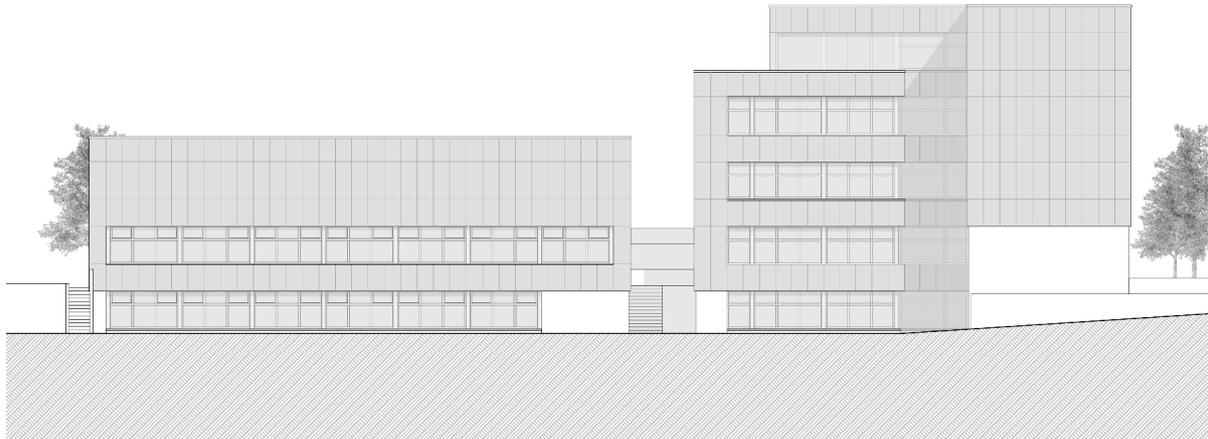


Machbarkeitsstudie neue Photovoltaikanlage  
**Gesamtsanierung Schulanlage Melchenbühl**

30.03.2022 | revidiert 05.05.2022



## Inhalt

1.	Projektbeteiligte	2
1.1.	Auftraggeber	2
1.2.	Nutzer	2
1.3.	Auftragnehmer	2
2.	Ausgangslage	3
2.1.	Projekt Vorgeschichte	3
2.2.	Aufgabenstellung	4
2.3.	Simulation	5
2.4.	Amortisationszeiten PV-Anlage	5
2.5.	Statik	5
2.6.	Gestalterische Umsetzung Photovoltaikfassade	5
3.	Referenzen von Fassadenphotovoltaikanlagen	8

## 1. **Projektbeteiligte**

### 1.1. **Auftraggeber**

Gemeinde Muri bei Bern  
Thunstrasse 74  
3074 Muri bei Bern

Carole Klopstein, Gemeinderätin Ressort Hochbau  
Petra Heger, Leiterin Hochbau + Planung  
Olivia Lips, Projektleiterin Hochbau

### 1.2. **Nutzer**

Primarschule Melchenbühl  
Bersetweg 21  
3073 Gümligen

Rolf Rickenbach, Schulleiter  
Marcel Bleiker, Vertreter Lehrerschaft  
Richard Müller, Hauswart

### 1.3. **Auftragnehmer**

#### 1.3.1 Architekten / Generalplaner

Naos Architekten AG  
Gerberngasse 23  
3000 Bern 13

Katharina Altwein, PL  
Stefan Rufenacht, GL  
Peter Gieriet, GL  
Alena Ruiz, Architektin

#### 1.3.2 Fachplaner

Elektroplanung

Toneatti Engineering AG  
Wasserwerksgasse 39  
3011 Bern

André Mathis, PL  
Daniel Sieveking, Spezialist PV-Anlagen

## 2. Ausgangslage

### 2.1. Projekt Vorgeschichte

Die Schulanlage Melchenbühl wurde 1971 gebaut und vermag den Anforderungen von Schule, Kindergarten und Tagesschule mittel- bis langfristig nicht mehr zu genügen. Auch hinsichtlich ihrer energetischen, technischen und betrieblichen Eigenschaften ist die Schulanlage veraltet und auf einen zeitgemässen Stand zu bringen.

Dazu hat die Bauherrschaft zwischen Mai bis November 2017 ein zweistufiges Planerwahlverfahren durchgeführt. Aus der Generalplanersubmission, die sowohl einen Vorschlag zu Sanierung und Erweiterung der Schule als auch eine Honorarofferte beinhaltete, ging das Team um die Naos Architekten AG (ehemals Hausammann Architekten AG) als Sieger hervor.

2020 hat die Einwohnergemeinde das Kirchgemeindehauses am Bersetweg 19 im Baurecht gekauft.

Die Liegenschaft dient künftig als Schulraumerweiterung. Parallel zur MBS Photovoltaik wird aktuell das Bauprojekt zur Umnutzung des Pavillons (ehem. Kirchgemeindehaus) erarbeitet.



Abb. 1: Luftbild Schulanlage Melchenbühl (Quelle: google maps)

## 2.2. Aufgabenstellung

Im Zuge der Sanierung der Schulanlage Melchenbühl soll die Ergänzung durch eine Photovoltaikanlage (PVA) geprüft werden. Die Bauherrschaft beauftragt das Generalplanerteam mit der Erstellung einer Studie zum Neubau einer PV-Anlage. Dabei werden zwei Varianten geprüft und verglichen:

Variante 1: Konventionelle PV-Aufdachanlagen, Dimensionierung gem. Mindestanforderungen Minergie-P, grösstmögliche Wirtschaftlichkeit (kürzeste Amortisationszeit)

Variante 2: PV-Aufdachanlage und Fassaden-PVA, maximale Leistung

Dabei soll einerseits die Rentabilität durch Kalkulation von Leistung und Kosten erfasst werden, andererseits die technische und gestalterische Umsetzung geprüft werden. Damit soll eine Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, die es der Bauherrschaft erlaubt, zu entscheiden, mit welcher Photovoltaikanlage in die Projektierung gestartet werden kann.



Abb. 2: Situationsplan Melchenbühl

### 2.3. Simulation

Die Berechnung der Leistung, der Investitionskosten und der Amortisationsdauer der PV-Anlagen, etc. erfolgte durch die Studie und Simulation der Toneatti Engineering AG.

Die entsprechenden Unterlagen sind im Anhang zu finden.

### 2.4. Amortisationszeiten PV-Anlage

Die Amortisationszeit ist abhängig von der Höhe der Einspeisevergütung. Die vergangenen Jahre haben gezeigt, dass die Vergütungen stark schwanken können. In der Simulation ist daher mit einem konservativen Wert von 10 Rp/ kWh gerechnet worden. Zum Vergleich: Würde die Vergütung auf 12 Rp/kWh angehoben, betragen die Amortisationszeiten bei Variante 1 nur noch 10.4 Jahre (statt 10.7) und bei Variante 2 nur noch 20.5 Jahre (statt 22.2).<sup>1</sup>

	Variante 1 PV-A Dach	Variante 2 PV-A Fassade
Amortisationszeit bei Einspeisevergütung <b>10 Rp/kWh</b> (in Jahren)	<b>10.7</b>	<b>22.2</b>
Amortisationszeit bei Einspeisevergütung <b>12 Rp/kWh</b> (in Jahren)	<b>10.4</b>	<b>20.5</b>
Amortisationszeit bei Einspeisevergütung <b>15 Rp/kWh</b> (in Jahren)	<b>9.9</b>	<b>18.2</b>

### 2.5. Statik

Das Schulhaus Melchenbühl ist ein Massivbau, die Aussenwände sind in Beton erstellt.

Entsprechend ist das Anbringen einer hinterlüfteten Fassade mit Photovoltaikpanelen aus statischer Sicht gut möglich. Auch das Aufbringen einer PV-Aufdachanlage auf der Dachfläche des Schulhauses ist problemlos möglich.

Die Statik des Turnhallendaches, bestehend aus Stahlträger in Querrichtung mit aufgelegten dünnen Betonplatten, erforderte genauere Untersuchungen in Form von Sondagen. Die Berechnungen ergaben auch hier, dass eine PV-Anlage aus statischer Sicht möglich ist

### 2.6. Gestalterische Umsetzung Photovoltaikfassade

Das Überprüfen der gestalterischen Umsetzbarkeit beschränkt sich in dieser Studie auf die Fassaden-PVA. Heutige PV-Aufdachanlagen sind mit Neigungswinkel von 10° derart flach, dass sie aus der Umgebung kaum mehr sichtbar sind.

---

<sup>1</sup> Vgl. Anlage «Studie zu einer neuen Photovoltaikanlage», Pkt. II Berechnung, erstellt von Toneatti Engineering AG

Während In- und Aufdachanlagen zur Regel wurden, sind Fassaden-PV-Anlagen noch weit weniger oft zu sehen. Dabei wurden in den letzten Jahren insbesondere auch betreffen Gestaltungsmöglichkeiten grosse Fortschritte erzielt. Als Oberflächen sind mittlerweile diverse Farben möglich, in Matt oder Glanz. Die Grösse der Module ist nahezu frei definierbar, wobei die einzelne Solarzelle (meist 156 x 156mm) das kleinste, massgebende Element ist. Es gilt grundsätzlich aber auch: je individualisierter die Module sind, umso höher sind die Kosten, kleine Module sind teurer als grossformatige. Auch kann sich die Oberflächenbeschaffenheit negativ auf die Effizienz der Module auswirken.

Für die vorliegende Studie wurden die Produkte der Herstellerfirmen Megasol Energie AG und 3S Solar Plus AG beigezogen. Die Standard-range möglicher Modulgrössen diente als Grundlage zur Gestaltung verschiedener Fassadenvarianten.

In einer künftigen Fassadengestaltung der Schulbauten soll der heutige Charakter weitgehend erhalten bleiben. Kleinformatige, dunkle Faserzementschindeln schaffen in der bestehenden Fassade ein homogenes, ungerichtetes Fassadenbild. Auch mit einer Fassaden-PVA kann dieser Ausdruck beibehalten werden.

Die Höhe der Module wird in der vorliegenden Gestaltungsvariante durch die Fensterbänder definiert. Für die Modulbreite wurde ein Achsmass von rund 80cm gewählt, welches sich auf allen Fassadenseiten anwenden lässt. Das Raster der Turnhallenfassade und des Schulhauses nehmen aufeinander Bezug und schaffen ein einheitliches Gesamtbild (siehe Fassadenpläne im Anhang).

Schwieriger sind die zahlreichen Vor- und Rücksprünge in der Fassade. Hier können sogenannte Blindmodule eingesetzt werden, also Fassadenverkleidungen, die zwar optisch dem PV-Modul gleichen, jedoch keine Solarzellen enthalten.

Aufgrund der einheitlichen Fenstergrösse, der wiederkehrenden Dimensionen und Proportionen auf den verschiedenen Fassadenseiten und der grossen fensterlosen Flächen südseitig von Schulhaus und Turnhalle, lässt sich eine Fassaden-PV grundsätzlich gestalterisch gut und in sinnvollen Modulgrössen realisieren.

