

ENERGETISCHE SANIERUNG
DES VERWALTUNGSGEBÄUDES
DES BISCHÖFLICHEN GENERALVIKARIATS
PAULUSSTRASSE 5 36037 FULDA

FORSCHUNGSBERICHT



INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	4
Projektbeteiligte	6
Wettbewerbsverfahren	7
Umweltrelevanz der Thematik	9
Projektkenndaten:	10
Projektansatz	12
Thermodynamische Simulation	14
Bauphysikalische Untersuchung von Innenraumdämmungen	15
Simulationen für Energienachweise	19
Der Versuchsaufbau	26
Die endgültige Ausführung	33
Dachkollektoren für die solare Energiegewinnung	44
Untersuchung über den Einsatz von Photovoltaik	56
Funktionsbeschreibung der Gebäudeautomation	63
Zusammenfassung	67

EINLEITUNG

Gebäude, die in den 60er Jahren errichtet wurden, sind meist unter ökonomischen Prämissen hergestellt worden. Die größte Wohnraumnot war behoben, der Materialmangel infolge des Krieges wurde durch bessere Qualität und modernere Produktionsmethoden ersetzt. Doch Ölkrise und Treibhauseffekt waren Unbekannte – niemand dachte an das Weltklima; der Ölpreis war so niedrig, dass das Thema Bauphysik praktisch keine Rolle spielte.

Das Generalvikariat des Bistums Fulda, wurde 1965 fertig gestellt. Als Architekt zeichnet der Diözesanbaumeister Rudolf Schick. Es ist ein zweigeschossiger, streng rhythmisierter Stahlbetonbau, der bescheiden und demütig hinter der ehemaligen Mauer des Bischofsgartens in Domnähe platziert wurde. Der Gebäudetyp ist für die Architektur der 60er Jahre repräsentativ. Ein klar gegliederter Betonskelettbau mit regelmäßigem Raster, zweigeschossig mit Innenhof und mit einer Unterkellerung, die die Hangsituation des Ortes gut ausnutzt. Die Stahlbetonstützen und die Stahlbetondecken sind mit nur sehr geringen bzw. teilweise ohne weitere bauphysikalische Maßnahmen sichtbar nach außen geführt. Der architektonische Anspruch war die Wahrhaftigkeit der sichtbar belassenen Konstruktion mit der Regelmäßigkeit der Öffnungen. Einziger Schmuck waren die Natursteinverkleidung der Brüstungen und Wände sowie zwei formale Ausnahmen am Eingang und bei den Sitzungsräumen.

Die Denkmalschutzbehörde zollt dieser Architektur ihren besonderen Respekt, weil diese Arbeit vor allem im hochsensiblen Bereich der Propstei wegen der zurückhaltenden Architektur ein herausragendes Beispiel ist.

Zu den Gebäudedaten gehört eine Heizung mit einem Niedertemperatur-Gaskessel aus dem Jahre 2003. Die Wärmeverteilung erfolgt über Radiatoren im Brüstungsbereich, in der Eingangshalle durch Konvektoren vor den Glasflächen. Eine Lüftungsanlage ist nicht vorhanden. Warmwasser wird nur in der Küche benötigt; die Kühlung der Kopierer- und Serverräume erfolgt dezentral. Der Heizenergiebedarf beträgt 523.443 kWh/a (Durchschnitt über 5 Jahre; Angaben aus dem Rückfragenkolloquium des Wettbewerbs). Das Gebäude ist zurzeit nicht barrierefrei.

Eine Sanierung mit einer neu aufgesetzten hoch gedämmten Fassade, die so oder so nur eine künstliche Nachbildung wäre, verbietet sich von selbst. Nicht nur, weil das Prinzip der Wahrhaftigkeit verleugnet würde, sondern auch, weil die Kohärenz von innerer und äußerer Proportion verloren ginge. Eine Sanierung, die ganz auf eine Innendämmung setzt, ist bauphysikalisch nicht unproblematisch und negiert dabei die Potenziale einer Strategie, die solare Energiegewinne in das energetische Konzept mit einbezieht.



Südseite vom Bischofsgarten aus gesehen. Alter Zustand vor der Sanierung

Innenhof zur Westseite gesehen: Alter Zustand vor der Sanierung
Foto: Claudius Pfeifer Berlin



PROJEKTBETEILIGTE**ANTRAGSTELLER****BISCHÖFLICHES GENERALVIKARIAT**

Bauabteilung
Paulustor 5
36 037 Fulda
Diözesanbaumeister Dr. Burghard Preusler
Mitarbeiter der Bauabteilung: 6 Sachbearbeiter
zuzügl. Verwaltungsangestellte

KOOPERATIONSPARTNER:**PFEIFER KUHN ARCHITEKTEN FREIBURG**

Prof. Günter Pfeifer BDA / DWB
Prof. Dipl. Ing. Christoph Kuhn BDA / DWB
Gartenstraße 19
79098 Freiburg
tel 0761 296769 -0
fax 0761 296769-20
Mail: architekten@pfeifer-kuhn.de
Anzahl der Mitarbeiter: 9

in Arbeitsgemeinschaft mit

BALCK UND PARTNER

Facilty Engineering
Prof. Henning Balck
Dipl. Ing. Gerhard Kuder
Obere Neckarstraße 21
69 117 Heidelberg
fon 06221 5025890
fax 06221 5025899
Mail: kuder@balck-partner.de
Anzahl der Mitarbeiter: 3
Projektleitung: Gerhard Kuder

**IPS INSTUT FÜR PROJEKTMETHODIK
UND SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN**

Prof. Henning Balck
Obere Neckarstraße 21
69 117 Heidelberg
fon 06221 5025890
fax 06221 5025899
Mail: balck@IPS-Institut.de
Anzahl der Mitarbeiter: 4

WETTBEWERBSVERFAHREN.

Der Antragsteller hat zur Erlangung von Ideen der energetischen Sanierung einen nichtoffenen Wettbewerb gemäß den Richtlinien für Planungswettbewerbe (RPW 2008) ausgeschrieben.

Der Wettbewerb sah 4 gesetzte Teilnehmer vor, weitere 6-8 Teilnehmer sollten in einem vorgeschalteten Bewerbungsverfahren zur Teilnahme ermittelt werden. Das Verfahren war anonym. Die Kooperationspartner Pfeifer Kuhn Architekten waren als gesetzte Teilnehmer im Wettbewerbsverfahren beteiligt.

Der Wettbewerb wurde am 20.4.2011 von einem Gremium von Sach- und Fachpreisrichtern entschieden. Nach Beratungen der Jury kam diese zu der Auffassung: „Keine der Lösungen ist in allen Gesichtspunkten überzeugend. Deshalb wird dem Auslober empfohlen, Nachbearbeitungen zu beauftragen.“ (Quelle: Protokoll der Preisgerichtssitzung vom 24.4.2011)

Die Jury verteilte drei zweite Preise; die Architekten Pfeifer Kuhn Freiburg erhielten den 3. Preis wegen des „innovativen Energiekonzepts“. In der schriftlichen Beurteilung zur Wettbewerbsarbeit wurde Folgendes bemerkt:

Die Arbeit bietet einen interessanten innovativen Ansatz. Die Wirksamkeit der zweischaligen Fassade müsste näher untersucht werden. Im Sommer könnte der Zwischenraum überhitzt werden. Rechnerische Nachweise müssten noch verfolgt werden. Energieerzeugung und Wärmeabgabeflächen erscheinen schlüssig. Wärmespeicherverfahren ist ein interessanter Vorschlag, das Speichermaterial (PCM) wäre zu überprüfen (Alternativen sind denkbar). Alternativen zum Dämmstoff Foamglas wären zu untersuchen, Kältebereitstellung zu spezifizieren.

Weiterhin kommt das Preisgericht zu folgender Wertung. „Die Arbeit zeigt inno-

vative Ansätze, die weiter überprüft werden sollten ...“.

UMWELTRELEVANZ DER THEMATIK

Das vorliegende Projekt soll modellhaft ein Gebäude aus den 60er durch Sanierung in ein hoch energieeffizientes Gebäude umwandeln. Im Mittelpunkt stehen hierbei Überlegungen zur aktiven Energiegewinnung und Speicherung von Wärme sowie das Verknüpfen von mehreren energetisch sinnvollen Komponenten.

Ausgangspunkt dieses Modellvorhabens ist die Tatsache, dass das Gebäude im Dezember 2010 vom Hessischen Landesamt für Denkmalpflege als Einzelkulturdenkmal gem. § 2.1 Hess. Denkmalschutzgesetz, aus städtebaulichen, künstlerischen und baugeschichtlichen Gründen eingestuft wurde. Das Landesamt für Denkmalpflege hat insbesondere die Fassade als besonders schutzwürdig eingeschätzt.

Im Zuge des Wettbewerbsverfahren wurden deshalb Arbeiten mit einer neuen davor angebrachten Außendämmung und somit einer neuen nachgebauten Fassade (Fake) von der weiteren Beurteilung ausgeschlossen.

Für den nachhaltigen Umgang mit dem Gebäudebestand bedeutet dies, dass die Ziele der Energieeinsparung nicht nur erreicht, sondern weit übertroffen werden, auch dann, wenn nicht alle Gebäudeteile den vollständigen Nachweis der Wärmedämmung und Dichtigkeit erbringen und die Nutzer ihr Lüftungs- und Heizverhalten nicht grundlegend ändern. Dabei liegt der Schwerpunkt der Umweltrelevanz eben nicht auf der Minimierung der Energieverluste, sondern vielmehr auf der Maximierung der Energiegewinne.

Nachhaltige Architektur geht weit über die Forderung an die Energieeffizienz hinaus. Ökologische und ökonomische Aspekte sowie die Betrachtung langfristiger Lebenszyklen müssen in die Planung und den Betrieb eines Gebäudes einbezogen werden.

Dieses Modellprojekt leistet einen Beitrag für Probleme, die vor allem in Gebäude im denkmalgeschützten Bereich gegeben sind. Es soll damit beispielhaft aufgezeigt werden, dass die Anwendung integrale Planungsmethoden unter Berücksichtigung aller Betrachtungsebenen zu weit nachhaltigeren Sanierung führen kann.

Die Bundesregierung hat gem. § 16 Abs. 4 EnEV denkmalgeschützte Gebäude von der Pflicht zur Erstellung eines Energieausweises ausgenommen. Damit wird von den Anforderungen der EnEV abgewichen, wenn die Erfüllung der Anforderung die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen oder andere Energiesparmaßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen würden. Mit diesem Paragraphen wird zwar klargestellt, dass die Belange des Denkmalschutzes und der Denkmalpflege Vorrang vor der Energieeffizienz haben. Aber letztlich werden damit die unverhältnismäßig hohen Unterhaltungskosten auf den Eigentümer der Immobilie abgewälzt.

Das Forschungsprojekt hat deshalb auch zum Ziel, eine weitaus bessere Energieeffizienz als die zurzeit noch gültige EnEV in der Fassung 2012 zu erzielen.

Darüber hinaus soll mit einer umfangreichen Lebenszyklusbetrachtung das Projekt in allen Belangen unter heizungs-, klima-, belichtungs- und beleuchtungstechnischen Aspekten betrachtet werden.

PROJEKTKENNDATEN

Baujahr des Gebäudes : 1965

Architekt: Diözesanbaumeister Rudolf Schick

Baubeschreibung:

Stahlbetonkonstruktion auf einem gleichmäßigen Fassadenraster.

Stahlbetonstützen, Stahlbetondecken.

Ausfachung der Fassadenbrüstungen mit Natursteinplatten.

Giebelseiten verkleidet mit Natursteinplatten.

Bruttorauminhalt:

Nettogeschossfläche: 3340 qm

PROJEKTANSATZ

GRUNDLEGENDE IDEEN ZUR ERREICHUNG DES PROJEKTZIELES

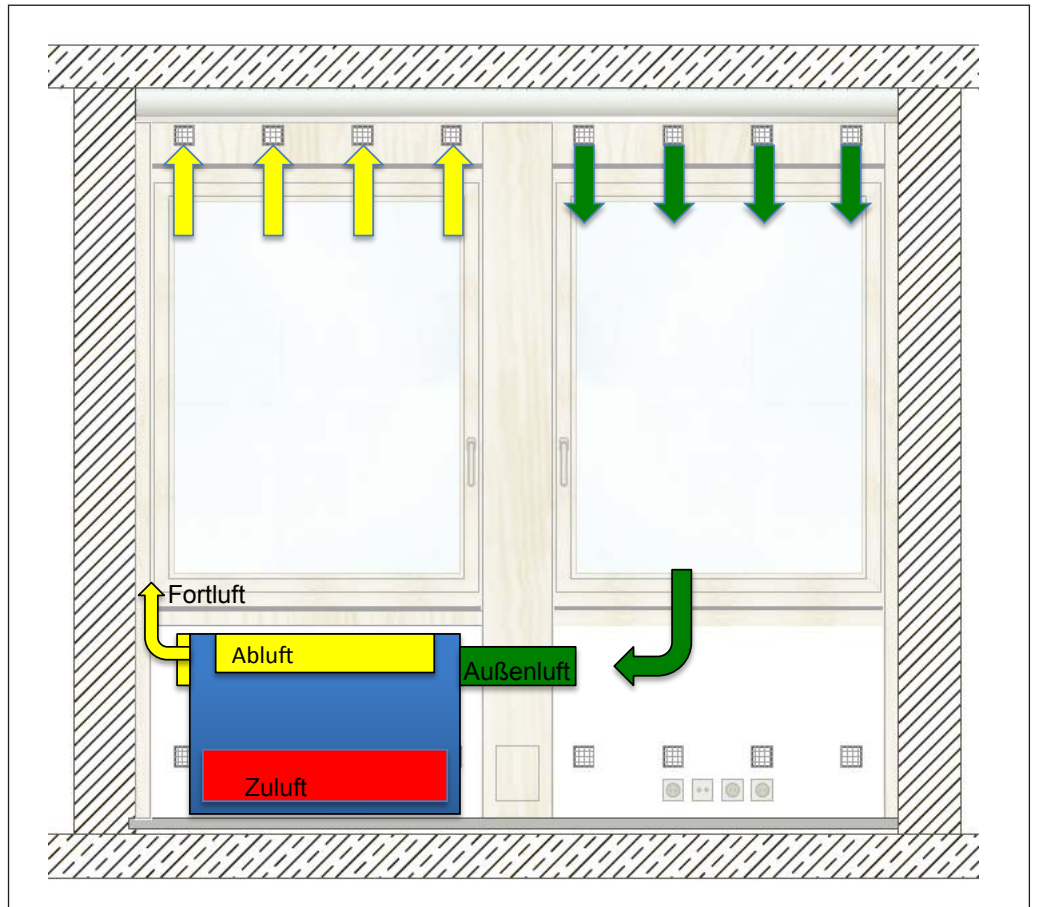
Das Gebäude des Bischöflichen Generalvikariats besticht durch seine selbstverständliche Erscheinung, die durch eine zeitlose, strukturelle Komposition aus Beton- und Natursteinelementen geprägt ist. Ausgangspunkt des Sanierungskonzeptes ist der Wunsch, dieses Erscheinungsbild vollständig und unangetastet zu erhalten und die nachhaltige Gestaltqualität des Hauses mit einem nachhaltigen, energetischen System zu verbinden. Die Qualitäten und Potentiale des Gebäudes werden nicht verändert, sondern für ein integriertes Energiekonzept aktiviert. Neue Kastenfenster lassen die Erscheinung nach außen unverändert, dienen nach innen aber als aktives und passives Wärmerückgewinnungselement, das den Energiebedarf des Gebäudes drastisch senkt. Die großen Dachflächen werden zum thermischen Solarkollektor umgebaut und mit effizienten Speichereinheiten in den heute ungenutzten Bunkerräumen gekoppelt. Die solaren Energien sind somit ganzjährig nutzbar und decken nahezu den gesamten Energiebedarf.

Die vorhandenen Dachflächen werden vollständig erneuert. Teilbereiche der Dachflächen sollen eine mit Kapillarmatten bestückte Solarthermie erhalten, die mit Polycarbonatplatten abgedeckt wird. Die damit in reichlichem Maße vorhandenen Energien werden in den vorhandenen Bunkerräumen mit modernen Technologien gespeichert. Wenn das Temperaturniveau im Speicher zur Beheizung nicht ausreicht, wird aus dem Niedertemperaturspeicher die Energie entnommen und mit einer Wärmepumpe ergänzt.

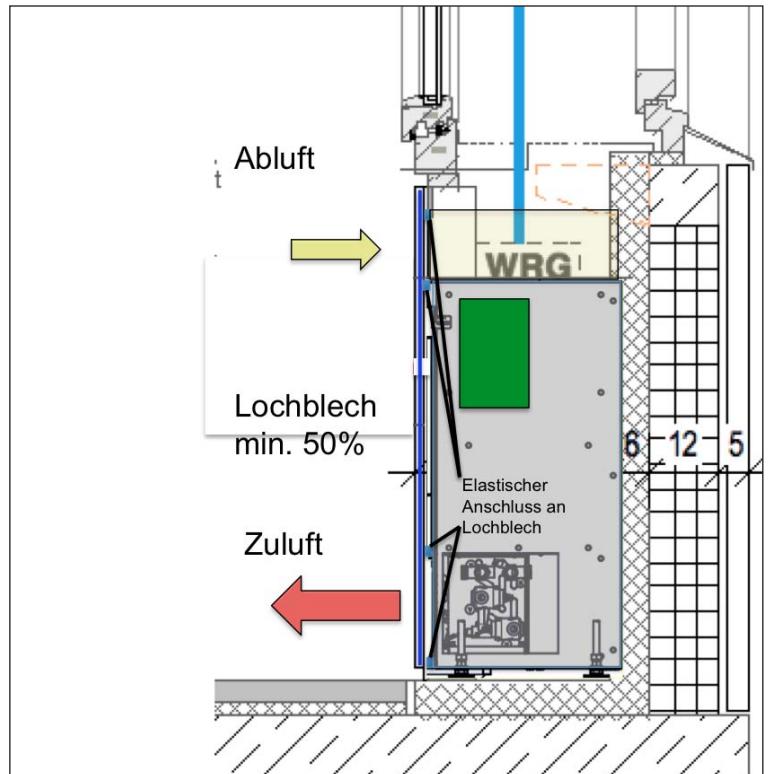
Die bisherigen Fenster werden durch ein System von Kastenfenstern mit integrierter Wärmerückgewinnung, als passive und aktive Luftkollektoren bzw. dynamische Dämmung, ersetzt. Die Zuluft des Kastenfensters (rechte Seite) wird in das Lüftungsgerät geleitet. Dort erfolgt die Nacherwärmung der solar erwärmten Luft. Diese erhält über die Wärmerückgewinnung eine weitere Erwärmung und wird dann im Sockelbereich des Kastenfensters in den Raum eingeblasen. Die Abluft erfolgt unter der Brüstung des gleichen Elementes über die Wärmerückgewinnung und die Abluftöffnungen des Fensterelementes (siehe Abb).

BAUSTEIN 2 SOLARAKTIVE DACHFLÄCHEN

Die Versorgung der Heizungsanlage soll mit einem einfachen Dachkollektor unterstützt werden. Teile der Dachflächen werden teilweise als Solarkollektoren ausgebildet. Die Solarkollektoren enthalten Kapillarmatten. Die Kollektoren werden über eine Kältemaschine mit ca. 1 kW Kälteleistung mit Kühlmittel (Glykol) versorgt. Die Wassermenge wird mittels Strangregulierventilen abgeglichen. (siehe dazu Seite 46)



System der Zuluft und Abluft im Kastenfenster.



System Schnitt durch das Lüftungsgerät

6.0 THERMODYNAMISCHE SIMULATION:

Computersimulationen als Basis

Zur Berechnung des optimal benötigten Wärmebedarfs wird in einem thermischen Simulationsverfahren die Wärmebilanz für das vorhandene Verwaltungsgebäude des Generalvikariats erstellt. Gerechnet wird ein Mehrzonenmodell mit kapazitiven Luftknoten (Räume). In der Berechnung sind nach festzulegenden Zeitschritten zu berücksichtigen:

Qsol:	Solare Gewinne der Zone durch Einstrahlung
Qsp:	Wärmeströme aus bzw. in Speichermassen
Qkonv:	Konvektive Wärmeströme
Qint:	Interne Wärmelasten
QH,K:	Wärmezufuhr durch Heizung oder Wärmeabfuhr durch Kühlung
QT:	Transmissionswärmeströme
cL ρL:	Spezifische Wärmekapazität und Dichte der Raumluft
V:	Raumvolumen
$\Delta\theta / \Delta t$:	Temperaturanstieg bzw. -abfall pro Zeitschritt

Die Simulationsergebnisse ermöglichen eine Entscheidung für die Auswahl des effizientesten Anlagenkonzeptes (z.B. Geothermie mit Wärmepumpen). **WICHTIG:** Vermeiden von Überdimensionierung! Außerdem werden mit der gleichen Software die Anlagen der Wärmeversorgung (ggf. Wärmepumpen) in der Auslegung optimiert.

- 6.2.1 Thermodynamische Simulation des Gesamtgebäudes mit unterschiedlichen Varianten für Fassadenaufbau, Energiespeicherung sowie Heizungskonzept
- 6.2.2 Thermodynamische Simulation von typischen Einzelräumen
- 6.2.3 Erstellen eines Konzeptes für die technischen Anlagen unter Verwendung der vorhandenen Infrastruktur
- 6.2.4 Untersuchung der Verwendung von Tageslicht durch Lichtlenkung und Ergänzung durch Kunstlicht, im Fassadenmodul integriert
- 6.2.5 Bauphysikalische Bewertung der Wandaufbauten mit Wärmebrückenberechnung
- 6.2.6 Strömungssimulation des Zwischenraumes Fassade – Innenschale
- 6.2.7 Erstellen des EnEV-Nachweises nach DIN 18599
- 6.2.8 Nachhaltigkeitsuntersuchungen durch Lebenszyklus-Kostenanalysen und -bewertungen in Bauteile-Produkte-Szenarien (ergänzend zu HOAI 3- 5), zum Beispiel:

Nachhaltige Wärmeerzeugung

Nachhaltige Beleuchtung

Nachhaltige Lüftungstechnische Anlagen und Komponenten

Nachhaltige Sonnenschutzanlagen

Kollektoren als Dachaufbau

Kastenfenster

Bodenbeläge

- 6.2.9 Monitoring in der Betriebsphase (Unterstützung beim Nachweis der Effizienz durch Messungen und Berechnungen).

1.4 BAUPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNG VON INNENRAUMDÄMMUNGEN

Bauphysikalisches Verhalten von innenliegend angeordneten Wärmedämmungen

Die bestehenden Außenwände werden mit folgender Bauteilschichtung angegeben (Schichtung von innen nach außen):

- Innenputz, genaue Spezifikation nicht bekannt, Dicke ca. 1,5 cm
- Mauerwerk, Hochlochziegel, genaue Spezifikation nicht bekannt, Dicke ca. 11,5 cm, angenommene baujahrtypische Rohdichte ca. 1.600 kg/m^3
- Natursteinfassadenbekleidung aus Muschelkalk, Dicke ca. 5 cm

Nach der aktuell gültigen Energieeinsparverordnung EnEV 2009 muss bei der Sanierung von wärmeübertragenden Außenwänden nachgewiesen werden, dass der Höchstwert des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{\text{max}} \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$) beträgt. Der Klammerwert gilt für den Fall, dass die Wärmedämmung innenliegend angeordnet wird. Diese Forderung ist dann einzuhalten, wenn der Wärmeschutznachweis über das sogenannte Einzelbauteilverfahren geführt wird.

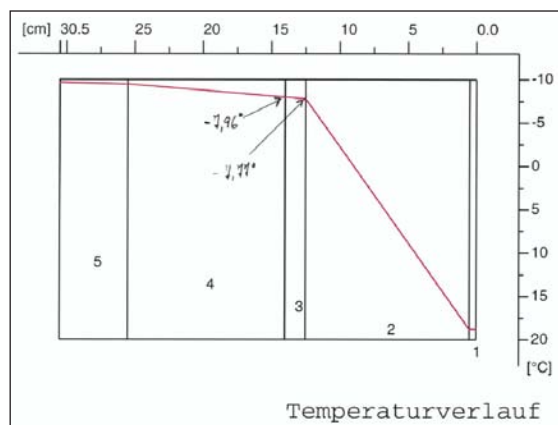
Dies würde bedeuten, dass bei der bestehenden Außenwandschichtung eine sechzehn Zentimeter starke Wärmedämmung, vorzugsweise als dampfdichte Schaumglaswärmedämmung, eingebaut werden müsste. Da die bauphysikalisch optimale Anordnung der Wärmedämmung an der kalten Bauteilseite auszuschließen ist, könnte diese Wärmedämmung nur innenliegend angeordnet werden. Die Anordnung von derartigen sehr dicken innenliegenden Wärmedämmungen ist aus bauphysikalischen Überlegungen heraus kritisch und deshalb nicht zu empfehlen.

Die Berechnungen zeigen, dass eine innenliegend angeordnete Wärmedämmung der Stärke sechzehn Zentimeter jegliche Wärmenachlieferung von innen warm in den Bauteilquerschnitt unterbinden würde. Einzelheiten der durchgeführten Berechnung ergeben sich aus der Tab. 1 1 und der Abb. 1 19.

TAB. 1 1: BAUPHYSIKALISCHES VERHALTEN BEI 12 CM INNENDÄMMUNG

Dem auf Abb. 1 19 abgebildeten Temperaturverlauf ist zu entnehmen, dass der Haupttemperaturabbau von innen warm nach außen kalt erfolgt, so dass im Übergang zwischen Wärmedämmung zum bestehenden Innenputz die an dieser Schichtgrenze auftretende Temperatur schon deutlich abgesunken ist und $t_0 = -7,77^\circ\text{C}$ beträgt. Am Übergang von Innenputz zu Bestandsmauerwerk wurde diese Temperatur mit $t_0 = -7,96^\circ\text{C}$ berechnet. Hierbei wurden die nach DIN 4108 vorgegebenen Klimarandbedingungen abgebildet mit einer Innentemperatur von $t_i = +20^\circ\text{C}$ und einer Außentemperatur von $t_a = -10^\circ\text{C}$.

ABB.1.19
Temperatur bei 12 cm
Innendämmung.



