



Leitfaden zur Planung von Photovoltaik auf der Fassade eines Silospeichers

Wien, 19. April 2024

**Silosophie – Neunutzung, Neugestaltung und Forschung rund um Silo-
Anlagen und vergleichbare Gebäude**

Wolfskogel 1
2763 Pernitz
Austria

www.silosophie.at

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Einleitung | 4 |
| 1.1 | Relevanz der Studie..... | 4 |
| 1.2 | Ziel..... | 4 |
| 2 | Methodik | 5 |
| 3 | Projekt Solar Silo Engelhartstetten..... | 5 |
| 3.1 | Allgemeine Beschreibung | 5 |
| 3.2 | Projektteilnehmer | 6 |
| 3.3 | Gefördertes Projekt..... | 6 |
| 4 | Planung | 6 |
| 4.1 | Bestandsaufnahme | 6 |
| 4.1.1 | Vergleich mit der Bestandsaufnahme von Schrägdachanlagen..... | 7 |
| 4.1.2 | Ergebnis der Besichtigung | 8 |
| 4.1.3 | Wechselrichter & elektrische Betriebsanlage | 11 |
| 4.1.4 | Blitzschutz..... | 13 |
| 4.1.5 | Blendung..... | 14 |
| 4.2 | Netzanschluss | 14 |
| 4.2.1 | Vergleich mit dem Netzanschluss von Schrägdachanlagen | 14 |
| 4.3 | Behördenwege..... | 15 |
| 4.3.1 | Vergleich mit den Behördenwege von Schrägdachanlagen | 15 |
| 4.4 | Blendung..... | 15 |
| 4.4.1 | Vergleich mit der Blendung von Schrägdachanlagen | 16 |
| 4.5 | Brandschutz..... | 16 |
| 4.5.1 | Vergleich mit dem Brandschutz von Schrägdachanlagen..... | 18 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.6 | Tragfähigkeit..... | 19 |
| 4.6.1 | Vergleich mit der Tragfähigkeit von Schrägdachanlagen..... | 19 |
| 4.7 | Systemplanung..... | 19 |
| 4.7.1 | Vergleich mit der Systemplanung von Schrägdachanlagen..... | 20 |
| 4.7.2 | Module..... | 20 |
| 4.7.3 | Unterkonstruktion..... | 21 |
| 4.7.4 | Normen & Richtlinien..... | 22 |
| 4.8 | Montageplanung..... | 22 |
| 4.9 | Dokumentation..... | 23 |
| 5 | Montage..... | 23 |
| 5.1 | Vergleich mit der Montage von Schrägdachanlagen..... | 23 |
| 5.2 | AC-Anschluss & Montage..... | 23 |
| 5.3 | DC-Anschluss & Montage..... | 24 |
| 5.4 | Prüfung..... | 24 |
| 6 | Betrieb..... | 24 |
| 6.1 | Wartung & Monitoring..... | 24 |
| 6.2 | Reinigung..... | 25 |
| 7 | Zusammenfassung Unterschiede zwischen Photovoltaik auf Dächern und der Fassade | 25 |
| 8 | Wirtschaftlicher Teil..... | 26 |
| 8.1 | Projektlauf & Projektrisiken..... | 26 |
| 8.1.1 | Prozessschritte & Varianz..... | 27 |
| 8.1.2 | Empfehlung Projektlauf..... | 29 |
| 8.2 | Wirtschaftlichkeit..... | 30 |
| 8.2.1 | Investitionskosten Engelhartstetten..... | 30 |
| 8.2.2 | Darstellung der Betriebskosten..... | 30 |
| 8.2.3 | PV-SOL Wirtschaftlichkeitssimulationen..... | 30 |
| 9 | Fazit..... | 32 |
| 9.1 | Empfehlungen für Förderungen..... | 32 |
| 9.2 | Empfehlungen an die Industrie..... | 32 |
| 10 | Anhang..... | 32 |

1 Einleitung

1.1 Relevanz der Studie

Getreidespeicher Silos prägen die Landschaft Österreichs. Insgesamt kann angenommen werden, dass die Anzahl 300 Silos in Österreich übersteigt. In den Bundesländern Niederösterreich, Oberösterreich & Burgenland konnte eine Anzahl von 285 Objekten dokumentiert werden. (Knöbl, 2021) Es ist anzunehmen, dass die Anzahl über ganz Österreich verteilt höher liegt. In einer Schätzung seitens der Silosophie in der 30 zufällig ausgewählte Silospeicher, auf die Bevölkerungsanzahl der Dörfer im Umkreis von 1 Kilometer untersucht wurden, wurde festgestellt, dass hochgerechnet auf alle Silospeicher die Anzahl der Personen in Ortschaften in unmittelbarer Nähe zu einem Silo zirka 1,2 Millionen Menschen in Österreich beträgt. Daraus wird der Schluss gefasst, dass 1/8 der österreichischen Bevölkerung im direkten Sichtradius der Silos lebt.

Die Lage, Objektform und das Baujahr der Silospeicher in Niederösterreich wurde umfangreich im Siloarchiv dokumentiert. (Siloarchiv, kein Datum) Es ist auffällig, dass die Getreidespeicher überwiegend den ländlichen Raum zieren und in den meisten Fällen das höchste Gebäude in Ortschaften darstellen. Mit Höhen bis zu 60 Metern überragen sie andere Gebäude und sind von weither sichtbar.

In dieser Arbeit wird der Ansatz verfolgt die Präsenz der Silospeicher für die Energiewende in Österreich zu nutzen um damit weithin sichtbare Symbole zu kreieren, die ein Motivationsfaktor für die ansässige Bevölkerung darstellen an der Energiewende teilzunehmen. Durch die Installation von Fassadenphotovoltaikanlagen auf Silospeichern können sichtbare erneuerbare Kraftwerke erschaffen werden, sowie Leuchtturmprojekte für potentiell Energiegemeinschaften. Weiters kann anhand der einfachen Geometrie und der guten Netzanschlussvoraussetzungen bei Silospeichern die Technologie der Fassadenphotovoltaik einfache Anwendung finden wodurch dieser Markt an Zuwachs gewinnen kann.

1.2 Ziel

Diese Arbeit soll Planern, Bauunternehmen und Elekrounternehmen eine Hilfestellung sein bei der Planung & Errichtung von Fassadenphotovoltaikanlagen auf Silospeichern. Darüber hinaus soll diese Arbeit dabei unterstützen, dass eben diese Gewerke bessere Abschätzungen über notwendige Investitionskosten treffen können, sodass für potentielle Investoren die Ungewissheit, und damit das finanzielle Risiko reduziert wird. Es wurden daher folgende Ziele definiert:

- Erstellung eines allgemein gültigen Leitfadens für die flächendeckende Installation von Photovoltaik auf Silotürmen und Gebäuden mit ähnlichen Rahmenbedingungen mit folgendem Inhalt:
 - Technische Gegebenheiten und Herausforderungen
 - Wirtschaftlichkeit und Möglichkeiten der Finanzierung
- Darstellung von Faktoren, die den Unterschied von Photovoltaik-Fassadenflächen auf Silos von Standardfassaden/Photovoltaik-Anlagen darlegen wie bspw. Kostenstruktur, Montage in der Höhe, Windbelastungen, Reflexionen, etc.

2 Methodik

Die Methodik um die genannten Ziele zu erreichen wurde wie folgt gewählt:

- Es wurde ein Beispielprojekt einer Fassadenphotovoltaikanlage in 2292 Engelhartstetten in der Bahnstraße 16 von der Projektentwicklung über die Planung bis hin zu Errichtung von der Silosophie begleitet & dokumentiert. Die einzelnen Planungs- & Ausführungsschritte wurden in chronologischer Reihenfolge festgehalten & es wurde Bezug genommen auf Unterschiede zu herkömmlichen Schrägdachanlagen auf Ziegeldächern. Hierfür wurde mit dem umsetzenden Fachpartner kooperiert.
- Der Projektablauf wurde in einem Prozessbild festgehalten und es wurden auf die mögliche Varianz der Investitionskosten eingegangen die anhand von Erkenntnissen aus den unterschiedlichen Projektschritten auftreten kann.
- Es wurde ein Vorschlag für eine ideale Reihenfolge der Planungsschritte gemacht, um die Kostenvarianz schrittweise zu reduzieren mit einem minimalen Kostenaufwand.
- Abschließend wurde die Wirtschaftlichkeit der Fassadenphotovoltaikanlage in Engelhartstetten anhand einer PV-SOL Simulation dargestellt. Hierfür wurden 3 Szenarien für unterschiedliche Markteinspeisepreise durchgeführt.

3 Projekt Solar Silo Engelhartstetten

3.1 Allgemeine Beschreibung

Das Projekt umfasst die Planung & Errichtung einer Fassadenphotovoltaikanlage in 2292 Engelhartstetten, Niederösterreich, auf dem Siloturm auf den Grundstücken Gstknr. 238/27,238/23 KG 6303. Die Photovoltaikanlage wurde als Überschuss Einspeiser konzeptioniert.

Die Errichtung erfolgt unter einem Neigungswinkel von 90° und die Anlage erfüllt neben ihren Eigenschaften als Kraftwerk zusätzliche bautechnische Eigenschaften als Kaltfassade. Für die Anlage wurden bifaziale Glas-Glas Module eingesetzt.

Beim Gebäude handelt es sich um einen Getreidespeichersilo.

