



# PV-Fassaden

Christian Roeske, 16.11.2023

1. Potential
2. Solare Erträge
3. Anwendungsbeispiele
4. Fassadensysteme
5. Aufbau von PV-Modulen
6. Farben und Oberfläche
7. Planungsablauf und Schnittstellen
8. Wirtschaftlichkeit

# Vorstellung

## Über sundesign

- Fachplanung Photovoltaik
- Gründungsjahr 2009
- über 100 Projekte in der Schweiz als Fachplaner realisiert mit einer Gesamtleistung von über 20'000 kWp.
- spezialisiert auf kommerzielle und gebäudeintegrierter Photovoltaikanlagen und baulicher Integration.
- Fachplaner für Ingenieurbüros, Architekten, Energieversorger und öffentliche Bauherrn.



# Photovoltaik Potenzial Schweiz

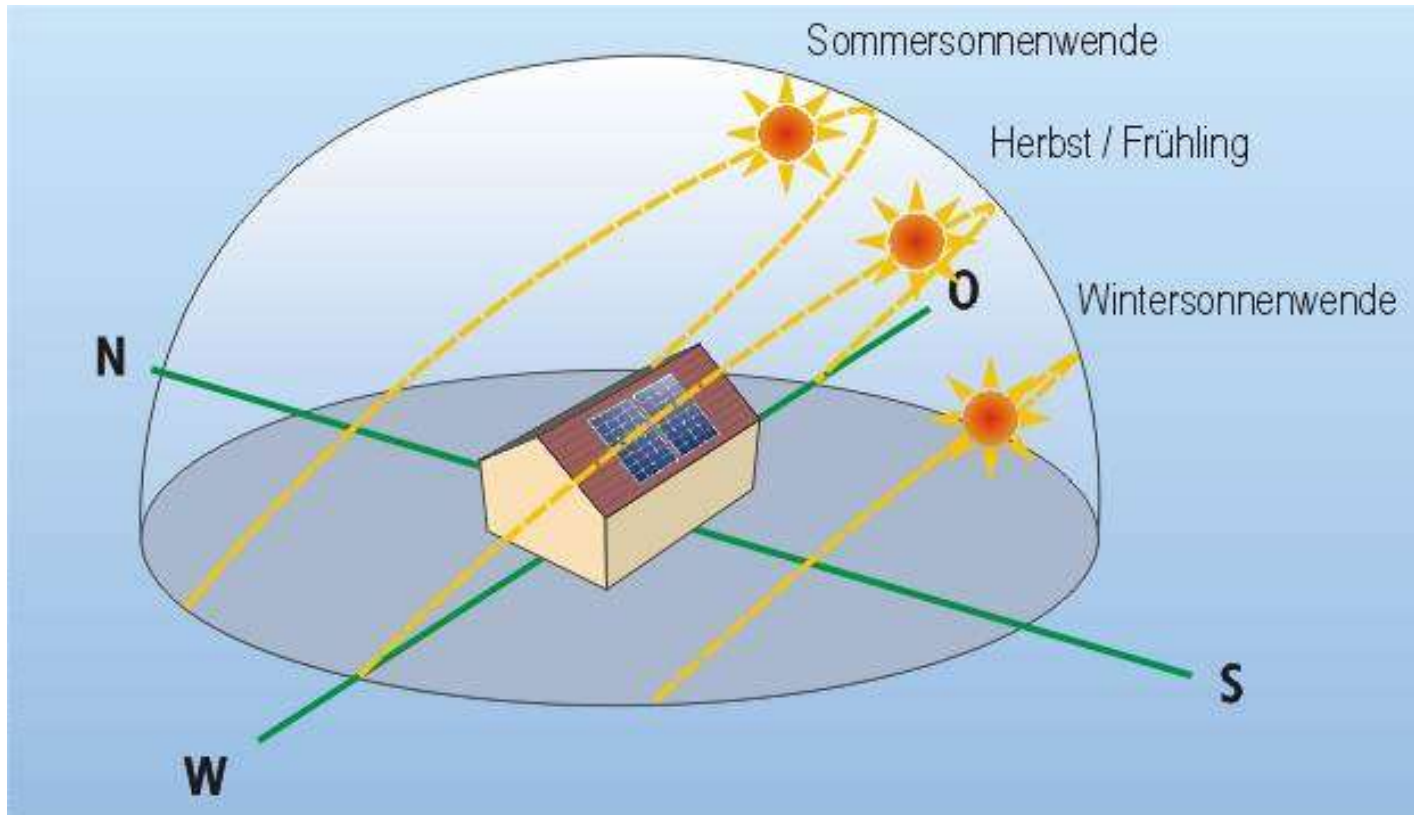


Auszug Solarkataster, [www.sonnenfassade.ch](http://www.sonnenfassade.ch)

**Verbrauch Schweiz 2020:**  
 55 TWh Strom  
 208 TWh Gesamtenergie

Anlagenart PV	Ausschöpfbares Potenzial [TWh]	davon kurz- bis mittelfristig nutzbar [TWh]	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Rel. Flächen-ertrag [GWh/km <sup>2</sup> ]
Gebäudedächer	49.1	23.3	153	152
<b>Gebäudefassaden</b>	<b>17.2</b>	<b>8.2</b>	<b>107.4</b>	<b>76</b>
Strassen	24.7	2.5	16.2	153
Parkplätze	4.9	3.9	25.7	153
Autobahnböschungen	5.6	3.9	25.7	152
Alpen (Freiflächen)	16.4	3.3	31.3	105
<b>Total</b>	<b>117.9</b>	<b>45.1</b>	<b>251.9*</b>	