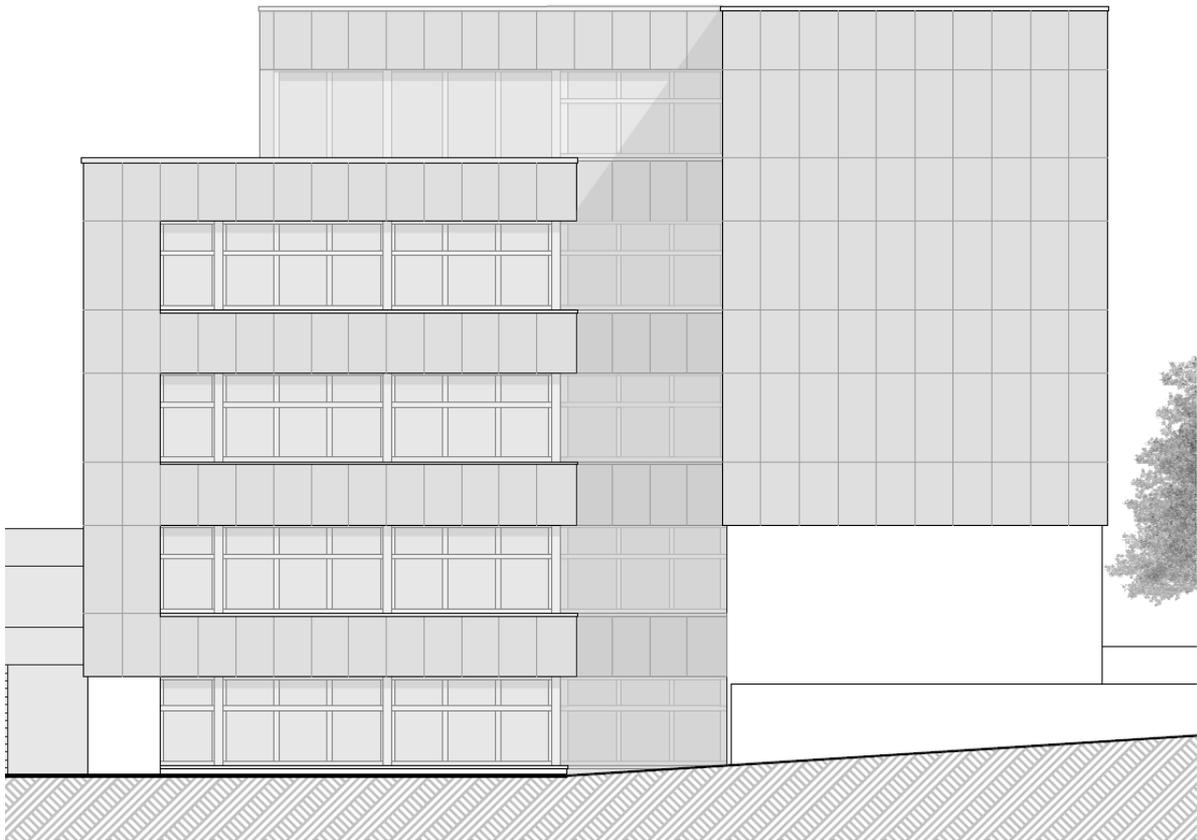


Abb. 3: Ausschnitt Fassadenansicht Süd, Schulgebäude Melchenbühl

### 3. Referenzen von Fassadenphotovoltaikanlagen



Abb. 4. : Mehrfamilienhaus Segantinistrasse, Zürich, Megasol Energie AG



Abb. 5: Mehrfamilienhaus Ostermundigen, Megasol Energie AG



Abb. 6: Migros Münsingen, 3S Solar Plus AG



Abb. 7: Mehrfamilienhaus Soley, Münsingen, Megasol Energie AG



Ansicht Südwest | 1:200

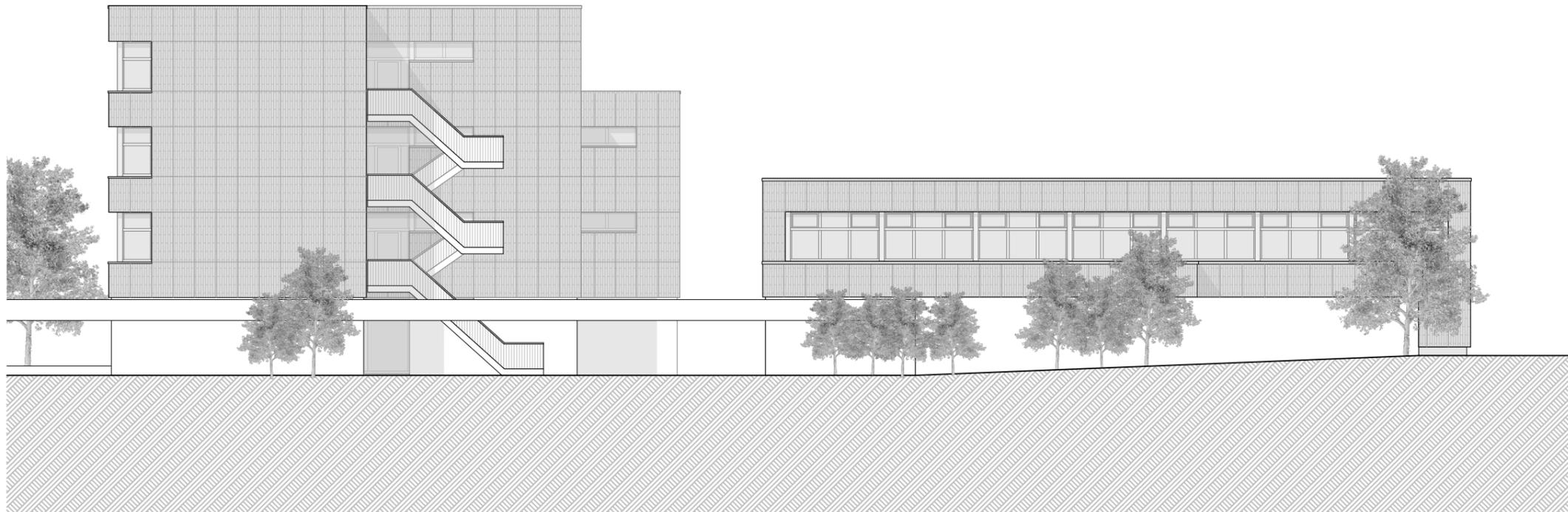


Ansicht Südost | 1:200

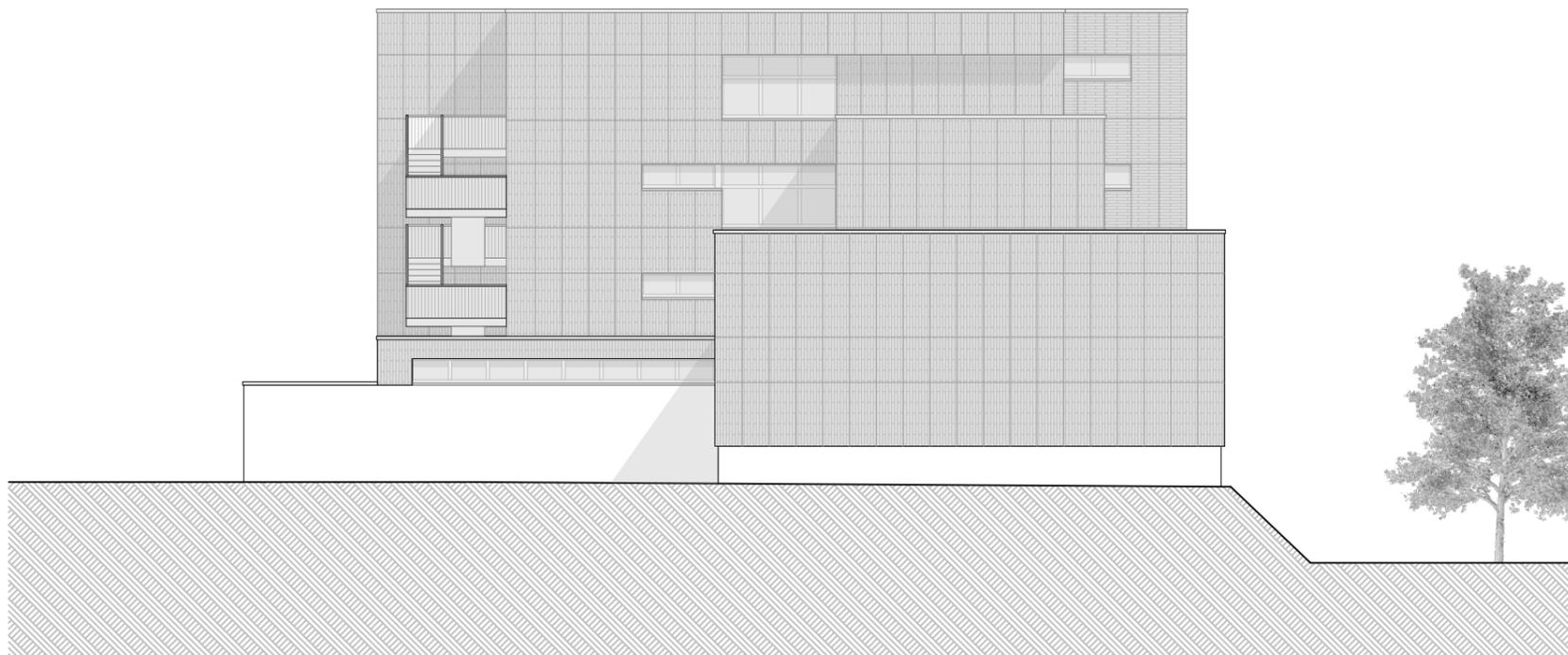


Fixpunkt 356011 = 560.48 m.ü.M  
561.52 m.ü.M. = ±0.00

<b>Vorprojekt</b>	
Bauherrschaft: Gemeinde Muri b. Bern, Bauverwaltung Thunstrasse 74 Tel: 031 950 54 70 3074 Muri bei Bern bauverwaltung@muri-guemligen.ch	
Schulanlage Melchenbühl Bersetweg, 3073 Gümligen	Masstab <b>1:200</b>
Schulanlage Studie - Ansicht SW+SO - Var. Photovoltaik	Plannr. <b>383-HG.31.802</b>
 Naos Architekten AG Gerbergasse 23 CH 3011 Bern T +41 31 326 70 70 info@naos.ch	Projektnummer 383 Gezeichnet ar Erstellt   rev. 23.12.2021   / Planformat A3



Ansicht Nordost | 1:200

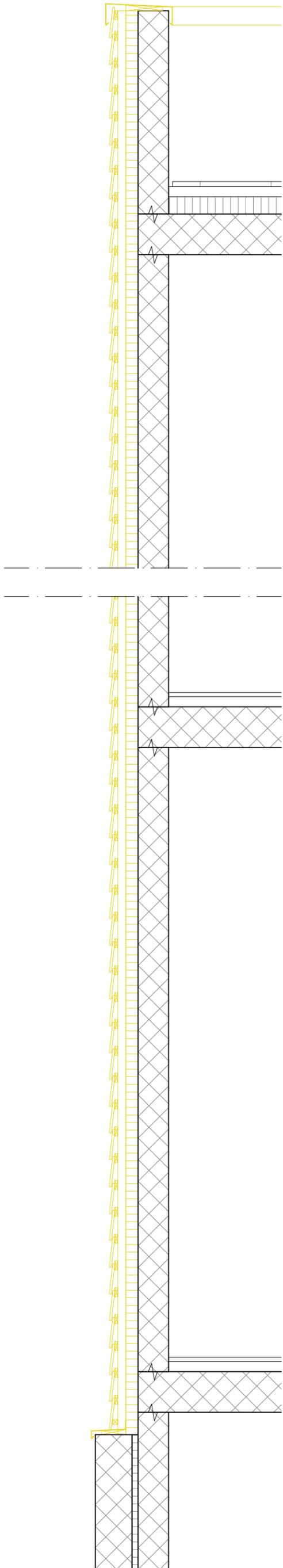


Ansicht Nordwest | 1:200

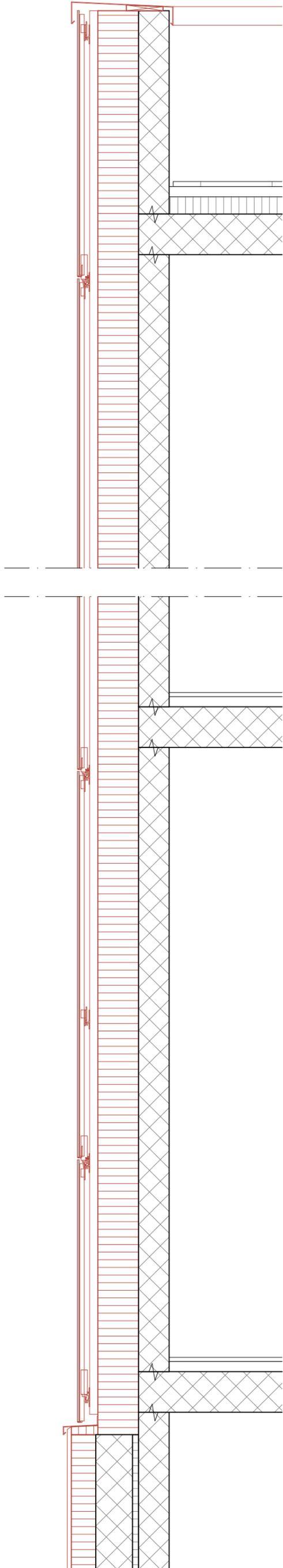


Fixpunkt 356011 = 560.48 m.ü.M  
561.52 m.ü.M. = ±0.00

<b>Vorprojekt</b>	
Bauherrschaft: Gemeinde Muri b. Bern, Bauverwaltung Thunstrasse 74 Tel: 031 950 54 70 3074 Muri bei Bern bauverwaltung@muri-guemligen.ch	
Schulanlage Melchenbühl Bersetweg, 3073 Gümligen	Masstab <b>1:200</b>
Hauptgebäude Studie - Ansicht NO+NW - Var. Photovoltaik	Plannr. <b>383-HG.31.803</b>
 Naos Architekten AG Gerbergasse 23 CH 3011 Bern T +41 31 326 70 70 info@naos.ch	Projektnummer 383
	Gezeichnet ar
	Erstellt   rev. 23.12.2021   /
	Planformat A3



Bestand | 1:20



Neu | 1:20



Fixpunkt 356011 = 560.48 m.ü.M  
561.52 m.ü.M. = ±0.00

<b>Vorprojekt</b>	
Bauherrschaft: Gemeinde Muri b. Bern, Bauverwaltung Thunstrasse 74 Tel: 031 950 54 70 3074 Muri bei Bern bauverwaltung@muri-guemigen.ch	
Schulanlage Melchenbühl Bersetweg, 3073 Gümligen	Masstab <b>1:20</b>
Hauptgebäude Studie - Fassadenschnitt - Var. Photovoltaik	Plannr. <b>383-HG.31.811</b>
 Naos Architekten AG Gerbergasse 23 CH 3011 Bern T +41 31 326 70 70 info@naos.ch	Projektnummer 383
	Gezeichnet ar
	Erstellt   rev. 21.12.2021   23.12.2021/ar
	Planformat A3

## Schulanlage Melchenbühl 3073 Gümligen

### Studie zu einer neuen Photovoltaikanlage BKP 231.51 Photovoltaikanlage

#### © Copyright

TONEATTI ENGINEERING AG, CH-3000 BERN 13

Vervielfältigung auszugsweise oder des gesamten Inhaltes  
nur unter Quellenangabe erlaubt.

#### Impressum

Projektnummer: 3802  
Verfasser: Daniel Sieveking  
Telefon: 031 958 58 88  
E-Mail: daniel.sieveking@toneatti.ch  
Mitauteur: André Mathis

#### Dokumentation

Stand: 28.01.2022  
Version: 1.4  
Pfad: 3802\_studie\_pva\_version1.4\_2022.docx

## INHALTSVERZEICHNIS

I.	ALLGEMEINE ANGABEN.....	3
II.	BERECHNUNG.....	5
III.	EMPFEHLUNG.....	7



## I. ALLGEMEINE ANGABEN

PROJEKTVERFASSER

TONEATTI ENGINEERING AG  
Wasserwerkstrasse 37  
3000 Bern 13

Telefon 031 958 58 88  
Telefax 031 958 58 85  
www.toneatti.ch

Daniel Sieveking      daniel.sieveking@toneatti.ch

AENDERUNGSINDEX

Version

Beschreibung

Datum

1.4

Anpassung der Berechnungen auf  
Basis der Erkenntnisse Vergütungen

28.01.2022

### 1.1 GRUNDSATZ

Die aktuellen Normen sowie die anerkannten Regeln der Technik müssen jederzeit eingehalten werden.

Folgende Punkte sind in der Studie enthalten:

- Photovoltaikmodule inklusive Transport auf das Dach (Hebmittel)
- Lieferung und Montage Wechselrichter
- Überspannungsschutz
- Spengler-Arbeiten in Zusammenhang mit dem Dachaustritt der Rohre
- Ballastierung der Module auf Dach
- Montage inkl. Verkabelung der Module an Fassade
- Anlageüberwachung und Wartung
- Bauleitung und Projektabwicklung
- Messungen, Anmeldungen und Instruktionen

Folgende Punkte sind in der Studie nicht enthalten:

- Infrastruktur auf dem Dach
- Befestigung der Unterkonstruktion auf dem Dach
- Blitzschutz
- Spengler-Arbeiten zur Dachdurchdringung (wie z.B. Schwanenhals)
- Honorar Elektroingenieur



## 1.2 AUSGANGSLAGE

Die Gemeinde Muri bei Bern plant eine Sanierung der Schulanlage Melchenbühl inklusive Turnhalle, Schwimmbad sowie den dazugehörigen umliegenden Gebäuden des Abwartshauses, des Kindergartens und des Pavillons. In diesem Zusammenhang wird eine Photovoltaikanlage (PVA) auf den beiden Dächern des Schulhauses und der Turnhalle geprüft. Darüber hinaus wird an den beiden besagten Gebäuden die Umsetzung einer Photovoltaik-Fassade untersucht.

Aktuell befinden sich keine Dachaufbauten oder HLKS-Geräte auf den beiden Dachflächen. Auf dem Schuldach wurde die für die Sanierung geplanten HLKS-Installationen berücksichtigt. Somit können beide Dächer optimal für eine PV-Aufdachanlage verwendet werden. Hierfür wurden ebenfalls in Absprache mit den Architekten sowie mithilfe des Bauingenieurs die Anforderungen an die Statik des Turnhallendachs geprüft.

Für die Verifizierung der Ertragswerte wurden die Wetterdaten vom Standort in Gümligen über 20 Jahre genutzt (Meteonorm). Ausserdem wurden Lastprofile für die verschiedenen Überbauungen nach SIA 2056 berechnet und in die Simulation eingepflegt, um die Echtheit der essenziellen Eigenverbrauchsdaten zu ermitteln (siehe Simulationen in separatem Dokument).

Das gesamte Areal wird zentral in der Arealverteilung des Schulhauses erschlossen: Die technische Infrastruktur bleibt also im höchsten Masse wie gehabt bestehen. Beim Arealverteiler befinden sich die Werkszähler des Verteilnetzbetreibers BKW, von wo aus auch der Pavillon, Abwartshaus sowie der Kindergarten erschlossen werden (siehe Kosten Erschliessung). Daraus resultiert, dass die maximale Energie durch die Eigenverbrauchsgemeinschaft vor Ort wirtschaftlich verbraucht werden kann. Die Leitungsführungen hinsichtlich Steigzonen sowie der Platzbedarf der Wechselrichter beider folgenden Varianten wurden bereits vor Ort inspiziert und könnten im Zuge der Sanierung zielführend umgesetzt werden.

### Variante 1 – Dach – 50.4 kWp

Für die Variante 1 werden die beiden Dächer der Turnhalle und des Schulhauses im grösstmöglichen Masse mit PV-Modulen belegt. Neben der Berücksichtigung einer Absturzsicherung sind auch die Abstände zwischen den Modulen als Wartungsgänge einkalkuliert. Darüber hinaus werden die Sicherheitsabstände für die Modulfelder in Form von thermischen Trennungen eingehalten sowie jegliche Hindernisse der Haustechnik auf dem Dach berücksichtigt. Die auf der Dachfläche produzierte Energie wird für die Versorgung des gesamten Areals genutzt. Bei einer Überproduktion wird die überschüssige Energie zu einem Rückspeisetarif in das Elektrizitätsnetz zurückgespeist.

### Variante 2 – Dach & Fassade – 149.8 kWp

Für die Variante 2 werden neben den beiden Dächern zusätzlich noch einige Fassadenflächen der Turnhalle und des Schulhauses belegt. Die Photovoltaik-Fassade wird dabei mit einem normalen Aufbau einer hinterlüfteten Fassade geplant. Hierbei wird im grossen Masse Rücksicht auf den zu erwartenden (rentablen) Eigenverbrauch genommen. Denn eine PV-Anlage rentiert sich vor allem über den direkten Eigenverbrauch der erzeugten elektrischen Energie. Auch hier wird die produzierte Energie für die Versorgung des gesamten Areals genutzt sowie überschüssige Energie zu einem Rückspeisetarif in das öffentliche Elektrizitätsnetz zurückgespeist. Für die Fassadeninstallationen ist von in der Simulation dargestellten Verschattungssituation durch die jeweiligen Nebengebäude sowie der in der Visualisierung dargestellten Baumbestände ausgegangen worden.



## II. BERECHNUNG

### VARIANTE 1

#### 1.1 MODULANZAHL

Es werden 140 PV-Module für das Erreichen einer Leistung von 50.4 kWp installiert. Hierbei wird auch eine entsprechende Absturzsicherung berücksichtigt. Es werden PV-Module mit den Massen 177cm x 100cm und einer Leistung von je 360Wp eingesetzt.

Um den idealen Wirkungsgrad der Module sowie die Sonneneinstrahlung und vorhandene Dachfläche im Tagesverlauf optimal zu nutzen, werden in der Studie die Module mit einer Ost-West-Aufständigung im Winkel von 10° parallel zur Dachkante installiert.

#### 1.2 INVESTITIONSKOSTEN

##### Kalkulation:

##### Tarife Ein- und Rückspeisung:

Einspeisung von Werk in das Gebäude: 0.23 CHF pro kWh  
Rückspeisung von Gebäude an das Werk: 0.1 CHF pro kWh

Investitionskosten PVA (einmalig 1350 CHF/kWp):	140 Module = 50.4 kWp	= CHF	68'040.00
Erschliessungskosten Areal:		= CHF	40'000.00
Einmalvergütung (einmalig):		= CHF	-17'870.00
<b>einmalige Investitionskosten Total:</b>		<b>= CHF</b>	<b>90'170.00</b>

Generierte Energie pro Jahr: = 48'187 kWh  
Eigengenutzte Energie pro Jahr (**Eigenverbrauch 71.9%**): = 34'638 kWh  
Rückgespeiste Energie pro Jahr: = 13'549 kWh

Generierter Ertrag durch Rückspeisung pro Jahr:	0.1 CHF x 13'549 kWh	= CHF	1'354.90
Generierter Ertrag durch Eigenverbrauch pro Jahr:	0.23 CHF x 34'638 kWh	= CHF	7'966.74
Betriebskosten pro Jahr:	0.01 x 90'024 CHF	= CHF	-900.24
<b>Gesamtertrag pro Jahr:</b>		<b>= CHF</b>	<b>8'421.40</b>

#### 1.3 AMORTISATION DER ANLAGE

Da die oben ausgewiesene, generierte Energie auf dem Dach für das Gebäude intern genutzt werden kann, müssen pro Jahr 34.638 kWh weniger Energie beim Elektrizitätswerk bezogen werden. Die gesamten Investitionskosten über die Einsparungen pro Jahr zeigt die Amortisationsdauer der Anlage auf.