3.2 Projektteilnehmer

Anbei wurden die unterschiedlichen Projektteilnehmer kurz festgehalten:

- Der Fachpartner für die Planung & Abwicklung des Baus der Photovoltaik war das Einzelunternehmen Lucas Silhanek unter dem Begleitnamen Smobi
- Die Betreiber des Getreidespeicher Silos sind Daniela & Karl Massinger
- Die Forschung & Projektkoordination sowie die Kommunikation mit der Gemeinde wurde durch den Verein Silosophie abgewickelt

3.3 Gefördertes Projekt

Das Projekt wurde durch die Kommunalkredit Public Consulting GmbH gefördert bei der Förderausschreibung Muster- und Leuchtturmprojekte Photovoltaik. Die Förderung stellte das Fundament und die Motivation für das Projekt. Ohne wäre eine Umsetzung des Projektes ausgeschlossen gewesen. (Silhanek, 2022)

4 Planung

Im folgenden Kapitel wird auf die Planung der Fassadenphotovoltaikanlage eingegangen. Die abgehandelten Planungsschritte wurden in chronologischer Reihenfolge im Bericht angeführt. Wenngleich viele der Planungsschritte in Wechselbeziehung zueinanderstehen und teilweise gleichzeitig abgehandelt wurden. (Silhanek, 2022)

4.1 Bestandsaufnahme

Das Ziel der Bestandsaufnahme war es, die Vorortsituation des Silos aufzunehmen um die Lage der Module, Wechselrichter & Kabelwege zu bestimmen und um den Zustand der bestehenden elektrischen Betriebsanlage zu prüfen. Weiters war das Ziel alle relevanten Informationen einzusammeln um bestmöglich auf etwaige Eigenheiten des Bestandsobjektes eingehen zu können und daraus Anforderung an die Systemkomponenten abzuleiten. (Silhanek, 2022)

Folgende Informationen wurden innerhalb der Bestandsaufnahme eingeholt:

- Die Ausrichtung des Objektes anhand von Satellitenbildern
- Die Geometrie des Objektes anhand von Bestandsplänen & einer Vorort Messung

- Das Material des Mauerwerks im Zuge von Gesprächen mit den Inhabern & einer Besichtigung
- Die Beschaffenheit der Oberfläche im Zuge einer Besichtigung & Fotodokumentation
- Der Zustand und die Position des Verteilerschranks sowie des Messwandler Schrankes im Zuge einer Besichtigung & Fotodokumentation
- Den Niveauunterschied auf der zu bebauenden Fläche im Zuge einer Vorort Messung
- Der elektrische Energieverbrauch anhand von Stromrechnungen
- Die Dimension der Zuleitung der elektrischen Betriebsanlage im Zuge einer Besichtigung bzw. in Rücksprache mit dem Netzbetreiber
- Ob eine direkte Verbindung der Zuleitung mit der Transformatorstation existiert, im Zuge von Gesprächen & Schriftverkehr mit dem lokalen Netzbetreiber
- Ob ein Blitzschutz vorhanden ist und in welchem Zustand dieser ist, im Zuge einer Besichtigung
- Die Zufahrtmöglichkeiten bzw. allgemeine Lage und das Gelände sowie das umliegende Gelände und benachbarte Gebäude & Infrastruktur im Zuge einer Besichtigung sowie über Satellitenbilder

4.1.1 Vergleich mit der Bestandsaufnahme von Schrägdachanlagen

Die Bestandsaufnahme im Vergleich zu einer herkömmlichen Schrägdach Gewerbehphotovoltaikanlage unterscheidet sich in folgenden Punkten:

- Da der Befestigungsuntergrund eine Stahlbetonwand ist muss Rücksicht auf den Zustand dieser genommen werden
- Es muss Rücksicht auf mögliche Gebäudetrennfungen genommen werden
- Es ist notwendig im Montagebereich der Anlage die Niveauunterschiede zu messen um mit der Unterkonstruktion das Niveau gegebenenfalls ausgleichen zu können
- Es ist besondere Rücksicht auf die Umgebung um das Gelände zu nehmen, da die Anlage blenden kann

4.1.2 Ergebnis der Besichtigung

4.1.2.1 Modulbereich und dessen Beschaffenheit

Im Zuge der Bestandsaufnahme wurde die südlich liegende Fassadenfläche, wie in der Abbildung 1 markiert, für die Belegung mit Modulen gewählt. Die Fläche ist nach Südwesten ausgerichtet mit einem geschätztem Azimut Winkel von 10 – 20 °. Die gewählte Fläche weist keine Einbauten auf und wird im oberen Bereich durch Fenster, sowie einen Stahlbalkon begrenzt. Im unteren Bereich wird die Fläche durch einen Gebäudevorsprung begrenzt. Die Fläche erstreckt sich in einem Höhenniveau, ausgehend von einem Nullniveau bei der Oberkante der Straße, von 13,1 – 43,95 m. Die obere Kante endet mit der Position der Stützhalterungen des Stahlbalkons. (siehe Abbildung 3)

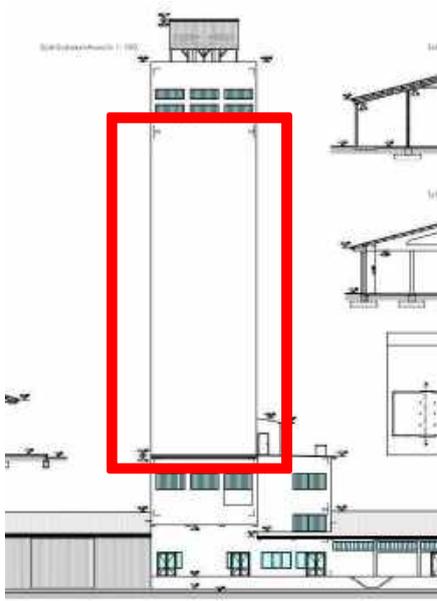


Abbildung 1 Planzeichnung Ansicht von Süden Silospeicher



Abbildung 2 Aufnahme Südfassade Silospeicher



Abbildung 3 Aufnahme Stützhalterungen Stahlbalkon



Abbildung 4 Betonaufplatzung Südfassade



Abbildung 5 Betonaufplatzungen Kante Süd zu Ostfassade inkl. Blitzschutz

Der Silospeicher wies zum Zeitpunkt der Besichtigung Schäden an der Fassade auf. Teilweise wurde die Bewehrung des Betons freigelegt. (siehe Abbildung 5, **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, Abbildung 6)



Abbildung 6 Betonaufplatzungen Kante Süd zu Ostfassade inkl. Blitzschutz

Die Südfassade wies bis auf eine Betonaufplatzung (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) keine Schäden auf. Der Großteil der Schäden war im Kantenbereich. Im Projekt entschied man sich die Schäden vor der Anlageninstallation zu sanieren. Ein weiteres Merkmal der Südfassade sind Gebäudetrennfugen. (siehe Abbildung 7 & Abbildung 8)

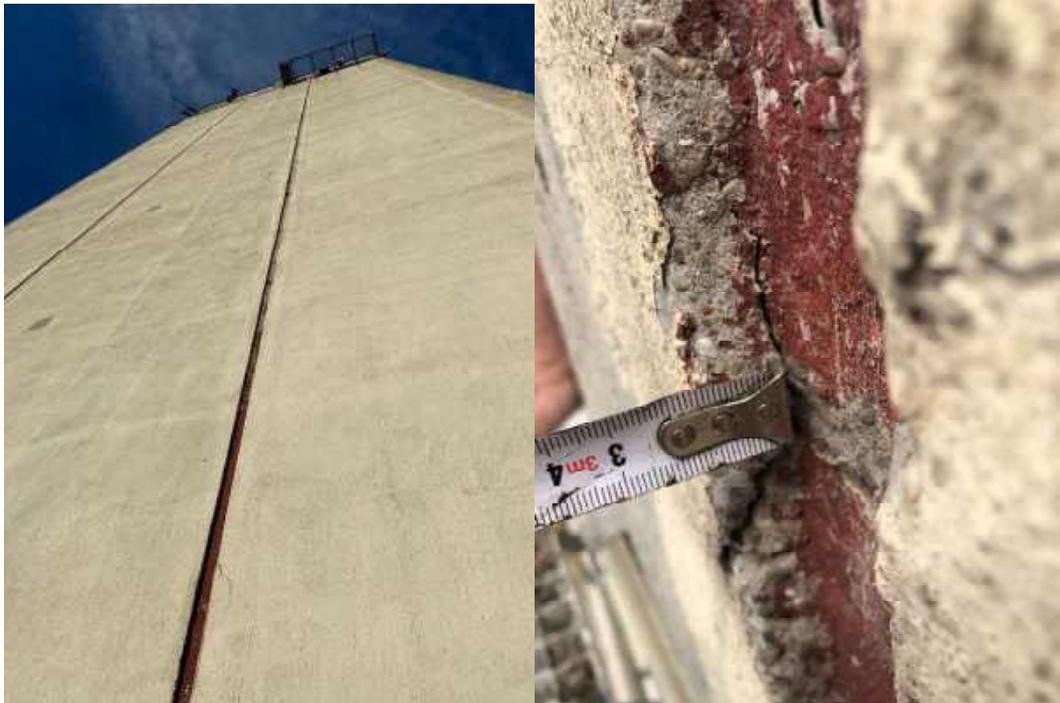


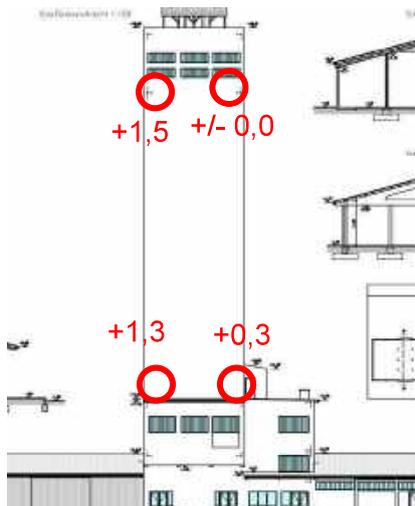
Abbildung 7 Aufnahme Gebäudetrennfugen Südfassade

Abbildung 8 Tiefe der Gebäudetrennfuge



Abbildung 9 Breite der Gebäudetrennfuge

Aufgrund der höheren thermischen Ausdehnung im Fugenbereich mussten diese im weiteren Planungsverlauf berücksichtigt werden.



