



**KONZEPTENTWICKLUNG  
EINER ENERGIE- UND KOSTENEFFIZIENTEN  
SANIERUNGSLÖSUNG FÜR DIE GENERALSANIERUNG  
DES MICHELBERG-GYMNASIUMS GEISLINGEN/STEIGE  
ZUM PLUS-ENERGIE-STANDARD**

## **Projektbeteiligte:**

Stadt Geislingen/Steige  
Fachbereichsleiter Stadtbauamt K. Vogelmann

Prof. em. Dr.-Ing. H. Höfler, Dipl.-Ing. Eckart Krebs  
Forschungsgebiet Energieoptimierte Baukonstruktion (FEB), Siegen

Dipl.-Ing. Tülay Pickhan, Dipl.-Ing. Kamil Polat  
Architekturbüro B3, Siegen

Prof. Dr.-Ing. R. A. Herrmann  
Institut für Geotechnik, Universität Siegen

Solararchitekt G. Fent  
Fent Solare Architektur, Wil (CH)

M.A. Andreas Längle  
Fent Solare Architektur, Wil (CH)

Dipl.-Ing. A. Buchner  
dyAna GmbH, Fröndenberg

Dr.-Ing.S. Mock  
ASW Steffen Mock, Düsseldorf

M. Kammerer  
Ingenieurbüro G-B-D, Siegen

Dipl.-Ing. H. Schulte  
Ingenieurbüro für Statik und Brandschutz, Lennestadt/Oedingen

Konzeptentwicklung einer  
energie- und kosteneffizienten  
Sanierungslösung für die  
Generalsanierung des  
Michelberg-Gymnasiums in  
Geislingen/Steige zum  
Plus-Energie-Standard

Schlussbericht  
für den Planungszeitraum  
September 2013 bis Juni 2014

Verfasser:

Architekt HTL Giuseppe Fent

Dipl.-Ing. Andreas Buchner

Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann

Prof. em. Dr.-Ing. Horst Höfler

Dipl.-Ing. Eckart Krebs

Michael Kammerer

Dr.-Ing. Steffen Mock

Dipl.-Ing. Hubert Schulte

gefördert mit Mitteln der  
Deutschen Bundesstiftung  
Umwelt (DBU)



## Inhaltsverzeichnis

Zusammenstellung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse .....	Seite	1 - 2
Wärmeschutzkonzept (A) .....	Seite	3 - 8
Energieversorgung (B) .....	Seite	9 - 18
Lüftungskonzept (C) .....	Seite	19 –28
Beleuchtungskonzept (D) .....	Seite	29 –34
Partizipative Planung (E) .....	Seite	35 - 39
Anhang 1 Beschreibung der Ausgangssituation Bestandsgebäude		
Anhang 2 Bauphysikalische Analysen, Raumsimulation		
Anhang 3 Bauphysikalische Analysen Fassadensimulation		
Anhang 4 Technische Übersicht Energieversorgung Installationspläne Wärmerückgewinnung Fassaden		
Anhang 5 Prototyp für AKD, Mensa Attendorn 2010		
Anhang 6 Modellfotos + Konstruktionsdetails Absorberkollektoren-Doppeldach (AKD)		
Anhang 7 Planung einer maximalen Energieversorgung des Solarstroms		
Anhang 8 Berichte zur geothermischen/geotechnischen Erkundung		
Anhang 9 Details Musterfassade		

Anhang 10  
Funktion und Konstruktion Venturi-Flügel

Anhang 11  
Übersicht über unterschiedliche Ausbildungen  
der thermoaktivierten Fassade

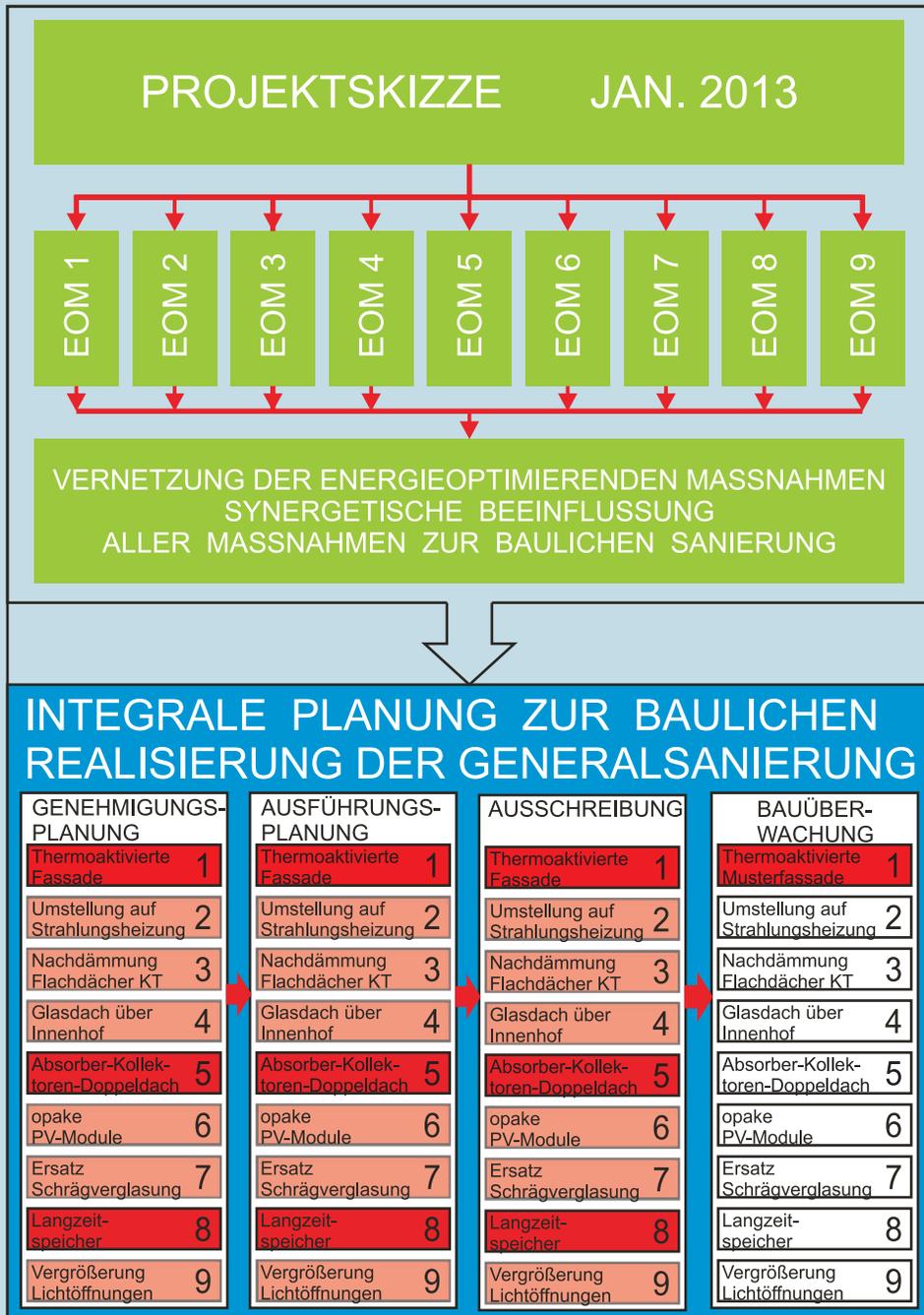
Anhang 12  
Bauphysikalische Analysen, Raumsimulation

Anhang 13  
Vorgezogenes Monitoring bei Musterfassade  
Fragebogenaktion

Anhang 14  
Vorgezogenes Monitoring bei Musterfassade  
Ergebnisse Messungen

Anhang 15  
Innovative Technologien und Auswirkungen  
auf den Brandschutz

# ZUSAMMENSTELLUNG DER WICHTIGSTEN WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHEN ERGEBNISSE IM BISHERIGEN UNTERSUCHUNGSZEITRAUM (SEPTEMBER 2013 - JUNI 2014)



Schema: Lösungsweg der Generalsanierung

Im folgenden wird grafisch und verbal erläutert, wie bei der baulichen und energetischen Generalsanierung des Michelberg-Gymnasiums (siehe dazu Anlage 1) Lösungen für

- fortschrittliche Wärmeschutzkonzepte (A)
- nachhaltige Energieversorgung durch erneuerbare Energiequellen (B)
- effiziente Frischluftversorgung (C)
- optimale Lichtversorgung (D)
- integrale und partizipatorische Konzepte in Planung und Betrieb (E)

entwickelt und realisiert werden sollen.

In Abhängigkeit von der spezifischen baulichen und funktionellen Beschaffenheit des Bestandsgebäudes können hier diese innovativen Konzepte durch folgende 9 Maßnahmen realisiert werden:

Thermoaktivierte Fassade (Arbeitspaket 1), Umstellung auf Flächenstrahlungsheizung (Arbeitspaket 2), Nachdämmung Flachdächer Klassentrakt (Arbeitspaket 3), Glasdach über Innenhof (Arbeitspaket 4), Absorberkollektoren-Doppeldach (Arbeitspaket 5), opake PV-Module auf Klassentrakt (Arbeitspaket 6), Ersatz für Schrägverglasung (Arbeitspaket 7), Langzeitspeicher (Arbeitspaket 8), Vergrößerung der Lichtöffnungen im NTW-Bereich (Arbeitspaket 9).

Alle Arbeitspakete (in der Baupraxis auch Gewerke genannt) werden im Sinne einer integralen Planung von der Genehmigungsplanung, über die Ausführungsplanung, der Ausschreibungsphase und der Bauüberwachung (für die Musterfassade) planerisch bearbeitet und damit für die Realisationsphase vorbereitet.

# ZUSAMMENSTELLUNG DER WICHTIGSTEN WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHEN ERGEBNISSE IM BISHERIGEN UNTERSUCHUNGSZEITRAUM (SEPTEMBER 2013 - JUNI 2014)

Im Rahmen dieser integralen Planung und Realisierung dieser Arbeitspakete (Gewerke) bilden das Arbeitspaket 1, die sog. Thermoaktivierte Fassade und das Arbeitspaket 5, das sog. Absorberkollektoren-Doppeldach Schwerpunkte aus mehreren Gründen:

Hier handelt es sich um eine Gruppe von Gewerken, die nach den Kriterien der Deutschen Bundesstiftung Umwelt - „sich klar vom gegenwärtigen Stand der Forschung und Technik abgrenzen und eine innovative Weiterentwicklung darstellen“ „neue ergänzende Umweltentlastungspotenziale erschließen“

- „zur nachhaltigen Verbesserung bauphysikalischer Faktoren wie Raumqualität, Heizung, Akustik und Lichtversorgung, als auch zu einer möglichst flexiblen Raumnutzung für neue Lern- und Lehrsituationen beitragen“

Wir bezeichnen sie im Rahmen einer energetischen Sanierung auch als „Energie-eintragende Gewerke“, wie hier beim Michelberg-Gymnasium z.B.:

Arbeitspaket 1 :

Das Gewerk Fassadenarbeiten, die sog. „Thermoaktivierte Fassade“ mit Vorteilen wie einer natürlichen Be- und Entlüftung mit der Gewährleistung von 2,5-fachen Luftwechsel pro Stunde, der Einhaltung eines niedrigen CO<sub>2</sub>-Gehaltes, einer Super-Wärmedämmfähigkeit zur Gewährleistung eines äußerst niedrigen Heizwärmebedarfs, einer hohen Lichtausbeute durch natürliche Belichtung mittels eines integrierten Lichtumlenksystems, sowie eines Eintrags von 27 000 kWh pro Jahr an erneuerbarem Strom und erneuerbarer Wärmeenergie von ca. 10 000 kWh pro Jahr.

Arbeitspaket 5 :

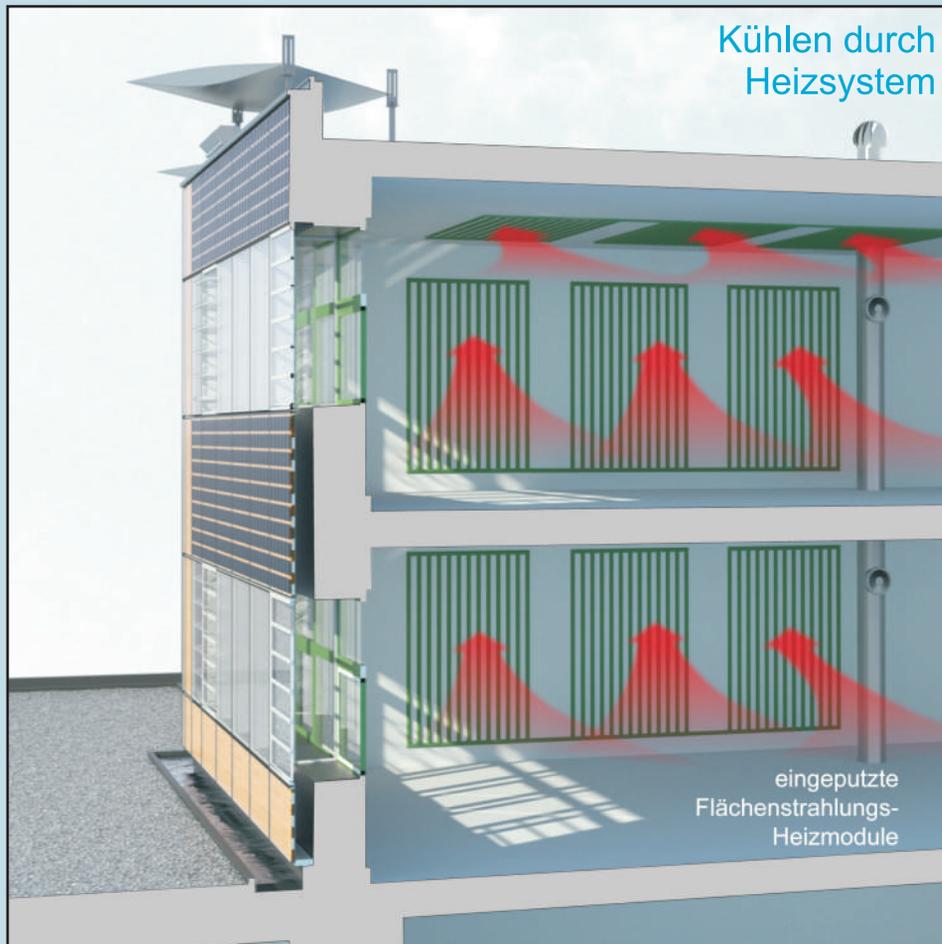
Das sog. „Absorber-Kollektoren-Doppeldach“ (AKD) mit einem errechneten Eintrag von erneuerbarer Wärmeenergie in Höhe von 610 000 kWh/Jahr für das Michelberg-Gymnasium.

Arbeitspaket 8 :

Der Eintrag an Solarenergie, im wesentlichen aus dem AKD wird in einen Geothermischen Speicher eingespeist und in der Heizperiode zur Verfügung gestellt.

## INTEGRALE PLANUNG ZUR BAULICHEN REALISIERUNG DER GENERALSANIERUNG

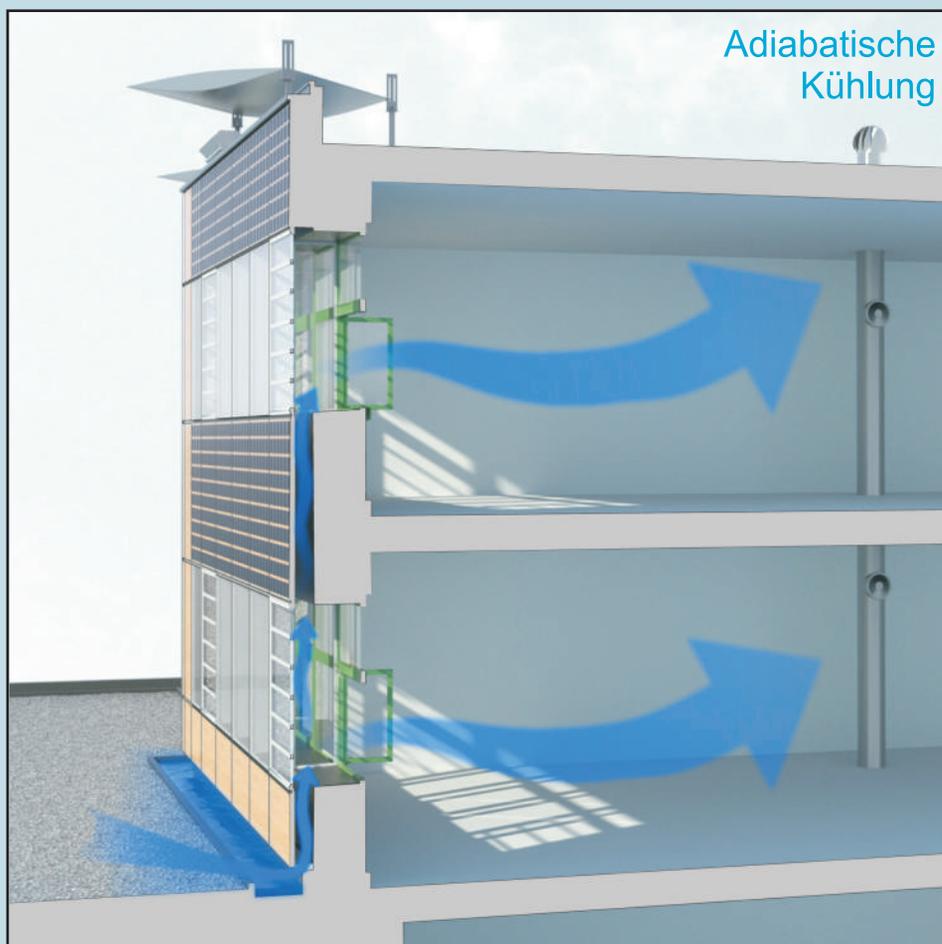
GENEHMIGUNGS-PLANUNG	AUSFÜHRUNGS-PLANUNG	AUSSCHREIBUNG	BAUÜBER-WACHUNG
Thermoaktivierte Fassade 1	Thermoaktivierte Fassade 1	Thermoaktivierte Fassade 1	Thermoaktivierte Musterfassade 1
Umstellung auf Strahlungsheizung 2			
Nachdämmung Flachdächer KT 3			
Glasdach über Innenhof 4			
Absorber-Kollektoren-Doppeldach 5	Absorber-Kollektoren-Doppeldach 5	Absorber-Kollektoren-Doppeldach 5	Absorber-Kollektoren-Doppeldach 5
opake PV-Module 6	opake PV-Module 6	opake PV-Module 6	opake PV-Module 6
Ersatz Schrägverglasung 7	Ersatz Schrägverglasung 7	Ersatz Schrägverglasung 7	Ersatz Schrägverglasung 7
Langzeitspeicher 8	Langzeitspeicher 8	Langzeitspeicher 8	Langzeitspeicher 8
Vergrößerung Lichtöffnungen 9	Vergrößerung Lichtöffnungen 9	Vergrößerung Lichtöffnungen 9	Vergrößerung Lichtöffnungen 9



### AKTIVE KÜHLWIRKUNG DURCH FLÄCHEN-STRAHLUNGSHEIZUNG

#### A 1.1

Aktive Kühlwirkung durch in den Klassenräumen installierte Flächen-Strahlungs-Heizmodule. Die im Sommer von kühlem Wasser (ca. 16 °C) durchströmten Flächenheizmodule in den Wänden entwärmen die in den Klassenzimmern evtl. entstandene Temperatur ab 25 °C und führen diese Wärme in den vorgesehenen Langzeitspeicher (Hochtemperatur-Tiefenspeicher) ab.



### PASSIVE KÜHLWIRKUNG DURCH ADIABATISCH GEKÜHLTE ZULUFT

siehe dazu auch C Lüftungskonzept S. 22

#### A 1.2

Passive, adiabatische Kühlwirkung durch in der Sockelzone der Südfassade angebrachte Wasserrinne, gefüllt mit Dachwasser, welche die durch Adiabatik heruntergekühlte Außenluft jeweils über den Zuluftschacht dem Klassenraum zuführt. Als Verdunstungs- oder adiabatische Kühlung bezeichnet man die beim Verdunsten einer Wassermenge auftretende Abkühlung durch den zum Verdunsten erforderlichen Abzug der „Verdunstungswärme“.

## Zu A1

# Der sommerliche Wärmeschutz bei den Klassenbereichen erfolgt im Michelberg-Gymnasium durch folgende 4 Maßnahmen:

### Zu A1.1

Kühlung durch Flächenstrahlungsheizung: Nach Umsteuerung wird die Wassertemperatur der Flächenstrahlungsheizung auf einen unkritischen Minimalwert von  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$  abgesenkt. Die Versorgung zur Kühlung erfolgt über zugeordnete Erdsonden. Die gemessene Raumtemperatur-Reduzierung beträgt **2,5K**.

### Zu A1.2

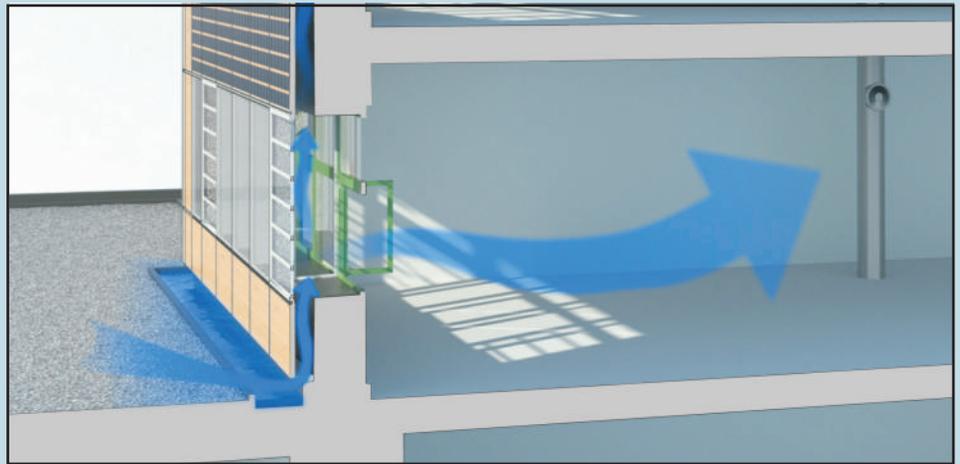
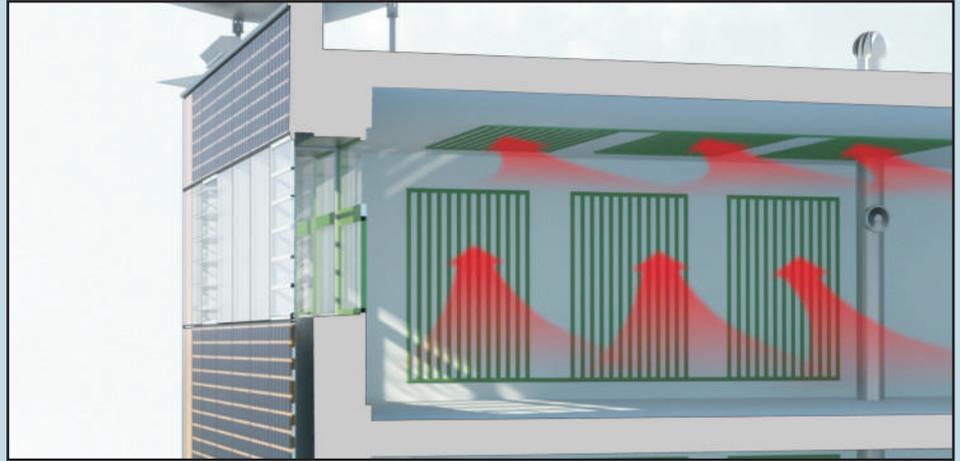
Die adiabatische Kühlung über die Wasserrinne jeweils am Fußpunkt der Außenfassade und die Luftführung, unterstützt durch den Venturi-Flügel am Kopfpunkt der Außenfassade, erreicht durch den gemessenen 2,5-fachen Luftwechsel eine Raumtemperatur-Reduzierung von **4,8K**. (siehe auch C Lüftungskonzept S. 22)

### Zu A1.3

Die Sonnenschutz-Rollos im Zwischenraum zwischen neuer und Bestandsfassade schränken die direkte Sonneneinstrahlung effektiv ein. Die gemessene Raumtemperatur-Reduzierung beträgt **0,2K**.

Vierte Maßnahme zum sommerlichen Wärmeschutz:

Die thermoaktivierte Fassade selbst bedingt durch ihre effektiven U-Werte einen erheblichen Anteil am sommerlichen Wärmeschutz. Die Wärmeleistung in den Stagnationsfeldern (also den geschlossenen transparenten Glasflächen) wird durch eine Lüftungsanlage entnommen und durch wärmereduzierte Luft ersetzt. Die gemessene Raumtemperatur-Reduzierung beträgt **3,1K**.



Unabhängig des tagsüber geplanten sommerlichen Wärmeschutzes ist eine Nachtkühlung im Projekt installiert. Die Fenster der Zu- und Abluftschächte werden im Sommerfall nachts offen stehend übergeben. Kalte Nachtluft dringt durch die Venturi-Lüftung in die Räume ein und kühlt Bauteile wie Wände und Decken herunter. Die zur Kühlung aktivierten Bauteile reduzieren die Raumtemperatur in den morgendlichen Unterrichtsstunden. Durch die Glasfassade ist der Einbruch- und Regenschutz jederzeit gewährleistet.

In der Addition der 4 Maßnahmen ergibt sich eine Reduzierung der Raumtemperatur um  $10,6\text{ K}$ , die sich in ihrer Gleichzeitigkeit auf einen Wert von  $7,9\text{ K}$  reduzieren wird, d.h. bei einer Außentemperatur von  $32^{\circ}$  wird sich die Raumtemperatur in den Klassenzimmern, bedingt durch die 4 Maßnahmen, bei  $24^{\circ}\text{C}$  einpendeln.



Sonnenschutzrollos sind durch ihre Anbringung im witterungsgeschützten Zwischenraum der LUCIDO®-Fassade vor Verschleiß und Beschädigung nachhaltig geschützt

### PASSIVE KÜHLWIRKUNG DURCH „AUSSENLIEGENDE“ SONNENSCHUTZ-ROLLOS

#### A 1.3

Passive Kühlwirkung durch lichtdurchlässige, nicht verdunkelnde weiße Rollos, die im Luftzwischenraum zwischen Bestandsfassade und Zweiter-Haut-Fassade angeordnet sind und so verhindern, dass solare Strahlungswärme in den Klassenraum gelangt. Diese Sonnenschutzrollos sind durch ihre Anbringung im witterungsgeschützten Zwischenraum zwischen Bestandsfassade und neuer thermoaktivierter Fassade vor Verschleiß, Bewitterung und damit verbundener Beschädigung nachhaltig geschützt.



### PASSIVE KÜHLWIRKUNG DURCH TRANSPARENTE PV-MODULE

#### A 1.4

Ein fehlender sommerlicher Wärmeschutz in den durch Überkopfverglasungen belichteten Verkehrsbereichen führte bisher durch erhöhten Wärmeeintrag zu einer seit Jahren von Lehrern und Schülern beklagten Komforteinbuße. Im Rahmen der energetischen Sanierung werden die auch sonst schadhafte Überkopfverglasungen in allen Teilen ausgetauscht und durch Isolierverglasungen mit eingebetteten PV-Modulen ersetzt. Diese in die Verglasung eingebetteten PV-Module bieten eine wirksame aber nicht störende Verschattung der darunter liegenden Nutzungsbereiche und verhindern damit während der Sommermonate den Eintrag von hohen Temperaturen von über 25°C.

## Zu A1 SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ

siehe dazu  
Anhang 2

## Zu A 1.3

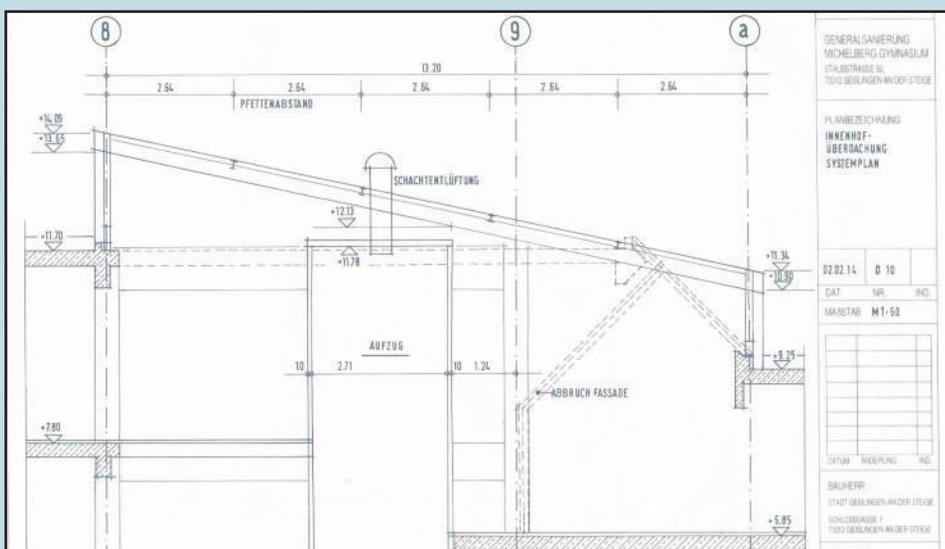
Durch ihre Lage im Luftzwischenraum zwischen Bestandsfassade und zweite Haut verhindern die hier angebrachten Sonnenschutzrollos, dass solare Strahlungswärme in den Klassenraum gelangt. Da diese Rollos nicht der Bewitterung ausgesetzt sind, sind sie nachhaltig vor Verschleiß und Beschädigung geschützt.

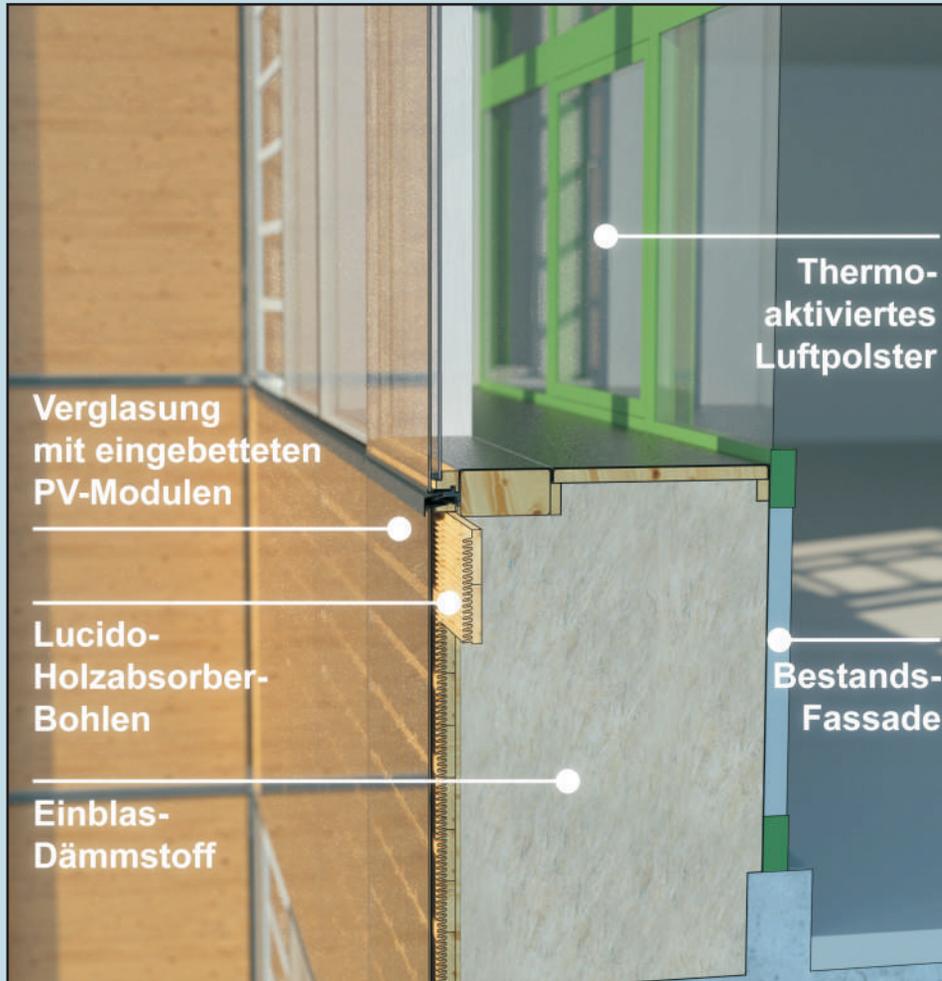


## Zu A 1.4

Die in großer Anzahl geschädigten Überkopfverglasungen der geneigten Glasflächen über den Verkehrsflächen, sowie das neue Glasdach über dem Innenhof werden ersetzt durch Überkopfverglasungen mit eingebetteten PV-Modulen.

Diese liefern ein effektives Beschattungssystem, welches die Sonnenstrahlung bereits vor dem Auftreffen auf die Glasflächen stoppen und so eine Überhitzung der darunter liegenden ein- bis dreigeschossigen Flächen verhindern. Sie bieten mindestens einen genauso guten Schutz sowie beschädigungsanfällige Außenmarkisen und bieten einen guten Schutz vor Hitze und UV-Strahlung, ohne die gewünschte Helligkeit auszuschließen.

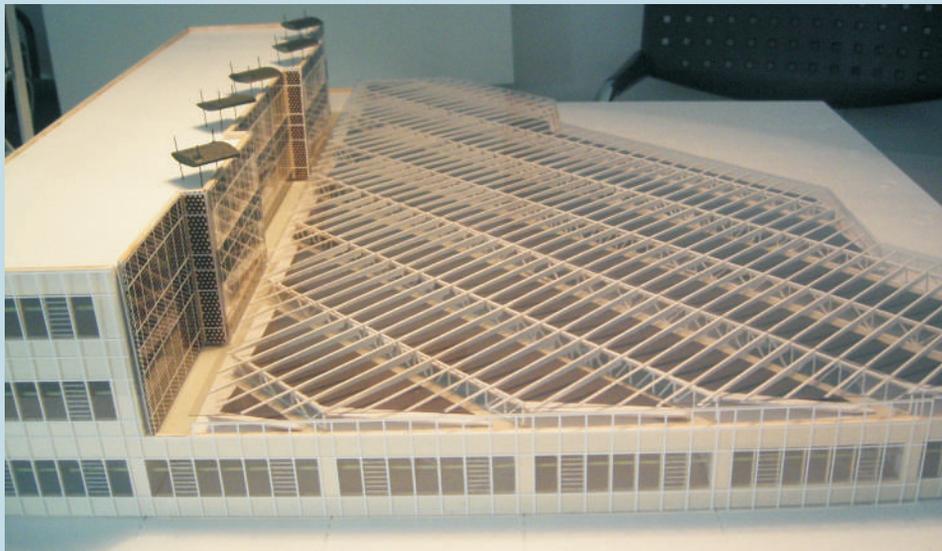




## WINTERLICHER WÄRMESCHUTZ DURCH THERMOAKTIVIERTE FASSADE

### A2.1

Die gesamte Bestandsfensterfläche wird belassen. Auch deren Undichtigkeiten werden durch die neue thermoaktivierte Fassade behoben, durch die auch die Lüftungswärmeverluste stark reduziert werden. Durch die neue davor gestellte Fassade und die darin enthaltenen Lucido®-Holzabsorberbohlen entstehen in den Lufträumen zwischen Bestands- und Zweiter-Haut-Fassade thermoaktivierte Luftpolster, welche in der kalten Jahreszeit die Auskühlung der Außenwand verhindern und die übliche Wärmetransmission von innen nach außen stark reduziert oder sogar umkehrt. Damit ist die Wärmedämmwirkung um ein Vielfaches besser als die Kennwerte konventioneller Dämntechnologien. Statt dem von der EnEV geforderten U-Wert von  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , werden man bei der thermoaktivierten Lucido®-Solarfassade, z. B. auf der Süd-West-Fassade von Oktober bis Februar U-Werte im Mittel von  $0,04 - 0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  erreicht.



## WINTERLICHER WÄRMESCHUTZ DURCH ENERGIEEINTRAGENDES DACH

### A2.2

Das Wärmeenergie eintragende Absorberkollektoren-Doppeldach auf dem Flachdach des Fachklassenbereiches weist einen außerordentlich hohen Wärmedurchgangswiderstand auf. Durch die vollständige Umschließung der Wärme übertragenden Hüllfläche im Dachbereich mit Glas stellt sich eine Art „Wintergarteneffekt“ ein. Die dreieckigen Lufträume heizen sich bereits bei geringer Sonneneinstrahlung auch im Winter auf, wodurch die Temperaturdifferenzen zwischen Innenraum und Luft in den Dachdreiecken reduziert wird und die Wärmeverluste entsprechend niedrig ausfallen.

## Zu A2 WINTERLICHER WÄRMESCHUTZ

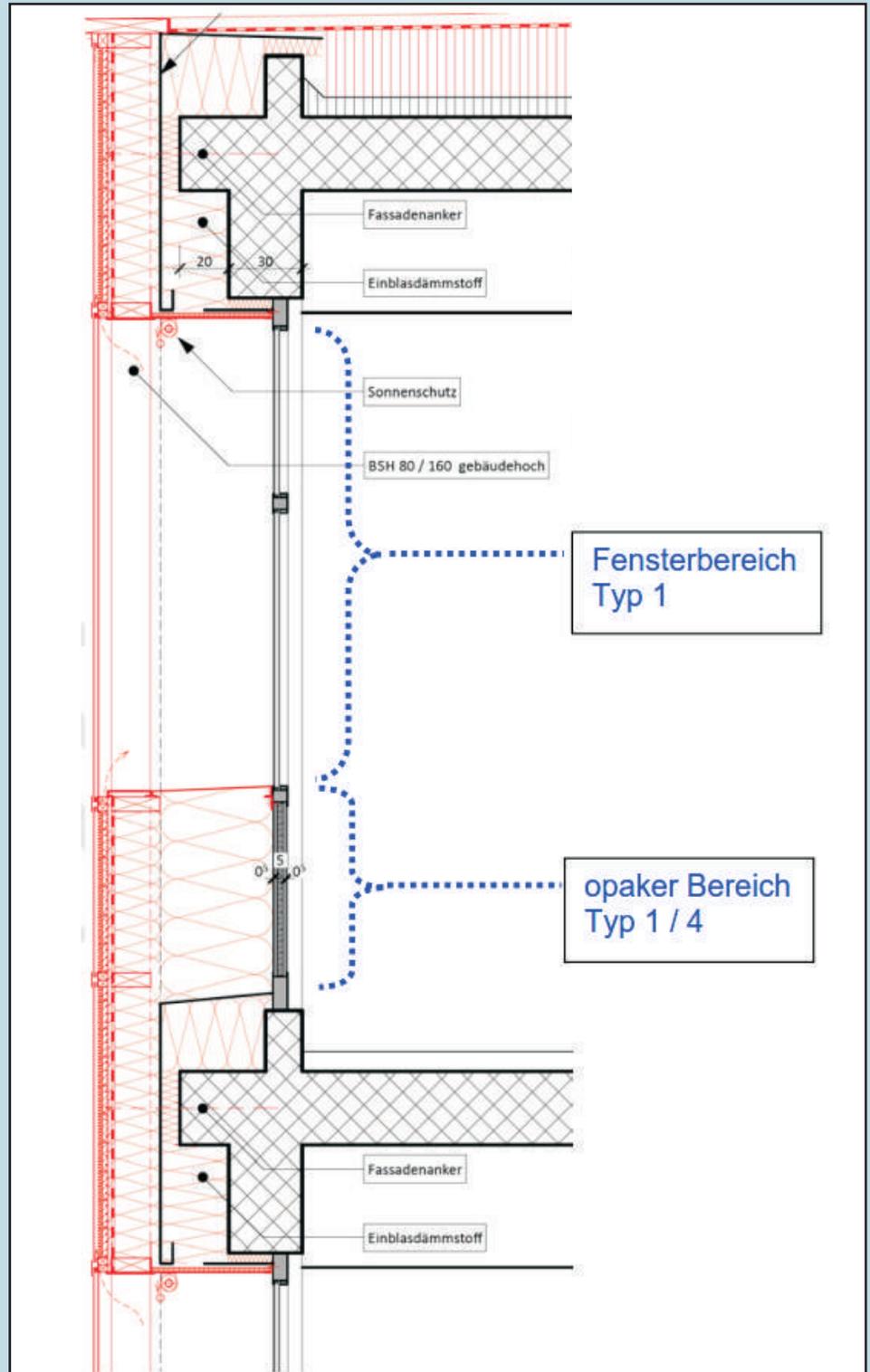
siehe dazu  
Anhang 3

## ZuA2:

Im Hinblick auf den winterlichen Wärmeschutz weist die neu entwickelte thermoaktivierte Fassade zwei Bereiche mit unterschiedlichen Wärmetransmissionswerten auf:

- Im Fensterbereich mit Bestandsfensterfassade, davor ein thermoaktiviertes Luftpolster und davor eine Wärmeisolierverglasung ergibt sich aus der Fassadensimulation ein U-Wert von **1,35-1,44** (W/qmK).
- Im opaken Bereich mit Bestandsfassadenbrüstung, eingeblasener Dämmung, Lucidobohlen und davor eine Glashaut aus Isolierverglasung mit eingebetteten PV-Modulen ergibt sich aus der Fassadensimulation ein U-Wert von **0,05** (W/qmK).

Diese beiden extrem niedrigen U-Werte bedingen, dass der neue Heizenergiebedarf nach erfolgter energetischer Aufrüstung gegenüber dem Bestandsheizenergiebedarf um ca. **70 %** reduziert werden kann. Bei konventionellen Dämmtechnologien sind Heizenergiebedarfsreduzierungen um maximal **30 %** zu erreichen.



U-Werte zur Heizlastberechnung			U-Wert
		Typ	[W/(m <sup>2</sup> K)]
Bereich Fenster	Zone I	1	<b>1,35</b>
	Zone II	1	<b>1,46</b>
	Zone III	1	<b>1,44</b>
opaker Bereich		4	<b>0,05</b>

Zone I - III : Geschossbereich der Glasfassade (I = unten, II = mitte, III = oben)

Eine Kombination aus thermisch und elektrisch basierter erneuerbarer Energie ermöglicht Plus-Energie-Standard.

siehe dazu  
Anhang 4

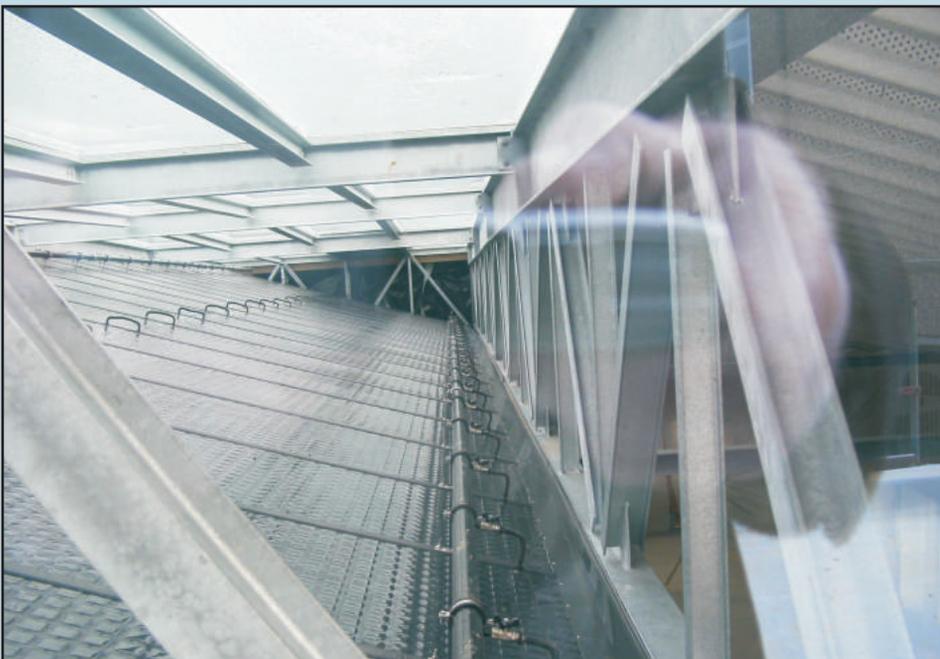
## PEG: Gebäude als dezentralisierte Kraftwerke für erneuerbare Energie



## alternative Strategien zur Erreichung des Plus-Energie-Standards für Gebäude

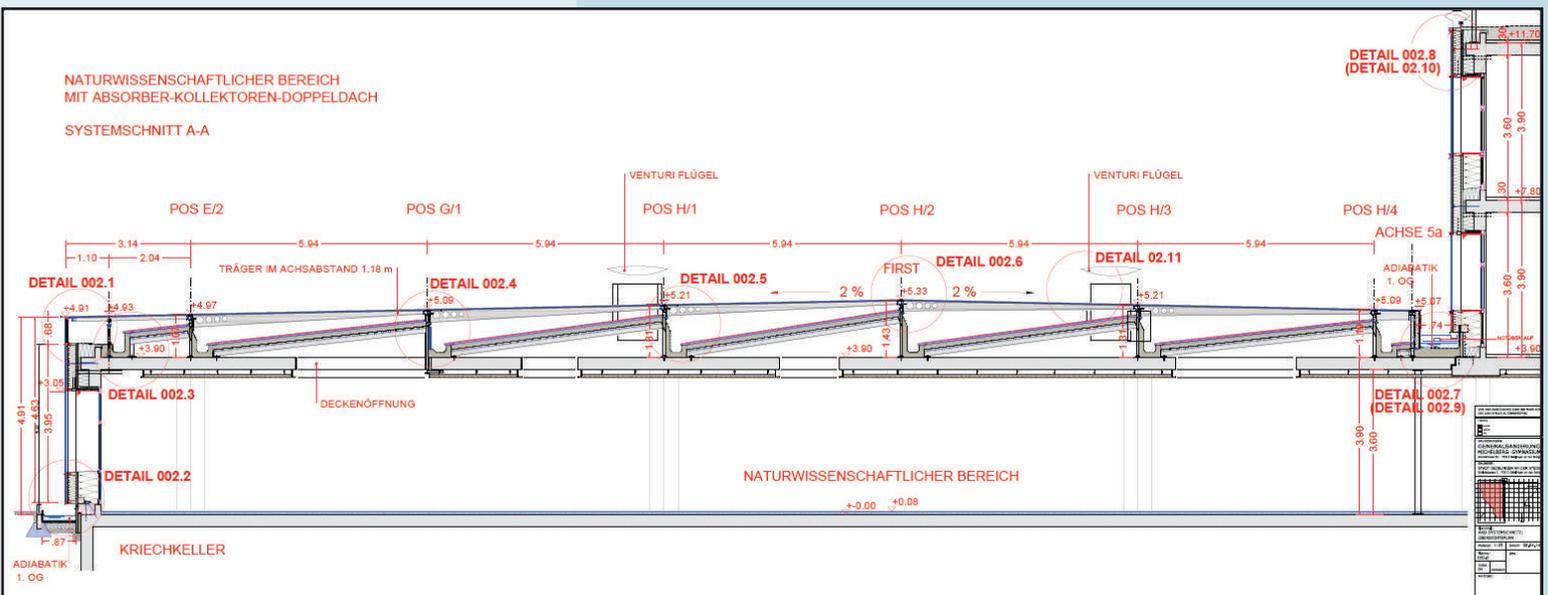
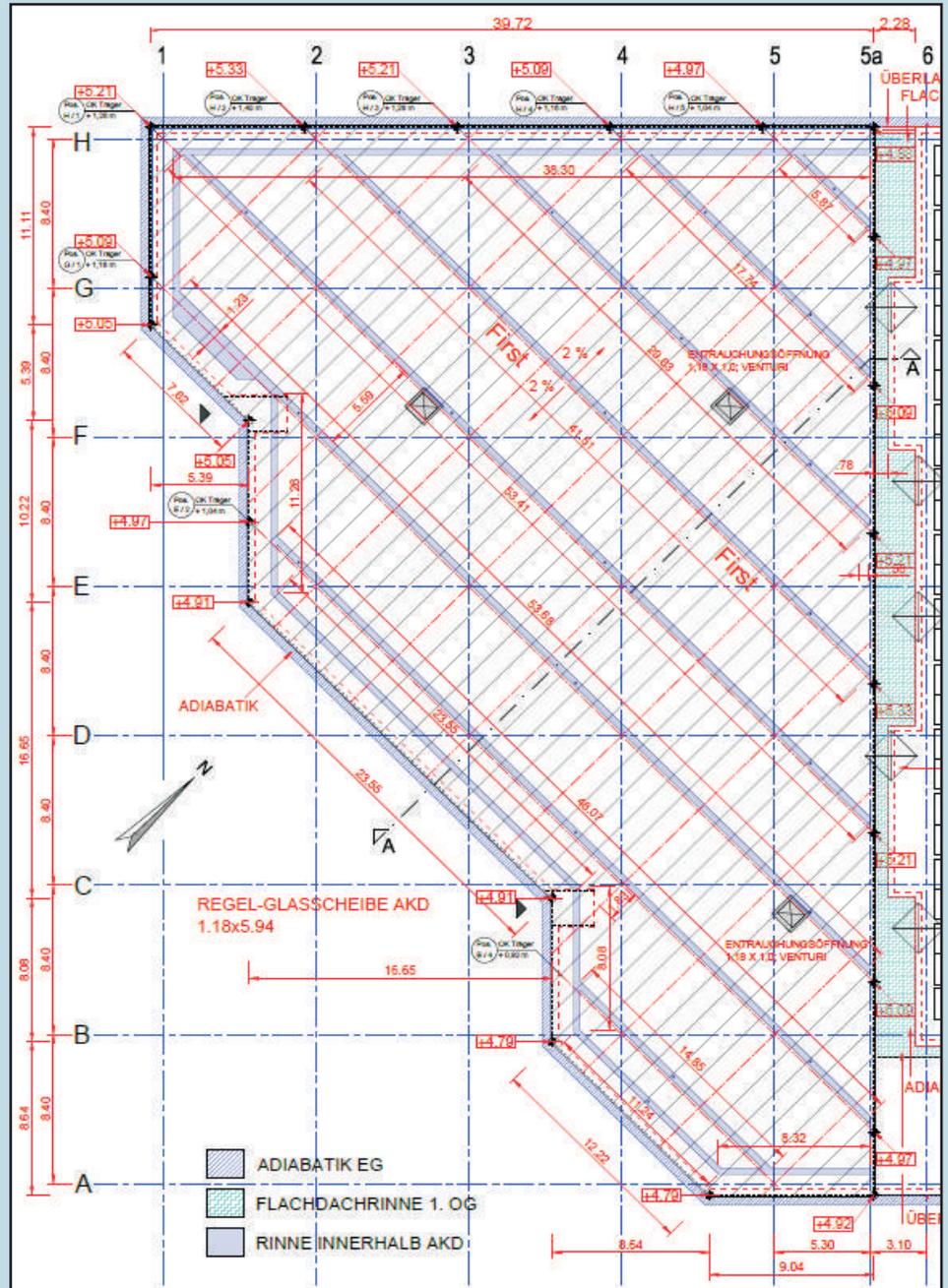
Ein Eintrag von thermisch basierter erneuerbarer Energie ergibt sich beim Absorberkollektoren-Doppeldach von ..... **610.000 kWh/a**  
 Bei thermoaktivierter Fassade (durch WRG) von ..... **58.000 kWh/a**

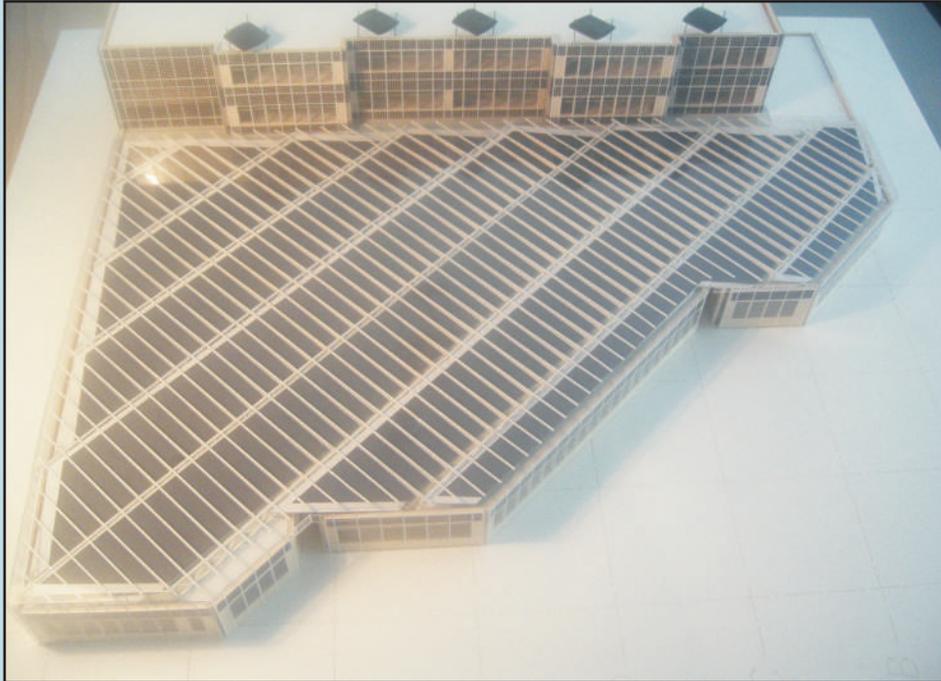
Bei thermoaktivierter Fassade ergibt sich ein Ertrag von elektrisch basierter erneuerbarer Energie von ..... **27.000 kWh/a**



Die in das Stahlfachwerk des Absorberkollektoren-Doppeldachs eingelegten nach Süden geneigten Wärmekollektoren (Produkt Energie Solaire) mit einer Fläche von 1210 qm erbringen einen Eintrag von erneuerbare Wärmeenergie von 610 000 kWh/Jahr.

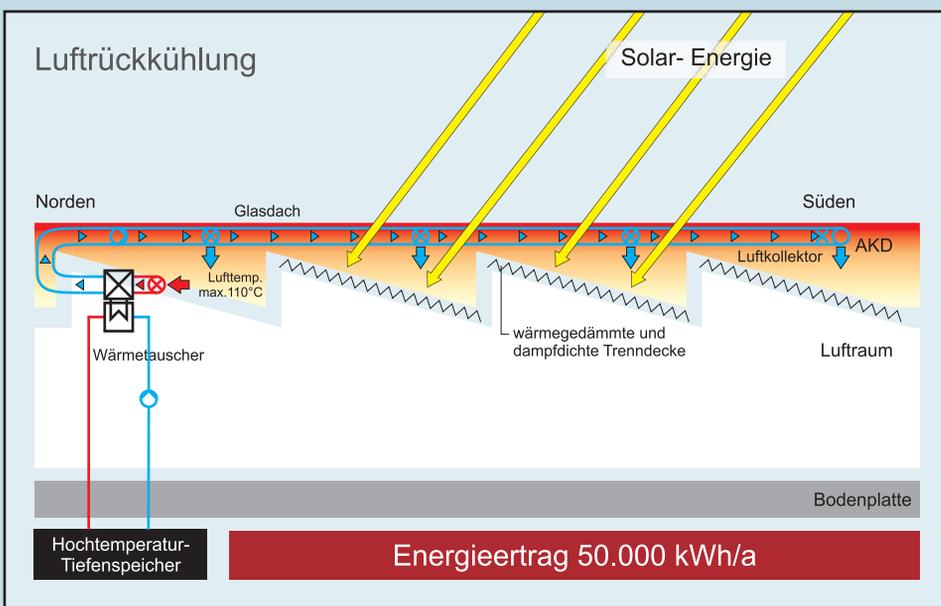
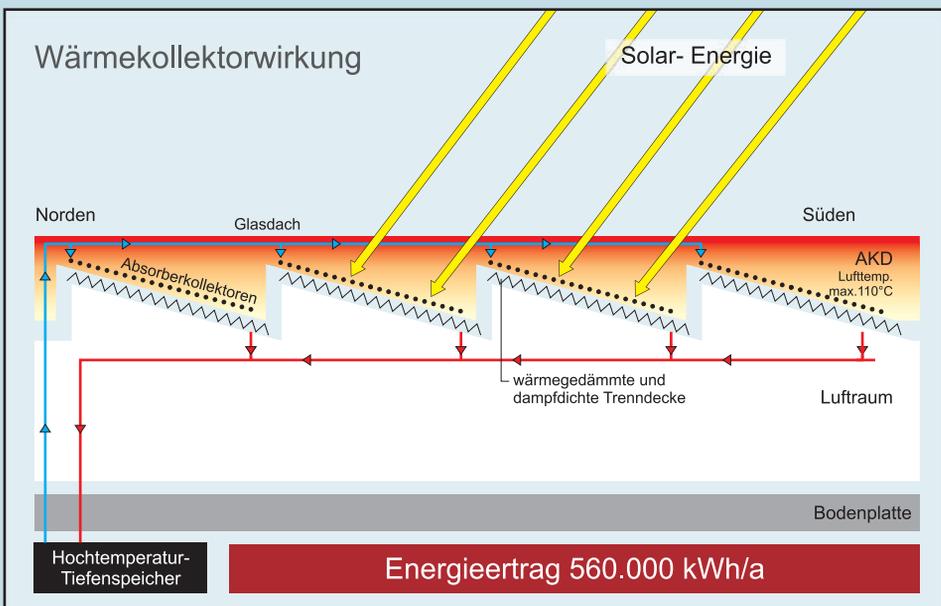
Durch die Wärmekollektoren-Wirkung werden ca. 1210 qm x 463 kWh/qm a = 560 000 kWh/a, durch Luftkollektoren-Wirkung 50 000 kWh/a an erneuerbarer Wärmeenergie eingetragen.





### ABSORBER-KOLLEKTOREN-DOPPEL-DACH (AKD)

Das von den Verfassern entwickelte Absorberkollektoren-Doppeldach (AKD) ist in Verbindung mit einer dafür entwickelten geothermischen Langzeitspeicherlösung ein wirksames, erneuerbare Wärmeenergie eintragendes Dachsystem, welches auf dem großflächigen eingeschossigen Fachklassenbau durch mehrfache Wirkung (Wärmekollektoren- und Luftkollektorenwirkung) große Mengen erneuerbarer Wärmeenergie (610.000 kWh/Jahr) einzutragen imstande ist.



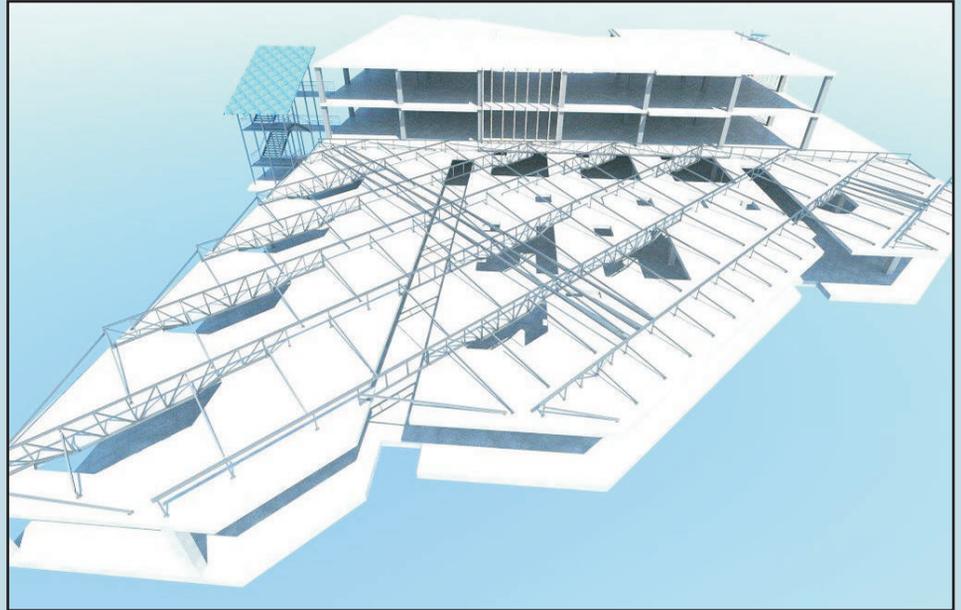
### B 1.1

Wärmeeintrag durch Wärmekollektorenwirkung: in die räumliche Stahlfachwerk-Konstruktion auf dem Flachdach des Bestandsbaues werden optimal nach Süden geneigte Wärmekollektorenflächen eingelegt. Es handelt sich um wasserdurchströmte, schwarze Hohlkammersysteme (Produkt Energie-Solaire), welche die eingestrahelte solare Energie direkt in Wärme umwandeln. Sie sind wesentlich kostengünstiger als Flach- oder Röhrenkollektoren, und erbringen durch ihre Lage in der nach oben durch eine Verglasungsschicht abgeschlossenen Luftschicht des Dachtragwerkes auch im Winter Wärmeeinträge. Durch WATSUN-Simulationen wurde der zu erwartende Ertrag dieser insgesamt 1200 qm großen solarthermischen Anlage mit 560 000 kWh/Jahr ermittelt.

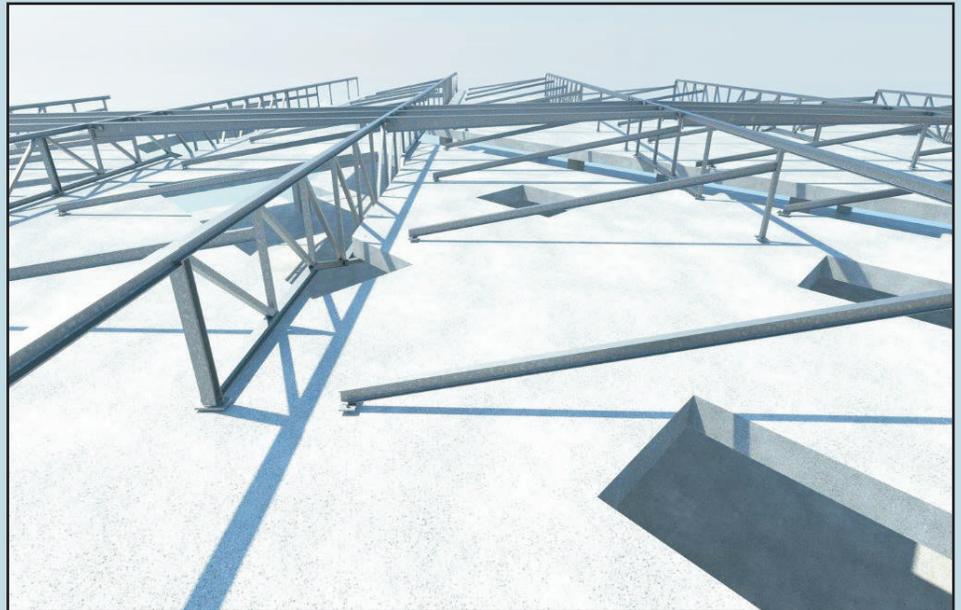
### B 1.2

Wärmeeintrag durch Luftkollektorenwirkung: Die sich bis auf Temperaturen von 100 – 110°C erwärmende Luft in den Luftdreiecken (siehe Abb. auf vorheriger Seite) wird zur Prozessluft. Diese wird ab einer Temperatur von 80° C im Umluftverfahren dem Dach entnommen und durch Abluftrohre über einen Wärmetauscher dem geothermischen Langzeitspeicher zugeführt und dort gespeichert. Anschließend strömt die wärmereduzierte Luft durch Zuluftrohre wieder in den Dachraum zurück. Der Wärmeeintrag durch diese Luftkollektorenwirkung beträgt hier ca. 50 000 kWh/Jahr.

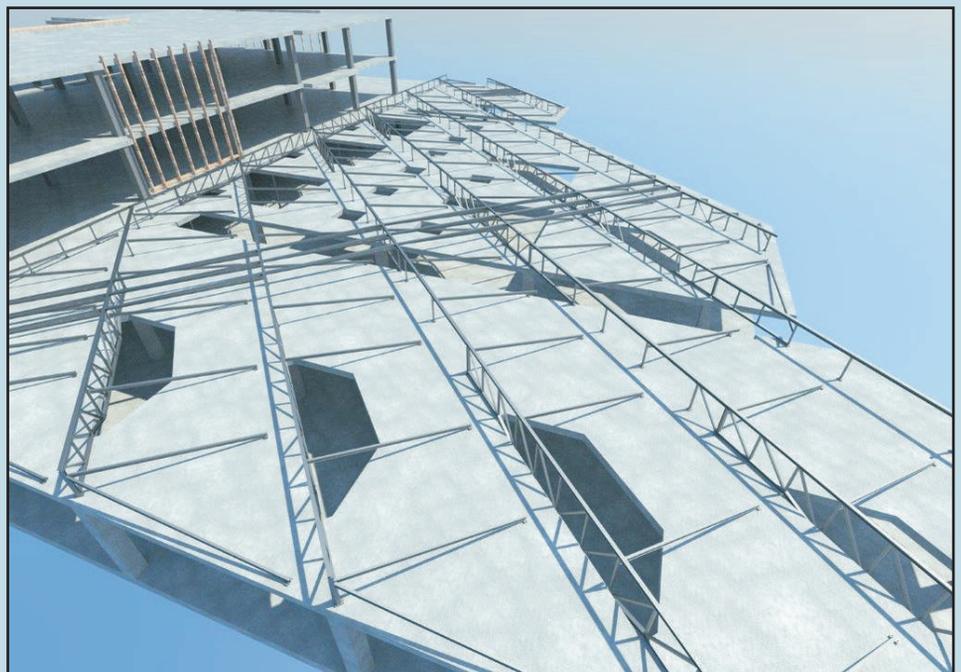
Perspektive der räumlichen Stahlfachwerk-Konstruktion von Südwesten

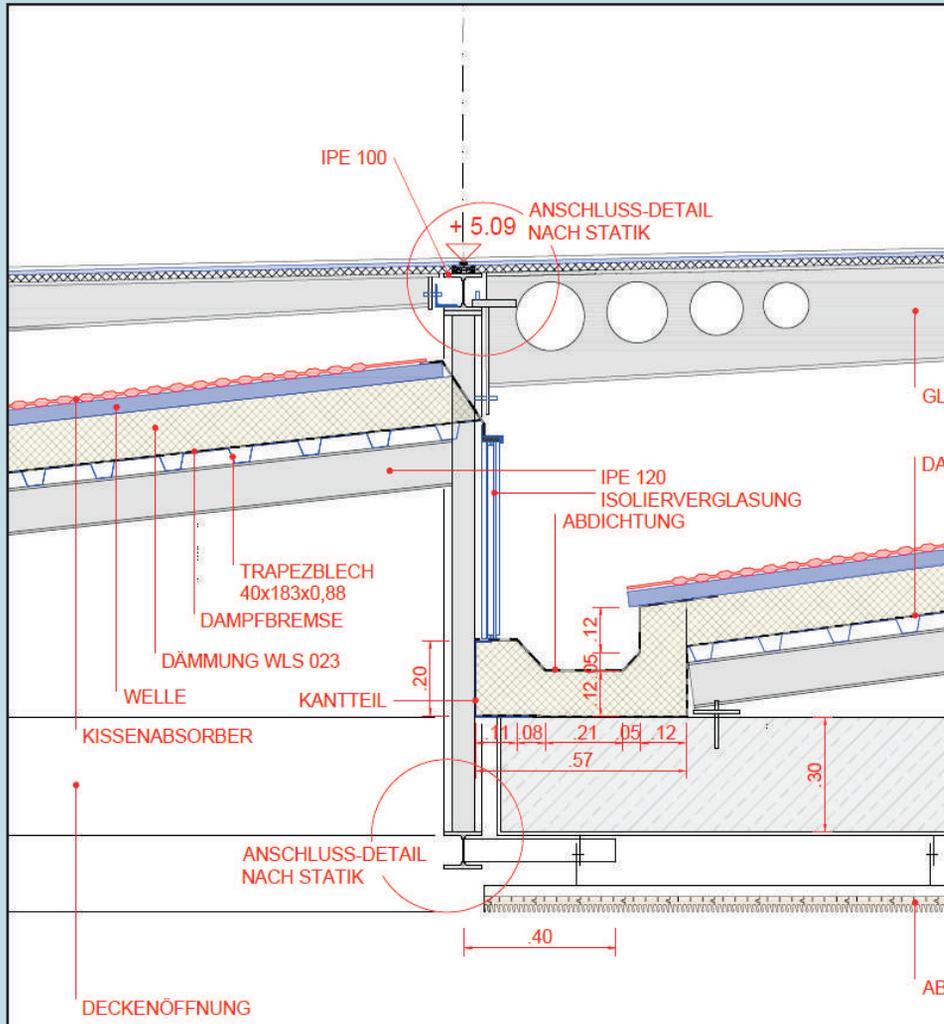


Detailperspektive der räumlichen Stahlfachwerk-Konstruktion

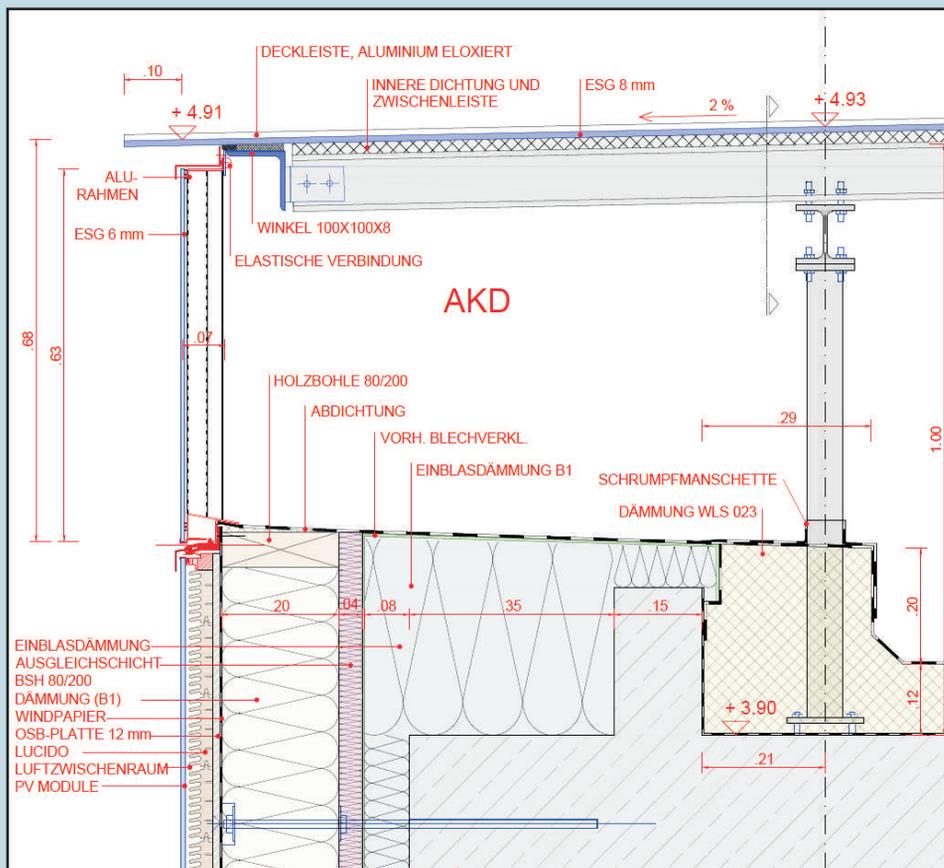


Perspektive des räumlichen Stahlfachwerks mit statisch-konstruktiver und funktioneller Beachtung der zusätzlich aus der Bestandsdecke heraus gesägten Belichtungsöffnungen





Schnittdetail 1 AKD illustriert die Lage der Wärmekollektoren (Produkt Energie Solaire) in den windgeschützten Dachdreiecken des glasgedeckten räumlichen Stahlfachwerkes

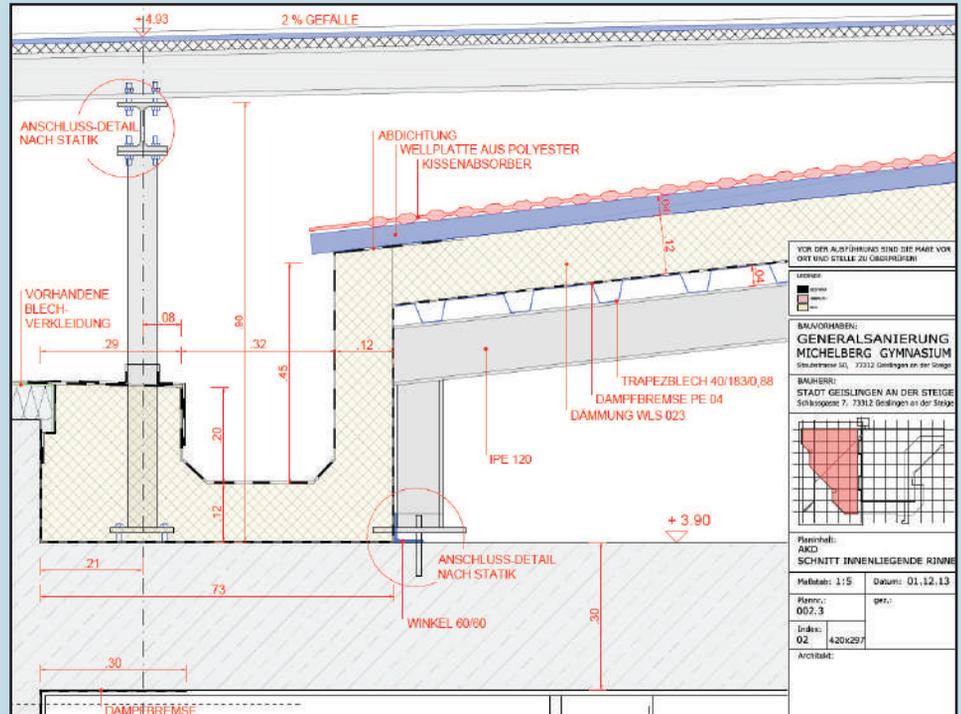


Schnittdetail 2 AKD illustriert den Randabschluss des AKD. Die senkrechte Verglasung ermöglicht den Einblick von außen in den Luftraum des glasgedeckten Stahlfachwerkes und die damit zusammenhängende Luftkollektorenwirkung

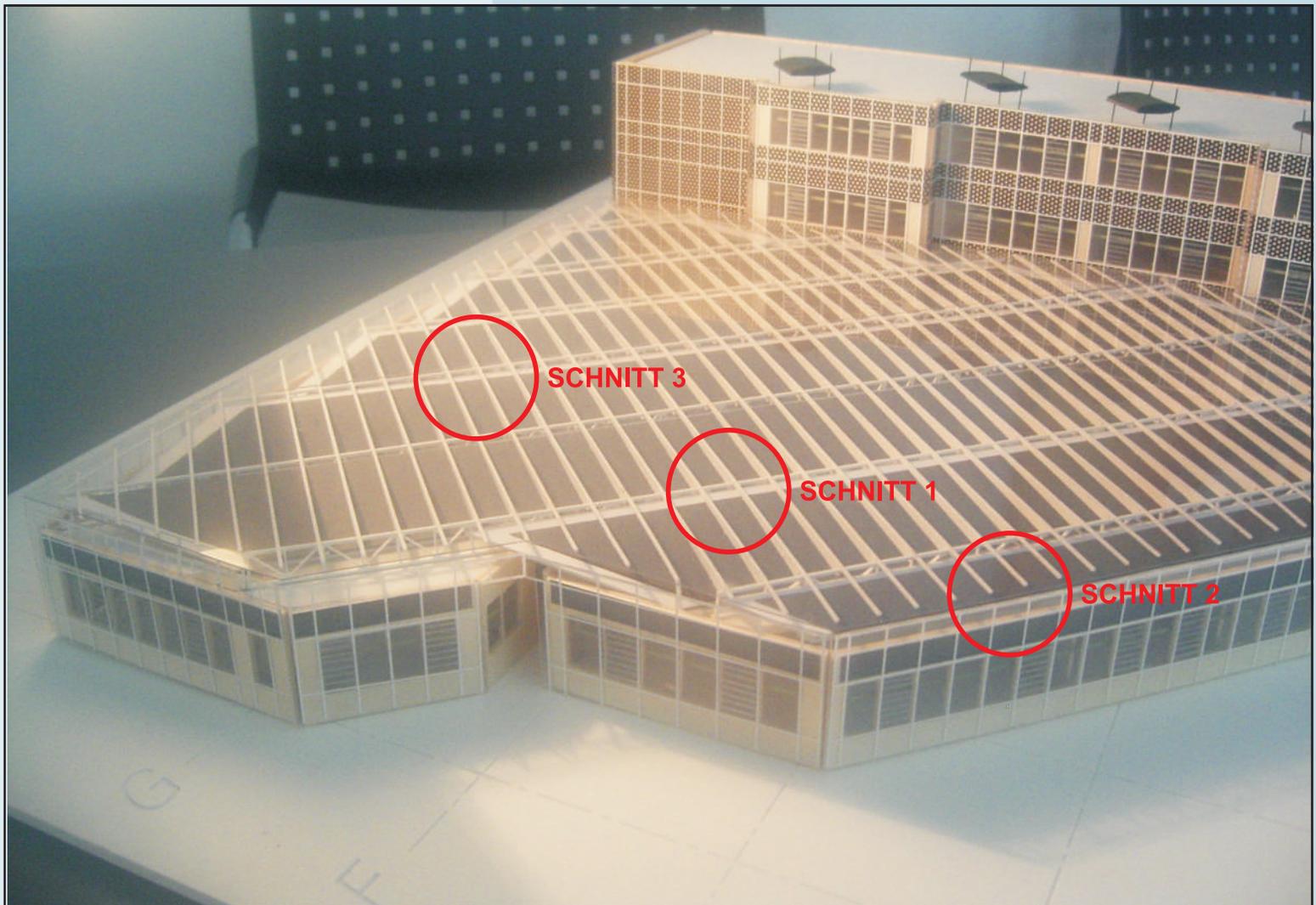
## Zu B1 WÄRMEERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEQUELLEN

siehe dazu Anhang 6

Schnittdetail 3 AKD illustriert die Lage der Wärmekollektoren (Produkt Energie-Solaire) in den windgeschützten Dachdrehiecken des glasgedeckten räumlichen Stahlfachwerkes



Situierung des Absorberkollektoren-Doppeldachs (AKD) auf dem Dach des naturwissenschaftlichen Bereiches





### B 2.1

Stromeintrag durch transparente PV-Module: Eine weitere wesentliche Funktion erfüllt die von den Verfassern entwickelte thermoaktivierte Fassade durch einen aktiven Stromeintrag von ca. **27.000 kWh/Jahr**.



### B 2.2

Stromeintrag durch transparente PV-Module über Verkehrsflächen und glasüberdeckten Innenhof: Eingebettete PV-Module in den Verglasungselementen des neu überdachten Innenhofes sowie in den ausgetauschten Überkopfverglasungen der Verkehrsflächen erbringen einen Eintrag von **23.000 kWh/Jahr**.



Opake PV-Module  
auf dem Dach  
Klassenbau

### B 2.3

Stromeintrag durch opake PV-Module auf dem Dach des Klassenbaus: 1.135 m<sup>2</sup> opake PV-Module, aufgeständert auf den nachgedämmten Dachflächen des Klassen- und Verwaltungsbereiches erbringen einen Stromeintrag von ca. **150 000 kWh/Jahr**.

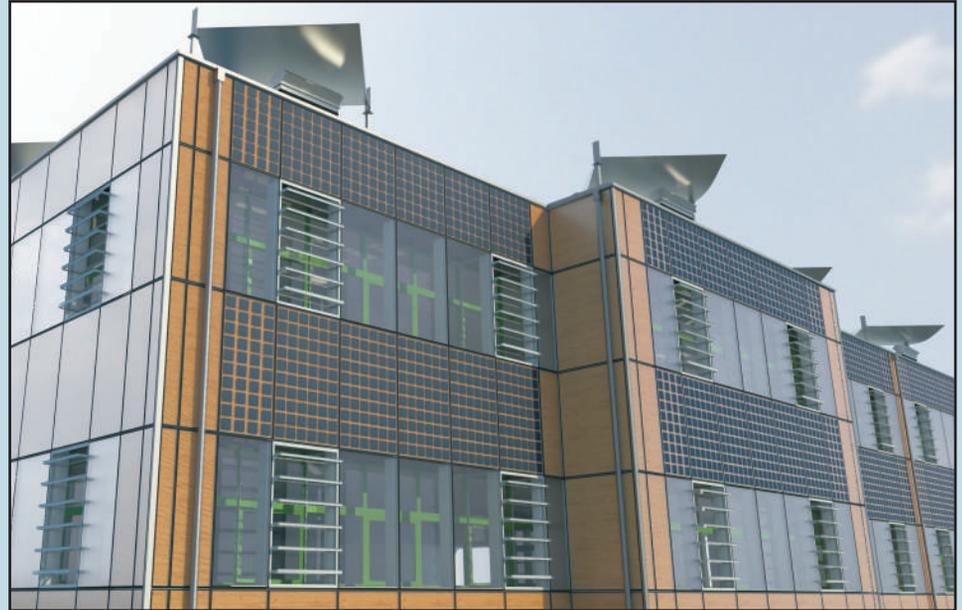
## Zu B2 STROMVERSORGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEQUELLEN

siehe dazu Anhang 7

### Zu B 2.1

Die in die äußere Glashaut der thermoaktivierten Fassade eingebetteten PV-Module tragen auf einer dafür günstig orientierten Fassadenfläche von 434 qm einen Stromertrag ein von

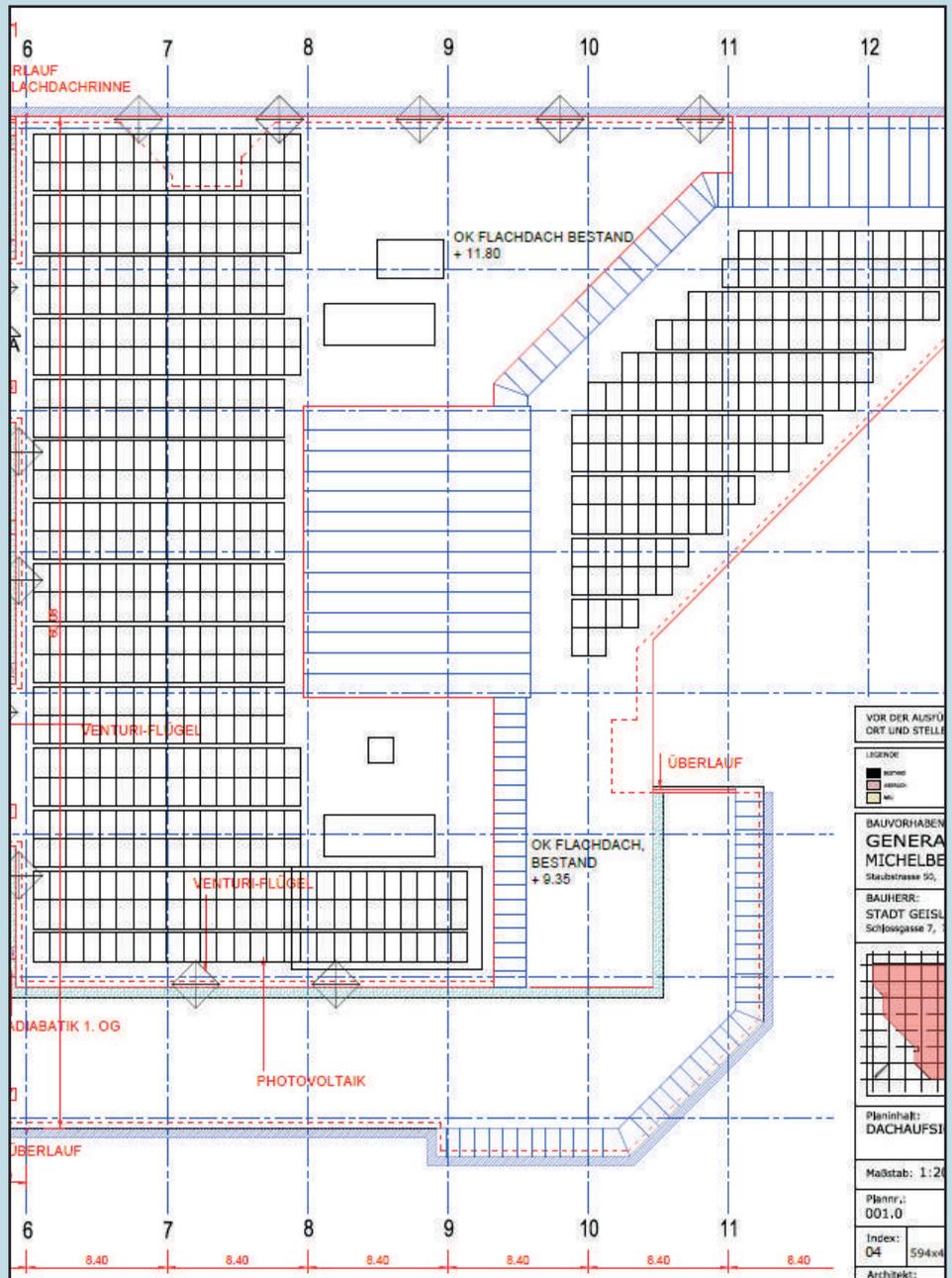
$$434 \text{ qm} \times 63 \text{ kWh/qm a} = 27\,000 \text{ kWh/a}$$



### Zu B 2.3

Auf dem Dach des Normalklassenbereichs sind aufgeständerte opake PV-Module (siehe Dachaufsicht) angeordnet. Auf einer Fläche von 1135 qm beträgt ihr Stromeintrag

$$1135 \text{ qm} \times 131 \text{ kWh/qm a} = 150\,000 \text{ kWh/a}$$



## B3 WÄRMEVERTEILUNG UND -ÜBERGABE



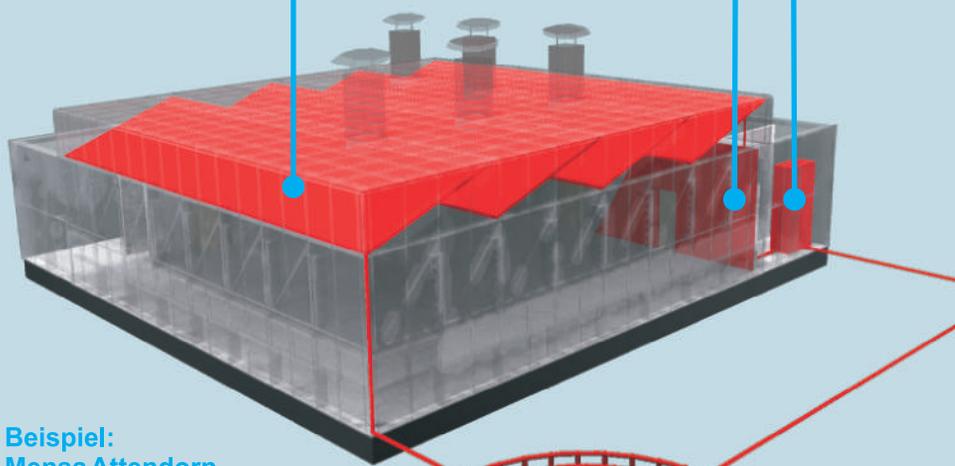
Absorber-Kollektoren-Doppeldach



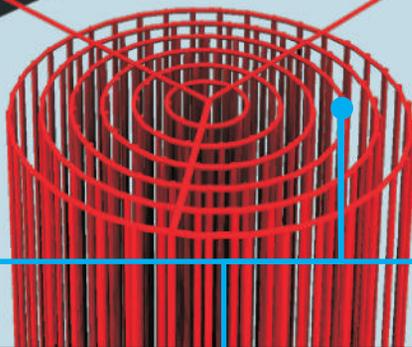
Strahlungsheizsystem



Wärmepumpe



Beispiel:  
Mensa Attendorn



Tiefenbohrung



Einbringen der Sonden und  
verfüllen der Bohrlöcher



Detail einer Doppel-U-Sonde

Bildquellen: Internet

### B 3

Durch den Wärmeeintrag von insgesamt **610.000 kWh/Jahr** durch das Absorberkollektoren-Doppeldach (AKD) sowie ca. **58.000 kWh/Jahr** aus der thermoaktivierten Fassade ergibt sich nach 100 %-iger Deckung des Heizwärme- bzw. Warmwasserbedarfs der energetisch sanierten Schulanlage ein Wärmeenergieüberschuss von **250 %**.

