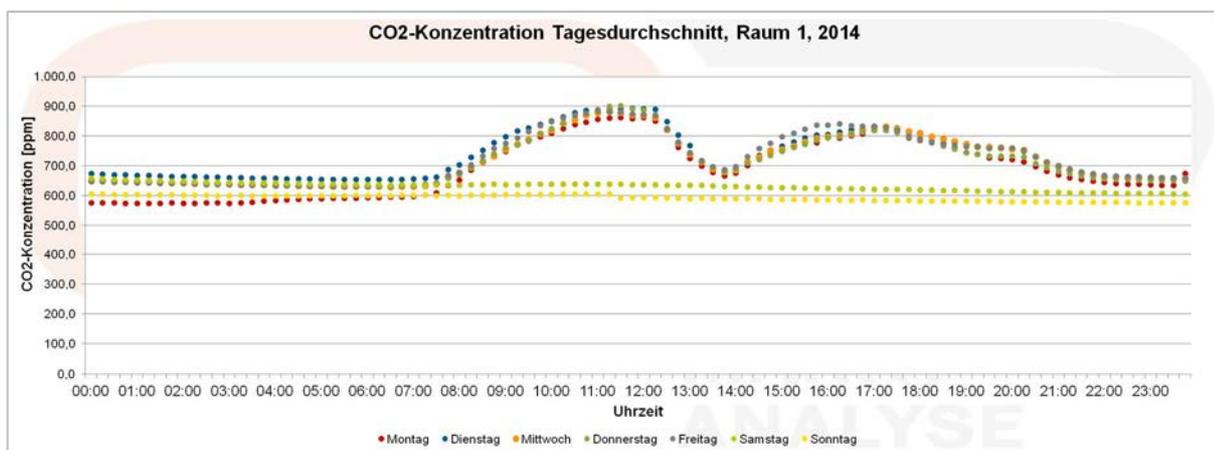
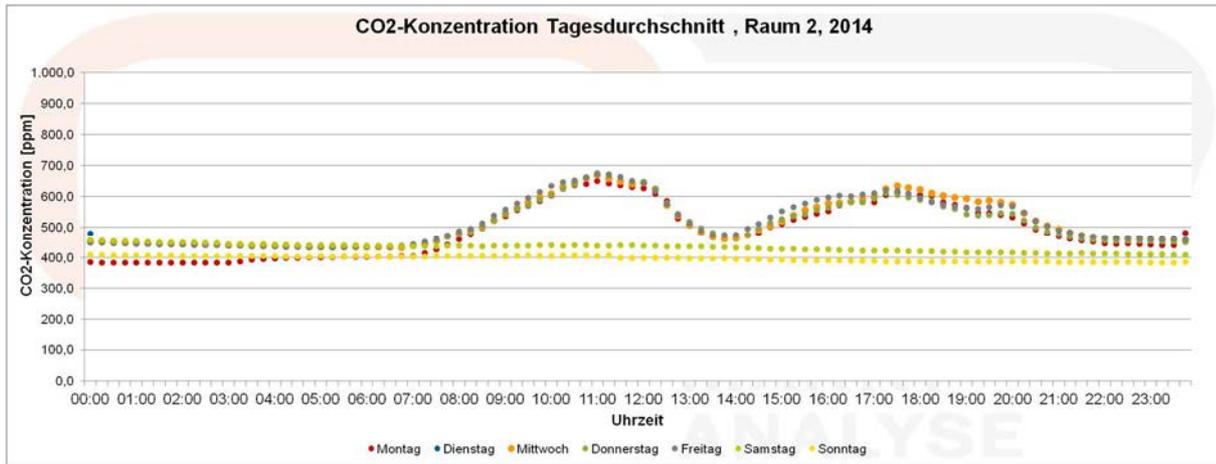


Abbildung 130: Tagesdurchschnittsverlauf der CO₂ Konzentration nach Wochentagen, Raum 1, 2014

Ein ähnliches Bild zeigt sich in Abbildung 131 für Raum 2. In diesem Fall steigt die durchschnittliche Maximalbelastung auf knapp 680 ppm. Die Tagesverläufe weisen ein ähnliches Bild auf.

Abbildung 131: Tagesverlauf der CO₂ Konzentration am 16. Juni 2014

Die absoluten Maximalwerte der CO₂-Konzentration im Jahr 2014 betragen 2.000 ppm in Raum 1 und 1.937 in Raum 2 (29. Oktober 2014 um 19:30 Uhr), wurden aber nur kurzzeitig erreicht. Die maximale Arbeitsplatzkonzentration von 5.000 ppm wurde nicht annähernd erreicht. In Raum 1 lagen im Betrachtungszeitraum insgesamt 1.029 von 31.540 Messwerten oberhalb von 1.000 ppm und in Raum 2 122 Messwerte. Die sogenannte Pettenkofer-Zahl ist ein Indikator für gute Raumlufqualität. Die Lüftungsanlage erfüllt ihre Aufgabe bezüglich des hygienischen Luftwechsels einwandfrei.

Fazit

Der Raumlufkomfort kann als hoch bezeichnet werden. Besonders die CO₂-Konzentration der Innenraumluf ist dauerhaft niedrig. Die Temperatur und Feuchte in den Referenzräumen lag allerdings zu einem Drittel der Betriebszeiten außerhalb des behaglichen Bereiches.

Rückmeldung Gebäudebetreiber

Nach Behebung einiger Mängel sowie Überarbeitung der Steuerungs- und Regelungstechnik läuft die Anlage sehr gut und die Werte befinden sich innerhalb der Behaglichkeitsgrenzen.

9.9 Raiffeisenbank Wienerwald, Preßbaum Nö

Allgemeine Projektbeschreibung

Die Vision des Bauherrn war eine „grüne Bank“ in Passivhausbauweise als Vorzeigeobjekt im Ort zu schaffen. Auf dieser Basis wurde die Filiale der Raiffeisenbank Wienerwald in Pressbaum 2013 einer umfassenden thermischen Sanierung und einer Erweiterung der Bruttogrundfläche unterzogen.

Neben der Dämmung der Außenbauteile und dem Einbau neuer Holz-Alu-Wärmeschutzfenster mit außenliegendem Sonnenschutz wurde eine Raumluftheizungsanlage mit 65 % Wärmerückgewinnungsgrad eingebaut. Als Ersatz für die bestehende elektrische Direktheizung wurde eine Sole-Wasser-Wärmepumpe installiert. Die Wärmepumpe wird sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen verwendet. Die neue Heizungsverteilung erfolgt über eine Niedertemperatur-Fußboden- und Deckenheizung. Über eine stille Kühlung (Kühldecke) werden im Sommer die Räume temperiert.

Das Beleuchtungssystem wurde optimiert, indem Präsenzmelder mit einer tageslichtabhängigen Steuerung und einem zentralen „Licht-Aus“ kombiniert wurden. Eine 105 m²- Photovoltaikanlage mit einer Peak-Leistung von 20 kW produziert Strom für den Eigenbedarf. Der restliche Strombedarf wird aus dem Netz gedeckt.

Ausgangszustand:

<i>Eigentümer/ Betreiber</i>	<i>Raiffeisenbank Wienerwald reg.Gen.m.b.H.</i>
<i>Ansprechpartner / Kontaktpersonen</i>	<i>Bointner Günter</i>
<i>Standort</i>	<i>A-3021 Pressbaum, Hauptstraße 62</i>
<i>Gebäudetyp</i>	<i>Bankstelle</i>
<i>Errichtungsjahr Bestandsgebäude</i>	<i>1979</i>
<i>Größe (BGF)</i>	<i>1.255 m² vor Sanierung</i>
	<i>1.501 m² nach Sanierung</i>

9.9.1 Sanierungsmaßnahmen

9.9.1.1 Gebäudehülle

Die Fassade des Gebäudes wurde mit 24 cm XPS- bzw. Multipor-Wärmedämmplatten gedämmt. Der U-Wert beträgt nach der Sanierung 0,11-0,13 W/m²K. Die Holz-Alu-Wärmeschutzfenster weisen einen U-Wert von durchschnittlich 0,75 W/m²K auf. Der Fußbodenaufbau wurde kellerseitig mit 17 cm XPS-Wärmedämmplatten ausgestattet und weist nun einen U-Wert von 0,25 W/m²K auf. Der U-Wert

des Flachdachs beträgt nach dem Einbau von 44 cm Warmdach-Kompaktdämmplatten $0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Gebäudehülle wurde in Passivhausqualität ausgeführt.

9.9.1.2 Gebäudetechnik

Heizen, Kühlen, Lüften, Warmwasser

Das Bankgebäude verfügt über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe, die sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen eingesetzt wird. Tiefenbohrungen unter den Parkplätzen dienen als Wärmequelle. Wärme wird mittels Fußbodenheizung, Radiatoren und einem Torluftschleier sowie der Lüftungsanlage in den Innenraum eingebracht. Die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sorgt für eine energieeffiziente Be- und Entlüftung der Bank. Im Sommer wird über die Wärmepumpe und Erdsonden gekühlt und die Kälte über die Kühldecke und die Zuluft in die Räume eingebracht. Zum Abführen der hohen Kühllasten des Serverraums ist dort eine zusätzliche Splitklimaanlage installiert. Die Warmwasserbereitstellung erfolgt über Untertischspeicher.

Beleuchtung, Verschattungseinrichtungen

Die künstliche Beleuchtung der sanierten Filiale wird mittels elektrisch hocheffizienter Leuchtmittel bewerkstelligt. Die Lichtsteuerung erfolgt mit außenlicht- und präsenzabhängigen Sensoren sowie einer zentralen Licht-Aus“-Funktion und kann individuell übersteuert werden. Außenliegende Raffstores reduzieren den Kühlbedarf.

Photovoltaik, Solarthermie, sonstige Anlagen

Die Nutzung von Sonnenenergie erfolgt mittels einer 105 m^2 großen Photovoltaikanlage mit einer Peakleistung von 20 kW. Eine Solarthermieanlage wurde aufgrund des geringen Warmwasserbedarfs nicht realisiert.

9.9.1.3 Heizenergiebedarf (Energieausweisberechnung)

Tabelle 39 zeigt die im Energieausweis berechneten Werte des Heizwärmebedarfs des Gebäudes im Referenzklima vor und nach der Sanierung, Abbildung 132 stellt die im Rahmen der Mustersanierung erreichte Reduktion dar. Die Energieausweisberechnung weist eine Reduktion des HWB um $18,94 \text{ kWh/m}^3\text{a}$ (=89%) im Zuge der Sanierung aus.

Tabelle 39: Vergleich Energiekennzahlen vor und nach Sanierung

Heizwärmebedarf* lt. Energieausweis	
Vor Sanierung	Nach Sanierung
<i>kWh/m³a</i>	<i>kWh/m³a</i>
21,23	2,29

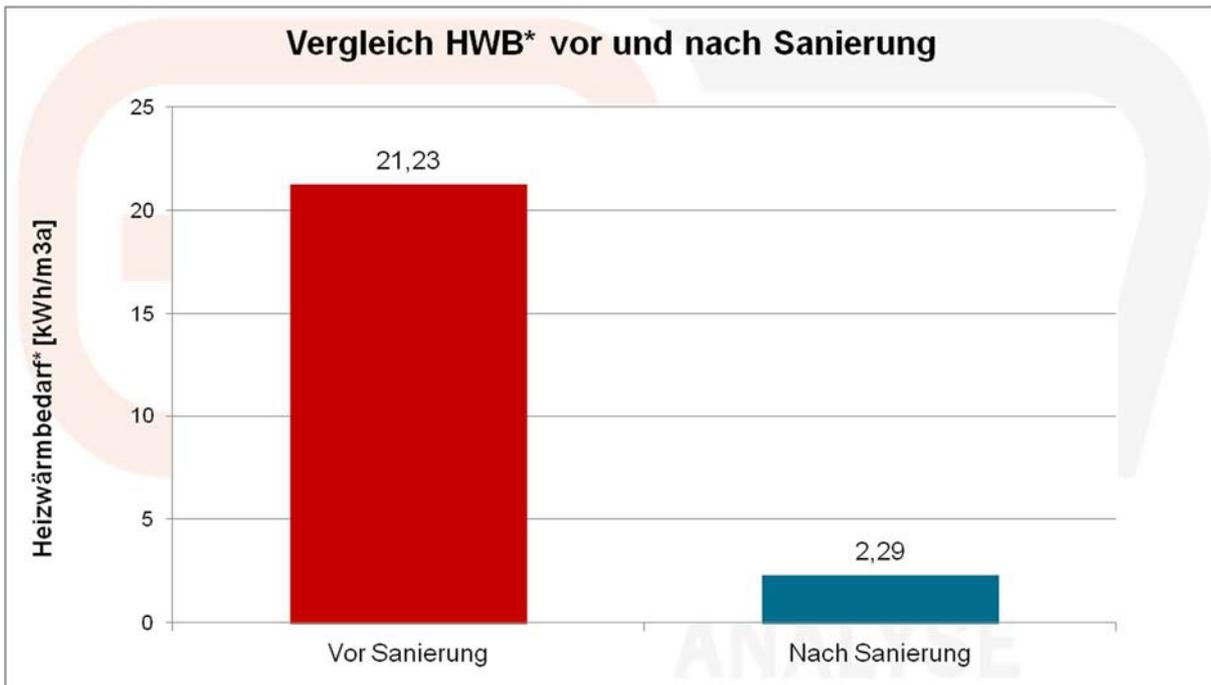


Abbildung 132: Gegenüberstellung HWB* vor und nach Sanierung

9.9.2 EVM-Schema

Um das Energieverbrauchsverhalten und die Komfortparameter des Gebäudes nach der Sanierung bewerten zu können wurde ein Monitoringsystem installiert. Dieses misst an relevanten Punkten in der Haustechnikanlage und im Gebäude Parameter wie zum Beispiel:

- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Wärmemengen
- Stromverbrauch
- Wärmemengen
- CO₂-Gehalt der Luft.