Um mit der Unterkonstruktion auf Niveauunterschiede im Fassadenbereich reagieren zu können, wurde an den Eckpunkten des Silos das Niveau gemessen ausgehend von dem Nullniveau im oberen östlichen Eck. (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dabei wurde festgestellt, dass die Fassade eine leichte Neigung nach Westen aufweist, jedoch der Niveauunterschied über die gesamte Fläche vernachlässigbar ist.

Abbildung 10 Messpunkte
Niveauunterschied

4.1.3 Wechselrichter & elektrische Betriebsanlage

Für den Wechselrichter wurde ein Ort im Außenbereich gesucht um die DC-Leitungsführung außerhalb des Gebäudes zu führen und um den Brandschutz nach ÖVE R11-1 herzustellen. Der äußere Anbau auf der Ostseite des Silos wurde für die Platzierung gewählt. (siehe Abbildung 12 & Abbildung 11) Weiters ergab sich entlang der Rohre für den Getreidetransport eine Option zur AC-Leitungsführung in das Erdgeschoß des Gebäudes (siehe Abbildung 13, Abbildung 14 & Abbildung 13). Die Rohre werden zum Transport des Kornes im Speicher genutzt und bieten im Inneren des Gebäudes vorhandene Deckdurchbrüche. (Massinger, 2022) Die Führung ins Innere erfolgte mittels Kernbohrung im Bereich der Rohre.



Abbildung 12 Ostseite Silo & Anbau



Abbildung 11 Anbau inneres & Wechselrichter Position



Abbildung 13 Rohre zur Führung der AC-Kabel ins Gebäude innere im Anbau



Abbildung 14 Evilonrohre Ansicht untere Deckenkante direkt unterhalb des Anbaus



Abbildung 15 Fortlaufender Kabelweg mit bestehenden Kernbohrungen in das Erdgeschoß

Der Leitungsweg in den Technikraum wurde in Abbildung 17 & Abbildung 16 dargestellt

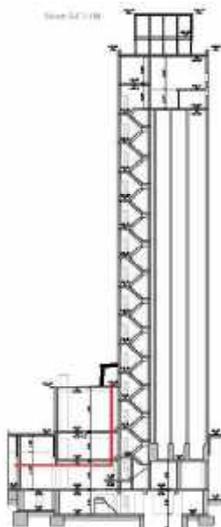


Abbildung 16 Schnittansicht

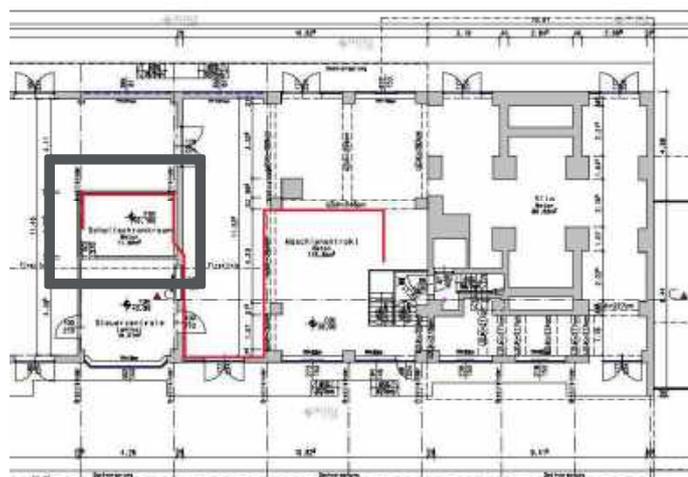


Abbildung 17 Grundriss Kabelführung in den Technikraum (Blau)

Die Verteilerschränke sowie der Messwandlerschrank des Silospeichers befinden sich im Schaltschrankraum des Gebäudes. (siehe Abbildung 17)

Bei der Besichtigung der Verteilerschränke und des Messwandler-Schranks, stellte sich



Abbildung 18 Messwandlerschrank Bestand

heraus, dass die bestehenden Verteilerschränke keinen Platz für die Einbindung der Photovoltaikanlage aufweisen. Der bestehende Messwandler Schrank entsprach nicht den aktuellen Anforderungen der Netz Niederösterreich. (siehe Abbildung 18) Dadurch wurde die Anschaffung eines neuen Verteilerschranks inkl. Netzfreeschaltstelle notwendig, sowie die Erneuerung des Messwandlerschranks.

In Rücksprache mit dem Netzbetreiber wurde bestätigt, dass die Betriebsanlage mit einer direkten Leitung mit dem vor Ort befindlichen Transformator verbunden ist. Durch diese Gegebenheit wurden die technischen Ausführungsbestimmungen der Netz Niederösterreich dahingegen erfüllt, dass die Anlage auf der Netzebene 6 (größer 30 kVA Leistung) betrieben wird und eine Erzeugungsleistung von größer 30 kVA möglich ist, ohne eine neue Leitung zwischen dem Betriebsgebäude und dem Transformator herzustellen. (Netz-Niederösterreich, 2022)

Bei der Besichtigung stellte sich weiters heraus, dass die Dimension der Zuleitung für eine Erzeugungsleistung von 50 kVA ausreichend ist.

4.1.4 Blitzschutz

Der Silospeicher wies einen stark beschädigten Blitzschutz (siehe Abbildung 5 & Abbildung 6) auf im Bereich der Ost- und Westfassade. Im Zuge der Planung wurde gemeinsam mit dem Siloinhaber entschieden, dass der vertikale Blitzschutz in diesem Bereich erneuert wird. Die Unterkonstruktion der Photovoltaikanlage wurde mit dem Blitzschutzsystem leitend verbunden.

4.1.5 Blendung

Bei der Untersuchung der Lage des Objektes stellte sich heraus, dass in der verlängerten Blickachse der angedachten Photovoltaikanlagen eine Wohnsiedlung liegt. (siehe Abbildung 19) Daher wurde das Blendverhalten im Zuge der weiteren Planung untersucht und geprüft ob die Grenzwerte für Blendung nach OVE R11-3 eingehalten werden können.



Abbildung 19 Genordetes Satellitenbild.
Wohnsiedlung südlich liegend des
Silospeichers (Google, 2022)

4.2 Netzanschluss

Im Anschluss an die Bestandsaufnahme wurde eine Netzanfrage zur Errichtung der Erzeugungsanlage beim Netzbetreiber gestellt. Über das Netzpartner Portal der Netz Niederösterreich wurde eine Anfrage für eine Photovoltaikanlage mit einer Gleichstrom Leistungsgröße von 57 kWp gestellt. Dazugehörig wurde ein Wechselrichter der Type: Tauro 50 des Unternehmens Fronius, mit einer Ausgangsleistung Wechselstromseitig mit 50 KVA, gewählt. Nach einer positiven Rückmeldung der Netze im Mai 2021 konnte das Projekt verfolgt werden. Der Antrag wurde im Mai 2022 erneuert. (Silhanek, 2022)

4.2.1 Vergleich mit dem Netzanschluss von Schrägdachanlagen

Der Netzanschluss im Vergleich zu einer herkömmlichen Schrägdach Gewerbehphotovoltaikanlage unterscheidet sich in folgenden Punkten:

- Silos können höhere Bezugsanschlussleistungen aufweisen wodurch ein Anschluss auf Netzebene 6 vorhanden sein kann.

Hinweis: Ob eine direkte Verbindung mit einem Transformator existiert ist in Niederösterreich ausschlaggebend für eine Anschlussleistung größer 30 kW. Da der geeignete Anschlusspunkt für Anlagen größer 30 kW lt. den technischen Ausführungsbestimmungen der Netz NÖ auf der Netzebene 6 zu erfolgen hat. (Netz-Niederösterreich, 2022)

4.3 Behördenwege

Im Oktober 2021 wurde Kontakt mit der lokalen Baubehörden aufgenommen um Vorgaben seitlich der Baubehörde in der Planung berücksichtigen zu können. Es wurden die Bezirkshauptmannschaft in Gänserndorf sowie das Bauamt der Gemeinde in Engelhartstetten diesbezüglich kontaktiert. Beide Institutionen gaben an, dass die Anlage keine Anzeige, Bewilligung oder Genehmigung benötigt. (Silhanek, 2022)

4.3.1 Vergleich mit den Behördenwege von Schrägdachanlagen

Die Behördenwege im Vergleich zu einer herkömmlichen Schrägdach Gewerbephotovoltaikanlage unterscheidet sich in folgenden Punkten:

- Photovoltaikfassaden erfüllen im Gegensatz zu herkömmlichen Anlagen unterschiedliche Verwendungszwecke. Einerseits erfüllen Sie den Zweck einer herkömmlichen Photovoltaikanlage, andererseits kann durch eine seitliche Verblechung der Zustand einer hinterlüfteten Kaltfassade erreicht werden. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Anforderungen je nach Betrachtung. Es sind die Mindestanforderungen mit der zuständigen Baubehörde abzustimmen.

