

Opernhaus, Theater Dortmund

Bericht Fassadenplanung – Variantenuntersuchung Fassadensanierung V01



Abbildung 1-1: Bildquelle Ruhr Tourismus GmbH/OLFF APPOLD

Firma: Werner Sobek AG

Erstellt von: M.Sc. Carmen Herrmann

B.Eng. Miléna Herrouin

Datum: 19.08.2024

Inhaltsverzeichnis

1	Planungsbeteiligte	4
2	Einleitung (Veranlassung) und Zielsetzung	5
3	Leistungsabgrenzungen	6
4	Planungsgrundlagen	6
5	Baubeschreibung	7
5.1	Allgemeines/Baugrundstück	7
5.2	Fassadentypen im Gebäudebestand	8
5.3	Planungsgrundlagen	8
5.4	Detailvorgaben	11
6	Bestandsaufnahme	12
6.1	Baustandard	12
6.2	Schadstoffe	12
6.3	Feuchteschutz	13
6.4	Dichtungsprofile FT01	14
6.5	Kaltluftabfall	15
6.6	Verglasung	16
6.7	Konstruktion FT01 – Außenfassade	17
6.8	Konstruktion FT02 – Windfänge	21
6.9	Konstruktion FT03 - Atriumsfassade	22
7	Variantenuntersuchung	24
7.1	Varianten FT01	24
7.2	Statische Vordimensionierung FT01	28
7.3	Wärmebrücken FT01	32
7.4	Stahlkonstruktion	33
7.4.1	Entlacken der Stahlprofile	33
7.4.2	Baustellenlackierung	34
7.5	Verglasungen	35
7.6	Vogelschutz	37
7.7	Vogelabwehr	42
7.8	Nachhaltigkeit	44
8	Montagekonzept	46
8.1	Allgemein	46

8.2	Mögliche Bauabschnitte	48
8.3	Ablauf und Arbeitshilfen	51
8.4	Montagehilfen, Arbeitsbühnen und Gerüste	52
8.4.1	Arbeitsbühne	52
8.4.2	Gerüste	53
8.4.3	Minikrane	55
9	Variantenvergleich Zusammenfassung	57
9.1	Variantenvergleich Maßnahmen	57
9.2	Statische Voruntersuchung	58
9.3	Wärmebrücken	59
9.4	Variantenvergleich	60
9.5	Terminplanung	61
9.5.1	Grobterminplan	61
9.5.2	Terminplan Variante 1, 2a	62
9.5.3	Terminplan Variante 2b	63
9.5.4	Terminplan Variante 3	64
10	Kosten	65
11	Wirtschaftlichkeitsvergleich	65
12	Fazit und Empfehlungen für die Fassadensanierung	67
13	Normen und Spezifikationen	68
14	Anhang	72

1 Planungsbeteiligte

Bauherr: Theater Dortmund
Theaterkarree 1-3
44137 Dortmund

Fassadenplanung: Werner Sobek AG
Albstraße 14
70597 Stuttgart - Deutschland

2 Einleitung (Veranlassung) und Zielsetzung

Im Rahmen des Variantenvergleiches sollen drei mögliche Varianten einer Sanierung der Glasfassade mit den entstehenden Kosten identifiziert und mit Blick auf Nachhaltigkeit und Energieeffizienz gegenübergestellt werden. Eine Baubeschreibung mit den erforderlichen Ausführungsvorschlägen soll erstellt werden.

Ziel ist es, mit dem Ergebnis, eine politische Grundsatzentscheidung für eine der untersuchten Varianten herbeizuführen. Im Anschluss (bei positivem Beschluss) würde das Theater dann die Planungsleistungen (LPH1-9 HOAI) ausschreiben. Wichtig hierfür sind insbesondere die Kostenermittlung inklusive Kalkulation (zur Übersicht der anzunehmenden Gesamtkosten und zum Heranziehen von anrechenbaren Kosten für die Vergabe der Planungsleistungen), das Herausarbeiten der Vor- und Nachteile der jeweiligen Varianten nach verschiedenen Bewertungskriterien.

Variante 1) Austausch der Glasscheiben mit 2-fach Verglasung - Einzig der Austausch der Glasscheiben ohne energetische Qualität, statische Beurteilung der Pfosten-Riegel-Konstruktion für den Einsatz neuer Scheiben nach heutigen Standards sowie Verbund und Einsatz in bestehende Konstruktion zu prüfen - Ausführung im laufenden Betrieb möglich oder nur während der spielfreien Zeit? Welche Bedingungen für Einbau erforderlich? Sind mehrere Bauabschnitte sinnvoll? - Beurteilung des Gutachters s. Gutachten

Variante 2) Austausch der Glasscheiben mit 3-fach Verglasung - wie Variante 1) - die Gläser sollen allerdings aus 3-fach verglasten Scheiben bestehen - Energetische Verbesserung bei Glasaustausch unter Beibehaltung der vorhandenen Pfosten-Riegel-Konstruktion möglich?

Variante 3) Energetische Sanierung der gesamten Fassade - Austausch der Glasscheiben und der Pfosten-Riegel-Konstruktion, um Energieeffizienz der Glasfassade zu erhöhen - Welcher energetische Standard wäre im Verhältnis Kosten/ Machbarkeit/ Energieeffizienz/ erhaltenswerte Fassade realistisch und sinnvoll?

Für alle Varianten gilt: Im Zuge des Variantenvergleichs werden folgende Leistungen erforderlich:

- Ausführung der Varianten unter Berücksichtigung folgender Aspekte: Statische Machbarkeit, energetisch bestmögliche Effizienz, Kostensicherheit, Erhalt der ursprünglichen Fassadenoptik
- Ermittlung einer Kostenaufstellung (Detailgrad erste Ebene der Kostengruppen nach DIN 276 inklusive der Prognose der anfallenden Kostengruppe 700) für alle Varianten inkl. der Ermittlung weiterer Kostenparameter (z. B. Gerüstbau, evtl. Kraneinsatz, Straßensperrung etc.).
- Definition und Auswertung weiterer entscheidungsrelevanter Kriterien (z. B. Energieeffizienz, Klimaschutz, Funktionalität, Tönungsgrade)
- Erstellung einer Grobablaufplanung unter Berücksichtigung der Vergabe-, Planungs-, Genehmigungs- und Bauphase in Abstimmung mit dem AG
- Erstellung einer Wirtschaftlichkeitsberechnung aller Varianten unter Berücksichtigung der Kosten, Bilanzdaten, Lebenszykluskosten
- Darstellung der Vor- und Nachteile der Varianten aus baulich-technischer, funktionaler und wirtschaftlicher Sicht sowie Ableitung einer Handlungsempfehlung.

3 Leistungsabgrenzungen

Planungen folgender Bereiche werden nicht durch Werner Sobek AG erbracht

- Rohbau
- Haustechnik
- Fassadenstatik
- Bauphysik

4 Planungsgrundlagen

Als Planungsgrundlagen für das Projekt sind vorhanden

- Gutachterliche Stellungnahme vom 12.12.2020/29.09.2023
- Bestandsunterlagen

Die folgenden Bestandsunterlagen liegen zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts vor und wurden gesichtet:

- Grundrisse, Ansichten, Schnitte
- Planunterlagen Kuppeldach
- Bilder Klotzbach

5 Baubeschreibung

5.1 Allgemeines/Baugrundstück

1966 wurde das Opernhaus des Theaters Dortmund eröffnet. Die gesamte Bauzeit betrug 8 Jahre. Die Stahlbetonkuppel, die das Dach darstellt, ist auf drei Fußpunkten gelagert. An den Seiten, die vom Bogen überspannt werden, befinden sich Glasfassaden. Dahinter befindet sich das Foyer und die Treppenaufgänge.



Abbildung 5-1: Vogelperspektive Bestandsgebäude (Google Earth)

Das Grundstück mit dem Bestandsgebäude befindet sich in der Innenstadt der Stadt Dortmund innerhalb des Walls. Auf dem Grundstück befindet sich der große Theaterkomplex mit folgenden Gebäuden: Opernhaus, Schauspielhaus, Funktionsriegel (Masken, Umkleiden, Proberäume etc.), Verwaltungs- und Werkstattgebäude.

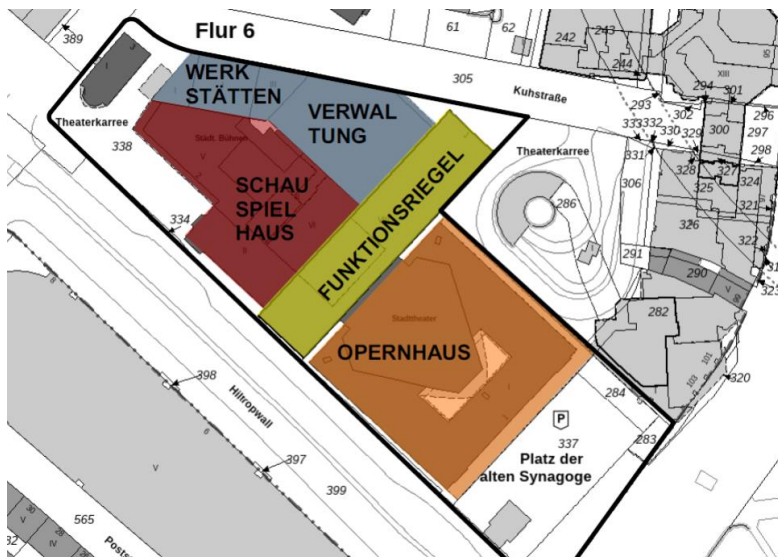


Abbildung 5-2: Lageplan (Dokument: Variantenuntersuchung Fassadensanierung, Theater Dortmund)

5.2 Fassadentypen im Gebäudebestand

Bestandsfassaden:

- FT01 – Hauptfassade
- FT02 – Windfänge
- FT03 – Atriumfassade

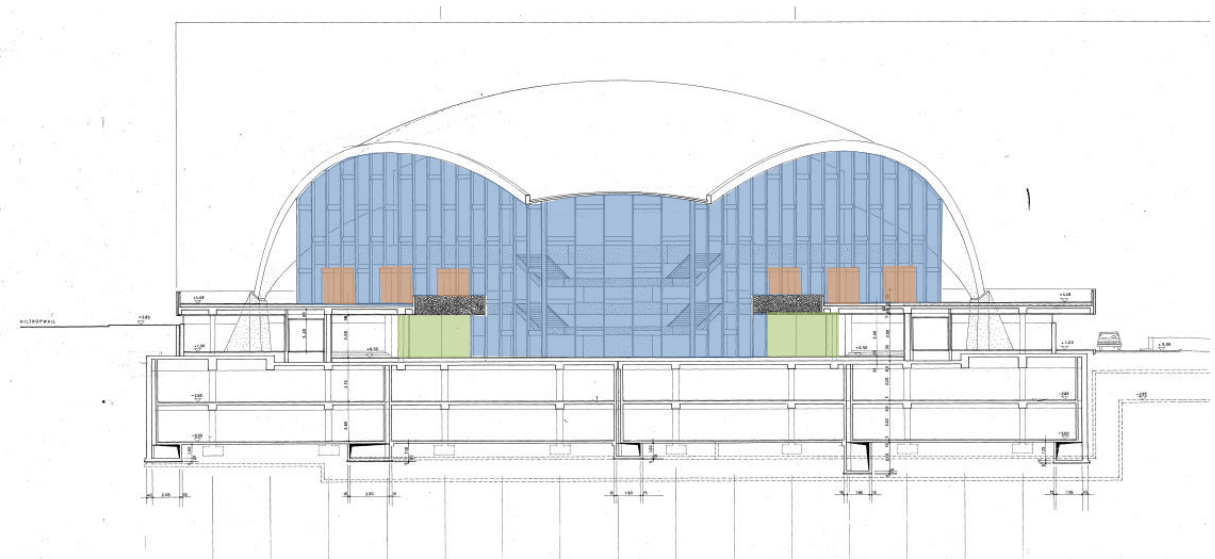


Abbildung 5-3: Ansicht Südost Fassadentypen

Für die Fassaden besteht kein Denkmalschutz. Die Anzahl der Streben, Anordnung, Farbe etc. soll trotzdem erhalten bleiben.

5.3 Planungsgrundlagen

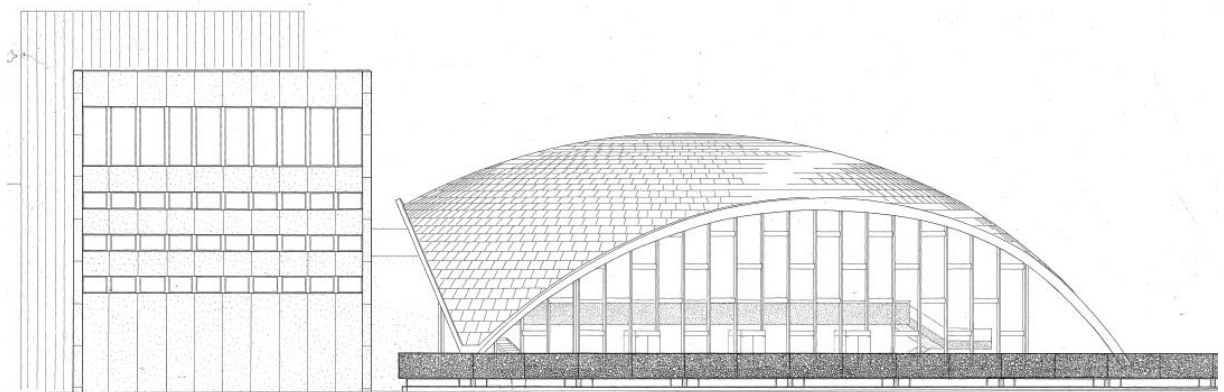


Abbildung 5-4: Ansicht Süd

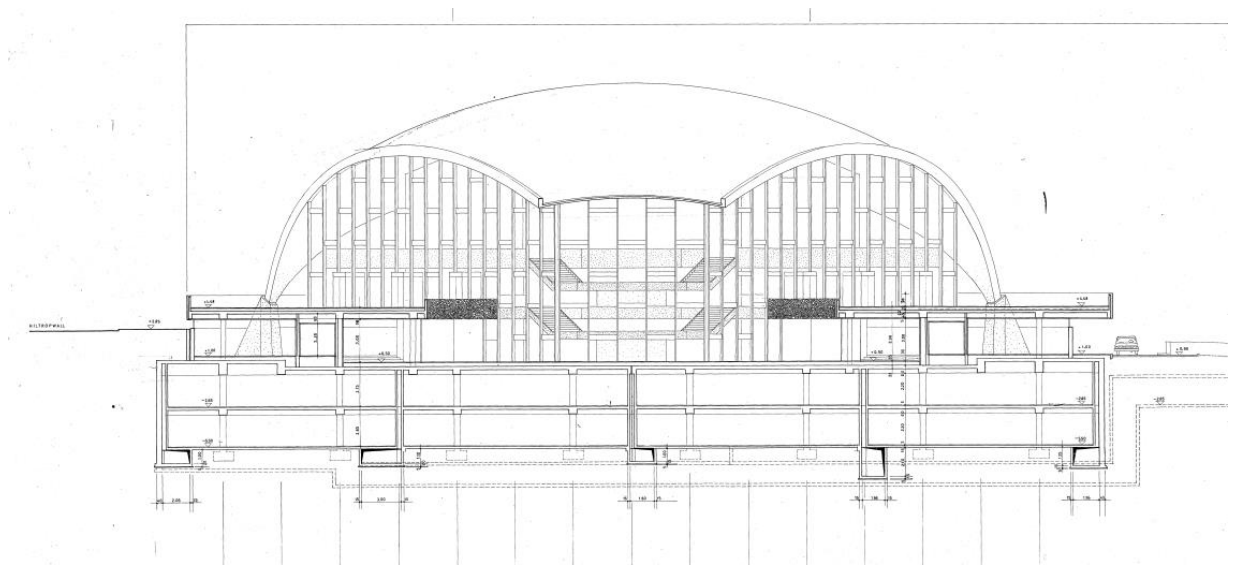


Abbildung 5-5: Ansicht/ Schnitt Südost

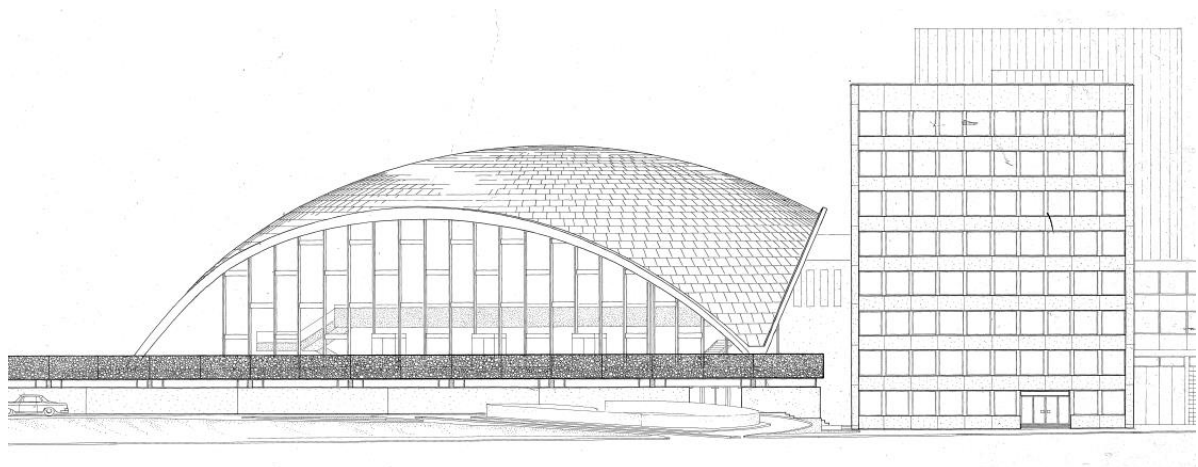


Abbildung 5-6: Ansicht Nordost

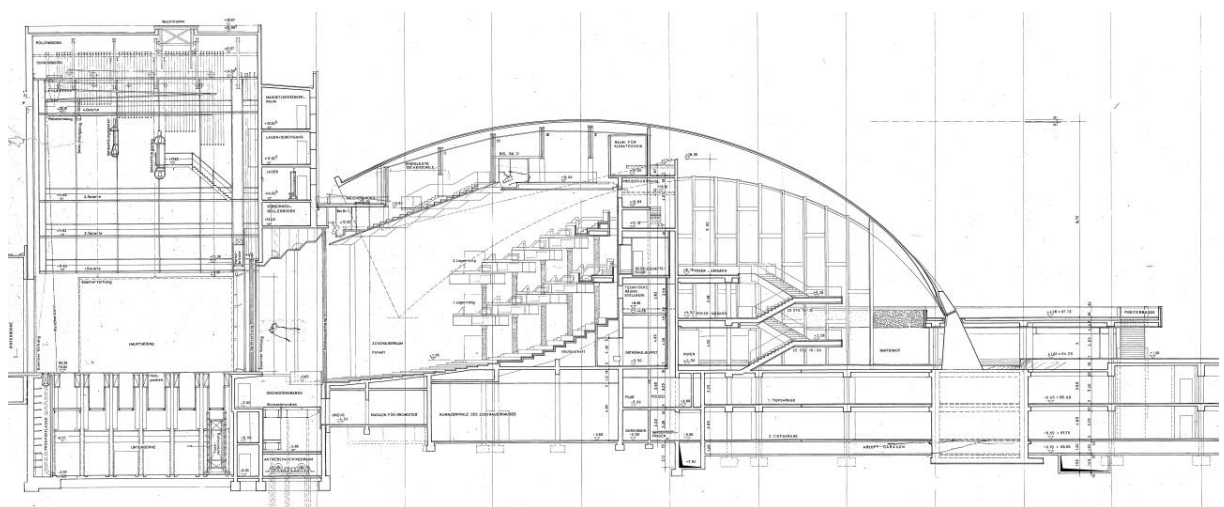


Abbildung 5-7: Schnitt

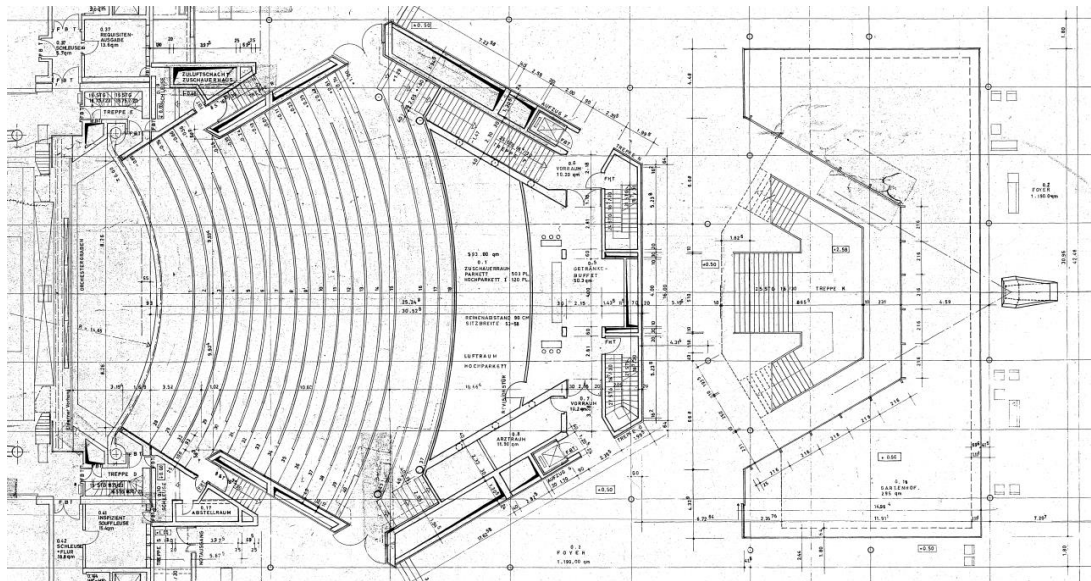


Abbildung 5-8: Ausschnitt Grundriss Erdgeschoss (Ebene Platz der alten Synagoge)