# Verlauf der Sonnenbahn

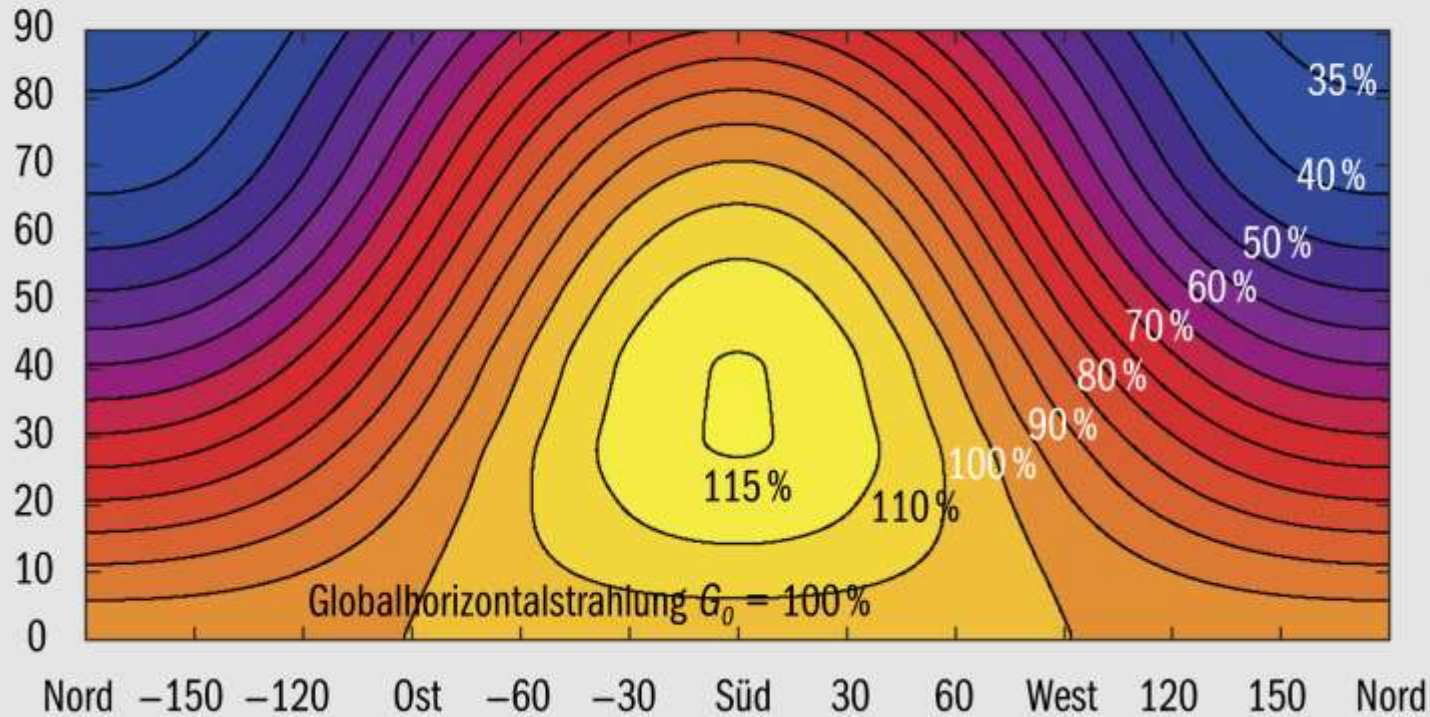


Sonnenbahn, swissolar

- Beste Ausrichtung einer Fläche in der Schweiz: ca.  $35^\circ$  geneigt nach Süden
- Im Sommer erhalten auch Nordfassaden direktes Sonnenlicht.

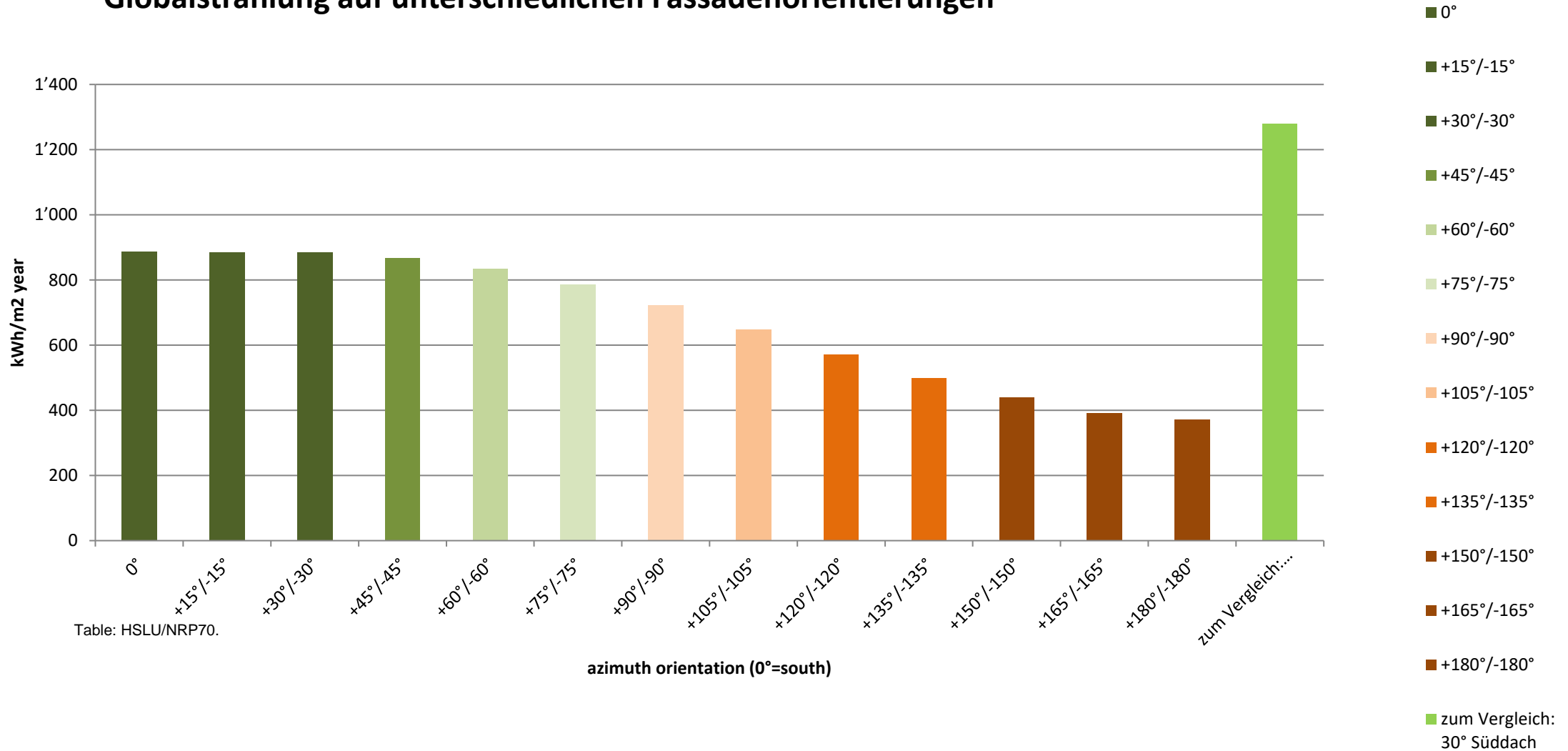
# Solare Einstrahlung auf geneigten Flächen