4.4 Blendung

Die Blendung wurde in einem zweistufigen Verfahren in Kooperation mit einem Lichttechniker geprüft. Zuerst wurden die kritischen Punkte für eine Blendung identifiziert. (siehe Abbildung 20)

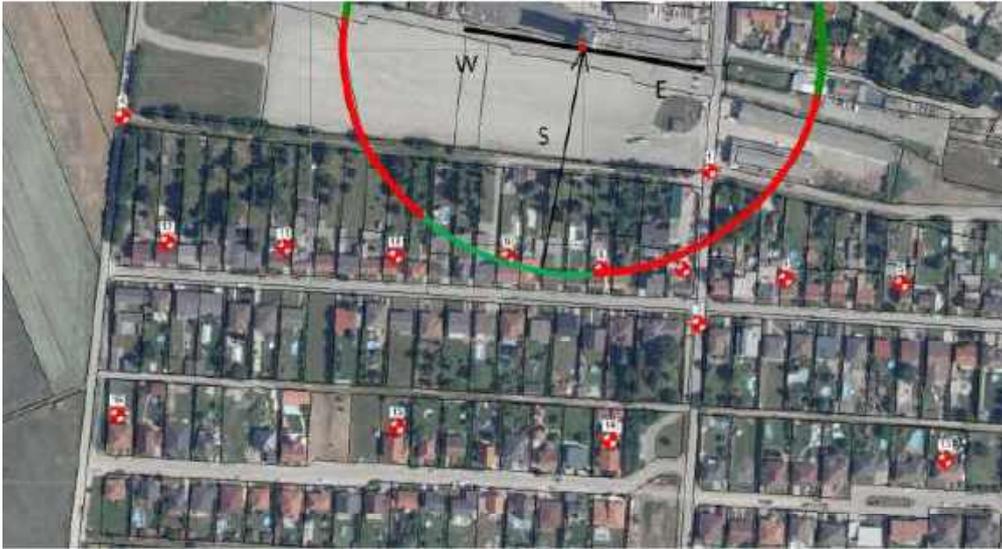


Abbildung 20 kritische Punkte für eine Blendung durch die Photovoltaikfassade

Im Anschluss wurde die Länge der durchgehenden Blendung an einem Tag und die Dauer der Blendung über das Jahr geprüft. Während der Prüfung wurde festgestellt, dass die normativen Grenzwerte nach OVE Richtlinie R11-3 eingehalten wurden:

- kumulierten Jahresstundenzahlen: 30 h einer sichtbaren Reflexion
- maximale Zeitdauer pro Tag: 30 min einer sichtbaren Reflexion

Das Gutachten wurde dieser Arbeit angehängt.

4.4.1 Vergleich mit der Blendung von Schrägdachanlagen

Die Blendung im Vergleich zu einer herkömmlichen Schrägdach Gewerbephotovoltaikanlage unterscheidet sich in folgenden Punkten:

- Durch die vertikale Anordnung der Module ist die Gefahr einer Blendung deutlich erhöht, es muss deswegen in jedem Fall eine nähere Untersuchung der Blendung durch einen Lichttechniker nach Richtlinie R11-3 erfolgen.

4.5 Brandschutz

Während die Brandschutzanforderungen für Photovoltaikanlagen innerhalb der OVE Richtlinie R11-1 festgelegt sind, stellte sich die Frage ob höhere Anforderung seitens des Brandschutzes aufgrund der OIB-Richtlinien für den hinterlüfteten Fassadenbau zur Anwendung kommen. (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)

Tabelle 1: Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten

| 1 Fassaden | | |
|------------|--|---------|
| 1.1 | Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme | A2-d1 |
| 1.2 | Fassadensysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete | |
| 1.2.1 | Gesamtsystem oder | A2-d1 |
| 1.2.2 | Einzelkomponenten | |
| | - Außenschicht | A2-d1 |
| | - Unterkonstruktion stabförmig / punktförmig | A2 / A2 |
| | - Dämmschicht bzw. Wärmedämmung | A2 |
| 1.3 | Vorhangfassaden | |
| | Einzelkomponenten | |
| | - Profil (Rahmen, Pfosten oder Riegel) | A2 |
| | - Ausfachung als Verglasung | B-d1 |
| | - Ausfachung als Paneel | A2-d1 |
| | - Abdichtung zwischen Ausfachung und Profil | E |
| | - Beschichtung (sofern nicht mit Profil oder Ausfachung mitgeprüft) | B |
| 1.4 | sonstige Außenwandbekleidungen oder -beläge | A2-d1 |
| 1.5 | nichttragende Außenwandbauteile | A2-d1 |
| 1.6 | Gebäudetrennfugenmaterial | A2 |
| 1.7 | Geländerfüllungen bei Balkonen, Loggien u. dgl. | A2 |

Abbildung 21 Auszug Tabelle 1 OIB Richtlinie 2.3 für Brandschutz 2019

Die Einstufung des Gebäudes in eine Gebäudeklasse stellt hierbei eine Notwendigkeit dar. Die Gebäudeklassen 1-5 eignen sich nicht für Silospeicher, aufgrund des maximalen Fluchtniveaus von 22 Metern (Gebäudeklasse 5). Die OIB-Richtlinie 2.3 gibt Hinweise für den Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von über 22 Metern bis 90 Metern. Die Anforderungen lauten wie folgt: **Zitat OIB Richtlinien OIB-330.2-015/19 S.5**

Fassaden

2.3.1 Fassaden (z.B. Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete Fassaden) sind so auszuführen, dass bezogen auf das zweite über dem Brandherd liegende Geschoß eine Brandweiterleitung über die Fassade und das Herabfallen großer Fassadenteile wirksam eingeschränkt wird.

2.3.2 Vorhangfassaden sind so auszuführen, dass a) bezogen auf das zweite über dem Brandherd liegende Geschoß eine Brandweiterleitung über die Fassade und das Herabfallen großer Fassadenteile, sowie b) eine Brandausbreitung über Anschlussfugen und Hohlräume und zusätzlich über innerhalb einer zweischaligen Vorhangfassade vorhandene Zwischenräume im Bereich von Trenndecken bzw. brandabschnittsbildenden Decken wirksam eingeschränkt werden.

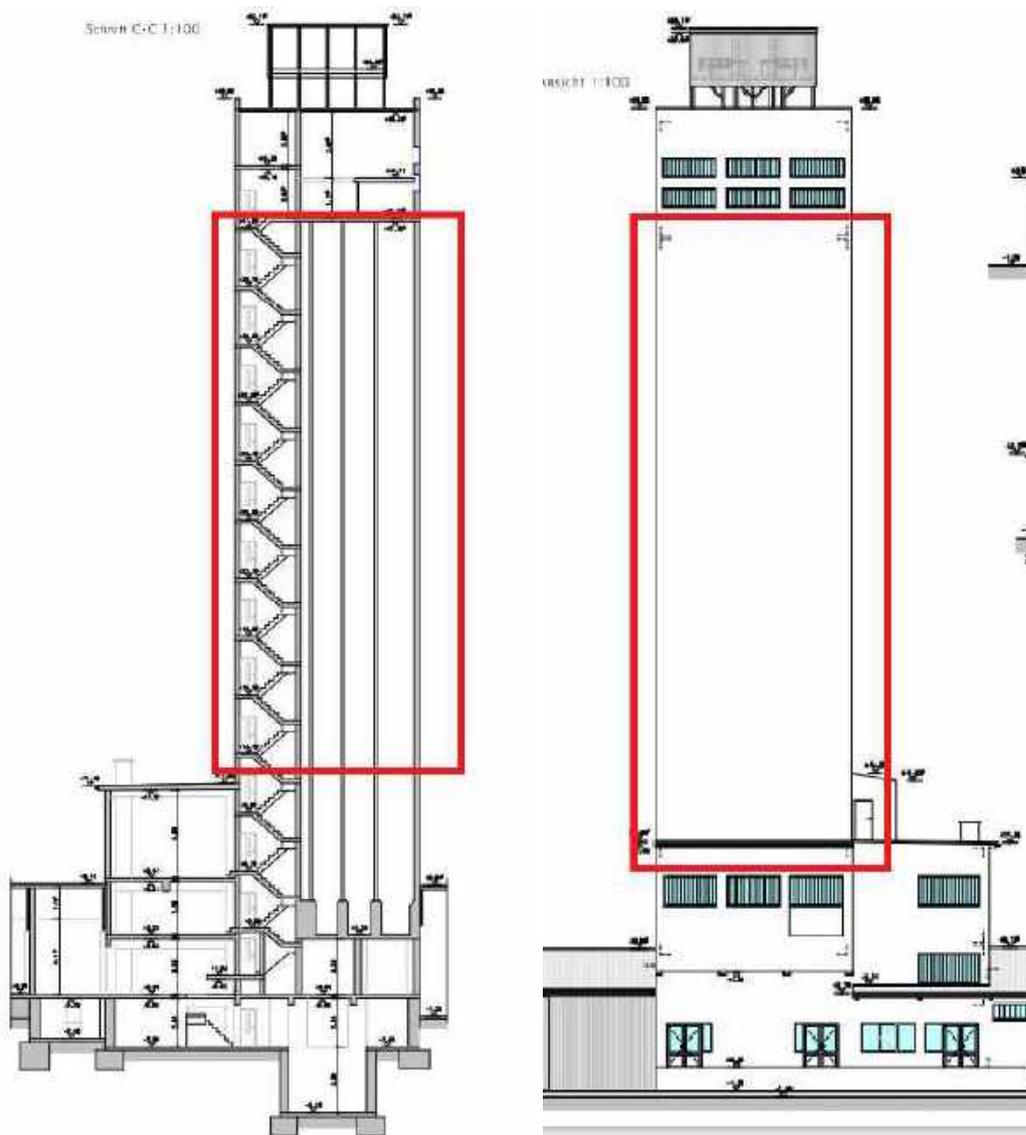
2.3.3 Kleinteile ohne tragende Funktion, wie z.B. Dämmstoffhalter, Dübelhülsen, Windpapier, thermische Trennungen und Dichtungen, bleiben hinsichtlich der Anforderungen an das Brandverhalten außer Betracht.