Hinzu kommt, dass bei der thermischen Solarenergienutzung ein entgegengesetztes Verhältnis von Angebot und Nachfrage der Nutzwärme vorliegt. Während im Sommer die Solarwärmeeinstrahlung am höchsten ist, kann zu dieser Jahreszeit nur relativ wenig dieser Wärmemenge zur Raumbeheizung genutzt werden. Im Winter ist dies genau umgekehrt. Die Lösung besteht darin, die Wärme aus dem Sommer durch eine Langzeitspeicherung bis in die Wintermonate nutzbar zu machen.

Üblicherweise ist diese Technologie mit relativ hohen Investitionskosten verbunden. Nicht so bei dem hier verwendeten Hochtemperaturtiefspeicher. Dieser besteht aus einer Reihe ringförmig angeordneter Tiefenbohrungen, in die Sonden aus mehreren Kunststoffrohren eingebracht werden. Durch die Sonden fließt Wasser und kann somit überschüssige Wärmeeinträge aus dem Absorberkollektoren-Doppeldach ins Erdreich befördern. Das gesamte angebohrte Erdvolumen fungiert somit als große Speichermasse. Im Prinzip handelt es sich um einen großen Felszylinder, in dem durch seine hohe spezifische Masse große Mengen an Wärme für eine lange Zeit eingespeichert werden können und die Temperaturen auf bis zu 80°C anwachsen können.

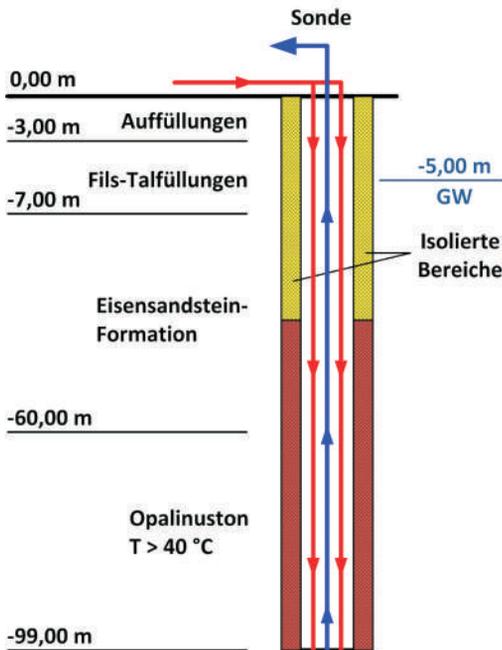
Ähnlich wie beim vorseitig illustrierten Beispiel Mensa Attendorn ist beim Michelberg-Gymnasium zur Speicherung der überschüssigen Wärmeenergie ein Geothermie-Speicher mit einem größeren Erdwärmesondenfeld geplant. Damit soll insbesondere die in den Sommermonaten über das Absorberkollektoren-Doppeldach gewonnene Energie in den tieferen Untergrund eingespeichert werden, um den Energiebedarf während der Winterperiode aus dem Geothermiespeicher – nach Tabelle 1 – für den monatlichen und jährlichen Bedarf nach Tabelle 2 abzudecken zu können.

Zu Planung, Berechnung und Modellierung des Erdwärmesondenfeldes wurden in einem ersten Schritt insgesamt 3 Bohrungen mit einer Bohrtiefe bis 99 m abgebohrt und anschließend eine Bohrung als Erdwärmesonde mit dem Einbau von Doppel-U-Sonden 32 x 2,9 mm ausgebaut. In dieser Bohrung wurde ein Thermal-Response-Test durchgeführt, um die für die Bemessung des Sondenfeldes benötigten thermischen Untergrundparameter bestimmen und den Speicher optimieren zu können.

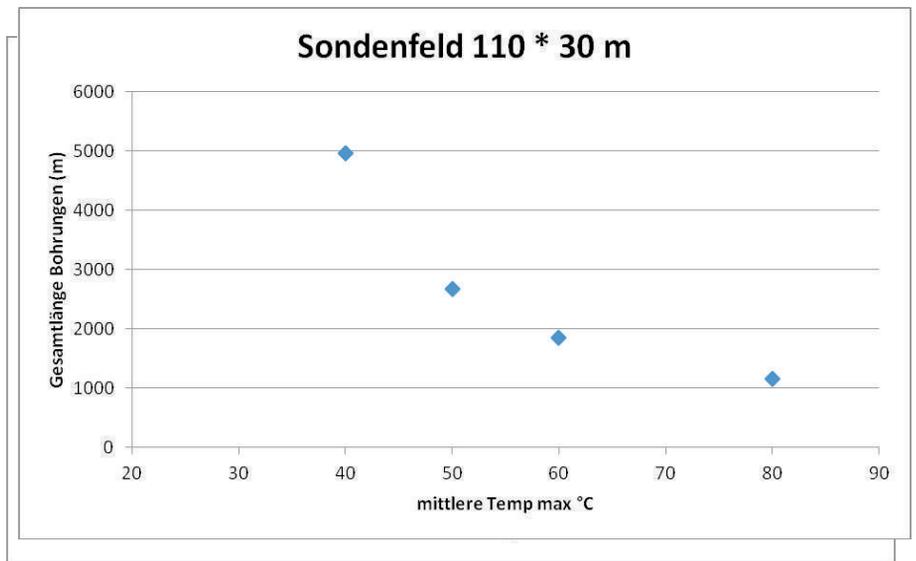
Das Konzept sieht – in Folge der geologischen und hydrogeologischen Situation – eine Einspeicherung in einer definierten Zone des geplanten Erdwärmespeichers (siehe Bild 1) vor.

Im Rahmen einer Vormodellierung wurden erste Ergebnisse zur Geometrie des Erdwärmespeichers ermittelt (siehe Bild 2).

**Bild 1:** Geologische und hydrogeologische Situation mit den Speicherkonzept



**Bild 2:** Ergebnisse einer Vormodellierung zur Speicher-Geometrie in Abhängigkeit von der wasserrechtlich genehmigten Speichertemperatur



**Tabelle 1:** Monatliche Verteilung von Q sol über das Jahr

Januar	569 kWh
Februar	17085 kWh
März	38726 kWh
April	69479 kWh
Mai	105927 kWh
Juni	108205 kWh
Juli	120734 kWh
August	107066 kWh
September	62645 kWh
Oktober	29614 kWh
November	9112 kWh
Dezember	3417 kWh

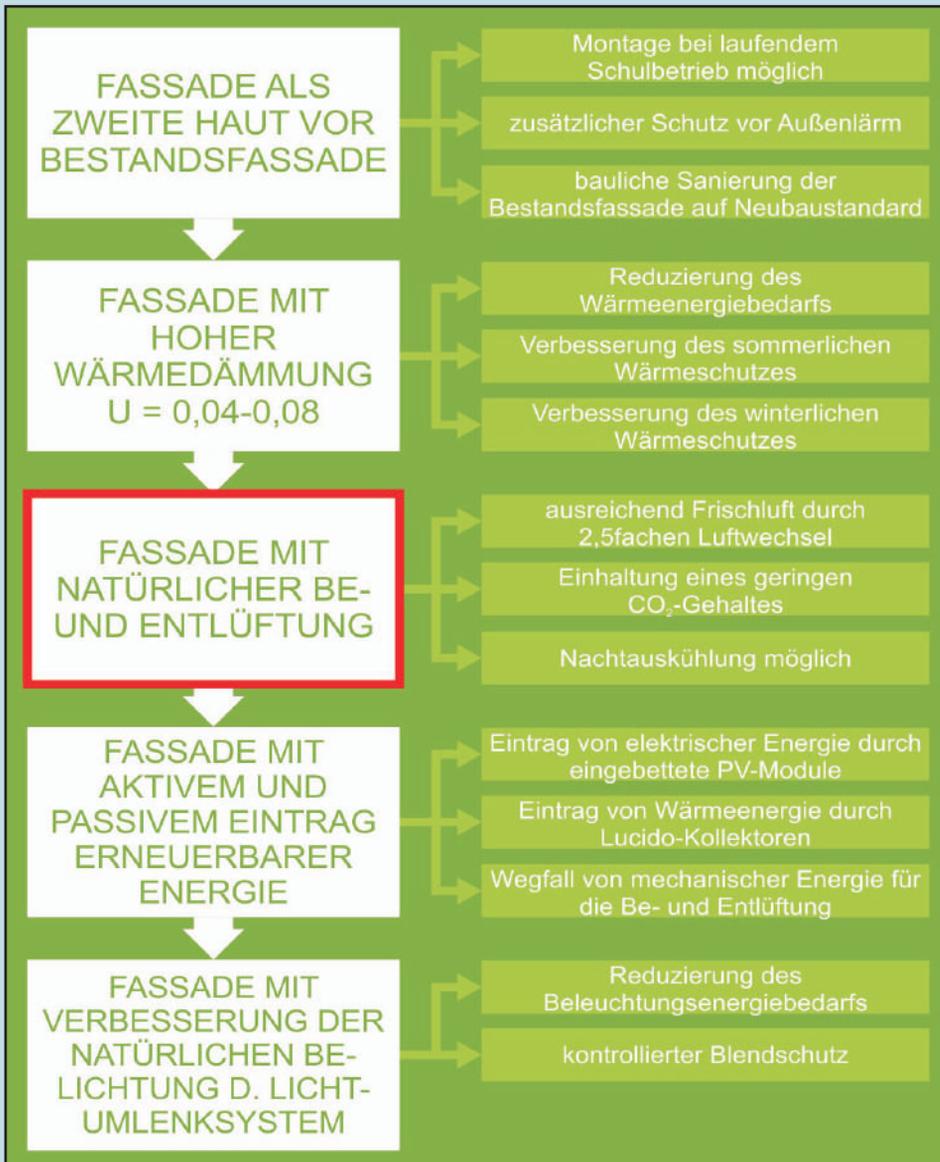
Summe vorgeannter Tabelle = 672.579 kWh

**Tabelle 2:** Mtl. Verteilung der Heizlast des Gebäudes über das Jahr

Januar	21,13 %	56.205 kWh
Februar	16,36 %	43.518 kWh
März	12,98 %	34.526 kWh
April	4,70 %	12.502 kWh
Mai	2,41 %	6.411 kWh
Juni	0,31 %	825 kWh
Juli	0,02 %	53 kWh
August	0,03 %	80 kWh
September	2,12 %	5.639 kWh
Oktober	7,68 %	20.429 kWh
November	13,48 %	35.857 kWh
Dezember	18,78 %	49.955 kWh

Summe vorgeannter Tabelle = 100 %

Summe Heizlast incl. Lüftung 266.000 kWh



Bei der energetischen Sanierung der Schulanlage in Geislingen gehen wir grundsätzlich von einem Konzept der natürlichen Be- und Entlüftung aus. Die dafür entwickelte Fassade schafft es in innovativer Weise, dass sie die wichtigsten Frischluftanforderungen im heutigen Schulbau auch ohne mechanische (kontrollierte) Lüftung erfüllen kann:

- 2,5facher Luftwechsel pro Stunde
- Regelung eines niedrigen CO<sub>2</sub>-Gehaltes



Anstatt die gewünschten Luftströme zur optimalen Frischluftversorgung der Klassen in einem Simulationsmodell zu ermitteln, wurde eine Muster- bzw. Testfassade im Maßstab 1 : 1 zweigeschossig über eine Klassenbreite gebaut:

- auf der linken Seite der jeweiligen Klasse ist ein durchgehender Abluftschacht (rote Markierung) angeordnet
- auf der rechten Seite ein durchgehender Zuluftschacht (blaue Markierung)
- das mittlere Feld dient als Stagnationsfeld speziell zum Eintrag solar erzeugter Wärmeenergie

Die Messergebnisse die mit geeigneten Sensoren in der Musterfassade über einen Zeitraum von 1½ Monaten vorgenommen wurden, bestätigen die prognostizierten Annahmen.

### Muster-/Testfassade

In der Breite eines Klassenfeldes wurde über zwei Geschosse hinweg eine Muster- bzw. Testfassade als 1:1-Modell zur Erprobung der thermoaktivierten Fassade gebaut.



### Detail Musterfassade

Im Bild sind die Lamellen im Bereich des Abluftschachtes, sowie die im Brüstungsbereich eingebetteten PV-Module zu erkennen. Rechts davon sind Teile der Bestandsfassade sichtbar, vor die die neue thermoaktivierte Fassade gestellt wird.

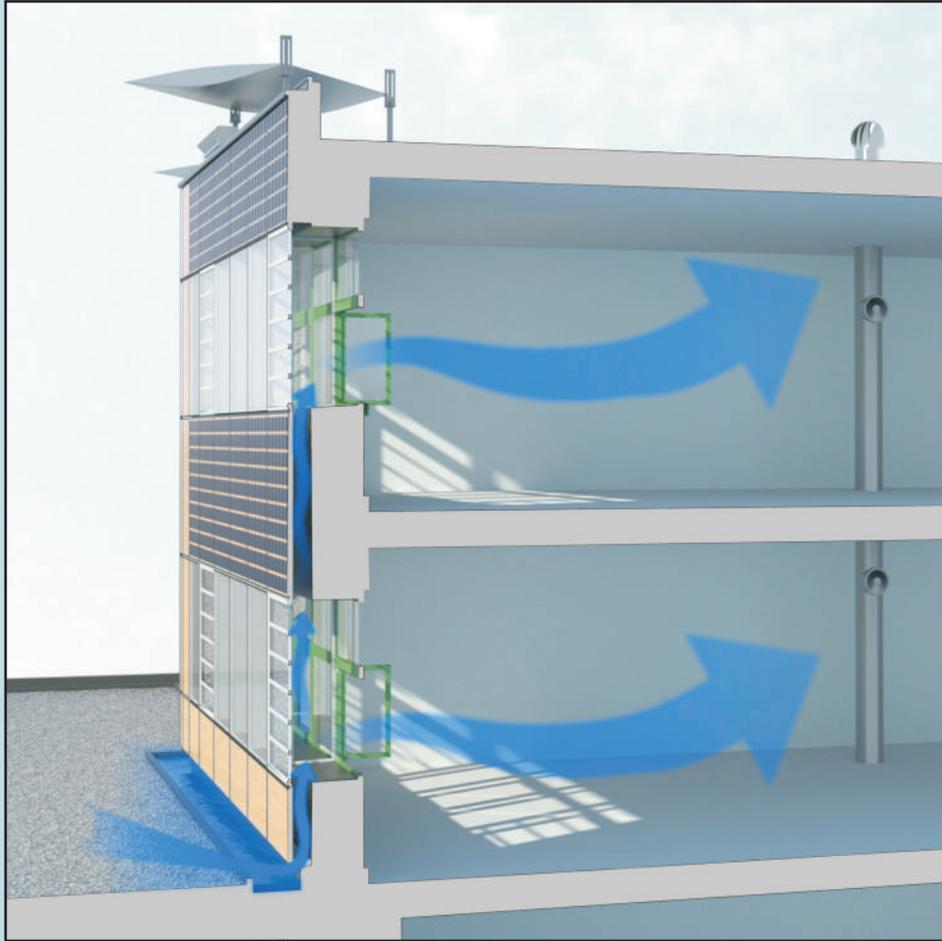


### Detail Musterfassade

In der Schrägsicht nach oben ist die Breite bzw. Tiefe der neuen thermoaktivierten Fassade ablesbar, zudem der Lamellenbereich vor dem Abluftschacht mit dem darüber liegenden Venturi-Flügel. Rechts ist der obere Teil des Zuluftschachtes erkennbar.

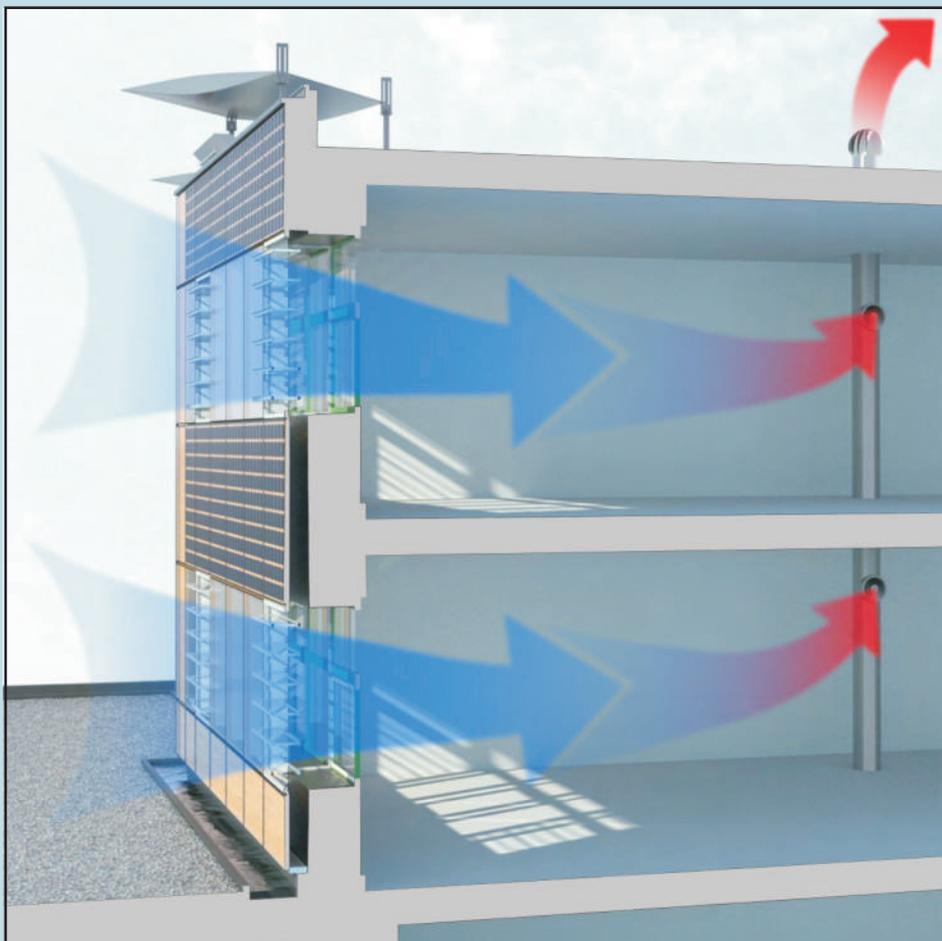


## C1.1 NATÜRLICHE BELÜFTUNG ÜBER THERMOAKTIVIERTE FASSADE



In der Abbildung ist die Funktion des Zuluftschachtes illustriert, über den - adiabatisch gekühlt - Zuluft in die Klassenzimmer strömt. Die adiabatische Wirkung erfolgt durch die in der Sockelzone angeordnete Wasserrinne, gefüllt mit Dachniederschlagswasser, welches den durch Unterdruck angesaugten Außenluftstrom um ca. 4 Kelvin auf natürliche Weise herunterkühlt.

Die Lüftung erfolgt wie bei jeder konventionellen Fensterlüftung. Vom Fußboden strömt Außenluft, angesaugt durch natürlichen Unterdruck in den entlüfteten Klassenzimmern in das vertikale Zuluftfeld. Dafür werden die dahinter liegenden Fenster der Bestandsfassade geöffnet und nach dem Lüftungsvorgang (Stoßlüftung 10 Minuten) wieder geschlossen.



Bei Windstille, d.h. bei eingeschränkter Wirkung des Venturi-Flügels werden die bei Zu- und Abluftschacht angeordneten Lamellen geöffnet. Die auf breiter Fläche einströmende Frischluft wird über ein im Klassenzimmer diagonal im hinteren Bereich angeordnetes Abluftrrohr aus dem Raum übers Dach mechanisch (kleiner Ventilator) abgelüftet.

## Zu C1.1 ADIABATISCHE KÜHLUNG DER NATÜRLICHEN BELÜFTUNG

siehe dazu  
A 1.2, S. 4

Gemäß durchgeführter Messungen der Luftqualität vom 03. März 2014 besteht ein durchschnittlicher Luftaustausch von stündlich  $700 \text{ m}^3$  in den Klassenräumen bei  $8^\circ\text{C}$  Außentemperatur.

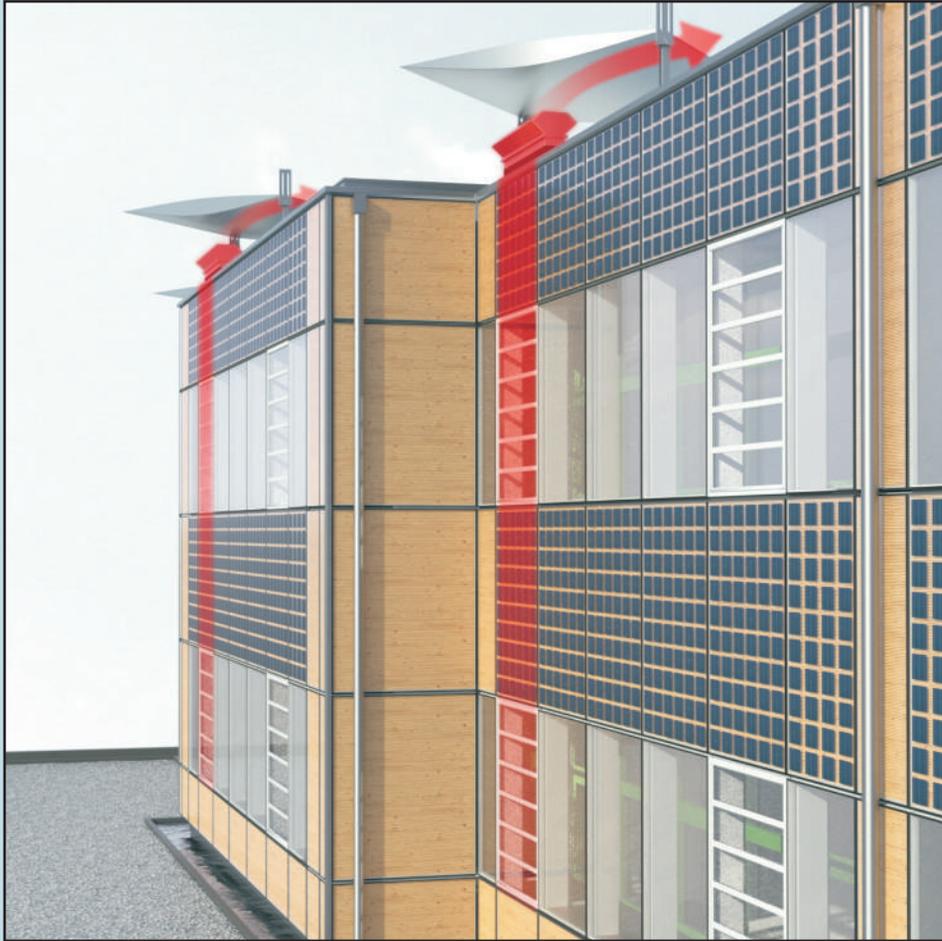
Bei  $700 \text{ m}^3/\text{h}$  und einer Kühlleistung von  $4,8^\circ\text{C}$  (gemessen in dem realisierten Projekt Mensa Attendorf) errechnet sich eine Kühlleistung von  
 $700 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,36 \times 4,8^\circ\text{C} = 1210 \text{ W}$

Bei 20 Schülern im Klassenraum berechnen sich  $1210 \text{ W} : 20 \text{ Schüler} = 60,5 \text{ W}$  Kühlleistung pro Schüler. Die Kühllast je Schüler (in einer sitzenden Position) beträgt  $78 \text{ W}$ . Diese Kühllast wird also fast egalisiert durch die Kühlleistung aus der adiabatischen Kühlwirkung.

Diese Kühlwirkung ist nur teilweise abhängig von der davor liegenden Größe der Wasserfläche. Sie funktioniert wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

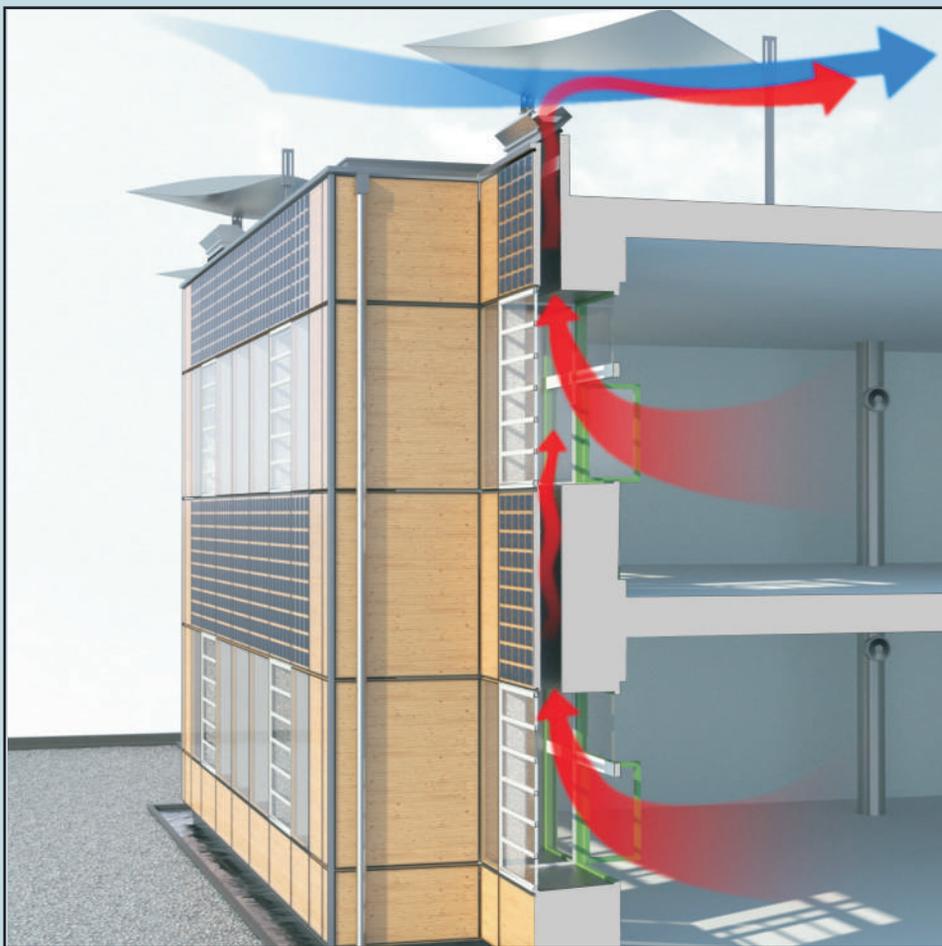
Zur Verdunstung und damit zur Kühlung des aufsteigenden Luftstroms im Zuluftschacht ist eine ausreichend große Wasserrinne erforderlich, deren Breite muss der Breite der Außenfassade entsprechen. Bei einem zugeordneten Klassenraum entspricht dies ca.  $10 \text{ m}$ . Die Tiefe muss  $45\text{--}60 \text{ cm}$  betragen. Eine breitere Abmessung der Wasserrinnen ist unproblematisch, solange der Wasserstand innerhalb der Rinne  $5 \text{ cm}$  übersteigt. Für einen Klassenraum ergibt sich damit eine Mindestwasser-menge von  $0,23 \text{ m}^3$  ( $10 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} \times 0,05 \text{ m}$ ) innerhalb der Wasserrinne. Der Abstand von der Wasseroberfläche bis zur Unterkante Fassade sollte  $15 \text{ cm}$  nicht überschreiten, um keine ungekühlte Fremdzuluft anzusaugen. Die Verdunstungsleistung ist also nur von den angegebenen Werten abhängig und nicht von einer möglichst größtmäßig ausgehenden Wasserfläche vor der Fassade.





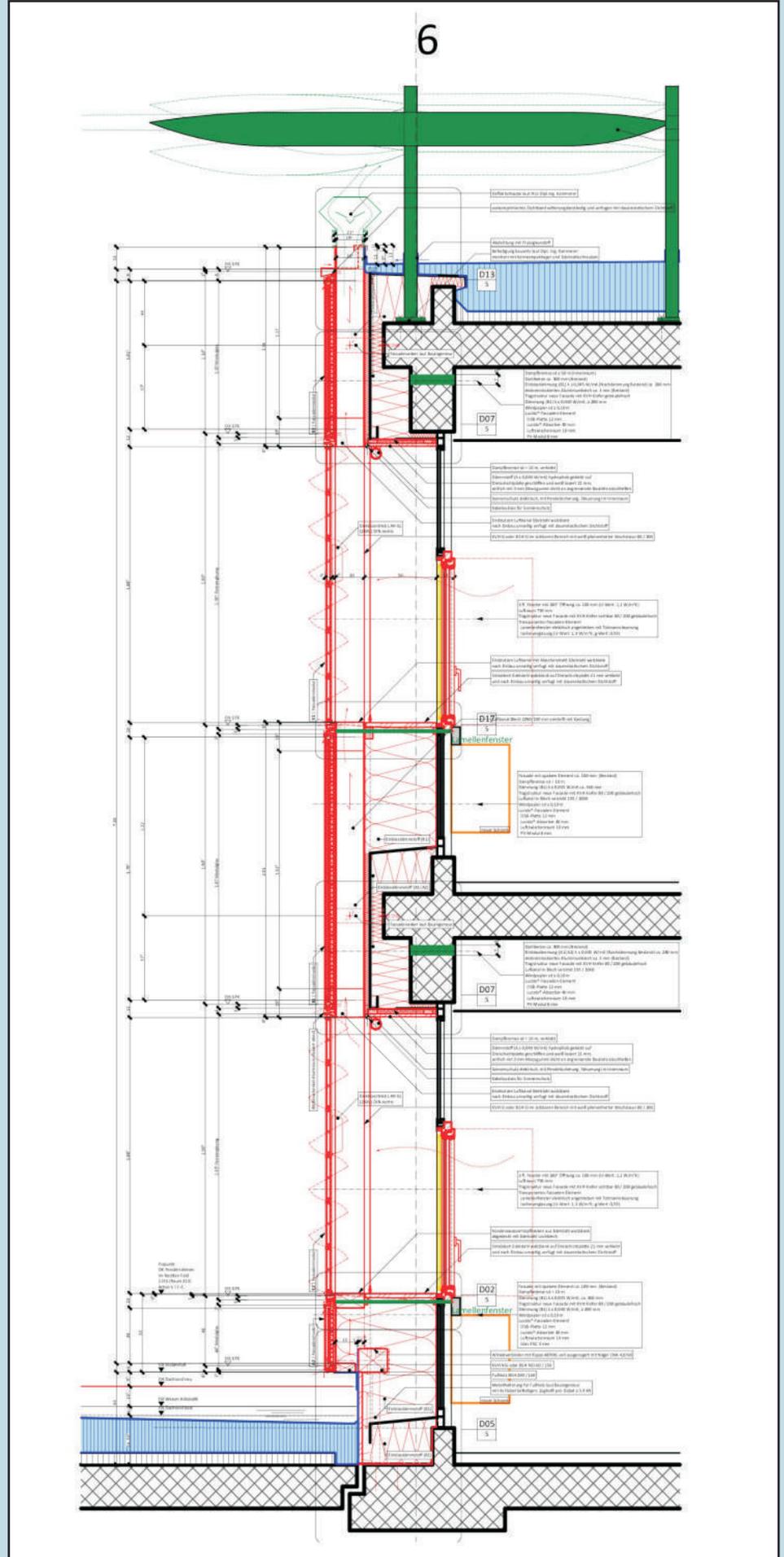
Im Bild rot markiert:

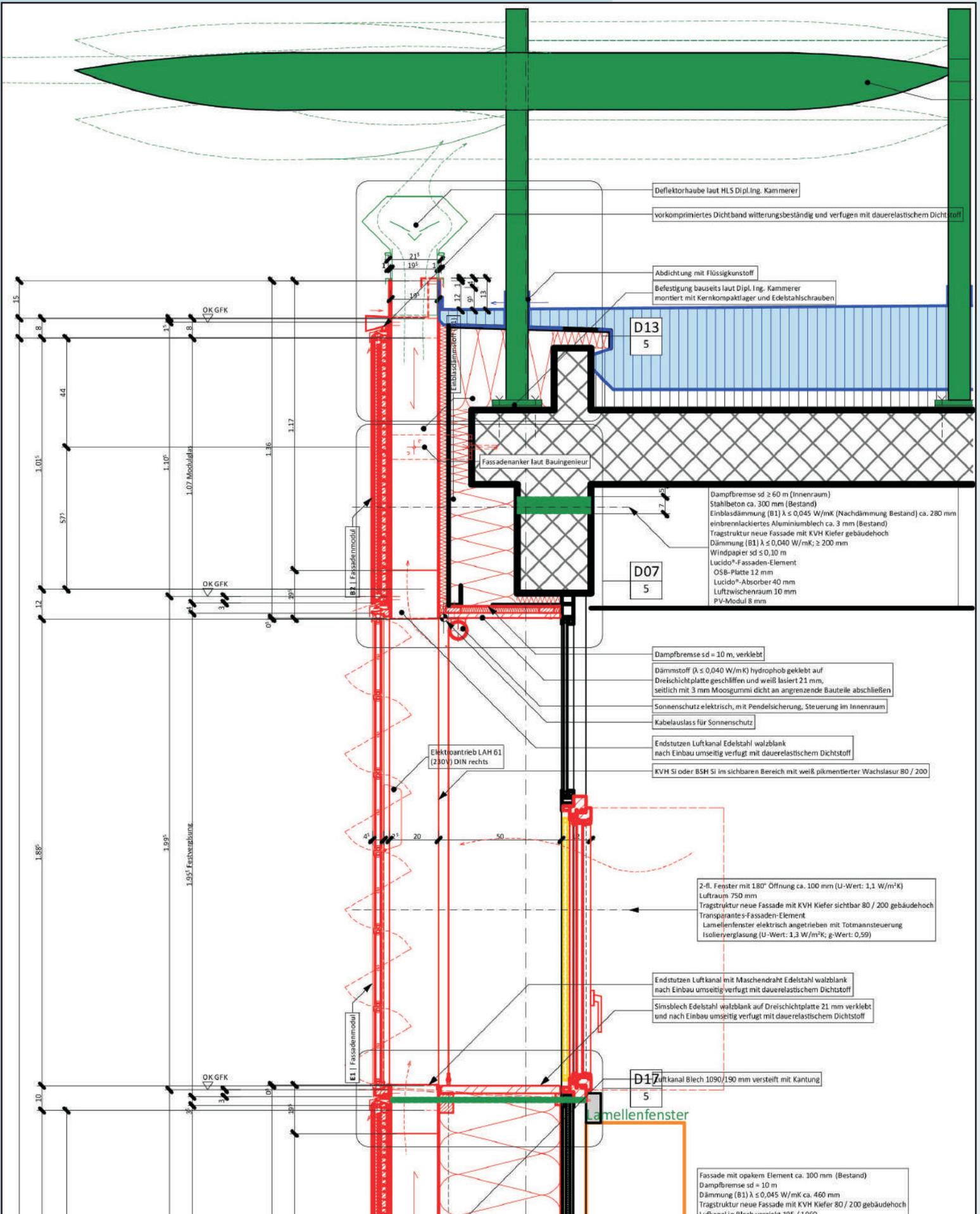
- Der Abluftschacht, jeweils zum nächsten um eine Klassenbreite versetzt.
- Am Kopfpunkt des Abluftschachtes befindet sich jeweils der Unterdruck erzeugende Venturi-Flügel.

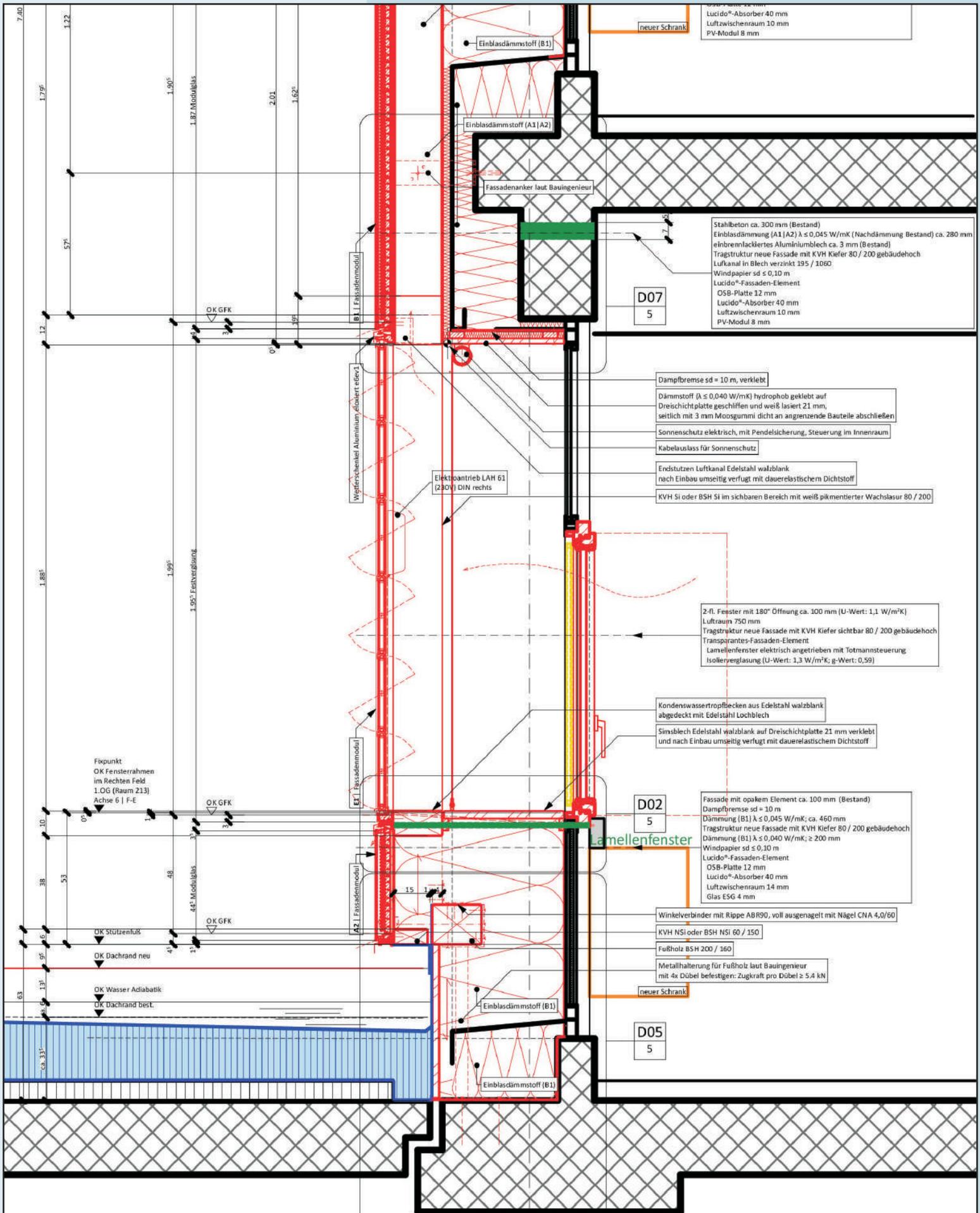


Der wesentliche Unterschied zur kontrollierten mechanischen Lüftung besteht darin, dass der Be- und Entlüftungsvorgang ohne Zufuhr von Primärenergie (bei mechanischer Lüftung ca. 25 kWh/m<sup>2</sup>) abläuft. Bei normalen Windverhältnissen erzeugt der Venturi-Flügel im Abluftschacht einen Unterdruck, der die verbrauchte, mit CO<sub>2</sub> belastete Luft über den im oberen Bereich aufgeweiteten Teil (Deflektorhaube) des Abluftschachtes kontinuierlich abführt. Dadurch kann frische Außenluft über den vertikalen Zuluftschacht nachströmen. Die Fenster im Abluftschacht werden – automatisch gesteuert – geöffnet und nach dem Entlüftungsvorgang, der in definierten Zeitabständen den übereinander liegenden Geschossen zugeordnet ist, wieder geschlossen.

Schnittdetail Abluftschacht im Bereich der 2-geschossigen Südwestfassade des Klassenbaus über dem eingeschossigen naturwissenschaftlichen Gebäudeteil

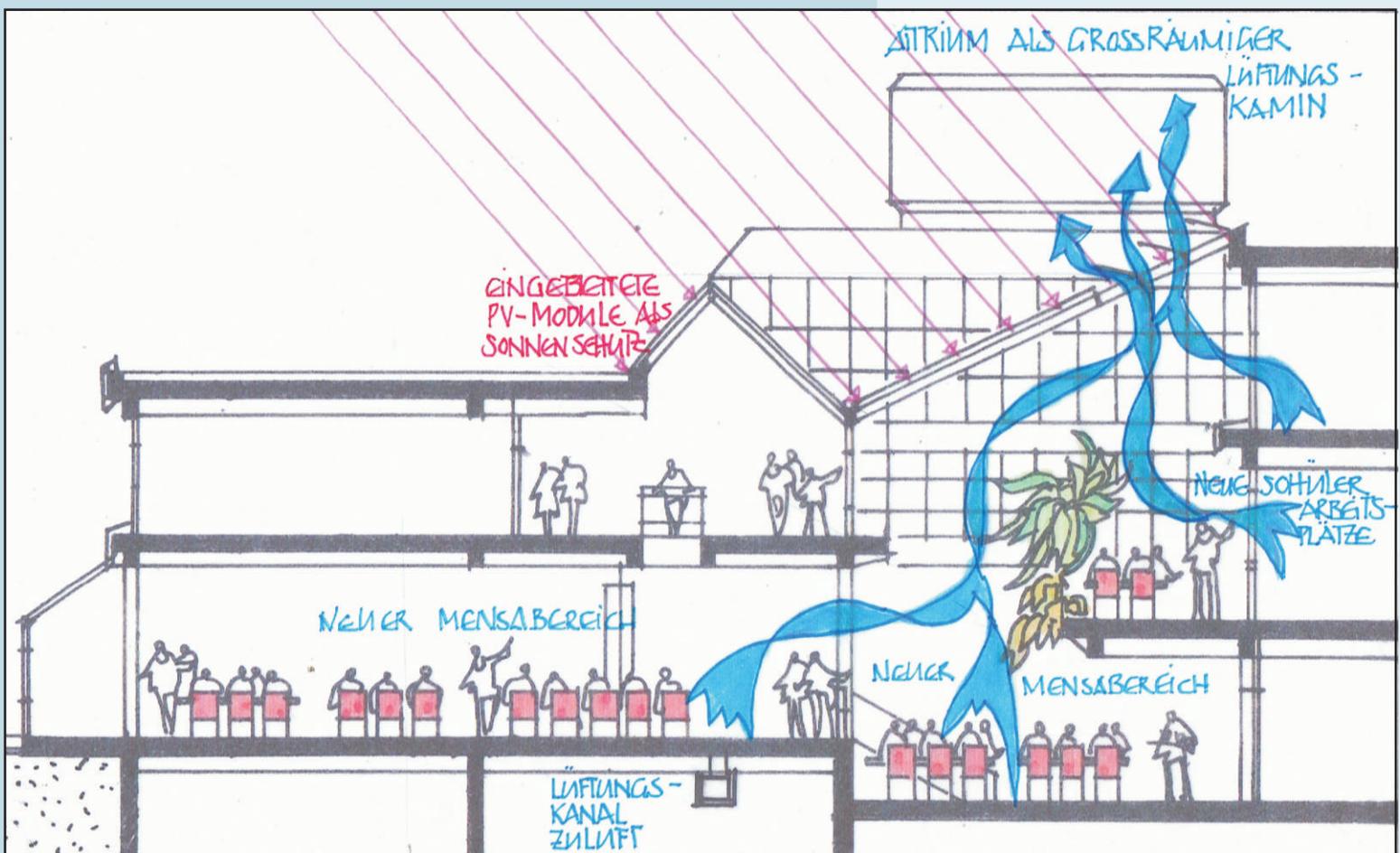


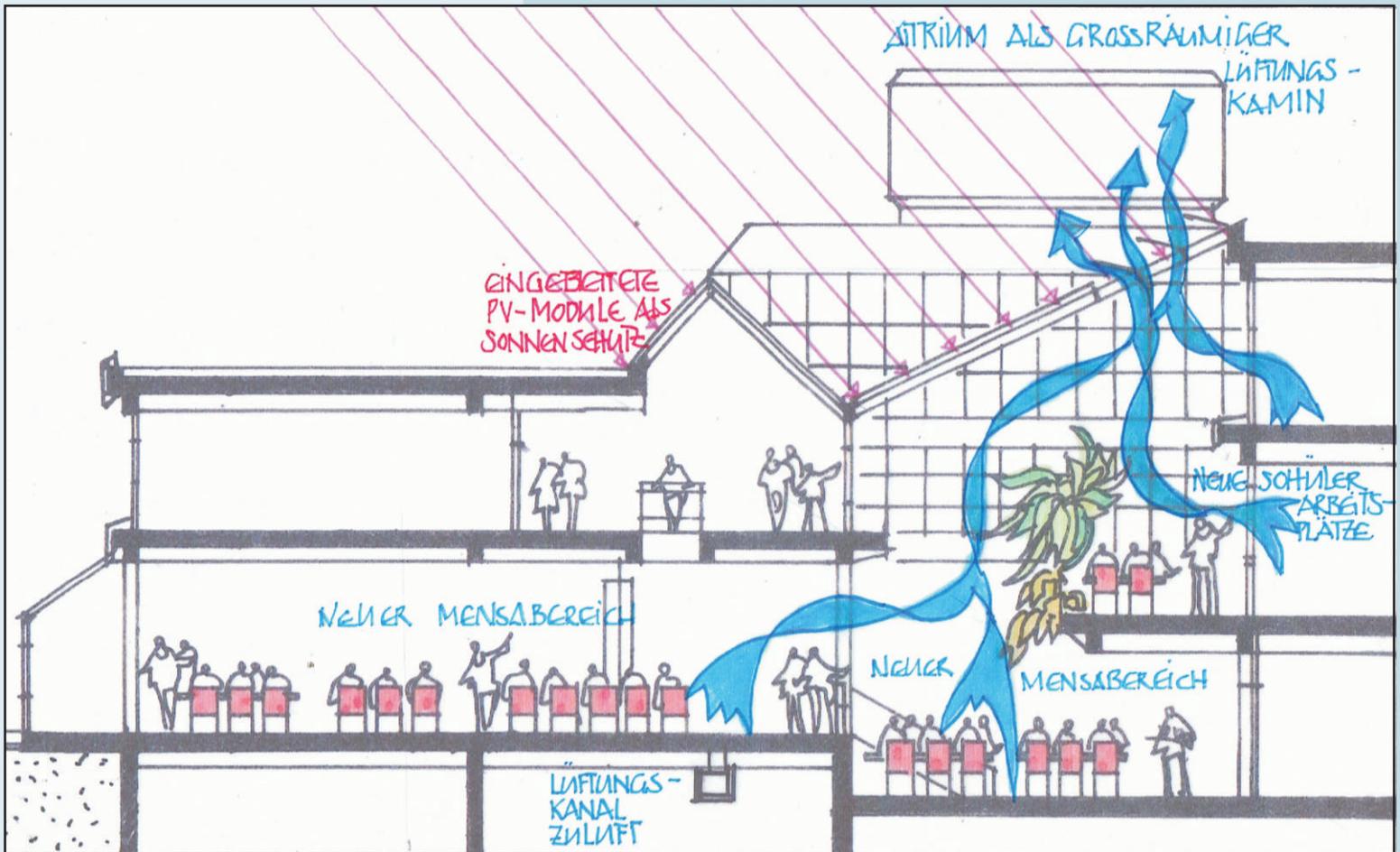




Für den Sommerfall wirkt der nach oben durch ein Glasdach geschlossene frühere Innenhof als großräumiger Lüftungskamin und als Luftwärmetauscher. Im Sommer erzeugt der so ausgebaute Innenhof einen Schornsteineffekt (thermischer Auftrieb), der einmal die zum Innenhof orientierten Klassenzimmer vollständig natürlich durchlüftet, zum andern den unteren, jetzt als Mensa zu nutzenden Hallenbereich. Der Schornsteineffekt entsteht dadurch, dass die Sonnenstrahlung die Luft im nach oben geschlossenen Innenhof erwärmt, wodurch diese aufsteigt und aus den im Sommer geöffneten Lüftungsklappen an der höchsten Stelle des Glasdaches entweicht. Dieser Luftstrom saugt verbrauchte, warme Luft aus den an den Innenhof angrenzenden Klassenzimmern, sowie aus dem im EG liegenden Hallenbereich. Frische Außenluft gelangt von unten aus dem Hallenbereich (Erdkanal) in den Innenhofbereich.

Der Winterfall ist für die energiereduzierende Wirkung des durch ein Glasdach geschlossenen Innenhofes (Atrium) von größerer Bedeutung. Als thermische Pufferzone reduziert das Atrium die im Winter schädlichen Transmissionswärmeverluste erheblich. An einem kalten (-5°C) aber sonnigen Wintertag, vorwiegend aufgeheizt durch Sonneneinstrahlung und durch die Wärme aus der Abluft der Klassenzimmer, hat das Atrium eine Temperatur von 17 – 20° C, wodurch der Wärmeverlust der angrenzenden Klassenzimmer und der unteren Halle z. T. auf ein Minimum reduziert wird (Atrium als Wärmepuffer). In einem solchen Fall kann das Atrium sogar als Wärmequelle für die Klassenräume sowie für die Mensanutzung in der Halle auftreten (Atrium als passiver solarer Wärmekollektor). Obwohl im Winter die Dachlüftungsanlagen zur Erzielung der Puffer- und passiven solaren Wärmekollektorenwirkung geschlossen sind, kann das Atrium aber trotzdem auch als Luftwärmetauscher wirken. Da das Luftvolumen des Atriums sehr groß ist, und normalerweise keine absolut dichte Dach- bzw. Seitenverglasung im oberen Teil des Atriums nötig ist, gelangt ein geringerer Anteil von Frischluft in das Atrium, so dass auch im Winter bei geschlossenen Lüftungsklappen ein Luftaustausch stattfinden kann.





- Das Atrium wirkt als Wärmepuffer.
- Das Atrium wirkt als Luftwärmetauscher.
- Das Atrium wirkt als passiver solarer Wärmekollektor.
- Das Atrium wirkt als Lüftungskamin.
- Das Atrium wirkt als 3-geschossige Halle.
- Das Atrium wirkt als PV-Kollektor mit Sonnenschutzfunktion.
- Das Atrium wirkt als Kompaktierungsmaßnahme.



Die von den Verfassern entwickelte thermoaktivierte Fassade ermöglicht auch die Verbesserung der natürlichen Belichtung der Normklassenräume. Durch in den Brüstungsfeldern angebrachten, polierten Edelstahlblechen, die als Lichtumlenksystem wirken, gelangt reflektiertes Sonnenlicht in den hinteren Bereich (Klassentiefe ca. 8 m) des jeweiligen Normklassenraumes. Dadurch wird eine wesentliche Reduzierung des Beleuchtungsstrombedarfs erreicht, da in den Herbst- und Winternachmittagen die elektrische Beleuchtung später eingeschaltet werden kann.

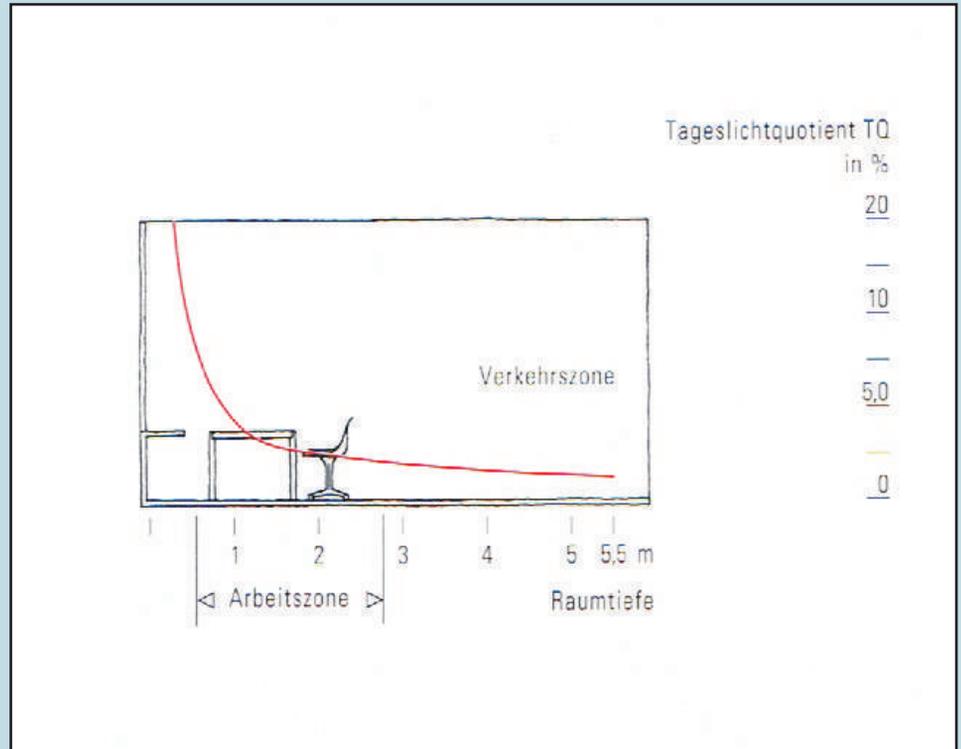


Ausgeführtes Detail in der Muster- bzw. Testfassade: Fensterbrüstung mit polierter Edelstahlplatte, die (nach dem Prinzip Einfallswinkel = Ausfallswinkel) als Lichtumlenksystem zur Tageslichtausleuchtung der Klassendecke im hinteren Bereich beiträgt.

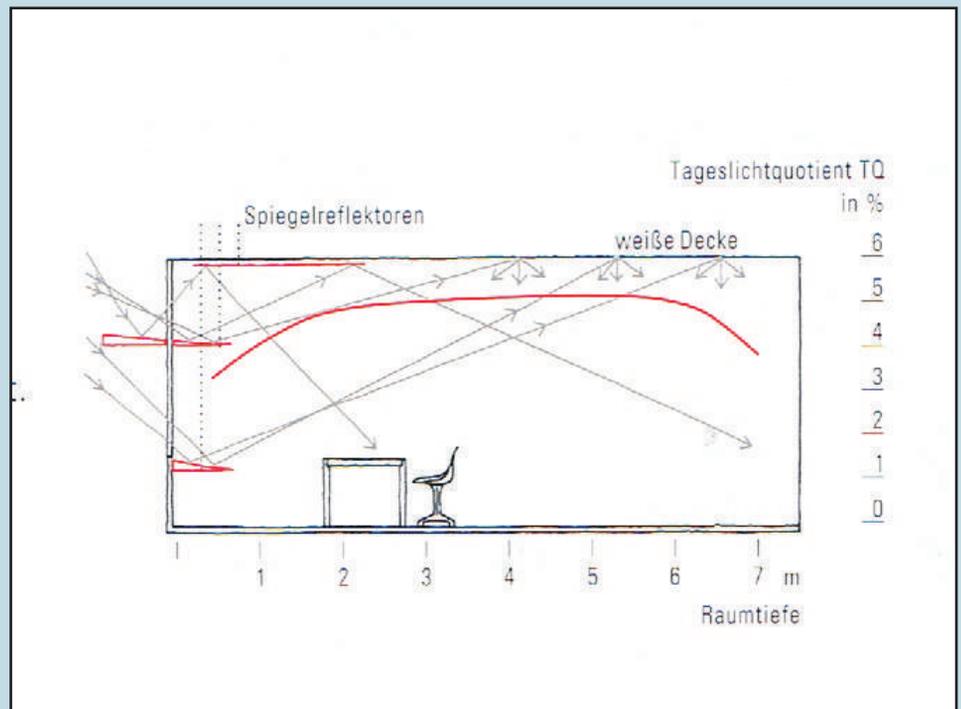
## Zu D1 VERBESSERUNG DER NATÜRLICHEN BELICHTUNG IM KLASSENBEREICH

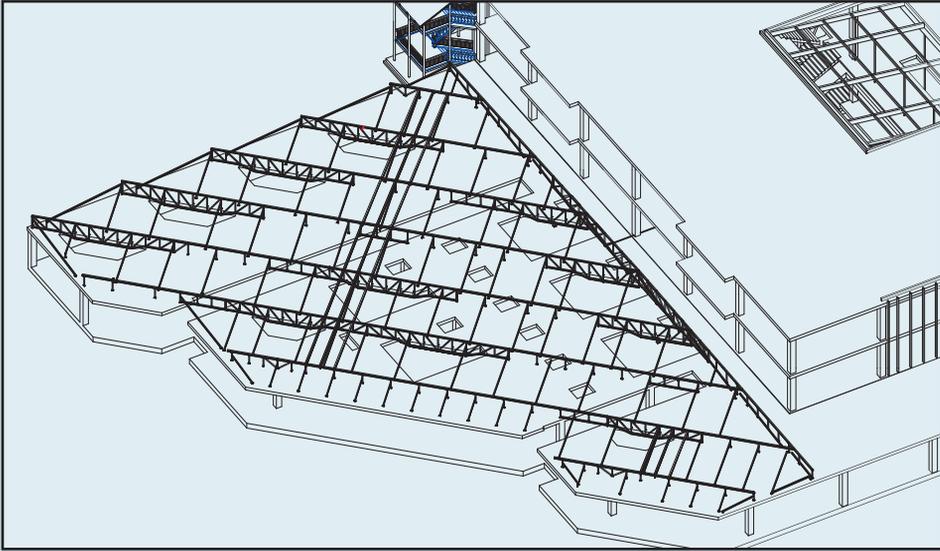
„Typischer Einzelraum ( $l = 5,5 \text{ m}$ ,  $b = 4 \text{ m}$ ,  $h = 3 \text{ m}$ ) ermittelter Bereich der Arbeitszone, in der ausreichend Tageslicht vorhanden ist. Tageslichtquotient von 10 entspricht einer Beleuchtungsstärke von  $10^3 \text{ Lux}$ .

Bei seitenbelichteten Räumen wird die Tageslichtmenge und deren Verlauf durch die Geometrie der Seitenlichtöffnung und die Art des Fensters mit seinen diversen Maßnahmen bestimmt. Das Bild zeigt den typischen Tageslichtverlauf eines seitenbelichteten Raumes. Durch die Veränderung des Raumwinkels (Verkleinerung des Raumwinkels in der Raumtiefe) entsteht ein progressiver Abfall der Helligkeitsverteilung“ (K. Daniels, Technologie des ökologischen Bauens)

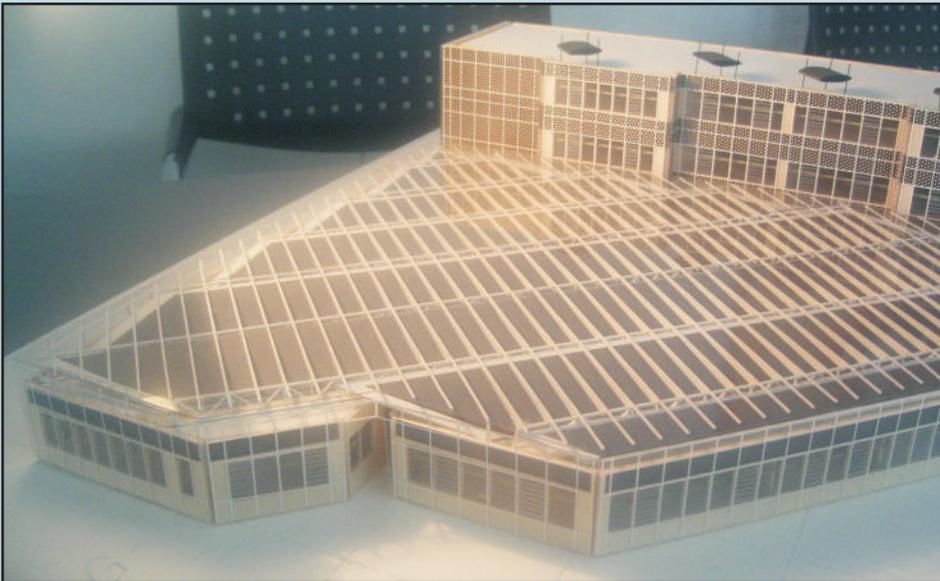


Die zusätzliche Nutzung der Brüstung durch Edelstahl- oder Aluminiumreflektorische Ausbildung lenkt mehr Licht in die Raumtiefe. „Die Lichtanteile werden durch solche Anordnungen erhöht und können auch besser in die Raumtiefe gelenkt werden“ (K. Daniels). Ein weißer Deckenstrich in diesem Bereich erhöht diesen Effekt. Durch die im Außenbereich situierten verspiegelten Umlenkelemente. Das Bild zeigt eine prinzipielle Darstellung der Tageslichtumlenkung durch reflektorisch wirkende Umlenkelemente im Außenbereich.

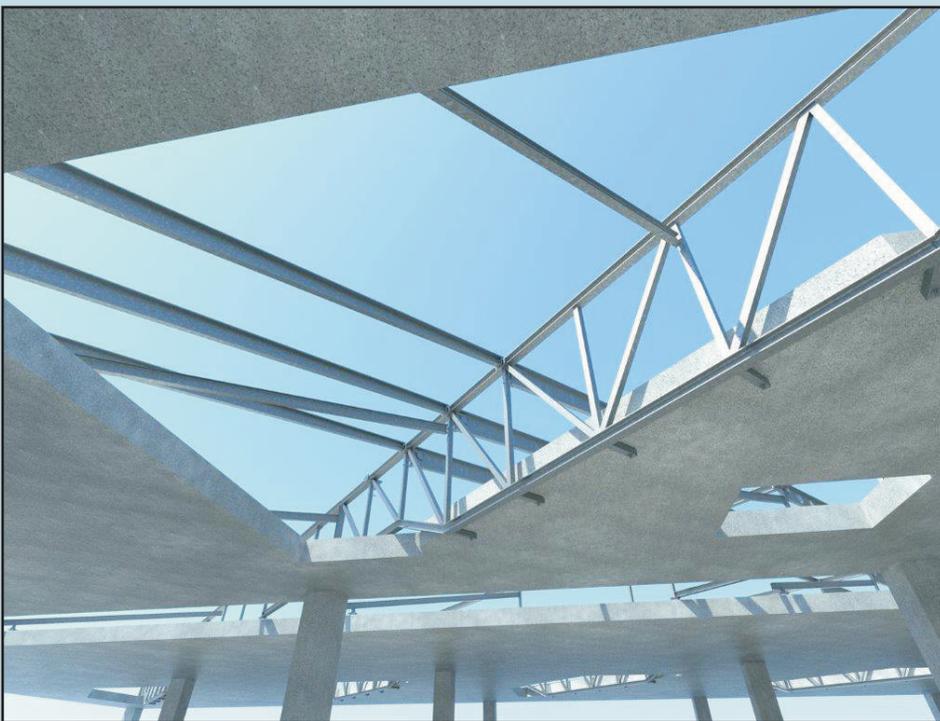




Ein wesentlicher Mangel der innen liegenden Räume im eingeschossigen naturwissenschaftlichen Bereich, die Abhängigkeit von künstlicher Beleuchtung, kann durch das auf dem Bestandsdach aufgeständerten Absorberkollektoren-Doppeldach behoben werden: Durch Vergrößerung der Lichtöffnungen im Bestandsdach wird eine wesentliche Erhöhung des natürlichen Belichtungsanteils für den innen liegenden Bereich erzielt.

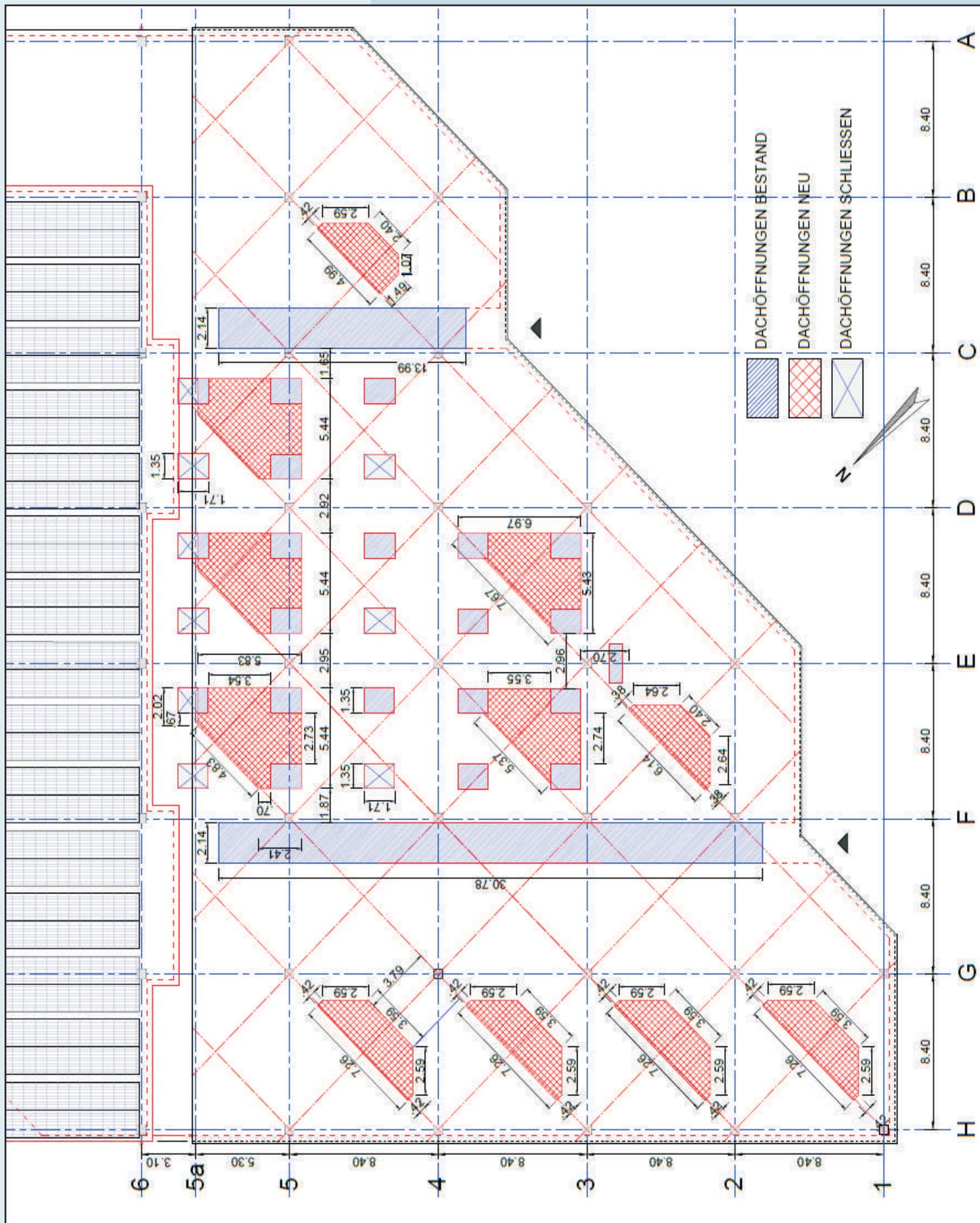


Eine weitere energieoptimierende Wirkung entfaltet das Absorberkollektoren-Doppeldach (AKD), indem es die natürliche Belichtung bisher künstlich beleuchteter Innenbereiche ermöglicht. Durch die nach Süden geneigten Kollektorenflächen entstehen nach Norden orientierte Shed-Belichtungsbänder, die in Verbindung mit den vergrößerten Lichtöffnungen in der Bestandsdachfläche die natürlichen Belichtungsverhältnisse erheblich verbessern. Dadurch wird der Stromverbrauch für die bisher künstliche Tageslichtergänzungs-Beleuchtung dieser Bereiche erheblich reduziert.



Die Vergrößerung der Lichtöffnungen im Bestandsdach über den innen liegenden Funktionsbereichen im naturwissenschaftlichen Bereich ist im Zusammenhang mit dem Wärmenergie eintragenden Absorberkollektoren-Doppeldach eine wesentliche Beleuchtungsenergie reduzierende Maßnahme.

## Zu D2 VERGRÖßERUNG DER LICHTÖFFNUNGEN IM FACHKLASSENBEREICH





Durch die nach Süden geneigten Kollektorenflächen entstehen nach Norden orientierte Shed-Belichtungsbänder. Das diffuse und damit blendfreie Nordlicht illuminiert die tiefen innen liegenden nat.-wiss.-Räume damit optimal auf natürliche Weise. Auf eine künstliche Tageslichtergänzungs-Beleuchtung kann verzichtet werden und auch für Veranstaltungen, die in einem späteren Tagesbereich (Ganztageschulen) stattfinden, können die Beleuchtungsmittel länger ausgeschaltet bleiben. Dadurch reduziert sich der Stromverbrauch für die künstliche Beleuchtung dieser Räume erheblich.

Entwicklung eines regenerativen Energie-eintragenden Dachsystems

## Absorber-Kollektoren-Doppeldach (AKD)

1. Wärmekollektorwirkung für Heizung und Brauchwarmwasser
2. Luftkollektorwirkung für Heizungsunterstützung
3. Wärmepufferwirkung zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste durch die Dachflächen
4. Einsparungswirkung aus Beleuchtungsenergie durch Verstärkung der natürlichen Belichtung
5. Wirkungsvoller Witterungsschutz

Pilotprojekt Mensa Attendorn



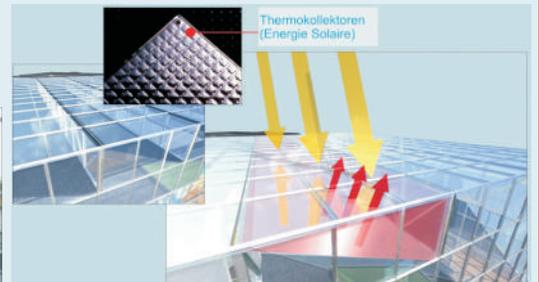
Außenansicht von Westen



Außenansicht von Süden



Luftraum mit Absorberkollektoren, Deckenglaschicht und vertikaler Tügelkonstruktion



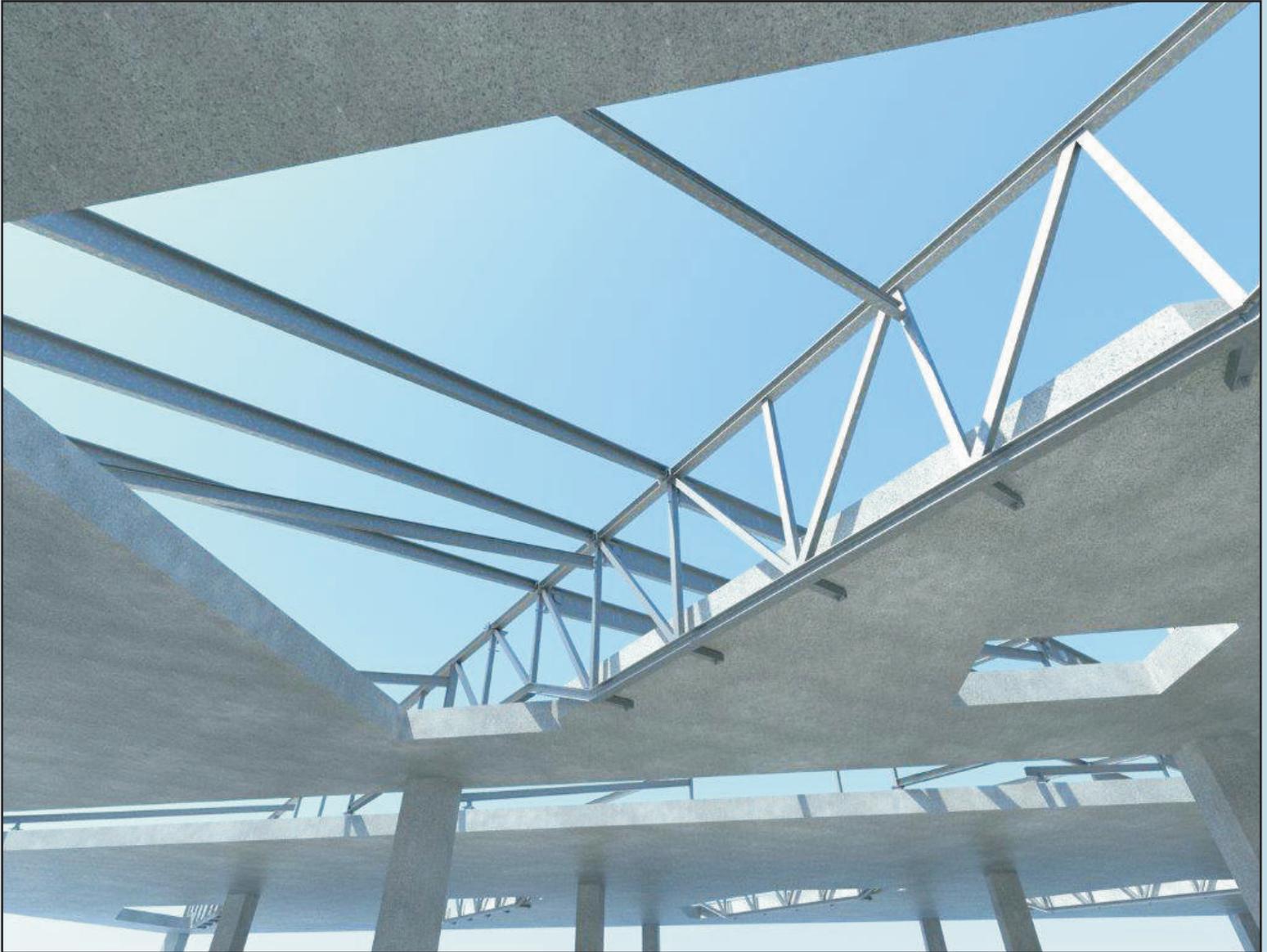
Aufbau und Wirkungsweise des Absorber-Kollektoren-Doppeldaches



Luftraum mit Absorberkollektoren und Deckenglaschicht



Innenansicht nach Nord-Osten



Durch die nach Süden geneigten Wärmekollektorflächen (Produkt Energie Solaire) entstehen nach Norden orientierte Shed-Belichtungsbänder. Das diffuse und damit blendfreie Nordlicht illuminiert die tiefen innen liegenden Räume im naturwissenschaftlichen Bereich, damit optimal auf natürliche Weise. Dadurch reduziert sich der Stromverbrauch für die künstliche Beleuchtung dieser Räume erheblich.

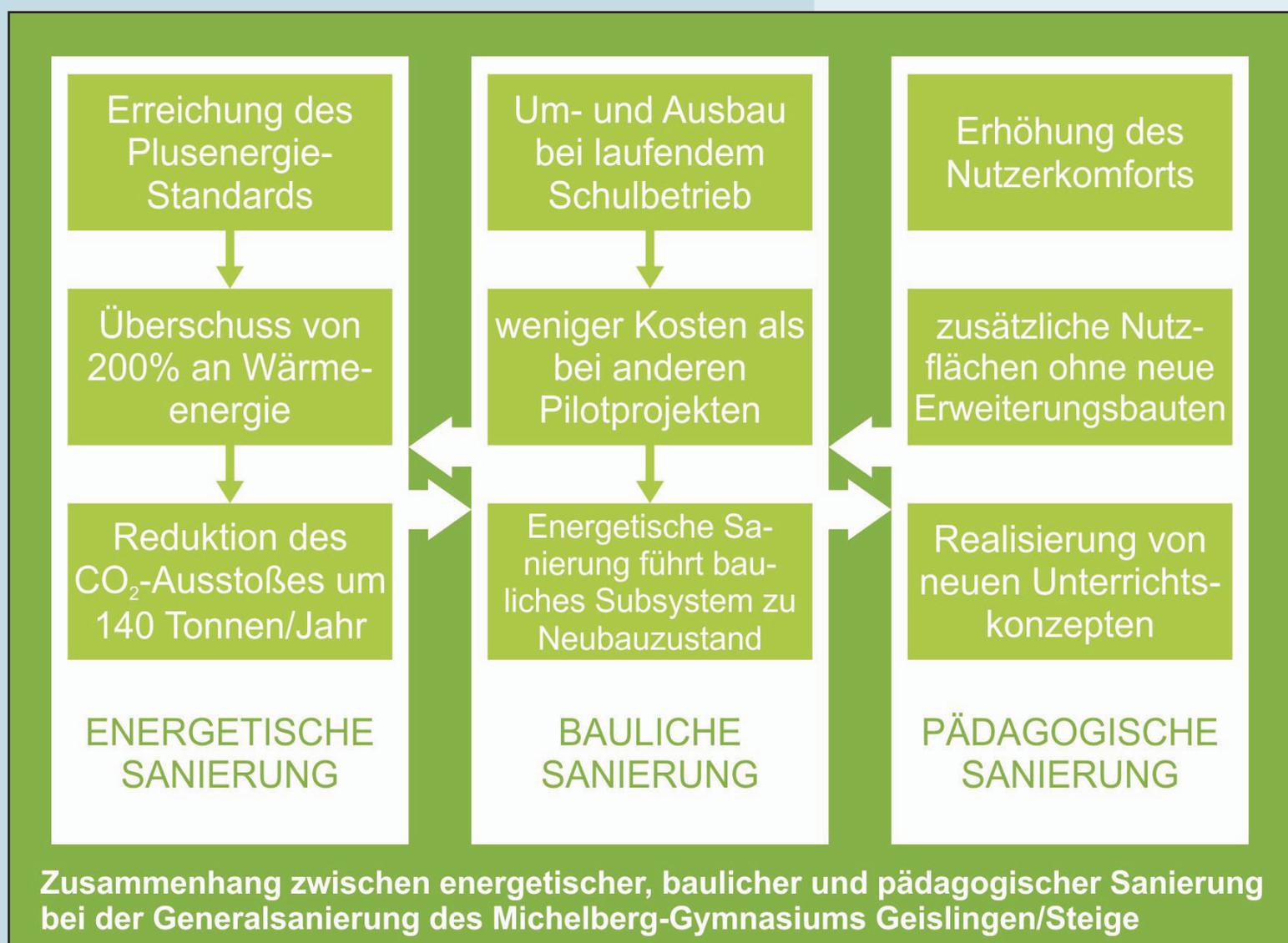
Die Generalsanierung der Schulanlage Michelberg-Gymnasium ist sinnvoll aufzugliedern (siehe Schema) in eine energetische Sanierung, eine bauliche Sanierung und eine pädagogische Sanierung. Für diese drei Sanierungsphasen sollen unterschiedlich aufwändige Partizipationsmodelle praktiziert werden:

### 1. Nutzerpartizipation für die bauliche und energetische Sanierung

Um das innovative Ziel des Um- und Ausbaues der baulichen und energetischen Sanierung während des laufenden Schulbetriebes durchführen zu können, wurden mit Lehrerkollegium, der Schulleitung und Schülersprechern zeitliche und räumliche gestaffelte Stundenpläne entwickelt. Diese gewährleisteten die zeitliche und räumliche Nutzung der vom Umbau betroffenen Klassenbereiche über einen Zeitraum von einem Jahr baustellenorientiert zu regeln.

### 2. Nutzerpartizipation für die pädagogische Sanierung

Durch die Erhöhung des Nutzerkomforts (Verbesserung der natürlichen Belichtung, der weitgehend natürlichen Be- und Entlüftung aller Bereiche, des sommerlichen und winterlichen Wärmeschutzes, der thermischen Behaglichkeit in sämtlichen Bereichen, etc). resultierend aus der energetischen Sanierung, entwickelte das gesamte Lehrerkollegium im Jahr 2013 Strategien, wie diese räumlich-technischen Veränderungen in neue Lehr- und Unterrichtskonzepte transformiert werden können, z.B. im Hinblick auf die Aspekte Umnutzung vorhandener monofunktionaler Verkehrsflächen, Einrichtung einer Mensa und deren Integration in das Schulgebäude, Mitwirkung bei der Realisierung neuester Brandschutzüberlegungen, Einbeziehung eines präventiven Amokläuferschutzes, kostengünstige Realisierung des Gesamtschulen-Konzeptes, etc. .



Erste Reaktionen auf das Monitoring der Musterfassade

### 1. Bericht des Schulleiters OStD Heiner Sämamann :

Die Schulleitung hat, um von Seiten der Nutzer Rückmeldungen über das Funktionieren der Musterfassade zu erhalten, verschiedene Erfahrungsberichte eingeholt.