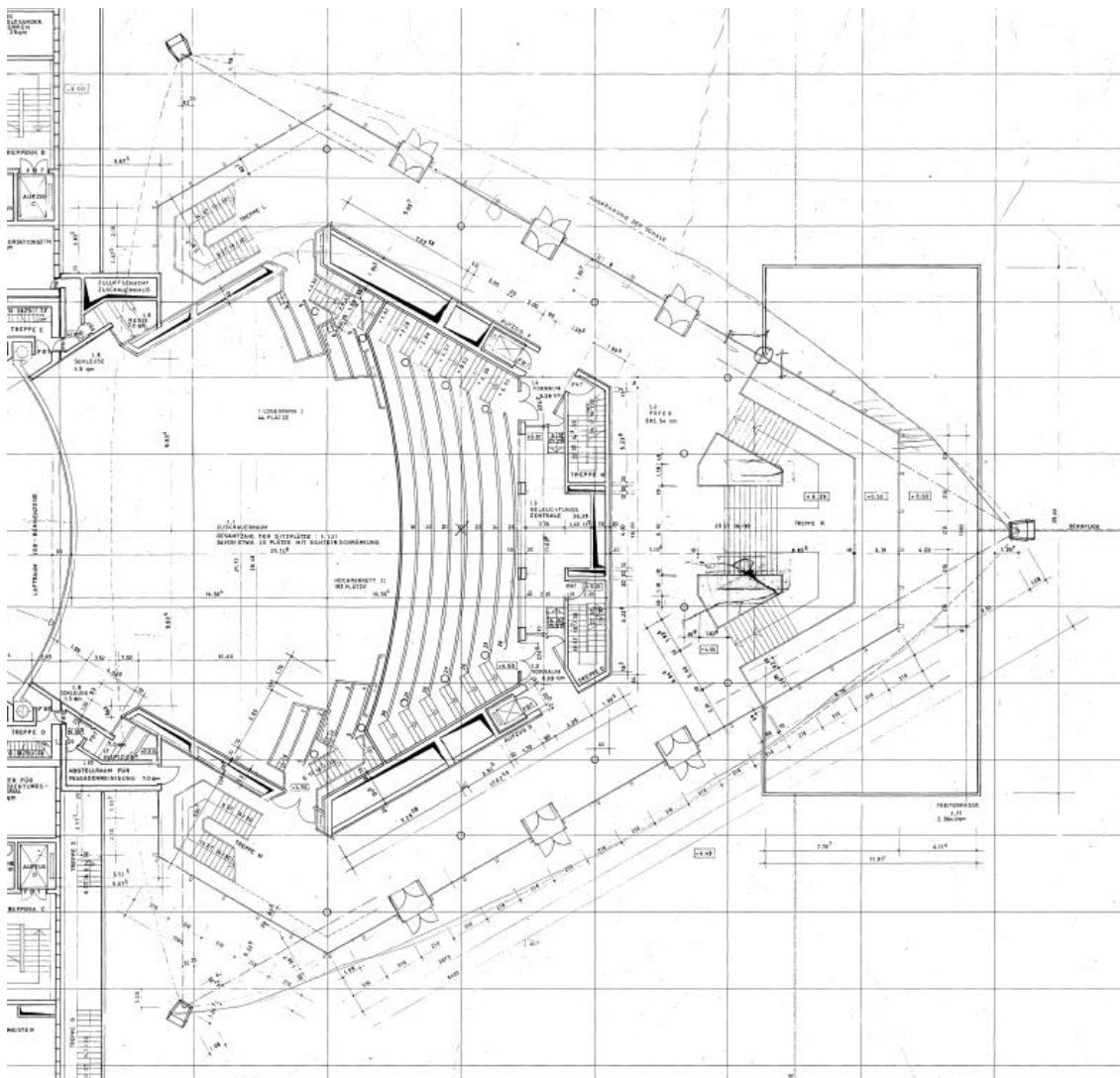


Abbildung 5-9: Ausschnitt Grundriss 1.OG (Ebene Terrasse)

5.4 Detailvorgaben

Kein Denkmalschutz
Aufteilungen, Ansichten, Farbe, etc. sollen beibehalten werden
Begrenzter Zeitraum für die Sanierungsmaßnahmen (nur in den spielfreien Zeiten), jeweils 8 Wochen über 2 Jahre
Schlecht zugängliche Fassade (Schützenswerter Boden im Innenhof)
Vogelschutzmaßnahmen sollen mit eingepreist werden

6 Bestandsaufnahme

6.1 Baustandard

Die Fassade des Opernhauses wurde 1965 errichtet, zu einer Zeit, in der es noch keine Wärmeschutzverordnung gab. Damals waren Heizkosten niedrig und Rohstoffe reichlich vorhanden, weshalb der Wärmeschutz in den 60er Jahren oft vernachlässigt wurde. Obwohl die Fassade bereits mit 2-fach Isoliergläsern ausgestattet wurde, waren Wärmeschutzbeschichtungen damals selten und wurden bei diesem Projekt nicht verwendet. Die Stahlpfosten und Riegelprofile blieben ungedämmt, was heute zu wiederkehrendem Kondensatausfall an der Innenseite der Fassade führt.

6.2 Schadstoffe

In der genannten Bauzeit wurden üblicherweise Lacke verwendet, die Lösungsmittel enthalten, um das Verstreichen zu erleichtern und die Konsistenz dauerhaft zu regulieren. Diese Lösungsmittel bestehen unter anderem aus flüchtigen organischen Verbindungen (Volatile Organic Compounds, kurz VOC). Beim Trocknen der Lacke verdunsten die enthaltenen Lösungsmittel oder der alternativ eingesetzte Glykolether und setzen die flüchtigen organischen Verbindungen in die Luft frei. Bei unsachgemäßem Umgang oder unmittelbar nach umfangreichen Bau- oder Renovierungsarbeiten kann die Konzentration der VOC in der Raumluft erheblich ansteigen und akute gesundheitliche Beeinträchtigungen verursachen.

Bis in die 1980er-Jahre wurde zudem polychloriertes Biphenyl (PCB) verwendet, das im Verdacht steht, die Schilddrüse und das Immunsystem negativ zu beeinflussen. Auch gefährliche Stoffe wie Anthracen, Dichlormethan und Naphthalin könnten im Lack von 1965 enthalten sein.

Selbst heute enthalten Lacke noch Lösungsmittel, weshalb es zwingend erforderlich ist, beim Entfernen des alten Lacks und bei der Neulackierung der Fassadenkonstruktion eine spezielle Schutzausrüstung zu tragen. Die anfallenden Rückstände müssen zudem in speziellen Deponien entsorgt werden.

6.3 Feuchteschutz

Es wird durch den Nutzer berichtet, dass es im Winter zu Kondensat an den Stahlprofilen kommt. Dies ist aufgrund der nicht thermisch getrennten Profile auch naheliegend, da die warme, feuchte Raumluft an den kühlen Oberflächen deutlich schneller kondensiert als bei warmen Oberflächen.

Grundsätzlich ist es wichtig, Konstruktionen vor Feuchtigkeit zu schützen, da einerseits feuchte Dämmmaterialien ihre Dämmwirkung verlieren (hier sind im Bestand keine Dämmmaterialien verbaut, nach aktuellem Kenntnisstand) und andererseits Tauwasser zu gesundheitsschädlicher Schimmelbildung kommen kann (z.B. an Dachkonstruktion, Anschlusssituationen,...). Entscheidend für den Feuchteschutz von Konstruktionen ist die Schlagregendichtigkeit, die Luftdichtigkeit und die Wärmedämmeigenschaft der Bauteile.

Für die Entstehung von Kondensat gibt es verschiedene Risikofaktoren:

- raumseitige Oberflächen sind zu kühl und die (relativ) feuchte Raumluft kondensiert
- Raumluft dringt durch Undichtigkeiten – speziell an Anschlüssen – in die Konstruktion und kondensiert dort an kühlen Oberflächen

Der erste Risikofaktor hängt besonders von der wärmedämmtechnischen Qualität der Außenbauteile ab. Die Qualität der Gebäudehülle eines Neubaus wäre üblicherweise aufgrund der gesetzlichen Anforderungen bereits so hoch, dass diesbezüglich mit keinerlei Problemen zu rechnen ist. Anders ist es bei der energetischen Sanierung der Fassade, wie bei dem Projekt Opernhaus. Daher müssen bei einer energetischen Sanierung die Anschlussstationen, insbesondere in den Dach- und Bodenplattenbereichen betrachtet werden, da diese Betonelemente von innen nach außen durchgehen.

Eine (erlaubte) Ausnahme bildet der Randbereich von Isoliergläsern: Hier ist aufgrund der nach aktuellem Stand der Technik nicht zu umgehenden geringfügigen Wärmebrückenwirkung des Randverbundes temporär mit Tauwasser zu rechnen. Allerdings müssen hierfür relativ niedrige Außentemperaturen erreicht werden, welche in Dortmund eigentlich gar nicht auftreten. Um das Kondensat Risiko zu minimieren, werden die Abstandhalter wo möglich als sogenannte „Warme Kante“ Warm Edge ausgebildet, d.h. anstatt des üblichen Aluminiums kommen wärmetechnisch optimierte Abstandhalter aus Edelstahl oder Kunststoff zum Einsatz.

Der zweite Risikopunkt ist durch eine durchgehende Dampfsperre auszuschließen. Dies bedeutet erstens, dass die Detailplanung der Konstruktion diesbezüglich keine Lücken aufweist. Bei den Fassadensanierung ist deshalb darauf zu achten, dass der Dampfdruckverlauf innerhalb der Konstruktion von innen nach außen abnimmt. Dies bedeutet, dass innenseitig eine dampfdiffusionsdichte Ebene (Dampfsperre) angebracht wird und außenseitig die Konstruktion diffusionsoffen und winddicht ausgeführt wird. Dazwischen ist eine ausreichende Wärmedämmung der Fassadenkonstruktion anzuordnen.

6.4 Dichtungsprofile FT01

Aktuell sind weder Belüftungsschlitze, noch Entwässerungsmöglichkeiten und der Fassadenkonstruktion zu erkennen. Und da wie zuvor beschrieben damit zu rechnen ist, dass Kondensat auch an den Glaskanten entsteht und auch bei einer Sanierung unumgänglich ist, ist es umso wichtiger Entwässerungs- und Belüftungsmöglichkeiten für den Glasfalz vorzusehen.

Insbesondere in den zurückspringenden Riegelprofilen ist die Entwässerung nicht über Schlitze in den unteren Dichtungsprofilen umsetzbar (gemäß eines Einfeldsystems) und der Glasfalz muss deswegen über die Pfostendichtung entwässert werden (Mehrfeldbelüftung und -entwässerung). Somit werden unterschiedlich hohe Dichtungsprofile für Pfosten und Riegel benötigt. Dies ist insbesondere dann umsetzbar, wenn durch den Einsatz der 3-fach Isolierverglasung der Glasfalz ohnehin größer wird. Dann kann bei der Festlegung der Glasfalzdicke die Dichtung mitbeachtet werden.

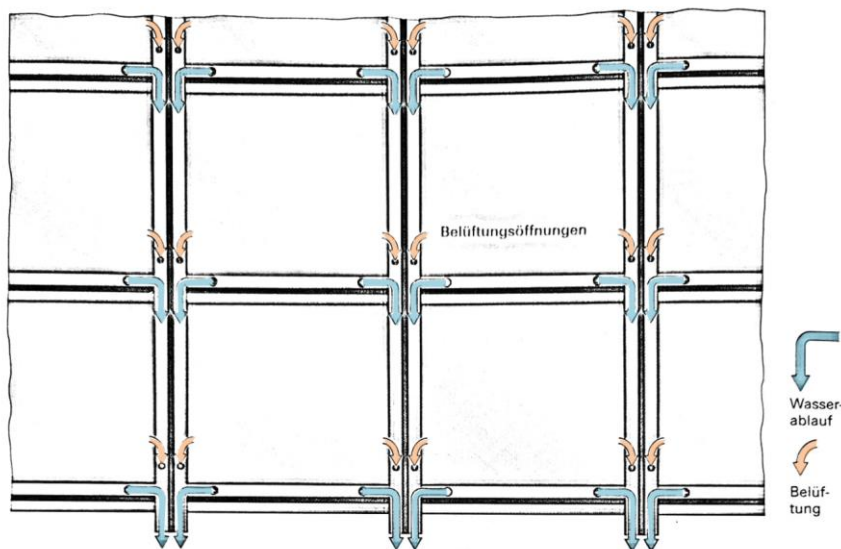


Abbildung 6-1: Prinzip der Mehrfeldbelüftung [Fenster, Türen und Fassadentechnik]

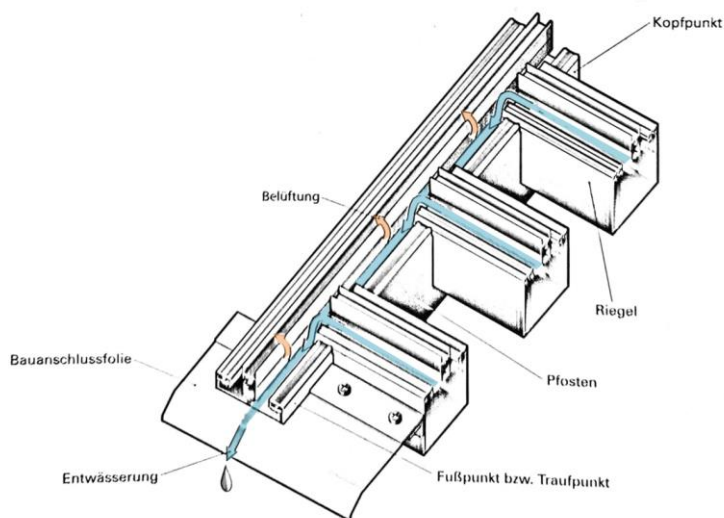


Abbildung 6-2: Belüftung und Entwässerung beim Mehrfeldsystem [Fenster, Türen und Fassadentechnik]

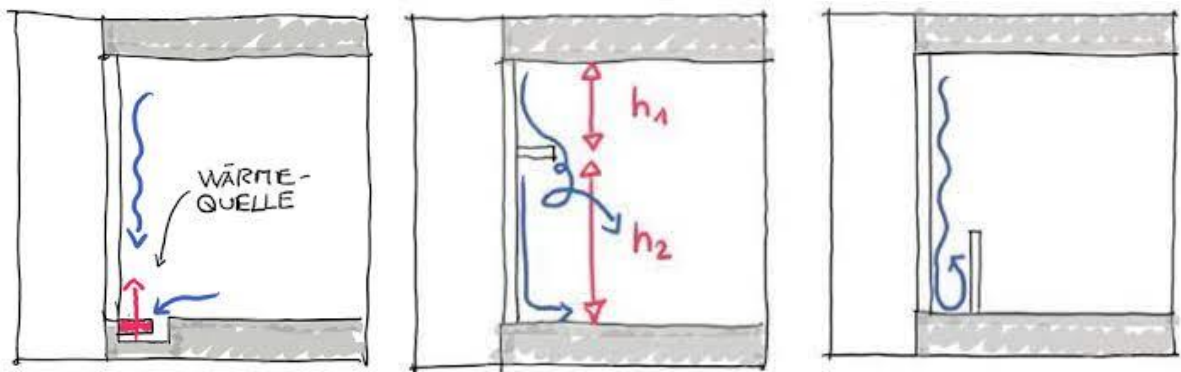
6.5 Kaltluftabfall

Außerdem sind an den Fassadenflächen der Außenfassade FT01 kniehoch Glasscheiben angebracht. Diese dienen nach Aussage der Nutzer dazu, dass die Heizwärme der Heizkörper nicht direkt über die Fassade nach außen gelangen kann. Es ist allerdings auch naheliegend, dass diese Glasscheiben auch Zugerscheinungen durch Kaltluftabfall minimieren sollen.



Abbildung 6-3: Kniehohe Verglasungen am Fußpunkt der FT01 Außenfassade (Begehung 11.07.2024)

Ein spürbarer Kaltluftabfall kann entstehen, wenn die Innenraumluft an der Fassade besonders kalt ist und nach unten „abfällt“. Insbesondere bei hohen Fassaden kommen schnell hohe Luftgeschwindigkeiten zustande. Eine Reduktion ist möglich durch:



Wärmequelle am Fußpunkt

Fallbremsen

Auffangvolumen

Bei einer energetischen Sanierung der Fassade ist die Möglichkeit des Auftretens von Kaltluftabfall zu prüfen und gegebenenfalls kann durch die wärmeren Oberflächentemperaturen im Fall einer energetischen Sanierung und durch die bereits vorhandenen Wärmequellen auf die Glasscheiben verzichtet werden.

6.6 Verglasung

Die Verglasungen sind gemäß dem Gutachten vom 12.12.2020 vom Sachverständigenbüro Achenbach ohne Wärmeschutzbeschichtung ausgeführt. Der Glasaufbau wird den Bestandsunterlagen entnommen, kann aber möglicherweise etwas abweichen. Durch die Analyse der Reflexionen im oben erwähnten Gutachten ist aber klar, dass es sich um 2 Einzelscheiben handelt. Aufgrund der Bruchbilder an ein paar Stellen im Gebäude ist zu erkennen, dass das Glas nicht vorgespannt, sondern in Floatglas Qualität ausgeführt wurde (TVG wird erst seit 1985 produziert).



Abbildung 6-4: Glasbruch in Bestandsfassade

Bauphysikalische Eigenschaften	Glastyp 1 - Fassade
	Von außen nach innen: 7 mm Glas 12 mm SZR (Luft) 7 mm Glas 26 mm Gesamtdicke

Die Türen im Windfang bestehen aus Ganzglastüren aus Einfachverglasungen.

6.7 Konstruktion FT01 – Außenfassade

Die Außenfassade ist flächenmäßig der größte Bestandteil des Gebäudes und umfasst etwa 1070 m². Sie besteht aus Stahlpfosten und -riegeln und zeichnet sich dadurch aus, dass die gesamte Fassadenstruktur verschweißt ist, ohne Steckverbindungen. Das statische System der Fassade ist so konzipiert, dass sie auf den Fußpunkten steht und an der Decke über ein Loslager gehalten wird.

Das Fassadendesign ist besonders durch die abwechselnden Vor- und Rücksprünge geprägt: Jedes Feld springt etwa 320 mm nach außen oder nach innen. Die nach innen springenden Bereiche sind etwa 2500 mm breit, während die nach außen springenden schmaler sind und eine Breite von etwa 1500 mm haben. Diese Struktur erfordert, dass die Verglasung in den nach innen springenden Bereichen von innen und in den nach außen springenden Bereichen von außen eingebracht wird. Allerdings ist schon beim ersten Kontrollieren der Maße aufgefallen, dass die Felder in den Breiten variieren.

Die nach innen springenden Bereiche sind mit einem breiten Riegel von etwa 260 bis 300 mm ausgestattet, während die Riegel in den nach außen springenden Bereichen Abmessungen von etwa 80 x 80 mm bzw. 90 mm haben.

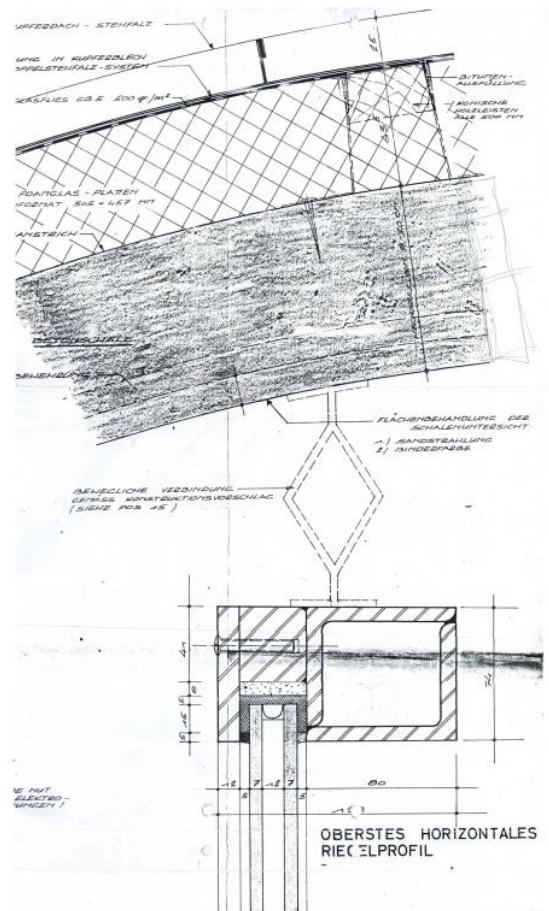


Abbildung 6-5: Innenansicht Südost (Begehung 11.07.2024), Detailschnitt (links) [Bestandsunterlagen]

Die Situation am Loslager (Kopfpunkt) ist nicht klar einzusehen. Allerdings gibt es insbesondere auf der Südostseite der Fassade starke Korrosionen an den oberen Anschlusspunkten. Es ist davon auszugehen, dass die Abdichtung des Dachs oberhalb der entsprechenden Loslager mit der Zeit undicht geworden ist. Diese müssen in jedem Fall ertüchtigt werden.



Abbildung 6-6: Korrodiertes Kopfpunktanschluss an Südostfassade mit ausgebrochenem Beton des Dachs (Begehung 11.07.2024)

Insbesondere unter den korrodierten Loslagern sind starke Wasserlaufspuren an den Fassadenprofilen zu erkennen. Diese sind vorwiegend auf die Undichtigkeiten zurückzuführen, können aber auch durch das anfallende Kondensat (durch die nicht vorhandene thermische Trennung) in den Wintermonaten entstehen.



Abbildung 6-7: Wasserlaufspuren innenseitig (links), Beschädigter Lack (rechts) (Begehung 11.07.2024)

Die Polyurethan-Dichtungen sind zum größten Teil altersbedingt beschädigt und müssen ausgetauscht werden, da durch undichte Stellen Wasser in den Glasfalzbereich eintreten kann. Von außen ist keine Maßnahme zu Entwässerung des Glasfalzes zu erkennen. Dadurch sind Korrosionsschäden im Glasfalzbereich nicht auszuschließen.



Abbildung 6-8: Gealterte, beschädigte Dichtungen (links: Begehung 11.07.2024, rechts: Gutachten 12.12.2020)

Außerdem wird davon berichtet, dass manchmal tote Vögel an der Fassade liegen, die durch den Anprall auf die Glasfassade gestorben sind. Die Situation vor Ort sollte durch einen Ornithologen bewertet werden.



Abbildung 6-9: Vermutlich Abdrücke von einem Vogelanprall auf Glasscheiben im Bestand (Begehung 11.07.2024)

Neben dem Vogelanprall gibt es auch Nistplätze an der Fassade, wie rechts im Bild zu sehen. Durch kleine Nischen an der Fassade können Vögel so einen Platz zum Nisten oder zum Sitzen finden. Auf Fassadenbereiche, an denen Abwehrmaßnahmen (Spikes) fehlen gibt es zum Teil sehr starke Verschmutzungen durch Vogelkot.



Abbildung 6-10: Stark verschmutzte Fassadenbereiche durch Vogelkot und Nistplätze in Fassadennischen (Begehung 11.07.2024)

6.8 Konstruktion FT02 – Windfänge

Die Windfänge befinden sich in einem sehr schlechten Zustand. Sie dienen lediglich als Notausgänge und eine Tür auf der Nordostseite wurde ausgetauscht, sodass diese regelmäßig genutzt werden kann.