2.3.4 In Sockel- und Spritzwasserschutzbereichen ist die Verwendung von Dämmstoffen der Klasse E

zulässig. **Zitat Ende OIB Richtlinien OIB-330.2-015/19 S.5**

Seitens der Behörden wurden keine Ansprüche an die Anlage bzgl. der OIB Richtlinien gestellt. Jedoch wurde in der Planung Rücksicht auf die Vorgaben seitens OIB genommen. Die Fassade ist durch den baulichen Vorsprung von den darunterliegenden Geschoßen getrennt wodurch eine Brandübertragung von unterhalb der Fassade auf die Fassade auszuschließen

ist. Die Fassade selbst überbrückt den Speicherraum und das oberste Geschoß des Silos wodurch eine Brandweiterleitung laut Definition auf das zweite darüberliegende Geschoß über dem Brandherd ausgeschlossen werden kann. Ein weiterer Brandschutz kann durch die Betonwände des Silospeichers erreicht werden. Da Beton ein nicht brennbares Material ist. (Beton-Marketing, 2008) Im Projekt wurden keine weiteren Maßnahmen seitens des Brandschutzes außer jenen der OVE Richtlinie R11-1 getroffen. Hinsichtlich der Module wäre eine Erfüllung der OIB-Richtlinie nicht möglich gewesen, da kein bekanntes Modul die Anforderungen B-d1 nach ÖNORM EN 13501-1 ausweisen konnte.



4.5.1 Vergleich mit dem Brandschutz von Schrägdachanlagen

Der Brandschutz im Vergleich zu einer herkömmlichen Schrägdach Gewerbephotovoltaikanlage unterscheidet sich in folgenden Punkten:

- Bei herkömmlichen Anlagen reicht eine Betrachtung des Brandschutzes nach der Richtlinie R11-1 bzw. den Anforderungen hinsichtlich OVE 8101 aus. Bei Photovoltaikfassaden können zusätzliche Anforderung verlangt werden, da die Errichtung einer hinterlüfteten Fassade den OIB Richtlinien unterliegt. Im Zweifelsfall sollte der Brandschutz mit einem Brandschutztechniker geklärt werden.

4.6 Tragfähigkeit

Um die Anforderungen seitens der Tragfähigkeit der Anlage zu erfüllen wurde mit einem Ziviltechniker Büro für Statik & Konstruktionen kooperiert. Ein technisches Gutachten des Gesamtsystems wurde dieser Arbeit angehängt.

4.6.1 Vergleich mit der Tragfähigkeit von Schrägdachanlagen

Die Tragfähigkeitsprüfung im Vergleich zu einer herkömmlichen Schrägdach Gewerbephotovoltaikanlage unterscheidet sich in folgenden Punkten:

- Die Tragfähigkeitsprüfung erfolgt unter anderen Wind- & Schneelasten. Da Silos Höhen von bis zu 60 Metern aufweisen sind die Windlasten entsprechend höher wodurch erhöhte technische Anforderungen an die Module gestellt werden können.
- Es ist in jedem Fall ein Ziviltechniker für Statik & Konstruktion heranzuziehen um die Tragfähigkeit innerhalb eines Gutachtens nachzuweisen. Die Systemstatik ist ebenfalls von einem Ziviltechniker zu prüfen und konnte nicht mit Herstellerprogrammen ermittelt werden.

4.7 Systemplanung

Im Zuge der Systemplanung wurden die verschiedenen Komponenten der Anlage gewählt. Dabei wurde darauf Bedacht genommen, dass alle Normen und spezifischen Gegebenheiten vor Ort berücksichtigt werden. Weiters war es das Ziel die Investitionskosten gering zu halten (Silhanek, 2022).

Folgende Komponenten wurden innerhalb der Systemplanung dimensioniert:

- Module
- Unterkonstruktion
- Wechselrichter
- Potentialausgleich & Schutz vor Überspannung
- Verkabelung

Die Auslegung der Komponenten war in enger Abstimmung mit einem Sachverständigem für hinterlüfteten Fassadenbau und einem Ziviltechnikerbüro für Statik und Konstruktion. Weiters gab es hinsichtlich der Montage Abstimmungen mit dem ausführenden Montagepartner. Bei der Planung des Systems war der Ausgangspunkt das Photovoltaikmodul. Das Unterkonstruktionssystem wurden dem Modul entsprechend gewählt.

4.7.1 Vergleich mit der Systemplanung von Schrägdachanlagen

Die Systemplanung im Vergleich zu einer herkömmlichen Schrägdach Gewerbehphotovoltaikanlage unterscheidet sich in folgenden Punkten:

- Für Schrägdachanlagen können nahezu alle am Markt befindlichen Module verwendet werden. Im Fassadenbereich sind die Anforderungen hinsichtlich Brandschutzes und Statik deutlich höher. Dadurch können herkömmliche Standardmodule nur bedingt Anwendung finden. Weiters stellt die Geometrie eine Herausforderung dar, da bestehende Geometrien gewisse Anforderungen an Modulmaße stellen.
- Für herkömmliche Schrägdachanlagen gibt es eigene etablierte Unterkonstruktionshersteller. Im Photovoltaikfassadenbereich unterscheiden sich diese Hersteller und sind dem Glasfassadenbau zuzuordnen. Unterkonstruktionssysteme sind nicht für jedes Modul geeignet und müssen auf dieses im Detail abgestimmt werden.
- Die Kabelführung erfolgt bei Fassaden zu einem höheren Anteil vertikal. Für Kabel sind Zugentlastungen zu berücksichtigen.

4.7.2 Module

Das Modul musste folgende Anforderungen zusätzlich der angeführten Normen (siehe 4.7.4) erfüllen:

- Geometrische Anforderungen hinsichtlich eines harmonischen Gesamtbildes der Photovoltaikfassade und eines sauberen Randabschlusses mit dem Silospeicher
- Statische Anforderungen hinsichtlich Schnee- und Windlasten
- Brandschutz Anforderungen hinsichtlich der Feuerwiderstandsklasse
- Leistungsanforderungen, da eine Anlagengröße von 57 kWp seitens der Fördereinrichtung erreicht werden musste.

Für das Modul wurde die Annahme getroffen, dass es sich um Teilvorgespanntes Glas handelt. Nach der ÖNORM B 3716 Gals im Bauwesen wurden folgende Windlasten pro m² errechnet (siehe Abbildung 22)

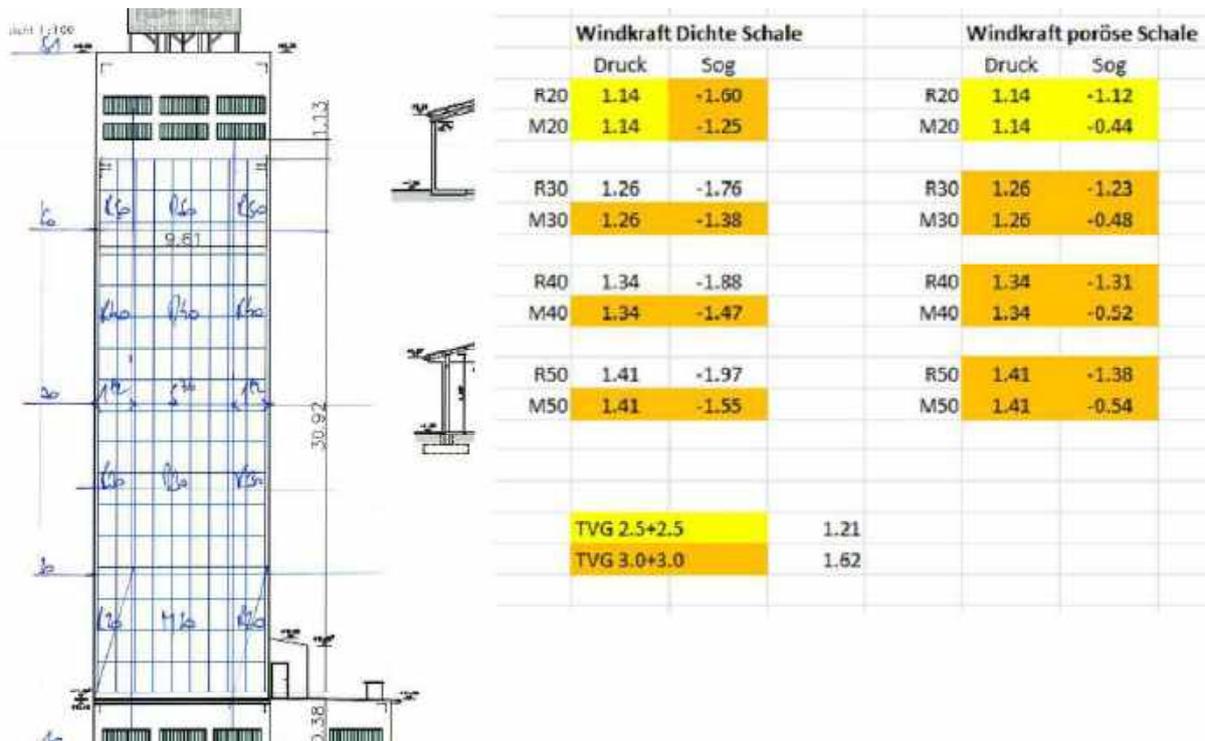


Abbildung 22 Sog- und Zuglasten in kN/m² für den Rand- und Mittelbereich in Abhängigkeit der Höhe

Gleichzeitig wurde ermittelt, dass bei einem Verbundglas mit einer Glasstärke von 3 + 3 mm die Anforderungen erfüllt sind.