Zum einen wurde die Klasse 7b, die ihr Klassenzimmer im oberen Raum im Bereich der Musterfassade hat, gebeten, mir von Anfang Rückmeldung über ihre Erfahrungen zu geben. So kamen auch schon einen Tag nach Wiederaufnahme des Unterrichts im Klassenzimmer Schüler zu mir und meldeten, dass es störend sei, wenn man die Schüler und Lehrer aus dem darunter liegenden Klassenzimmer so laut höre.

Zum andern wurden die Lehrkräfte, die in den beiden „Versuchsräumen“ unterrichten, von mir über die Handhabung der Techniken unterrichtet und gebeten, mir über ihre Erfahrungen Rückmeldung zu geben. Auf diese Weise habe ich auch Erfahrungsberichte von betroffenen Lehrkräften erhalten.

Auch während eines Unterrichtsbesuchs in Raum 213 konnte ich mich von der Funktionalität der Musterfassade überzeugen und beobachten, wie die Belüftungssysteme bedient und genutzt werden.

Ich selbst habe einige Deutsch-Unterrichtsstunden in Klasse 10 in den Raum 312 verlegen lassen, um selbst als Lehrkraft direkte Eindrücke sammeln zu können. Zunächst habe ich die Schüler über die Lüftungstechniken informiert und darauf geachtet, dass die Lüftungsfenster richtig bedient wurden. In einer abschließenden Befragungsrunde bestätigten mir die Schüler die gute Raumdurchlüftung und meinten, die Raumluft sei besser als in den anderen Räumen. Dies deckte sich auch mit meinen Beobachtungen.

Um nun zu einem repräsentativeren Ergebnis zu gelangen, habe ich am Donnerstag, den 27.03.2014 in der Klasse 7b, die in ihrem Klassenzimmer die meiste Erfahrung mit der Musterfassade gemacht hat, eine Umfrage mittels eines Fragebogens durchgeführt. Der Fragebogen umfasst 5 Fragen. Gefragt wird nach der persönlichen Einschätzung bzgl. der Luftverhältnisse, der Temperaturverhältnisse, der Lichtverhältnisse, der Bedienerfreundlichkeit und in einer offenen Frage nach weiteren Vor- bzw. Nachteilen. An der Befragung nahmen 26 Schüler teil. Der Fragebogen und die Auswertung sind in der Anlage beigefügt. Der Auswertung habe ich ein Fazit mit den Schlussfolgerungen aus den von den Schülern genannten Aussagen beigefügt.

### 2. Fragebogenaktion, Aussagen von OStD Heiner Sämamann

„Die Ergebnisse sind interessant und werden sicher auch für Sie von Interesse sein. Sie zeigen, dass wir auf dem richtigen Weg sind, aber auch noch Nachbesserungen notwendig sind. Welche Schlussfolgerungen aus den Aussagen der Schüler gezogen werden sollten, habe ich in einem Fazit beigefügt.“ (siehe Umfrage im Anhang)



Im Rahmen der energetischen Sanierung wurde mit den Nutzern (Schüler + Lehrer) ein besonders innovatives Partizipationsmodell an der Planung konzipiert: Wie bei B, C und D bereits ausgeführt, haben die Planer eine Muster- bzw. Testfassade für das Funktionieren der innovativen thermoaktivierten Fassade realisiert, anstatt lediglich Simulationen und Berechnungen durchzuführen.

Für dieses quasi vorgezogene Monitoring der Funktionsweise dieser Fassade hat sich unter Leitung des Fachlehrers Naturwissenschaft und Technik (NWT) eine Gruppe von 15 Schülern der 10. Klasse konstituiert, die über einen Zeitraum von 12 Monaten das umfangreiche, an der Musterfassade durchzuführende Messprogramm im Rahmen ihres NWT-Unterrichtes übernehmen. Anhand der in der Testfassade eingebauten Sensoren werden stündlich bzw. täglich Messungen und deren Auswertungen durchgeführt:

1. Messung Temperatur Zuluftfeld 1.OG
2. Messung Temperatur Abluftfeld 1.OG
3. Messung Temperatur Stagnationsfeld (3 Felder Mittelbereich) 1.OG
4. Messung Raumtemperatur 1.OG
5. Messung Heizkörpertemperatur 1. OG
6. Messung Heizkörpertemperatur angrenzender Klassenraum (ohne Musterfassade)
7. Messung Temperatur in Abluft-Lüftungsrohr aus Fassade 1.OG
8. CO<sub>2</sub> –Messung 1.OG
9. Messung Luftgeschwindigkeiten im Klassenraum 1.OG
10. Messung Luftgeschwindigkeiten Zuluftfeld
11. Messung Luftgeschwindigkeiten Abluftfeld

Die Messungen 1-7 werden automatisch über fest montierte Fühler durchgeführt, die Messung 8 wird automatisch durchgeführt und dem Lehrer dokumentiert. Die Messungen 9-11 werden in Zusammenarbeit mit der Bauleitung durchgeführt und mit den Werten der Außenluftgeschwindigkeiten und den Venturi-Werten abgeglichen.

Ergebnisse der von Januar – März durchgeführten Messungen

Monitoring zur Überprüfung der Belüftung durch die Musterfassade

1. Überprüfung der Klassenraumlüftung über die Fassade
2. Luftgeschwindigkeiten
3. CO<sub>2</sub> Messung im Klassenraum
4. Raumtemperaturmessung
5. Schallmessung

Zu 1 + 2

Die Einströmung in die untere Klasse ist gemessen mit 0,4 – 0,9 m/s

Die Einströmung in die obere Klasse ist gemessen mit 0,3 – 0,7 m/s

Die Fenster haben einen freien Querschnitt von  $1,0 \times 1,1 \text{ m} = 1,1 \text{ m}^2$

Bei 0,3 m/s Luftgeschwindigkeit und  $1,1 \text{ m}^2$  freier Querschnitt werden die erforderlichen  $700 \text{ m}^3/\text{h}$  problemlos überschritten.

Zu 2

Die gemessenen Luftgeschwindigkeiten betragen im einzelnen:

Zuluftfeld im unteren Geschoss = 0,7 – 2,1 m/s

Zuluftfeld im oberen Geschoss = 0,7 – 1,5 m/s

Einströmungs-Geschwindigkeit in die untere Klasse 0,4 – 0,9 m/s

Einströmungs-Geschwindigkeit in die obere Klasse 0,3 – 0,7 m/s

Daraus ist abzuleiten, dass bei einer dreigeschossigen Anordnung Einströmungs-Geschwindigkeiten in die Klasse im 3. Geschoss von 0,2 – 0,5 m/s auftreten.

Diese Geschwindigkeiten ergeben  $790 \text{ m}^3/\text{h}$  und bestätigen damit die Berechnungen.

Alle Werte wurden bei Wetterverhältnissen von fast Windstille gemessen.

Zu 3

Der CO<sub>2</sub> Werte in den Klassen betrug beim Eintritt in die Klassen 760 ppm bei 22°C.

(ppm = Part Per Million = Teilchen per Million). Die Glasklappen waren im Versuch geschlossen. Der Versuch fand im März bei Außentemperaturen von ca. 8°C statt.

Nachdem die Fenster im Zuluft- und Abluftfeld für die Dauer von 10 Minuten geöffnet wurden, betrug der CO<sub>2</sub> Wert nur noch 490 ppm.

Zum Vergleich: Saubere Luft weist in Europa im Freien normalerweise einen CO<sub>2</sub> Wert von 430 – 470 ppm auf. Zusätzlich ist die Jahreszeit von Bedeutung. Der Dezember, Januar, Februar weist erhebliche höhere CO<sub>2</sub> Werte auf als der Mai, Juni, Juli. Es besteht ein hoher Zusammenhang zwischen der CO<sub>2</sub> Konzentration und der Außentemperatur. Die lange Zeit gültige Pettenkoferzahl sah einen CO<sub>2</sub> Gehalt von höchstens 1000 ppm vor. Heute gilt als Richtwert die Hygienegrenze von 1500 ppm.

Zu 4

Bei der Messung der Raumtemperatur betrug die Außentemperatur 8°C. Die gemessene Raumtemperatur betrug 22°C. Die Temperatur im Zu- und Abluftfeld betrug 24 – 26°C.

Die Zulufttemperatur betrug somit 2 – 4°C über der Raumtemperatur und liegt damit innerhalb der berechneten Temperatur zur Vermeidung von Zugerscheinungen (+ 2°C).

Zu 5

Schallmessungen: Bei geöffnetem Fenster im unteren und oberen Geschoss sind Geräusche von der einen in die andere Klasse zu hören.

In den vorgenommenen ersten Schallmessungen wurde die Versuchsanordnung

0,8 m zum Abluffeld mit der Sprachrichtung zum Fenster angeordnet. Der Schallüberschlag wurde über ein Geschoss bei normaler Sprechlautstärke mit einem Störschall von 56 dB (A) gemessen. Bei zweiten Messungen wurde der Standort Lehrerpult mit Sprachrichtung Klasse simuliert. Der Schallübertrag wurde mit einem Störschall von 48 dB (A) gemessen. Klassengeräusche wurden nicht unterlegt.

**Es ist aber davon auszugehen, dass der Wert für konzentriertes Arbeiten von 55 dB (A) überschritten wird.**

Da es sich hier um Luftkanäle handelt, werden zur Behebung dieser Störung Geschoss-Schalldämpfer eingeplant. Entsprechende Überlegungen zur Dimensionierung dieser Geschoss-Schalldämpfer werden durch Herrn Kammerer in den nächsten Wochen ausgeführt mit den Abmessungen der Fassade abgestimmt und auf die Berechnungen der Venturi-Flügel übertragen.

# ANHANG 1

- Beschreibung der Ausgangssituation  
Bestandsgebäude



Abb. 1: Luftbild Anlage Michelberg-Gymnasium (Foto google earth)



Abb. 2: Foto Südwest-/Nordwestansicht Michelberg-Gymnasium

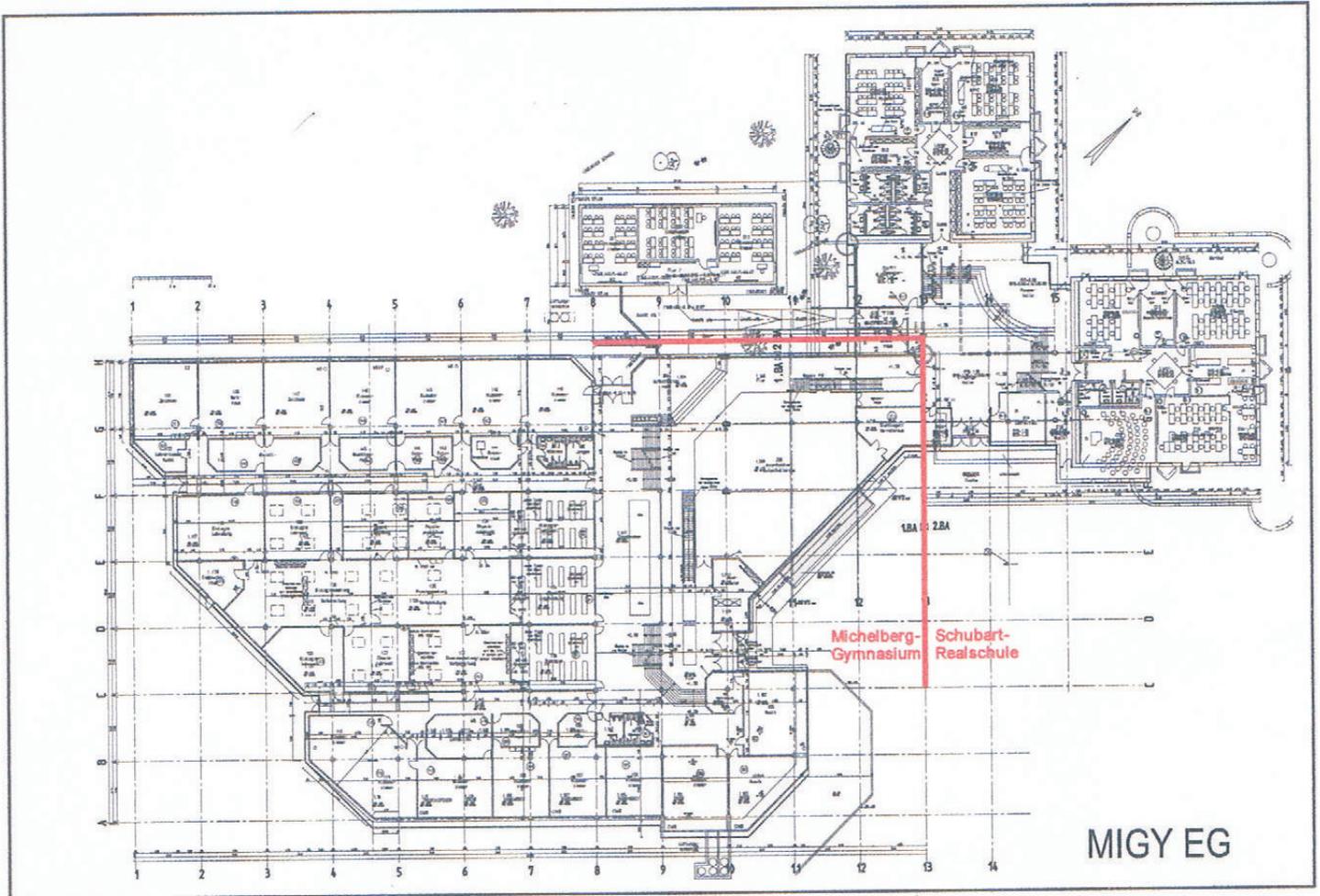


Abb. 3: Grundriss EG Michelberg-Gymnasium

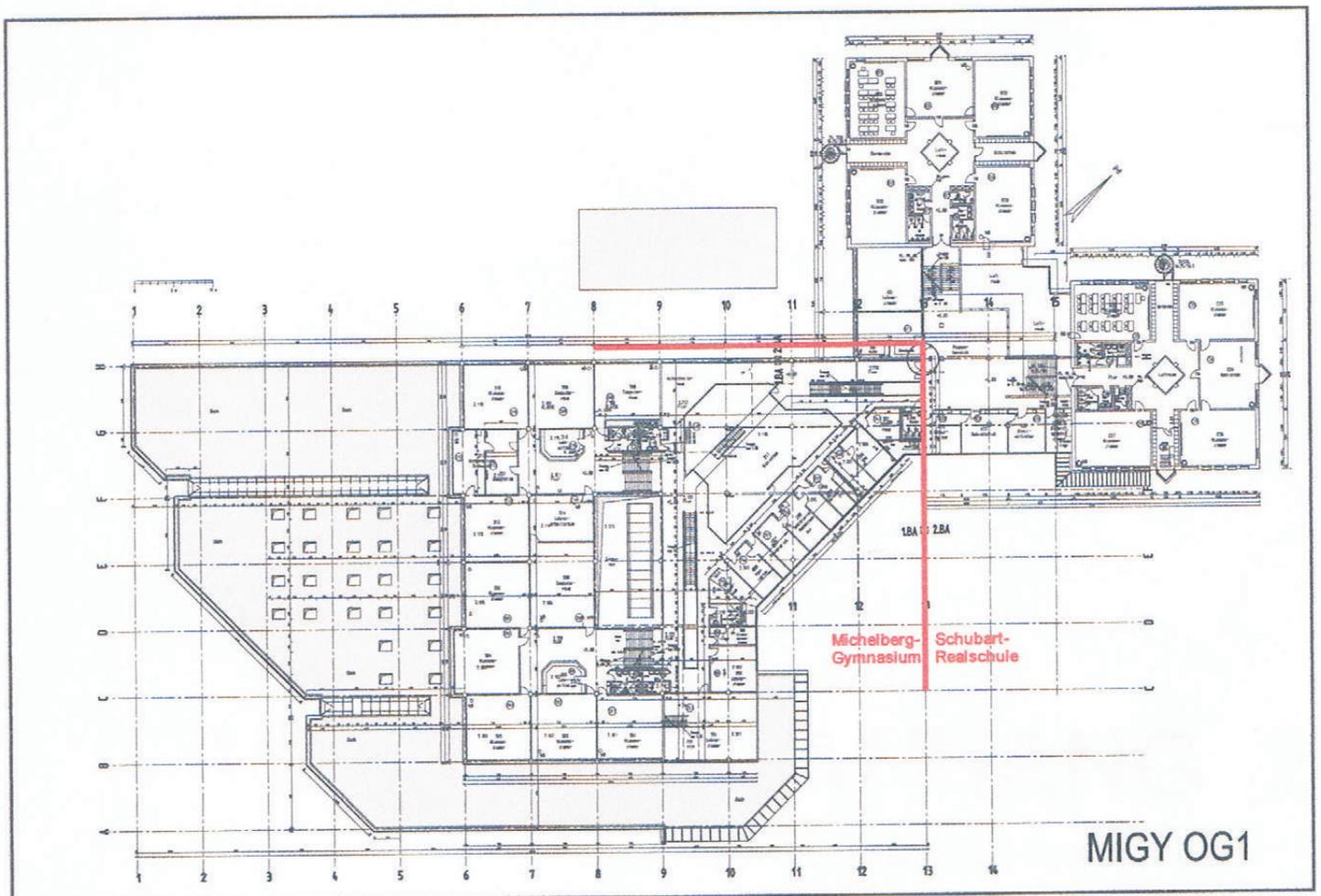


Abb. 4: 1.OG Michelberg-Gymnasium

# ANHANG 2

**Bauphysikalische Analysen  
Raumsimulation  
Sommerlicher Wärmeschutz**

# Michelberg Gymnasium Geislingen

## Bauphysikalische Analysen

### Teil 2 Raumsimulation

#### Teil 2.1 Sommerlicher Wärmeschutz

## Angaben zum Bauvorhaben

Objekt : Michelberg Gymnasium Geislingen (MiGy)  
Energetische Sanierung

Auftraggeber : Stadt Geislingen  
Schlossgasse 7  
73312 Geislingen

Stand : 22.08.13

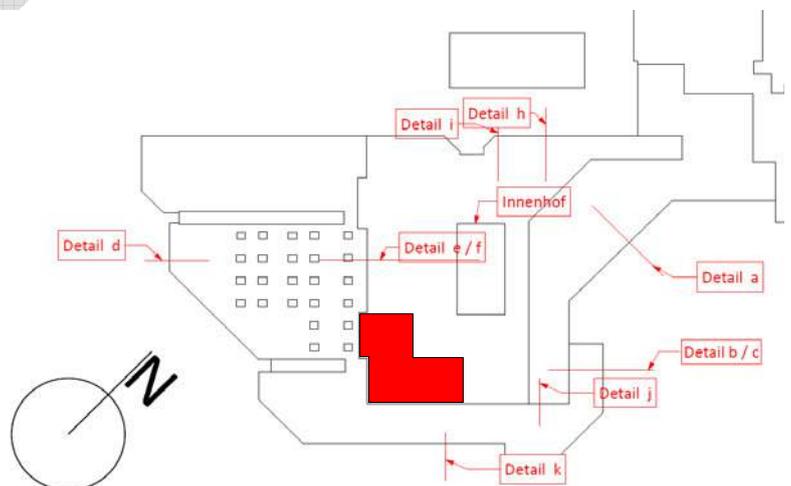
## Aufsteller

**dyAna<sup>®</sup> GmbH** 

Sümburgstr. 22  
58730 Fröndenberg  
Germany

tel. : +49 (0)2373 / 39641 - 0  
fax : +49 (0)2373 / 39641 - 79  
http : [www.dyana.de](http://www.dyana.de)

Projekt-Nr. D-130326



Seitenanzahl : 15

# Inhalt

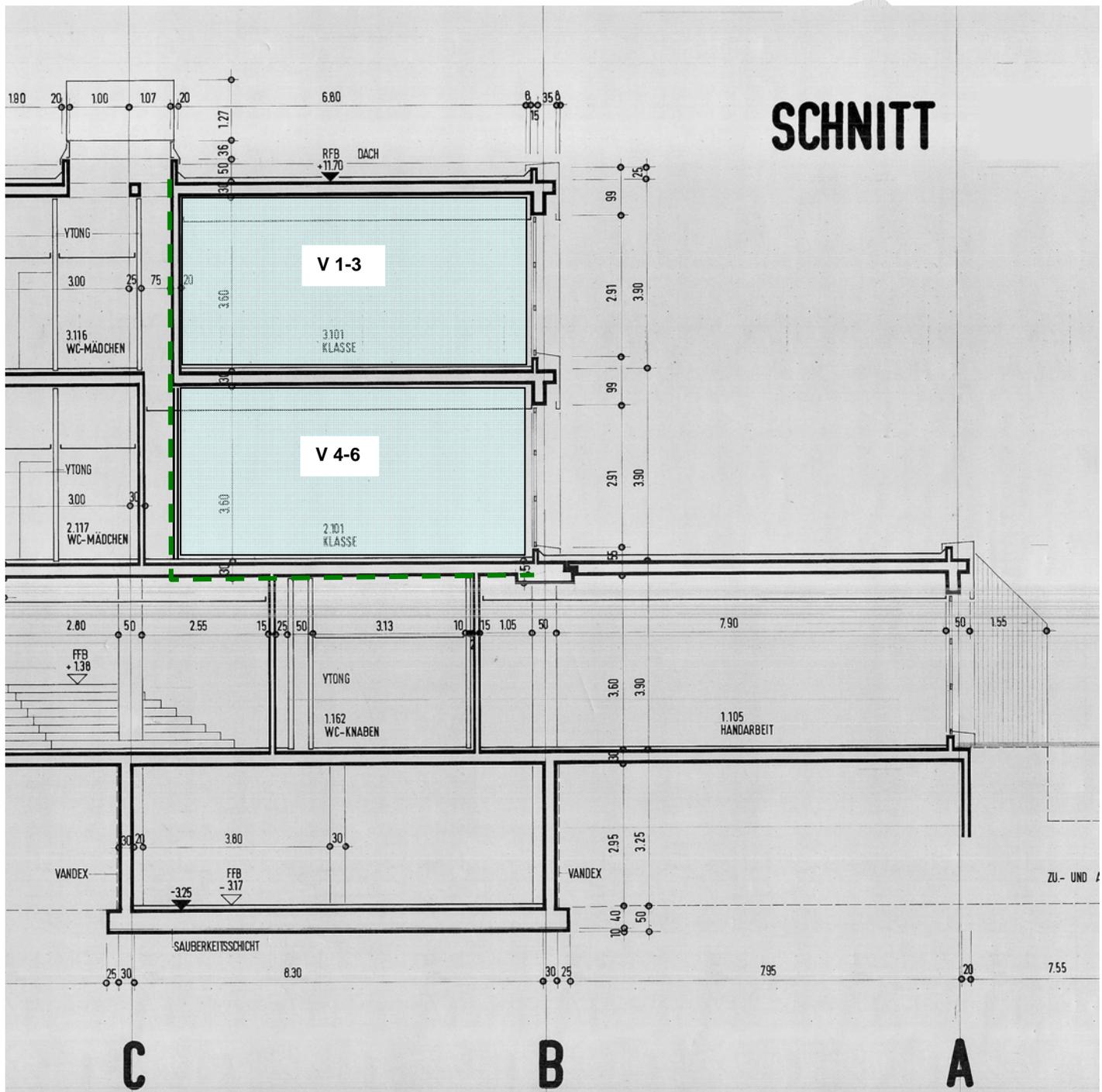
	Seite
ANALYSE	
0. Einführung .....	3
1. Gebäudedaten .....	3
2. Randbedingungen .....	6
3. Personendaten .....	6
4. Bauteile / Materialien .....	7
5. Nutzungstauglichkeit .....	8
6. Auswertung .....	15

## 0. Einführung

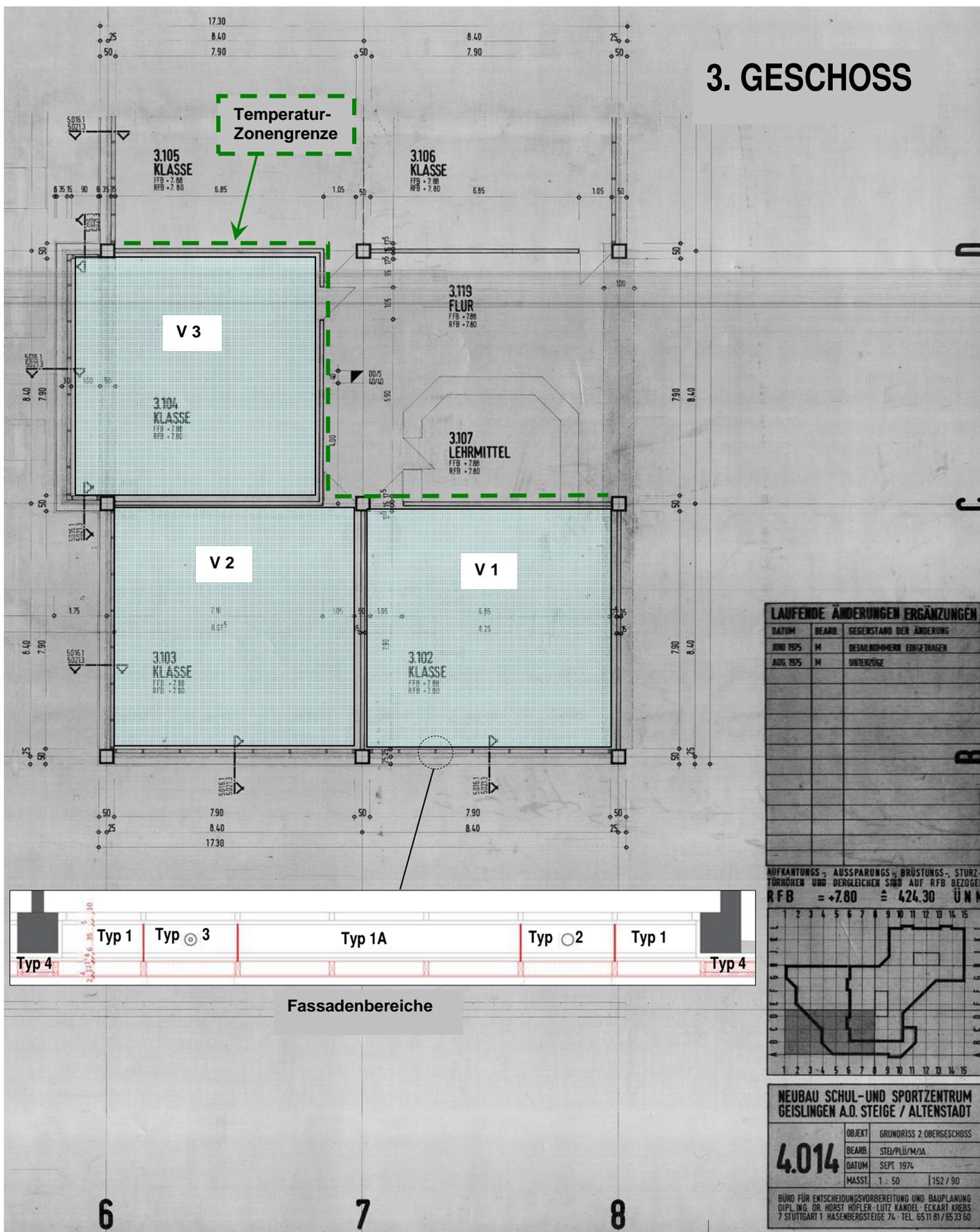
Zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes in den Klassenräumen und zur Auslegung der Sonnenschutzrollos während der Nutzungszeiten, werden in einem ausgewählten Zonenbereich die Klassenräume thermisch simuliert und die sich einstellenden Innenraumtemperaturen bestimmt. Damit kann das thermische Behaglichkeitsempfinden der Nutzer abgeschätzt und bewertet werden.

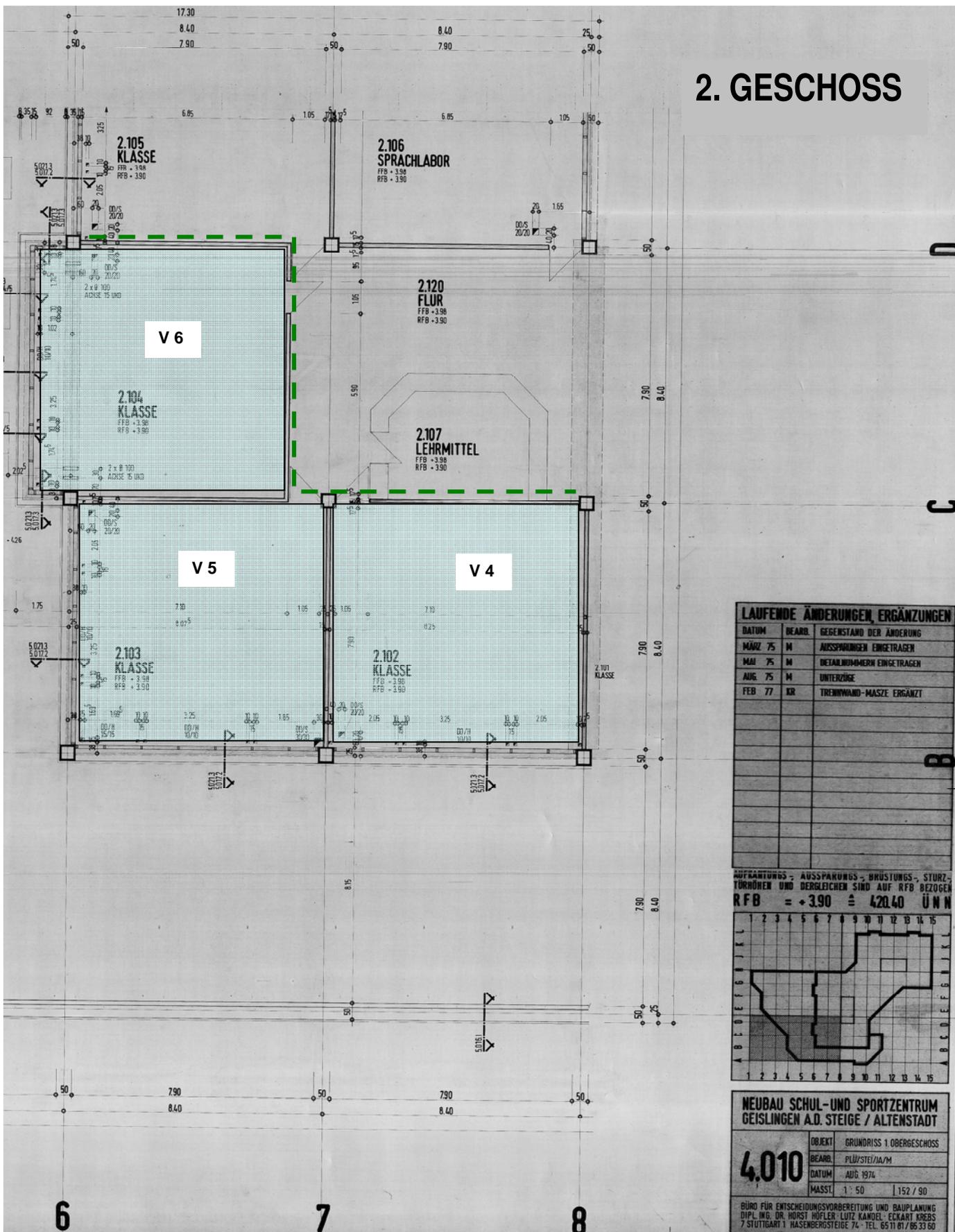
## 1. Gebäudedaten

### 1.1. Raumgeometrie / Temperaturzonen



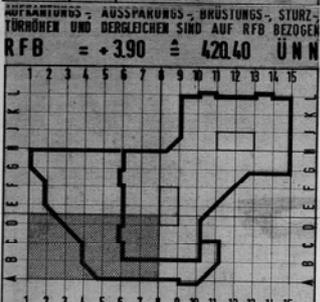
## 3. GESCHOSS





2. GESCHOSS

LAUFENDE ÄNDERUNGEN, ERGÄNZUNGEN		
DATUM	BEAR.	GEGENSTAND DER ÄNDERUNG
MÄRZ 75	M	AUSSPARUNGEN EINGETRAGEN
MAI 75	M	DETAILNUMMERN EINGETRAGEN
AUG. 75	M	UNTERZÜGE
FEB 77	KR	TRENNWAIRD-MASSE ERGÄNZT



NEUBAU SCHUL- UND SPORTZENTRUM GEISLINGEN A.D. STEIGE / ALTENSTADT		
<b>4.010</b>	OBJEKT	GRUNDRISS 1 OBERGESCHOSS
	BEARL.	PLW/STL/A/M
	DATUM	Aug 1974
	MASSL.	1 : 50   152 / 90

BÜRO FÜR ENTSCHEIDUNGSVORBEREITUNG UND BAUPLANUNG  
DIPL. ING. DR. HORST HÖFLER-LUTZ KANDEL ECKART KREBS  
7 STUTTGART 1 HASENBERGSTEIGE 74 - TEL. 6511 81/85 33 60

## 2.0. Randbedingungen

### 2.1. Klimatische Randbedingungen

Zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes werden die "maximalen" Klimadaten nach "Teil 0" der bauphysikalischen Analyse verwendet.

### 2.2. Externe Belüftung

Die Belüftung der Klassenräume erfolgt über die natürliche Belüftung durch die Fassade, ggf. unterstützt von einer internen Lüftungsanlage. Der planmäßige Luftwechsel beträgt nach Angaben des Planungsbüros "G-B-D" :

Luftwechsel = **540m<sup>3</sup>/h** während der Nutzungszeit (n = 2,3 /h) , sonst gem. DIN EN 13779 24 m<sup>3</sup>/h (n = 0,1/h).

(Der Luftwechsel entspricht einem Frischluftbedarf von ca. 21 m<sup>3</sup>/(h·Pers) bei einer angenommenen hohen Belegungsdichte der Klassenräume von 2,5m<sup>2</sup> je Person in Anlehnung an DIN V 18599. Dies entspricht 26 Personen pro Klassenraum).

## 3.0. Personendaten

Für die Untersuchung der thermischen Behaglichkeit in den Klassenräumen werden die folgenden Personendaten als Durchschnitt angenommen :

Geschlecht : m / w (je 50%)

Alter : 14 J

Größe : 1,60 m

Gewicht : 60 kg

Kleidung : Sommer : leichte Sommerkleidung  
: Wärmedämmwert Bekleidung 1/U<sub>cl</sub> ≈ 0,08 [m<sup>2</sup>K/W]

Tätigkeit : sitzend, lesen : Gesamtleistung 114 W



**Nutzungszeit** : Annahme : 08:00 Uhr bis 16:00 Uhr

### 3.1. Wärmeabgabe von Personen und technischen Geräten / Arbeitsmitteln

Die internen Wärmequellen betragen nach DIN V 18599 für Personen und Arbeitsmittel 26\* (70+12) = **2132 W** während der Nutzungszeit.

#### 4.0. Bauteile / Materialdaten

##### Innenwände

Schicht Nr.	Material	$\lambda$ [W/(mK)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [Wh/(kgK)]	$\mu$ [']	$\alpha_e$ <sup>1)</sup> [']	$\tau_e$ <sup>1)</sup> [']	$\varepsilon$ <sup>1)</sup> [']	<b>S</b> [m]
1	Innenputz <sup>3)</sup>	0,57	1300	0,28	10 - 6	-	-	-	0,015
2	Mauerwerk <sup>1)</sup>	0,50	1200	0,26	5 - 7	-	-	-	0,115
3	Innenputz <sup>3)</sup>	0,57	1300	0,28	10 - 6	-	-	-	0,015

##### Decke / Boden

Schicht Nr.	Material	$\lambda$ [W/(mK)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [Wh/(kgK)]	$\mu$ [']	$\alpha_e$ <sup>1)</sup> [']	$\tau_e$ <sup>1)</sup> [']	$\varepsilon$ <sup>1)</sup> [']	<b>S</b> [m]
1	Linoleum <sup>4)</sup>	0,17	1000	0,53	500	-	-	-	0,003
2	Estrich <sup>3)</sup>	1,40	2000	0,28	15 - 35	-	-	-	0,040
3	Beton <sup>3)</sup>	2,50	2400	0,28	80 - 130	-	-	-	0,300

##### Dach

Schicht Nr.	Material	$\lambda$ [W/(mK)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [Wh/(kgK)]	$\mu$ [']	$\alpha_e$ <sup>1)</sup> [']	$\tau_e$ <sup>1)</sup> [']	$\varepsilon$ <sup>1)</sup> [']	<b>S</b> [m]
1	Beton <sup>3)</sup>	2,50	2400	0,28	80 - 130	-	-	-	0,300
2	Dämmung <sup>1)</sup>	0,035	30	0,41	30 - 100	-	-	-	0,350
3	Dachdichtung <sup>1)</sup>	0,17	2000	0,47	10-80-10 <sup>3</sup>	-	-	-	0,005
4	Kies <sup>3)</sup>	2,00	1800	0,28	50	~0,50	-	~0,76	0,050

##### Opake Fassade

Schicht Nr.	Material	$\lambda$ [W/(mK)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [Wh/(kgK)]	$\mu$ [']	$\alpha_e$ <sup>1)</sup> [']	$\tau_e$ <sup>1)</sup> [']	$\varepsilon$ <sup>1)</sup> [']	<b>S</b> [m]
1	Zementfaserplatte <sup>5)</sup>	0,58	2000	0,28	20 - 50	-	-	-	0,0125
2	Dämmung <sup>5)</sup>	0,040	20	0,23	1 - 2	-	-	-	0,0350
3	Zementfaserplatte <sup>5)</sup>	0,58	2000	0,28	20 - 50	-	-	-	0,0125
4	Dämmung <sup>4)</sup>	0,040	20	0,23	1 - 2	-	-	-	0,5200
5	OSB <sup>3)</sup>	0,13	650	0,47	30 - 50	-	-	-	0,0150
6a	Dämmung <sup>4)</sup>	0,040	20	0,23	1 - 2	-	-	-	0,1600
6b	Holzständer 80/160 <sup>3)</sup>	0,13	450	0,58	20 - 40	-	-	-	0,1600
7	Windpapier (Gyso-Difflex) <sup>2)</sup>	0,10 <sup>1)</sup>	400	0,36 <sup>1)</sup>	225	-	-	-	0,0004
8	LUCIDO <sup>®</sup> -Fassade	Absorber ; 16mm Luftraum vor Lamellen ; 6mm Solarglas ; $\Delta H \approx 8,01$ m							

##### Glas Fassade / transparenter Bereich

Schicht Nr.	Material	$\lambda$ [W/(mK)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [Wh/(kgK)]	$\mu$ [']	$\alpha_e$ <sup>1)</sup> [']	$\tau_e$ <sup>1)</sup> [']	$\varepsilon$ <sup>1)</sup> [']	<b>S</b> [m]
1	Isolierglas mit Alurahmen <sup>1)</sup>	$U_w \approx 4,00$ W/(m <sup>2</sup> K) g-Wert $\approx 0,63$			$\rightarrow \infty$	~ 0,23	~0,53	~ 0,94	0,024
2	Luftraum Fassade	in den Geschossabschnitten natürlich Belüftet							
2a	Sonnenschutz <sup>4)</sup>				-	~ 0,60	~ 0,10	~ 0,90	0,740
3	Isolierglas-Fassade <sup>2)</sup>	$U_g \approx 1,10$ W/(m <sup>2</sup> K) g-Wert $\approx 0,63$			$\rightarrow \infty$	~ 0,23	~ 0,53	~ 0,94	0,024

Sonnenschutzrollo

**Strahlungstransmission : 10%**

→ **Gesamtstrahlungstransmissionsgrad** der transparenten Glasfassade :  $\tau_{e,gesamt} \approx 0,04$

\*) Angaben aus div. Literatur    1) SIA 381/1    2) Angaben gem. Hersteller    3) EN 12524    4) Annahme    5) DIN 4108  
\*\*) Durchschnittswerte für angenommenen Fassaden U-Wert von 4,0 W/(m<sup>2</sup>K)

## 5.0. Nutzungstauglichkeit

Die thermische Behaglichkeit wird sehr individuell empfunden. Daher können stets nur durchschnittliche Behaglichkeitsbewertungen vorgenommen werden, die für eine möglichst große Personengruppe zutreffend sind.

### Einflussfaktoren :

Die thermische Behaglichkeit eines Menschen in einem Raum ist abhängig von :

- der Raumlufttemperatur
- den Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen
- der Art der Raumheizung (Strahlungs- / Konvektionsheizung)
- der relativen Luftfeuchtigkeit
- der Raumluftbewegung
- der Art der Tätigkeit der Person (Wärmeabgabe)
- der Art der Kleidung (Wärmedämmeigenschaft)
- dem physiologischen Zustand der Person

Als Behaglichkeitskriterien werden die **PMV** Indizes (Predicted Mean Vote; beschreibt den durchschnittlichen Grad der Wärmeempfindung der Person) und **PPD** Indizes (Predicted Percentage of Dissatisfied; beschreibt den möglichen prozentualen Anteil an unzufriedenen Personen bezüglich der Wärmeempfindung) nach EN ISO 7730 zu Grunde gelegt. Bei der Untersuchung der Luftströmung in Räumen ist außerdem der **DR** Index (Draft Risk) von Bedeutung. Er beschreibt den möglichen prozentualen Anteil an unzufriedenen Personen bezüglich der Zuglufteempfindung.

Zusätzlich zu dem PMV und PPD Index wird der Diskomfort-Wert **S** für die Sommerperiode angegeben. Dieser Wert beschreibt den durchschnittlichen Grad der thermischen Belastung des Körpers.



Für Wohngebäude wird entsprechend der normalen Tätigkeiten ein Grenzwert  $S_{max}$  von 175 W definiert. Dies entspricht einer maximal leichten thermischen Belastung des Organismus.

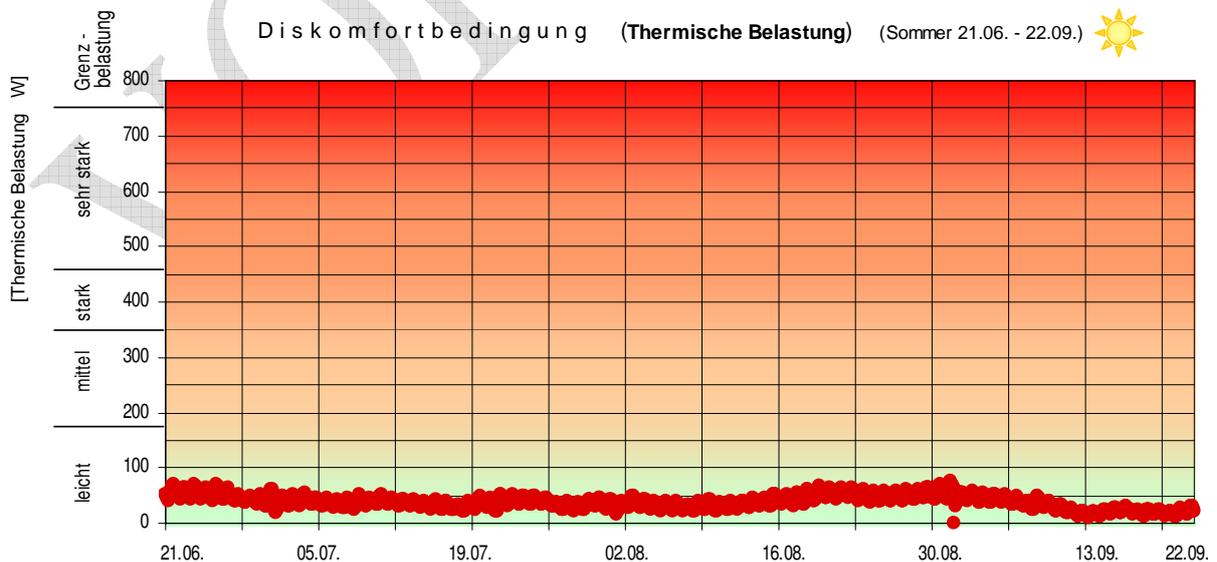
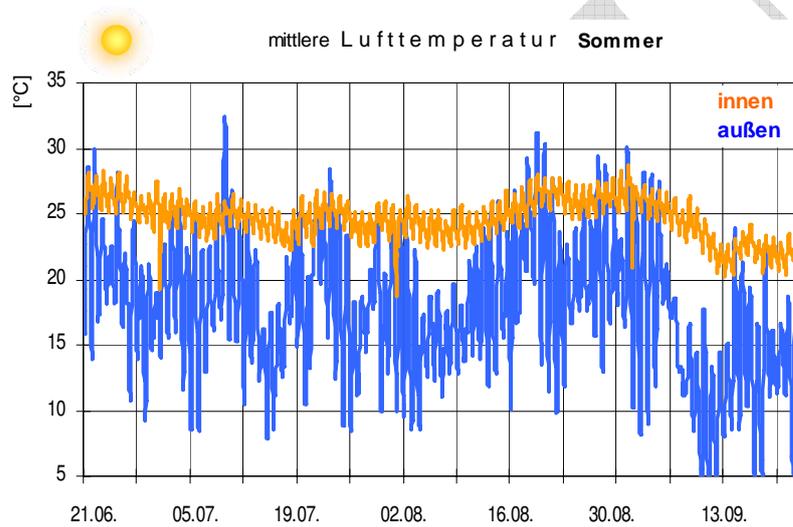
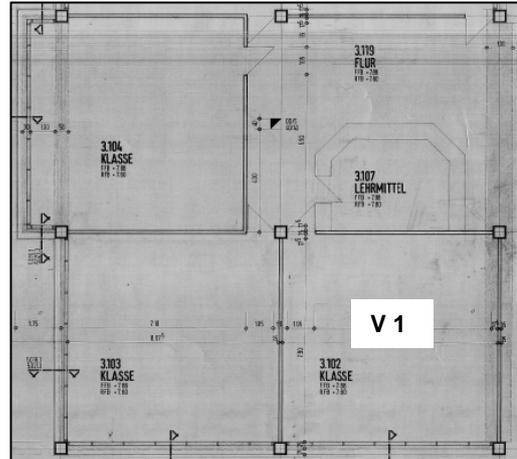
In Anlehnung an SIA 180 werden diejenigen Komfortbedingungen als angemessen betrachtet, die im Mittel der betrachteten Periode mindestens 80% der anwesenden Personen als behaglich empfinden.

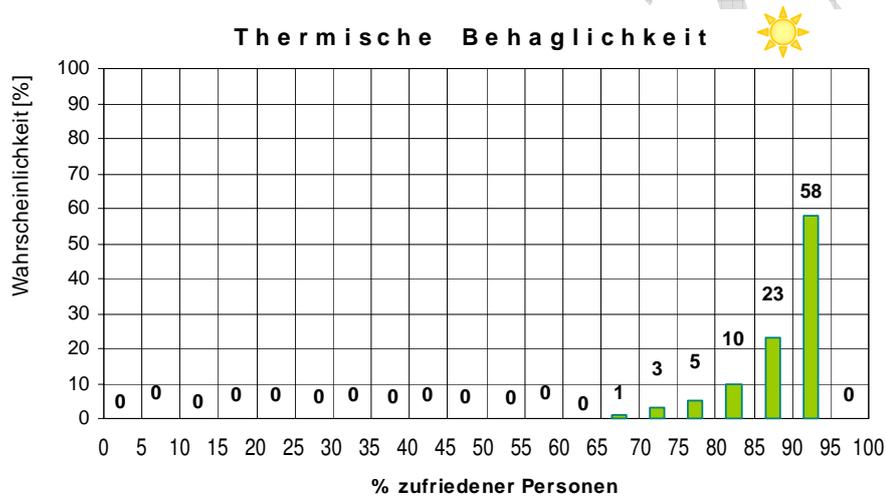
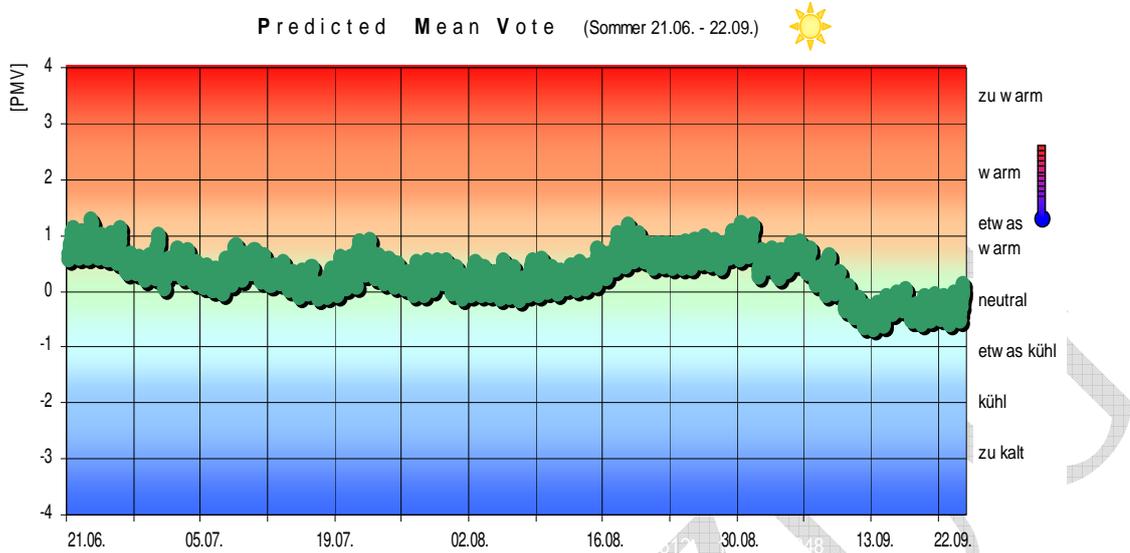


Da die Behaglichkeitsbedingungen aufgrund der sich ständig ändernden Randbedingungen ebenfalls ständig schwanken, ist es sinnvoll zusätzlich aus der Häufigkeitsverteilung die Wahrscheinlichkeit in % anzugeben, bei der sich mindestens 80% der anwesenden Personen über die betrachtete Zeitperiode behaglich fühlen.

Nachfolgend werden die Räume **V1**, **V2** und **V6** repräsentativ ausgewertet.

## 5.1. Thermische Behaglichkeit in Raum V 1

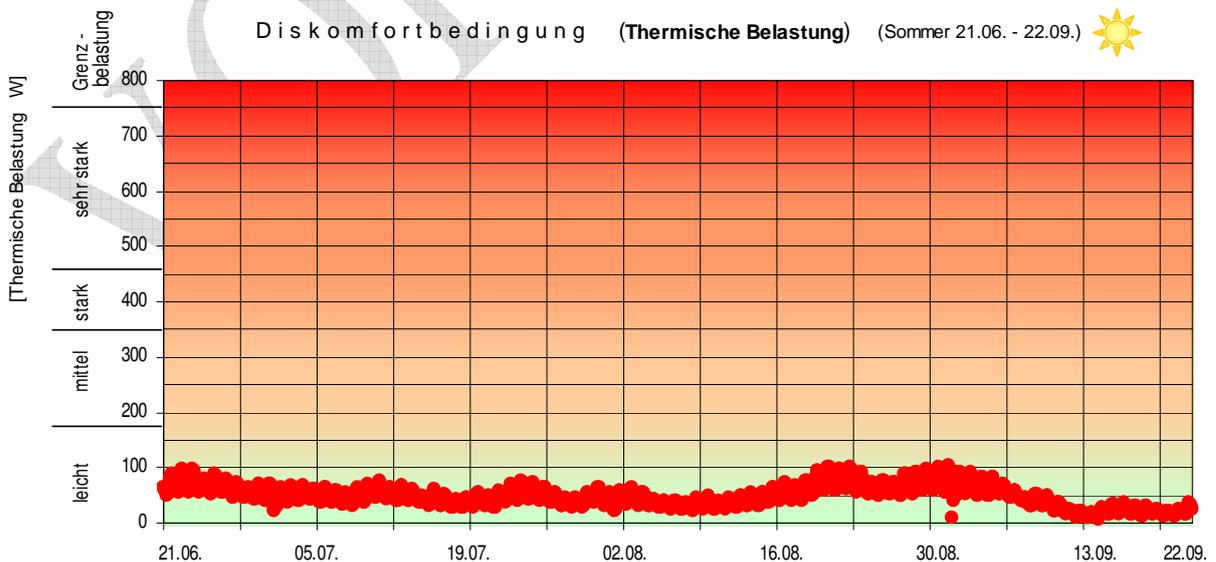
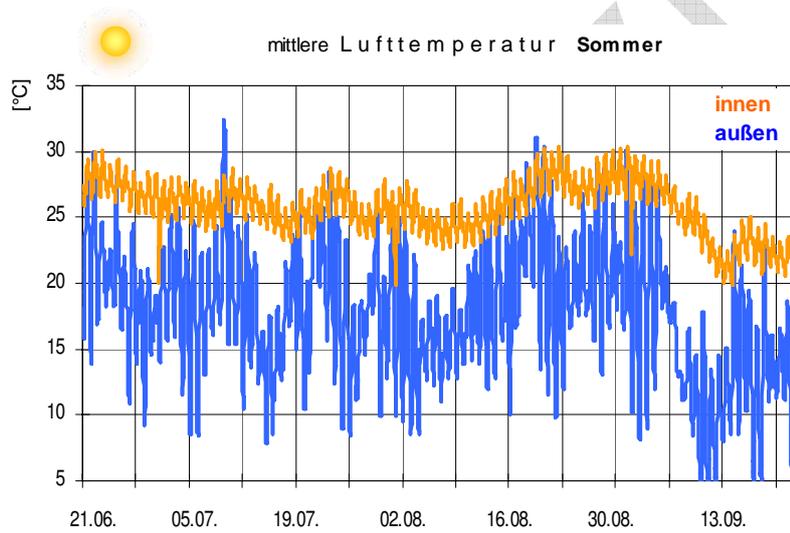
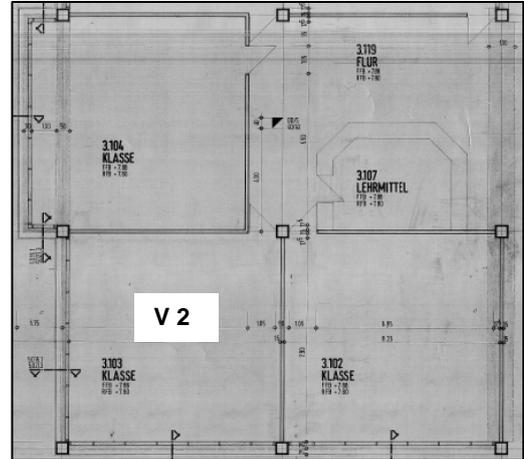


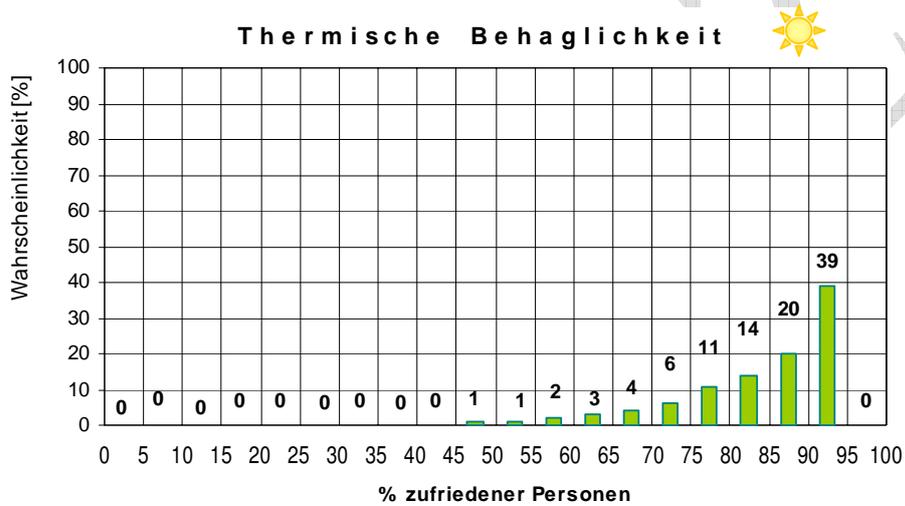
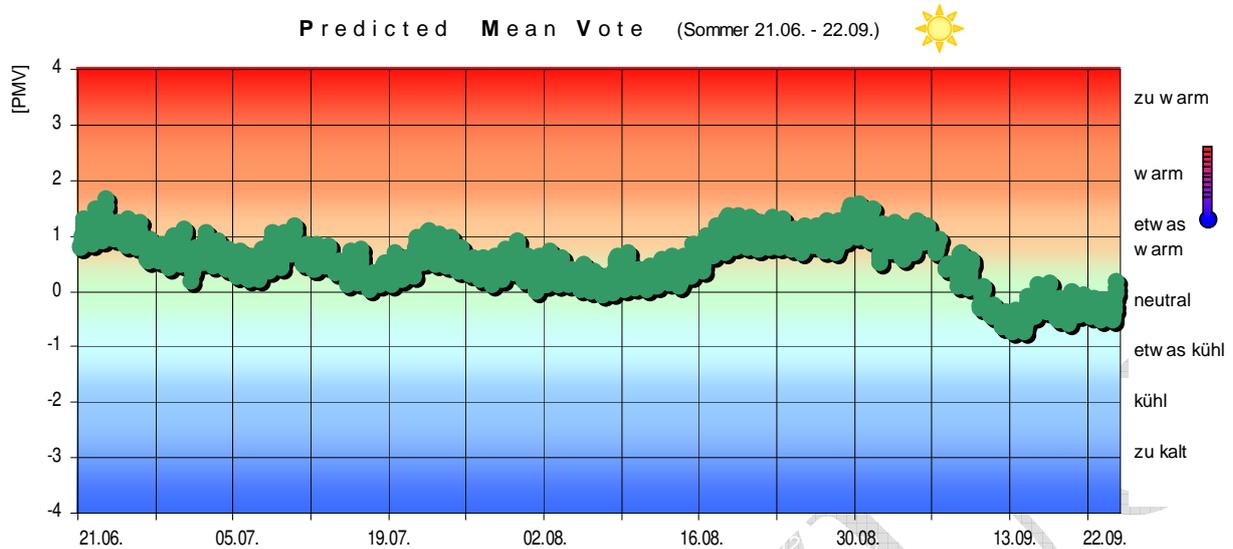


Die Wahrscheinlichkeit, dass sich **mehr als 80 %** der Anwesenden thermisch behaglich fühlen beträgt **91 %**

Im Mittel fühlen sich in der Sommerperiode **89%** der anwesenden Personen **thermisch behaglich**.

## 5.2. Thermische Behaglichkeit in Raum V 2

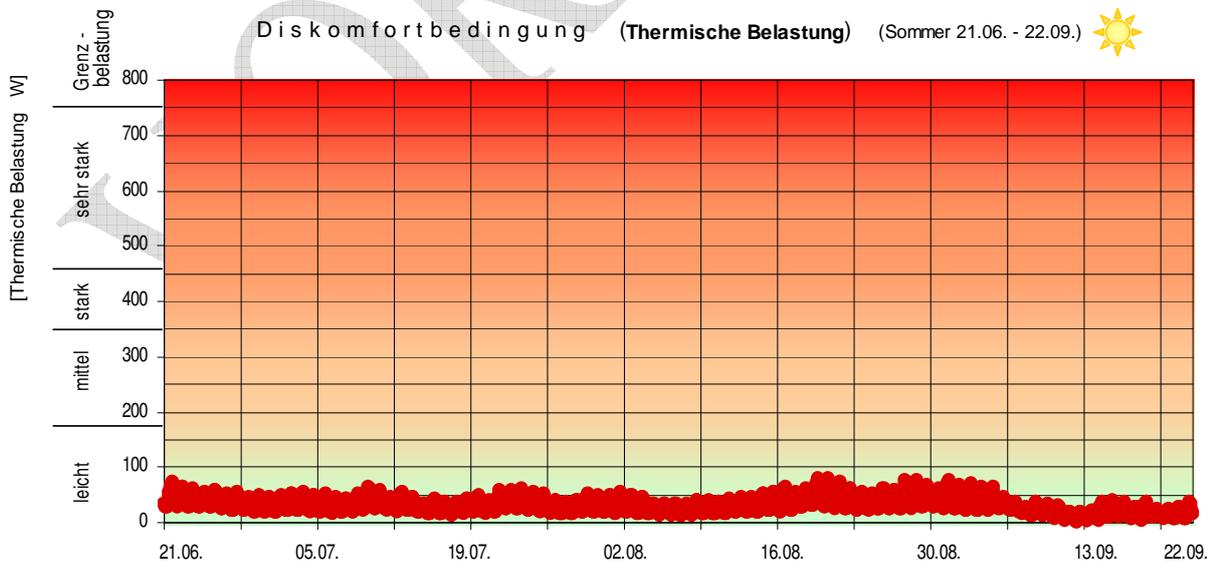
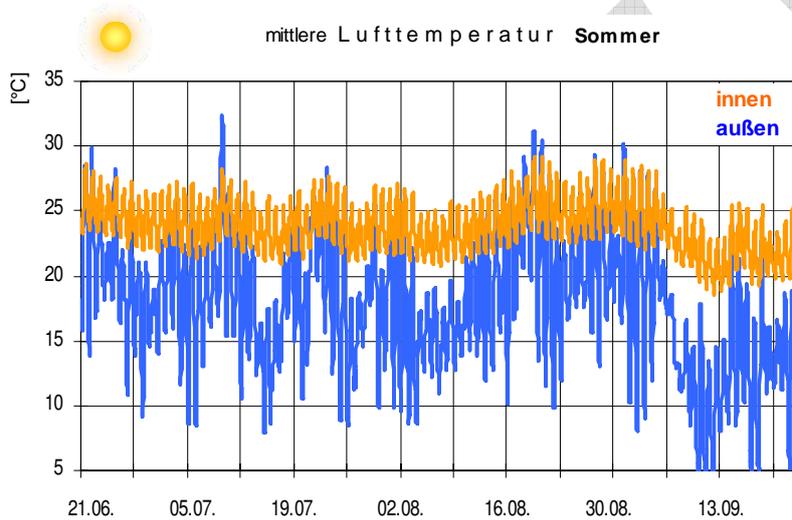
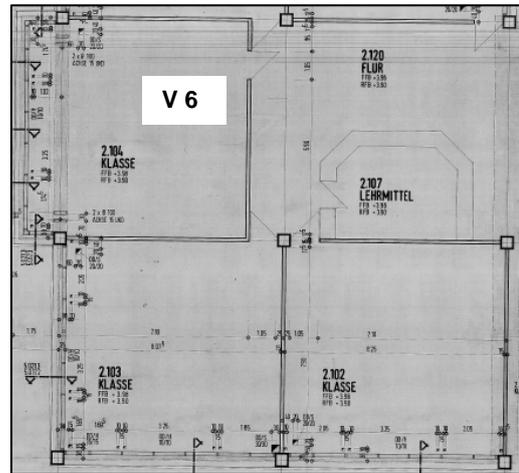


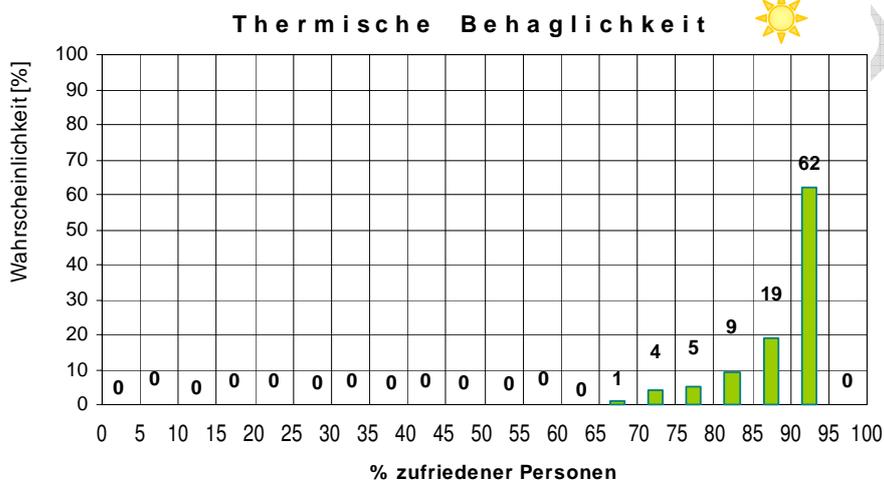
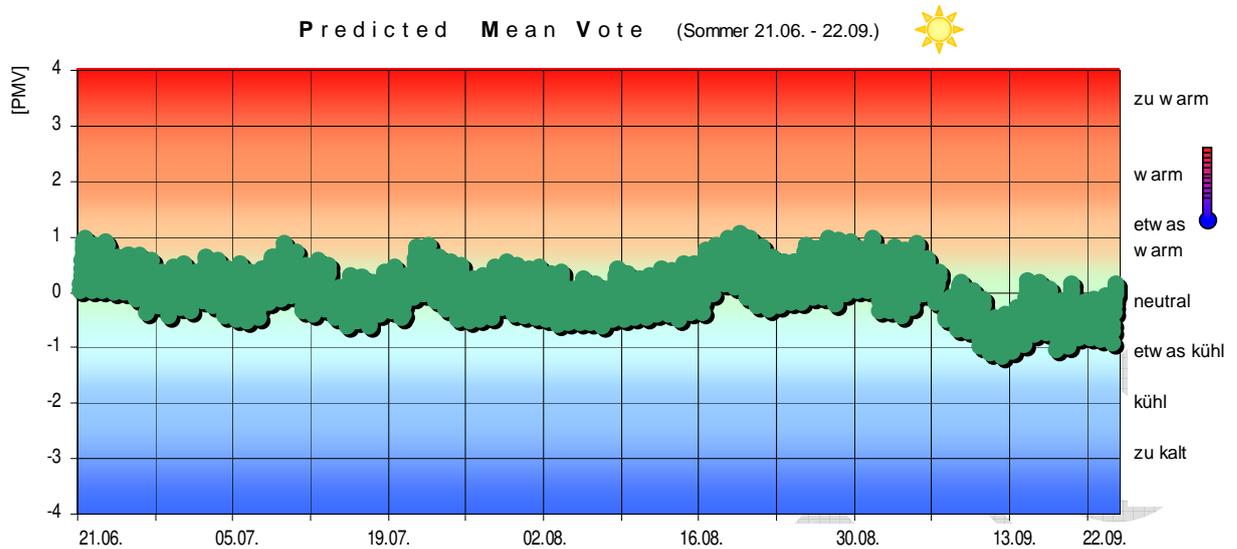


Die Wahrscheinlichkeit, dass sich **mehr als 80 %** der Anwesenden thermisch behaglich fühlen beträgt **73 %**

Im Mittel fühlen sich in der Sommerperiode **85%** der anwesenden Personen **thermisch behaglich**.

### 5.3. Thermische Behaglichkeit in Raum V 6





Die Wahrscheinlichkeit, dass sich **mehr als 80 %** der Anwesenden thermisch behaglich fühlen beträgt **90 %**

Im Mittel fühlen sich in der Sommerperiode **90%** der anwesenden Personen **thermisch behaglich**.

## **6.0. Auswertung**

Mit einem zusätzlichen Licht- und Sonnenschutzrollo (**Strahlungstransmission 10%**) kann die Temperatur in den Klassenräumen auch im Sommer unter "maximalen" Klimabedingungen in Kombination mit der erforderlichen Mindestlüftung auf einem behaglichen Niveau gehalten werden. Bei Klassenräumen im obersten Geschoss und zwei Außenwänden (vergl. Raum V 2), können jedoch unter den betrachteten Randbedingungen kurzzeitig Temperaturen bis an die 30°C auftreten.



Bei Überschreitung einer Raumlufttemperatur von 26°C kann (und sollte) generell die zusätzliche mechanische Belüftung für einen erhöhten Luftwechsel zur weiteren Abkühlung genutzt werden.

# ANHANG 3

**Bauphysikalische Analysen**

**Fassadensimulation**

- Heizlastberechnung
- Fassadendetail e

# Michelberg Gymnasium Geislingen

## Bauphysikalische Analysen

### Teil 1 Fassadensimulation

#### Teil 1.0 Angaben zur Heizlastberechnung

## Angaben zum Bauvorhaben

Objekt : Michelberg Gymnasium Geislingen (MiGy)  
Energetische Sanierung

Auftraggeber : Stadt Geislingen  
Schlossgasse 7  
73312 Geislingen

Stand : 02.07.13

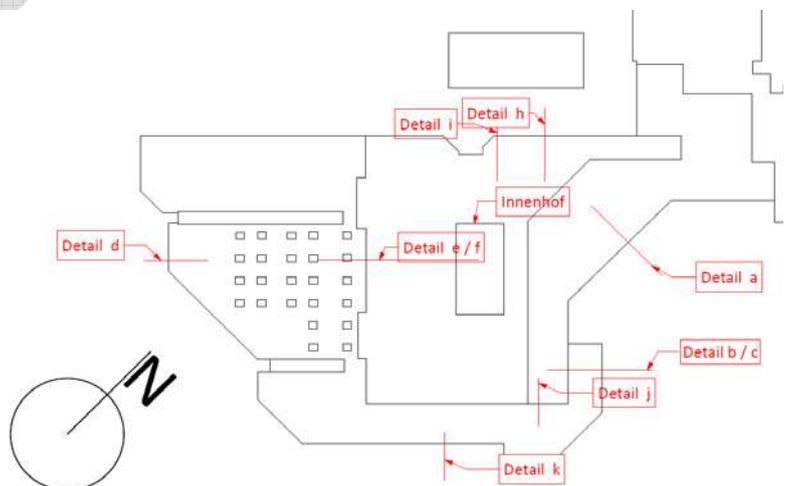
## Aufsteller

**dyAna<sup>®</sup> GmbH** 

Sümburgstr. 22  
58730 Fröndenberg  
Germany

tel. : +49 (0)2373 / 39641 - 0  
fax : +49 (0)2373 / 39641 - 79  
http : [www.dyana.de](http://www.dyana.de)

Projekt-Nr. D-130326



Seitenanzahl : 4

# Inhalt

	Seite
ANALYSE	
0. Einführung .....	3
I Typ 1 / 4 Eindimensionaler U-Wert zur Heizlastberechnung .....	3

VORABZUG

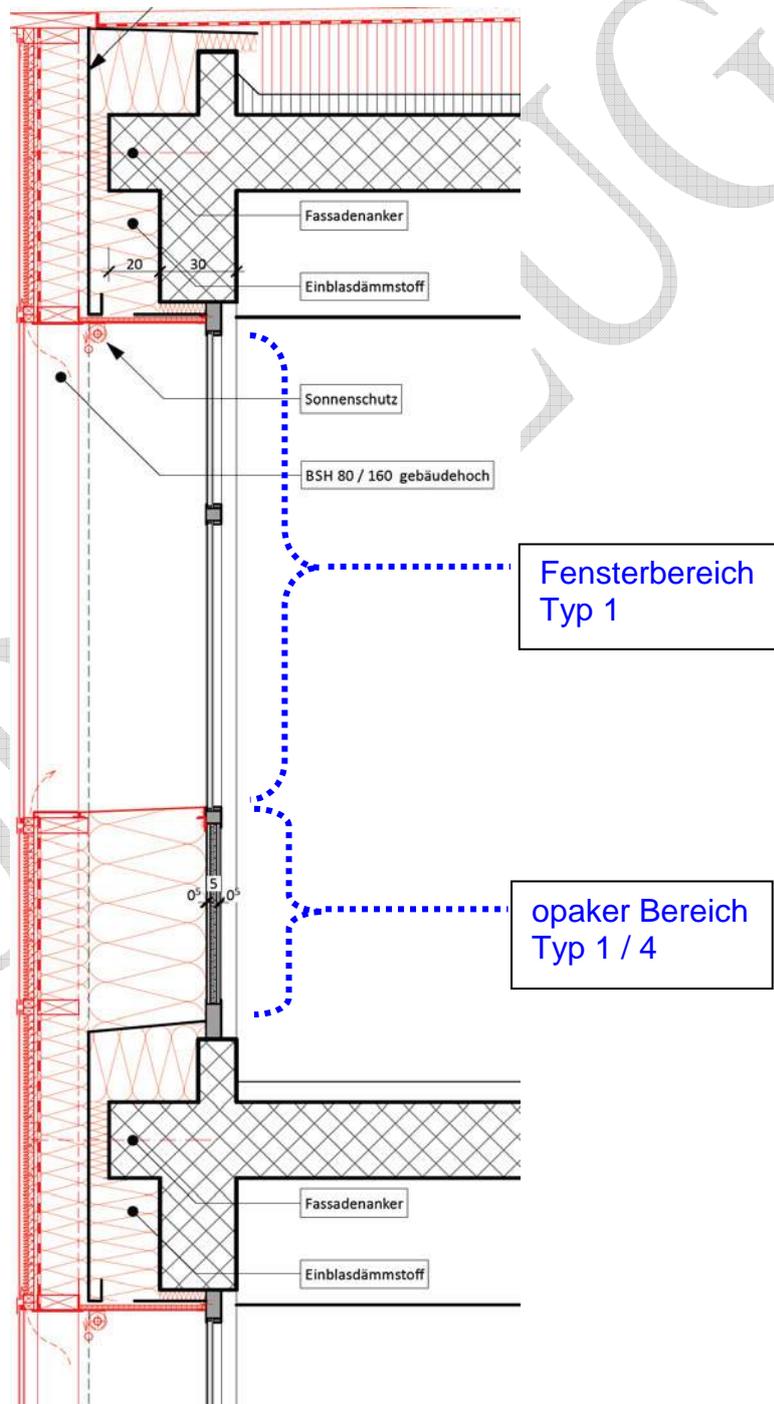
## 0. Einführung

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Fassadensimulation zur Bestimmung der U-Werte im opaken Bereich und im Fensterbereich der Fassade für die Heizlastberechnung dargestellt.

Die geometrischen Wärmebrückenanteile in den Deckengeschossbereichen sind im "Teil 1.4." der Analyse separat ausgewiesen.

Die zu Grunde gelegten klimatischen Randbedingungen für die Simulation unter "Heizlastbedingungen" können dem "Teil 0" der bauphysikalischen Analyse entnommen werden.

## I. Typ 1 / Typ 4 : Eindimensionaler U-Wert zur Heizlastberechnung



Aus den Fassadensimulationen unter Heizlastrandbedingungen ergeben sich folgende maßgebende U-Werte (Höchstwerte aus den Fassadendetails "i", "j" und "e") :

U-Werte zur Heizlastberechnung			U-Wert
		Typ	[W/(m <sup>2</sup> K)]
Bereich Fenster	Zone I	1	<b>1,35</b>
	Zone II	1	<b>1,46</b>
	Zone III	1	<b>1,44</b>
opaker Bereich		4	<b>0,05</b>

Zone I - III : Geschossbereich der Glasfassade (I = unten, II = mitte, III = oben)

# Michelberg Gymnasium Geislingen

## Bauphysikalische Analysen

### Teil 1 Fassadensimulation

#### Teil 1.3 Fassadendetail " e " **VORABZUG Rev\_03**

## Angaben zum Bauvorhaben

Objekt : Michelberg Gymnasium Geislingen (MiGy)  
Energetische Sanierung

Auftraggeber : Stadt Geislingen  
Schlossgasse 7  
73312 Geislingen

Stand : 28.10.13

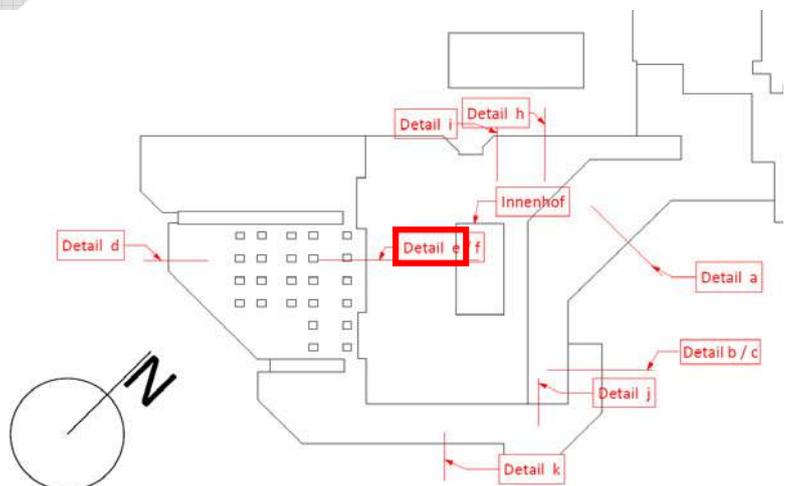
## Aufsteller

**dyAna<sup>®</sup> GmbH** 

Sümburgstr. 22  
58730 Fröndenberg  
Germany

tel. : +49 (0)2373 / 39641 - 0  
fax : +49 (0)2373 / 39641 - 79  
http : [www.dyana.de](http://www.dyana.de)

Projekt-Nr. D-130326



Seitenanzahl : 10

# Inhalt

	Seite
ANALYSE	
0. Einführung	3
I Typ 4 opaker Wandbereich	3

VORABZUG

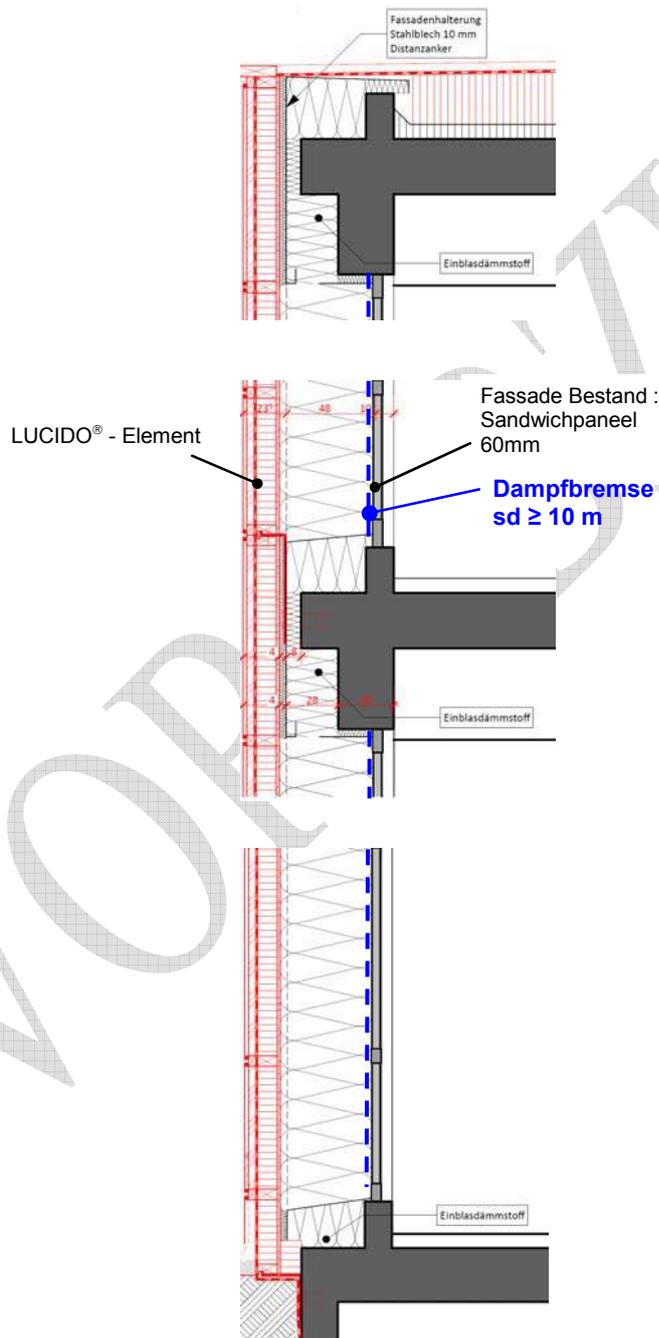
## 0. Einführung

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Fassadensimulation zur Bestimmung der Temperaturen und effektiven U-Werte im opaken Bereich der Fassade dargestellt.

Die geometrischen Wärmebrückenanteile in den Deckengeschossbereichen werden separat ausgewiesen.

Die Revision 03 beinhaltet die Simulationsergebnisse unter Verwendung einer Dampfbremse zur Vermeidung von Tauwasser in der Konstruktion.

## I. Typ 4 / Brüstung und Wandbereich / 2-geschossig / Variante V1



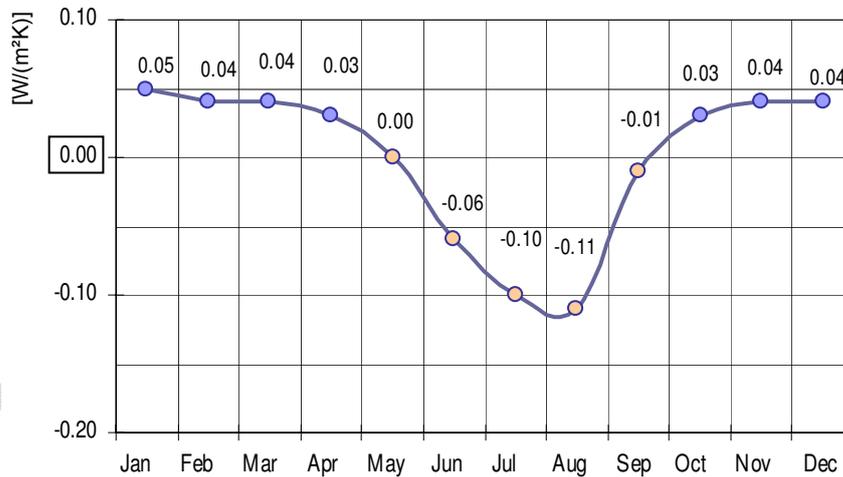
## Materialkennwerte Opake Fassade (Wärmeleitung / Strahlung / Diffusion)

Schichtangaben von innen nach außen.