Falluntersuchung nach DIN 4108 Teil 3 ergab: FALL A
Es fällt kein Tauwasser aus

Berechnet wurde das Bauteil als Wand

Schichtaufbau

Nr.	Name	Dicke	Dichte	Lambda	μ_1	μ_2
1	Putzspachtelung armiert	0.5		0.87	15	15
2	Schaumglas	12.0		0.04	sd = 1500	
3	Kalkgipsmörtel	1.5	1400	0.7	10	10
4	Voll-, Hochlochziegel 1600 kg/m ³	11.5	1600	0.68	5	10
5	Sandstein, Muschelkalk, Nagelfluh	5.0	2600	2.3	15	15

Nr.	Name	Summe [cm]	Summe sd	Tauperiode			Verdunstungsperiode		
				Temp [°C]	P-Satt	P-Part	Temp [°C]	P-Satt	P-Part
	Luft innen			20.00	2338	1169	12.00	1403	982
	Oberfläche	0.00	0.000	18.85	2176	1169	12.00	1403	982
	zw.Schicht 1/2	0.50	0.075	18.80	2170	1169	12.00	1403	982
	zw.Schicht 2/3	12.50	1500.075	-7.77	316	316	12.00	1403	982
	zw.Schicht 3/4	14.00	1500.225	-7.96	311	311	12.00	1403	982
	zw.Schicht 4/5	25.50	1501.375	-9.45	272	272	12.00	1403	982
	Oberfläche	30.50	1502.125	-9.65	268	207	12.00	1403	982
	Luft außen			-10.00	259	207	12.00	1403	982

Resultierender Dampfsperrwert/Tauwasserausfall in Gewichtsprozent

Nr.	Name	sd [m]	μ	Flächgew.	Tauw. %
1	Putzspachtelung armiert	0.075	15	Dichteangabe fehlt	
2	Schaumglas	1500.000	12500	Dichteangabe fehlt	
3	Kalkgipsmörtel	0.150	10	21.000	-----
4	Voll-, Hochlochziegel 1600 kg/m ³	1.150	10	184.000	-----
5	Sandstein, Muschelkalk, Nagelfluh	0.750	15	130.000	-----

Wärmedurchgangskoeffizient U : 0.295 W/(m²K)
Wärmedurchlaßwiderstand R : 3.218 m²K/W

Randbedingungen:

Tauperiode:	Verdunstungsperiode:
Temperatur innen : 20.0 °C	Temperatur innen : 12.0 °C
rel.Feuchte innen : 50.0 %	rel.Feuchte innen : 70.0 %
Temperatur außen : -10.0 °C	Temperatur außen : 12.0 °C
rel.Feuchte außen : 80.0 %	rel.Feuchte außen : 70.0 %
Dauer der Periode : 1440 Stunden	Dauer der Periode : 2160 Stunden

Wärmeübergangswiderstand: Rsi : 0.13 Rse : 0.04

ABB. 1 19: TEMPERATURVERLAUF BEI 12 CM INNENDÄMMUNG

Im Vergleich zur bisherigen Situation, bei der der Außenwandquerschnitt eine deutliche Aufwärmung von innen während der Winterperiode erfuhr, würden sich die bauphysikalischen Verhältnisse elementar verändern. Aufgrund der bisher gegebenen Wärmenachlieferung von innen wurde der Austrocknungsprozess von Witterungsfeuchte, die in die äußeren Zonen, insbesondere in die Natursteinbekleidung, eingedrungen ist, wünschenswert unterstützt.

Dies wäre zukünftig bei Anordnung einer vergleichsweise starken innenliegenden Wärmedämmung nicht mehr gegeben, so dass die Beanspruchung der bestehenden Muschelkalkbekleidung deutlich zunehmen würde. Hieraus resultiert ein nicht abschätzbares Restrisiko eines Bauschadens an der Muschelkalkbekleidung. Sie würde in absehbarer Zeit, insbesondere aufgrund des Witterungseintrags mit Frostfolge, nennenswert geschädigt.

Es wäre deshalb bauphysikalisch sinnvoller, die am Außenwandquerschnitt notwendige innenliegend angeordnete Wärmedämmung auf ein moderates Maß zu reduzieren. Empfehlung ist eine sechs Zentimeter starke dampfdichte Schaumglas-Wärmedämmung. Auch für diesen bauphysikalisch favorisierten Bauteilaufbau wurden

bauphysikalische Berechnungen durchgeführt, deren Einzelheiten sich aus der Tab. 1 2 und der Abb. 1 20 ergeben. Mit dieser Innendämmung moderater Dicke beträgt die im Übergang zwischen dieser Dämmung und Innenputz eintretende Temperatur $t_O = -5,99^\circ\text{C}$. Im Übergang zwischen dem Bestandsputz und dem Bestandsmauerwerk liegt diese Temperatur noch bei $t_O = -6,33^\circ\text{C}$.

Falluntersuchung nach DIN 4108 Teil 3 ergab: FALL A
Es fällt kein Tauwasser aus

Berechnet wurde das Bauteil als Wand

Schichtaufbau

Nr.	Name	Dicke	Dichte	Lambda	μ_1	μ_2
1	Beschichtung dampfdicht	0.1		0.17	sd = 1500	
2	Wedi - Platte	6.0		0.036	100	100
3	Kalkgipsmörtel	1.5	1400	0.7	10	10
4	Voll-, Hochlochziegel 1600 kg/m ³	11.5	1600	0.68	5	10
5	Sandstein, Muschelkalk, Nagelfluh	5.0	2600	2.3	15	15

Temperatur/Dampfsättigungsdruck			Tauperiode			Verdunstungsperiode		
Nr.	Name	Summe [cm]	Temp [°C]	P-Satt	P-Part	Temp [°C]	P-Satt	P-Part
	Luft innen		20.00	2338	1169	12.00	1403	982
	Oberfläche	0.00	18.10	2077	1169	12.00	1403	982
	zw.Schicht 1/2	0.10	18.02	2066	2066	12.00	1403	982
	zw.Schicht 2/3	6.10	-6.32	358	358	12.00	1403	982
	zw.Schicht 3/4	7.60	-6.63	349	349	12.00	1403	982
	zw.Schicht 4/5	19.10	-9.10	281	281	12.00	1403	982
	Oberfläche	24.10	-9.42	273	207	12.00	1403	982
	Luft außen		-10.00	259	207	12.00	1403	982

Resultierender Dampfsperwert/Tauwasserausfall in Gewichtsprozent

Nr.	Name	sd [m]	μ	Flächgew.	Tauw.%
1	Beschichtung dampfdicht	1500.000	1500000	Dichteangabe fehlt	
2	Wedi - Platte	6.000	100	Dichteangabe fehlt	
3	Kalkgipsmörtel	0.150	10	21.000	-----
4	Voll-, Hochlochziegel 1600 kg/m ³	1.150	10	184.000	-----
5	Sandstein, Muschelkalk, Nagelfluh	0.750	15	130.000	-----

Wärmedurchgangskoeffizient U : 0.487 W/(m²K)
Wärmedurchlaufwiderstand R : 1.885 m²K/W

Randbedingungen:

Tauperiode:		Verdunstungsperiode:	
Temperatur innen :	20.0 °C	Temperatur innen :	12.0 °C
rel.Feuchte innen :	50.0 %	rel.Feuchte innen :	70.0 %
Temperatur außen :	-10.0 °C	Temperatur außen :	12.0 °C
rel.Feuchte außen :	80.0 %	rel.Feuchte außen :	70.0 %
Dauer der Periode :	1440 Stunden	Dauer der Periode :	2160 Stunden

Wärmeübergangswiderstand: Rsi: 0.13 Rse: 0.04

TAB. 1 2: BAUPHYSIKALISCHES VERHALTEN BEI 6 CM INNENDÄMMUNG

Die sich im Bauteilquerschnitt einstellenden Isothermen an den Schichtgrenzen Wärmedämmung / Putz und Putz / Mauerwerk würden um ca. $\Delta t = 2^\circ\text{K}$ höher liegen als bei der Untersuchung mit der nach EnEV geforderten dicken Wärmedämmung. Auch wenn der berechnete Unterschied nur ca. $\Delta t = 2^\circ$ beträgt, sei zu einer geringeren Dämmstoffdicke geraten, um zumindest eine geringe Wärmenachleitung zu ermöglichen und dabei das aufgezeigte Frostschadensrisiko so weit als möglich zu reduzieren.

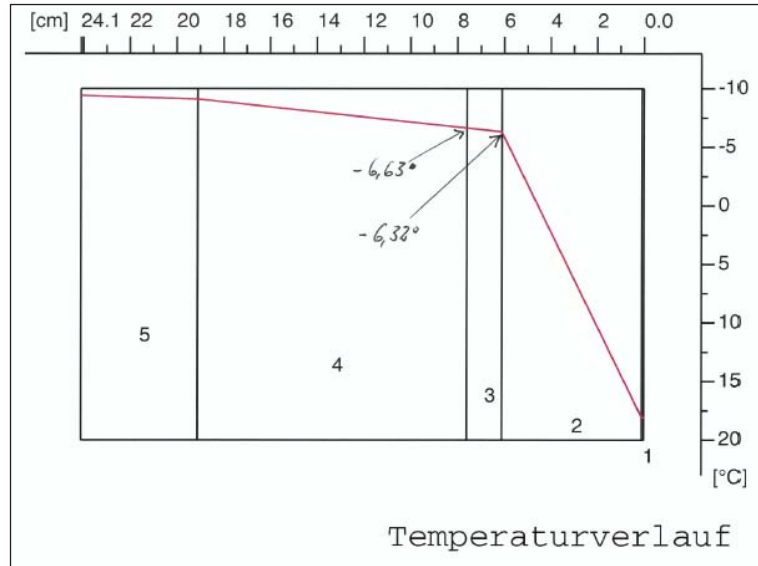


ABB. 1.20
Temperaturverlauf mit
6 cm Innendämmung

ABB. 1 20: TEMPERATURVERLAUF MIT 6 CM INNENDÄMMUNG

Allerdings ergibt daraus sich ein formaler Verstoß gegen die Vorgaben der aktuell gültigen Energieeinsparverordnung EnEV 2009. Der für diese Bauteilschichtung sich errechnende Wärmedurchgangskoeffizient beträgt $U = 0,487 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der einzuhaltende Anforderungswert mit $U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ würde in einem unzulässigen Maß überschritten.

Aufgrund des insgesamt vorgesehenen Konzepts mit der Bauweise des Kastenfensters wird angestrebt, dass die Energiebilanz des Gesamtgebäudes sich nicht schlechter darstellt, als wenn man dieses Gebäude ohne die innenseitig geplante zweite Fensterebene (Kastenfensterprinzip) ausführen würde.

Da über einen Versuchsaufbau ein Abgleich zwischen theoretischen Berechnungsergebnissen und den sich tatsächlich in der Praxis einstellenden Werten erfolgt, wäre bei Eintreten der beabsichtigten Zielvorstellung eine energetische Sanierung belegbar, welche äquivalent die Anforderungen der Energieeinsparverordnung erfüllt. Die genannte Einzelbauteilanforderung würde nur dann strikt einzuhalten sein, wenn der Wärmeschutznachweis lediglich über das sogenannte Einzelbauteilverfahren erfolgt. Wenn jedoch ein nachprüfbarer Nachweis erfolgt, dass das Gesamtgebäude nach Sanierung Verbrauchswerte aufweist, die den maximal zulässigen nach EnEV 2009 entsprechen, so können Außenbauteile auch mit geringerer Dämmstoffdicke und mit etwas schlechterem U-Wert realisiert werden.

2 SIMULATIONEN FÜR ENERGIENACHWEISE

2.1 AUFGABENSTELLUNG

Das Kapitel beschreibt die Erstellung einer thermodynamischen Gebäudesimulation, eines Energienachweises nach EnEV 2009 und eine Strömungssimulation zum Nachweis der Luftführung im Fassadenzwischenraum.

Um das Energieeinsparpotential der einzelnen Varianten (Fassaden und Technik) zu ermitteln, wurden sie mit Hilfe einer Software zur thermodynamischen Gebäudesimulation untersucht. In den folgenden Kapiteln werden die Varianten und das methodische Vorgehen sowie die Eingangsparameter und Ergebnisse dieses Simulationsprogrammes dargestellt.

2.2 THERMODYNAMISCHE GEBÄUDESIMULATIONEN

Das im Wettbewerb vorgeschlagene Sanierungskonzept wird im Rahmen der Untersuchung in Einzelheiten verändert. Dabei werden die Ergebnisse der Varianten hinsichtlich ihres Energiebedarfs (Heizwärme- und Lichtenergiebedarf) verglichen.

Beschreibung der Varianten

Kastenfenster mit Innenschale (Basis)

Auf der Innenseite der Fassade wird eine 2. Schale installiert und Kastenfenster eingebaut. Der Zwischenraum wird durch die Raumabluft durchlüftet. Von der Abluft wird durch die Wärmerückgewinnung die Wärmeenergie auf die angesaugte Außenluft übertragen und als Zuluft in den Raum eingeblasen. Die Lüftung wird über die Luftqualität gesteuert. Die Raumautomation steuert Licht, Heizung, Lüftung und Jalousie und ist über ein Bussystem mit einer Zentrale verbunden.

Innendämmung (Dreifachverglasung) mit Fassadenlüftungsgeräten

Vor die Brüstung wird eine Dämmung angebracht und neue Fenster mit Dreifachverglasung eingebaut. Die Lüftungsgeräte werden in die Fensterprofile eingebaut.

Innendämmung (Dreifachverglasung) ohne mechanische Lüftung

Die Variante Innendämmung wird ohne Fassadenlüftungsgeräte berechnet.

Kastenfenster mit Innenschale ohne mechanische Lüftung

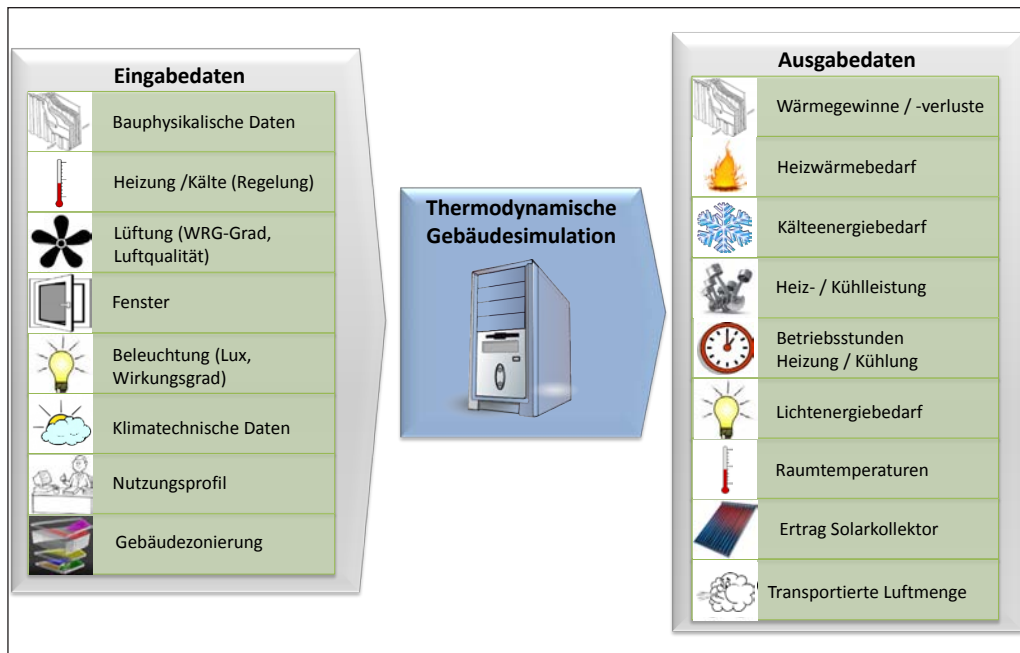
Die Innenschale mit Kastenfenster wird ohne mechanische Lüftung berechnet.

Leuchtstofflampen statt LED-Beleuchtung

Die vorhandene Beleuchtung wird erhalten und ergänzt, so dass die Beleuchtung den Anforderungen der DIN für Büros von 500 Lux entspricht.

Manuelle Regelung

Die Raumautomation wird durch manuelle Eingriffe in Heizung, Lüftung, Licht und Jalousie ersetzt.



Eingabedaten und Ausgabedaten der Simulation

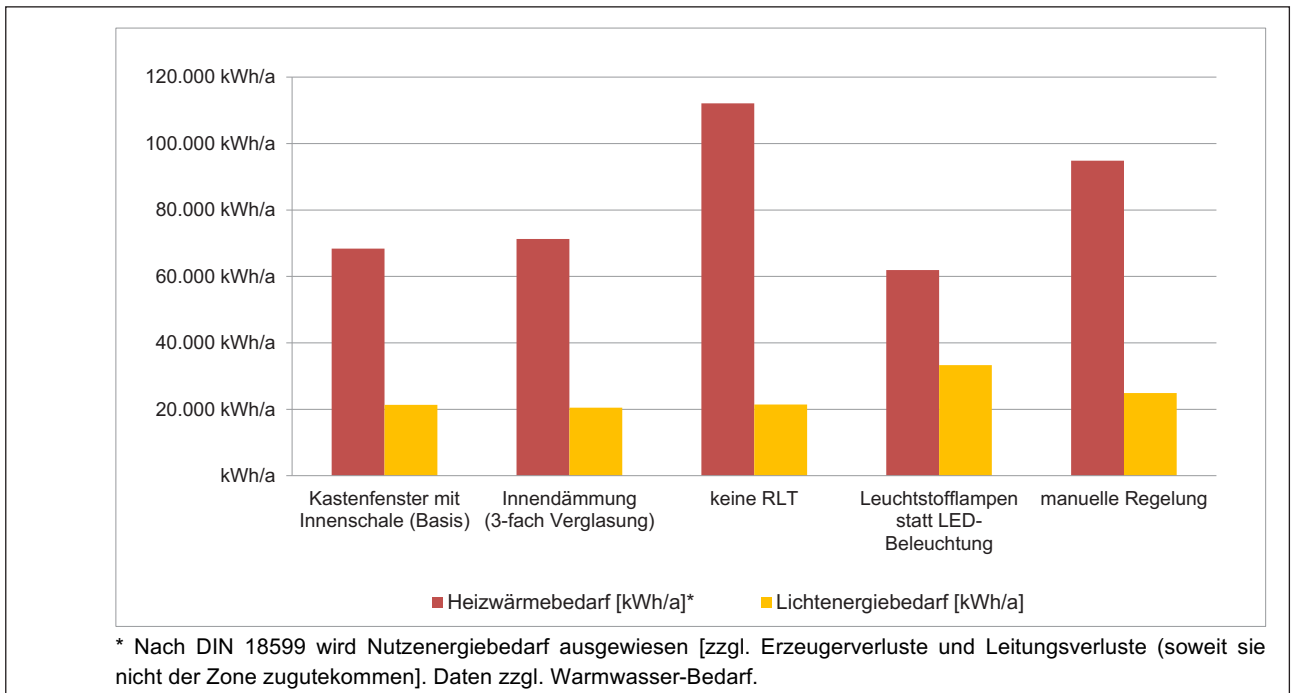
2.2.1 VORGEHEN

Im ersten Schritt werden alle nötigen Eingangsparameter des Gebäudes erfasst. Dazu zählen die Geometrie (wärmeübertragende Umfassungsfläche), die Innenflächen (Wände, Decken), innere Wärmelasten und Massen sowie das bestehende technische Gebäudekonzept. Zur Simulation des Energiebedarfs wurde das thermodynamische Gebäudesimulationsprogramm „DK-INTEGRAL“ des Herstellers „Delzer Kybernetik“ verwendet. DK-INTEGRAL wird bereits an mehreren wissenschaftlichen Instituten und Hochschulen eingesetzt. Detaillierte Vergleiche zwischen Bestandsgebäuden und Simulationsergebnissen wurden bereits mehrfach durchgeführt und zeigten jeweils viele Übereinstimmungen. Auch Tests nach VDI-Richtlinien zur Simulation der Kühlung von Bürogebäuden wurden durchgeführt und zeigten klare Übereinstimmungen.

2.2.2 SIMULATIONSERGEBNISSE GESAMTGEBÄUDE

Die nachfolgenden Ergebnisse stammen aus der thermodynamischen Simulationssoftware. Die Vergleiche wurden angestellt um weitere Sparpotentiale zu ermitteln, vor allem im Vergleich einer Konzeption mit einer Innendämmung und 3 Fachverglasung

ABB. 2 2: SIMULATIONSERGEBNISSE



BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Kastenfenster mit Innenschale (Basis)

Der Heizwärmebedarf liegt bei sehr niedrigen 25 kWh/(m²NGFa) (Vergleich: Ein Passivhaus hat die Anforderungen von 15 kWh/(m²NGFa)).

Innendämmung (3-fach-Verglasung) mit Fassadenlüftungsgeräten

Wird anstelle des Kastenfensters mit Innenschale eine Innendämmung vorgesehen, so ist diese energetisch betrachtet nahezu dem Kastenfenster gleichwertig. Der Heizwärmebedarf ist höher, jedoch ist der Lichtenergiebedarf geringfügig niedriger.

Innendämmung (3-fach-Verglasung) ohne mechanische Lüftung

Wird bei der Variante mit der klassischen Innendämmung auf eine mechanische Lüftung verzichtet, so erhöht sich der Heizwärmebedarf erheblich. Dieser steigt in Bezug auf die Variante „Innendämmung“ um 56 %.

Kastenfenster mit Innenschale ohne mechanische Lüftung

Durch den Verzicht auf die Lüftungsanlage erhöht sich der Heizwärmebedarf in Bezug auf die Variante „Kastenfenster“ um 64 %.

Leuchtstofflampen statt LED-Beleuchtung

Wird das bestehende Beleuchtungskonzept beibehalten und auf die Anforderung der DIN (500 Lux) erhöht, so erhöht sich der Lichtenergiebedarf um 56 %. Diese Erhöhung bewirkt eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs (da die internen Wärmegewinne steigen und somit „elektrisch“ geheizt wird) um ca. 9 %.

Manuelle Regelung

Der weitgehende Verzicht auf Automation (keine Lichtlenkung, kein geregelter Sonnenschutz, keine Nachtabsenkung, keine Lichtregelung, RLT nicht optimal geregelt) be-

2.2.4 SIMULATIONSERGEBNISSE EINZELRAUMUNTERSUCHUNG

Für die folgenden Räume wurde eine thermodynamische Simulation durchgeführt, um die thermischen Auswirkungen auf den Raum zu bewerten und die Anlagen zu dimensionieren:

- Raum o1 – Besprechungsraum
- Raum o2 – PA Nord OG
- Raum o3 – RA West OG (Musterraum)
- Raum o4 – OF Süd EG



Abb. 2 3: untersuchte Einzelräume (rote Markierung)

Der Raum o3 wurde als Musterraum für die Umsetzung des Fassaden- und Technikkonzeptes ausgewählt.

Die Simulation der Einzelräume wurde auf Basis der Variante „Kastenfenster mit Innenschale“ erstellt.

	Raum 01 - Besprechungsraum	Raum 02 - PA Nord OG	Raum 03 - RA West OG	Raum 04 - OF Süd EG
Simulationsergebnisse				
Lüftungsverluste [kWh/a]	635	140	130	136
Wandverluste [kWh/a]	522	88	101	347
Dachverluste [kWh/a]	634	175	165	0
Erdreichverluste [kWh/a]	0	0	0	0
Fensterverluste [kWh/a]	883	195	172	140
Solare Gewinne [kWh/a]	154	5	14	30
Interne Gewinne [kWh/a]	690	269	250	271
Heizwärmebedarf [kWh/a]*	2.343	548	518	611
Max. Heizleistung [kW]	1,9	0,4	0,5	0,5
Betriebsstunden Heizung [h]	1.721	1.723	1.612	1.670
Lichtenergiebedarf [kWh/a]	1.963	571	452	533
Minimaltemperatur [°C]	14,5	15,0	15,0	14,9
Maximaltemperatur [°C]	25,3	24,4	25,0	24,2
h > 26 °C	0	0	0	0
h > 27 °C	0	0	0	0
h > 28 °C	0	0	0	0
h > 29 °C	0	0	0	0
h > 30 °C	0	0	0	0
NGF	58,6 m ²	11,93 m ²	12,1 m ²	15,8 m ²
Heizwärmebedarf [kWh/(m²_{NGF}a)]	40,0	46,0	42,8	38,6

* Nach DIN 18599 wird Nutzenergiebedarf ausgewiesen [zzgl. Erzeugerverluste und Leitungsverluste (soweit sie nicht der Zone zugutekommen)]. Daten zzgl. Warmwasser-Bedarf.

Tab. 2 3: Simulationsergebnisse Einzelraumuntersuchung

Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass abhängig von Fassadenorientierung und Geschoss der Jahresheizenergiebedarf der Einzelräume zwischen 38 und 46 kWh/m²/a liegt.

2.2.5 ERGÄNZUNG DES KOSTENREDUZIERTEN SANIERUNGSKONZEPTE

Mittels einer Einzelraumuntersuchung wird die Funktionsweise eines alternativen Sanierungskonzeptes untersucht. Das ursprünglich empfohlene Konzept wurde aus Kostengründen geändert. Dazu wird unter anderem die Luftführung umgestaltet. Es wird auf jedes 2. RLT-Gerät verzichtet. Die Zuluftführung erfolgt über die eine Doppelfassadenseite und die Abluftleitung über die andere Doppelfassadenseite – jeweils in jedem Raum. (Als Ausgangsbasis dieser Anpassung dient die Variante „Kastenfenster mit Innenschale“.)

Untersucht wird der Raum 02 - PA Nord OG.

Maßnahmen	Raum 02 - PA Nord OG											
	Variante A1	Variante B1	Variante C1	Variante A2	Variante B2	Variante C2	Variante A3	Variante B3	Variante C3	Variante A4	Variante B4	Variante C4
Kostenreduziertes Konzept*	X			X			X			X		
Zuluftzone 1 Person 30 m³/h	X	X		X	X		X	X		X	X	
Zuluftzone 1 Person 60 m³/h			X			X			X			X
Abluftzone 0 Person 30 m³/h	X			X			X			X		
Abluftzone 1 Person 30 m³/h		X	X		X	X		X	X		X	X
Wärmerückgewinnung (RLT)	WRG 45 %			keine WRG			WRG 45 %			keine WRG		
Innenschale	4 cm Dämmung, WLG 030			4 cm Dämmung, WLG 030			4 cm Dämmung, WLG 030			4 cm Dämmung, WLG 030		
Dämmung an Außenwand	6 cm Dämmung, WLG 040 (Stürze 3 cm)			6 cm Dämmung, WLG 040 (Stürze 3 cm)			keine Dämmung			keine Dämmung		
Simulationsergebnisse												
Lüftungsverluste [kWh/a]	100	98	195	140	138	311	106	104	203	150	148	325
Wandverluste [kWh/a]	321	287	314	321	287	313	361	328	352	361	328	352
Dachverluste [kWh/a]	148	127	137	148	127	137	150	131	141	150	131	141
Erdreichverluste [kWh/a]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fensterverluste [kWh/a]	185	179	194	185	179	194	198	191	207	198	191	207
Solare Gewinne [kWh/a]	9	7	8	9	7	8	10	8	9	10	8	9
Interne Gewinne [kWh/a]	222	254	281	222	254	282	231	269	296	230	269	296
Heizwärmebedarf [kWh/a]*	687	569	704	727	608	819	745	624	759	789	667	881
Max. Heizleistung [kW]	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5	1,7	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,8
Betriebsstunden Heizung [h]	1.336	1.230	1.382	1.335	1.231	1.389	1.402	1.280	1.441	1.403	1.280	1.448
Lichtenergiebedarf [kWh/a]	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525
Minimale Temperatur [°C]	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9
Maximale Temperatur [°C]	24,6	25,0	25,1	24,8	25,1	25,3	24,5	24,9	25,0	24,6	25,0	25,2
h > 26 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
h > 27 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
h > 28 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
h > 29 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
h > 30 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heizwärmebedarf bezogen auf "Variante A1 / B1 / C1"												
in Prozent				5,8%	6,9%	16,3%	8,5%	9,7%	7,8%	14,9%	17,3%	25,2%
NGF 11,9 m²												
Heizwärmebedarf [kWh/(m² _{NGF} a)]	57,6	47,7	59,0	60,9	51,0	68,6	62,5	52,3	63,6	66,1	55,9	73,8

Nach DIN 18599 wird Nutzenergiebedarf ausgewiesen (zzgl. Erzeugerverluste und Leitungsverluste (soweit sie nicht der Zone zugekommen)). Daten zzgl. Warmwasserbedarf.

Tab. 2 4: Simulationsergebnisse – kostenreduziertes Sanierungskonzept

Variante A1 Im Raum ist eine Person anwesend. Die Luftversorgung erfolgt über eine CO₂ geregelte RLT-Anlage mit einer Wärmerückgewinnung von 45 %. Die Zuluft wird über die Doppelfassade zur RLT-Anlage in den Raum geführt. Die Abluft wird über die 2. Doppelfassadenhälfte nach außen abgeleitet.

Variante B1 Im Raum sind zwei Personen anwesend. Die Luftversorgung erfolgt über eine RLT-Anlage mit einer Wärmerückgewinnung von 45 %. Die Versorgung mit Außenluft ist auf eine Person beschränkt. Die Luftführung ist mit Variante A1 identisch.