Neigungswinkel in Grad



# Solare Einstrahlung auf geneigten Flächen

## Globalstrahlung auf unterschiedlichen Fassadenorientierungen



# Solare Einstrahlung auf geneigten Flächen

## Verteilung der Monatsproduktion über das Jahr

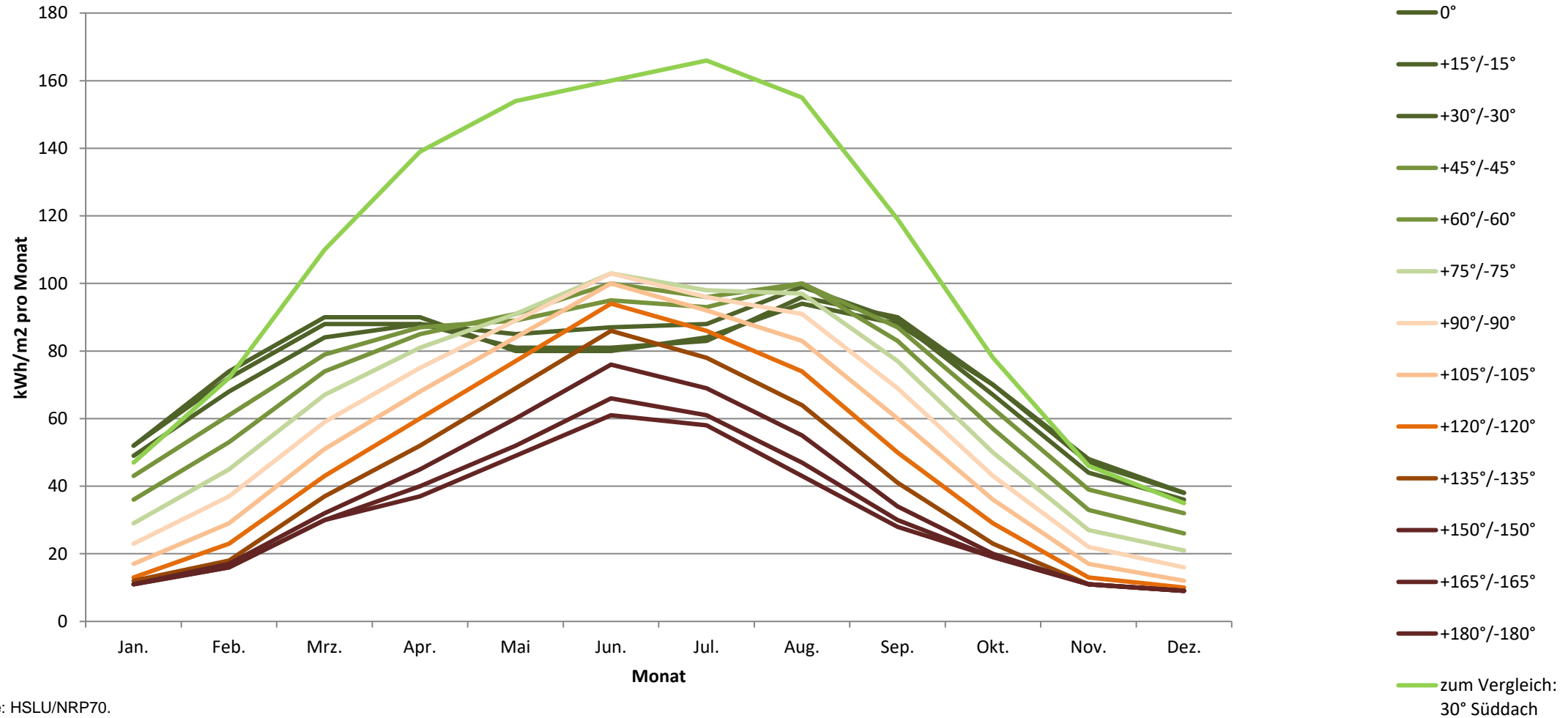


Table: HSLU/NRP70.



# Solare Einstrahlung auf geneigten Flächen

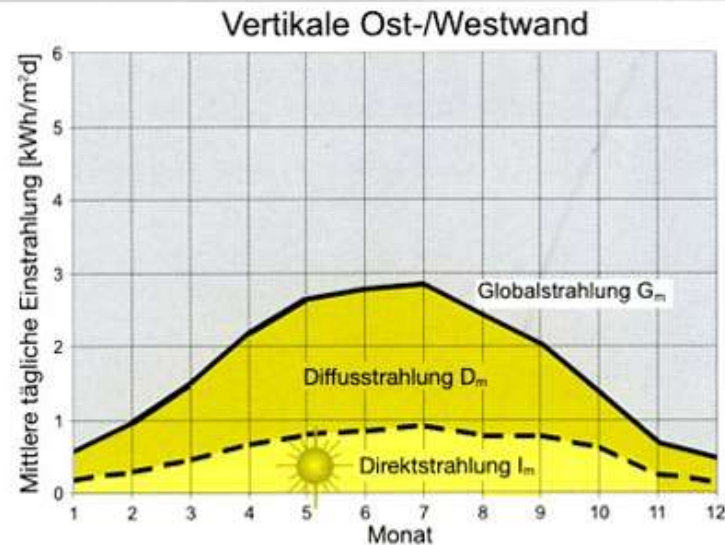
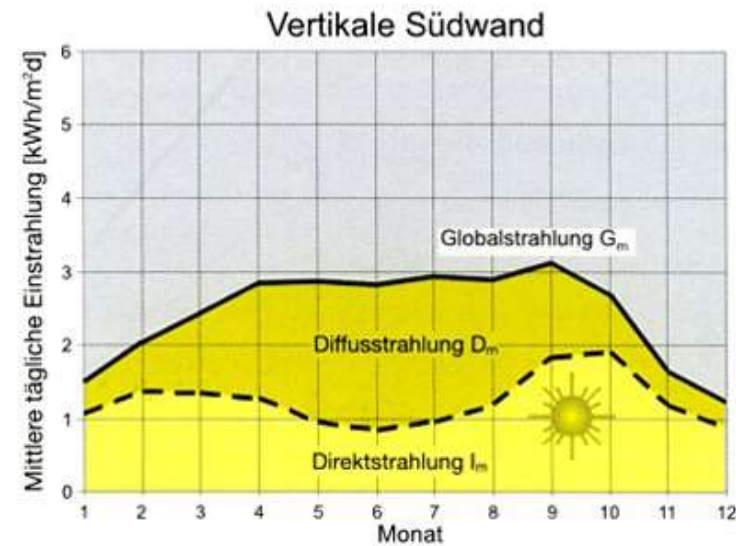
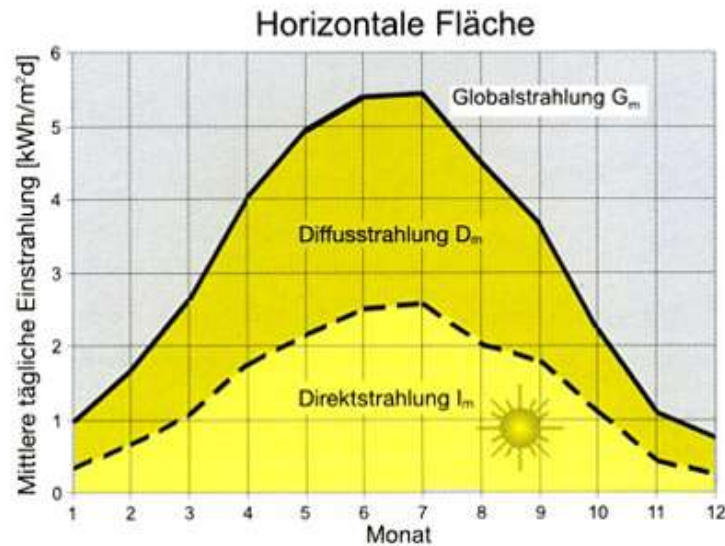
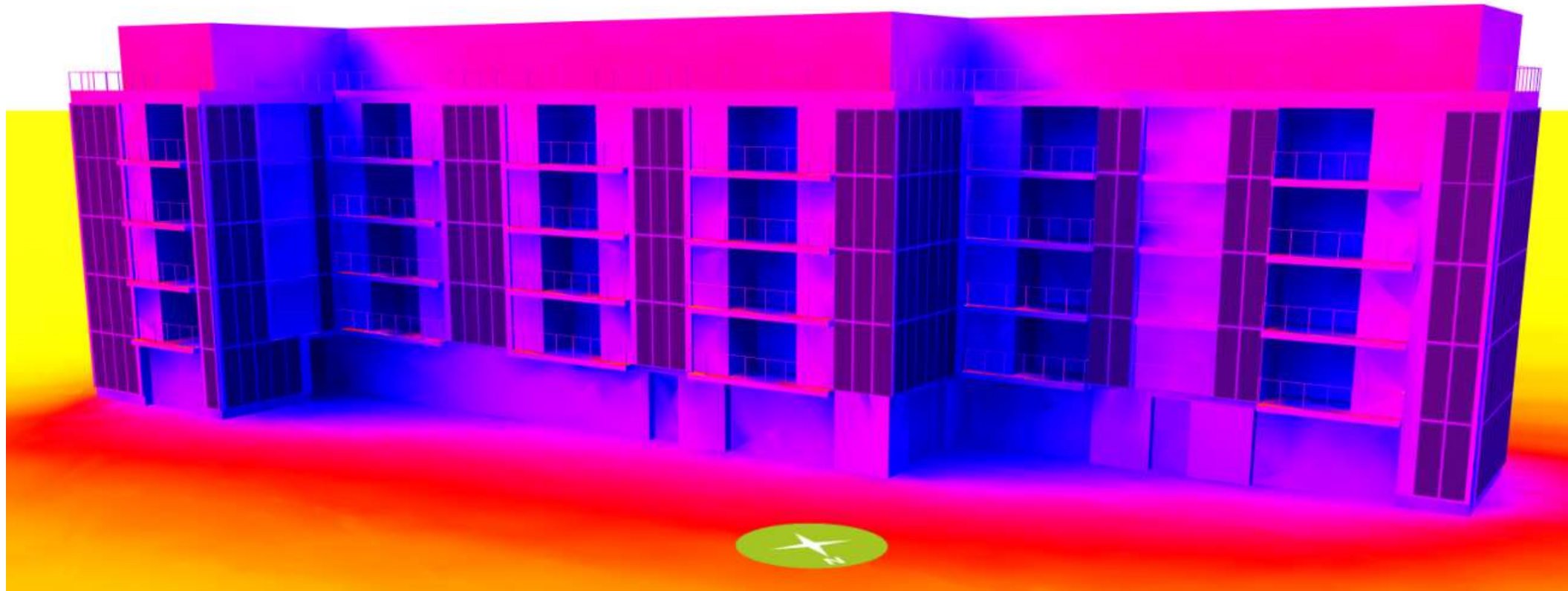
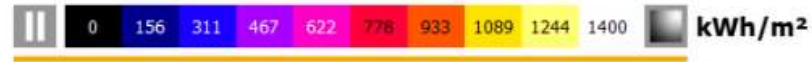