Schicht Nr.	Material	$\lambda$ [W/(mK)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [Wh/(kgK)]	$\mu$ [']	$\alpha_e$ <sup>1)</sup> [']	$\tau_e$ <sup>1)</sup> [']	$\epsilon$ <sup>1)</sup> [']	$S$ [m]
1	Zementfaserplatte <sup>5)</sup>	0,58	2000	0,28	20 - 50	-	-	-	0,0125
2	Dämmung <sup>5)</sup>	0,040	20	0,23	1 - 2	-	-	-	0,0350
3	Zementfaserplatte <sup>5)</sup>	0,58	2000	0,28	20 - 50	-	-	-	0,0125
3a	Dampfbremse	0,13	400	0,23	<b>sd ≥ 10 m</b>				
4	Dämmung <sup>4)</sup>	0,040	20	0,23	1 - 2	-	-	-	0,5200
5	OSB <sup>3)</sup>	0,13	650	0,47	30 - 50	-	-	-	0,0150
6a	Dämmung <sup>4)</sup>	0,040	20	0,23	1 - 2	-	-	-	0,2000
6b	Holzständer 80/160 <sup>3)</sup>	0,13	450	0,58	20 - 40	-	-	-	0,2000
7	Windpapier (Gyso-Difflex) <sup>2)</sup>	0,10 <sup>→</sup>	400	0,36 <sup>**)</sup>	225	-	-	-	0,0004
8	LUCIDO <sup>®</sup> -Fassade	Absorber ; 16mm Luftraum vor Lamellen ; 6mm Solarglas ; $\Delta H \approx 8,01$ m							

<sup>1)</sup> Angaben aus div. Literatur    <sup>2)</sup> SIA 381/1    <sup>3)</sup> Angaben gem. Hersteller    <sup>4)</sup> EN 12524    <sup>5)</sup> Annahme    <sup>6)</sup> DIN 4108

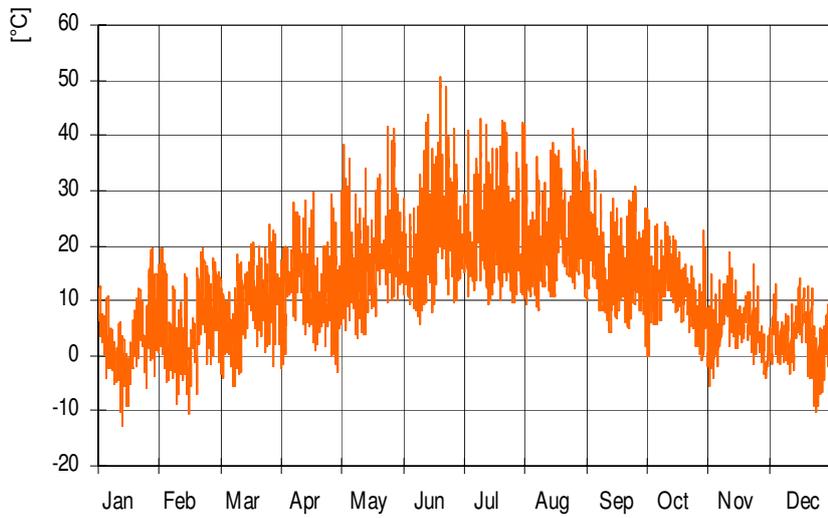
effektive U-Werte Typ 4 (Nord-Ost-Fassade)



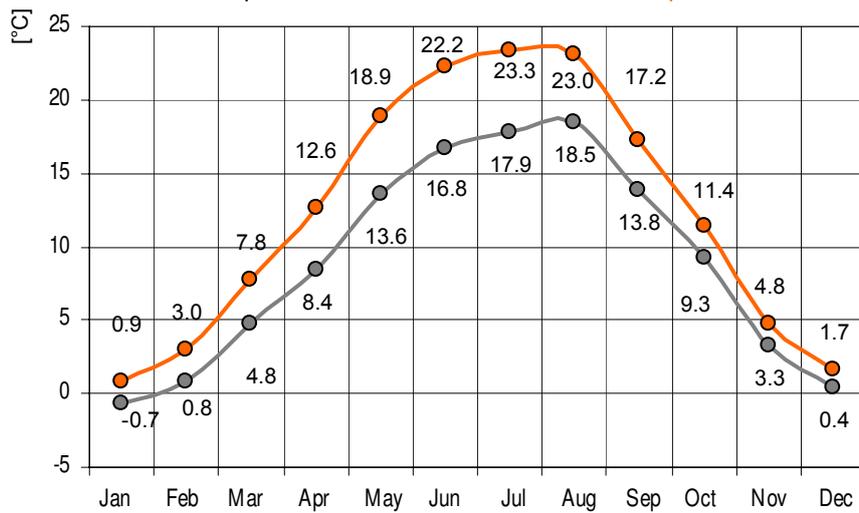
U-Wert [W/(m²K)]

Month	U-Wert [W/(m²K)]
Jan	0.05
Feb	0.04
Mär	0.04
Apr	0.03
Mai	0.00
Jun	-0.06
Jul	-0.10
Aug	-0.11
Sep	-0.01
Okt	0.03
Nov	0.04
Dez	0.04

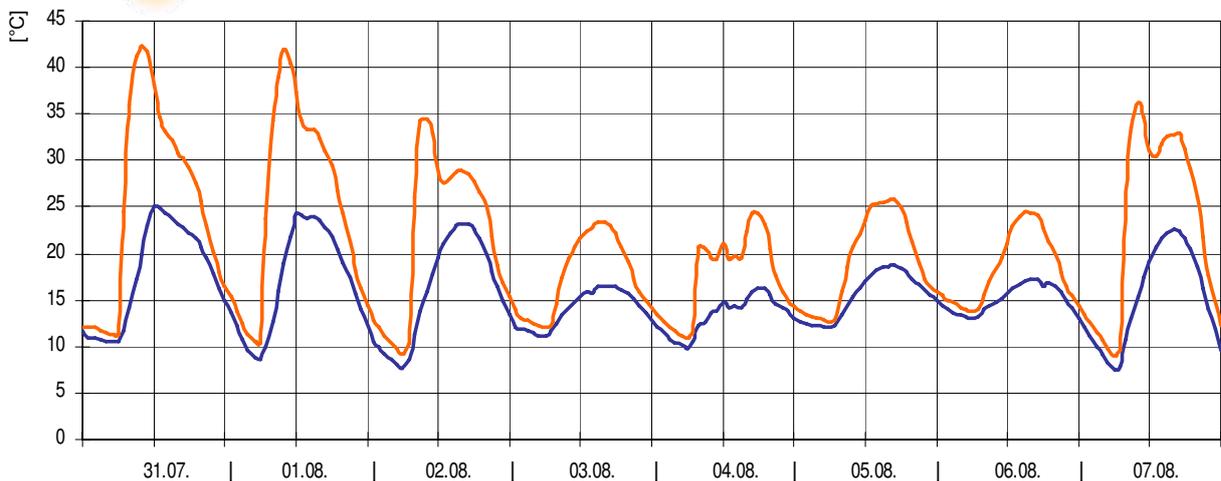
mittlere Lufttemperatur Luftspalt



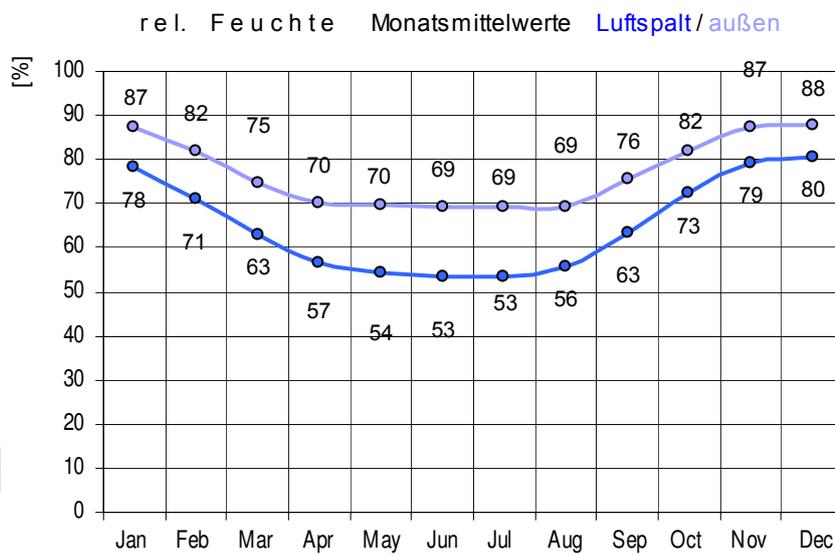
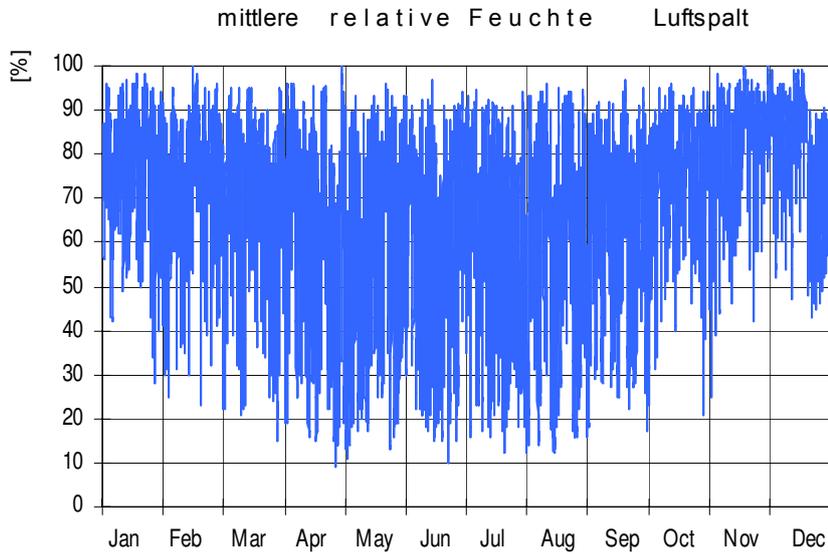
Lufttemperatur Monatsmittelwerte Luftspalt / außen

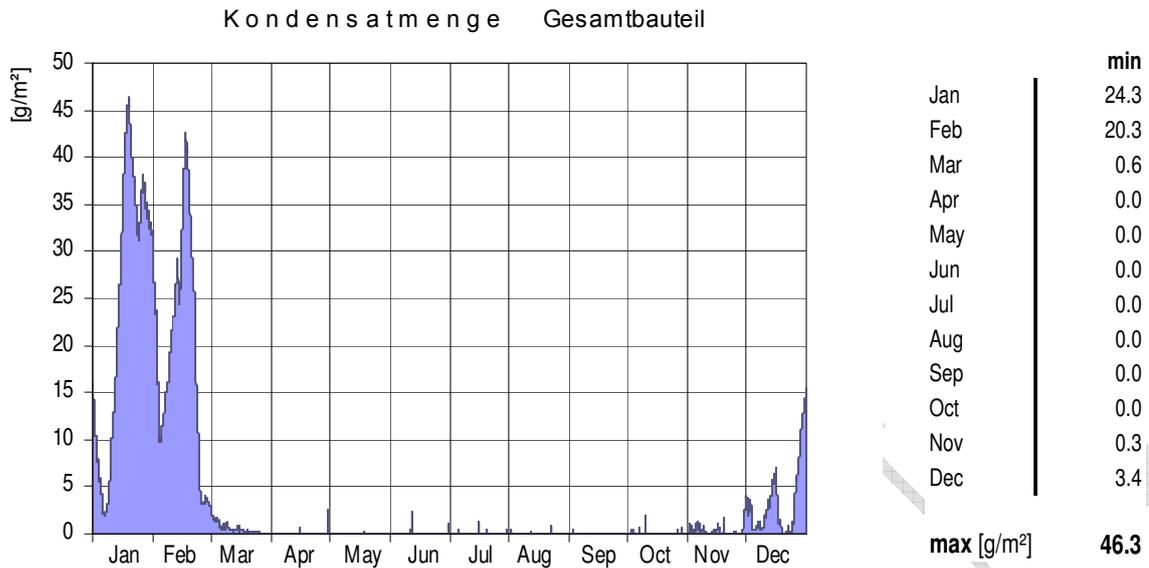


mittlere Lufttemperatur August Luftspalt / aussen

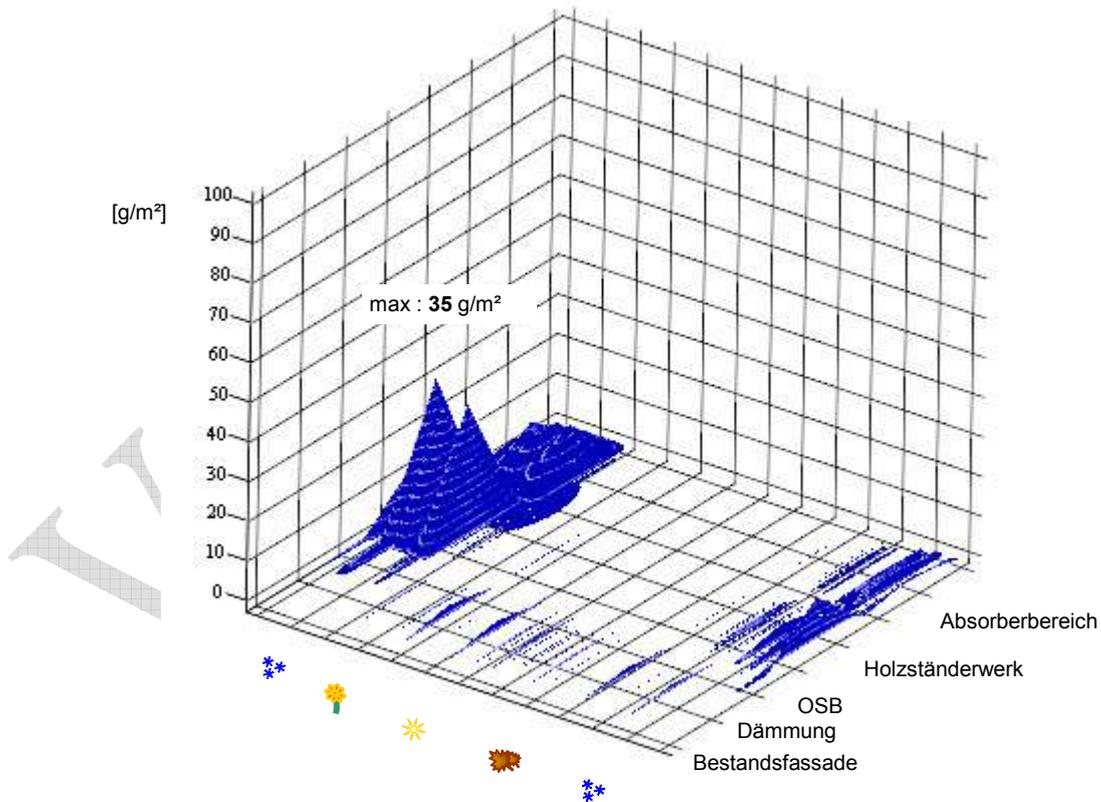


Simulationsergebnisse Feuchte **OHNE** Dampfbremse.



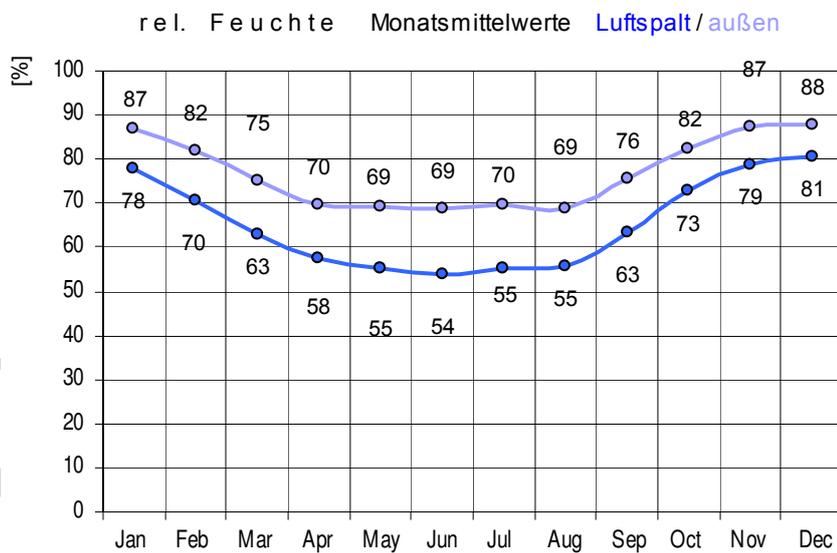
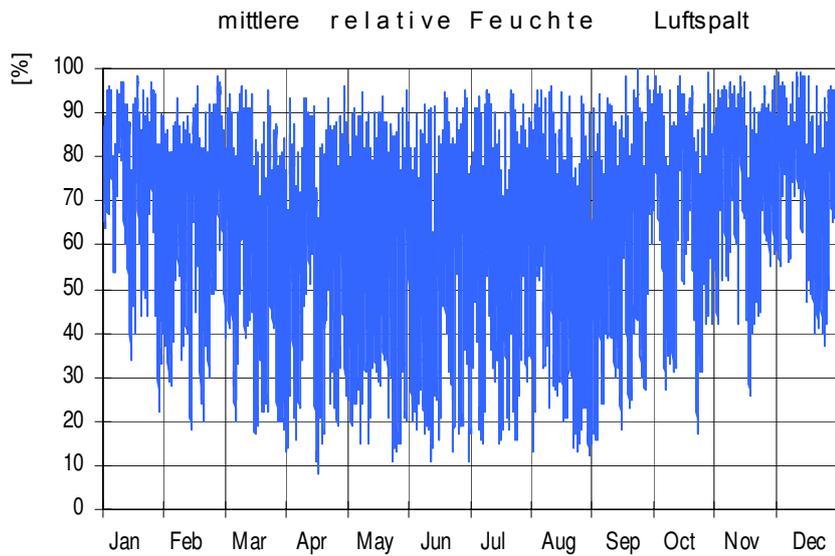


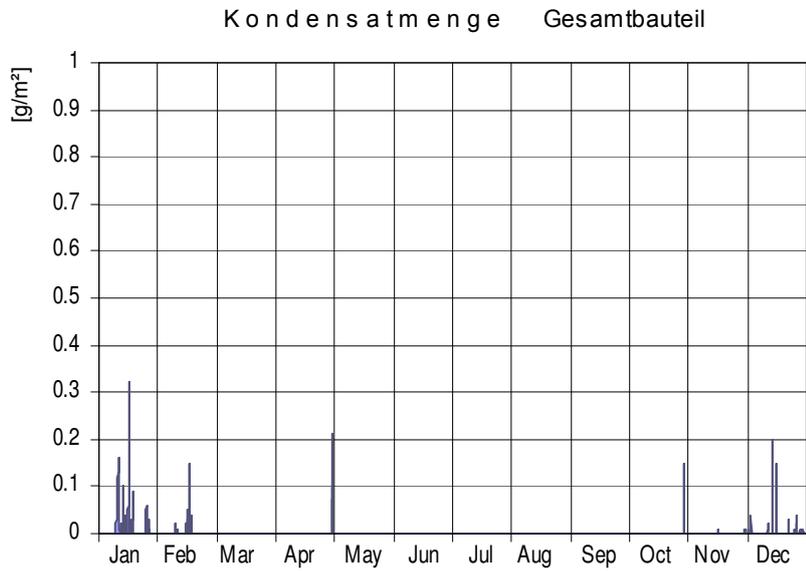
### Tauwasser in der Konstruktion



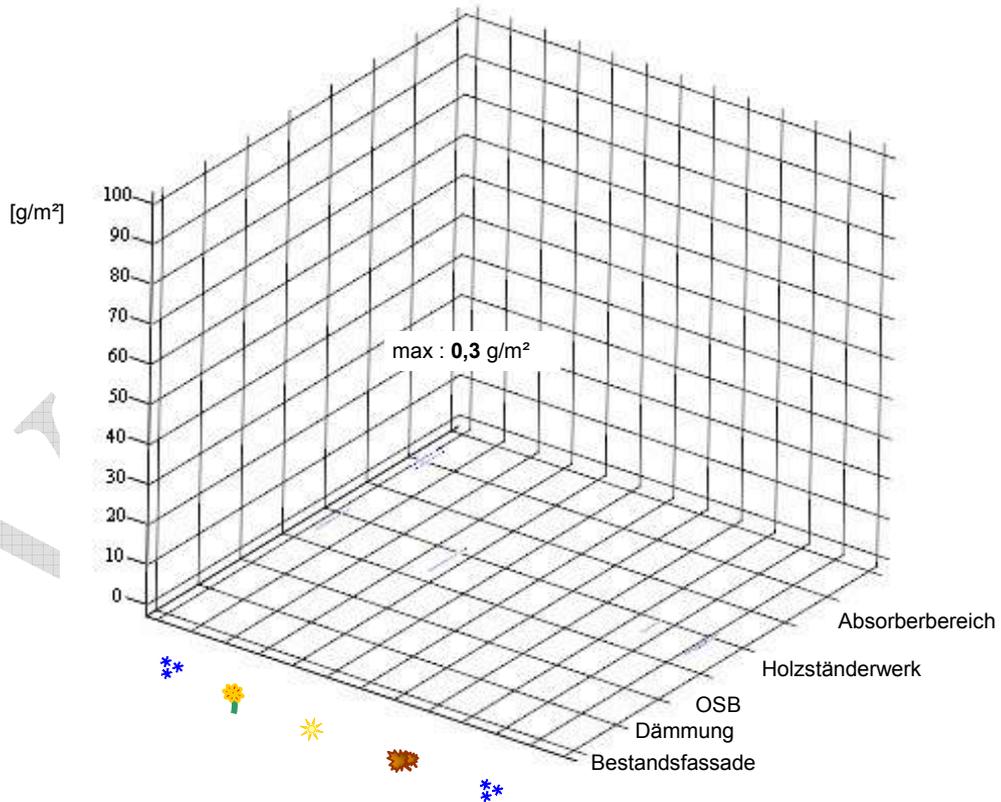
Zur Vermeidung von Tauwasser ist vor der Dämmschicht eine entsprechende Dampfbremse vorzusehen.

Simulationsergebnisse Feuchte MIT Dampfbremse.





Tauwasser in der Konstruktion



Zur Vermeidung von Tauwasser ist hinter der Bestandsfassade vor der neu einzubauenden Dämmschicht eine Dampfbremse mit  $s_d$ -Wert  $\geq 10m$  anzuordnen.

Die noch rechnerisch vereinzelt anfallende Tauwassermenge von maximal 0,2 bis 0,3 g/m<sup>2</sup> im Bereich des Holzabsorbers tritt nur unter minimalen Klimarandbedingungen auf und bewirkt lediglich einen kurzzeitigen und zu vernachlässigenden Anstieg der Massenfeuchte des Holzes.

Unter durchschnittlichen klimatischen Verhältnissen tritt kein Tauwasser in der Konstruktion auf.



Zur Vermeidung von Tauwasser infolge Konvektionsströmungen im Bauteilinnern, ist auf eine entsprechende Verarbeitung der Bauteilschichten zu achten. Insbesondere ist hier auf eine erforderliche Überlappung und Abklebung von Bahnen, sowie Stößen bei Bauplatten untereinander, an den Bauteilrändern, und im Bereich von Durchdringungen zu achten. Bei der Einbringung von Installationen und dgl. ist ebenfalls auf eine entsprechende Abdichtung von Öffnungen und Durchdringungen zu achten.

Die infolge Luftkonvektion in das Bauteil eingetragene Feuchte kann gegenüber der infolge Diffusion eingebrachten Feuchte unter Umständen um ein Vielfaches höher liegen.

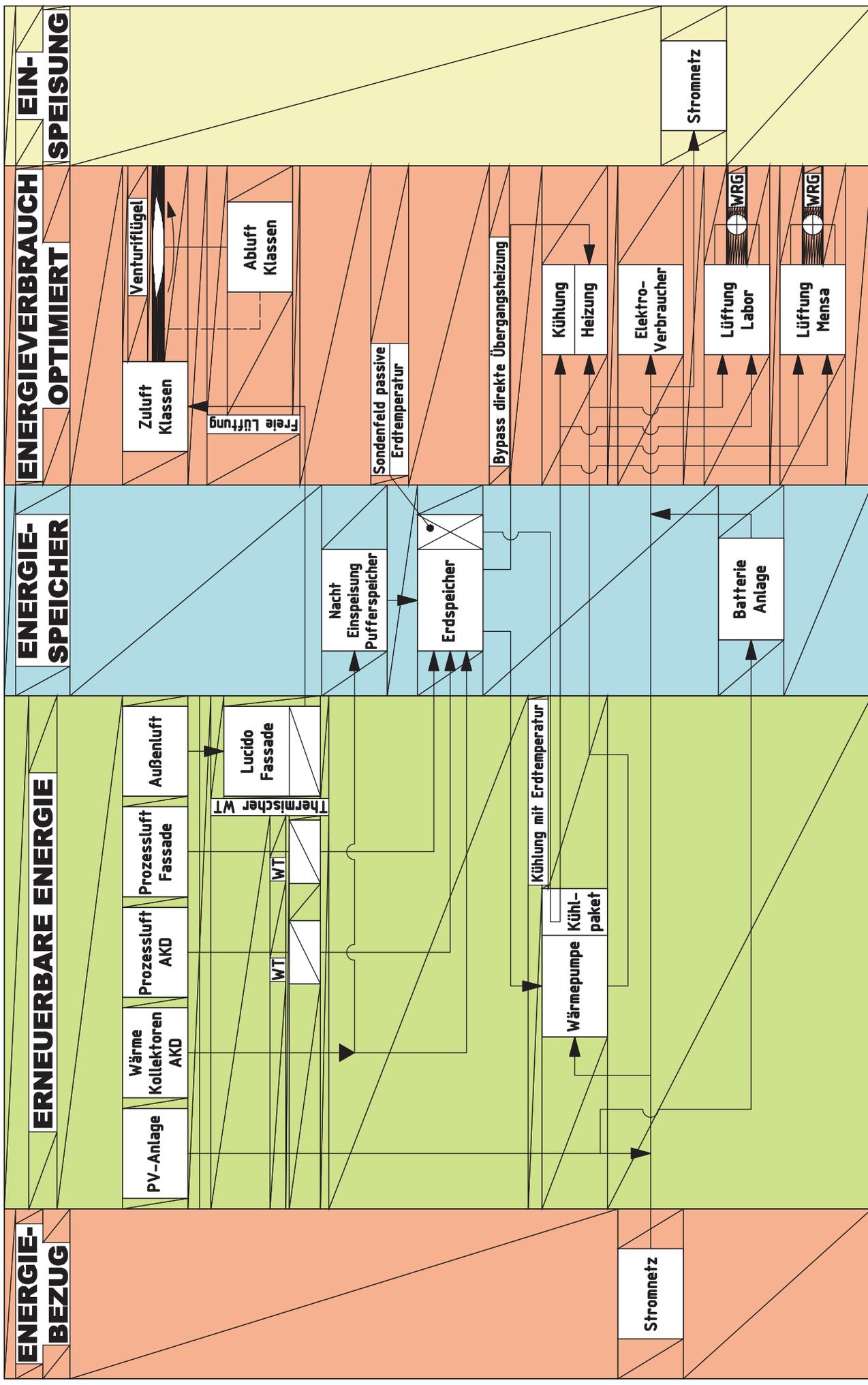


Alle konstruktiv verbleibenden Hohlräume sind mit geeigneten Füll- / Dämmstreifen zu verfüllen.

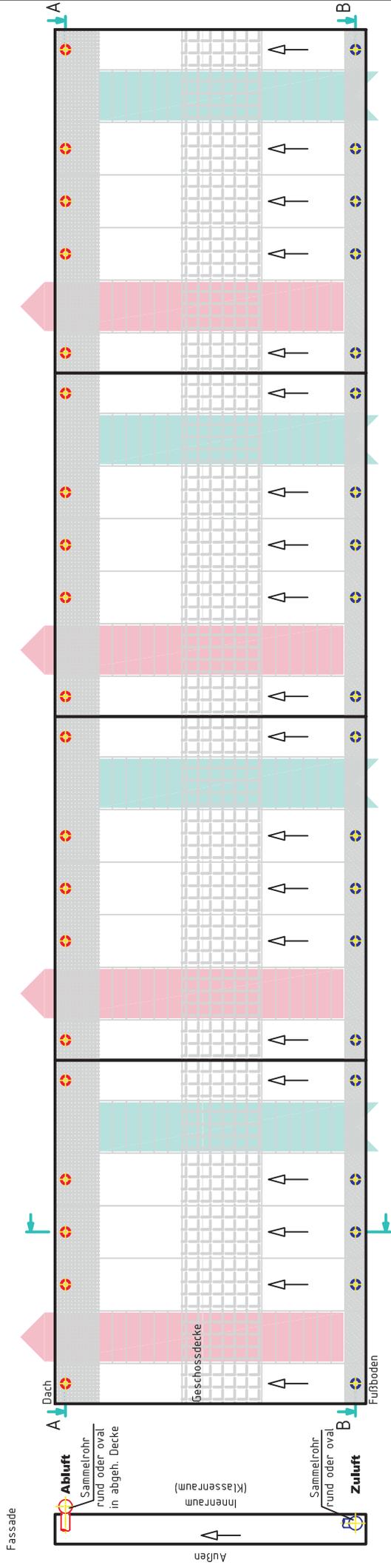
# ANHANG 4

- technische Übersicht der Energieversorgung
- Installationspläne Wärmerückgewinnung aus Fassade ( Prozessluft )

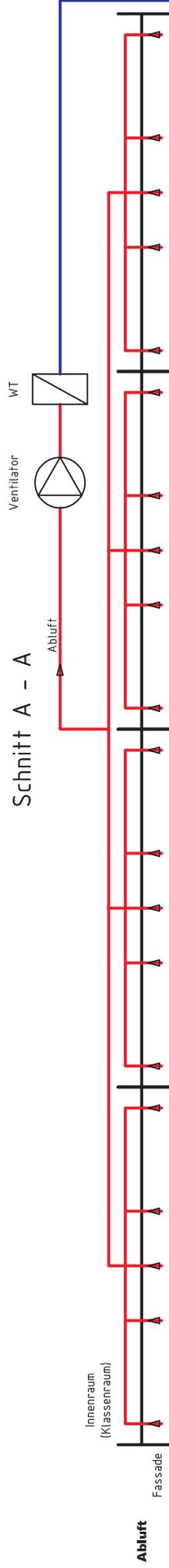
# Technische Übersicht der Energieversorgung Michelberg-Gymnasium 73312 Geislingen an der Steige



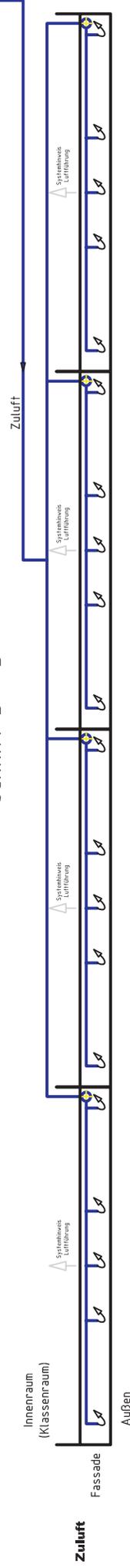
# Schema Fassadenlüftung



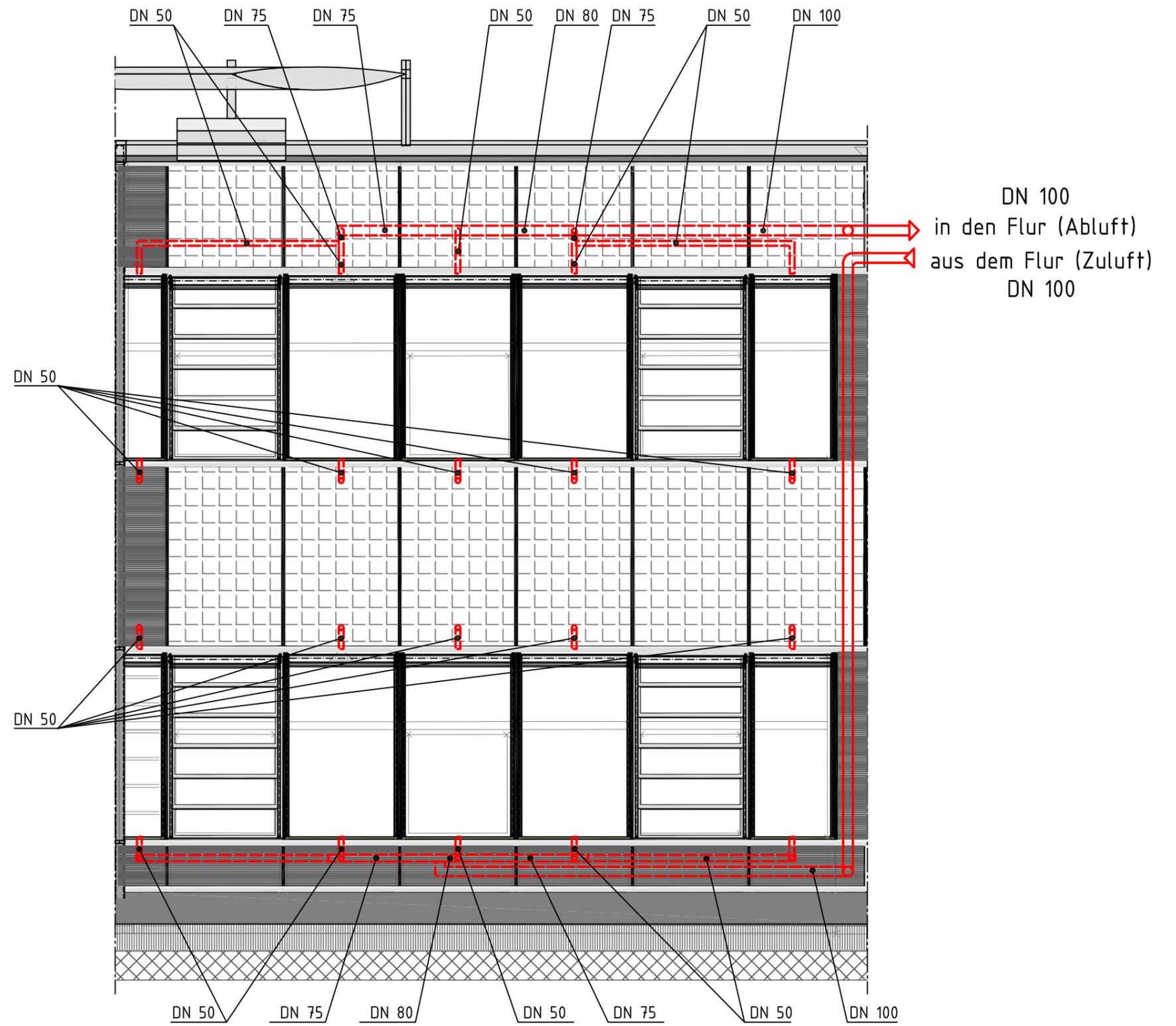
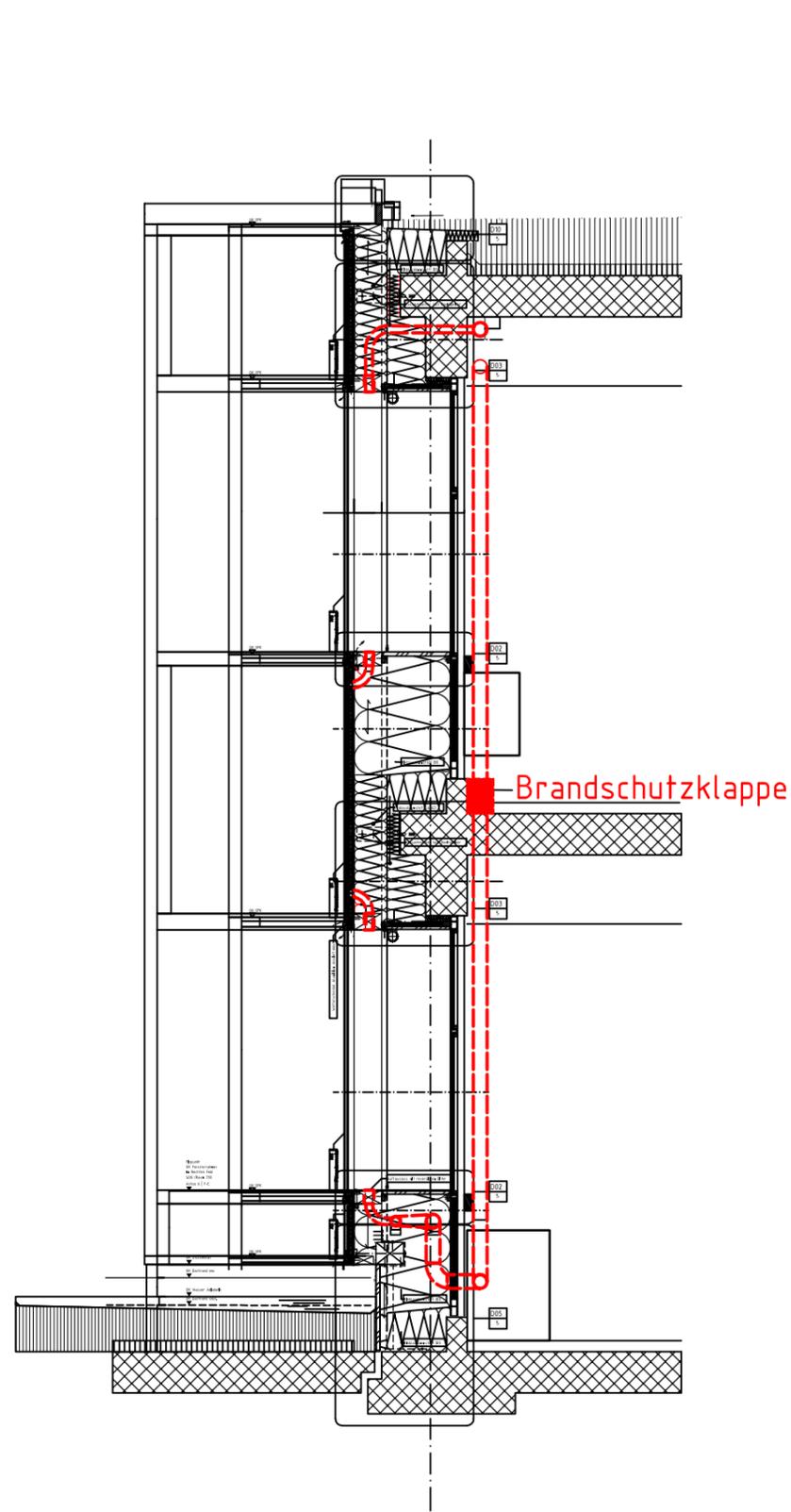
## Schnitt A - A



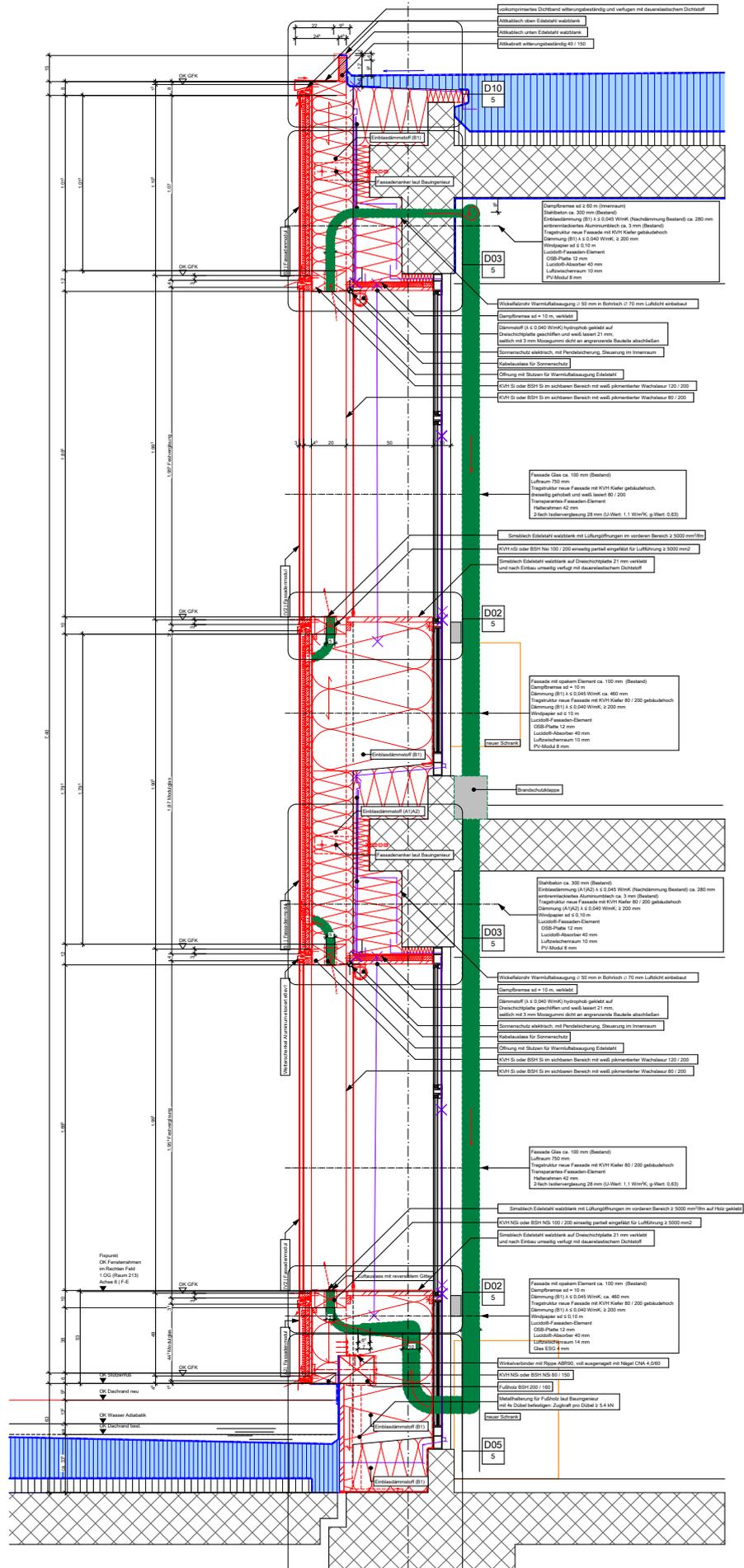
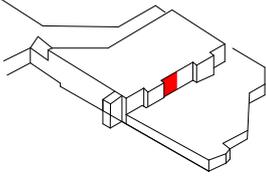
## Schnitt B - B



# Ausführung Lüftung in Rot gekennzeichnet



# SW B-H 6 TYP 1



# ANHANG 5

Prototyp für Absorberkollektoren-Doppel-  
dach (AKD): Mensa Attendorn 2010

## Über Absorber-Kollektoren-Doppeldach (AKD): Eintrag von 179.000 kWh/a aus Wärmekollektorwirkung

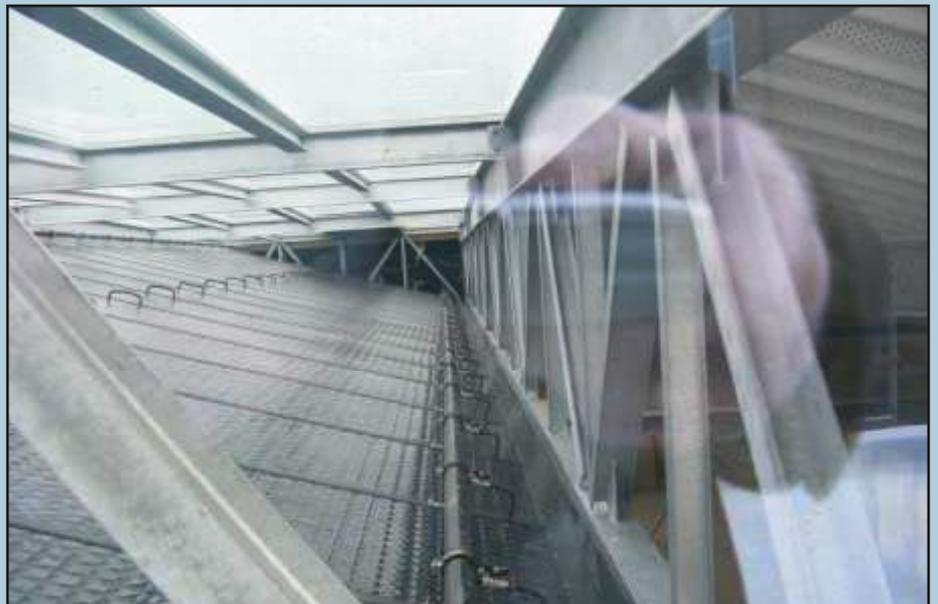
### 1. Wärmekollektorwirkung

Üblicherweise werden thermische Solarkollektoranlagen in eher kleinem Maßstab als Komplettsysteme auf bestehende Dachflächen aufgelegt oder aufgeständert oder manchmal dachintegriert als Ersatz für die Dachdeckung eingebaut. Diese kleinen Anlagen bestehen immer aus denselben Elementen: Dem Solarkollektor, der Leitungstechnik mit Pumpen und einer Speicheranlage. Der Solarkollektor selbst besteht in der Regel aus einer Metallwanne, in die eine Dämmlage eingelegt wird, einer Absorberschicht mit wasserdurchflossenen Rohrleitungen und einer Deckglasschicht. All diese Elemente findet man auch beim Absorber-Kollektoren-Doppeldach - allerdings in großem Maßstab über die gesamte Dachfläche und als einzelne, multifunktionale Bauelemente.

Die Absorberschicht besteht hier aus einem flächig wasserdurchströmten Hohlkammersystem, welches direkt auf der raumabschließenden Dachhaut aufgelegt ist. Dieses System weist einen sehr hohen Wirkungsgrad auf und setzt somit eine größtmögliche Menge an solar eingestrahelter Energie in Nutzwärme um (siehe auch Wärmekollektorschema im Anhang).

1. Energiegewinne aus thermischer Solaranlage (Kollektor: Energie Solaire SA®) aus Simulationsrechnung:

$$Q_{\text{Sol,WK}} = 400 \text{ m}^2 \times 448 \text{ kWh/a} \\ = 179.000 \text{ kWh/a}$$



## Über Absorber-Kollektoren-Doppeldach (AKD): Eintrag von 13.000 kWh/a aus Luftrückkühlung

### 2. Luftrückkühlung

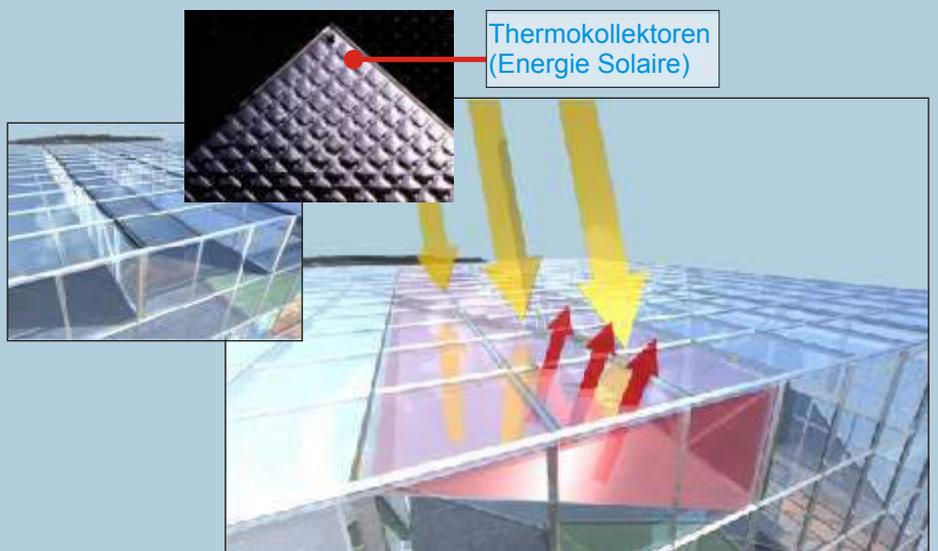
Die sich bis auf Temperaturen von 100 bis 110 °C erwärmende Luft in den Dachdrei-ecken wird zur Prozessluft. Diese wird ab einer Temperatur von 80 °C im Umluftverfahren (d.h. durch Ventilatoren) dem AKD entnommen und durch Abluftrohre über einen Wärmetauscher geführt. Dort wird der Prozessluft die Wärme entzogen, dem Hochtemperatur-Tiefenspeicher über Heizungsrohre zugeführt und gespeichert.

Anschließend strömt die wärmereduzierte Prozessluft durch Zuluftrohre wieder in das AKD zurück (siehe dazu auch Luftrückkühlungsschema im Anhang).

Der dazu notwendige Stromverbrauch für Ventilatoren zum Absaugen der erwärmten Prozessluft und zum Wiederaufheizen der entwärmten Luft ist relativ gering. Er beläuft sich auf ca. 1.200 kWh Strom pro Jahr. Bei einem Eintrag von ungefähr 200.000 kWh pro Jahr an regenerativ erzeugter Wärmeenergie, ist das eine zu vernachlässigende Kostengröße.

2. Energiegewinne aus Luftrückkühlung:

$Q_{\text{Sol,LK}} \sim 13.000 \text{ kWh/a}$



Aufbau und Wirkungsweise des Absorberkollektoren-Doppeldaches

### 3. Reduktion der Transmissionswärmeverluste:

Als dritte energieeintragende bzw. energieverlustreduzierende Wirkung des Absorber-Kollektoren-Doppeldaches, besitzt dieses im Vergleich zu konventionellen Dachsystemen ähnlicher Konstruktionsart einen außerordentlich hohen Wärmedurchgangswiderstand. Durch die vollständige Umschließung bzw. Überdeckung der wärmeübertragenden Hüllfläche im Dachbereich mit Glas, stellt sich eine Art Wintergarteneffekt ein. Die dreieckigen Lufträume heizen sich bereits bei geringer Sonneneinstrahlung auf, wodurch die Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Luft in den Dachdrehen reduziert wird und die Wärmeverluste entsprechend niedrig ausfallen.

### 3. Reduktion der Transmissionswärmeverluste:

~ 13.000kWh/a



## Über Absorber-Kollektoren-Doppeldach (AKD): natürliche Belichtung reduziert Beleuchtungskosten in hohem Maße

### 4. Reduzierung der Beleuchtungskosten

Eine weitere energieoptimierende Wirkung entfaltet das Absorber-Kollektoren-Doppeldach, indem es die natürliche Belichtung bisher künstlich beleuchteter Hallenbereiche ermöglicht. Durch die nach Süden geneigten Kollektorenflächen entstehen nach Norden orientierte Shed-Belichtungsbänder. Das diffuse und damit blendfreie Nordlicht illuminiert die tiefen Hallenräume auf natürliche Weise. Auf eine künstliche Tageslichtergänzungsbeleuchtung kann verzichtet werden und auch für Veranstaltungen, die in einem späteren Tagesbereich stattfinden, können die Beleuchtungsmittel länger ausgeschaltet bleiben. Dadurch reduziert sich der Stromverbrauch für die künstliche Beleuchtung des Saales erheblich.



Innenraum nach Nord-Osten



Innenraum nach Osten



Innenraum nach Nord-Westen



## Was kostet die Kilowattstunde regenerativer Energie aus dem Absorber-Kollektoren-Doppeldach (AKD)?

Ermittlung der Kosten der solaren Nutzwärme, eingetragen durch das Absorber-Kollektoren-Doppeldach mit einer Fläche von 400 m<sup>2</sup>:

Was kostet die durch das AKD regenerativ erzeugte kWh Wärmemenge?

1. Jährlicher Ertrag solarer Nutzenergie ( $Q_{\text{sol}}$ ) durch das in Attendorn realisierte Absorber-Kollektoren-Doppeldach

$$Q_{\text{sol}} = 205.000 \text{ kWh/a}$$

2. Investitionskosten des 400 m<sup>2</sup> großen Absorber-Kollektoren-Doppeldaches (inkl. Hochtemperatur-Tiefenspeicher):

angesetzte Kosten pro m<sup>2</sup>

$$K_{\text{AKD}} = 1.000 \text{ €/m}^2$$

$$K_{\text{invest}} = 400 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ €}$$

$$= 400.000 \text{ €}$$

3. Kosten der solaren Nutzwärme pro kWh/a

$$K_{\text{invest}} = K_{\text{invest}} \times f_a$$

$$= 400.000 \text{ €} \times 0,0782$$

$$= 24.000 \text{ €/a}$$

$$K_{\text{sol}} = K_{\text{invest}} / Q_{\text{sol}}$$

$$= 24.000 \text{ €/a} : 205.000 \text{ kWh}$$

$$= 0,117 \text{ €/kWh}$$

Die durch das AKD erzeugte Kilowattstunde Wärmeenergie kostet 15 Cent.

Damit wird der Grenzwert für maximal im Förderkonzept "Solarthermie 2000plus" zugelassene Kosten ( $K_{\text{sol}} = 30 \text{ Cent/kWh}$ ) der solaren Nutzwärme für Kombianlagen deutlich unterschritten. Der solare Deckungsanteil des AKD am gesamten Wärmebedarf der Mensa beträgt mehr als 100%.



# Speicherung überschüssiger Wärmeeinträge im Hochtemperatur-Tiefenspeicher

Bei der thermischen Solarenergienutzung liegt ein entgegengesetztes Verhältnis von Angebot und Nachfrage der Nutzwärme vor. Während im Sommer die Solarwärmeeinstrahlung am höchsten ist, kann zu dieser Jahreszeit nur relativ wenig dieser Wärmemenge zur Raumbeheizung genutzt werden. Im Winter ist dies genau umgekehrt. Die Lösung besteht darin, die Wärme aus dem Sommer durch eine Speicherung bis in die Wintermonate nutzbar zu machen.

Üblicherweise ist diese Technologie mit relativ hohen Investitionskosten verbunden. Nicht so bei dem hier verwendeten Hochtemperatur-Tiefenspeicher. Dieser besteht aus einer Reihe ringförmig angeordneter Tiefenbohrungen, in die Sonden aus mehreren Kunststoffrohren eingebracht werden und schließlich mit einer hochtemperaturbeständigen Masse verfüllt werden. Durch die Sonden fließt Wasser und kann somit überschüssige Wärmeeinträge aus dem Absorber-Kollektoren-Doppeldach ins Erdreich befördern. Das gesamte angebohrte Erdvolumen fungiert somit als große Speichermasse. Im Prinzip handelt es sich somit um einen großen Felszylinder, in dem durch seine hohe spezifische Masse große Mengen an Wärme für eine äußerst lange Zeit eingespeichert werden können und die Temperaturen auf bis zu 80°C anwachsen können.



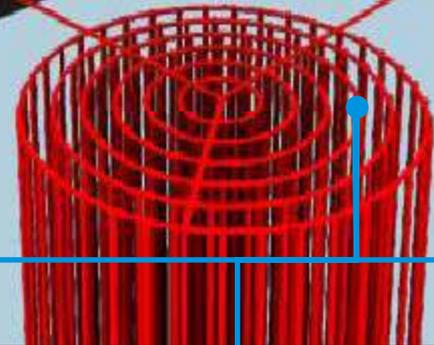
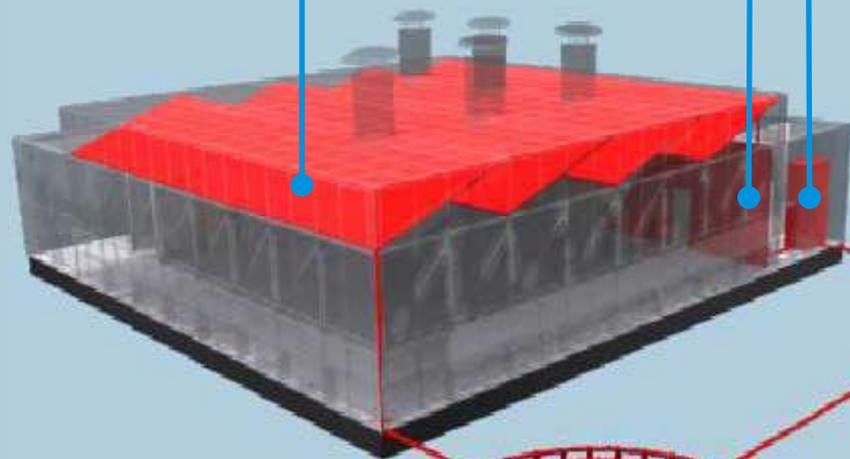
Absorber-Kollektoren-Doppeldach