Variante C1 Im Raum sind zwei Personen anwesend. Die Luftversorgung erfolgt über eine CO₂ geregelte RLT-Anlage mit einer Wärmerückgewinnung von 45 %. Die Luftführung ist mit Variante A1 identisch.

Variante A2, B2, C2 Bei dieser Variante wurde auf eine Wärmerückgewinnung in der RLT-Anlage verzichtet. Die Einbindung der Doppelfassade ins Lüftungskonzept funktioniert nach dem Prinzip der Wärmewiederverwendung.

Variante A3, B3, C3 Bei diesen Varianten wurde im Vergleich zu A1-C1 auf eine Dämmung der Außenwand verzichtet.

Variante A4, B4, C4 Bei diesen Varianten wurde im Vergleich zu A1-C1 auf eine Dämmung der Außenwand sowie auf eine WRG verzichtet.

BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Dieses abgeänderte Konzept weist nur einen gering höheren Energiebedarf im Vergleich zum ursprünglichen Konzept auf (56 statt 46 kWh/(m²a)). Das äußere Erscheinungsbild bleibt dabei unverändert und das Investitionsvolumen konnte erheblich reduziert werden. Aus Kostengründen wurden Varianten entwickelt die pro 2-3 Achsen 1 Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung und Lufterwärmer mittels der vorhandenen Warmwasser Zentralheizung enthalten (siehe 1.2.1.2). Die Kosten des ursprünglichen Konzepts waren für Heizung 83.000,-€ und für Lüftung auf 224.910 € für die Lüftung und Heizung der Büros geschätzt. (Summe 307.910,-€ entspr. 110,50€/m²) Durch die Planungsänderung ergaben sich Kosten für Heizung von 26.989,- und für Lüftung von 214.200,-€ (Summe 241.189,-€ entspr. 86,54 €/m²) Einsparung Investition 66.721,-€ entspr. 23,94 €/m²

Bei einem Energiepreis (Gas Brennwert 2012) von 0,0473 €/kWh ergibt dies auch bei steigenden Energiepreisen keine Amortisation.

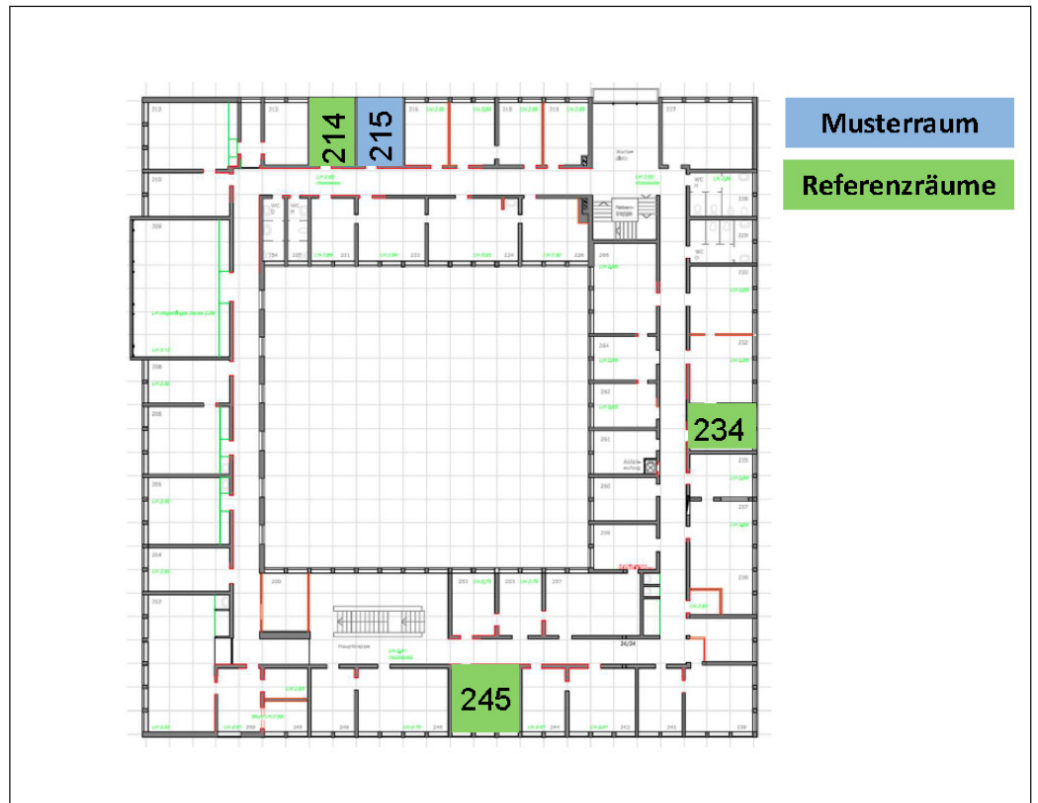
DER VERSUCHSAUFBAU

Im Oktober 2013 wurde der Versuchsaufbau des Kastenfensters im Raum 03 (Westseite) des Obergeschosses vorgenommen. Unterhalb des linken Fensters ist das Lüftungsgerät eingebaut; die Verkleidung der Mittelstütze enthält neben der Steuerung für die Markise den Raumthermostaten sowie im unteren Bereich Steckdosen und Anschlüsselemente der Medien. Das weiß beschichtete Stahlgitter vor dem Lüftungsgerät ist abnehmbar. Das Stahlgitter auf der rechten Seite ist nur aus ästhetischen Gründen so ausgeführt.



Musterraum mit dem neuen Kastenfenster. Hinter dem Stahlgitter auf der linken Seite befindet sich das Lüftungsgerät. Das Stahlgitter auf der rechten Seite ist zum ästhetischen Gleichklang da.

Anordnung
Musterraum und
Referenzräume für die
Vergleichsmessungen



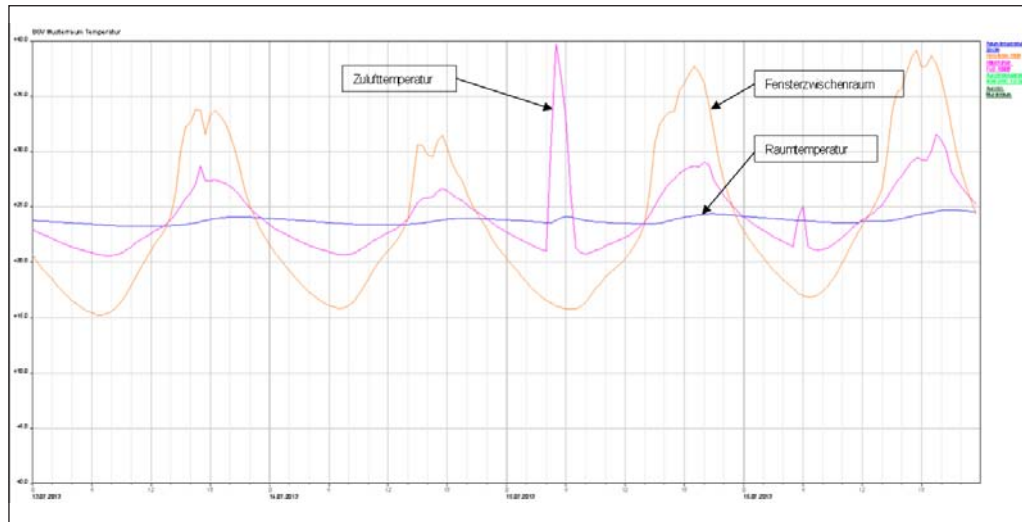
Der Musterraum wurde am 13.05.2013 fertiggestellt. Nach der Montage des Lüftungsgerätes und des fertigen Kastenfensters stellten sich zunächst einige Fehlfunktionen ein. Um einen nachprüfbaren Vergleich über die Wirksamkeit des Lüftungsgerätes und des Kastenfensters zu erhalten, wurden in weiteren drei Referenzräumen – Nr. 214, 234 245 – entsprechende Vergleichsmessungen vorgenommen. In den darauf folgenden Monaten musste aus verschiedenen Gründen das Lüftungsgerät modifiziert werden. So heizte im angesenkten Bereich außerhalb der Betriebszeiten das Gerät aus unerklärlichen Gründen auf. Die freie Nachtühlung wurde nicht umgesetzt. Die Regelung schwankt sehr stark, und das Lüftergeräusch wird als unangenehm empfunden. Das Geräte wurde noch einmal an die Firma zurückgegeben. Im Schalllabor wurde die Lautstärke gemessen und mit den unterschiedlichen Betriebsstufen durchgeführt. Anfang November 2013 wurde das Geräte wieder in das Kastenfenster eingesetzt,.

Im Einzelnen werden folgende Zwischenergebnisse dargestellt.

AUSWERTUNG FUNKSENSOREN VOM 13.07.2013 BIS 16.07.2013

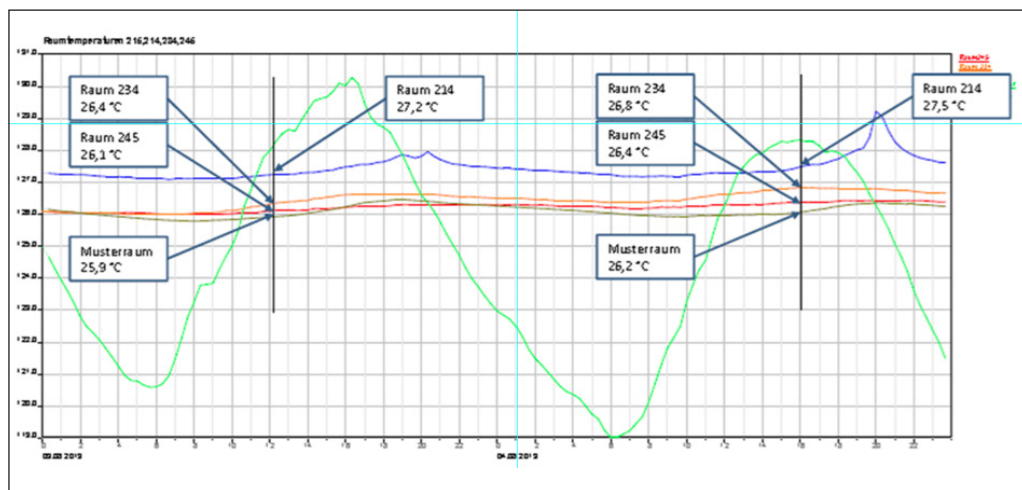
Am 15.07.2013 zwischen 4 Uhr und 7 Uhr wird der Raum aufgeheizt, obwohl der Sollwert bei 18°C eingestellt ist. Die Fehlfunktion muss beseitigt werden.

Bei hohen Temperaturen im Kastenfenster wird die warme Luft eingeblassen und heizt den Raum unnötig auf. In diesem Fall muss auf Umluftbetrieb umgeschaltet werden.



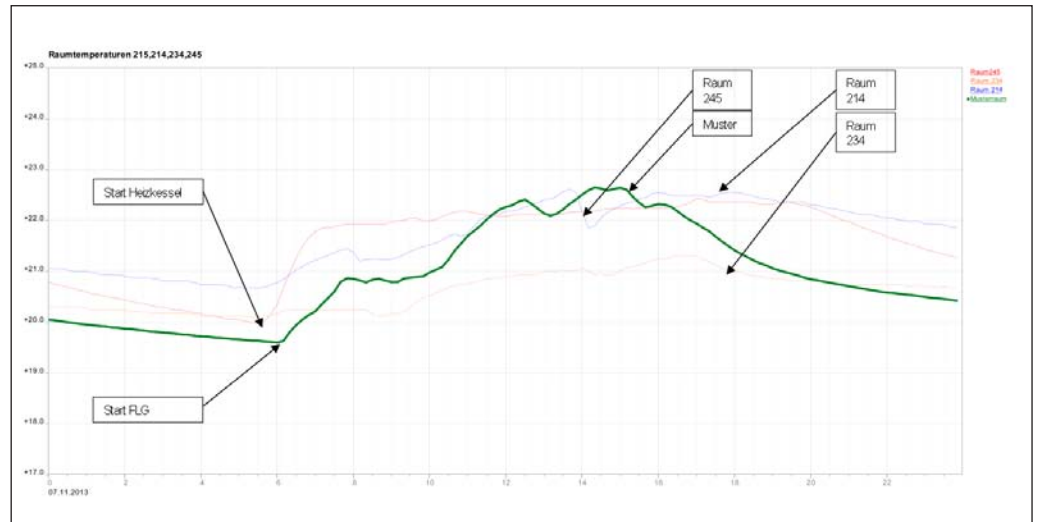
SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ

Um den Einfluss des sommerlichen Wärmeschutzes des Musterraumes zu anderen Räumen darzustellen, wurden die Räume 214, 234 und 245 ebenfalls mit Funktemperaturfühler ausgestattet. Die Messreihe wurde ab dem 17.07.2013 aufgenommen. Die Auswertung wurde am 03.08.2013 um 12.00 Uhr und am 04.08.2013 um 16.00 Uhr durchgeführt.



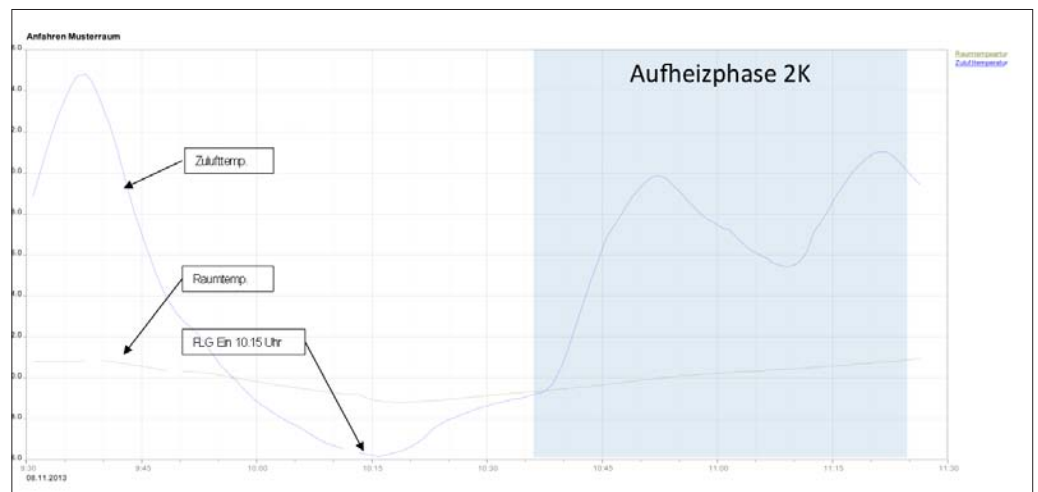
TEMPERATURVERGLEICH MUSTERRAUM ZU 245, 234, 214 DATUM 07.11.2013

Die Raumtemperaturen für den Musterraum liegen im Betrachtungszeitraum zwischen 21,0°C und 22,5°C im Vergleich zu den Referenzräumen im akzeptablen Bereich. Durch die individuelle Startzeit des FSG (Fassadenlüftungsgerät) kann auf die spezifischen Raumbedingungen wie Ausrichtung nach der Himmelsrichtung und persönliches Empfinden optimiert werden.



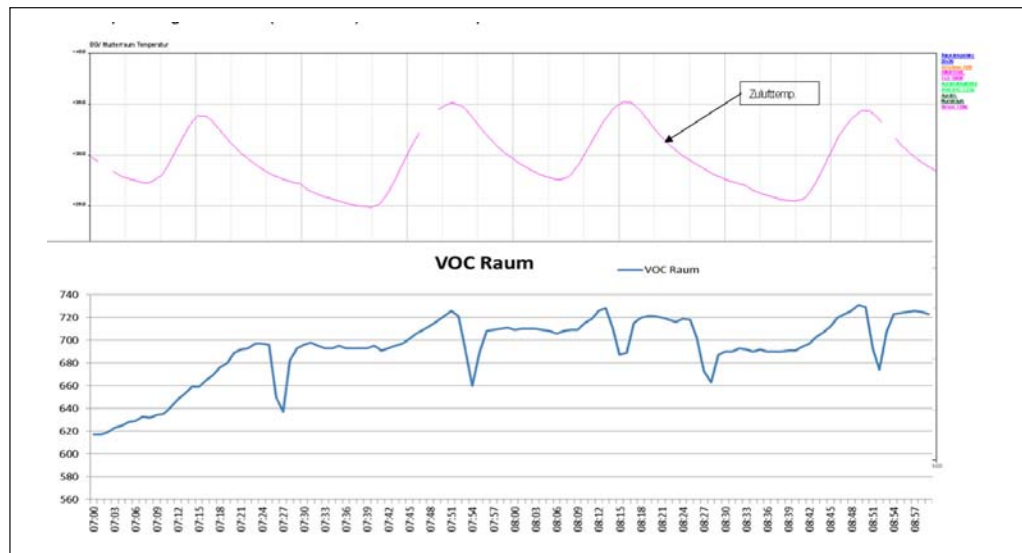
SOLLWERTÄNDERUNG MUSTERRAUM - DATUM 08.11.2013

Um den zeitlichen Verlauf der Aufheizphase zu prüfen, wurde das FLG ausgeschaltet und der Raum durch Öffnen der Fenster von 21°C auf 19°C abgekühlt. Bei 19°C Raumtemperatur wurde um 10.15 Uhr das FLG wieder eingeschaltet. Nach einer Aufheizphase von ca. 20 Minuten (bedingt durch die Abkühlung des Zwischenraumes auf 14°C) beginnt die Aufheizphase zu realen Bedingungen. Nach 50 Minuten ist die Raumtemperatur von 21°C wieder erreicht; dies entspricht einer Aufheizleistung von 2,4°K/Stunde. Dies ist unabhängig von der Außentemperatur zu sehen, da im Anfahrbetrieb nur ein kleiner Anteil von Frischluft zugeschaltete ist.



VOC / CO₂ MUSTERRAUM – DATUM 08.11.2013

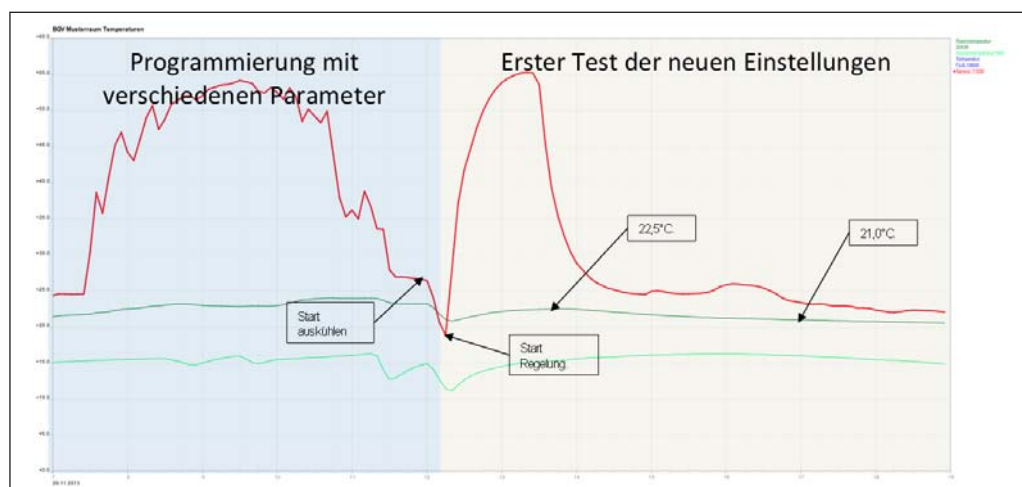
Bei Erhöhung des VOC/CO₂ Wertes schaltet das Zuluftgerät von Umluft auf Außenluft. Dadurch entstehen in der Zuluft Temperaturschwankungen die durch eine schnellere Reaktion der Zulufttemperaturregelung und langsames Umschalten von Umluft zu Außenluft kompensiert werden.



NACHJUSTIERUNG DER WAGO REGLER – DATUM 29.11.2013

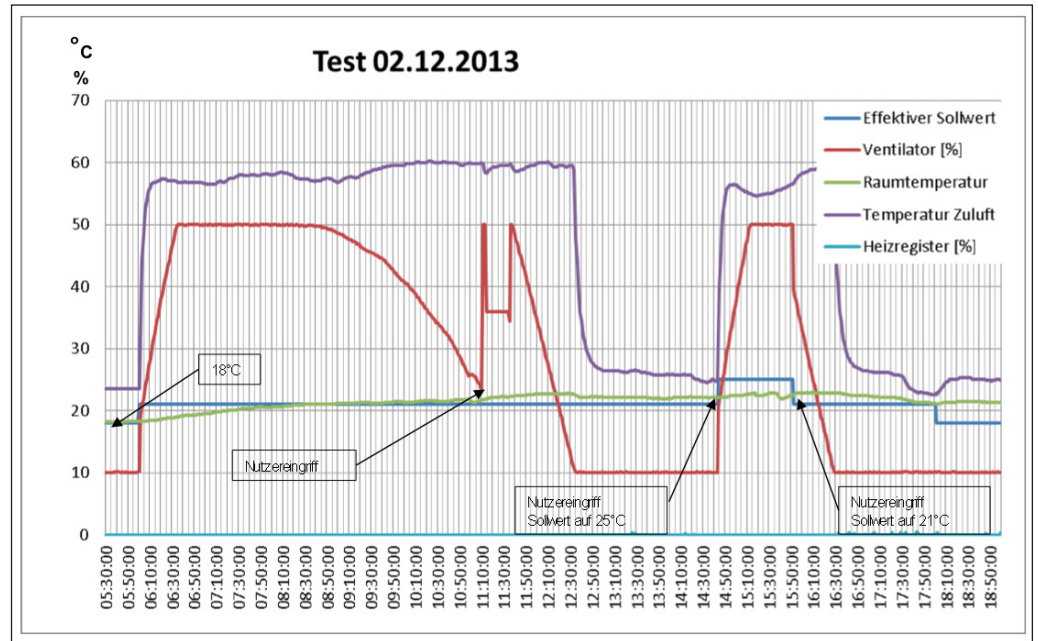
Nachdem die Regelung Fabrikat Trox nicht die erwarteten Ergebnisse geliefert hat, wurde die Regelung einschl. der Sensoren durch neue Komponenten ersetzt. Für die Regelung wurde das Fabrikat WAGO verwendet.

Am 29.11.2013 wurde der erste Test um 12.00 Uhr mit den optimierten Parametern gestartet. Der Raum wurde mittels Öffnen der Fenster ausgekühlt, um das Regelverhalten darzustellen. Beim Neustart der Regelung steigt die Zulufttemperatur bis auf 55 °C. Bei eingestelltem Sollwert von 21 °C stellt sich beim ersten Überschwingen die Raumtemperatur auf 22,5°C ein. Ab 13,30 Uhr nimmt der Regler die Zulufttemperatur wieder zurück.

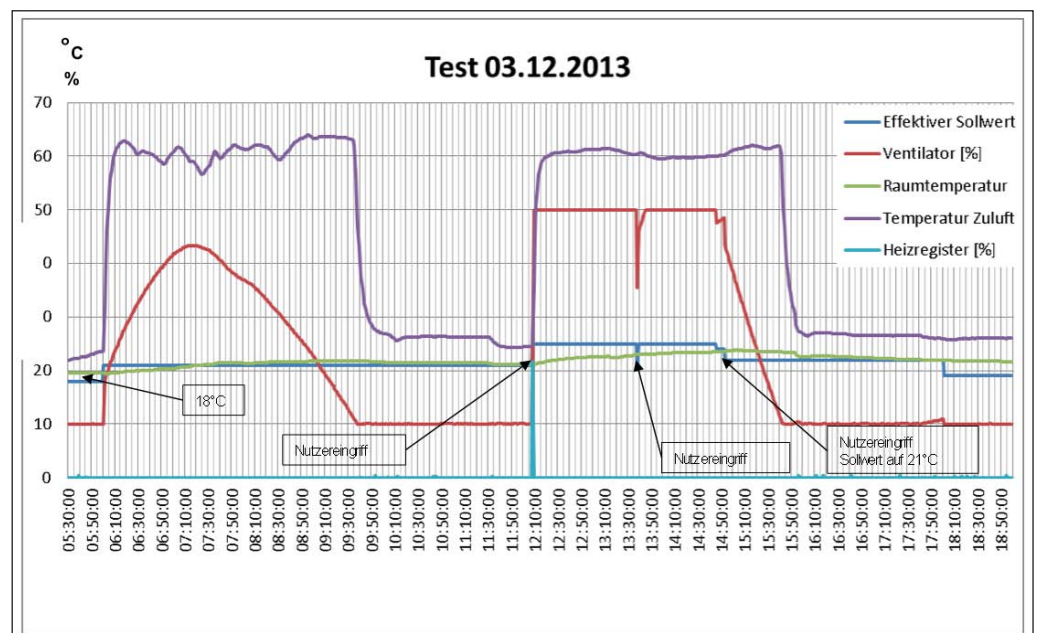


NACHJUSTIERUNG DER WAGO REGLER – DATUM 02.12.2013

Nach der Wochenendabsenkung auf 18 °C Raumtemperatur benötigt der Regler ca. 3 Stunden, um den Sollwert von 21°C zu erreichen. Deutlich sind die Nutzereingriffe und das Nachregeln zu erkennen. Bei der Sollwerterhöhung auf 25°C steigt die Ventilatorleistung und gleichzeitig die Zulufttemperatur folgerichtig an.

**NACHJUSTIERUNG DER WAGO REGLER – DATUM 03.12.2013**

Nach der Nachtabenkung auf 18 °C Raumtemperatur benötigt der Regler ca. 1 Stunde, um den Sollwert von 21°C zu erreichen. Deutlich sind die Nutzereingriffe und das Nachregeln zu erkennen. Bei der Sollwerterhöhung auf 25°C steigt die Ventilatorleistung und gleichzeitig die Zulufttemperatur folgerichtig an.



ALLGEMEINE VERUNSICHERUNG

Aus diesen technischen Vorfällen resultierte eine große Verunsicherung der Bauherrschaft. Die Tauglichkeit dieses Systems wurde in verschiedenen Besprechungen in Frage gestellt. Die Ausfälle bezogen sich jedoch immer auf technische Mängel, entweder im Gerät selbst oder, wie sich herausstellte, auch in den im Gerät integrierten firmeneigenen Steuermodulen. Erst nachdem dieses durch ein anderes Fabrikat ersetzt wurde und die Programmierung entsprechend neu eingestellt wurde, stellte sich eine zuverlässige Funktion heraus. In der letzten Nachjustierung vom 15.1.2014 wird sich eine Änderung am thermischen Stellantrieb ergeben. Daran wird zurzeit gearbeitet.

Im Zuge der fortlaufenden Diskussion über die Funktionsfähigkeit des gesamten Konzeptes wurden Alternativen entwickelt, die ebenfalls mit dem Bauherrn diskutiert wurden. Die Alternativen wurden im Zwischenbericht II dargestellt. Nachdem alle Alternativen im Vergleich schlechtere Energiekennwerte ergaben, wurde durch das Domkapitel entschieden, die vorgenannte Version zu realisieren und die noch anstehenden Feinjustierungen im Zuge der nächsten Monate endgültig und dauerhaft zu lösen. Darauf begann die Realisierung, die seit 2014 nach einem Bauablaufplan erfolgt. Der Einzug in das neue Gebäude soll ab September 2015 erfolgen.

Zur weiteren Beobachtung wurden ab 10. Januar 2015 zwei Räume als Musterräume ausgesucht in denen weitere Messungen und Feinjustierungen erfolgen.

DIE ENDGÜLTIGE AUSFÜHRUNG

Die endgültige Ausführung ist von zwei grundsätzlich neuen Parametern geprägt. Zum Einen musste bei der Bearbeitung der Kastenfenster eine praktikable Methode oder ein System gefunden werden, das in der Lage ist, die divergierenden Bautoleranzen aufzunehmen. Zum Anderen hat die Entwicklung der bauphysikalischen Nachbesserungen im Bereich der Kastenfenster erheblichen Einfluss auf die technische und gestalterische Ausbildung des Fensterelements.