Abbildung 6-11: Außen- und Innenansicht Windfang Nordostseite (Begehung 11.07.2024)

Die Windfangkonstruktion ist ebenfalls als (vermutlich) ungetrennte Stahlkonstruktion ausgeführt. Die Konstruktion ist an den Fußpunkten z.T. korrodiert. Die Außen- und Innentüren sind aus Monoverglasungen hergestellt und bieten somit wenig Wärmeschutz.



Abbildung 6-12: Korrodierte Fußpunkte an Windfangkonstruktion (Begehung 11.07.2024)

Da es sich um Notausgangstüren handelt, wäre durch einen Brandschützer zu prüfen, welche Beschläge nach heutigem Standard eingesetzt werden müssen, um die Fluchtung nicht ortskennlicher Personen sicherzustellen.

6.9 Konstruktion FT03 - Atriumsfassade

Die Atriumsfassade besteht aus großformatigen 2-fach Isolierverglasungen und einer schmalen Fensterkonstruktion. Die Anschlussituation ist an der Atriumsfassade nicht einsehbar. Zusätzlich empfehlen wir eine Reinigung der Betonbrüstung oberhalb der Fassade, die der kosmetischen Verbesserung der Optik dient.



Abbildung 6-13: Innenansicht Atriumsfassade (links), Außenansicht Atriumsfassade (rechts) (Begehung 11.07.2024)

An der Südostseite der Atriumsfassade befinden sich zwei großflächige Schiebetüren, die den Zugang zum Innenhof ermöglichen. Der Innenhof wird derzeit hauptsächlich zu Reinigungszwecken betreten. Die Türen sind ebenfalls nicht thermisch getrennt und befinden sich in einem schlechten Zustand. Die Bürstendichtungen sind spröde und haben sich aus ihrer vorgesehenen Position am Rahmen gelöst.

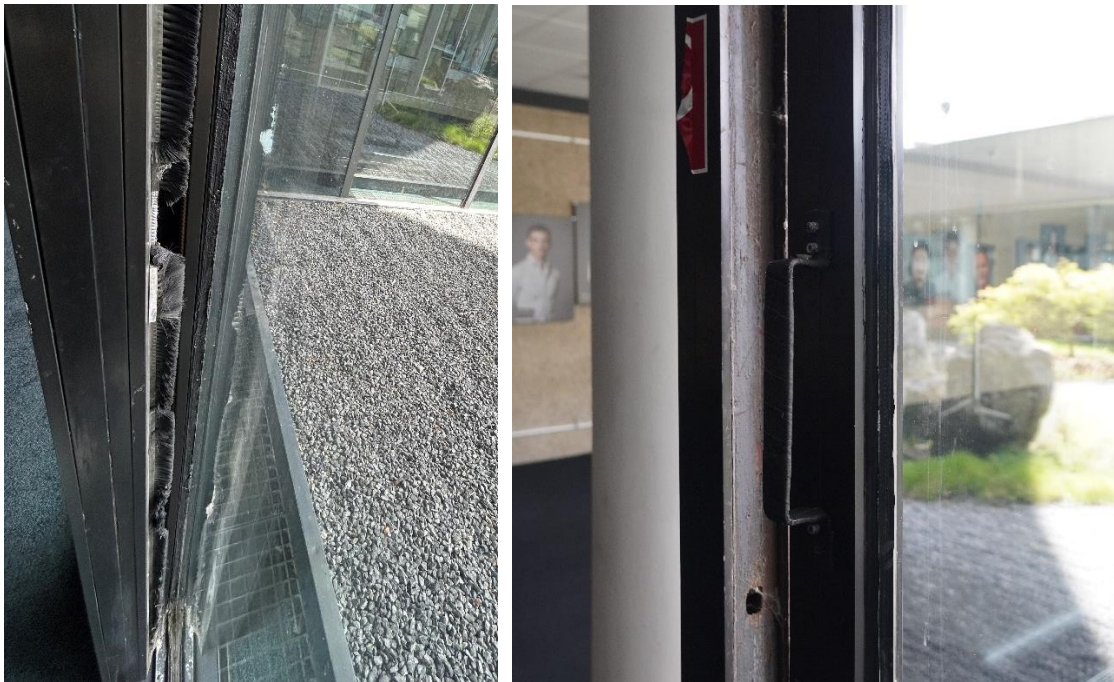


Abbildung 6-14: Schiebetür Atriumfassade (Begehung 11.07.2024)

7 Variantenuntersuchung

7.1 Varianten FT01

Bei den Varianten 1 und 2a soll ausschließlich der Austausch der Gläser betrachtet werden. Bei Variante 1 erfolgt der Austausch durch eine 2-fach Isolierverglasung. Bei Variante 2a wird hingegen eine 3-fach Isolierverglasung eingesetzt. Da die 3-fach Isolierverglasung dicker ist als die vorhandene Verglasung, müssen zur Anpassung Distanzblöcke hinter den Glashalteleisten angebracht werden. Dies gilt ebenfalls für die nach innen versetzten Fassadenbereiche, in denen die Glashalteleisten innen angebracht sind und die Riegel in diesen Bereichen sehr breit sind.

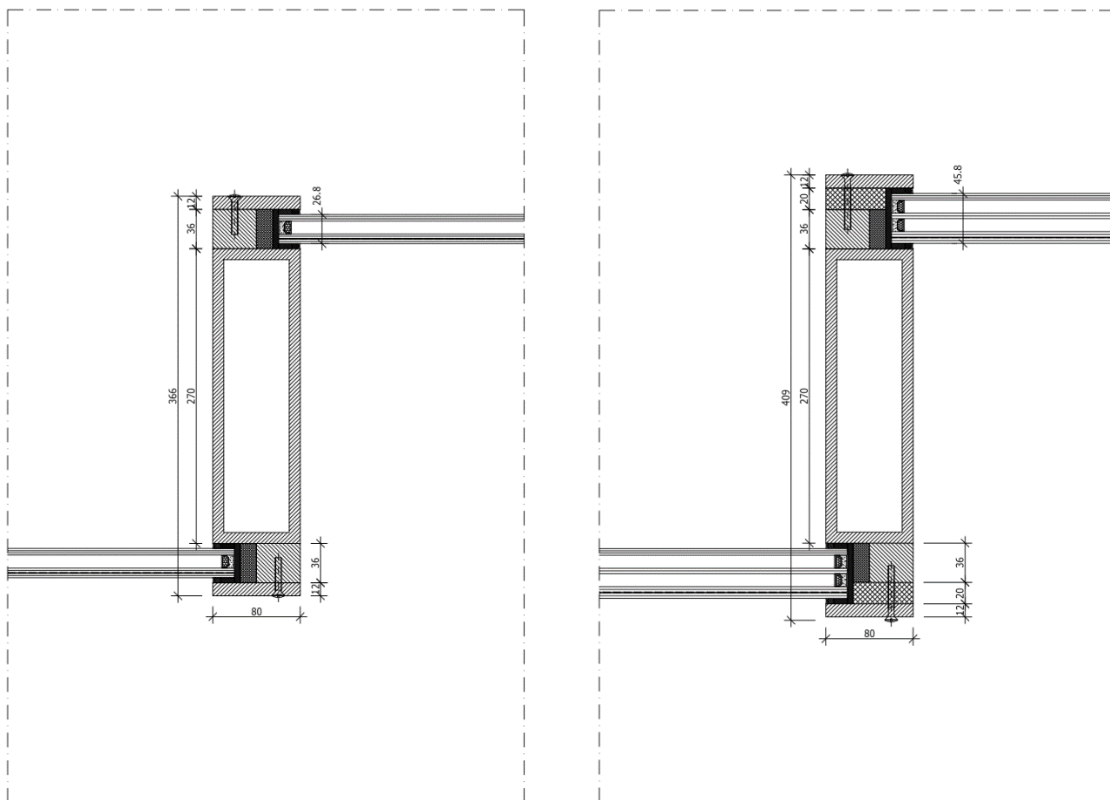


Abbildung 7-1: Variante 1 (links), Variante 2a (rechts), schematische Darstellung basierend auf Annahmen

In den Varianten 2b und 3 sind wärmetechnische Verbesserungen vorgesehen. Variante 2b stellt im Vergleich zu den Varianten 1 und 2a eine energetisch optimierte Lösung dar, während gleichzeitig die Stahlstruktur erhalten bleibt – ein wesentlicher Vorteil gegenüber Variante 3, die den Rückbau der Stahlkonstruktion erfordern würde. Die Erhaltung der Stahlstruktur in Variante 2b ist nicht nur energetisch vorteilhaft, sondern auch deutlich nachhaltiger. Die Herausforderung besteht jedoch darin, dass die verspringende Struktur der Fassade eine energetische Sanierung erschwert. Denkbar wäre, an den großen Stahlpfosten Vakuumisolierpaneele mit einer Dicke von etwa 20 mm anzubringen und diese mit Stahlblech zu verkleiden. Auch im Bereich der zurückspringenden Riegel müsste eine geeignete Dämmung angebracht werden. Diese Situation erfordert eine genaue Betrachtung in der Planungsphase. Durch die zusätzliche Dämmung verändern sich jedoch die Ansichtsbreiten.

Bei Variante 3 wird die alte Fassade im Gesamten zurückgebaut und komplett neu wärmetechnisch verbessert wieder eingebaut. Um die Ansichtsbreite zu behalten, wird der Pfosten schmaler ausgeführt werden als um Bestand.

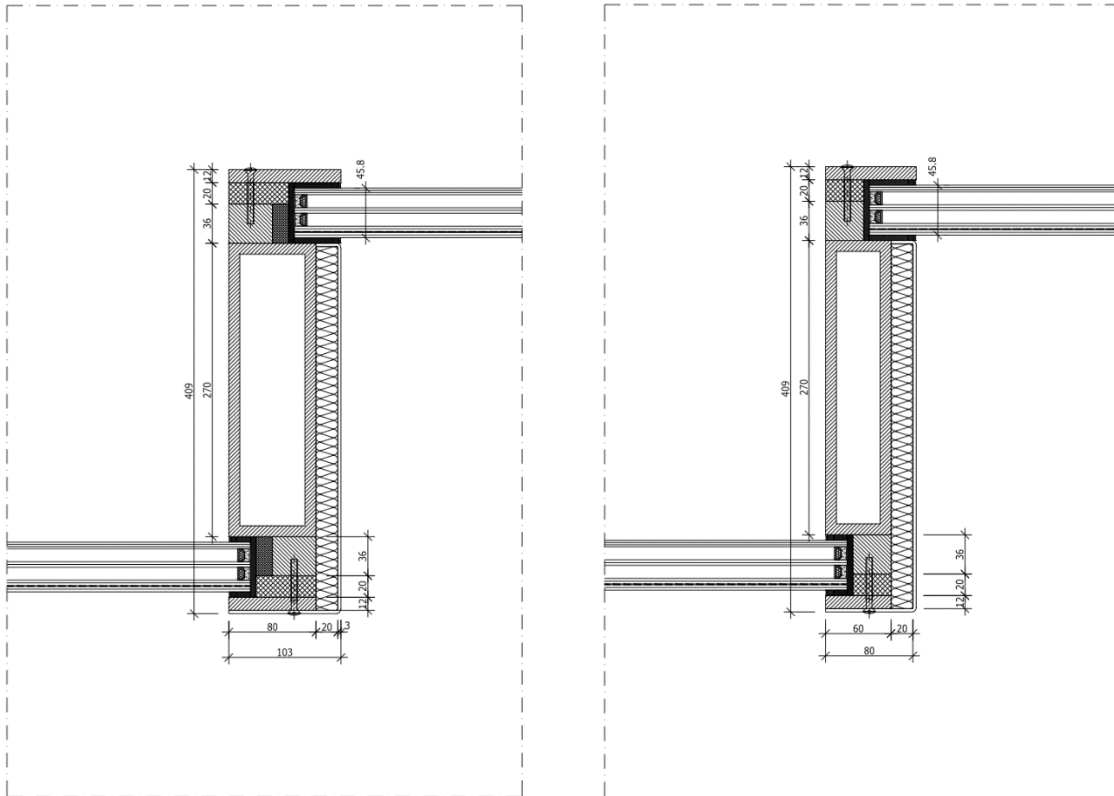


Abbildung 7-2: Variante 2b (links), Variante 3 (rechts), schematische Darstellung basierend auf Annahmen

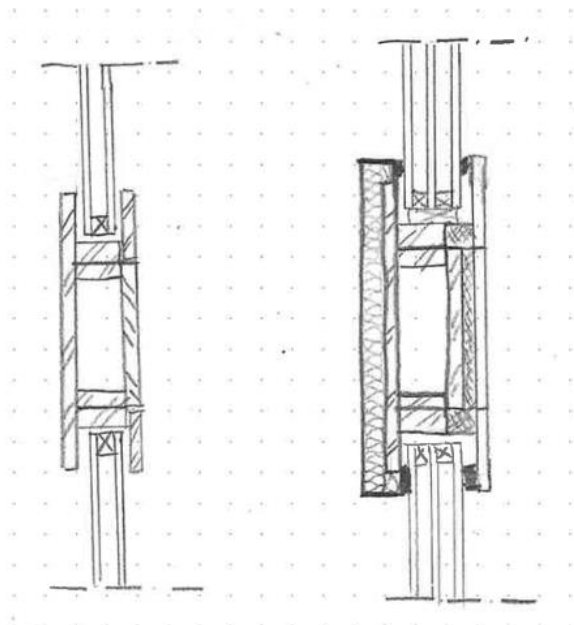


Abbildung 7-3: Bestandsriegel zurückspringender Bereich (links), ertüchtigter Riegel (rechts) (Die Geometrie basiert auf einer Annahme)

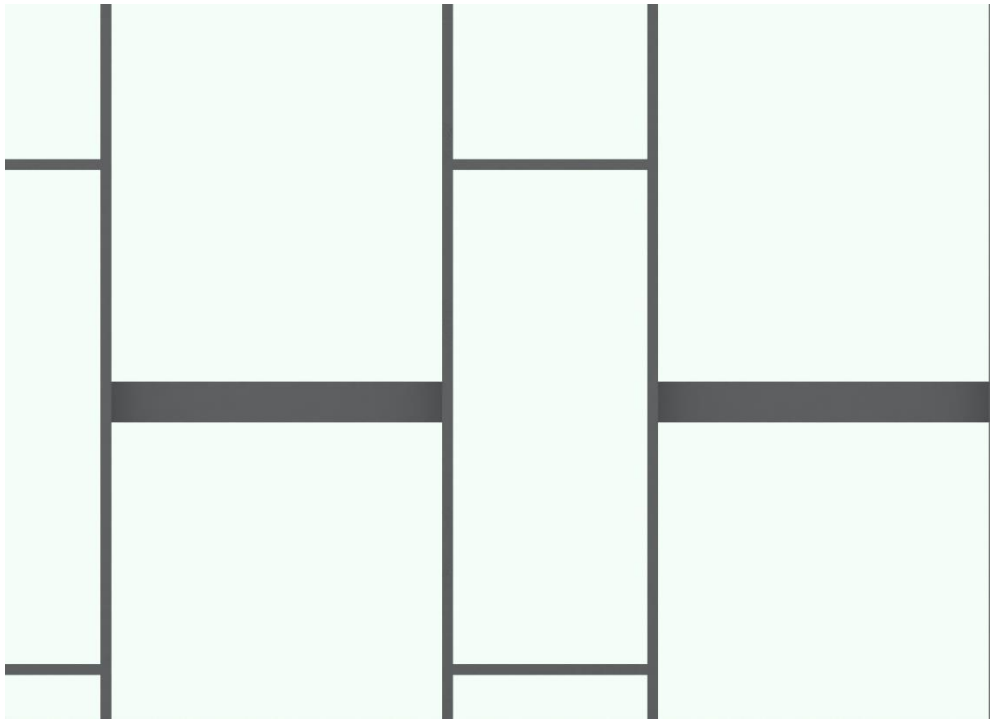


Abbildung 7-4: Teilansicht Bestand

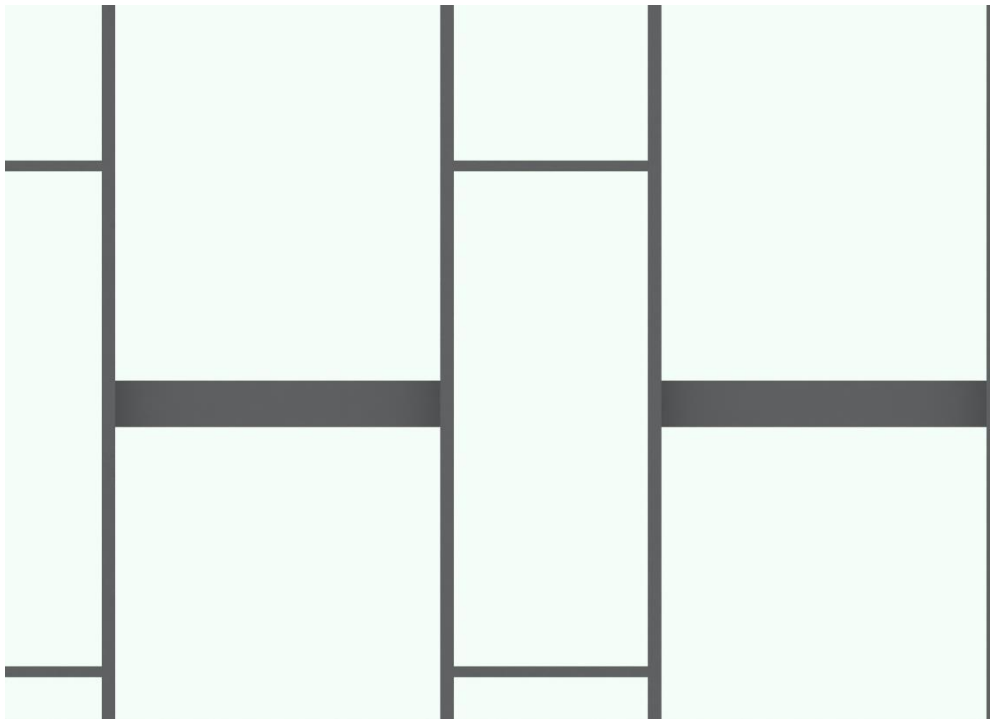


Abbildung 7-5: Teilansicht Variante 2b

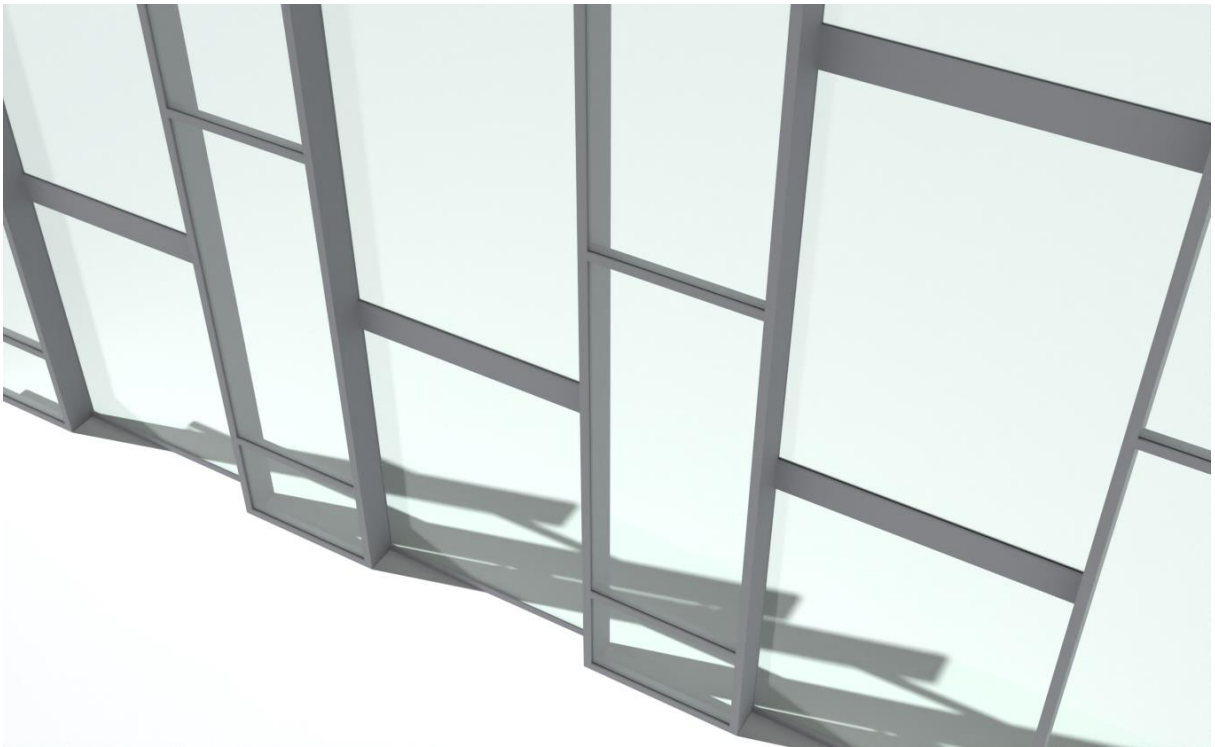


Abbildung 7-6: Perspektive Bestand



Abbildung 7-7: Perspektive Variante 2b

7.2 Statische Vordimensionierung FT01

Es soll untersucht werden, ob die vorhandene Stahlstruktur auch für die Verwendung schwererer Gläser z.B. 3-fach Isolierpaneele geeignet wäre (Variante 2a und 2b). Außerdem wurde untersucht, ob die Stahlstruktur auch durch schmalere Pfosten ersetzt werden könnte, um die Ansichtsbreite zu erhalten (Variante 3).

Die Riegelkonstruktion im zurückspringenden Bereich ist von außen nicht direkt erkennbar. Wir sind bei unseren Berechnungen davon ausgegangen, dass an dem Stahlflach im Bereich der Glasaufleger ein durchgängiges Auflager aufgeschweißt ist. Möglicherweise handelt es sich auch um ein Riegelprofil, welches ein Rechteckprofil aufgeschweißt hat.

Für die Berechnungen gehen wir von den aufgeschweißten Flachstählen aus, da das der schlechtere Fall ist.

