

bachelorthesis || fra uas | wi.se22/23

bearbeiterin || annika jähnichen | 1299807

fach || baukonstruktion

betreuer || prof. dominik wirtgen | prof. dr. holger techen



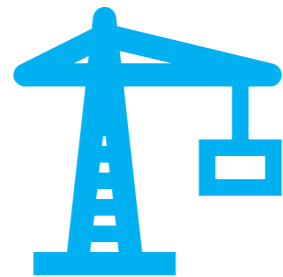
Entwicklung eines Fassadenmoduls zur Sanierung eines Bürogebäudes als nachhaltige und energetische Optimierung der Gebäudehülle.



Leerstehende Bürogebäude.



Sanierungsbedürftige Bürogebäude wegen schlechter energetischer Bedingungen.



Durch Fassadensanierung das Bestandpotential ausschöpfen.

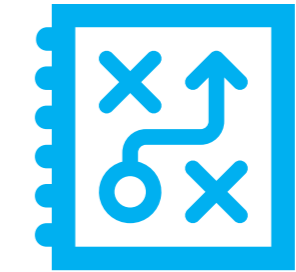


Ein Abriss sollte gemieden werden um die graue Energie des Tragwerks zu wahren.

Ein Element zur nachhaltigen Fassadensanierung entwickeln.



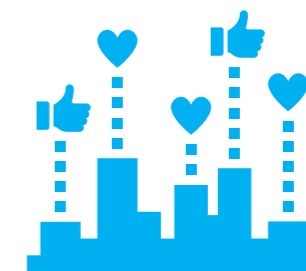
Energetisch optimierte Gebäude gewinnen ohne Sick-Building-Syndrom.

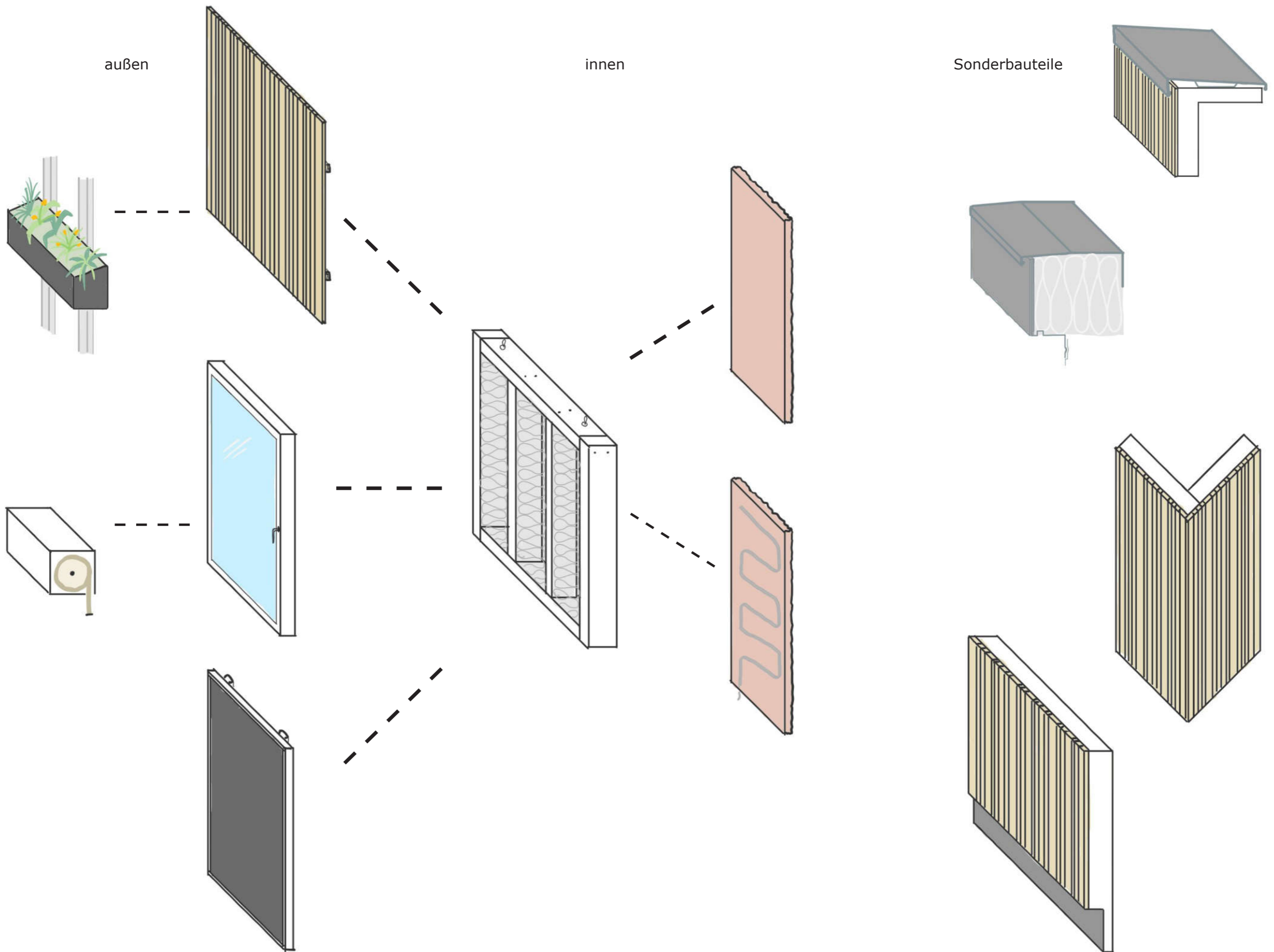


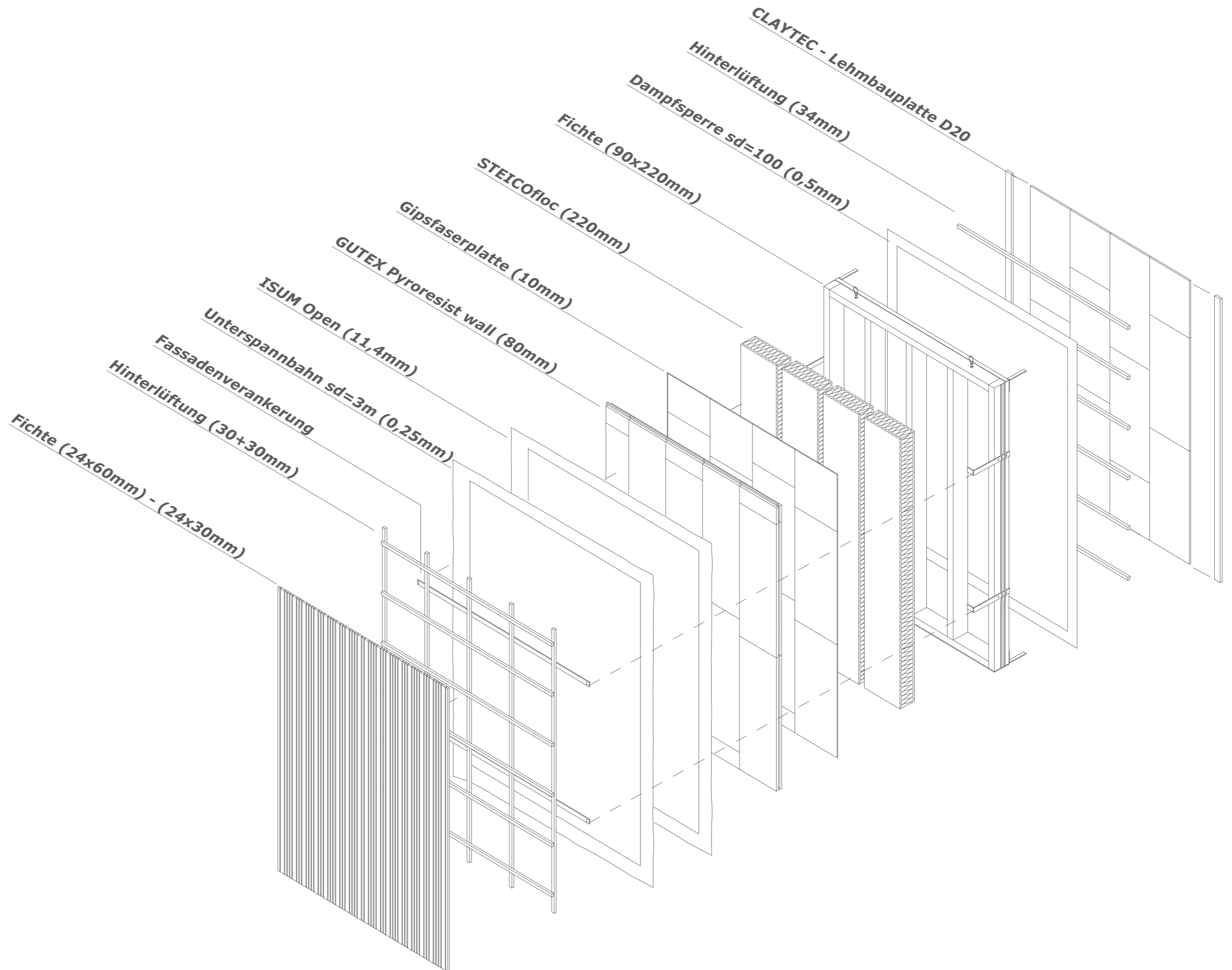
Nachhaltige Produkte verwenden.

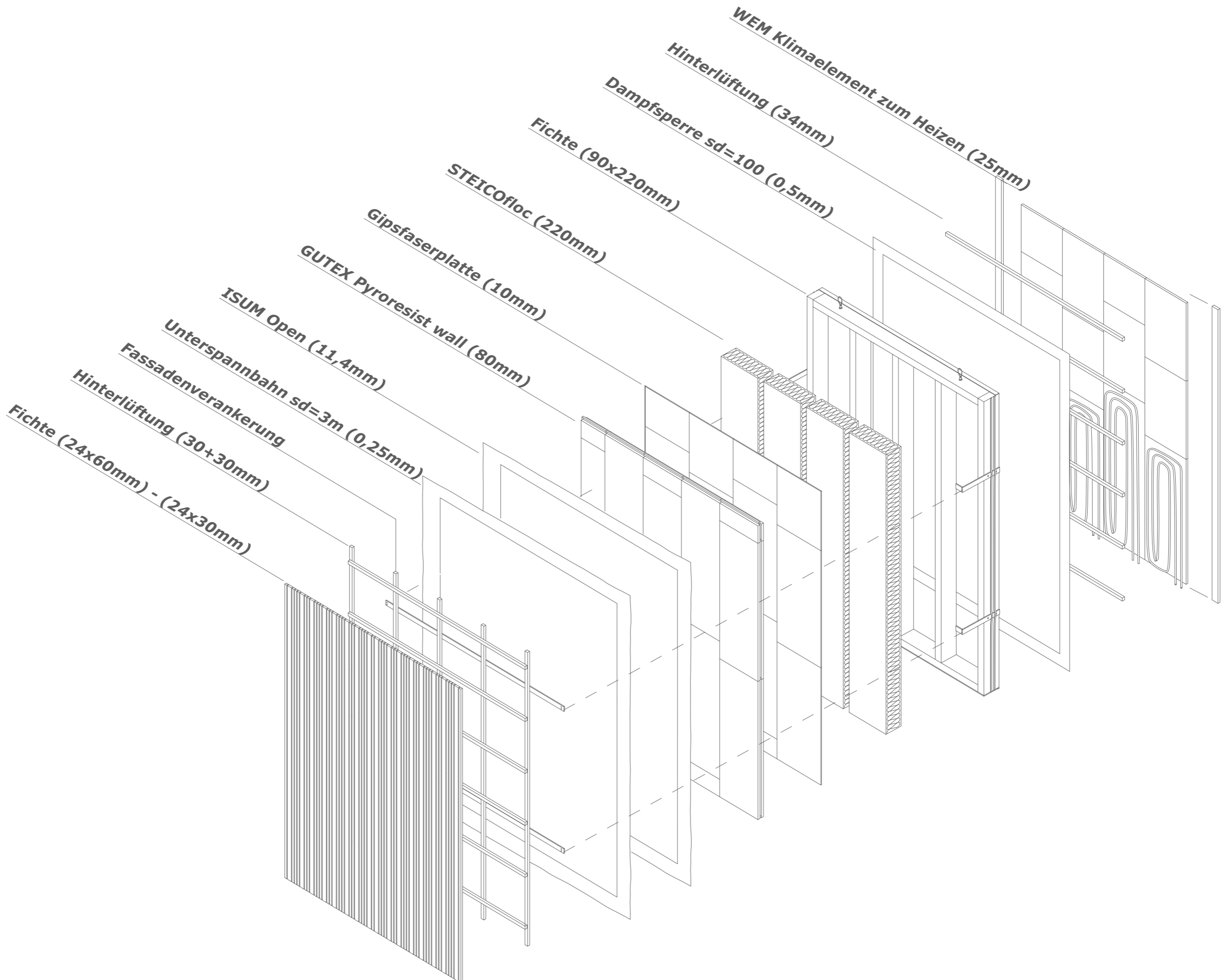


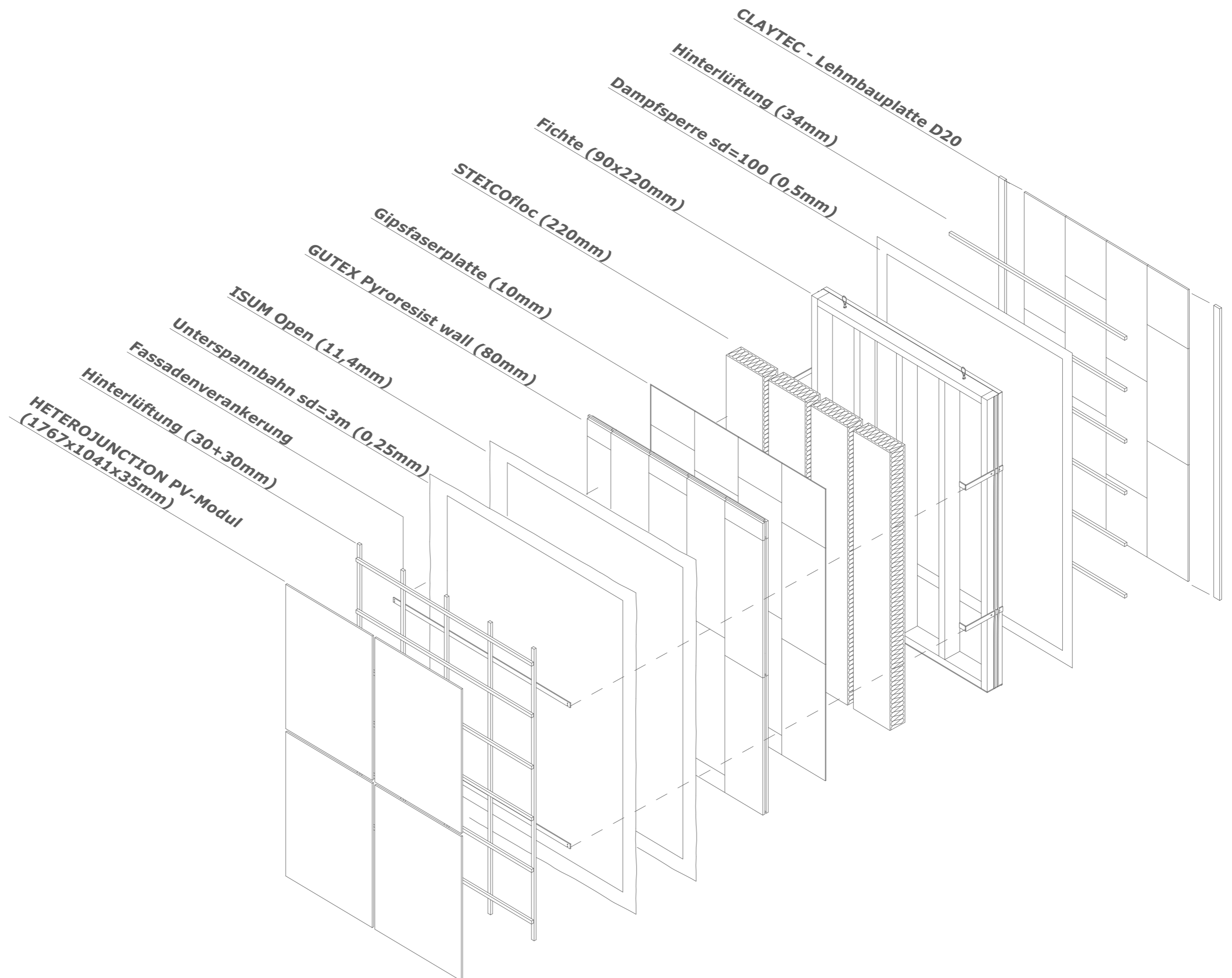
Attraktiven Arbeitsplatz durch optimiertes Raumklima schaffen.