##### Amortisation der Anlage:

CHF 90'170.00 / 8'421.40 CHF pro Jahr = **ca. 10.7 Jahre**

##### Einmalvergütung:

Aktuell kann von der oben genannten Einmalvergütung von 17'870.- CHF ausgegangen werden (Quelle: Pronovo, ab 01.04.2022).

##### Tarife (angenommene Werte beziehen sich auf Tarife von BKW):

Die Vergütung für eingespeisten Solarstrom schwankt in 2021 sehr stark, weshalb ein konservativer Wert von 10 Rp/kWh angenommen wird. Als Bezugskosten werden 23 Rp/kWh für ein Standard-Stromprodukt angenommen.

##### Eigenverbrauch:

Die prozentuelle Eigenverbrauchs-Annahme ergibt sich aus Software-Simulation (PV-SOL) mit den spezifischen Lastprofilen der Gebäude im Areal.



## VARIANTE 2

### 1.4 MODULANZAHL

Neben der Leistung von 50.4 kWp werden die drei ertragreichen Fassadenausrichtungen gemäss Planbeilagen Architekt sowie Visualisierung mit PV-Modulen zu einer kumulierten Leistung von 99.4 kWp belegt. Diese werden im 90°-Winkel direkt als Fassade genutzt. Die drei Fassadenausrichtungen des Gebäudes in Richtung Süd-Ost, Südwest und Nord-West garantieren dem Areal den gesamten Tag über eine ausgewogene Grundlast, um den Eigenverbrauchsgrad maximal gestalten zu können. Damit die Fassadeninstallationen leistungstechnisch in der Simulation abgedeckt werden kann, wurden Module mit einer Leistung von ca. 180 Wp/m<sup>2</sup> auf die ausgewiesenen Flächen installiert, dessen Richtwert von jeglichen Modulherstellern umgesetzt werden kann. Die Kalkulation erfolgte mit «Full-Black»-Modulen der Hersteller (Aufpreis der Module für individuelle Farben bei ca. 25%).

### 1.5 INVESTITIONSKOSTEN

#### Kalkulation:

##### Tarife Ein- und Rückspeisung:

Einspeisung von Werk in das Gebäude:			0.23 CHF pro kWh
Rückspeisung von Gebäude an das Werk:			0.1 CHF pro kWh
Investitionskosten Dach (einmalig 1350 CHF/kWp):	140 Module = 50.4 kWp	= CHF	68'040.00
Investitionskosten Fassade (einmalig 2750 CHF/kWp):	548 m <sup>2</sup> = 99.4 kWp	= CHF	273'350.00
Erschliessungskosten Areal:		= CHF	40'000.00
Einmalvergütung (einmalig):		= CHF	-78'245.00
<b>einmalige Investitionskosten Total:</b>		<b>= CHF</b>	<b>303'145.00</b>
Generierte Energie pro Jahr:		=	106'313 kWh
Eigengenutzte Energie pro Jahr ( <b>Eigenverbrauch 43.4%</b> ):		=	46'208 kWh
Rückspeiste Energie pro Jahr:		=	60'098 kWh
Generierter Ertrag durch Rückspeisung pro Jahr:	0.1 CHF x 60'098 kWh	= CHF	6'098.00
Generierter Ertrag durch Eigenverbrauch pro Jahr:	0.23 CHF x 46'208 kWh	= CHF	10'627.84
Betriebskosten pro Jahr:	0.01 x 303'145 CHF	= CHF	-3'031.45
<b>Gesamtertrag pro Jahr:</b>		<b>= CHF</b>	<b>13'694.39</b>

### 1.6 AMORTISATION DER ANLAGE

Da die oben ausgewiesene, generierte Energie auf dem Dach für das Gebäude intern genutzt werden kann, müssen pro Jahr 46.208 kWh weniger Energie beim Elektrizitätswerk bezogen werden. Die gesamten Investitionskosten über die Einsparungen pro Jahr zeigt die Amortisationsdauer der Anlage auf.

#### Amortisation der Anlage:

CHF 303'145.00 / 13'694.39 CHF pro Jahr = **ca. 22.2 Jahre**

#### Einmalvergütung:

Aktuell kann von der oben genannten Einmalvergütung von 78.245.- CHF ausgegangen werden (Quelle: Pronovo, ab 01.04.2022).

#### Tarife (angenommene Werte beziehen sich auf Tarife von BKW):

Die Vergütung für eingespeisten Solarstrom schwankt in 2021 sehr stark, weshalb ein konservativer Wert von 10 Rp/kWh angenommen wird. Als Bezugskosten werden 23 Rp/kWh für ein Standard-Stromprodukt angenommen.

#### Eigenverbrauch:

Die prozentuelle Eigenverbrauchs-Annahme ergibt sich aus Software-Simulation (PV-SOL) mit den spezifischen Lastprofilen der Gebäude im Areal.



### III. EMPFEHLUNG

Die Investition in die PV-Anlage von 50.4 kWp aus Variante 1 rentiert sich aus finanzieller Sicht, da sich die Anlage bereits nach ca. 11 Jahren amortisiert hat. Die Betrachtungsdauer in der Photovoltaik beträgt in der Regel 25 Jahre. Aufgrund des erheblichen Energiebedarfs des gesamten Areals im Tagesverlauf kann dieses hervorragende Ergebnis erzielt werden. Die Variante 1 entspricht klar unserer Empfehlung.

Der wirtschaftlich interessante Eigenverbrauchsgrad sinkt allerdings mit steigend installierter Leistung ab. Auch mit der Verdreifachung der installierten elektrischen Leistung lässt sich der Eigenverbrauch in absoluten Zahlen nicht mehr im erheblichen Masse steigern. Der Grossteil der Energie würde in das Netz eingespeist werden. Der Vorteil der Variante 2 bergen die drei Ausrichtungen der Fassaden, welche den Tagesbedarf dienlich abdecken.

Ein entscheidender Aspekt, an der sich PV-Anlagen messen lassen, ist der spezifische Jahresertrag, welcher die Energiemenge in einem gesamten Jahr darstellt (kWh/a). Aus der Studie lässt sich jede Fläche separat bewerten und ihre Berechtigung herausstellen: Auch einige Fassadenflächen weisen einen guten spezifischen Jahresertrag von mindestens ca. 650 kWh/kWp auf. Bei einigen wenigen Flächen, welche nach Nordwesten ausgerichtet sind, werden lediglich unter 400 kWh/kWp erreicht – Auf diese Flächen kann als Ergebnis der Simulation verzichtet werden.

Die Variante 2 entspricht unter Berücksichtigung der oben genannten Punkte und mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit zu Teilen unserer Empfehlung. Hierbei gilt es eine Grundsatzentscheidung für oder gegen die Fassadeninstallation zu fällen. Die Fassadenelemente bestehen vor allem durch eine günstige Einspeisung bei einer flach stehenden Sonne in den Wintermonaten.

Darüber hinaus schafft die PV-Anlage ein Stück weit Unabhängigkeit, vor allem auch im Hinblick auf etwaige steigende Energiepreise in der Zukunft. Dies steigert im Umkehrschluss auch die wirtschaftliche Attraktivität. Letztlich kann durch den produzierten Öko-Strom ein Beitrag zum Erreichen der Energiestrategie 2050 beigetragen werden.

### TONEATTI ENGINEERING AG

Daniel Sieveking



## Schulanlage Melchenbühl 3073 Gümligen

### Simulation zu einer neuen Photovoltaikanlage Variante 1 Dach

#### © Copyright

TONEATTI ENGINEERING AG, CH-3000 BERN 13

Vervielfältigung auszugsweise oder des gesamten Inhaltes  
nur unter Quellenangabe erlaubt.

#### Impressum

Projektnummer: 3802  
Verfasser: Daniel Sieveking  
Telefon: 031 958 58 88  
E-Mail: [daniel.sieveking@toneatti.ch](mailto:daniel.sieveking@toneatti.ch)

Mitautor: André Mathis  
Dominic Beck

#### Dokumentation

Stand: 10.11.2021  
Version: 1.0  
Pfad: studie\_pv-sol\_simulation\_v1.docx



## Projektübersicht Variante 1 Dach



Abbildung: Übersichtsbild, 3D-Planung

## PV-Anlage

3D, Netzgekoppelte PV-Anlage mit elektrischen Verbrauchern

Klimadaten	Gümligen, CHE (1991 - 2010)
Quelle der Werte	Meteonorm 7.3
PV-Generatorleistung	50.4 kWp
PV-Generatorfläche	259.6 m <sup>2</sup>
Anzahl PV-Module	140
Anzahl Wechselrichter	4

## Ertragsprognose

### Ertragsprognose

PV-Generatorleistung	50.40 kWp
Spez. Jahresertrag	955.04 kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)	87.52 %
Ertragsminderung durch Abschattung	5.3 %/Jahr
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	48'187 kWh/Jahr
Eigenverbrauch	34'638 kWh/Jahr
Abregelung am Einspeisepunkt	0 kWh/Jahr
Netzeinspeisung	13'549 kWh/Jahr
Eigenverbrauchsanteil	71.9 %
Vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen	6'161 kg/Jahr
Autarkiegrad	37.4 %

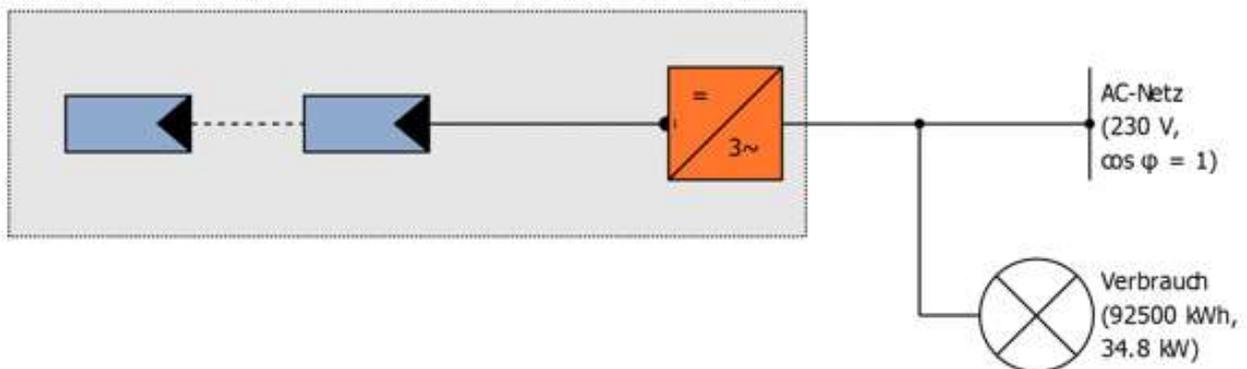


Abbildung: Schaltschema

## Aufbau der Anlage

### Überblick

#### Anlagendaten

Anlagenart	3D, Netzgekoppelte PV-Anlage mit elektrischen Verbrauchern
------------	------------------------------------------------------------

#### Klimadaten

Standort	Bern-Liebefeld, CHE (1991 - 2010)
Quelle der Werte	Meteonorm 7.3
Auflösung der Daten	1 min
Verwendete Simulationsmodelle:	
- Diffusstrahlung auf die Horizontale	Hofmann
- Einstrahlung auf die geneigte Fläche	Hay & Davies

#### Verbrauch

Gesamtverbrauch	92500 kWh
Pavillion inkl. Abwartshaus	21000 kWh
Turnhalle	18000 kWh
Kindergarten	9500 kWh
Schule mit Schwimmbad	44000 kWh
Spitzenlast	34.8 kW

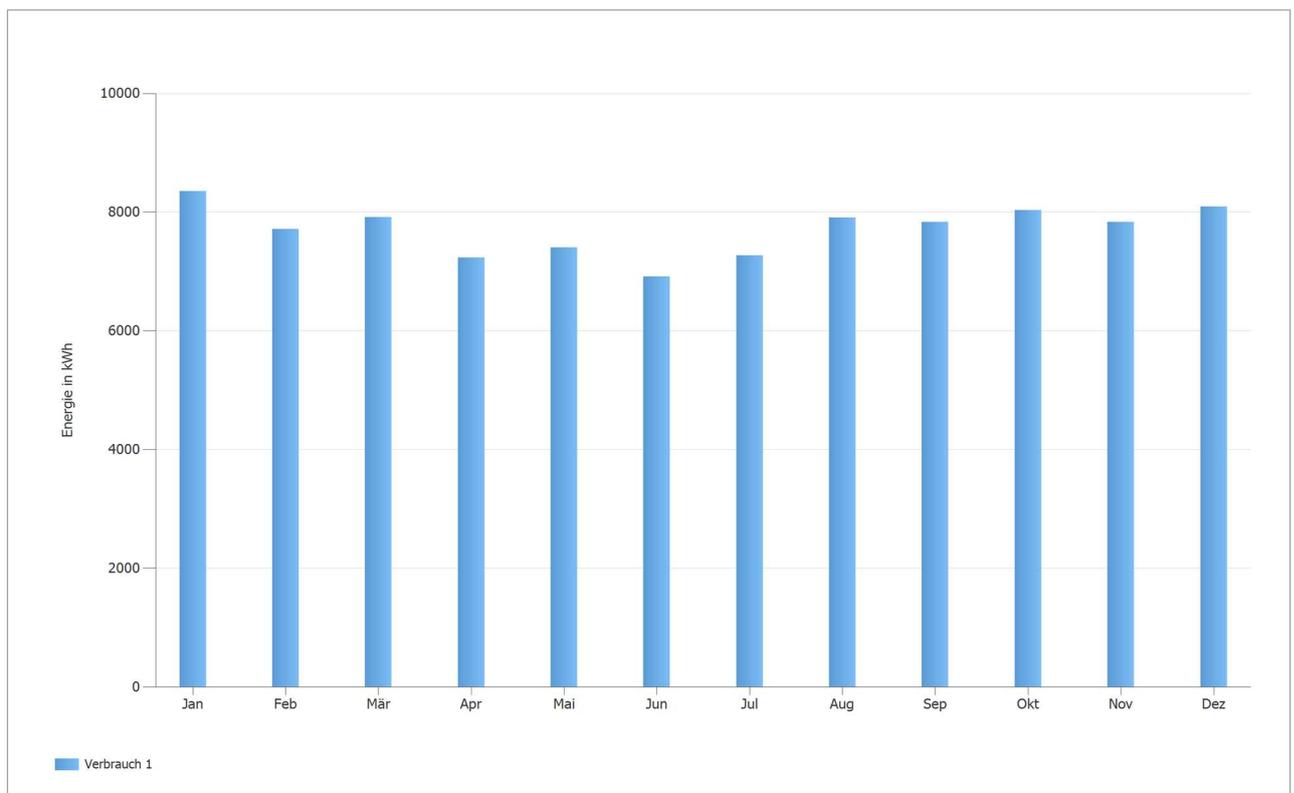


Abbildung: Verbrauch



## Modulflächen

### 1. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Südost

#### PV-Generator, 1. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Südost

Name	Turnhalle-Belegungsfläche Südwest
PV-Module	54 x TSM-360-DEG8M.20 (II) (v1)
Hersteller	Trina Solar
Neigung	10 °
Ausrichtung	Südosten 133 °
Einbausituation	Aufgeständert - Dach
PV-Generatorfläche	100.1 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	19.44	kWp
PV-Generatorfläche	100.15	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	1157.46	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	1158.88	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	86.64	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	19493.77	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	1002.77	kWh/kWp



Abbildung: 1. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Südost

## 2. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Nordwest

### PV-Generator, 2. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Nordwest

Name	Turnhalle-Belegungsfläche Südwest
PV-Module	54 x TSM-360-DEG8M.20 (II) (v1)
Hersteller	Trina Solar
Neigung	10 °
Ausrichtung	Nordwesten 312 °
Einbausituation	Aufgeständert - Dach
PV-Generatorfläche	100.1 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	19.44	kWp
PV-Generatorfläche	100.15	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	1031.47	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	1033.12	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	89.49	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	17948.91	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	923.30	kWh/kWp