Strahlungsheizsystem



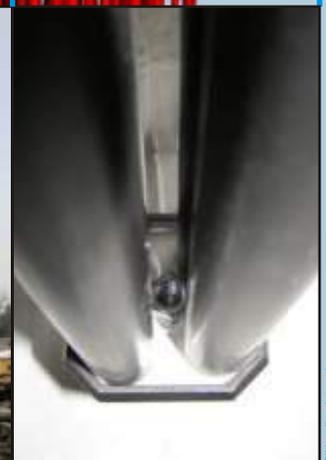
Wärmepumpe



Tiefenbohrung

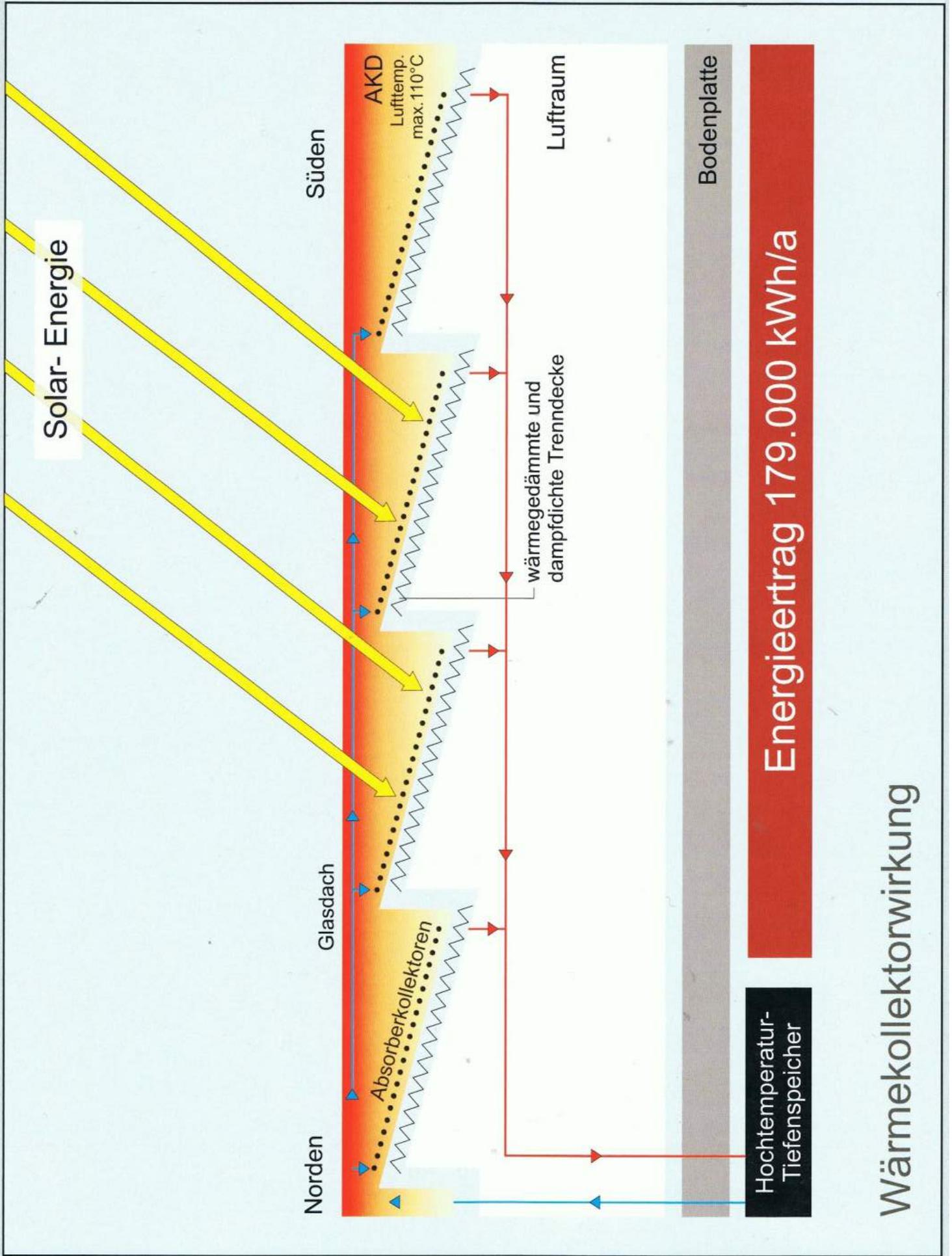


Einbringen der Sonden und verfüllen der Bohrlöcher



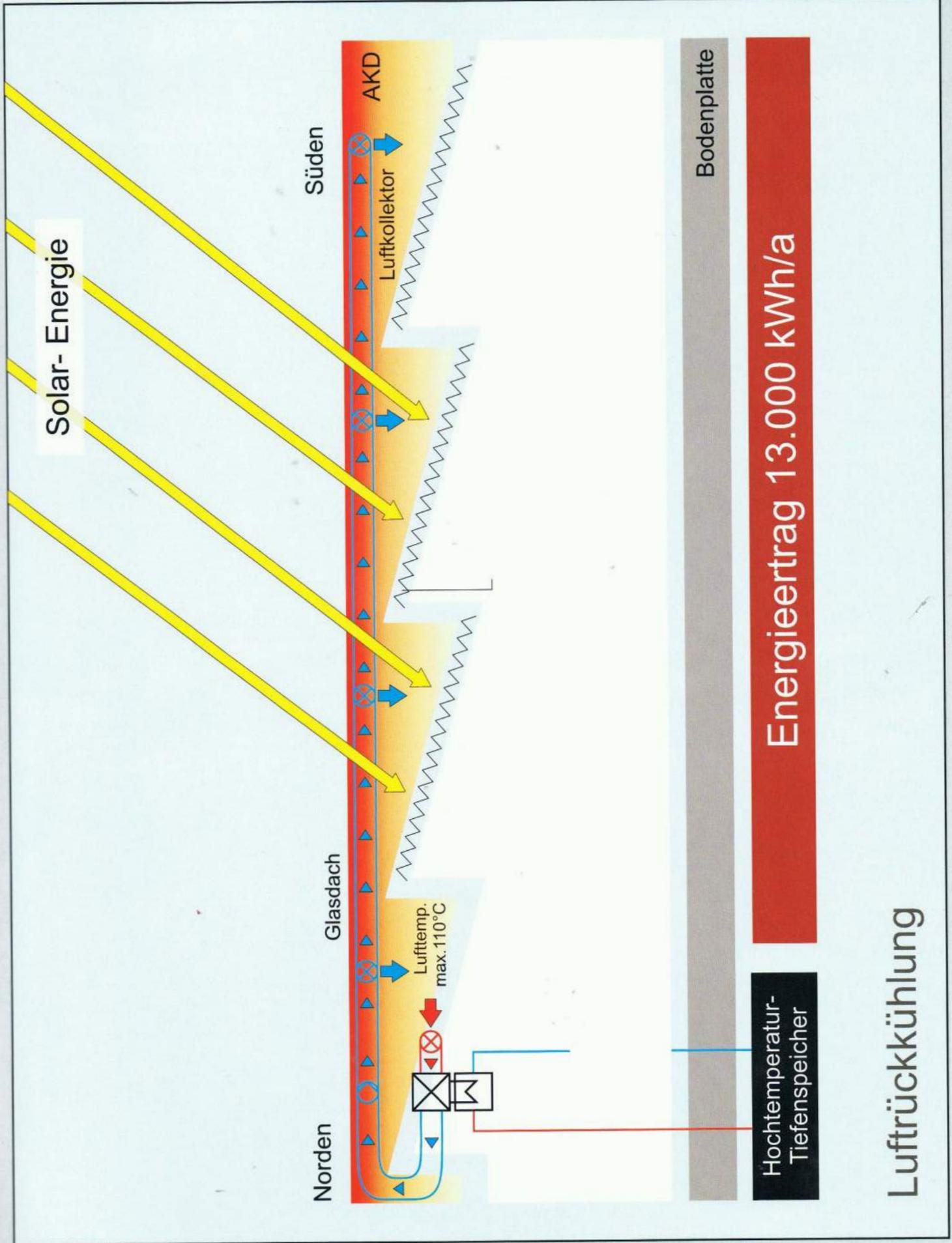
Detail einer Doppel-U-Sonde

# Wärmekollektorenwirkung des Absorber-Kollektoren-Doppeldaches



Wärmekollektorwirkung

# Luftrückkühlung des Absorber-Kollektoren-Doppeldaches



Solar-Energie

Süden

AKD

Luftkollektor

Glasdach

Lufttemp.  
max. 110°C

Norden

Hochtemperatur-  
Tiefenspeicher

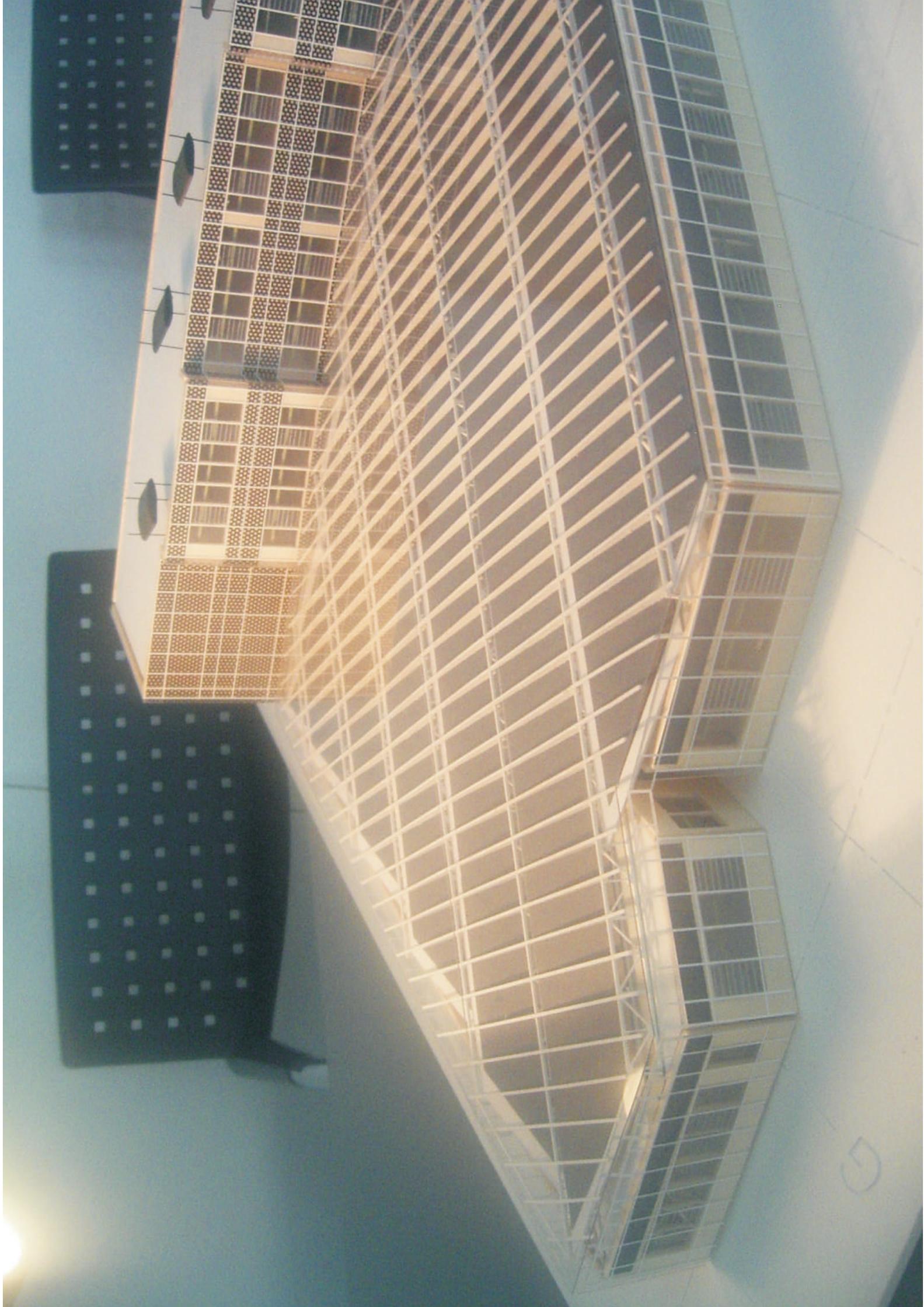
Bodenplatte

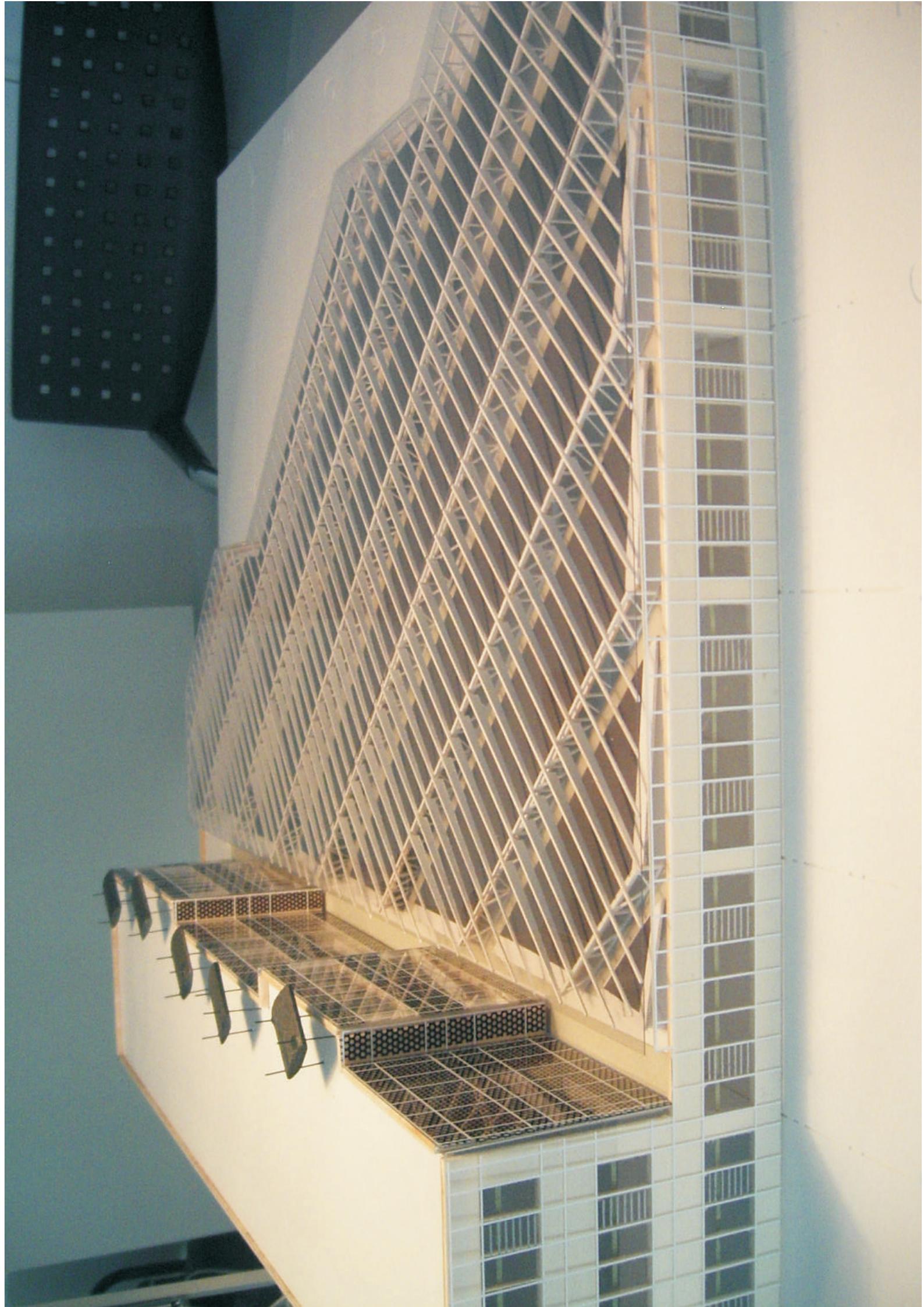
Energieertrag 13.000 kWh/a

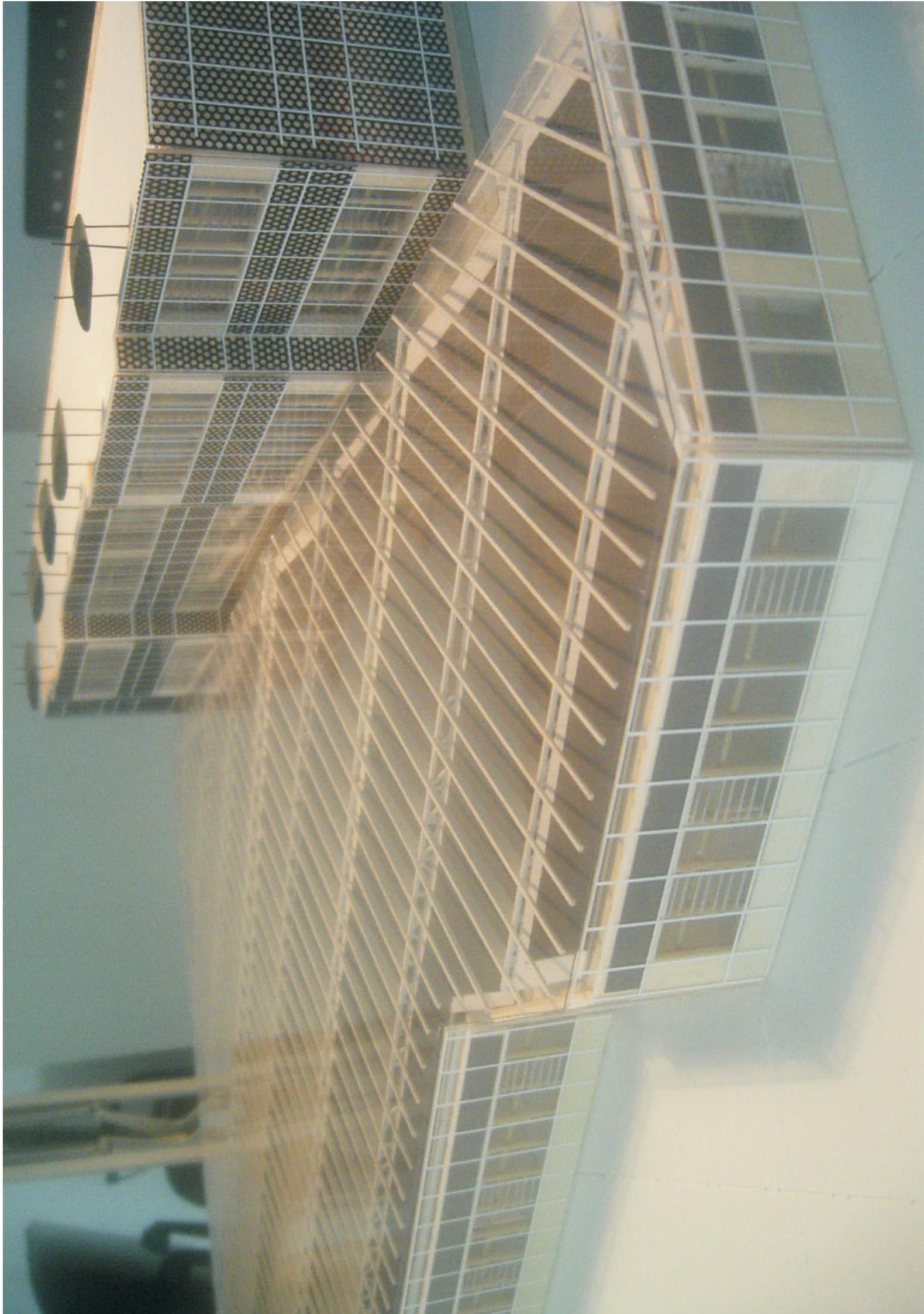
Luftrückkühlung

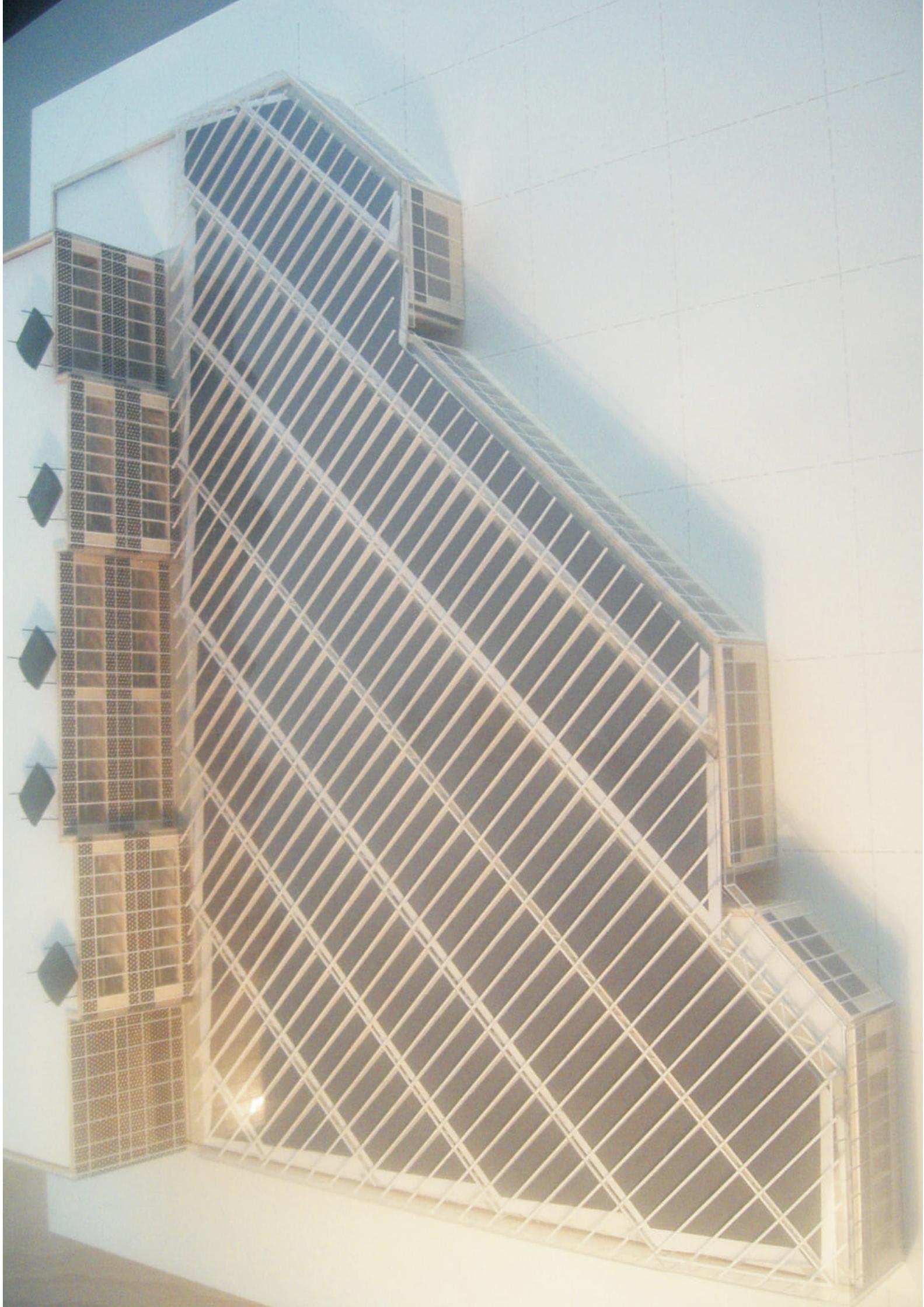
# ANHANG 6

**Modellfotos + Konstruktionsdetails des  
Absorberkollektoren-Doppeldachs (AKD)**

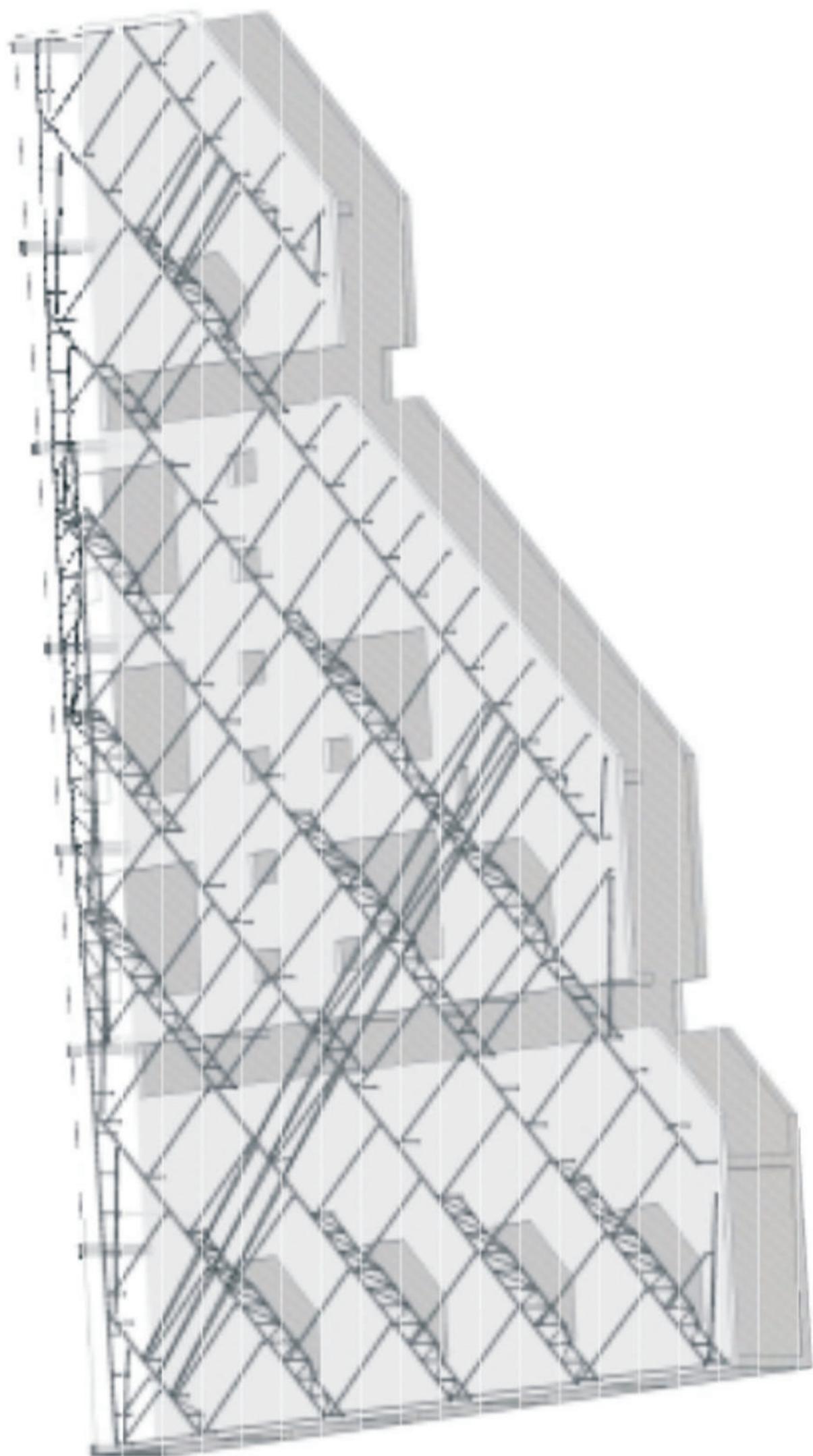




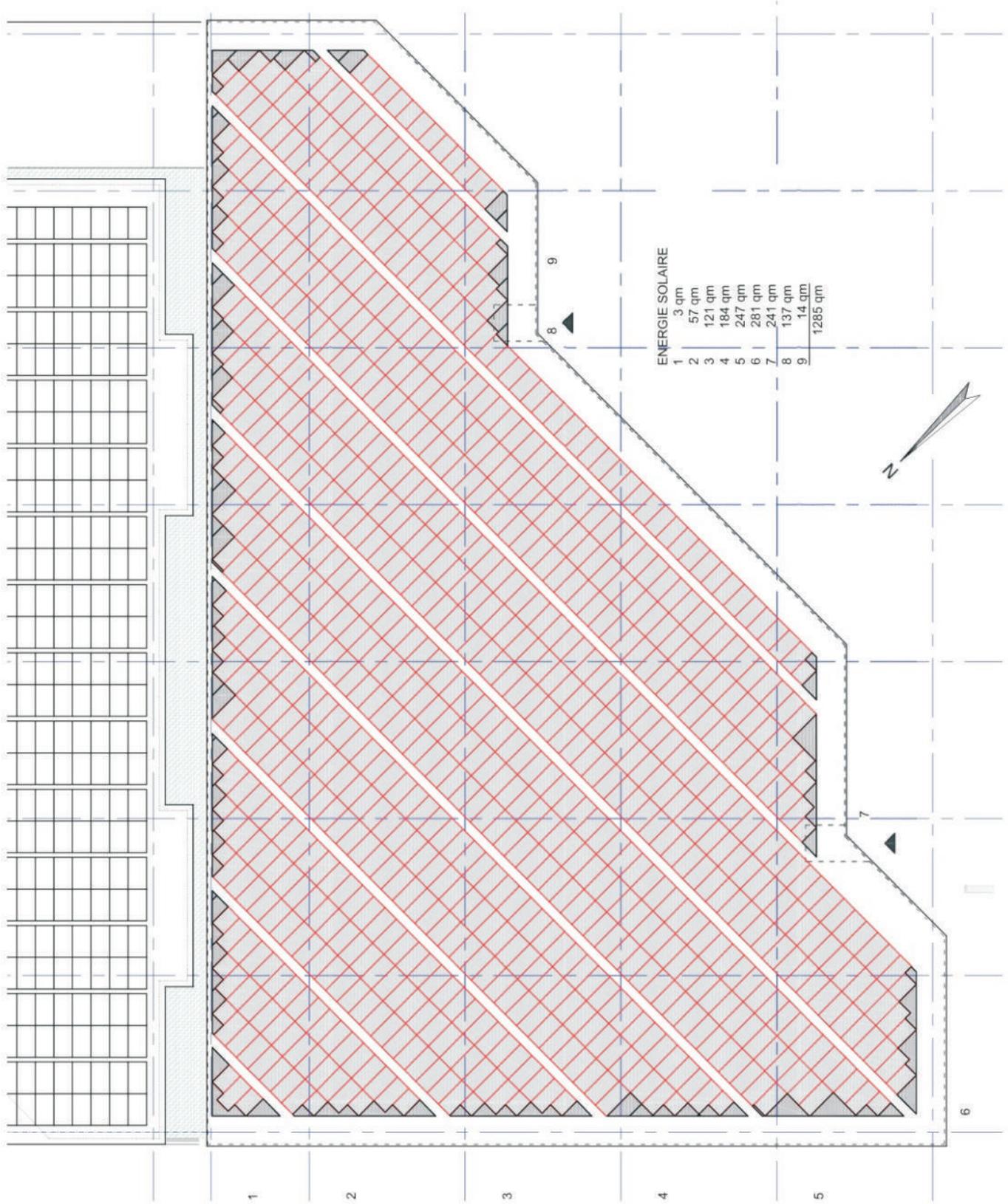


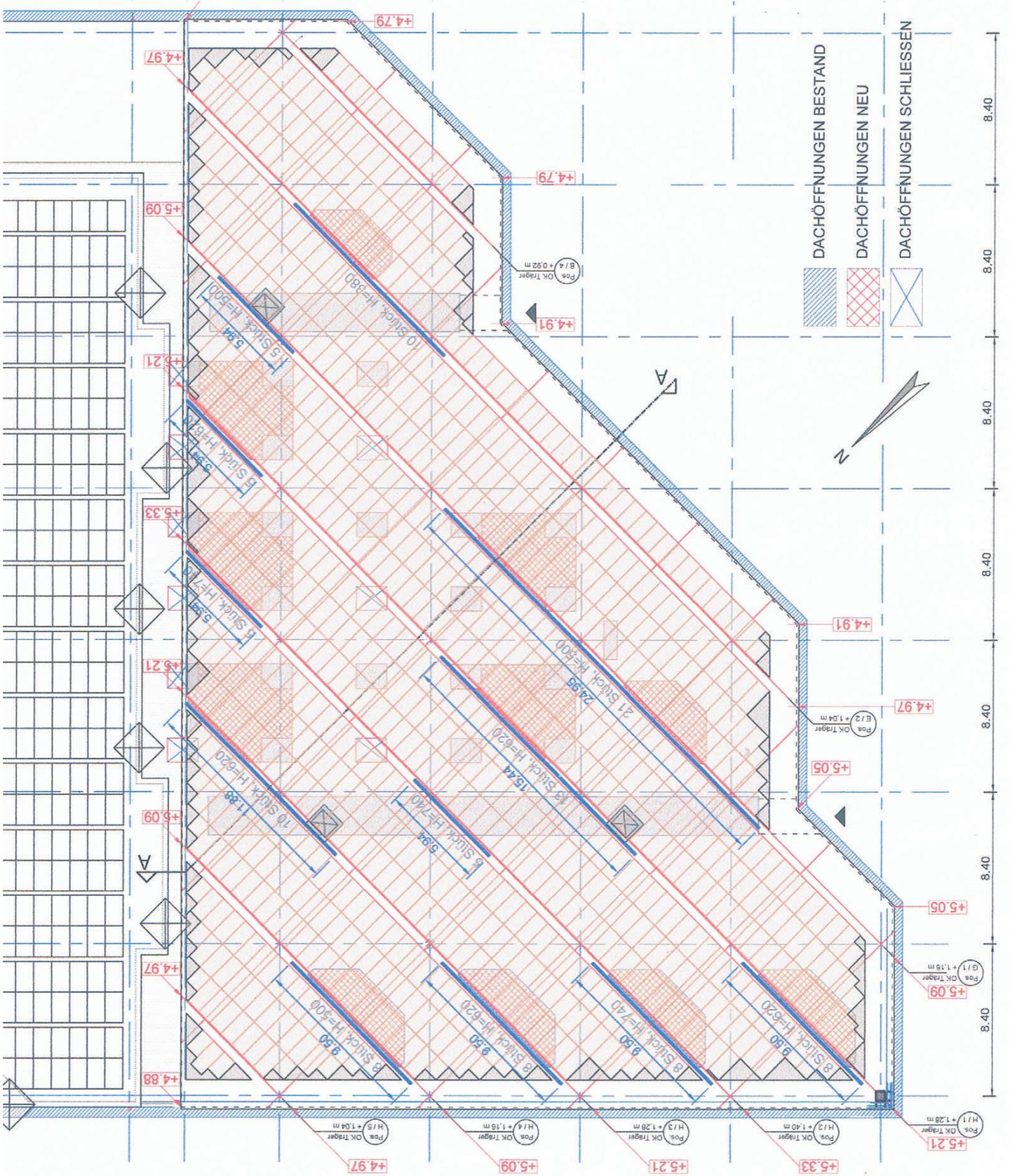


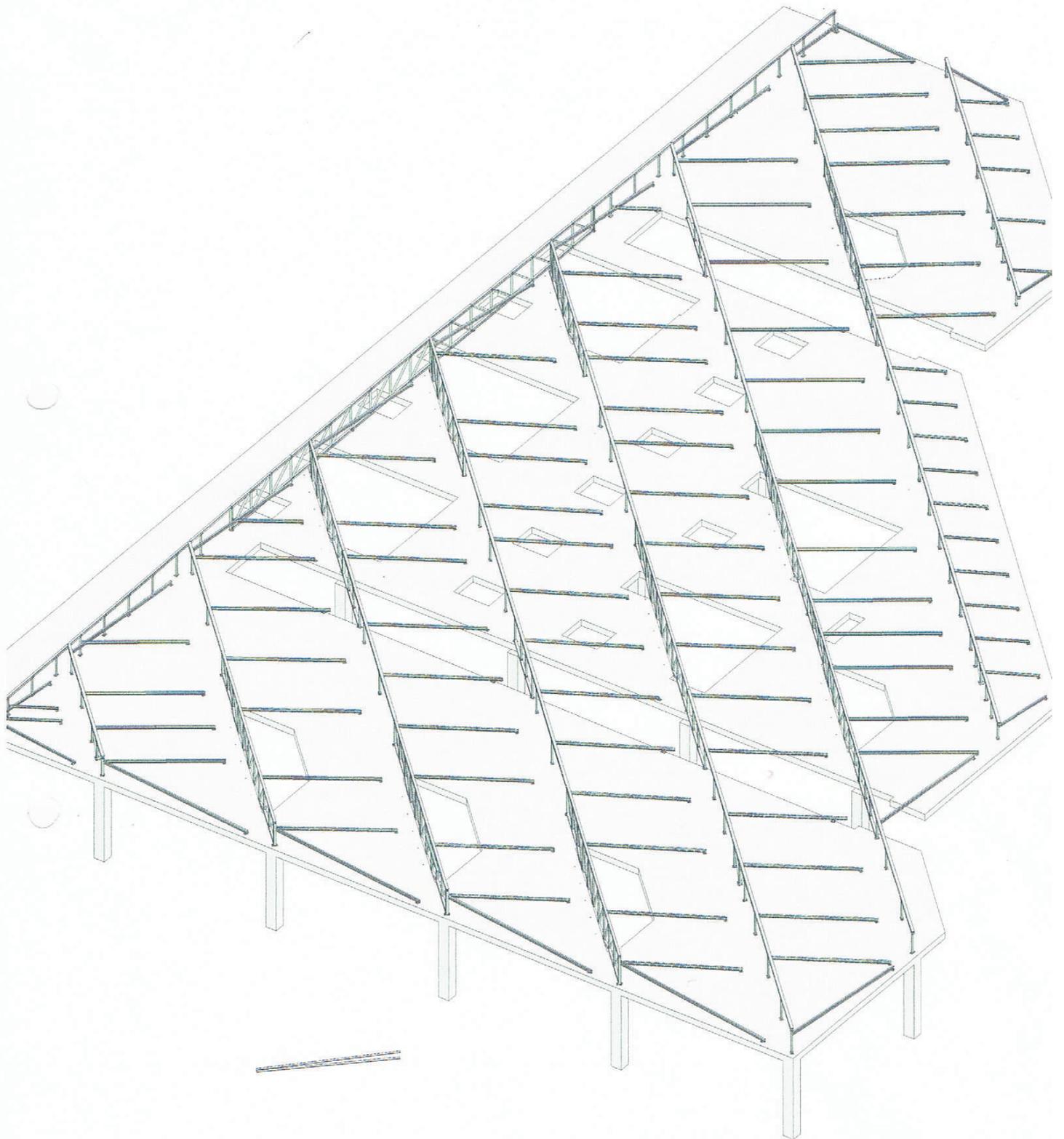


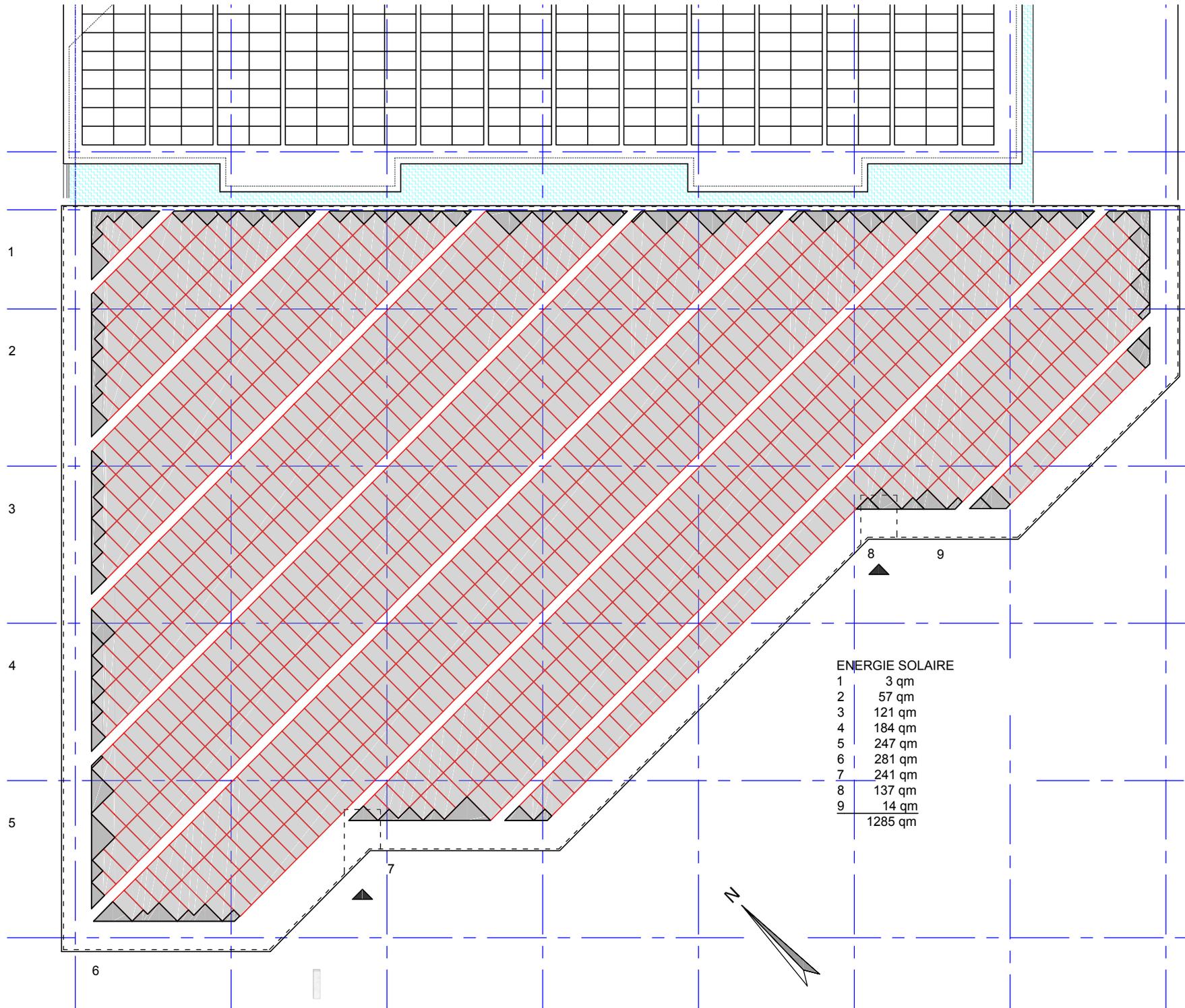


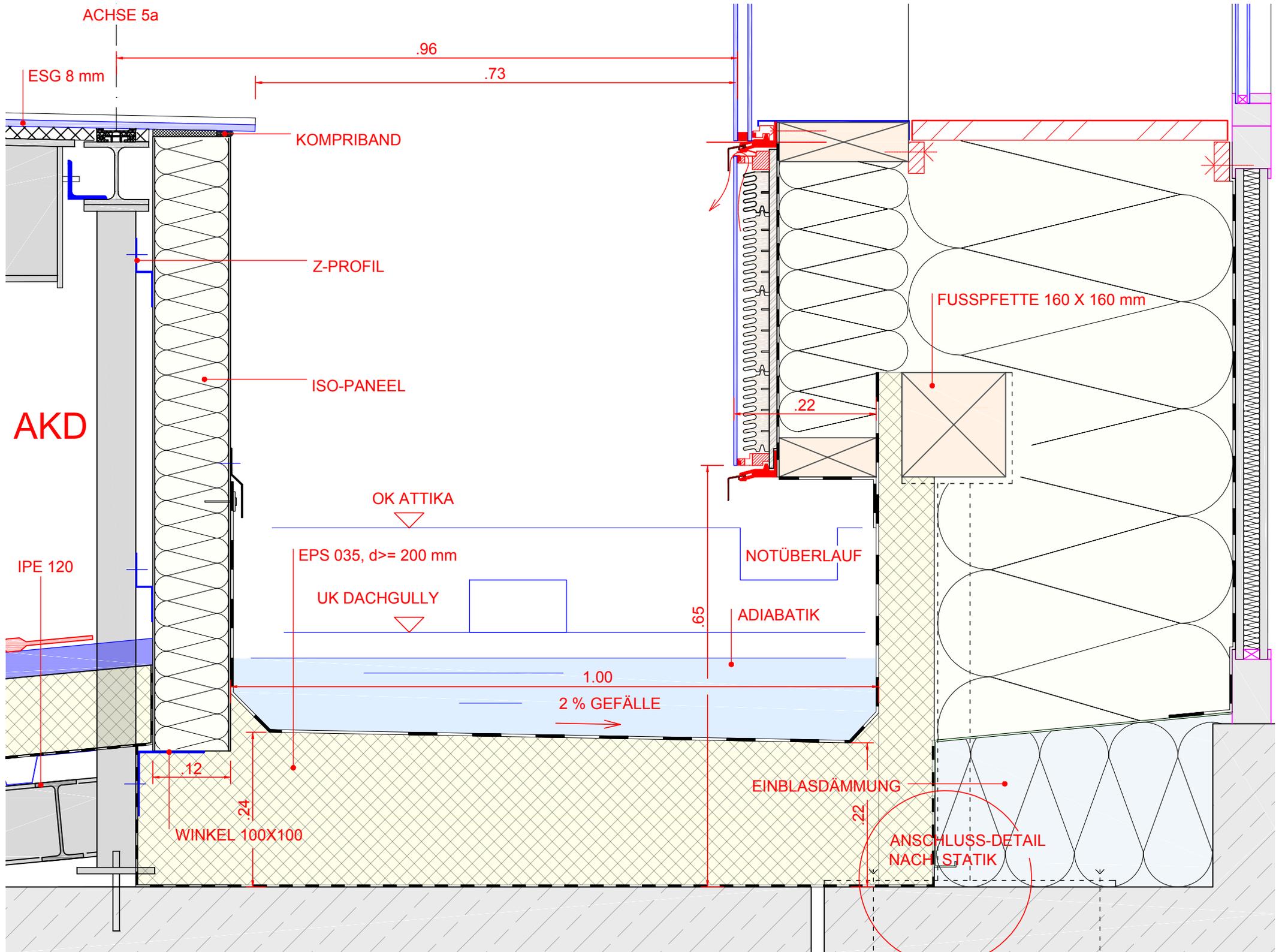


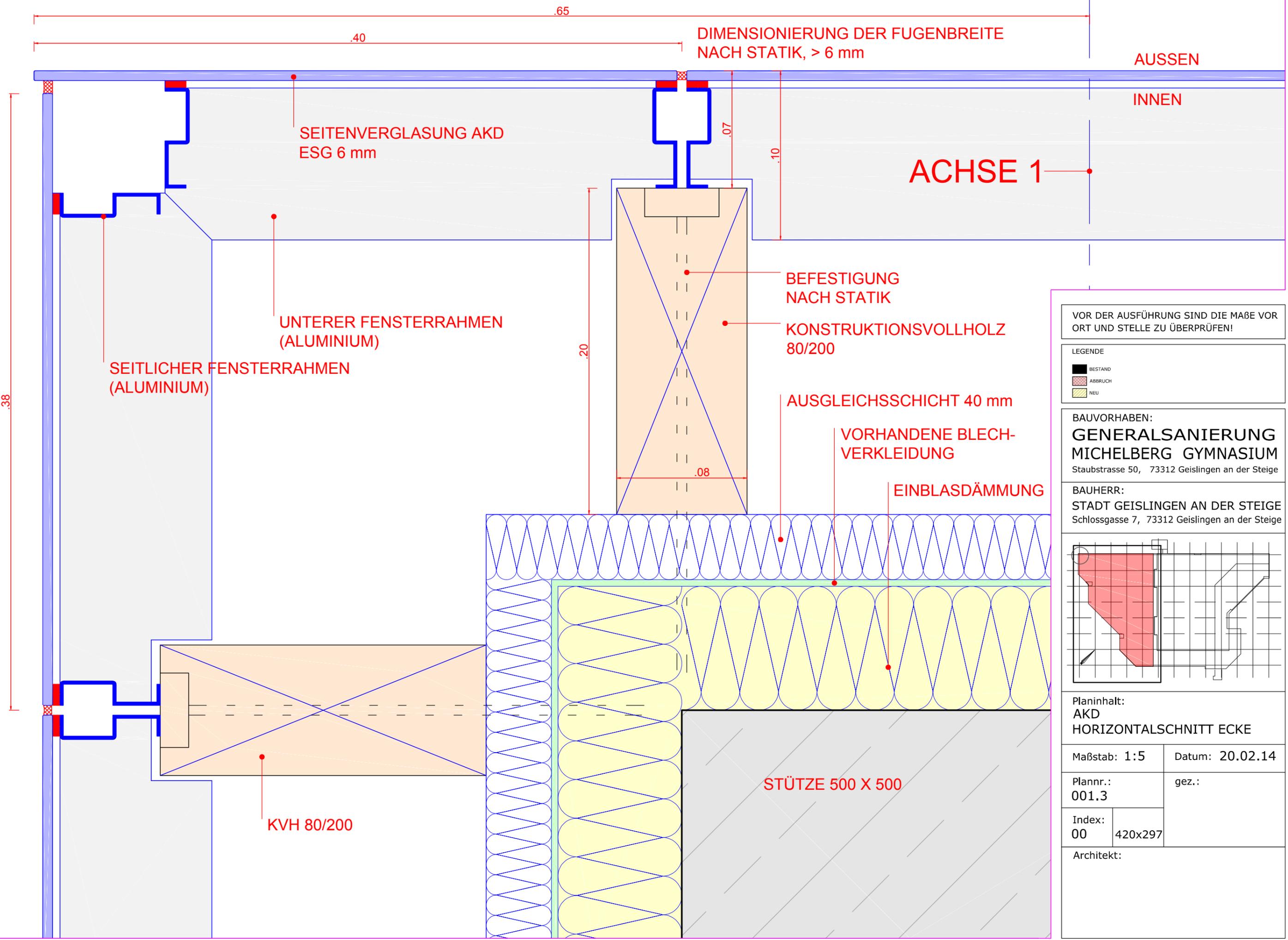












DIMENSIONIERUNG DER FUGENBREITE NACH STATIK, > 6 mm

AUSSEN

INNEN

SEITENVERGLASUNG AKD  
ESG 6 mm

ACHSE 1

UNTERER FENSTERRAHMEN  
(ALUMINIUM)

BEFESTIGUNG  
NACH STATIK

KONSTRUKTIONSVOLLHOLZ  
80/200

SEITLICHER FENSTERRAHMEN  
(ALUMINIUM)

AUSGLEICHSSCHICHT 40 mm

VORHANDENE BLECH-  
VERKLEIDUNG

EINBLASDÄMMUNG

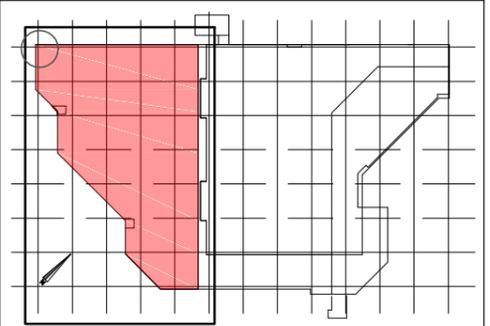
VOR DER AUSFÜHRUNG SIND DIE MAßE VOR ORT UND STELLE ZU ÜBERPRÜFEN!

LEGENDE

- BESTAND
- ABBRUCH
- NEU

BAUVORHABEN:  
**GENERALSANIERUNG  
MICHELBERG GYMNASIUM**  
Staubstrasse 50, 73312 Geislingen an der Steige

BAUHERR:  
**STADT GEISLINGEN AN DER STEIGE**  
Schlossgasse 7, 73312 Geislingen an der Steige



Planinhalt:  
AKD  
HORIZONTALSCHNITT ECKE

Maßstab: 1:5 Datum: 20.02.14

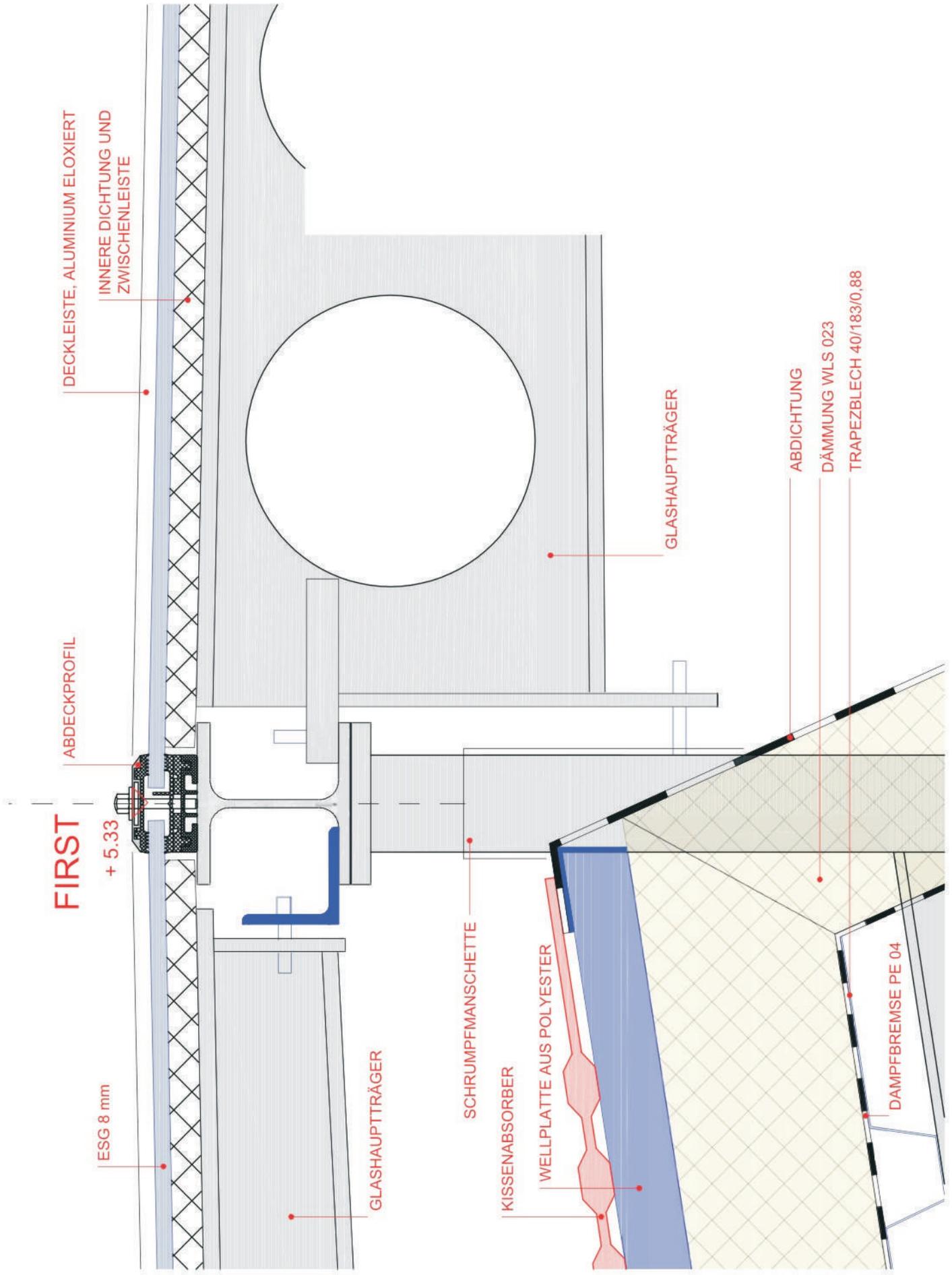
Plannr.: 001.3 gez.:

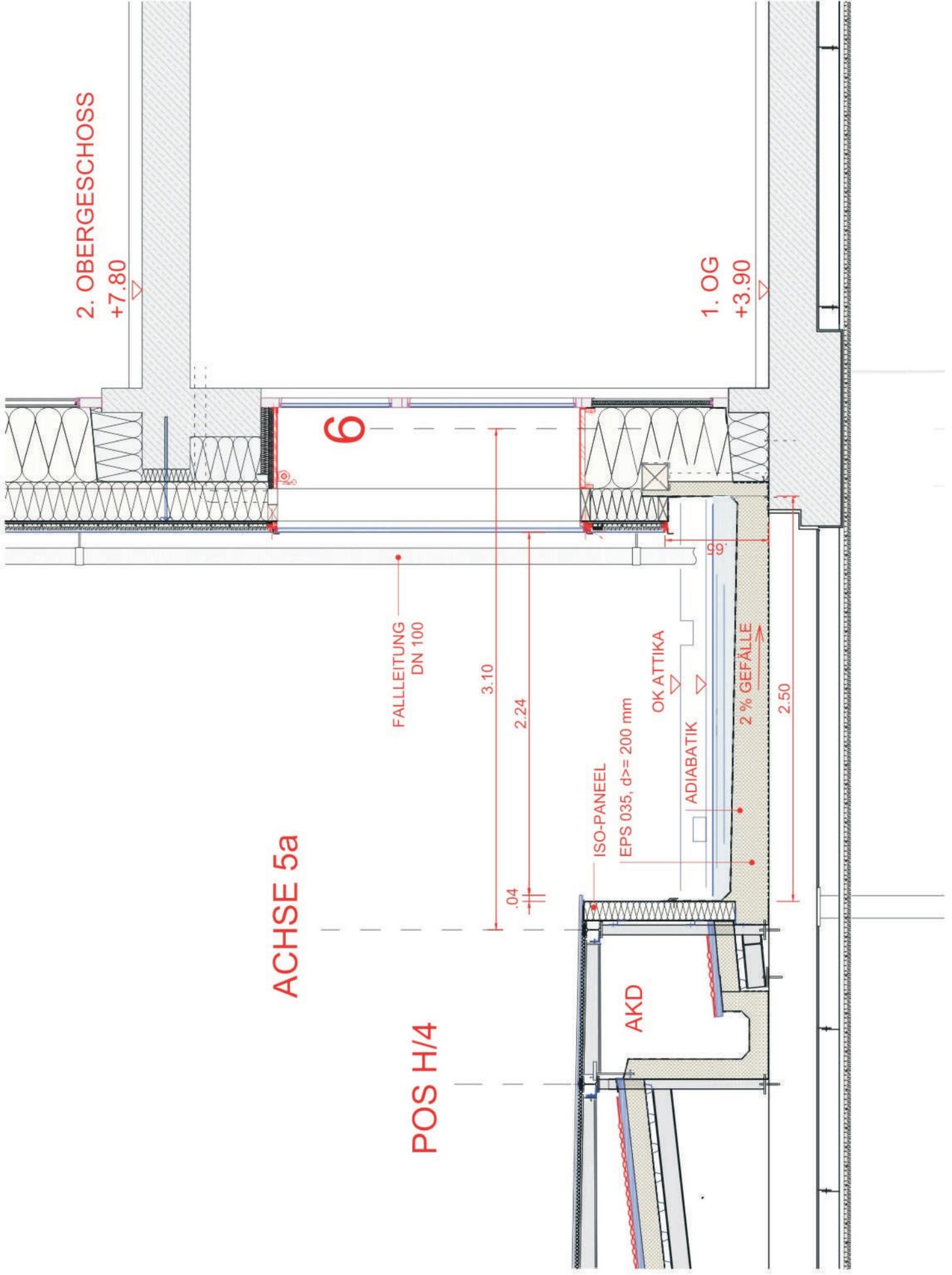
Index: 00 420x297

Architekt:

STÜTZE 500 X 500

KVH 80/200





2. OBERGESCHOSS  
+7.80

1. OG  
+3.90

6

FALLEITUNG  
DN 100

3.10

2.24

.04

ISO-PANEEEL

EPS 035,  $d \geq 200$  mm

OK ATTIKA

ADIABATIK

2 % GEFÄLLE

2.50

ACHSE 5a

POS H/4

AKD

# ANHANG 7

Planung einer maximalen Eigenenergie-  
nutzung des eingetragenen Solarstromes

### Planung einer max. Eigenenergienutzung des Solarstroms

- Eigenverbrauch  
Die Schule braucht pro Jahr rund 150 000 bis 200 000kWh, auf den Monat gemittelt rund 12 000 bis 17 000kWh.  
Wenn davon ausgegangen wird, dass der Tiefenspeicher voll ist und die nötige Wärmeenergie zur Verfügung stellt, wenn weiter davon ausgegangen wird, dass standby-Strom minimiert wird und dass der EDV-Betrieb sich auf die Tageszeit beschränkt, kann ein maximaler Eigenenergieverbrauch des erzeugten Solarstroms erzielt werden.
- Auslegung der Anlagen  
Die vorgesehenen Solarstromanlagen erzeugt über den Jahresschnitt knapp die benötigte elektr. Energie. Die Anlagen werden eher unterdurchschnittlich ausgelegt, da davon ausgegangen wird, dass die Verbraucher –Geräte mit der Zeit energieeffizienter werden.  
Es sind folgende Teilanlagen vorgesehen:  
Fassade: Ausrichtung nach Südost (23 kWp) und Südwest (17kWp)  
Dach: Ost/West Anlage (165 kWp)

Die Anlagen sind so angeordnet, dass über den ganzen Tagesverlauf genügend Strom produziert wird. Es soll verhindert werden, dass um die Mittagszeit zu viel Strom produziert wird, welcher in der Schule nicht konsumiert werden kann.

Die Anlagen erreichen zu folgender Zeit das Produktions Maximum:

Fassade SO : 8.30 h  
Dach Ost 15 Grad Neigung: 10 h  
Dach Ost 5 Grad Neigung: 11h  
Dach West 5 Grad Neigung 13 h  
Dach West 15 Grad Neigung: 14 h  
Fassade SW 15.30 h

Der Eigendeckungsgrad beträgt im Januar rund 30-40%, im März 90%, Juni über 100% (150%), September 100%, Dezember 25-40%.

- Weiteres Vorgehen  
Die geplante Anlage verspricht einen hohen Eigendeckungsgrad über Monatszeiträume aber auch, was ganz wichtig ist, über den Tagesverlauf. Sie weist zudem mit den Dachanlagen eine hohe Flexibilität aus. Im weiteren stellen die Fassadenanlagen eine hohe Betriebssicherheit auch im Winter dar.  
Es ist vorgesehen, die Ausführung zusammen mit dem Nutzer so ausulegen, dass sie optimal betrieben werden kann.

**1. Berechnung mit Daten von PV gis**

Dach 165 kWp (Ost/West, 5Grad Neigung)

Fassade 50 kWp

	Dach		Fassade		Summe		Summe korr. *	Nutzung
	kWh/kWp	kWh	kWh/kWp	kWh	kWh/kWp	kWh		
Jan	22	3'647	30	1'470	24	5'117	5'117	31%
Febr	37	6'072	40	1'960	37	8'032	8'032	48%
März	72	11'880	62	3'079	70	14'959	14'959	90%
April	110	18'150	78	3'861	103	22'011	22'011	132%
Mai	123	20'295	72	3'564	111	23'859	23'859	143%
Juni	132	21'780	71	3'519	118	25'299	25'299	152%
Juli	130	21'450	73	3'594	117	25'044	6'261	38%
Aug	109	17'985	71	3'519	100	21'504	16'128	97%
Sept	80	13'217	64	3'173	76	16'389	16'389	98%
Okt	50	8'283	51	2'505	50	10'788	10'788	65%
Nov	25	4'175	32	1'574	27	5'749	5'749	34%
Dez	18	3'020	24	1'208	20	4'227	4'227	25%
Total						182'978	158'820	79%

**2. Berechnung mit Daten von PV gis (Dach) und eigenen Daten (Fassade)**

Dach 165 kWp (Ost/West, 5Grad Neigung)

Fassade 50 kWp

	Dach		Fassade		Summe		Nutzung	
	kWh/kWp	kWh	kWh/kWp	kWh	kWh/kWp	kWh		
Jan	22	3'647	61	3'020	31	6'666	6'666	40%
febr	37	6'072	80	3'960	47	10'032	10'032	60%
März	72	11'880	78	3'861	73	15'741	15'741	94%
April	110	18'150	73	3'614	101	21'764	21'764	131%
Mai	123	20'295	51	2'525	106	22'820	22'820	137%
Juni	132	21'780	28	1'386	108	23'166	23'166	139%
Juli	130	21'450	57	2'822	113	24'272	6'068	36%
Aug	109	17'985	37	1'832	92	19'817	14'862	89%
Sept	80	13'217	55	2'723	74	15'939	15'939	96%
Okt	50	8'283	86	4'257	58	12'540	12'540	75%
Nov	25	4'175	84	4'158	39	8'333	8'333	50%
Dez	18	3'020	78	3'861	32	6'881	6'881	41%
Total						181'302	164'810	82%

\* Monatssummen korrigiert, d.h. Sommerferien abgezogen.

**3. Durchschnittlicher Verbrauch der Schule**

pro a 200'000 kWh  
 pro mt 16'667 kWh

**4. Maximale Stromgewinnung der Anlagen**

Dach Osten 11h  
 Dach Westen 13h  
 Fassade SO 8.30h  
 Fassade SW 15.30h

**1. Berechnung mit Daten von PV gis**

Dach 165 kWp (Ost/West, 15 Grad Neigung)

Fassade 50 kWp

	Dach		Fassade		Summe		Summe korr. *	Nutzung
	kWh/kWp	kWh	kWh/kWp	kWh	kWh/kWp	kWh		
Jan	22	3'630	30	1'470	24	5'100	5'100	31%
Febr	37	6'056	40	1'960	37	8'016	8'016	48%
März	72	11'831	62	3'079	70	14'909	14'909	89%
April	110	18'150	78	3'861	103	22'011	22'011	132%
Mai	123	20'295	72	3'564	111	23'859	23'859	143%
Juni	131	21'615	71	3'519	117	25'134	25'134	151%
Juli	129	21'285	73	3'594	116	24'879	6'220	37%
Aug	109	17'985	71	3'519	100	21'504	16'128	97%
Sept	80	13'167	64	3'173	76	16'340	16'340	98%
Okt	50	8'267	51	2'505	50	10'771	10'771	65%
Nov	25	4'158	32	1'574	27	5'732	5'732	34%
Dez	18	3'003	24	1'208	20	4'211	4'211	25%
Total						182'467	158'432	79%

**2. Berechnung mit Daten von PV gis (Dach) und eigenen Daten (Fassade)**

Dach 165 kWp (Ost/West, 15 Grad Neigung)

Fassade 50 kWp

	Dach		Fassade		Summe		Nutzung	
	kWh/kWp	kWh	kWh/kWp	kWh	kWh/kWp	kWh		
Jan	22	3'630	61	3'020	31	6'650	6'650	40%
febr	37	6'056	80	3'960	47	10'016	10'016	60%
März	72	11'831	78	3'861	73	15'692	15'692	94%
April	110	18'150	73	3'614	101	21'764	21'764	131%
Mai	123	20'295	51	2'525	106	22'820	22'820	137%
Juni	131	21'615	28	1'386	107	23'001	23'001	138%
Juli	129	21'285	57	2'822	112	24'107	6'027	36%
Aug	109	17'985	37	1'832	92	19'817	14'862	89%
Sept	80	13'167	55	2'723	74	15'890	15'890	95%
Okt	50	8'267	86	4'257	58	12'524	12'524	75%
Nov	25	4'158	84	4'158	39	8'316	8'316	50%
Dez	18	3'003	78	3'861	32	6'864	6'864	41%
Total						180'807	164'423	82%

\* Monatssummen korrigiert, d.h. Sommerferien abgezogen.

**3. Durchschnittlicher Verbrauch der Schule**

pro a kWh 200'000  
pro mt kWh 16'667

**4. Maximale Stromgewinnung der Anlagen**

Dach Osten 10h  
Dach Westen 14h  
Fassade SO 8.30h  
Fassade SW 15.30h

**1. Berechnung mit Daten von PV gis**

Dach 165 kWp (Ost/West, 25 Grad Neigung)

Fassade 50 kWp

	Dach		Fassade		Summe		Summe korr. : kWh	Nutzung
	kWh/kWp	kWh	kWh/kWp	kWh	kWh/kWp	kWh		
Jan	22	3'581	30	1'470	24	5'051	5'051	30%
Febr	36	5'940	40	1'960	37	7'900	7'900	47%
März	70	11'583	62	3'079	68	14'662	14'662	88%
April	107	17'655	78	3'861	100	21'516	21'516	129%
Mai	119	19'635	72	3'564	108	23'199	23'199	139%
Juni	128	21'120	71	3'519	115	24'639	24'639	148%
Juli	125	20'625	73	3'594	113	24'219	6'055	36%
Aug	106	17'490	71	3'519	98	21'009	15'757	95%
Sept	78	12'887	64	3'173	75	16'059	16'059	96%
Okt	49	8'118	51	2'505	50	10'623	10'623	64%
Nov	25	4'092	32	1'574	26	5'666	5'666	34%
Dez	18	2'954	24	1'208	19	4'161	4'161	25%
Total						178'705	155'289	78%

**2. Berechnung mit Daten von PV gis (Dach) und eigenen Daten (Fassade)**

Dach 165 kWp (Ost/West, 25 Grad Neigung)

Fassade 50 kWp

	Dach		Fassade		Summe		kWh	Nutzung
	kWh/kWp	kWh	kWh/kWp	kWh	kWh/kWp	kWh		
Jan	22	3'581	61	3'020	31	6'600	6'600	40%
febr	36	5'940	80	3'960	46	9'900	9'900	59%
März	70	11'583	78	3'861	72	15'444	15'444	93%
April	107	17'655	73	3'614	99	21'269	21'269	128%
Mai	119	19'635	51	2'525	103	22'160	22'160	133%
Juni	128	21'120	28	1'386	105	22'506	22'506	135%
Juli	125	20'625	57	2'822	109	23'447	5'862	35%
Aug	106	17'490	37	1'832	90	19'322	14'491	87%
Sept	78	12'887	55	2'723	73	15'609	15'609	94%
Okt	49	8'118	86	4'257	58	12'375	12'375	74%
Nov	25	4'092	84	4'158	38	8'250	8'250	50%
Dez	18	2'954	78	3'861	32	6'815	6'815	41%
Total						177'095	161279.25	0.806396

\* Monatssummen korrigiert, d.h. Sommerferien abgezogen.

kWh

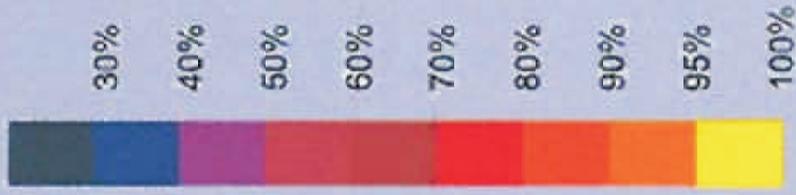
**3. Durchschnittlicher Verbrauch der Schule**

pro a 200000  
 pro mt 16666.66667

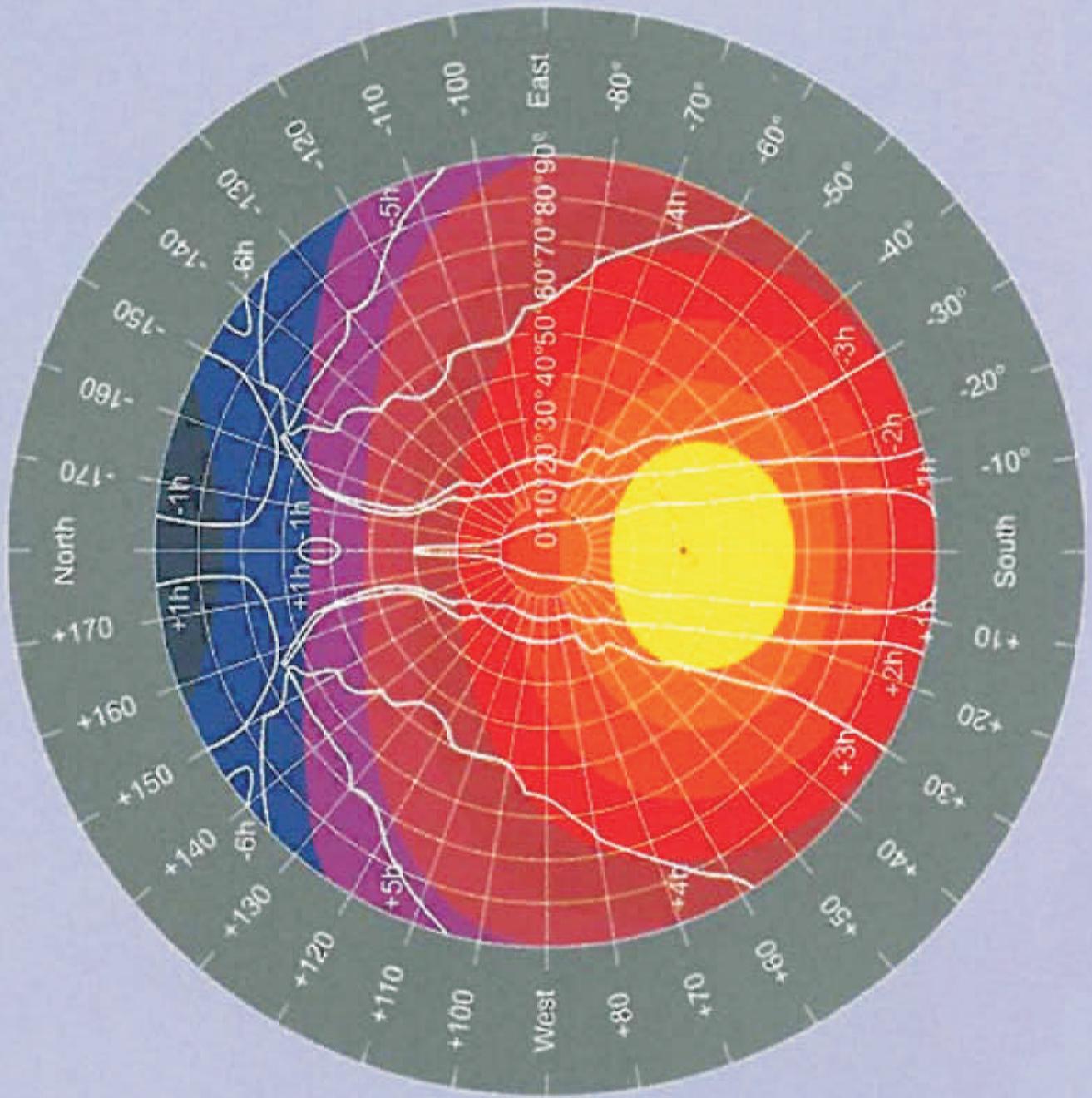
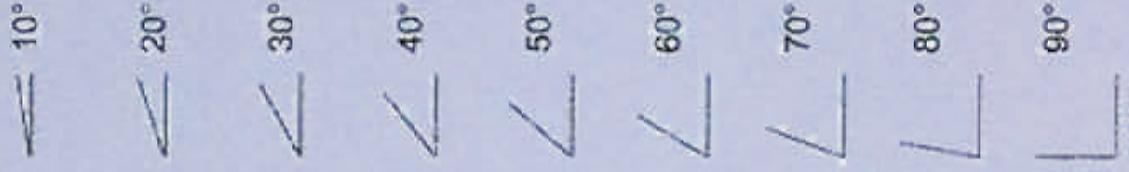
**4. Maximale Stromgewinnung der Anlagen**

Dach Osten	8.45 h
Dach Westen	15.15h
Fassade SO	8.30h
Fassade SW	15.30h

jährliche  
Einstrahlung

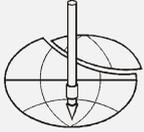


Neigungs-  
winkel



# ANHANG 8

Berichte zur Geothermischen/  
Geotechnischen Erkundung



**GEOTECHNIK** GmbH

Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner

Lammelbach 5

91567 Herrieden

**web:** [www.geotechnik-gmbh.com](http://www.geotechnik-gmbh.com)  
**e-mail:** [GEOTECHNIK\\_GmbH@t-online.de](mailto:GEOTECHNIK_GmbH@t-online.de)

**Büro 1:** Lammelbach 5  
91567 Herrieden

Telefon: 09825 – 9 34 13  
09825 – 9 34 14  
Telefax: 09825 – 9 34 15

Funktelefon 1: 0170 – 4751946  
Funktelefon 2: 0170 – 5533881

**Büro 2:** Hans-Böckler-Straße 1  
57223 Kreuztal – Buschhütten

Telefon: 02732 – 55 28 26  
Telefax: 02732 – 55 28 27

# Energetische Aufrüstung Michelberg- Gymnasium Geislingen a.d. Steige in 73312 Geislingen a.d. Steige

**- Stufe 1 –**

**Grundsatzuntersuchung und Machbarkeit zur  
geothermischen Nutzung**

GEOTECHNIK GmbH  
Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner

Sitz der Gesellschaft:  
Lammelbach 5 91567 Herrieden

Geschäftsführerin: Gertrud Herrmann Registergericht Ansbach HRB 2142

Bankverbindung:  
Vereinigte Sparkassen Stadt u. Landkreis Ansbach  
Konto Nr. 430 224 782 BLZ: 765 500 00  
Gewerbebank Ansbach eG  
Konto Nr. 5770 700 BLZ: 765 600 60

<b>Auftraggeber:</b>	Stadt Geislingen a.d. Steige Fachbereich 3 Herrn Fachbereichsleiter Vogelmann Schlossgasse 7  73312 Geislingen a.d. Steige
<b>Projekt:</b>	Energetische Aufrüstung des städtischen Michelberg-Gymnasiums in der Staubstraße 50 in 73312 Geislingen a. d. Steige
<b>Auftrag:</b>	Geotechnische Untersuchungen Stufe 1  Bericht zu den Grundsatzuntersuchungen zur Realisierbarkeit und Genehmigungsfähigkeit einer geothermischen Nutzung in Form eines Niedrig- und/oder Hochtemperaturspeichers
<b>Ihre Zeichen:</b>	Az.: 615.1 Auftrag vom 18.04.2013 Herr Fachbereichsleiter Vogelmann
<b>Unsere Zeichen:</b>	GEO-130330 Kostenangebot vom 05.04.2013
<b>Bearbeitung:</b>	Dipl.-Ing. Thorsten Lauber Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann
<b>Lammelbach,</b>	den 19.08.2013

<b>Inhaltsverzeichnis:</b>		<b>Seite</b>
<b>1</b>	<b>Vorgang</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Geotechnische und Hydrogeologische Untersuchungen</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Geologische Situation</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Beurteilung des Untergrundes zur geothermischen Speicherung</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussbemerkungen</b>	<b>21</b>

**Anlagen:**

---

**Anlage 1:                   Übersichtslageplan – Michelberg-Gymnasium  
der Stadt Geislingen an der Steige**

**Anlagengruppe 2:       Geotechnische Erkundungen zum Bau des  
Michelberg-Gymnasiums**  
Anlage 2.1 - Lageplan  
Anlage 2.2 – 2.5. Schichtenprofile B2, B3, B4, B7

**Anlage 3:                   Geologisches Profil**  
Anlage 3 - Geologisches Profil nach Geologischer Karte und  
vorhandenen Aufschlüssen und Speicherzone

## **1 Vorgang**

Die Stadt Geislingen an der Steige, vertreten durch den Leiter des Fachbereiches 3, Herrn Vogelmann, beauftragte uns mit dem Schreiben vom 18.04.2013 mit der Durchführung der Stufe 1 zu den Grundsatzuntersuchungen zur Realisierbarkeit und Genehmigungsfähigkeit einer geothermischen Nutzung in Form eines Niedrig- und/oder Hochtemperaturspeichers im Untergrund und zur Erstattung eines Berichtes zu diesen Untersuchungen. Die Stufe 1 ist die erste Stufe, die im Rahmen der Energetischen Aufrüstung des Michelberg-Gymnasiums der Stadt Geislingen an der Steige in der Staubstraße 50 in 73312 Geislingen a. d. Steige erfolgt.

Die Grundlage der Beauftragung ist unser Kostenangebot vom 05.04.2013.

## **2 Allgemeines**

Das Vorhaben zur Energetischen Aufrüstung des Städtischen Michelberg-Gymnasiums Geislingen an der Steige in der Staubstraße 50 in 73312 Geislingen a. d. Steige sieht für die Bestandsgebäude eine Bündelung von Maßnahmen zur Energetischen Aufrüstung am Städtischen Gymnasium und den gymnasialen Nebengebäuden vor. Die Grundlagen für die energetische Optimierung und energetische Aufrüstung sind in: „Energetische Aufrüstung kommunaler Infrastruktur – Projektskizze Michelberg-Gymnasium, Geislingen/Steige“ – Stand Januar 2013 beschrieben. Das Konzept wurde vom em. Prof. Dr.-Ing. H. Höfler, vormals Forschungsgebiet „Energieoptimierte Baukonstruktion“ FEB der Universität Siegen –, zusammen mit einer Ingenieurgruppe entworfen und die Anlagen dazu erarbeitet. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird auf das v.g. Konzept verwiesen. Die GEOTECHNIK GmbH ist mit der geotechnischen Bewertung und Erkundung zu den Möglichkeiten oder Einschränkungen zur Speicherung von Wärme-Energie beauftragt worden, die mit Hilfe von auf dem Dach des Gymnasiums vorgesehenen Solar-Kollektoren in Form eines Absorberkollektoren-Doppeldaches (AKD) gewonnen werden soll, um damit den Heizwärmebedarf abzudecken. Der jährliche Ertrag solarer Energie durch das AKD wird mit  $Q_{\text{sol}} = 759.000 \text{ kWh/a}$  angenommen, der mit der Speicherung in einem geothermischen Speicher in der Heizperiode zur Verfügung gestellt werden soll. Die Möglichkeiten der Wärmespeicherung im Untergrund sollen dabei die gesamte Palette möglicher geothermischer Nutzungen untersuchen, sie sind aber primär auf die Anordnung, Dimensionierung und den Ausbau eines Niedrig- bzw. Hochtemperaturspeichers (max. Speichertemperatur/Einspeisungstemperatur  $35^\circ / < 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ) im Untergrund gerichtet. Im Rahmen der geotechnischen Erkundung wurden deshalb vorab die Möglichkeiten oder Einschränkungen zur wasserrechtlichen Genehmigung durch die Untere Wasserbehörde beim Landratsamt Göppingen eingeholt.

Die Lage des untersuchten Gebietes im Bereich des Städtischen Michelberg-Gymnasiums ist in einem Lageplan dargestellt und ist als **Anlage 1** (Lageplan) im vorliegenden Bericht enthalten.

Nachfolgend werden die allgemeinen und geothermischen Grundlagen für die Stufe 1 beschrieben.

Zur Bearbeitung der Stufe 1 wurden uns bisher folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt bzw. wurden als Unterlagen zugrunde gelegt:

- **„Energetische Aufrüstung kommunaler Infrastruktur ; Projektskizze Michelberg-Gymnasium, Geislingen/Steige; Ersteller: Prof. Dr.-Ing. H. M. Höfler, Prof. Dr.-Ing. R.A. Herrmann, M. Kammerer, Dipl.-Ing. S. Mock; Januar 2013.**
- **Ingenieurgeologisches Gutachten zum Bau des geplanten Schul- und Sportzentrums der Stadt Geislingen/Steige – Teil I: Gründung des Schulgebäudes, Markung Geislingen/Steige, Lkr. Göppingen (Top.Karte 1:25000, 7324 Altstadt); Az.: IV/6 – 816/73, 11 Seiten, erstellt am 15. März 1974 vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg.**
- **Geologische Karte von Baden-Württemberg, Blatt 7324 Geislingen a.d. Steige- West; Herausgeber: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. 2002**
- **LUBW – Karte Hydrogeologische Einheiten im Stadtbereich Geislingen a. d. Steige [Auszug]**
- **LUBW – Karte Wasserschutzgebietszonen (Zonen I bis IIIB) im Stadtbereich Geislingen a. d. Steige [Auszug]**
- **LUBW – Karte Überschwemmungsgebiete im Stadtbereich Geislingen a. d. Steige [Auszug]**

### **3 Geotechnische und hydrogeologische Untersuchungen**

#### **3.1 Allgemeines**

Die Untersuchungen im Rahmen der Stufe 1 waren zur Erfassung der grundsätzlichen geotechnischen /hydrogeologischen und geothermischen Situation auf die Einmessung des quartären Grundwassers im Talraum der Fils und im zu untersuchenden Gebiet gerichtet. Dazu wurden die vorhandenen Unterlagen ausgewertet.

Im Weiteren wurde die allgemeine geologische Situation auf der Grundlage der Geologischen Karten und Kartierung sowie der vorhandenen geotechnischen Untersuchungen ausgewertet.

Die Lage der durchgeführten Untersuchungen (Bohrungen) im Bereich des Städtischen Michelberg-Gymnasiums wurde –mit dem Mittelwert der Koordinaten nach GAUSS-KRÜGER angegeben mit: R = 35 60 350 und H = 53 87 450- mit den Orten der Bohrungen und Grundwassermessstellen auf die topographische Lage eingemessen.

Diese Einmessung wurde in einem Lageplan dargestellt und ist im vorliegenden Bericht als **Anlage 1** enthalten.

#### **3.2 Geotechnische und hydrogeologische Untersuchungen nach DIN 4020**

##### **3.2.1 Geotechnische Untersuchungen zum Bau des Schul- und Sportzentrums Geislingen/ Steige – Altstadt (Michelberg-Gymnasium)**

Für den Bau des Michelberg-Gymnasiums wurde vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. im Jahr 1974 unter dem Az.: IV/6 – 816/73 ein Ingenieurgeologisches Gutachten erstellt, das mit Datum vom 15. März 1974 erstattet wurde. Im Rahmen der ingenieurgeologischen Untersuchung durch das geologische Landesamt Baden-Württemberg wurden insgesamt acht (8) direkte Aufschlüsse in Form von Bohrungen nach DIN 4021 –von der Firma Waschek, Günzburg- hergestellt. Von den acht (8) Bohrungen sind für den geplanten Geothermiespeicher die Bohrungen B2, B4 und B7 von Bedeutung, da sie in ihrer Lage ein etwa gleichschenkeliges Dreieck bilden, tiefer abgebohrt wurden und in der Fläche den Bereich des Speichers

abdecken. Für das geologische Profil wird die Bohrung B3 herangezogen, da sie im Zentrum des Speichers liegt. Für die hydrogeologische Betrachtung werden die Bohrungen B2, B4 und B5 herangezogen, da diese zu Grundwassermessstellen ausgebaut und Messergebnisse dazu vom November 1973 bis März 1974 vorliegen.

**Bohrung B2**    Ansatzpunkt H = 416,03 mNN)

Die Bohrung B 2 wurde im südöstlichen Bereich des Baugeländes Michelberg-Gymnasium niedergebracht und ergab folgendes Bohrprofil:

0,00 – 1,00 m	Auffüllung, schluffig-kiesig, Sand- und Ziegelreste, graubraun
1,00 – 1,20 m	Schluff, tonig, sandig, hellbraun, steif, mit Muschelschalen und kleinen Steinen, einzelne Kiesgerölle
1,20 – 3,50 m	Kies, sandig, schwach schluffig, einzelne Steine, mitteldicht gelagert
3,50 – 5,80 m	Hangschutt, stark schluffig, steif, steinig, dicht gelagert
5,80 – 6,00 m	Sand, rostbraun, schwach schluffig
6,00 – 6,20 m	Sandstein, rostbraun, sehr mürbe, (Donzdorfer Sandstein)
6,20 – 6,60 m	Sandstein, rostbraun, hart, bankig
6,60 – 15,20 m	Tonstein, sandflaserig, bankig, hart, grau, Braunjura beta
15,20 – 15,90 m	Geislinger Erzflöz, Geröllhorizont, grau, unten rötlichgrau, kompakter Kern
15,90 – 17,30 m	Geislinger Erzflöz, rostbraun, mit Schill-Horizont, Kreuzschichtung, kompakter Kern
17,30 – 20,00 m	Tonstein, sandflaserig, grau, hart, Braunjura beta

Das Grundwasser wurde in der B 2 am 03.11.1973 mit einem Flurabstand von 3,4 m unter den Bohransatzpunkt bei 412,63 mNN eingemessen.

Die Bohrung B 2 wurde zur Grundwassermessstelle ausgebaut und das Grundwasser wurde im Zeitraum vom November 1973 bis März 1974 beobachtet, womit als höchster Grundwasserstand die Kote 412,88 mNN und als niedrigster Grundwasserstand die Kote 412,63 mNN gemessen wurde.

**Bohrung B 3**    Ansatzpunkt H = 416,51 mNN)

Die Bohrung B 3 wurde im südlichen Bereich des Baugeländes Michelberg-Gymnasium, nördlich von B 2 niedergebracht und ergab folgendes Bohrprofil:

0,00 – 0,50 m	Auffüllung, Schotter
0,50 – 2,70 m	Auffüllung, Ziegelschutt mit Steinbrocken und Schluff
2,70 – 3,20 m	Kies, schluffig-sandig, mit ungerundeten Kalksteinbrocken
3,20 – 6,10 m	Hangschutt, schluffig, schwach sandig, gelblichbraun, dicht gelagert
6,10 – 6,30 m	Sand, schluffig, rostbraun
6,30 – 6,40 m	Sandstein, rostbraun, mürb
6,40 – 9,50 m	Tonstein, sandflaserig, harter Kern (Braunjura beta)

Das Grundwasser wurde in der B 3 am 20.11.1973 mit einem Flurabstand von 3,20 m unter den Bohransatzpunkt bei 413,31 mNN eingemessen.

**Bohrung B 4**    Ansatzpunkt H = 416,45 mNN)

Die Bohrung B 4 wurde im westlichen Bereich des Baugeländes Michelberg-Gymnasium niedergebracht und ergab folgendes Bohrprofil:

- 0,00 – 0,70 m    Auffüllung, schluffig-sandig, Ziegelreste
- 0,70 – 3,00 m    Kies, sandig-schluffig, Steinbrocken, mitteldicht
- 3,00 – 4,80 m    Hangschutt, sandig, schwach schluffig, Steinbrocken, dicht gelagert
- 4,80 – 5,90 m    Feinsand, schwach schluffig, völlig verwitterter Sandstein, mürbe, braun
- 5,90 – 6,10 m    Sandstein, rostbraun, hart, bankig (Donzdorfer Sandstein)
- 6,10 – 14,40 m    Tonstein, sandflaserig, grau, hart
- 14,40 – 14,90 m    Geislinger Erzflöz, Geröllhorizont, oben grau, unten rostbraun
- 14,90 – 17,30 m    Geislinger Erzflöz, mit Schill-Horizonten, Kreuzschichtung, rostbraun
- 17,30 – 19,50 m    Tonstein, sandflaserig, mit Sandsteinlagen, grau, Braunjura beta

Das Grundwasser wurde in der B 4 am 09.11.1973 mit einem Flurabstand von 2,20 m unter den Bohransatzpunkt bei 414,25 mNN eingemessen.

Die Bohrung B 4 wurde zur Grundwassermessstelle ausgebaut. Das Grundwasser wurde im Zeitraum vom November 1973 bis März 1974 beobachtet, womit als höchster Grundwasserstand die Kote 414,62 mNN und als niedrigster Grundwasserstand die Kote 414,25 mNN gemessen wurde.

**Bohrung B 7**    Ansatzpunkt H = 416,19 mNN)

Die Bohrung B 7 wurde im nördlichen Bereich des Baugeländes Michelberg-Gymnasium niedergebracht und ergab folgendes Bohrprofil:

0,00 – 0,50 m	Auffüllung, Asphalt, Schluff, Sand, Ziegelbrocken
0,50 – 0,70 m	Lehm, braun, mit Schotter, steif
0,70 – 1,20 m	Schluff, hellbraun, steif, Auelehm
1,20 – 3,20 m	Kies, sandig, stark schluffig, bräunlich-grau, mitteldicht gelagert
3,20 – 6,00 m	Hangschutt, schluffig, steinig, sehr dicht gelagert
6,00 – 6,30 m	Sand, rostbraun, schluffig
6,30 – 6,50 m	Sandstein, rostbraun, hart, (Donzdorfer Sandstein)
6,50 – 10,00 m	Tonstein, sandflaserig, hart, bankig, dunkelgrau

Das Grundwasser wurde in der B 7 am 19.11.1973 mit einem Flurabstand von 3,10 m unter den Bohransatzpunkt bei 413,09 mNN eingemessen.

Die Ergebnisse der ingenieurgeologischen Untersuchungen vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. sind als Bohrprofile nach DIN 4023 in der **Anlagengruppe 2** (Anlage 2.2 - 2.5) dargestellt.

### 3.2.2 Geologie

- ***nach den Ingenieurgeologischen Untersuchungen des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg, Freiburg im Br.***

Die Geologie wird in den ingenieurgeologischen Untersuchungen vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. wie folgt beschrieben:

*Die quartären Ablagerungen in der Talniederung der Fils bestehen aus stark schluffigem Kies und Hangschutt in einer Mächtigkeit zwischen 4 und 6 m. Der darunter anstehende Braunjura beta beginnt im ganzen Gründungsbereich mit dem Donzdorfer Sandstein, der von kompakten sandflaserigen Tonsteinen unterlagert wird. Die Basis des Donzdorfer Sandsteines wird in den Bohrungen zwischen 411,80 m ü.NN (B 5) und 409,40 m ü.NN (B 2) erreicht, wobei die Schichten sehr flach mit etwa 1% in östlicher Richtung einfallen.*

*Auch die Lagerung des Geislinger Flözes, das in den Bohrungen zwischen 399,00 und 402,00 m ü. NN angetroffen wurde, ist nahezu söhlig.*

### 3.2.3 Hydrogeologische Verhältnisse

- ***nach den Ingenieurgeologischen Untersuchungen des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg, Freiburg im Br.***

Die Hydrogeologischen Verhältnisse werden in den ingenieurgeologischen Untersuchungen vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. wie folgt beschrieben:

*Infolge der Lage des Grundstücks in der Talaue der Fils steht das Grundwasser schon in geringer Tiefe unter Gelände an. In allen Bohrungen wurde Wasser angetroffen. Um die Schwankungen der Grundwasserverhältnisse über einen längeren Zeitraum beobachten zu können, wurden die Bohrungen B 2, B 4 und B 5 als Grundwasserbeobachtungspegel ausgebaut.*

*In der Anlage 3 sind die gemessenen Grundwasserstände zusammengestellt.*

*Der Grundwasserstand in der Talaue der Fils ist in erster Linie von der winterlichen Niederschlagsmenge abhängig. Nach der Schneeschmelze wird das Grundwasser weit über den Stand der Fils hinaus ansteigen. Es tritt dann der Fall ein, dass das Talgrundwasser den Fluss speist.*

*Bei den im Beobachtungszeitraum gemessenen Grundwasserständen handelt es sich um einen mittleren Grundwasserstand. Da nach allgemeiner Erfahrung der Grundwasserspiegel in der Talaue der Fils in seiner Höhe um insgesamt etwa 3 m schwankt, muss bei einem Höchststand ein*

*gegenüber dem mittleren um etwa 1,5 m höheren Grundwasserstand erwartet werden. Das Grundwasser wird dann bei etwa 1 m unter das bestehende Gelände reichen.*

*In der Anlage 2 wurden die Grundwasserhöhengleichen bei einem mittleren Grundwasserstand gezeichnet.*

### **3.2.4 Hydrogeologische Untersuchungen**

Hinsichtlich der hydrogeologischen Untersuchungen kann für das oberflächennahe Grundwasser auf die ingenieurgeologischen Untersuchungen des Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. aus dem Jahr 1974 verwiesen werden, die für den Zeitraum vom November 1973 bis März 1974 erfolgten. Die Ergebnisse dazu sind im Kapitel 3.3.3 dargestellt. Die tiefer liegenden Grundwässer werden im Bereich des Eisensandsteines (Früher: Braunjura beta) erwartet. Das Grundwasser im Bereich des Eisensandsteines **al2E**, der nach den LQS EWS als schichtig geliederter Grundwasserleiter ausgewiesen ist, soll in der Phase 2 mit insgesamt drei Kernbohrungen und Geothermal Response Tests GRT untersucht werden. Im Bereich des Opalinustons **al1** (Früher: Braunjura alpha) wird –bis auf die Übergangszone zum Eisensandstein- kein Grundwasser erwartet, da er geologisch als Grundwassergeringleiter GWGL ausgewiesen ist. Inwieweit die oberen Zonen des Opalinustons noch wasserführend sind, soll deshalb ebenfalls in der Phase 2 mit den v.g. Untersuchungen untersucht werden. Weiteres, siehe Kapitel 3.4.

Zusammenfassend ist hydrogeologisch die Situation gegeben, dass keine Grundwassernutzung in Form von Schutzgebieten im untersuchten Bereich ausgewiesen ist.

### 3.2.5 Geologisches Profil im Bereich des Städtischen Michelberg-Gymnasiums

Es wurde anhand der Daten der Geologischen Karte mit einem benachbarten geologischen Schnitt ein Geologisches Profil für den Geothermischen Speicher konstruiert.

Dieses Profil stellt sich wie folgt dar:

#### Geologisches Profil (Ansatzpunkt H = 416,51 mNN)

- auf der Grundlage der Bohrung B 3 und der Geologischen Karte

0,00 – 0,50 m	Auffüllung, Schotter
0,50 – 2,70 m	Auffüllung, Ziegelschutt mit Steinbrocken und Schluff
2,70 – 3,20 m	Kies, schluffig-sandig, mit ungerundeten Kalksteinbrocken
3,20 – 6,10 m	Hangschutt, schluffig, schwach steinig, gelblichbraun, dicht gelagert
6,10 – 6,30 m	Sand, schluffig, rostbraun
6,30 – 6,40 m	Sandstein, mürbe (Donzdorfer Sandstein) rostbraun <b>a12E</b>
6,40 – 9,50 m	Tonstein, sandflasrig, bankig, harter Kern (Braunjura beta) <b>a12E</b>

- nach Geologischer Karte

9,5 m bis ca. 55 m **a12E - Eisensandstein** (Früher: Braunjura beta)

55 m bis 99 m **a11- Opalinuston** (Früher: Braunjura alpha)

Das Ergebnis des Geologischen Profils, das aus Daten der ingenieurgeologischen Untersuchungen vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. und der Geologischen Karte Baden-Württemberg „Blatt 7324 Geislingen“ konstruiert wurde, ist in der **Anlage 3** (Anlage 3 – Geologisches Profil nach Geologischer Karte) dargestellt.

### **3.3 Auswertung der Daten im Portal LUBW**

In Verbindung mit den Untersuchungen zu 3.3.2 erfolgte eine Auswertung der Daten des Portals „LUBW“ dazu wurde folgendes ermittelt:

#### **Wasserschutzgebiete**

Im Portal LUBW sind im Bereich des Michelberg-Gymnasiums keine Wasserschutzgebiete für die Zonen I bis IIIB ausgewiesen.

#### **Hydrogeologische Einheit**

Im Portal LUBW sind für den Bereich des Michelberg-Gymnasiums für den benachbarten Talraum der Fils Jungquartäre Flusskiese und Sand (GWL) und für den Bereich des Gymnasiums und des geplanten Speichers, Mittel- und Unterjura (GWG) ausgewiesen.

#### **Überschwemmungsgebiet Status**

Im Portal LUBW ist für den Bereich des Michelberg-Gymnasiums nur für den benachbarten Talraum der Fils ein schmaler Bereich als Überschwemmungsgebiet ausgewiesen. Für den Bereich des Gymnasiums und des geplanten Speichers ist kein Überschwemmungsgebiet ausgewiesen.

### **3.4 Auswertung der Daten im Portal LGRB – Informationssystem „Oberflächen-nahe Geothermie**

In Verbindung mit den Untersuchungen zu 3.3.2 erfolgte eine Auswertung der Daten des Portals „LGRB-Informationssystem zur Oberflächennahen Geothermie“. Dazu wurde folgendes ermittelt:

Das Gelände des Michelberg-Gymnasiums liegt außerhalb des bisher vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau bearbeiteten Bereiches.

Zusammenfassend liegen hinsichtlich der geothermischen Nutzung keine Daten vor, womit nach der Phase 1 die Phase 2 mit geotechnischen und geothermischen Erkundungen erforderlich wird.

### **3.5 Untere Wasserbehörde Kreis Göppingen**

In Verbindung mit den geotechnischen und hydrogeologischen Untersuchungen erfolgte am 29.05.2013 eine Voranfrage beim Umweltschutzamt (Untere Wasserbehörde) am Landratsamt Göppingen, Sachbearbeiterin Frau Susanne Schumacher zur Genehmigungsfähigkeit eines Geothermiespeichers.

Auf die Voranfrage vom 29.05.2013 wurde uns per E-Mail vom 05.06.2013 von Frau Schumacher folgendes mitgeteilt:

...

*Es bestehen im Planungsgebiet keinerlei Einschränkungen, so dass nur mit den „üblichen“ Auflagen zu rechnen ist.*

*Ich bitte Sie, den Antrag hier rechtzeitig zu stellen und stehe für Rückfragen gerne zur Verfügung.*

*Es grüßt Sie freundlich*

*Susanne Schumacher*

### 3.6 Zusammenfassung der geotechnischen/hydrogeologischen Untersuchungen

*In der Zusammenfassung lassen sich die Untersuchungen nach der Stufe 1 wie folgt bewerten:*

*Nach den vorliegenden ingenieurgeologischen Untersuchungen vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. und aus den Daten der Geologischen Karte von Baden-Württemberg, Blatt Nr. 7324 Geislingen an der Steige-West, stehen oberflächennah junge Talfüllungen aus Kies, meist sandig, - nach der ingenieurgeologischen Untersuchung- auch Hangschuttmaterial lokal mit Abschwemmungen aus dem Pleistozän bis Holozän an. Das Liegende wird im Bereich des Gymnasium am Rand des Filstalraums beginnend mit **bj1** – der Wendelstein-Formation aus Tonstein, dunkelblau, sandig; Oolithhorizonte u.a. ausgewiesen. Darunter steht nach der ingenieurgeologischen Untersuchung des Geologischen Landesamtes in B 3 ab 410,2 mNN **aI2E** – Eisensandstein aus Sandstein, grau, rostfarben, verwitternd z.T. unterschiedlich eisenschüssig, in Form der „Donzdorfer Sandsteine“, häufig dickbankig kompakt, -hier mürbe- und Tonsteine, grau, sandflaserig, in einer Mächtigkeit von 55 – 75 m (Mächtigkeitszunahme nach NE) an, früher: Braunjura  $\beta$ . Nach den ingenieurgeologischen Untersuchungen liegt die Basis der Donzdorfer Sandsteine zwischen 411,80 mNN und 409,40 mNN mit einem Einfallen von ca. 1% in östlicher Richtung. Unter der bj1- Formation folgt: **aI1**- Opalinuston als Tonstein, dunkelgrau, schwach feinsandig,- glimmerig, dünnbankig – plattig, aufgewittert, mit gelegentlichen Einschaltungen von Toneisen-stein-Konkretionen, Einschaltung von Kalksandsteinen („Zopfplatte“); Mächtigkeit: 110 – 120 m. Früher: Braunjura  $\alpha$ . Die Formation Opalinuston **aI1** wurde bei den vorliegenden ingenieurgeologischen Untersuchungen vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. infolge der maximalen Bohrtiefen von 20 m nicht aufgeschlossen.*

*Das oberflächennahe Grundwasser wurde in den ingenieurgeologischen Untersuchungen des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. im Jahr 1974 erkundet. Die Ergebnisse dazu sind im Kapitel 3.3.3 dargestellt. Die tiefer liegenden Grundwässer werden im Bereich des Eisensandsteines (Früher: Braunjura beta) erwartet. Das Grundwasser im Bereich des Eisensandsteines **aI2E**, der nach den LQS EWS als schichtig gegliederter Grundwasserleiter ausgewiesen ist, soll in der Phase 2 mit insgesamt drei Kernbohrungen und Geothermal Response Tests GRT untersucht werden. Im Bereich des Opalinustons **aI1** (Früher: Braunjura alpha) wird – bis auf die Übergangszone zum Eisensandstein- kein Grundwasser erwartet, da er geologisch als Grundwassergeringleiter GWGL ausgewiesen ist. Inwieweit die oberen Zonen des Opalinustons noch wasserführend sind, soll deshalb ebenfalls in der Phase 2 mit den v.g. Untersuchungen untersucht werden. Weiteres, siehe Kapitel 3.4.*

*Zusammenfassend ist hydrogeologisch die Situation gegeben, dass keine Grundwassernutzung in Form von Schutzgebieten im untersuchten Bereich ausgewiesen ist.*

## **4 Geologische Situation**

Nach der geologischen Karte von Baden-Württemberg, Blatt Nr. 7324 Geislingen an der Steige-West, steht im Bereich des städtischen Michelberg-Gymnasiums oberflächennah qj – junge Talfüllungen aus Kies, meist sandig, in größeren Tälern mit ebenen Talböden überlagert von z.T. anmoorigen Auelehm, lokal mit Abschwemmungen; Pleistozän bis Holozän an.

Das Liegende wird im Bereich des Gymnasium am Rand des Filstalraums beginnend mit bj1 – der Wendelstein-Formation aus Tonstein, dunkelblau, sandig; Oolithhorizonte u.a. ausgewiesen. Darunter steht al2E – Eisensandstein aus Sandstein, grau, rostfarben, verwitternd z.T. unterschiedlich eisenschüssig, („Donzdorfer Sandsteine“, häufig dickbankig kompakt, hart; „Personatensandsteine“ z.T. tonflaserig, mürbe); Tonstein, dunkelgrau, wechselnd sandflaserig, Mächtigkeit: 55 – 75 m (Mächtigkeitszunahme nach NE). Früher: Braunjura  $\beta$ . Unter der bj1- Formation folgt: al 1- Opalinuston als Tonstein, dunkelgrau, schwach feinsandig, glimmerig, dünnbankig – plattig, aufgewittert, mit gelegentlichen Einschaltungen von Toneisenstein-Konkretionen, Einschaltung von Kalksandsteinen („Zopfplatte) mit zahlreichen Kriech- und Wühlspuren; Mächtigkeit: 110 – 120 m. Früher: Braunjura  $\alpha$ .

**Die genaue geologische Situation –insbesondere die Grundwassersituation und mögliche Schichtwasserführung im Horizont al2E- und in den oberen Zonen des al1- kann nur im Rahmen der vorgesehenen Erkundungsbohrungen und der GRT ermittelt werden.**

## 5 Beurteilung des Untergrundes zur geothermischen Speicherung

Die vorliegenden geotechnischen und hydrogeologischen Untersuchungen, zeigen für den untersuchten Bereich des Städtischen Michelberg-Gymnasiums Geislingen a. d. Steige in Verbindung mit den allgemeinen Grundlagen zur Geologie folgende Situation:

### 5.1 Speicherfähigkeit des Untergrundes

Nach den vorliegenden ingenieurgeologischen Untersuchungen vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. und aus den Daten der Geologischen Karte von Baden-Württemberg, Blatt Nr. 7324 Geislingen an der Steige-West, stehen oberflächennah junge Talfüllungen aus Kies, meist sandig, in größeren Tälern mit ebenen Talboden überlagert, lokal mit Abschwemmungen; aus dem Pleistozän bis Holozän an.

Das Liegende wird im Bereich des Gymnasium am Rand des Filstalraums beginnend mit **bj1** – der Wendelstein-Formation aus Tonstein, dunkelblau, sandig; Oolithhorizonte u.a. ausgewiesen. Darunter steht **al2E** – Eisensandstein aus Sandstein, grau, rostfarben, verwitternd z.T. unterschiedlich eisenschüssig, („Donzdorfer Sandsteine“, häufig dickbankig kompakt, hart; „Personatensandsteine“ z.T. tonflaserig, mürbe); Tonsteine, dunkelgrau, wechselnd sandflaserig, Mächtigkeit: 55 – 75 m (Mächtigkeitszunahme nach NE). Früher: Braunjura  $\beta$ . Unter der bj1- Formation folgt: **al1**- Opalinuston als Tonstein, dunkelgrau, schwach feinsandig, glimmerig, dünnbankig – plattig, aufgewittert, mit gelegentlichen Einschaltungen von Toneisenstein-Konkretionen, Einschaltung von Kalksandsteinen („Zopfplatte) mit zahlreichen Kriech- und Wühlspuren; Mächtigkeit: 110 – 120 m. Früher: Braunjura  $\alpha$ .

Die Donzdorfer Sandsteine teils eisenschüssig und die harten, z.T. tonflaserigen Personatensandsteine mit einer Mächtigkeit von mindestens 55 m stellen mit den Dichten von 2,4 bis 2,7 t/m<sup>3</sup> und einer volumenbezogenen spez. Wärmekapazität von 2,2 bis 2,5 MJ/(m<sup>3</sup>K) einen gut bis sehr gut speicherfähigen Untergrund dar. Dies gilt auch in Verbindung mit schichtig geliederten Kluftwasser im **al2E**. Größere und insbesondere stationäre Grundwasserbewegungen und damit verbundene Speicherverluste und Transportvorgänge im Grundwasser sind infolge der geringen Durchlässigkeit -bis auf lokale Zonen- nicht zu erwarten.

Der **al1**- Opalinuston als Tonstein, dunkelgrau, schwach feinsandig, glimmerig, dünnbankig – plattig, aufgewittert, mit gelegentlichen Einschaltungen von Toneisenstein-Konkretionen, Einschaltung von Kalksandsteinen mit einer Mächtigkeit: 110 – 120 m -früher: Braunjura  $\alpha$ - hat mit Dichten von 2,5 bis 2,6 t/m<sup>3</sup> und einer volumenbezogenen spez. Wärmekapazität von 2,1 bis 2,4 MJ/(m<sup>3</sup>K)

vergleichbare geothermische Eigenschaften und stellt einen Sperrhorizont dar. Größere und insbesondere stationäre Grundwasserbewegungen und damit verbunden Speicherverluste und Transportvorgänge im Grundwasser sind infolge der geringen Durchlässigkeit -bis auf lokale Zonen/Übergangszonen **a12E** zum **a11**- nicht zu erwarten.

## **5.2 Grundwasserbeeinflussung**

Aus den hydrogeologischen Untersuchungen zur Stufe 1 ergibt sich, dass die Anordnung eines Geothermiespeichers bis ca. 99 m unter derzeitiger GOK (Pausenhof Städtisches Michelberg-Gymnasium) möglich und geothermisch günstig erscheint und die geothermische Speicherung – mit einem ausreichenden Abstand- unterhalb des 1. Grundwasserstockwerkes erfolgt und somit genehmigungsfähig ist. Ein ausreichender Schutz ist u.E. für das 1. Grundwasserstockwerk gegeben, wenn unterhalb des Tonhorizontes im Eisensandstein bei ca. 15 m die Einspeisung von solarer Energie erfolgt. Dieser Ansatz ist auch in der Form zu empfehlen, da eine Dämmung der Speicher Oberfläche nur begrenzt möglich und im Grundwasserstrom der Fils ohne Wirkung ist, so dass eine Dämmung und Entkoppelung des Einflusses auf die Oberfläche mit einer ausreichenden Bodenüberlagerung hier aus gutachterlicher Sicht zu empfehlen ist.

Infolge der vorgesehenen maximalen Bohrtiefe von 99 m wird das Bergrecht nicht berührt.

Eine Grundwasserbeeinflussung findet deshalb nur für das Grundwasser im Bereich des Eisensandsteines **a12E**, der nach den LQS EWS und den geologischen Daten als schichtig geliederter Grundwasserleiter ausgewiesen ist, statt. Infolge der geringen Durchlässigkeit und der schichtartigen Gliederung ist nur eine örtliche Beeinflussung durch die Temperaturerwärmung im Speicher selbst zu erwarten, die keinen Einfluss auf benachbarte Bereiche ausübt, so dass von einem „Stationären Wärmespeicher“ mit den Speicherelementen (Wasser im Porenraum des Aquifers und dem Feststoff-Fels) auszugehen und größere Transportvorgänge an Energie nicht stattfinden.

Im Portal LUBW sind im Bereich des Michelberg-Gymnasiums keine Wasserschutzgebiete für die Zonen I bis IIIB ausgewiesen.

Die weiteren Details dazu sind im Rahmen der Stufe 1 auf der Grundlage der geotechnischen und geothermischen Erkundung sowie mit der Stufe 2 im Rahmen der Geothermischen Modellierung festzulegen und nicht Gegenstand der Stufe 1.

**In der Zusammenfassung der Ergebnisse ergibt sich folgende Bewertung:**

**Der Untergrundaufbau, wie er aus den ingenieurgeologischen Untersuchungen erkundet wurde und insbesondere, wie er aus dem Geologischen Profil entwickelt wurde, stellt mit den Donzdorfer Sandsteinen teils eisenschüssig und die harten, z.T. tonflaserigen Personatensandsteine mit einer Mächtigkeit von mindestens 55 m, mit den Dichten von 2,4 bis 2,7 t/m<sup>3</sup> und einer Volumenbezogenen spez. Wärmekapazität von 2,2 bis 2,5 MJ/(m<sup>3</sup>K) einen gut bis sehr gut speicherfähigen Untergrund dar. Dies gilt auch in Verbindung mit schichtig geliederten Kluftwasser im al2E. Größere und insbesondere stationäre Grundwasserbewegungen und damit verbundene Speicherverluste und Transportvorgänge im Grundwasser sind infolge der geringen Durchlässigkeit -bis auf lokale Zonen- nicht zu erwarten. Der al1-Opalinuston als Tonstein, dunkelgrau, schwach feinsandig, glimmerig, dünnbankig – plattig, aufgewittert, mit gelegentlichen Einschaltungen von Toneisenstein-Konkretionen, Einschaltung von Kalksandsteinen mit einer Mächtigkeit: 110 – 120 m -früher: Braunjura  $\alpha$  hat mit Dichten von 2,5 bis 2,6 t/m<sup>3</sup> und einer volumenbezogenen spez. Wärmekapazität von 2,1 bis 2,4 MJ/(m<sup>3</sup>K) vergleichbare geothermische Eigenschaften und stellt einen Sperrhorizont dar. Größere und insbesondere stationäre Grundwasserbewegungen und damit verbundene Speicherverluste und Transportvorgänge im Grundwasser sind infolge der geringen Durchlässigkeit -bis auf lokale Zonen/Übergangszone al2E zum al1- nicht zu erwarten. Ungünstig können lokale Verwitterungszonen mit größeren Kluftdurchlässigkeiten sein. Für die geothermische Speicherung sehr günstig ist auch, dass infolge der sehr geringen Durchlässigkeit bzw. geringen Durchlässigkeit der Schichtpakete aus Tonsteinen und Sandsteinen kein größerer konvektiver Wärmetransport, d.h. Verluste aus strömendem Grundwasser zu erwarten sind. Sehr günstig für die geothermische Speicherung sind die hohen Gesteinsdichten und die hohe Volumenbezogene spezifische Wärmekapazität der Gesteine.**

**Die ermittelten Ergebnisse sind durch die in der Stufe 2 vorgesehenen Erkundungsbohrungen und durch insitu Tests, wie den Geothermal-Response-Test weiter zu verifizieren.**

## **6 Zusammenfassung und Schlussbemerkungen**

Im Rahmen der geotechnischen/hydrogeologischen Grundsatzuntersuchungen der Stufe 1 wurde im Rahmen der Energetischen Aufrüstung kommunaler Infrastruktur für das Michelberg-Gymnasium in Geislingen a.d. Steige der Untergrund geotechnisch in Verbindung mit dem vorhandenen Grundwasser und ggf. deren Nutzung hinsichtlich seiner Eignung als Geothermie-Speicher untersucht. Die Stufe 1 stellt somit eine Grundsatzuntersuchung dar, in der vor Beginn weiterer Planungen Grundsätze der Genehmigungsfähigkeit und die Grundlagen der Umsetzbarkeit des Projekts zu prüfen waren.