Der von der Fachplanung für Bauphysik – von Rekowski +Partner, Beratende Ingenieure VDI – Sachverständige, Sommergasse 3, 69469 Weinheim – ausgearbeitete Bauteilkatalog legt u.a. folgende Einzelheiten für das Kastenfenster fest.

Blatt	Bauteil	Einbauort
1.1	Außenwand	Kastenfensterquerschnitt Bereich Fenster

ANFORDERUNGEN nach EnEV: Nachweis erfolgt über Simulation durch die Haustechnikplanung

1. Fenster außen

Fenster mit 2-fach Isolierverglasung mit wärmetechnisch verbessertem Randverbund des Glases und Holzrahmen nach Wahl des Architekten

$$U_w = 1,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

2. Kastenfensterzwischenraum

Kastenfensterluftzwischenraum, konditioniert, durchlüftet nach Vorgabe Haustechnikplanung

3. Fenster außen

Fenster mit 2-fach Isolierverglasung mit wärmetechnisch verbessertem Randverbund des Glases und Holzrahmen nach Wahl des Architekten

$$U_w = 1,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Anmerkungen:

- Sonnenschutz nach Vorgabe Haustechnikplanung.
- Das äußere Fenster muss umlaufend wetterdicht eingebaut werden.
- Das innere Fenster muss umlaufend luft-, wind- und dampfdicht eingebaut werden.
- Die Minimaltemperatur im Kastenfensterluftzwischenraum muss mit $t \geq 0 \text{ °C}$ eingehalten werden.
- Die flankierenden Massivwände müssen im Kastenfensterzwischenraum flankierend gedämmt werden mit dampfdichter Schaumglaswärmedämmung $d = 3 \text{ cm}$; Wärmeleitfähigkeit $0,041 \text{ W/m}^2\text{K}$, mit armierter Putzspachtelung, nach Vorgabe Dämmstoffhersteller befestigt.
- Deckenunterseitig wird eine flankierende dampfdichte Schaumglaswärmedämmung $d = 3 \text{ cm}$; Wärmeleitfähigkeit $0,041 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf eine Flankenlänge von $l \geq 50 \text{ cm}$ ab Innenkante Kastenfenster ausgeführt, mit armierter Putzspachtelung, nach Vorgabe Dämmstoffhersteller befestigt.
- Der Betonsturz muss im Kastenfensterzwischenraum gedämmt werden horizontal und vertikal mit dampfdichter Schaumglaswärmedämmung $d = 3 \text{ cm}$; Wärmeleitfähigkeit $0,041 \text{ W/m}^2\text{K}$, mit armierter Putzspachtelung, nach Vorgabe Dämmstoffhersteller befestigt.
- Im Kastenfensterzwischenraum wird der vorhandene schwimmende Estrich entfernt. Es wird eine dampfdichte Schaumglaswärmedämmung vollsatt im Bitumen eingeschwennt, $d = 3 \text{ cm}$; Wärmeleitfähigkeit $0,041 \text{ W/m}^2\text{K}$ abgedeckt mit Druckverteilerplatte nach Vorgabe Architekt.

Mit diesen Festlegungen wurde von der ursprünglichen Idee einer Ausführung ohne Dämmung im Bereich des Kastenfensters abgewichen. Die ausführenden Planer konnten mit dem Büro für Bauphysik keinen Konsens darin erreichen, dass die durch solare Einwirkung vorgewärmte Luft eventuell auftretende Kondensationsfeuchtigkeit weglüftet. Selbst die Tatsache, dass winterlich kühle Luft trocken ist (wie trocken?), konnte den Experten für Bauphysik nicht überzeugen. Dieser Umstand wird ausdrücklich bedauert. Hier hätte ein etwas weniger konservativer und differenzierter Blick auf die Bauphysik auch im Sinne eines Forschungsprojektes mehr bewirken können.

BEWÄLTIGUNG DER BAUTOLERANZEN

Die Bautoleranzen im Fensterbereich beliefen sich auf Abmessungen $\pm 3-4$ cm in der Breite und $\pm 3-4$ cm in der Höhe. Eine wirtschaftliche Bauweise der Kastenfenster bedingt allerdings, dass die Grundmaße der Fenster mit den Abmessungen der Flügel und Einbauteile für die Lüftungsgeräte mit gleichen Maßen gefertigt werden mussten. (Fensterelemente mit unterschiedlichen Abmessungen schieben von vornherein aus) Zur Bewältigung der Bautoleranzen wurden folgende Maßnahmen getroffen.

Die seitlichen Anschläge sowie der Anschlag am Sturz wurden um ein zusätzliches Differenzholz mit den Abmessungen 80/68 mm ergänzt.

Die Innenfenster wurden mit einer "Stockzarge" hergestellt. Diese Stockzarge 40/40 mm stark wurde zunächst als selbstständiger dreiseitig ausgebildeter Rahmen vor der Montage der Innendämmung eingebaut. Daran wurden alle Innendämmungen, die innerhalb des Kastenfensters eingearbeitet werden mussten, angepasst.

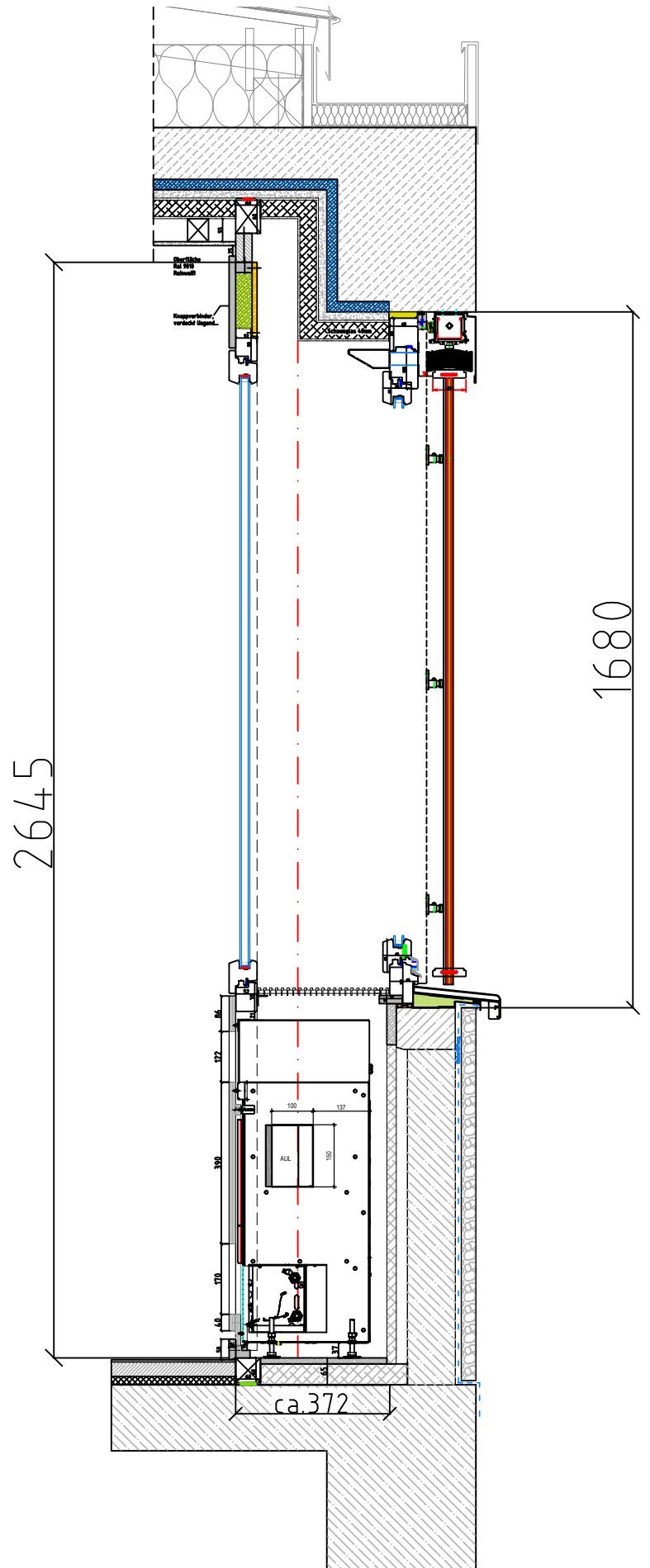
Die Stockzarge wurde nach ermitteltem Aufmaß so hergestellt, dass alle Toleranzen aufgenommen werden konnten. Nur an wenigen Stellen mit extremen Toleranzen wurde der Unterputz komplett entfernt und neu aufgebaut.

Dieser Stockrahmen bedingte nach sorgfältiger Bauaufnahme eine exakte Herstellung aller Fensterelemente sowohl des Innenfensters als auch der Einbauteile für die Lüftungsgeräte.

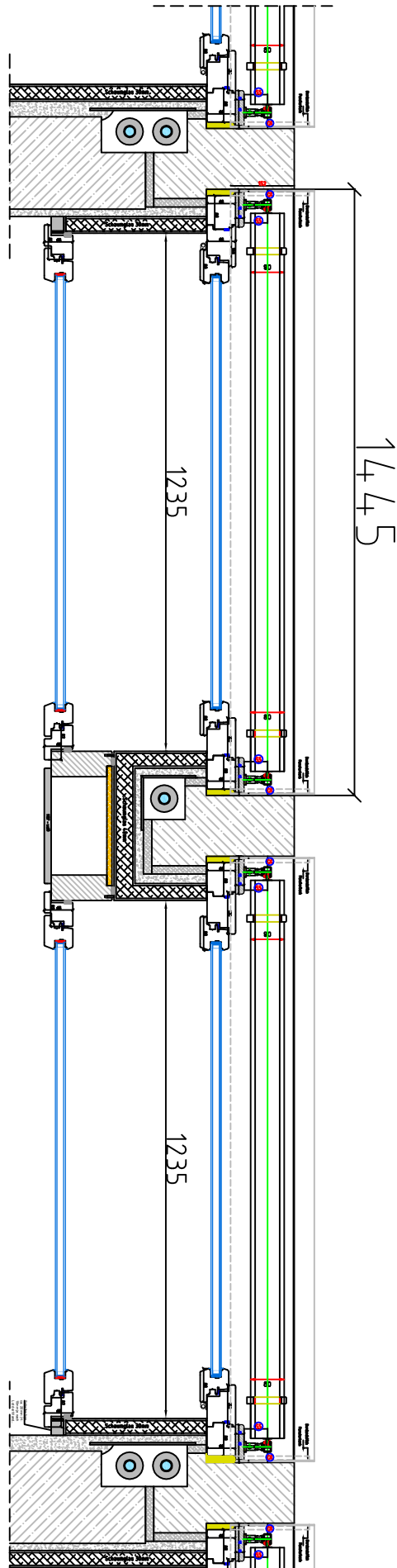
Die Lüftungsgeräte erhielten – an Schnäppern fixierte – aufklappbare Blenden, um jederzeit die Stelleinrichtungen revisionierbar zu halten.

In der Mitte der Stütze wurde eine abnehmbare Blende eingebaut, hinter der die notwendigen Elektroinstallationen der Steuerung geführt sind.

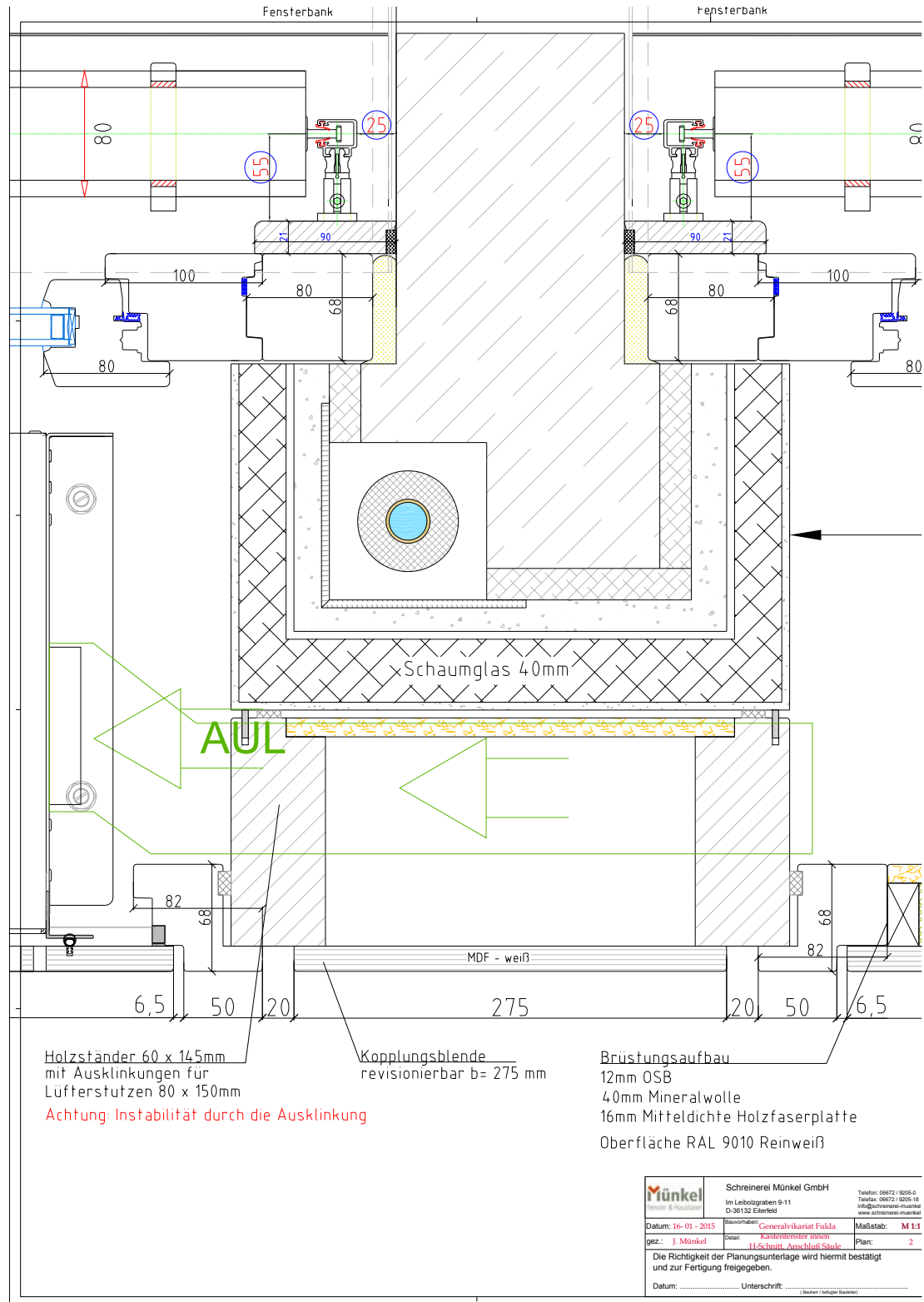
(siehe dazu die Detailzeichnungen auf Seite 37-43)



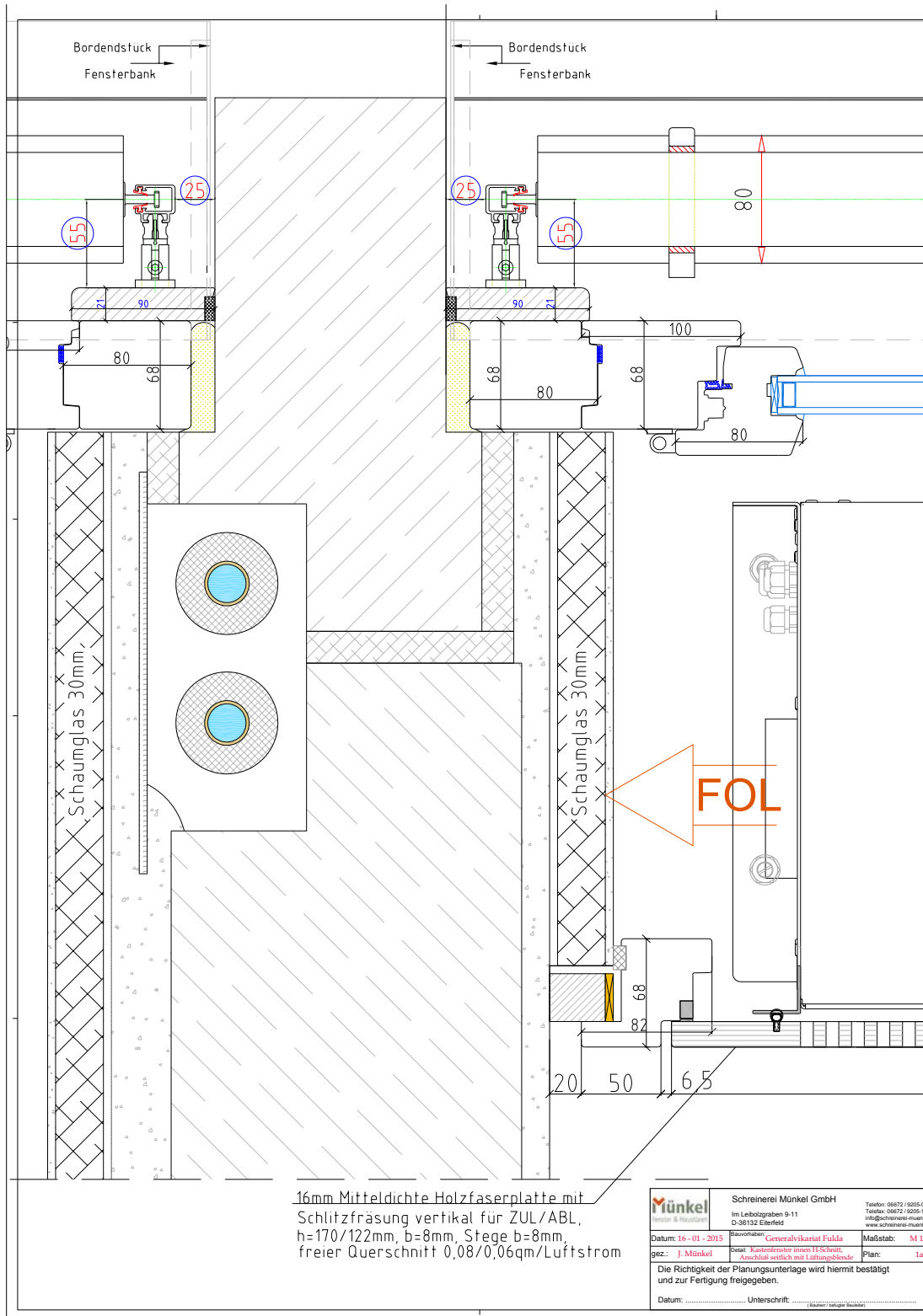
Querschnitt durch das Kastenfenster - Normaltyp (ohne Maßstab)



Grundriss durch das
Kastenfenster - Normaltyp
(ohne Maßstab)

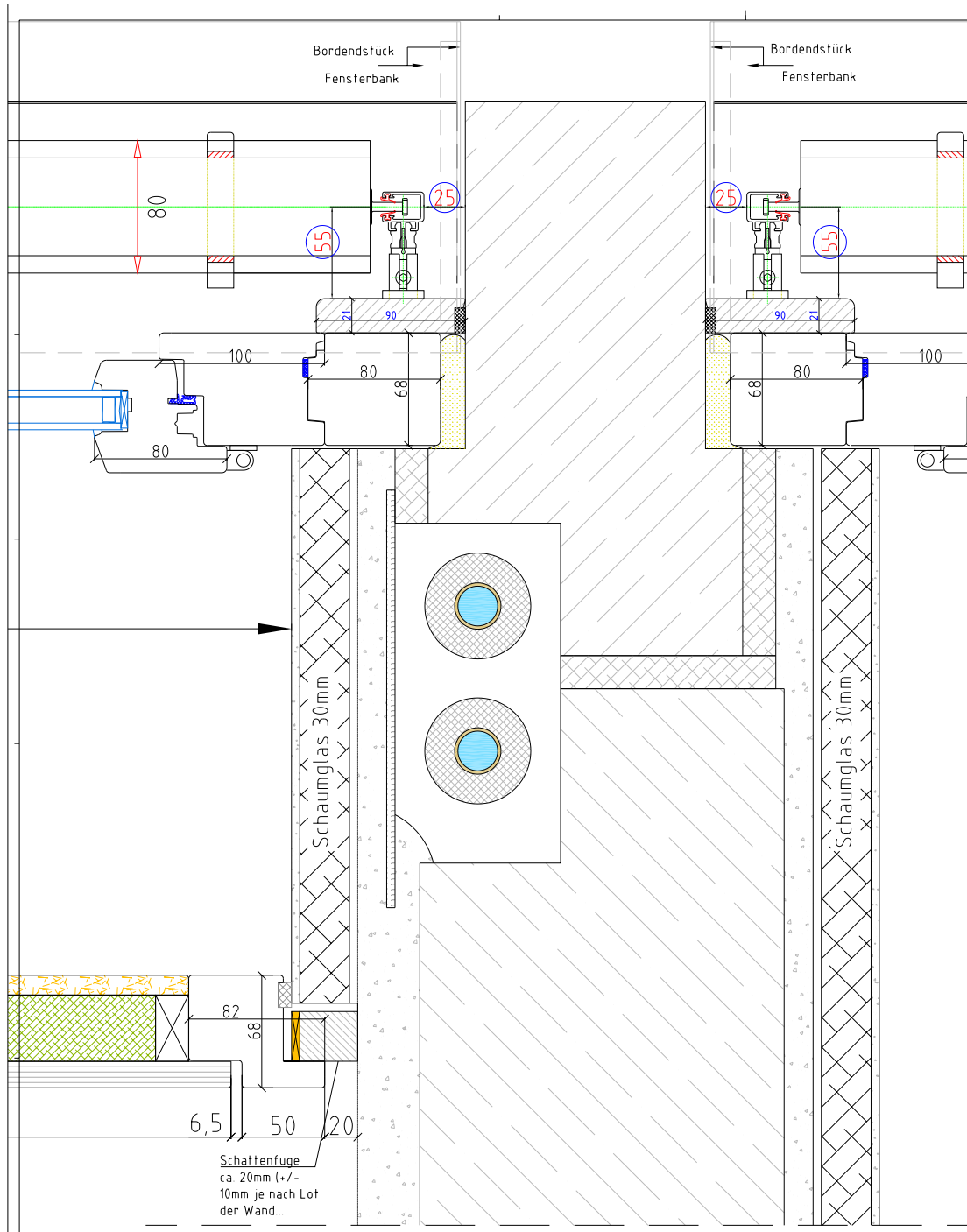


Horizontalschnitt durch den Stützenanschluss.
 Dämmung der Stütze
 senkrechter Kabelkanal
 Grün: Zuluftstutzen von der rechten zur linken
 Seite zum Lüftungsgert
 Werkstattzeichnung der ausführenden Firma



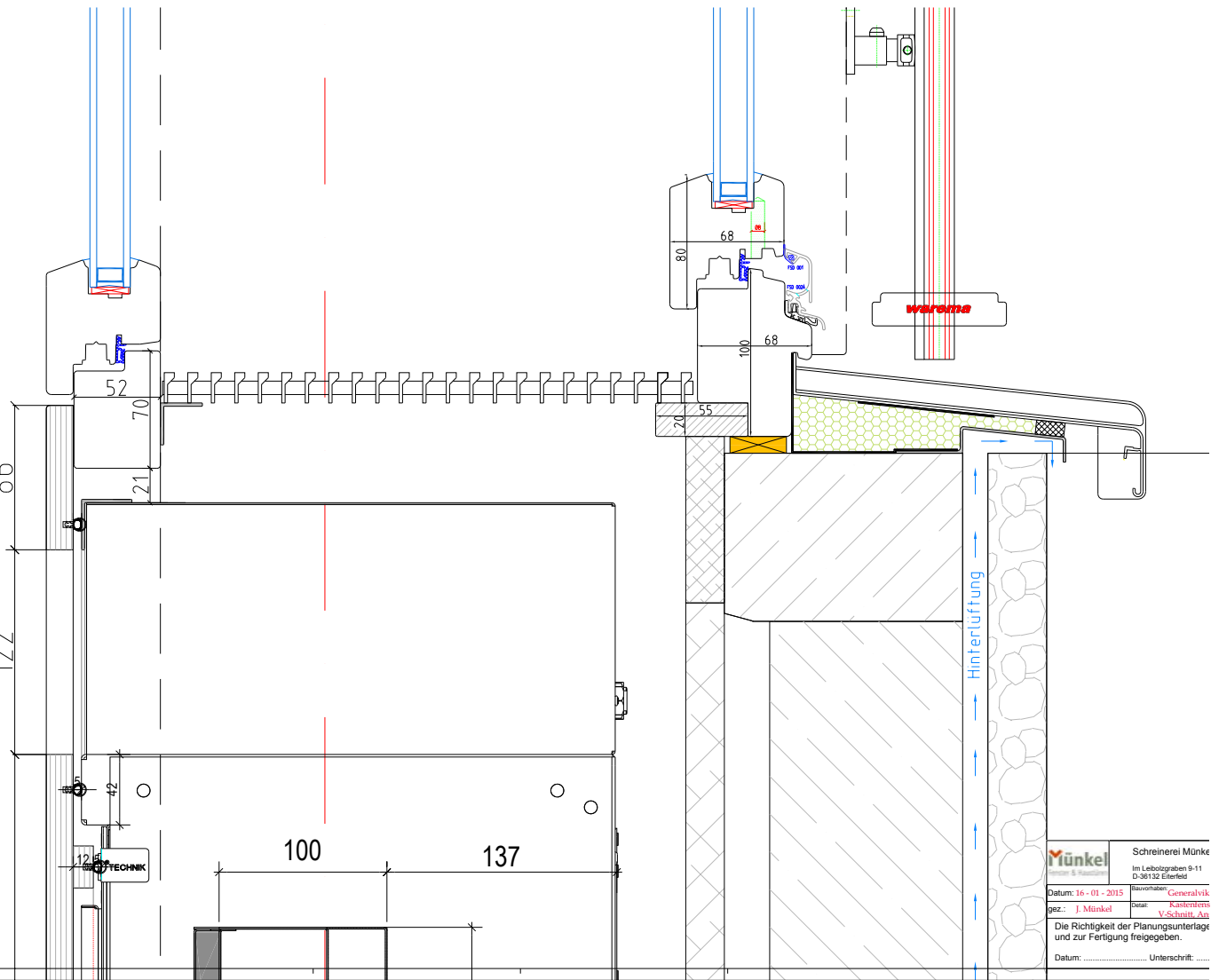
Horizontalschnitt durch den Wandanschluss und Flankendämmung der Wand
 Schnitt durch die abnehmbare Verkleidung vor dem Lüftungsgerät mit der umlaufenden Schlauchdichtung.

Werkstattzeichnung der ausführenden Firma



Horizontalschnitt durch den Wandanschluss und Flankendämmung der Wand auf der rechten Seite,
Schnitt durch das Brüstungselement des Innenfensters.