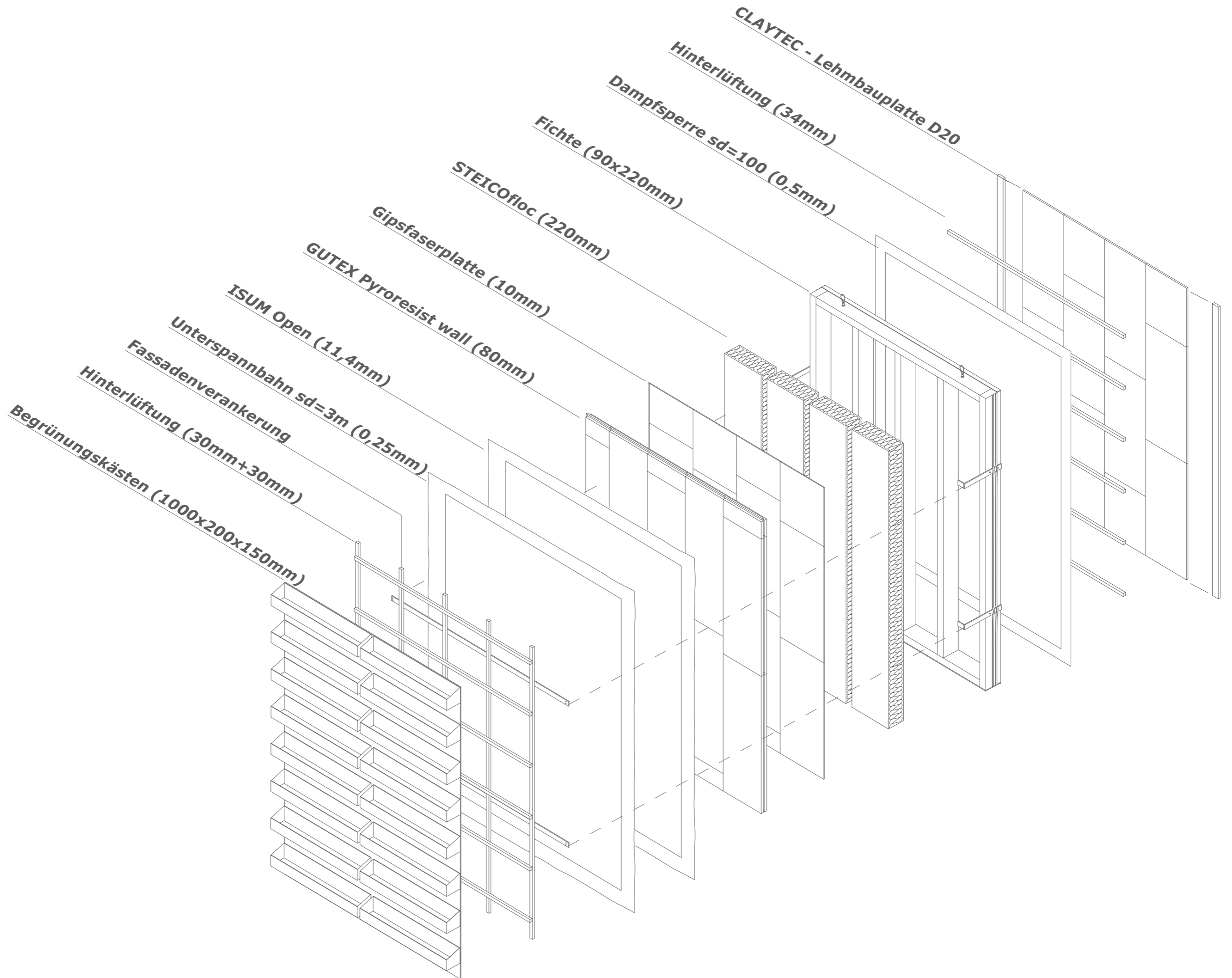


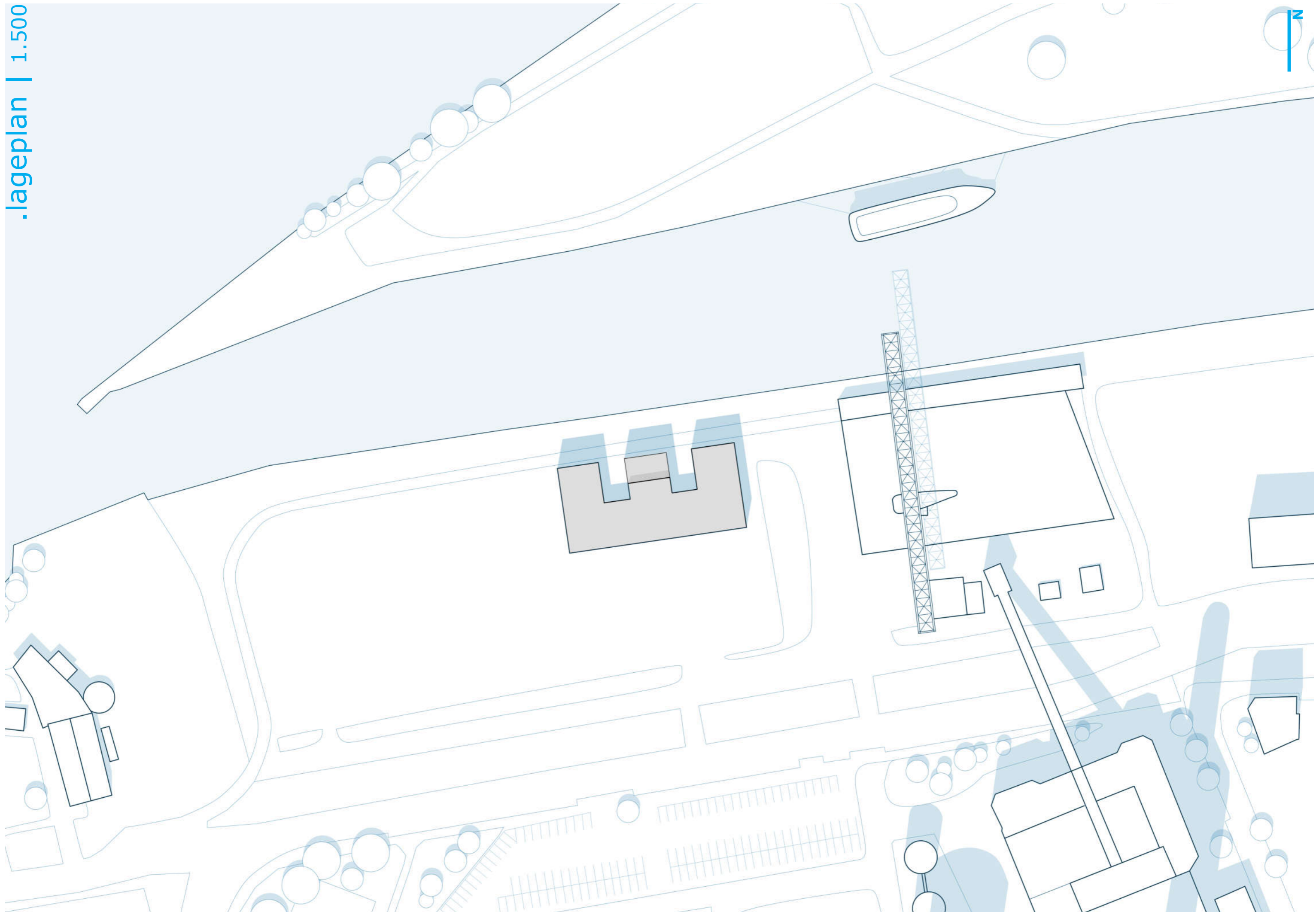


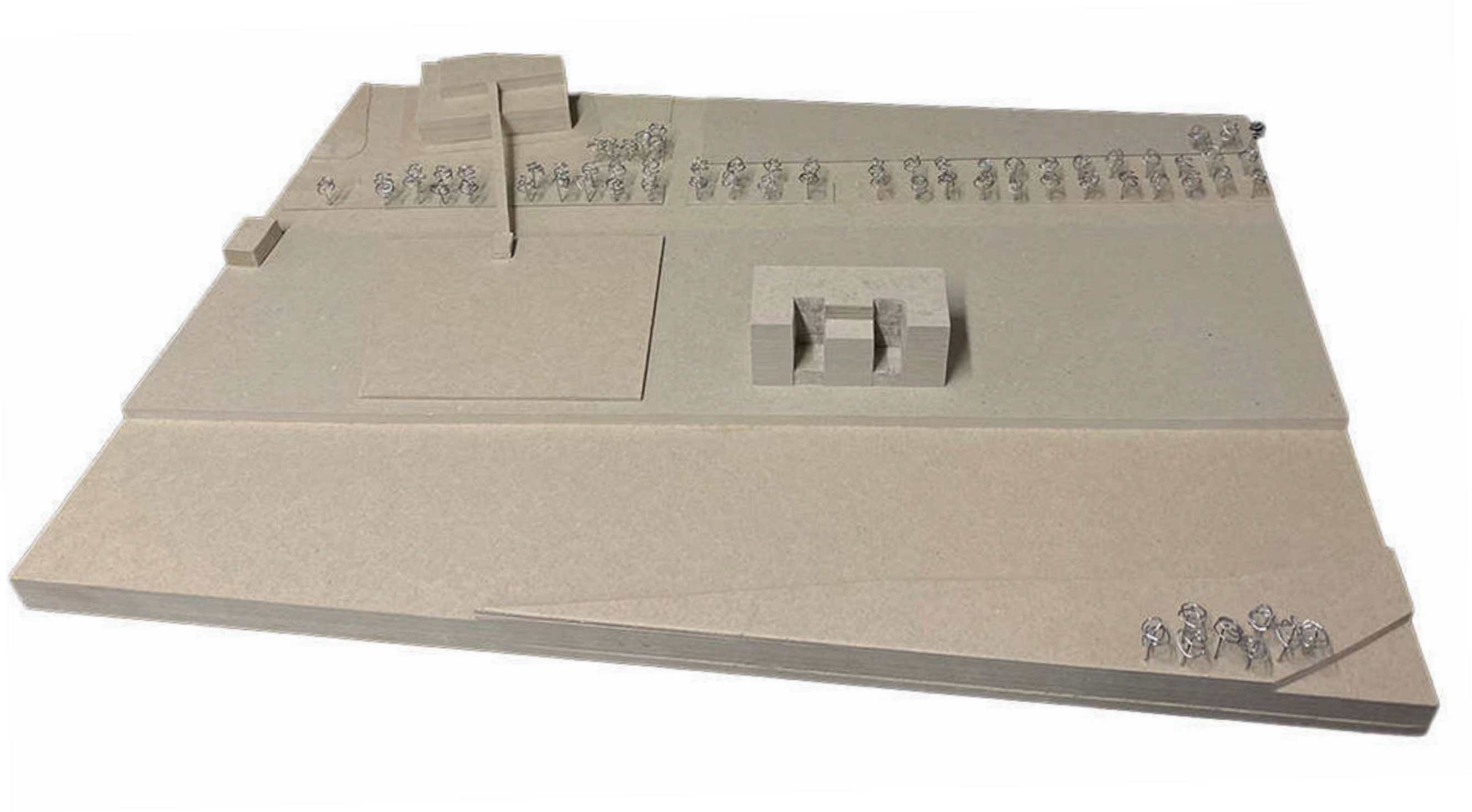


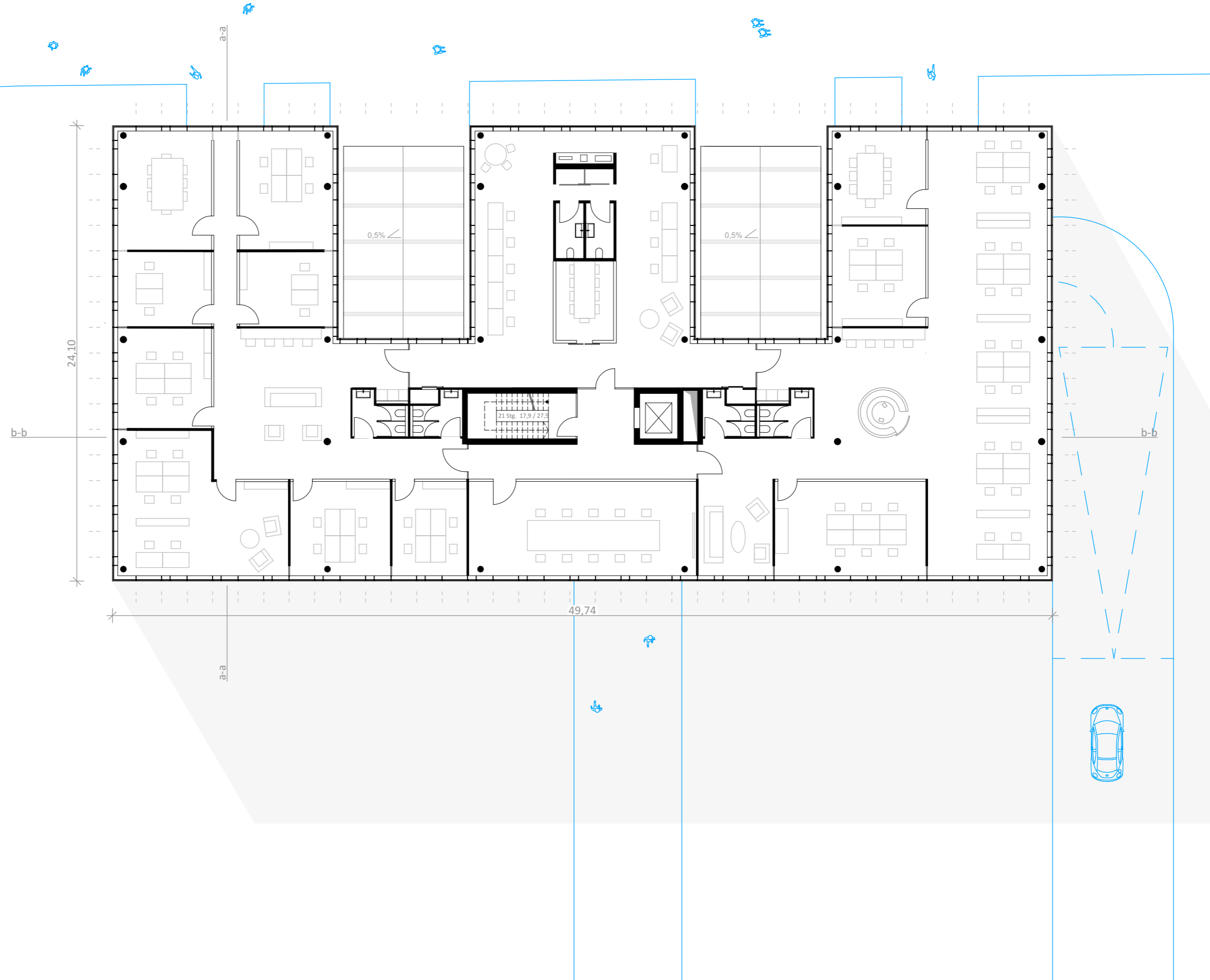


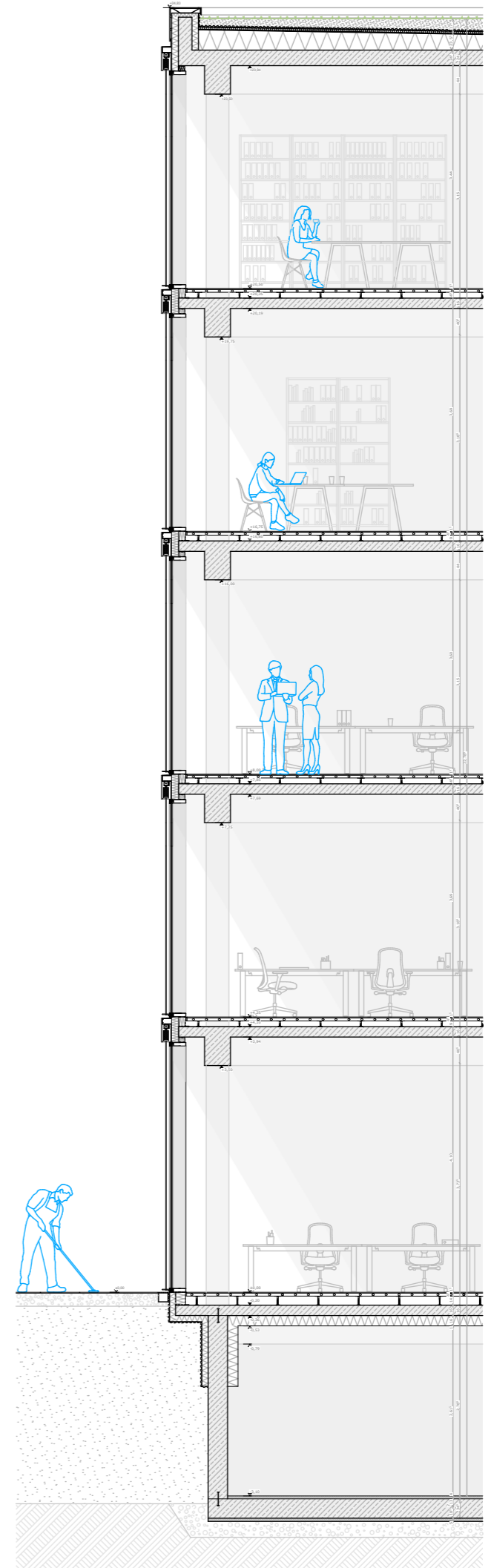
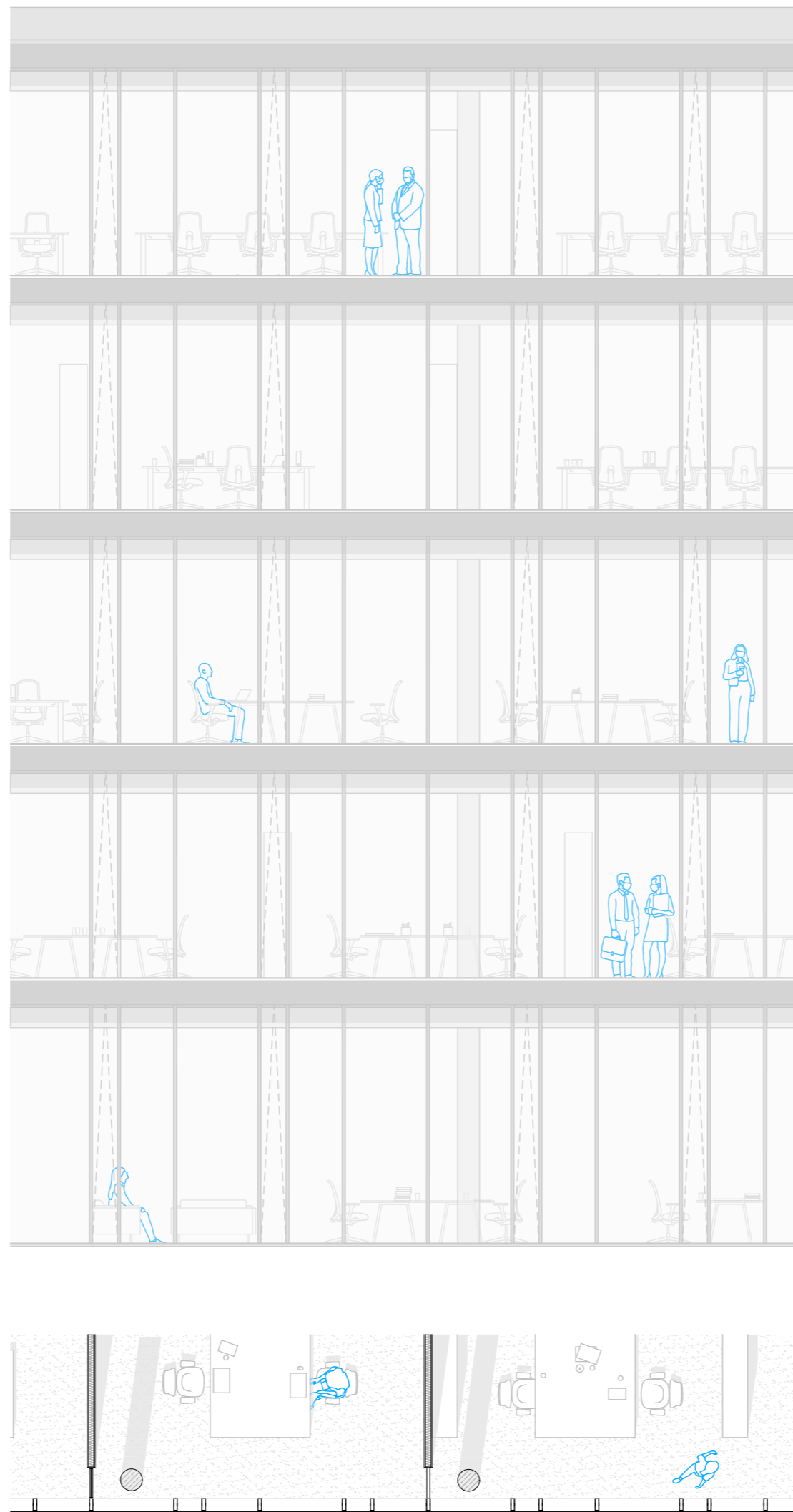


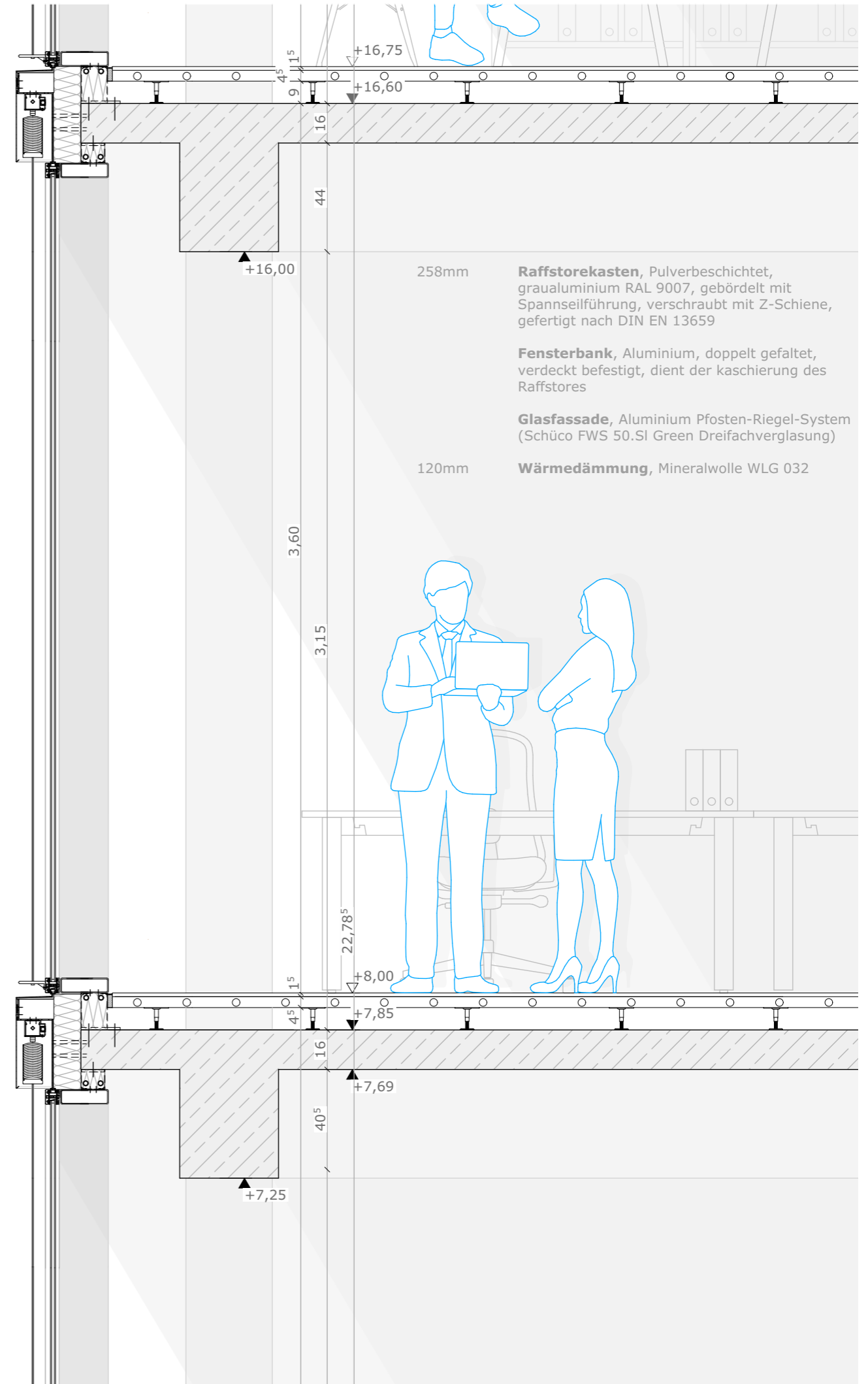
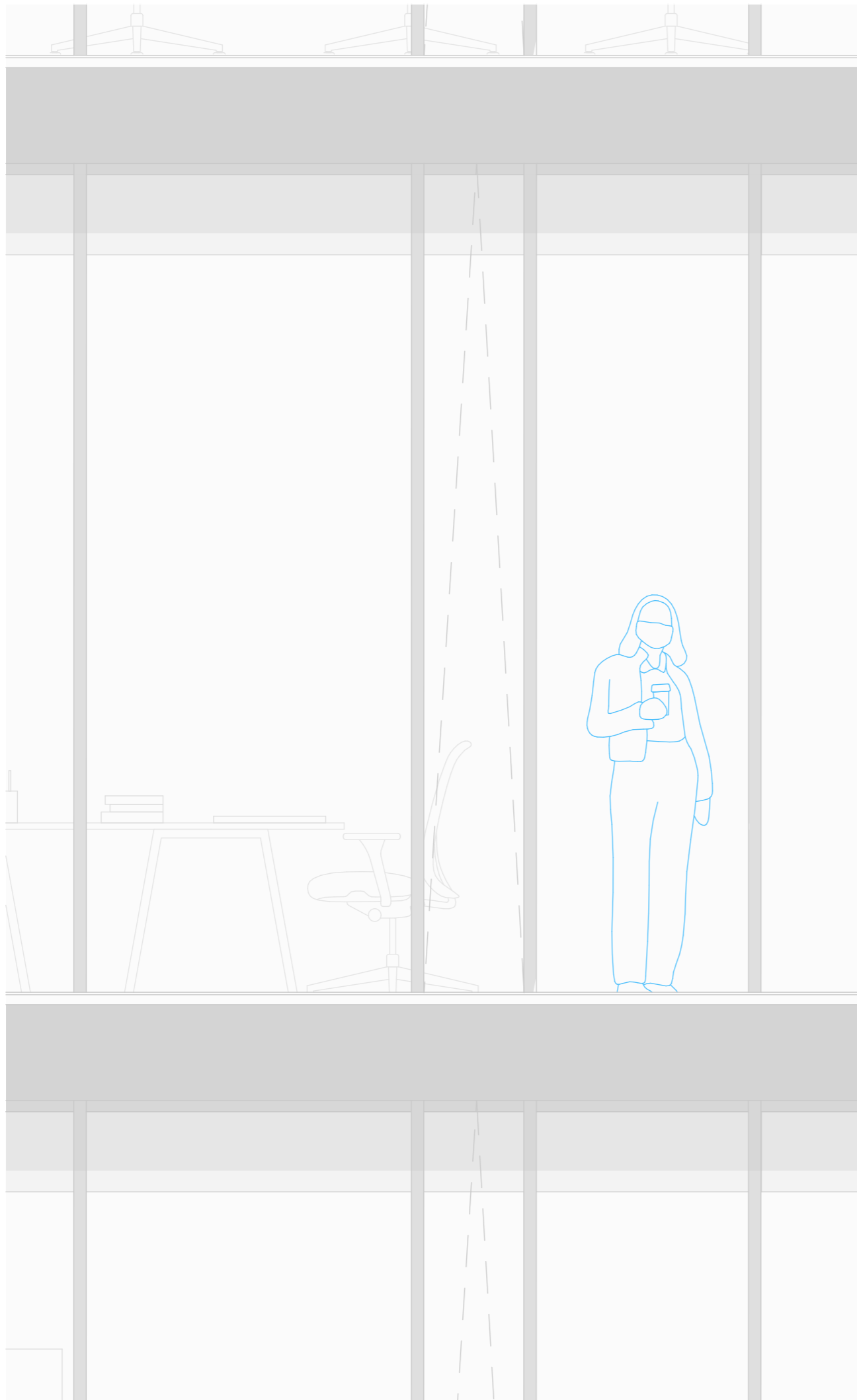


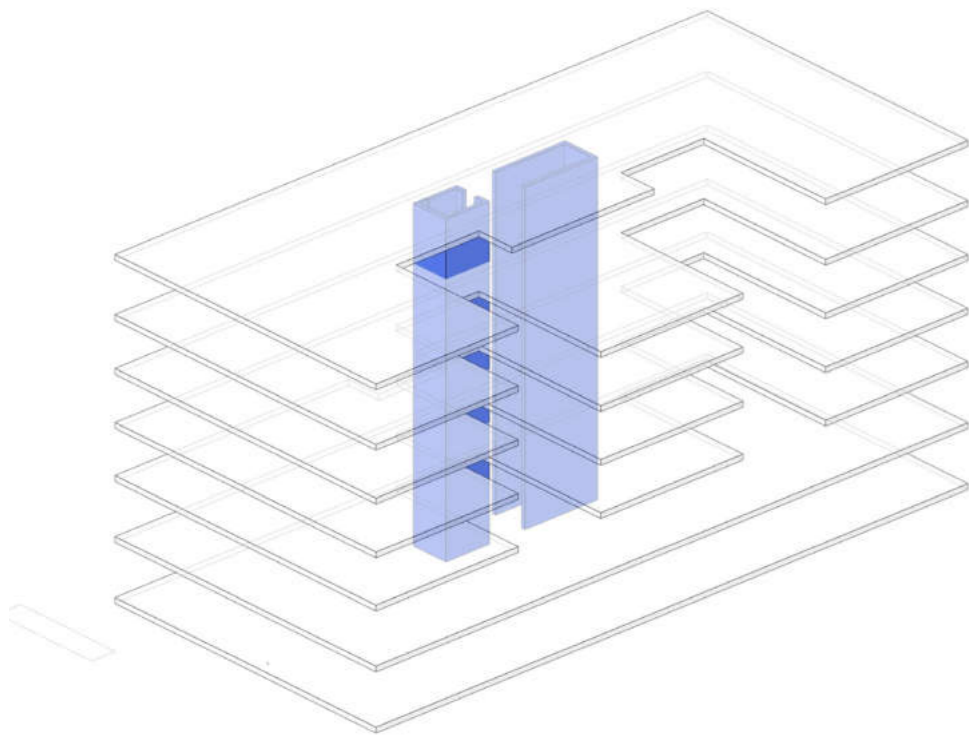




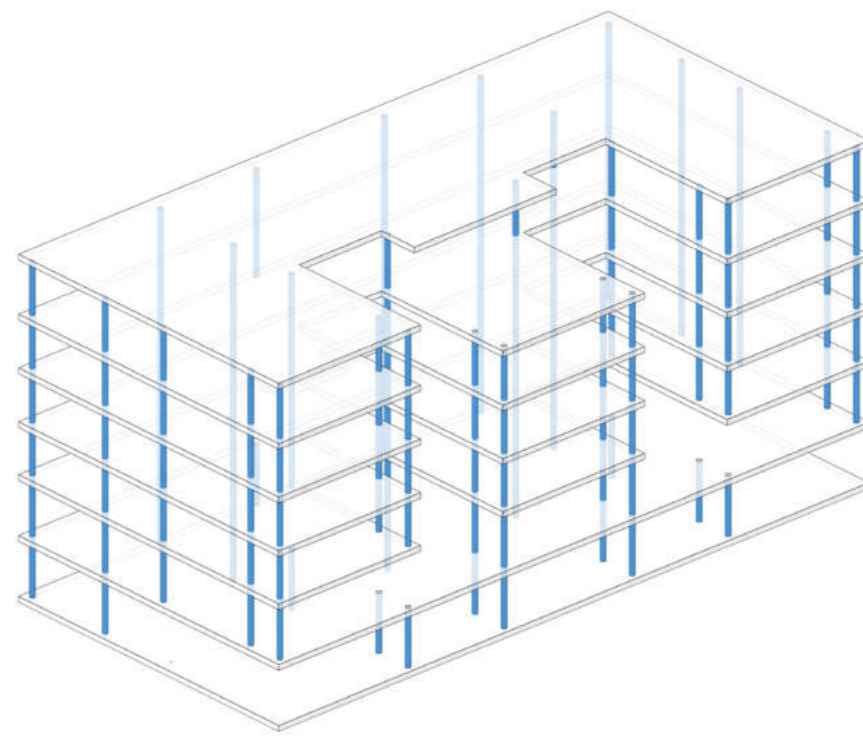




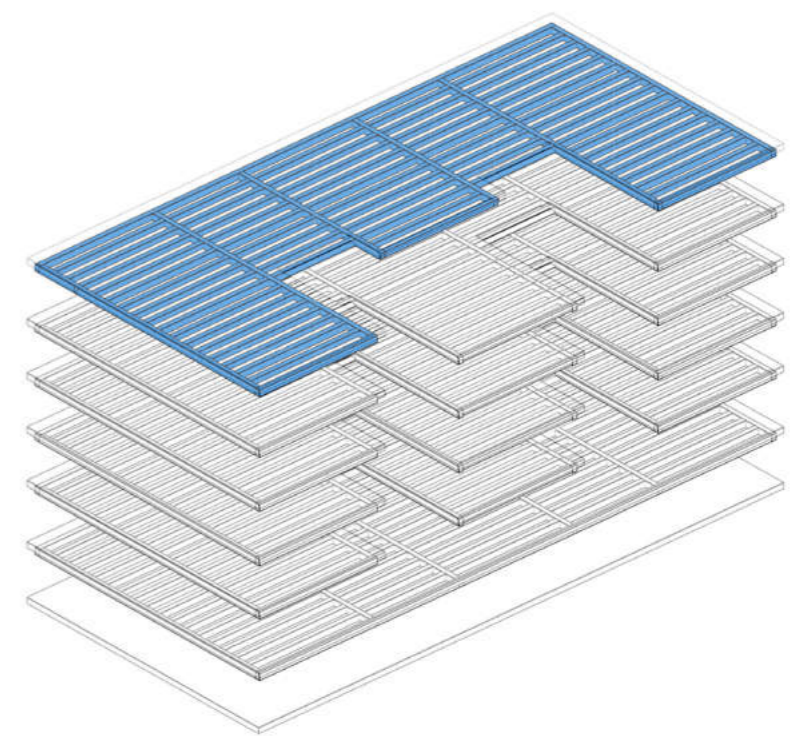




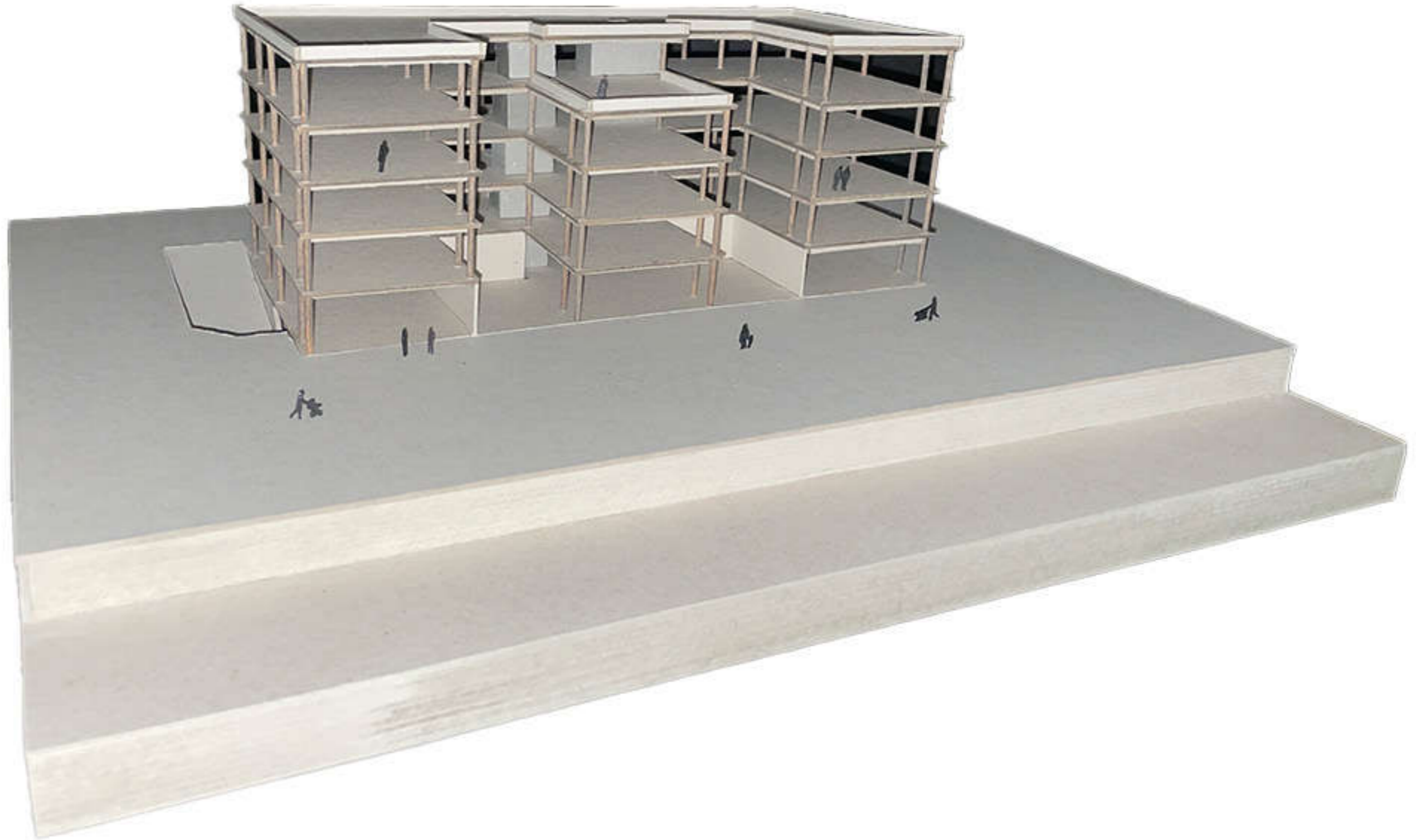
Aussteifender und tragender Erschließungskern.