Das Monitoringsystem erfasst die Messwerte und Zählerstände viertelstündlich und speichert diese ab. Zur Auswertung für diesen Bericht wurden Daten aus dem Monitoringsystem im Zeitraum von 1.1.2014 bis 31.12.2014 herangezogen. Die Datenpunkte des EVM sind in Abbildung 133 dargestellt.

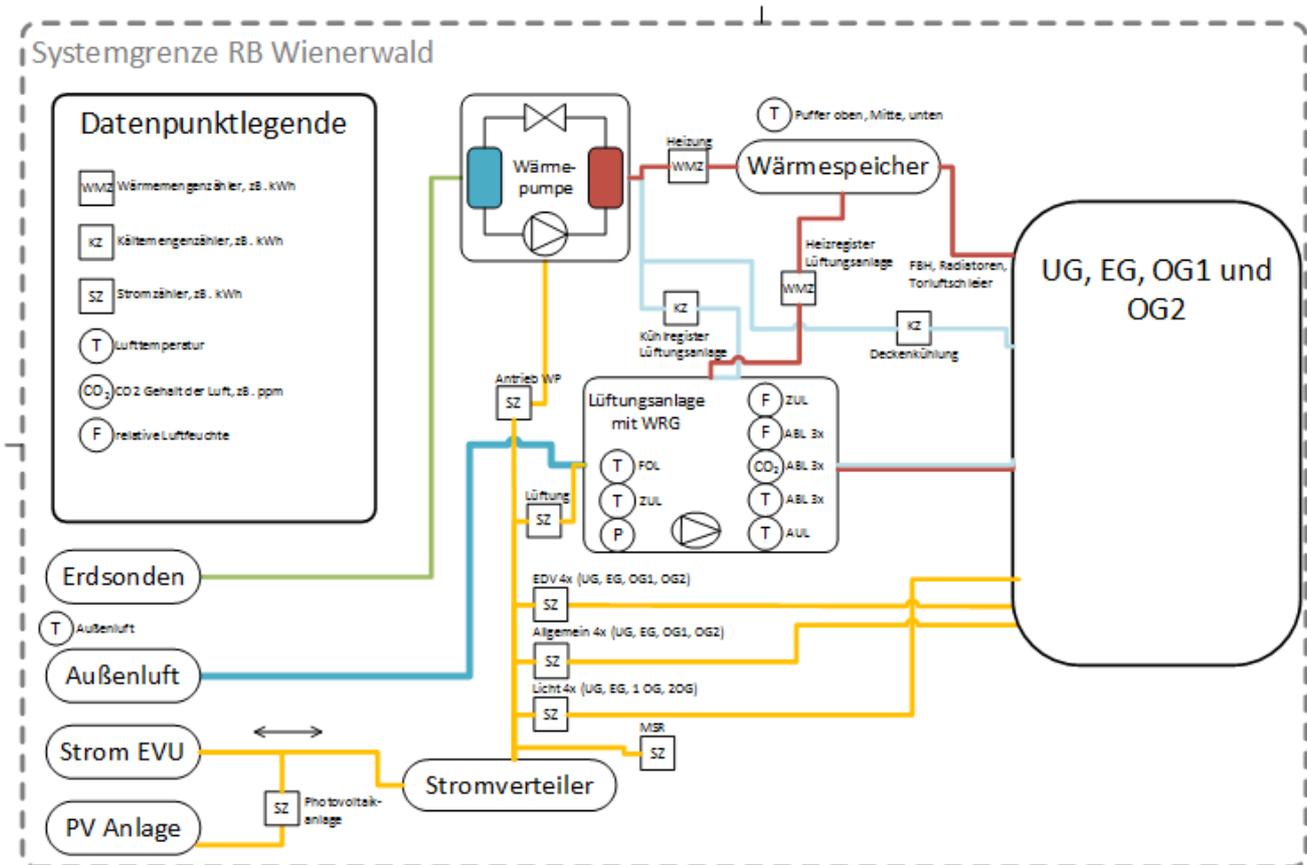


Abbildung 133: EVM-Schema mit Datenpunkten

Zusätzlich zu den dargestellten Parametern werden außerdem die Betriebszustände der dargestellten Anlagen sowie von Pumpen, Absperrklappen, Ventilen, etc. erfasst.

9.9.3 Wirkt die Mustersanierung? Vergleich vor und nach Sanierung

Die folgenden CO₂-äquivalenten Emissionsergebnisse und Energieverbrauchsergebnisse, welche in Tabelle 40 und Tabelle 41 angegeben sind, basieren auf den Angaben der Einreichunterlagen vor der Sanierung und den gemessenen Werten durch das EVM nach der Sanierung sowie den CO₂ Faktoren aus der KPC-Förderberechnung. Nach der Sanierung ist der Wert für CO₂-äquivalente Emissionen bedingt durch das Heizen mit der mit Ökostrom versorgten Wärmepumpe null.

Tabelle 40: Berechnete, CO₂-äquivalente Emissionen durch Heizen

CO ₂ -äquivalente Emissionen durch Heizen ³⁵		
Vor Sanierung	Nach Sanierung	Nach Sanierung
Fördereinreichung	Energieausweis	EVM
<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>	<i>t/a CO₂</i>
71,40	0,00	0,00

Tabelle 41 zeigt den Vergleich des Heizwärmebedarfs im Referenzklima laut Energieausweis vor und nach der Sanierung mit dem tatsächlich gemessenen Heizwärmeverbrauch.³⁶ Vergleicht man die flächenspezifischen Werte des HWB vor und nach der Sanierung, so wird für die Mustersanierung eine relative Reduktion von 94,4 % errechnet. Der im EVM ermittelte Wert nach der Sanierung (Spalte 3) repräsentiert die Nutzenergie für Wärme, welche von 2367 Kd Heizgradtage im Jahr 2014 in St. Pölten auf 3400 Kd Heizgradtage laut Referenzklima im Energieausweis bereinigt wurde. Vergleicht man den klimabereinigten Wert des Heizwärmeverbrauchs qualitativ mit dem HWB-Wert vor der Sanierung, so beträgt die **relative Reduktion nur 17%**. Ein Vergleich von realen Verbrauchswerten vor und nach der Sanierung ist in diesem Fall nicht möglich, da keine Verbrauchswerte vor der Sanierung vorhanden sind.

Tabelle 41: Vergleich Nutzenergie Heizen vor und nach Sanierung

Vergleich Heizwärmebedarf zu Heizwärmeverbrauch		
Vor Sanierung	Nach Sanierung	Nach Sanierung
HWB Energieausweis	HWB Energieausweis	EVM
<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>	<i>kWh/m²a</i>
72,01	4,02	59,57 ³⁷

³⁵ Die Daten der berechneten CO₂-äquivalenten Emissionen vor und nach Sanierung stammen aus den Unterlagen der Fördereinreichung, da zu diesem Zeitpunkt CO₂ nicht im EAW berechnet wurde (Versionen der OIB Richtlinie 6 vor 2011). Wenn biogene Energieträger eingespart werden, wird fiktiv ein fossiler Brennstoff (Heizöl) zur Bestimmung der CO₂-Einsparung gegengerechnet, da hier die eingesparten erneuerbaren Energieträger für andere Objekte mit fossilen Energieträgern genutzt werden können.

³⁶ Die Vergleichbarkeit des im Energieausweis berechneten Heizwärmebedarfs und Kühlbedarfs (HWB und KB) einer thermischen Gebäudezone mit gemessenen Wärmemengen ist aus mehreren Gründen nicht direkt gegeben. Einerseits sind die berechneten Werte für das Gebäude vor und nach der Sanierung gute Anhaltspunkte um die Verbesserung der thermischen Qualitäten des Objektes zu bewerten. Andererseits sind die gemessenen Werte stark vom tatsächlichen Wetter und Benutzerverhalten im jeweiligen Messzeitraum abhängig. Daher ergibt sich aufgrund der Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen Messzeitraum und der theoretischen Berechnungsgrundlagen eine große Unsicherheit bezüglich der Vergleichbarkeit von Kennwerten zwischen Messung und Berechnung. Darüber hinaus sind HWB und KB theoretische Bedarfsgrößen einer thermischen Zone ohne messbaren Charakter. Gemessene Wärmemengen hingegen sind lokale zuordenbare Größen im Energieverteilungssystem.

³⁷ Gemessener Wärmeverbrauch, klimabereinigt

Anteil erneuerbarer Energieträger am Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes

100% des Gesamtenergieverbrauchs wurden durch erneuerbare Energieträger mittels Ökostrom gedeckt.

Fazit

Der Strombedarf wird zu 22,2 Prozent aus der eigenen Photovoltaikanlage und zu 77,8 Prozent aus Ökostrom gedeckt. Dadurch entstehen beim Projekt RB Wienerwald keine CO₂-Emissionen.

9.9.4 Detailergebnisse Energieverbrauchsmonitoring

9.9.4.1 Zusammenfassung

Das Monitoringsystem der Raiffeisenbank Pressbaum erfasst Stromverbräuche mehrerer Subzähler, Wärme- und Kältemengen der Wärmepumpe und der Lüftungsregister und Temperaturen, Feuchte und CO₂-Konzentration der Luftströme der Lüftungsanlage. Die ausgewerteten Daten umfassen den Zeitraum von 01.01.2014 bis 31.12.2014 in 15-Minuten-Intervallen. Messfehler sind in den ersten beiden Jännerwochen zu erkennen. Die Wärme- und Kältemengenzähler erfassen die Daten in MWh. Detaillierte Auswertungen über den Verbrauchsverlauf sind bei dieser geringen Auflösung nicht möglich.

Die Daten des Energieverbrauchsmonitorings (EVM) zeigen, dass vor allem bei der Heizung und der Lüftungsanlage Einsparpotenzial besteht.

Die Heizung über die Sole-Wasser-Wärmepumpe weist enorm hohe Wärmeverbräuche auf, die nicht der Gebäudequalität nach der Sanierung entsprechen. Durch die Optimierung der Regelungsparameter durch Nacht- und Wochenendabsenkung können mindestens 8 Prozent der erzeugten Wärmemenge der Wärmepumpe eingespart werden.

Der spezifische Stromverbrauch der Lüftungsanlage ist unauffällig, allerdings gibt es hohe monatliche Unterschiede im Energieverbrauch. Die Betriebszeiten der Lüftung sind grundsätzlich an den tatsächlichen Bedarf angepasst, die Lüftungsanlage ist aber auch in der Nacht und an Wochenenden im Taktbetrieb. Durch vollständige Abschaltung in der Nacht und an Wochenenden außerhalb der Kühlperiode können 20 Prozent des Stromverbrauchs für die Lüftung eingespart werden.

Messdaten der Kälteerzeugung und Kälteabgabe sind nur für das zweite Halbjahr 2014 vorhanden. Aussagen über die Effizienz des Systems können daher nicht getroffen werden.

Separate Stromzähler für die Wärmepumpe, Allgemeinstrom, MSR, Lüftung, EDV, Beleuchtung und Photovoltaik sind vorhanden. Die detaillierte Auswertung des Stromverbrauchs zeigt, dass das Gebäude ein stark saisonales Stromverbrauchsprofil mit Spitzen im Winter aufweist. Die Photovoltaik-Anlage erzeugt 19,2 Prozent des erforderlichen Stromes vor Ort. Der Stromzähler misst jedoch nur den von der PV-Anlage gelieferten Gesamtstrom, nicht jedoch wie viel eingespeist wurde.

Die Raumluftqualität ist ausgesprochen gut, vor allem was die CO₂-Konzentrationen im Innenraum betreffen. Einzig die Luftfeuchtigkeit der Zuluft ist häufig zu hoch oder zu niedrig. Von Auswirkungen auf die Behaglichkeit für die NutzerInnen ist auszugehen.