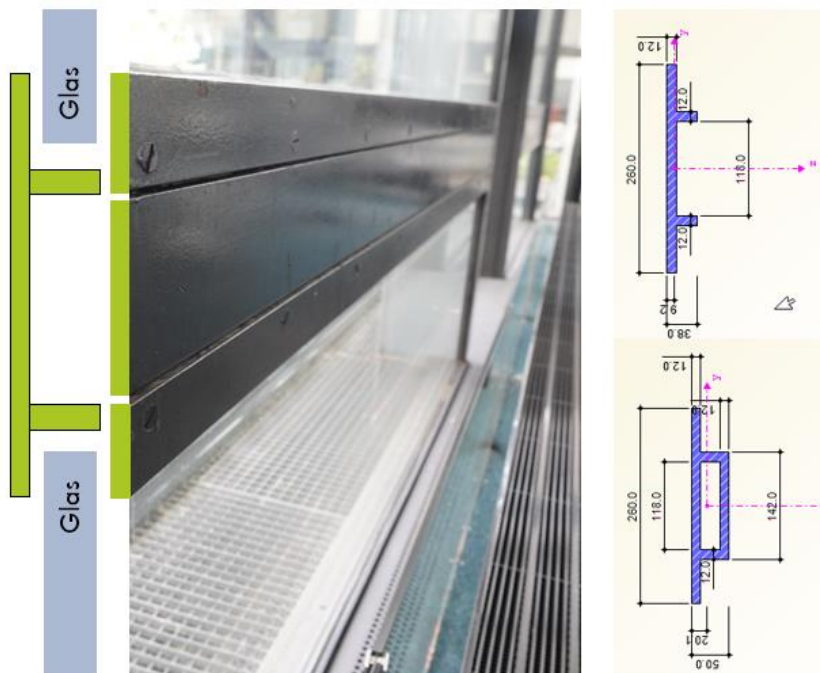


Abbildung 7-8: Annahme der Geometrie für die Riegelkonstruktion im zurückspringenden Bereich als Grundlage der Berechnungen

Ein Modell der Stahlkonstruktion der Fassade wurde in RFEM erstellt. Dabei wurde angenommen, dass Stahl der Güte S235 verwendet wurde. Diese Struktur ist den Windlasten, dem Glasgewicht und ihrem Eigengewicht ausgesetzt.

Da Dortmund in der Windzone 1 liegt, können die Windlasten, die auf die Struktur wirken, berechnet werden. Diese betragen $\pm 0,52 \text{ kN/m}^2$ für die Windlast bei Druck und Sog.

Für das Gewicht der Verglasung wird das Eigengewicht des Glases von 35 kg/m^2 angenommen, was der aktuellen Situation (bestand und Variante 1) entspricht. Daraus ergibt sich eine maximale Durchbiegung am ELS von $33,9 \text{ mm}$, wobei die maximal zulässige Durchbiegung $44,7 \text{ mm}$ beträgt.

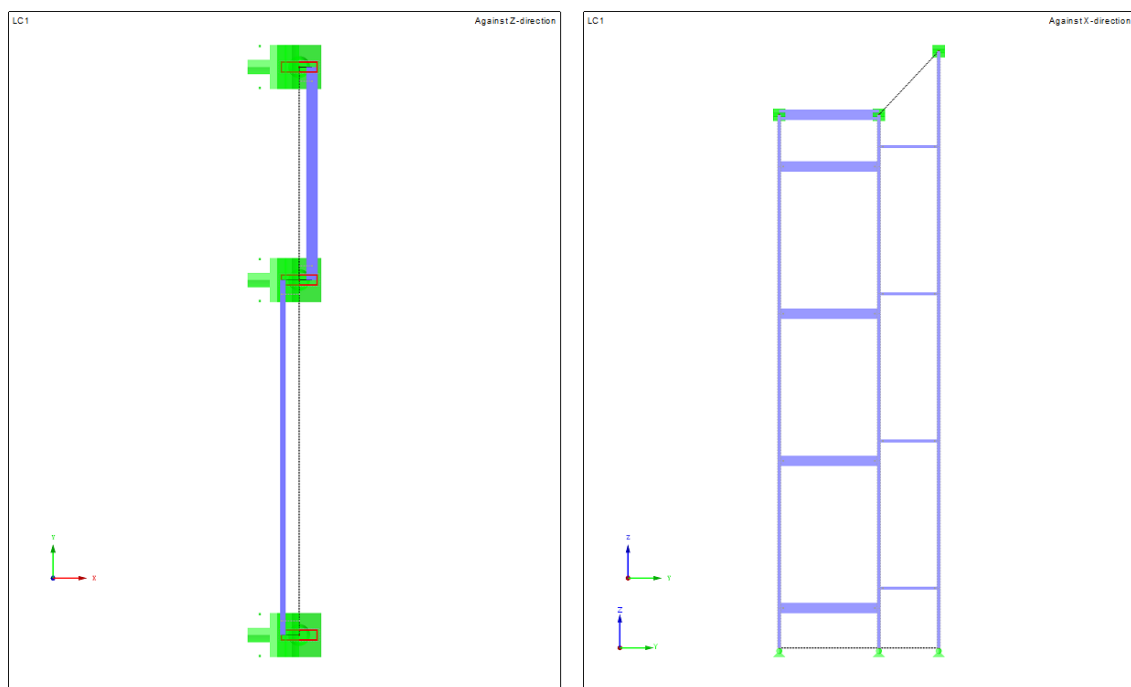


Abbildung 7-9: Modell für die statische Vordimensionierung

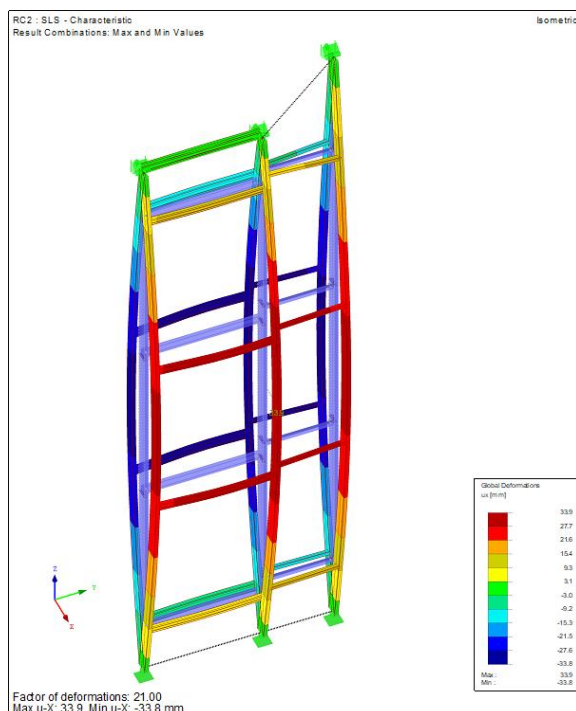


Abbildung 7-10: Verformungen (Bestandssituation und Variante 1)

Anschließend wird die Berechnung erneut durchgeführt, diesmal jedoch mit einem Eigengewicht des Glases von 70 kg/m^2 (Variante 2a, 2b). Die resultierende Durchbiegung beträgt $34,4 \text{ mm}$. Dies ist nur geringfügig höher und weiterhin akzeptabel. Es ist zu erkennen, dass hier die Windlasten und nicht die Eigengewichtslasten des Glases entscheidend sind.



Abbildung 7-11: Verformungen Variante 2a und 2b

Schließlich wird eine letzte Berechnung durchgeführt, bei der die Breite der Stahlprofile auf 60 mm (anstatt zuvor 80 mm aus Variante 3) reduziert wird. Die Durchbiegung ist dabei mit 40,4 mm höher, aber immer noch innerhalb der zulässigen Grenzen. Zusätzlich kann hier auch die Materialgüte geändert werden, da es sich um eine komplett neue Konstruktion handelt.



Abbildung 7-12: Verformungen Variante 3

Für das Tragwerk sollte ein Gutachten erstellt werden, dass es die neuen Fassadenlasten aufnehmen kann.

In den Bestandsunterlagen ist zu erkennen, dass durch einen Versatz in der Decke ein verstärkter Bereich vorhanden ist und wie ein Randträger fungiert.

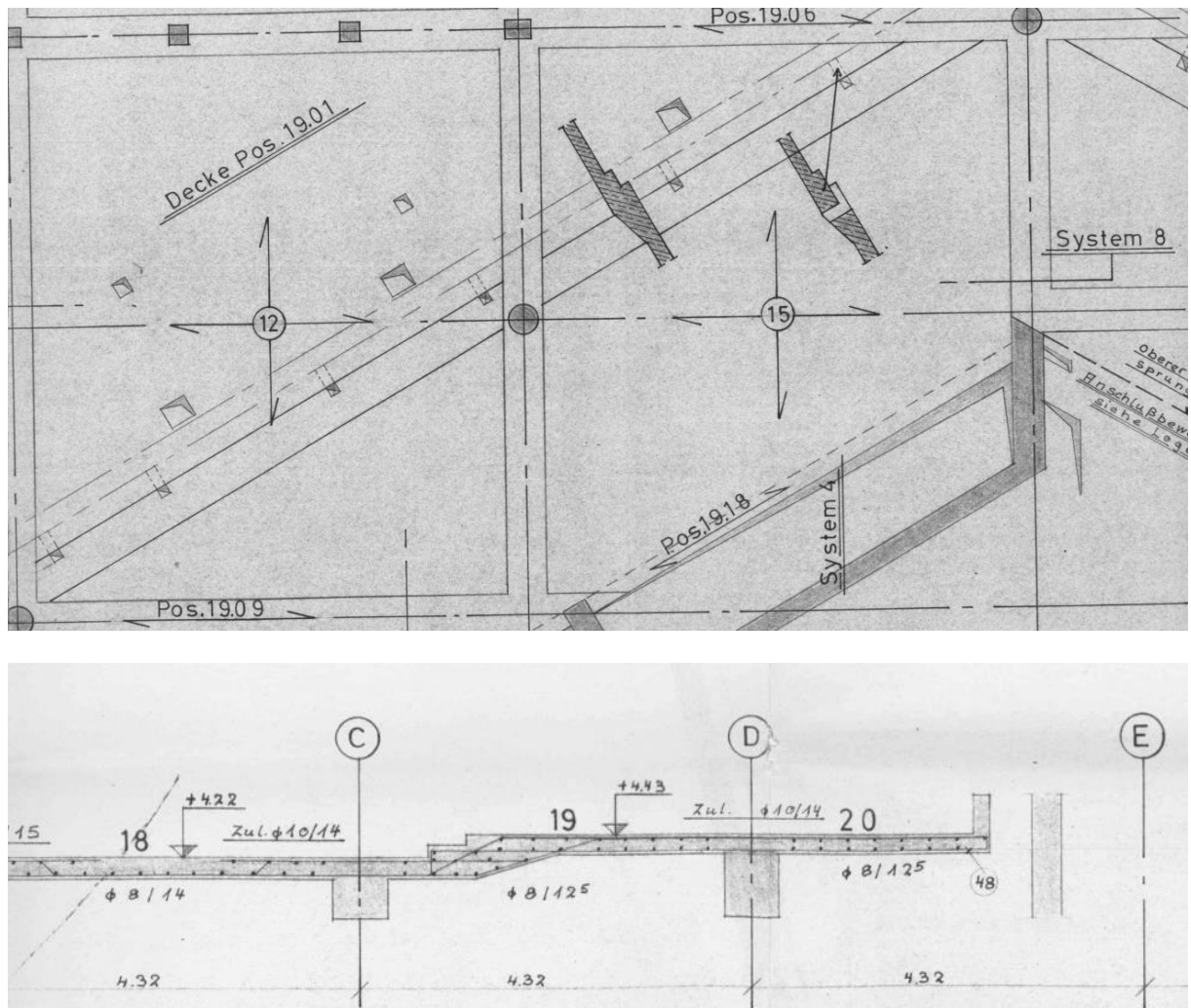


Abbildung 7-13: "Randbalken" der Decke unterhalb der Fassade [Bestandsunterlagen]

7.3 Wärmebrücken FT01

Es wurden erste vereinfachte Berechnungen zum bauphysikalischen Verhalten der Varianten durchgeführt. Es ist klar zu erkennen, dass der Tausch der Glasscheiben von 2-fach auf 3-fach Isolierverglasung keine Verbesserung der Wärmebrücken im Pfosten darstellt. Die Oberflächentemperatur bleibt nach wie vor sehr niedrig und würde weiterhin zu Kondensat in den Wintermonaten führen. Eine Möglichkeit, die weiter auf die Machbarkeit untersucht werden könnte, ist das Einbringen von Heizdrähten, um die Oberflächentemperatur zu erhöhen und somit dem Kondensat und dem Kaltluftabfall entgegenzuwirken. Dies steht aber den Heizkosten und der Nachhaltigkeit gegenüber.

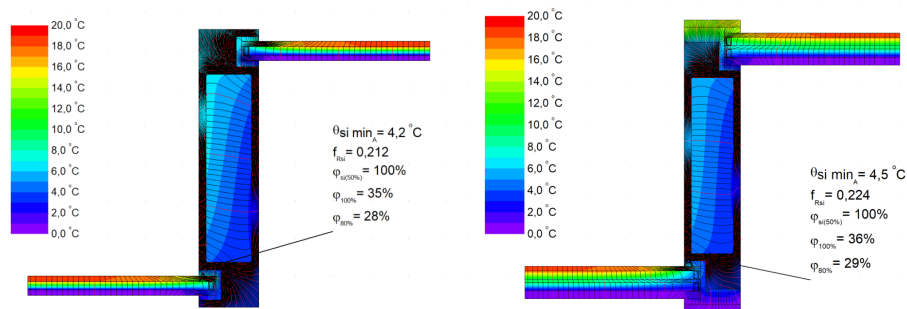


Abbildung 7-14: Wärmebrückenberechnung basierend auf Annahmen für Variante 1 (links), Variante 2a (rechts)

Die Ertüchtigung der Pfosten durch ein Vakuumisolierpaneel kann die thermische Situation im Gebäudeinneren deutlich verbessern und Kondensat ist weniger wahrscheinlich.

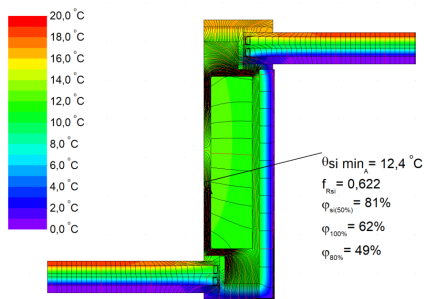


Abbildung 7-15: Wärmebrückenberechnung basierend auf Annahmen für Variante 2b

7.4 Stahlkonstruktion

7.4.1 Entlacken der Stahlprofile

Die Stahlteile müssen aufgrund der verschweißten Fassadenstruktur Vor-Ort entlackt werden. Grundsätzlich gibt es drei Arten der Entlackung, wobei nur die mechanische Entlackung für das Projekt Opernhaus in Frage kommt. Eine Thermische oder chemische Entlackung kann aufgrund der benötigten Temperaturen bzw. der benötigten Chemiebäder (nur in Fertigungshallen möglich) nicht zum Einsatz kommen.

Das mechanische Entlacken kann mittels Sandbestrahlung erfolgen. Hierbei muss die Schadstoffbelastung der vorhandenen Beschichtung beachtet werden. Bei dem Verfahren wird ein Strahlmittel, z.B. Korund, Granatsand oder Kunststoff, mit hoher Geschwindigkeit und hohem Druck durch Hilfsmittel wie Druckluft, Dampf oder Presswasser, auf die zu behandelnde Oberfläche geschleudert. Das Sandstrahlen kann sowohl zum Abtrag des Lackes als auch zur Aufbereitung der Oberfläche verwendet werden. Verfahrensabhängig entstehen raue bis samtartige Oberflächen.



Abbildung 7-16: Sandstrahlen [Fotoquelle Maler Hoog, Gengenbach]

Trockeneisstrahlen und Wirbelstromstrahlen eignen sich nicht, da sie weniger abrasiv wirken und somit sehr viel mehr Zeit in Anspruch nehmen und vorwiegend für die Reinigung von Oberflächen verwendet werden.

Für die Entlackung wird empfohlen einen Entlacker frühzeitig am Gebäude eine Testentlackung durchzuführen, da die Schichten des bestehenden Lacks unklar sind. Durch eine Testentlackung kann eine sehr präzise Angabe über die benötigte Zeit erstellt werden. Gleichzeitig sollte auch der Lackierer, der die neue Beschichtung auftragen wird, ebenfalls vor Ort sein, um die freigelegte Stelle wieder zu lackieren und ebenfalls gesicherte Aussagen zur benötigten Zeit treffen zu können.

Bei planen Flächen kann die Zeit für die Entlackung $30 \text{ m}^2/\text{h}$ betragen. Bei der Profilgeometrie, die beim Opernhaus vorliegt, wird die Entlackung deutlich mehr Zeit in Anspruch nehmen. Für die Zeitkalkulation gehen wir aktuell von $3 \text{ m}^2/\text{h}$ aus.

Außerdem darf bei der Umsetzung zwischen der Entlackung der Profile und der Neubeschichtung nicht viel Zeit dazwischenliegen (für den Zeitplan geben wir max. 2 Tage vor), um Flugrost an den unbeschichteten Stahlteilen zu vermeiden. Der Ablauf muss also sehr präzise definiert sein, sodass immer im Wechsel zwischen den Fassadenseiten gleichzeitig entlackt und neulackiert werden kann.

Der Innenraum muss zudem gut geschützt werden vor dem Sandstrahlen und auch vor dem in großen anfallenden Sand-, Staub- und Lackpartikeln. Hierfür eignet sich insbesondere eine Holzverkleidung zwischen Fassade und Innenraum aufzubauen. Auch dicke Baufolien sind möglich, diese Möglichkeit ist dann im Planungsprozess zu bewerten.

7.4.2 Baustellenlackierung

Die gesamte Stahlstruktur der Fassade ist geschweißt und kann demnach nicht ausgebaut und werkseitig neubeschichtet werden. Die Beschichtung muss mittels eines lufttrocknenden, handwerklich verwendbaren Nasslack vorgenommen werden. Als Aufbringmethode eignet sich für die Größe des Projektes hauptsächlich die Sprühtechnik. Theoretisch ist es denkbar auch mittels Streichen den Lack aufzubringen, hierbei wird weniger Lack benötigt, allerdings ist es deutlich zeitaufwändiger und kann insbesondere in den Ecken etwas unsauberer werden. Durch die Begrenzung der Arbeiten in der spielfreien Zeit kommt nur die Sprühtechnik in Frage. Es ist möglich einen Einschichtlack zu verwenden, alternativ wäre auch ein 2-lagiger Lack möglich (Grundierung und Deckbeschichtung). Dies muss in der Planungsphase präzisiert werden. Aufgrund des knappen Zeitplans ist ein Einschichtlack zu bevorzugen. Die Trocknungszeiten des Lacks variieren, allerdings muss der Lack zunächst 1-2 Wochen ausdünsten, da Lösemittel abgegeben werden und die Oberflächen nicht dicht eingeschlossen werden sollen (das geschieht im Bereich des Glasfalzes). Und auch um die Verklebung des Isolierglases und die PVB-Folie im Glasaufbau zu schützen, muss diese Zeit eingehalten werden. Das Lackieren erfolgt in der Regel schneller als das Entlacken der Stahlprofile und wird für den Terminplan mit ca. 5 m²/h angenommen.

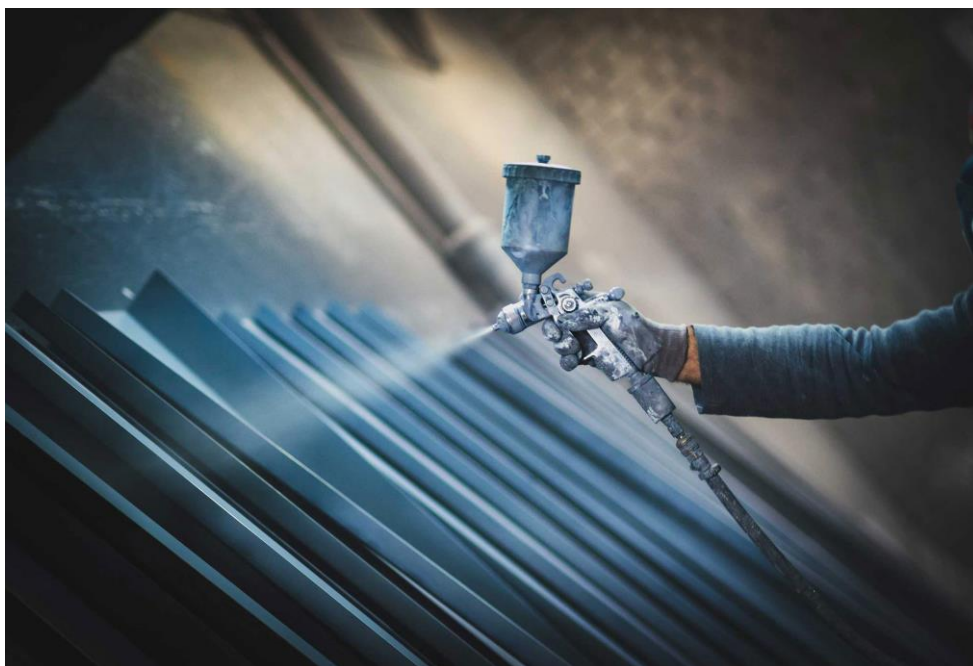


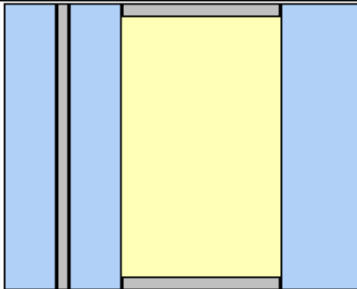
Abbildung 7-17: Nasslackbeschichtung Sprühtechnik [ict-rhine]

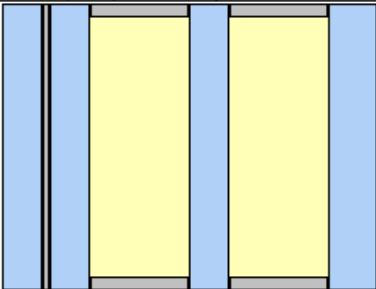
7.5 Verglasungen

Die Bestandsverglasung besteht aus zwei 7 mm Floatglasscheiben in einem 2-fach Isolierglas.

Nach heutigem Standard müssen an Verkehrs- und Aufenthaltsbereichen grenzende Verglasungen bruchsticher ausgeführt werden, damit sie als verkehrssicher gelten. Als bruchstichere Verglasungen zählen VSG (Verbundsticherheitsglas aus Floatglas und TVG) und ESG (Einscheibensicherheitsglas).

Welche Beschichtungen benötigt werden, muss im Verlauf der Planungsphasen in Absprache mit der Bauphysik festgelegt werden.