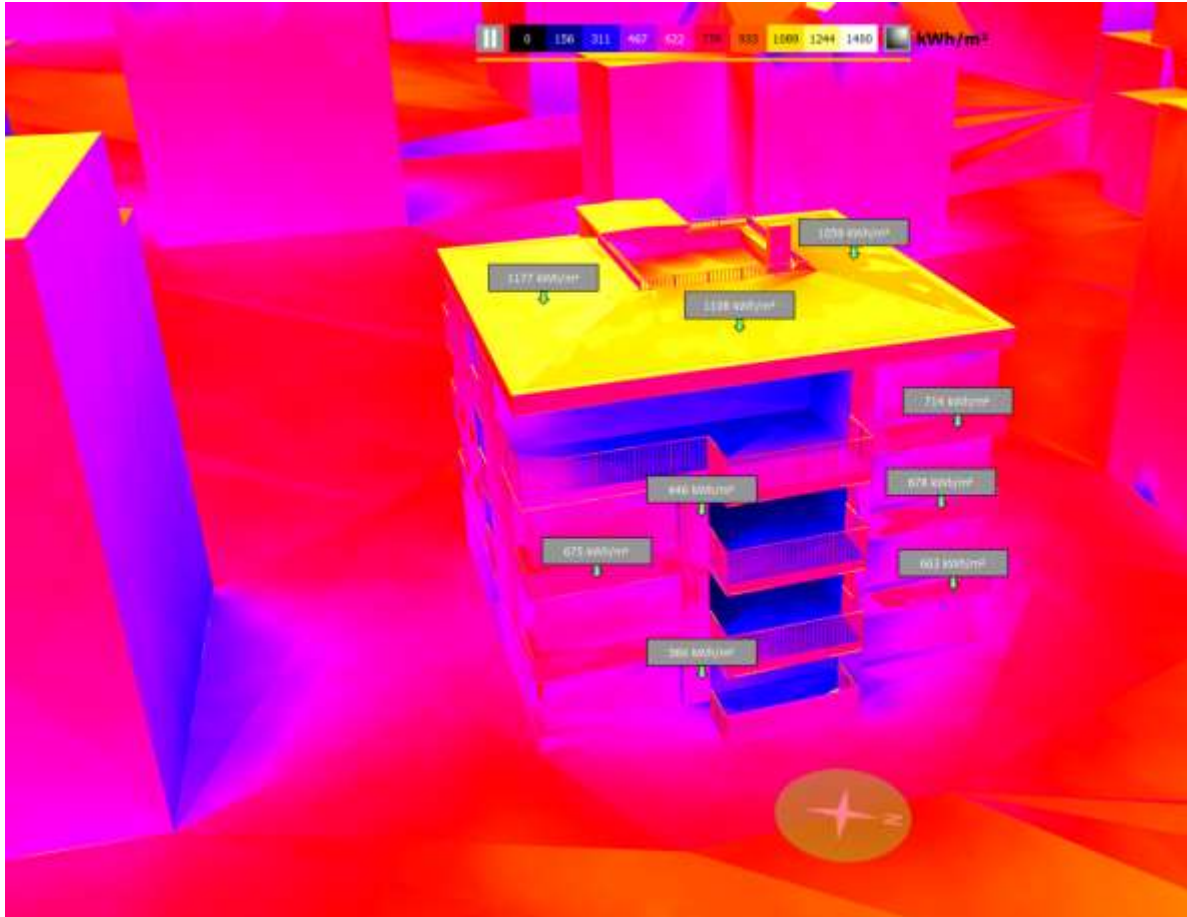
Table: Klimafibel.

# Reale Einstrahlung



Screenshot: sundesign.