Nach Auskunft des Gebäudeeigentümers und des Auftragnehmers zur Monitoringdatenauswertung gab es im dritten Quartal 2014 eine Optimierung der Heizung zur Reduktion des hohen Heizwärmeverbrauchs und zur Optimierung der Regelung der Lüftungsanlage. Auch konnte bestätigt werden, dass die Raumluftqualität an manchen Arbeitsplätzen aufgrund zu trockener Luft im Winter vermindert war.

9.9.4.2 Energieflussbild

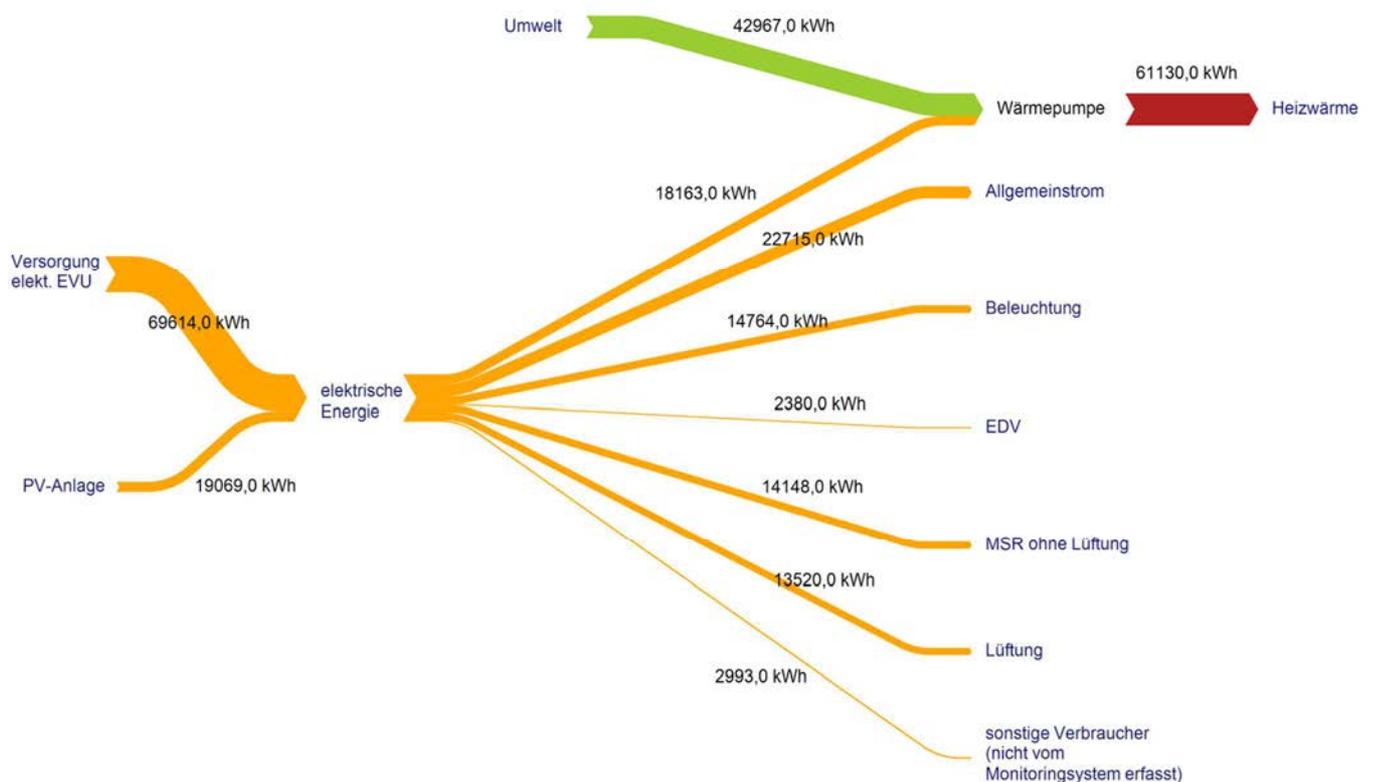


Abbildung 134: Energiefluss Jahresbilanz 2014

9.9.4.3 Heizwärmeverbrauch

- Gemessene Heizwärmeerzeugung (1.1.2014 – 31.12.2014): 61.130 kWh

Die Heizwärmeerzeugung ergibt sich aus der gemessenen Wärmeabgabe nach der Wärmepumpe. Auffallend ist, dass die Wärmepumpe auch in den Sommermonaten von Juni bis September Wärme erzeugt hat.

Laut Auskunft der Firma TBH (Auftragnehmer Monitoringdatenauswertung) waren die Einstellungen der Heizungsregelung (Heizgrenztemperatur, Heizkurve, eingestellte Vorlauftemperatur) fehlerhaft.

Eine Heizgradtagsbereinigung der erzeugten Heizwärme wurde auf Basis des 30-jährigen Mittels der Klimadaten für St. Pölten durchgeführt.

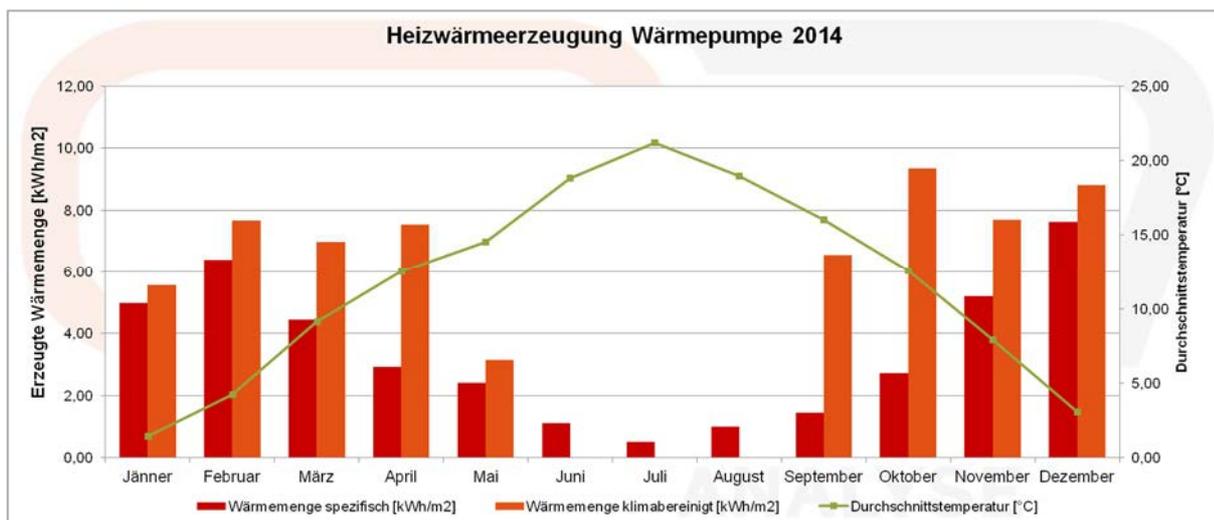


Abbildung 135: Erzeugte Wärmemenge der Wärmepumpe in kWh/m², 2014, gemessen und klimabereinigt

Auffälligkeiten:

- Der Verbrauch im April und vor allem Oktober ist bezogen auf die Monatsmitteltemperaturen sehr hoch. Dies lässt darauf schließen, dass speziell in den Übergangszeiten mehr Heizenergie an das System geliefert wird, als erforderlich wäre.
- Auch die Monate Juni, Juli, August und September weisen Wärmemengen auf. Es handelt sich bei diesen Wärmemengen um den Wärmebezug der Lüftungsanlage im Sommer, der durch falsche Regelungsparameter verursacht wurde.

Die Betrachtung des durchschnittlichen zeitlichen Tagesprofils der Wärmeerzeugung in Abbildung 136 zeigt ein konstantes Taktprofil, das einmal pro Stunde Wärme an das System liefert. In der Heizperiode und zwischen 06:00 und 18:00 Uhr ist die Wärmeerzeugung am größten. Von Mai bis Oktober reduziert sich die Wärmeerzeugung, wird aber nicht null. Unterschiede zwischen Werk- und

Wochenendtagen sind nicht zu erkennen. Die erzeugten Wärmemengen sind in Bezug auf die Gebäudequalität enorm hoch.

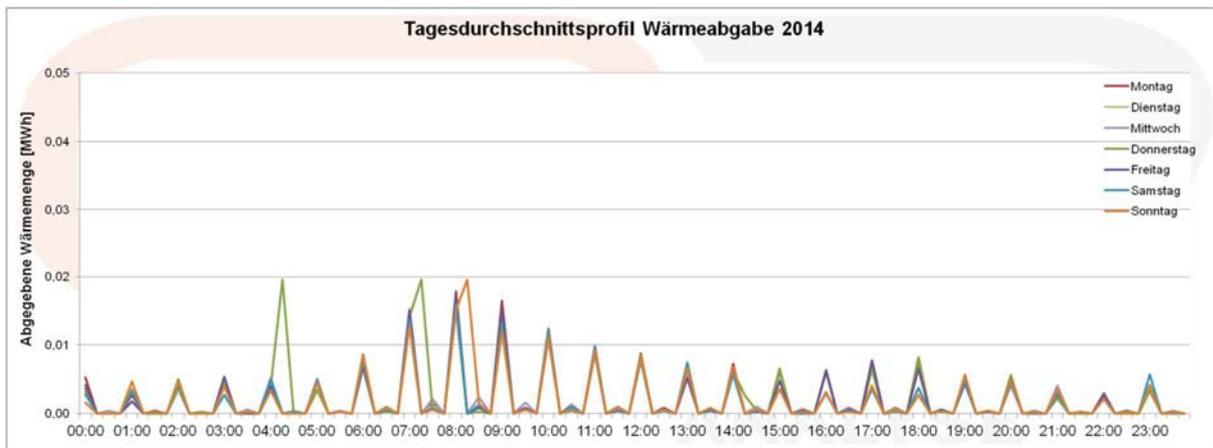


Abbildung 136: Tagesdurchschnittsprofil Wärmeabgabe Wärmepumpe, 2014

Abbildung 137 stellt die Betriebszeiten der Wärmepumpe über das Jahr 2014 dar, wobei rote Felder den Betrieb und grüne Felder die Ausschaltzeiten der Wärmepumpe darstellen. Auf der x-Achse ist der zeitliche Verlauf von 0 bis 24 Uhr und auf der y-Achse das Datum von 1.1.2014 bis 31.12.2014 dargestellt. Deutlich zu erkennen ist der intensivere Betrieb im Winter von Jänner bis Ende April sowie eine Kurzperiode im Mai (roter Balken) und dort jeweils verstärkt zwischen 06:30 und 10:00 Uhr sowie der Betrieb von Ende Oktober bis Ende Dezember.

Auffälligkeiten

- Die Regelung der Wärmepumpe ist nicht optimal eingestellt. In den Nachtstunden ist ein laufender Taktbetrieb ersichtlich.
- Auch im Sommer war die Wärmepumpe fast täglich in Betrieb aufgrund nicht optimaler Regelungsparameter.
- Deutlich zu erkennen ist die geringe Intensität des Wärmepumpenbetriebs zu Jahresende. Die Einschaltzeiten sowohl während der Nachtstunden als auch während des Tages sind deutlich reduziert, obwohl die Grafik auf weiteres Optimierungspotenzial vor allem während der Nacht schließen lässt.