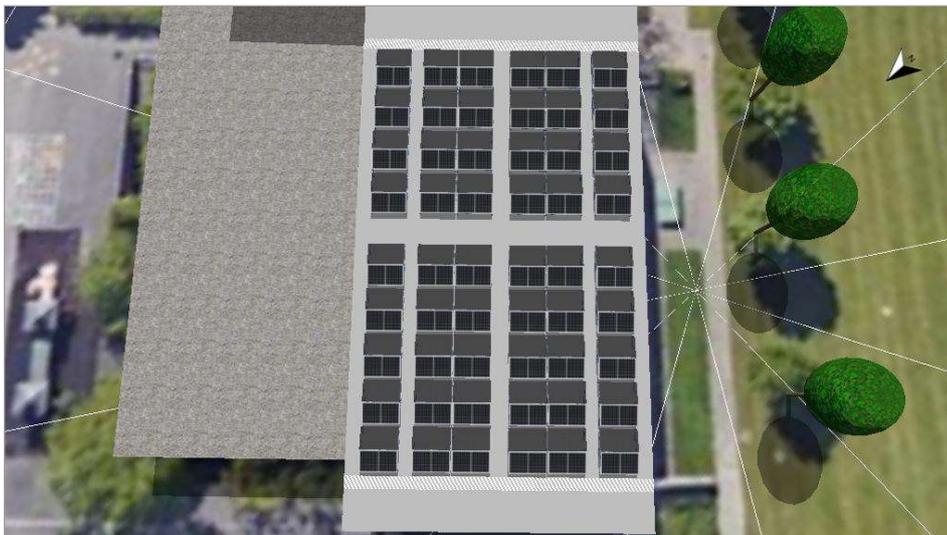


Abbildung: 2. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Nordwest

## 3. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

### PV-Generator, 3. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

Name	Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest
PV-Module	16 x TSM-360-DEG8M.20 (II) (v1)
Hersteller	Trina Solar
Neigung	10 °
Ausrichtung	Nordwesten 313 °
Einbausituation	Aufgeständert - Dach
PV-Generatorfläche	29.7 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	5.76	kWp
PV-Generatorfläche	29.67	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	1013.30	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	1014.94	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	88.48	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	5165.63	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	896.81	kWh/kWp

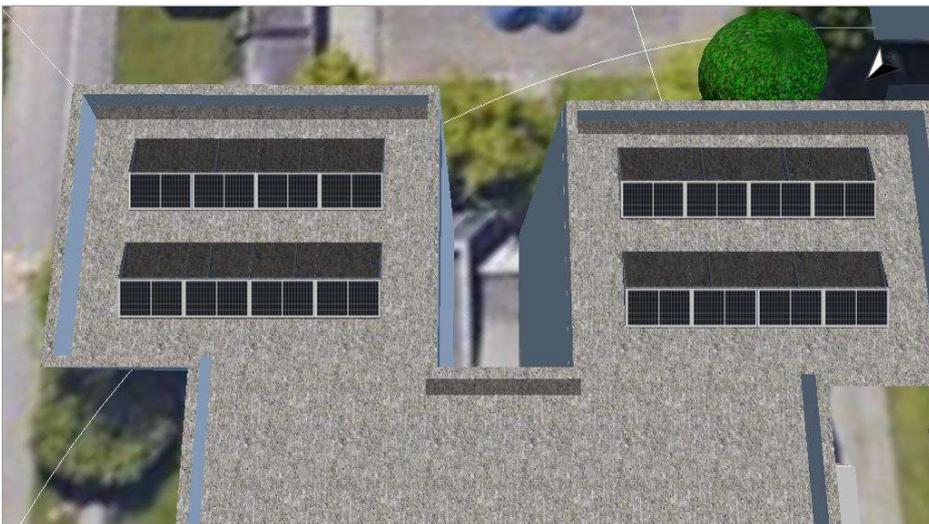


Abbildung: 3. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

## 4. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südost

### PV-Generator, 4. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südost

Name	Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest
PV-Module	16 x TSM-360-DEG8M.20 (II) (v1)
Hersteller	Trina Solar
Neigung	10 °
Ausrichtung	Südosten 133 °
Einbausituation	Aufgeständert - Dach
PV-Generatorfläche	29.7 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	5.76	kWp
PV-Generatorfläche	29.67	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	1146.73	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	1148.13	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	85.97	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	5677.45	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	985.67	kWh/kWp

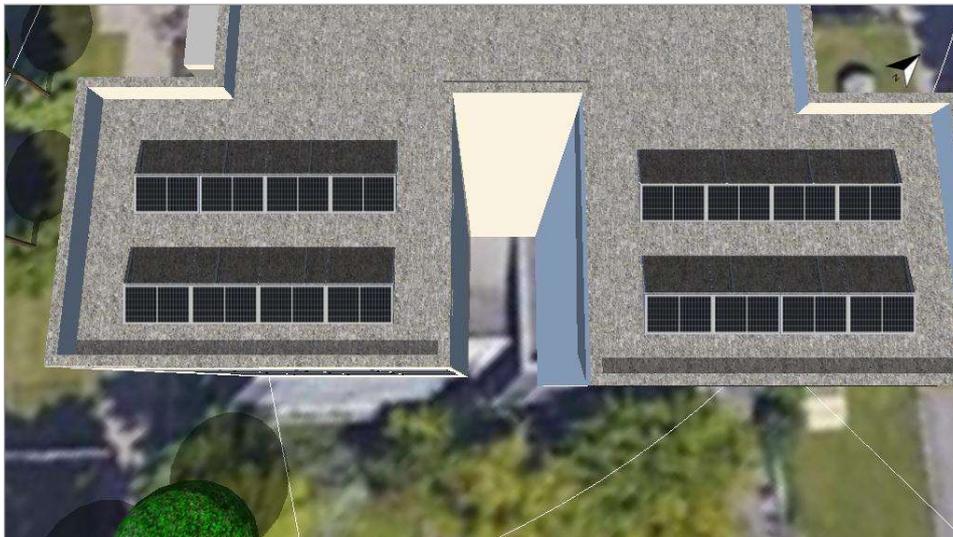


Abbildung: 4. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südost

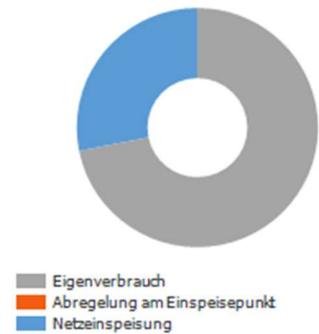
## Simulationsergebnisse

### Ergebnisse Gesamtanlage

#### PV-Anlage

PV-Generatorleistung	50.40 kWp
Spez. Jahresertrag	955.04 kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)	87.52 %
Ertragsminderung durch Abschattung	5.3 %/Jahr
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	48'187 kWh/Jahr
Eigenverbrauch	34'638 kWh/Jahr
Abregelung am Einspeisepunkt	0 kWh/Jahr
Netzeinspeisung	13'549 kWh/Jahr
Eigenverbrauchsanteil	71.9 %
Vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen	6'161 kg/Jahr

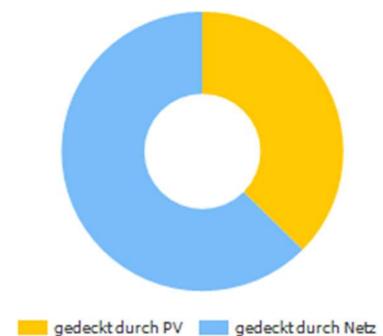
PV-Generatorenergie (AC-Netz)



#### Verbraucher

Verbraucher	92'500 kWh/Jahr
Standby-Verbrauch (Wechselrichter)	53 kWh/Jahr
Gesamtverbrauch	92'553 kWh/Jahr
gedeckt durch PV	34'638 kWh/Jahr
gedeckt durch Netz	57'915 kWh/Jahr
Solarer Deckungsanteil	37.4 %

Gesamtverbrauch



#### Autarkiegrad

Gesamtverbrauch	92'553 kWh/Jahr
gedeckt durch Netz	57'915 kWh/Jahr
Autarkiegrad	37.4 %

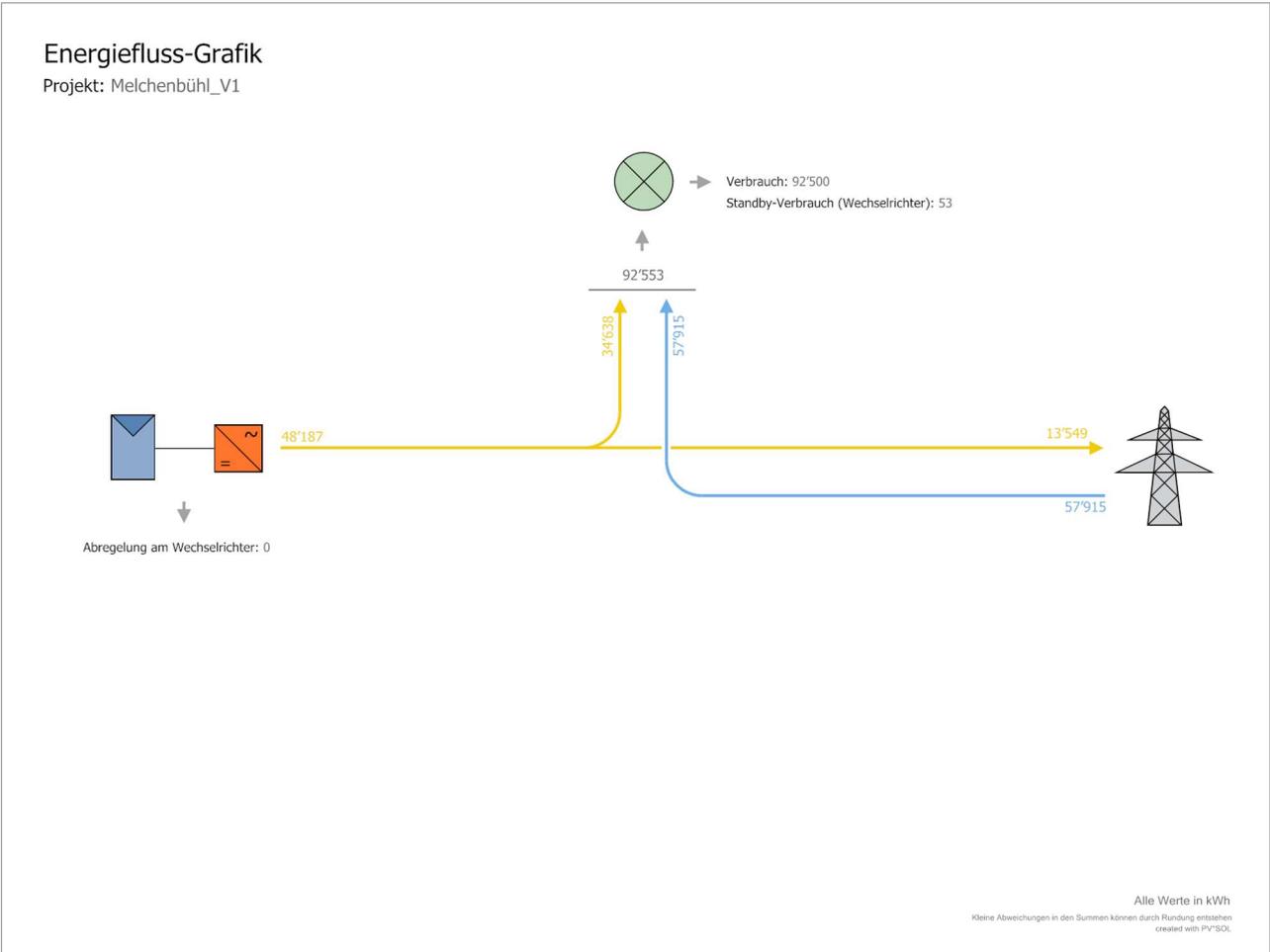


Abbildung: Energiefluss



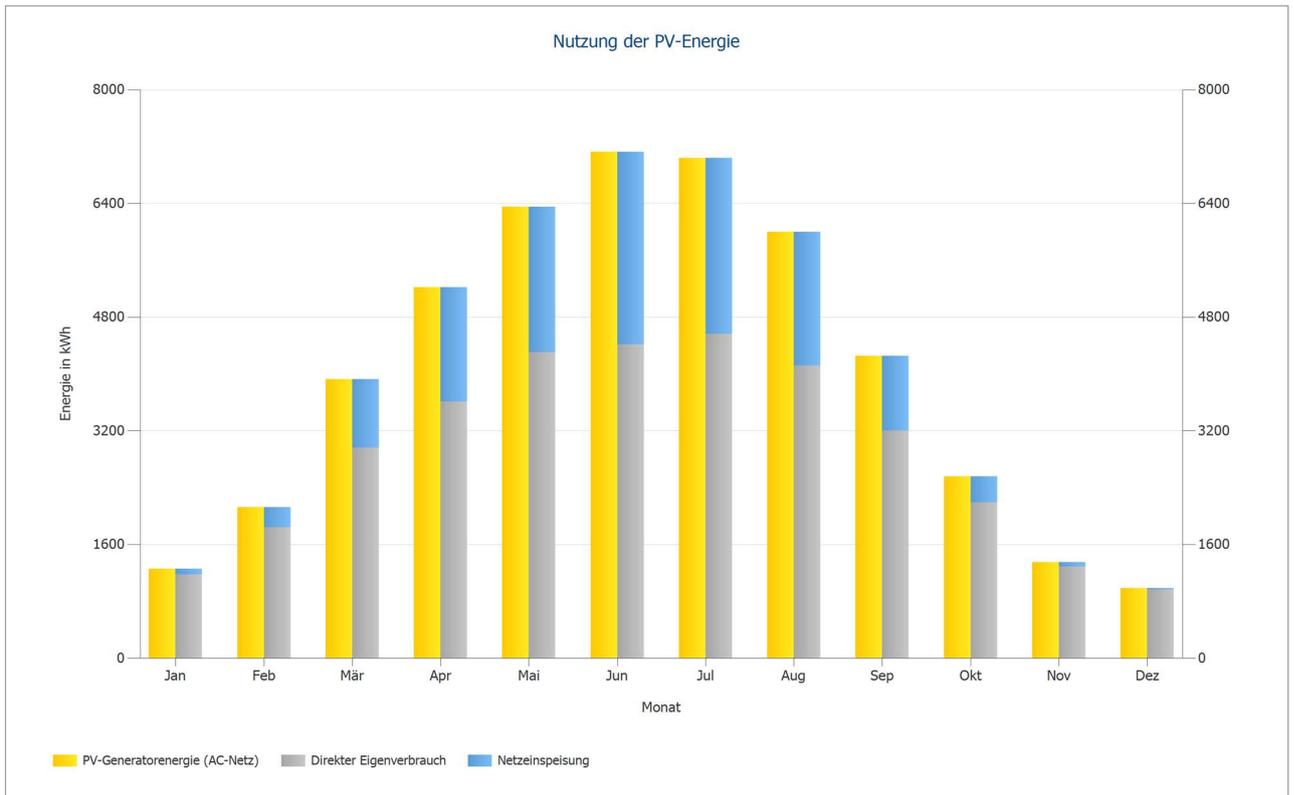


Abbildung: Nutzung der PV-Energie

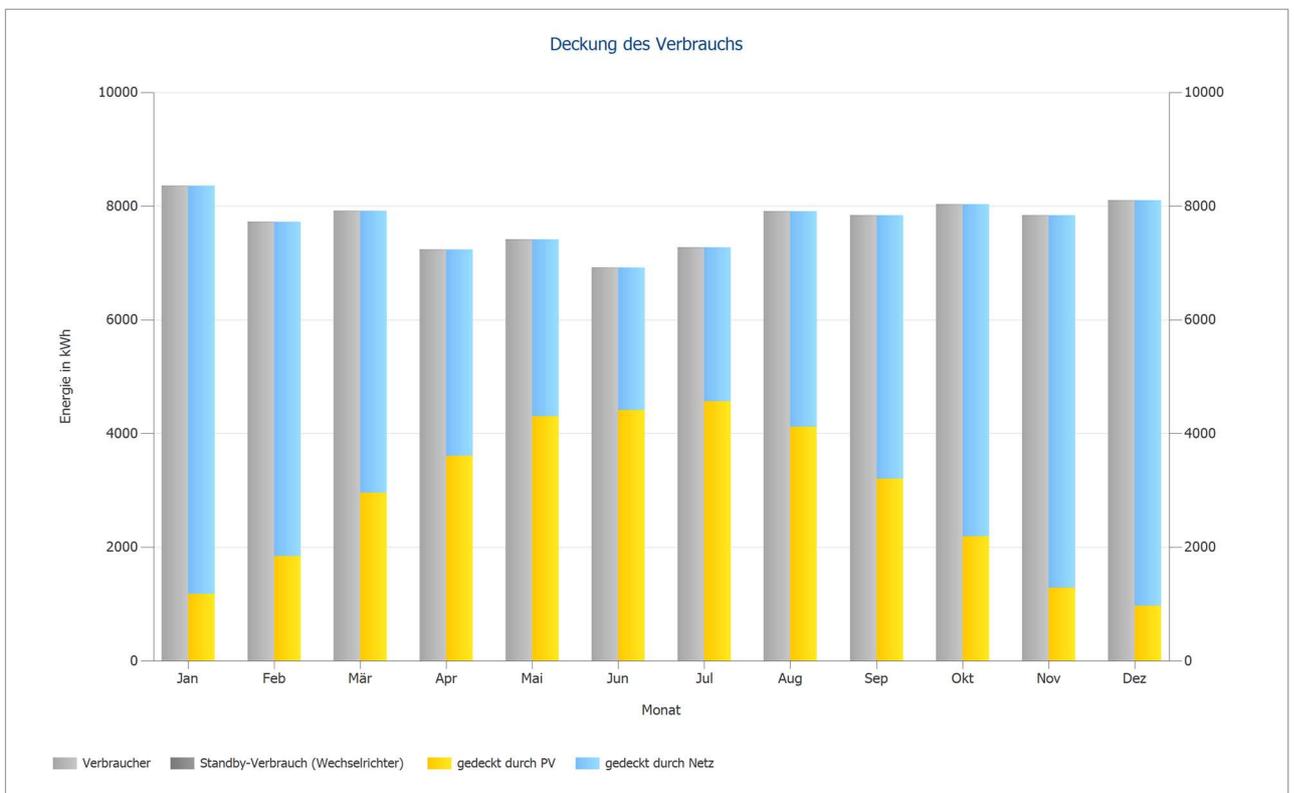


Abbildung: Deckung des Verbrauchs



## Screenshots, 3D-Planung

### Umgebung



## Schulanlage Melchenbühl 3073 Gümligen

### Simulation zu einer neuen Photovoltaikanlage Variante 2 Dach & Fassade

#### © Copyright

TONEATTI ENGINEERING AG, CH-3000 BERN 13

Vervielfältigung auszugsweise oder des gesamten Inhaltes  
nur unter Quellenangabe erlaubt.