Geometrie		Vertikalverglasung				
Einbauwinkel	90,0°	Breite b	2500 mm			
Form	Rechteck	Höhe h	3700 mm			
Lagerung	Allseitig	Keine Absturzsichernde Verglasung				
Aufbau						
Nr.	Hersteller		Bezeichnung	Gas/ Verbundschicht	Dicke (mm)	
1	Scheibe außen	Sommer Informatik GmbH	2x(TVG (Float)4-0,76)	PVB	8,76	
2	SZR1		Aluminium (EN ISO 10077-2)	90% Argon	12,00	
3	Scheibe innen	Sommer Informatik GmbH	ESG (Float)		6,00	
 h = 3700 b = 2500						
Eigengewicht		Gesamtgewicht	323,75 kg	Windlast		44141 Dortmund
cos(90,0°) = 0,00				Windlastzone	Windzone 1	Höhe ü. NN 94 m
				Geländekategorie	Binnenland	
		oben / außen	mitte	unten / innen		
Eigengewicht		0,20 kN/m²	-	0,15 kN/m²		
wirksam		0,00 kN/m²	-	0,00 kN/m²		
Klimalast				Ortshöhen		
		SZR 1	SZR 2	isochorer Druck		
Sommer		20 K	-	-20 hPa		
Winter		-25 K	-	40 hPa		
Last Sommer		8,80 kN/m²	-			
Last Winter		-12,50 kN/m²	-			
Streckenlast						
Last	0,00 kN/m	Angriffshöhe	- mm	Last auf Innenscheibe (Druck)		
Nachweis OK (max. Ausnutzung: 83,61 %)						
max. Lastfall Spannung: voller Verbund, Außen, Nr. 9: Gewicht (1,00 * 1,00), Einbau hoch (1,35 * 1,00), Klima Sommer (1,50 * 0,60), Windsog (1,50 * 1,00)						
max. Durchbiegung = -113,33 mm (Lastfall ohne Verbund, Nr. 9). Durchbiegung bezogen auf 1 / 100 der Stützweite um 353 % zu gross, jedoch nach DIN 18008-2, 6.1.5 zulässig, falls bei max. Sehnungsverkürzung 13,70 mm die Auflagerbreite überall >= 5 mm beträgt.						
Für Verglasungen mit monolithischem ESG-Einfachglas, dessen Oberkante mehr als 4 m über Verkehrsflächen liegt, darf nur heißgelagertes ESG nach EN 14179-2:2005 mit Zuverlässigkeitsindex β >= 4,7 (1 Jahr) nach EN 1990:2010 verwendet werden.						
Nachweistiefe DIN 18008-2:2020-05: 6.1.4 1) gewählt, jedoch nicht angewendet, da mind. eine Vorbedingungen nicht erfüllt ist.						

Geometrie		Vertikalverglasung			
Einbauwinkel	90,0°	Breite b	2500 mm		
Form	Rechteck	Höhe h	3700 mm		
Lagerung	Allseitig	Keine Absturzsichernde Verglasung			
Aufbau					
Nr.	Hersteller		Bezeichnung	Gas/ Verbundschicht	Dicke (mm)
1	Scheibe außen	Guardian	2x(Float5-0.76)	PVB	10,76
2	SZR1		Aluminium (EN ISO 10077-2)	90% Argon	12,00
3	Scheibe mitte	Saint Gobain	ESG (Float)		5,00
4	SZR2		Aluminium (EN ISO 10077-2)	90% Argon	12,00
5	Scheibe innen	Sommer Informatik GmbH	ESG (Float)		6,00
 h = 3700 b = 2500					
Eigengewicht		Gesamtgewicht	485,63 kg	Windlast 44141 Dortmund	
cos(90,0°) = 0,00				Windlastzone	Windzone 1
				Höhe ü. NN	94 m
				Geländekategorie	Binnenland
Eigengewicht wirksam	oben / außen	mitte	unten / innen	Last außen	
	0,25 kN/m²	0,12 kN/m²	0,15 kN/m²	Last innen	
	0,00 kN/m²	0,00 kN/m²	0,00 kN/m²	Lastfall: Druck	0,48 kN/m²
				Lastfall: Sog	-0,80 kN/m²
Klimalast			Ortshöhen		
Sommer	SZR 1	SZR 2	isochorer Druck	Einbau	Produktion
	20 K	20 K	-20 hPa	94 m	300 m
Winter	-25 K	-25 K	40 hPa		
Last Sommer	8,80 kN/m²	8,80 kN/m²		Lastfall min.	
Last Winter	-12,50 kN/m²	-12,50 kN/m²		Lastfall max.	
				Einbau: 44141 Dortmund	
Streckenlast					
Last	0,00 kN/m	Angriffshöhe	- mm	Last auf Innenscheibe (Druck)	
Nachweis OK (max. Ausnutzung: 88,15 %)					
max. Lastfall Spannung: ohne Verbund, Außen, Nr. 9: Gewicht (1,00 * 1,00), Einbau hoch (1,35 * 1,00), Klima Sommer (1,50 * 0,60), Windsog (1,50 * 1,00)					
max. Durchbiegung = -68,13 mm (Lastfall ohne Verbund, Nr. 8). Durchbiegung bezogen auf 1 / 100 der Stützweite um 173 % zu gross, jedoch nach DIN 18008-2, 6.1.5 zulässig, falls bei max. Sehnverkürzung 4,95 mm die Auflagerbreite überall >= 5 mm beträgt.					
Für Verglasungen mit monolithischem ESG-Einfachglas, dessen Oberkante mehr als 4 m über Verkehrsflächen liegt, darf nur heißgelagertes ESG nach EN 14179-2:2005 mit Zuverlässigkeitsindex β >= 4,7 (1 Jahr) nach EN 1990:2010 verwendet werden.					
Nachweistiefe DIN 18008-2:2020-05: 6.1.4 1) gewählt, jedoch nicht angewendet, da mind. eine Vorbedingungen nicht erfüllt ist.					

Für die 2-fach Isolierverglasung Variante 1 mit Scheibenzwischenraum von 12 mm kann ein Ug-Wert von 1,2 W/m²K angenommen werden. Für die Varianten 2a, 2b und 3, in denen eine 3-fach Isolierverglasung eingesetzt werden soll, ist ein Ug-Wert von 0,7 W/m²K gut zu erreichen.

Die Bestandsverglasung wird im besten Fall einen Ug-Wert von ca. 2,8 W/m²K aufweisen.

7.6 Vogelschutz

Ein immer bekannter werdendes Thema ist der Vogelschutz bei dem Bau von großen Glasfassaden.

Bei der Begehung am 11.07.2024 wurde ebenfalls mitgeteilt, dass es aktuell immer wieder zu Vogelanzprall kommt und Vögel an der Fassade verenden. Es sind Maßnahmen erwünscht, um diese Situation zu verbessern. Insbesondere an der Nordostseite wird von regelmäßig toten Vögeln berichtet. Möglicherweise ist hier die Durchsicht auf die dahinterliegenden Bäume verantwortlich.



Abbildung 7-18: Vogelperspektive Opernhaus Dortmund [Google Earth]

Um eine fachkundige Einschätzung der Situation Vor-Ort zu erhalten ist es ratsam einen Ornithologen zu beauftragen.

Besonders betroffen sind meist Zugvögel, da sie sich nicht an die Umgebung gewöhnen können. Allerdings kann jede Vogelart betroffen sein, wenn sie die Glasscheibe nicht erkennt. Zwei Hauptfaktoren sind verantwortlich für Vogelschlag: Transparenz und Reflexion. Transparenz ist dann entscheidend, wenn man „durch die Ecke“ durchschauen kann, also besonders bei Ganzglasecken bzw. Übereckverglasungen, aber auch bei freistehenden Verglasungen, wie Glasbrüstungen, oder Räumen mit großem Volumen. Die Reflexion ist vor allem dann entscheidend, wenn sich in der Glasscheibe Bäume oder Grünflächen spiegeln.

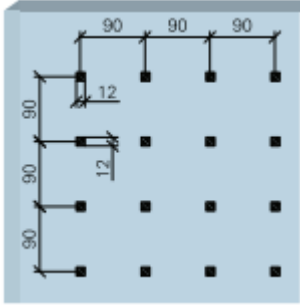


Abbildung 7-19: Durchsicht/Transparenz (links), Reflexion (rechts)

Im Folgenden werden unterschiedliche Bedruckungen gegenübergestellt bezogen auf deren Wirksamkeit. Alle Flugversuche wurden in der schweizerischen Vogelwarte durchgeführt. Dies macht deutlich, dass der Bedruckungsgrad kaum eine Aussage über die Wirksamkeit zulässt. Auch eine Bedruckung mit 25 % kann als „wenig geeignet“ eingestuft werden. Vielmehr kommt es auf die Farbe, Position und Anordnung des Rasters an. Bei den Anflugversuchen der schweizerischen Vogelwarte wird in drei Kategorien unterschieden:

Kategorie	Wirksamkeit der Markierung	Anflüge in der Prüfanlage in %
A	hoch wirksam «Vogelschutzglas»	Unter 10
B	bedingt geeignet	10 - 20
C	wenig geeignet	20 - 45

Anflugrate	Kategorie	Beschreibung	Bedeckte Fläche	Abbildung
2,4 %	A	Punkte schwarz-orange R2 Vertikale Punktreihen, Siebdruck schwarz und orange Punkte Ø: 8 mm Kantenabstand zwischen den Punktreihen: 10 cm	9 %	
2,5 %	A	Punkte schwarz RX Diagonaler Punktraster, Siebdruck schwarz, Punkte Ø: 7,5 mm diagonaler Abstand der Punkt- Mittelpunkte: 12,7 mm	27 %	

9 %	A	9/90mm Raster "SEEN matt" 9 mm-Punkte, Distanz von 90mm von Punktmitte zu Punktmitte	0,8 %	
< 10 %	A	Sedak Vogelschutzglas Quadrate Seitenlänge Quadrate: 12 mm Mittelpunktabstand 90 mm Druck auf Pos. #1	1,8 %	
13 %	B	6/90mm Raster "SEEN shiny" 6 mm-Punkte, Distanz von 90mm von Punktmitte zu Punktmitte	0,35 %	
14,8 %	B	Punkte weiß Folie Kreise (weiß Klebefolie), Ø 18 mm, im Raster angeordnet Mittelpunktabstand: 8,2 cm	6,3 %	
15,1 %	B	10v // 20 schwarz- weiß Tesa Vertikale Doppelstreifen, Klebeband, 10 mm schwarz, 10 mm Weiß	16,7 %	

		Kantenabstand: 10 cm		
21,5 %	C	Raster fein, blau Blauer Raster aus Kunststoffmaterial zwischen doppelter Verglasung Fadenstärke 1 – 2 mm im Rasterabstand 2 – 3 mm	ca. 25 %	
37,2 %	C	ORNILUX Mikado Neutralux 1.1 (EP2/Ornilux Mikado 4 mm 16 EP3/VSG N33 8 mm 0,76 mm) Isolierglas mit speziellen Beschichtungen im Inneren, die nach Angaben des Herstellers UV-Strahlung absorbieren und reflektieren	Nahezu durchsichtige UV-Beschichtung	

Bei dem Produkt „SEEN shiny“ von SEEN wurde mit einer bedeckten Fläche von 0,35 % eine Anflugrate von 13 % im Flugkanal erzielt, bei dem Produkt „SEEN matt“) mit 0,8 % Bedruckung sogar 9 % was als hochwirksam eingestuft werden kann. Bei diesem Produkt „SEEN shiny“ sind Metallfolien (Vorderseite: hochreflektierendes oder semireflektierendes Aluminium, Rückseite: schwarz) in die PVB Folie integriert.

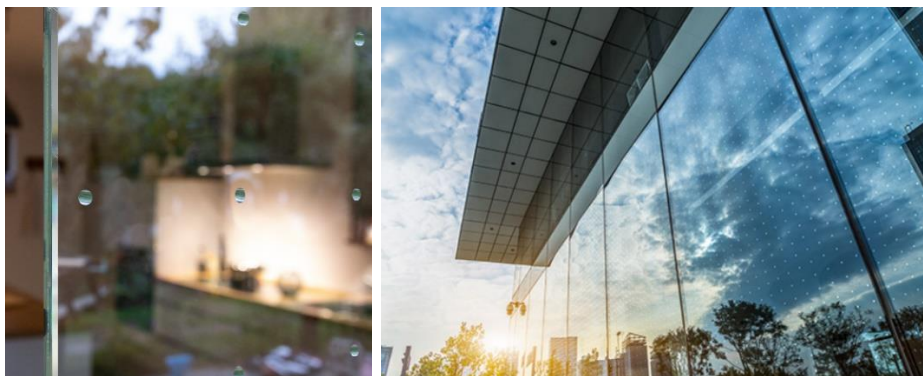


Abbildung 7-20: SEEN Vogelschutzglas [SEEN]

Es können aber auch eigene Druckmuster entworfen und getestet werden, um den Vogelanprall zu verhindern. Am Porschetower in Stuttgart wurde beispielsweise ein Streifenmuster für die Fassade entworfen. Es sind auch andere Druckfarben möglich (z.B. Gold und Silber). Am wirkungsvollsten sind sie auf der Außenseite, allerdings ist hier immer auch die Langlebigkeit dieser Bedruckungen zu beachten.



Abbildung 7-21: Projektspezifische Bedruckung [bülow AG]

Grundsätzlich sind dunklere Bedruckungen (zumindest auf der Innenseite) vorzuziehen, um den Ausblick weniger zu beeinträchtigen. Helle Bedruckungen reflektieren mehr Licht, wodurch die Sichtbarkeit der Punkte oder Streifen stärker ausgeprägt ist. Zudem wirken sich dunkle Bedruckungen positiv auf den Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases aus, sodass bei gleicher Bedruckungsdichte, die im Raum auftreffende solare Einstrahlung bei dunklen Bedruckungen geringer ist. Der Effekt wird allerdings kleiner, je geringer die Bedruckungsdichte auf dem Glas ist.

Ein weiteres Risiko für Vogelschlag sind reflektierende Glasoberflächen. Deswegen sollte die **Außenreflexion** der Glasscheiben, die aufgrund der Reflexion problematisch sein können, **< 12%** betragen. Wir empfehlen, dass das Gefährdungspotential von einem Ornithologen beurteilt werden sollte.

Einige Systeme sind zwar technisch möglich und auch nachrüstbar sind jedoch optisch nicht ansprechend, daher wird grundsätzlich empfohlen:

- Fütterungsverbot
- frühzeitige Detektion von Nestern
- regelmäßige Reinigung

als erste Maßnahmen zu berücksichtigen.

7.7 Vogelabwehr

Wie oben bereits erwähnt, gibt es bereits Fassadennischen, in denen sich aktuell Vögel niederlassen. In anderen Bereichen sind Spikes angebracht.

Straßentauben sind aufgrund von fehlenden natürlichen Feinden sehr häufig auch in großer Anzahl in Städten wiederzufinden. Es gibt einige Faktoren, die die Ansiedlung von Straßenrauben begünstigen, und auf die, beispielsweise konstruktiv Einfluss genommen werden kann.

Unterteilung der Fassade/Gebäude in Risikoklassen:

- Niedrig: Deutlich geneigte Flächen, Menschenbewegung in den angrenzenden Räumen, dunkle Ecken, gefährdete Stelle (ohne Rückwand), etc.
- Mittel: Leicht geneigte Flächen, Rückwand ohne Ecke, etc.
- Hoch: Horizontale Flächen ab ca. 30cm mit Rückwand sowie geschützte Ecken

Um Schutz vor Tauben/Vögeln zu erreichen, können externe horizontale Elemente mit einer Mindestneigung von 25° (glatte Oberflächen) oder 45° (raue Oberflächen) und einer maximalen Tiefe/Höhe von 10 cm gestaltet werden. Dies ist in vielen Fällen aber mit der Architektur der Fassade nicht vereinbar. Als Aufrüstungsmaßnahme gibt es Spikes aus Draht und Netze, die allerdings ein gewisses Verletzungsrisiko für die Tiere birgt. Besser eignen sich Drahtsysteme, die aus ca. 1 mm dünnen Nylon oder Aluminiumdrähten bestehen und keine geeignete Sitzfläche für Vögel bietet. Das Verletzungsrisiko ist hier deutlich geringer und auch die optische Beeinträchtigung ist geringer.



Abbildung 7-22: Drahtsysteme

Es gibt auch elektrische Vogelabwehrsysteme, die den Vögeln einen kleinen, ungefährlichen, elektrischen Schlag verpassen.



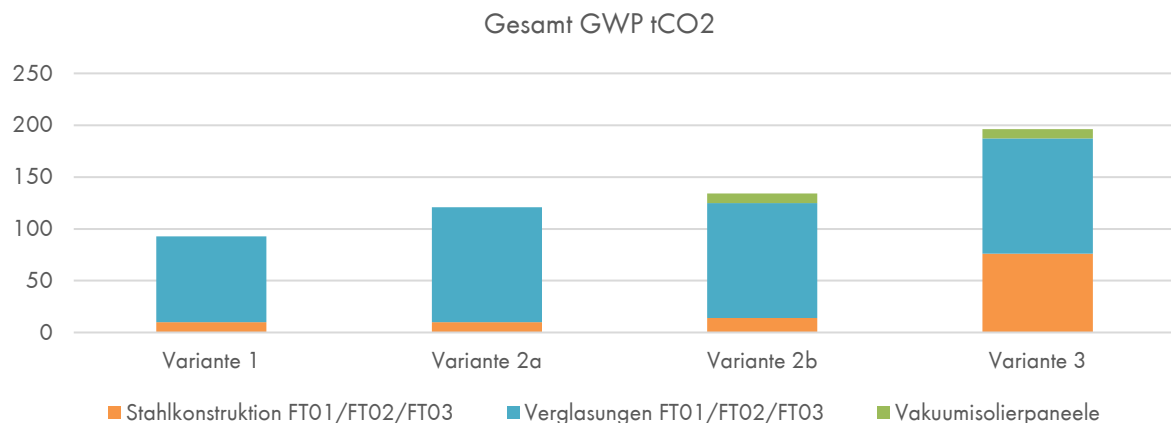
Abbildung 7-23: Elektrosystem

Das Elektrosystem Shock-Tape besteht aus zwei parallel verlaufenden Aluminiumstreifen, die auf einem transparenten, selbstklebenden Profil mit zusätzlicher Isolierung aufgebracht sind. „...Wie bei herkömmlichen Elektrosystemen bekommt ein absitzender Vogel einen kurzen, unangenehme Stromimpuls, der ihn nach dem Weidezaunprinzip vertreibt. Die Vögel erschrecken und ändern ihr Verhalten und meiden die geschützten Bereiche. ...“ [Toni Vogelabwehr].

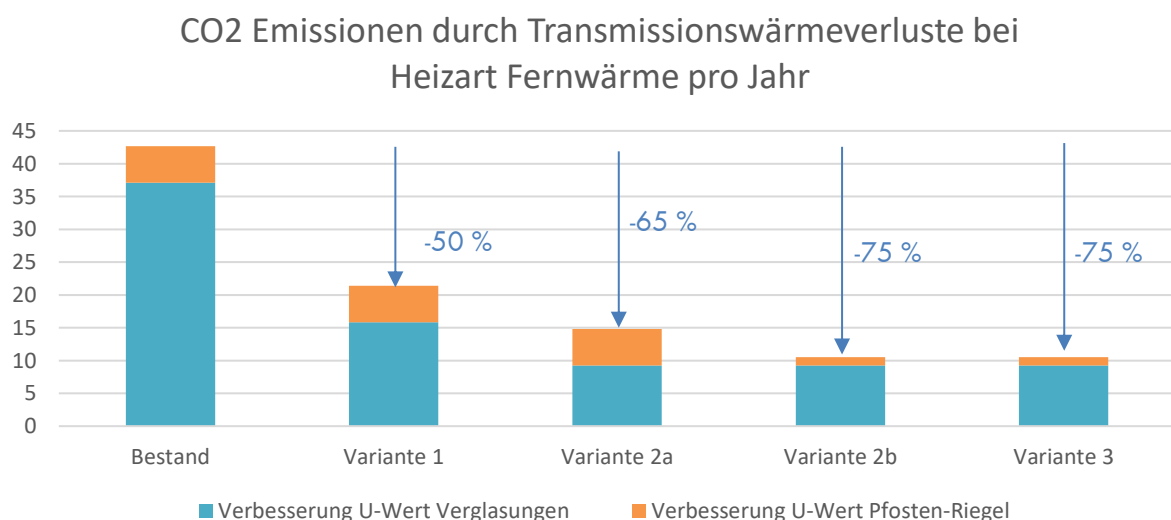
7.8 Nachhaltigkeit

Im Bereich der Nachhaltigkeit wird insbesondere über zwei verschiedene Werte diskutiert. Einerseits operative Emissionen, also die Emissionen, die entstehen durch den Energieaufwand für Heizen, Kühlen, Beleuchtung etc. Ein weiterer Indikator, der immer wichtiger wird, sind die Grauen Emissionen, die durch die Herstellung von Baumaterialien emittiert werden.

Im Folgenden wurde aufgrund von den aktuell verfügbaren Daten eine Schätzung durchgeführt, wie viel Graue Emissionen bei welcher Variante in den Phasen A1-A3 emittiert werden allein durch die Herstellung der Materialien, die ausgetauscht werden. Nicht berücksichtigt sind die Grauen Emissionen aus den Transporten, die Emissionen des Rückbaus und mögliche Gutschriften durch das Recycling von den Materialien am Lebensende. Die größten Gutschriften, die schon jetzt anfallen, sind die Stahlmengen, die ins Recycling zurück geführt werden können bei Variante 3. Diese werden sich vermutlich auf rund 30 tCO₂ belaufen, was aber noch den Transportemissionen der Entsorgung gegenzurechnen ist.

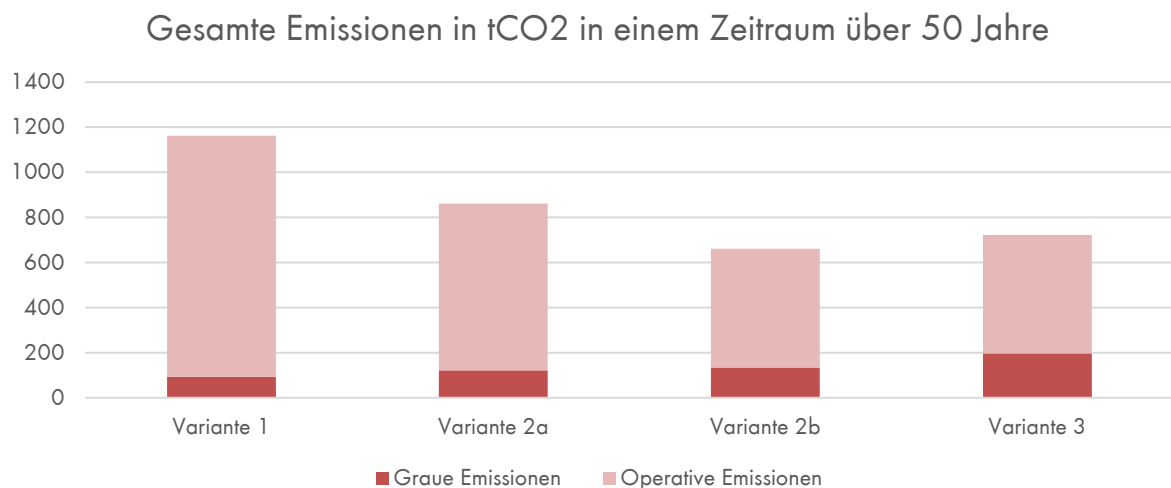


Des Weiteren wurden überschlägige Bilanzierungen zu den Transmissionswärmeverlusten über die Fassadenbauteile der Verglasungen und der Pfosten durchgeführt. Das Diagramm betrachtet nur die Verluste im Winter über das Heizen, das Kühlen wird hier nicht betrachtet.