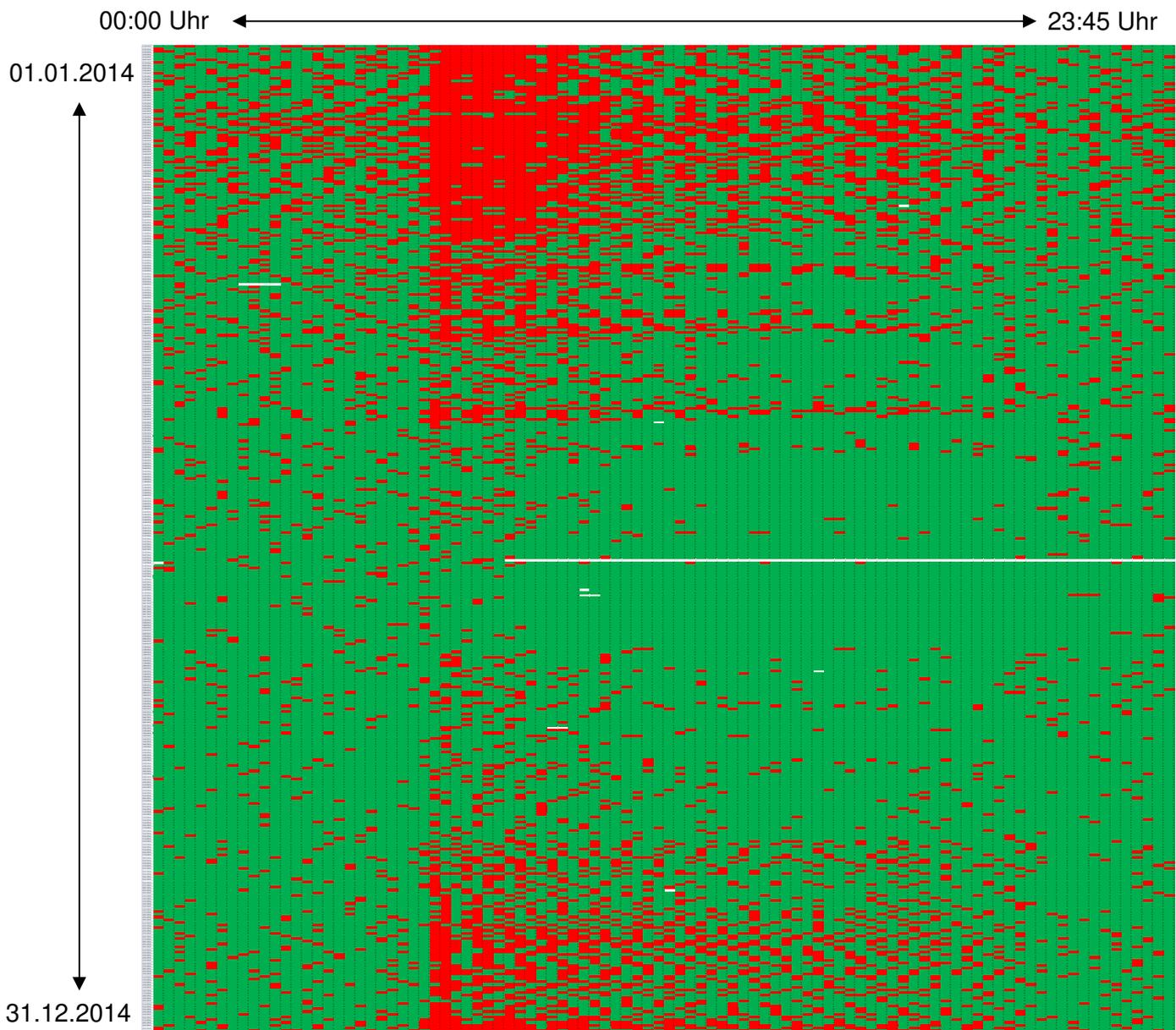


Abbildung 137: Betriebszeiten der Wärmepumpe, 2014

Interessant ist auch, dass die Summe der Messdaten des Heizregisters der Lüftung (Wärmemenge, die über das Heizregister der Lüftung abgegeben wird) in manchen Monaten höher ist, als die Wärmeabgabe nach der Wärmepumpe. Das würde bedeuten, dass Wärme aus einer zusätzlichen Wärmequelle bezogen wurde. Da dies ausgeschlossen werden kann, ist davon auszugehen, dass eine der beiden Messreihen fehlerhafte Daten aufweist.

Tabelle 42: Vergleich Wärmemengen Wärmepumpe und Lüftungsregister, 2014

	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
Wärmemenge WP [kWh]	7470	9600	6660	4370	3610	1650	770	1490	2170	4080	7800	11460
Wärmemenge Lftg [kWh]	7480	6210	4550	3270	1850	830	1260	2130	3220	7590	10270	2280
Differenz [kWh]	-10	3390	2110	1100	1760	820	-490	-640	-1050	-3510	-2470	9180

Fazit

Die Wärmemenge, die von der Wärmepumpe erzeugt und an das System abgegeben wird, ist enorm hoch! Die Wärmepumpe sowie die Wärmeabgabe waren 2014 nicht optimal geregelt. Das Einsparpotenzial beim Heizwärmeverbrauch durch die Optimierung der Betriebszeiten (Wochenend- und Nachtabsenkung) beträgt ca. 8 Prozent oder 4.800 kWh/a. Auf Basis der Daten kann aber nicht nachvollzogen werden, warum der Wärmeverbrauch so hoch ist. Vom Auftragnehmer des Gebäudeeigentümers wurde gemeldet, dass eine Optimierung der Regelungsparameter im dritten Quartal 2014 aufgrund anfänglich nicht optimaler Einstellungen stattgefunden hat. Die auf Basis der Monitoringdaten sinnvoll erscheinenden Anpassungen der Regelungsparameter, beispielsweise eine bessere Anpassung der Wärmebereitstellung an die Außentemperatur und der Zeitintervalle für den Taktbetrieb der Wärmepumpe sowie eine Nacht- und Wochenendabsenkung wurden 2014 umgesetzt.

Rückmeldung Firma TBH (Auftragnehmer Monitoringdatenauswertung)

Im dritten Quartal 2014 erfolgte eine Optimierung der Anlage. Dabei konnten folgende Punkte festgestellt und verbessert werden:

1. Eingestellte Vorlauftemperaturen der Heizkreise (Radiatoren und Fußbodenheizung) weit über dem Auslegungspunkt von 35°C betrieben (Radiatoren Teilweise bei 50° - 55°C, FBH bei ca. 40 °C).
2. Kein Absenkbetrieb außerhalb der Betriebszeiten
3. Anforderungstemperatur Pufferspeicher/Wärmepumpe zu hoch eingestellt
4. Einstellungen der Heizkurve passten nicht
5. Falsche Heizgrenztemperatur (Einschaltkriterium für Wärmepumpe)
6. Teilweise Wärmeanforderung für Lüftung im Sommer

9.9.4.4 Kühlenergieverbrauch

Der Kühlenergieverbrauch konnte ausschließlich für Juli bis Dezember 2014 ermittelt werden, da für das erste Halbjahr die Datenaufzeichnung der Kältemengen nicht funktionierte.

Die Datenreihe des Betriebszustandes der Free-Cooling-Pumpe sowie der Kühldeckenpumpe weisen Betriebszeiten von März bis Oktober bzw. Juli bis Oktober auf. Beide Pumpen waren zeitgleich in Betrieb. Messdaten über die Kältemenge der Kühlung sind allerdings nur für Juli bis Oktober 2014 (siehe Abbildung 138) vorhanden.

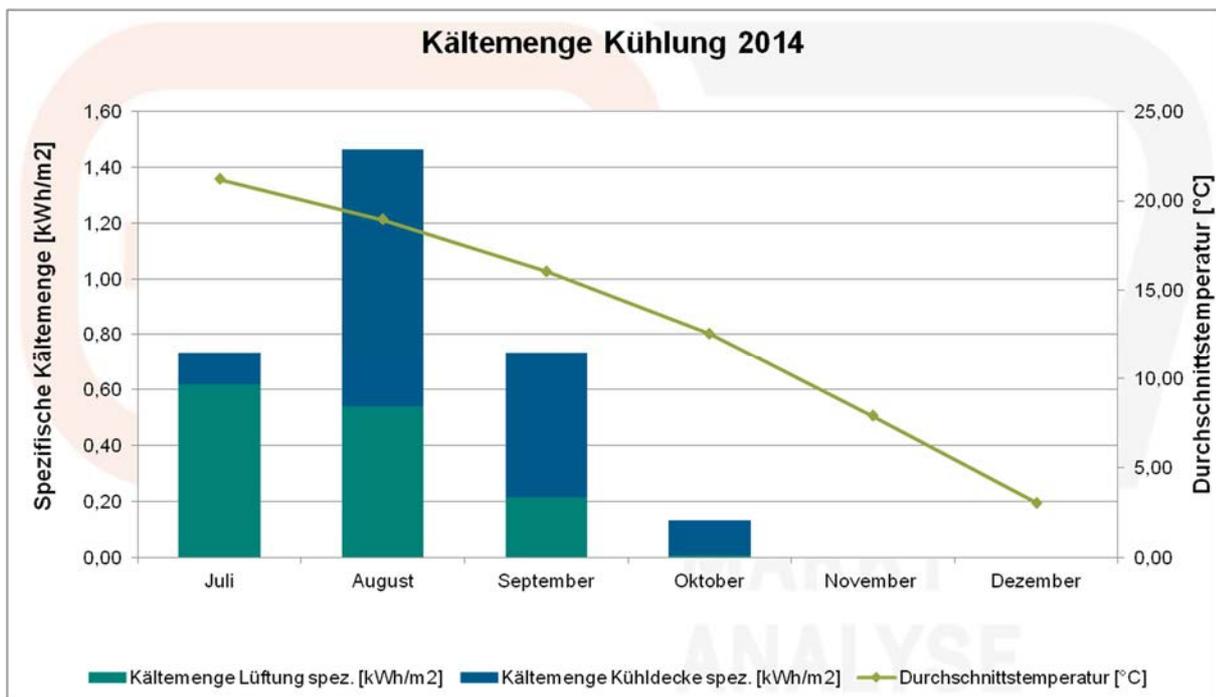


Abbildung 138: Monatsbilanz Kühlenergie an das Kälteregister der Lüftung und die Kühldecke im Jahr 2014

Gemessener Kühlenergieverbrauch:

- Bereitgestellte Kältemenge Free-Cooling (12.07.2014 – 31.12.2014) 4.600 kWh
- Kühlenergieverbrauch Kälteregister der Lüftung 2.070 kWh
- Kühlenergieverbrauch Kühldecke 2.530 kWh

Auffälligkeiten

- Die Auflösung des Kältezählers (Erfassung in MWh) ist für das betrachtete Gebäude zu gering. Kleine Kältemengen können dadurch nicht erfasst werden.
- Der August weist einen deutlich höheren Kühlenergieverbrauch der Kühldecke auf als die restlichen Monate. Dies ist nicht auf die Durchschnittstemperatur im August zurückzuführen,

vielmehr wurden im Juli erst ab 12.07. plausible Daten erfasst. Es ist daher davon auszugehen, dass der tatsächliche Verbrauch im Juli noch wesentlich höher gewesen wäre.

- Im ersten Halbjahr 2014 wurden keine Daten erfasst. Es wurde entweder nicht gekühlt, wahrscheinlicher aber funktionierte die Datenaufzeichnung nicht.
- Auf Basis der Daten kann nicht nachvollzogen werden, welche Kältemengen von der Wärmepumpe erzeugt wurden und welche über Free Cooling aus den Tiefenbohrungen bereit gestellt wurden. Laut Auskunft des Auftragnehmers des Gebäudeeigentümers wird die gesamte Kühlenergie von den Tiefenbohrungen über Free Cooling bezogen. Die Wärmepumpe wird demnach nicht für den Kühlbetrieb eingesetzt.

Fazit

Die fehlenden Daten der Kälteerzeugung und -abgabe aus dem ersten Halbjahr 2014 sowie die zu geringe Datengenauigkeit (Aufzeichnung in MWh) lassen kaum Schlüsse über die Effizienz und die Regelungsparameter des Kühlsystems zu.

Es zeigt sich, dass der im Betrachtungszeitraum gemessene Kühlenergieverbrauch ca. zur Hälfte über das Kühlregister der Lüftung und zur anderen Hälfte über die Kühldecke abgegeben wird.

Rückmeldung Firma TBH (Auftragnehmer Monitoringdatenauswertung)

Laut Auskunft der Firma TBH erfolgt keine Kälteerzeugung über die Wärmepumpe, sondern ausschließlich über Free Cooling.

9.9.4.5 Stromverbrauch

Der vom Monitoringsystem erfasste Stromverbrauch für das Jahr 2014 betrug 85.690 kWh. Unabhängig vom Messsystem wurde der Jahresstromverbrauch der Filiale mittels der Energieabrechnung eruiert. Die Daten daraus sind für das Jahr 2014 in Tabelle 43 angeführt. Zwischen dem vom Monitoringsystem erfassten Stromverbrauch und dem vom Zähler erfassten Wert liegt eine Diskrepanz vor. Die Differenz wird zum Großteil durch die Stromerzeugung durch die Photovoltaikanlage begründet. Eine Differenz zwischen gemessenem Stromverbrauch abzüglich Eigenerzeugung durch PV und der Endabrechnung von 2.993 kWh bleibt. Es ist davon auszugehen, dass es Verbraucher gibt, die nicht vom Monitoringsystem erfasst werden.

Tabelle 43: Jahresstromverbrauch der gesamten Filiale (Zählerstand)

Jahr	Stromverbrauch (Zähler)	Stromverbrauch (Monitoring)
	<i>kWh/a</i>	<i>kWh/a</i>
2014	69.614	85.690

Fazit

Die Abrechnungsdaten und die aufgezeichneten Energieverbrauchs- und –erzeugungsdaten aus dem Monitoringsystem stimmen nicht überein. Die Differenz ist zum einen auf die Stromerzeugung durch die Photovoltaikanlage zu erklären und auf der anderen Seite wird angenommen, dass es im Gebäude weitere Verbraucher gibt, die nicht vom Monitoringsystem erfasst werden.

Rückmeldung Gebäudeeigentümer

Die Zählerstände und Abrechnungsdaten des Energieversorgers stimmen überein. Die Differenz zu den Monitoringdaten hat den Grund, dass die Splitklimaanlage für den Serverraum sowie die Aufzugsanlage nicht vom Monitoring erfasst werden.