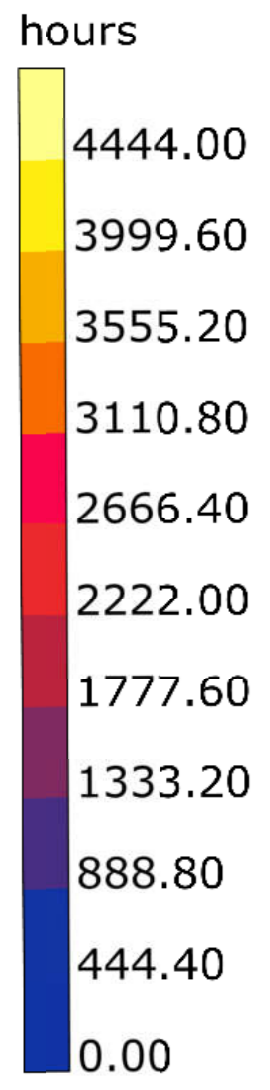
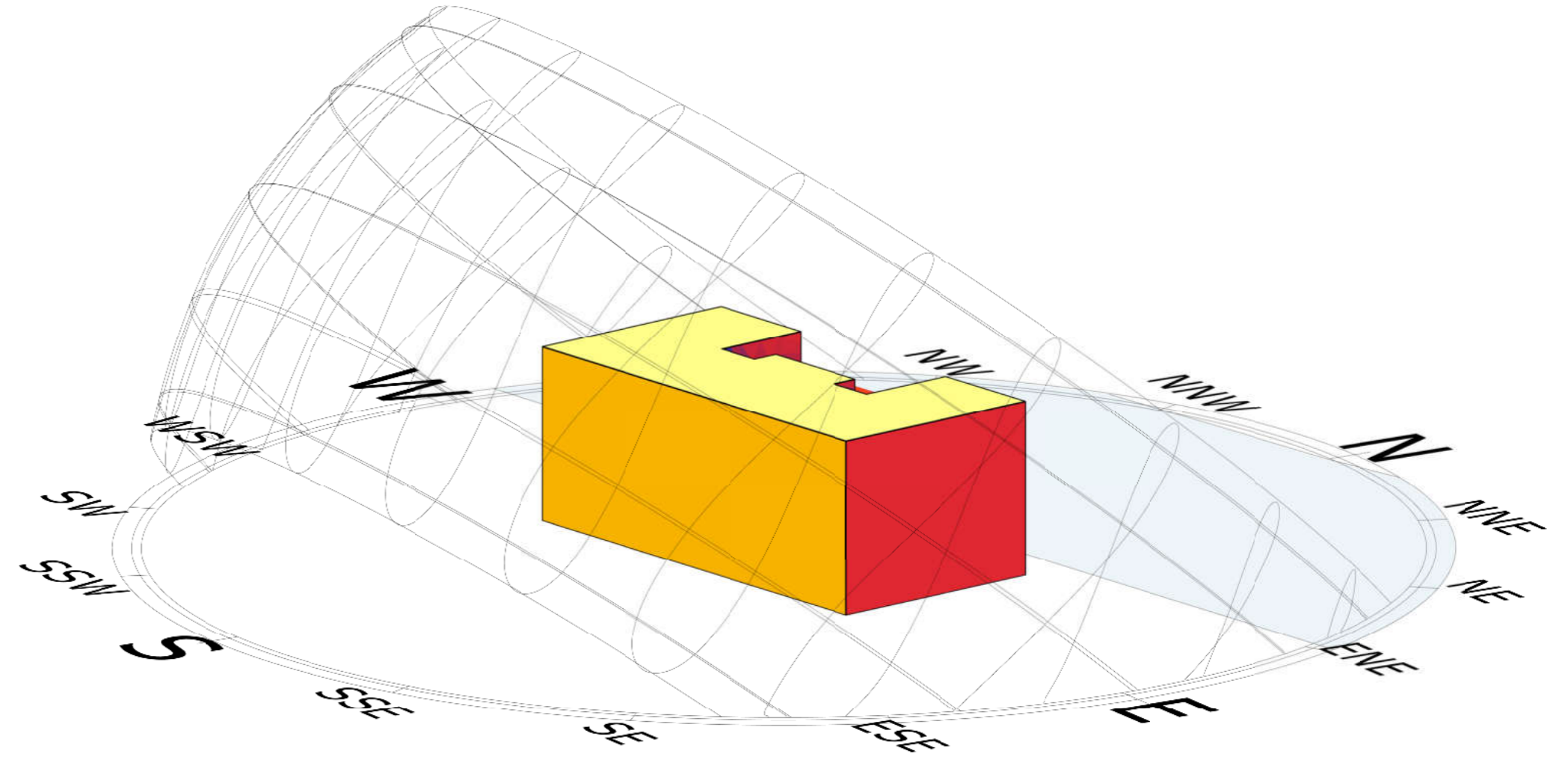


Tragende Stützen.

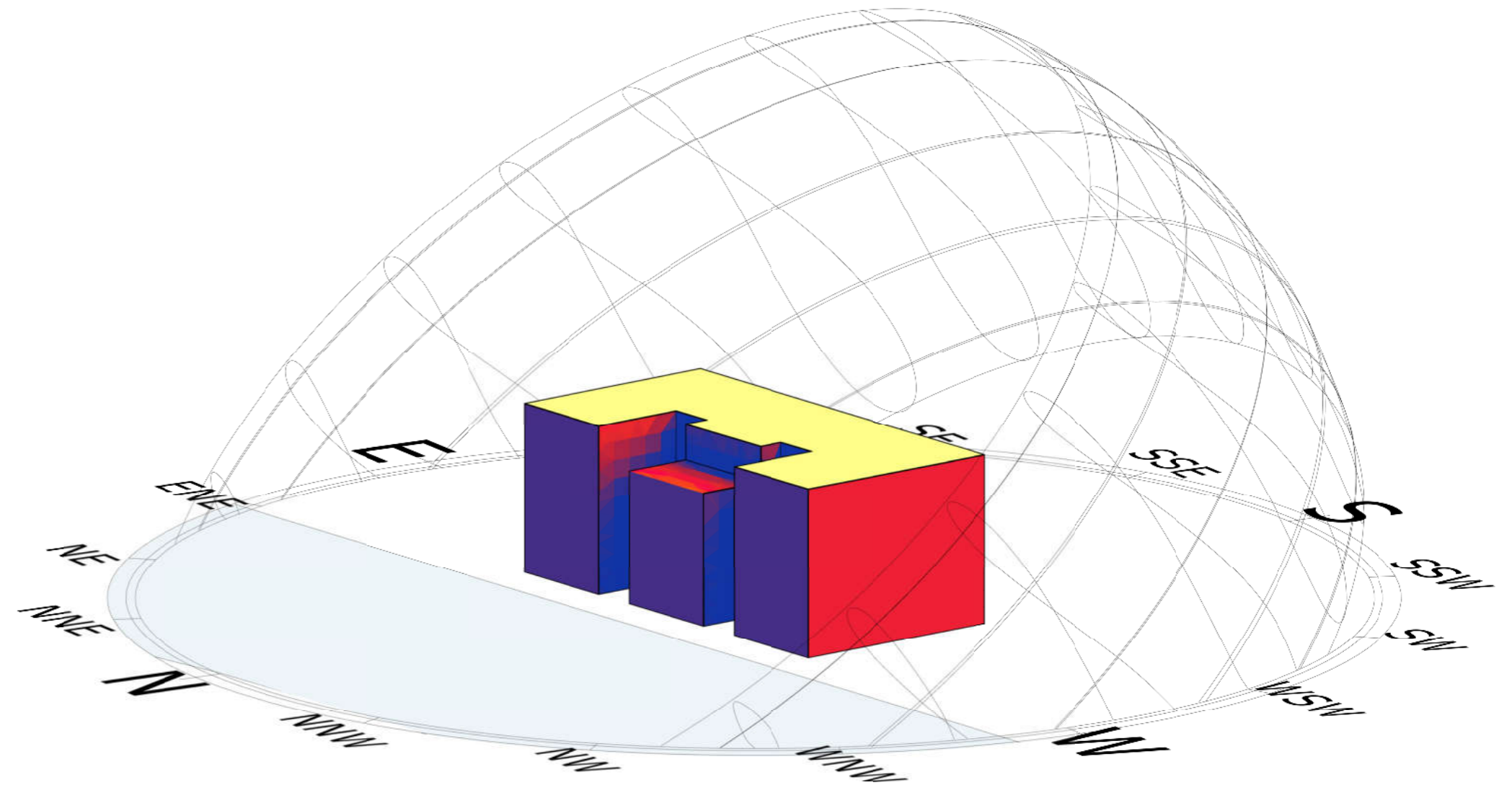


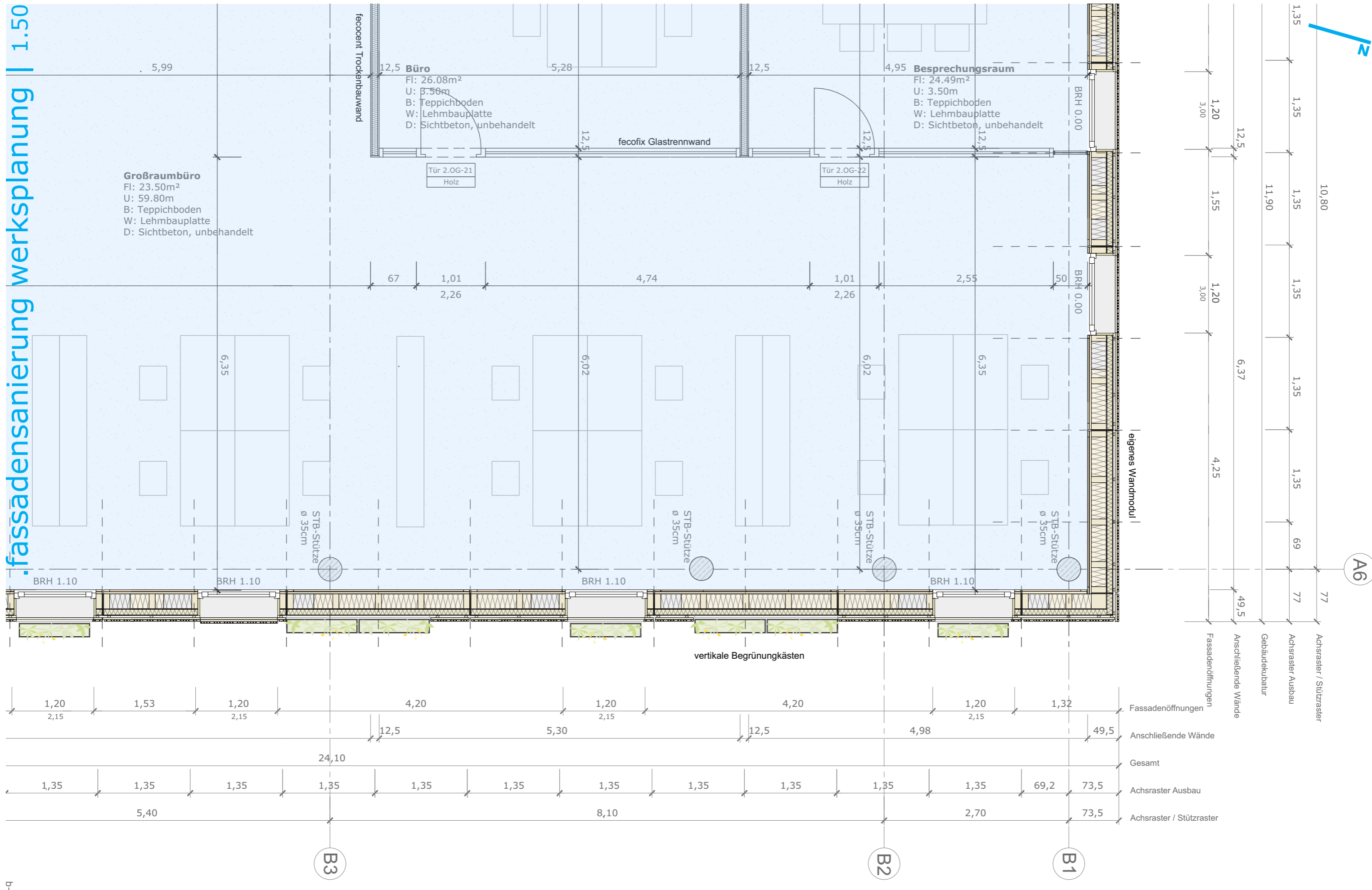
Rippen und Unterzüge für hohe Spannweiten.



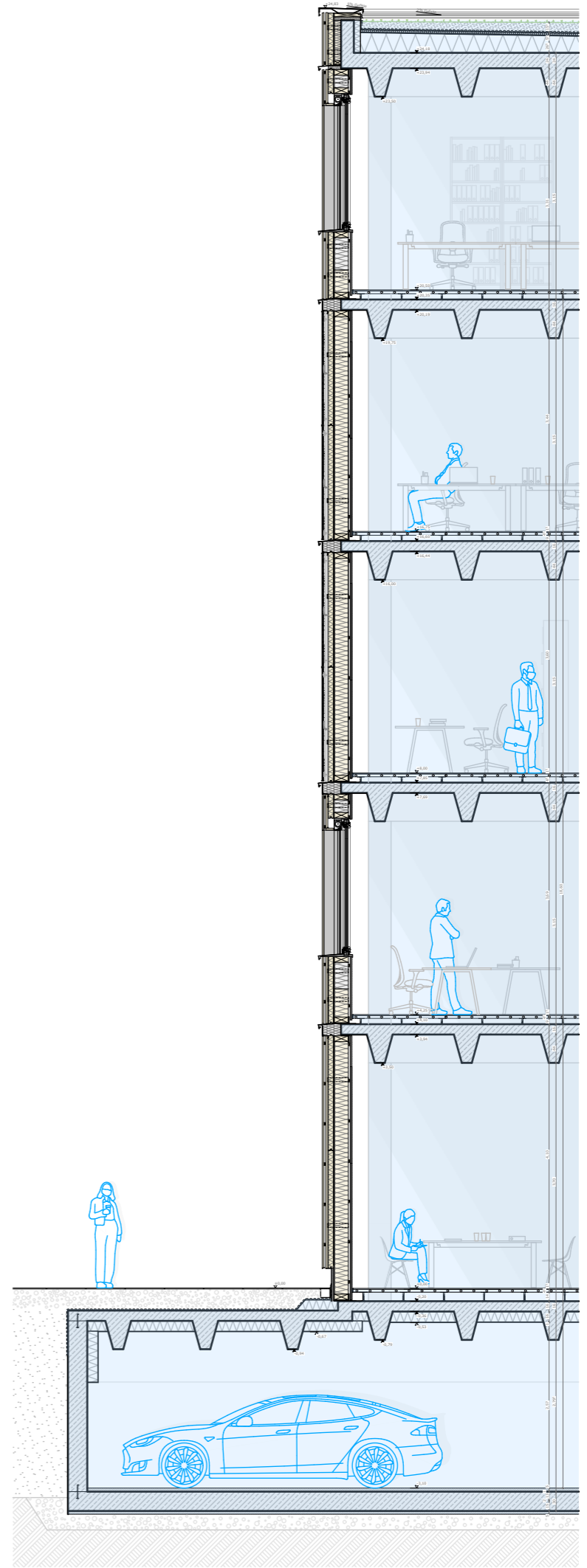
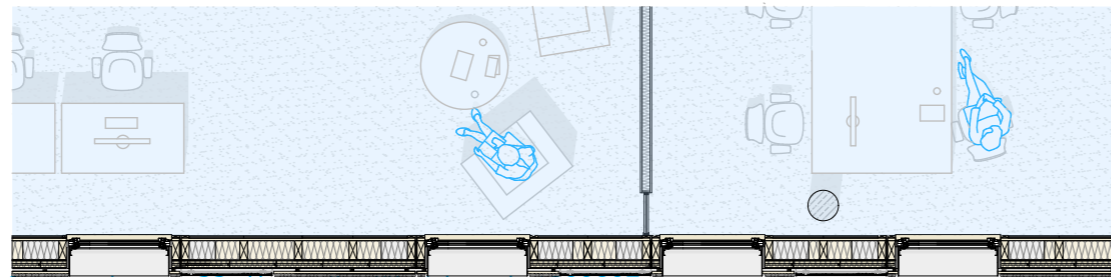
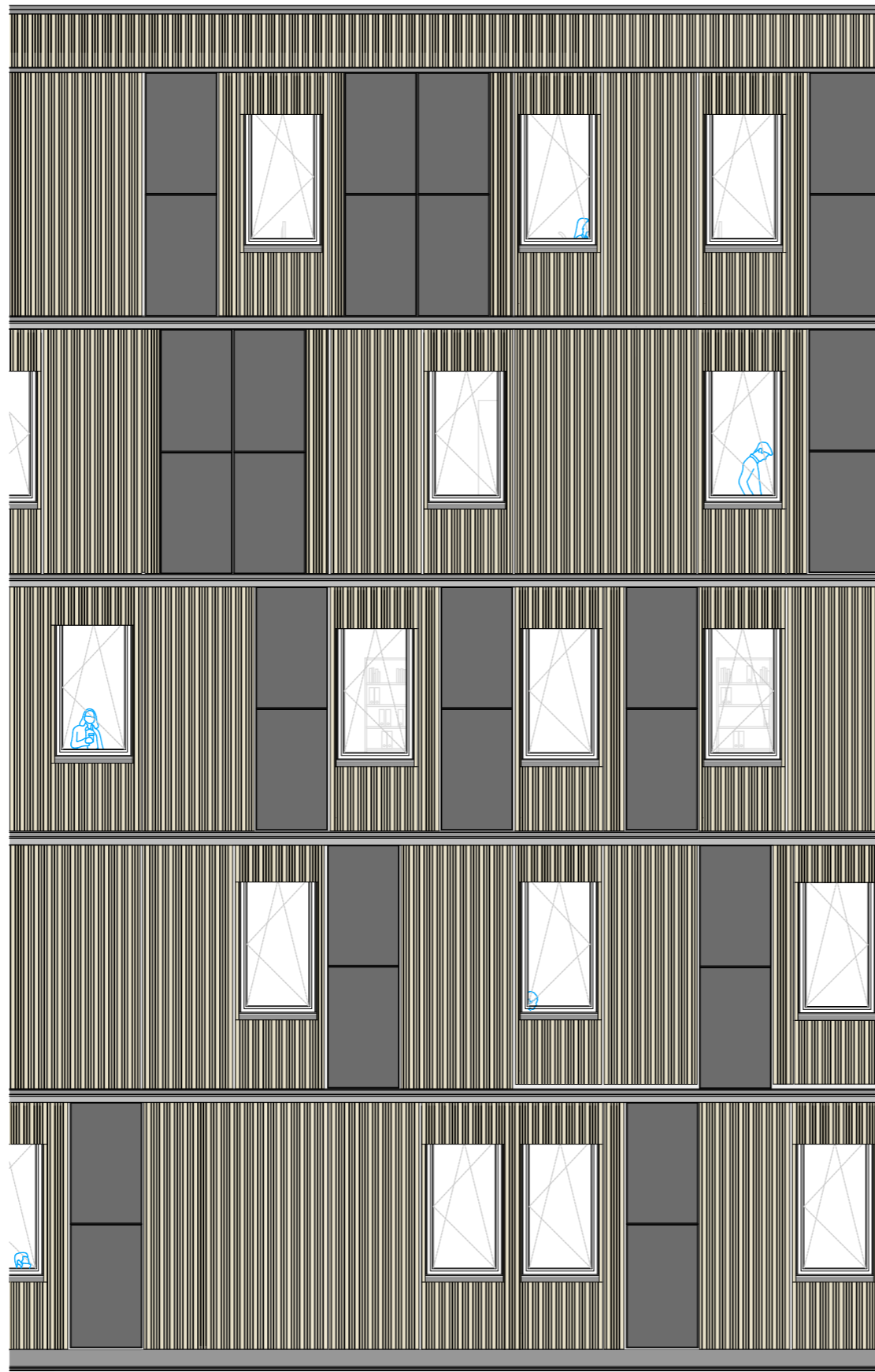