Die größte Einsparung der Transmissionwärmeverluste wird über die Verbesserung der Verglasungen erfolgen. Auch schon bei der Variante 1, bei der die Verglasung eine 2-fach Isolierverglasung bleibt, kann durch eine Wärmeschutzbeschichtung und Argon im Scheibenzwischenraum mit deutlichen Verbesserungen des U-Werts gegenüber den aktuellen Verglasungen gerechnet werden. Und es können schon bei Variante 1 pro Jahr ca. 50 % der CO₂ Emissionen durch Heizen eingespart werden.

Die zusätzlichen Grauen Emissionen der Variante 2b amortisieren sich über die Jahre und im gesamten Lebenszyklus des Gebäudes schneidet die CO₂ Bilanz der Variante 2b am besten ab.



Die Werte basieren rein auf einfache Bilanzierungen der Transmissionwärmeverluste. Für die CO₂ Emissionen durch die Heizart Fernwärme wird mit 0,13455 kgCO₂/kWh angenommen (Daten aus Heizkostenabrechnung April 2024). Die Werte können im Planungsverlauf durch die Bauphysik weiter verfeinert werden.

8 Montagekonzept

8.1 Allgemein

Die Opernkuppel befindet sich am Platz der alten Synagoge. Eine große Terrassenfläche umgibt die zu sanierende Fassade. Die Terrassenfläche ist nicht öffentlich zugänglich. Außerdem ist die Decke nur für Lasten bis 5 kN/m^2 ausgelegt. Wir nehmen an, dass auch die Innenraumflächen und die Innenhoffläche ebenfalls nur für Lasten bis 5 kN/m^2 ausgelegt sind. Der Vorplatz ist für Verkehrslasten bis zu 6 kN/m^2 (in Statik steht $0,6 \text{ t/cm}^2$, vermutlich ist die Einheit in der Bestandsstatik falsch und wir gehen von $0,6 \text{ t/m}^2$ aus) ausgelegt.



Abbildung 8-1: Vogelperspektive und Bezeichnungen der umliegenden Flächen

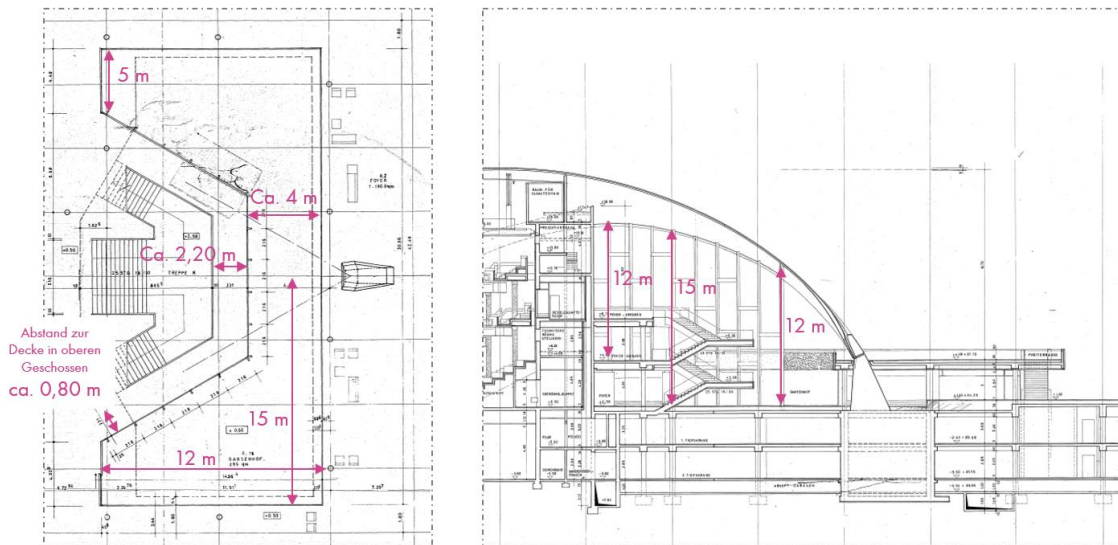


Abbildung 8-2: Abstände in Grundriss und Schnitte

Die Demontage und Montage der Glasscheiben von FT01 Hauptfassade ist aufgrund von mehreren Rahmenbedingungen eingeschränkt. Die möglichen Kranstellplätze befinden sich alle auf Deckenflächen, die nur mit eingeschränkten Lasten belastbar sind. Außerdem sind teilweise sehr schmale Abstände zwischen den Zwischendecken und der Fassade im Innenbereich gegeben.

Aufgrund des Dachs muss ein Minikran im Innenhof gestellt werden können. Hier befindet sich aber ein „Mosaikboden“, der schützenswert ist.

1. Es muss ein befahrbarer Untergrund im Innenhof geschaffen werden, der den aktuellen Boden nicht beschädigt und die Lasten der Gerüste, Arbeitsbühnen und Minikran aufnehmen kann.
2. Terrasse und Zwischendecken müssen mit Lastverteilerplatten ausgestattet werden.
3. Das Verglasen der größeren Formate erfolgt von innen. Das bedeutet, dass ein aufwendiges Einschwenken der Gläser von außen notwendig ist.
4. Straßenseitig (z.B. am Hiltropwall oder auf der Seite der Garagenzufahrtsstraße) sollte eine Möglichkeit geschaffen werden, einen Kran zu stellen, mit dem Material in den Innenhof eingehoben werden kann.
5. Baustellencontainer werden ebenfalls für die Bauphase benötigt.

8.2 Mögliche Bauabschnitte

Die Fassade kann in 4 Bauabschnitte eingeteilt werden. Der Bauabschnitt 1 befindet sich auf der Süd- und auf der Nordostseite. Hier befinden sich neben der Außenfassade FT01 auch die Windfänge FT02. Da diese Türen Notausgangstüren sind, liegt die Priorität darauf, dass diese Türen im Spielbetrieb wieder verwendet werden können.

Die Bauabschnitte 2, 3 und 4 sind prinzipiell unabhängig voneinander, jedoch liegen die Fassaden der Bauabschnitte 2 und 4 im Bereich des Innenhofs. Werden diese Bauabschnitte zeitgleich saniert, werden die Lastverteilerplatten im Innenhof nur in einer Bauphase benötigt und der Minikran kann in diesem Bereich stehen bleiben. Der Bauabschnitt 3 kann, falls sich bei der Probeentlackung rausstellen sollte, dass die Entlackung schneller durchgeführt werden kann als aktuell angenommen, auch mit dem BA 1 zusammengelegt werden.

Die Übergangsfelder neben den Bauabschnitten müssen für den BA 1 ausgebaut und nach Fertigstellung des BA 1 wieder mit den Bestandsmaterialien eingebaut werden.

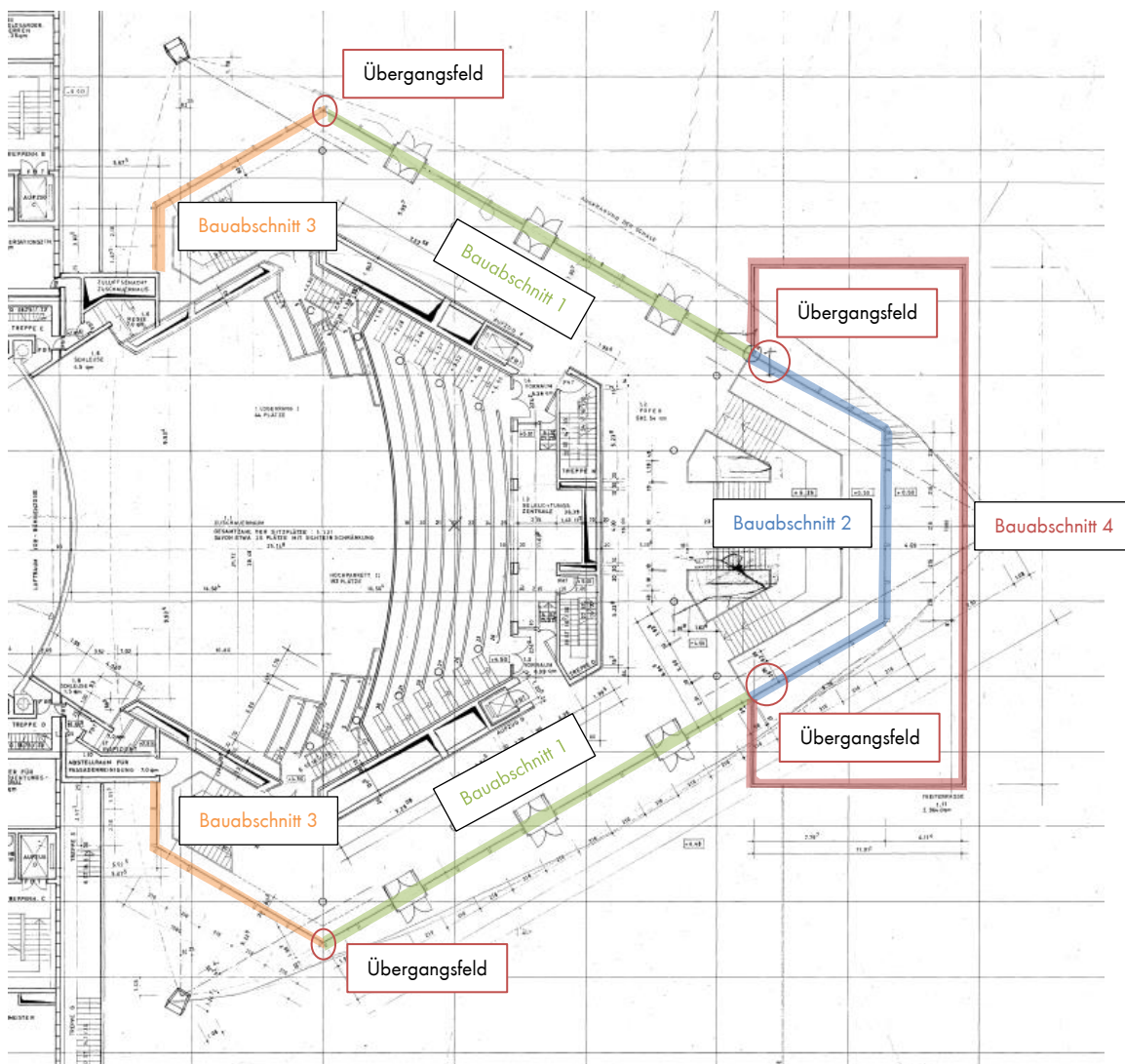


Abbildung 8-3: Vorschlag Bauabschnitte

In den Varianten 1, 2a, 2b werden die Fassadenseiten im Wechsel Sandgestrahlt und neu lackiert. Somit kann sichergestellt werden, dass die Einglasarbeiten schon frühzeitig beginnen können und die Windfänge/Notausgänge frühestmöglich fertiggestellt werden.

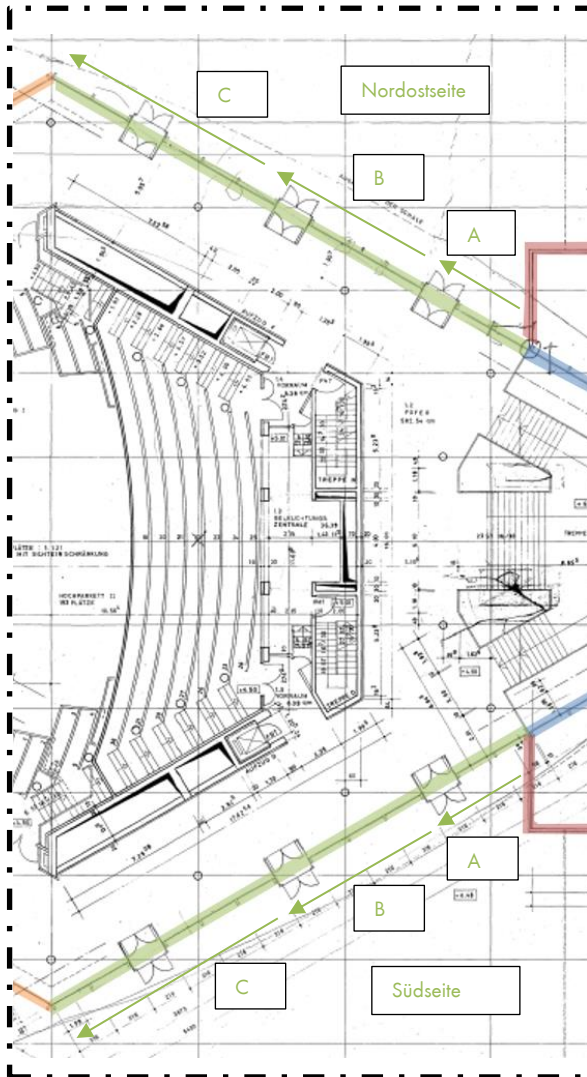


Abbildung 8-4: Bauabschnitt 1 wochenweiser Ablauf (Entlackung)

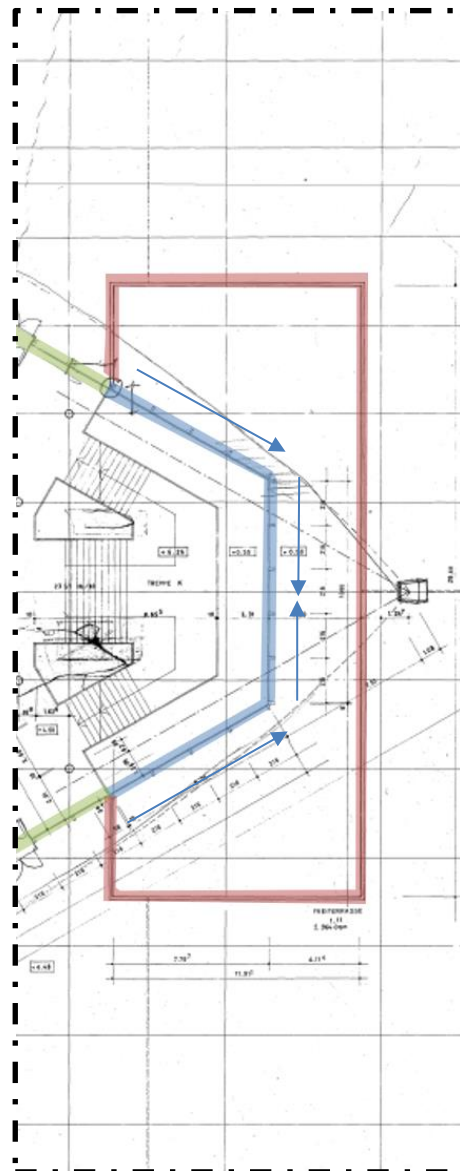
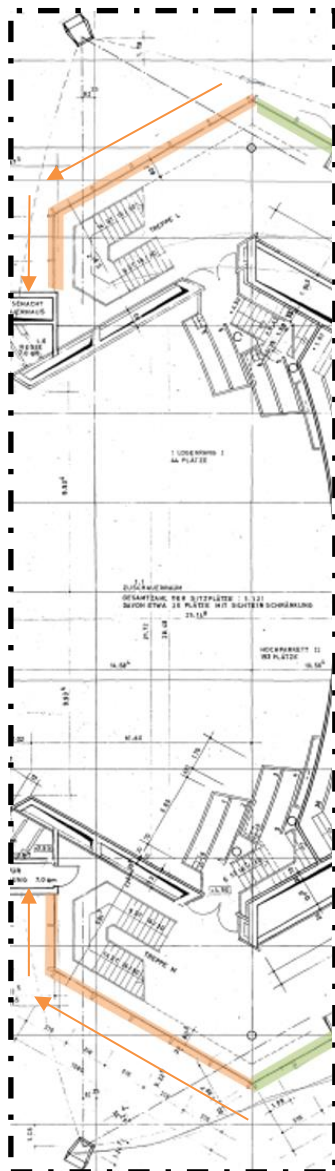


Abbildung 8-5: Bauabschnitt 2 & 3 Ablauf (Entlackung)

8.3 Ablauf und Arbeitshilfen

Ablauf	Montagehilfen	Arbeitsfläche
Während Planungsphase		
Probeentlackung und Probelackierung	Mini-Saugroboter	Schutz der Terrassenfläche
Inspektion der Stahlprofile, Fußpunkte und Kopfpunkte (Zustandsfeststellung)	Lastverteilerplatten außen und innen	Scherenarbeitsbühne, vorhandenes Podest + PSA
Aufmaß	Lastverteilerplatten außen	Scherenarbeitsbühne, vorhandenes Podest + PSA
Bauphase		
Ausglasen von Innen und von Außen (von unten nach oben)	Lastverteilerplatten außen und innen, (Mini-) Kran mit Glassauger, Wetterschutz anbringen	Scherenarbeitsbühne, vorhandenes Podest + PSA
Gerüst stellen	Lastverteilerplatten außen und innen	Gerüst innen und außen
Entlacken der Stahlprofile und Reparieren von rostigen Stellen	Lastverteilerplatten außen und innen, Schutz des Innenraums durch Planen/OSB Platten	Gerüst innen und außen
Vor-Ort Nasslackierung	Lastverteilerplatten außen und innen, Schutz des Innenraums durch Planen/OSB Platten	Gerüst innen und außen
Gerüst demontieren		
Einglasen und Abdichtarbeiten der neuen Konstruktion und Glasscheiben von Innen und von Außen	Lastverteilerplatten außen und innen, (Mini-) Kran mit Glassauger	Scherenarbeitsbühne
Endreinigung	Lastverteilerplatten außen und innen, Teleskopstangen	Scherenarbeitsbühne

8.4 Montagehilfen, Arbeitsbühnen und Gerüste

8.4.1 Arbeitsbühne

Als Arbeitsbühne können Scherenarbeitsbühnen verwendet werden. Diese müssen immer auf Lastverteilerplatten fahren, da die Deckenplatten für das Gewicht der Arbeitsbühnen nicht ausgelegt sind.

	SB 151 E
Max. Arbeitshöhe (m)	15,03
Leergewicht (kg)	4.180
Max. Stützkraft pro Reifen (kN)	36
Antrieb	Elektro (Innenraum und Außenraum geeignet)
Transport Abmessungen	
Länge (m)	2,95
Breite (m)	1,21
Höhe (m)	2,86 (Geländer ist abmontierbar)
Plattform	
Max. Traglast (kg)	400
Länge (m)	2,90
Breite (m)	1,19

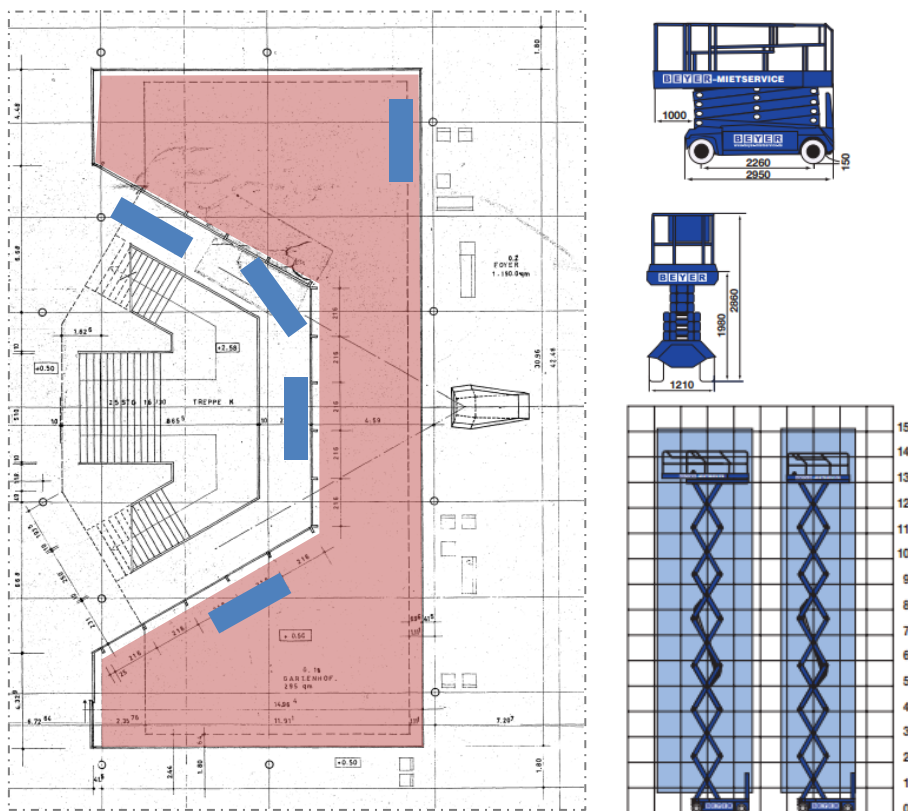


Abbildung 8-6: Grundrissstellung Scherenarbeitsbühne

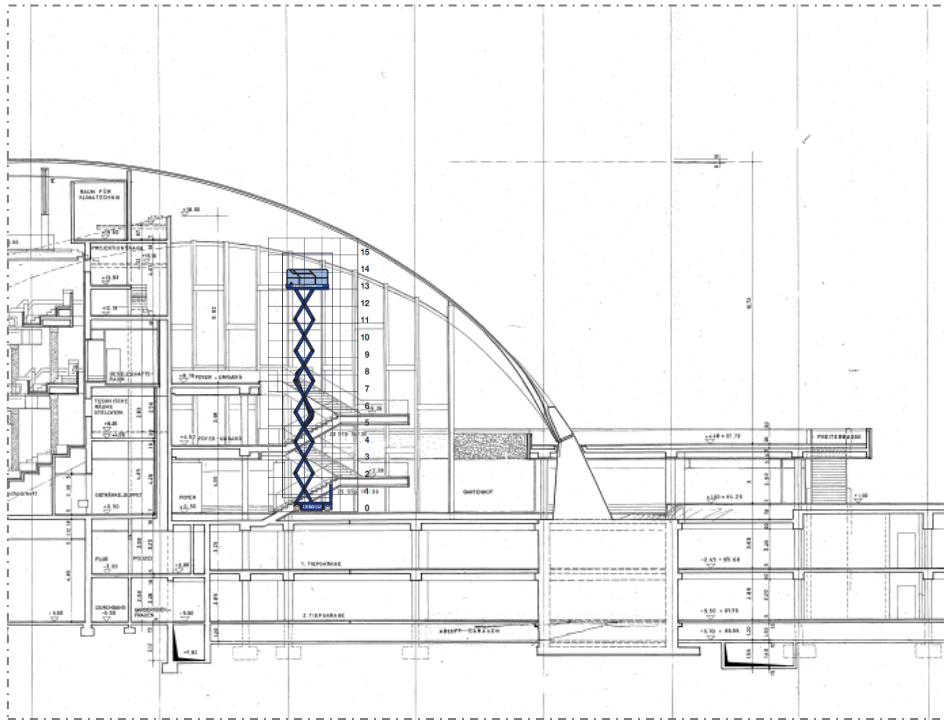


Abbildung 8-7: Scherenarbeitsbühne im Schnitt

8.4.2 Gerüste

Soll das Gerüst, welches sowohl innen als auch außen benötigt wird verkleidet werden, können die Gerüstverkleidungen auch auf kreative Weise bedruckt werden. Bei den Varianten 1, 2a und 2b wird vermutlich eine innenseitige Verkleidung aus OSB-Platten benötigt, sodass der Innenraum vor dem Sandstrahlen geschützt wird und auch vor dem anfallenden Sand, Staub und Lackresten. Die OSB-Verkleidung kann ebenfalls kreativ bespielt werden.