Gesamtstromverbrauch

In Abbildung 139 wird die Verteilung des Gesamtstromverbrauches im Jahr 2014 nach Verbrauchern dargestellt.

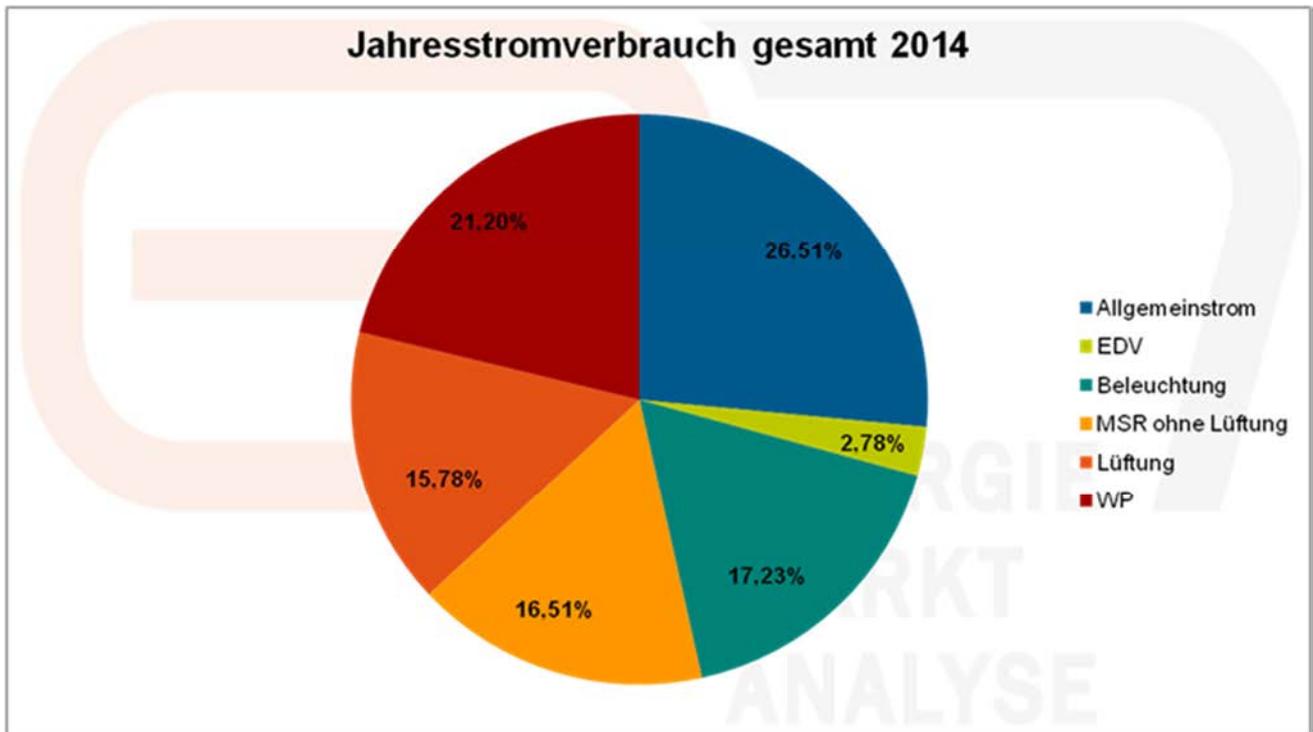


Abbildung 139: Verteilung Gesamtstromverbrauch 2014

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch gesamt (1.1.2014 – 31.12.2014) 85.690 kWh

Auffälligkeiten:

- Der Stromverbrauch für MSR inklusive Lüftung ist mit 32,3 Prozent sehr hoch. In dieser Messreihe ist neben Mess-, Steuer- und Regelungstechnik auch die Lüftung enthalten, die mit 18,8 Prozent einen erheblichen Teil des Stromverbrauchs verursacht.
- Der Stromverbrauch der Wärmepumpe ist im Vergleich zu den anderen Verbrauchern niedrig, vor allem unter dem Gesichtspunkt der häufigen Betriebszeiten im Winter wie im Sommer.
- Der Stromverbrauch für EDV und Allgemeinstrom beträgt ein Viertel des Gesamtstromverbrauchs. Aufgrund der Nutzungsart des Gebäudes ist dies realistisch.

Abbildung 140 zeigt den monatlichen spezifischen Stromverbrauch pro Quadratmeter BGF gegliedert nach Verbrauchern. Auf der negativen Skala ist die Stromerzeugung durch die Photovoltaikanlage dargestellt.

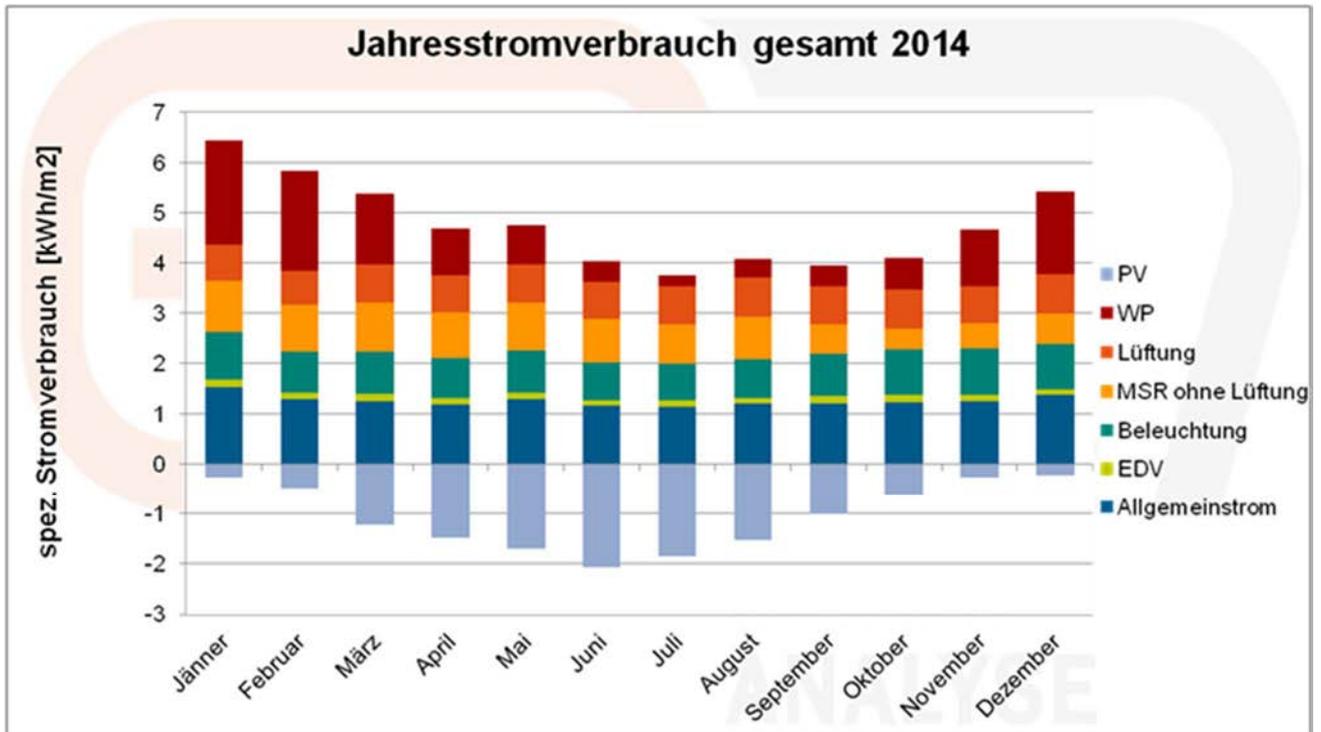


Abbildung 140: Monatlicher spezifischer Stromverbrauch und –erzeugung nach Verbrauchern, 2014

Auffälligkeiten:

- Der Stromverbrauch weist einen deutlich saisonalen Verlauf mit geringen Verbräuchen in den Sommermonaten auf.
- Deutlich zu erkennen ist der hohe Anteil am Stromverbrauch der MSR inkl. Lüftung. Gegen Ende des Jahres reduziert sich der Anteil geringfügig. Auffällig ist, dass der Verbrauch im Sommer nicht reduziert ist. Was darauf schließen lässt, dass der Stromverbrauch etwaiger Pumpen nur einen geringen Teil ausmacht.
- Das Stromverbrauchsprofil ist generell als unauffällig zu bezeichnen.

Nachfolgend werden die einzelnen Stromverbraucher separat betrachtet und analysiert.

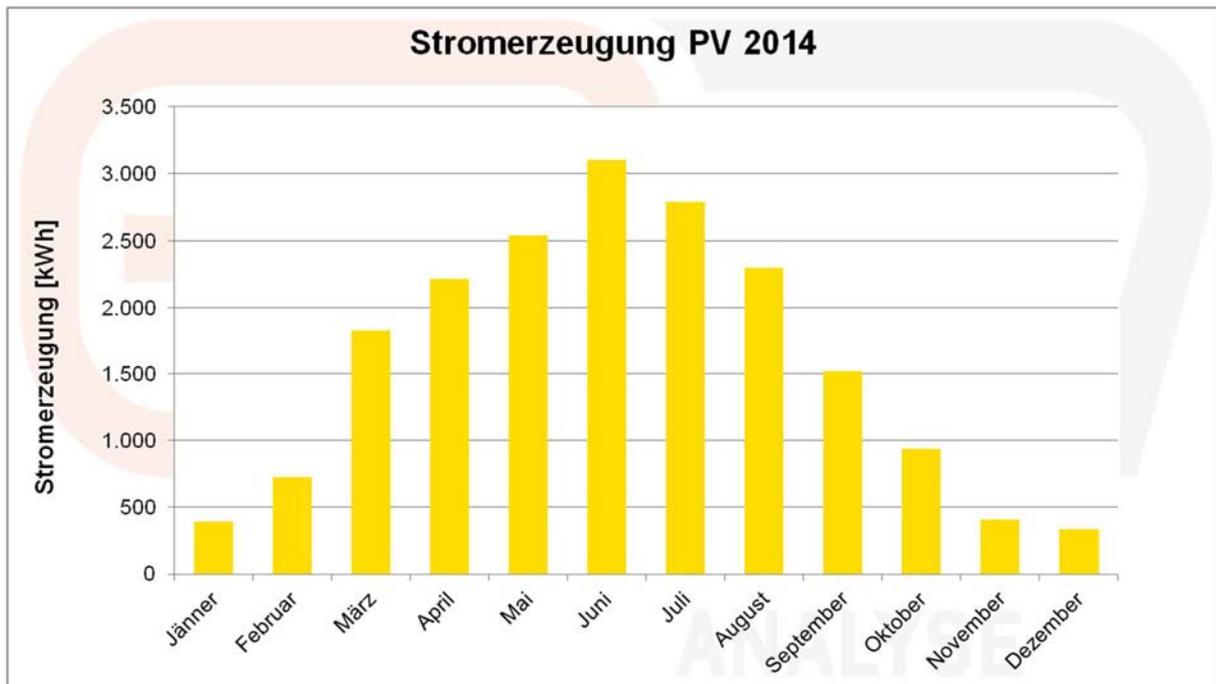
Photovoltaik

Abbildung 141: Monatsbilanz Erträge der Photovoltaikanlage in kWh

Gemessene Stromerzeugung:

- Stromerzeugung der Photovoltaikanlage (1.1.2014 – 31.12.2014) 19.069 kWh
- Prozent des Gesamtstromverbrauchs 22,2 Prozent

Der spezifische Ertrag der Anlage beträgt 953 Kilowattstunden pro Kilowatt Peak und entspricht gängigen Anlagen.

Die Erzeugungskurve weist keine Auffälligkeiten auf.