# Reale Einstrahlung

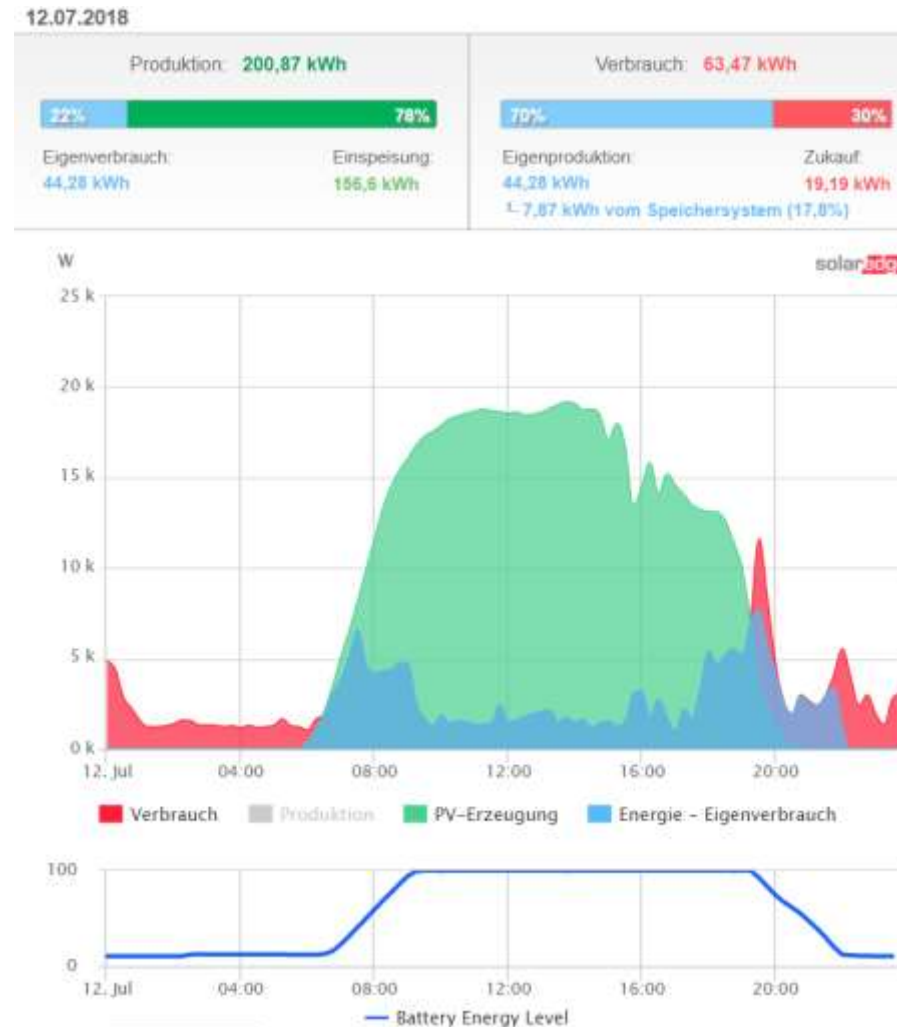
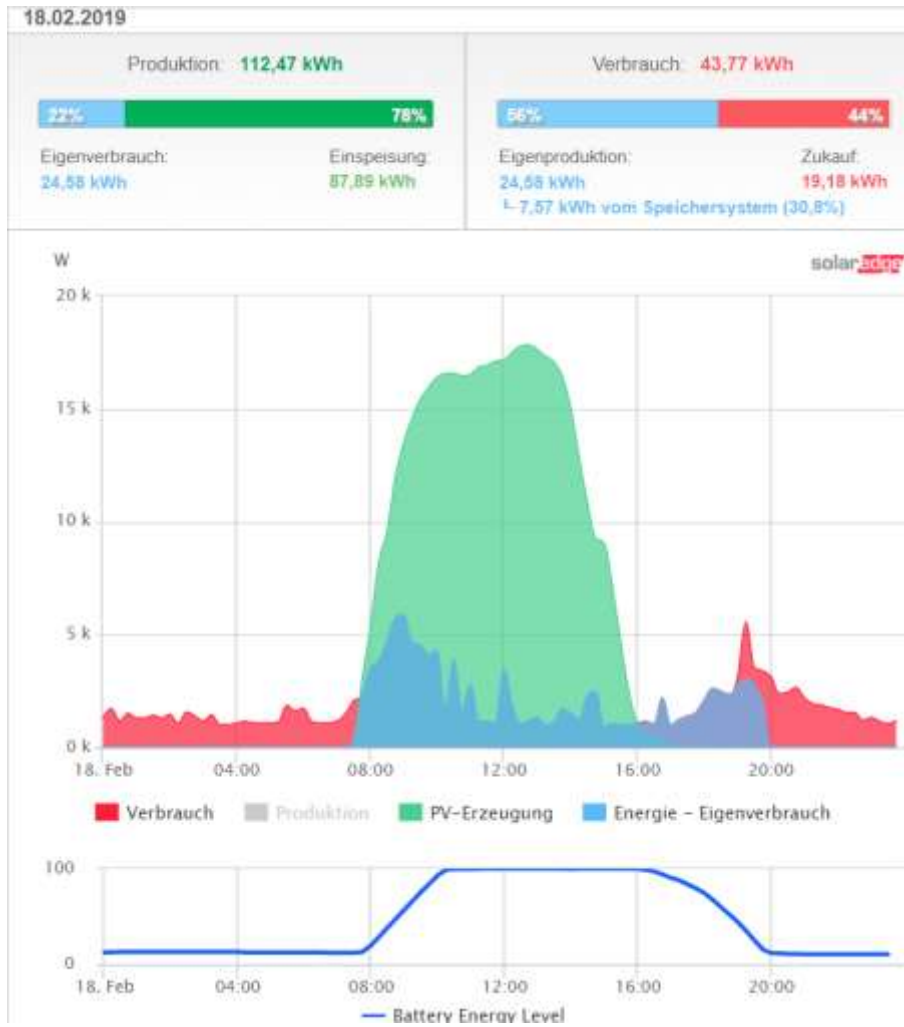


In der Praxis müssen zu der ermittelten Globalstrahlung auf geneigte Fläche noch folgende Abzüge berücksichtigt werden:

- Verschattung durch Topologie (Horizontverschattung)
- Verschattung durch umliegende Gebäude und Bäume.
- Verschattung durch Vor- und Rücksprünge des Gebäudes.

Screenshot: sundesign.

# Energieproduktion von Solarhäusern



Screenshot: sundesign.

# Anwendungsbeispiele

# Fassaden – Standardmodule



Sundesign / Penzel Valier

**Kebag Ennova, Emmenspitz 1.2 MWp  
PV-Fassade mit gerahmten PV-  
Standardmodulen (im Bau)**



Schreinerei Stauffer (clevergie)

**Herzogenbuchsee mit Standard-PV-  
Modulen ohne Rahmen (Laminate)**

# Fassaden – Kleinserienmodule



Sundesign /Penzel Valier

## Campus Horw 1.12 MWp (Projekt)



Migros Münsingen (clevergie / bernard polybau)

## Migros Münsingen mit 3S Solar Megaslate System

# Fassaden – Sondermodule in Fassadensystemen



Migros GMZ

GMZ Zürich transluzente Solarmodule, in Pfosten-Riegel System verbaut



BE Netz AG /Ertex

Energiehaus Schweiz in Luzern mit teiltransparenten gelochten Zellen.



# Fassaden – Sondermodule



Sundesign / Schurtenberger Architektur

MFH Brüechstrasse Meilen  
Solarglas mit keramischen Druck.



Rene Schmidt (BE Netz)

Energieautarkes Mehrfamilienhaus  
Brütten mit Dünnschichtmodulen,  
Frontglas sandgestrahlt

# Fassaden – farbige Solarelemente



Sundesign / Kämpfen Zinke & Partner

Segantinistrasse Zürich mit Sonderlaminaten gefärbt mit Keramikdruck mit structural glazing-Unterkonstruktion