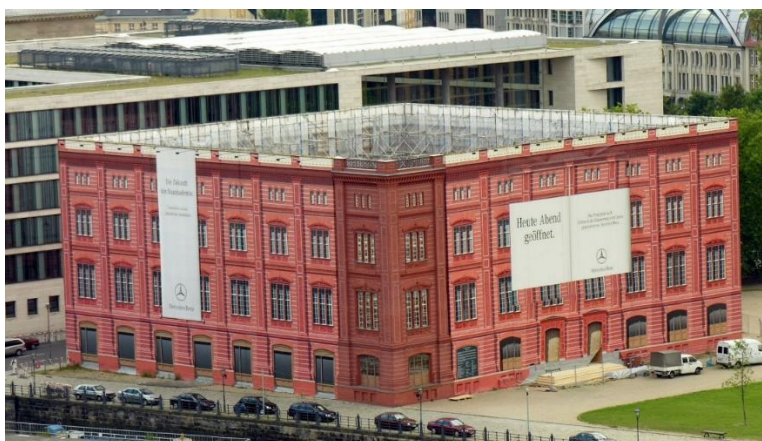


Abbildung 8-80: Druck der Fassade auf Gerüstverkleidung der Bauakademie, Berlin



Abbildung 8-9: Gerüstverkleidung am Theater Augsburg [Augsburger Allgemeine]



Abbildung 8-10: Folienvorhang [Dezeen] (links), Architektonische Integration von Vorhängen [Archilovers] (rechts)

8.4.3 Minikrane

Da die Kuppelform des Dachs das Einheben der Gläser in die Fassade angrenzend an den Innenhof über einen Straßenkran nicht ermöglicht, kann ein Minikran verwendet werden. Dieser muss ebenfalls auf Lastverteilerplatten fahren und aufgestellt werden.

	M250 + JIB
Max. Arbeitshöhe (m)	15,9
Leergewicht (kg)	Mit Jib: 2565
Max. Bodendruck (kg/cm ²)	0,47 (4700 kg/m ²)
Antrieb	Elektro
Transport Abmessungen	
Länge (m)	3420
Breite (m)	780
Höhe (m)	1760
Kran	
Max. Traglast (kg)	750 (mit Jib)
Aufstandsfläche	
Aufstandsfläche mit einseitiger Abstützung (m)	2264 x 4695
Aufstandsfläche breite Abstützung (m)	4155 x 4300

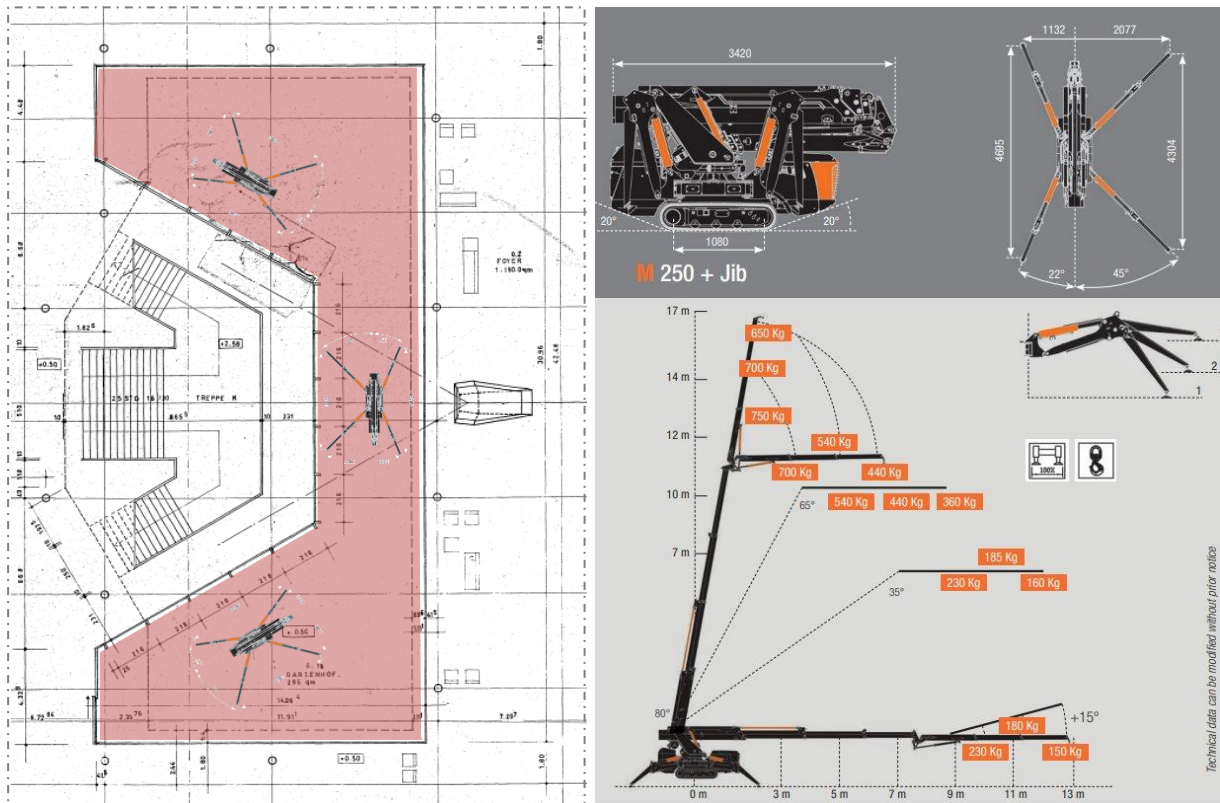


Abbildung 8-11: Grundrissstellung Minikran

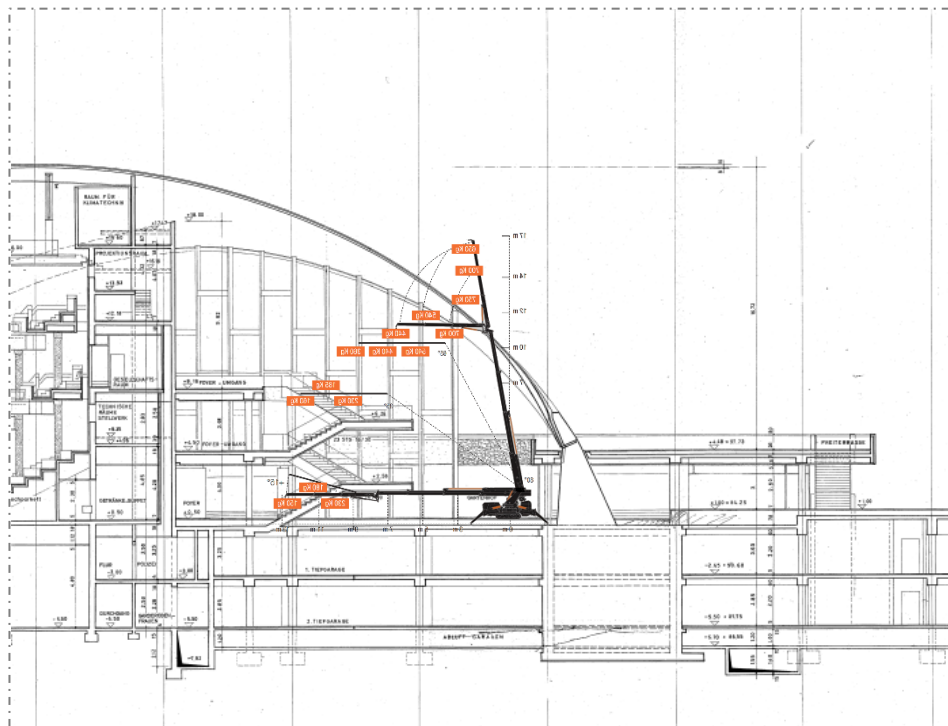
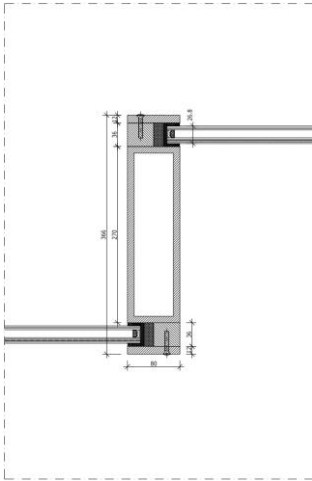
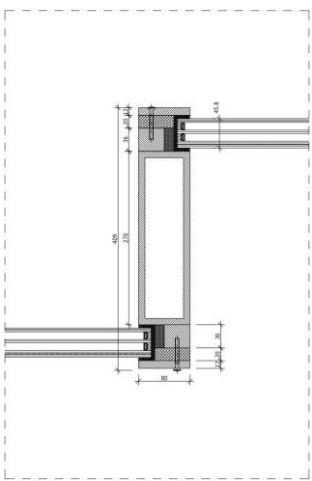
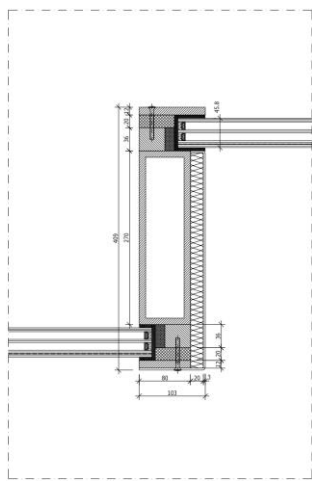
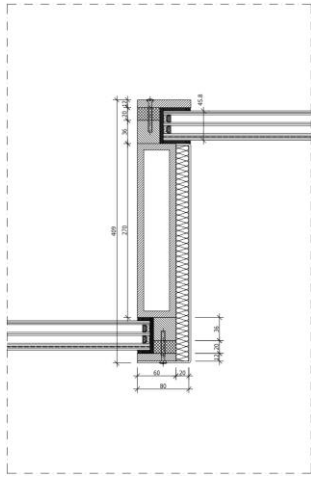
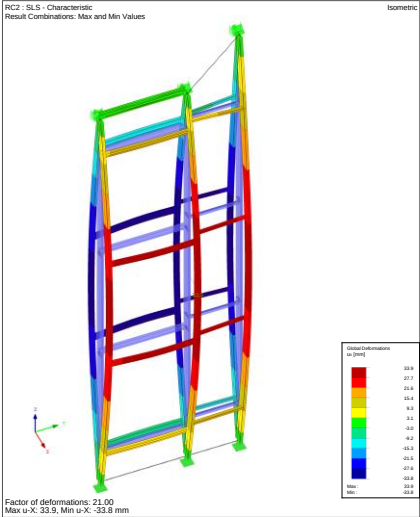
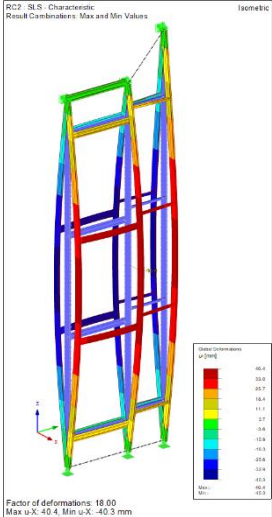


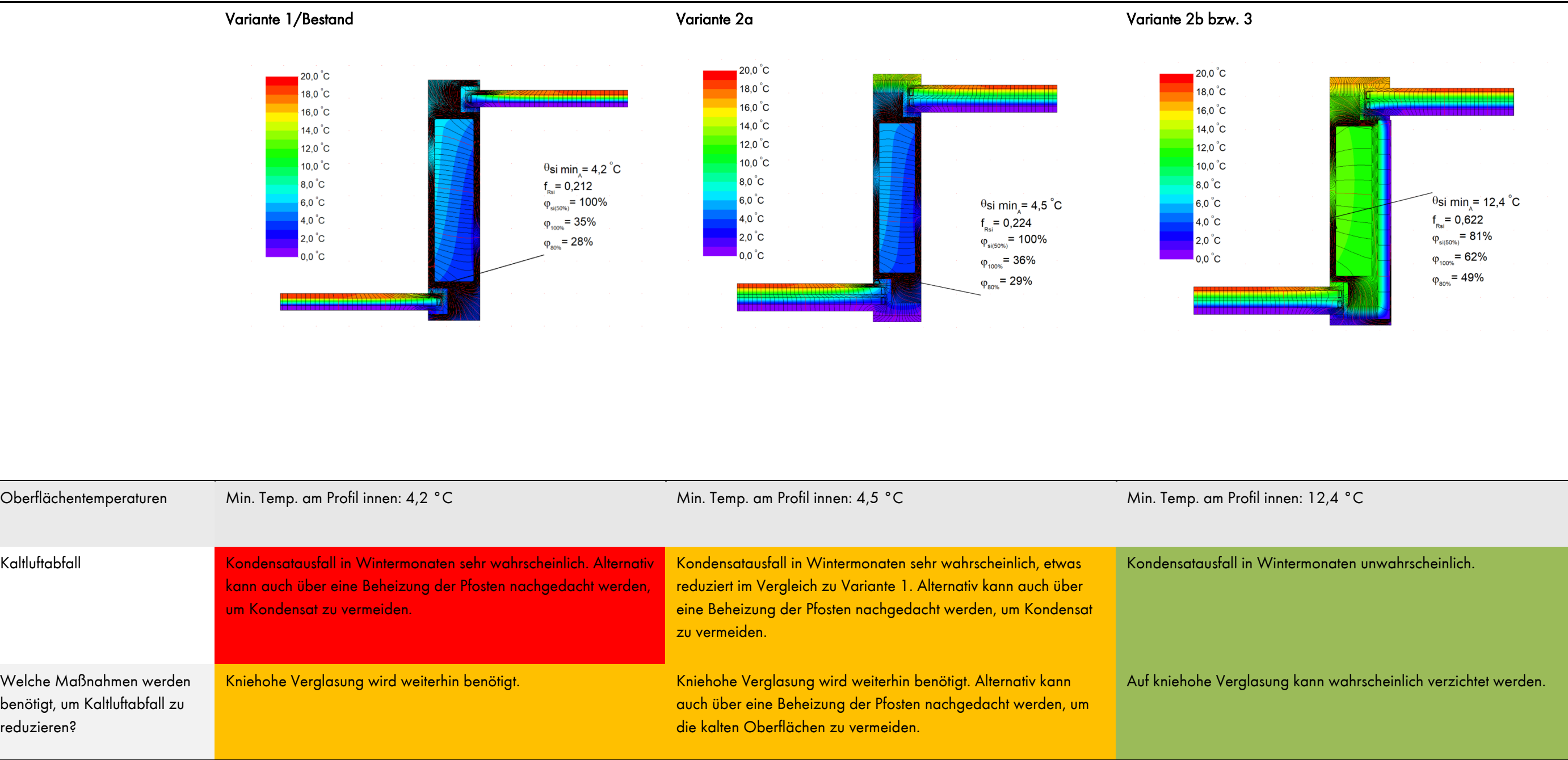
Abbildung 8-12: Minikranstellung im Schnitt

9 Variantenvergleich Zusammenfassung

9.1 Variantenvergleich Maßnahmen

	Variante 1	Variante 2a	Variante 2b	Variante 3
				
Was wird getauscht?	FT01: • 2-fach Isolierverglasung • Austausch Dichtungen • Austausch Glashalteleisten • Austausch Fassadenrinnen außen • Austausch Fußpunktverkleidung innen • Ausbau- und Wiedereinbau Auffangverglasung VSG am Fußpunkt innen • Neue Innenraumbeleuchtung, Lautsprecheranlagen FT02: • Neue thermisch getrennte Stahlkonstruktion • Außen 2-fach Isolierverglasung • Innen Mono-VSG • Neue Fluchttüren FT03: • 2-fach Isolierverglasung • Austausch der Schiebetüren	FT01: • 3-fach Isolierverglasung • Austausch Dichtungen • Austausch Glashalteleisten • Austausch Fassadenrinnen außen • Austausch Fußpunktverkleidung innen • Ausbau- und Wiedereinbau Auffangverglasung VSG am Fußpunkt innen • Kunststoffklotze zum Ausgleich der Dickentoleranz • Öffnungsflügel und deren RWA-Motoren • Neue Innenraumbeleuchtung, Lautsprecheranlagen FT02: • Neue thermisch getrennte Stahlkonstruktion • Außen 3-fach Isolierverglasung • Innen Mono-VSG • Neue Fluchttüren FT03: • Neue thermisch getrennte Stahlkonstruktion • 3-fach Isolierverglasung • Austausch der Schiebetüren	FT01: • 3-fach Isolierverglasung • Austausch Dichtungen • Austausch Glashalteleisten • Kunststoffklotze zum Ausgleich der Dickentoleranz • Öffnungsflügel und deren RWA-Motoren • Vakuumisolierpaneele an Außenseite der Profile • Dämmstreifen an Dach- und Fußbodenanschluss • Neue Innenraumbeleuchtung, Lautsprecheranlagen FT02: • Neue thermisch getrennte Stahlkonstruktion • Außen 3-fach Isolierverglasung • Innen Mono-VSG • Neue Fluchttüren FT03: • Neue thermisch getrennte Stahlkonstruktion • 3-fach Isolierverglasung • Austausch der Schiebetüren	FT01: • Gesamte Konstruktion neu • Dämmstreifen an Dach- und Fußbodenanschluss • Neue Innenraumbeleuchtung, Lautsprecheranlagen FT02: • Neue thermisch getrennte Stahlkonstruktion • Außen 3-fach Isolierverglasung • Innen Mono-VSG • Neue Fluchttüren FT03: • Neue thermisch getrennte Stahlkonstruktion • 3-fach Isolierverglasung • Austausch der Schiebetüren
Welche Arbeiten müssen Vor-Ort durchgeführt werden?	• Entlacken der Stahlprofile • Neulackierung der Stahlprofile	• Entlacken der Stahlprofile • Neulackierung der Stahlprofile	• Entlacken der Stahlprofile • Neulackierung der Stahlprofile	• Zeitintensive Abbrucharbeiten der Stahlprofile

	Variante 1	Variante 2a, b	Variante 3
			
Glasgewicht	2-fach Isolierverglasung: 35 kg/m²	3-fach Isolierverglasung: 70 kg/m²	3-fach Isolierverglasung: 70 kg/m²
Pfostenabmessungen	Bestand: 270 x 80 x 10 mm (Schätzung)	Bestand: 270 x 80 x 10 mm (Schätzung)	270 x <u>60</u> x 10 mm
Ergebnis	Verformungen OK	Verformungen OK - Windlast ist entscheidend, Eigengewicht des Glases macht kaum einen Unterschied	Etwas höhere Verformungen, aber noch OK

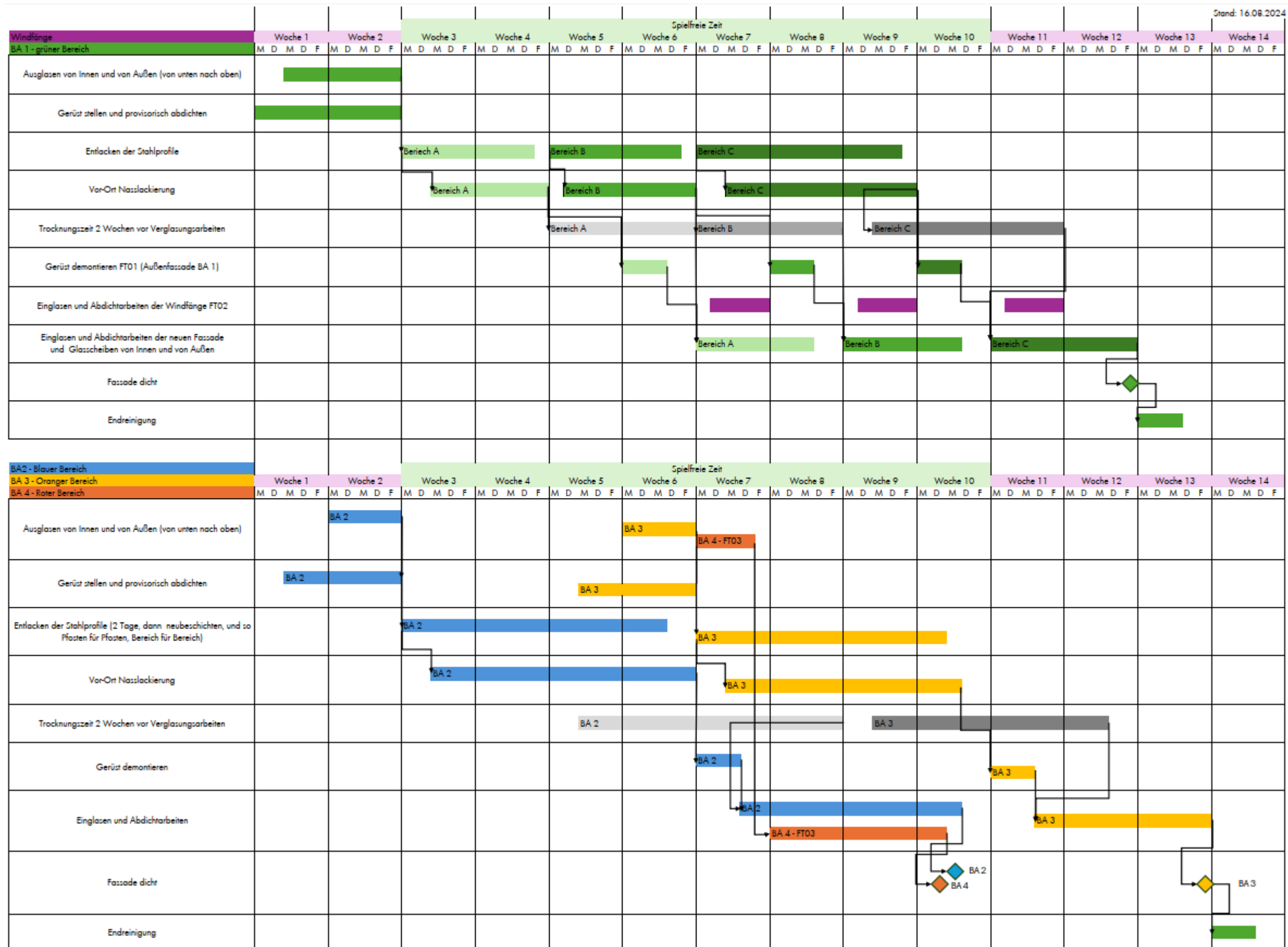


	Variante 1	Variante 2a	Variante 2b	Variante 3
Ändert sich etwas in der Erscheinung der Fassade?	Glasfarbe je nach Beschichtungen	Glasfarbe je nach Beschichtungen	Glasfarbe je nach Beschichtungen, Ansichtsbreite der Profile ca. 2,3 cm breiter, Außenliegende Riegel breiter	Glasfarbe je nach Beschichtungen
Aufwand	++	+	0	--
Kosten	++	+	+	--
Nachhaltigkeit Graue Emissionen	++	+	+	0
Nachhaltigkeit Operative Emissionen	0 Reduktion des CO2 Ausstoßes durch Heizen um 50 %	+	++ Reduktion des CO2 Ausstoßes durch Heizen um 75 %	++ Reduktion des CO2 Ausstoßes durch Heizen um 75 %
Winterlicher Wärmeschutz	-- An den Profilen ist im Winter mit Kondensat zu rechnen und mit Zugerscheinungen durch einen Kaltluftabfall (das wird aktuell durch die kniehoch Verglasung vor der Fassade reduziert)	- An den Profilen ist im Winter mit Kondensat zu rechnen und mit Zugerscheinungen durch einen Kaltluftabfall (das wird aktuell durch die kniehoch Verglasung vor der Fassade reduziert)	+	++ Optimierte Gesamtkonstruktion
Sommerlicher Wärmeschutz (mit der Annahme, dass alle Varianten ohne Sonnenschutz ausgeführt werden)	0 Verbesserung zum Bestand durch bessere U-Werte im Glas und Glasbeschichtungen, Reduzierter Wärmeeintrag	+	++ Insgesamt Verbesserung durch optimierte Gebäudehülle, Reduzierter Wärmeeintrag	++ Insgesamt Verbesserung durch optimierte Gebäudehülle, Reduzierter Wärmeeintrag
Belüftung und Entwässerung im Falzbereich der Fassade (Mehrfeldbelüftung über Dichtungen in Pfosten, Kondensat muss von Riegel in den Pfosten geführt werden)	0 Weniger Platz für spezielles Dichtungsdesign	+	+	++ Neu entworfene Konstruktion nach heutigem Stand der Technik