Allgemeinstrom

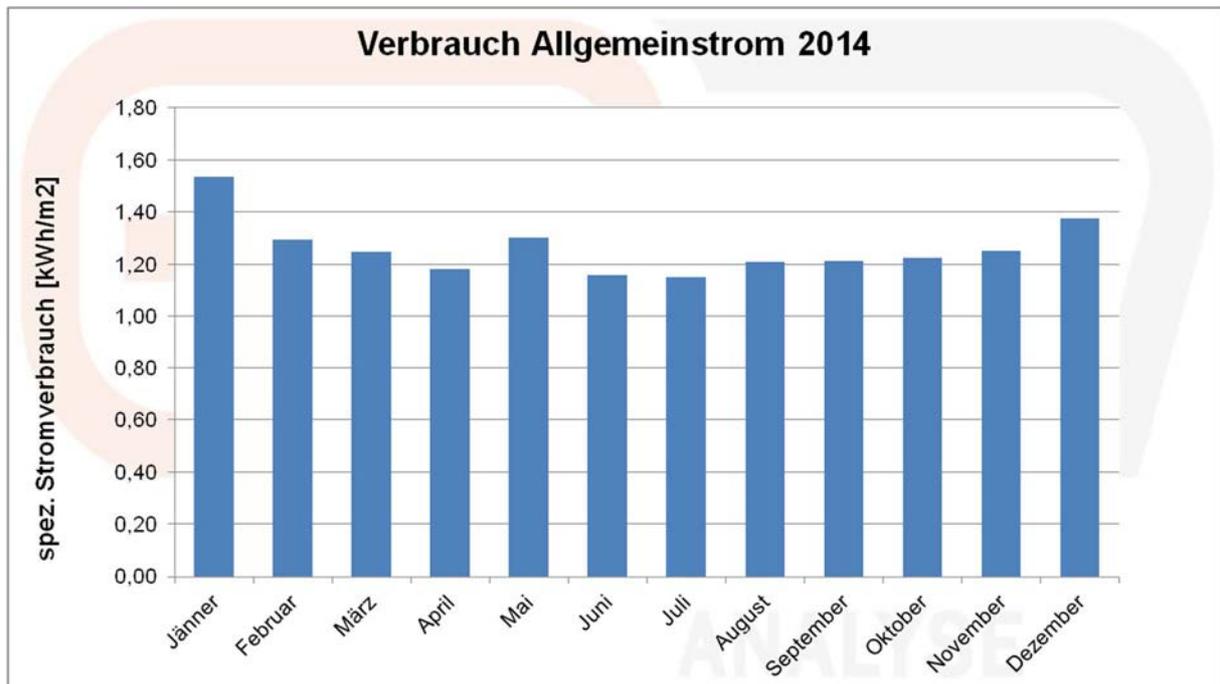


Abbildung 142 Monatsbilanz Stromzähler Allgemeinstrom in kWh/m²

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch für Allgemeinstrom (1.1.2014 – 31.12.2014) 22.715 kWh
- Anteil am Gesamtstromverbrauch: 26,5 Prozent

Auffälligkeiten:

- Die Wintermonate Jänner und Dezember weisen die höchsten spezifischen Verbräuche auf. Es wird angenommen, dass in dieser Messreihe auch Pumpen enthalten sind.
- Der Jahresverlauf ist saisonal abhängig. Der Mai stellt einen deutlichen Ausreißer dar.

Beleuchtung

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch für Beleuchtung (1.1.2014 – 31.12.2014) 14.764 kWh
- Anteil am Gesamtstromverbrauch: 17,2 Prozent

Auffälligkeiten:

- Auch bei der Beleuchtung zeigt der Mai 2014 eine deutliche Abweichung zum saisonalen Verlauf der restlichen Monate.

EDV

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch für EDV (1.1.2014 – 31.12.2014) 2.380 kWh
- Anteil am Gesamtstromverbrauch: 2,7 Prozent

Der Stromverbrauch für EDV im Vergleich zu den restlichen Verbrauchern war im Jahr 2014 sehr gering. Der Server hängt nicht an diesem Stromkreis.

Auffälligkeiten:

- Der spezifische Stromverbrauch für EDV ist generell sehr niedrig, ist aber stark abhängig von den Anwesenheitszeiten der MitarbeiterInnen (Anzahl der Arbeitstage pro Monat und Urlaubszeiten), wodurch sich die monatlichen Unterschiede ergeben.

Wärmepumpe

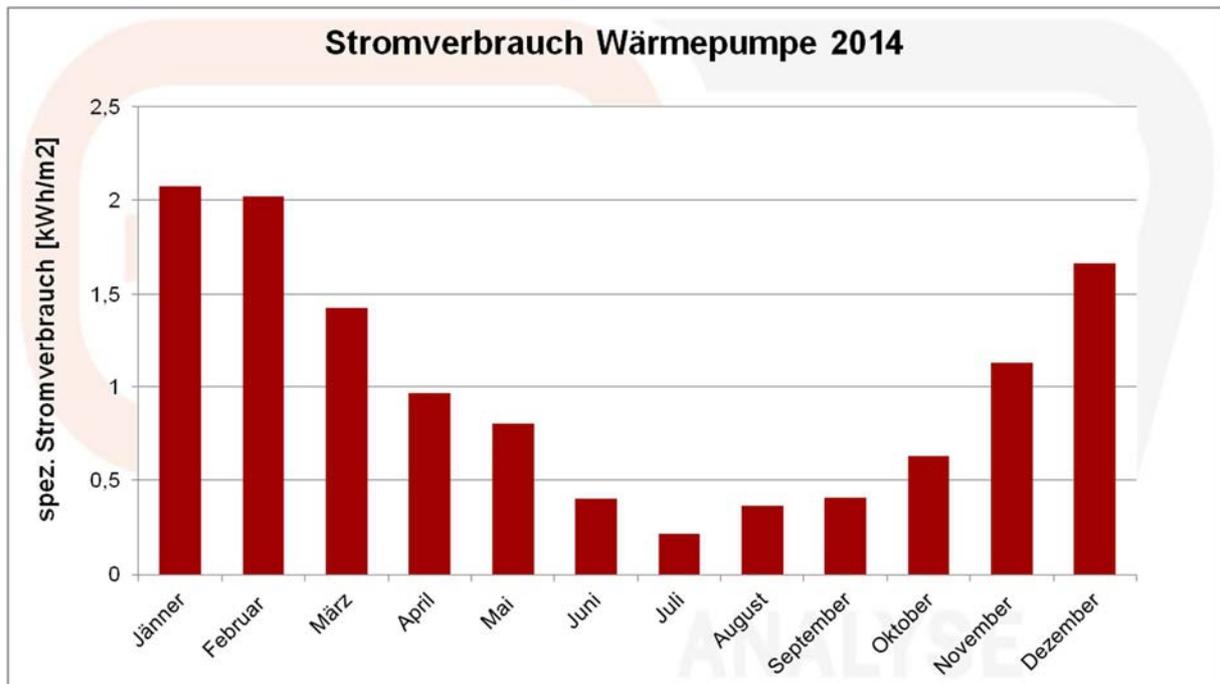


Abbildung 143: Monatlicher elektrischer Energieverbrauch der Wärmepumpe in kWh/m²

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch für die Wärmepumpe (1.1.2014 – 31.12.2014) 18.163 kWh
- Anteil am Gesamtstromverbrauch: 21,2 Prozent
- Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe 3,36

Auffälligkeiten:

- Der Stromverbrauchsanteil der Wärmepumpe am Gesamtstromverbrauch ist niedrig
- Besonders auffällig ist, dass die Wärmepumpe auch in den Sommermonaten von April bis September betrieben wird und Wärme erzeugt, was durch falsche Heizgrenztemperaturen und Wärmeanforderung durch die Lüftungsanlage verursacht wurde. Der Verbrauchsanteil der Wärmepumpe in den Sommermonaten (Mai-September) am gesamten Stromverbrauch der Wärmepumpe im Jahr 2014 betrug 18 Prozent.

Fazit

Der Stromverbrauch der Wärmepumpe ist eher niedrig. Die Wärmepumpe ist allerdings auch im Sommer in Betrieb, da Wärme vom Lüftungssystem angefordert wird. Die fehlerhafte Heizungsregelung ist der Grund dafür. Die errechnete Energieeinsparung aus der Optimierung der Regelungsparameter beträgt stromseitig 18 Prozent oder 3.270 kWh/a.

Rückmeldung Gebäudeeigentümer

Die Regelungstechnik wurde nach Erstellung des Berichtes für 2014 angepasst. Die Betriebszeit im Sommer wurde korrigiert.

MSR inkl. Lüftung

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch für MSR (1.1.2014 – 31.12.2014) 27.668 kWh
- Anteil am Gesamtstromverbrauch: 32,2 Prozent

Auffälligkeiten:

- Der spezifische Stromverbrauch der MSR ist sehr hoch, da diese Messreihe laut Auskunft durch die Firma TBH die gesamte Lüftungsanlage enthält.
- Ab September 2014 sank der spezifische Stromverbrauch für MSR deutlich.

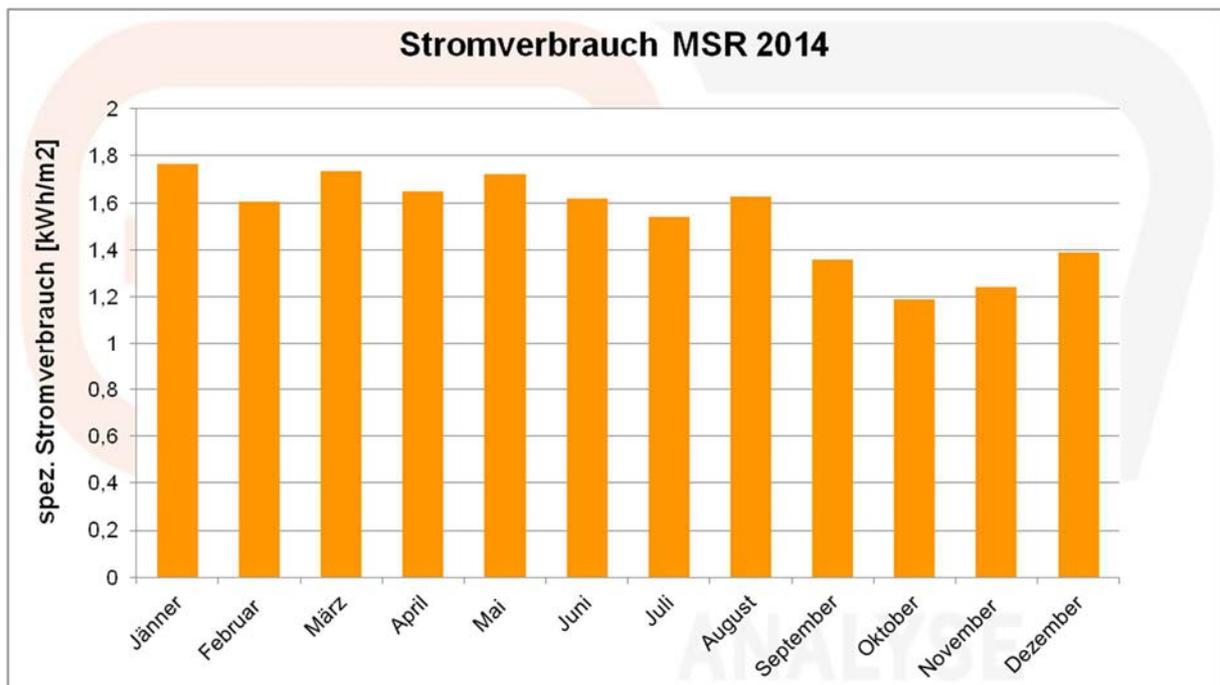


Abbildung 144: Monatsbilanz Stromzähler der MSR in kWh/m²

- Das Tagesprofil des Zählers zeigt einen Grundverbrauch von konstant 0,5 kWh in den Nachtstunden und einen Anstieg zwischen 05:00 Uhr und 18:00 Uhr. Auch an Sams- und Sonntagen steigt der Stromverbrauch am Morgen an, fällt aber früher wieder ab. Die Profilstruktur zeigt eine nicht optimal bedarfsorientierte Regelung der Lüftung mit Laufzeiten außerhalb der Gebäudenutzung.

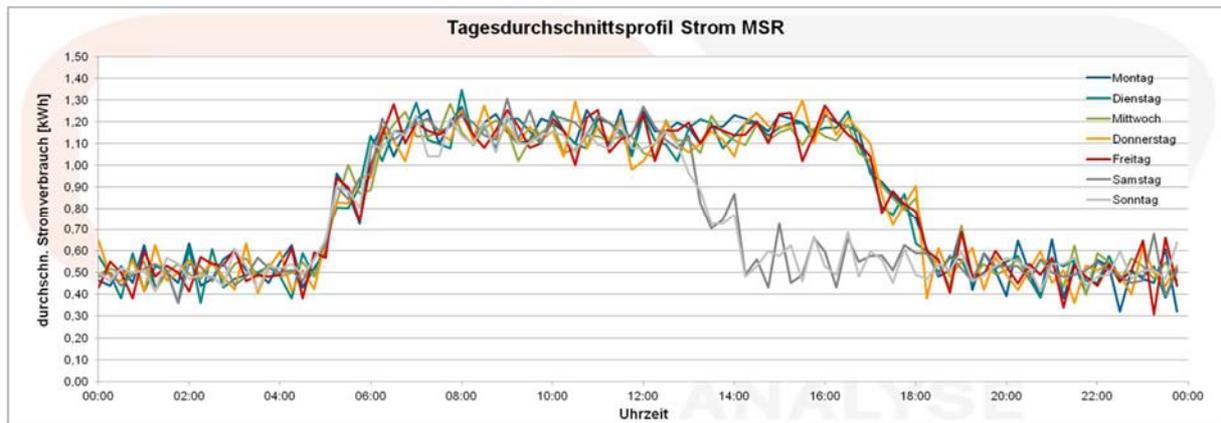


Abbildung 145: Tagesdurchschnittsprofil Stromverbrauch MSR gesamt [kWh], 2014

Lüftungsanlage (Ventilatoren)

Der Stromverbrauch der Ventilatoren der Lüftungsanlage wird separat aufgezeichnet. Die Lüftung wird auch als Stützlüftung zur Kondensatvermeidung an den Kühldecken verwendet.