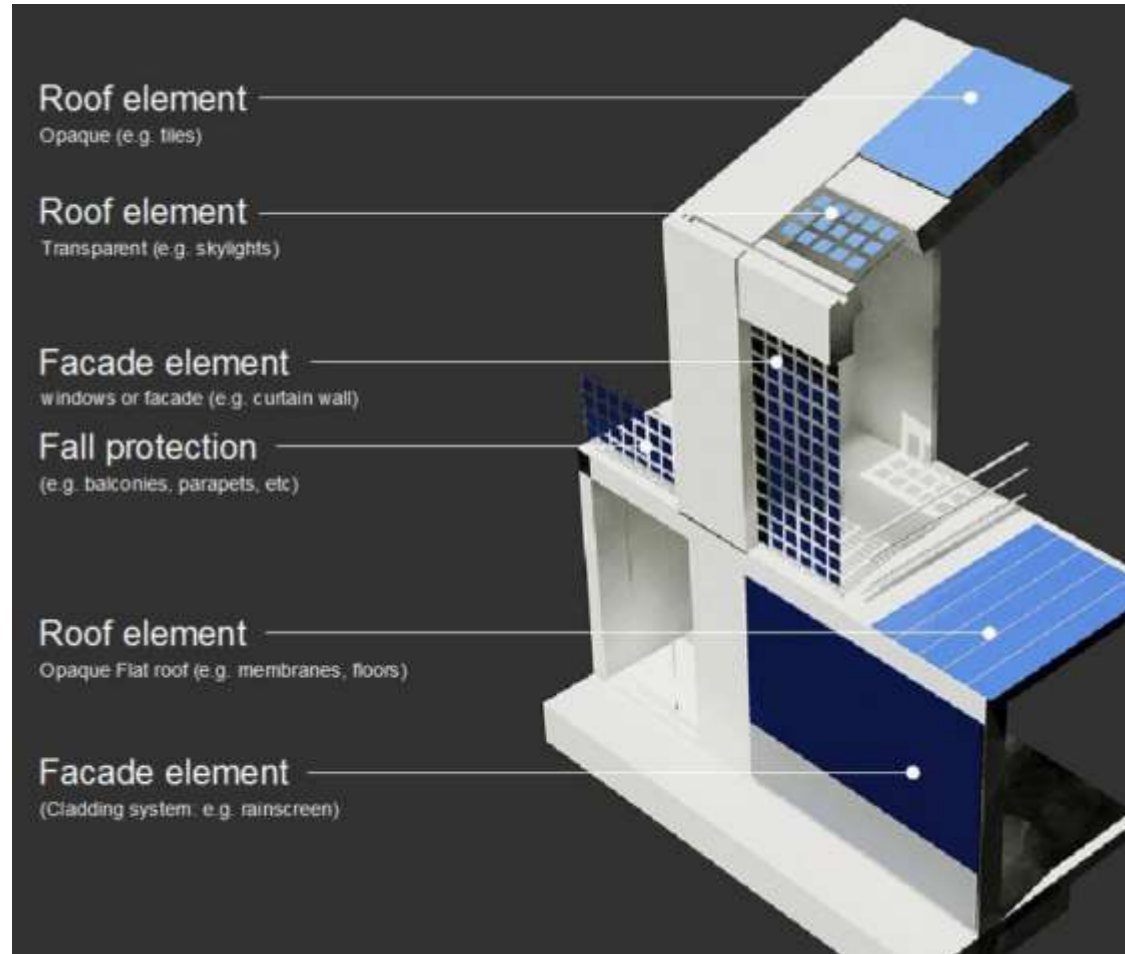


Sundesign / huggenbergerfries

MFH Solaris in der Seestrasse Zürich mit Ornamentglas und Keramikdruck mit structural-glazing Unterkonstruktion.

# Fassadensysteme

# Unterschiedliche BIPV Anwendungen

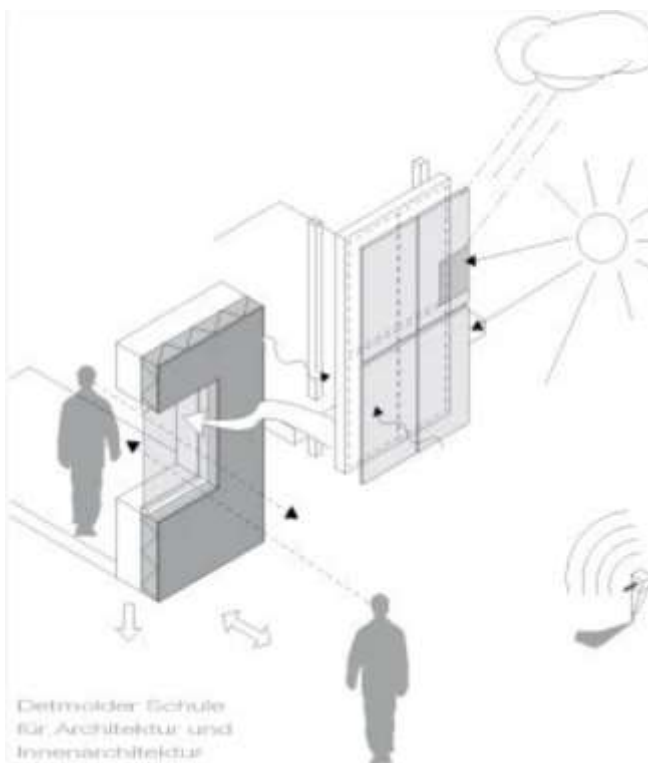


PV Boost/SUPSI

<b>Category A</b>	<b>Sloping, roof-integrated, not accessible from within the building</b>  The BIPV modules are installed at a tilt angle between 0° and 75° from the horizontal plane [0°, 75°], with another building product installed underneath (see NOTE).	
<b>Category B:</b>	<b>Sloping, roof-integrated, accessible from within the building</b>  The BIPV modules are installed at a tilt angle between 0° and 75° from the horizontal plane [0°, 75°].	
<b>Category C:</b>	<b>Non-sloping (vertically) envelope-integrated, not accessible from within the building</b>  The BIPV modules are installed at a tilt angle between 75° and 90° from the horizontal plane [75°, 90°], with another building product installed behind (see NOTE).	
<b>Category D:</b>	<b>Non-sloping (vertically), envelope-integrated, accessible from within the building</b>  The BIPV modules are installed at a tilt angle between 75° and 90° from the horizontal plane [75°, 90°].	
<b>Category E:</b>	<b>Externally-integrated, accessible or not accessible from within the building</b>  The BIPV modules are installed to form an additional functional layer that provides a building requirement as defined in 4.1. E.g. balcony balustrades, shutters, awnings, louvers, brise soleil etc.	

IEC 63092-1

# Anforderungen an Fassaden



## Anforderungen an die Gestaltung:

- Einbindung in städtebauliche Vorgaben,
- Corporate Design,
- Individualität,
- Materialität.

## Anforderungen an die Energieeffizienz und thermische Behaglichkeit

- klimatechnischer Raumabschluss,
- Wärme- und Sonnenschutz,
- Wind- und Regenschutz,
- Raumbelüftung.

## Anforderungen an die visuelle Behaglichkeit

- Raumbelichtung (1:10 der Grundfläche),
- Sichtbezug nach außen,
- Blendschutz und Lichtlenkung,
- Gewährleistung der Reinigungsmöglichkeit.

## Anforderungen an die akustische Behaglichkeit

- Schalldämmung nach außen,
- Schallabsorption nach innen.

## Anforderungen an die Sicherheit und Schutz

- Strahlungen (UV, Radar),
- Beschädigung (Einbruch und Explosion),
- Absturz (Brüstungshöhe, Glasart, Beschlagsart),
- Brandüberschlag und Wärmestrahlung,
- Nutzung als Rettungsweg.

## Anforderungen an die Funktionalität

- Barrierefreiheit (Schwellen, Zugänglich- und Bedienbarkeit),
- Flexibilität (Anpassung an externe und interne Einflüsse),
- individuelle Bedienbarkeit und/oder zentrale Steuerbarkeit,
- Integration von Gebäudetechnik.

## Konstruktion und Montage

- Aufnahme von Lasten und Bewegung,
- Bauzeiten (z. B. Grad der Vorfertigung),
- Bauabläufe (z. B. Art der Verbindungen und Fügungen).