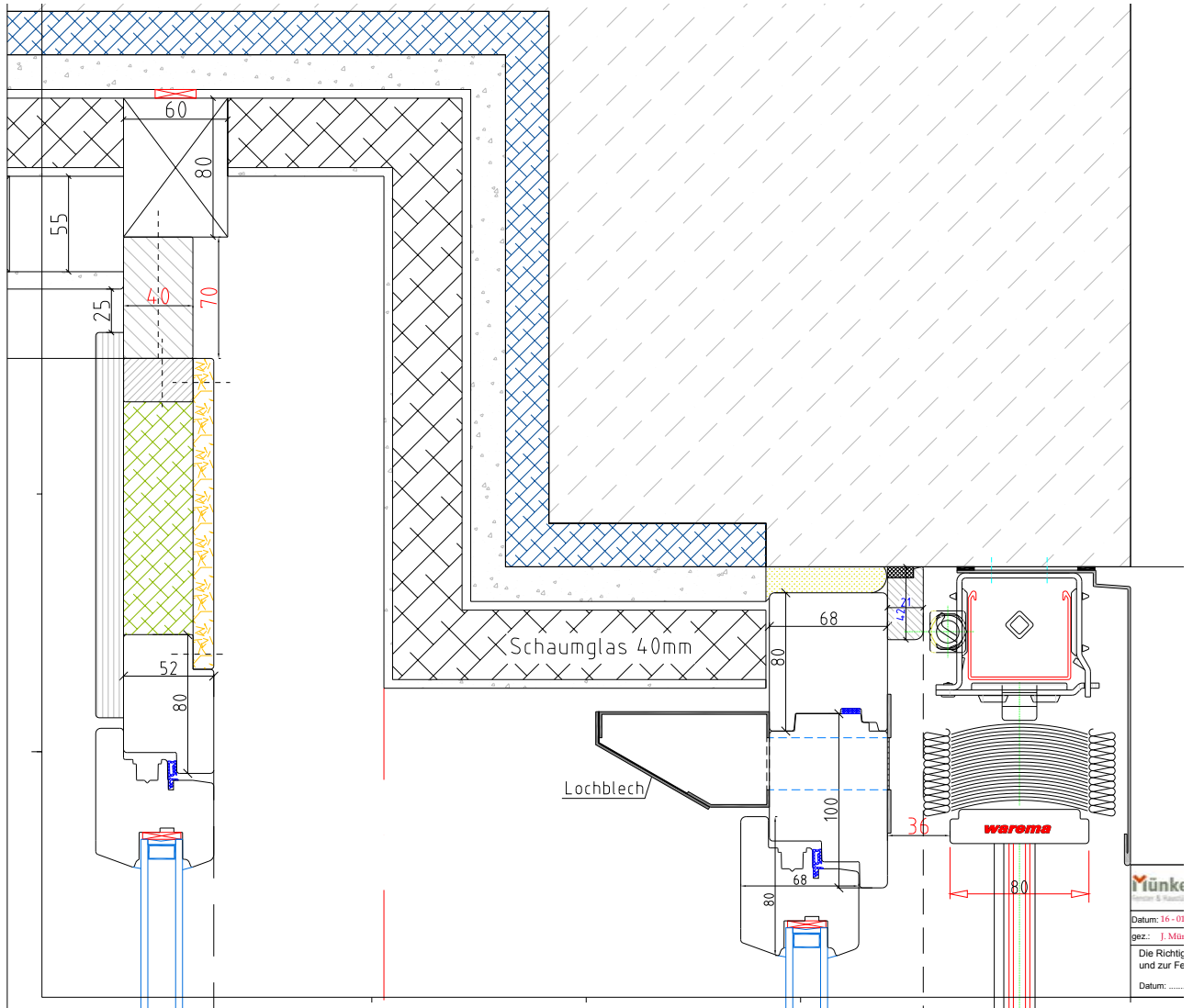
Werkstattzeichnung der ausführenden Firma



	Schreinerei Münkel Im Leibolzgraben 9-11 D-99133 Ebersfeld	
	Datum: 16-01-2015	Bearbeiter: Generalvikar Kabinett des V-Schnitts, An
gez.: J. Münkel		
Die Richtigkeit der Planungsunterlage und zur Fertigung freigegeben.		
Datum:		Unterschrift:

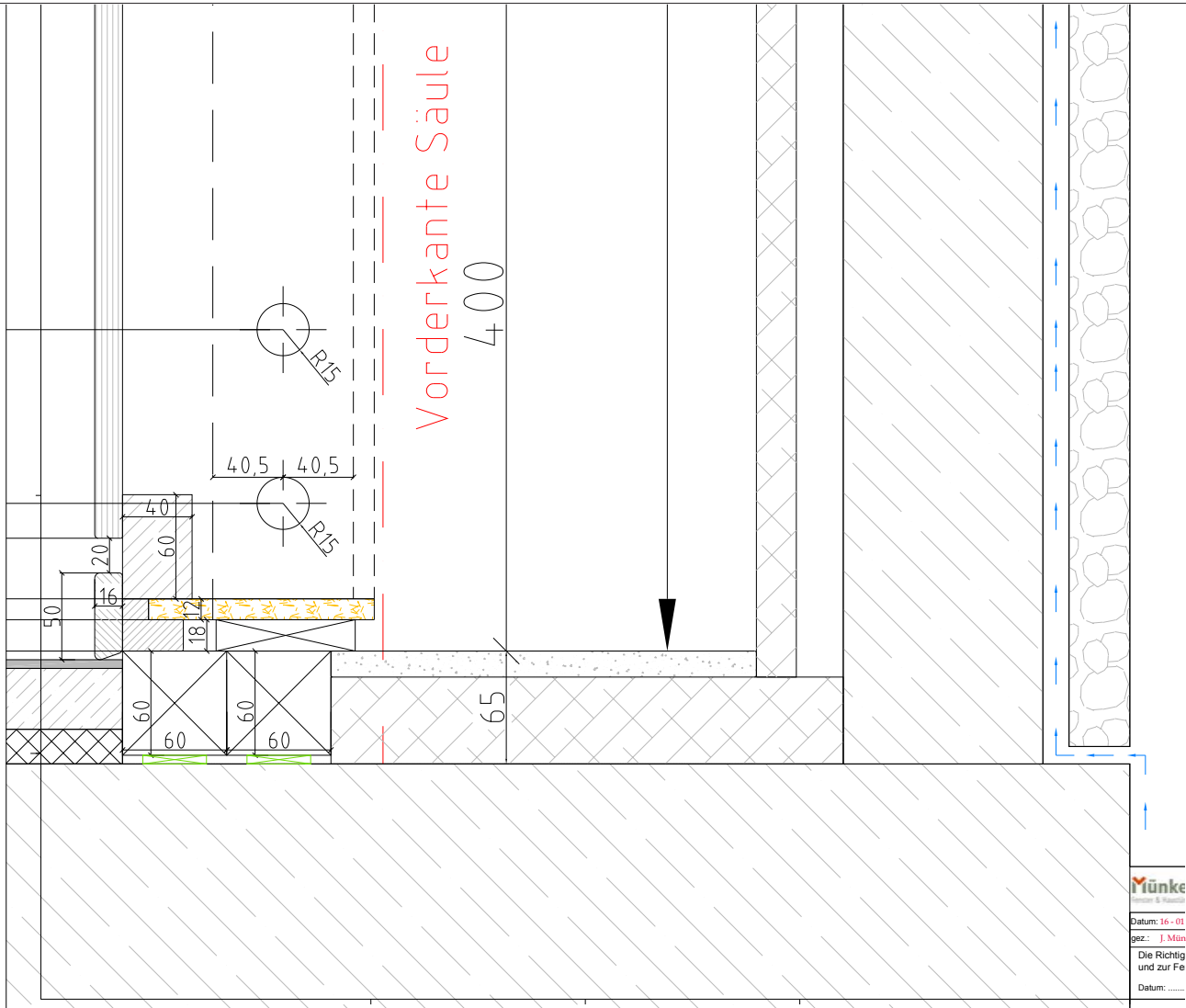
Vertikalschnitt durch die Brüstung
 Außenfensterbak mit ordnungsgemäßer Hinter-
 lüftung der Natursteinplatte
 Lüftungsgerät - Anschluss oben.
 Rostabdeckung im Kastenfenster
 Revisionsklappe mit Schlaufdichtung.

Werkstattzeichnung der ausführenden Firma



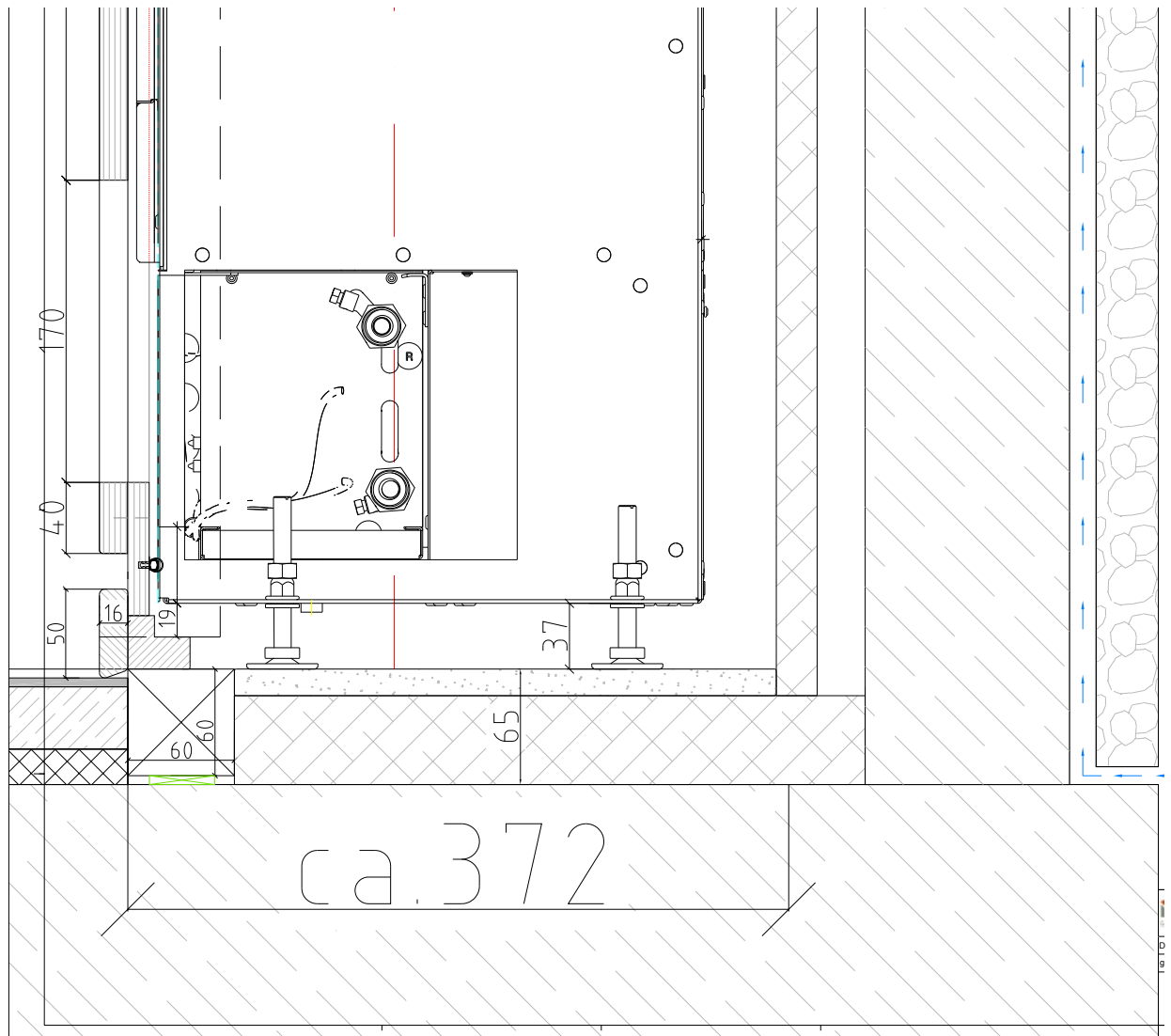
Vertikalschnitt durch den Sturzbereich.
 Dämmung des Sturzes
 Aussenjalousie
 Zuluft / bzw. Abluft für das Kastenfenster
 Innensturz des Kastenfensters mit Anschluss an
 die abgehängte Decke

Werkstattzeichnung der ausführenden Firma



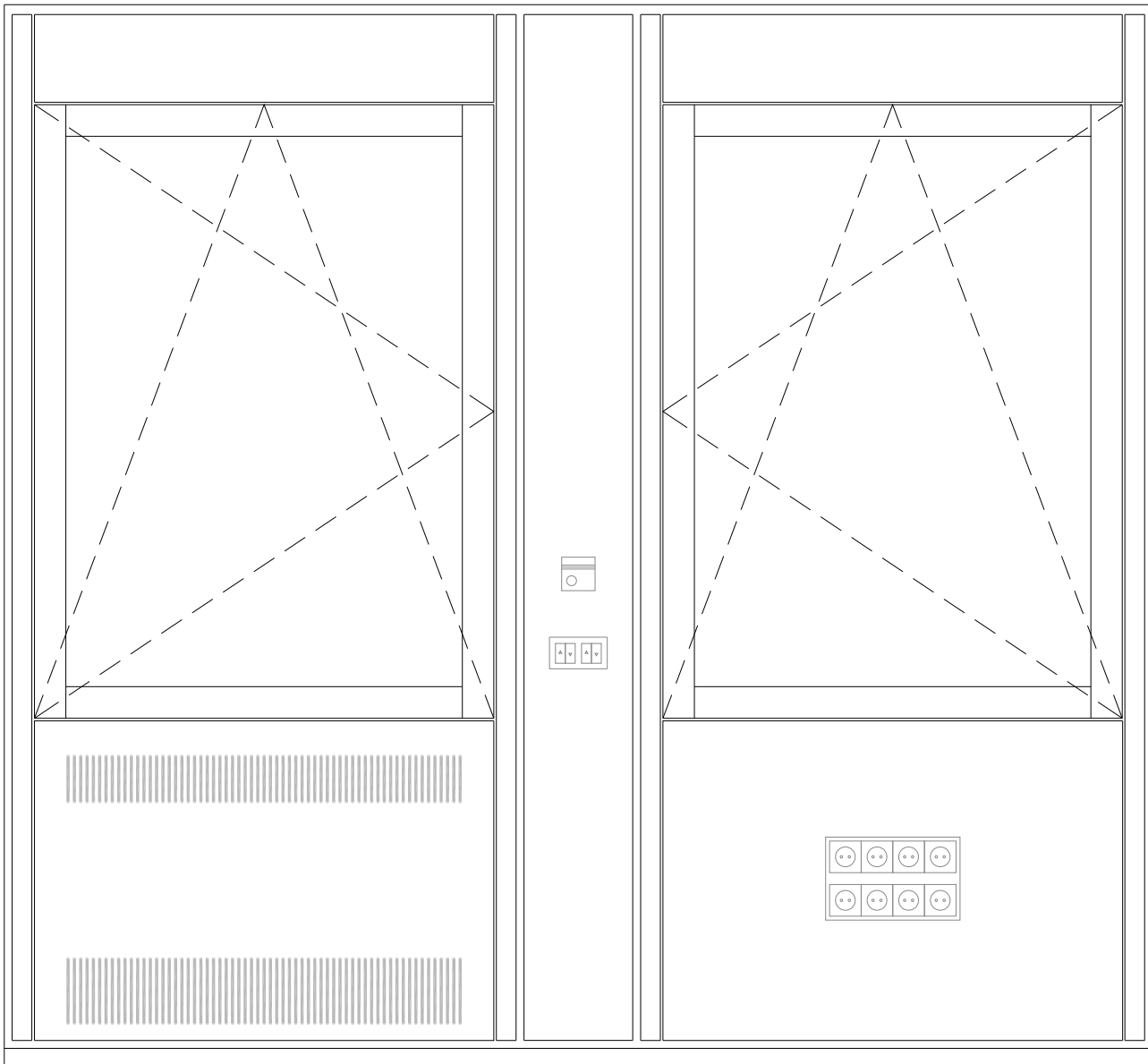
Vertikalschnitt durch den Sockelbereich im rechten Fensterelement mit Ansicht zum Kabelkanal mit Elektrodurchführungslöcher.

Werkstattzeichnung der ausführenden Firma



Vertikalschnitt
 durch den Sockel des Lüftungsgerätes
 Bodendichtung mit Anschluss an den vorhande-
 nen Estrich,
 Brüstungsaufbau der vorhandenen Brüstung
 Revisionsklappe mit Schlauchdichtung.

Werkstattzeichnung der ausführenden Firma



Ansicht des Kastenfenster von der Raumseite
rechts die Lüftungsöffnungen vor dem Lüftungs-
gerät:
Linke Seite Elektro- Steckdosenelement.
Mitte: Abdeckung des Kabelkanals mit Steuerele-
ment Lüftung und Jalousiesteuerung.

Werkstattzeichnung der ausführenden Firma

DACHKOLLEKTOREN FÜR DIE SOLARE ENERGIEGEWINNUNG

Teil des Forschungsvorhabens war die Einbindung eines Dachkollektors für die Wärme- gewinnung zur Unterstützung der Heizung. Im Versuchsaufbau wurden zwei Dachflä- chen mit jeweils 4 qm errichtet:

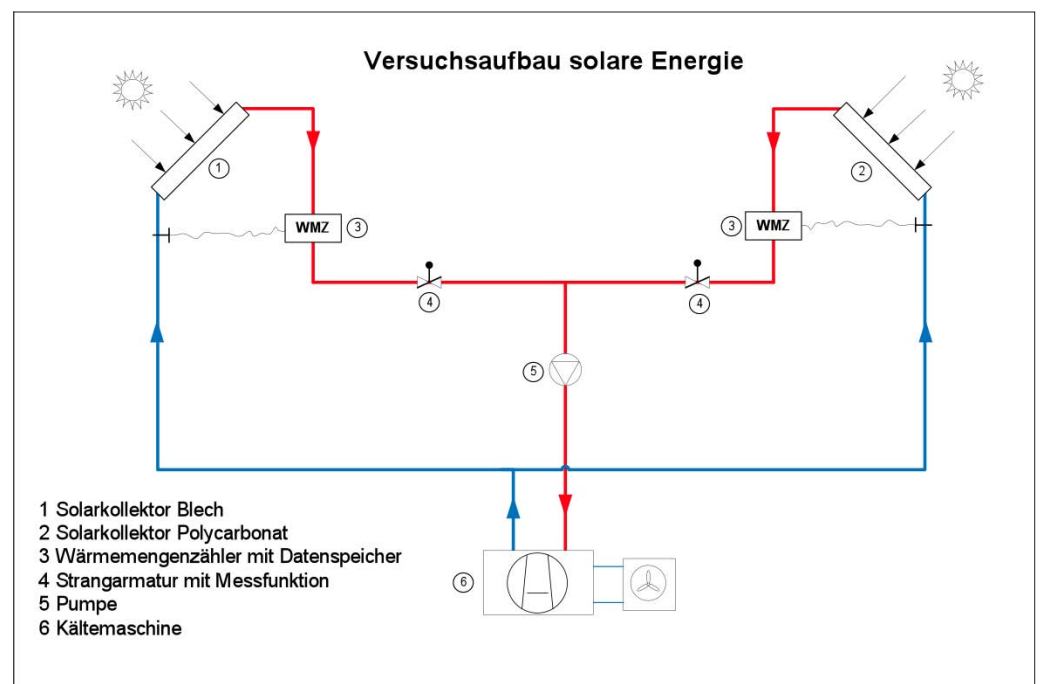
a) eine Polycarbonatfläche mit Kapillarmatten, die normalerweise für Fußbodenhei- zungen / Wandheizungen benutzt werden

b) eine Blechdeckung mit einem Kapillarsystem der Firma GeoClima Design.

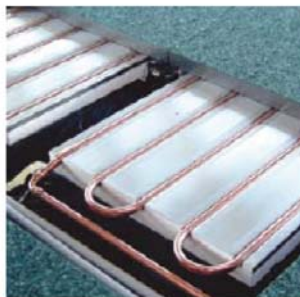
Die Kollektoren werden über eine Kältemaschine mit ca. 1 kW Kälteleistung mit Kühl- mittel (Glykol) versorgt.

Die Wassermenge wurde mittels Strangreguliertventilen abgeglichen.

Die Wärmemengenzähler zeichnen die Werte auf und speichern die Daten. Da die Rah- menbedingungen konstant sind, kann eine Aussage über die Leistungsfähigkeit der Kol- lektoren dargestellt werden.

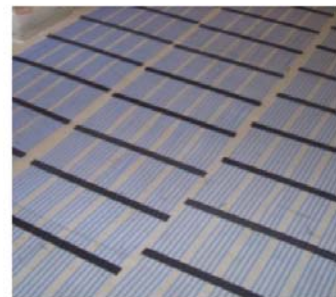


Kollektor 1:



Kälberer Heizsysteme GmbH
Heizelemente

Kollektor 2:



GeoClimaDesign
Kapillarsystem



Versuchsaufbau
der Dachkollektoren
vorne Deckung mit
Polycarbonat
hinten Deckung mit
Stehfalzblech

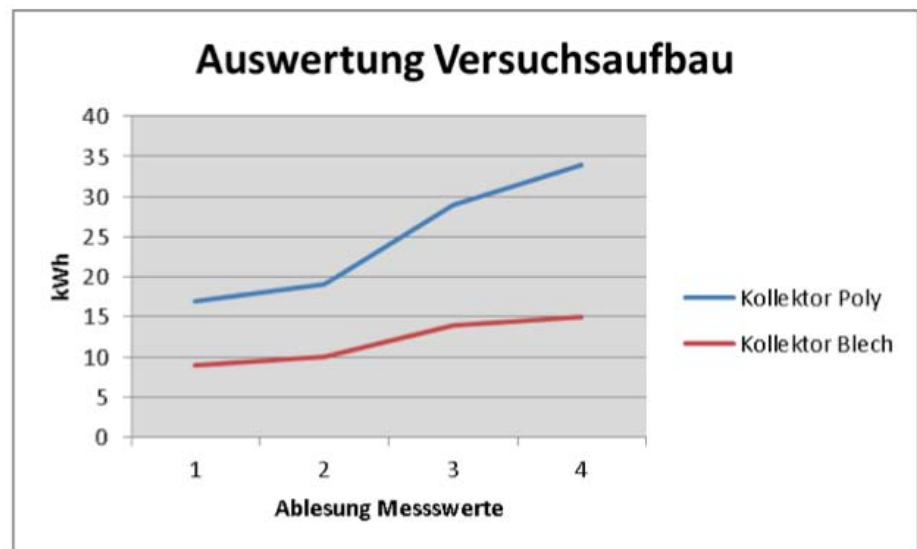
Kollektor 1 Polycarbonat



Kollektor 2 Blech



Auswertung
der Wärmemengen-
zähler



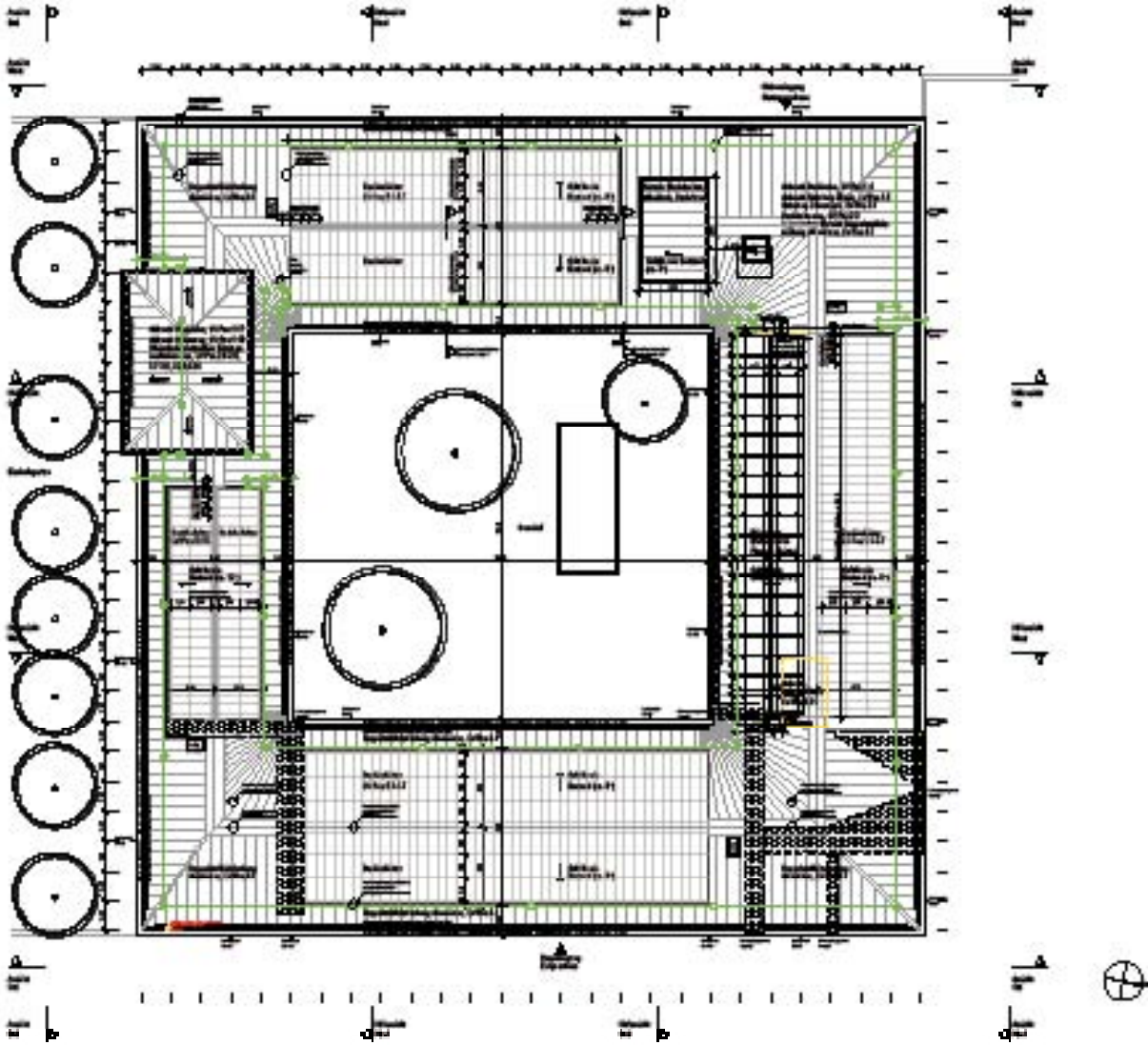
Ableitung	
1	27.11.2013
2	11.12.2013
3	15.01.2014
4	29.01.2014

Die Auswertung der Messdaten im Zeitraum vom 27.11.2013 - 29.01.2014 zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen der Ausbeute mit einer Abdeckung aus Blech (15 kW/h) zu einer Ausbeute wenn die Kapillarmatten unterhalb einer transluzenten Fläche angebracht sind. (34 kW/h) Also eine um 126 % bessere Ausbeute der solaren Gewinne.

Die endgültige Entscheidung die Dachflächen mit den Polycarbonat- gedeckten Kapillarmatten zu bestücken wurde lediglich dadurch ergänzt dass eine Teilelement des Daches mit Photovoltaikpaneelen ausgestattet werden soll.



Teilansicht der Dach-
deckung mit
Solarkollektor mit
Kapillarmatten und Po-
lycarbonatabdeckung



Dachaufsicht mit den Flächen der Solarkollektoren, der Photovoltaik. Die übrigen Flächen sind mit einer Blechabdeckung versehen,

Nachdem die Bauherrschaft entschieden hat die Anordnung der Dachpaneele nach dem vorliegenden Plan auszuführen wurden noch einmal vergleichende Berechnungen hinsicht der Wirtschaftlichkeit der Verhältnisses zwischen verringerter Fläche der solaren Kollektoren hervorgerufen durch die Flächen der Photovoltaikpaneele.

Die Darstellung der Wirtschaftlichkeit ist auf Seite 48 zu entnehmen.