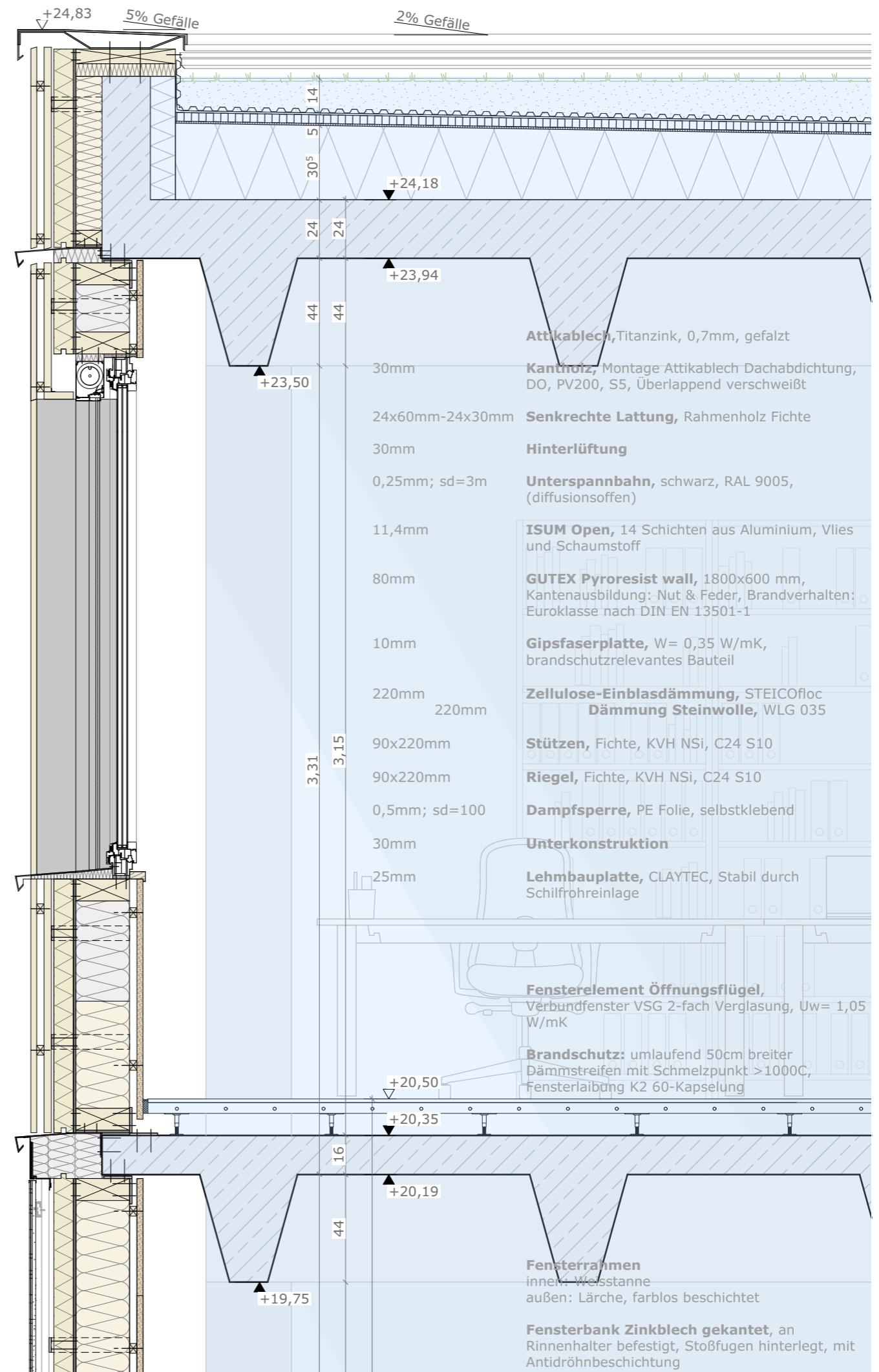
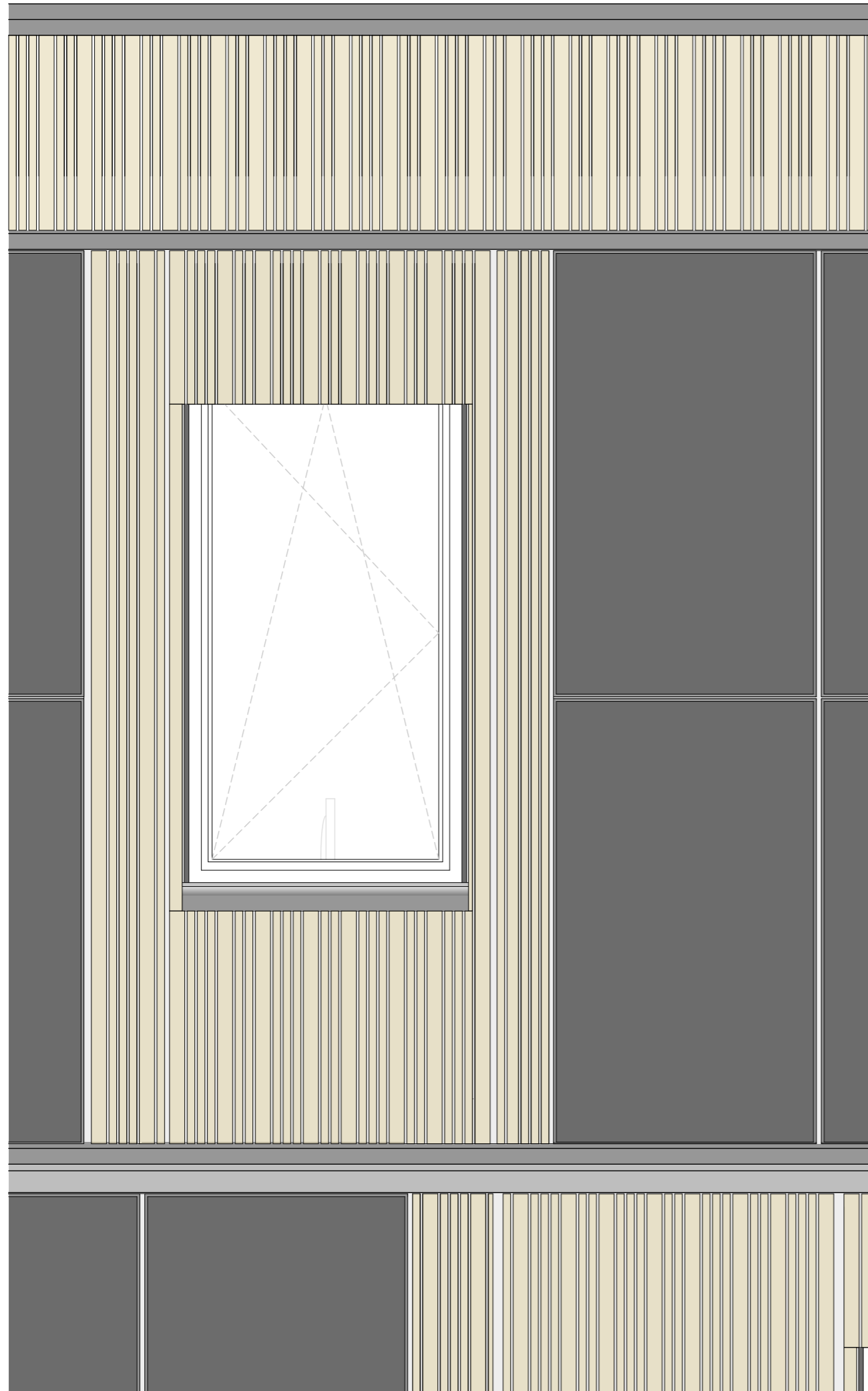
Direct Sun Hours

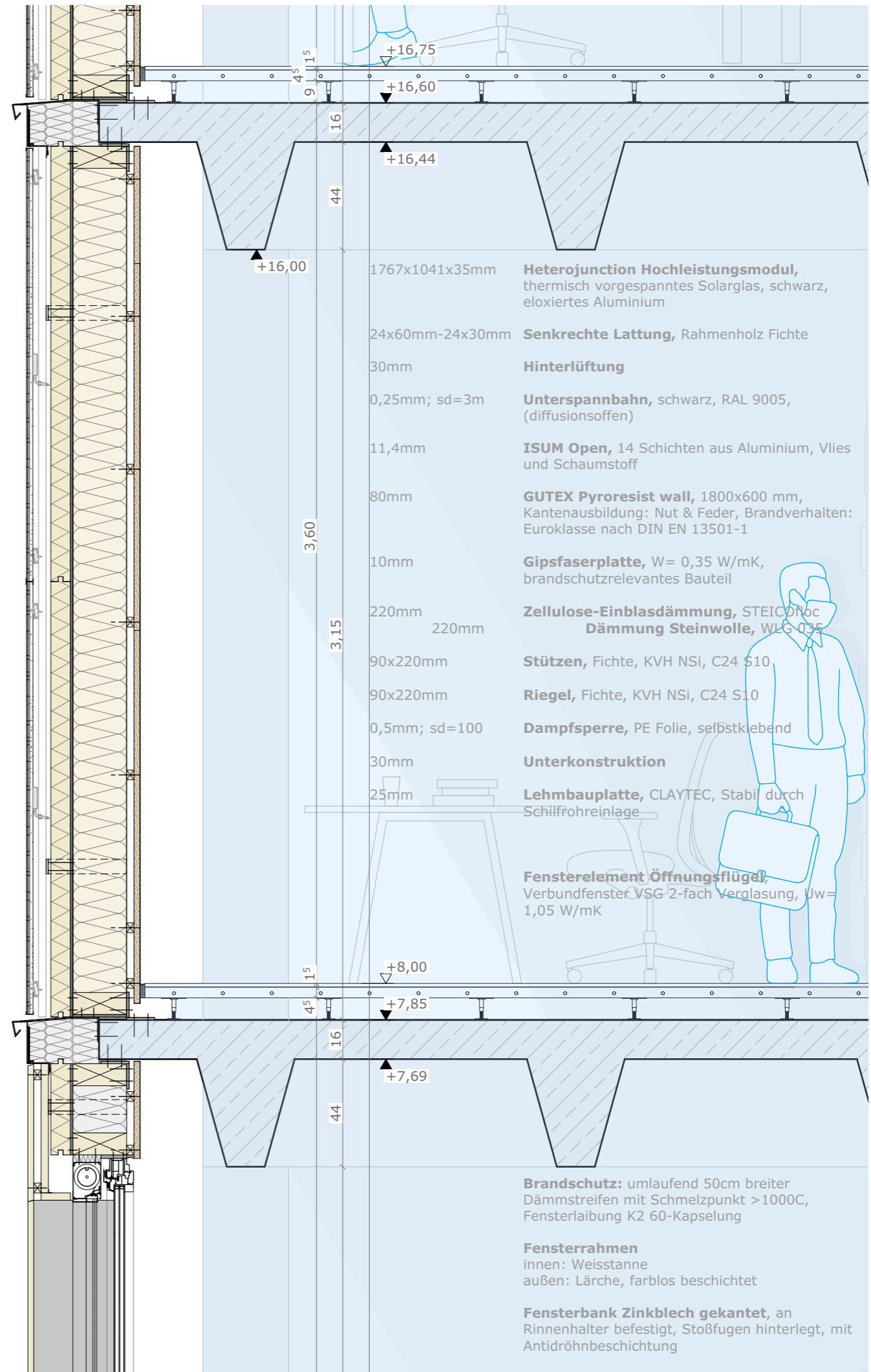
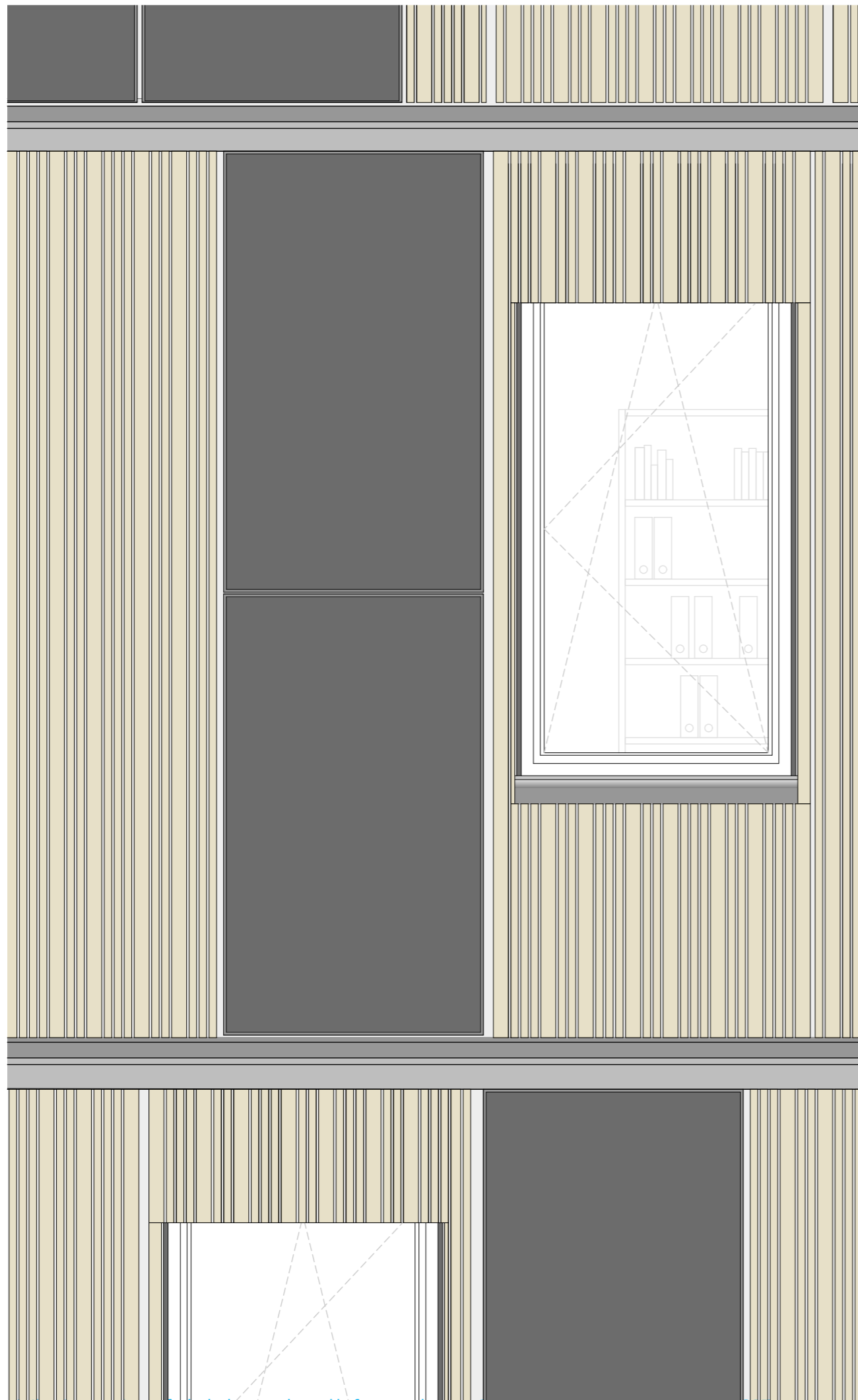


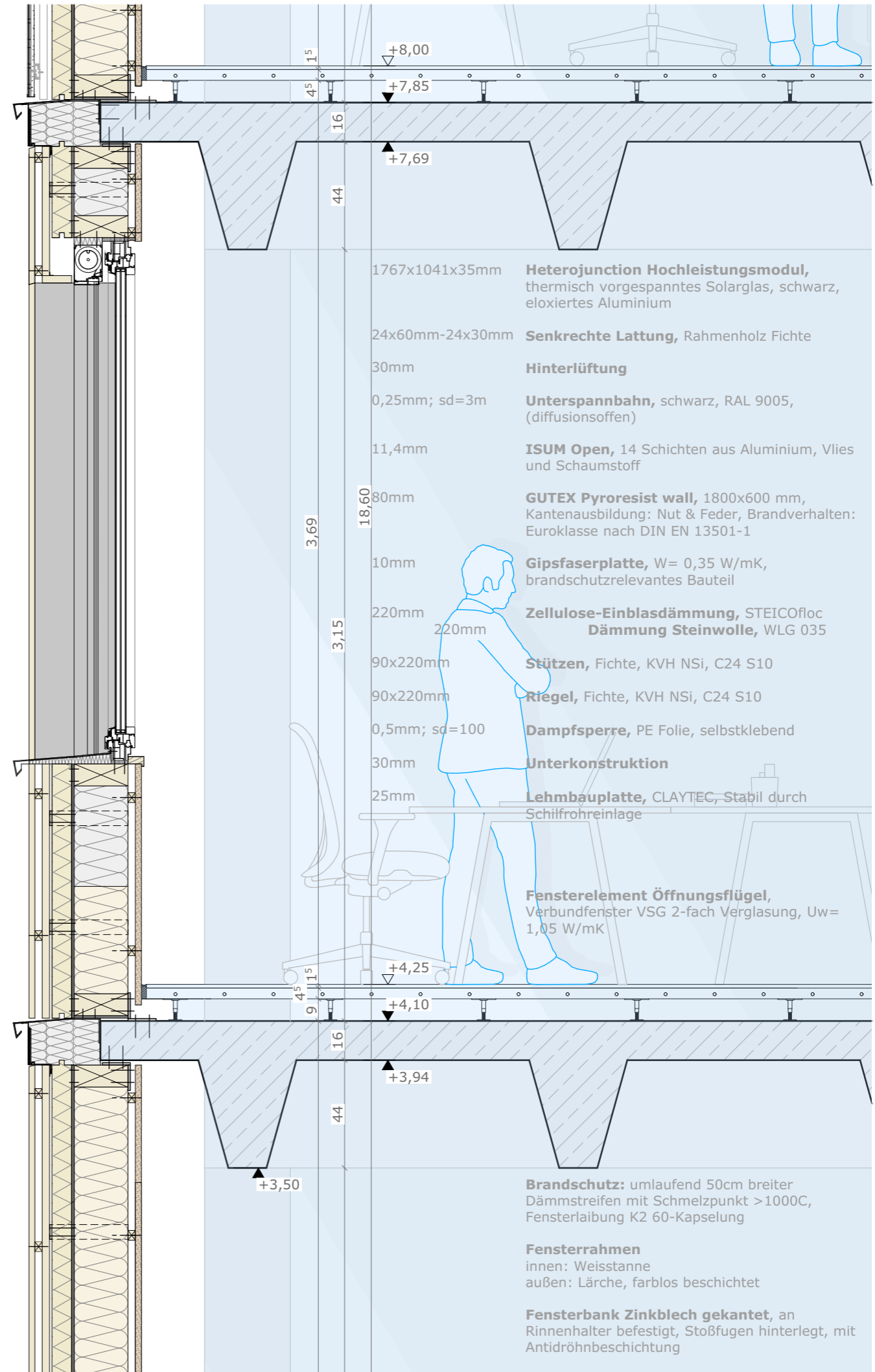
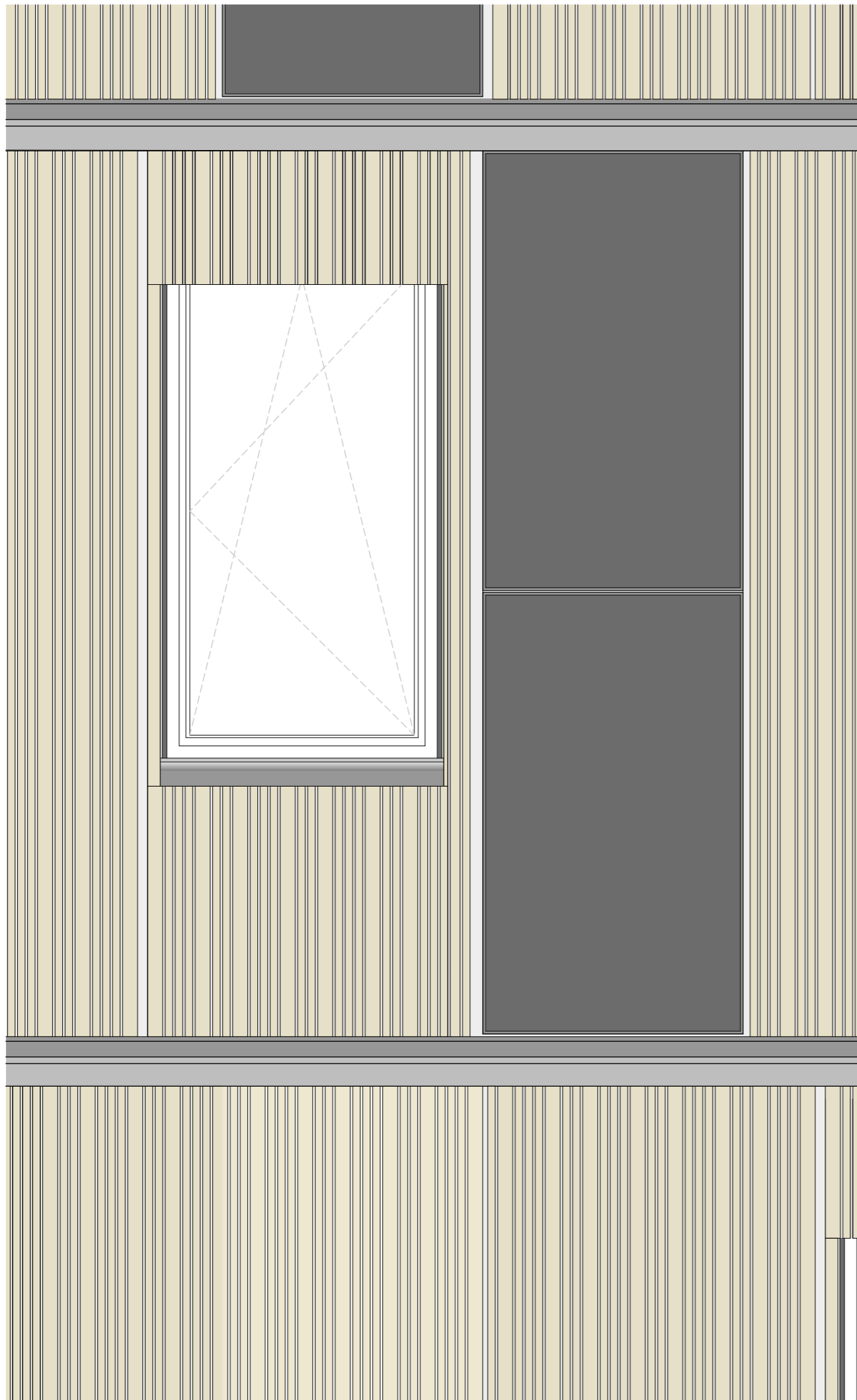


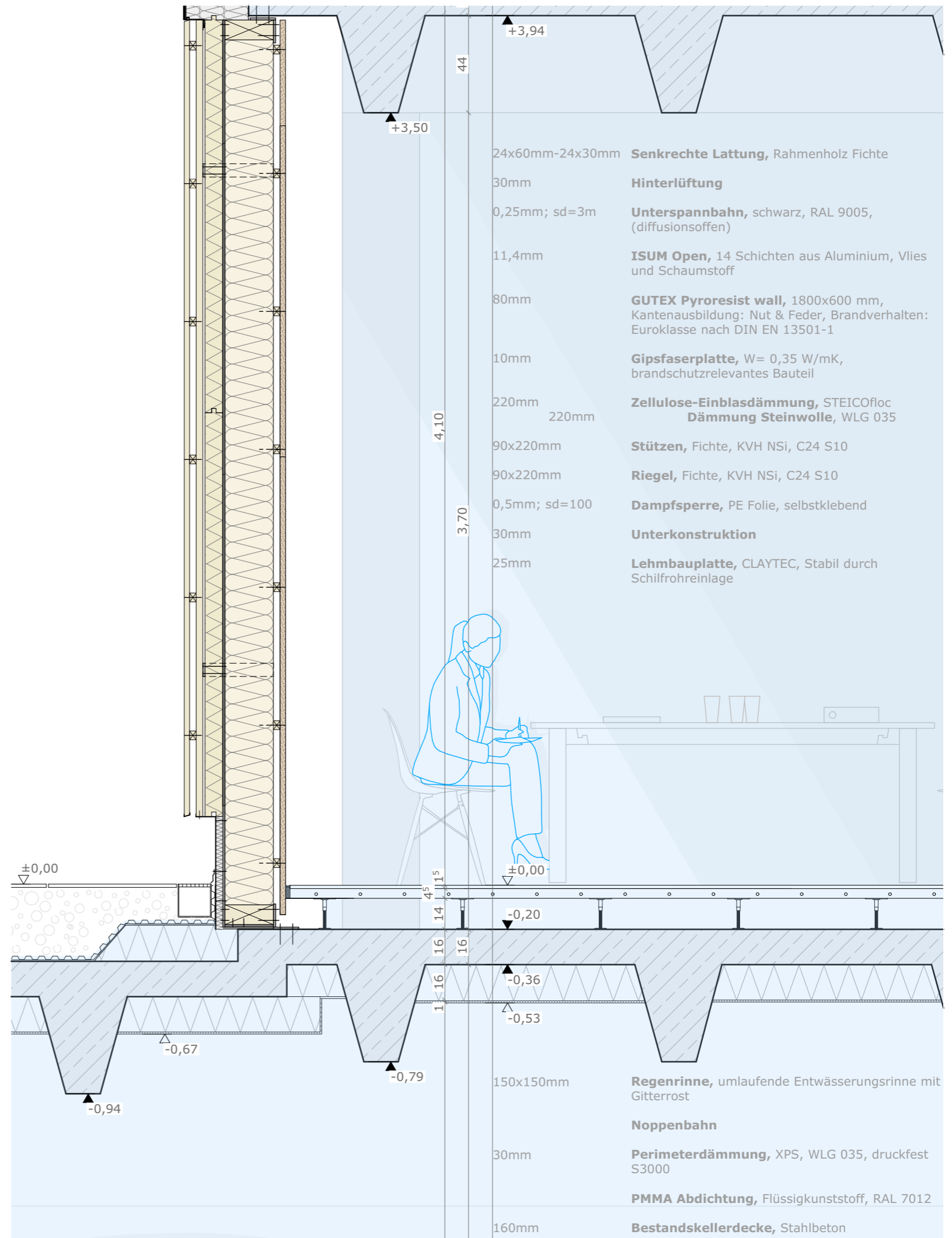
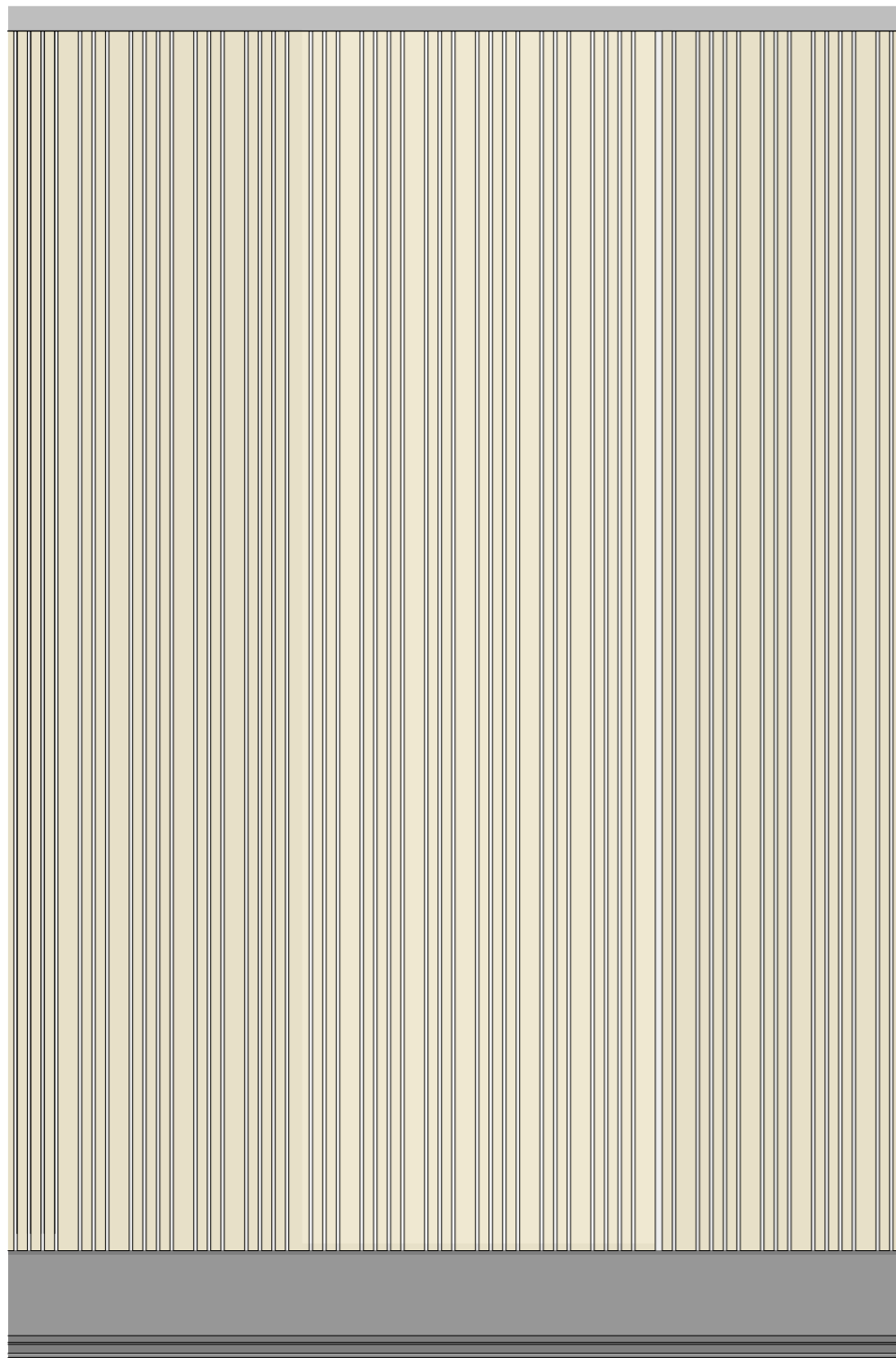
b-b