# Aufbau PV-Anlage an vorgehängter hinterlüftete Fassade (VHF)

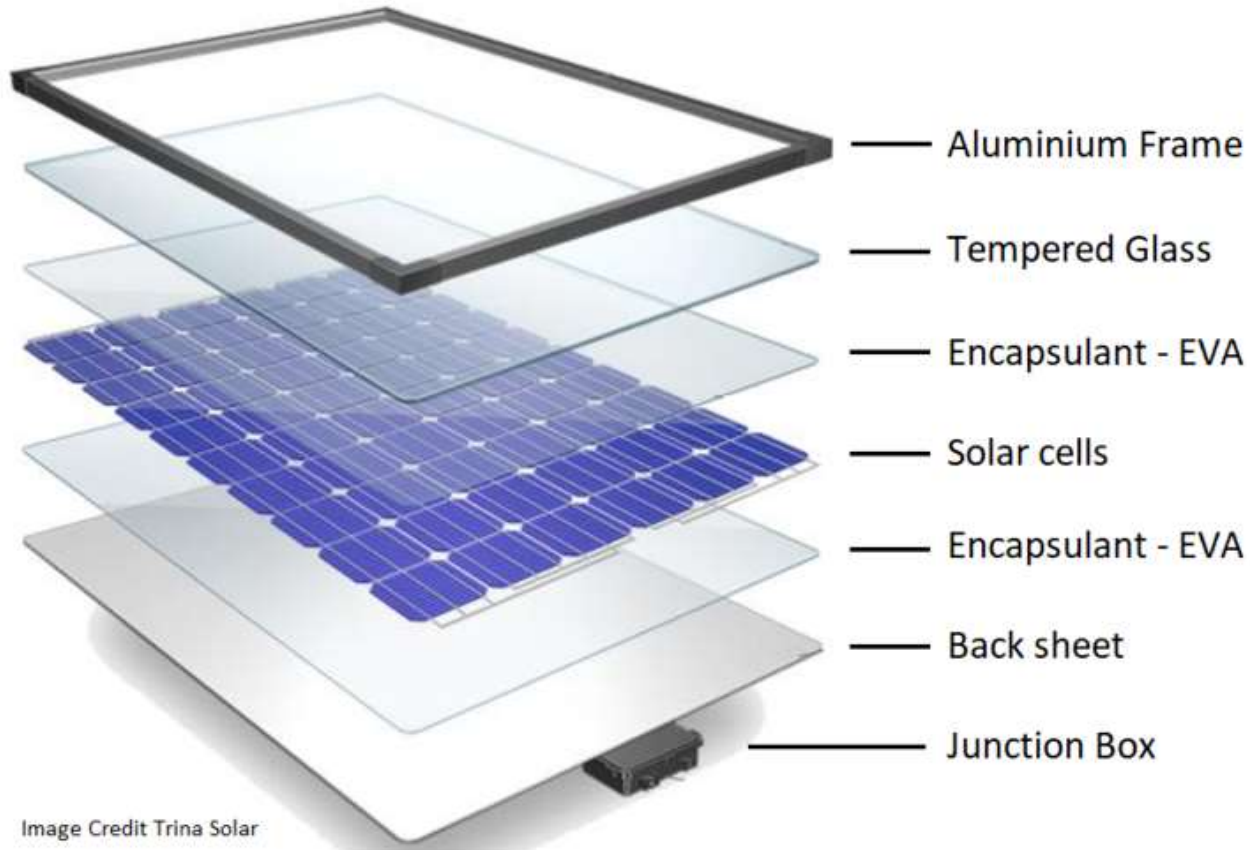


1. Tragwerk
2. Primäre Unterkonstruktion
3. Wärmedämmung
4. Winddichtheitsfolie
5. Sekundäre Unterkonstruktion
6. Hinterlüftungsraum
7. PV-Module

Ch. Bucher, Photovoltaikanlagen, Faktor Verlag, 2021

# Aufbau von PV- Modulen

# Aufbau und Herstellung waferbasiertes PV-Modul



- Aluminiumrahmen
- Gehärtetes Glas
- Verbundmaterial (EVA)
- Solarzellen
- Verbundmaterial (EVA)
- Rückseitenfolie/Glas
- Modulanschlussdose

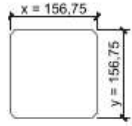
<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2017/9/11/best-solar-panels-top-modules-review>



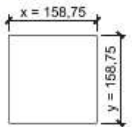
# Mögliche Modulgrößen Sonderformate

## Zelltypen

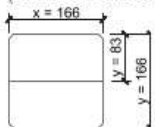
Zelltyp M2



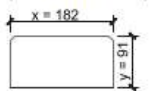
Zelltyp G1



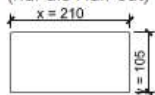
Zelltyp M6  
(auch als Half-cut)



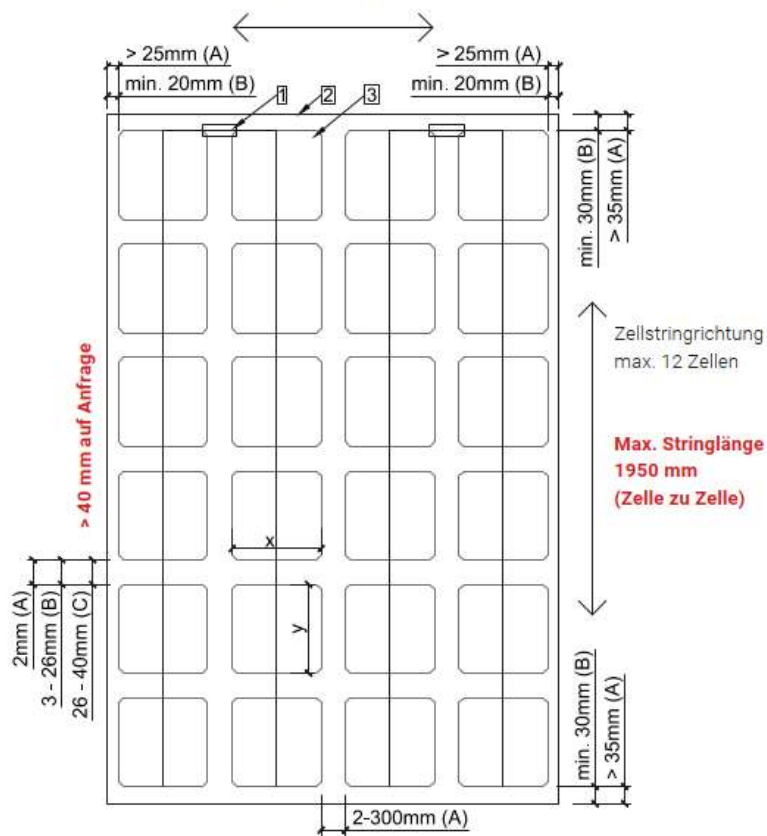
Zelltyp M10  
(nur als Half-cut)



Zelltyp G12  
(nur als Half-cut)



Pro Anschlussdose ein Zellstringpaar  
(Anzahl Paare nicht eingeschränkt)

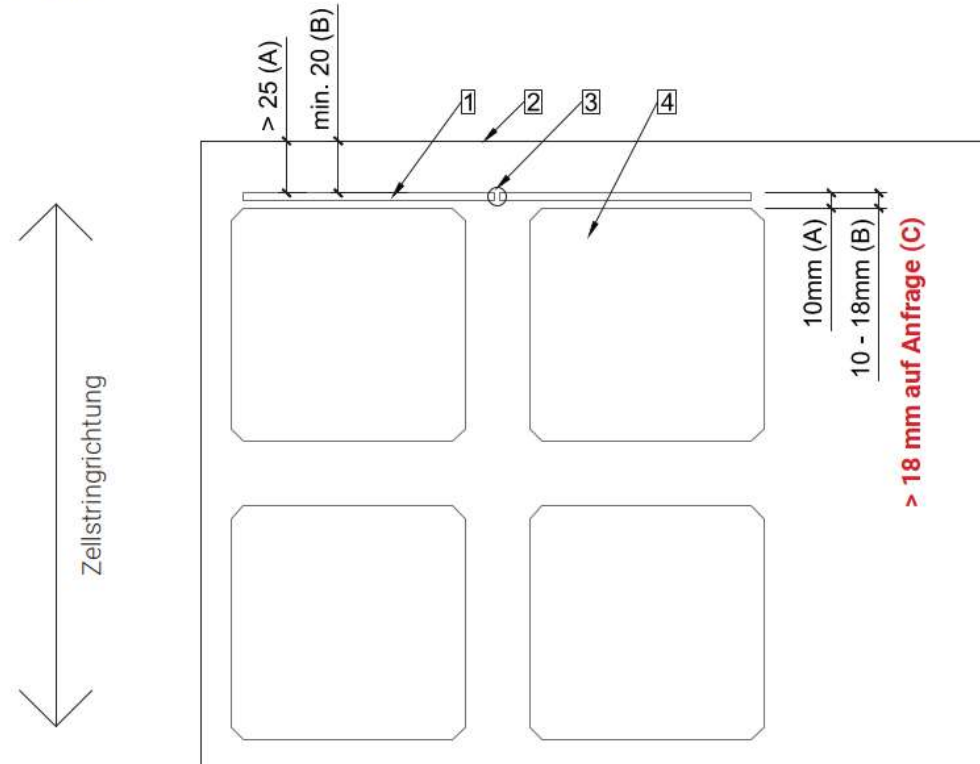


- (A) Höchste Kosteneffizienz
- (B) Mittlere Kosteneffizienz
- (C) Tiefe Kosteneffizienz