Gemessener Stromverbrauch:

- Stromverbrauch für Lüftung (1.1.2014 – 31.12.2014) 13.520 kWh
- Anteil am Gesamtstromverbrauch: 15,7 Prozent

Der Carpet Plot in Abbildung 146 stellt den Energieverbrauch in kWh der Lüftung als 15-Minuten-Werte über das gesamte Betrachtungsjahr 2014 dar und lässt Schlussfolgerungen über die Lüftungsregelung zu. Auf der x-Achse ist der zeitliche Verlauf von 0 bis 24 Uhr und auf der y-Achse das Datum von 1.1.2014 bis 31.12.2014 dargestellt.

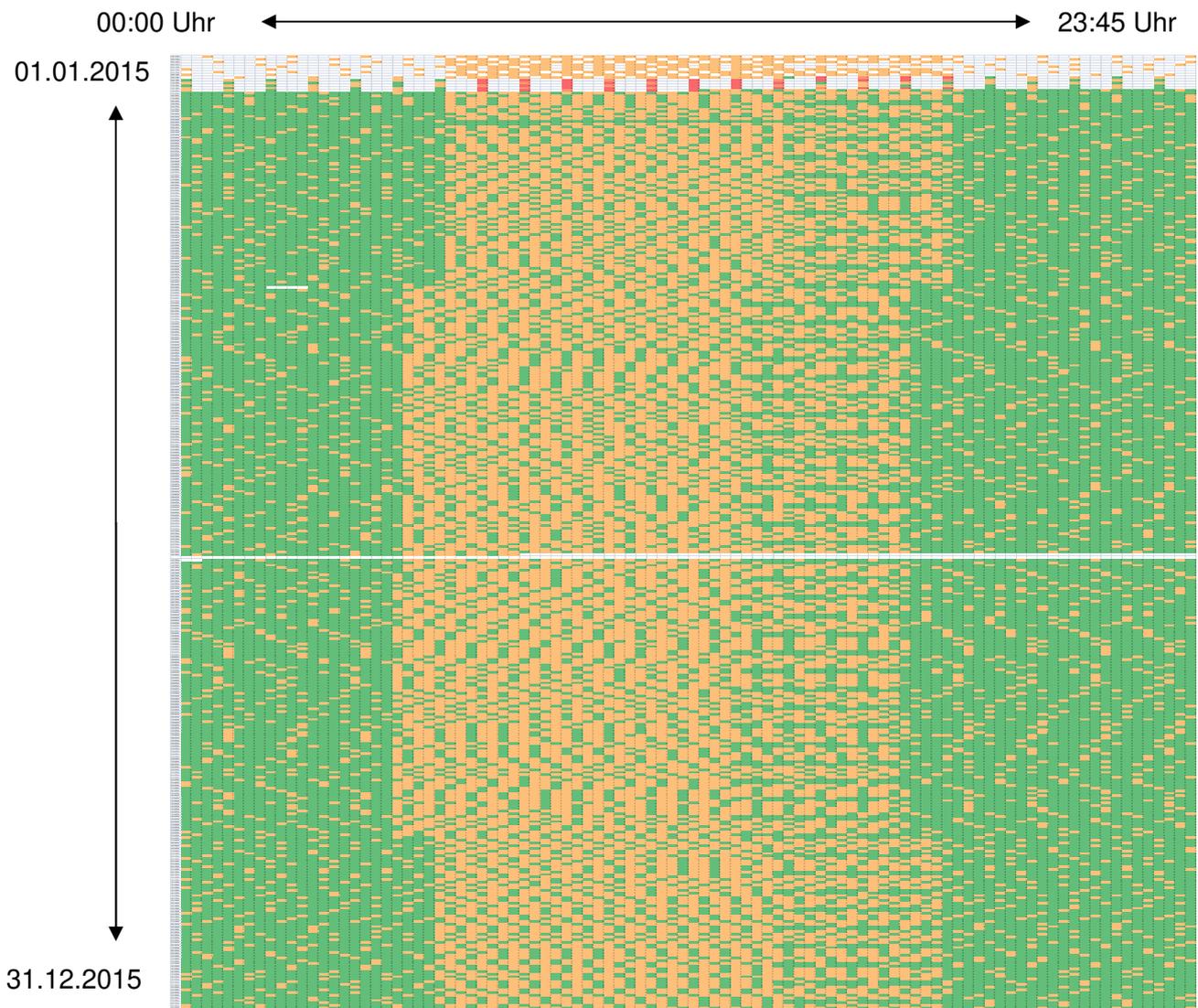


Abbildung 146: Carpet Plot Stromverbrauch Lüftung [kWh] 2014

Auffälligkeiten

- In den ersten beiden Wochen im Jänner kam es zu Aufzeichnungsfehlern. Es wurden über weite Perioden keine Werte aufgezeichnet und danach die fehlenden Werte kumuliert (rote Zellen).
- Zwischen 1. April und 25. Oktober (Sommerzeit) wurden die Betriebszeiten der Lüftungsanlage zeitlich um eine Stunde vorverlegt.
- Die eingestellten Betriebszeiten sind deutlich zu erkennen
 - Winter: 06:00 bis 18:00 Uhr
 - Sommer: 05:00 bis 17:00 Uhr
- Eine Grundlüftung findet auch außerhalb der Betriebszeiten statt. Das Einsparpotenzial für Wochenend- und Nachtabschaltung außerhalb der Kühlperiode beträgt 2.600 kWh oder 20 Prozent des Stromverbrauchs.

Abbildung 147 stellt den Stromverbrauch der Lüftungsanlage exemplarisch für eine Woche im Juni 2014 dar.

Auffälligkeiten:

- In der Nacht ist der Stromverbrauch zwar geringer, aber trotzdem deutlich vorhanden. Die Ausschaltzeiten der Lüftungsanlage sind gering.
- Eine Nachtlüftung (Ventilative Cooling) findet nicht statt.

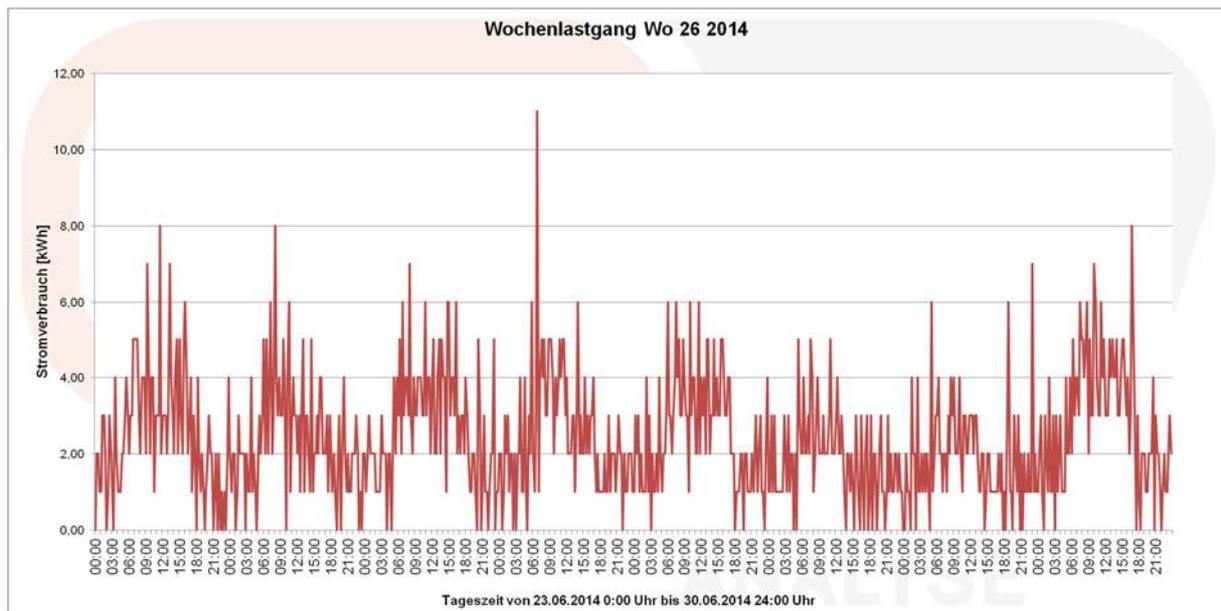


Abbildung 147: Wochenlastgang Gesamtstromverbrauch Wo 26 von 23.06.2014 bis 30.06.2014

Fazit

Der Stromverbrauch der Lüftungsanlage ist durchschnittlich.

Die Regelung der Lüftungsanlage ist nicht optimal. Die Betriebszeiten der Lüftungsanlage sind zwar grob an die Öffnungszeiten der Bank angepasst, allerdings läuft die Lüftung im Teilbetrieb auch in den Nachtstunden und an Wochenenden. Die errechnete Energieeinsparung aus der Optimierung der Regelungsparameter beträgt 2.600 kWh/a.

Rückmeldung Firma TBH (Auftragnehmer Monitoringdatenauswertung)

Betriebsweise der Lüftung wurde ebenfalls angepasst.

9.9.4.6 Behaglichkeit und CO₂-Konzentration

Um die personenbezogenen Komfortparameter im Gebäude zu erfassen, wurden in der Zuluft und den Abluftsträngen des Erdgeschoß, Obergeschoß und Dachgeschoß Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur und CO₂-Konzentration gemessen.

Das Verhältnis von Raumtemperatur und relativer Luftfeuchte gibt Aufschluss über die Behaglichkeit im Innenraum. Vor allem die Messwerte der Abluft geben Aufschluss über den Raumlufthofort (Temperatur, Feuchte und CO₂-Konzentration der abgeführten Luft). Da die Messwerte in den Abluftsträngen fehlerhaft waren (siehe Abbildung 149), konnten diese für die Bewertung des Raumlufthoforts nicht herangezogen werden. Beispielhaft wurde der Raumlufthofort daher für die Zuluft ermittelt und in Abbildung 148 dargestellt.

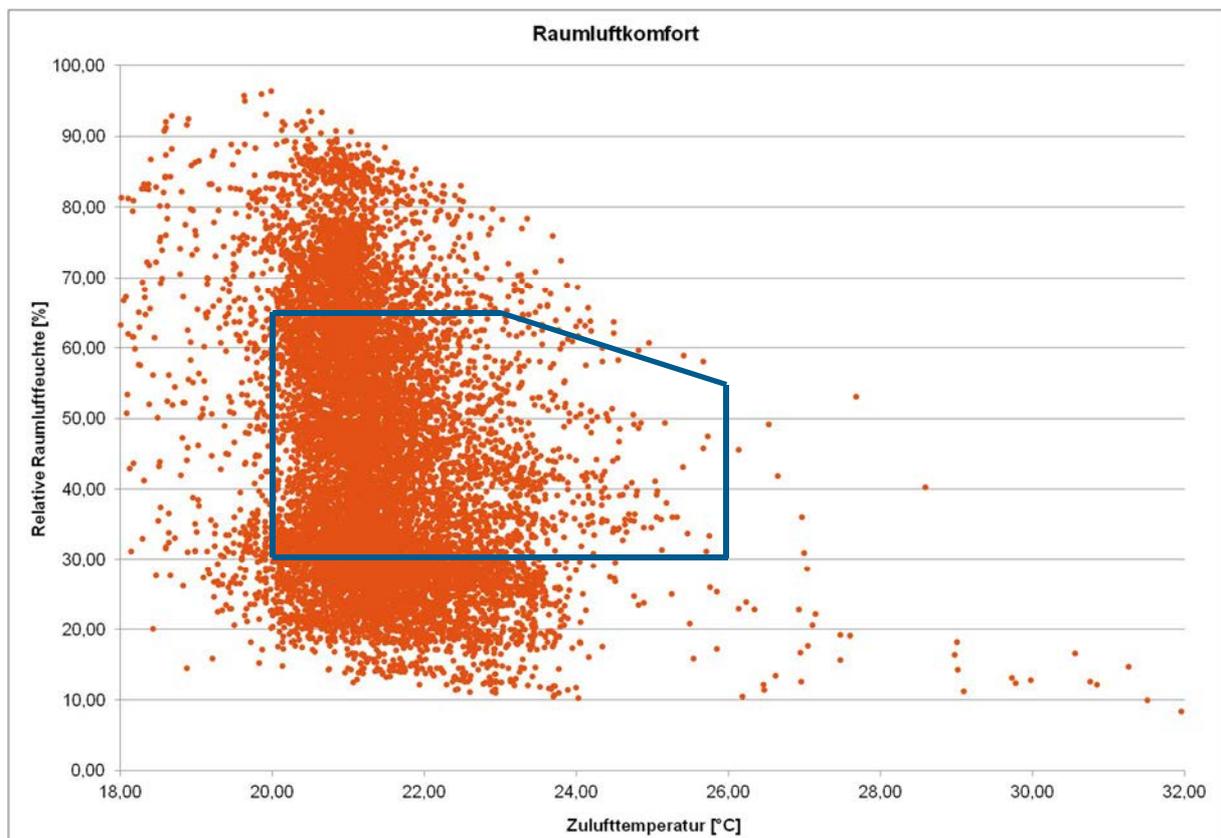


Abbildung 148: Hofortdiagramm Zuluft; Wochenenden und Nachtstunden gefiltert; Messpunkte des Jahres 2014

Abbildung 148 zeigt das Hofortdiagramm³⁸ für die Zuluft für den Zeitraum MO-FR 06:00 Uhr bis 18:00 Uhr (Feiertage nicht berücksichtigt). Die Messwerte liegen zu 46 % außerhalb des

³⁸ Erklärung Diagramm: In dieser Darstellung sollten möglichst alle Datenpunkte innerhalb der grünen Zone sein. Dieser Bereich kennzeichnet den Bereich mit Raumlufthofortzuständen, die von den meisten Menschen als angenehm und komfortabel bezeichnet werden. Davon abweichend ist die Luft entweder zu trocken/zu feucht und/oder zu kalt/zu warm.