Die Ergebnisse der Stufe 1 zeigen, dass mit eisenschüssigen Sand- und Tonsteinen des Eisen-sandsteins **a12E** ein Untergrund mit guten bis sehr guten geothermischen Eigenschaften ansteht. Dies gilt auch für den Opalinuston **a11**. Die Bewertung zur Umsetzung einer geothermischen Nutzung in Form einer Speicherung von Solarer Energie gilt auch für eine Grundwasserbeeinflussung. Die Auswertung der insitu Untersuchungen zeigte, dass die Grundwassernutzungen (Wasserschutzgebiete I bis IIIB) nicht ausgewiesen sind oder vorliegen und von einer geothermischen Speicherung nicht beeinflusst werden. Die v.g. Bewertung wird noch verstärkt, wenn die Speicherung der Solaren Energie unterhalb einer Überlagerungszone erfolgt, womit eine vollständige Entkoppelung möglicher Beeinflussungen erfolgt.

Aufgrund der Ergebnisse zur Stufe 1 empfehlen wir die Umsetzung der Stufe 2, um die v.g. Ergebnisse durch eine Detailuntersuchung in Form von insgesamt drei Aufschlussbohrungen nach DIN EN ISO 22475-1 und geothermischen insitu Untersuchungen mit Geothermal-Response-Test u.a. weiter abzusichern, um daraus eine Detailplanung mit der Stufe 3 auf der Grundlage einer Geothermischen Modellierung zu erarbeiten, da der Betrieb des Geothermiespeichers einer wasserrechtlichen Genehmigung bedarf und diese Detailplanung Grundlage der Genehmigung ist. Im Rahmen der weiteren Planung ist damit die wasserrechtliche Genehmigung bei der Unteren Wasserbehörde bei der Kreisverwaltung Göppingen zu beantragen und beim Landesamt für Geologie, Rohstoffe, und Bergbau, Freiburg anzuzeigen.

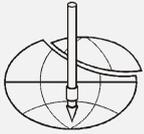
Wir stehen der Stadt Geislingen und den Beteiligten zu weiteren geotechnischen Fragen im Rahmen der weiteren Planung, der Ausschreibung und der Bauausführung jederzeit gerne zur Verfügung.

i.A.

(Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann)

**GEOTECHNIK GmbH**

(Dipl.-Ing. Thorsten Lauber)



**GEOTECHNIK** GmbH

Prof. Dr.-Ing. Herrmann & Partner

Lammelbach 5

91567 Herrieden

web: [www.geotechnik-gmbh.com](http://www.geotechnik-gmbh.com)

e-mail: [GEOTECHNIK\\_GmbH@t-online.de](mailto:GEOTECHNIK_GmbH@t-online.de)

**Büro 1:** Lammelbach 5  
91567 Herrieden

Telefon: 09825 – 9 34 13

09825 – 9 34 14

Telefax: 09825 – 9 34 15

Funktelefon 1: 0170 – 4751946

Funktelefon 2: 0170 – 5533881

**Büro 2:** Hans-Böckler-Straße 1  
57223 Kreuztal – Buschhütten

Telefon: 02732 – 55 28 26

Telefax: 02732 – 55 28 27

# **Energetische Aufrüstung Michelberg- Gymnasium Geislingen a.d. Steige in 73312 Geislingen a.d. Steige**

**- Stufe 2 –**

**- Bericht zur geothermischen /  
geotechnischen Erkundung -**

<b>Auftraggeber:</b>	Stadt Geislingen a.d. Steige Fachbereich 3 Herrn Fachbereichsleiter Vogelmann Schlossgasse 7  73312 Geislingen a.d. Steige
<b>Projekt:</b>	Energetische Aufrüstung des städtischen Michelberg-Gymnasiums in der Staubstraße 50 in 73312 Geislingen a. d. Steige
<b>Auftrag:</b>	Geothermische / Geotechnische Erkundung Stufe 2  Bericht zur geothermischen / geotechnischen Erkundung
<b>Ihre Zeichen:</b>	Az.: 615.1 Auftrag vom 13.01.2014 Herr Fachbereichsleiter Karl Vogelmann
<b>Unsere Zeichen:</b>	GEO-130330 Kostenangebot vom 05.04.2013
<b>Bearbeitung:</b>	Dipl.-Ing. Thorsten Lauber Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann
<b>Lammelbach,</b>	den 05.06.2014

<b>Inhaltsverzeichnis:</b>		<b>Seite</b>
<b>1</b>	<b>Vorgang</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Geotechnische und Hydrogeologische Untersuchungen</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Geologische Situation</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>Beurteilung des Untergrundes zur geothermischen Speicherung</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussbemerkungen</b>	<b>27</b>

**Anlagen:**

<b>Anlage 1:</b>	<b>Lageplan der Bohrungen</b>
<b>Anlagengruppe 2:</b>	<b>Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen Bohrungen BK 1 bis BK 3</b> - Anlage 2.1 - 2.3. Bohrprofile BK 1 bis BK 3
<b>Anlagengruppe 3:</b>	<b>Unterlagen (Ausbauplan, etc) Fa. Keller &amp; Hahn</b> Anlage 3.1 - 3.xx
<b>Anlagengruppe 4:</b>	<b>Ergebnisse der Grundwasseruntersuchung auf Beton angrei- fende Eigenschaften nach DIN 4030</b> - Anlage 4.1 - 4.2
<b>Anlagengruppe 5:</b>	<b>Ergebnisse der Laborversuche an Felsproben</b> - Anlage 5.1 - 5.5
<b>Anlagengruppe 6:</b>	<b>Bericht zur Wärmeleitfähigkeitsmessung an Bohrkernproben</b> - Anlage 6.1 - 6.5
<b>Anlagengruppe 7:</b>	<b>Bericht „Temperaturmessung und Thermal-Response-Test“</b> - Anlage 7.1 - 7.21

## **1 Vorgang**

Die Stadt Geislingen an der Steige, vertreten durch den Leiter des Fachbereiches 3, Herrn Karl Vogelmann, beauftragte uns mit dem Schreiben vom 13.01.2014 mit der Durchführung der Stufe 2 zur geothermischen / geotechnischen Erkundung für die geplante geothermische Nutzung in Form eines Niedrig- und/oder Hochtemperaturspeichers am Michelberg-Gymnasium und zur Erstattung eines Berichtes zu diesen Untersuchungen. Die Stufe 2 ist die zweite Stufe, die im Rahmen der Energetischen Aufrüstung des Michelberg-Gymnasiums der Stadt Geislingen an der Steige in der Staubstraße 50 in 73312 Geislingen a. d. Steige erfolgt und stellt eine Fortführung der Stufe 1 „Grundsatzuntersuchung/Machbarkeit“ dar.

Die Grundlage der Beauftragung ist unser Kostenangebot vom 05.04.2013.

## **2 Allgemeines**

Das Vorhaben zur Energetischen Aufrüstung des Städtischen Michelberg-Gymnasiums Geislingen an der Steige in der Staubstraße 50 in 73312 Geislingen a. d. Steige sieht für die Bestandsgebäude eine Bündelung von Maßnahmen zur Energetischen Aufrüstung am Städtischen Gymnasium und den gymnasialen Nebengebäuden vor. Die Grundlagen für die energetische Optimierung und energetische Aufrüstung sind in: „Energetische Aufrüstung kommunaler Infrastruktur – Projektskizze Michelberg-Gymnasium, Geislingen/Steige“ – Stand Januar 2013 beschrieben. Das Konzept wurde vom em. Prof. Dr.-Ing. H. Höfler, vormals Forschungsgebiet „Energieoptimierte Baukonstruktion“ FEB der Universität Siegen –, zusammen mit einer Ingenieurgruppe entworfen und die Anlagen dazu erarbeitet. Zur Vermeidung von Wiederholungen wird auf das v.g. Konzept verwiesen. Die GEOTECHNIK GmbH ist mit der geotechnischen Bewertung und Erkundung zu den Möglichkeiten oder Einschränkungen zur Speicherung von Wärme-Energie beauftragt worden, die mit Hilfe von auf dem Dach des Gymnasiums vorgesehenen Solar-Kollektoren in Form eines Absorberkollektoren-Doppeldaches (AKD) gewonnen werden soll, um damit den Heizwärmebedarf abzudecken. Der jährliche Ertrag solarer Energie durch das AKD wird mit  $Q_{\text{sol}} = 759.000 \text{ kWh/a}$  angenommen, der mit der Speicherung in einem geothermischen Speicher in der Heizperiode zur Verfügung gestellt werden soll. Die Möglichkeiten der Wärmespeicherung im Untergrund sollen dabei die gesamte Palette möglicher geothermischer Nutzungen untersuchen, sie sind aber primär auf die Anordnung, Dimensionierung und den Ausbau eines Niedrig- bzw. Hochtemperaturspeichers (max. Speichertemperatur/Einspeisungstemperatur  $30^\circ / < 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ) im Untergrund gerichtet.

Im vorliegenden Bericht zur Stufe 2 werden die Ergebnisse der geothermischen / geotechnischen Erkundung für den geplanten Geothermie-Speicher am Michelberg-Gymnasium dargestellt.

Zur Bearbeitung der Stufe 2 wurden uns bisher folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt bzw. wurden als Unterlagen zugrunde gelegt:

- **„Energetische Aufrüstung kommunaler Infrastruktur ; Projektskizze Michelberg-Gymnasium, Geislingen/Steige; Ersteller: Prof. Dr.-Ing. H. M. Höfler, Prof. Dr.-Ing. R.A. Herrmann, M. Kammerer, Dipl.-Ing. S. Mock; Januar 2013.**
- **Ingenieurgeologisches Gutachten zum Bau des geplanten Schul- und Sportzentrums der Stadt Geislingen/Steige – Teil I: Gründung des Schulgebäudes, Markung Geislingen/Steige, Lkr. Göppingen (Top.Karte 1:25000, 7324 Altenstadt); Az.: IV/6 – 816/73, 11 Seiten, erstellt am 15. März 1974 vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg.**
- **Geologische Karte von Baden-Württemberg, Blatt 7324 Geislingen a.d. Steige- West; Herausgeber: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Freiburg i. Br. 2002**
- **LUBW – Karte Hydrogeologische Einheiten im Stadtbereich Geislingen a. d. Steige [Auszug]**
- **LUBW – Karte Wasserschutzgebietszonen (Zonen I bis IIIB) im Stadtbereich Geislingen a. d. Steige [Auszug]**
- **LUBW – Karte Überschwemmungsgebiete im Stadtbereich Geislingen a. d. Steige [Auszug]**

### 3 Geothermische und Geotechnische Untersuchungen

#### 3.1 Allgemeines

Zur Untersuchung des Untergrundes und Ermittlung des Geologischen Profils sowie zur Entnahme von Bohrkernproben für die Durchführung von Laborversuchen wurden im Zeitraum von 08. bis 22. Januar 2014 insgesamt drei Bohrungen nach Tab. 2 + 5 der DIN EN ISO 22475-1 im Bereich des geplanten Geothermiespeichers im Hofbereich zwischen Michelberg-Gymnasium, Schubart-Realschule, Michelberghalle und Staubstraße nieder gebracht.

Zur Genehmigung und Durchführung der 3 Aufschlussbohrungen erfolgte mit Schreiben vom 01.08.2013 eine Bohranzeige nach § 37 WG Baden-Württemberg und Antrag auf Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis nach § 108 WG Baden-Württemberg zur Errichtung und Nutzung einer Erdwärmesondenanlage beim Umweltschutzamt des Landratsamtes Göppingen.

Mit E-Mail der Sachbearbeiterin am Umweltschutzamt, Frau Schumacher vom 16.08.2013 wurde mitgeteilt, dass zur Bearbeitung der Antragsunterlagen in Bezug auf die Leitlinien Qualitätssicherung Erdwärmesonden (LQS EWS) des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg zunächst weitergehende Unterlagen zur ausführenden Bohrfirma (Angabe und Zulassungsnachweis der Bohrfirma, Nennung und Sachkundenachweis des Bohrgeräteführers, Versicherungsbescheinigung, etc.) vorzulegen sind.

Es wurde daraufhin eine Ausschreibung der Bohrarbeiten und Arbeiten zum Ausbau der Bohrung(en) vorbereitet, die am 24.09.2013 an die Bewerber verschickt wurde.

Beim Eröffnungstermin am 16.10.2013 lagen zwei Angebote vor und der Auftrag wurde am 29.10.2013 nach Wertung der Angebote und Prüfung der Zulassungsvoraussetzungen an die Firma Keller & Hahn Brunnenbau GmbH, 91610 Insinggen erteilt. Die vom Umweltschutzamt zur Bearbeitung der Bohranzeige benötigten Angaben zur Bohrfirma wurden am 23.10., 05.11. und 15.11.2013 nachgereicht.

Mit der Entscheidung des Landratsamts Göppingen (Umweltschutzamt) vom 19.11.2013 wurden die Bohrungen genehmigt. Die Stellungnahme der Genehmigungsbehörde lautet u.a. wie folgt:

#### Entscheidung

1. *Den beantragten Bohrarbeiten für die Herstellung einer Erdwärmesondenanlage auf dem Grundstück Flst. Nr. 600, Staubstr. 50, Gemarkung Geislingen, wird zugestimmt.*
2. *Die Bohrfreigabe wird nur unter der Voraussetzung und erst dann erteilt, wenn der Unteren Wasserbehörde der die Bohrung ausführende Bohrgeräteführer (Herr Achim GRAP oder Herr Dirk KOCHMANN) namentlich benannt, sowie der genaue Bohrtermin mitgeteilt wird.*

II.

Diese Entscheidung ergeht unter den nachfolgenden

**Nebenbestimmungen und Hinweisen:**

1. *Beim Abteufen der Bohrungen sind die Nebenbestimmungen und Hinweise des beigefügten Merkblattes zu beachten.*
2. *Für die Maßnahme ist Herr Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann als Sachverständiger einzuschalten, welcher die Ausführung der Bohrungen und insbesondere den Abdichtungsvorgang gemäß den Leitlinien LQS EWS 4.1.1 überwachen muss.  
Ein Überwachungsprotokoll ist dem Landratsamt Göppingen -Umweltschutzamt- vorzulegen.*
3. *Beginn und Ende der Bohrarbeiten sind mit dem beigefügten Vordruck dem Landratsamt Göppingen rechtzeitig vorher anzuzeigen.*
4. *Anordnungen zum Schutz vor einer schädlichen Verunreinigung des Grundwassers oder einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaft bleiben vorbehalten.*

...

### 3.2 Direkte Aufschlüsse mit Bohrungen nach DIN EN ISO 22475-1

Die Festlegung der Bohrpunkte wurde nach geotechnischen Gesichtspunkten in Anlehnung an die DIN 4020 und die örtlichen Gegebenheiten an definierten Punkten in Form eines Rasters ausgewählt, um eine flächenhafte Erkundung des Untergrundes im Bereich des geplanten Speichers zu erzielen.

Die Bohrungen wurden zur Schaffung von direkten Baugrundaufschlüssen mit der Gewinnung durchgehend gekernter Bodenproben und damit zur Beurteilung der Untergrundverhältnisse abgeteuft.

Die Aufschlusspunkte wurden lage- und höhenmäßig mit einem GPS-Gerät eingemessen. Die Ansatzhöhen sind auf das Deutsche Haupthöhennetz 1992 (DHHN 92), d.h. auf Normalhöhen (mNHN) bezogen.

Die Lage der 3 durchgeführten Bohrungen ist im Lageplan dargestellt, der dem Bericht als **Anlage 1** beigefügt ist. Als Basisplan diente ein Auszug aus der digitalen Flurkarte, der uns im Rahmen der Projektbearbeitung von der Stadt Geislingen an der Steige zur Verfügung gestellt wurde..

#### Bohrung BK 1 bis BK 3

Die Bohrungen BK 1 bis BK 3 wurden als Bohrungen nach Tab. 2 und 5 der DIN EN ISO 22475-1 im Rotationskernbohrverfahren unter Verwendung von Trinkwasser als Spülhilfe abgeteuft.

### **Bohrung BK 1 (Ansatzpunkt = 417,82 mNHN)**

Die Bohrung BK 1 wurde im westlichen Bereich des geplanten Geothermie-Speichers im Hofbereich zwischen Michelberg-Gymnasium und Schubart-Realschule niedergebracht und ergab zusammengefasst folgendes Bohrprofil:

0,00 – 0,06 m	Betonpflaster, hellgrau	
0,06 – 1,55 m	Auffüllungen	
1,55 – 3,20 m	Schluff, kiesig, weich, hellbraun-ocker	
3,20 – 3,70 m	Kies, stark sandig, hellbraun (zw. 3,6 - 3,7 m Steine, kiesig)	
3,70 – 4,80 m	Ton, stark kiesig, schwach steinig, weich, hellbraun	
4,80 – 7,70 m	Kies/Sand, (schwach) tonig, partiell schwach steinig, hellbraun-hellgrau	
7,70 – 8,60 m	Sandstein, ocker	
8,60 – 12,00 m	Sandstein, teils tonflaserig, grau-dunkelgrau	
12,00 – 15,80 m	Tonstein, sandflaserig, dunkelgrau	
15,80*) – 16,05 m	Sandstein, <u>mit Eisenkonkretionen</u> , rostbraun	*) OK Geislinger Erzflöz
16,05 – 18,60 m	Sandstein, rotgrau-rostbraun	
18,60 – 59,50 m	Sandstein, tonflaserig, grau-dunkelgrau, mit Tonsteinlagen, sandflaserig, dunkelgrau und Sandsteinen, hellgrau	
59,50 – 99,00 m	Tonstein, dunkelgrau-schwarz, mit Kalksandsteinplatten/-bänken, grau-dunkelgrau	

- Grundwasser wurde im Bohrloch der BK 1 in einer Tiefe von 3,80 m unter Ansatzpunkt angebohrt.
- Nach Beendigung der Bohrarbeiten wurde das Grundwasser in einer Tiefe von 7,60 m unter Ansatzpunkt eingemessen.

Stratigraphische Deutung:

bis 1,55 m	Auffüllungen
bis 7,70 m	quartäre Talfüllungen der Fils
bis 59,50 m	Eisensandstein (Donzdorfer Sandstein bis 8,6 m, Geislinger Flöz 15,8 - 18,6 m)
bis 99,00 m	Opalinuston

**Bohrung BK 2** (Ansatzpunkt = 417,02 mNHN)

Die Bohrung BK 2 wurde im südlichen Bereich des geplanten Geothermie-Speichers abgebohrt und zeigte zusammengefasst folgendes Bohrprofil:

0,00 – 0,06 m	Betonpflaster, hellgrau
0,06 – 3,20 m	Auffüllungen
3,20 – 6,20 m	Kies, sandig, partiell schluffig, schwach steinig, hellbraun-hellgrau
6,20 – 6,90 m	Sandstein, ocker
6,90 – 12,90 m	Sandstein, teils tonflaserig, grau-dunkelgrau
12,90 – 15,80 m	Tonstein, sandflaserig, dunkelgrau
15,80*) – 16,00 m	Sandstein, <u>mit Eisenkonkretionen</u> , rostbraun      *) OK Geislinger Erzflöz
16,00 – 19,00 m	Sandstein, rotgrau-rostbraun, mit Tonsteinlage
19,00 – 59,70 m	Sandstein, tonflaserig, grau-dunkelgrau, mit Tonsteinlagen, sandflaserig, dunkelgrau und Sandsteinen, hellbraun-hellgrau
59,70 – 99,00 m	Tonstein, dunkelgrau-schwarz, mit Kalksandsteinplatten/-bänken, grau-dunkelgrau

- Grundwasser wurde im Bohrloch der BK 2 in einer Tiefe von 4,80 m unter Ansatzpunkt angebohrt.
- Nach Beendigung der Bohrarbeiten wurde das Grundwasser in einer Tiefe von 5,30 m unter Ansatzpunkt eingemessen.

Stratigraphische Deutung:

bis 3,20 m	Auffüllungen
bis 6,20 m	quartäre Talfüllungen der Fils
bis 59,70 m	Eisensandstein (Donzdorfer Sandstein bis 6,9 m, Geislinger Flöz 15,8 - 19,0 m)
bis 99,00 m	Opalinuston

**Bohrung BK 3** (Ansatzpunkt = 417,42 mNHN)

Die Bohrung BK 1 wurde im nordöstlichen Bereich des geplanten Geothermie-Speichers neben der Michelberghalle niedergebracht und ergab zusammengefasst folgendes Bohrprofil:

0,00 – 1,70 m	Auffüllungen
1,70 – 3,00 m	Schluff/Ton, partiell schwach kiesig, weich, hellbraun-braun
3,00 – 6,00 m	Kies, (schwach) sandig, partiell schwach schluffig, hellbraun-hellgrau (zw. 5,9 - 6,0 m Steine, kiesig)
6,00 – 7,25 m	Sandstein, ocker
7,25 – 12,10 m	Sandstein, teils tonflaserig, grau-dunkelgrau
12,10 – 16,35 m	Tonstein, sandflaserig, dunkelgrau
16,35*) – 16,60 m	Sandstein, <u>mit Eisenkonkretionen</u> , rostbraun      *) OK Geislinger Erzflöz
16,60 – 19,80 m	Sandstein, rotgrau-rostbraun
19,80 – 60,20 m	Sandstein, tonflaserig, grau-dunkelgrau, mit Tonsteinlagen, sandflaserig, dunkelgrau und Sandsteinen, hellgrau
60,20 – 99,00 m	Tonstein, dunkelgrau-schwarz, mit Kalksandsteinplatten/-bänken, grau-dunkelgrau

- Der Ruhegrundwasserspiegel wurde im Bohrloch der BK 3 in einer Tiefe von 3,95 m unter Ansatzpunkt eingemessen.

Stratigraphische Deutung:

bis 1,70 m	Auffüllungen
bis 6,00 m	quartäre Talfüllungen der Fils
bis 60,20 m	Eisensandstein (Donzdorfer Sandstein bis 7,25 m, Geislinger Flöz 16,35 - 19,8 m)
bis 99,00 m	Opalinuston

In der Zusammenfassung lassen sich die Bohrerergebnisse wie folgt bewerten:

*Die Bohrungen BK 1 bis BK 3 zeigen unter 1,55 bis 3,2 m mächtigen Auffüllungen bei BK 1 und BK 3 zunächst Schluffe/Tone in weicher Konsistenz und anschließend -wie bei BK 2- Kies-Sande mit schluffigen und steinigen Nebenanteilen der quartären Talfüllungen der Fils. Darunter wurden bis in Tiefen von 6,9 bis 8,6 m ocker farbene Sandsteine des Donzdorfer Sandsteins und nachfolgend tonflaserige Sandsteine und sandflaserige Tonsteine der Eisensandsteinformation bis in eine Tiefe von 59,5 bis 60,2 m erbohrt. Dazwischen wurde im Tiefenbereich von ca. 15,8 bis 19,8 m das Geislinger Flöz aus rotgrauen-rostbraunen Sandsteinen, an der oberen Schichtgrenze mit Eisenkonkretionen in einer Mächtigkeit von 2,8 bis 3,45 m erkundet. Ab einer Tiefe von 59,5 bis 60,2 m unter Ansatzpunkt wurden bis zum Bohrende in einer Tiefe von 99 m Tonsteine, mit Kalksandsteinplatten/-bänken des Opalinustons erbohrt.*

*Nachdem die Mächtigkeit des Opalinustons in der Geologischen Karte mit 110-120 m angegeben ist, wurde bei den Bohrungen nur etwa das obere Drittel (40 m) der Gesamtmächtigkeit des Opalinustons erkundet.*

*Das Grundwasser wurde bei den Bohrungen in Tiefen von 3,8 bis 5,3 m unter GOK in den quartären Talfüllungen der Fils eingemessen. Darunter wurde im abgebohrten Bereich kein Grundwasser mehr erkundet.*

**Die vorliegenden Bohrerergebnisse stellen eine Bestätigung der aus dem Bau des Schulzentrums und der allgemeinen geologischen Situation (siehe Bericht zur Stufe 1) abgeleiteten Schichtung des Untergrundes dar. Der Übergang von der Eisensandsteinformation zum Opalinuston steht etwa 4-5 m unter der (in der Stufe 1) angenommenen Schichtgrenze an.**

**Die erkundete Höhenlage der Schichtobergrenze des Geislinger Flözes zeigt -in Verbindung mit den Ergebnissen der Stufe 1- ein geringes Gefälle in östlicher Richtung. Dies gilt in gleicher Weise für die Schichtgrenze Eisensandstein - Opalinuston.**

**Auf der Grundlage der o.g. Ergebnisse liegen im Bereich des geplanten Geothermie-Speichers keine Störungs-/ Verwerfungszonen vor.**

Die Ergebnisse der Bohrungen BK 1 bis BK 3 sind als Bohrprofile nach DIN 4023 in der **Anlagen-  
gruppe 2** (Anlage 2.1 - 2.3) in detaillierter Form mit der Aufnahme der Feinschichtung, etc. dargestellt. Im vorliegenden Bericht wird wegen des Umfangs auf eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Schichten verzichtet, da diese in den Bohrprofilen differenziert beschrieben sind. Desweiteren sind in den Bohrprofilen die aus den Bohrkernen zur Durchführung von Laborversuchen entnommenen Proben eingetragen. Eine gesonderte Auflistung dazu ist deshalb nicht erfolgt.

### **3.3 Ausbau der Bohrung BK 2 mit einem geschlossenen Wärmeübertragungssystem (Erdwärmesonde)**

Am 22.01.2014 erfolgte der Ausbau der Bohrung BK 2 mit einem geschlossenen Wärmeübertragungssystem.

Nach Beendigung der Bohrarbeiten mit einer erreichten Bohrtiefe von 99,0 m erfolgte der Ausbau des Bohrgestänges. Anschließend wurde das Bohrloch gelotet. Dabei wurde eine Bohrlochtiefe von 96,0 m gemessen.

Danach erfolgte der Einbau einer Doppel-U-Sonde vom Typ Rehau RAUGEO 32x2,9 mm PeXa SDR 11 mit einem vormontierten Sondenfuß. Die Sonde mit einer vorgefertigten Länge von 100 m wurde für den Einbau mit einem Gewicht am Sondenfuß versehen und von einer Haspel ins Bohrloch abgelassen. Zur Verpressung wurde unmittelbar über dem Sondenfuß ein Verpressschlauch am Sondenbündel befestigt, der nach der Verpressung im Bohrloch verbleibt.

Die Verpressarbeiten erfolgten mit einer Misch- und Verpressanlage vom Typ Gertec IS-38-E unter Verwendung des Füllbinders EWM der Firma Schwenk.

Die Rezeptur wurde mit 8 Sack pro 60 l Wasser (der Wasserbedarf ist mit ca. 8 l pro Sack angegeben) gewählt. Vor dem Verpressen wurde die Suspensionsdichte mit der Spülungswaage kontrolliert und dabei eine Dichte von 1,89 kg/l gemessen, die der vom Hersteller angegebenen Dichte von 1,9 kg/l entspricht.

Die Verpressung wurde nach dem Austritt von Suspension aus der Bohrlochverrohrung beendet.

Danach wurde die Verrohrung ausgebaut und das Bohrloch mit Suspension nachgestützt.

Die Überwachung erfolgte nach den Vorgaben der Genehmigungsbehörde.

### 3.4 Laboruntersuchungen

#### 3.4.1 Untersuchung des Grundwassers auf Beton angreifende Eigenschaften nach DIN 4030

Bei den geotechnischen Untersuchungen wurde aus dem Bohrloch der BK 2 eine Wasserprobe nach den Grundsätzen der DIN EN ISO 22475-1 entnommen und vom Analytik Institut Rietzler GmbH in 91522 Ansbach auf chemisches Angriffsvermögen bzw. auf die Leitparameter zur Beurteilung von Beton angreifenden Eigenschaften nach DIN 4030 im Labor untersucht.

Das Ergebnis dieser Untersuchung am Grundwasser ergab nach DIN 4030 ein „**nicht Beton angreifendes**“ Grundwasser.

Die Einzelergebnisse der Wasseruntersuchung sind in Form eines Prüfberichtes in der **Anlagen-*gruppe 4*** (Anlage 4.1 - 4.2) zusammengestellt.

#### 3.4.2 Bestimmung der Dichten nach DIN 18 125

Die Dichten wurden nach DIN 18125 Teil 1 an den Gesteinsproben bestimmt, die aus den Bohrkernen der Bohrungen BK 1 bis BK 3 entnommen wurden. Die Proben wurden felsmechanisch durch Schneiden und Endflächenbearbeitung für die Dichtebestimmung und für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit vorbereitet. Die Entnahmestellen, die Entnahmetiefen und die Abmessungen der Probenkörper und die ermittelten Dichten sind in der nachfolgenden Tabelle 3.4.2 dargestellt.

**Tabelle 3.4.2-1:** Ergebnisse der Dichtebestimmung nach DIN 18125 Teil 1 - BK 1

Proben – Nr.	1	2	3	4
Entnahmestelle	BK 1	BK 1	BK 1	BK 1
Entnahmetiefe [m u. GOK] (Felsart)	56,60 bis 56,85 (Sst)	56,85 bis 57,00 (Sst)	59,35 bis 59,40 (Sst)	92,55 bis 92,64 (Tst)
Höhe der Probe h [cm]	25,6	14,65	4,78	8,78
Durchmesser der Probe d [cm]	10,14	10,14	10,19	10,09
Volumen der Probe V [cm <sup>3</sup> ]	2067,31	1183,05	389,82	702,05
Masse der Probe m [g]	4389,61	2529,64	879,48	1737,86
Dichte der Probe $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2,123	2,138	2,256	2,475

**Tabelle 3.4.2-2:** Ergebnisse der Dichtebestimmung nach DIN 18125 Teil 1 - BK 2

Proben – Nr.	1	2	3
Entnahmestelle	BK 2	BK 2	BK 2
Entnahmetiefe [m u. GOK] (Felsart)	32,60 bis 32,85 (Sst)	44,08 bis 44,18 (Sst)	91,05 bis 91,10 (Tst)
Höhe der Probe h [cm]	24,89	8,44	3,54
Durchmesser der Probe d [cm]	10,09	10,12	10,13
Volumen der Probe V [cm <sup>3</sup> ]	1990,2	678,88	285,31
Masse der Probe m [g]	5437,66	1529,42	662,64
Dichte der Probe $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2,732	2,253	2,323

**Tabelle 3.4.2-3:** Ergebnisse der Dichtebestimmung nach DIN 18125 Teil 1 - BK 3

Proben – Nr.	1	2	3	4
Entnahmestelle	BK 3	BK 3	BK 3	BK 3
Entnahmetiefe [m u. GOK] (Felsart)	32,30 bis 32,55 (Sst)	32,55 bis 32,65 (Sst)	43,40 bis 43,65 (Sst)	81,00 bis 81,04 (Tst)
Höhe der Probe h [cm]	25,29	7,15	25,1	4,02
Durchmesser der Probe d [cm]	10,12	10,12	10,14	10,28
Volumen der Probe V [cm <sup>3</sup> ]	2034,23	575,12	2026,93	333,66
Masse der Probe m [kg]	5398,12	1262,56	4369,43	820,15
Dichte der Probe $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2,654	2,195	2,156	2,458

Die Dichtebestimmungen ergaben für die Sandsteinproben aus dem Eisensandstein Werte von vorwiegend 2,12 bis 2,26 [g/cm<sup>3</sup>]. Die aus den Bohrkernen der BK 2 und BK 3 im Tiefenbereich von ca. 32,5 m entnommenen Proben weisen Dichten von 2,73 und 2,65 [g/cm<sup>3</sup>] auf. An den Proben aus den Tonsteinen des Opalinustons wurden Dichten von 2,32 bis 2,48 [g/cm<sup>3</sup>] gemessen.

Die Ergebnisse der Dichtebestimmung an den Gesteinsproben sind in der **Anlagengruppe 5** (Anlage 5.1) zusammengestellt.

### 3.4.3 Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit $q_u$ nach DIN EN 1926

Aus den Bohrkernen der Bohrungen BK 1 bis BK 3 wurden Kernstücke entnommen und zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit an das Institut für Geotechnik der Universität Siegen übergeben.

Die einaxiale Druckfestigkeit  $q_u$  wurde nach DIN EN 1926 bestimmt.

Die Ergebnisse sind nachfolgend und tabellarisch in der **Anlage 5.2 - 5.3** dargestellt.

**Tabelle 3.4.3: Einaxiale Druckfestigkeit  $q_u$**

Bohrung (Nr.)	Probe Nr.	Entnahmetiefe [m]	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Einaxiale Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
BK 1	1	32,6	2,737	20,90
BK 2	1	56,6	2,111	19,29
BK 3	1	32,3	2,737	81,67
BK 3	2	43,4	2,160	20,23

Die untersuchten Sandsteine weisen eine Dichte von 2,111 bis 2,737 [g/cm<sup>3</sup>] und eine einaxiale Druckfestigkeit von 19,29 bis 20,90 [N/mm<sup>2</sup>] auf. Der aus der Bohrung BK 3 in einer Tiefe von ca. 32,3 m entnommene Bohrkern weist im Versuch eine einaxiale Druckfestigkeit von 81,67 [N/mm<sup>2</sup>] auf.

### 3.4.4 Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit $q_u$ mittels Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT

Die Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit  $q_u$  wurde über Korrelationsbeziehungen aus Punktlastversuchen gemäß den Empfehlungen Nr. 5 der DGGT durchgeführt. Die Ergebnisse der Punktlastversuche sind mit der Angabe der Probenabmessungen, der Bruchlast und der mit Korrelationsbeziehungen errechneten einaxialen Druckfestigkeit  $q_u$  der Felsproben tabellarisch dargestellt (siehe auch Versuchsprotokoll in der Anlage 5.4).

**Tabelle 3.4.4: Einaxiale Druckfestigkeit  $q_u$**

Aufschluss Bohrung (Nr.)	Entnahmetiefe unter Ansatzpunkt [m]	Einaxiale Druckfestig- keit $q_u$ [MN/m <sup>2</sup> ]
BK 1	59,35-59,40	87,9
BK 1	92,55-92,65	52,2
BK 1	92,55-92,65	47,6
BK 2	44,00-44,10	56,6
BK 2	91,05-91,10	34,9
BK 3	32,30-32,40	16,6
BK 3	81,00-81,05	96,0

Das Ergebnis der Laboruntersuchungen ist in Form eines Versuchsprotokolles in der **Anlagen-*gruppe 5*** (Anlage 5.4) diesem Bericht beigelegt.

### 3.4.5 Bestimmung der Indirekten Zugfestigkeit nach SN 670 354

Aus dem Bohrkern der Bohrung BK 1 wurde am Kernstück aus der Tiefe von ca. 56,85 m ein Versuch zur Bestimmung der Indirekten Zugfestigkeit von zylindrischen Probekörpern (Brasilianerversuch) nach der Schweizer Norm 670 354 durchgeführt.

Die Ergebnisse sind nachfolgend und tabellarisch in der **Anlage 5.5** dargestellt.

**Tabelle 3.4.5: Indirekte Zugfestigkeit**

Bohrung (Nr.)	Probe Nr.	Entnahmetiefe [m]	Rohdichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Indirekte Zugfestigkeit [MPa]
BK 1	1	ca. 56,85	2,140	1,15

Der untersuchte Sandstein weist eine Indirekte Zugfestigkeit von 1,15 [MPa] auf.

### 3.4.6 Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit der Gesteinsproben wurde am Institut für Angewandte Geowissenschaften – Abteilung Ingenieurgeologie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) bestimmt. Die Untersuchung wurde mit dem Wärmeleitfähigkeitsmessgerät Isomet 2104 der Firma Applied Precision durchgeführt, das nach dem instationären Messprinzip arbeitet. Die Proben wurden felsmechanisch durch Schneiden und Endflächenbearbeitung für die Dichtebestimmung und für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit vorbereitet. Die Entnahmestellen, die Entnahmetiefen und die Abmessungen der Probenkörper und die bestimmten Wärmeleitfähigkeiten sind in der nachfolgenden Tabelle 3.4.6 dargestellt.

**Tabelle 3.4.6:** Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessung bei einer Raumtemperatur von 21 °C

<b>Bohrung (Nr.)</b>	<b>Probe Nr. (Felsart)</b>	<b>Entnahmetiefe [m]</b>	<b>Prüfseite</b>	<b>Wärmeleitfähigkeit* [W/(m*K)]</b>
BK 1	1 (Sst)	29,90-29,96	Oberseite	1,8 ± 0,18
BK 1	1 (Sst)	29,90-29,96	Unterseite	1,9 ± 0,19
BK 1	2 (Tst)	47,20-47,26	Oberseite	2,5 ± 0,25
BK 1	2 (Tst)	47,20-47,26	Unterseite	2,2 ± 0,22
BK 1	3 (Tst)	69,32-69,38	Oberseite	1,5 ± 0,15
BK 1	3 (Tst)	69,32-69,38	Unterseite	1,5 ± 0,15
BK 1	4 (Tst)	92,64-92,70	Oberseite	1,9 ± 0,19
BK 1	4 (Tst)	92,64-92,70	Unterseite	1,9 ± 0,19
BK 2	5 (Sst)	44,02-44,08	Oberseite	3,2 ± 0,32
BK 2	5 (Sst)	44,02-44,08	Unterseite	3,1 ± 0,31
BK 2	6 (Sst)	55,84-55,90	Oberseite	3,8 ± 0,38
BK 2	6 (Sst)	55,84-55,90	Unterseite	4,0 ± 0,40
BK 2	7 (Tst)	71,58-71,64	Oberseite	1,5 ± 0,15
BK 2	7 (Tst)	71,58-71,64	Unterseite	1,5 ± 0,15
BK 2	8 (Tst)	91,15-91,21	Oberseite	1,7 ± 0,17
BK 2	8 (Tst)	91,15-91,21	Unterseite	1,6 ± 0,16
BK 3	9 (Sst)	32,74-32,80	Oberseite	4,3 ± 0,43
BK 3	9 (Sst)	32,74-32,80	Unterseite	3,3 ± 0,33
BK 3	10 (Sst)	59,20-59,26	Oberseite	4,1 ± 0,41
BK 3	10 (Sst)	59,20-59,26	Unterseite	4,0 ± 0,40
BK 3	11 (Tst)	73,12-73,18	Oberseite	1,7 ± 0,17
BK 3	11 (Tst)	73,12-73,18	Unterseite	1,7 ± 0,17
BK 3	12 (Tst)	81,04-81,10	Oberseite	2,3 ± 0,23

BK 3	12 (Tst)	81,04-81,10	Unterseite	2,3 ± 0,23
------	----------	-------------	------------	------------

\*) Mittelwert aus 3 Messungen

Die Ergebnisse zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit an den Gesteinsproben lassen sich wie folgt bewerten:

An den Proben aus den Sandsteinen mit einzelnen Tonsteinlagen der Eisensandsteinformation wurden Wärmeleitfähigkeiten  $\lambda$  von 1,8 bis 4,3 [W/(m•K)] gemessen, die in der Bandbreite der in der VDI 4640 (2010) für Sandstein angegebenen Wärmeleitfähigkeiten von 1,9 - 4,6 [W/(m•K)] liegen. Der Mittelwert für die untersuchten Proben aus der Eisensandsteinformation beträgt 3,2 [W/(m•K)] und liegt über dem für Sandstein im v.g. Regelwerk angegebenen Rechenwert von 2,8 [W/(m•K)].

An den Proben aus den Tonsteinen des Opalinustons wurden Wärmeleitfähigkeiten  $\lambda$  von 1,5 bis 2,3 [W/(m•K)] gemessen, die in der Bandbreite der in der VDI 4640 (2010) für Tonstein angegebenen Wärmeleitfähigkeiten von 1,1 - 3,4 [W/(m•K)] liegen. Der Mittelwert für die untersuchten Proben aus dem Opalinuston beträgt 1,8 [W/(m•K)] und liegt unter dem für Tonstein im v.g. Regelwerk angegebenen Rechenwert von 2,2 [W/(m•K)].

Die Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsbestimmung an den Gesteinsproben sind in der **Anlagen-  
gruppe 6** (Anlagen 6.1 bis 6.5) im Bericht des KIT vom 03.02.2014 zusammengestellt.

### 3.5 Geothermal Response Test

#### Vorbemerkungen:

Die Ergebnisse des direkten Aufschlusses (Bohrung BK 2) sind in der **Anlage 2.2** als Bodenprofil nach DIN 4023 dargestellt. Der Ausbau mit dem geschlossenen Wärmeübertragungssystem (Erdwärmesonde) und die Hinterfüllung/Verpressung des Ringraumes, mit Ausbauplan und Prüfprotokolle und Schichtenverzeichnis sind in der **Anlagengruppe 3** (Anlage 3.1 - 3.10) enthalten.

#### 3.5.1 Temperaturprofil

Vor der Durchführung des Geothermal Response Tests wurde das Temperaturprofil der ungestörten Untergrundtemperatur über die 96 m tiefe Erdwärmesonde EWS (BK 2) bestimmt.

Das Temperaturprofil zeigt, dass die Temperatur von der Erdoberfläche bis in eine Tiefe von 10 m erwartungsgemäß rasch bis auf 11,0 °C zunimmt. Ab 10 m Tiefe ist die Untergrundtemperatur im

Bereich des Eisensandsteins mit Werten zwischen 11,0 und 11,7 °C nahezu konstant. An der Grenze zum Opalinuston besteht ein markanter Knick im Temperaturprofil und die Temperatur nimmt bis zum Sondenfuss in einer Tiefe von 96 m mit einem hohen Temperaturgradienten von 6°/100 m konstant zu. Am Sondenfuss beträgt die Temperatur 13,8 °C.

Der sehr niedrige Temperaturgradient im Bereich des Eisensandsteins deutet auf konvektiven Wärmetransport durch Porenwasserflüsse hin. In den relativ porösen und permeablen Schichten des Eisensandsteins findet ein durch Kapillarkräfte bedingter Wärmetransport von unten nach oben statt.

Einzelheiten zum Temperaturprofil sind im Kapitel 4 des Berichtes der progeo GmbH - Hansjakob Schächli, CH-9500 Wil beschrieben und dargestellt, der in der **Anlagengruppe 7** dem Bericht beigelegt ist.

### 3.5.2 Ergebnisse des Thermal Response Tests

Der Thermal Response Test an der Erdwärmesonde EWS wurde am 06.02.2014 begonnen. Der Test wurde mit dem Gerät GEOGERT 2.0 der italienischen Firma GEOenergia über einen Versuchszeitraum von 90 Stunden durchgeführt. Die Auswertung erfolgt mit der dazugehörigen Software GEOSOFT 2.0.

Für die Auswertung des Thermal Response Tests wird das Zeitintervall 5,4 bis 89,3 Stunden (nach Versuchsbeginn) betrachtet. Die mittlere thermische Leistung betrug 3800 W, der mittlere Durchfluss 1234 l/h. Die Sondenlänge beträgt 95 m und als Fluid wurde Wasser verwendet.

Die aus den Messungen berechneten Eigenschaften des Untergrundes sind nachfolgend dargestellt:

Mittlere ungestörte Untergrundtemperatur	$\vartheta$	11,8 °C
Spezifische Wärmeleitfähigkeit	$\lambda$	3,03 W/(m•K)
volumenbezogene spezifische Wärmekapazität	$\gamma \cdot c_p$	2,2 MJ/(m <sup>3</sup> •K)
Thermischer Bohrlochwiderstand	$R_T$	0,0820 mK/W

#### Interpretation:

Die mittlere Wärmeleitfähigkeit über die Bohrlochlänge von 0 bis 95 m unter Geländeoberkante beträgt am untersuchten Standort 3,03 [W/m•K] und liegt geringfügig über dem mittleren Erfahrungswert für die angetroffenen geologischen Einheiten. Die häufig überdurchschnittlich gute Kornbindung in den angebohrten Schichten sowie der Feuchtigkeitsgehalt in den Porenräumen der Sandsteine haben einen positiven Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit.

Die im TRT ermittelte spezifische Wärmekapazität beträgt 2,2 [MJ/(m<sup>3</sup>•K)] und entspricht dem für Ton- und Sandstein zu erwartenden Wert (empf. Rechenwert SIA 384/6: Tonstein 2,2 [MJ/(m<sup>3</sup>•K)], Sandstein 2,1 [MJ/(m<sup>3</sup>•K)]).

### **Zusammenfassende Beurteilung des Standortes**

Die gute Wärmeleitfähigkeit im Untergrund wirkt sich positiv auf die Effizienz der Wärmenutzung mittels Erdwärmesonden aus. Es handelt sich um einen guten Standort für die Erdwärmennutzung. Die im TRT ermittelte spezifische Wärmekapazität entspricht dem Erwartungswert von Ton- und Sandstein. Der Standort eignet sich gut für die Speicherung von Wärmeenergie im Untergrund.

Die Ergebnisse des Thermal Response Tests sind in Form eines Berichtes der progeo GmbH Hansjakob Schächli und der ACRenergiebohr ag in der **Anlagengruppe 7** (Anlage 7.1 – 7.21) zusammengestellt.

## **3.6 Weitergehende Untersuchungen**

### **3.6.1 Bergbau im Bereich Geislingen an der Steige**

Nordwestlich des Michelberg-Gymnasiums fand in der Grube Karl ein Eisenerzbergbau unter dem Michelsberg statt. Das Bergwerksfeld der ehemaligen Grube Karl verläuft ca. 200 m nordwestlich des geplanten Geothermie-Speichers. Der Bergbau wurde in den 1970er Jahren eingestellt und das Gewinnungsrecht ist mittlerweile erloschen.

Aufgrund der Lage des Michelberg-Gymnasiums außerhalb des Bergwerksfeldes im Talraum der Fils ist im unmittelbaren Bereich des geplanten Geothermie-Speichers kein Bergbau umgegangen.

### **3.6.2 Mineralbrunnen von Bad Überkingen**

Die Mineral- und Thermalwasser-Bohrungen von Bad Überkingen weisen einen Abstand von ca. 2 km zum Michelberg-Gymnasium auf, wobei der Großteil der Bohrungen deutlich größere Abstände aufweist. Neben dem räumlichen Abstand erschließen die Bohrungen Wässer aus dem Stubensandstein des Keupers, Muschelkalk und Buntsandstein, so dass durch die Überdeckung des am Michelberg-Gymnasium ab einer Tiefe von ca. 60 m erkundeten Opalinustons als Grundwasserringleiter eine ausreichende Schutzwirkung für die im tieferen Untergrund genutzten Mineral- und Thermalwässer vorhanden ist.

Eine geothermische Nutzung und Speicherung am Michelberg-Gymnasium hat damit keinen Einfluss auf die Mineral- und Thermalwassernutzungen in Bad Überkingen.

## 4 Geologische Situation

Nach der geologischen Karte von Baden-Württemberg, Blatt Nr. 7324 Geislingen an der Steige-West, steht im Bereich des städtischen Michelberg-Gymnasiums oberflächennah qj – junge Talfüllungen aus Kies, meist sandig, in größeren Tälern mit ebenen Talböden überlagert von z.T. anmoorigen Auelehm, lokal mit Abschwemmungen; Pleistozän bis Holozän an.

Das Liegende wird im Bereich des Gymnasiums am Rand des Filstalraums beginnend mit bj1 – der Wendelstein-Formation aus Tonstein, dunkelblau, sandig; Oolithhorizonte u.a. ausgewiesen. Darunter steht al2E – Eisensandstein aus Sandstein, grau, rostfarben, verwitternd z.T. unterschiedlich eisenschüssig, („Donzdorfer Sandsteine“, häufig dickbankig kompakt, hart; „Personatensandsteine“ z.T. tonflaserig, mürbe); Tonstein, dunkelgrau, wechselnd sandflaserig, Mächtigkeit: 55 – 75 m (Mächtigkeitszunahme nach NE). Früher: Braunjura  $\beta$ . Unter der bj1- Formation folgt: al 1- Opalinuston als Tonstein, dunkelgrau, schwach feinsandig, glimmerig, dünnbankig – plattig, aufgewittert, mit gelegentlichen Einschaltungen von Toneisenstein-Konkretionen, Einschaltung von Kalksandsteinen („Zopfplatte) mit zahlreichen Kriech- und Wühlspuren; Mächtigkeit: 110 – 120 m. Früher: Braunjura  $\alpha$ .

## 5 Beurteilung des Untergrundes zur geothermischen Speicherung

Die geotechnischen und hydrogeologischen Untersuchungen, zeigen für den untersuchten Bereich des Städtischen Michelberg-Gymnasiums Geislingen a. d. Steige in Verbindung mit den allgemeinen Grundlagen zur Geologie folgende Situation:

### 5.1 Speicherfähigkeit des Untergrundes

Die Ergebnisse der Bohrungen BK 1 bis BK 3 zeigen unter 1,55 bis 3,2 m mächtigen Auffüllungen bei BK 1 und BK 3 zunächst Schluffe/Tone in weicher Konsistenz und anschließend -wie bei BK 2- Kies-Sande mit schluffigen und steinigen Nebenanteilen der quartären Talfüllungen der Fils. Darunter wurden bis in Tiefen von 6,9 bis 8,6 m ocker farbene Sandsteine des Donzdorfer Sandsteins und nachfolgend tonflaserige Sandsteine und sandflaserige Tonsteine der Eisensandsteinformation erbohrt. Dazwischen wurde im Tiefenbereich von ca. 15,8 bis 19,8 m das Geislinger Flöz aus rotgrauen-rostbraunen Sandsteinen, an der oberen Schichtgrenze mit Eisenkonkretionen in einer Mächtigkeit von 2,8 bis 3,45 m erkundet. Ab einer Tiefe von 59,5 bis 60,2 m unter Ansatzpunkt wurden bis zum Bohrende in einer Tiefe von 99 m Tonsteine, mit Kalksandsteinplatten/-bänken des Opalinustons erbohrt.

Nachdem die Mächtigkeit des Opalinustons in der Geologischen Karte mit 110-120 m angegeben ist, wurde bei den Bohrungen nur etwa das obere Drittel (40 m) der Gesamtmächtigkeit des Opalinustons erkundet.

Das Grundwasser wurde bei den Bohrungen in Tiefen von 3,8 bis 5,3 m unter GOK in den quartären Talfüllungen der Fils eingemessen.

**Die vorliegenden Bohrergergebnisse stellen eine Bestätigung der aus dem Bau des Schulzentrums und der allgemeinen geologischen Situation (siehe Bericht zur Stufe 1) abgeleiteten Schichtung des Untergrundes dar. Der Übergang von der Eisensandsteinformation zum Opalinuston steht etwa 4-5 m unter der (in der Stufe 1) angenommenen Schichtgrenze an.**

**Die erkundete Höhenlage der Schichtobergrenze des Geislinger Flözes zeigt -in Verbindung mit den Ergebnissen der Stufe 1- ein geringes Gefälle in östlicher Richtung. Dies gilt in gleicher Weise für die Schichtgrenze Eisensandstein - Opalinuston. Auf der Grundlage der o.g. Ergebnisse liegt im Bereich des geplanten Geothermie-Speichers keine Störungs-/Verwerfungszone vor.**

### **5.1.1 Eisensandstein-Formation**

Die unter den quartären Talfüllungen der Fils erkundeten Sandsteine und Tonsteine der Eisensandsteinformation weisen Dichten von 2,12 bis 2,73 [t/m<sup>3</sup>] und im Labor gemessene Wärmeleitfähigkeiten von 1,8 bis 4,3 [W/(m•K)] auf. Der Mittelwert für die untersuchten Proben aus der Eisensandsteinformation beträgt 3,2 [W/(m•K)] und liegt über dem für Sandstein im v.g. Regelwerk angegebenen Rechenwert von 2,8 [W/(m•K)].

Die Temperaturmessung in der ausgebauten Erdwärmesonde ergab im Eisensandstein nahezu konstante Werte zwischen 11,0 und 11,7 °C.

Die Eisensandstein-Formation stellt damit einen gut bis sehr gut speicherfähigen Untergrund dar. Größere und insbesondere stationäre Grundwasserbewegungen und damit verbundene Speicherverluste und Transportvorgänge im Grundwasser sind infolge der geringen Durchlässigkeit -bis auf lokale Zonen- nicht zu erwarten.

### **5.1.2 Opalinuston-Formation**

Die Tonsteine mit Kalksandsteinplatten/-bänken des Opalinustons weisen Dichten von 2,32 bis 2,48 [t/m<sup>3</sup>] und im Labor gemessene Wärmeleitfähigkeiten von 1,5 bis 2,3 [W/(m•K)] auf. Der Mittelwert für die untersuchten Proben aus dem Opalinuston beträgt 1,8 [W/(m•K)] und liegt unter dem für Tonstein im v.g. Regelwerk angegebenen Rechenwert von 2,2 [W/(m•K)].

Der Opalinuston stellt einen Grundwasserstauer dar, so dass keine Speicherverluste infolge von Grundwasserbewegungen zu erwarten sind. Dies steht auch damit in Einklang, dass bei der Temperaturmessung in der ausgebauten Erdwärmesonde an der Schichtgrenze Eisensandstein - Opalinuston ein deutlicher Knick im Temperaturverlauf gemessen wurde und die Temperatur im Opalinuston mit einem hohen Temperaturgradienten von ca. 6°C/100 m konstant zunimmt. Infolge der im Opalinuston natürlich vorhandenen höheren Temperaturen ist eine Speicherung von solarer Energie in diesem Schichthorizont nur begrenzt möglich. Dies gilt insbesondere für einen Niedrig-Temperaturspeichers bis maximal 30°C.

## 5.2 Grundlagen der Modellierung/Bemessung des Geothermie-Speichers

Die Grundlage der Modellierung und Bemessung des Geothermie-Speichers stellen die Ergebnisse des an einer 95 m tiefen Erdwärmesonde durchgeführten ThermalResponseTests (TRT) dar.

Die aus dem TRT berechneten Eigenschaften des Untergrundes sind nachfolgend dargestellt:

Mittlere ungestörte Untergrundtemperatur	$\varrho$	11,8 °C
Spezifische Wärmeleitfähigkeit	$\lambda$	3,03 W/(m•K)
volumenbezogene spezifische Wärmekapazität	$r \cdot c_p$	2,2 MJ/(m <sup>3</sup> •K)
Thermischer Bohrlochwiderstand	$R_T$	0,0820 mK/W

Unter Ansatz der v.g. Kenngrößen kann eine Modellierung/Bemessung des Geothermie-Speichers unter Berücksichtigung der monatlichen Summen für Wärmeentzug und Wärmeertrag erfolgen. Dabei sollte eine Simulation der Vor- und Rücklauftemperaturen des Erdwärmesondenfeldes für einen Zeitraum von 50 Jahren erfolgen.

## 5.3 Grundwasserbeeinflussung

Aus den Bohrungen BK 1 bis BK 3 ergibt sich, dass die Anordnung eines Geothermiespeichers bis in den oberen Teil des Opalinustons bis ca. 65 m unter derzeitiger GOK (Pausenhof Städtisches Michelberg-Gymnasium) möglich und geothermisch günstig erscheint und die geothermische Speicherung -mit einem ausreichenden Abstand- unterhalb des 1. Grundwasserstockwerkes erfolgt und somit genehmigungsfähig ist. Ein ausreichender Schutz ist u.E. für das 1. Grundwasserstockwerk gegeben, wenn die Einspeisung von solarer Energie unterhalb des Donzdorfer Sandsteins ab ca. 8 m bis maximal zur Schichtgrenze zum Opalinuston erfolgt. Dieser Ansatz ist auch in der Form zu empfehlen, da eine Dämmung der Speicheroberfläche nur begrenzt möglich und im Grundwasserstrom der Fils ohne Wirkung ist, so dass eine Dämmung und Entkoppelung des Einflusses auf die Oberfläche mit einer ausreichenden Bodenüberlagerung hier aus gutachterlicher Sicht zu empfehlen ist.

Infolge der vorgesehenen maximalen Bohrtiefe von 99 m wird das Bergrecht nicht berührt.

Eine Grundwasserbeeinflussung findet deshalb nur für das Klufftgrundwasser im Bereich des Eisensandsteines **a12E**, der nach den LQS EWS und den geologischen Daten als schichtig geliederter Grundwasserleiter ausgewiesen ist, statt. Infolge der geringen Durchlässigkeit und der

schichtartigen Gliederung ist nur eine örtliche Beeinflussung durch die Temperaturerwärmung im Speicher selbst zu erwarten, die keinen Einfluss auf benachbarte Bereiche ausübt, so dass von einem „Stationären Wärmespeicher“ mit den Speicherelementen (Wasser im Porenraum des Aquifers und dem Feststoff-Fels) auszugehen und größere Transportvorgänge an Energie nicht stattfinden.

## **6 Zusammenfassung und Schlussbemerkungen**

Im Rahmen der geotechnischen/hydrogeologischen Untersuchungen mit 3 Aufschlussbohrungen im Rotationskernbohrverfahren nach Tab. 2 und 5 der DIN EN ISO 22475-1 wurde der Untergrund im Bereich des geplanten Geothermie-Speichers am Michelberg-Gymnasium in Geislingen a.d. Steige erkundet und hinsichtlich seiner Eignung als Geothermie-Speicher untersucht.

Die Ergebnisse bestätigen die Grundsatzuntersuchungen der Stufe 1 und belegen die gute Eignung des Standortes für die Errichtung eines Geothermie-Speichers.

Auf der Grundlage der vorliegenden Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen, Laborversuche und des ThermalResponseTests ist eine Modellierung und Bemessung des Geothermie-Speichers durchzuführen. Dabei sollten nur einzelne Erdwärmesonden in den Opalinuston hinein gebohrt werden, um im Bedarfsfall eine höhere geothermische Energiegewinnung durch die im Opalinuston gemessenen höheren Temperaturen zu erreichen.

Wir stehen der Stadt Geislingen und den Beteiligten zu weiteren geotechnischen Fragen im Rahmen der weiteren Planung, der Ausschreibung und der Bauausführung jederzeit gerne zur Verfügung.

i.A.

(Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann)

**GEOTECHNIK GmbH**

(Dipl.-Ing. Thorsten Lauber)

---

**progeo**

**ACR** energiebohr ag  
energy from earth

Stadt Geislingen  
Schlossgasse 7  
73312 Geislingen

Temperaturmessung und Thermal-Response-Test

Michelberg Gymnasium  
73312 Geislingen an der Steige



Wil, 25. Februar 2014

---

progeo GmbH  
Hansjakob Schächli  
Hofbergstrasse 29  
Postfach  
9500 Wil  
Tel 071 911 60 33  
Fax 071 911 60 34  
www.progeo.ch  
schaeppli@progeo.ch

| Geologie | Hydrologie | Geothermie

## Grundlagendaten

Objekt	Erdwärmesondenfeld Michelberg-Gymnasium
Gemeinde	73312 Geislingen an der Steige
Höhe	418 m ü.M.
Sondentiefe	95 m
Auftraggeber	Stadt Geislingen Schlossgasse 7 73312 Geislingen



Abbildung 1: Übersicht Gymnasium mit den Sondierstandorten.

Kopie des Berichtes an:

- Univ.-Prof. Dr.-Ing. R.A. Herrmann, Universität Siegen, richard.herrmann@uni-siegen.de
- Prof. Dr. Horst M.Höfler, h.hoefler@gmx.com
- Fent Solare Architektur, 9500 Wil, giuseppe.fent@fent-solar.com

## 4.2 Messergebnisse Temperaturmessung

73312 Geislingen an der Steige  
Michelberg-Gymnasium

Bohrung BK2 vom 20. bis 22. Januar 2014  
Temperaturmessung am 6. Februar 2014

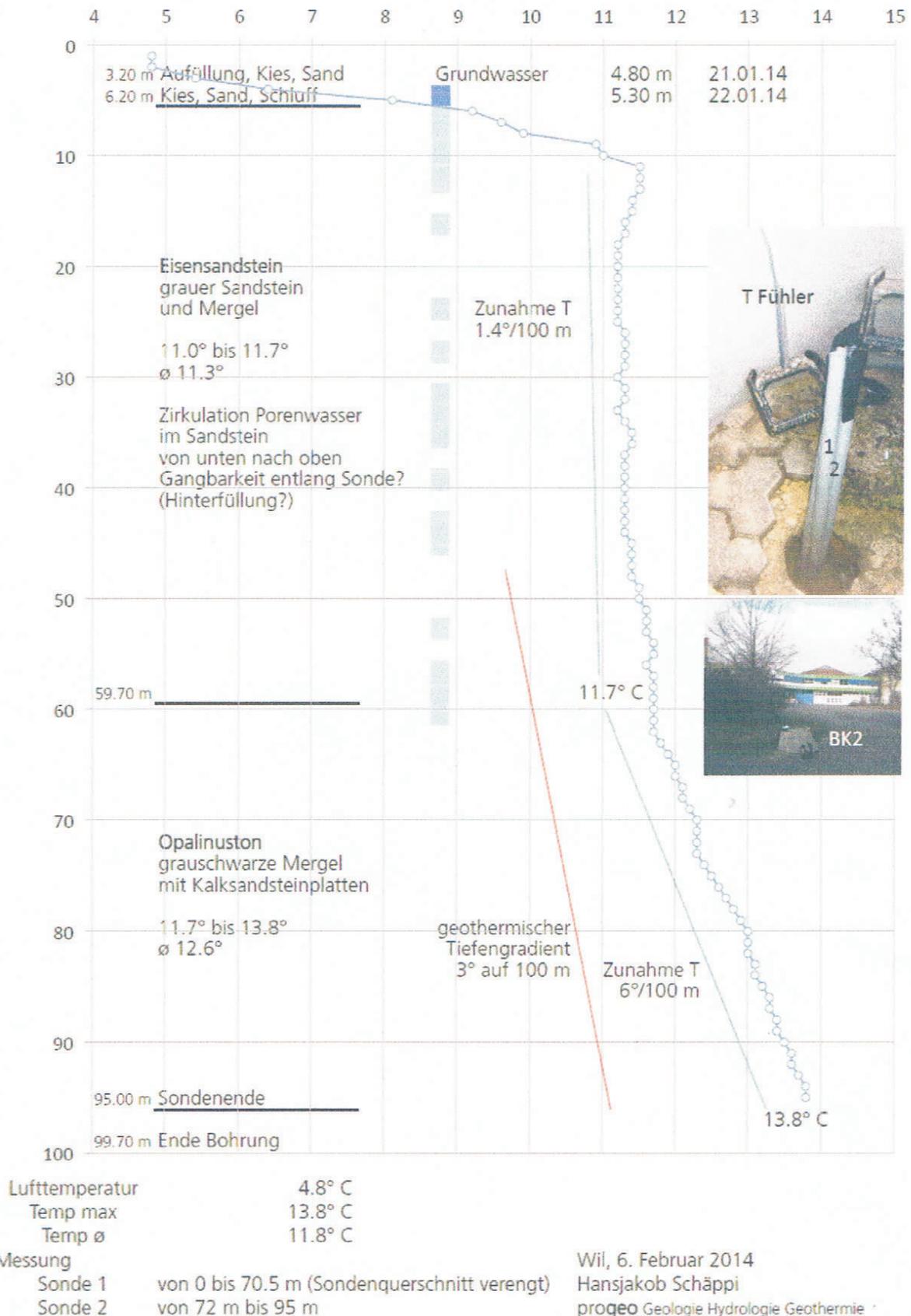


Abbildung 10: Temperaturverlauf in den getesteten Erdwärmesondenkreisläufen von BK 2.

Von der Erdoberfläche bis in eine Tiefe von 10 m nimmt die Temperatur erwartungsgemäss rasch zu, auf 11.0 °C. Ab 10 m Tiefe ist die Untergrundtemperatur im Bereich des Eisensandsteins dann nahezu konstant, mit Werten zwischen 11.0 und 11.7 °C. An der Grenze zum Opalinuston besteht ein markanter Temperaturknick. Ab 60 m bis zur Endtiefe der Bohrung nimmt die Temperatur konstant mit einem hohen Temperaturgradienten von 6 °C / 100 m zu. Am Sondenfuss beträgt die Temperatur 13.8 °C. Der sehr niedrige Temperaturgradient im Bereich des Eisensandsteins deutet auf konvektiven Wärmetransport durch Porenwasserflüsse hin. In den relativ porösen und permeablen Schichten des Eisensandsteins findet ein durch Kapillarkräfte bedingter Wärmetransport von unten nach oben statt.



Abbildung 11: Schacht der Bohrung BK 2 mit den EWS.

### 5.3 Ergebnisse TRT

Am Standort wurde vom 6. Februar bis 10. Februar 2014 ein TRT durch die Firma ACR energiebohr AG ausgeführt.

Die Versuchsdauer beträgt insgesamt 90 h. Über die gesamte Versuchsdauer wurde die Temperatur des Fluids am Sondeneintritt und am Sondenausritt gemessen:

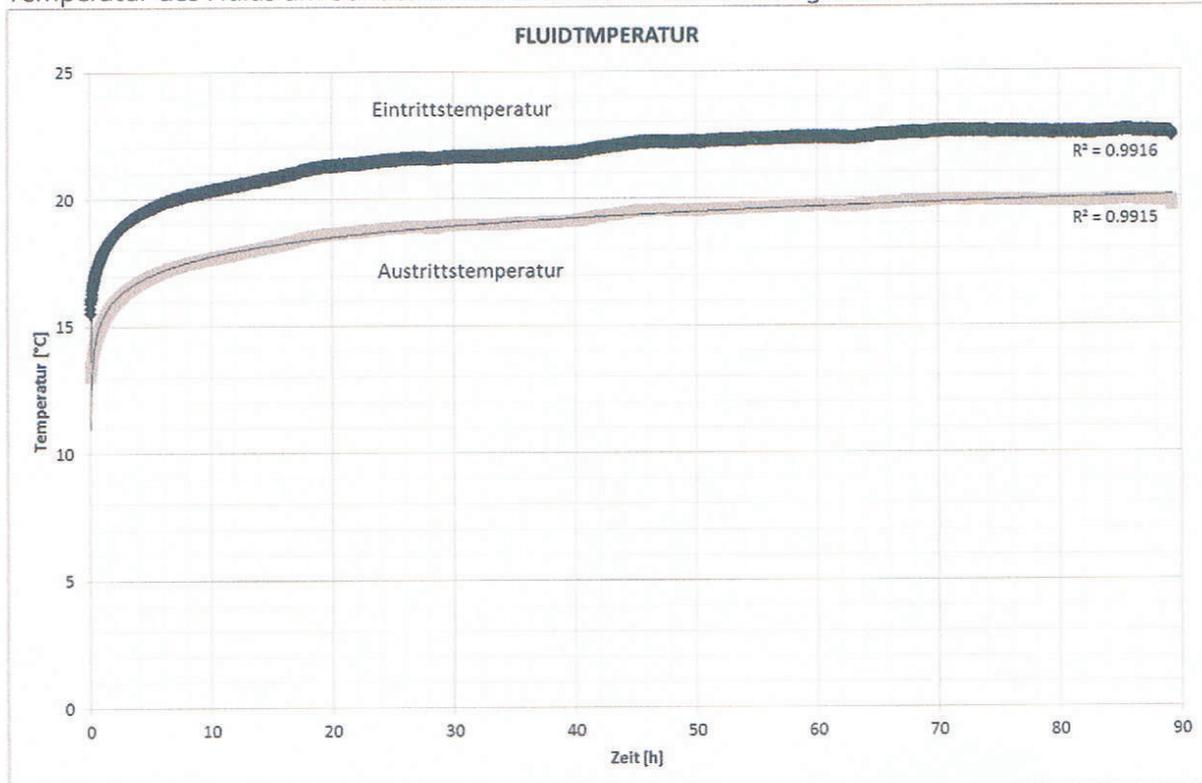


Abbildung 13: Vor- und Rücklauftemperaturen des Fluids.

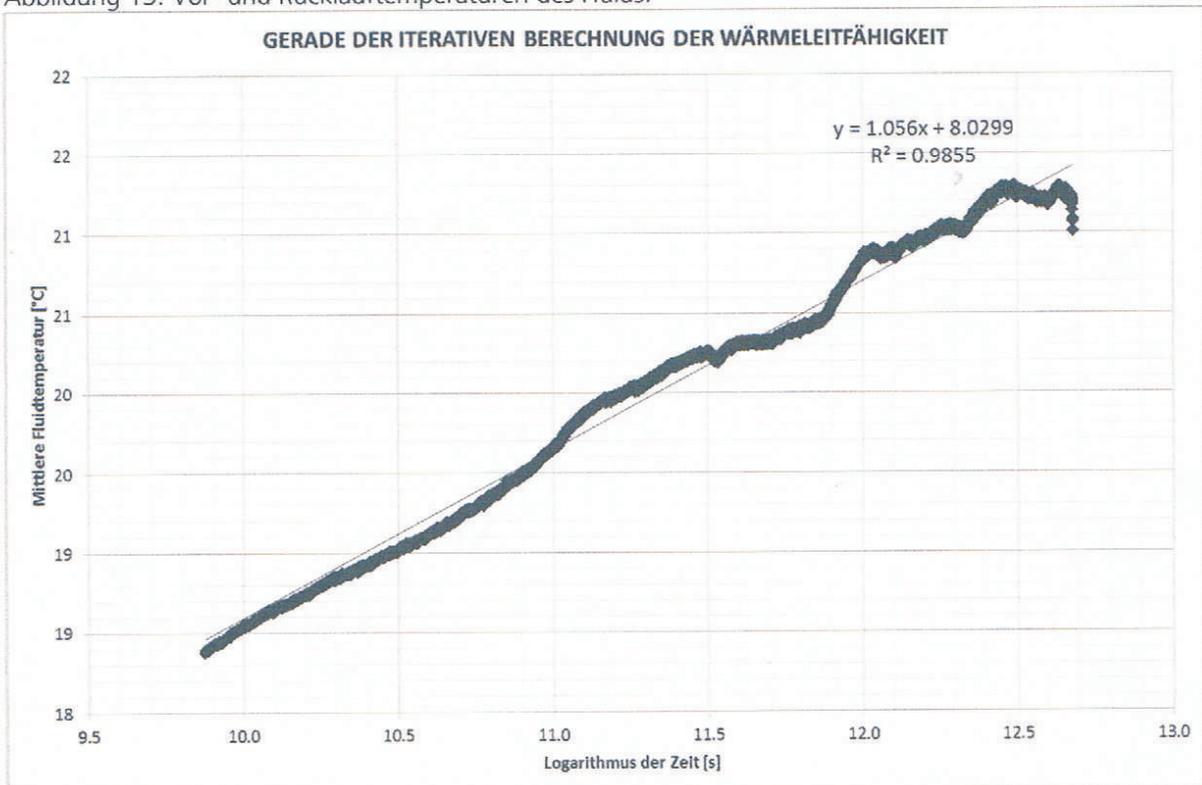


Abbildung 14: Ab einer gewissen Versuchsdauer wird der Zusammenhang zwischen mittlerer Fluidtemperatur und logarithmischer Zeit in guter Näherung linear. Dieses Zeitfenster kann zur Berechnung der mittleren Leitfähigkeit mittels Kelvin'scher Linienquellentheorie herangezogen werden.

Für die Approximation der mittleren Leitfähigkeit über die Versuchsdauer kann zur Kontrolle das einfache Modell der Kelvin'schen Linienquellentheorie verwendet werden. Im vorliegenden Fall wurde das Zeitfenster ab 5.4 h bis Versuchsende ausgewertet.

Wird wie in Abbildung 14 die mittlere Fluidtemperatur gegen den natürlichen Logarithmus der Zeit aufgetragen, kann die Steigung der Regressionsgeraden bestimmt werden (hier  $k = 1.056$ ).

Gemäss Linienquellentheorie gilt dann für die Steigung  $k$  der folgende Zusammenhang:

$$k = Q / 4\pi * H * \lambda$$

wobei

- k: Steigung der Regressionsgeraden
- Q: Eingespeiste Wärmeleistung [W]
- H: Sondenlänge [m]
- $\lambda$ : effektive Wärmeleitfähigkeit, d.h. inklusive konvektivem Wärmetransport und anderer standortspezifischer Einflüsse [W/mK]

Die Wärmeleitfähigkeit ist somit:  $\lambda = Q / 4\pi * H * k$

Mit den gemessenen Eingangsparametern ergibt diese Approximation im vorliegenden Fall eine Wärmeleitfähigkeit von **3.014 W/(mK)**.

Die numerische Simulation ergibt folgende Leitfähigkeit:

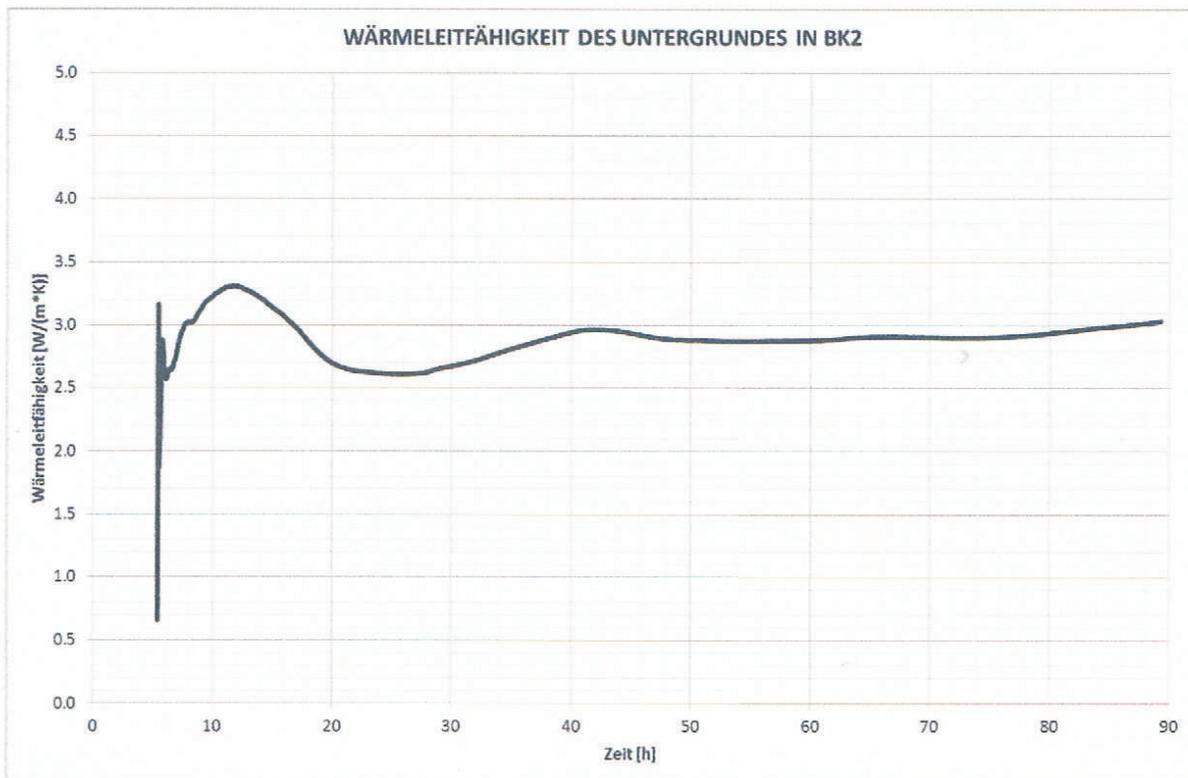


Abbildung 15: Im Laufe des Versuchs schrittweise berechnete Wärmeleitfähigkeit.

Relevant ist der zuletzt gemessene Wert. Dieser beträgt im vorliegenden Fall **3.03 W/(mK)**.

## 5.4 Zusammenfassung der TRT-Messergebnisse

Randbedingungen:

Zeitfenster Auswertung	5.4 h – 89.3 h
Messintervall	60 s
Mittlere thermische Leistung	3800 W
Mittlerer Durchfluss	1'234 l/h
Strömungsregime	turbulent
Fluid	Wasser
Sondenlänge	95 m

Tabelle 1: Randbedingungen des TRT

Aus den Messungen berechnete Eigenschaften des Erdreichs:

Ungestörte Erdreichtemperatur*	11.8 °C
Spezifische Wärmeleitfähigkeit	3.03 W/(mK)
Spezifische Wärmekapazität	2.2 MJ/(m <sup>3</sup> K)
Thermischer Bohrlochwiderstand	0.0820 mK/W

Tabelle 2: aus den Temperaturmessungen berechnete Parameter.

\*aus Temperaturmessung

Interpretation:

Die mittlere Wärmeleitfähigkeit über die Bohrlochlänge von 0 bis 95 m unter Terrain beträgt am unteruchten Standort **3.03 W/(mK)**. Dieser Wert liegt leicht über dem mittleren Erfahrungswert für die angetroffenen geologischen Einheiten. Die allgemein empfohlenen Rechenwerte gemäss VDI 4640 betragen für Sandstein 2.8 W/(mK) und für Tonstein 2.2 W/(mK). Die häufig überdurchschnittlich gute Kornbindung in den angebohrten Schichten sowie der Feuchtigkeitsgehalt in den Porenräumen der Sandsteine haben einen positiven Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit.

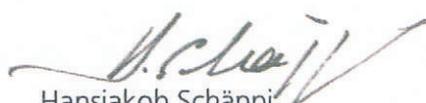
Die im TRT ermittelte spezifische Wärmekapazität beträgt **2.2 MJ/(m<sup>3</sup>K)** und entspricht somit dem für Ton- und Sandstein zu erwartenden Wert (empfohlener Rechenwert SIA 384/6: Tonstein 2.2 MJ/(m<sup>3</sup>K), Sandstein 2.1 MJ/(m<sup>3</sup>K)).

## 6. Zusammenfassende Beurteilung des Standortes

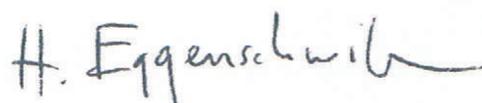
Die gute Wärmeleitfähigkeit im Untergrund wirkt sich positiv auf die Effizienz der Wärmenutzung mittels Erdwärmesonden aus. Es handelt sich um einen guten Standort für die Erdwärmenutzung.

Die im TRT ermittelte spezifische Wärmekapazität entspricht dem Erwartungswert für Ton- und Sandstein. Der Standort eignet sich gut für die Speicherung von Wärmeenergie im Untergrund.