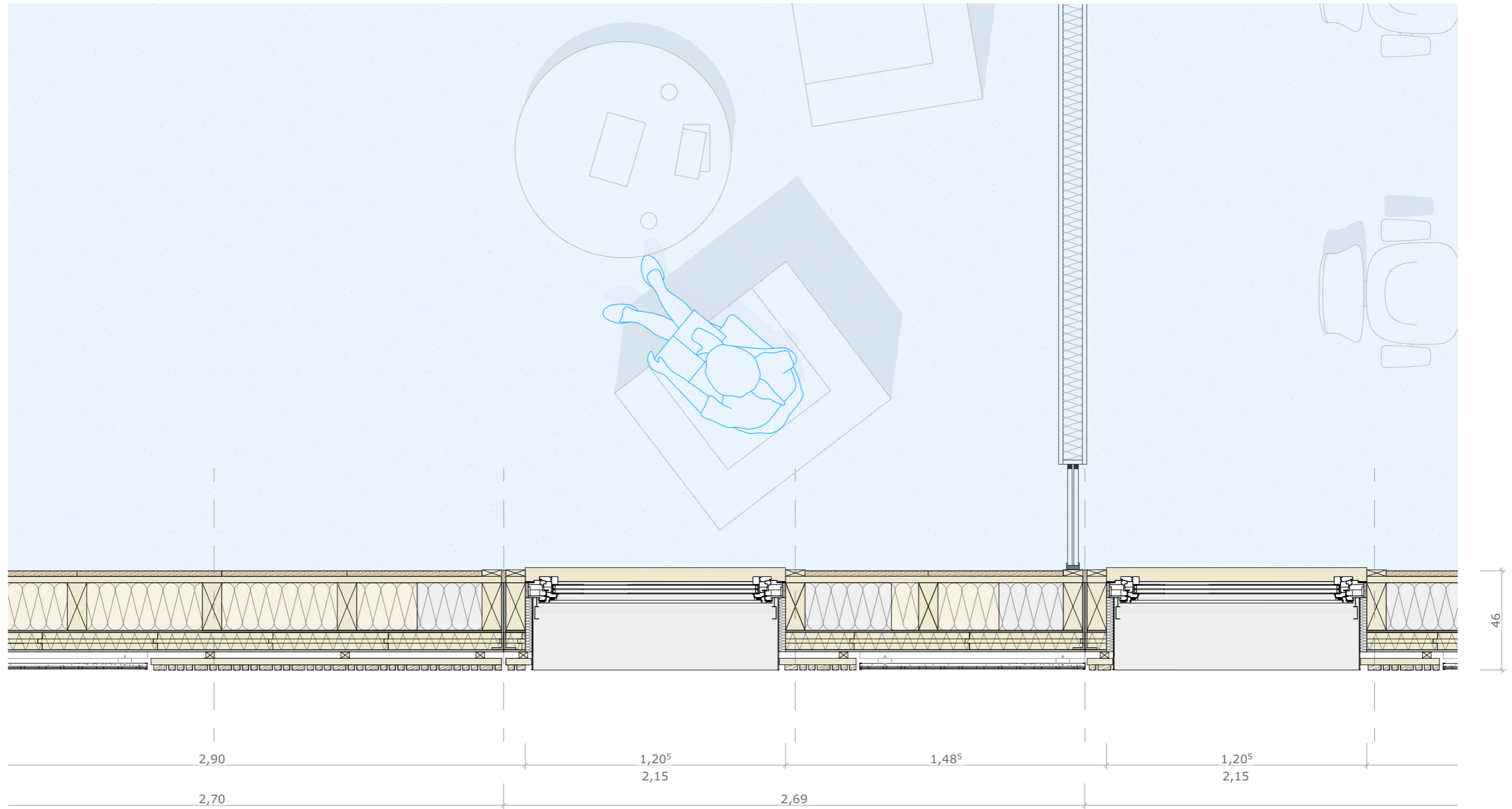


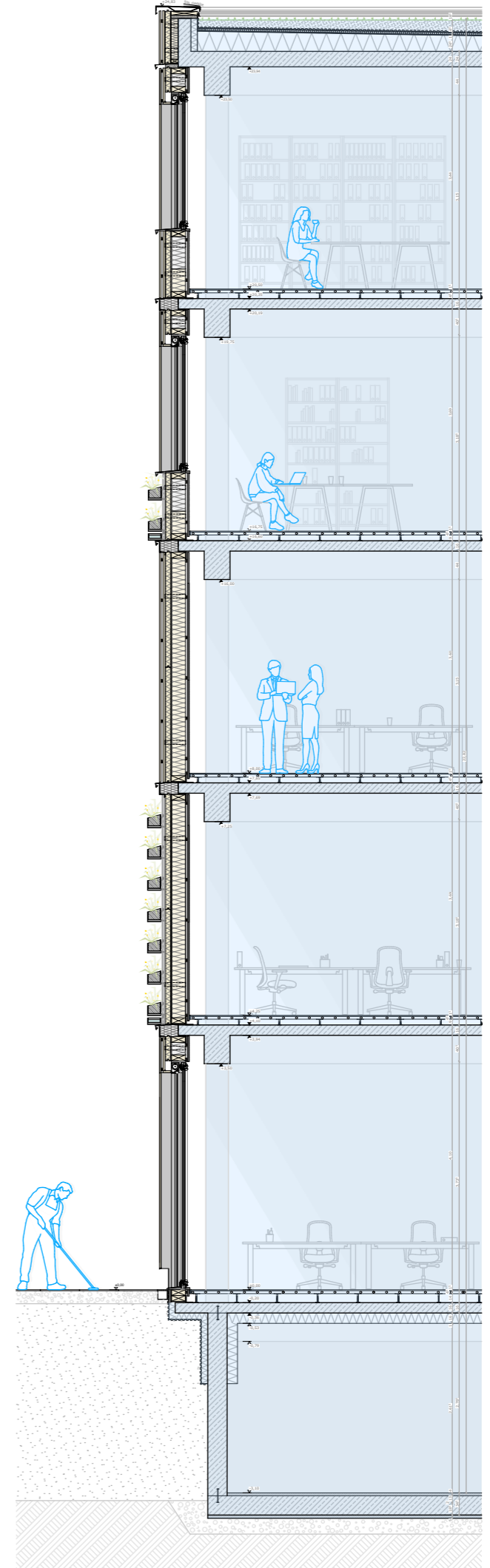
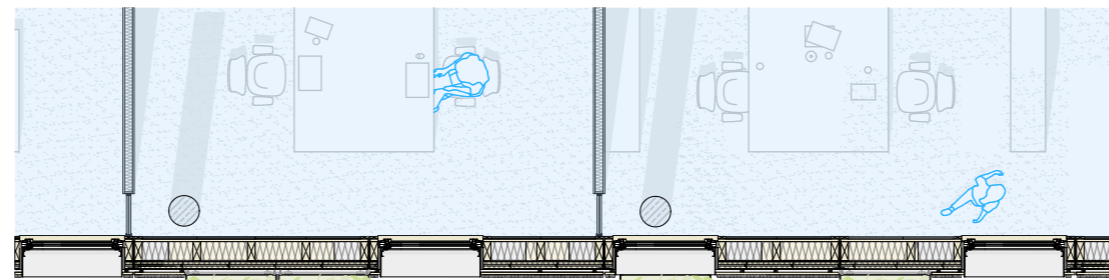


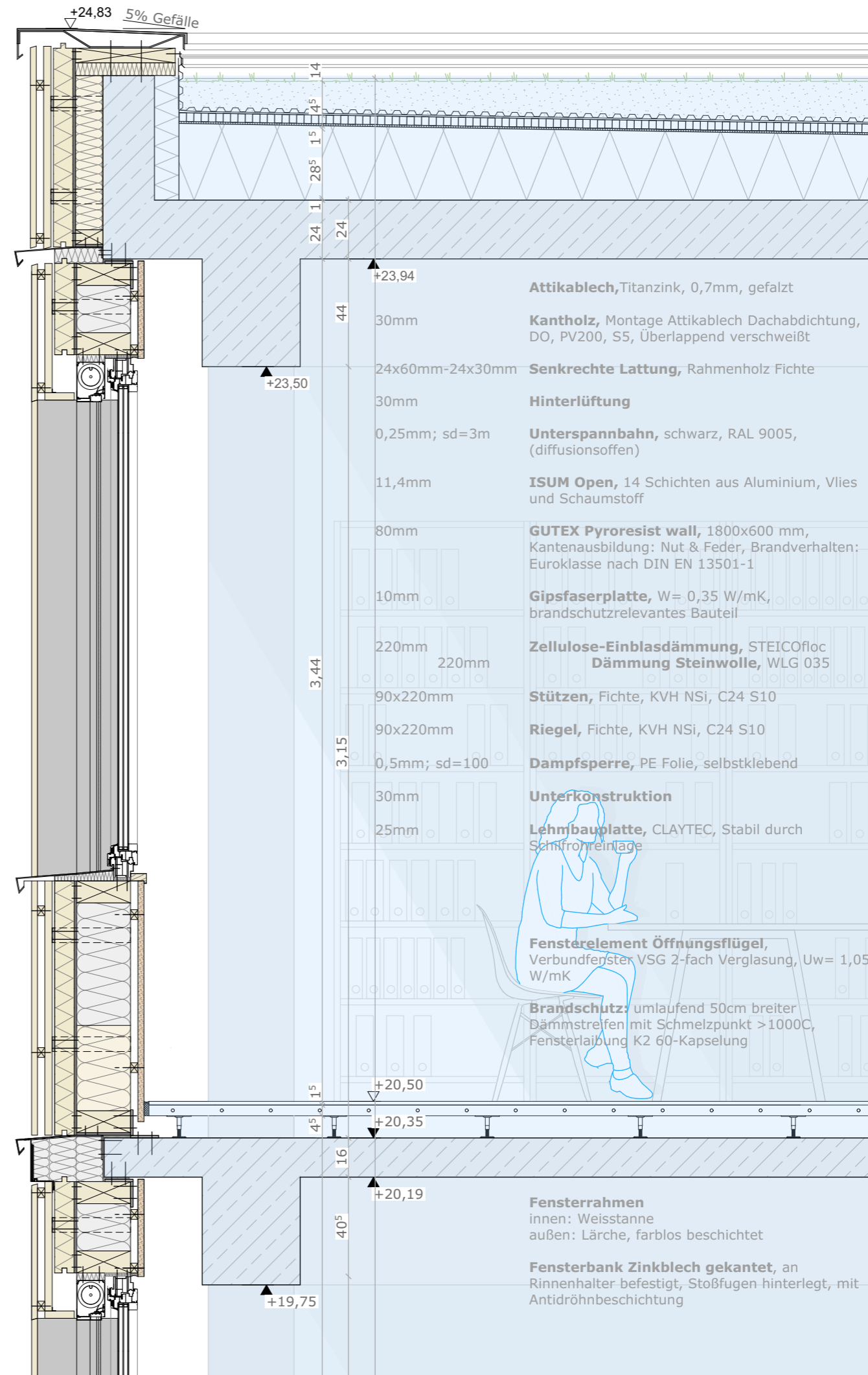
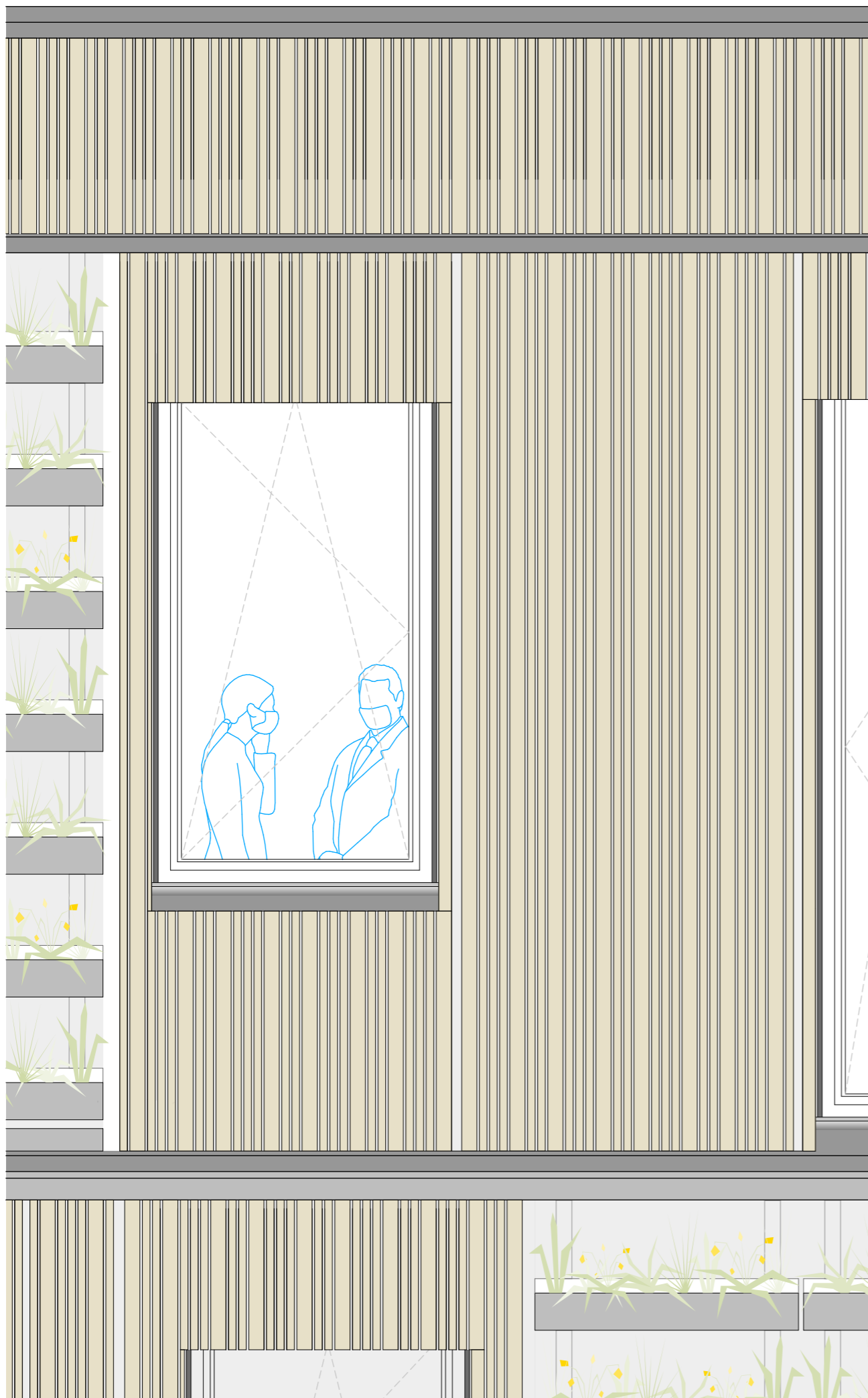


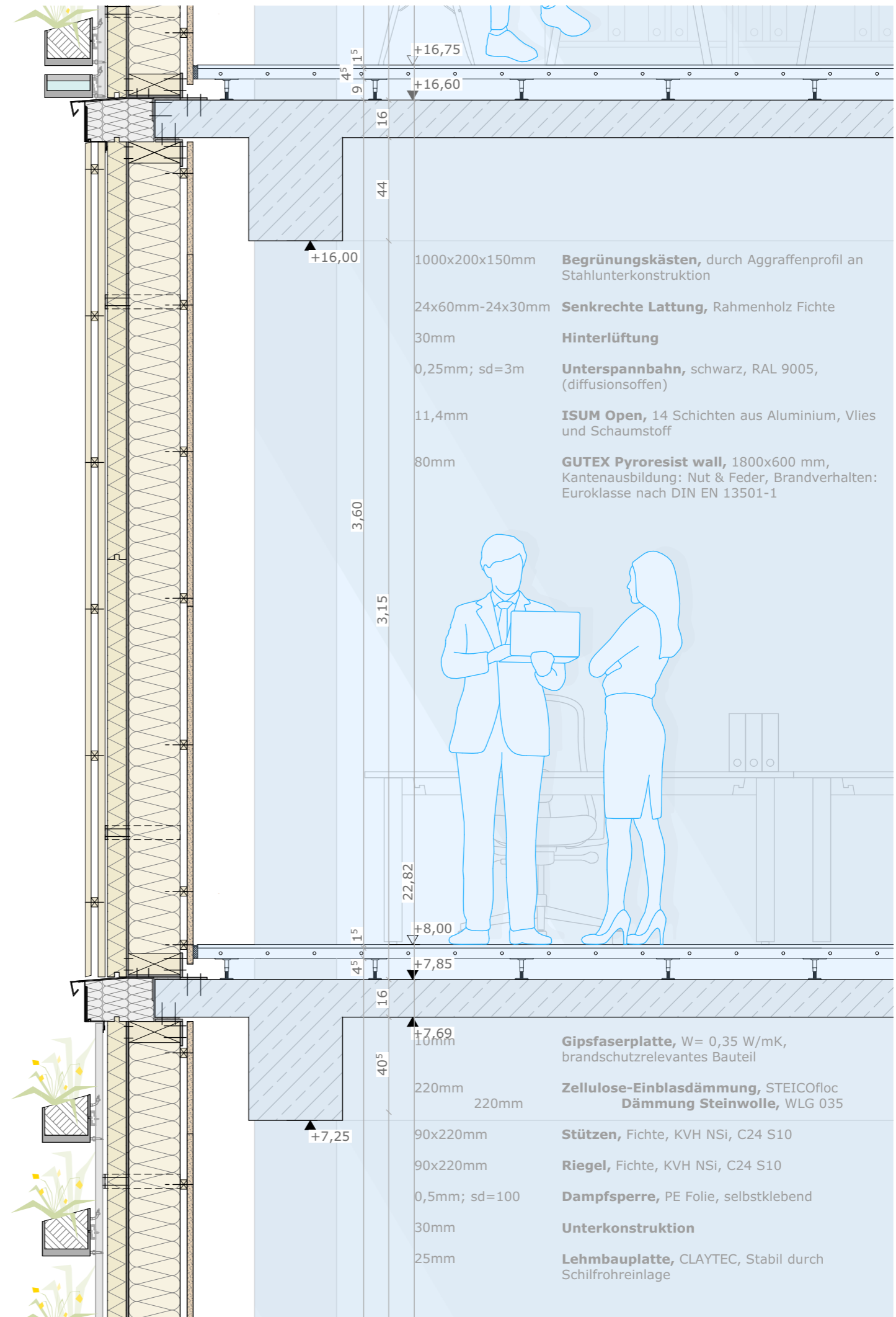
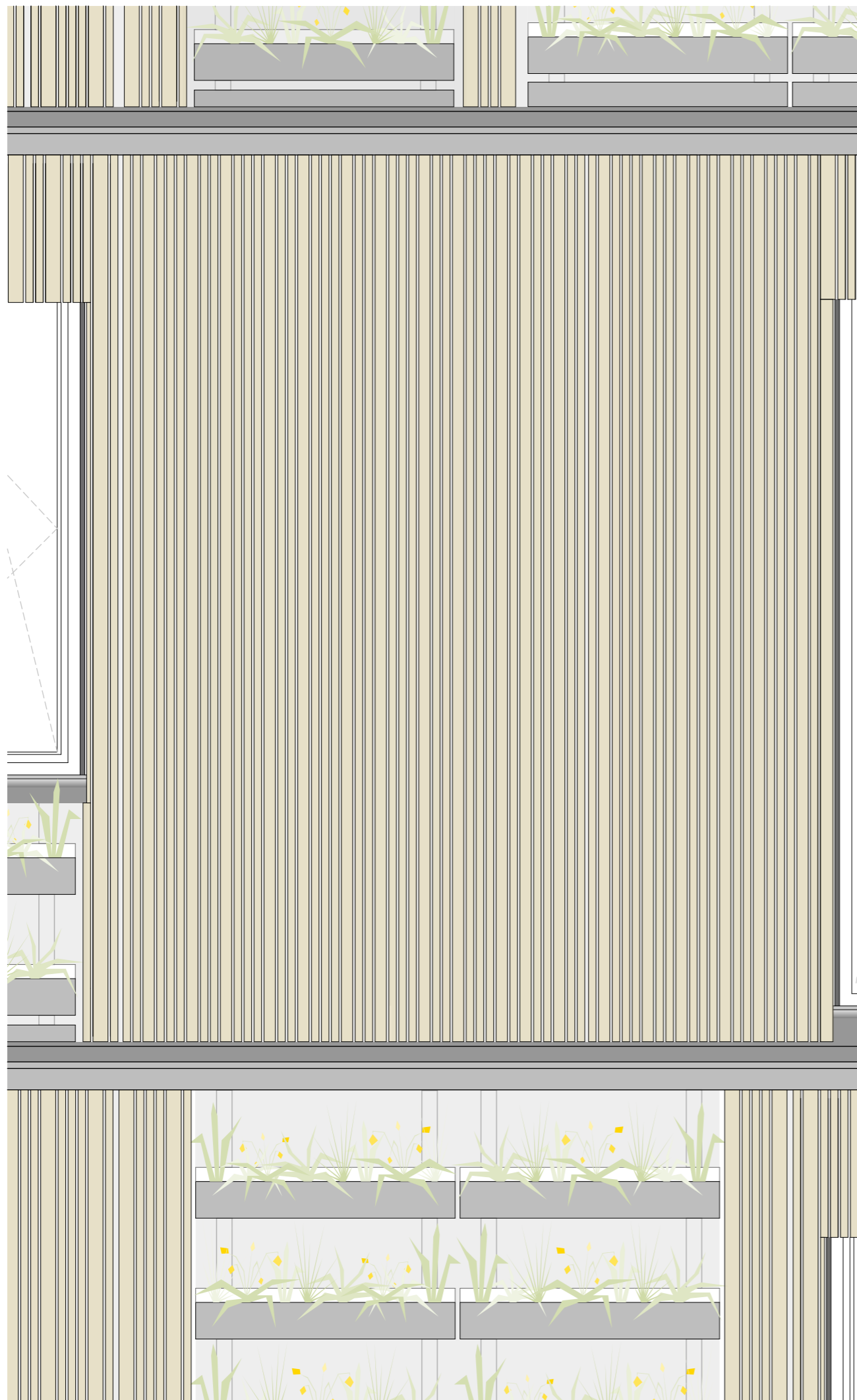