Fulda

28. Sep 15

Vorhandene Anlage
 Heizenergiebedarf nach Simulation **495314 kWh/a**
 Gasverbrauch nach Feuerstein **525780 kWh/a**
 Elektroenergie nach Feuerstein **97110 kWh/a**

nach Sanierung
 Heizenergiebedarf nach Simulation **68.387 kWh/a**
 Heizenergiebedarf zzgl. Leitungsverluste **1.368 kWh/a**
 Energiebedarf Lüftung **3840 kWh/a**
 Elektroenergie nach Feuerstein **97110 kWh/a**

			Kollektorfläche aktiv 400m ²	Kollektorfläche aktiv 300m ²		
		Betrieb bisher	Doppelfassade, Wärmepumpe mit Spitzenlast-Gaskessel	reduzierte Fläche durch Photovoltaik Polycarbonat mit Kapillarrohrrmatte	reduzierte Fläche durch Photovoltaik Blechdach Ausbeute 14/29	
Energiebedarf						
Elektro						
Ventilatoren	kWh		3.840	3.840	3.840	
Wärmepumpe 70%	Wärme kWh		48.828	36.621	17.679	
COP			4,5	4,5	4,5	
Energiebedarf	Elt kWh		10.851	8.138	3.929	
Summe Elektro	kWh	- €	14.691	11.978	7.769	
Kosten Elektro im Durchschnitt von 10 Jahren	0,173 €/kWh	- €	2.541 €	2.072 €	1.344 €	
Heizung mit Gas						
COP						
Energiebedarf	kWh	525.780	20.926	33.134	52.076	
Kosten Gas im Durchschnitt von 10 Jahren	0,10522942 €/kW	55.328 €	2.202 €	3.487 €	5.480 €	
Summe Energiekosten		55.328 €	4.744 €	5.559 €	6.824 €	1.265 €
Investition						
Einzelraum Heizung und Lüftung						
Investition Wärmeerzeugung		- €	381.300,00 €	381.300,00 €	381.300,00 €	
Fassade		- €	215.555,50 €	215.555,50 €	263.825,50 €	
Kollektormit WP und Verrohrung		- €	987.476,47 €	987.476,47 €	987.476,47 €	
Nebenkosten 24%			140.000,00 €	118.000,00 €	118.000,00 €	
			322.327,67 €	317.047,67 €	328.632,47 €	
Summe Invest		- €	2.046.660 €	2.019.380 €	2.079.234 €	59.855 €
		Betrieb bisher	Doppelfassade, Wärmepumpe mit Spitzenlast-Gaskessel	reduzierte Fläche durch Photovoltaik Polycarbonat mit Kapillarrohrrmatte	reduzierte Fläche durch Photovoltaik Blechdach Ausbeute 14/29	
Instandsetzung	%	2,0%	3,0%	3,0%	3,0%	
Wartung	%	2,0%	1,0%	1,0%	1,0%	
Bedienung	h/a	20,00	20,00	20,00	20,00	
Kosten bedienenbei	40 €/h	800 €	800 €	800 €	800 €	
Summe betreiben	€/a	6.400 €	4.370 €	4.370 €	4.370 €	
WIRTSCHAFTLICHKEIT						
Nutzungsdauer	a	25	25	25	25	
Zinssatz	%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	
Annuitätsfaktor	%	0%	5,74%	5,74%	5,74%	
Kapital-Faktor	%	0%	5,74%	5,74%	5,74%	
Kapital-Kosten	€/a	- €	117.535 €	115.969 €	119.406 €	
Summe Energie+Kapital+ Wartung	€/a	61.728 €	126.649 €	125.897 €	130.600 €	
Primärenergiebedarf	kWh/a	578.358	58.277	65.194	75.928	
CO2 Ausstoss Gas	g/kWh	244	244	244	244	
CO2 Ausstoss Elektro	g/kWh	566	566	566	566	
CO2 Ausstoß pro Jahr	kg/a	128.290	13.421	14.864	17.104	

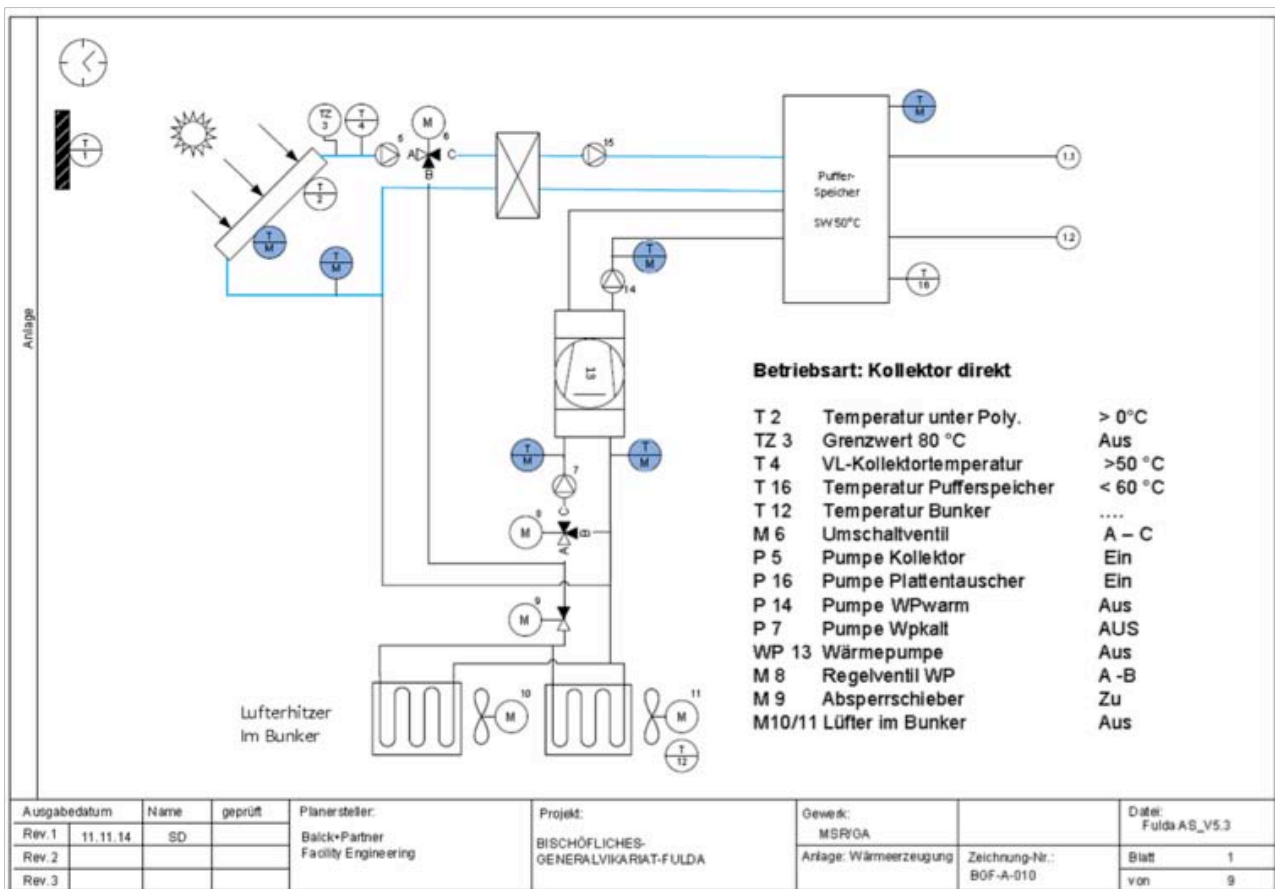
2. WÄRMEVERSORGUNG

2.1. Gerätebeschreibung

Die Wärmeversorgung des Gebäudes wird im wesentlichen Teil durch die Wärmepumpeanlage mit Dachkollektor und Pufferspeicher vorgenommen und durch die bestehenden Heizkessel ergänzt.

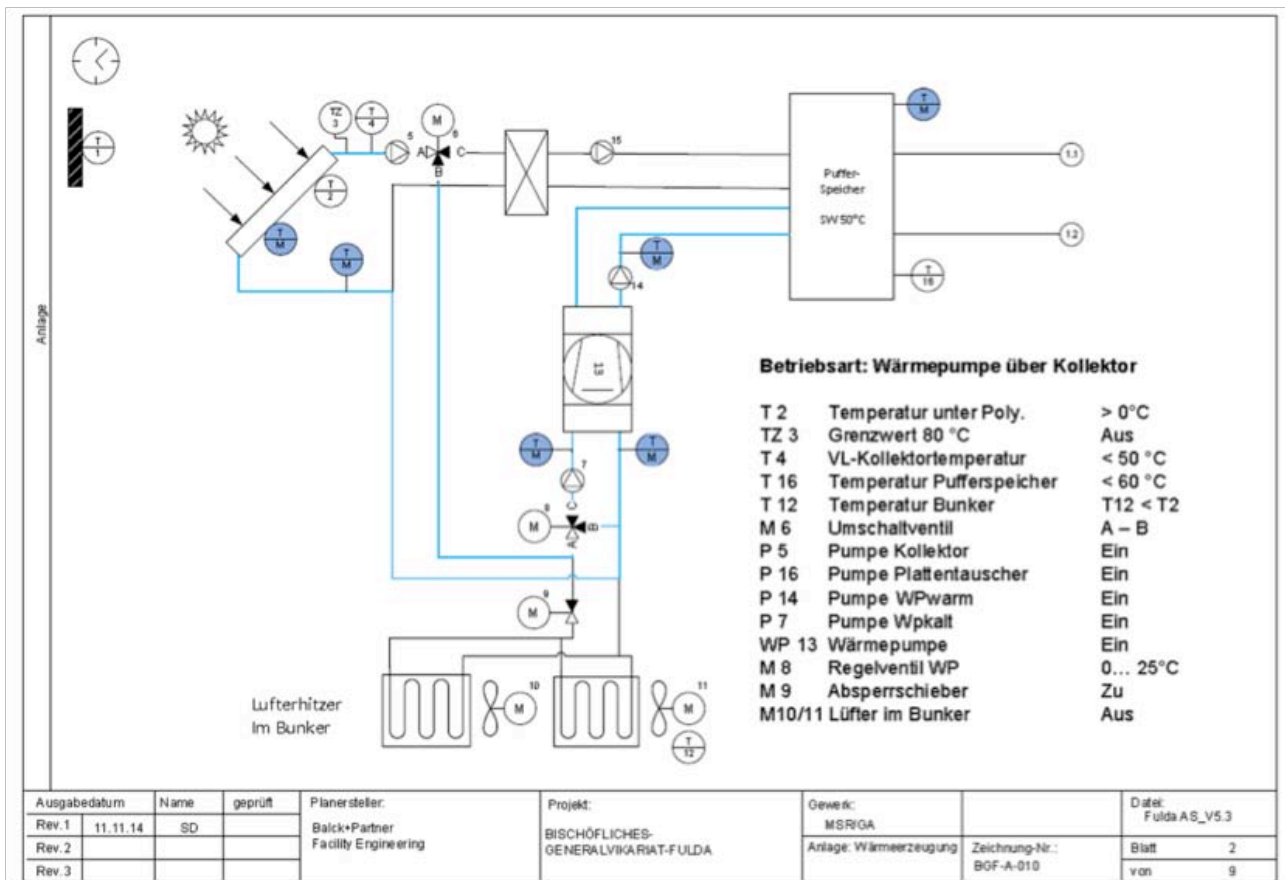
2.2. Betriebsart: Kollektor direkt

Wenn die Temperatur im Kollektor $>50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist, kann diese für die Wärmeversorgung direkt genutzt werden. Dazu ist ein Wärmetauscher eingebaut, der die Wärme vom Glykolkreislauf des Kollektors in die Pufferspeicher direkt einspeichert und somit die Wärme unter Umgehung der Wärmepumpe für die Heizungsanlage zur Verfügung stellt.



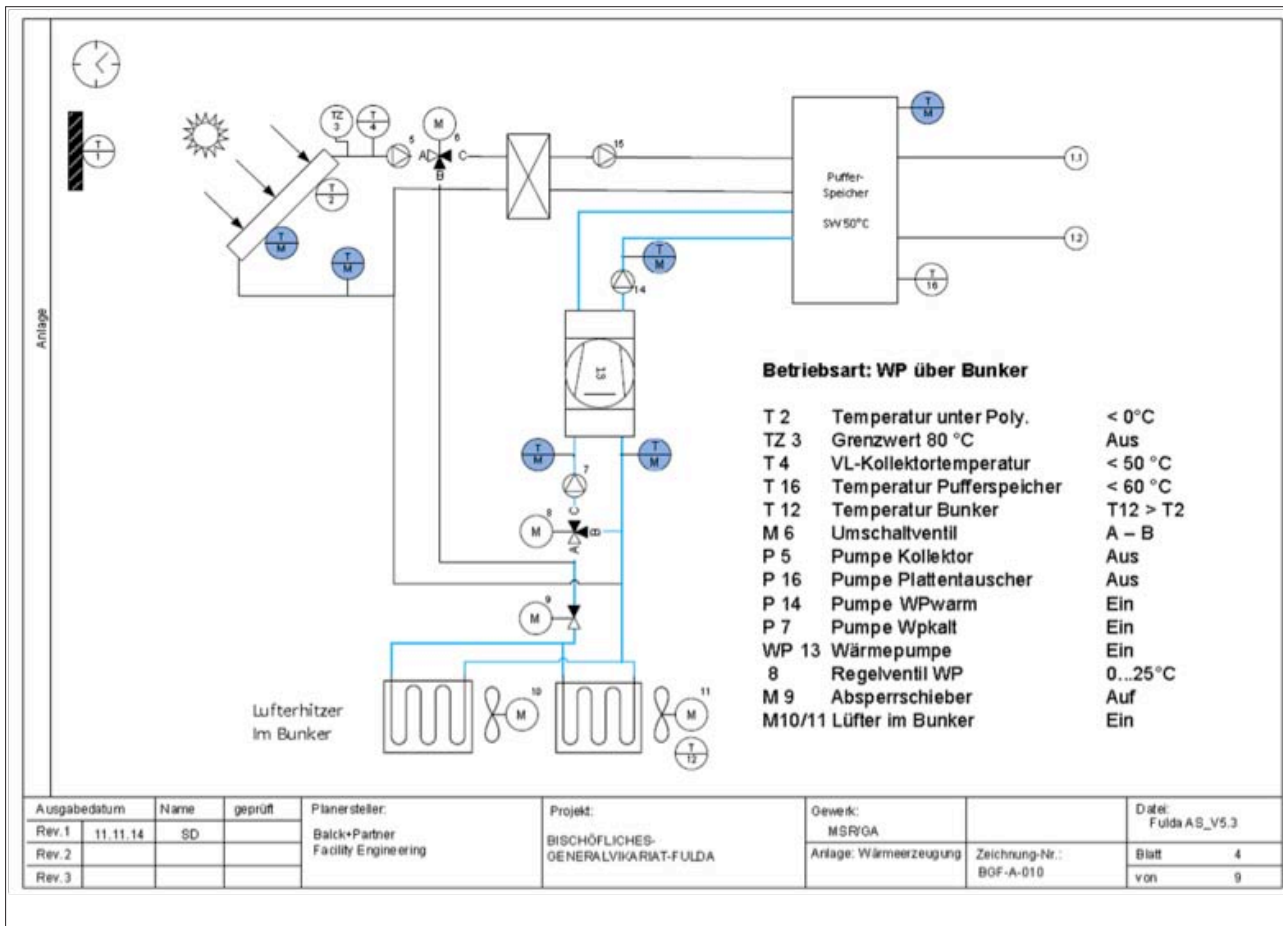
2.3. Betriebsart: Wärmepumpe über Kollektor

Wenn der Kollektor eine Temperatur von $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$ hat, wird der Wasserkreislauf des Kollektors aktiviert. Die Wärmepumpe wird dieses Wasser entnehmen, abkühlen und wieder zum Kollektor zurücksenden. Wenn die Temperatur des Kollektors $>25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist, wird zum Schutz der Wärmepumpe eine Beimischregelung zwischen Vor- und Rücklauf vorgenommen, damit die Wärmepumpe nicht auf „Störung“ geht. Die warme Seite der Wärmepumpe wird in Pufferspeichern gespeichert oder direkt in die Heizungsanlage eingespeist. Der Sollwert für die Warme Seite beträgt $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, die Wärmepumpe ist in der Lage, bis $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ Heizwassertemperaturen bereit zu stellen. Die hohen Temperaturen würden jedoch den Wirkungsgrad verschlechtern.



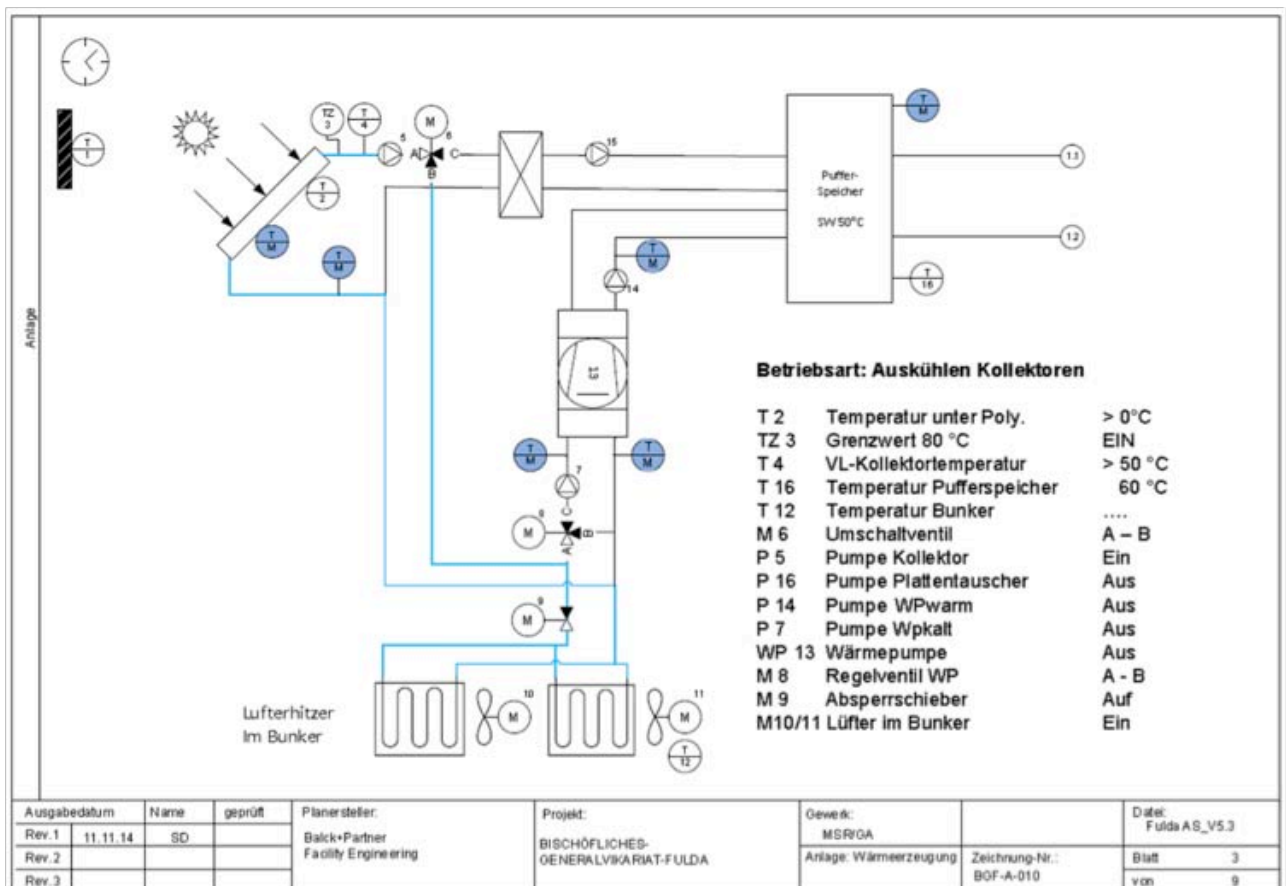
2.4. Betriebsart: Wärmepumpe über Bunker

Wenn im Kollektor Wärme ansteht, jedoch nicht in vollem Umfang für die Wärmepumpe benötigt wird, wird die restliche Wärmeenergie in den Bunker gebracht. Dort wird sie über Wandluftherhizer in den Luftraum geblasen und heizt somit die Speichermasse „Beton“ des Bunkers auf. Wenn die Temperatur des Kollektors niedriger ist als die des Bunkers und der Bunker über $+10\text{ °C}$ hat, wird diese Wärme des Bunkers mit Hilfe dieser Luftherhizer, die dann als Kühler arbeiten, dem Bunker entzogen und für die Wärmepumpe zur Verfügung gestellt.

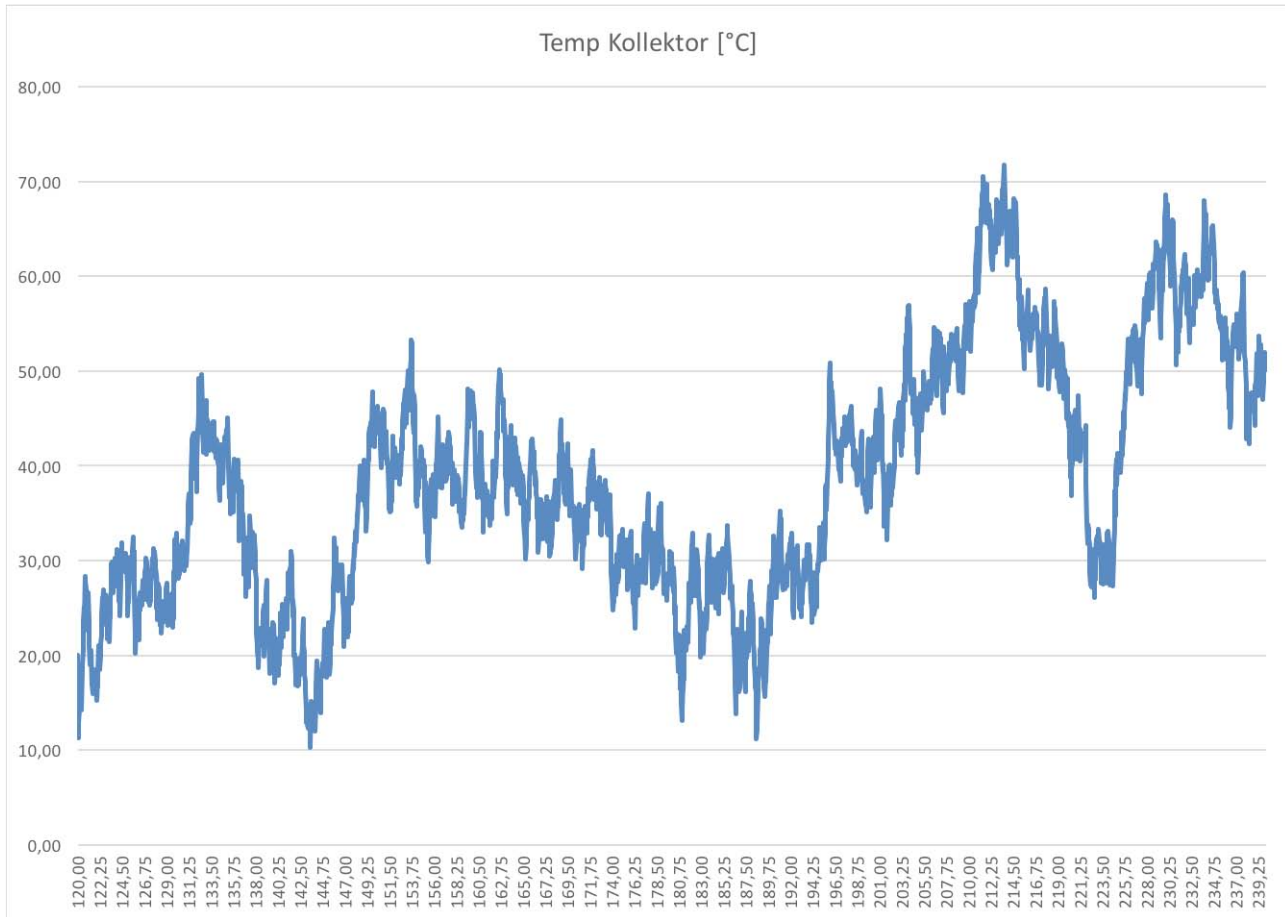


2.5. Betriebsart: Auskühlen Kollektor

Im Sommer kann es vorkommen, dass die Kollektoren hohe Temperaturen bekommen. Bei einer Kollektortemperatur von 80 °C wird der Glykolkreislauf in Betrieb genommen und die überschüssige Wärme, die für die Wärmepumpe oder den Speicher nicht genutzt werden kann, wird in den Bunker geblasen. In der Nacht wird die eingespeicherte Energie durch Inbetriebnahme des Glykolkreislaufes wieder an die Außenluft abgegeben. Die Kollektoren funktionieren dann als Heizkörper, die ihre Wärme an die Umgebungsluft abgeben. Damit ist für den nächsten Tag der Bunker soweit entleert / abgekühlt, dass eine Wärmeabfuhr des Kollektors für den nächsten Tag möglich ist.