#### Impressum

Projektnummer: 3802  
Verfasser: Daniel Sieveking  
Telefon: 031 958 58 88  
E-Mail: daniel.sieveking@toneatti.ch

Mitautor: André Mathis  
Dominic Beck

#### Dokumentation

Stand: 10.11.2021  
Version: 1.0  
Pfad: studie\_pv-sol\_simulation\_v2.docx



## Projektübersicht Variante 2 Dach&Fassade



Abbildung: Südwestfassade

### PV-Anlage

#### 3D, Netzgekoppelte PV-Anlage mit elektrischen Verbrauchern

Klimadaten	Gümligen, CHE (1991 - 2010)
Quelle der Werte	Meteonorm 7.3
PV-Generatorleistung	149.8 kWp
PV-Generatorfläche	747.4 m <sup>2</sup>
Anzahl PV-Module	424
Anzahl Wechselrichter	7

### Ertragsprognose

#### Ertragsprognose

PV-Generatorleistung	149.80 kWp
Spez. Jahresertrag	708.78 kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)	81.78 %
Ertragsminderung durch Abschattung	6.8 %/Jahr
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	106'313 kWh/Jahr
Eigenverbrauch	46'208 kWh/Jahr
Abregelung am Einspeisepunkt	0 kWh/Jahr
Netzeinspeisung	60'098 kWh/Jahr
Eigenverbrauchsanteil	43.4 %
Vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen	13'591 kg/Jahr
Autarkiegrad	49.9 %

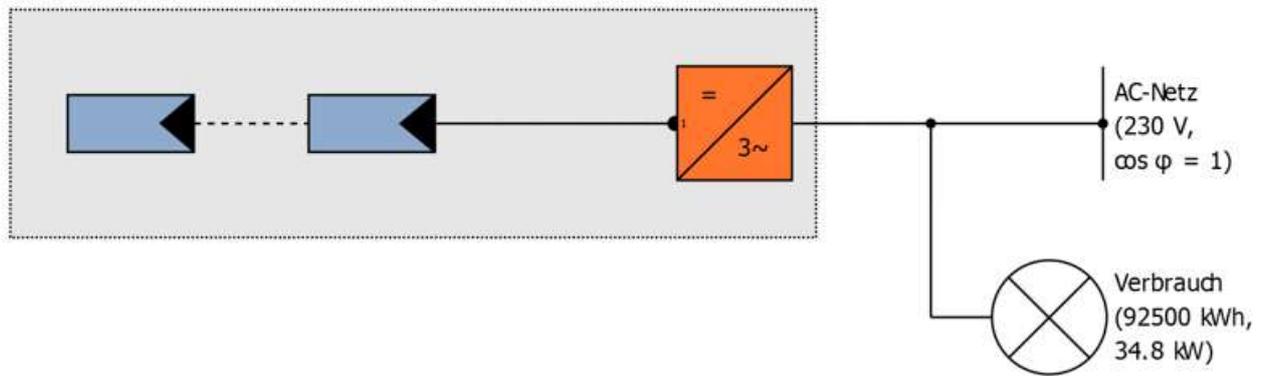


Abbildung: Schaltschema

## Aufbau der Anlage

### Überblick

#### Anlagendaten

Anlagenart	3D, Netzgekoppelte PV-Anlage mit elektrischen Verbrauchern
------------	------------------------------------------------------------

#### Klimadaten

Standort	Bern-Liebefeld, CHE (1991 - 2010)
Quelle der Werte	Meteonorm 7.3
Auflösung der Daten	1 min
Verwendete Simulationsmodelle:	
- Diffusstrahlung auf die Horizontale	Hofmann
- Einstrahlung auf die geneigte Fläche	Hay & Davies

#### Verbrauch

Gesamtverbrauch	92500 kWh
Pavillion inkl. Abwartshaus	21000 kWh
Turnhalle	18000 kWh
Kindergarten	9500 kWh
Schule mit Schwimmbad	44000 kWh
Spitzenlast	34.8 kW

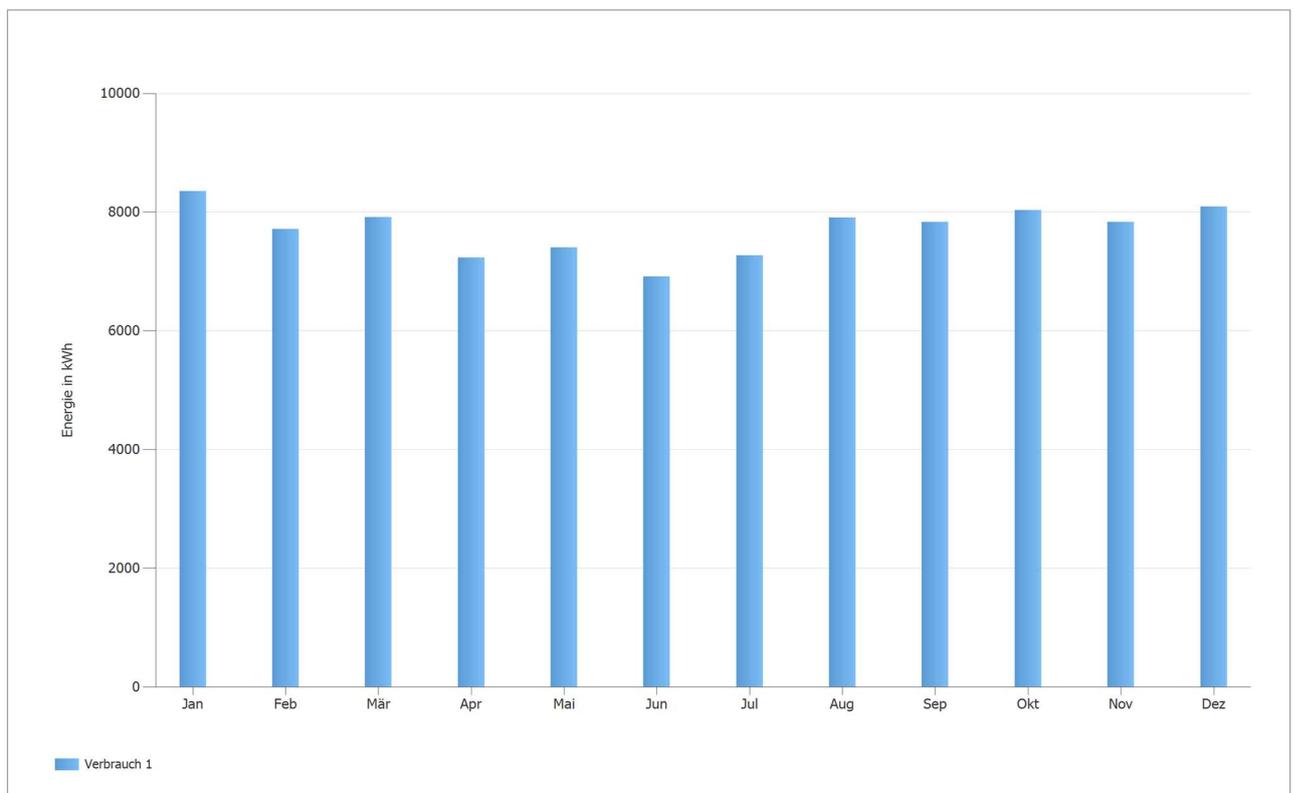


Abbildung: Verbrauch



## Modulflächen

### 1. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südost

#### PV-Generator, 1. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südost

Name	Schulhaus-Belegungsfläche Südost
PV-Module	26 x M350-HC120-b GG U30b (v1)
Hersteller	Megasol Energie AG
Neigung	90 °
Ausrichtung	Südosten 134 °
Einbausituation	Dachparallel - gut hinterlüftet
PV-Generatorfläche	44.7 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	9.10	kWp
PV-Generatorfläche	44.66	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	804.11	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	856.86	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	77.94	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	6087.00	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	668.90	kWh/kWp



Abbildung: 1. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südost

## 2. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südwest

### PV-Generator, 2. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südwest

Name	Schulhaus1-Belegungsfläche Südwest
PV-Module	30 x M350-HC120-b GG U30b (v1)
Hersteller	Megasol Energie AG
Neigung	90 °
Ausrichtung	Südwesten 224 °
Einbausituation	Dachparallel - gut hinterlüftet
PV-Generatorfläche	51.5 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	10.50	kWp
PV-Generatorfläche	51.53	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	795.45	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	847.26	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	73.29	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	6530.24	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	621.93	kWh/kWp

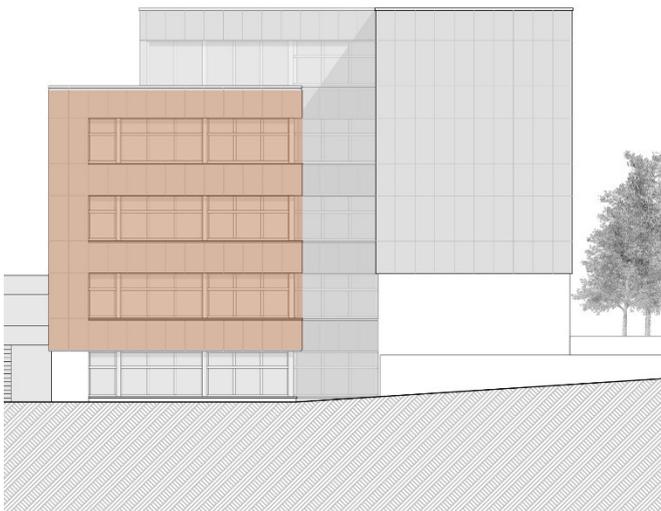


Abbildung: 2. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südwest

## 3. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Nordwest

### PV-Generator, 3. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Nordwest

Name	Turnhalle-Belegungsfläche Nordwest
PV-Module	49 x M350-HC120-b GG U30b (v1)
Hersteller	Megasol Energie AG
Neigung	90 °
Ausrichtung	Nordwesten 312 °
Einbausituation	Dachparallel - gut hinterlüftet
PV-Generatorfläche	84.2 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	17.15	kWp
PV-Generatorfläche	84.16	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	437.13	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	470.70	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	82.42	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	6663.55	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	388.55	kWh/kWp

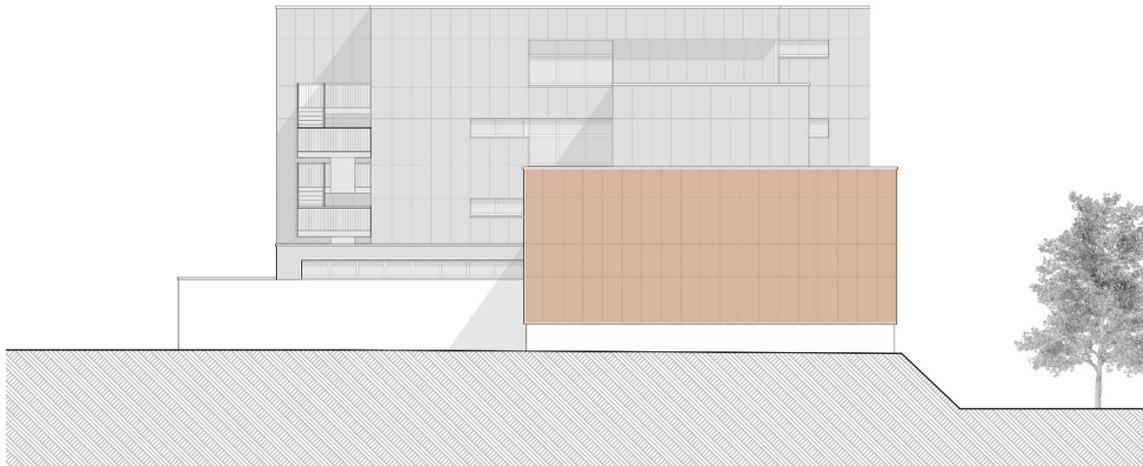


Abbildung: 3. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Nordwest

## 4. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Südwest

### PV-Generator, 4. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Südwest

Name	Turnhalle-Belegungsfläche Südwest
PV-Module	64 x M350-HC120-b GG U30b (v1)
Hersteller	Megasol Energie AG
Neigung	90 °
Ausrichtung	Südwesten 222 °
Einbausituation	Dachparallel - gut hinterlüftet
PV-Generatorfläche	109.9 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	22.40	kWp
PV-Generatorfläche	109.93	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	795.91	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	848.43	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	76.09	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	14481.63	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	646.50	kWh/kWp

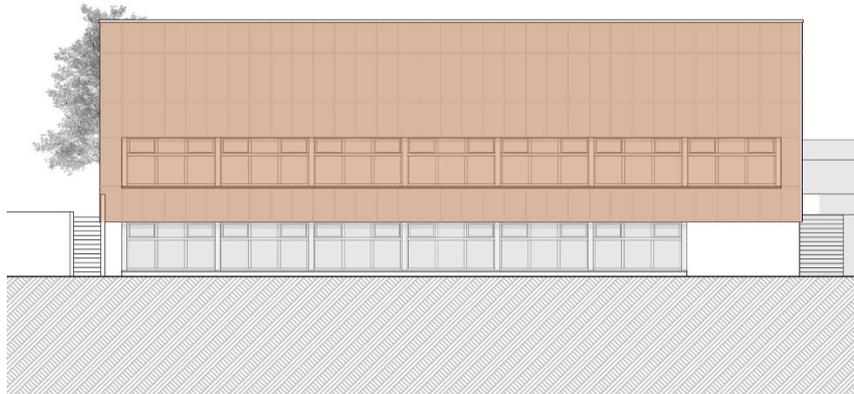


Abbildung: 4. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Südwest

## 5. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

### PV-Generator, 5. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

Name	Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest
PV-Module	16 x TSM-360-DEG8M.20 (II) (v1)
Hersteller	Trina Solar
Neigung	10 °
Ausrichtung	Nordwesten 313 °
Einbausituation	Aufgeständert - Dach
PV-Generatorfläche	29.7 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	5.76	kWp
PV-Generatorfläche	29.67	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	1013.30	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	1014.94	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	88.48	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	5165.63	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	896.81	kWh/kWp

## 6. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südost

### PV-Generator, 6. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südost

Name	Schulhaus-Belegungsfläche Südost
PV-Module	16 x TSM-360-DEG8M.20 (II) (v1)
Hersteller	Trina Solar
Neigung	10 °
Ausrichtung	Südosten 133 °
Einbausituation	Aufgeständert - Dach
PV-Generatorfläche	29.7 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	5.76	kWp
PV-Generatorfläche	29.67	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	1146.73	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	1148.13	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	85.97	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	5677.45	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	985.67	kWh/kWp



## 7. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Südost

### PV-Generator, 7. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Südost

Name	Turnhalle-Belegungsfläche Südosten
PV-Module	54 x TSM-360-DEG8M.20 (II) (v1)
Hersteller	Trina Solar
Neigung	10 °
Ausrichtung	Südosten 133 °
Einbausituation	Aufgeständert - Dach
PV-Generatorfläche	100.1 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	19.44	kWp
PV-Generatorfläche	100.15	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	1157.46	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	1158.88	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	86.64	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	19493.77	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	1002.77	kWh/kWp

## 8. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Nordwest

### PV-Generator, 8. Modulfläche - Turnhalle-Belegungsfläche Nordwest

Name	Turnhalle-Belegungsfläche Südwest
PV-Module	54 x TSM-360-DEG8M.20 (II) (v1)
Hersteller	Trina Solar
Neigung	10 °
Ausrichtung	Nordwesten 312 °
Einbausituation	Aufgeständert - Dach
PV-Generatorfläche	100.1 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	19.44	kWp
PV-Generatorfläche	100.15	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	1031.47	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	1033.12	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	89.49	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	17948.91	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	923.30	kWh/kWp



## 9. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südost

### PV-Generator, 9. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südost

Name	Schulhaus-Belegungsfläche Südost
PV-Module	26 x M350-HC120-b GG U30b (v1)
Hersteller	Megasol Energie AG
Neigung	90 °
Ausrichtung	Südosten 134 °
Einbausituation	Dachparallel - gut hinterlüftet
PV-Generatorfläche	44.7 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	9.10	kWp
PV-Generatorfläche	44.66	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	804.11	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	856.86	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	85.59	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	6683.72	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	734.47	kWh/kWp