Komfortbereichs, da die Luftfeuchtigkeit in der Zuluft häufig zu trocken (unterhalb der blauen Zone) bzw. zu feucht (oberhalb der blauen Zone) ist. Die Zulufttemperatur hingegen liegt mehrheitlich (95 %) im optimalen Bereich zwischen 20 und 26 °C.

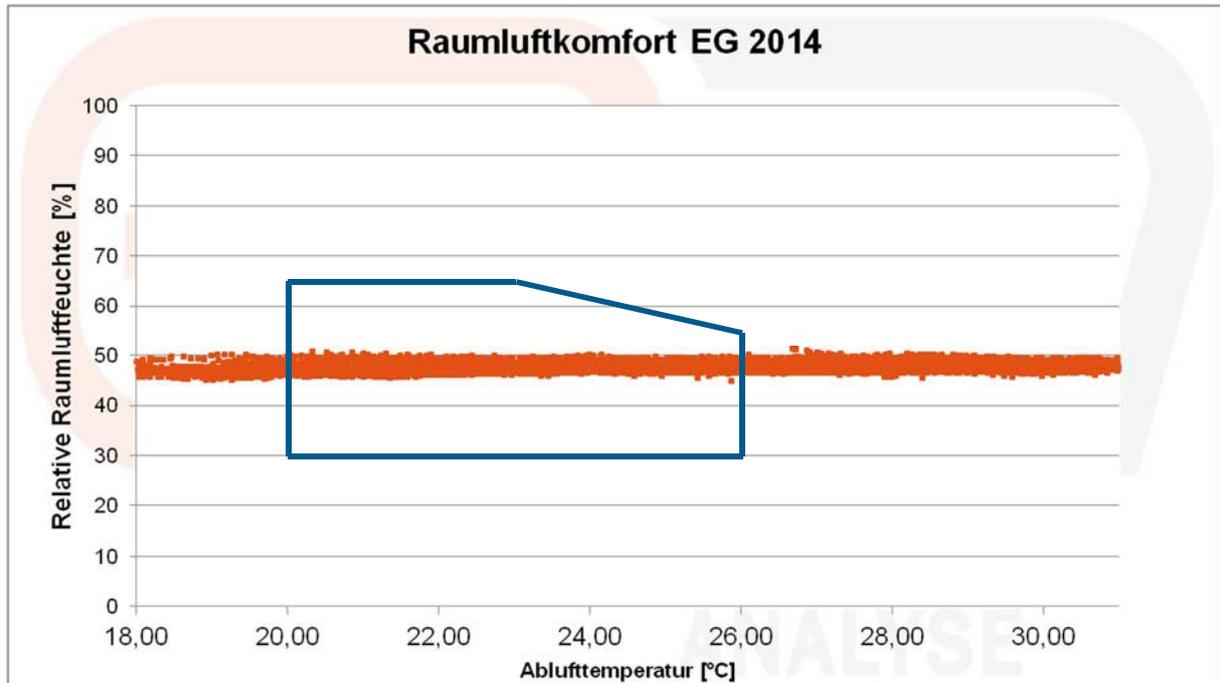


Abbildung 149: Komfortdiagramm Abluft EG; Wochenenden und Nachtstunden gefiltert; Messpunkte des Jahres 2014

Abbildung 149 stellt exemplarisch das Behaglichkeitsdiagramm der Abluft für das Erdgeschoß dar. Die gemessene Ablufttemperatur im Erdgeschoß bewegte sich im Betrachtungszeitraum (01.01. bis 31.12.2014, MO-FR, 06:00 Uhr bis 18:00 Uhr) zwischen 8,85 und 63,0 °C und die gemessene relative Feuchtigkeit der Abluft lag zwischen 44,03 und 51,57 Prozent. Beide Messreihen sowie jene Temperatur- und Feuchtereihen für das Obergeschoß und Dachgeschoß sind aufgrund der unrealistischen Temperaturspreizung und zu geringer Spreizung der relativen Feuchte als nicht plausibel zu bewerten.

Abbildung 150 stellt den durchschnittlichen Verlauf der CO₂-Konzentration der Abluft im Bereich Erdgeschoß im Jahr 2014 dar. Deutlich zu sehen ist, dass die durchschnittliche Spitzenbelastung auf 616 ppm ansteigt. Die CO₂-Konzentration kann allgemein als niedrig bewertet werden. Das Erdgeschoß wird an Dienstag- und Donnerstagnachmittagen offenbar nicht genutzt, da an diesen Tagen ab Mittag die Konzentration im Vergleich zu den anderen Werktagen deutlich absinkt. An Wochenenden ist die CO₂-Konzentration konstant niedrig und liegt durchschnittlich zwischen 420 und 460 ppm.

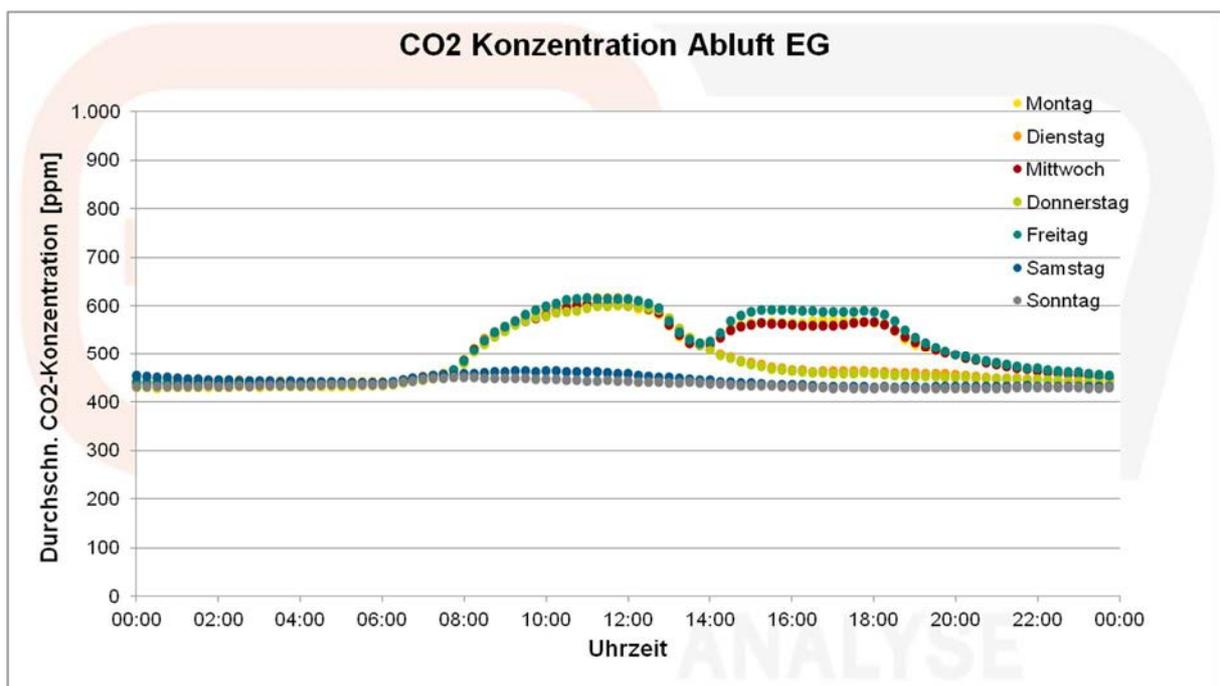
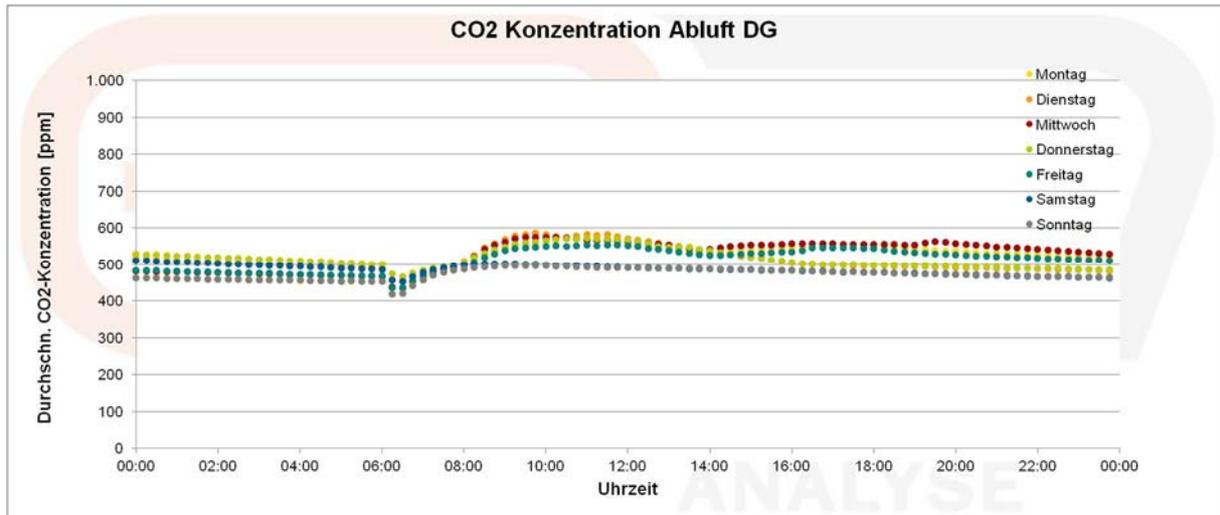


Abbildung 150: Durchschnittlicher Tagesverlauf der CO₂ Konzentration nach Wochentagen, EG, 2014

Die Grafik für das Obergeschoß wurde nicht dargestellt, da die durchschnittlichen CO₂-Konzentrationen in diesem Geschoß immer zwischen 400 und 500 ppm liegt und keine Auffälligkeiten aufweisen.

Abbildung 151 zeigt die durchschnittlichen Tagesprofile der CO₂-Konzentration für das Dachgeschoß. In diesem Fall steigt die durchschnittliche Maximalbelastung auf etwa 590 ppm an Werktagen zu Mittag. Die Kurven weisen einen äußerst flachen Verlauf auf.

Abbildung 151: Tagesverlauf der CO₂ Konzentration am 15. September 2014

Die maximale CO₂-Konzentration im Jahr 2014 von 1.155 ppm wird am 31.10.2015 um 16:45 im Dachgeschoß erreicht. Der maximal zulässige Grenzwert am Arbeitsplatz von 5.000 ppm wurde zu keinem Zeitpunkt annähernd erreicht. Die Lüftungsanlage erfüllt ihre Aufgabe bezüglich des hygienischen Luftwechsels einwandfrei.

Fazit

Die über die Lüftungsanlage zugeführte Luft weist häufig eine zu hohe bzw. zu niedrige Luftfeuchtigkeit auf. Wie sich das bei Durchmischung mit der Raumluft auswirkt, kann allerdings nicht beurteilt werden, da die Datenmessung im Abluftstrang fehlerhaft war. Es wird empfohlen, die MitarbeiterInnen zu befragen, ob die Behaglichkeit in den Innenräumen gegeben ist. Die Installation einer Befeuchtungseinheit in der Lüftung wäre gegebenenfalls möglich.

Hinsichtlich CO₂-Konzentration weist das Gebäude eine ausgesprochen hohe Raumluftqualität auf. Die CO₂-Konzentrationen übersteigen im gesamten Betrachtungszeitraum in 0,04 Prozent der Zeit den Wert von 1.000 ppm.

Rückmeldung Gebäudebetreiber

Die zu geringe Raumluftfeuchte wurde von MitarbeiterInnen bereits beanstandet und der Haustechnikfirma gemeldet. Daraufhin wurden dezentrale Befeuchtungseinheiten in den Büros installiert.