Die Anforderungen hinsichtlich Brandschutzes stellen innerhalb des Projektes eine Hürde dar. Nach den OIB Richtlinien hat das Modul ein Brandschutzverhalten nach ÖNORM EN 13501-1 von B-d1 zu erfüllen. Hersteller weisen diese Werte nicht aus, da die Produkte keiner entsprechenden Feuerwiderstandsprüfung unterzogen werden. Da seitens der Behörden keine Anforderungen an die Feuerwiderstandsklasse in Anlehnung an eine hinterlüftete Kaltfassade gestellt wurde und die Normen für Photovoltaik in dieser Richtung nichts verlangen sowie ein gewisser Brandschutz durch das Bestandsgebäude bereits hergestellt ist, wurde dieser Punkt vernachlässigt.

4.7.3 Unterkonstruktion

Die Unterkonstruktion musste folgende Anforderungen zusätzlich der angeführten Normen (siehe 4.7.4) erfüllen:

- Das System musste das gewählte Modul einspannen können
- Statische Anforderungen
- Brandschutz Anforderungen hinsichtlich der Feuerwiderstandsklasse
- Die Anforderung, dass die Dehnfuge nicht überbaut werden darf

- Eine durchgängige Verbindung zur Herstellung eines Spannungspotential musste möglich sein
- Das System sollte in der Montage möglichst leicht zu montieren sein und einen gewissen Spielraum geben um Fehler auszubessern.

4.7.4 Normen & Richtlinien

Folgende Normen und Richtlinien wurden im Zuge der Systemplanung berücksichtigt:

- OVE EN 8101 Elektrische Niederspannungsanlagen
- Önorm EN 1991-1-3 Schneelast
- Önorm EN 1991-1-4 Windlast
- ÖVE ÖNORM M 7778 Montageplanung und Montage von thermischen Solarkollektoren und PV-Modulen
- ÖVE ÖNORM EN 62305 – Blitzschutz: Schutz von baulichen Anlagen und Personen
- OVE EN 62446 Photovoltaik (PV) Systeme – Anforderungen an Prüfung, Dokumentation und Instandhaltung
- Önorm M 7778 Montageplanung und Montage von thermischen Solarkollektoren und Photovoltaikmodulen
- OVE Richtlinie R-6-2-1 Photovoltaikanalgen Blitz- und Überspannungsschutz Teil 1
- OVE Richtlinie R-6-2-2 Photovoltaikanalgen Blitz- und Überspannungsschutz Teil 2
- OVE Richtlinie R11-1 Anforderungen zum Schutz von Einsatzkräften der Feuerwehr
- OVE Richtlinie R11-3 Blendung durch Photovoltaik
- TOR-Erzeuger A
- Önorm B 3716 Teil 1-7 Glas im Bauwesen
- IFD-Fassadenrichtlinien des österreichischen Verbands für hinterlüftete Fassaden

4.8 Montageplanung

Für die Ausführung wurden folgende Dokumente erstellt und vom Projektplaner an den ausführenden Obermonteur übergeben:

- Schriftliche Dokumentation der auszuführenden Schritte inkl. Warnhinweise und besonderer Ausführungspunkte
- Belegungsplan
- Schnitt der Anlage in der vertikalen Achse
- Schnitt der Anlage in der horizontalen Achse
- Verschiedene Detailzeichnungen
- Dübelrasterplan

Es empfiehlt sich, bei der Montage der Photovoltaikfassade Toleranzen bzw. Qualitätskriterien zu definieren, die eingehalten werden müssen. Folgende werden als Beispiel gegeben:

- Die Stringsplanung
- Das Fugenbild (z.B. optisch einheitlich mit Abweichungen zum Planmaß von +/- 3mm)
- Ebene Fassadenoberfläche (Toleranz in der Tiefe +/- 1,5 cm auf die gesamte Länge)
- Umfang der Fotodokumentation während der Montage

4.9 Dokumentation

Die Anlage wurde nach OVE EN 62446 dokumentiert. Es wurde darauf Acht gegeben, dass die Anlage sowie die einzelnen Arbeitsschritte vollständig Foto dokumentiert wurden.

5 Montage

5.1 Vergleich mit der Montage von Schrägdachanlagen

Die Montage im Vergleich zu einer herkömmlichen Schrägdach Gewerbephotovoltaikanlage unterscheidet sich in folgenden Punkten:

- Ohne Hilfsmittel kann auf der Fassade nicht montiert werden, da die Fortbewegung, wie auf einem herkömmlichen Dach, nicht möglich ist
- Der höchste Arbeitspunkt liegt mit Höhen von bis zu 45 m um ein Vielfaches höher als bei gewöhnlichen Dachanlagen
- Der vertikale Warentransport muss über die gesamte Montagedauer erfolgen. (Ein abstellen der Ware mittels Krans auf dem Dach ist nicht möglich)
- Bei der Leitungsführung ist auf Zugentlastungen zu achten
- Durch geringe Toleranzen ist beim setzen der Verbindungsmittel (Betonanker) auf besondere Genauigkeit zu achten

5.2 AC-Anschluss & Montage

Der Anschluss der Photovoltaikanlage erfolgte durch einen beauftragten Elektriker und umfasste:

- Die Platzierung und den Anschluss des Wechselrichters DC und AC seitig.
- Die Lieferung und Einbau des Messwandlerschranks
- Lieferung und Einbau des Kabelübergangskasten
- Die Lieferung und den Einbau des Verteilerschranks
- Die Lieferung der AC-Anschlussleitung des Wechselrichters (wurde bauseits durch den Eigentümer verlegt)
- Die Lieferung der Kommunikationsleitung

Eine Fotodokumentation der Montage wurde diesem Dokument angehängt.

5.3 DC-Anschluss & Montage

Bei der Montage der Photovoltaikanlage stellte die Höhe des Betriebsobjektes eine wesentliche Hürde dar. Es wurde ein Fachbetrieb der spezialisiert ist auf die Montage mit Seilkletterern mit der Montage der Anlage auf dem Silo beauftragt. (Silhanek, 2022)

Die Materialien (Module / Unterkonstruktion) wurden mittels eines Teleskopstaplers auf das Plateau in 13,1 m Höhe gehoben und während der Montage zwischengelagert. Der vertikale Warentransport erfolgte mittels Seiltechnik (Module / Unterkonstruktion / Kabel / Leerverrohrung).

Eine Fotodokumentation der Montage wurde diesem Dokument angehängt.

5.4 Prüfung

Die Anlage wurde mittels Prüfbericht Erstgeprüft nach OVE EN 62446.

6 Betrieb

Der Betrieb wurde durch ein umfangreiches Monitoring begleitet. Folgende Parameter werden über eine Laufzeit von 2 Jahren aufgezeichnet und dokumentiert:

- Erzeugungsleistung sowie produzierte Energiemenge
- Temperatur (an 3 Messpunkten innerhalb der Fassade)
- Windgeschwindigkeit
- Einstrahlungswerte

Ein herkömmliches Anlagenmonitoring steht dem Anlagenbetreiber via der Applikation „Fronius Solar Web“ zur Verfügung.

6.1 Wartung & Monitoring

Die Wartung der Anlage betrifft folgende Punkte:

- Wiederkehrende elektrische Prüfung der Anlage
- Austausch von Anlagenteilen bei Defekt
- Monitoren der Anlagenerzeugungsdaten

Der Tausch von Komponenten im Fehlerfall an der Fassade (defektes Modul) wurde seitens der Planung mittels Seilkletterern angedacht. Es wurden 3 Ersatzmodule als Reserve für Wartungsarbeiten berücksichtigt. Elektrische Wartungsarbeiten an der elektrischen Betriebsanlage ab dem Wechselrichter können marktüblich durchgeführt werden, da der Zugang gegeben ist.

6.2 Reinigung

Eine Reinigung wird 3 jährlich empfohlen bzw. Bedarfsorientiert an der Erzeugungsleistung.

7 Zusammenfassung Unterschiede zwischen Photovoltaik auf Dächern und der Fassade

Anbei wurden die Unterschiede in Bezug auf Planung, Montage, Wartung und Monitoring die eine großflächige Photovoltaik-Fassadenanlage auf einem Siloturm birgt im Vergleich zu Standard Photovoltaik-Anlagen zusammengefasst und in Tabellenform ausgeführt. Weiters wurden die Faktoren angeführt die zu diesen Unterschieden führen:

Tabelle 1 Zusammenfassung Unterschiede Fassadenphotovoltaikanlage & Schrägdachanlage

| Technischer Projektprozessschritt | Unterschiede zu herkömmlichen Schrägdachanlagen | Maßgebender Faktor für die unterschiedliche Ausführung |
|--|--|---|
| [Planung] Bestandsaufnahme | <ul style="list-style-type: none"> • Begutachtung Zustand Stahlbetonwand • Begutachten Gebäudetrennfungen • Begutachten Niveauunterschiede • Begutachten Umgebung (Blendung) | Befestigungsuntergrund [Beton]; Gebäudealter [>50 Jahre]; Höhe [> 30 m] |
| [Planung] Netzanschluss | <ul style="list-style-type: none"> • Höhere Anschlussleistungen können vorhanden sein • Direkte Verbindung zu Transformator kann vorhanden sein | Anschluss auf Netzebene 6 kann vorhanden sein. |
| [Planung] Behördenwege | <ul style="list-style-type: none"> • Abstimmung mit der zuständigen Baubehörde über die Anforderungen jedenfalls notwendig | Photovoltaikfassade erfüllt den Nutzen als Photovoltaikanlage & als hinterlüftete Fassade |
| [Planung] Blendgutachten | <ul style="list-style-type: none"> • Blendgutachten notwendig | Höhe [> 30 m]; vertikale Anordnung der Module |