Wil, 24. Februar 2014



Hansjakob Schächli  
dipl phil II Geologe CHGEOL  
progeo Geologie Hydrologie Geothermie

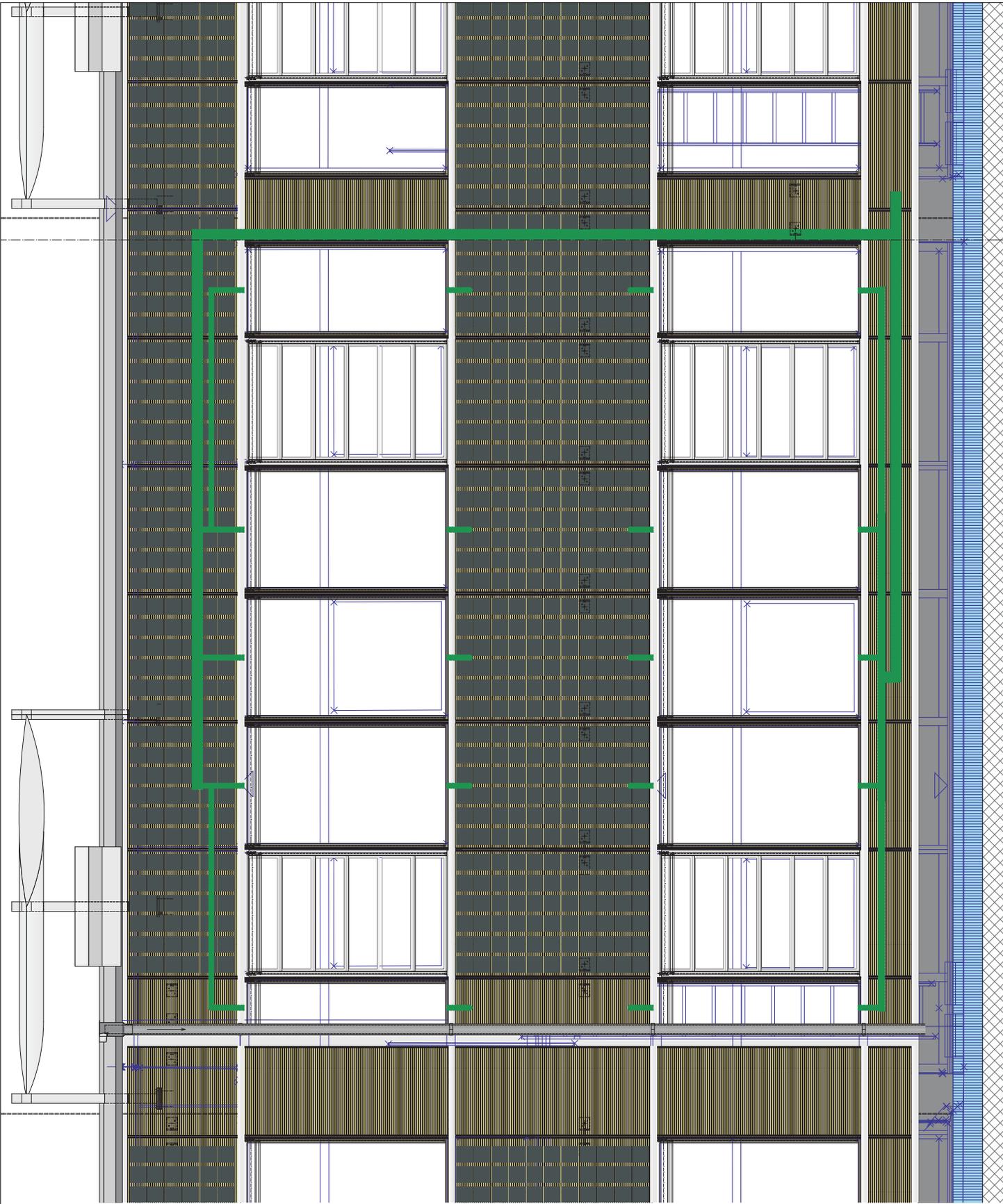
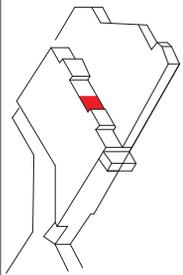


Harry Eggenschwiler  
Msc UZH Geographie

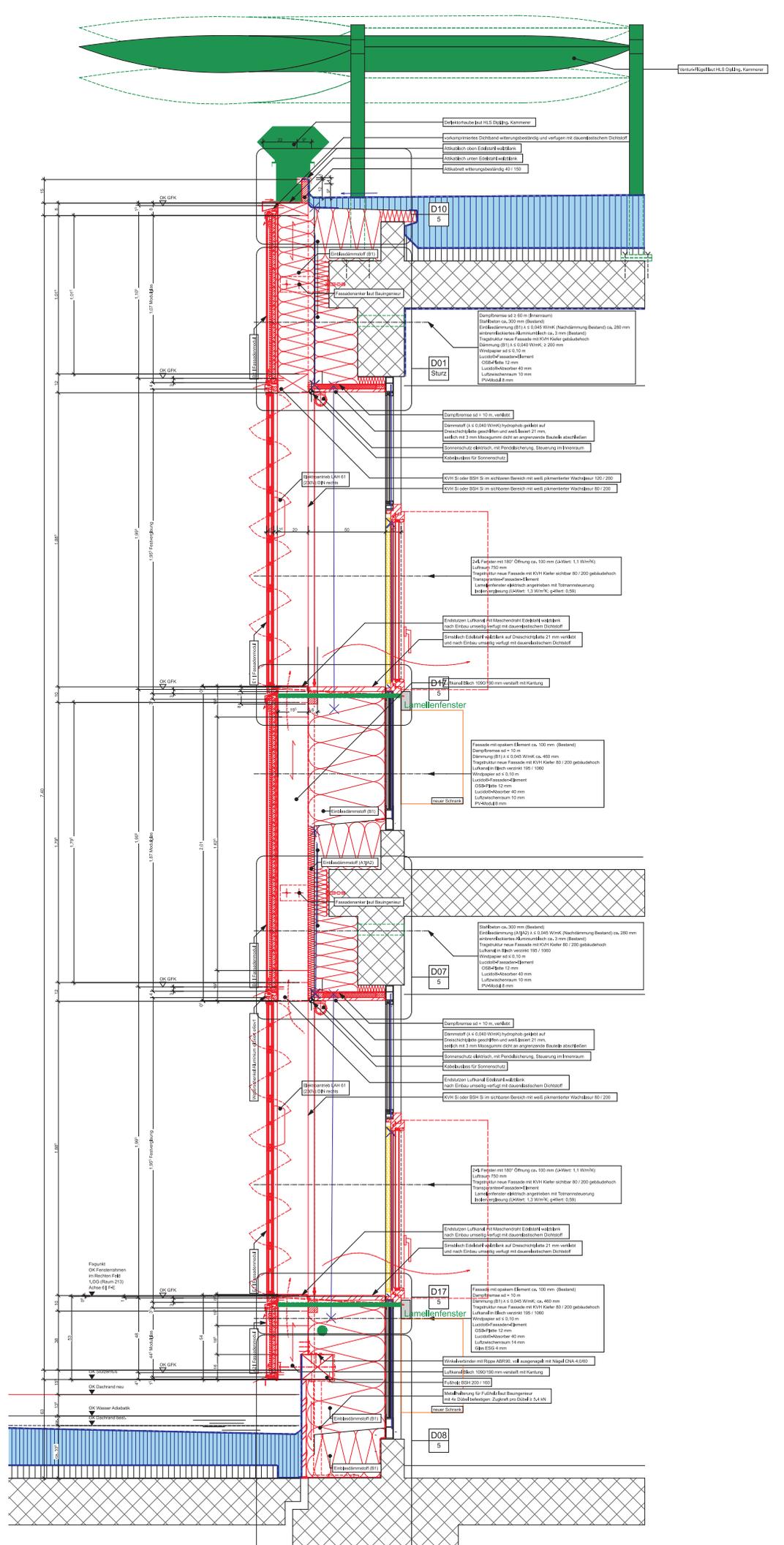
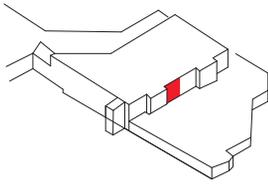
# ANHANG 9

Details Musterfassade

SW B-H 6 ANSICHT  
(MUSTERFASSADE)

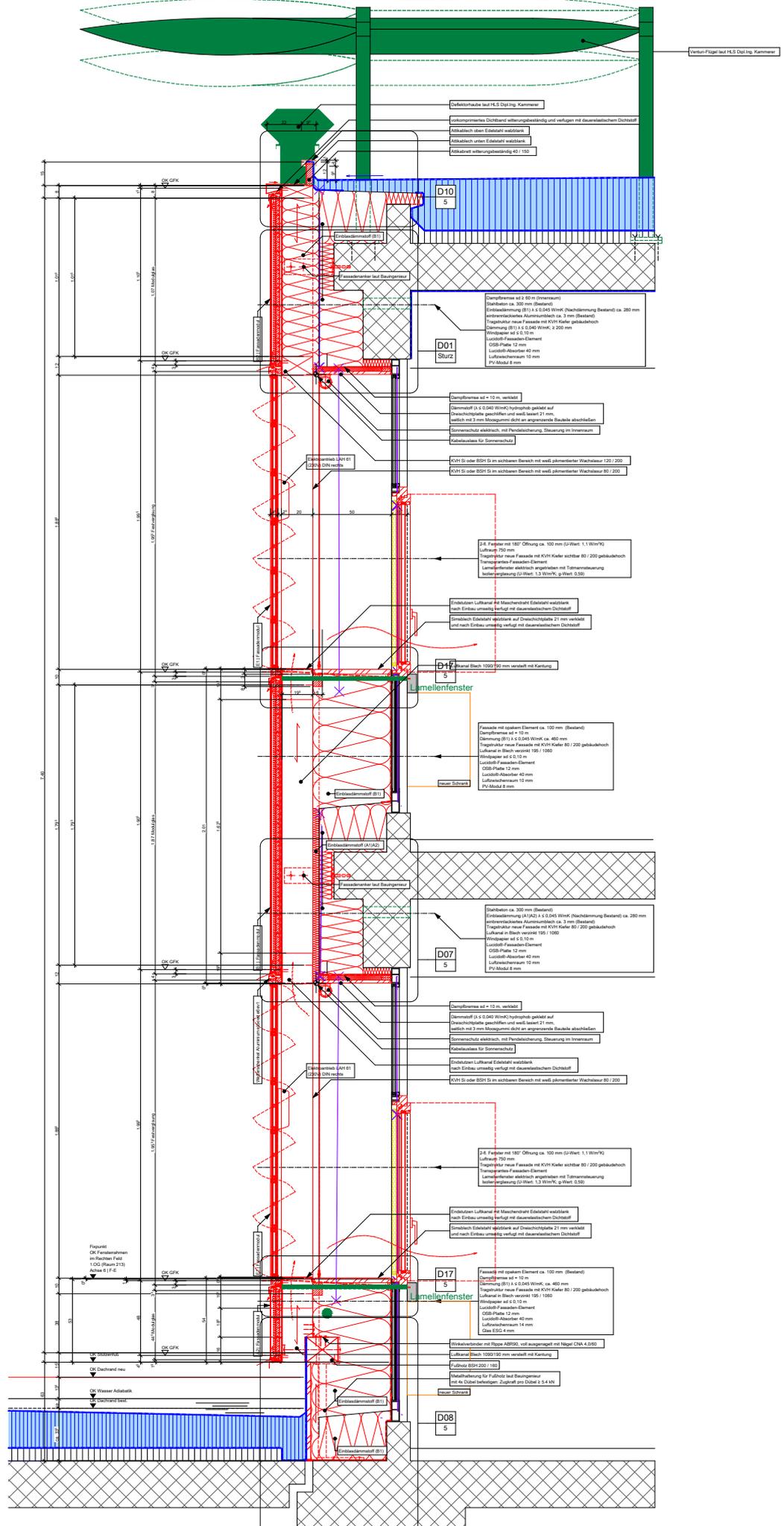
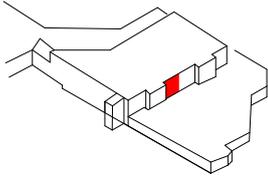


# SW B-H 6 TYP 2

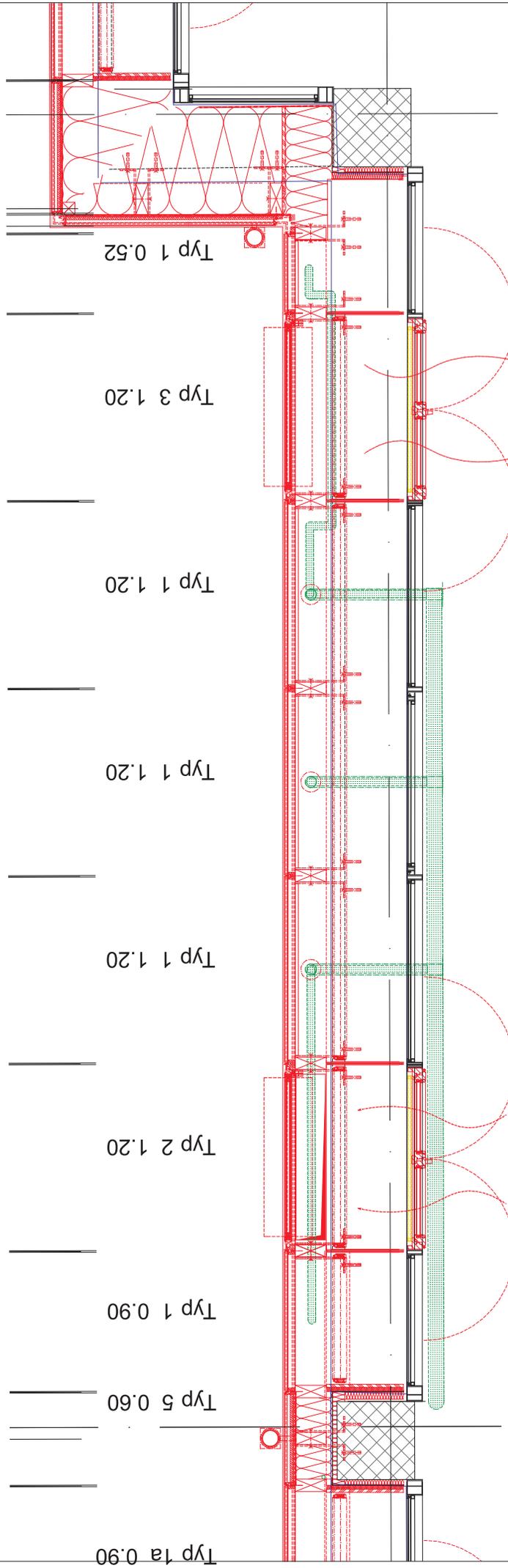
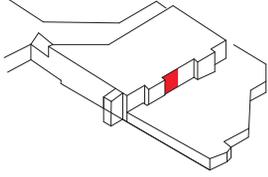


Figur 1  
DK Fensteransichten  
im Rechteck 1/4  
LSD (Raum 215)  
Abmessung 1/4

# SW B-H 6 TYP 2

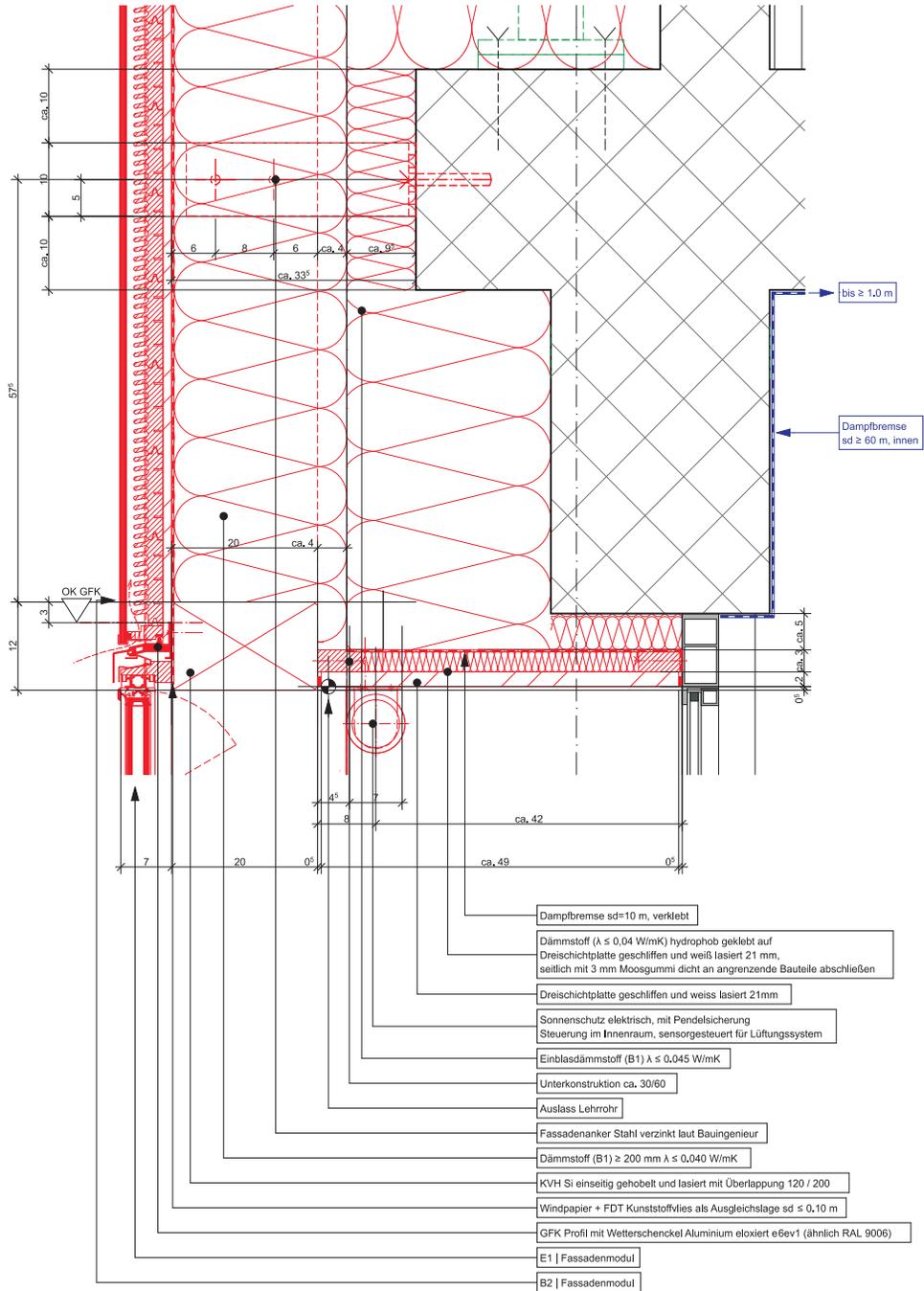
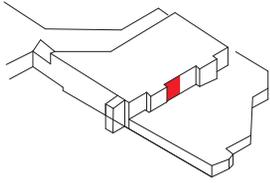


SW B-H 6 2.OG  
(MUSTERFASSADE)



# Detail 01

## Sturz















# ANHANG 10

Funktion und  
Konstruktive Ausbildung Venturi-Flügel











ro clima 50  
**FRONTA**

**WMI**

**FRONTA**  
SOLITEK

fort haudement permeable  
a bapils van een sterke poly  
propyleen,  $\gamma = 0,03$   
A bou ou à l'empêcher



DEFLEKTORHAUBE ÜBER  
DEN LÜFTUNGSÖFFNUNGEN

STÜTZE VENTURI-FLÜGEL

.04

GEFÄLLEDÄMMUNG EPS 040

ABDICHTUNG

ATTIKABLECH  
EDELSTAHL

2% GEFÄLLE

ABSCHLUSSBOHLE 6/20

.05

.64

.15

- VORHANDENE  
BLECHVERKLEIDUNG
- AUSGLEICHSCHICHT
- DÄMMUNG (B1)
- WINDPAPIER
- OSB-PLATTE
- LUCIDO
- LUFTZWISCHENRAUM
- PV-MODULE

.25

+ 11.70

.35

.15

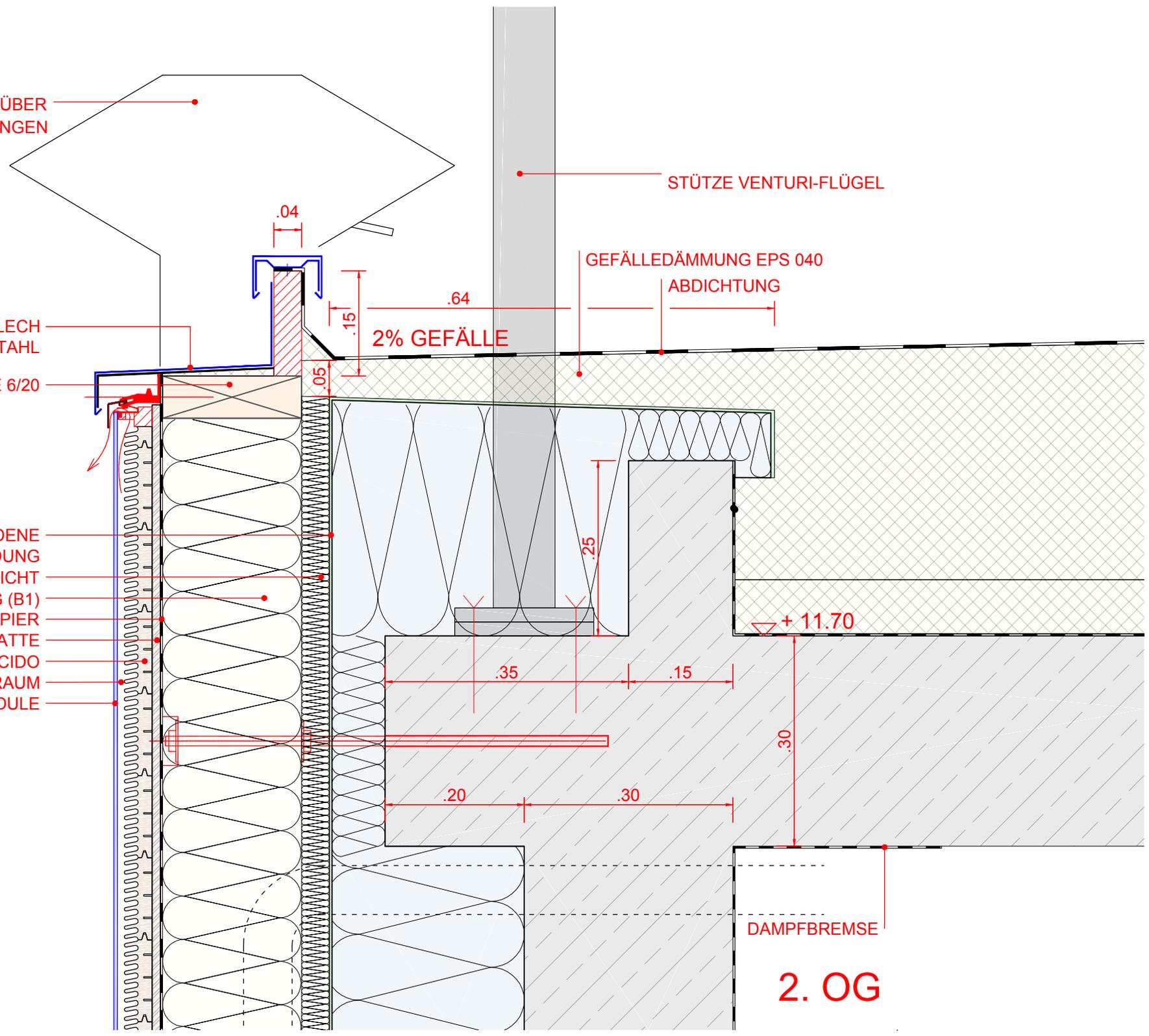
.30

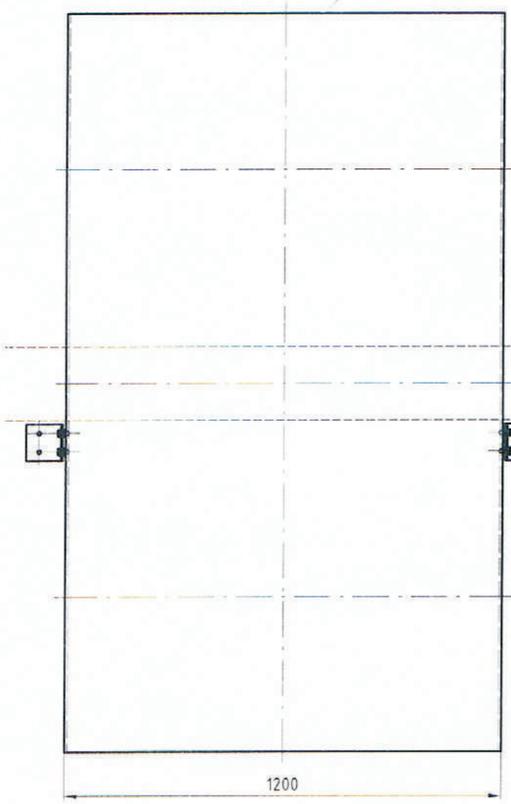
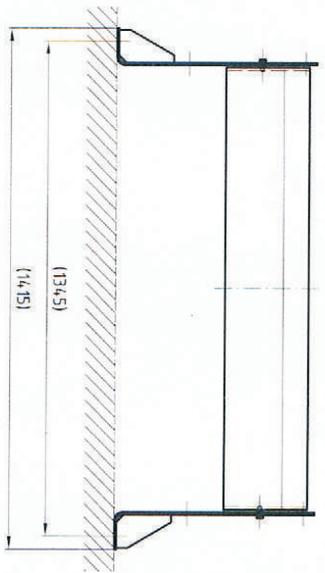
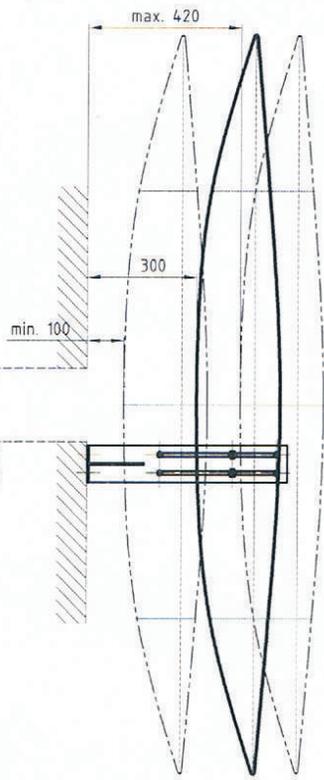
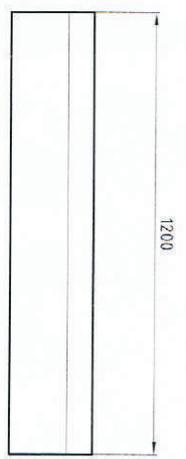
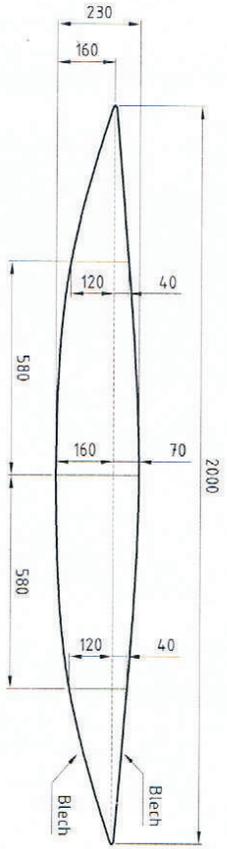
.20

.30

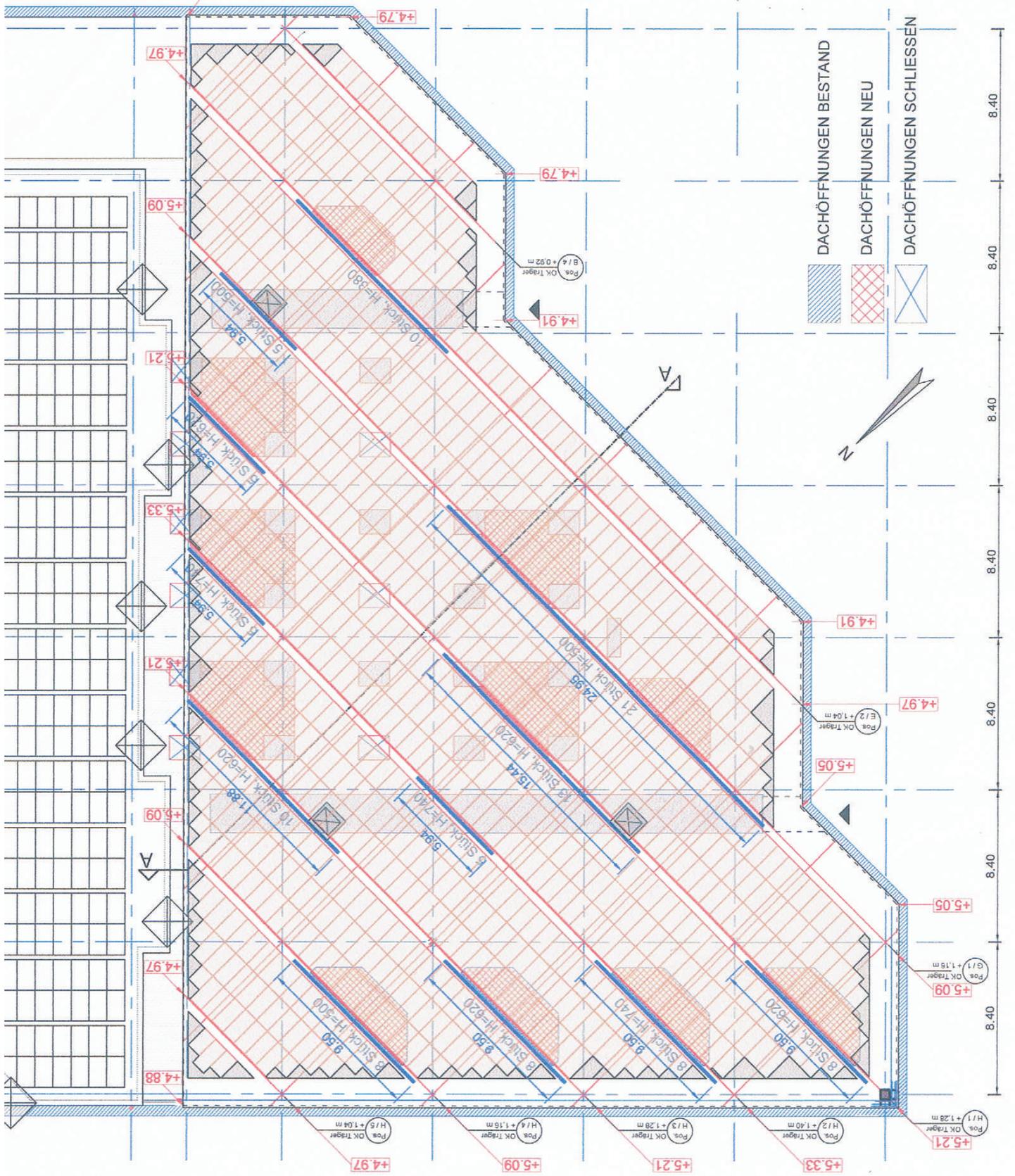
DAMPFBREMSE

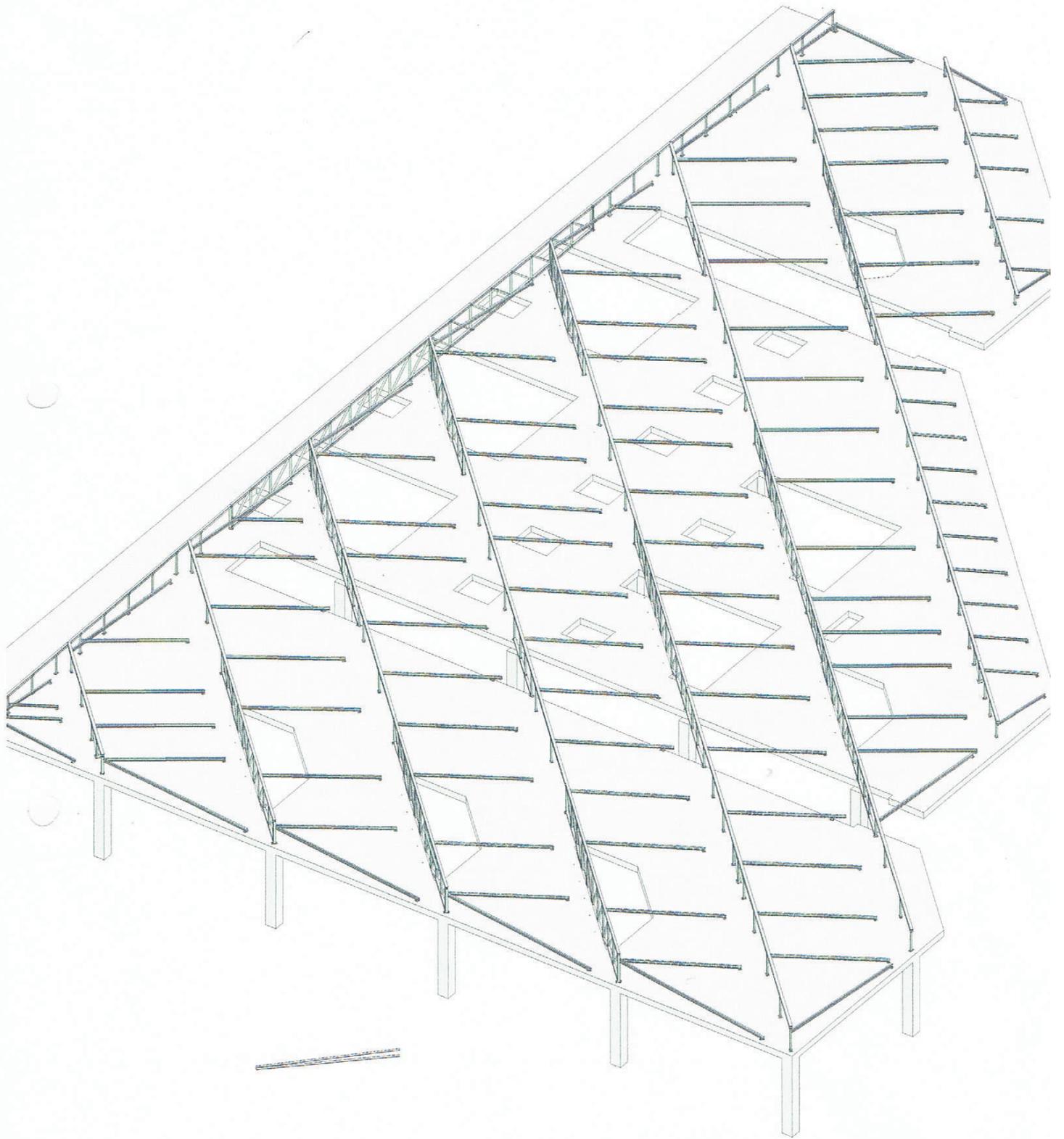
2. OG





<b>Projekt</b> ENERGIEISCHE AUFRÜSTUNG Michelsberg - Gymnasium Spausstraße 50 73312 Cellesingen an der Stelge			
<b>Objekt</b> Fontänenstadt Gelsingen Schlaggasse 7 73312 Cellesingen an der Stelge			
<b>Blatt</b> Venturiflügel			
<b>Projekt</b> MA 1000 Datum: 06.08.2013	<b>Zustimmung</b> E: Venturiflügel T: Venturiflügel	<b>Prüfung</b> T: Venturiflügel T: Venturiflügel	<b>Einheit</b> Venturiflügel
<b>G - B - D</b> Technologiezentrum Siegen Billenbacher Str. 14 □ 57078 Siegen Tel: 0271-5003241 Fax: 0271-5005510 e-mail: info@tzh.de			

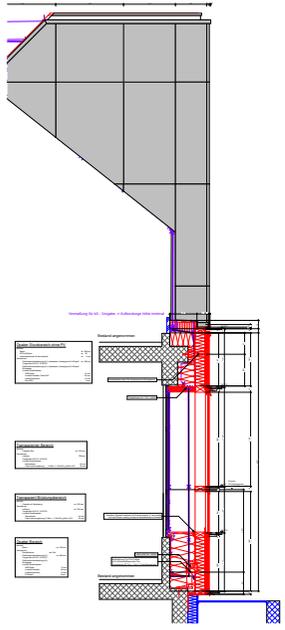




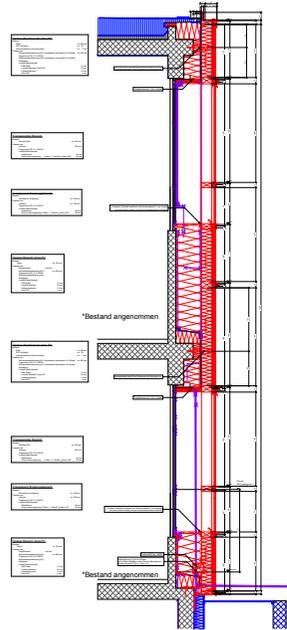
# ANHANG 11

Übersicht über unterschiedliche Ausbildungen  
der Thermoaktivierten Fassade

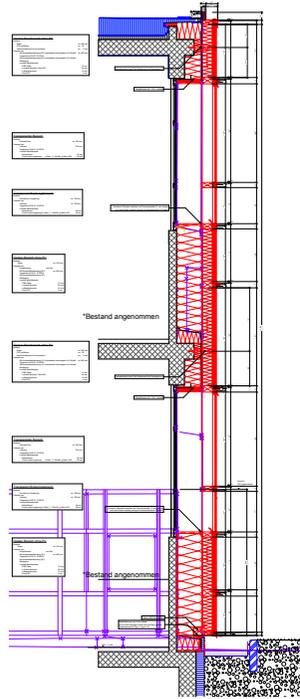
NW H 11-12 TYP 6



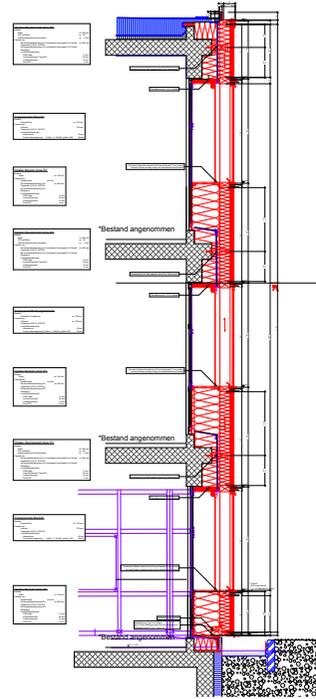
NW H 10-11 TYP 1



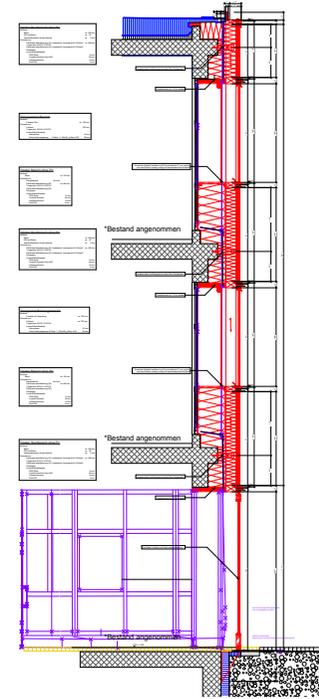
NW H 9-10 TYP 1



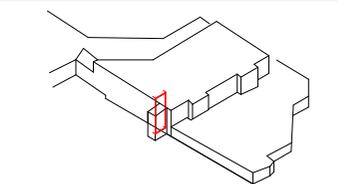
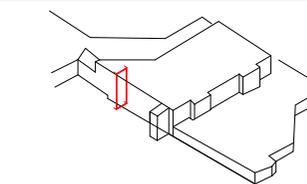
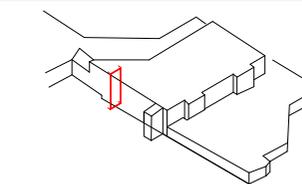
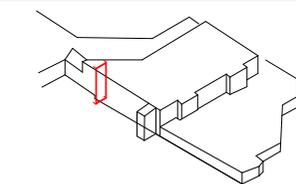
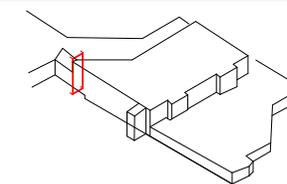
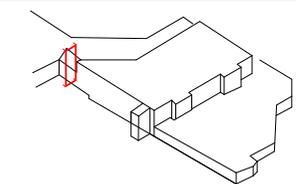
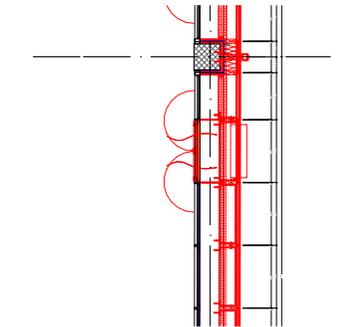
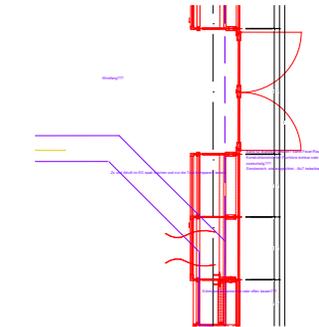
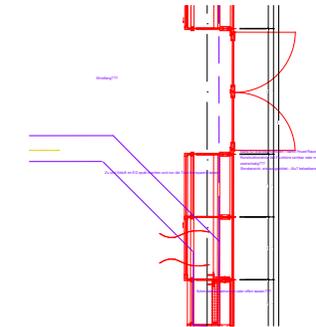
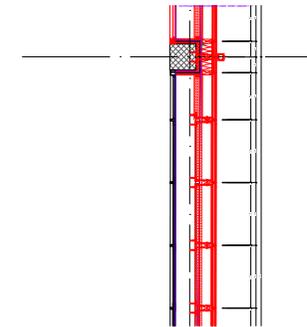
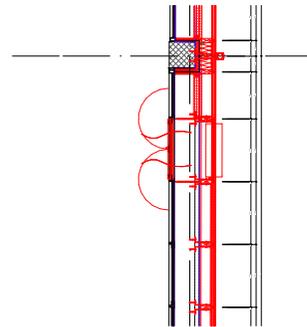
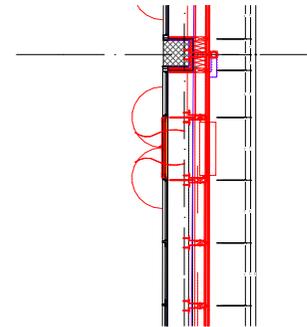
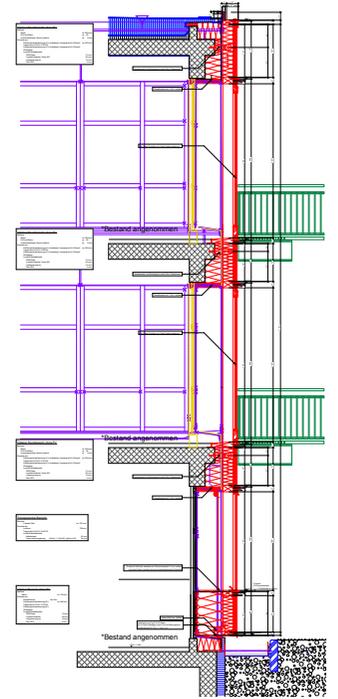
NW H 7-9 TYP 1



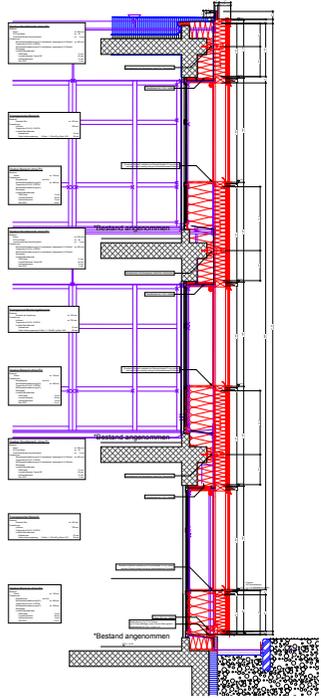
NW H 7-9 TYP 7|1|1



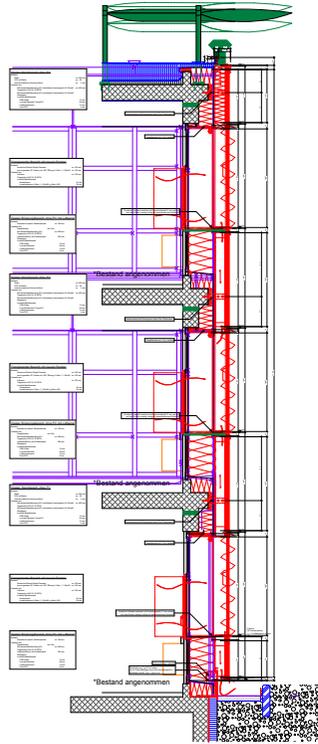
NW H 6-7 TYP 1|7|7



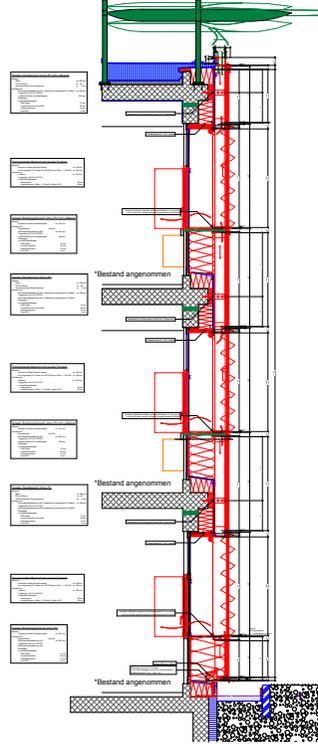
NW H 6-9 TYP 1



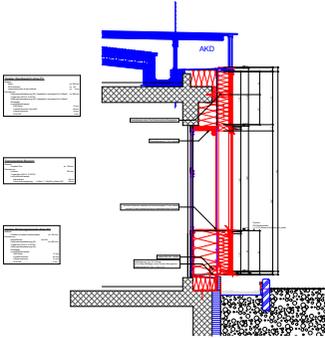
NW H 6-9 TYP 2



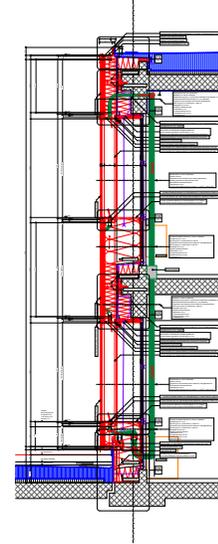
NW H 6-9 TYP 3



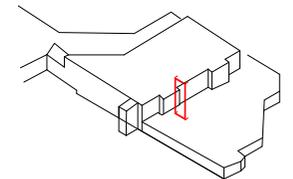
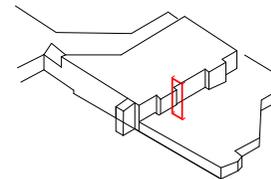
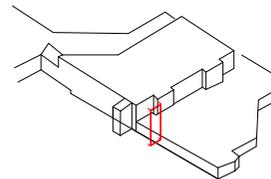
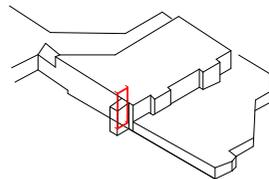
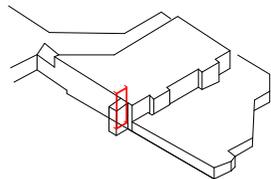
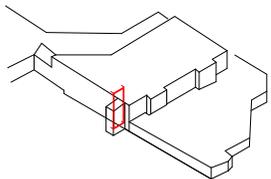
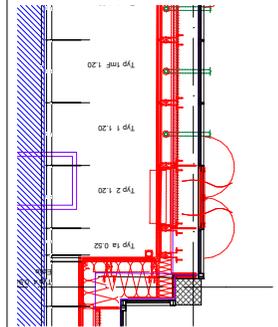
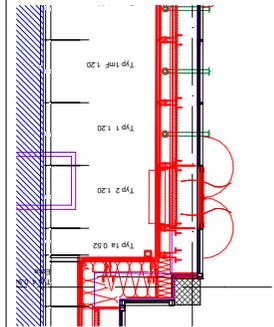
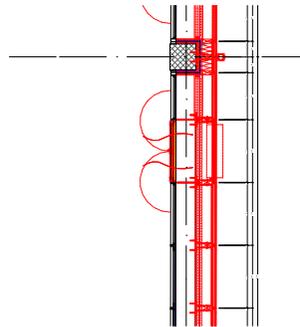
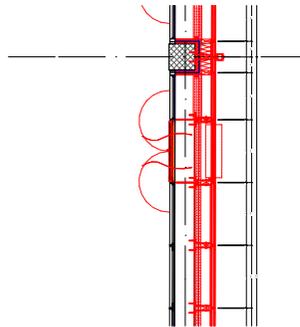
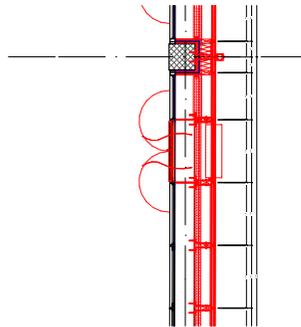
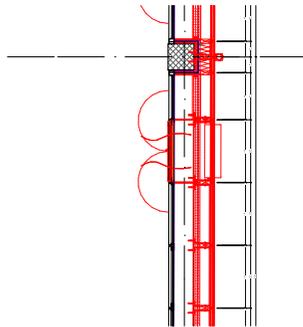
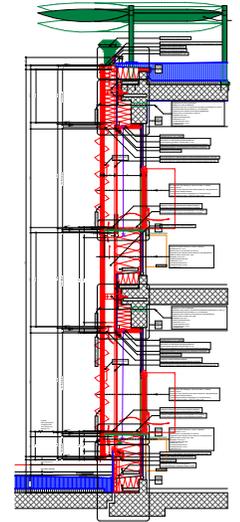
NW H 1-6 TYP 1



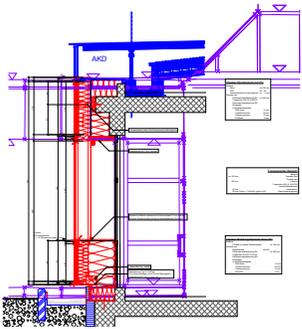
SW B-H 6 TYP 1



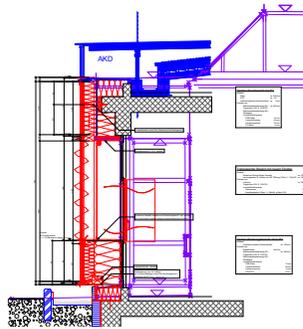
SW B-H 6 TYP 2



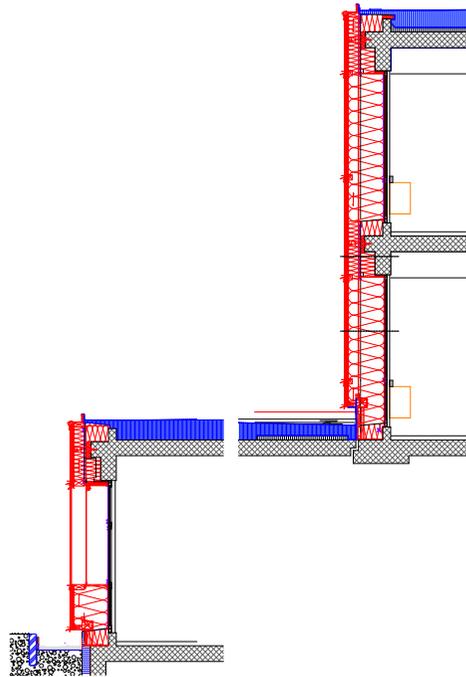
SW E-F 1-2 TYP 1



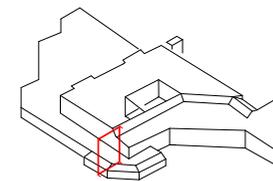
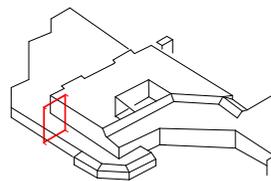
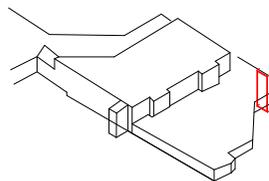
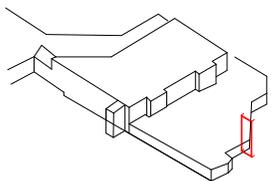
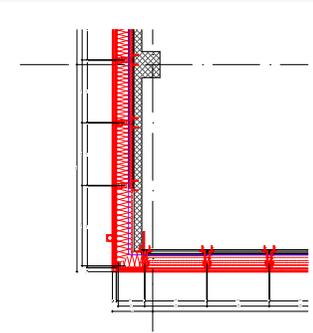
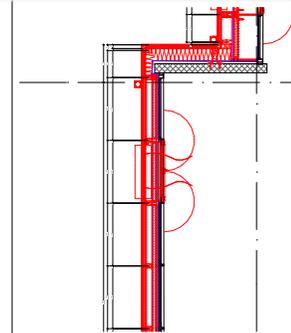
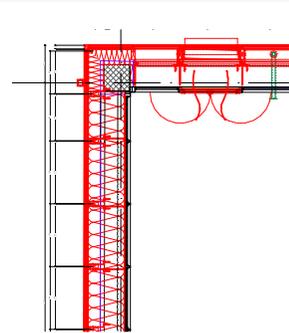
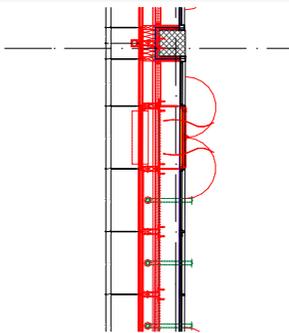
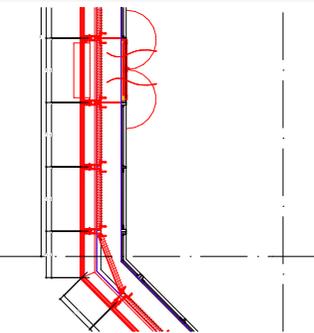
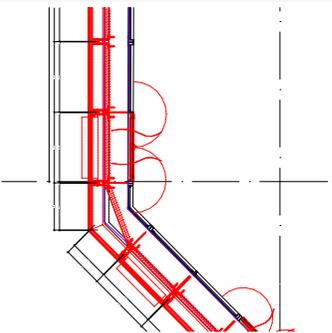
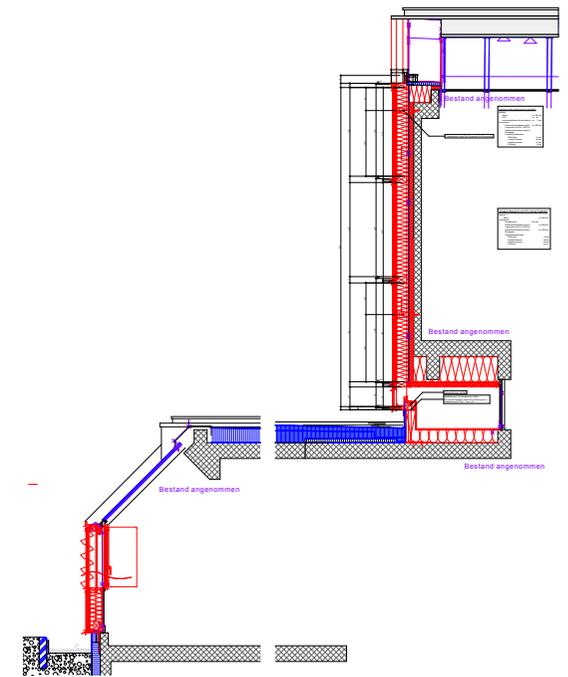
SW E-F 1-2 TYP 6



SO A-B 6-7 TYP 4



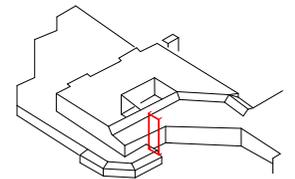
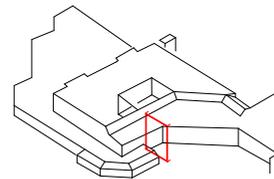
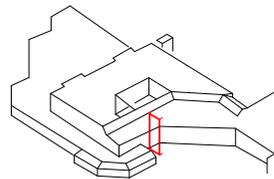
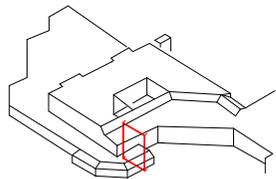
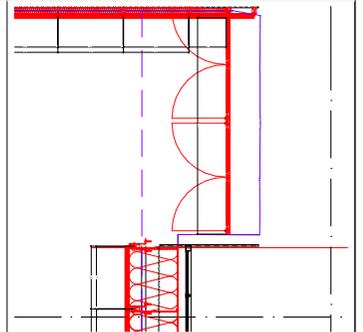
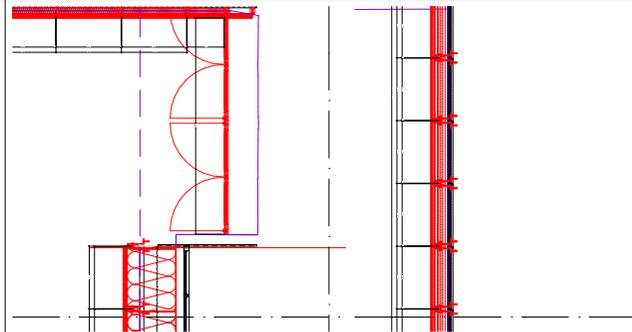
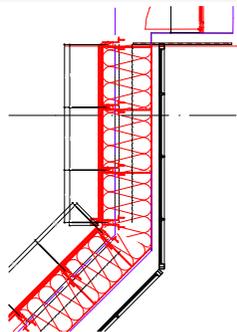
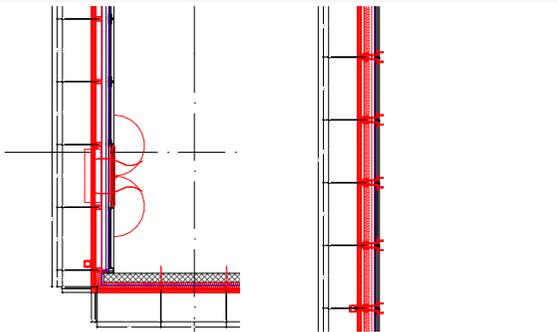
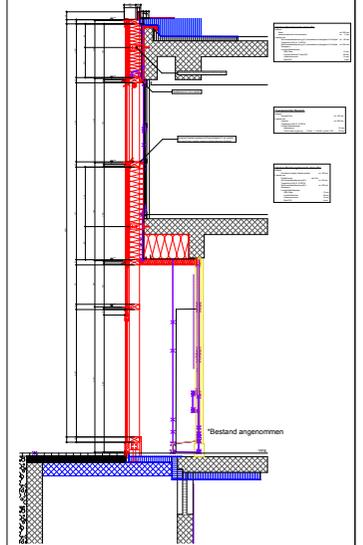
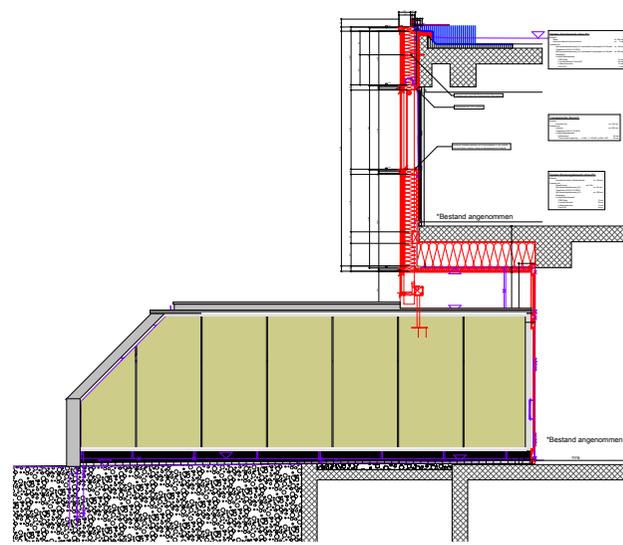
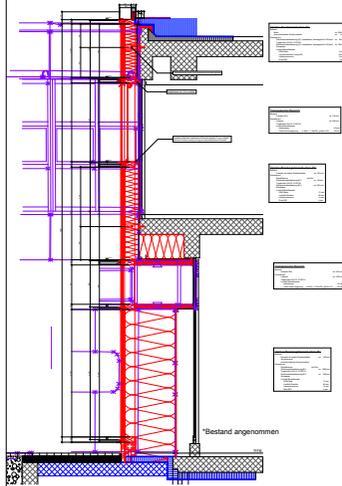
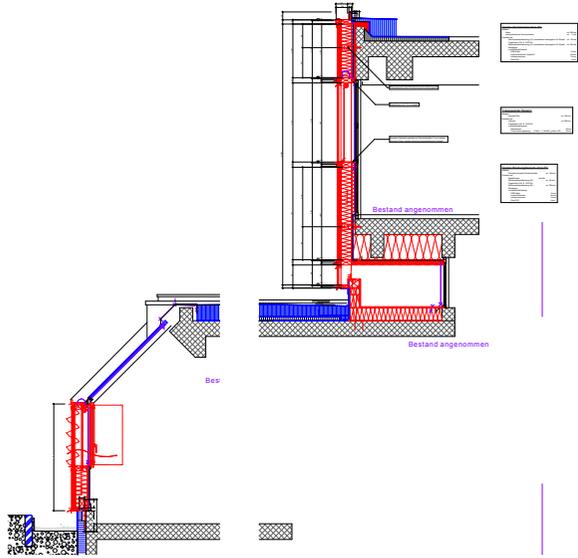
SO A-B 6-7 TYP 6



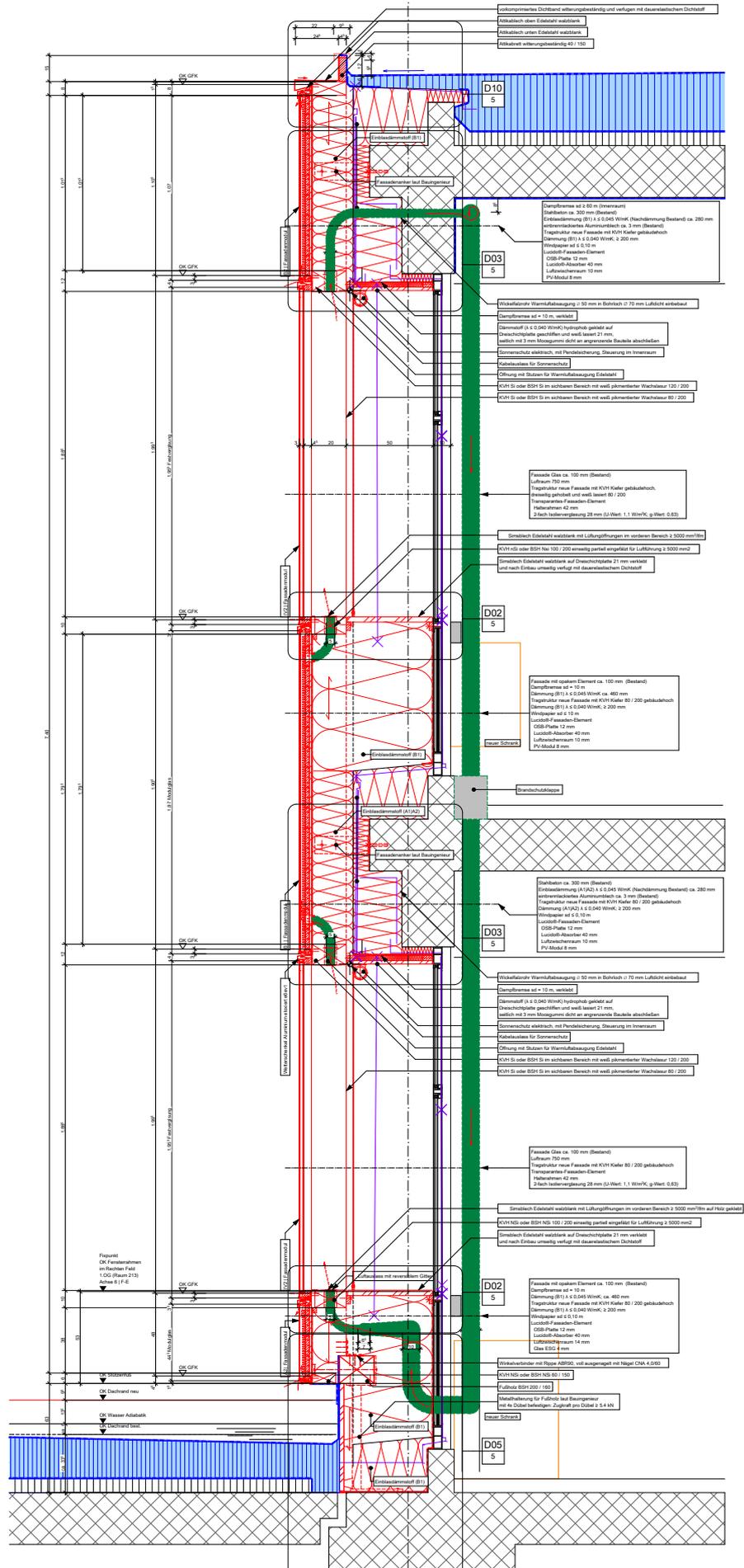
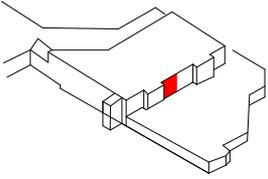
NO B-D 10-12 TYP 6|1

NO D-G 10-13 TYP 5|1 NO C-E 10-11 TYP 7|1

O D-G 10-13 TYP 1

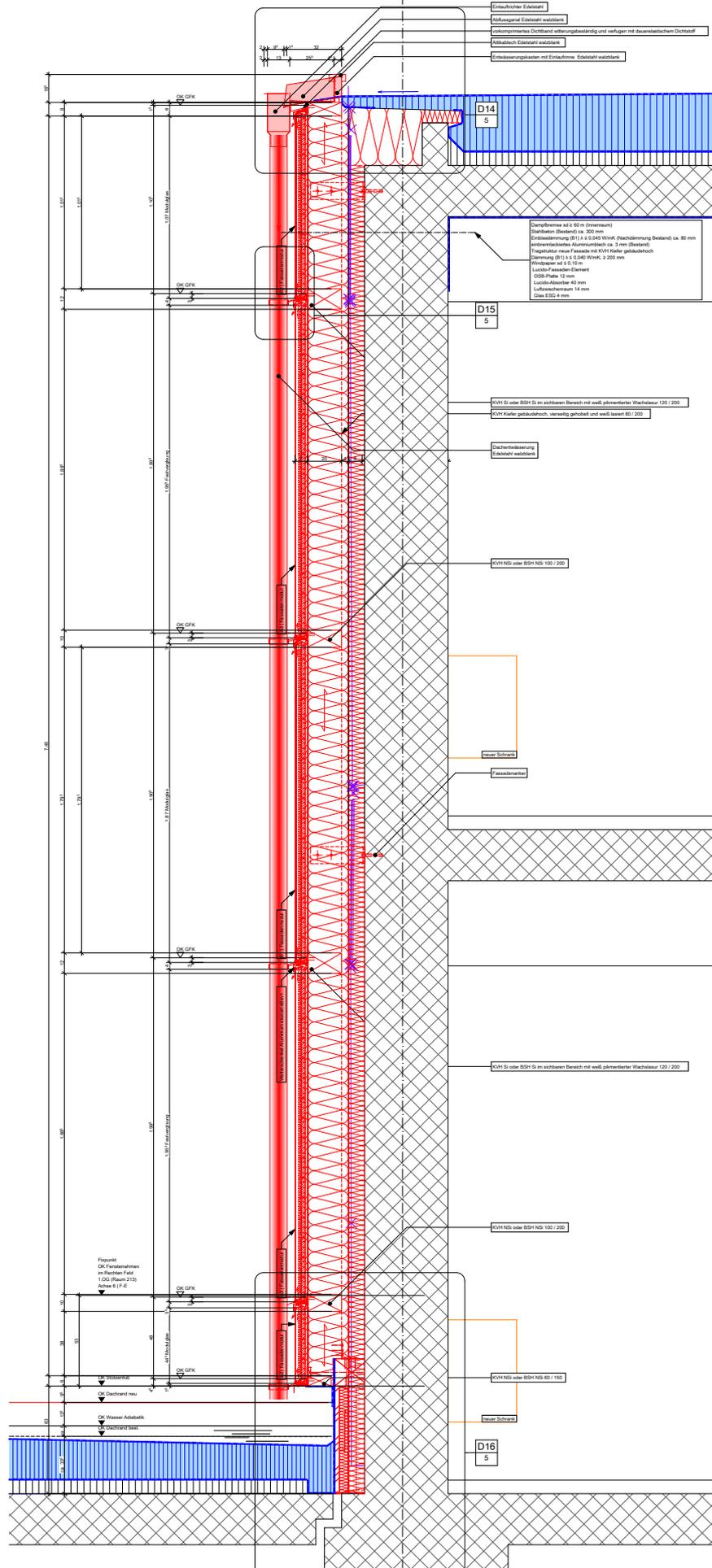
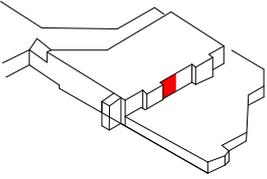


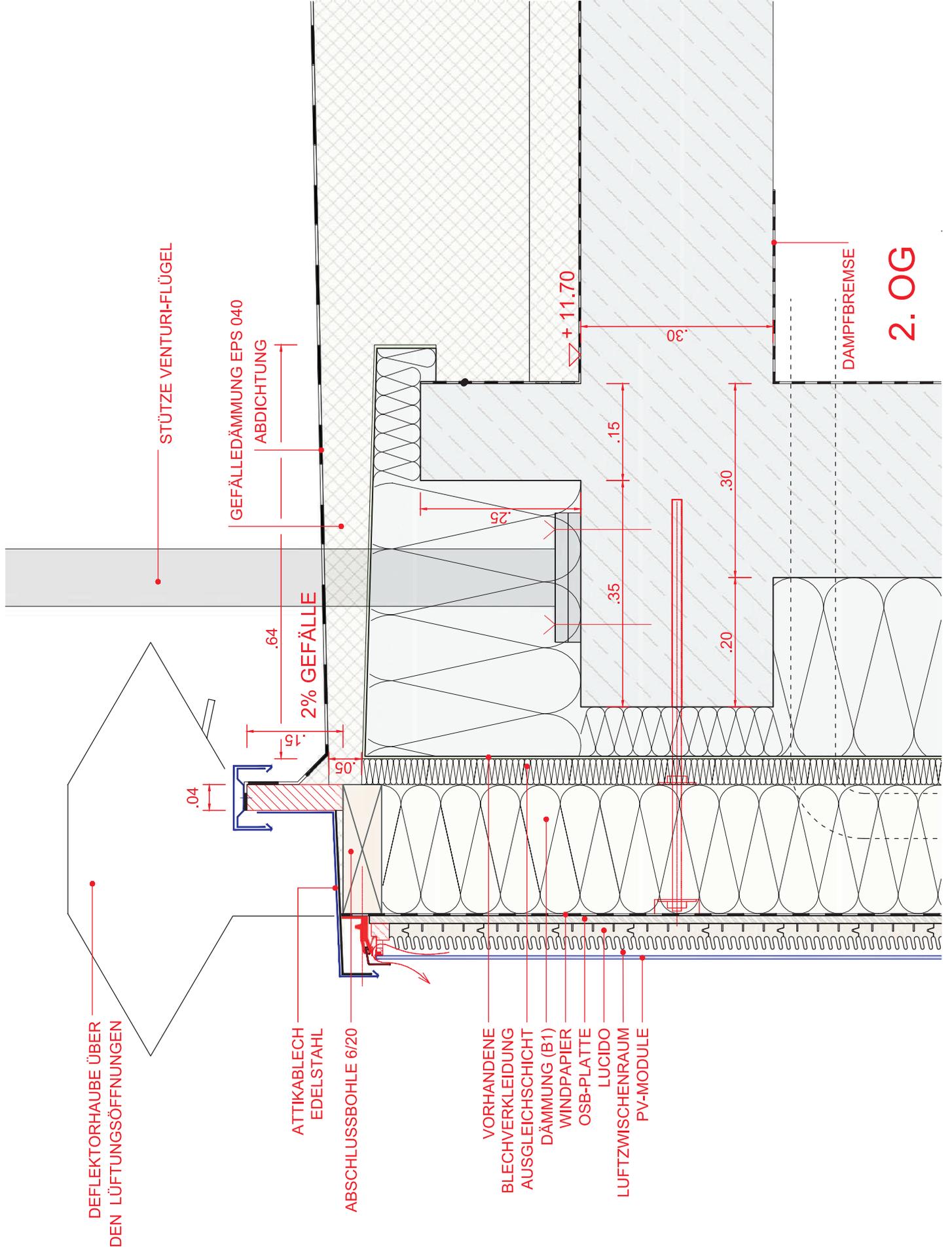
# SW B-H 6 TYP 1



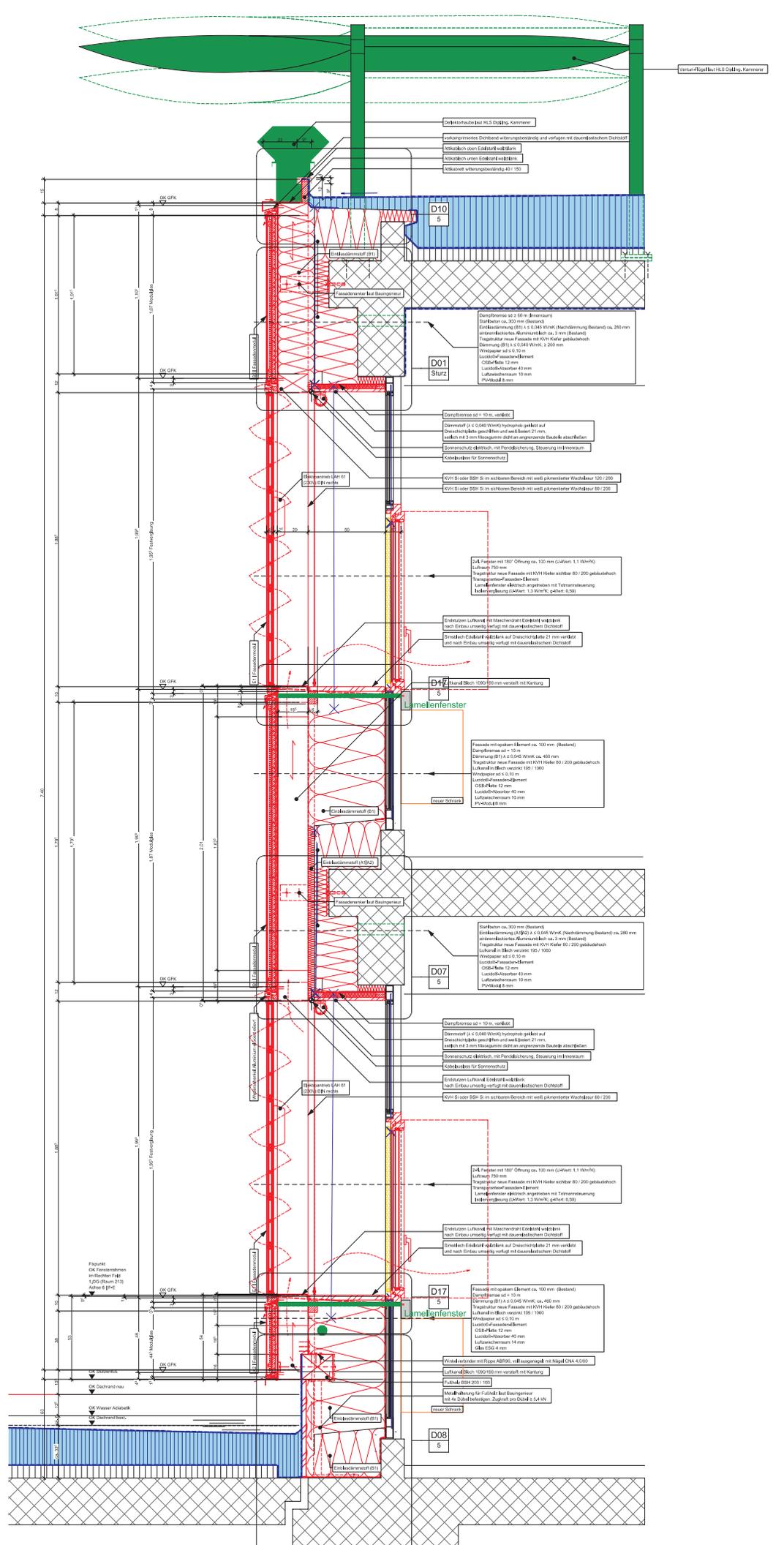
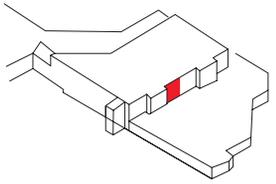


# SW B-H 6 TYP 5





# SW B-H 6 TYP 2



# ANHANG 12

**Bauphysikalische Analysen**  
**Raumsimulation**  
**Atrium-Belüftung**

# Michelberg Gymnasium Geislingen

## Bauphysikalische Analysen

### Teil 2 Raumsimulation

#### Teil 2.2 Atrium / Belüftung

## Angaben zum Bauvorhaben

Objekt : Michelberg Gymnasium Geislingen (MiGy)  
Energetische Sanierung

Auftraggeber : Stadt Geislingen  
Schlossgasse 7  
73312 Geislingen

Stand : 23.09.13

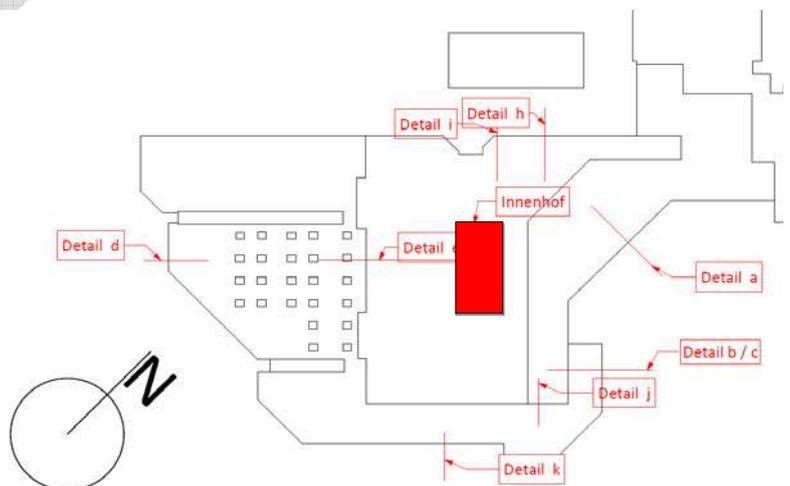
## Aufsteller

**dyAna<sup>®</sup> GmbH** 

Sümburgstr. 22  
58730 Fröndenberg  
Germany

tel. : +49 (0)2373 / 39641 - 0  
fax : +49 (0)2373 / 39641 - 79  
http : [www.dyana.de](http://www.dyana.de)

Projekt-Nr. D-130326



Seitenanzahl : 12

# Inhalt

---

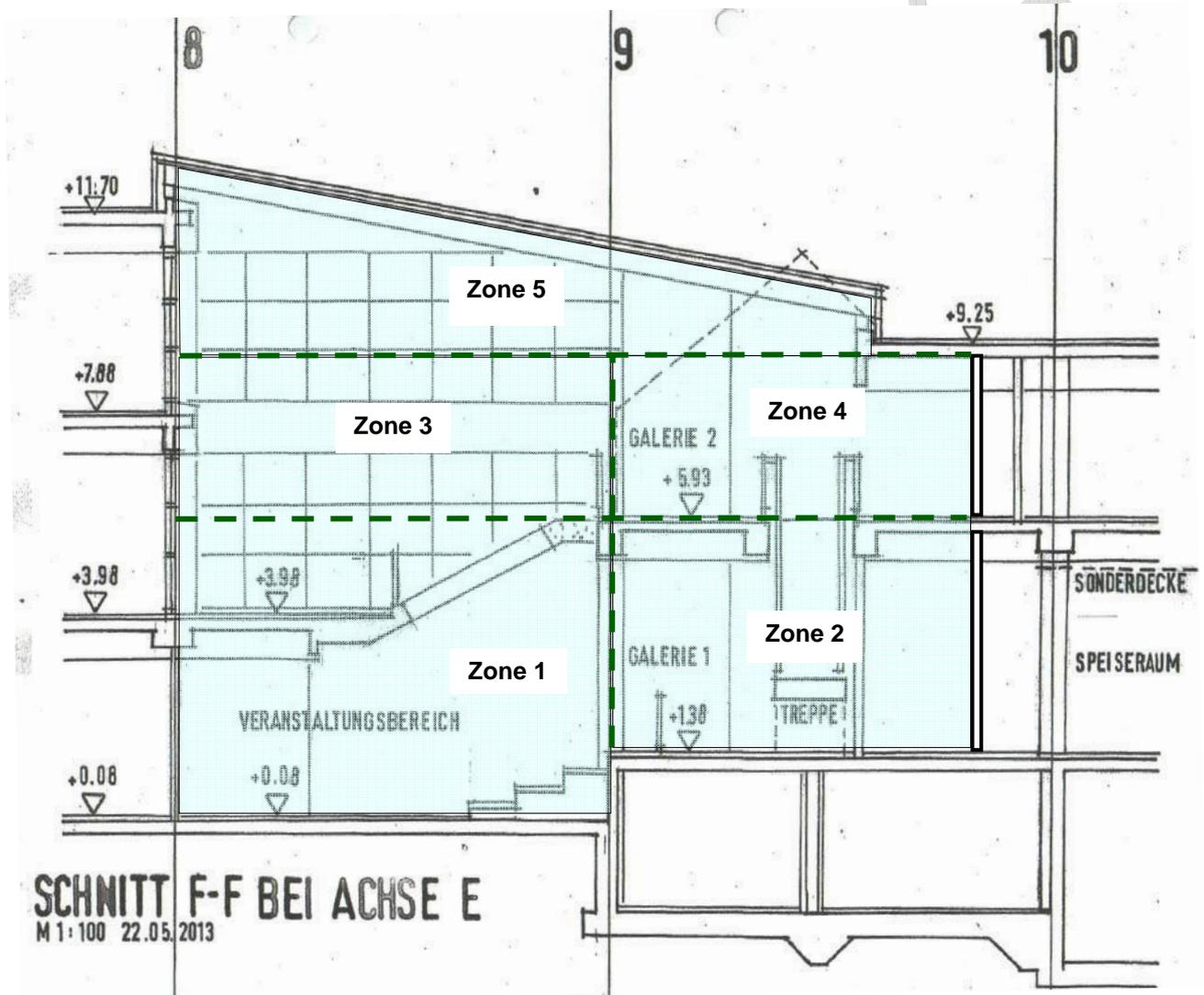
	Seite
ANALYSE	
0. Einführung .....	3
1. Gebäudedaten .....	3
2. Randbedingungen .....	5
3. Personendaten .....	5
4. Bauteile / Materialien .....	6
5. Nutzungstauglichkeit .....	7
6. Auswertung .....	12

## 0. Einführung

Zur Auslegung der erforderlichen Lüftungsöffnungen in der neu geplanten Glasüberdachung, wird das Atrium unter dem Einfluss natürlicher Belüftung über Dachflächenfenster thermisch simuliert.

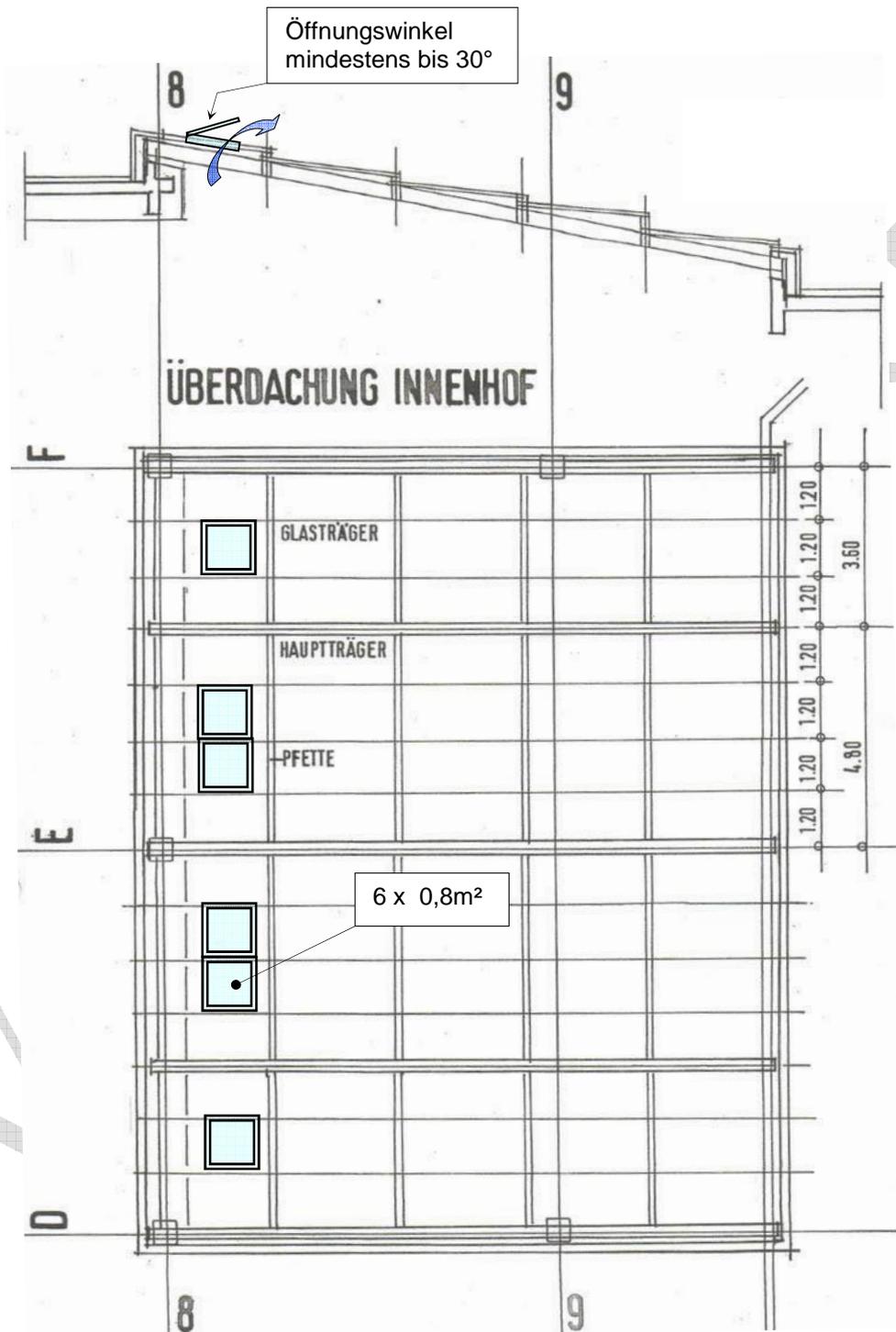
## 1. Gebäudedaten

### 1.1. Raumgeometrie / Temperaturzonen



Planausschnitte aus Plänen zur Vorplanung. Architekturbüro Krebs

## 1.2. Lüftungsöffnungen im Dach



## 2.0. Randbedingungen

### 2.1. Klimatische Randbedingungen

Zur Simulation werden die "maximalen" Klimadaten nach "Teil 0" der bauphysikalischen Analyse verwendet. In den angrenzenden Temperaturzonen der Räume wird das dortige Sollklima gem. "Teil 0" der bauphysikalischen Analyse angenommen. In den Kellerräumen und im Kriechkeller unterhalb des Atriums wird über das Jahr ein konstantes Durchschnittsklima angesetzt (18°C im Keller und 16°C im Kriechkeller).

### 2.2. Externe Belüftung

Die Belüftung des Atriums erfolgt über die natürliche Belüftung durch Dachflächenfenster. Hierzu werden sechs Fenster (Maße : 0,9m x 0,9m) in der Glasdachfläche vorgesehen.

## 3.0. Personendaten

Für die Untersuchung der thermischen Behaglichkeit im Veranstaltungsraum werden die folgenden Personendaten als Durchschnitt angenommen:

Geschlecht : m / w (je 50%)

Alter : 14 J

Größe : 1,60 m

Gewicht : 60 kg

Kleidung : Sommer : leichte Sommerkleidung  
: Wärmedämmwert Bekleidung 1/U<sub>cl</sub> ≈ 0,08 [m<sup>2</sup>K/W]

Tätigkeit : sitzend, lesen : Gesamtleistung 114 W



**Nutzungszeit** : Annahme : 08:00 Uhr bis 16:00 Uhr

### 3.1. Wärmeabgabe von Personen und technischen Geräten / Arbeitsmitteln

Die internen Wärmequellen betragen nach DIN V 18599 für Personen im Aufenthaltsraum (volle Belegung) :

$(176+74) \cdot 70 \text{ W} = 12320 + 5180 \text{ W}$  während der Nutzungszeit.