Abbildung: 5. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südost

## 10. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

### PV-Generator, 10. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

Name	Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest
PV-Module	14 x M350-HC120-b GG U30b (v1)
Hersteller	Megasol Energie AG
Neigung	90 °
Ausrichtung	Nordwesten 314 °
Einbausituation	Dachparallel - gut hinterlüftet
PV-Generatorfläche	24.0 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	4.90	kWp
PV-Generatorfläche	24.05	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	428.65	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	461.70	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	77.97	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	1766.47	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	360.50	kWh/kWp

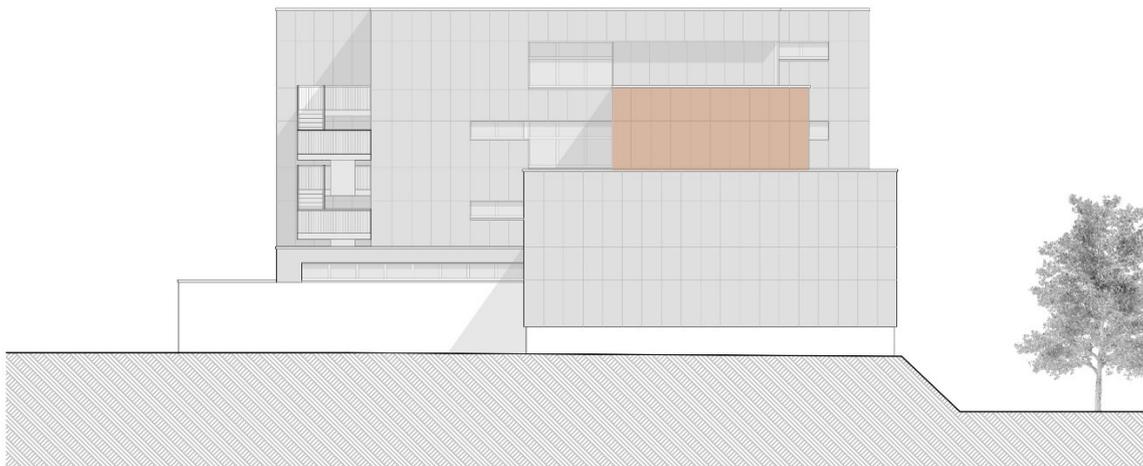


Abbildung: 6. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

## 11. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südwest

### PV-Generator, 11. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südwest

Name	Schulhaus-Belegungsfläche Südwest
PV-Module	56 x M350-HC120-b GG U30b (v1)
Hersteller	Megasol Energie AG
Neigung	90 °
Ausrichtung	Südwesten 224 °
Einbausituation	Dachparallel - gut hinterlüftet
PV-Generatorfläche	96.2 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	19.60	kWp
PV-Generatorfläche	96.19	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	795.45	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	847.26	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	80.26	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	13348.91	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	681.07	kWh/kWp

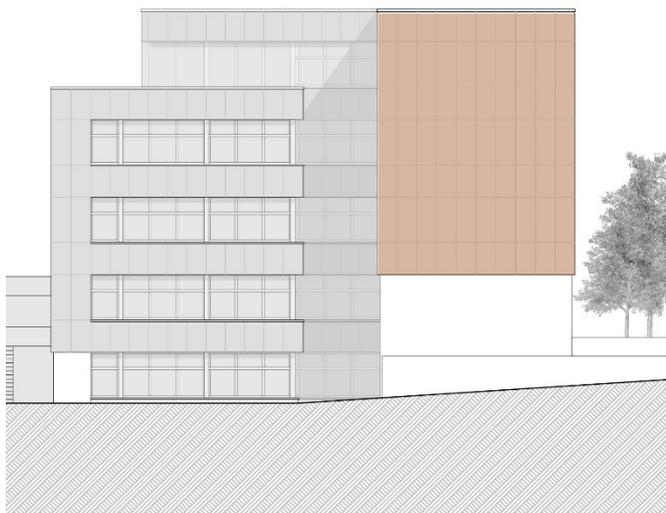


Abbildung: 7. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südwest

## 12. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

### PV-Generator, 12. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

Name	Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest
PV-Module	9 x M350-HC120-b GG U30b (v1)
Hersteller	Megasol Energie AG
Neigung	90 °
Ausrichtung	Nordwesten 314 °
Einbausituation	Dachparallel - gut hinterlüftet
PV-Generatorfläche	15.5 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	3.15 kWp
PV-Generatorfläche	15.46 m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	410.99 kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	443.11 kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	53.68 %
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	750.35 kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	238.21 kWh/kWp

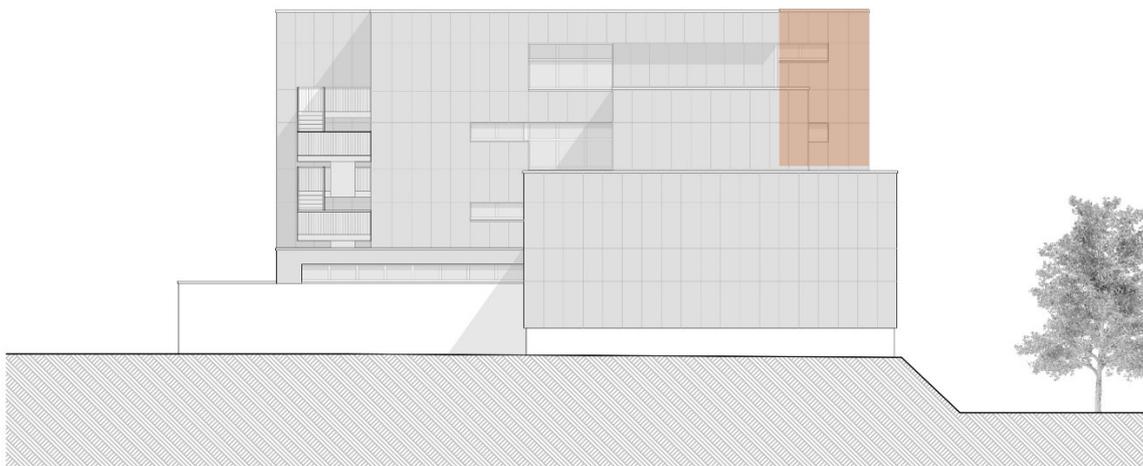


Abbildung: 8. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

## 13. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südwest

### PV-Generator, 13. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südwest

Name	Schulhaus-Belegungsfläche Südwest
PV-Module	5 x M350-HC120-b GG U30b (v1)
Hersteller	Megasol Energie AG
Neigung	90 °
Ausrichtung	Südwesten 224 °
Einbausituation	Dachparallel - gut hinterlüftet
PV-Generatorfläche	8.6 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	1.75	kWp
PV-Generatorfläche	8.59	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	792.51	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	844.16	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	74.31	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	1099.50	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	628.29	kWh/kWp

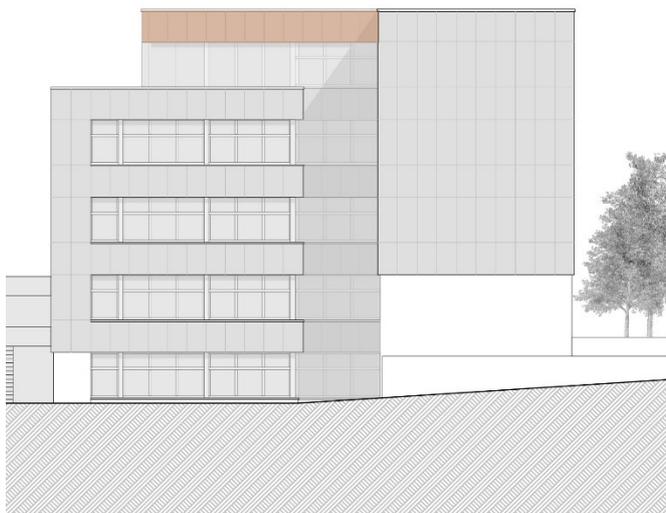


Abbildung: 9. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Südwest

## 14. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

### PV-Generator, 14. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

Name	Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest
PV-Module	5 x M350-HC120-b GG U30b (v1)
Hersteller	Megasol Energie AG
Neigung	90 °
Ausrichtung	Nordwesten 314 °
Einbausituation	Dachparallel - gut hinterlüftet
PV-Generatorfläche	8.6 m <sup>2</sup>

PV-Generatorleistung	1.75	kWp
PV-Generatorfläche	8.59	m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul	428.65	kWh/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung auf Modul ohne Reflexion	461.70	kWh/m <sup>2</sup>
Anlagennutzungsgrad (PR)	76.11	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	615.83	kWh/Jahr
Spez. Jahresertrag	351.90	kWh/kWp

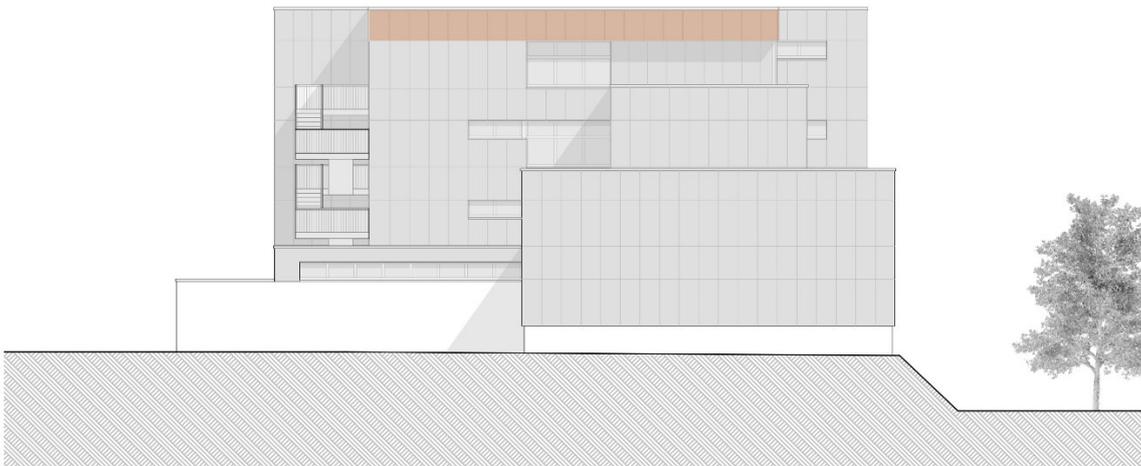


Abbildung: 10. Modulfläche - Schulhaus-Belegungsfläche Nordwest

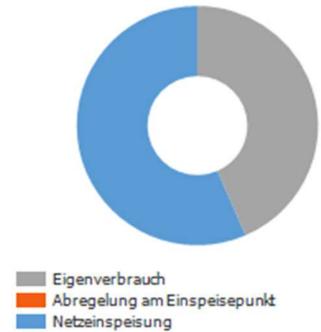
## Simulationsergebnisse

### Ergebnisse Gesamtanlage

#### PV-Anlage

PV-Generatorleistung	149.80 kWp
Spez. Jahresertrag	708.78 kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)	81.78 %
Ertragsminderung durch Abschattung	6.8 %/Jahr
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	106'313 kWh/Jahr
Eigenverbrauch	46'208 kWh/Jahr
Abregelung am Einspeisepunkt	0 kWh/Jahr
Netzeinspeisung	60'098 kWh/Jahr
Eigenverbrauchsanteil	43.4 %
Vermiedene CO <sub>2</sub> -Emissionen	13'591 kg/Jahr

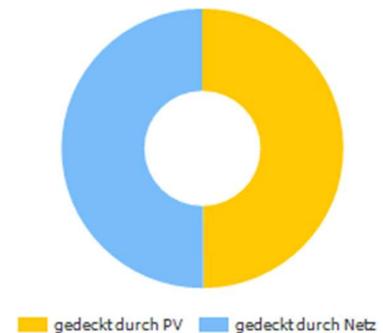
PV-Generatorenergie (AC-Netz)



#### Verbraucher

Verbraucher	92'500 kWh/Jahr
Standby-Verbrauch (Wechselrichter)	137 kWh/Jahr
Gesamtverbrauch	92'637 kWh/Jahr
gedeckt durch PV	46'208 kWh/Jahr
gedeckt durch Netz	46'422 kWh/Jahr
Solarer Deckungsanteil	49.9 %

Gesamtverbrauch



#### Autarkiegrad

Gesamtverbrauch	92'637 kWh/Jahr
gedeckt durch Netz	46'422 kWh/Jahr
Autarkiegrad	49.9 %