| | | |
|----------------------------|---|---|
| [Planung] Brandschutz | <ul style="list-style-type: none"> • Brandschutz prüfen lt. R11-1 • Brandschutz prüfen lt. OIB • Brandschutz ausführen lt. Vorgaben Behörde | Photovoltaikfassade erfüllt den Nutzen als Photovoltaikanlage & als hinterlüftete Fassade |
| [Planung] Tragfähigkeit | <ul style="list-style-type: none"> • Berechnung der Systemstatik durch Ziviltechniker | Erhöhte Windlast [$> 1,5 \text{ kN} / \text{m}^2$] |
| [Planung] Systemplanung | <ul style="list-style-type: none"> • Verwendung von Modulen notwendig die technischen Anforderungen erfüllen können • Unterkonstruktionssysteme aus dem hinterlüfteten Fassadenbereich beziehen • Zugentlastung für Leitungen berücksichtigen | Erhöhte Anforderungen Brandschutz und Tragfähigkeit; Am Markt verfügbare Produkte limitiert |
| [Planung] Normen | <ul style="list-style-type: none"> • Richtlinien aus dem hinterlüfteten Fassadenbereich müssen berücksichtigt werden | Anzahl an verfügbaren Normen höher da Photovoltaikfassade erfüllt den Nutzen als Photovoltaikanlage & als hinterlüftete Fassade |
| [Installation] DC-Montage | <ul style="list-style-type: none"> • Hilfsmittel für die vertikale Montage notwendig (Seilkletterer/Gerüst/Hebebühne) • Hilfsmittel für den vertikalen Warentransport notwendig (Seilkletterer/Gerüst/Kran/Hebebühne) • Geringe Toleranzen benötigen besondere Genauigkeit bei den Verbindungsmitteln (Betonanker) | Höhe [$> 30 \text{ m}$]; vertikale Anordnung der Module; |

8 Wirtschaftlicher Teil

8.1 Projektablauf & Projektrisiken

Anbei wurden die verschiedenen Projektschritte sowie die damit einhergehenden Kostenvarianz beschrieben. Die Varianz betrachtet die möglichen Unsicherheiten innerhalb

eines vergleichbaren Fassadenprojektes für Investoren, die zu Investitionskostenerhöhungen oder gar zu einem Projektabbruch führen können.

8.1.1 Prozessschritte & Varianz

Die unterschiedlichen Schritte innerhalb des Planungsprozesses wurden in Abbildung 23 dargestellt. Dabei ersichtlich ist, dass die finalen Investitionskosten von den unterschiedlichen Informationen aus den Planungsschritten abhängig sind. Eine exakte Abschätzung der Investitionskosten ohne eine Planung ist ausgeschlossen. Um ein Gefühl für die Varianz der möglichen Investitionskosten zu geben, wurde jeder Planungsschritt näher beleuchtet.

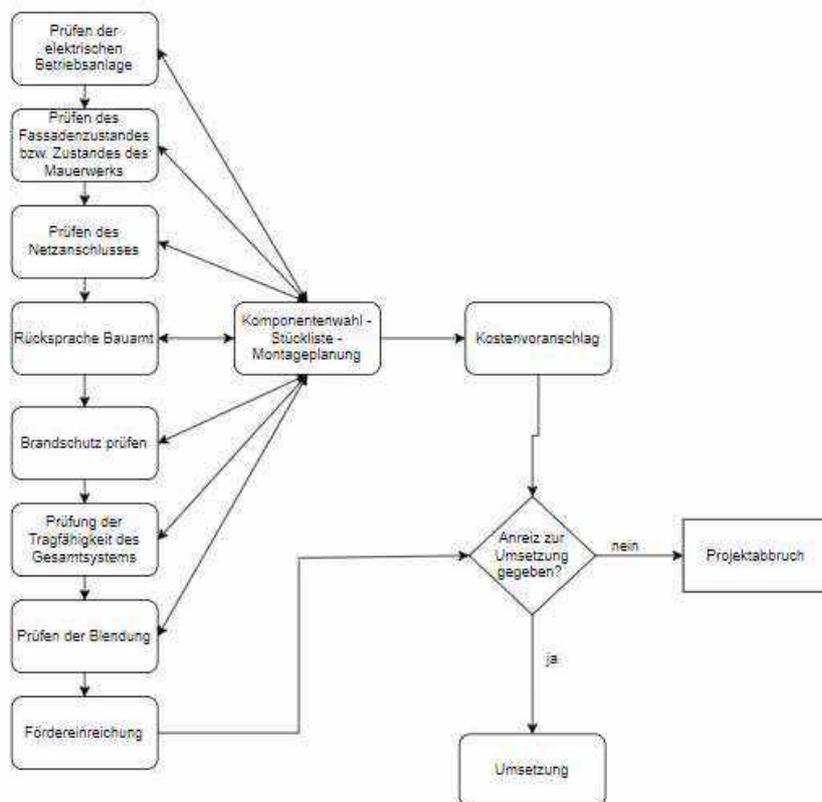


Abbildung 23 Darstellung Projektprozess Fassadenphotovoltaikanlage

Elektrische Betriebsanlage

Folgende Beispiele können die notwendigen Investitionskosten der Anlage verändern:

- Messwandler muss erneuert oder neu gebaut werden
- Zuleitung muss erneuert oder neu gebaut werden
- Länge des Leitungsweg zwischen Messwandler und Wechselrichter
- Zusätzliche Bestimmungen des Netzbetreibers

Fassadenzustand / Mauerwerkzustand

Folgende Beispiele können die notwendigen Investitionskosten der Anlage verändern:

- Niveau der Fassade (Eben oder uneben)
- Zustand der Fassade (Putz- oder Betonschäden)
- Einbauten in der Fassade (Fenster, Luftabzüge)
- Art des Mauerwerks (Beton oder Ziegel)

Netzanschluss

Folgende Beispiele können die notwendigen Investitionskosten der Anlage verändern:

- Ob im bestehenden Netz die Netzkapazitäten zu Verfügung stehen oder nicht
- Existiert eine direkte Verbindung zum Transformator oder nicht

Bauamt

Folgende Beispiele können die notwendigen Investitionskosten der Anlage verändern:

- Vorgaben seitens des Bauamtes

Brandschutz

Folgende Beispiele können die notwendigen Investitionskosten der Anlage verändern:

- Zusätzliche Anforderungen seitens des Brandschutzes an die Komponenten
- Zusätzliche Maßnahmen seitens eines geforderten Brandschutzkonzeptes

Tragfähigkeit

Folgende Beispiele können die notwendigen Investitionskosten der Anlage verändern:

- Zusätzliche Anforderungen seitens der Tragfähigkeit an die Komponenten (stärke Glasdimensionen, mehr Einspannungspunkte des Moduls)

Blendung

Folgende Beispiele können die notwendigen Investitionskosten der Anlage verändern:

- Zusätzliche Anforderungen seitens der Blendung an die Komponenten (Besondere Beschichtung der Module)

Förderung

Folgende Beispiele können die notwendigen Investitionskosten der Anlage verändern:

- Gibt es Fördermöglichkeiten und können diese für das Projekt gewonnen werden?

8.1.2 Empfehlung Projektablauf

Um einen Projektstart zu erleichtern bzw. ein Projekt zu initiieren wird empfohlen die unterschiedlichen Planungsschritte Stufenweise auszuführen und in einem ersten Schritt Experteneinschätzung in den unterschiedlichen Bereichen einzuholen. Anbei wurde ein mögliches vorgehen definiert:

- Statische Situation
 - LVL 1: Auskunft über die maximale Windlast gewinnen die am höchsten Punkt anliegt + Ersteinschätzung Statiker
 - LVL 2: statische Berechnung des Gesamtsystems
- Netzanschluss:
 - LVL 1: Anfrage beim hiesigen Netzbetreiber zur Einbindung der Anlage inkl. Rückfrage der Zuleitungsdimension durch Elektrofachkraft
- Blendung:
 - LVL 1: Kurze schriftliche Stellungnahme inkl. Empfehlung durch Blendtechniker aus der Ferne
 - LVL 2: Blendgutachten
- Zustand der Fassade:
 - LVL 1: Sichtprüfung vom Boden
 - LVL 2: Ausmessen und nivellieren der Oberfläche mittels Laser; auszubessernde Fläche prüfen (Beton- & Putzsanierung)
- Zustand der elektrischen Betriebsanlage u. Kabelwege
 - LVL 1 Besichtigung + Netzgespräche durch Elektrofachkraft
- Fördereinreichung
 - LVL 1 Erfragen der Situation bei Förderstellen & einlesen der Förderbedingungen
 - LVL 2 Einreichen
- Bauamt
 - LVL 1 mit Projektunterlagen in Gespräche gehen und prüfen ob es Auflagen gibt
- Energieertrag
 - LVL 1 Energieaudit
- Brandschutz
 - LVL 1 einschätzen der Brandgefahr inkl. Prüfung der bestehenden Normen
 - LVL 2 (falls notwendig) Rücksprache mit Brandschutztechniker
 - LVL 3 (falls notwendig) Brandschutzkonzept

Die Level 1 Schritte können Kostengünstig durchgeführt werden und geben frühzeitig Aufschluss über die Kosten eines möglichen Projektes.

8.2 Wirtschaftlichkeit

8.2.1 Investitionskosten Engelhartstetten

Die Investitionskosten der schlüsselfertigen Solarfassade in Engelhartstetten wurden vom Projektpartner mit 165.000 € angegeben. Inkludiert waren alle Schritte der Montage und Planung. Neben den Teilen für die Photovoltaikanlage wurde auch der Messwandlerschrank erneuert.

8.2.2 Darstellung der Betriebskosten

Die Betriebskosten waren zum Zeitpunkt der Anlageninstallation nicht bekannt. Folgende Kosten für den laufenden Betrieb der Anlage ergeben sich:

- Versicherungskosten
- Reinigungskosten
- Kosten eines Wechselrichtertausches über die Anlagenlebensdauer
- Sonstige Wartungskosten (Ausbesserungen etc.)