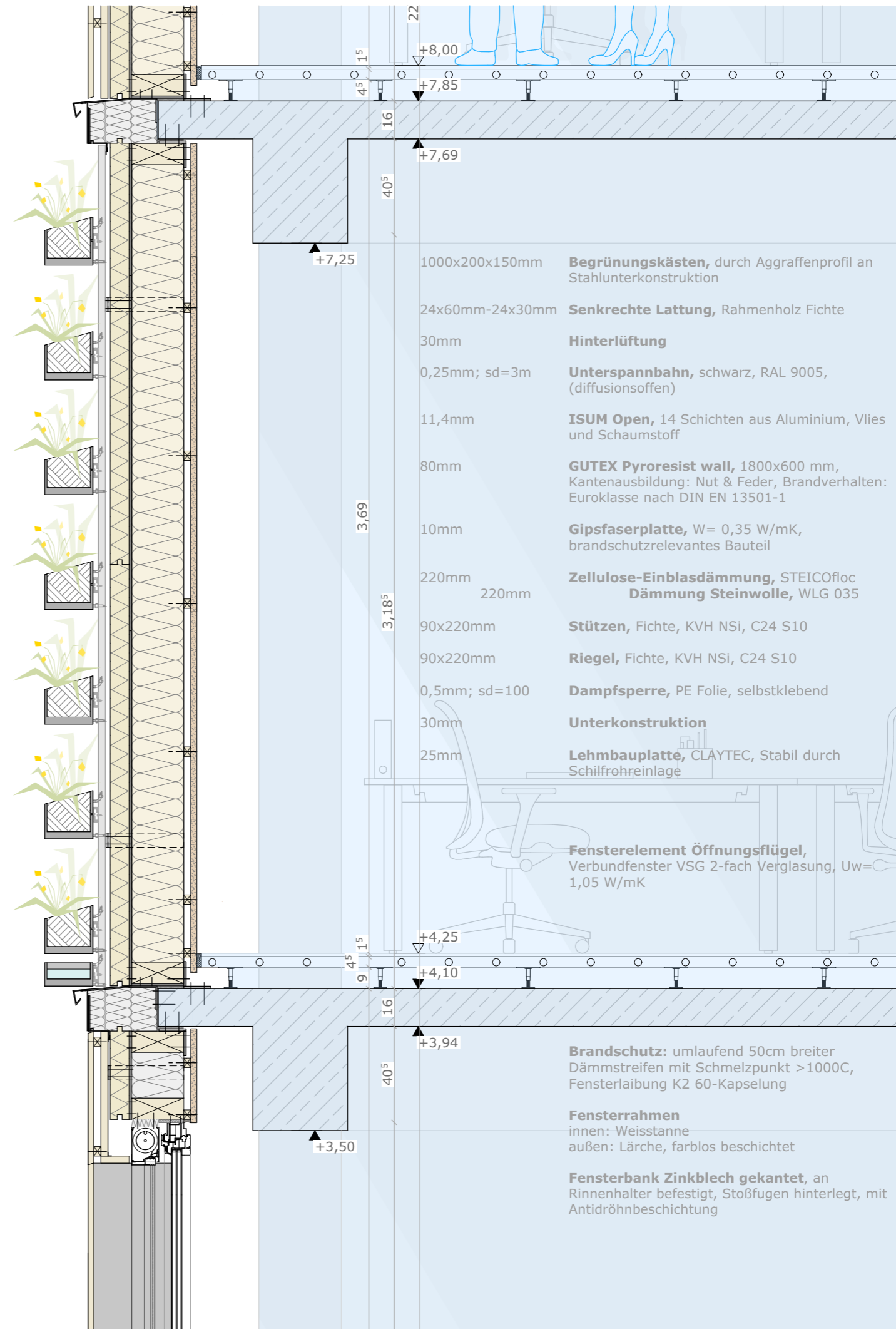
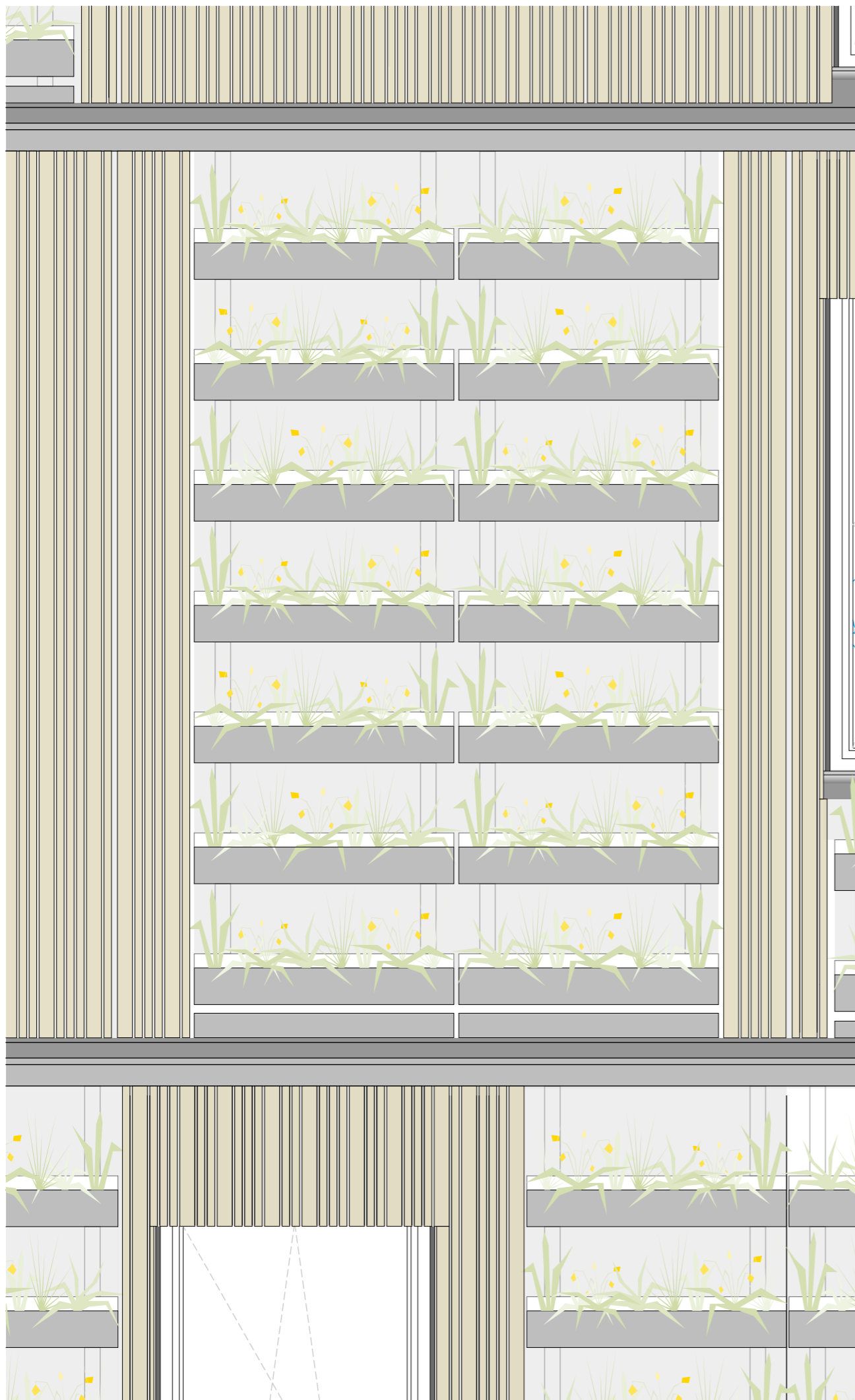


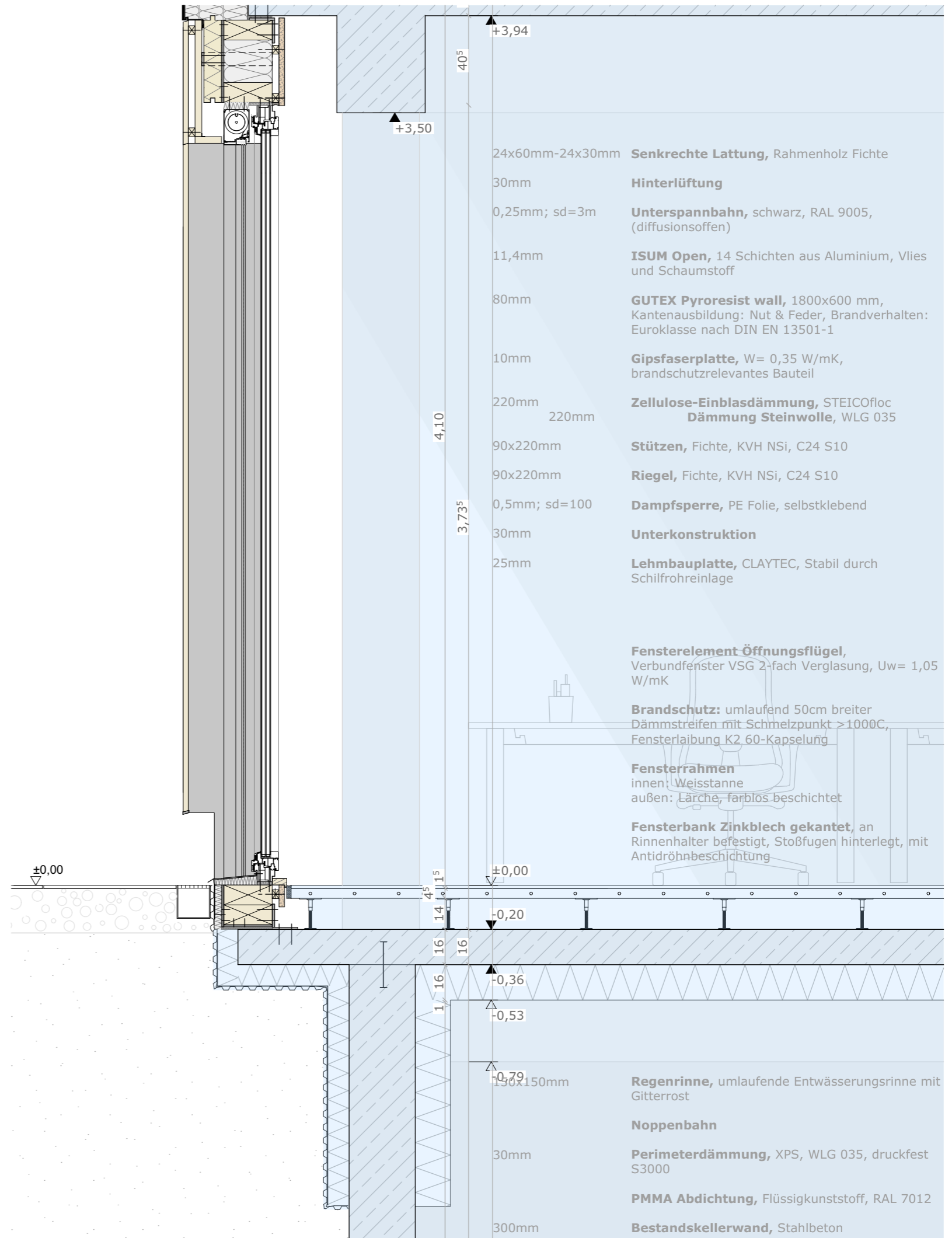
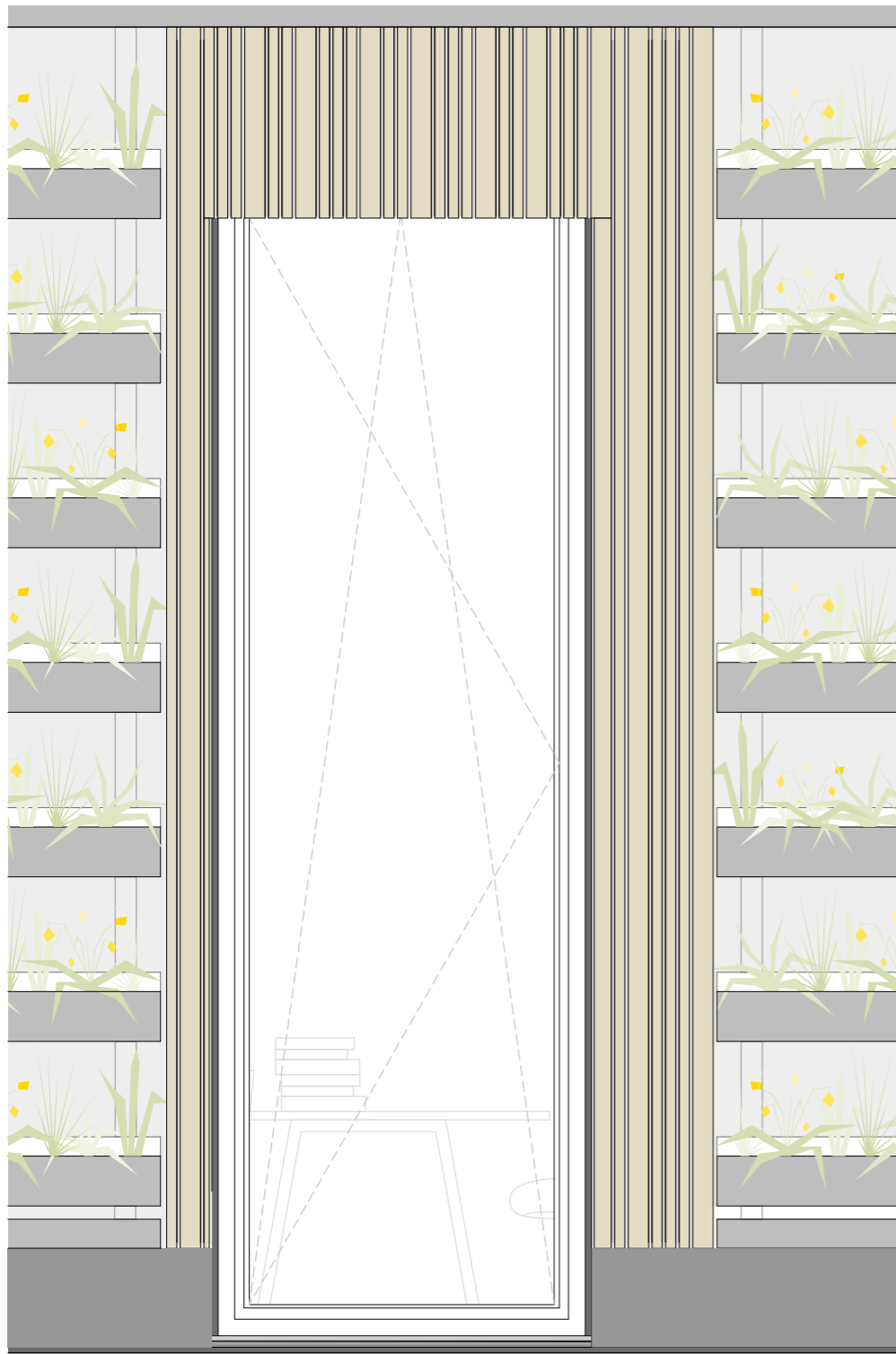


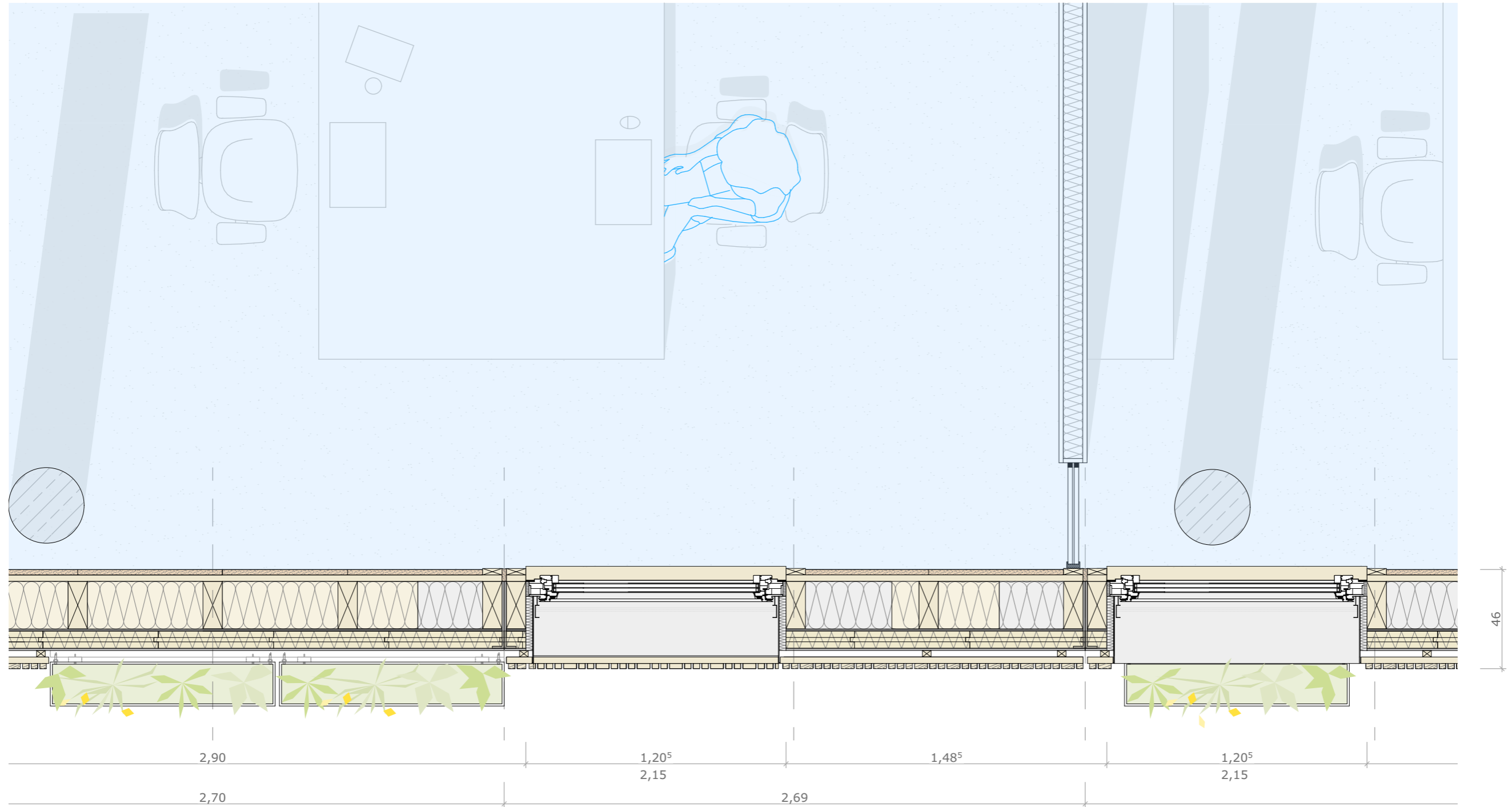




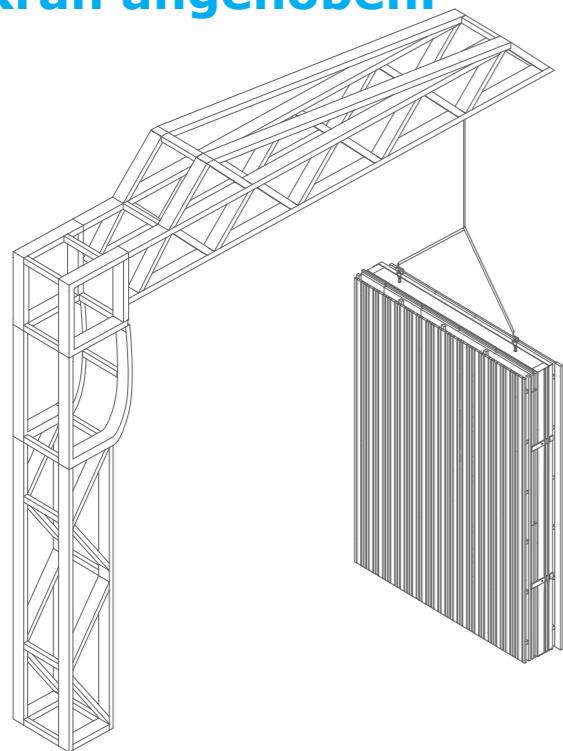




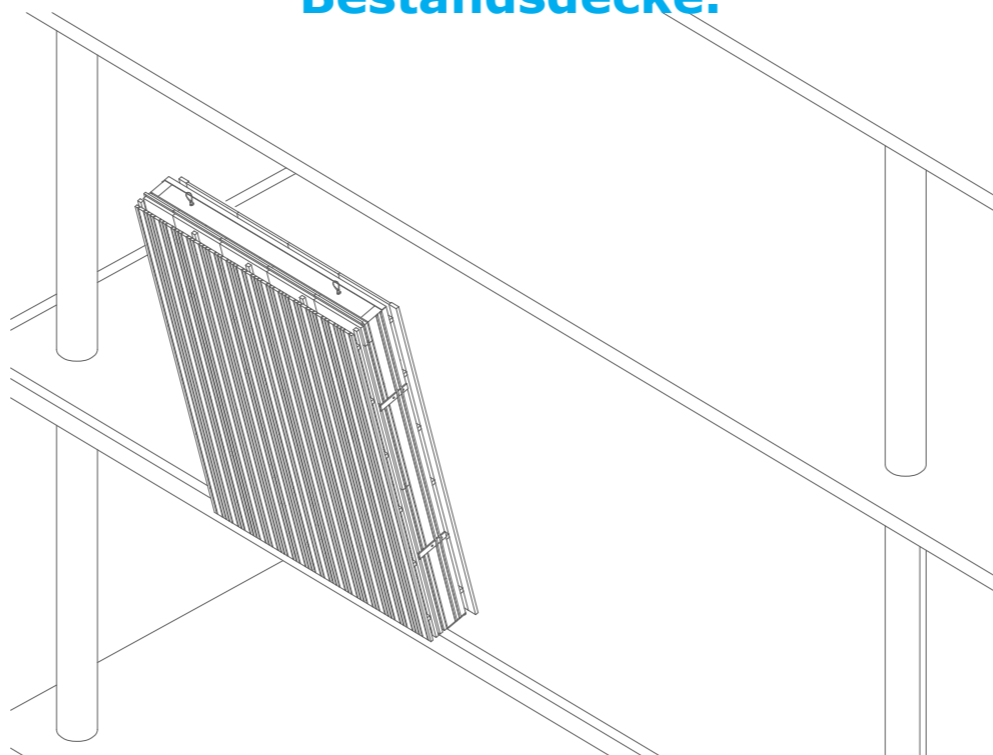




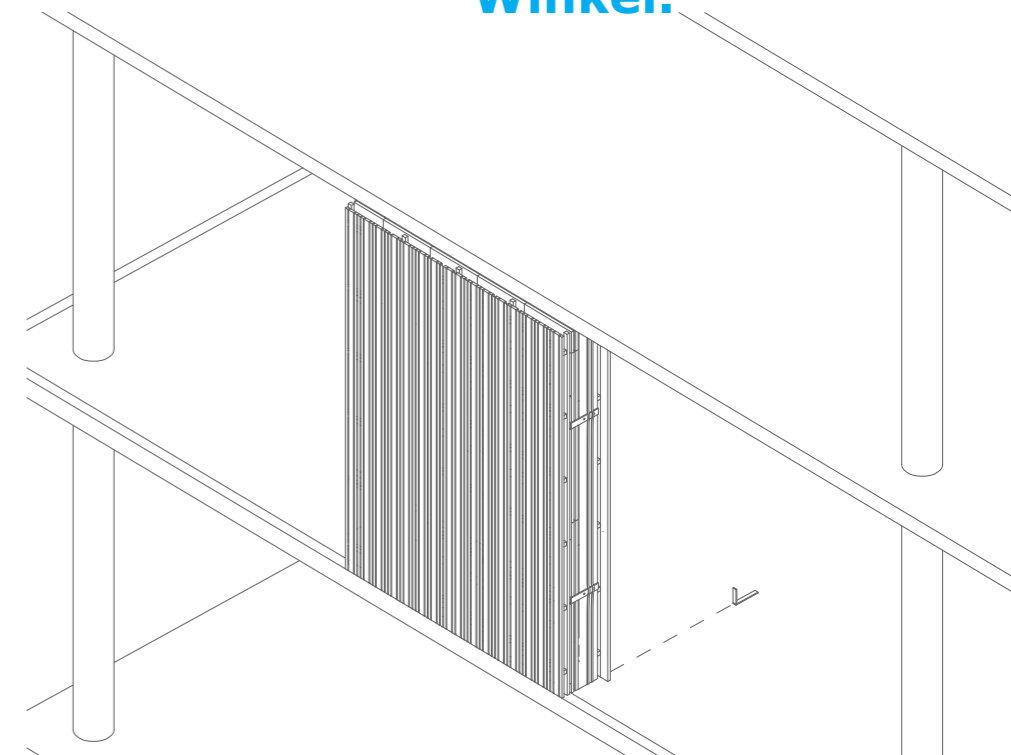
Fertigteil wird mit dem Kran angehoben.



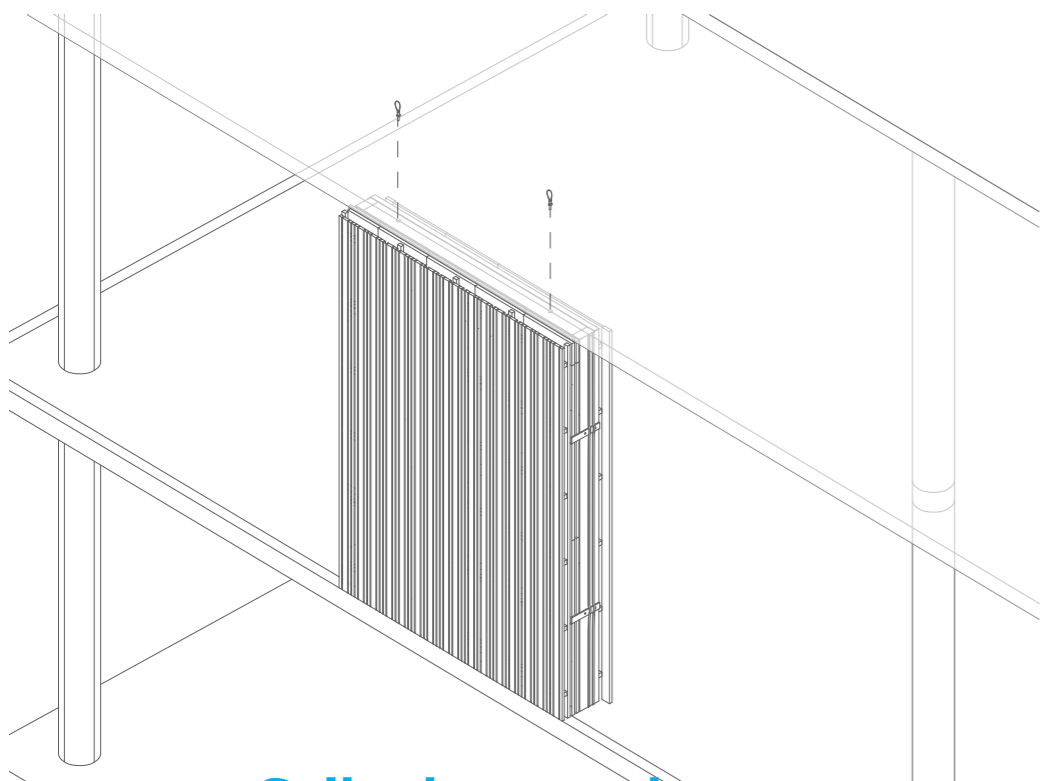
Dichter Stoß an die Bestandsdecke.