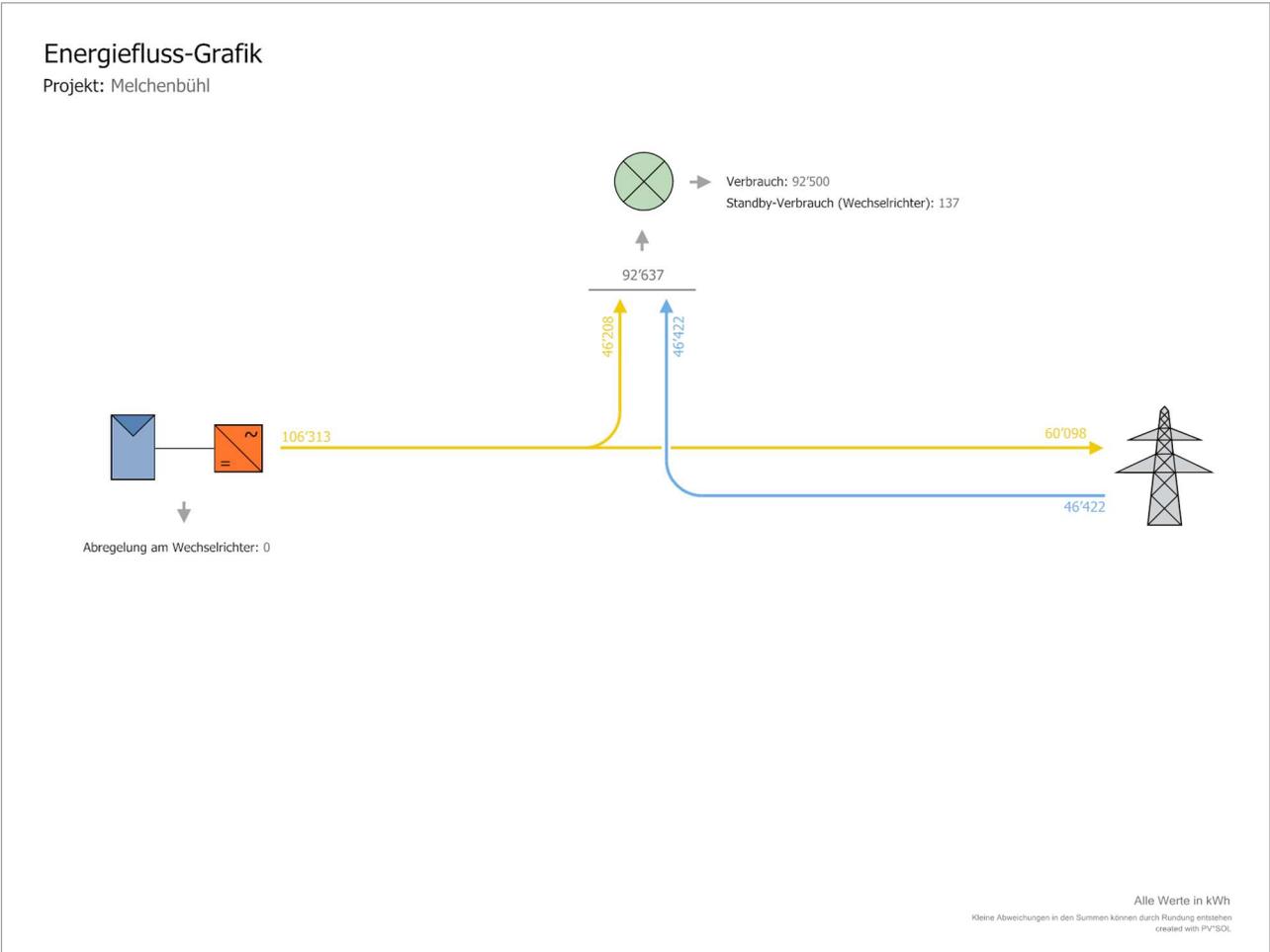


Abbildung: Energiefluss



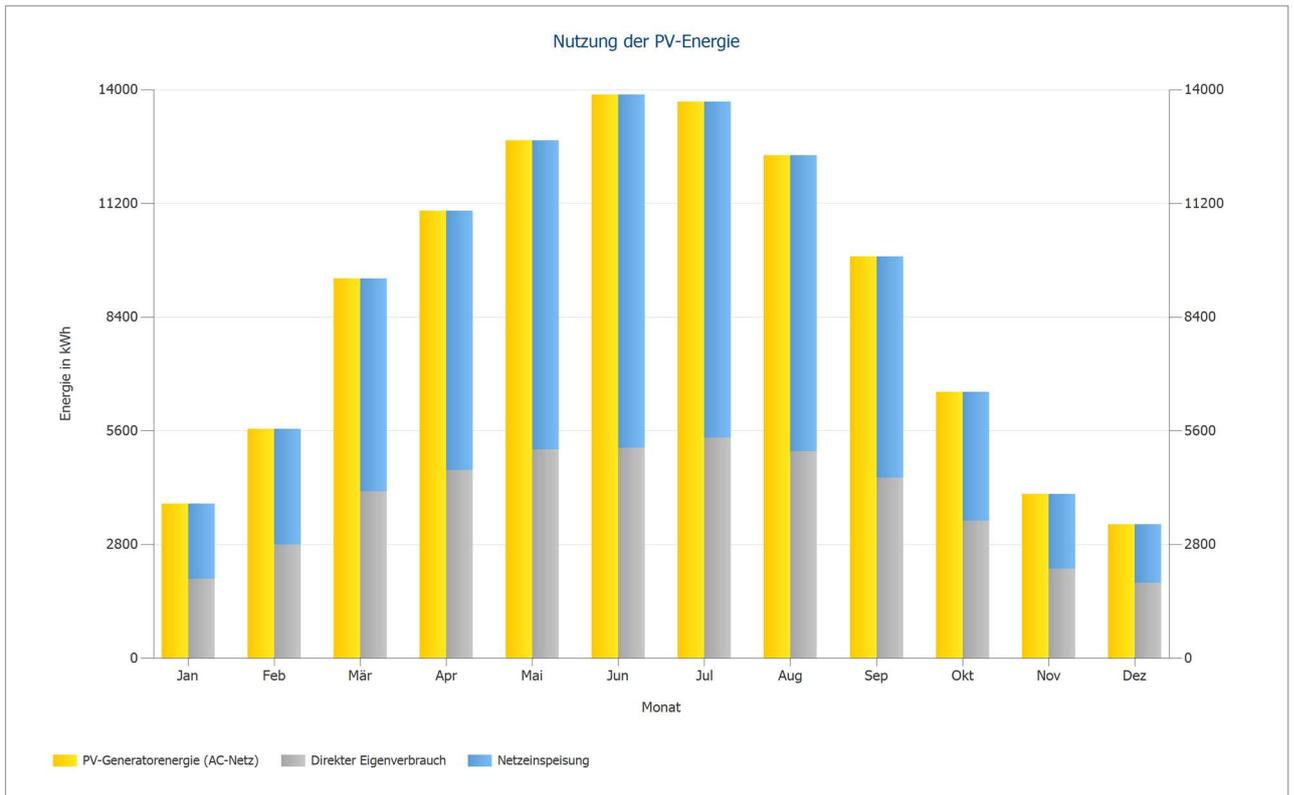


Abbildung: Nutzung der PV-Energie

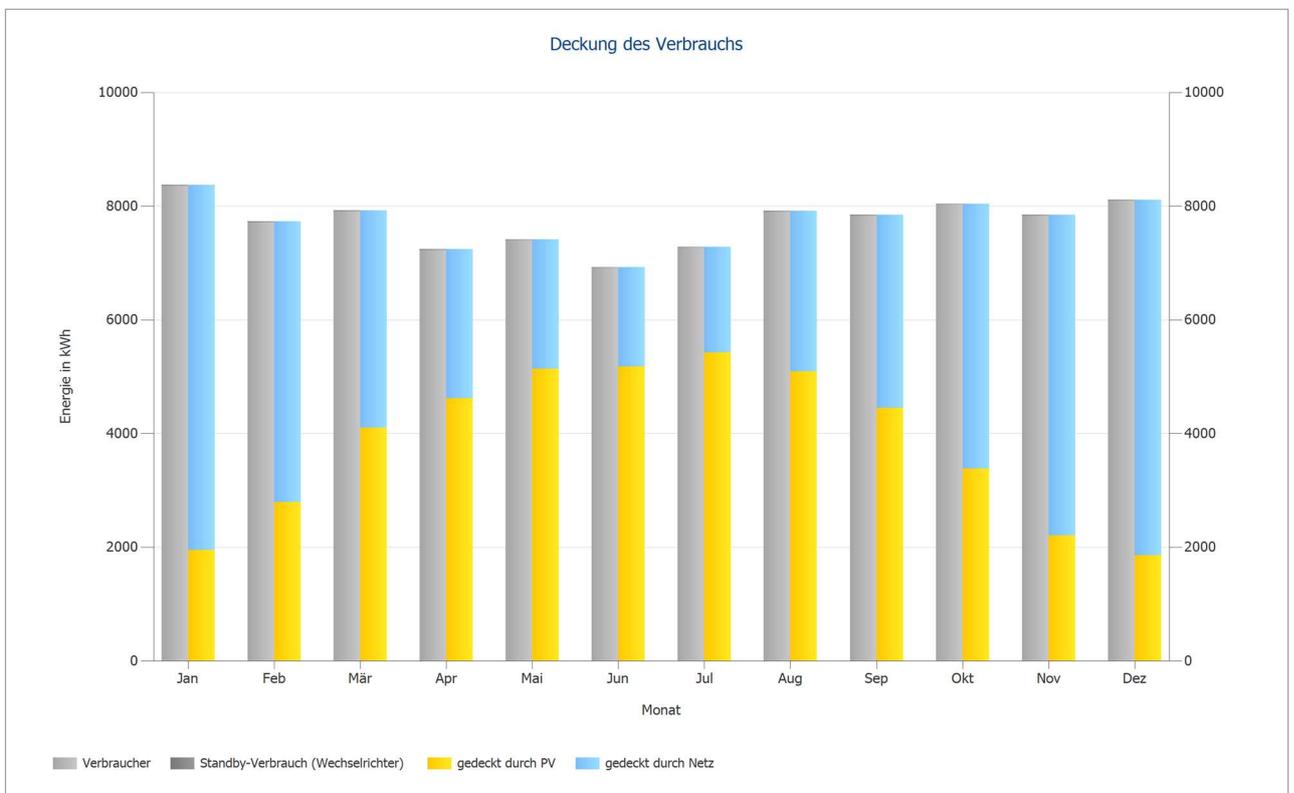


Abbildung: Deckung des Verbrauchs



## Screenshots, 3D-Planung

### Umgebung



Abbildung (weitere Abbildungen siehe separates Dokument)

Montagesysteme für Solartechnik



**K2 SYSTEMS GMBH**

**KALKULATIONSGRUNDLAGE**

PROJEKT: Schulanlage Melchenbühl

BEARBEITER: Daniel Sieveking

DATUM: 05.11.2021

## PROJEKTDATEN

### ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Name	Schulanlage Melchenbühl
Montagesystem	D-Dome 6.10
Kunde	Schulanlage Melchenbühl
Bearbeiter	Daniel Sieveking

### STANDORT

Adresse	Gümligen, 3073 Muri bei Bern, Schweiz
Geländehöhe	567,04 m
Dachtyp	Flachdach
Befestigungsmethode	durch Ballast
Eindeckung	Folie, Kies, ...
Schütthöhe	0,005 m
Gebäudehöhe	7,25 m
Attikahöhe	0,15 m
Dachneigung	0 °
Randabstand	0,60 m
Material	Kies
Reibungskoeffizient	1,45
Geländekategorie	III: Ortschaften, freies Feld

Der hier angegebene Reibungskoeffizient ist bauseits zu überprüfen. Wird ein kleinerer Wert festgestellt muß dieser zwingend für die Ballastberechnung hier angegeben werden!

### LASTEN

Bemessung	SIA / SN EN		
Schadensfolgeklasse	CC1	Nutzungsdauer	25 Jahre
Referenzwert für Böengeschw.druck	$q_{p0} = 0,90 \text{ kN/m}^2$		
Geländekategorie	III: Ortschaften, freies Feld		
Böengeschw.druck	$q_{p,25} = 0,762 \text{ kN/m}^2$		
Höhenkorrektur	$\pm 0 \text{ m}$		
Bodenschneelast	$s_k = 1,450 \text{ kN/m}^2$		

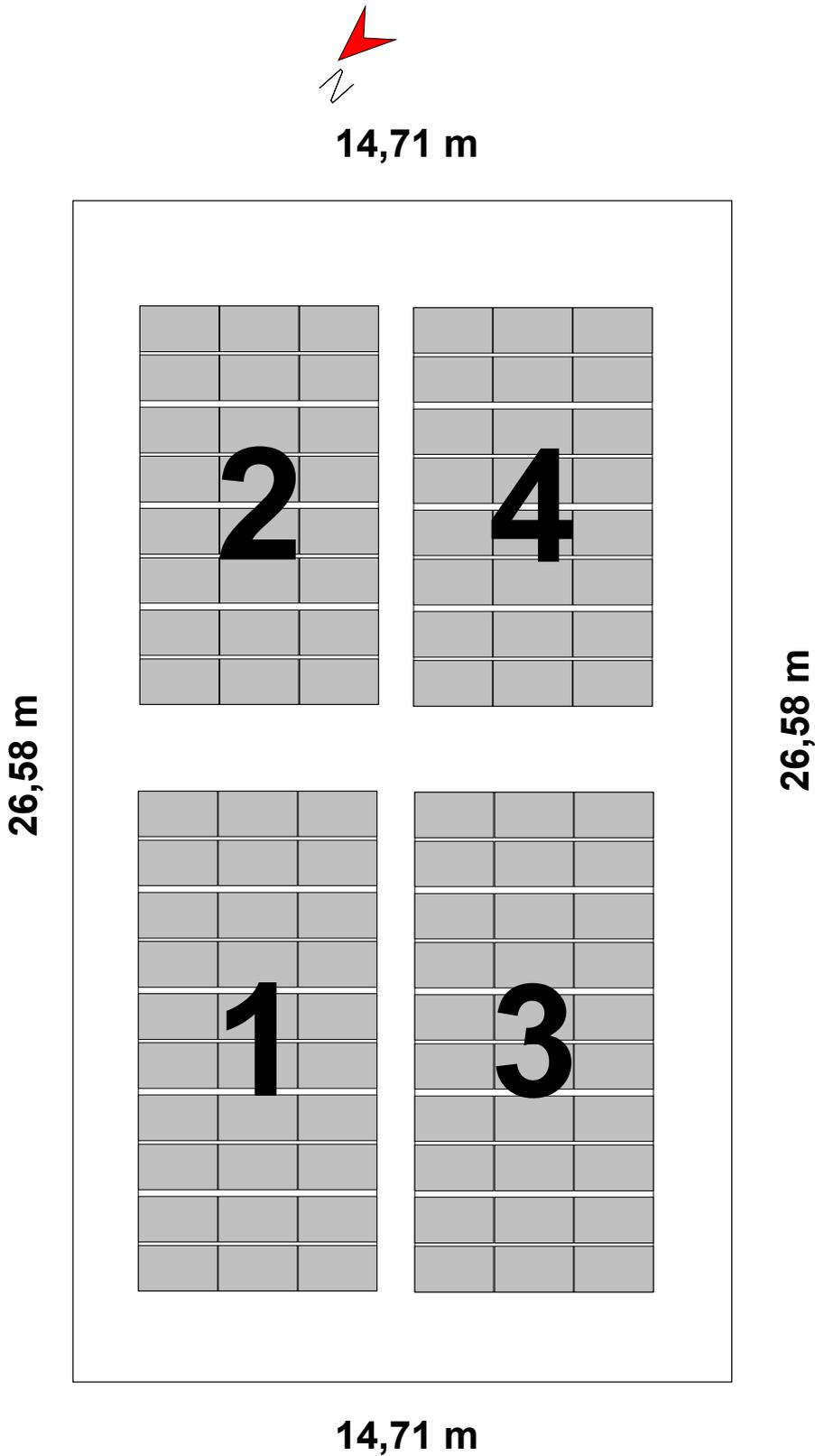
### MODULE

Hersteller	Trina Solar Energy	Anzahl	108
Name		Leistung	38,880 kWp

Größe LxBxH	TSM-360DE08M (II) (THE HONEY framed)
Gewicht	1763 x 1040 x 35,00 mm
Leistung	20,0 kg
	360 W



**MONTAGEPLAN**



Maße in [m]

## LEGENDE

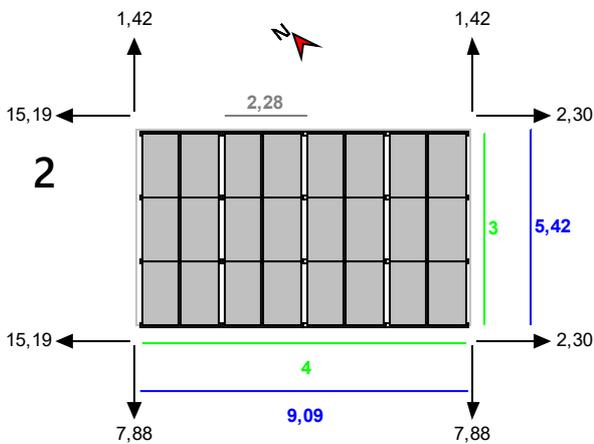
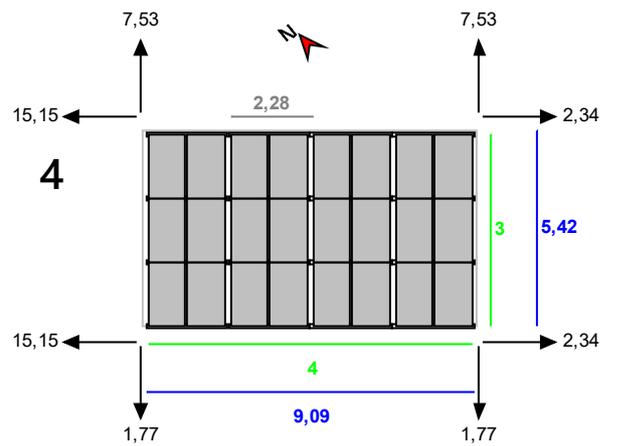
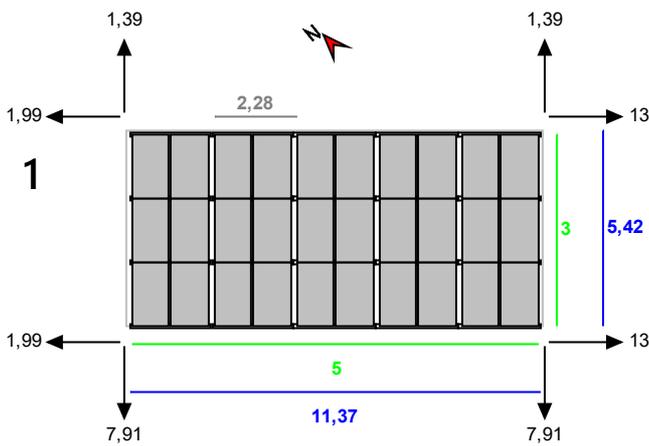
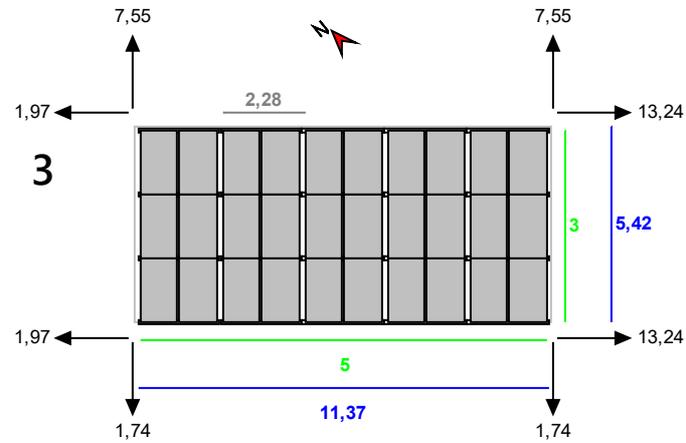
Abstand zu benachbartem Modulblock [m]

Abstand zum Dachrand [m]

Anzahl der Module

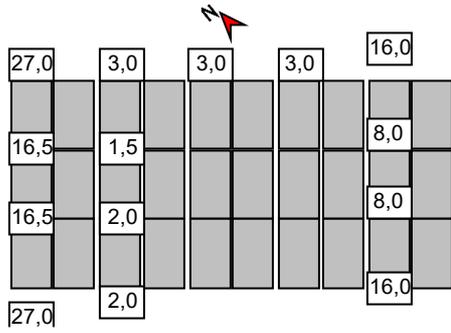
Länge/Breite des Modulblocks [m]

Reihenabstand [m]

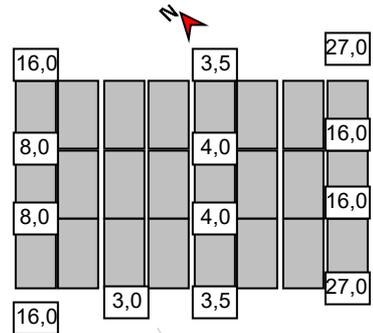


**BALLASTIERUNGSPLAN**

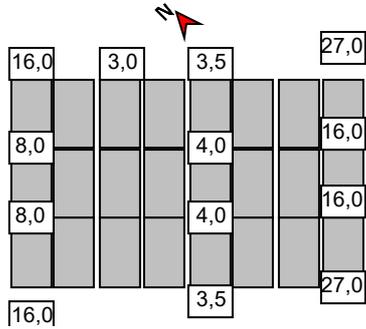
1



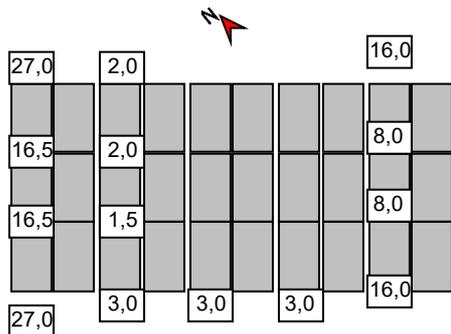
4



2



3



## ERGEBNISSE

### BALLASTKAPAZITÄT

Speed Porter	40,0 kg
Porter	108,0 kg
Modulklemme	MiniClamp MC Set 30-50
Endklemme	MiniClamp EC Set 30-50