Um eine Überhitzung des Kollektors zu verhindern wird die Wärme, die nicht in die Heizungsanlage eingespeist werden kann in den stillgelegten Bunker geleitet. Dieser kann die Energie durch seine große Speichermasse und die Einbindung in die Erde die überschüssige Wärmeenergie aufnehmen. Dazu sind die Rohrleitungen des Kollektors in den Bunker geführt und Lufterhitzer mit Ventilatoren eingebaut. Diese führen am Tag die Wärme aus dem Kollektor über die Luft in den Bunker. In der Nacht wird der Bunker wieder über die Dachkollektoren entwärmt. Als „Kälteenergie“ wird nur die Antriebsleistung der Umwälzpumpen benötigt. Dies sind für 3 Monate Dauerlauf 1080 kWh



Temperaturkurve des Kapillarkollektors.
 von Juli - September 2015
 120 = 120. Tag im Jahr - 239. Tag im Jahr

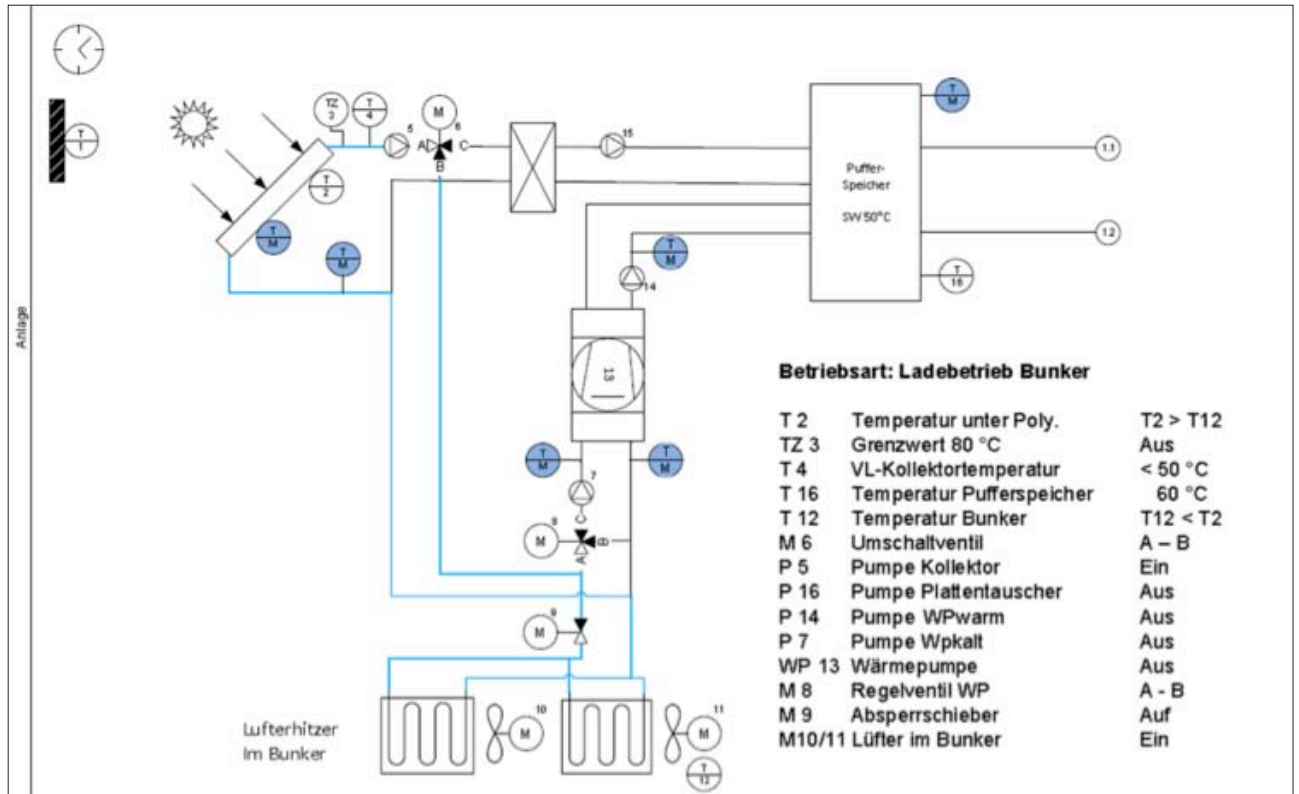


Bunker mit Lufterhitzer um das Warmwasser des kapillaren Solarkollektors in die Speicherung der Betonwände zu übertragen

2.6. Betriebsart: Ladebetrieb Bunker

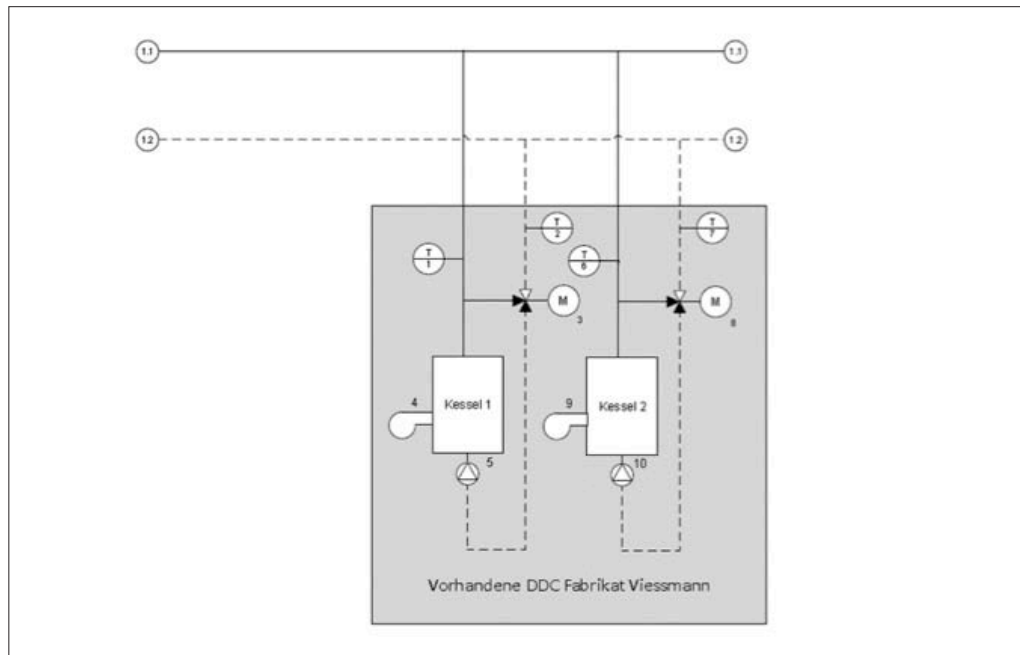
Liegt kein Wärmebedarf vor und ist die Kollektortemperatur größer als die Bunker-temperatur, wird der Bunker aufgeladen.

Diese Wärme kann wie unter Punkt 2.4 beschrieben im Bedarfsfall genutzt werden.



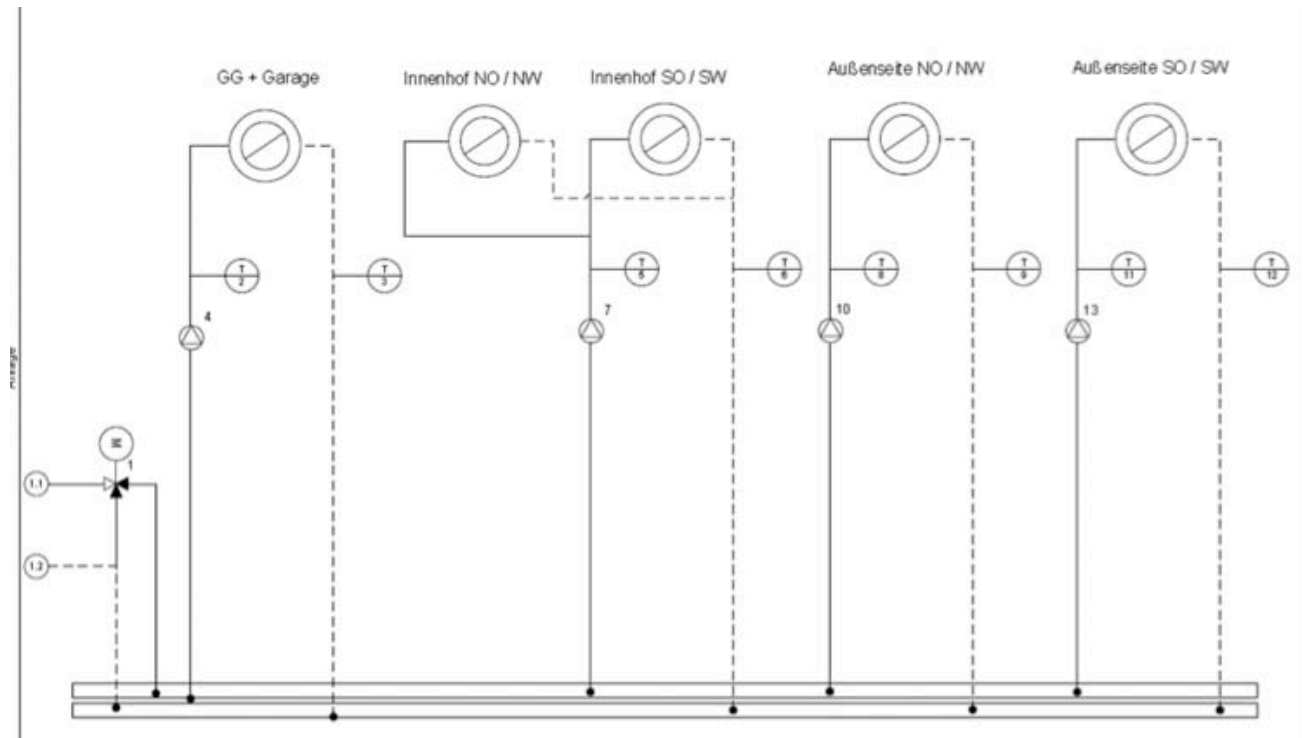
2.7. Betriebsart: Stützbetrieb Heizkessel.

Wenn weder im Kollektor noch im Bunker ausreichend Energie zur Verfügung steht und die Pufferspeicher die Temperatur von 40 °C nicht halten können, wird mit den beiden Gaskesseln die Zusatzwärme erzeugt und in den Heizkreislauf nach der Pufferspeicherung eingespeist. Wenn die Wärmepumpe wieder in Betrieb ist und ausreichend Temperatur erzeugt, werden die Kessel wieder abgeschaltet.



2.8. Die Regelkreise am Verteiler

Für die einzelnen Regelkreise der Verbraucher sind jeweils Pumpen eingebaut. Diese versorgen die Bereiche mit Heizwasser. Beim Eingang des Verteilers ist eine Temperaturregelung eingebaut, die außentemperaturabhängig die Heizkreise mit Heizwasser versorgt. Wenn im Sommer keine Heizleistung benötigt wird, werden die Pumpen der Verbraucher abgeschaltet.



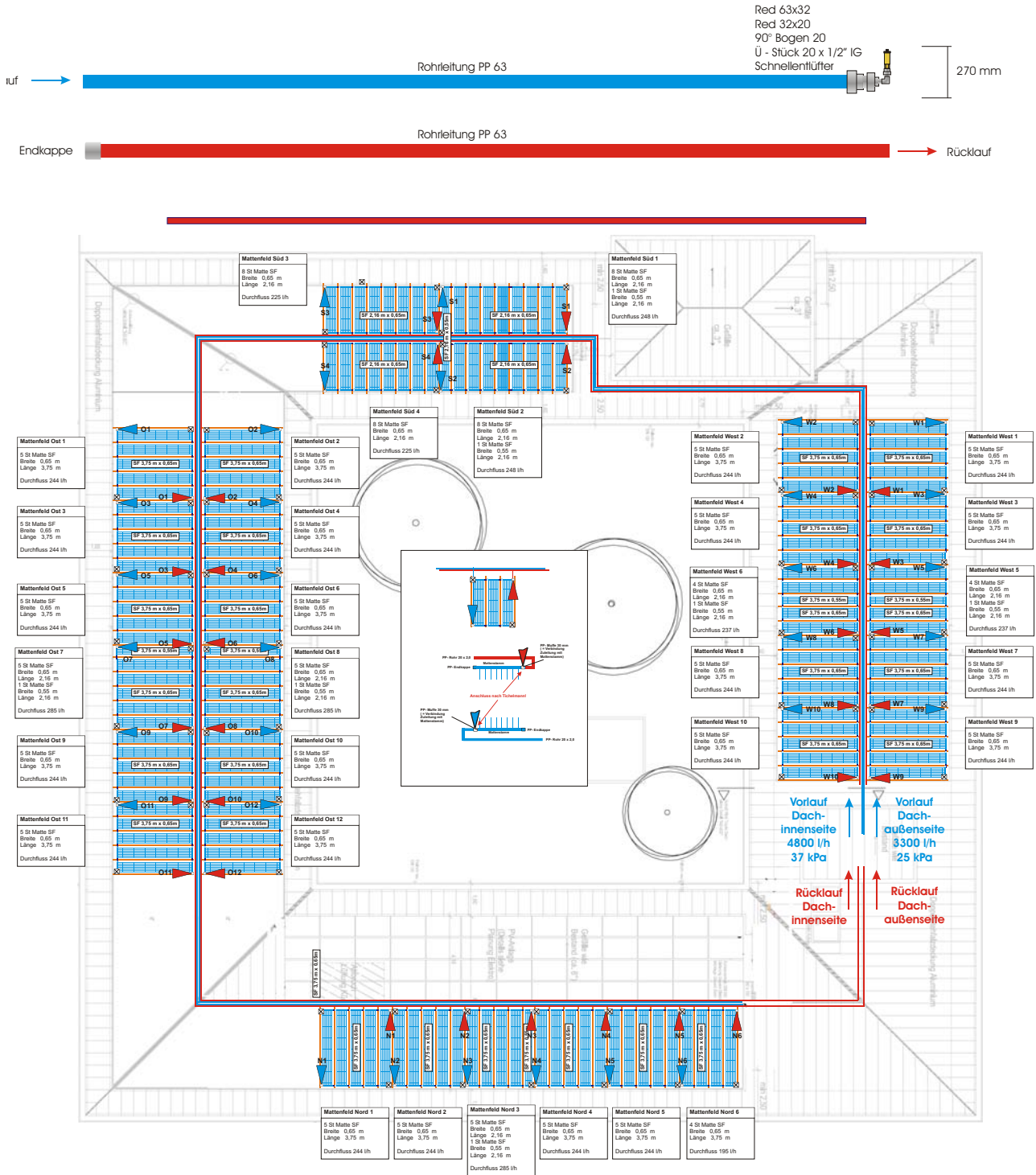
2.9. Stromspitzenabschaltung der Wärmepumpe durch das EVU

Durch die spezielle Stromversorgung der Wärmepumpen, die Abschaltzeiten des EVUs beinhalten, kann es insbesondere beim morgendlichen Anfahrbetrieb vorkommen, dass die Wärmepumpe nicht in Betrieb geht, obwohl Wärme benötigt wird. Dann werden automatisch die Heizkessel anspringen und die Wärmeversorgung sicherstellen.



Kapillarmatten vor der Verlegung der Polycarboantplatten.
unten:
die Glykolrohre liegen
unter der Firstab
deckung





links:
Dachansicht mit den Kapillarmatten unter der Polycarbonatfläche mit dem Blechrand der übrigen Dachfläche und der Rinne

oben
Plan mit der Einteilung der Kapillarmatten

	1	2
Dachfläche	90,7	40,4
Länge Modul	1,6	1,6
Breite Modul	1	1
Fläche Modul	1,6	1,6
Anzahl Module	56	25
Modulfläche	89,6	40
Leistung Modul W	240	
Leistung der Anlage kWp	13,44	6
Strahlungsangebot kWh/kWpa	950	
Investitionskosten €/Wp	0,75	0,75
Investitionskosten €	10080	4500
Montage €/kWp	400	
Montage	5376	2400
Verkabelung €/kWp	50	
Verkabelung	672	300
Wechselrichter €/kWp	130	
Wechselrichter	1747,2	780
Akkusatz €/kWp	350	
Akkusatz €	4704	2100
Aufständerung €/kWp	300	
Aufständerung €	4032	1800
30°-Neigung (kWh/a)	12.768	5.700
10°-Neigung (kWh/a)	11.874	5.301
Differenz (kWh/a)	894	399

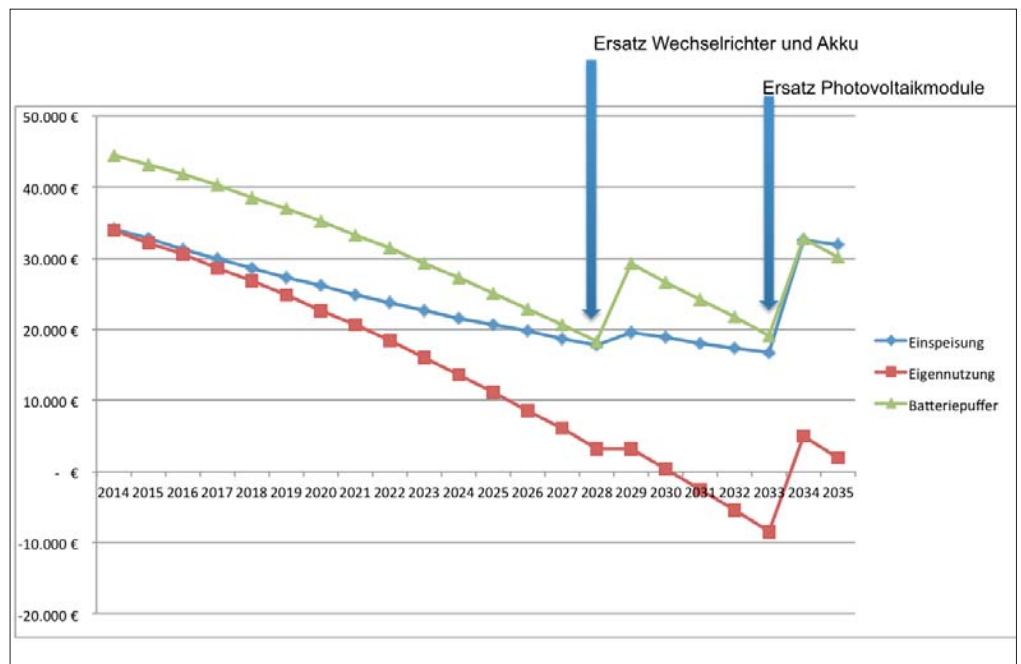
Vergleich der Photovoltaik auf beiden Südfächern.
Integriert in die Dachfläche 10° Neigung und 30° Neigung, nicht in die Dachfläche integriert.

Prozentanteil vom maximal möglichen Ertrag in Abhängigkeit der Ausrichtung und der Dachneigung																			
Ausrichtung (Abweichung in Grad von Süden)																			
Dachneigung	Süd	SüdOst SüdWest								Ost West	NordOst NordWest								Nord
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	0°	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%
10°	93%	93%	93%	92%	92%	91%	90%	89%	88%	86%	85%	84%	83%	81%	81%	80%	79%	79%	79%
20°	97%	97%	97%	96%	95%	93%	91%	89%	87%	85%	82%	80%	77%	75%	73%	71%	70%	70%	70%
30°	100%	99%	99%	97%	96%	94%	91%	88%	85%	82%	79%	75%	72%	69%	66%	64%	62%	61%	61%
40°	100%	99%	99%	97%	95%	93%	90%	86%	83%	79%	75%	71%	67%	63%	59%	56%	54%	52%	52%
50°	98%	97%	96%	95%	93%	90%	87%	83%	79%	75%	70%	66%	61%	56%	52%	48%	45%	44%	43%
60°	94%	93%	92%	91%	88%	85%	82%	78%	74%	70%	65%	60%	55%	50%	46%	41%	38%	36%	35%
70°	88%	87%	86%	85%	82%	79%	76%	72%	68%	64%	58%	54%	49%	44%	39%	35%	32%	29%	28%
80°	80%	79%	78%	77%	75%	72%	68%	65%	61%	56%	51%	47%	42%	37%	33%	29%	26%	24%	23%
90°	69%	69%	69%	67%	65%	63%	60%	56%	53%	48%	44%	40%	35%	31%	27%	24%	21%	19%	18%

Die oben stehende Tabelle zeigt den möglichen Ertrag in Abhängigkeit der Ausrichtung und der Dachneigung

Energiebedarf		Fläche 1 geständert			Fläche 2 geständert		
		Einspeisung	Eigennutzung	mit Batteriepuffer	Einspeisung	Eigennutzung	mit Batteriepuffer
Jahresertrag	kWh	12.768	12.768	12.768	5.700	5.700	5.700
Nutzung		100%	70%	100%	100%	70%	100%
Kostensparmiss Eigennutzung	0,25€/kWh		0,25	0,25		0,25	0,25
Ertrag Einspeisung	0,149€/kWh	0,149			0,149		
Ertrag	€/a	1902,43	2234,4	3192	849,30	997,5	1425
Investition							
Module		11.874	11.874	11.874 €	4.500	4.500	4.500 €
Montage		5.376	5.376	5.376 €	2.400	2.400	2.400 €
Aufständering		4.032	4.032	4.032	1.800	1.800	1.800
Wechselrichter		1.747	1.747	1.747 €	780	780	780 €
Verkabelung		672	672	672 €	300	300	300 €
Akkusatz				7.392 €			3.300 €
Netzanschluss		150,00 €			150,00 €		
Nebenkoster 14%		2.436 €	2.415 €	2.415 €	987 €	966 €	966 €
Summe Invest		26.287 €	26.116 €	33.508 €	10.917 €	10.746 €	14.046 €
Instandsetzung	%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
Wartung	%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Bedienung	%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Summe	€/a	657 €	653 €	838 €	273 €	269 €	351 €
Versicherung	€/a	130 €	130 €	130 €	130 €	130 €	130 €
Summe betreiben	€/a	787 €	783 €	968 €	403 €	399 €	481 €
WIRTSCHAFTLICHKEIT							
Nutzungsdauer	a	20	20	20	20	20	20
Zinssatz	%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
Annuitätsfaktor	%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%
Kapital-Faktor	%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%
Kapital-Kosten	€/a	1.767 €	1.755 €	2.252 €	734 €	722 €	944 €
Summe Energie+Kapital+ Wartung	€/a	-652	-304	-28	-287	-123	-0

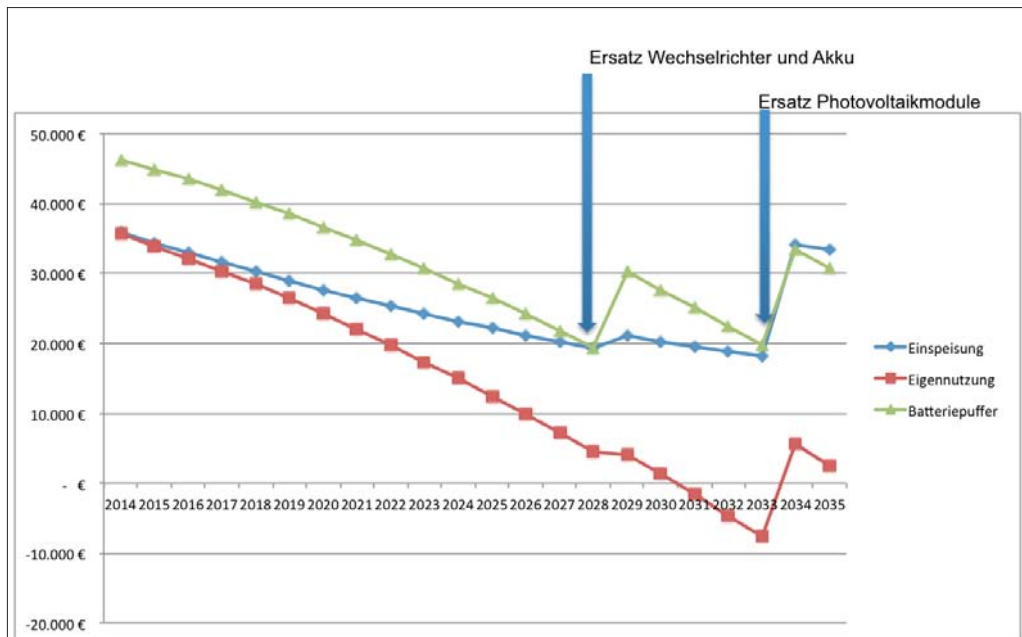
Berechnung der Wirtschaftlichkeit bei den Photovoltaikflächen 1 und 2 auf der Südseite. Version aufgeständert mit 30° Dachneigung.



Grafik über die Photovoltaik auf beiden Südflächen aufgeständert, 30° Neigung.

Energiebedarf		Fläche 1 geständert			Fläche 2 Dach		
		Einspeisung	Eigennutzung	mit Batteriepuffer	Einspeisung	Eigennutzung	mit Batteriepuffer
Jahresertrag	kWh	12.768	12.768	12.768	5.301	5.301	5.301
Nutzung		100%	70%	100%	100%	70%	100%
Kostensparnis Eigennutzung	0,25€/kWh		0,25	0,25		0,25	0,25
Ertrag Einspeisung	0,149€/kWh	0,149			0,149		
Ertrag	€/a	1902,43	2234,4	3192	789,85	927,675	1325,25
Investition							
Module		11.874	11.874	11.874 €	4.500	4.500	4.500 €
Montage		5.376	5.376	5.376 €	2.400	2.400	2.400 €
Aufständerung	4032	4.032	4.032	4.032	500	500	500
Wechselrichter		1.747	1.747	1.747 €	780	780	780 €
Verkabelung		672	672	672 €	300	300	300 €
Akkusatz				7.392 €			3.300 €
Netzanschluss	150,00 €	150,00 €			150,00 €		
Nebenkosten 14%		2.436 €	2.415 €	2.415 €	987 €	966 €	966 €
Summe Invest		26.287 €	26.116 €	33.508 €	9.617 €	9.446 €	12.746 €
Instandsetzung	%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
Wartung	%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Bedienung	%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Summe	€/a	657 €	653 €	838 €	240 €	236 €	319 €
Versicherung	€/a	130 €	130 €	130 €	130 €	130 €	130 €
Summe betreiben	€/a	787 €	783 €	968 €	370 €	366 €	449 €
WIRTSCHAFTLICHKEIT							
Nutzungsdauer	a	20	20	20	20	20	20
Zinssatz	%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
Annuitätsfaktor	%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%
Kapital-Faktor	%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%
Kapital-Kosten	€/a	1.767 €	1.755 €	2.252 €	646 €	635 €	857 €
Summe Energie+Kapital+ Wartung	€/a	652	304	28	227	73	-20

Berechnung der Wirtschaftlichkeit bei den Photovoltaikflächen.
 Fläche 1 aufgeständert mit 30° Dachneigung.
 Fläche 2 in der Dachfläche integriert, 10° Neigung.

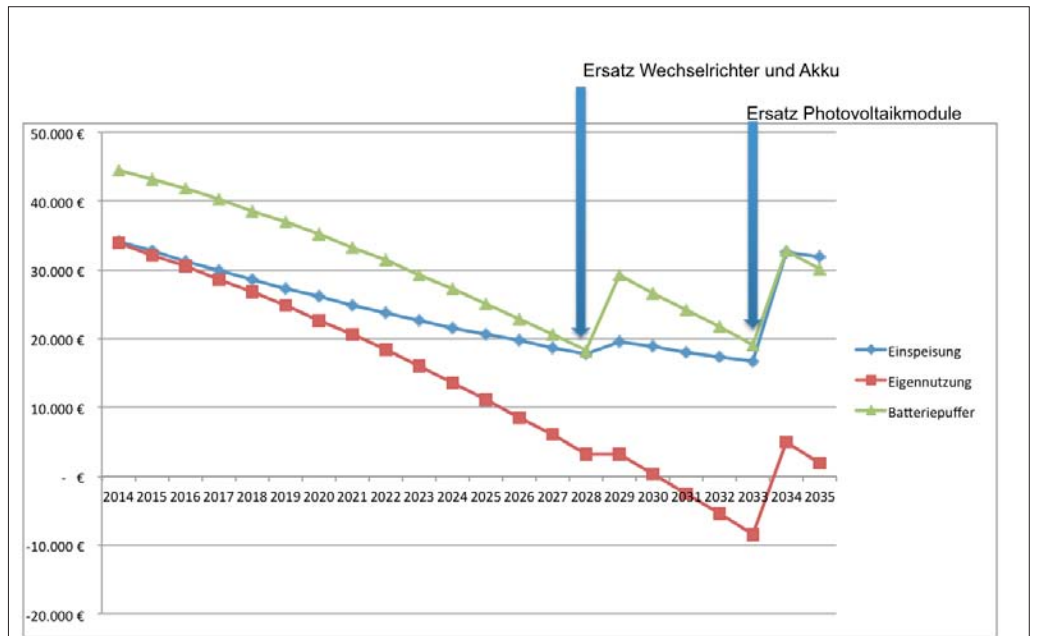


Grafik über die Photovoltaik

Südfäche 1 aufgeständert, 30°

Südfäche 2 in der Dachneigung 10°

Energiebedarf		Fläche 1 Dach			Fläche 2 geständert		
		Einspeisung	Eigennutzung	mit Batteriepuffer	Einspeisung	Eigennutzung	mit Batteriepuffer
Jahresertrag	kWh	11.874	11.874	11.874	5.700	5.700	5.700
Nutzung		100%	70%	100%	100%	70%	100%
Kostensparmiss Eigennutzung	0,25€/kWh		0,25	0,25		0,25	0,25
Ertrag Einspeisung	0,149€/kWh	0,149			0,149		
Ertrag	€/a	1769,26	2077,992	2968,56	849,30	997,5	1425
Investition							
Module		11.874	11.874	11.874 €	4.500	4.500	4.500 €
Montage		5.376	5.376	5.376 €	2.400	2.400	2.400 €
Aufständering		1.000	1.000	1.000	1.800	1.800	1.800
Wechselrichter		1.747	1.747	1.747 €	780	780	780 €
Verkabelung		672	672	672 €	300	300	300 €
Akkusatz				7.392 €			3.300 €
Netzanschluss		150,00 €			150,00 €		
Nebenkoster 14%		2.436 €	2.415 €	2.415 €	987 €	966 €	966 €
Summe Invest		23.255 €	23.084 €	30.476 €	10.917 €	10.746 €	14.046 €
Instandsetzung	%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
Wartung	%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Bedienung	%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Summe	€/a	581 €	577 €	762 €	273 €	269 €	351 €
Versicherung	€/a	130 €	130 €	130 €	130 €	130 €	130 €
Summe betreiben	€/a	711 €	707 €	892 €	403 €	399 €	481 €
WIRTSCHAFTLICHKEIT							
Nutzungsdauer	a	20	20	20	20	20	20
Zinssatz	%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
Annuitätsfaktor	%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%
Kapital-Faktor	%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%
Kapital-Kosten	€/a	1.563 €	1.552 €	2.048 €	734 €	722 €	944 €
Summe Energie+Kapital+ Wartung	€/a	505	181	-28	287	123	0