## 4.0. Bauteile / Materialdaten

### Innenwände

Schicht Nr.	Material	$\lambda$ [W/(mK)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [Wh/(kgK)]	$\mu$ [']	$\alpha_e$ <sup>1)</sup> [']	$\tau_e$ <sup>1)</sup> [']	$\varepsilon$ <sup>1)</sup> [']	<b>S</b> [m]
1	Innenputz <sup>3)</sup>	0,57	1300	0,28	10 - 6	-	-	-	0,015
2	Mauerwerk <sup>1)</sup>	0,50	1200	0,26	5 - 7	-	-	-	0,115
3	Innenputz <sup>3)</sup>	0,57	1300	0,28	10 - 6	-	-	-	0,015

### Decke / Boden

Schicht Nr.	Material	$\lambda$ [W/(mK)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [Wh/(kgK)]	$\mu$ [']	$\alpha_e$ <sup>1)</sup> [']	$\tau_e$ <sup>1)</sup> [']	$\varepsilon$ <sup>1)</sup> [']	<b>S</b> [m]
1	Linoleum <sup>4)</sup>	0,17	1000	0,53	500	-	-	-	0,003
2	Estrich <sup>3)</sup>	1,40	2000	0,28	15 - 35	-	-	-	0,040
3	Beton <sup>3)</sup>	2,50	2400	0,28	80 - 130	-	-	-	0,300

### Glasdach

Schicht Nr.	Material	$\lambda$ [W/(mK)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [Wh/(kgK)]	$\mu$ [']	$\alpha_e$ <sup>1)</sup> [']	$\tau_e$ <sup>1)</sup> [']	$\varepsilon$ <sup>1)</sup> [']	<b>S</b> [m]
1	Isolierglas mit Rahmen <sup>2)</sup>	$U_w \approx 2,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ g-Wert $\approx 0,63$			$\rightarrow \infty$	$\sim 0,23$	$\sim 0,53$	$\sim 0,90$	0,024

### Opake Fassade

Schicht Nr.	Material	$\lambda$ [W/(mK)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [Wh/(kgK)]	$\mu$ [']	$\alpha_e$ <sup>1)</sup> [']	$\tau_e$ <sup>1)</sup> [']	$\varepsilon$ <sup>1)</sup> [']	<b>S</b> [m]
1	Zementfaserplatte <sup>5)</sup>	0,58	2000	0,28	20 - 50	-	-	-	0,0125
2	Dämmung <sup>5)</sup>	0,040	20	0,23	1 - 2	-	-	-	0,0350
3	Zementfaserplatte <sup>5)</sup>	0,58	2000	0,28	20 - 50	-	-	-	0,0125
4	LUCIDO <sup>®</sup> - Holz-Absorber	0,13	450	0,58	20 - 50	0,45 - 0,5	-	$\sim 0,9$	0,0400

### Glas Fassade / transparenter Bereich

Schicht Nr.	Material	$\lambda$ [W/(mK)]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [Wh/(kgK)]	$\mu$ [']	$\alpha_e$ <sup>1)</sup> [']	$\tau_e$ <sup>1)</sup> [']	$\varepsilon$ <sup>1)</sup> [']	<b>S</b> [m]
1	Isolierglas mit Alurahmen <sup>2)</sup>	$U_w \approx 4,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ g-Wert $\approx 0,63$			$\rightarrow \infty$	$\sim 0,23$	$\sim 0,53$	$\sim 0,94$	0,024

<sup>1)</sup> Angaben aus div. Literatur    <sup>2)</sup> SIA 381/1    <sup>3)</sup> Angaben gem. Hersteller    <sup>4)</sup> EN 12524    <sup>5)</sup> Annahme    <sup>6)</sup> DIN 4108  
<sup>7)</sup> Durchschnittswerte für angenommenen Fassaden U-Wert von 4,0 W/(m<sup>2</sup>K)

## **5.0. Nutzungstauglichkeit**

Die thermische Behaglichkeit wird sehr individuell empfunden. Daher können stets nur durchschnittliche Behaglichkeitsbewertungen vorgenommen werden, die für eine möglichst große Personengruppe zutreffend sind.

### **Einflussfaktoren :**

Die thermische Behaglichkeit eines Menschen in einem Raum ist abhängig von :

- der Raumlufttemperatur
- den Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen
- der Art der Raumheizung (Strahlungs- / Konvektionsheizung)
- der relativen Luftfeuchtigkeit
- der Raumluftbewegung
- der Art der Tätigkeit der Person (Wärmeabgabe)
- der Art der Kleidung (Wärmedämmeigenschaft)
- dem physiologischen Zustand der Person

Als Behaglichkeitskriterien werden die **PMV** Indizes (Predicted Mean Vote; beschreibt den durchschnittlichen Grad der Wärmeempfindung der Person) und **PPD** Indizes (Predicted Percentage of Dissatisfied; beschreibt den möglichen prozentualen Anteil an unzufriedenen Personen bezüglich der Wärmeempfindung) nach EN ISO 7730 zu Grunde gelegt. Bei der Untersuchung der Luftströmung in Räumen ist außerdem der **DR** Index (Draft Risk) von Bedeutung. Er beschreibt den möglichen prozentualen Anteil an unzufriedenen Personen bezüglich der Zugluftempfindung.

Zusätzlich zu dem PMV und PPD Index wird der Diskomfort-Wert **S** für die Sommerperiode angegeben. Dieser Wert beschreibt den durchschnittlichen Grad der thermischen Belastung des Körpers.



Für Wohngebäude wird entsprechend der normalen Tätigkeiten ein Grenzwert  $S_{max}$  von 175 W definiert. Dies entspricht einer maximal leichten thermischen Belastung des Organismus.

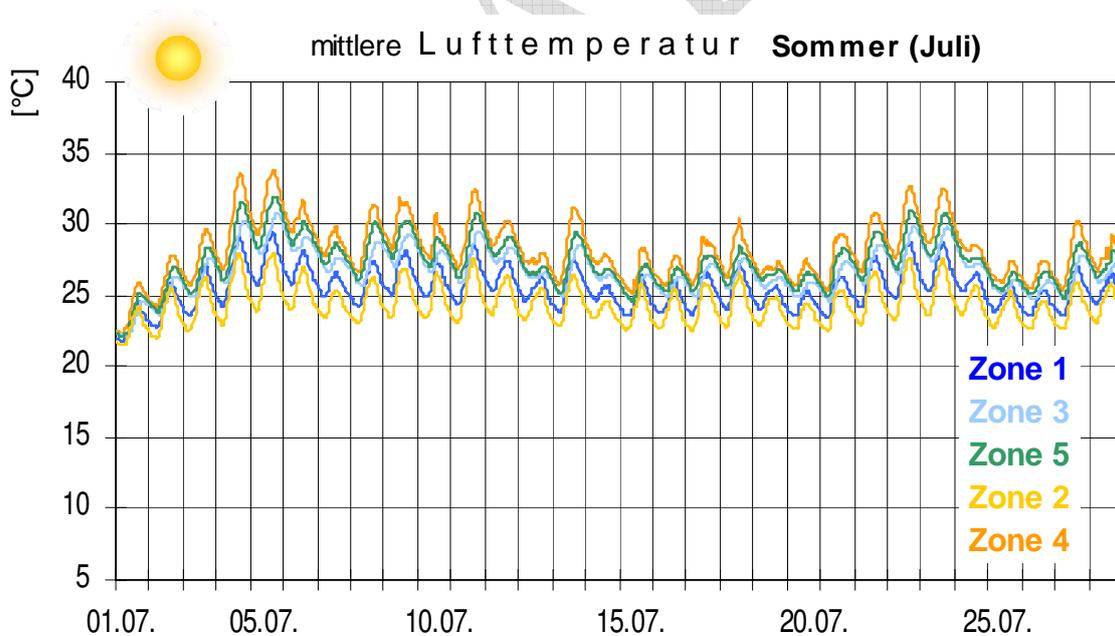
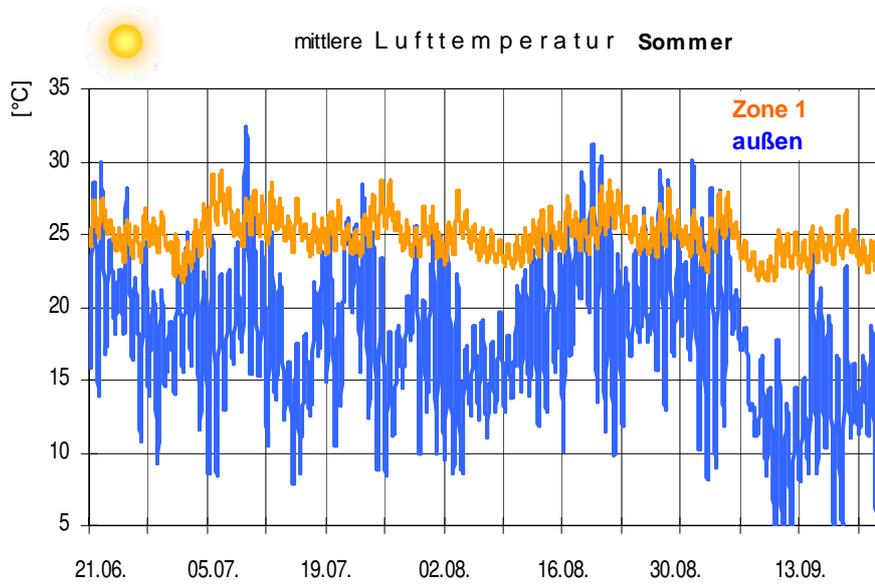
In Anlehnung an SIA 180 werden diejenigen Komfortbedingungen als angemessen betrachtet, die im Mittel der betrachteten Periode mindestens 80% der anwesenden Personen als behaglich empfinden.

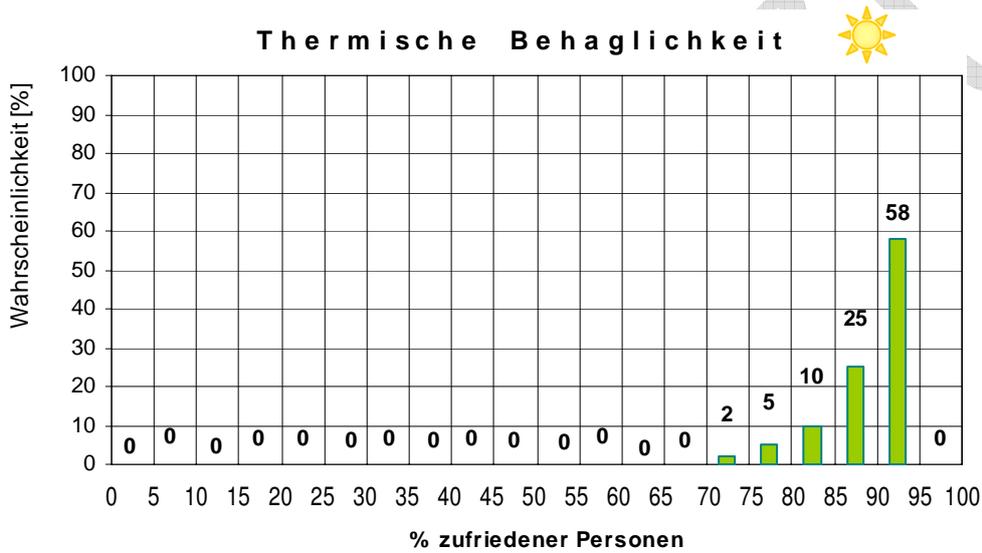
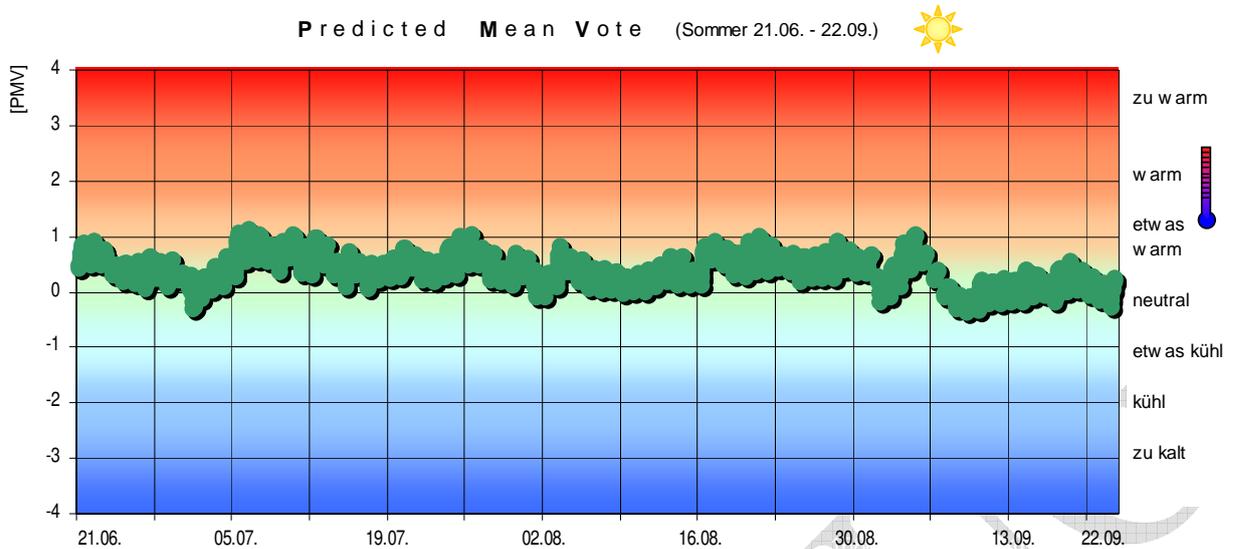


Da die Behaglichkeitsbedingungen aufgrund der sich ständig ändernden Randbedingungen ebenfalls ständig schwanken, ist es sinnvoll zusätzlich aus der Häufigkeitsverteilung die Wahrscheinlichkeit in % anzugeben, bei der sich mindestens 80% der anwesenden Personen über die betrachtete Zeitperiode behaglich fühlen.

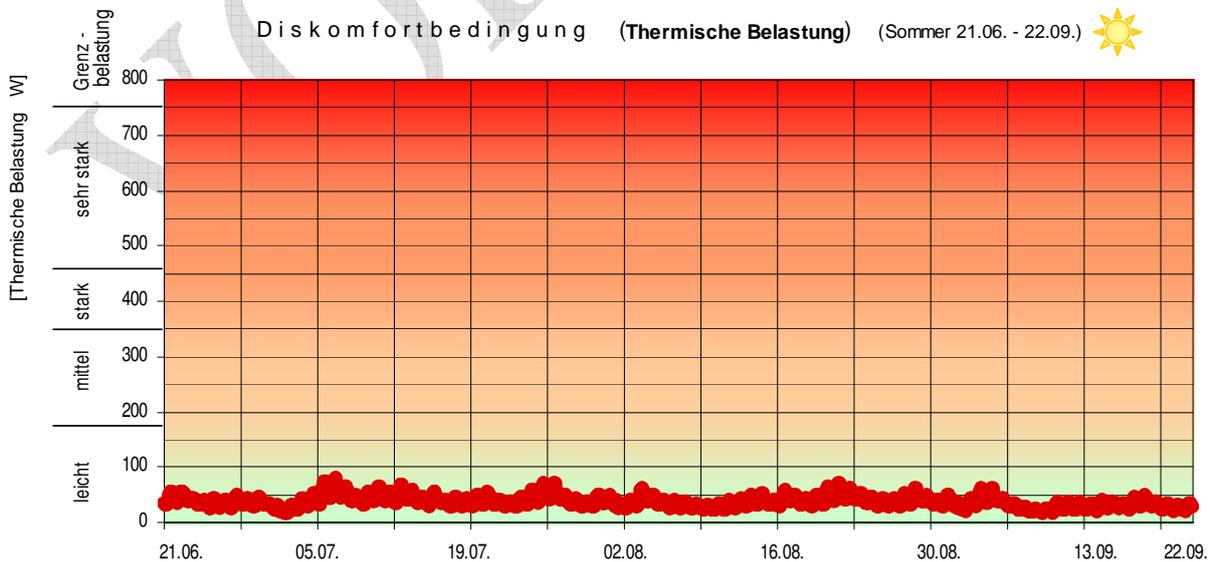
**5.1. Thermische Behaglichkeit und Temperaturschichtung**

**5.1.1. Geschlossene Entlüftungsfenster**

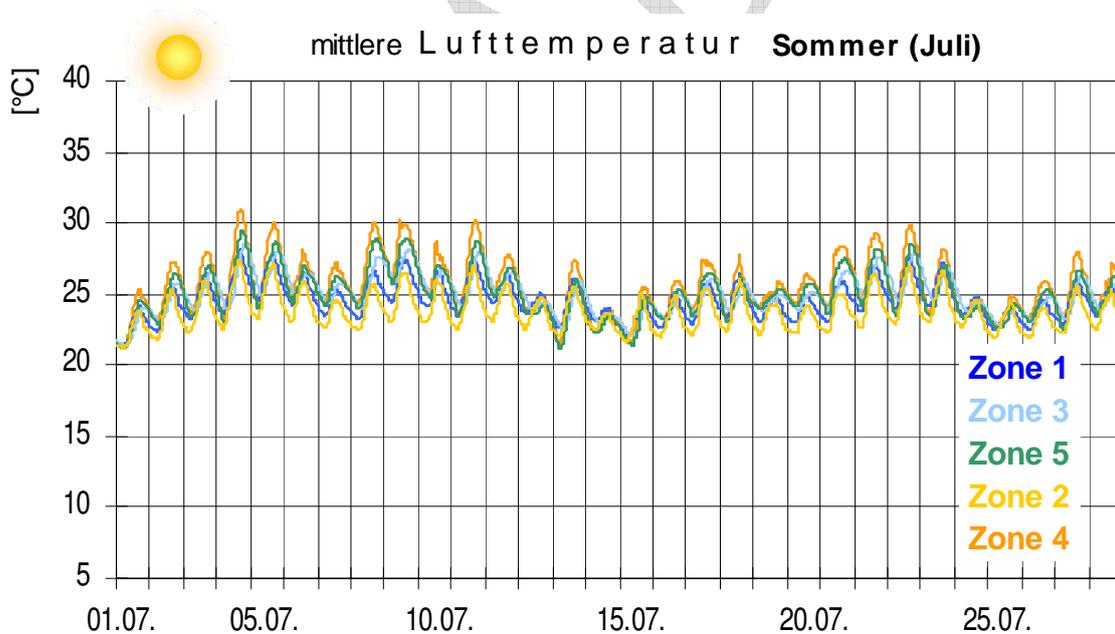
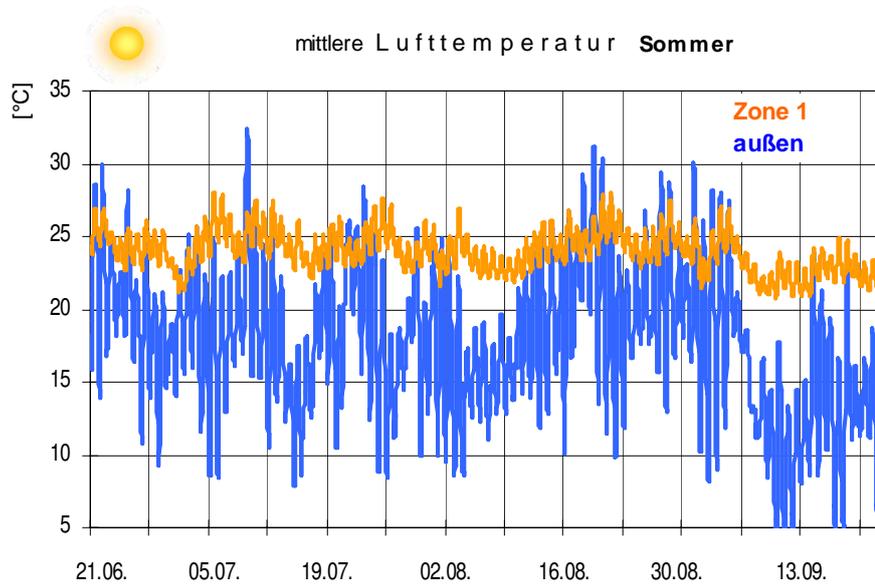


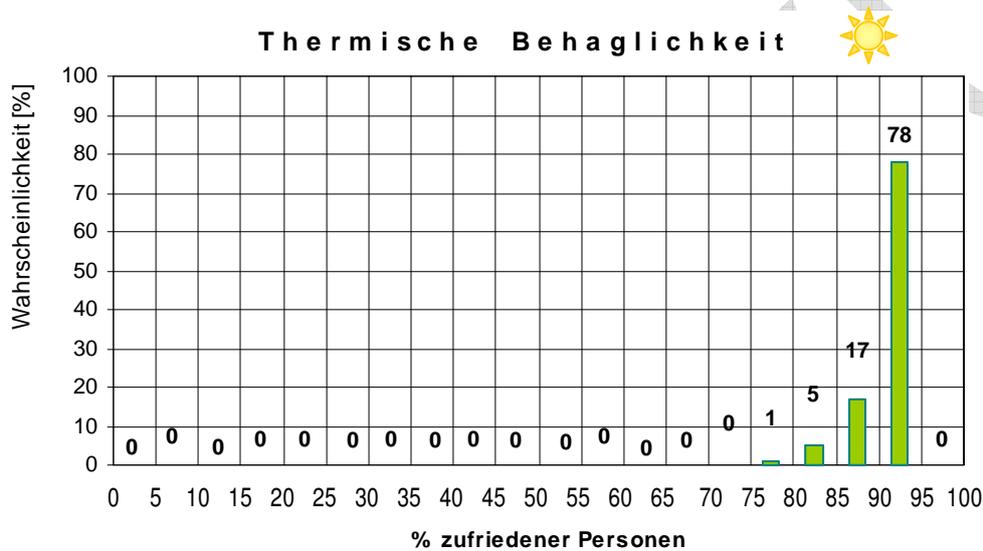
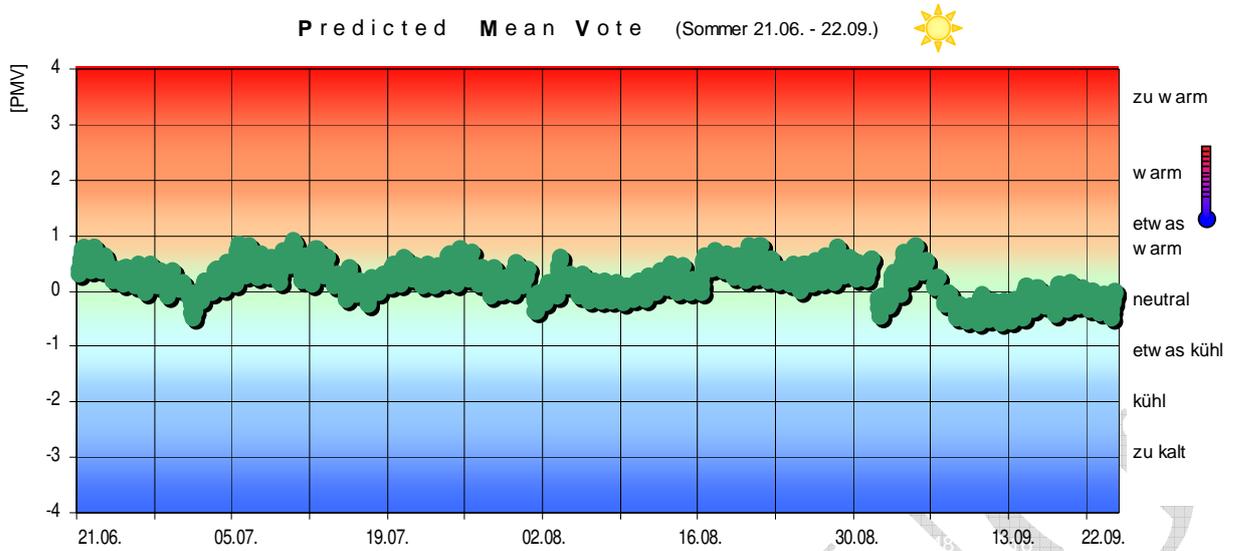


Die Wahrscheinlichkeit, dass sich **mehr als 80 %** der Anwesenden thermisch behaglich fühlen beträgt **93 %**

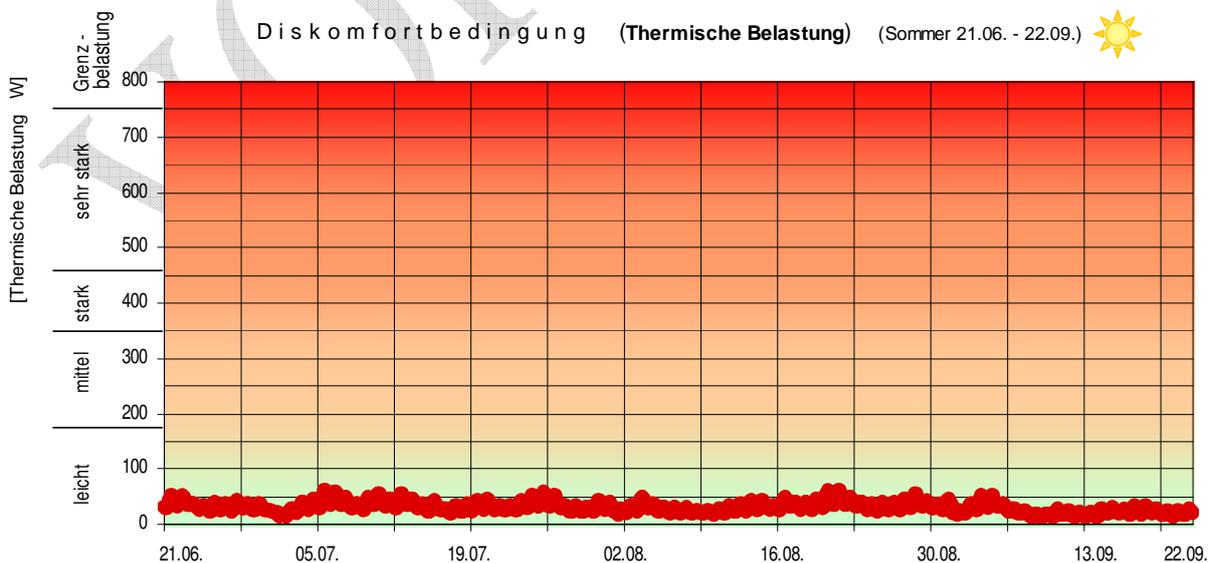


## 5.1.2. Geöffnete Entlüftungsfenster





Die Wahrscheinlichkeit, dass sich **mehr als 80 %** der Anwesenden thermisch behaglich fühlen beträgt **99 %**



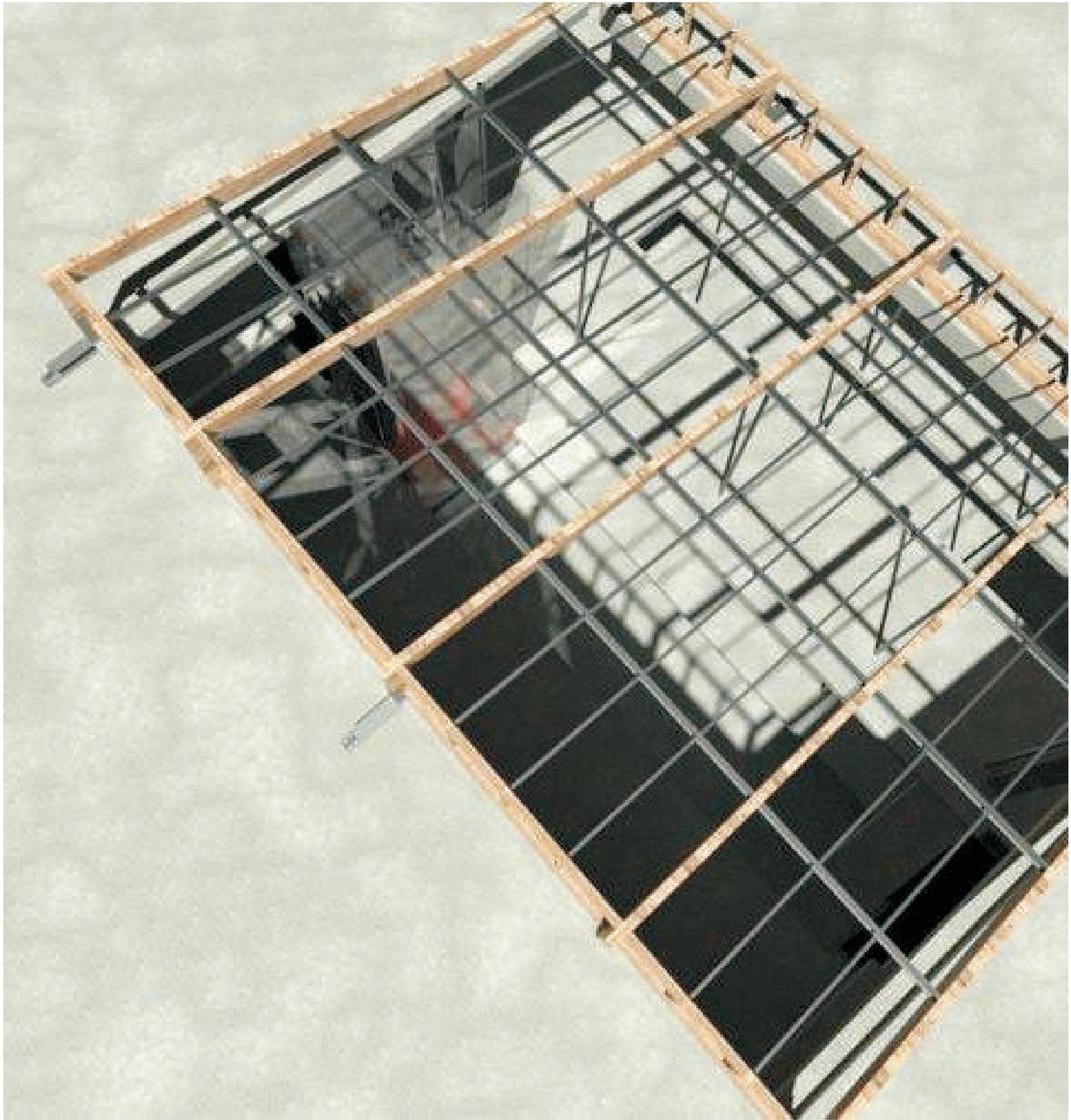
## **6.0. Auswertung**

Durch die im Glasdach angeordneten Lüftungsöffnungen von  $6 \times 0,81 \text{ m}^2$  effektiver Lüftungsfläche kann die Lufttemperatur in den Zonen IV und V im Sommer bei voller Belegung im Veranstaltungsraum durchschnittlich um  $3^\circ\text{C}$  gesenkt werden.

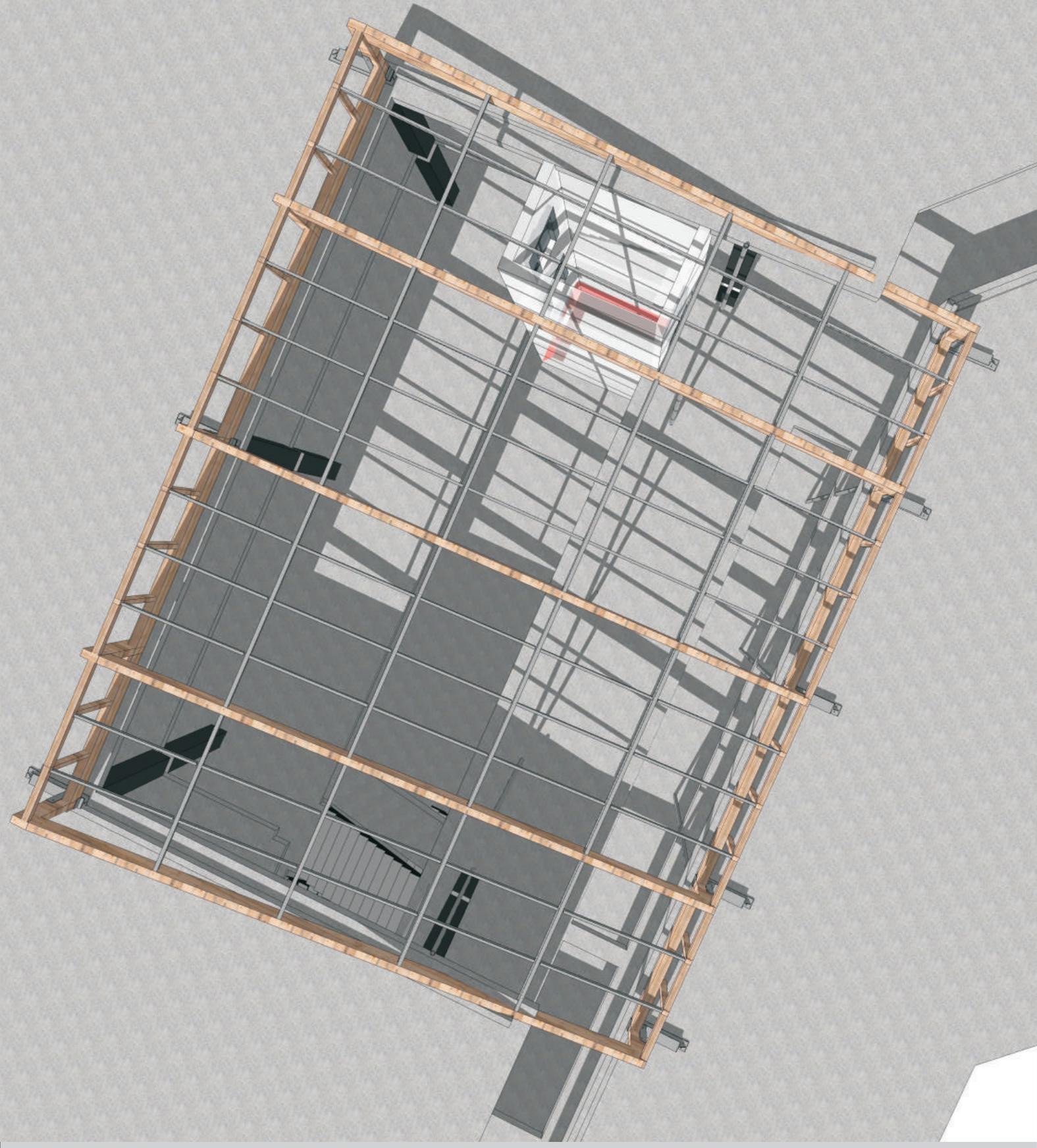
Unter den angenommenen Randbedingungen treten nur vereinzelt Temperaturen um  $30^\circ\text{C}$  auf. Dabei wurde ungünstig ein mit insgesamt 250 Personen belegter Veranstaltungsraum, sowie lediglich ein Luftaustausch mit der Außenluft über die Lüftungsöffnungen angenommen. (Ein mögliches Nachströmen von Luft durch Öffnungen in den Erdgeschossräumen wurde auf der sicheren Seite liegend nicht angenommen).

In der Aufenthaltszone ergibt sich damit eine Temperaturreduzierung von  $1^\circ\text{C}$  bis max.  $2^\circ\text{C}$ .

Damit liegt die Wahrscheinlichkeit, dass sich mehr als 80% der anwesenden Personen in der Aufenthaltszone behaglich fühlen bei nahezu 100%.







# ANHANG 13

Vorgezogenes Monitoring bei Musterfassade:  
Fragebogenaktion

**Umfrage in der Klasse 7b zu den Erfahrungen  
mit der neuen Fassade und dem Belüftungssystem**

- Klasse 7b hat ihr Klassenzimmer im oberen Raum der Musterfassade
- An der Umfrage nahmen 26 Schüler teil.

**1. Wie empfindet ihr die Luftverhältnisse in Raum 312 ?**

- |   |           |
|---|-----------|
| <input type="checkbox"/> besser als zuvor     | 22 (85%)  |
| <input type="checkbox"/> wie bisher           | 1 ( 3,5%) |
| <input type="checkbox"/> schlechter als zuvor | 3 (11,5%) |

Warum ist dies deiner Meinung nach so?

**besser als zuvor**, weil

- bei geöffneten Fenstern immer frische Luft ins Zimmer kommt //////////////
- die Luft ist nicht mehr so stickig ist ////////////// /
- mehr Luft ins Klassenzimmer kommt /
- Lamellenfenster zusätzliche frische Luft bringen /
- es gute Luft gibt, ohne dass wir frieren //
- bei geöffneten Fenstern immer einen leichten Luftzug gibt ///
- es früher meistens gezogen hat /

**wie bisher**, weil

- die Fenster fast immer offen sind /

**schlechter**, weil

- zu wenig Luft ins Zimmer kommt /
- nach der Mittagspause es immer sehr lange braucht, bis die Luft gut ist /
- wenn man nur die vorderen Fenster aufmacht, keine Luft hereinkommt /

**2. Wie empfinden Ihr die Temperaturverhältnisse in Raum 312 ?**

- |   |           |
|---|-----------|
| <input type="checkbox"/> besser als zuvor     | 17 (65%)  |
| <input type="checkbox"/> wie bisher           | 8 (31%)   |
| <input type="checkbox"/> schlechter als zuvor | 1 ( 3,5%) |

Warum ist dies Deiner Meinung nach so?

**besser als zuvor**, weil

- es nicht zu warm und nicht zu kalt ist //
- es nicht mehr so kalt ist /
- man die Fenster geöffnet lassen kann und dadurch immer Luft hereinkommt und durch den Raum strömt ///
- es nicht mehr so heiß ist, wenn die Sonne scheint /
- das neue Belüftungssystem funktioniert //
- man das Fenster geöffnet lassen kann, ohne dass es schnell kalt wird (außer man öffnet die Lamellenfenster //
- bei Sonneneinstrahlung es ein bisschen kühler ist als zuvor /

**wie bisher**, weil

- man nach wie vor Fenster öffnen kann und die Heizung anstellen kann /
- sich nichts geändert hat //
- es mal zu warm und mal zu kalt ist, wie wir es gewohnt sind //
- es wie früher immer noch zu heiß ist, wenn draußen die Sonne scheint //

**schlechter als zuvor**, weil

- es auch bei geschlossenen Fenstern immer noch zu kalt ist /

### weitere Nachteile:

- Man hört den Lärm der Klassen von unten, das stört ////////////////
- Die Rollos dunkeln nicht ab, sodass man das Bild des OH-Projektors oder eines Films nicht gut sieht ////////////////
- sieht hässlich aus
- man muss die ganze Zeit beide Fenster auflassen, weil das vordere alleine als Lüftungsfenster nichts bringt //
- Wir dürfen die Lamellenfenster nicht selber öffnen oder schließen //
- Wenn man nur die Fenster ohne die äußeren Fenster offen hat, merkt man gar nichts

### Fazit:

- Wenn das Belüftungssystem durch das bedarfsgemäße Öffnen der Fenster richtig eingesetzt wird, funktioniert die Belüftung besser als vorher
- Das richtige Bedienen der Fenster muss erlernt werden.
- Schüler, die im Zuluft-Fensterbereich sitzen, frieren im Winter schneller und spüren die Zugluft. Wenn sie dann deshalb das Fenster schließen, funktioniert die Belüftung nicht mehr.
- Andererseits ist der Luftzug in den Belüftungskanälen im oberen Raum schwächer wie im darunter liegenden, könnte also für eine schnellere Durchlüftung des Raumes auch stärker eingestellt sein.
- Die Temperaturregelung ist bei der derzeit noch eingebauten Heizung im Winter und Frühjahr angenehm.
- Bei starker Sonneneinstrahlung und wärmerer Außenluft steigen die Temperaturen an wie in den anderen Klassenzimmern, deshalb muss die Warmluftabsaugung in den mittleren Fensterbereichen optimiert werden.
- Bei den Lichtverhältnissen stellen die Schüler keine großen Unterschiede zum Vorzustand fest.
- Bemängelt wird, dass eine Abdunklung fehlt. Die Rollos bieten zwar einen Blendschutz, jedoch verdunkeln sie den Raum nicht genügend, sodass Abbildungen bei Filmen und OH-Projektoren nicht gut gesehen werden können. Demnach werden noch Verdunkelungsvorhänge benötigt.
- Ein großes Problem stellt die Schallübertragung aus dem unteren Raum dar. Es ist ein nicht zu leugnender Störfaktor, wenn man Schüler und Lehrer aus den darüber- bzw. darunterliegenden Räumen bei geöffneten Innenfenstern laut hören kann.

### Legende:

- / = 1 Schülerantwort mit dieser Aussage
- // = 2 Schülerantworten mit gleicher Aussage
- /// = 3 Schülerantworten mit gleicher Aussage .....

### 3. Wie empfindet Ihr die Lichtverhältnisse in Raum 312 ?

- besser als zuvor            8 (31%)
- wie bisher                    15 (57,5%)
- schlechter als zuvor        3 (11,5%)

Warum ist dies Deiner Meinung nach so?

#### **besser als zuvor**, weil

- die Lichtverhältnisse optimal sind /
- wenn die Sonne scheint, kann man die Rollos herunterlassen, man wird nicht mehr geblendet und trotzdem gibt es noch genügend Licht ///
- man die Aufschriebe an der Tafel gut lesen kann, ohne dass es spiegelt /
- weil wir nicht so oft das Licht einschalten müssen //
- mehr Licht hereinkommt als zuvor /
- es heller ist /

#### **wie bisher**, weil

- es zwar heller ist im Raum, aber es an der Tafel immer noch spiegelt (v.a. wenn man vorne in der Ecke sitzt) //
- man das Licht mit den Lampen nach wie vor gut regeln kann /
- die Rollos zu lichtdurchlässig sind und sie deshalb nicht viel bringen ///
- das Licht durch beide Fenster gleich hindurchstrahl /
- sich an der Beleuchtung ja nichts geändert hat /////
- es weder zu hell noch zu dunkel ist /

#### **schlechter als zuvor**, weil

- bei geschlossenen Rollos zu viel Licht hereinkommt //
- die Rollos keine Wirkung haben /

### 4. Gibt es aus Deiner Sicht Probleme bei der Bedienung der Fenster und der Belüftung?

- nein                            23
- ja                                3

Wenn ja, welche?

- Die unteren Befestigungen der Rollos sind schon zweimal kaputt gegangen /
- Die Befestigung der Rollos ist unten bei starkem Windzug schon abgebrochen /

### 5. Welche **weiteren** Vorteile oder Nachteile sind Dir aufgefallen?

#### **weitere Vorteile:**

- Man kann im Winter, wenn stickige Luft im Raum ist, das Fenster aufmachen, ohne dass es kälter wird /
- man kann sich nicht mehr an den Fenstern verletzen ///
- man kann die Fenster ganz bis zur Glasfront aufmachen /
- Es sieht vieeeeel besser aus! /
- Der Raum füllt sich schneller und präziser mit frischer Luft //
- Es gibt nie größeren Luftzug /
- Die Bedingungen sind sehr viel angenehmer /
- Der Blick auf den Fenstern ist schöner /
- Die doppelte Lüftungsmöglichkeit ist praktischer //

# ANHANG 14

Vorgezogenes Monitoring bei Musterfassade:  
Ergebnisse Messungen Februar-Mai 2014

Bauvorhaben: Energetische Aufrüstung des Michelberg – Gymnasium in 73312 Geislingen

## Messungen Luftqualität - Luftgeschwindigkeit - Temperatur - Schall

.....  
G – B – D M.Kammerer . Technologiezentrum Siegen. Birlenbacher Straße 14 . 57078 Siegen  
Tel. 0271 – 890 8484 . Fax 0271 – 890 8510 . e-Mail [info@g-b-d.de](mailto:info@g-b-d.de)

DYANA GmbH. Thermodynamik. Bauphysik. Gebäudesimulation. Bautechnik. A.Buchner  
Sümbergstraße 22 . 58730 Fröndenberg . Tel. 02373 – 396410 . Fax 3964179 . [www.dyana.de](http://www.dyana.de)  
.....

Teilnehmer : Herr Buchner . Herr Kammerer . Zeitweise Herr OSTD Sämann (Schuldirektor)

Termin am Mittwoch den 26 Februar 2014

Thema: Monitoring zur Überprüfung der Belüftung durch die Musterfassade

- 1. Überprüfung der Klassenraumlüftung über die Fassade
- 2. Luftgeschwindigkeiten
- 3. CO<sub>2</sub> Messung in Klassenraum
- 4. Raumtemperatur – Messung
- 5. Schallmessung

### Ergebnisse der durchgeführten Messungen:

Zu 1 + 2. Die Einströmung in die untere Klasse ist gemessen mit 0,4 – 0,9 m/s

Die Einströmung in die obere Klasse ist gemessen mit 0,3 – 0,7 m/s

Die Fenster haben 1,0 x 1,1 Meter = 1,1 m<sup>2</sup> freien Querschnitt

**Bei 0,3 m/s Luftgeschwindigkeit und 1,1 m<sup>2</sup> freier Querschnitt werden die erforderlichen 700 m<sup>3</sup>/h problemlos überschritten.**

Zu 2. Die gemessenen Luftgeschwindigkeiten betragen im einzelnen:

Zuluftfeld im unteren Geschoss = 0,7 – 2,1 m/s

Zuluftfeld im oberen Geschoss = 0,7 – 1,5 m/s

Einströmung – Geschwindigkeit in die untere Klasse 0,4 – 0,9 m/s

Einströmung – Geschwindigkeit in die obere Klasse 0,3 – 0,7 m/s

Daraus ist abzuleiten das bei einer dreigeschossigen Anordnung Einströmung – Geschwindigkeiten in die Klasse im dritten Geschoss von 0,2 – 0,5 m/s auftreten.

**Diese Geschwindigkeiten ergeben 790 m<sup>3</sup>/h und bestätigen damit die Berechnungen.**

Alle Werte wurden bei Wetterverhältnissen von fast Windstill gemessen.

Blatt 2 zur Messung durch Herrn Kammerer und Herrn Buchner am 26 Februar 2014

Zu 3. Der CO<sub>2</sub> Wert in den Klassen betrug beim Eintritt in die Klassen 760 ppm bei 22°C. (Part Per Million = Teilchen per Million). Die Glas – Jalousien waren im Versuch geschlossen. Der Versuch fand im März bei 8°C Außentemperatur statt.

**Nachdem die Fenster im Zuluft.- und Abluftfeld für die Dauer von 10 Minuten geöffnet wurden betrug der CO<sub>2</sub> Wert nur noch 490 ppm.**

Zum Vergleich: Saubere Luft weist in Europa im Freien normalerweise einen CO<sub>2</sub> Wert von 430 – 470 ppm auf. Zusätzlich ist die Jahreszeit von Bedeutung. Der Dezember, Januar, Februar weist erheblich höhere CO<sub>2</sub> Werte auf als der Mai, Juni, Juli. Es besteht ein hoher Zusammenhang zwischen der CO<sub>2</sub> Konzentration und der Außentemperatur.

Die lange Zeit gültige Pettenkoferzahl sah einen CO<sub>2</sub> Gehalt von höchstens 1000 ppm = 0,10 Volumenprozent vor. Heute gilt als Richtwert die Hygienegrenze von 1500 ppm.

Zu 4. Bei der Messung der Raumtemperatur betrug die Außentemperatur 8°C. Die gemessene Raumtemperatur betrug 22°C. Die Temperatur im Zuluft.- und Abluftfeld betrug 24 – 26 °C. **Die Zulufttemperatur betrug somit 2 – 4° C über der Raumtemperatur und ist innerhalb der berechneten Temperatur zur Vermeidung von Zugerscheinungen (+ 2°C).**

Zu 5. Schallmessungen. Bei geöffnetem Fenster im unteren und oberen Geschoss sind Geräusche aus der einen Klasse in der anderen Klasse zu hören.

In der vorgenommenen ersten Schallmessung wurde die Versuchsanordnung 0,80 Meter zum Abluftfeld mit der Sprachrichtung zum Fenster angeordnet. Der Schallüberschlag wurde über ein Geschoss bei normaler Sprechlautstärke mit einem Störschall von 56 dB(A) gemessen.

Bei der zweiten Messung wurde der Standort Lehrerpult mit Sprechrichtung Klasse simuliert. Der Schallübertrag wurde mit einem Störschall von 48 dB(A) gemessen.

Klassengeräusche wurden nicht unterlegt.

**Es ist aber davon auszugehen das der Wert für konzentriertes Arbeiten von 55 dB(A) (Angabe Herr Burkart vom 11.02.2014) überschritten wird.**

Da es sich hier um Luftkanäle handelt werden Geschoss – Schalldämpfer geplant.

Entsprechende Überlegungen zur Dimensionierung werden durch Herrn Kammerer ausgeführt, mit den Abmessungen der Fassade abgestimmt und auf die Berechnungen der Venturiflügel übertragen.

Erstes Ergebnis: Die Venturiflügel werden größere Abmessungen erhalten.

Ende.

Siegen und Fröndenberg den 03 März 2014

Bauvorhaben: Energetische Aufrüstung des Michelberg – Gymnasium in 73312 Geislingen

## Aktivierte Fassade . Fortschreibung der Messungen zu Luftqualität – Luftgeschwindigkeit - Temperatur - Schall

.....

G – B – D M.Kammerer . Technologiezentrum Siegen. Birlenbacher Straße 14 . 57078 Siegen  
Tel. 0271 – 890 8484 . Fax 0271 – 890 8510 . e-Mail [info@g-b-d.de](mailto:info@g-b-d.de)

.....

Termin am Donnerstag den 06 März 2014

Thema: Monitoring zur Überprüfung der Belüftung durch die Musterfassade

- 1. Überprüfung der Klassenraumlüftung über die Fassade
- 2. Luftgeschwindigkeiten
- 3. CO2 Messung in Klassenraum
- 4. Raumtemperatur – Messung
- 5. Schallmessung

### **Ergebnisse der durchgeführten Messungen:**

Zu 1 + 2. Die Einströmung in die untere Klasse ist gemessen mit 0,4 m/s

Die Einströmung in die obere Klasse ist gemessen mit 0,5 m/s

Die Fenster haben 1,0 x 1,1 Meter = 1,1 m<sup>2</sup> freien Querschnitt

**0,4 m/s Luftgeschwindigkeit und 1,1 m<sup>2</sup> freier Querschnitt werden die erforderlichen  
700 m<sup>3</sup>/h problemlos überschritten. Errechneter Wert = 1.584 m<sup>3</sup>/h.**

Zu 2. Die gemessenen Luftgeschwindigkeiten betragen im einzelnen:

Zuluftfeld im unteren Geschoss = 0,4 – 2,0 m/s

Zuluftfeld im oberen Geschoss = 0,4 – 1,5 m/s

Einströmungs – Geschwindigkeit in die untere Klasse 0,3 – 0,4 m/s

Einströmungs – Geschwindigkeit in die obere Klasse 0,3 – 0,4 m/s

Daraus ist abzuleiten das bei einer dreigeschossigen Anordnung Einströmung –  
Geschwindigkeiten in die Klasse im dritten Geschoss von 0,2 – 0,4 m/s auftreten.

**Diese Geschwindigkeiten ergeben 790 m<sup>3</sup>/h und bestätigen damit die Berechnungen und  
die Messungen vom 26 Februar 2014**

Alle Werte wurden bei durchschnittlichen Wetterverhältnissen gemessen.

Zu 3. Der CO<sub>2</sub> Wert in den Klassen betrug beim Eintritt in die Klassen 860 ppm bei 20°C. (Part Per Million = Teilchen per Million). Die Glas – Jalousien waren im Versuch geschlossen. Der Versuch fand im März bei 13°C Außentemperatur statt.

**Nachdem die Fenster im Zuluft.- und Abluftfeld für die Dauer von 10 Minuten geöffnet wurden betrug der CO<sub>2</sub> Wert nur noch 540 ppm.**

Zum Vergleich: Saubere Luft weist in Europa im Freien normalerweise einen CO<sub>2</sub> Wert von 430 – 470 ppm auf. Zusätzlich ist die Jahreszeit von Bedeutung. Der Dezember, Januar, Februar weist erheblich höhere CO<sub>2</sub> Werte auf als der Mai, Juni, Juli. Es besteht ein hoher Zusammenhang zwischen der CO<sub>2</sub> Konzentration und der Außentemperatur.

Die lange Zeit gültige Pettenkoferzahl sah einen CO<sub>2</sub> Gehalt von höchstens 1000 ppm = 0,10 Volumenprozent vor. Heute gilt als Richtwert die Hygienegrenze von 1500 ppm.

Zu 4. Bei der Messung der Raumtemperatur betrug die Außentemperatur 13°C. Die gemessene Raumtemperatur betrug 21°C. Die Temperatur im Zuluft.- und Abluftfeld betrug 22 – 24 °C.

**Die Zulufttemperatur betrug somit 1 – 3° C über der Raumtemperatur und ist innerhalb der berechneten Temperatur zur Vermeidung von Zugerscheinungen (+ 2°C).**

Zu 5. Schallmessungen. Bei geöffnetem Fenster im unteren und oberen Geschoss sind Geräusche aus der einen Klasse in der anderen Klasse zu hören.

In der vorgenommenen ersten Schallmessung wurde die Versuchsanordnung 0,80 Meter zum Abluftfeld mit der Sprachrichtung zum Fenster angeordnet. Der Schallüberschlag wurde über ein Geschoss bei normaler Sprechlautstärke mit einem Störschall von 56 dB(A) gemessen.

Bei der zweiten Messung wurde der Standort Lehrerpult mit Sprechrichtung Klasse simuliert. Der Schallübertrag wurde mit einem Störschall von 48 dB(A) gemessen.

Klassengeräusche wurden nicht unterlegt.

**Die Schallwerte haben sich nicht verändert. Die Schalldämpfer sind berechnet.**

Es ist aber davon auszugehen dass der Wert für konzentriertes Arbeiten von 55 dB(A) (Angabe Herr Burkart vom 11.02.2014) überschritten wird.

Da es sich hier um Luftkanäle handelt werden Geschoss – Schalldämpfer geplant.

Entsprechende Überlegungen zur Dimensionierung werden durch Herrn Kammerer ausgeführt, mit den Abmessungen der Fassade abgestimmt und auf die Berechnungen der Venturiflügel übertragen.

Erstes Ergebnis: Die Venturiflügel werden größere Abmessungen erhalten.

Ende.

Bauvorhaben: Energetische Aufrüstung des Michelberg – Gymnasium in 73312 Geislingen

## Aktivierte Fassade . Fortschreibung der Messungen zu Luftqualität – Luftgeschwindigkeit - Temperatur - Schall

.....  
G – B – D M.Kammerer . Technologiezentrum Siegen. Birlenbacher Straße 14 . 57078 Siegen  
Tel. 0271 – 890 8484 . Fax 0271 – 890 8510 . e-Mail [info@g-b-d.de](mailto:info@g-b-d.de)  
.....

Termin am Freitag den 04 April 2014

Thema: Monitoring zur Überprüfung der Belüftung durch die Musterfassade

- 1. Überprüfung der Klassenraumlüftung über die Fassade
- 2. Luftgeschwindigkeiten
- 3. CO<sub>2</sub> Messung in Klassenraum
- 4. Raumtemperatur – Messung
- 5. Schallmessung

### **Ergebnisse der durchgeführten Messungen:**

Zu 1 + 2. Die Einströmung in die untere Klasse ist gemessen mit 0,7 m/s

Die Einströmung in die obere Klasse ist gemessen mit 0,5 m/s

Die Fenster haben 1,0 x 1,1 Meter = 1,1 m<sup>2</sup> freien Querschnitt

**0,5 m/s Luftgeschwindigkeit und 1,1 m<sup>2</sup> freier Querschnitt werden die erforderlichen  
700 m<sup>3</sup>/h problemlos überschritten. Errechneter Wert = 1.980 m<sup>3</sup>/h.**

Zu 2. Die gemessenen Luftgeschwindigkeiten betragen im einzelnen:

Zuluftfeld im unteren Geschoss = 0,6 – 1,9 m/s

Zuluftfeld im oberen Geschoss = 0,6 – 1,6 m/s

Einströmung – Geschwindigkeit in die untere Klasse 0,3 – 0,7 m/s

Einströmung – Geschwindigkeit in die obere Klasse 0,2 – 0,6 m/s

Daraus ist abzuleiten das bei einer dreigeschossigen Anordnung Einströmung –  
Geschwindigkeiten in die Klasse im dritten Geschoss von 0,2 – 0,5 m/s auftreten.

**Diese Geschwindigkeiten ergeben 790 m<sup>3</sup>/h und bestätigen damit die Berechnungen und  
die Messungen vom 26 Februar 2014**

Alle Werte wurden bei durchschnittlichen Wetterverhältnissen gemessen.

Zu 3. Der CO<sub>2</sub> Wert in den Klassen betrug beim Eintritt in die Klassen 860 ppm bei 20°C. (Part Per Million = Teilchen per Million). Die Glas – Jalousien waren im Versuch geschlossen. Der Versuch fand im April bei 14°C Außentemperatur statt.

**Nachdem die Fenster im Zuluft.- und Abluftfeld für die Dauer von 10 Minuten geöffnet wurden betrug der CO<sub>2</sub> Wert nur noch 540 ppm.**

Zum Vergleich: Saubere Luft weist in Europa im Freien normalerweise einen CO<sub>2</sub> Wert von 430 – 470 ppm auf. Zusätzlich ist die Jahreszeit von Bedeutung. Der Dezember, Januar, Februar weist erheblich höhere CO<sub>2</sub> Werte auf als der Mai, Juni, Juli. Es besteht ein hoher Zusammenhang zwischen der CO<sub>2</sub> Konzentration und der Außentemperatur.

Die lange Zeit gültige Pettenkoferzahl sah einen CO<sub>2</sub> Gehalt von höchstens 1000 ppm = 0,10 Volumenprozent vor. Heute gilt als Richtwert die Hygienegrenze von 1500 ppm.

Zu 4. Bei der Messung der Raumtemperatur betrug die Außentemperatur 14°C. Die gemessene Raumtemperatur betrug 20°C. Die Temperatur im Zuluft.- und Abluftfeld betrug 22 – 25 °C.

**Die Zulufttemperatur betrug somit 2 – 5° C über der Raumtemperatur und ist innerhalb der berechneten Temperatur zur Vermeidung von Zugerscheinungen (+ 2°C).**

Zu 5. Schallmessungen. Bei geöffnetem Fenster im unteren und oberen Geschoss sind Geräusche aus der einen Klasse in der anderen Klasse zu hören.

In der vorgenommenen ersten Schallmessung wurde die Versuchsanordnung 0,80 Meter zum Abluftfeld mit der Sprachrichtung zum Fenster angeordnet. Der Schallüberschlag wurde über ein Geschoss bei normaler Sprechlautstärke mit einem Störschall von 56 dB(A) gemessen.

Bei der zweiten Messung wurde der Standort Lehrerpult mit Sprechrichtung Klasse simuliert. Der Schallübertrag wurde mit einem Störschall von 48 dB(A) gemessen.

Klassengeräusche wurden nicht unterlegt.

**Die Schallwerte haben sich nicht verändert. Die Schalldämpfer sind berechnet.**

Es ist aber davon auszugehen dass der Wert für konzentriertes Arbeiten von 55 dB(A) (Angabe Herr Burkart vom 11.02.2014) überschritten wird.

Da es sich hier um Luftkanäle handelt werden Geschoss – Schalldämpfer geplant.

Entsprechende Überlegungen zur Dimensionierung werden durch Herrn Kammerer ausgeführt, mit den Abmessungen der Fassade abgestimmt und auf die Berechnungen der Venturiflügel übertragen.

Erstes Ergebnis: Die Venturiflügel werden größere Abmessungen erhalten.

Ende.

Bauvorhaben: Energetische Aufrüstung des Michelberg – Gymnasium in 73312 Geislingen

## Aktivierte Fassade . Fortschreibung der Messungen zu Luftqualität – Luftgeschwindigkeit - Temperatur - Schall

.....  
G – B – D M.Kammerer . Technologiezentrum Siegen. Birlenbacher Straße 14 . 57078 Siegen  
Tel. 0271 – 890 8484 . Fax 0271 – 890 8510 . e-Mail [info@g-b-d.de](mailto:info@g-b-d.de)  
.....

Termin am Montag den 12 Mai 2014

Thema: Monitoring zur Überprüfung der Belüftung durch die Musterfassade

- 1. Überprüfung der Klassenraumlüftung über die Fassade
- 2. Luftgeschwindigkeiten
- 3. CO<sub>2</sub> Messung in Klassenraum
- 4. Raumtemperatur – Messung
- 5. Schallmessung

### **Ergebnisse der durchgeführten Messungen:**

Zu 1 + 2. Die Einströmung in die untere Klasse ist gemessen mit 0,6 m/s

Die Einströmung in die obere Klasse ist gemessen mit 0,3 m/s

Die Fenster haben 1,0 x 1,1 Meter = 1,1 m<sup>2</sup> freien Querschnitt

**0,3 m/s Luftgeschwindigkeit und 1,1 m<sup>2</sup> freier Querschnitt werden die erforderlichen  
700 m<sup>3</sup>/h problemlos überschritten. Errechneter Wert = 1.188 m<sup>3</sup>/h.**

Zu 2. Die gemessenen Luftgeschwindigkeiten betragen im einzelnen:

Zuluftfeld im unteren Geschoss = 0,6 – 1,9 m/s

Zuluftfeld im oberen Geschoss = 0,3 – 1,5 m/s

Einströmungs – Geschwindigkeit in die untere Klasse 0,3 – 0,9 m/s

Einströmungs – Geschwindigkeit in die obere Klasse 0,3 – 0,7 m/s

Daraus ist abzuleiten das bei einer dreigeschossigen Anordnung Einströmung –  
Geschwindigkeiten in die Klasse im dritten Geschoss von 0,2 – 0,4 m/s auftreten.

**Diese Geschwindigkeiten ergeben 790 m<sup>3</sup>/h und bestätigen damit die Berechnungen und  
die Messungen vom 26 Februar 2014**

Alle Werte wurden bei durchschnittlichen Wetterverhältnissen gemessen.

Blatt 2 zur Messung durch Herrn Kammerer am 12 Mai 2014

Zu 3. Der CO<sub>2</sub> Wert in den Klassen betrug beim Eintritt in die Klassen 860 ppm bei 20°C. (Part Per Million = Teilchen per Million). Die Glas – Jalousien waren im Versuch geschlossen. Der Versuch fand im Mai bei 14°C Außentemperatur statt.

**Nachdem die Fenster im Zuluft.- und Abluftfeld für die Dauer von 10 Minuten geöffnet wurden betrug der CO<sub>2</sub> Wert nur noch 540 ppm.**

Zum Vergleich: Saubere Luft weist in Europa im Freien normalerweise einen CO<sub>2</sub> Wert von 430 – 470 ppm auf. Zusätzlich ist die Jahreszeit von Bedeutung. Der Dezember, Januar, Februar weist erheblich höhere CO<sub>2</sub> Werte auf als der Mai, Juni, Juli. Es besteht ein hoher Zusammenhang zwischen der CO<sub>2</sub> Konzentration und der Außentemperatur.

Die lange Zeit gültige Pettenkoferzahl sah einen CO<sub>2</sub> Gehalt von höchstens 1000 ppm = 0,10 Volumenprozent vor. Heute gilt als Richtwert die Hygienegrenze von 1500 ppm.

Zu 4. Bei der Messung der Raumtemperatur betrug die Außentemperatur 14°C. Die gemessene Raumtemperatur betrug 22°C. Die Temperatur im Zuluft.- und Abluftfeld betrug 22 – 25 °C.

**Die Zulufttemperatur betrug somit 2 – 3° C über der Raumtemperatur und ist innerhalb der berechneten Temperatur zur Vermeidung von Zugerscheinungen (+ 2°C).**

Zu 5. Schallmessungen. Bei geöffnetem Fenster im unteren und oberen Geschoss sind Geräusche aus der einen Klasse in der anderen Klasse zu hören.

In der vorgenommenen ersten Schallmessung wurde die Versuchsanordnung 0,80 Meter zum Abluftfeld mit der Sprachrichtung zum Fenster angeordnet. Der Schallüberschlag wurde über ein Geschoss bei normaler Sprechlautstärke mit einem Störschall von 56 dB(A) gemessen.

Bei der zweiten Messung wurde der Standort Lehrerpult mit Sprechrichtung Klasse simuliert. Der Schallübertrag wurde mit einem Störschall von 48 dB(A) gemessen.

Klassengeräusche wurden nicht unterlegt.

**Die Schallwerte haben sich nicht verändert. Die Schalldämpfer sind berechnet.**

**Der Einbau erfolgt am 24 Juni 2014**

Es ist aber davon auszugehen das der Wert für konzentriertes Arbeiten von 55 dB(A) (Angabe Herr Burkart vom 11.02.2014) überschritten wird.

Da es sich hier um Luftkanäle handelt werden Geschoss – Schalldämpfer geplant.

Entsprechende Überlegungen zur Dimensionierung werden durch Herrn Kammerer ausgeführt, mit den Abmessungen der Fassade abgestimmt und auf die Berechnungen der Venturiflügel übertragen.

Erstes Ergebnis: Die Venturiflügel werden größere Abmessungen erhalten.

Ende.

Siegen und Fröndenberg den 12 Mai 2014

# ANHANG 15

Innovative Technologien und Auswirkungen auf  
den Brandschutz

Auszug

**Dipl.- Ing. Hubert Schulte**

Staatlich anerkannter Sachverständiger für die Prüfung des Brandschutzes

57368 Lennestadt-Oedingen, Zum Schloßberg 5

Tel.02725-287 Fax 02725-7338 eMail: brandschutz@hubertschulte.de

**Az.: 13-185-01a**

# Auszug aus dem **Brandschutzkonzept**

## Innovationen durch die Ausführung mit der Generalsanierung

Bauvorhaben **Generalsanierung  
Michelberg-Gymnasium**  
Straße **Staubstraße 50**  
Ort **73312 Geislingen an der Steige**

Bauherr **Stadt Geislingen an der Steige  
FB 3 Stadtbauamt**  
Straße **Schloßgasse 7**  
Ort **73312 Geislingen an der Steige**

Architekten **Prof. Dr.- Ing. H. Höfler  
Dipl.- Ing. Eckart Krebs**  
Straße **Jakob-Klar-Straße 8**  
Ort **80796 München**

Das Konzept ist nur für dieses Bauvorhaben gültig. Es beinhaltet die örtliche brandschutztechnische Infrastruktur, deren Auslegung nur in diesem Zusammenhang gültig ist. Eine Verallgemeinerung kann nicht abgeleitet werden.

---

**Auszug aus dem Brandschutzkonzept**

**Generalsanierung Michelberg-Gymnasium 73312 Geislingen an der Steige, Staubstraße 50**

**Auftraggeber: Stadt Geislingen an der Steige, FB 3 Stadtbauamt, 73312 Geislingen an der Steige, Schloßgasse 7**

Auszug**Dipl.- Ing. Hubert Schulte**

Staatlich anerkannter Sachverständiger für die Prüfung des Brandschutzes

57368 Lennestadt-Oedingen, Zum Schloßberg 5

Tel.02725-287 Fax 02725-7338 eMail: brandschutz@hubertschulte.de

**Az.: 13-185-01a****Einleitung**

Das Michelberg-Gymnasium wurde in den Jahren 1974-1976 als Schul- und Sportzentrum errichtet und beinhaltet 22 Klassen, einen naturwissenschaftlich-technischen-musischen Bereich, auf einer Gesamtgeschossfläche von 8.625 m<sup>2</sup>, mit einem umbautem Raum von 34.500 m<sup>3</sup>.

Obwohl zur damaligen Zeit alle richtungsgebenden pädagogischen, baulichen, technischen und entwerflichen Zielvorstellungen in die Planung und Ausführung eingingen, erweist sich nach fast 40-jähriger Nutzung, dass die Gebäudeanlage in Funktion und Bausubstanz, bedingt auch durch einen mehrjährigen Sanierungsstau, sich fast in allen Bereichen als veraltet und damit modernisierungsbedürftig erweist, wenn man Modernisierung definiert als Maßnahmen zur Verbesserung eines Bauwerkes, die den Gebrauchswert erhöhen.

Ansatzpunkte für eine solche Modernisierung bestehen in der Forderung, dass

- alle Räume, den neusten pädagogischen Anforderungen genügen müssen
- die Schulanlage energieeffizient und ökonomisch betrieben werden kann
- das Raumklima für Schüler und Lehrer zuträglich ist
- die so modernisierte Schulanlage auf die Schüler und Lehrer „positiv ausstrahlt“

Von den Architekten erfolgte eine Präzisierung von Ansatzpunkten, die in der 40-jährigen Benutzungszeit aufgetretenen Mängel und ihre Ursachen umfassend zu erfassen und sie zum Zwecke ihrer Beseitigung durch eine integrale Planung zu klassifizieren. Im Fall Michelberg-Gymnasium wurden vier Gruppen von Mängeln, gegliedert durch die Art ihrer Ursachen festgestellt,

- Mängel, bedingt durch den damaligen Stand der Bautechnik und Bauphysik
- Mängel, bedingt durch eine ineffiziente, damals übliche technische Gebäudeausrüstung (TGA)
- Mängel durch lange Benutzungszeiten und anhaltendem Sanierungsstau
- Mängel, die der Anwendung von zukunftsweisenden pädagogischen Anforderungen entgegenstehen.

**Unabhängig von allen zuvor genannten Mängel und geplanten Maßnahmen stehen die Belange**

**des Brandschutzes, selbst wenn keiner der vorgenannten Mängel behoben und keine der**

**geplanten Maßnahmen ausgeführt würde, wäre zeitnah eine Nachrüstung für die Belange des**

**Brandschutzes erforderlich.**

Auch für die Belange des Brandschutzes gilt, dass nach 40-jähriger Gebäudenutzung geänderte Erkenntnisse und neue Sicherheitsvorstellungen gelten. So sieht das heutige Sicherheitsniveau deutlich geänderte Anforderungen in Bezug auf die Sicherstellung von Flucht- und Rettungswegen vor, hiernach bestehen aus heutiger Sicht „konkrete Gefahren“ sofern für Klassenräume keine zwei gesicherte bauliche Fluchtwege zur Verfügung stehen.

Zur Wahrung der Belange des Brandschutzes wurde der Unterzeichner durch den Bauherrn beauftragt, in der Vorplanungs-, Planungs- und Ausführungsphase, Bauherren, Architekten und alle weiteren Planungsbeteiligten zu beraten.

**Auszug aus dem Brandschutzkonzept****Generalsanierung Michelberg-Gymnasium 73312 Geislingen an der Steige, Staubstraße 50****Auftraggeber: Stadt Geislingen an der Steige, FB 3 Stadtbauamt, 73312 Geislingen an der Steige, Schloßgasse 7**

**Auszug****Dipl.- Ing. Hubert Schulte**

Staatlich anerkannter Sachverständiger für die Prüfung des Brandschutzes

57368 Lennestadt-Oedingen, Zum Schloßberg 5

Tel.02725-287 Fax 02725-7338 eMail: brandschutz@hubertschulte.de

**Az.: 13-185-01a**

Ergebnis und Bestandteil der Beratung ist diese Brandschutzkonzept, in dem die Ergebnisse der Planungsphase dokumentiert sind, das Brandschutzkonzept ist Bestandteil des Bauantrages und erlangt durch die Erteilung der Baugenehmigung öffentlich-rechtlichen Charakter.

Für die Planer von ganzheitlichem Brandschutz in Gebäuden ist es auch heute noch nicht selbstverständlich, das Architekten und Bauherren die Umsetzung aller aus heutiger Sicht notwendigen Maßnahmen für den Brandschutz, im Rahmen der Sanierung / Modernisierung von Bestandgebäuden einsehen, aus Kostengründen wird dann deren Umsetzung abgelehnt.

Bei dem Projekt Generalsanierung des Michelberg-Gymnasium wurde der Unterzeichner bereits bei der Projektstudie beteiligt und durch die Architekten und den Bauherren aufgefordert, mit allen an der Projektentwicklung Beteiligten die Belange des Brandschutzes abzustimmen und deren Umsetzung sicher zu stellen. Durch die Kooperation des Bauherren, Raumnutzungen auf die Belange des Brandschutzes abzustimmen, konnten insbesondere zur Sicherung der Flucht- und Rettungswege erhebliche bauliche Aufwendungen eingespart werden, sodass nur an dem mehrgeschossigem Klassentrakt die Errichtung einer zusätzlichen Fluchttreppe erforderlich wurde.

**Nutzung**

Schulbetrieb

Anzahl der Schülerinnen und Schüler	700
Anzahl der Lehrerinnen und Lehrer	61
Anzahl der Benutzer der Mensa	300

Bei alleiniger Nutzung der Versammlungsstätte – ohne Schulbetrieb

725 m<sup>2</sup> ohne Bestuhlung, 2 Personen/m<sup>2</sup>

Anzahl der Benutzer der Versammlungsstätte, max. 1.450 Personen

**Größen**

Der Gebäudebestand Gymnasium besteht aus einem Brandabschnitt mit einer

Grundfläche von ca. 4.378 m<sup>2</sup>.

- I. Brandbekämpfungsabschnitt, natur-wissenschaftlich erdgeschossig      Summe = 3.125 m<sup>2</sup>
- II. Brandbekämpfungsabschnitt, Klassentrakt 1. + 2. Obergeschoss
  - 1.Obergeschoss 1.260 m<sup>2</sup>
  - 2. Obergeschoss 1.260 m<sup>2</sup>      Summe = 2.520 m<sup>2</sup>
- III. Brandbekämpfungsabschnitt, EG Innenhof-Mensa Achse 8-13 1.333 m<sup>2</sup>
  - 1.Obergeschoss Verwaltung 1.333 m<sup>2</sup>      Summe = 2.666 m<sup>2</sup>
- IV. Brandbekämpfungsabschnitt, Unterkellerung Achse 9-13      Summe = 800 m<sup>2</sup>

Brutto-Geschossfläche ca. 8.625 m<sup>2</sup>.**Auszug aus dem Brandschutzkonzept****Generalsanierung Michelberg-Gymnasium 73312 Geislingen an der Steige, Staubstraße 50**

Auftraggeber: Stadt Geislingen an der Steige, FB 3 Stadtbauamt, 73312 Geislingen an der Steige, Schloßgasse 7

**Auszug****Dipl.- Ing. Hubert Schulte**

Staatlich anerkannter Sachverständiger für die Prüfung des Brandschutzes

57368 Lennestadt-Oedingen, Zum Schloßberg 5

Tel.02725-287 Fax 02725-7338 eMail: brandschutz@hubertschulte.de

**Az.: 13-185-01a**

Durch das Brandschutzkonzept ist sicherzustellen, dass die Schutzziele nach § 3 und § 15 der Landesbauordnung BW erreicht werden,

- dass die öffentliche Sicherheit oder Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit oder die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden,
- dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird,
- und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren,
- sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.

**Materielle Anforderungen**

nach

**Landesbauordnung – LBO****Ausführungsverordnung zur  
Landesbauordnung - LBOAVO****Muster-Schulbau-Richtlinie – MSchulbauR****Schulbau DIN 58 125****Versammlungsstättenverordnung – VStättVO)****Richtlinien für Schulen GUV – SR 2001****Anforderungen an die thermoaktivierte Fassade / Lucido-Fassade**

In Bereichen der Gebäudeklasse 3 gelten keine weitergehenden Anforderungen

Dämmstoffe werden hier in B 1 (schwerentflammbar) ausgeführt.

Dämmstoffe B 2 können hier ebenfalls verwendet werden, jedoch nicht in einem Abstand von mindestens 5 m von mehrgeschossigen Gebäudeteilen.

In Bereichen der Gebäudeklasse 5 (Klassentrakt) werden im Bereich der Geschosdecke über Erdgeschoss und über 1. Obergeschoss besondere Maßnahmen gegen Brandausbreitung getroffen.

Die Einblasdämmung hinter der vorhandenen Verblechung

muss in A 1/2 (nichtbrennbar) ausgeführt werden.

Dämmstoffe im Bereich EG-Decke und 1. OG-Decke

zwischen den vertikalen Fassadenkonstruktionshölzern (Gefachen),

die nicht für Zu- / Abluftführung genutzt werden,

werden in der Dicke von 200 mm und einer Höhe von mindesten 500 mm

als Brandriegel in der Dämmstoffklasse A 1/2 aus Mineralfasermatten ausgeführt.

Sonstige Dämmungen / Perimeter Dämmungen werden mit B 1 Dämmstoffen ausgeführt.

**Auszug aus dem Brandschutzkonzept****Generalsanierung Michelberg-Gymnasium 73312 Geislingen an der Steige, Staubstraße 50****Auftraggeber: Stadt Geislingen an der Steige, FB 3 Stadtbauamt, 73312 Geislingen an der Steige, Schloßgasse 7**

**Auszug****Dipl.- Ing. Hubert Schulte**

Staatlich anerkannter Sachverständiger für die Prüfung des Brandschutzes

57368 Lennestadt-Oedingen, Zum Schloßberg 5

Tel.02725-287 Fax 02725-7338 eMail: brandschutz@hubertschulte.de

**Az.: 13-185-01a**

## § 38 Sonderbauten

- (1) An Sonderbauten können zur Verwirklichung der allgemeinen Anforderungen nach § 3 Abs. 1 besondere Anforderungen im Einzelfall gestellt werden; Erleichterungen können zugelassen werden, soweit es der Einhaltung von Vorschriften wegen der besonderen Art oder Nutzung baulicher Anlagen oder Räume oder wegen besonderer Anforderungen nicht bedarf. Die besonderen Anforderungen und Erleichterungen können insbesondere betreffen
1. die Abstände von Nachbargrenzen und baulichen Anlagen,
  2. die Anordnung der baulichen Anlagen,
  3. die Öffnungen nach öffentlichen Verkehrsflächen und Grundstücken,
  4. die Bauart und Anordnung aller für den Brandschutz wesentlichen Bauteile,
  5. die Feuerungsanlagen und Heizräume,
  6. Treppen, Treppenräume, Flure, Aufzüge, Ausgänge und Rettungswege,
  7. die zulässige Benutzerzahl,
  8. die Lüftung und Rauchableitung,
  9. die Beleuchtung und Energieversorgung,
  10. die Wasserversorgung,
  11. die Aufbewahrung und Entsorgung von Abfällen,
  12. die Stellplätze sowie Zu- und Abfahrten,
  13. Fahrradstellplätze,

## § 39 Barrierefreie Anlagen

- (1) Bauliche Anlagen sowie andere Anlagen, die überwiegend von behinderten oder alten Menschen genutzt werden, sind so herzustellen, dass sie von diesen Personen zweckentsprechend ohne fremde Hilfe genutzt werden können (barrierefreie Anlagen).
- (2) Die Anforderungen nach Absatz 1 gelten auch für Schulen.
- (3) Bei Anlagen nach Absatz 2 können Ausnahmen zugelassen werden, soweit die Anforderungen nur mit unverhältnismäßigem Mehraufwand erfüllt werden können. Bei Schulen dürfen Ausnahmen nach Absatz 1 nur bei Nutzungsänderungen und baulichen Änderungen zugelassen werden.

## Abweichung:

Für den Schallschutz im Gebäude, ist auch im Innenhof die Verwendung von „Lucido-Absorbern“ unter den feuerbeständigen Stahlbetondecken geplant. Bei den „Lucido-Absorbern“ handelt es sich um geschlitzte Holzbohlen mit der Baustoffklasse B 2 normalentflammbar.

---

**Auszug aus dem Brandschutzkonzept****Generalsanierung Michelberg-Gymnasium 73312 Geislingen an der Steige, Staubstraße 50**

Auftraggeber: Stadt Geislingen an der Steige, FB 3 Stadtbauamt, 73312 Geislingen an der Steige, Schloßgasse 7

**Auszug****Dipl.- Ing. Hubert Schulte**

Staatlich anerkannter Sachverständiger für die Prüfung des Brandschutzes

57368 Lennestadt-Oedingen, Zum Schloßberg 5

Tel.02725-287 Fax 02725-7338 eMail: brandschutz@hubertschulte.de

**Az.: 13-185-01a**

Kompensation:

„Lucido-Absorber“ unter Decken im Bereich von Flucht- und Rettungswegen erhalten eine transparente, dämmschichtbildende Brandschutzbeschichtung, diese Beschichtung erhöht die Baustoffklasse von normalentflammbar B 2, auf schwerentflammbar B 1.

Der Innenhofbereich erhält eine mechanische Entrauchung an oberster Stelle, mit dieser Maßnahme wird evtl. anstehende Rauchentwicklung aus der Bekleidung sicher abgeführt, sodass aus der Verwendung von „geschützten Lucido-Absorbern“ keine zusätzlichen Gefahren entstehen.

**Rettungswege**

Für jeden Raum müssen in demselben Geschoss mindestens zwei voneinander unabhängige Rettungswege zu Ausgängen ins Freie oder zu notwendigen Treppen vorhanden sein.

Türen werden so angeordnet, dass Personen nicht durch nach außen aufschlagende Türflügel gefährdet werden.

**Bemessung der Rettungswege aus der Versammlungsstätte**

$$( 1.450 \text{ Personen} / 200 \text{ Personen} ) / \times 1,20 \text{ m} = 8,70 \text{ m}$$

$$\text{Anrechenbar sind } 5 \text{ Ausgänge} \times 1,80 \text{ m} = 9,00 \text{ m}$$

**Bemessung der Rettungswege aus den Unterrichtsbereichen**

Für jeden Unterrichtsraum stehen in demselben Geschoss mindestens zwei voneinander unabhängige Rettungswege ins Freie zur Verfügung. Der erste Rettungsweg aus dem Klassentrakt im 1. + 2. Obergeschoss führt über die Außentreppe ins Freie, der zweite bauliche Rettungsweg über die inneren Treppen zum Erdgeschoss und ins Freie.

**Rauch- und Wärmeabzugsanlagen**

Im Rahmen der Dimensionierung der Luftwechselrate für Klassen und Aufenthaltsräume erhalten diese ausreichend bemessene eigenständige Zu- und Abluftführungen. Im mehrgeschossigen Bereich wird durch die Anordnung von Venturiflügeln auf der Flachdachkante die Wirksamkeit unterstützt.

**AKD über natur-wissenschaftlichen Trakt**

Flucht- und Rettungsflur an Achse C erhält hinter Achse 5 einen natürlichen Rauch- und Wärmeabzug mit einem freien Querschnitt von mindesten  $1 \text{ m}^2$ , der mit Venturiflügel über das AKD geführt wird.

Flucht- und Rettungsflur an Achse F erhält zwischen Achse 3+4, sowie hinter Achse 5 jeweils einen natürlichen Rauch- und Wärmeabzug mit einem freien Querschnitt von jeweils mindesten  $1 \text{ m}^2$ , die mit Venturiflügel über das AKD geführt werden.

**Auszug aus dem Brandschutzkonzept****Generalsanierung Michelberg-Gymnasium 73312 Geislingen an der Steige, Staubstraße 50**

Auftraggeber: Stadt Geislingen an der Steige, FB 3 Stadtbauamt, 73312 Geislingen an der Steige, Schloßgasse 7

**Auszug****Dipl.- Ing. Hubert Schulte**

Staatlich anerkannter Sachverständiger für die Prüfung des Brandschutzes

57368 Lennestadt-Oedingen, Zum Schloßberg 5

Tel.02725-287 Fax 02725-7338 eMail: brandschutz@hubertschulte.de

**Az.: 13-185-01a****Allgemeines****Zusammenfassung und abschließende Empfehlung**

Der Unterzeichner wurde durch den Bauherrn beauftragt, für die Generalsanierung Michelberg-Gymnasium das Brandschutzkonzept zu erstellen. Bei Beachtung aller im Rahmen des Brandschutzkonzeptes aufgezeigten Maßnahmen, bestehen aus Sicht des baulichen, technischen und organisatorischen Brandschutzes seitens des Unterzeichners

**keine Bedenken**

gegen die geplante Bauausführung und Nutzung des Objektes.

Das Brandschutzkonzept wurde nach bestem Wissen und Gewissen unter Zugrundelegung der anerkannten Regelwerke, den Regeln der Technik, der aufgeführten Literatur sowie ohne Ansehen der Person des Auftraggebers angefertigt. Die vorangegangenen Betrachtungen gelten ausschließlich für den konkreten Einzelfall und sind auf andere Objekte ohne vorherige Prüfung und Rücksprache nicht übertragbar.

Aufgestellt: **Lennestadt - Oedingen, den 14.02.2014**

**Dipl.- Ing. Hubert Schulte**

**Staatlich anerkannter Sachverständiger**

**für die Prüfung des Brandschutzes**

---

Übereinstimmungserklärung des Entwurfsverfassers

---

**Auszug aus dem Brandschutzkonzept****Generalsanierung Michelberg-Gymnasium 73312 Geislingen an der Steige, Staubstraße 50****Auftraggeber: Stadt Geislingen an der Steige, FB 3 Stadtbauamt, 73312 Geislingen an der Steige, Schloßgasse 7**

**KONZEPTENTWICKLUNG  
EINER ENERGIE- UND KOSTENEFFIZIENTEN  
SANIERUNGSLÖSUNG FÜR DIE GENERALSANIERUNG  
DES MICHELBERG-GYMNASIUMS GEISLINGEN/STEIGE  
ZUM PLUS-ENERGIE-STANDARD**