### SYSTEMAUSLASTUNG

Systemauslastung [%]	<b>Druck</b>	39,82
	<b>Sog</b>	43,18
Lasten auf Module (Nachweis Tragsicherheit) [Pa]	<b>Druck</b>	2511
	<b>Sog</b>	-941
Lasten auf Module (Nachweis Gebrauchstauglichkeit) [Pa]	<b>Druck</b>	1871
	<b>Sog</b>	-654

### SPEZIFISCHE LASTEN

Index (Modulblock)	Anzahl Aufständungen (Modulblock)	---	Ballast [kg] (Modulblock)	Eigengewicht [kg] (Modulblock)	Eigenlast [kN/m <sup>2</sup> ] (Modulblock)	Eigenlast [kN/m <sup>2</sup> ] (Dachfläche)
Block 1	15	---	149,5	851,5	0,14	---
Block 2	12	---	152,0	713,6	0,15	---
Block 3	15	---	149,5	851,5	0,14	---
Block 4	12	---	152,0	713,6	0,15	---
alle Blöcke	54	---	603,0	3130,2	---	0,08

### HINWEISE

- Die Nachweise zu Lagesicherheit und Tragfähigkeit des Systems werden durch Prüfung der Lastfälle Abheben und Verschieben durch Wind und durch weitere statische Berechnungen geführt. Sie finden eine Kurzfassung des Windkanalgutachtens und ein Zertifikat zu den weiterführenden statischen Berechnungen auf unserer Homepage.
- Die Bemessungsregeln entsprechen SIA 260:2013; SIA 260.001:2002-1 / SN EN 1990:2002-11; SIA 260.001 / NA:2014 / SN EN 1990 / NA:2014.
- Die Ermittlung der Schneelasten erfolgt nach SIA261:2013; SIA261.003:2013-1/ SN EN 1991-1-3:2003-10; SIA261.003/ NA:2016/ SN EN 1991-1-3/ NA:2016.
- Die Ermittlung der Windlasten erfolgt nach SIA261:2014; SIA261.004:2005-11/ SN EN 1991-1-4:2005-11; SIA261.004/ NA:2016/ SN EN 1991-1-4/ NA:2016.
- Die Nutzungsdauer wurde berücksichtigt gemäß SIA 261:2014; SIA 261.003:2013 / SN EN 1991-1-3:2003-10; SIA 261.003 / NA:2016 / SN EN 1991-1-3 / NA:2016; SIA 261.004:2005-11 / SN EN 1991-1-4:2005-11; SIA 261.004 / NA:2016 / SN EN 1991-1-4 / NA:2016.
- Die Schadensfolgeklasse wurde gemäß SIA 260:2013; SIA 260.001:2002-1 / SN EN 1990:2002-11; SIA 260.001 / NA:2014 / SN EN 1990 / NA:2014 berücksichtigt.
- Daten und Ergebnisse müssen im Hinblick auf die Gegebenheiten vor Ort verifiziert und von einer fachlich hinreichend qualifizierten Person geprüft werden. Bitte beachten Sie unsere unter <http://k2-systems.com/de/base-anb> abrufbaren Allgemeinen Nutzungsbedingungen (ANB), insbesondere § 2 („Technische und fachliche Voraussetzungen beim Kunden“), § 7 („Gewährleistungsbeschränkung“) und § 8 („Haftungsbeschränkung“).

## STATIKBERICHT

---

### ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Name	Schulanlage Melchenbühl
Montagesystem	D-Dome 6.10
Kunde	Schulanlage Melchenbühl
Bearbeiter	Daniel Sieveking

### STANDORT

Adresse	Gümligen, 3073 Muri bei Bern, Schweiz
Geländehöhe	567,04 m
Dachtyp	Flachdach
Befestigungsmethode	durch Ballast
Eindeckung	Folie, Kies, ...
Schütthöhe	0,005 m
Gebäudehöhe	7,25 m
Attikahöhe	0,15 m
Dachneigung	0 °
Randabstand	0,60 m
Material	Kies
Reibungskoeffizient	1,45
Geländekategorie	III: Ortschaften, freies Feld

## LASTEN

Bemessung	SIA / SN EN		
Schadensfolgeklasse	CC1	Nutzungsdauer	25 Jahre

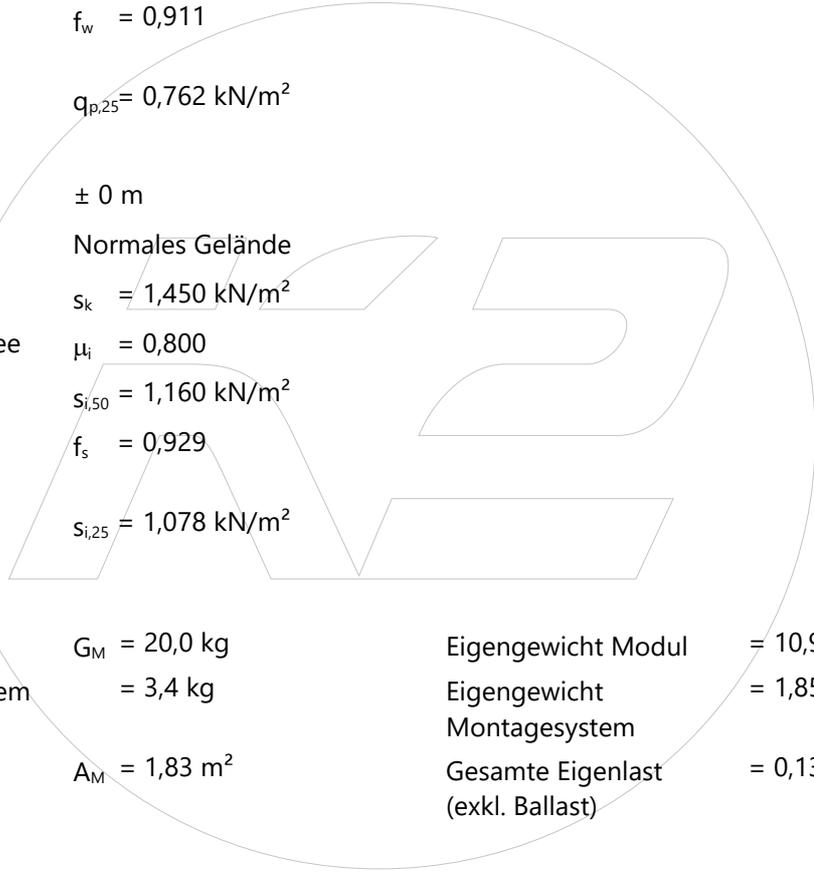
Referenzwert für Böengeschw.druck	$q_{p0} = 0,90 \text{ kN/m}^2$
Geländekategorie	III: Ortschaften, freies Feld

Böengeschw.druck	$q_{p,50} = 0,836 \text{ kN/m}^2$
Anpassungsfaktor für Nutzungsdauer	$f_w = 0,911$
Böengeschw.druck	$q_{p,25} = 0,762 \text{ kN/m}^2$

Höhenkorrektur	$\pm 0 \text{ m}$
Umgebung	Normales Gelände
Bodenschneelast	$s_k = 1,450 \text{ kN/m}^2$
Formbeiwert für Schnee	$\mu_i = 0,800$
Schneelast a.d. Dach	$s_{i,50} = 1,160 \text{ kN/m}^2$
Anpassungsfaktor für Nutzungsdauer	$f_s = 0,929$
Schneelast a.d. Dach	$s_{i,25} = 1,078 \text{ kN/m}^2$

## EIGENLAST

Gewicht Module	$G_M = 20,0 \text{ kg}$	Eigengewicht Modul	$= 10,91 \text{ kg/m}^2$
Gewicht Montagesystem	$= 3,4 \text{ kg}$	Eigengewicht Montagesystem	$= 1,85 \text{ kg/m}^2$
Modulfläche	$A_M = 1,83 \text{ m}^2$	Gesamte Eigenlast (exkl. Ballast)	$= 0,13 \text{ kN/m}^2$



## LASTFALLKOMBINATIONEN

### TRAGFÄHIGKEIT

Teilsicherheitsbeiwert ständig ungünstig (STR)	$\gamma_{G,sup}$	1,35
Teilsicherheitsbeiwert ständig günstig (STR)	$\gamma_{G,inf}$	0,80
Teilsicherheitsbeiwert ständig destab. (EQU)	$\gamma_{G,dst}$	1,10
Teilsicherheitsbeiwert ständig stab. (EQU)	$\gamma_{G,stb}$	0,90
Teilsicherheitsbeiwert erster veränderlicher	$\gamma_Q$	1,50
Teilsicherheitsbeiwert n veränderliche	$\gamma_Q$	1,50
Kombinationsbeiwert für Wind	$\psi_{0,W}$	0,60
Kombinationsbeiwert für Wind (weitere veränderliche Einwirkungen)	$\psi_{1,W}$	0,50
Kombinationsbeiwert für Schnee	$\psi_{0,S}$	0,89
Bedeutungsbeiwert veränderlich	$\kappa_{FI,Q}$	0,90

LFK 00:	$E_d = \gamma_{G,sup} * \kappa_{FI,G} * G_k + \gamma_Q * \kappa_{FI,Q} * S_{i,n}$
LFK 02:	$E_d = \gamma_{G,sup} * \kappa_{FI,G} * G_k + \gamma_Q * \kappa_{FI,Q} * W_{k,Druck}$
LFK 03:	$E_d = \gamma_{G,sup} * \kappa_{FI,G} * G_k + \gamma_Q * \kappa_{FI,Q} * (W_{k,Druck} + \psi_{0,S} * S_{i,n})$
LFK 04:	$E_d = \gamma_{G,sup} * \kappa_{FI,G} * G_k + \gamma_Q * \kappa_{FI,Q} * (S_{i,n} + \psi_{0,W} * W_{k,Druck})$
LFK 06:	$E_d = \gamma_{G,inf} * G_k + \gamma_Q * \kappa_{FI,Q} * W_{k,Sog}$
Abhebenachweis:	$E_d = \gamma_{G,stb} * G_k + \gamma_Q * \kappa_{FI,Q} * W_{k,n,Abheben}$
Verschiebenachweis:	$E_d = \gamma_{G,stb} * G_k + \gamma_Q * \kappa_{FI,Q} * W_{k,n,Verschieben}$

### GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

Kombinationsbeiwert für Wind	$\psi_{0,W}$	0,60
Kombinationsbeiwert für Schnee	$\psi_{0,S}$	0,89

LFK 00:	$E_d = G_k$
LFK 01:	$E_d = G_k + S_{i,n}$
LFK 02:	$E_d = G_k + W_{k,Druck}$
LFK 03:	$E_d = G_k + W_{k,Druck} + \psi_{0,S} * S_{i,n}$
LFK 04:	$E_d = G_k + S_{i,n} + \psi_{0,W} * W_{k,Druck}$
LFK 06:	$E_d = G_k + W_{k,Sog}$

DAS SYSTEM KONNTE ERFOLGREICH NACHGEWIESEN WERDEN.



## MAX. PRESSUNG AUF DÄMMUNG

### ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Eigenlast System  $g_{\text{System}} = 0,13 \text{ kN/m}^2$   
 aerodynamischer Beiwert  $c_{p,\text{Druck}} = 0,2$

### LASTVERTEILUNG AUF DER GEBÄUDESCHUTZMATTE UNTER, 45 °

Abmessungen  $75,3 * 380,0 * 23,1 \text{ mm}$   
 $A_{\text{eff}} = 28614 \text{ mm}^2$   
 $A_{\text{Lasteinzugsfläche}} = 1,83 \text{ m}^2$   
 max. Ballast  $G_{\text{Ballast}} = 17,8 \text{ kg}$

### LASTAUSBREITUNG IN DER BSM UNTER SD, 45°

Abmessungen  $75,3 * 380,0 * 23,1 \text{ mm}$   
 $A_{\text{eff}} = 28614 \text{ mm}^2$   
 $A_{\text{Lasteinzugsfläche}} = 0,92 \text{ m}^2$   
 max. Ballast  $G_{\text{Ballast}} = 4,6 \text{ kg}$

### LASTFALLKOMBINATIONEN

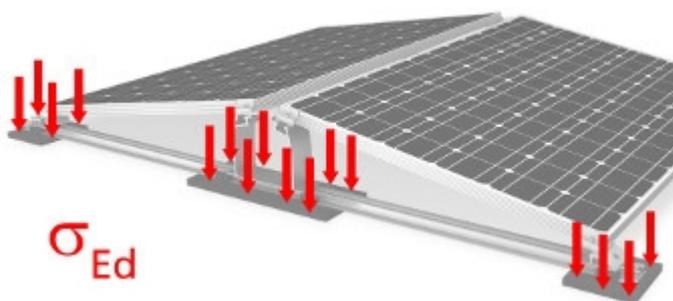
Bereich	LFK 0 0	LFK 0 1	LFK 0 2	LFK 0 3	LFK 0 4	LFK 0 5
$\sigma_{\text{Ed,Dämmung,D6}_10} [\text{Pa}]$	14127	82127	23887	84692	87983	---
$\sigma_{\text{Ed,Dämmung,SD}} [\text{Pa}]$	5583	39583	10463	40865	42511	---

### EINWIRKUNGEN AUS EIGENLASTEN (PV ANLAGE + BALLAST)

$\sigma_{\text{Ed,Dämmung,D6}_10}$   $\sigma_{\text{Ed}} = 14127 \text{ Pa}$   
 $\sigma_{\text{Ed,Dämmung,SD}}$   $\sigma_{\text{Ed}} = 5583 \text{ Pa}$

### MAXIMALE EINWIRKUNGEN (SUMME AUS EIGENLASTEN UND DEN MAXIMALEN VERÄNDERLICHEN EINWIRKUNGEN AUS WIND UND SCHNEE)

$\sigma_{\text{Ed,Dämmung,D6}_10}$   $\text{max } \sigma_{\text{Ed}} = 87983 \text{ Pa}$   
 $\sigma_{\text{Ed,Dämmung,SD}}$   $\text{max } \sigma_{\text{Ed}} = 42511 \text{ Pa}$



## WINDLASTEN AUS DER PV-ANLAGE AUF DAS TRAGWERK

Nach Windgutachten I.F.I. Institut für Industrieaerodynamik GmbH

### ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Anzahl Module Mittenbereich	0
Anzahl Module Randbereich	108
Anzahl Module Gesamt	108
Mit Modulen belegte Dachfläche	$A = \text{ca. } 219,18 \text{ m}^2$
Eigenlast	$g_{k,\text{System inkl. Ballast}} = 0,14 \text{ kN/m}^2$

### AERODYNAMISCHE BEIWERTE

$C_{p, \text{Druck}}$	gemäß DIN EN 1991-1-4
$C_{F,x, \text{gemittelt}}$	-0,06
$C_{F,y, \text{gemittelt}}$	0,01
Randabstandskorrektur	$k_{s,xy} = 1$
Attika- Korrekturkoeffizient	$k_p = 1,02$

### BELASTUNG HORIZONTAL

$$W_{k,F,x} = 0,019 \text{ kN/m}^2$$

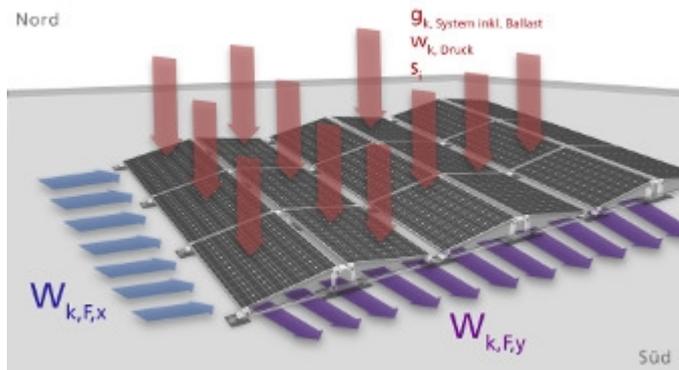
$$W_{k,F,y} = 0,007 \text{ kN/m}^2$$

### BELASTUNG VERTIKAL

$$g_{k,\text{System inkl. Ballast}} = 0,14 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{k,\text{Druck}} - \text{gemäß DIN EN 1991-1-4}$$

$$s_i - \text{gemäß DIN EN 1991-1-3}$$



### Anmerkung:

Die vertikalen Windlasten des Flachdaches werden im Wesentlichen durch seine Verdrängungswirkung bestimmt und bleiben daher auch bei Aufbau einer flachen PV-Anlage unverändert. Es werden zur Bemessung der Flachdächer die aerodynamischen Beiwerte nach DIN EN 1991-1-4 empfohlen.