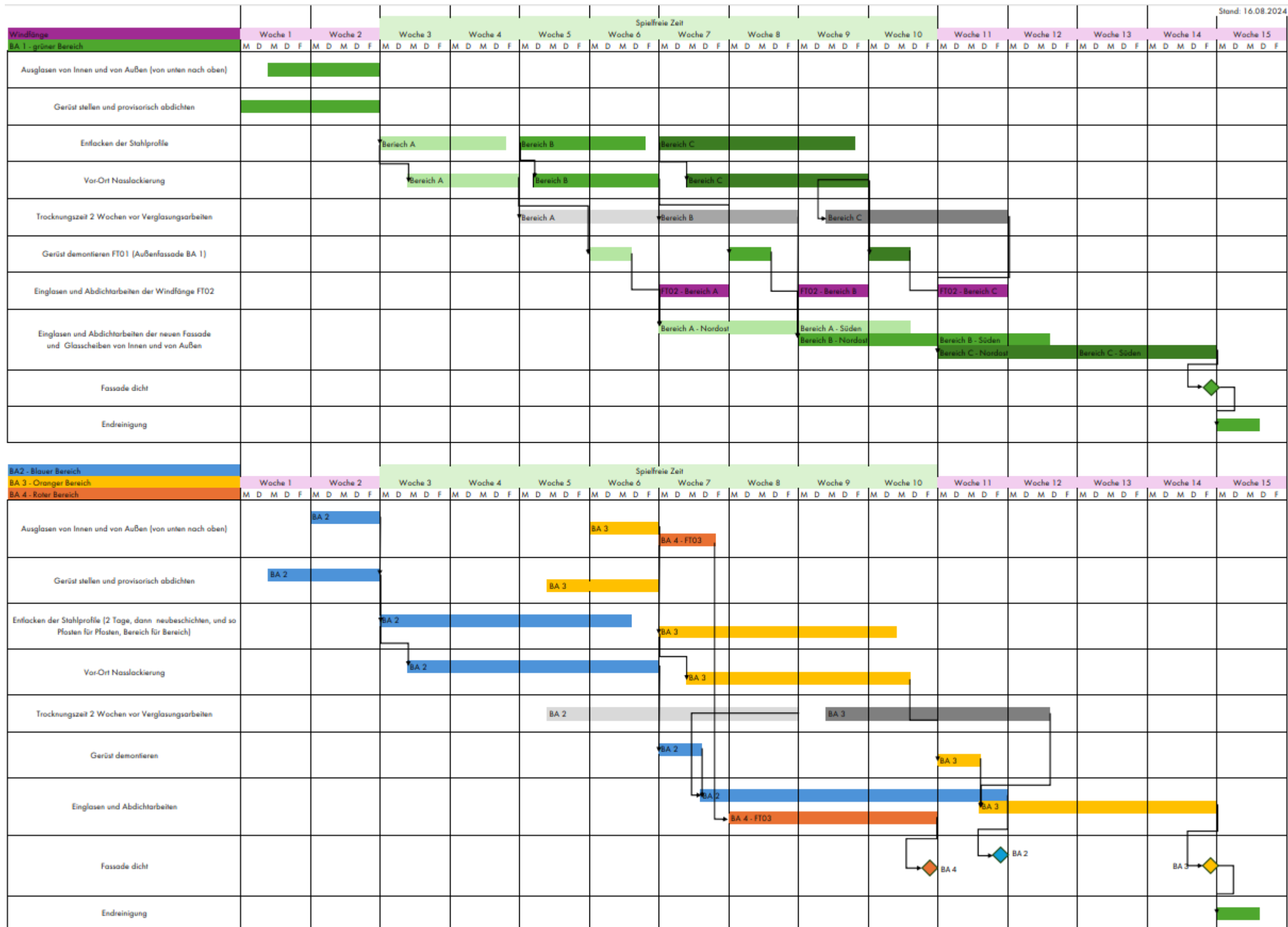
9.5.1 Grobterminplan

[illegible]

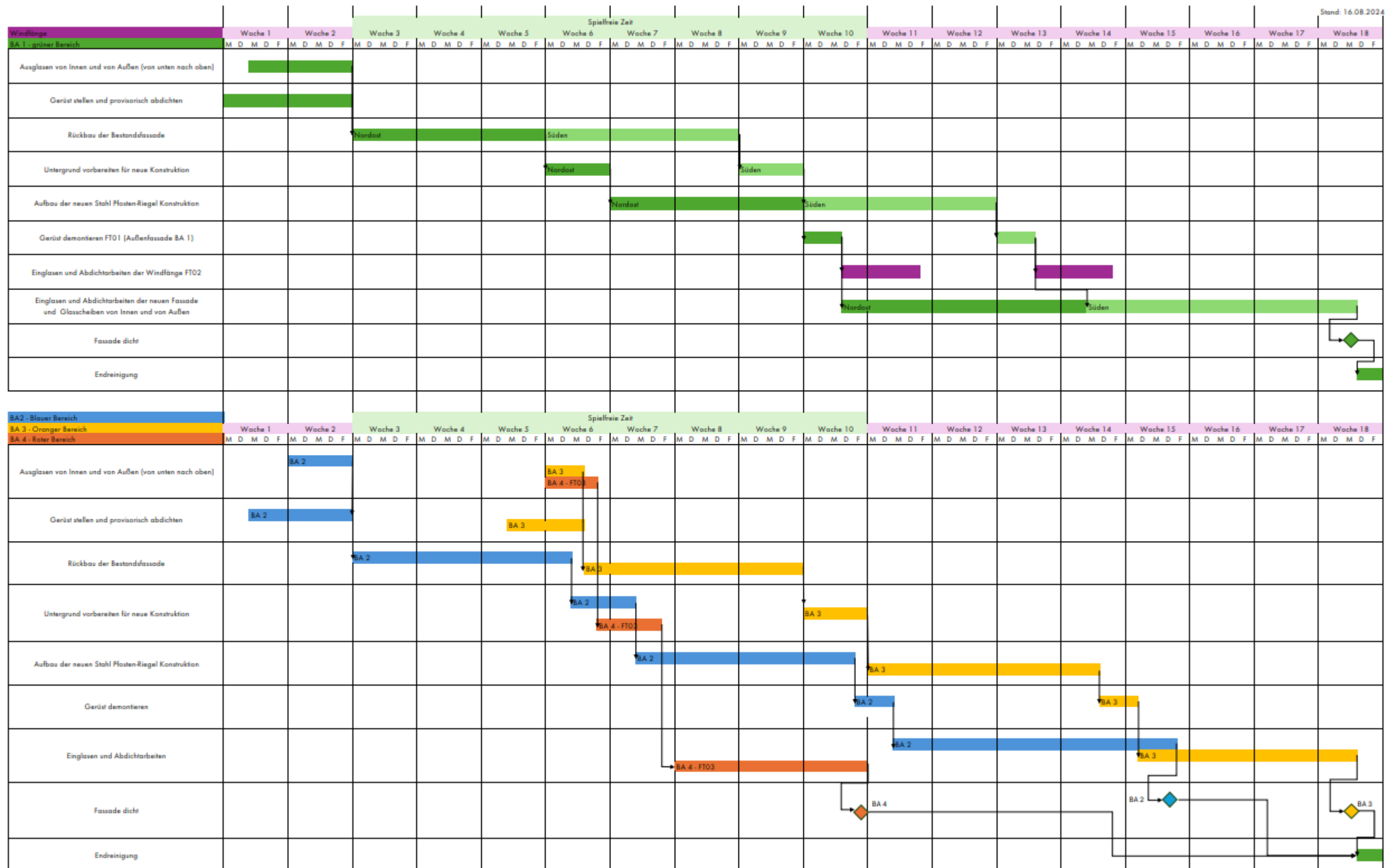
9.5.2 Terminplan Variante 1, 2a



9.5.3 Terminplan Variante 2b



9.5.4 Terminplan Variante 3



10 Kosten

Die Preise sind zzgl. der Planungskosten zu berücksichtigen.

Die ausführliche Grundlage des Kostenrahmens ist dem beigefügten Anhang bzw. der entsprechenden Excelliste zu entnehmen.

	Variante 1	Variante 2a	Variante 2b	Variante 3
KG 300	1.630.550,00 €	1.904.200,00 €	1.987.450,00 €	3.678.570,00 €
KG 400	34.400,00 €	34.400,00 €	34.400,00 €	34.400,00 €
Gesamtkosten	1.664.950,00 €	1.938.600,00 €	2.021.850,00 €	3.712.970,00 €
Kosten pro m² Fassade	1.196,94 €	1.393,67 €	1.453,52 €	2.669,28 €

11 Wirtschaftlichkeitsvergleich

Gemäß den in der BNB festgelegten Nutzungsdauern (Stand 2017) sind die Lebenszyklen der Glasscheiben, Dichtungen und Schiebetüren deutlich überschritten. Die Stahlprofile der Fassadenkonstruktion hingegen haben eine angegebene Nutzungsdauer von über 50 Jahren und wirken äußerlich in einem Zustand, der nach einer Erneuerung der Lackierung und Ausbesserung korrodierter Stellen, wie etwa an den Loslagern der Südostseite, eine weitere Verwendung ermöglicht. Die Notausgangstüren, deren Nutzungsdauer ebenfalls mit mehr als 50 Jahren angegeben ist, weisen jedoch erhebliche Beschädigungen auf und sind daher nicht mehr regelmäßig nutzbar. Ein Austausch dieser Türen ist daher notwendig.

Beschreibung	Nutzungsdauern nach BNB (2017)	Alter der Bauteile in der Fassade des Opernhauses
Verglasung: Sicherheits-Isolierglas, 3-Scheiben-Wärmeschutz-Isolierglas, 2-Scheiben Wärmeschutz-Isolierglas	30 Jahre	59 Jahre (einige blinde Glasscheiben, Austausch notwendig)
Dichtstoffe Dichtungsprofile	12 Jahre 20 Jahre	Vermutlich 59 Jahre (Austausch notwendig)
Fenster (Rahmen und Flügel): Aluminium, Aluminium-Holz-Komposit, Aluminium-Kunststoff-Komposit, Laubholz behandelt, Stahl	≥ 50 Jahre	59 Jahre (auf ersten Blick sind die Stahlprofile in Ordnung, und können mit neuer Lackierung weiter eingesetzt werden)
Sondertüren: Schiebetüren, Rotationstüren	30 Jahre	59 Jahre (Austausch notwendig)
Sondertüren: Schallschutztüren, Glastüren	≥ 50 Jahre	59 Jahre (Türen nicht mehr für regelmäßigen Durchgang nutzbar, Austausch notwendig)

WIRTLER SONNEN .

Tatsächliche Nutzungsdauern von Materialien können insbesondere durch regelmäßige Reinigung und Wartung der Materialien maximiert werden. Empfohlen wird eine regelmäßige Reinigung und Wartung von 2-mal jährlich. Die Betriebskosten für die Wartung und Reinigung sollten sich zum heutigen Stand nicht ändern, sofern regelmäßige Wartungen und Reinigungen durchgeführt werden.

Der vorangestellte Vergleich der Nutzungsdauern zeigt, dass die Variante 1 aufgrund der überschrittenen Nutzungsdauern sowieso notwendig wird, unabhängig von den zusätzlichen Einsparmaßnahmen durch eine thermisch verbesserte Gebäudehülle.

Im Folgenden werden zunächst die Investitionskosten (KG 100 – 600, zzgl. Planungskosten KG 700 und Finanzierungskosten) der einzelnen Varianten den Barwerten der Ersparnisse durch Heizen über 50 Jahre gegenübergestellt. Für die Barwertberechnung wird ein Zinssatz von 4,25 % angenommen (Zinssatz EZB Stand 12.08.2024). Der Preis für die Fernwärme wurde aus dem Mittelwert des Preises von April 2024 entnommen (0,131 ct/kWh).

	Variante 1	Variante 2a	Variante 2b	Variante 3
Investitionskosten KG100-KG600	1.664.950,00 €	1.938.600,00 €	2.021.850,00 €	3.712.970,00 €
Barwert der Kostenersparnisse über 50 Jahre	-4.246,50 €	-5.573,53 €	-6.433,09 €	-6.433,09 €
Differenz	1.660.703,50 €	1.933.026,47 €	2.015.416,91 €	3.706.536,91 €
Differenz zur Instandsetzungsmaßnahme Variante 1	0,00 €	272.322,97 €	354.713,41 €	2.045.833,41 €

Aufgrund des sehr niedrigen Preises (Großkunden), ist die Einsparung durch das Heizen minimal und kaum wahrnehmbar. Dadurch wird sich monetär keine der zusätzlichen Verbesserungsmaßnahmen amortisieren. Durch Fördergelder können sie Investitionskosten je Variante gegebenenfalls noch reduziert werden.

12 Fazit und Empfehlungen für die Fassadensanierung

Für die Instandsetzung empfehlen wir Variante 1, da sie aus wirtschaftlicher Sicht die bevorzugte Option darstellt. Es ist jedoch zu beachten, dass sich in den Wintermonaten weiterhin Kondensat an den Stahlprofilen der Fassade bilden kann. Ebenso wird es nach wie vor zu einem Kaltluftabfall kommen, der am Fußpunkt abgebrems werden muss, um Zuglufterscheinungen zu vermeiden.

Als Verbesserungsmaßnahme empfehlen wir Variante 2b. Diese optimiert sowohl die Verglasung als auch die Pfosten thermisch, während die bestehenden Fassadenpfosten erhalten bleiben. Wirtschaftlich gesehen sind die Varianten 2a und 2b ähnlich, jedoch liegt die Variante 2a hier durch die niedrigen Heizkosten vorne. Variante 2a weist aber ähnliche Probleme auf wie Variante 1 (deswegen nicht empfohlen), während Variante 2b eine etwas breitere Ansichtsbreite der Pfosten- und Riegelkonstruktionen erfordert, aber aus Sicht der Energieeffizienz, Funktionalität und Nachhaltigkeit klare Vorteile mit sich bringt.

Variante 3 wird aufgrund wirtschaftlicher Überlegungen, Prinzipien der Nachhaltigkeit und längerer Bauzeiten nicht empfohlen.

Folgende Disziplinen sollten in dem Planungsprozess beauftragt werden:

- Objektplanung
- Fassadenplanung
- Bauphysik
- Brandschutz

Gutachten:

- Ornithologe
- Tragwerksplaner (Gutachten zur Bestandsdecke mit Berücksichtigung der leicht erhöhten Fassadenlasten durch 3-fach Isolierverglasung)

13 Normen und Spezifikationen

DIN EN 179	Schlösser und Baubeschläge - Notausgangsschlösser
DIN EN 356	Glas im Bauwesen - Sicherheitssonderverglasung - Prüfverfahren und Klasseneinteilung des Widerstandes gegen manuellen Angriff
DIN EN 410	Glas im Bauwesen - Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen und Verglasungen
DIN EN 673	Glas im Bauwesen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) Berechnungsverfahren (enthält Änderung A1:2000)
DIN EN 795	Schutz gegen Absturz
DIN EN 1063	Glas im Bauwesen - Sicherheitssonderverglasung - Prüfverfahren und Klasseneinteilung für den Widerstand gegen Beschuss
DIN EN 1125	Schlösser und Baubeschläge - Panikverschlüsse
DIN EN 1154	Schlösser und Baubeschläge - Türschließmittel mit kontrolliertem Schließablauf - Anschlagmaße und Einbau
DIN EN 1627	Fenster, Türen, Abschlüsse - Einbruchhemmung
DIN EN 1863-1	Glas im Bauwesen - Teilvorgespanntes Kalknatronglas - Teil 1: Definition und Beschreibung
DIN 1946-6	Raumlüftungstechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung
DIN 4102	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
DIN 4108	Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
DIN 4109	Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise
DIN 4426	Einrichtungen zur Instandhaltung baulicher Anlagen - Sicherheitstechnische Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege - Planung und Ausführung
DIN EN 1279	Glas im Bauwesen - Mehrscheiben-Isolierglas
DIN EN 12101-2	Rauch- und Wärmefreihaltung - Teil 2: Festlegungen für natürliche Rauch- und Wärmeabzugsgeräte
DIN EN 12152	Vorhangfassaden - Luftdurchlässigkeit

WIRTSCHAFTS UNIVERSITÄT DORTMUND

DIN EN 12154	Vorhangfassaden - Schlagregendichtheit
DIN EN 12179	Vorhangfassaden - Widerstand gegen Windlast - Prüfverfahren
DIN EN 12207	Fenster und Türen - Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung
DIN EN 12208	Fenster und Türen - Schlagregendichtheit - Klassifizierung
DIN EN 12424	Widerstand gegen Windlast - Klassifizierung
DIN EN 12425	Widerstand gegen eindringendes Wasser - Klassifizierung
DIN EN 12426	Tore - Luftdurchlässigkeit - Klassifizierung
DIN EN 12427	Tore - Luftdurchlässigkeit - Prüfverfahren
DIN EN 12428	Wärmedurchgangskoeffizient - Anforderungen an die Berechnung
DIN EN 12600	Glas im Bauwesen - Pendelschlagversuch - Verfahren für die Stoßprüfung und Klassifizierung von Flachglas
DIN EN 13051	Vorhangfassaden - Schlagregendichtheit - Feldversuch
DIN EN 13241-1	Tore - Produktnorm - Teil 1: Produkte ohne Feuer- und Rauchschutzeigenschaften
DIN EN 13501-1	Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten
DIN EN 13633	Schlösser und Baubeschläge - Elektrisch gesteuerte Paniktürverschlüsse, für Türen in Rettungswegen - Anforderungen und Prüfverfahren
DIN EN 13637	Schlösser und Baubeschläge - Elektrisch gesteuerte Notausgangsanlagen für Türen in Rettungswegen - Anforderungen und Prüfverfahren
DIN EN 13830	Vorhangfassaden Produktnorm
DIN EN 13947	Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten
DIN EN 14179-1	Glas im Bauwesen - Heißgelagertes thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheibensicherheitsglas - Teil 1: Definition und Beschreibung
DIN EN 14351-1	Fenster und Türen - Produktnorm, Leistungseigenschaften
DIN EN 16361	Kraftbetätigte Türen - Produktnorm, Leistungseigenschaften
DIN 18008-1	Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Teil 1: Begriffe und allgemeine Grundlagen

WIKI WIKI SUMME .

DIN 18008-2	Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen
DIN 18008-3	Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Teil 3: Punktförmig gelagerte Verglasungen
DIN 18008-4	Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Teil 4: Zusatzanforderungen an absturzsichernde Verglasungen
DIN 18008-5	Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Teil 5: Zusatzanforderungen an begehbare Verglasungen
DIN 18040	Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen - Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude
DIN 18516	Außenwandbekleidungen, hinterlüftet
DIN 18533	Abdichtung von erdberührten Bauteilen
DIN 18650	Automatische Türsysteme: Produktanforderungen und Prüfverfahren
DIN EN 62305	Blitzschutz, VDE 0185-305:2006
ASR A2.1	Technische Regeln für Arbeitsstätten Schutz vor Absturz und herabfallenden Gegenständen, Betreten von Gefahrenbereichen
ASR A3.6	Technische Regeln für Arbeitsstätten - Lüftung
HBO	Landesbauordnung Hessen
BildscharbVO	Bildschirmarbeits-Verordnung
CE.01	CE-Kennzeichnung von Vorhangfassaden CE.01
ElVTR	Elektrische Verriegelungssysteme für Türen in Rettungswegen
ETAG 002	Geklebte Glaskonstruktionen - Beschichtete Aluminiumsysteme
FLL	Deutsches Dachdeckerhandwerk - Regeln für Abdichtungen - Flachdachrichtlinie
GEG	Gebäudeenergiegesetz
Glasreinigung	Merkblatt zur Glasreinigung des Bundesinnungsverband des Glaserhandwerks
GS-BAU-18	Grundsätze für die Prüfung und Zertifizierung der bedingten Betretbarkeit oder Durchsturzsicherheit von Bauteilen bei Bau- oder Instandhaltungsarbeiten
VDI 2719	Schalldämmung von Fenstern
VFF Merkblätter	z.B. KB.01 Kraftbetätigte Fenster

WIRKUNGSSUMME

VwV TB	Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen
Merkblatt ZiE/vBg	Merkblatt der Landesstelle für Bautechnik „Zustimmung im Einzelfall für Bauprodukte und Bausätze und vorhabenbezogene Bauartgenehmigung für Bauarten“

WERKZEUGE SUMME .

14 Anhang