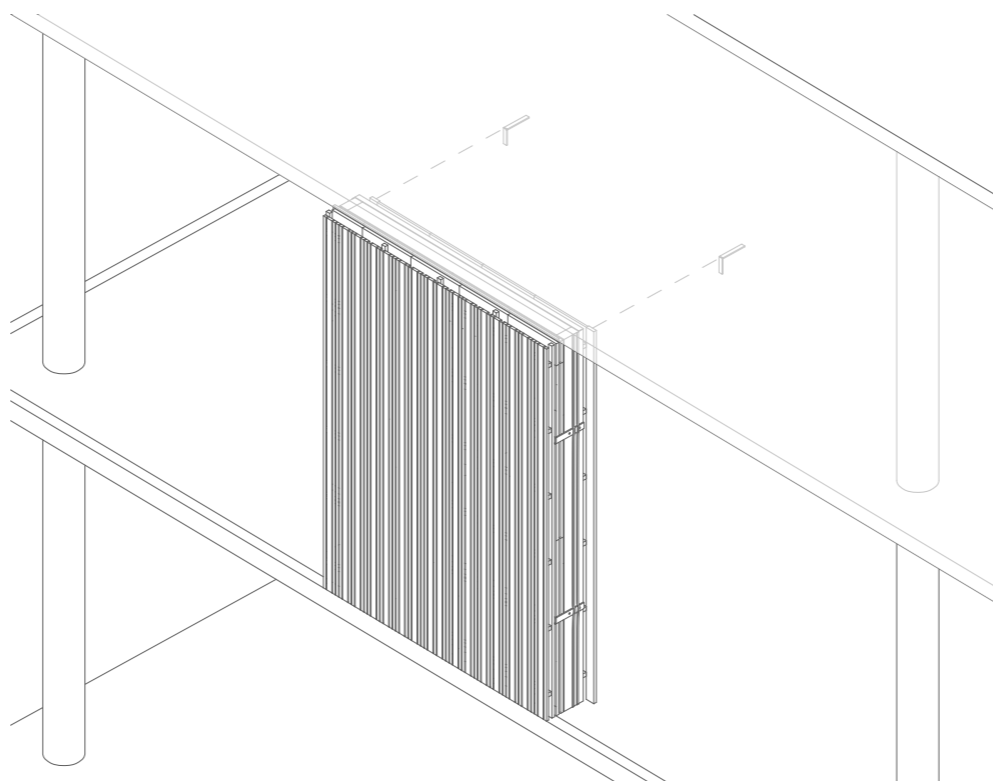
Verankerung durch Winkel.



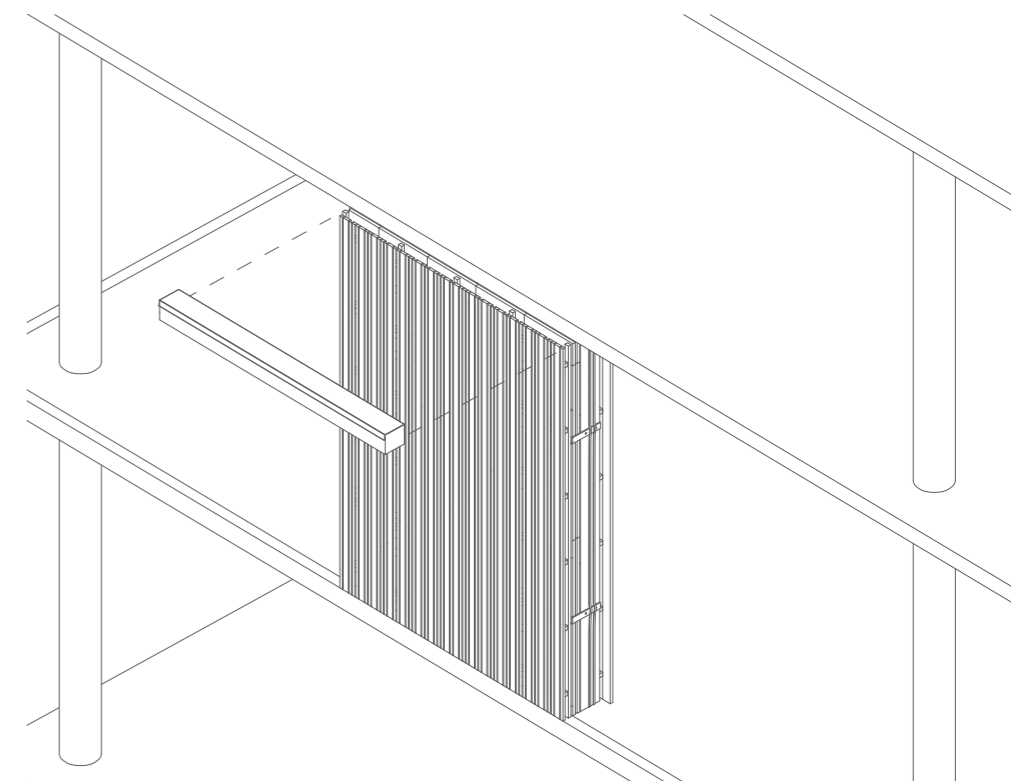
Seilanker werden entfernt.



Verankerung oben durch Winkel.



Brandriegelmodul wird angebracht.



Wandaufbau nichttragendes Außenwandmodul OG, siehe Fassadenschnitt

1 Wandmodul an Stb. Decke durch Winkelverbinder mit Bolzenanker verdübelt, 115 x 115 x 150 x 1,0, feuerverzinkt Stahl, M8,0 x 80, Edelstahl, n.A. Statik

2 Abschlusslattung an Holzständer durch Senkkopfschraube mit Abdeckkappe, M4,0 x 100, Edelstahl, n.A. Statik

3 Winkelverbinder an Wandmodul durch Senkkopfschraube, M6,0 x 60, Edelstahl, n.A. Statik

4 Kompriband, für dichten Modulstoß

5 Unterkonstruktion an Lehm- bauplatte und Abschlusslattung durch Senkkopfschraube, M3,0 x 36, Edelstahl, n.A. Statik

6 Edelstahlschwert an Holzständer verschraubt durch Senkkopfschraube, M6,0 x 60, Edelstahl, n.A. Statik

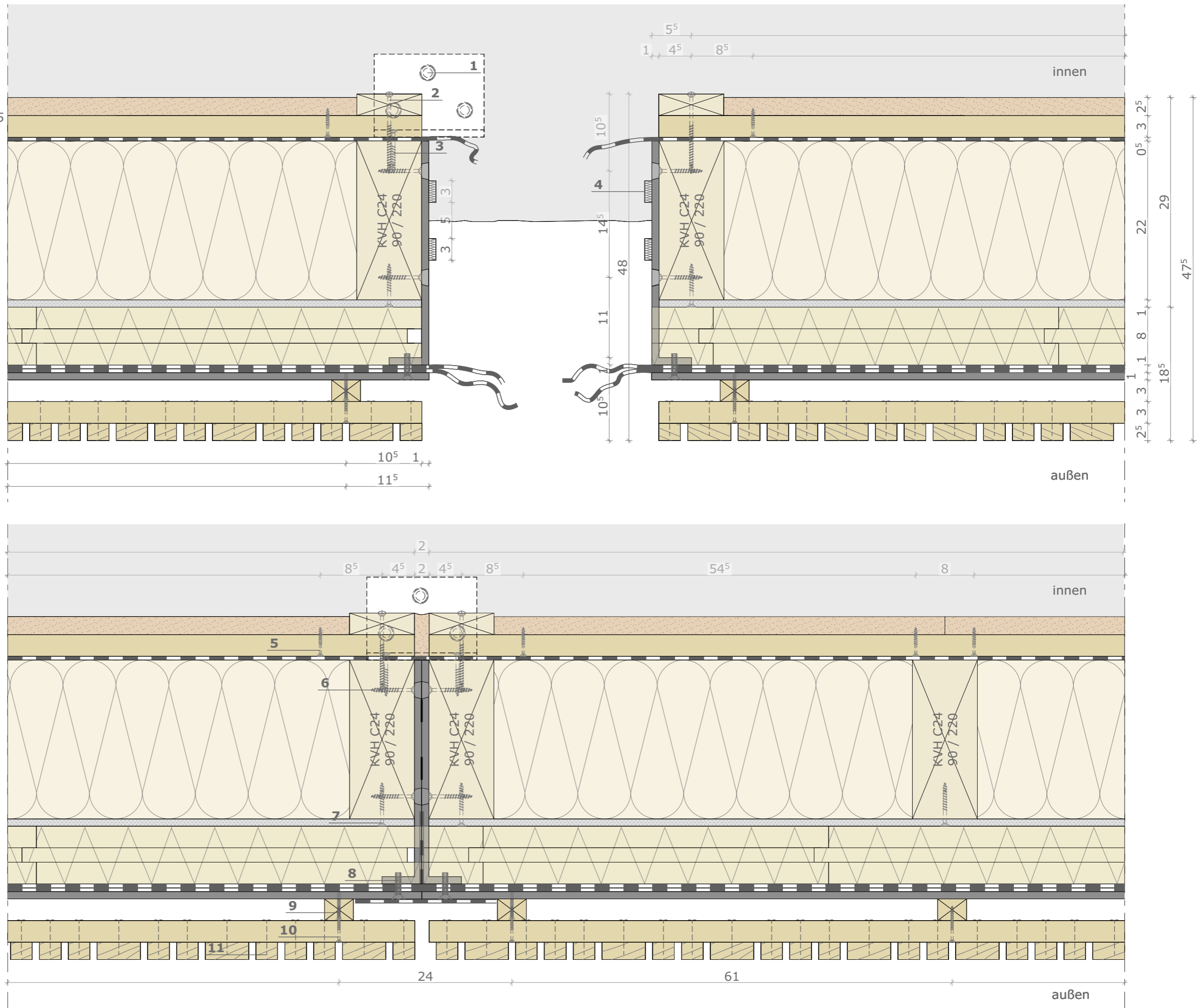
7 Gipsfaserplatte an Holzständer, M6,0 x 60, Edelstahl, n.A. Statik

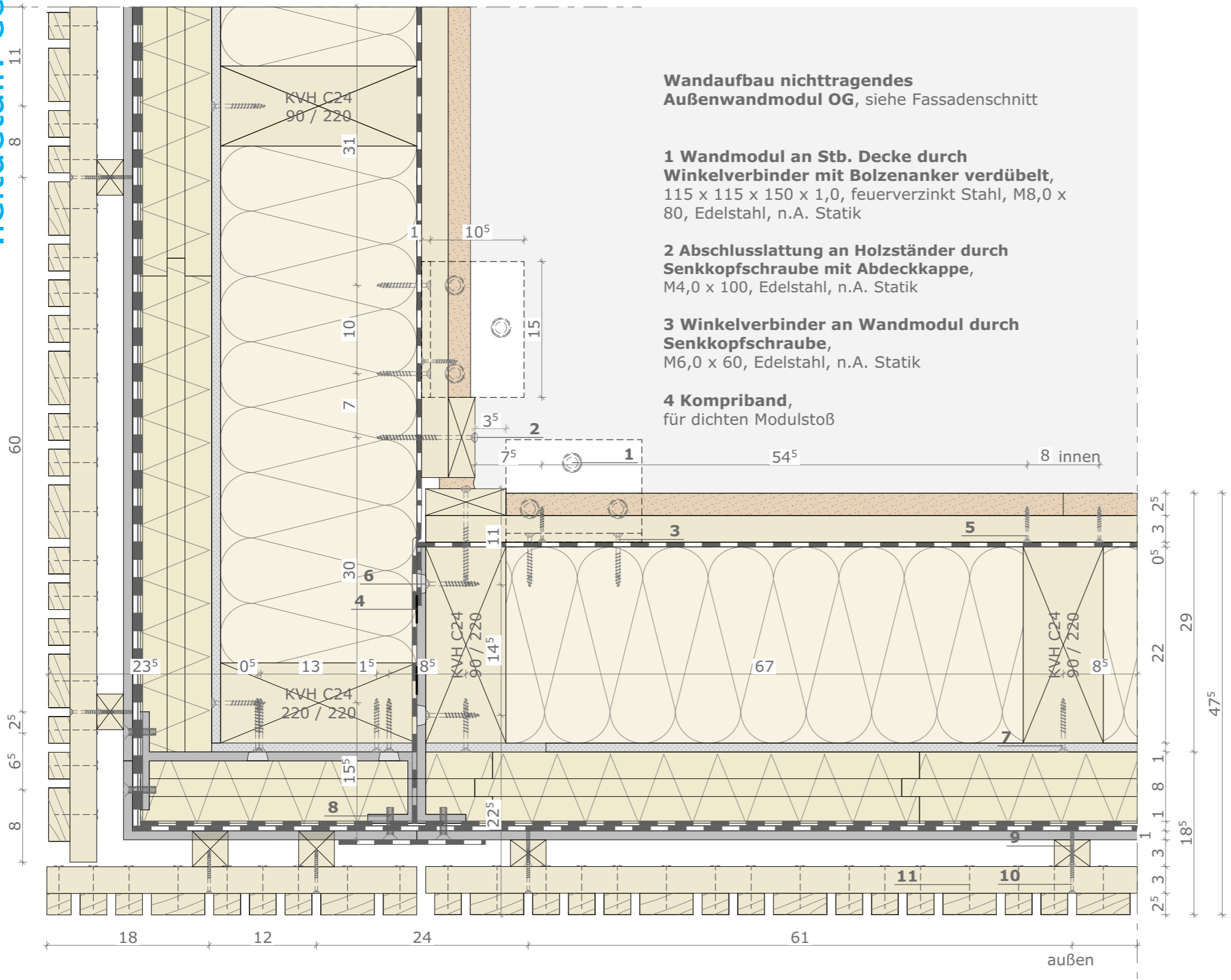
8 Stahlriegel an Edelstahlschwert verschraubt durch Gewindeschraube, M8,0 x 30, Edelstahl, n.A. Statik

9 Lamellenverkleidung an Stahlriegel verschraubt durch Gewindeschraube, M4,0 x 30, Edelstahl, n.A. Statik

10 Lamellenverkleidung an Unterkonstruktion verschraubt durch Senkkopfschraube, M4,0 x 40, Edelstahl, n.A. Statik

11 Holzlamellen vernagelt, n.A. Statik





Wandaufbau nichttragendes Außenwandmodul OG, siehe Fassadenschnitt

- 1 Wandmodul an Stb. Decke durch Winkelverbinder mit Bolzenanker verdübelt,**
115 x 115 x 150 x 1,0, feuerverzinkt Stahl, M8,0 x 80, Edelstahl, n.A. Statik
- 2 Abschlusslattung an Holzständer durch Senkkopfschraube mit Abdeckkappe,**
M4,0 x 100, Edelstahl, n.A. Statik
- 3 Winkelverbinder an Wandmodul durch Senkkopfschraube,**
M6,0 x 60, Edelstahl, n.A. Statik
- 4 Kompriband,**
für dichten Modulstoß

5 Unterkonstruktion an Lehmbauplatte und Abschlusslattung durch Senkkopfschraube,
M3,0 x 36, Edelstahl, n.A. Statik

6 Edelstahlschwert an Holzständer verschraubt durch Senkkopfschraube,
M6,0 x 60, Edelstahl, n.A. Statik

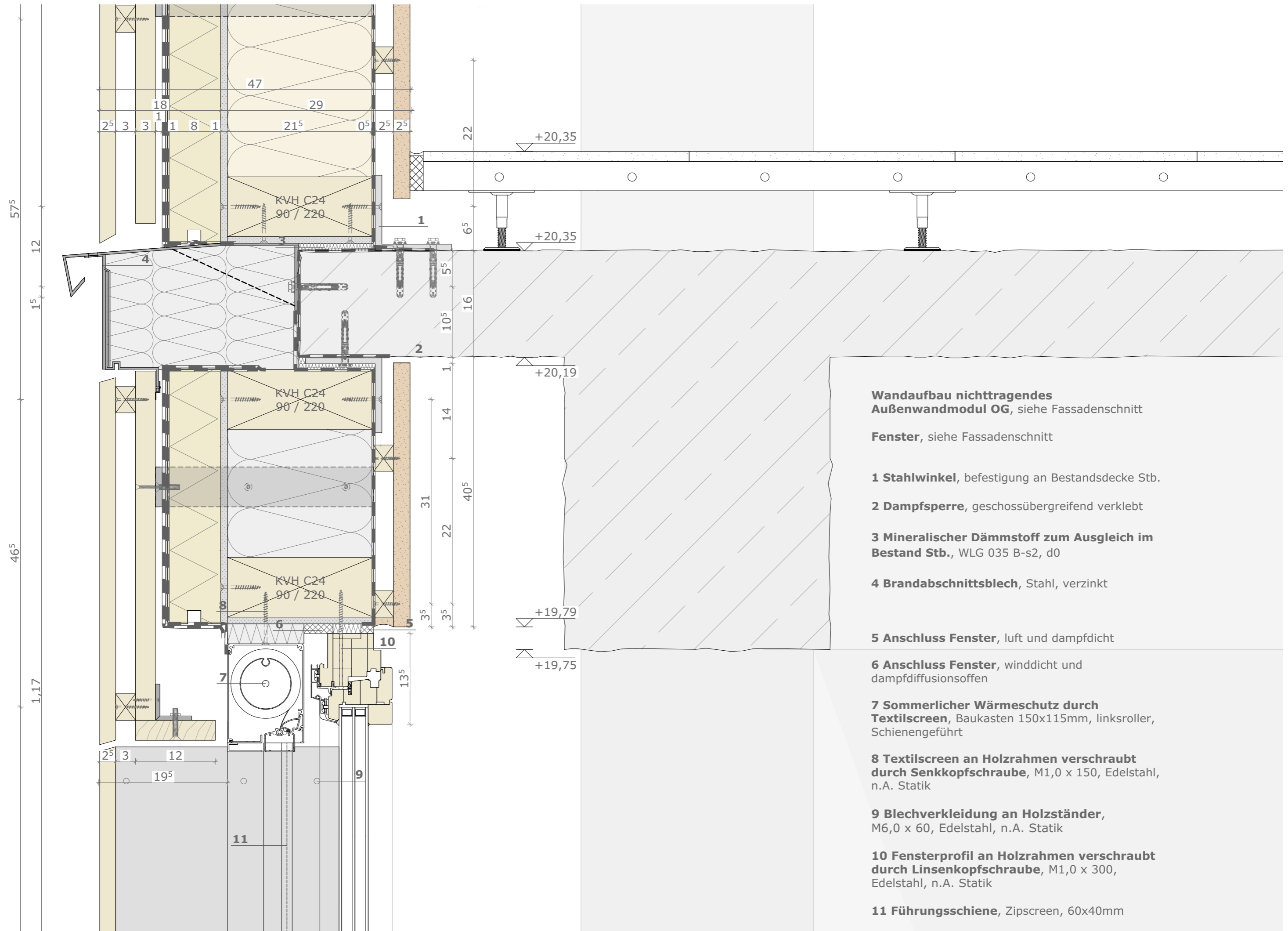
7 Gipsfaserplatte an Holzständer,
M6,0 x 60, Edelstahl, n.A. Statik

8 Stahlriegel an Edelstahlschwert verschraubt durch Gewindeschraube,
M8,0 x 30, Edelstahl, n.A. Statik

9 Lamellenverkleidung an Stahlriegel verschraubt durch Gewindeschraube,
M4,0 x 30, Edelstahl, n.A. Statik

10 Lamellenverkleidung an Unterkonstruktion verschraubt durch Senkkopfschraube,
M4,0 x 40, Edelstahl, n.A. Statik

11 Holzlamellen vernagelt, n.A. Statik



Wandaufbau nichttragendes Außenwandmodul OG, siehe Fassadenschnitt

Fenster, siehe Fassadenschnitt

1 Stahlwinkel, Befestigung an Bestandsdecke Stb.

2 Dampfsperre, geschossübergreifend verklebt

3 Mineralischer Dämmstoff zum Ausgleich im Bestand Stb., WLG 035 B-s2, d0

4 Brandabschnittsblech, Stahl, verzinkt

5 Anschluss Fenster, luft und dampfdicht

6 Anschluss Fenster, winddicht und dampfdiffusionsoffen

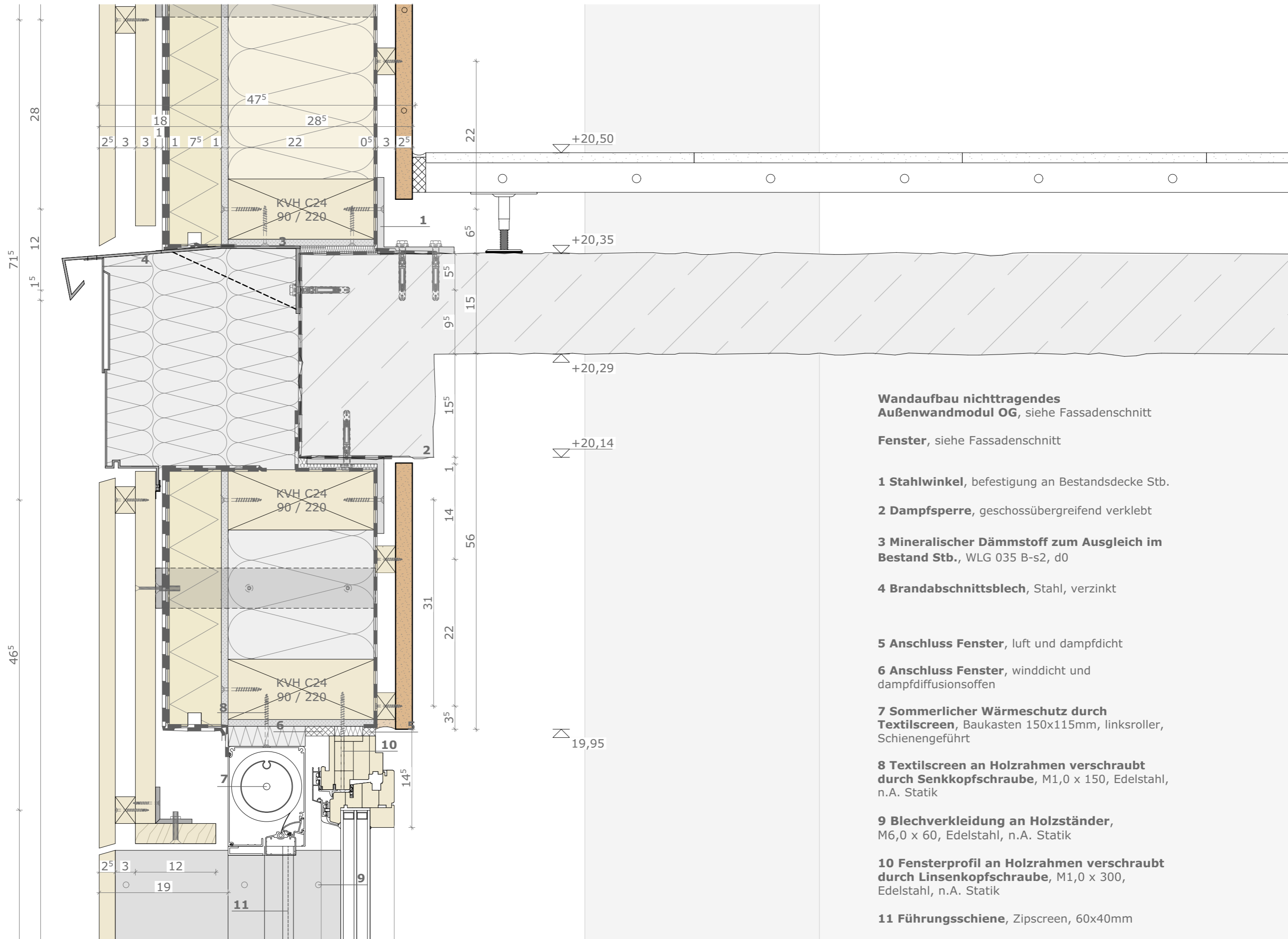
7 Sommerlicher Wärmeschutz durch Textilscreen, Baukasten 150x115mm, linksroller, Schienengeführt