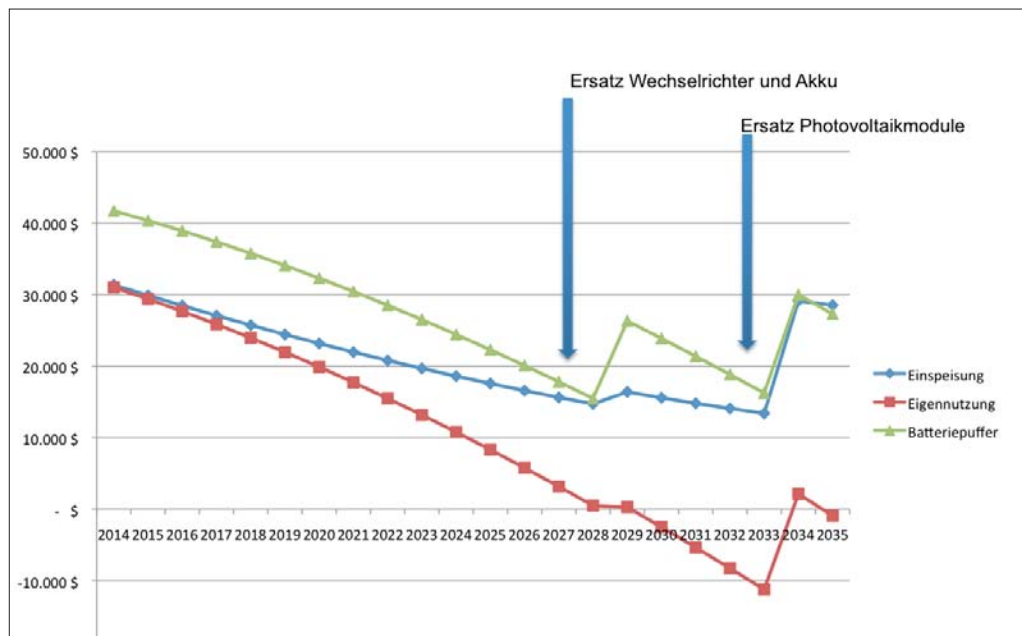


Grafik über die Photovoltaik

Südfläche 1 integriert in Dachfläche 10°

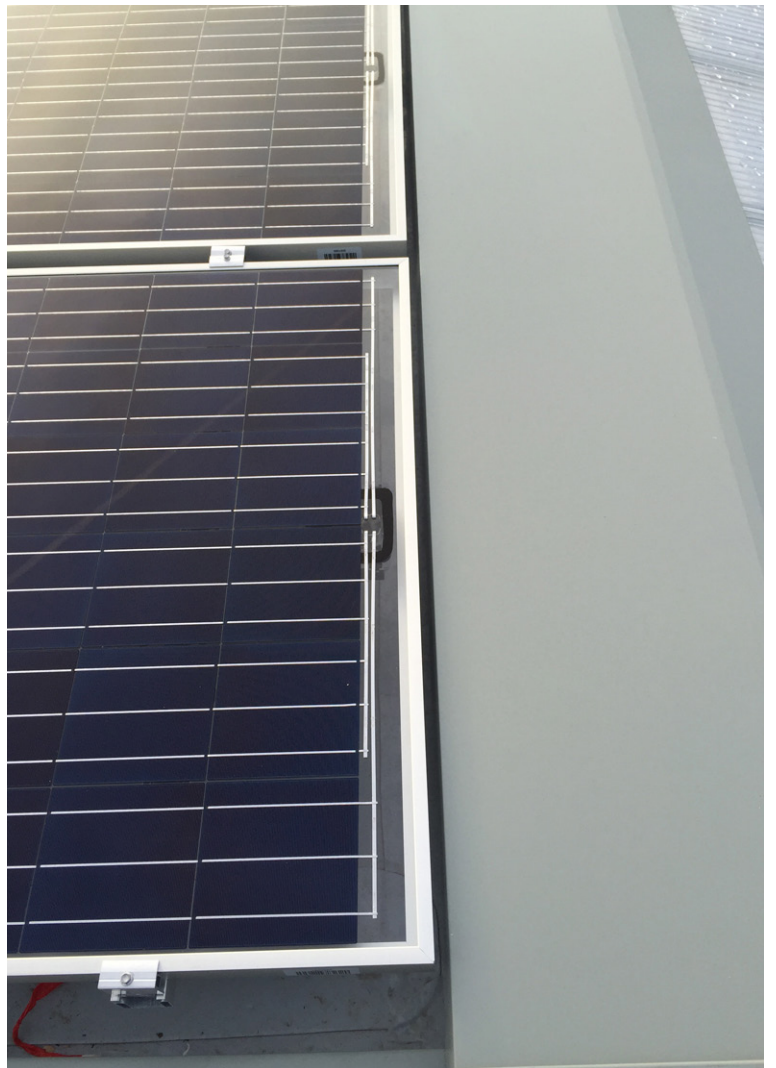
Südfläche 2 aufgeständert Dachneigung 30°

Energiebedarf		Fläche 1 Dach			Fläche 2 Dach		
		Einspeisung	Eigennutzung	mit Batteriepuffer	Einspeisung	Eigennutzung	mit Batteriepuffer
Jahresertrag	kWh	11.874	11.874	11.874	5.301	5.301	5.301
Nutzung		100%	70%	100%	100%	70%	100%
Kostensparnis Eigennutzung	0,25€/kWh		0,25	0,25		0,25	0,25
Ertrag Einspeisung	0,149€/kWh	0,149			0,149		
Ertrag	€/a	1769,26	2077,992	2968,56	789,85	927,675	1325,25
Investition							
Module		11.874	11.874	11.874	4.500	4.500	4.500 €
Montage		5.376	5.376	5.376	2.400	2.400	2.400 €
Aufständerung		-	-	-	-	-	-
Wechselrichter		1.747	1.747	1.747	780	780	780 €
Verkabelung		672	672	672	300	300	300 €
Akkusatz				7.392			3.300 €
Netzanschluss		150,00 €			150,00 €		
Nebenkosten 14%		2.436 €	2.415 €	2.415 €	987 €	966 €	966 €
Summe Invest		22.255 €	22.084 €	29.476 €	9.117 €	8.946 €	12.246 €
Instandsetzung	%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
Wartung	%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Bedienung	%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Summe	€/a	556 €	552 €	737 €	228 €	224 €	306 €
Versicherung	€/a	130 €	130 €	130 €	130 €	130 €	130 €
Summe betreiben	€/a	686 €	682 €	867 €	358 €	354 €	436 €
WIRTSCHAFTLICHKEIT							
Nutzungsdauer	a	20	20	20	20	20	20
Zinssatz	%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
Annuitätsfaktor	%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%
Kapital-Faktor	%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%	6,72%
Kapital-Kosten	€/a	1.496 €	1.484 €	1.981 €	613 €	601 €	823 €
Summe Energie+Kapital+ Wartung	€/a	413	89	-120	181	27	-66



ENTSCHEIDUNG DER BAUHERRSCHAFT

Die Bauherrschaft hat entschieden, die Fläche 1 (Südlage zum Innenhof) mit der Photovoltaik zu belegen und die Version mit der dachintegrierten Lage der Elemente durchzuführen.



oben / unten
Photovoltaik auf der
Fäche bündig mit den
anderen Dachebenen
eingebaut.

BGV Fulda

23.12.13

Berechnung der Photovoltaik auf dem Dach

		Fläche 1 auf der Dachfläche Innenhof Süd		
		Einspeisung	Eigennutzung	mit Batteriepuffer
Energiebedarf				
Jahresertrag	kWh	11.874	11.874	11.874
Nutzung		100%	95%	100%
Kostenersparnis Eigennutzung	0,173€/kWh			
Durchschnitt von 15 Jahren	0,275€/kWh		0,275	0,275
Ertrag Einspeisung	0,149€/kWh	0,149		
Minderung Heizung		815 €	815 €	815 €
Durchschnitt von 15 Jahren	€/a			
Ertrag	€/a	954 €	2.287 €	2.450 €
Investition				
Module		10.080	10.080	10.080 €
Montage		5.376	5.376	5.376 €
Aufständering		-	-	-
Wechselrichter		1.747	1.747	1.747 €
Verkabelung		672	672	672 €
Akkusatz				7.392 €
Netzanschluss		150,00 €		
Nebenkosten 20%		3.121 €	3.091 €	3.091 €
Summe Invest		21.146 €	20.966 €	28.358 €
Instandsetzung				
Instandsetzung	%	1,0%	1,0%	1,0%
Wartung	%	1,5%	1,5%	1,5%
Bedienung	%	0,0%	0,0%	0,0%
Summe	€/a	529 €	524 €	709 €
Versicherung	€/a	130 €	130 €	130 €
Summe betreiben	€/a	659 €	654 €	839 €
WIRTSCHAFTLICHKEIT				
Nutzungsdauer	a	20	20	20
Zinssatz	%	3,00%	3,00%	3,00%
Annuitätsfaktor	%	6,72%	6,72%	6,72%
Kapital-Faktor	%	6,72%	6,72%	6,72%
Kapital-Kosten	€/a	1.421 €	1.409 €	1.906 €
Summe Energie+Kapital+ Wartung	€/a	-1.126	224	-295

Wirtschaftlichekeits Berechnung der Photovoltaikanlange

FUNKTIONSBESCHREIBUNG DER GEBÄUDEAUTOMATION

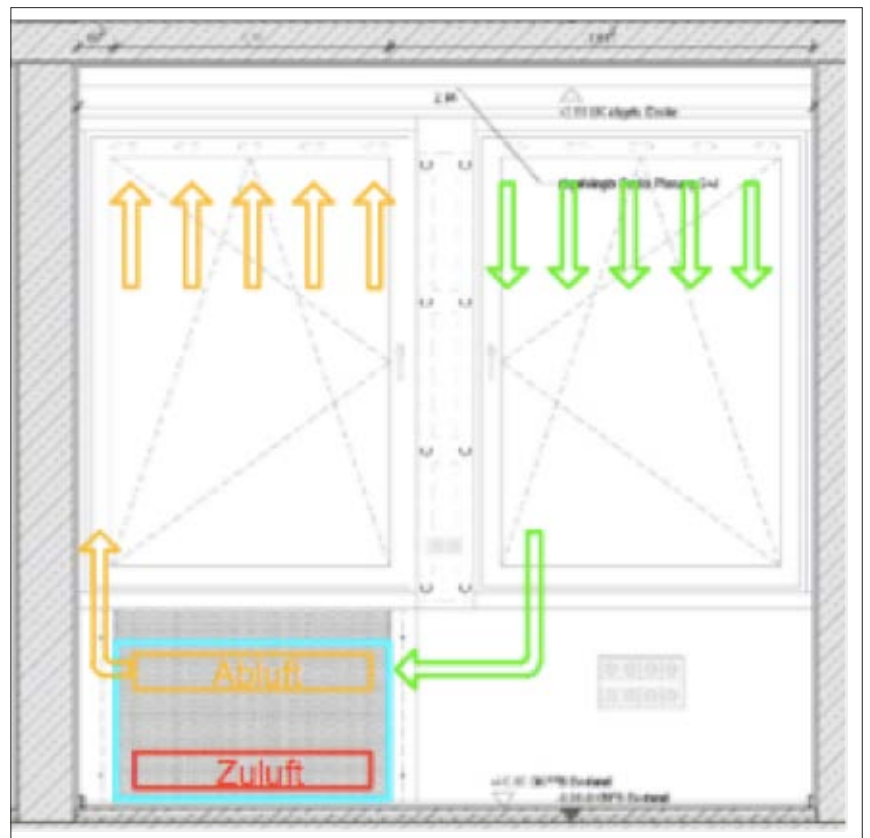
1. Raumautomation

1.1. Funktion der Brüstungslüftungsgeräte

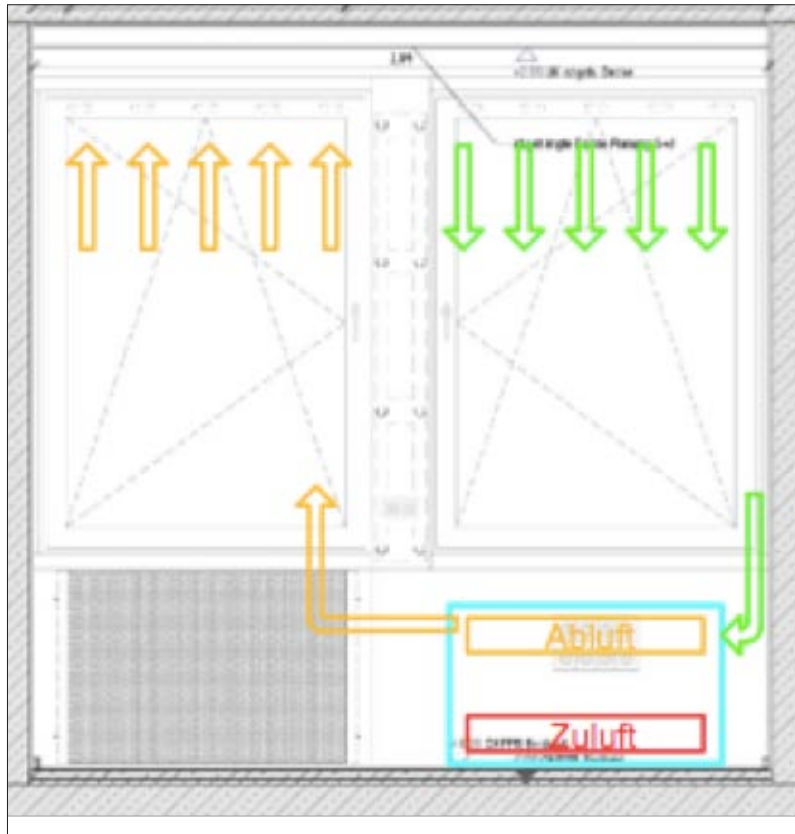
In den Büros werden in dem Zwischenraum der Kastenfenster Brüstungslüftungsgeräte Fabrikat Trox installiert, die für die vereinbarten Raumkonditionen für Temperatur und Luftqualität sorgen.

In Räume mit 2-3 Achsen wird je ein Gerät installiert. Die Außenluft wird über eine Öffnung mit Gitter und Rückschlagklappe in dem äußeren Fensterrahmen angesaugt, im Lüftungsgerät gefiltert, über die Wärmerückgewinnung und dem Heizungswärmetauscher erwärmt und in den Raum geblasen.

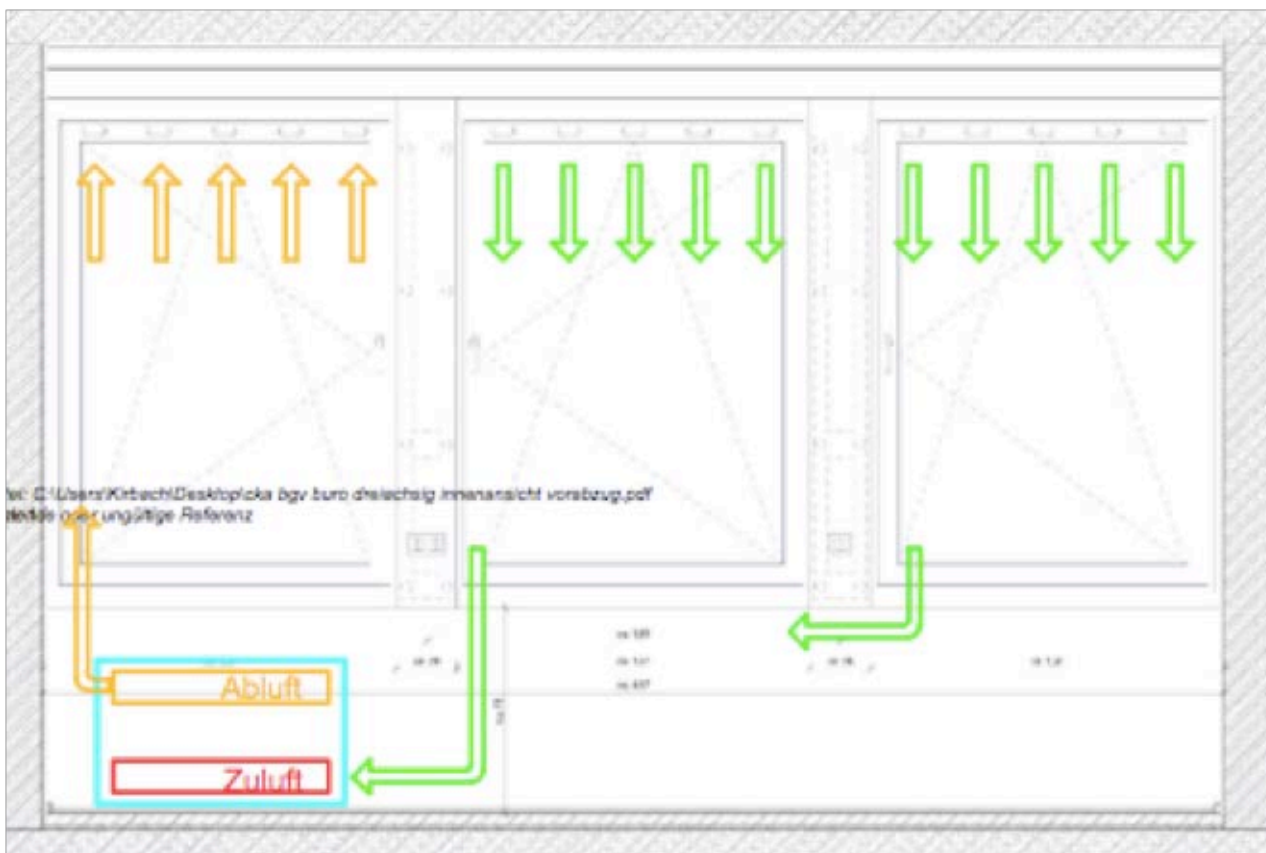
Abhängig von Temperatur und Luftqualität im Büro werden Außen- und Umluft genutzt. Die Fortluft nach der Wärmerückgewinnung wird in die 2. Achse Fassadenzwischenraum und über Öffnungen mit Rückschlagklappen im Fensterrahmen ins Freie geblasen. Bei Gefahr der Taupunktbildung im Fassadenzwischenraum bei extremer Witterung wird die Wärmerückgewinnung reduziert und somit Feuchteanfall im Fensterzwischenraum verhindert.



Detail
Lüftungsgerät links



Detail
Lüftungsgerät rechts



Durchströmung der Doppelfensterzwischenräume mit Außenluft und Fortluft mit Wärmerückgewinnung der Lüftung

1.2. Temperaturregelung

An der Flurseite des Raumes ist ein Raumbediengerät angebracht. Daran kann der Sollwert der Raumtemperatur und des Zuluftvolumenstroms verändert werden. In dem Bediengerät ist auch die Temperaturmessung für die Regelung enthalten. Mithilfe des Zuluftvolumenstroms und der Zulufttemperatur wird die Raumtemperatur auf dem eingestellten Sollwert gehalten. Dabei wird die Zulufttemperatur zwischen 25 und 35 °C geregelt. Bei abfallender Temperatur wird der Luftvolumenstrom der Zuluft erhöht, sodass eine höhere Wärmeleistung in den Raum eingebracht wird. Bei Erreichen oder Überschreiten der Raumtemperatur wird zuerst der Luftvolumenstrom auf ein Minimum reduziert.

1.3. Regelung Luftqualität

An den Stützen zwischen den Fenstern ist ein Sensor für Luftqualitätsmessung angebracht. Mit diesem wird die Raumluftqualität (CO₂-Wert) festgestellt. Wenn der CO₂-Wert über den eingestellten Wert steigt, wird der Außenluftvolumenstrom und falls notwendig der Zuluftvolumenstrom im Lüftungsgerät erhöht, sodass die Luftqualität in den eingestellten Grenzen erhalten bleibt. Der Sollwert für Luftqualität ist auf 1000 ppm CO₂ eingestellt.

1.4. Beschreibung der Raumautomation /

Feuchte im Zwischenraum der Kastenfenster

Bei extrem kalten Außentemperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit im Raum kann es zu hoher Luftfeuchtigkeit nach der Wärmerückgewinnung in der Fortluft kommen. Da diese Fortluft in den Fassadenzwischenraum geblasen wird, entsteht hier eine zu hohe Luftfeuchtigkeit. Um Taupunktprobleme zu verhindern, ist im Zwischenraum ein Sensor eingebaut, der bei Entstehen dieser Gefahr die Wärmerückgewinnung zurückfährt und somit wärmere und trockenere Luft in den Fassadenzwischenraum bläst. Nach Unterschreiten des eingestellten Feuchtegrenzwerts wird die Wärmerückgewinnung wieder auf Normalbetrieb gesetzt.

1.5. Beschreibung der Raumautomation / Freie Nachtkühlung

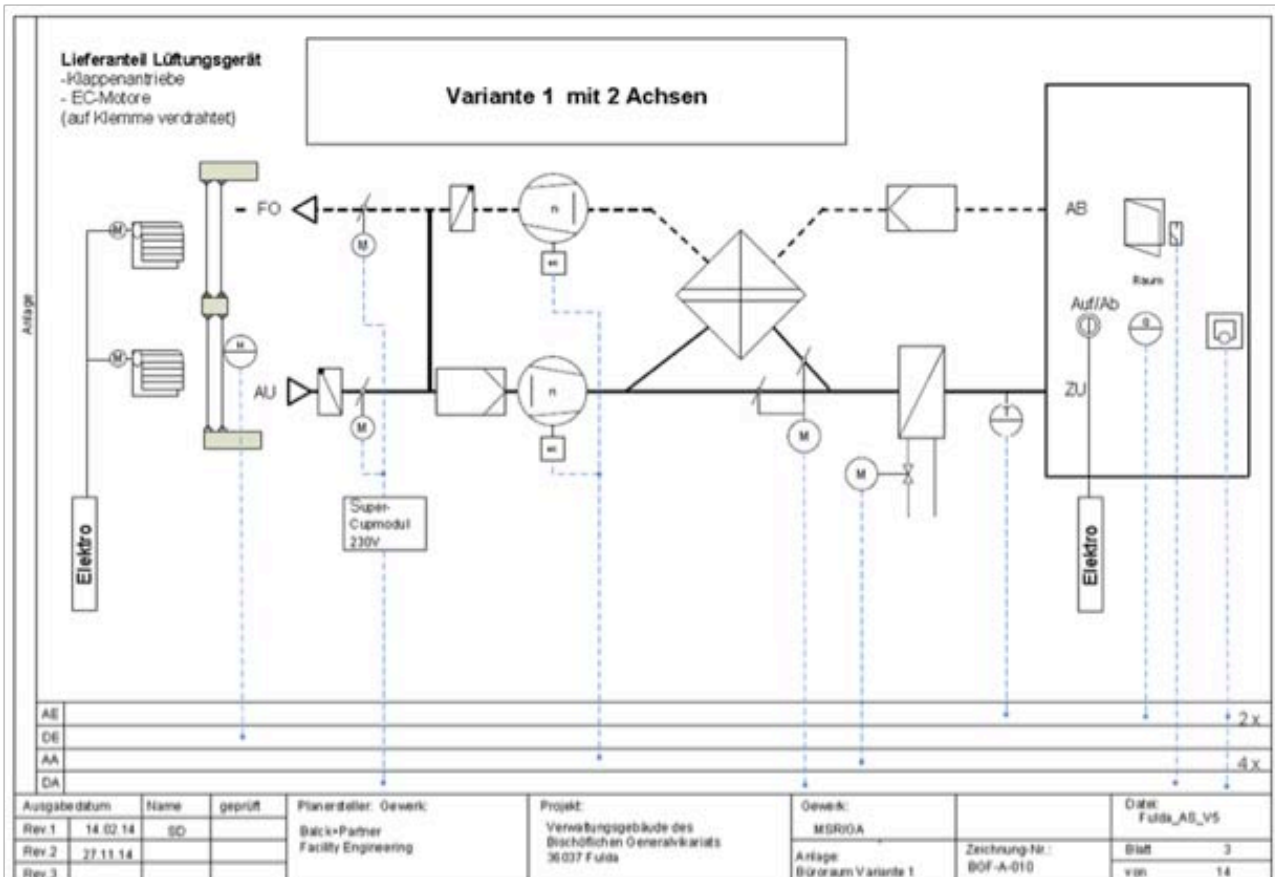
Um im Sommer die eingespeicherte Wärme aus den Räumen zu transportieren, wird das Lüftungsgerät in der Nacht die kühle Nachtluft in den Raum transportieren und die wärmere Raumabluft ins Freie blasen. Dazu wird ein Temperaturvergleich zwischen Außenluft und Raumtemperatur vorgenommen und in der Zeit zwischen 01:00 und 04:00 Uhr morgens wird bei Unterschreiten der Außentemperatur im Vergleich zur Raumtemperatur das Lüftungsgerät mit maximaler Luftmenge gefahren und somit so weit wie möglich die Wärme aus dem Raum abtransportiert. Nach 04:00 Uhr wird das Gerät wieder in den Normalzustand geschaltet.

1.6. Beschreibung der Raumautomation / Zeitprogramm

In der Regelung ist ein Zeitprogramm hinterlegt, das zwischen „belegt“ und „nicht belegt“ unterscheidet. Die Normbelegungszeiten sind Montag bis Freitag von 06:00 bis 18:00 Uhr. Bei „nicht belegt“ wird der Raumsollwert um 3 K abgesenkt und die Lüftungsanlage ohne Außenluftanteil gefahren. Wenn die Räume außerhalb der eingestellten Zeit genutzt werden, kann am Belegungsschalter des Raumbediengeräts durch Tastendruck jeweils 1 Stunde der Normalzustand hergestellt werden.

1.7. Beschreibung der Raumautomation / Fensterkontakt

An den Fenstern sind Kontakte eingebaut, die das Lüftungsgerät bei geöffnetem Fenster ausschalten. Auch im ausgeschalteten Zustand bleibt der Wärmetauscher durchflossen, sodass auch bei Fehlbedienung keine Gefahr des Einfrierens des Lüftungsgeräts besteht.



Funktionsschema der Fassadenlüftungsgeräte



Raumbediengerät

ZUSAMMENFASSUNG

Die Simplizität der Projektidee, eine Art Kastenfensterfassade mit einem Zuluftgerät zu verbinden, erweist sich in der Praxis als komplizierter als zunächst angenommen. Zunächst liegen die Schwierigkeiten dieser komplexen Bauweise in der Anpassung an die vorhandene Bausubstanz, die aus der Bauzeit begründet enorme Toleranzen aufwies. Grundsätzlich sollten alle Bauteile vor Planungsbeginn einer gründlichen Analyse unterzogen werden. Diese sollte ein exaktes Maßwerk und eine präzise Auswertung aller vor Ort verwendeten Baustoffe und Materialien enthalten.

Um die Elemente der Kastenfenster auf präfabrizierbare Größen zu bringen, mussten erhebliche Hilfsmaßnahmen zur Bewältigung der Probleme getroffen werden. Hier empfiehlt es sich, künftig Planungsstrategien zu wählen, mit denen solche Fassaden mit den Lüftungsgeräten als komplettes Bauelement industriell geplant und ausgeführt werden. Des Weiteren ist für die Abstimmung aller Komponenten untereinander eine sorgfältig abgestimmte Steuerungstechnologie notwendig, Diese Smart-Technologien müssen von Anfang an in den Planungsprozess integriert werden.

Es bleibt abzuwarten, was ein mindestens zweijähriges Monitoring über alle bauphysikalischen Daten wie Feuchte, Temperatur, Schall und Akustik sowie Strom und Heizungsverbrauch bringt. Erfahrungsgemäß sind die thermodynamischen Simulationen zuverlässig und präzise. Die Erfahrungen beim Musterraum haben jedoch zunächst mehr Skepsis erzeugt und müssen nun nach der Entscheidung, dieses Projekt durchzuführen, neu bewertet werden.