8.2.3 PV-SOL Wirtschaftlichkeitssimulationen

Um ein Gefühl für die Rentabilität einer Fassadenphotovoltaikanlage herzustellen wurden drei Szenarien erstellt und diese mittels dem Programm PV-SOL simuliert. Die Simulationsberichte wurden dieser Arbeit angehängt.

Für die Wirtschaftlichkeitssimulation wurden Simulationswerte als fix und als variabel angenommen. Die fixen Werte unterscheiden sich innerhalb der Szenarien nicht. Die variablen Werte unterscheiden sich je nach Szenario.

Das Objekt in Engelhartstetten wurde innerhalb des Programmes modelliert und entsprechend der Realsituation mit den ausgewählten Modulen belegt. Nicht berücksichtigt wurde die Bifazialität der Module.

Die elektrischen Verbrauchsdaten wurden vom Netzbetreiber eingeholt für das Jahr 2022.

Tabelle 2 Fixe Simulationswerte Wirtschaftlichkeitssimulation

| Simulationswert | Wert | Einheit | Quelle |
|-----------------|------|---------|--------|
|-----------------|------|---------|--------|

| | | | |
|---|---------|------------------------|------------------------------------|
| Degradation der Module [Leistungsabnahme] | -0,5 | %/Jahr | Datenblatt verwendetes Modul |
| Verschmutzungsverluste | 2 | % der Gesamtenergie | Annahme |
| Kabelverluste | 1 | % der Gesamtenergie | Annahme |
| Betrachtungszeitraum | 30 | Jahre | Lebensdauer Module |
| Investitionskosten | 165.000 | € [Gesamt] | Angabe Projektpartner |
| Förderung | 42.532 | € [Gesamt] | Angabe Projektpartner |
| Kapitalzinssatz | 2 | % | Annahme |
| Betriebskosten | 1.500 | €/Jahr | Annahme |
| Änderung der Betriebskosten über die Zeit | + 2 | %/Jahr | Annahme |
| Änderung des Einspeisepreises über die Zeit | + 2 | %/Jahr | Annahme |
| Änderung des Bezugspreises über die Zeit | + 2 | %/Jahr | Annahme |

Tabelle 3 variable Simulationswerte Wirtschaftlichkeitssimulation

| Simulationswert | Wert | Einheit | Quelle |
|------------------------|-------------------------------------|-----------|---------|
| Bezugspreis Energie | SZ1: 0,1 SZ2: 0,15 SZ3: 0,2 | €Cent/kWh | Annahme |
| Einspeisepreis Energie | SZ1: 0,08 SZ2: 0,13 SZ3: 0,18 | €Cent/kWh | Annahme |

Tabelle 4 Ergebnisse Wirtschaftlichkeitssimulation

| Simulation | Amortisationszeit | Kumulierter Cashflow |
|------------|--------------------|----------------------|
| SZ1 | Keine Amortisation | -57.441,43 € |
| SZ2 | 28,7 Jahren | 4.790,65 € |
| SZ3 | 18,5 Jahren | 67.022,74 € |

9 Fazit

Die Amortisation von hinterlüfteten Photovoltaikfassaden auf Silos ist bei einem gleichbleibenden oder höheren Einspeisetarif (Vergleich Ömag anhand von Marktpreis E-Control 2022 – 2023) sowie Bezugspreis (Vergleich Bezugspreis Siloinhaber 2023) zu den Jahren 2022 und 2023 gegeben. Bei niedrigeren Preisen ist keine Amortisation gegeben. Sollte eine Sanierung der Fassade (z.B. Farbanstrich) angedacht sein, könnten der kumulierte Cashflow zu den Investitionskosten der Sanierung in Vergleich gesetzt werden. Weiters sollte hier mit in Betrachtung gezogen werden, dass die elektrische Betriebsanlage des Silospeichers mitsaniert wurde.

9.1 Empfehlungen für Förderungen

Ohne eine Förderung wäre eine Realisierung des Projektes nicht möglich gewesen. Die Förderhöhe sollte im Bereich von 40-50% der Gesamtinvestitionskosten liegen. Die Förderwürdigkeit könnte durch das folgende Argument gegeben sein:

- Im Bereich nachhaltiges Bauen könnte die Fassadenphotovoltaik die Rolle einer Fassade einnehmen, die im Anschluss an Ihre Lebenszeit in Ihre Bestandteile aufgetrennt und dem Kreislauf rückgeführt wird. Weiters könnte sie den Autarkiegrad von Gebäuden weiter erhöhen und damit die dezentrale Energiewende weiter vorangebracht werden kann. Durch die vertikale Anordnung können höhere Erträge durch die Photovoltaik im Winter generiert werden.

9.2 Empfehlungen an die Industrie

Die Auswahl an Unterkonstruktionssysteme zur Herstellung von Fassadenphotovoltaikanlagen hat bereits ein gewisses Niveau der Flexibilität erreicht. Im Bereich der Photovoltaikmodule könnten herkömmliche Produkte mehr Anwendung im Fassadenbereich finden, sofern die Angaben hinsichtlich der verwendeten Gläser (statische Prüfung) bzw. hinsichtlich des Brandschutzes umfangreicher wären.

10 Anhang

- Statisches Gutachten
- Blendgutachten
- Simulationsberichte PV-SOL
- Anlagenpläne
- Datenblätter
- Fotodokumentation

1 Literaturverzeichnis

- [1] Beton-Marketing. (2008). *zement.at*. Von https://www.zement.at/downloads/brandschutz_mit_beton.pdf abgerufen
- [2] Knöbl, A. (2021). *Silosophie - Konzeptualisierung von neuen Nutzungsmöglichkeiten für Getreidespeicher-Anlagen*. Österreich, Wien.
- [3] Massinger, K. (15. 10 2022). Siloinhaber. (L. Silhanek, Interviewer)
- [4] Netz-Niederösterreich. (30. 10 2022). *netz-noe.at*. Von [https://www.netz-noe.at/Download-\(1\)/Verteilernetzbedingungen-Strom/B104_Technische-Ausführungsbestimmungen_Netzebene_.aspx](https://www.netz-noe.at/Download-(1)/Verteilernetzbedingungen-Strom/B104_Technische-Ausführungsbestimmungen_Netzebene_.aspx) abgerufen
- [5] Silhanek, L. (Oktober 2022). (L. Silhanek, Interviewer)
- [6] *Siloarchiv*. (kein Datum). Von Siloarchiv: <http://www.siloarchiv.org/> abgerufen

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|-----------------------------|
| Abbildung 1 Planzeichnung Ansicht von Süden Silospeicher..... | 8 |
| Abbildung 2 Aufnahme Südfassade Silospeicher | 8 |
| Abbildung 3 Aufnahme Stützhalterungen Stahlbalkon | 8 |
| Abbildung 5 Betonaufplatzung Südfassade | 9 |
| Abbildung 4 Betonaufplatzungen Kante Süd zu Ostfassade inkl. Blitzschutz..... | 9 |
| Abbildung 6 Betonaufplatzungen Kante Süd zu Ostfassade inkl. Blitzschutz..... | 9 |
| Abbildung 7 Aufnahme Gebäudetrennfugen Südfassade Gebäudetrennfuge | Abbildung 8 Tiefe der 10 |
| Abbildung 9 Breite der Gebäudetrennfuge..... | 10 |
| Abbildung 10 Messpunkte Niveauunterschied | 11 |
| Abbildung 11 Fortlaufender Kabelweg mit bestehenden Kernbohrungen in das Erdgeschoß | 12 |
| Abbildung 12 Evilonrohre Ansicht untere Deckenkante direkt unterhalb des Anbaus | 12 |
| Abbildung 13 Rohre zur Führung der AC-Kabel ins Gebäude innere im Anbau | 11 |
| Abbildung 14 Ostseite Silo & Anbau | 11 |
| Abbildung 15 Anbau inneres & Wechselrichter Position | 11 |
| Abbildung 16 Grundriss Kabelführung in den Technikraum (Blau)..... | 12 |
| Abbildung 17 Schnittansicht Kabelführung | 12 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 18 Messwandlerschrank Bestand | 13 |
| Abbildung 19 Genordetes Satellitenbild. Wohnsiedlung südlich liegend des Silospeichers (Google, 2022) | 14 |
| Abbildung 20 kritische Punkte für eine Blendung durch die Photovoltaikfassade..... | 16 |
| Abbildung 21 Auszug Tabelle 1 OIB Richtlinie 2.3 für Brandschutz 2019 | 17 |
| Abbildung 22 Sog- und Zuglasten in kN/m ² für den Rand- und Mittelbereich in Abhängigkeit der Höhe | 21 |
| Abbildung 23 Darstellung Projektprozess Fassadenphotovoltaikanlage | 27 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1 Zusammenfassung Unterschiede Fassadenphotovoltaikanlage & Schrägdachanlage | 25 |
| Tabelle 2 Fixe Simulationswerte Wirtschaftlichkeitssimulation..... | 30 |
| Tabelle 3 variable Simulationswerte Wirtschaftlichkeitssimulation | 31 |
| Tabelle 4 Ergebnisse Wirtschaftlichkeitssimulation..... | 31 |

Einsatzgrenzen von Photovoltaikmodulen aus TVG

Standberechnung

Photovoltaikfassade Silo Engelhartstetten

GZ 22036

Seiten 1 bis 27

Verfasser:

Univ. Prof. DI Peter Bauer

Bauvorhaben:

Photovoltaikfassade Silo Engelhartstetten

Auftraggeber:

Ing. Lucas Silhanek
Hofbauergasse 6/403
A-1120 Wien

Wien, 18.06.2022