8 Textilscreen an Holzrahmen verschraubt durch Senkkopfschraube, M1,0 x 150, Edelstahl, n.A. Statik

9 Blechverkleidung an Holzständer, M6,0 x 60, Edelstahl, n.A. Statik

10 Fensterprofil an Holzrahmen verschraubt durch Linsenkopfschraube, M1,0 x 300, Edelstahl, n.A. Statik

11 Führungsschiene, Zipscreen, 60x40mm



Wandaufbau nichttragendes Außenwandmodul OG, siehe Fassadenschnitt

Fenster, siehe Fassadenschnitt

1 Stahlwinkel, befestigung an Bestandsdecke Stb.

2 Dampfsperre, geschossübergreifend verklebt

3 Mineralischer Dämmstoff zum Ausgleich im Bestand Stb., WLG 035 B-s2, d0

4 Brandabschnittsblech, Stahl, verzinkt

5 Anschluss Fenster, luft und dampfdicht

6 Anschluss Fenster, winddicht und dampfdiffusionsoffen

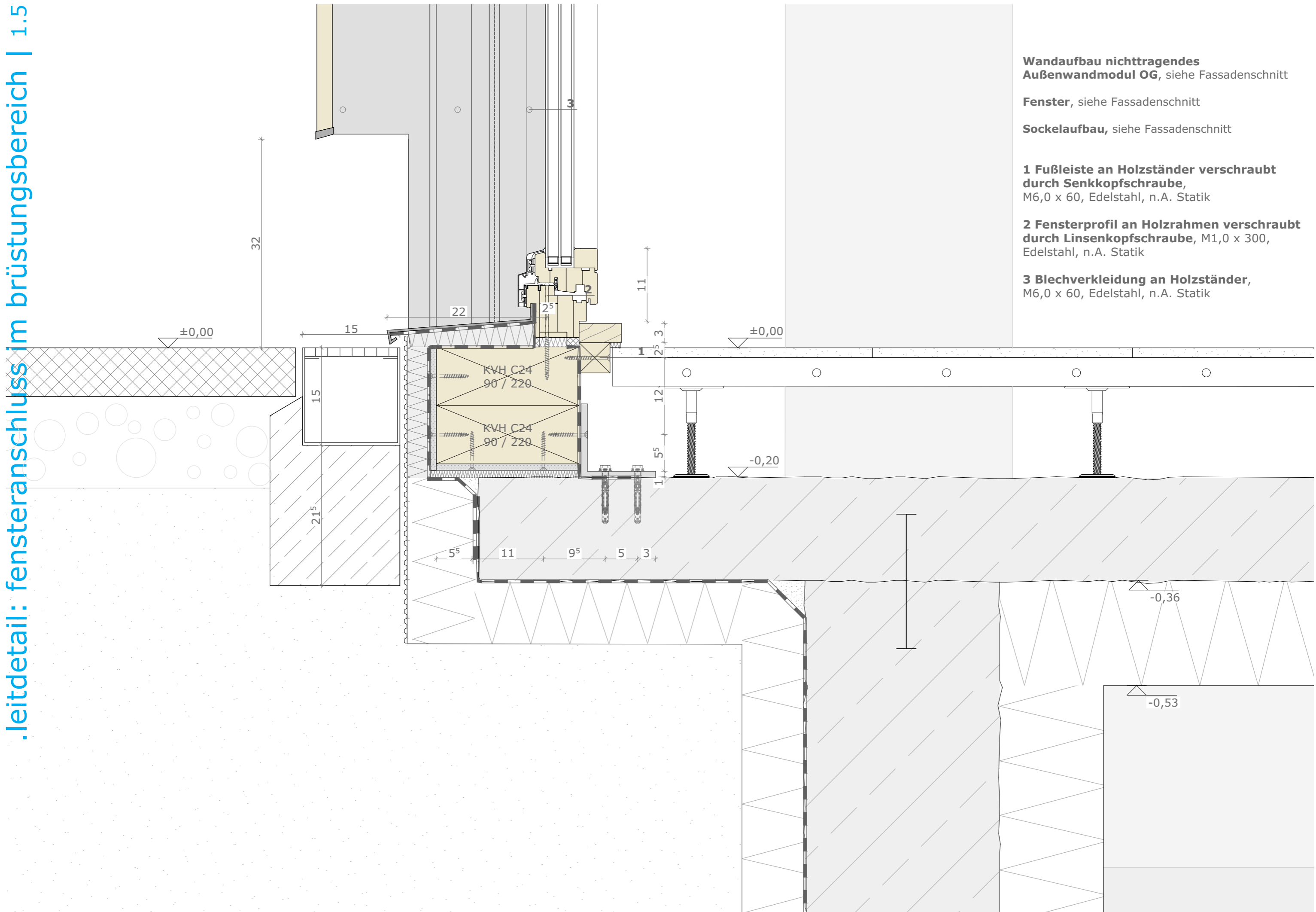
7 Sommerlicher Wärmeschutz durch Textilscreen, Baukasten 150x115mm, linksroller, Schienengeführt

8 Textilscreen an Holzrahmen verschraubt durch Senkkopfschraube, M1,0 x 150, Edelstahl, n.A. Statik

9 Blechverkleidung an Holzständer, M6,0 x 60, Edelstahl, n.A. Statik

10 Fensterprofil an Holzrahmen verschraubt durch Linsenkopfschraube, M1,0 x 300, Edelstahl, n.A. Statik

11 Führungsschiene, Zipscreen, 60x40mm



Wandaufbau nichttragendes Außenwandmodul OG, siehe Fassadenschnitt

Fenster, siehe Fassadenschnitt

Sockelaufbau, siehe Fassadenschnitt

1 Fußleiste an Holzständer verschraubt durch Senkkopfschraube, M6,0 x 60, Edelstahl, n.A. Statik

2 Fensterprofil an Holzrahmen verschraubt durch Linsenkopfschraube, M1,0 x 300, Edelstahl, n.A. Statik

3 Blechverkleidung an Holzständer, M6,0 x 60, Edelstahl, n.A. Statik

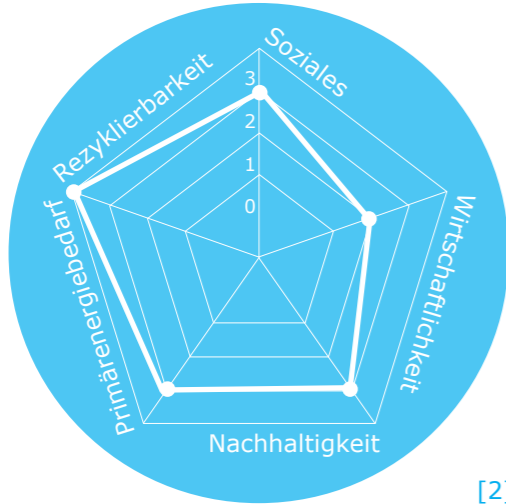




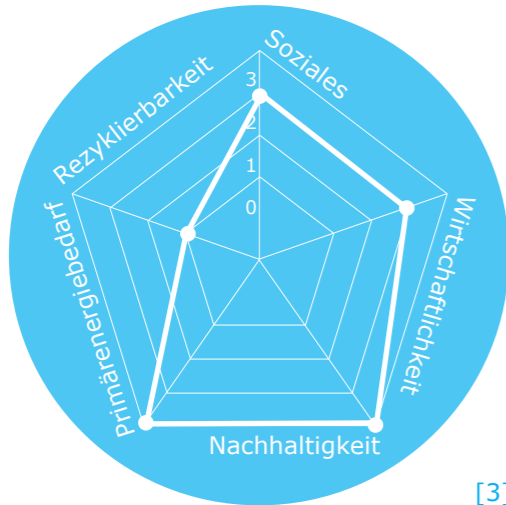




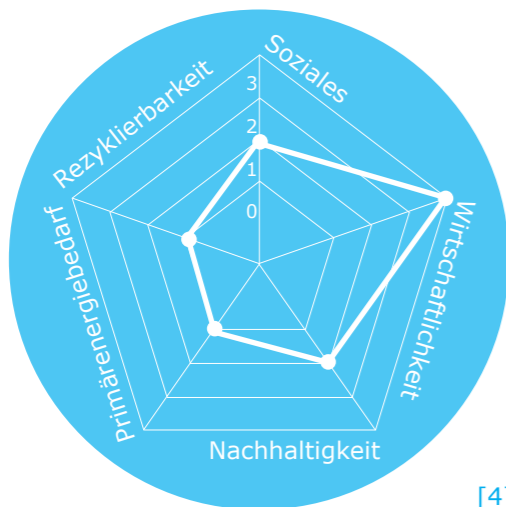
[1] **CLAYTEC**, Lehmplatte D20, Naturbaustoffe im Verbund, stabil durch Schilfrohreineinlage



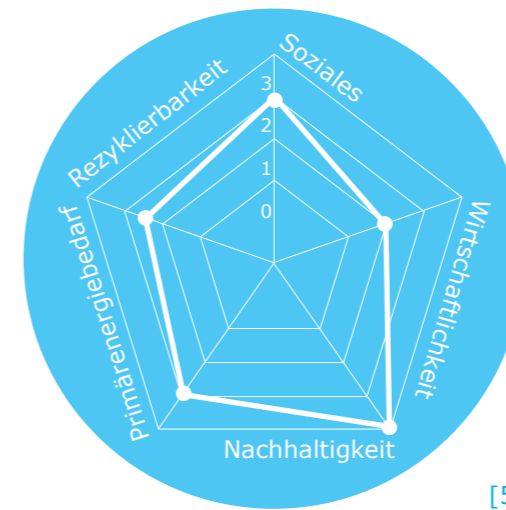
[2] **Konstruktionsvollholz**, Fichte, C24, 90x220



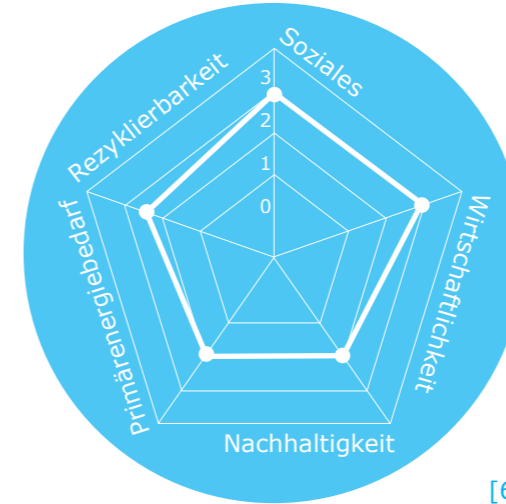
[3] **STEICOfloc**, Zellulose-Einblasdämmung



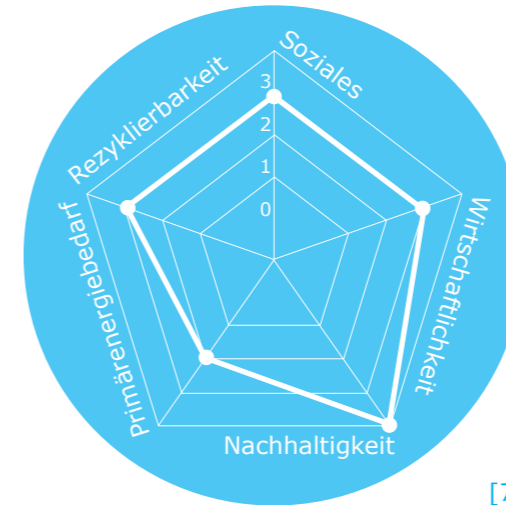
[4] **Gipsfaserplatte**, homogene gipsgebundene Trockenbauplatte mit Papierfasern



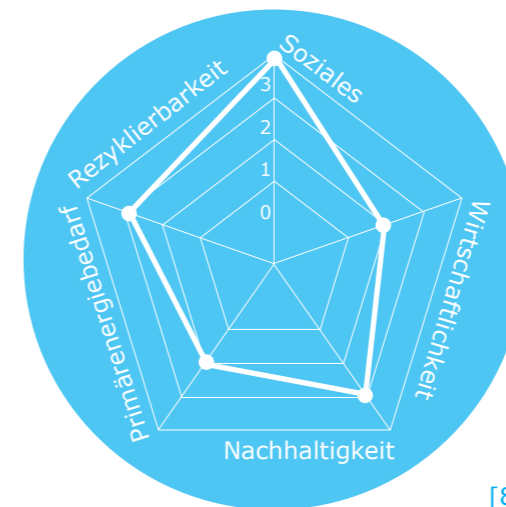
[5] **GUTEX Pyroresist wall**, 1800x600 mm, Kantenausbildung: Nut & Feder, Brandverhalten: Euroklasse nach DIN EN 13501-1



[6] **ISUM Open**, 14 Schichten aus Aluminium, Vlies und Schaumstoff



[7] **Heterojunction Hochleistungsmodul**, thermisch vorgespanntes Solarglas, schwarz, eloxiertes Aluminium



[8] **Begrünungskästen mit Entwässerungssystem**, Blechkästen eingehängt in Agraffenprofil, 1000x200x150

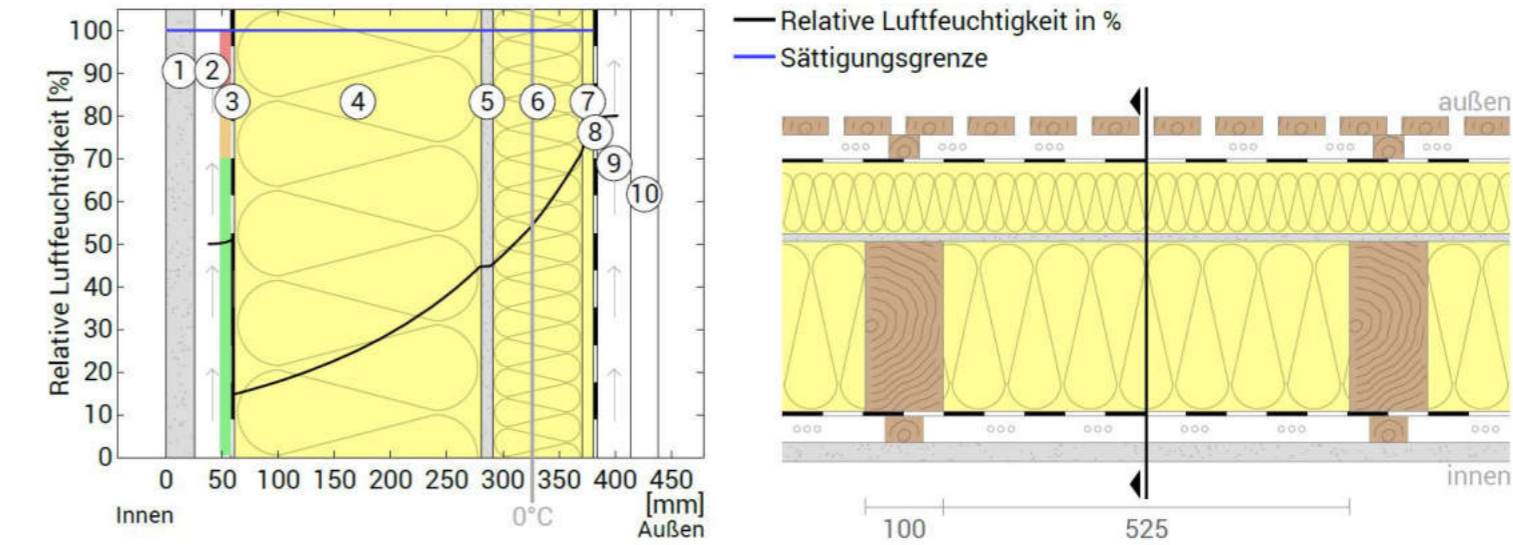
U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)				0,130
3	Dampfsperre sd=100	0,05	0,220	0,002
4	STEICOfloc	22,00	0,040	5,500
	Fichte (16%)	22,00	0,130	1,692
5	Gipsfaserplatte	1,00	0,350	0,029
6	GUTEX Pyroresist wall (Keymark zertifiziert)	8,00	0,045	1,778
7	ISUM Open	1,14	0,024	0,475
8	OMEGA G 20 Fassadenbahn	0,03	0,500	0,001
Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)				0,130

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser [kg/m ²]	Gewicht [kg/m ²]
3	0,05 cm Dampfsperre sd=100	100,00	-	0,1
4	22 cm STEICOfloc	0,22	-	9,2
	22 cm Fichte (16%)	4,40	-	15,8
5	1 cm Gipsfaserplatte	0,04	-	11,5
6	8 cm GUTEX Pyroresist wall (Keymark zertifiziert)	0,32	-	15,2
7	1,14 cm ISUM Open	1,00	-	0,4
8	0,025 cm OMEGA G 20 Fassadenbahn	0,17	-	0,2
43,515 cm Gesamtes Bauteil		102,25		79,1

Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt 19,0 °C was zu einer relativen Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche von 53% führt. Unter diesen Bedingungen sollte nicht mit Schimmelbildung zu rechnen sein. Das folgende Diagramm zeigt die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb des Bauteils.



- ① Claytec Lehmbauplatte D20/25 (25 m)
- ⑤ Gipsfaserplatte (10 mm)
- ⑨ Hinterlüftung (30 mm)
- ② Hinterlüftung (34 mm)
- ⑥ GUTEX Pyroresist wall (80 mm)
- ⑩ Luftschicht (24 mm)
- ③ Dampfsperre sd=100
- ⑦ ISUM Open (11,4 mm)
- ④ STEICOfloc (220 mm)
- ⑧ OMEGA G 20 Fassadenbahn

Wärmeschutz

U = 0,15 W/(m²K)

Neubau KfW 40*: U < 0,15 W/(m²K)

sehr gut

Feuchteschutz

Trocknungsreserve: 615 g/m²a

Kein Tauwasser

sehr gut

Hitzeschutz

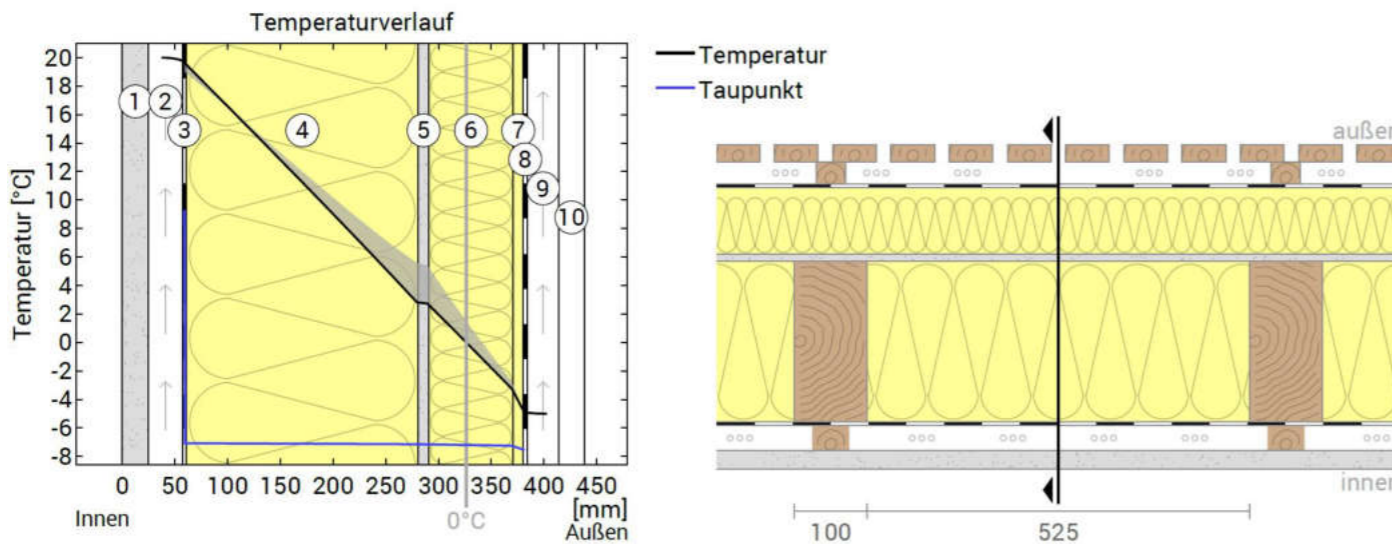
Temperaturamplitudendämpfung: 31

Phasenverschiebung: 15,7 h

Wärmekapazität innen: 43 kJ/m²K

sehr gut

Temperaturverlauf



- ① Claytec Lehmbauplatte D20/25 (25 m)
- ⑤ Gipsfaserplatte (10 mm)
- ⑨ Hinterlüftung (30 mm)
- ② Hinterlüftung (34 mm)
- ⑥ GUTEX Pyroresist wall (80 mm)
- ⑩ Luftschicht (24 mm)
- ③ Dampfsperre sd=100
- ⑦ ISUM Open (11,4 mm)
- ④ STEICOfloc (220 mm)
- ⑧ OMEGA G 20 Fassadenbahn

Schichten (von innen nach außen)

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]	Gewicht [kg/m ²]
1	2,5 cm Claytec Lehmbauplatte D20/25			20,0	17,5
2	3,4 cm Hinterlüftung (Raumluft)			20,0	0,0
Wärmeübergangswiderstand*				19,0	20,0
3	0,05 cm Dampfsperre sd=100	0,220	0,002	19,0	0,1
4	22 cm STEICOfloc	0,040	5,500	2,8	9,2
	22 cm Fichte (16%)	0,130	1,692	5,5	15,8
5	1 cm Gipsfaserplatte	0,350	0,029	2,7	11,5
6	8 cm GUTEX Pyroresist wall (Keymark zertifiziert)	0,045	1,778	-3,2	15,2
7	1,14 cm ISUM Open	0,024	0,475	-4,9	0,4
8	0,025 cm OMEGA G 20 Fassadenbahn	0,500	0,001	-4,9	0,2
Wärmeübergangswiderstand*				-5,0	-4,8
9	3 cm Hinterlüftung (Außenluft)			-5,0	0,0
10	2,4 cm Luftschicht (ruhend)			-5,0	0,0
43,515 cm Gesamtes Bauteil			6,741		79,1

*Annahme: Freie Luftzirkulation auf der Bauteilinnenseite.

Oberflächentemperatur innen (min / mittel / max): 19,0°C 19,5°C 19,6°C
 Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): -4,9°C -4,8°C -4,8°C

auf der einen Seite...

.ökologisch | nachhaltig

.Möglichkeiten der Inkorporation von erneuerbaren Energien und CO2-aufnehmender Fassadenbegrünung

.einfache Montage in räumlich eingeschränkten Bestandssituationen

.Einsparung grauer Energie

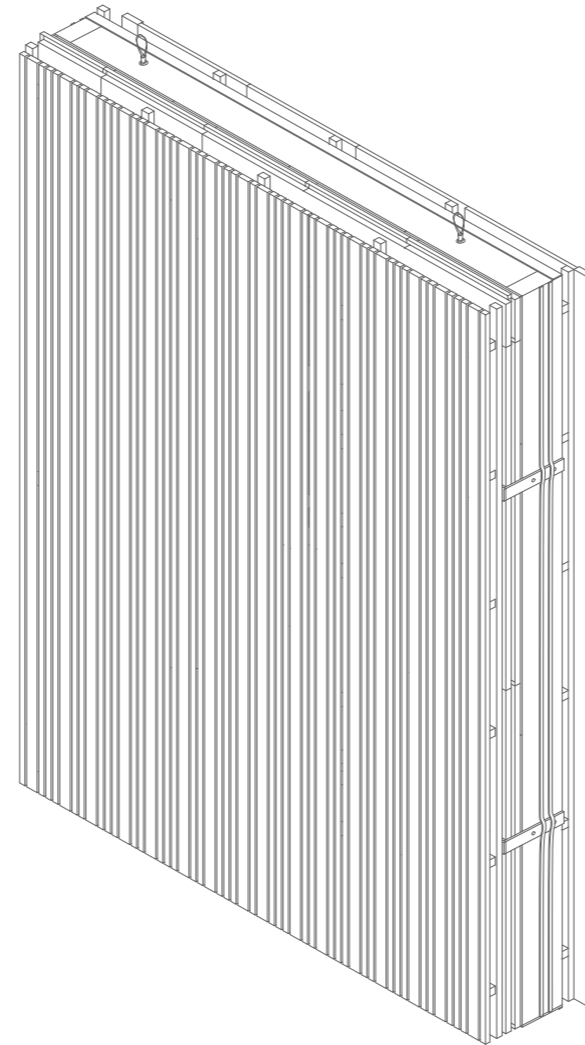
.gutes Raumklima

.einfacher Transport

.hoher Vorfertigungsgrad

.individuelle Anpassungsmöglichkeiten (Flexibilität)

.klimatisch/energetische Bestandsweiterentwicklung



...auf der anderen Seite

.Wirtschaftlichkeit

.einzelteillastige Montage durch kurze Modullänge (aufwendig vor Ort)

.Grenzen der Modularität durch unmodulare Gebäude

.brandschutztechnisch bedingte Abweichungen von Einzelbauteilen auf Kosten der Nachhaltigkeit

.große entwicklerische Hürden der Herstellung eines Moduls, das auf sämtliche Bestandssituationen reagieren kann

- [1] https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=6aff7a60-d7cd-430e-8b15-02556b6f62ff&version=20.20.010&stock=OBD_2021_II&lang=de
- [2] https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=1a70d292-a82c-42a6-a378-d3cbd9a9af4e&version=00.00.027&stock=OBD_2021_II&lang=de
- [3] https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/importer/downloads/preislisten_und_agbs/STEICO_Preisliste_de_202203_i.pdf
- [4] https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=6d535792-4351-4d7d-97c6-6d2c3624f3e0&version=20.20.010&stock=OBD_2021_II&lang=de
- [5] https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=51a420d8-6366-4e14-83db-ecfe0721774d&version=00.00.050&stock=OBD_2021_II&lang=de
https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=393f494d-8738-4330-aa5e-1652bb29b574&version=20.19.120&stock=OBD_2021_II&lang=de
<https://www.pyroresist.de/>
- [6] <https://isum-einfach.de/de/service/faq>
- [7] https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=6619216d-9c9c-4a5e-b5fb-a624e300ff67&version=20.19.120&stock=OBD_2021_II&lang=de
- [8] <https://verdeprofilo.com/it/download/catalogo/giardini-verticali>
- [9] https://www.ubakus.de/u-wert-rechner/?c=2&M0=155023I0&uu0=25&M1=51114i25&M2=91i34&M3=41251i0.5&M4=62953I22&M5=36I22&y5=0&w5=10&R5=52.5&M6=58056I1&M7=109641I8&M8=161493i11.4&M9=5468i0.25&M10=90I3&M11=36I3&y11=0&w11=4&R11=58.5&M12=86I0&uu12=24.000000000000004&M13=36I0&y13=0&w13=6&R13=2&uu13=24.000000000000004&M14=94743I6&T_i=20&RH_i=50&Te=-5&RH_e=80&outside=1&bt=0&Rsi=U&unorm=kfw40&cq=3302703&name=221021%20mit%20PV%20Anlage&fz=18,1&am=23_10.5_5_NaN_10_10_egh_0_c_n
- [11] https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Rechtsgrundlagen/MBO_2019.pdf
- [12] <https://informationsdienst-holz.de/urbaner-holzbau/kapitel-4-der-zeitgenoessische-holzbau/brandschutz-im-holzbau>
- [13] https://informationsdienst-holz.de/fileadmin/Publikationen/2_Holzbau_Handbuch/R03_T05_F01_Brandschutzkonzepte_2019.pdf
- [14] <https://initiative-energieeffiziente-gebaeude.de/de/zum-thema>
- [15] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-05-23_cc_22-2019_wohnenundsanieren_hintergrundbericht.pdf
- [16] <https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/bauen/energieeffizientes-bauen-sanieren/energieeffizientes-bauen-sanieren-node.html>
- [17] <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Schlaglichter/Klimaschutz/2020-02-07-steuerliche-foerderung-energetischer-gebaeudesanierungen.html>
- [18] https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7989/file/7989_Energetische_Sanierung.pdf
- [19] Atlas Sanierung: Instandhaltung, Umbau, Ergänzung (Detail Atlas), Ausgabe 2008
- [20] Atlas Mehrgeschossiger Holzbau: Grundlagen - Konstruktionen - Beispiele (DETAIL Construction Manuals), Ausgabe 2021