- 1 Querkontakte
- 2 Modul Aussenkante
- 3 Austritt Querkontakte
- 4 Zelle

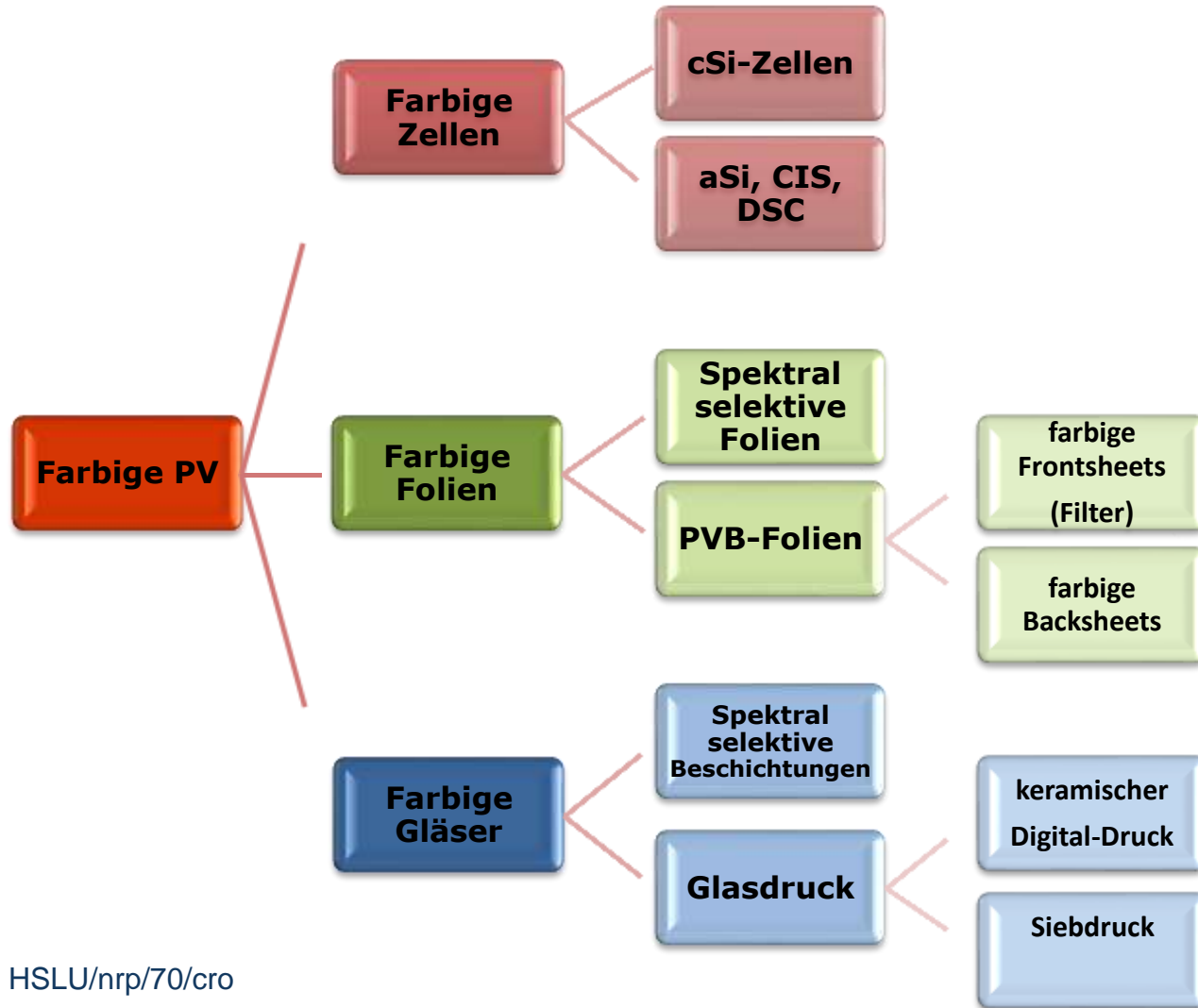
- (A) Höchste Kosteneffizienz
- (B) Mittlere Kosteneffizienz
- (C) Tiefe Kosteneffizienz

Die Position der Dosen wird durch die Position der **Querkontakte** bestimmt



# Farben und Oberflächen

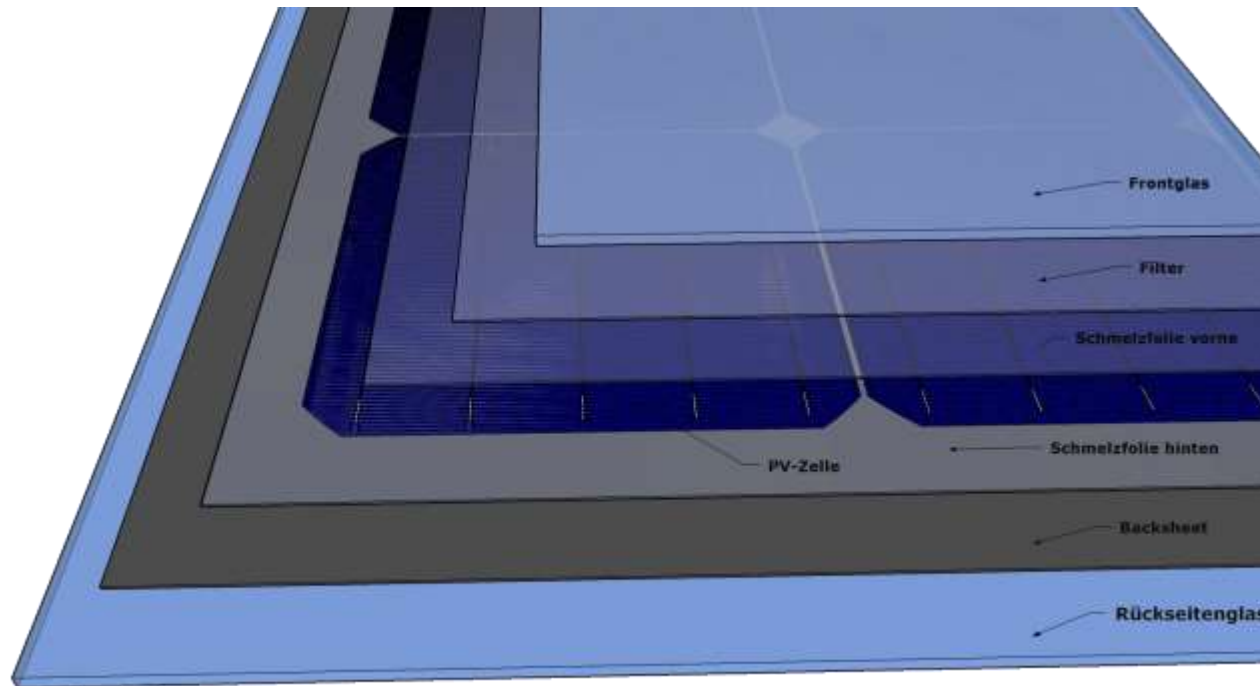
# Farbige Module



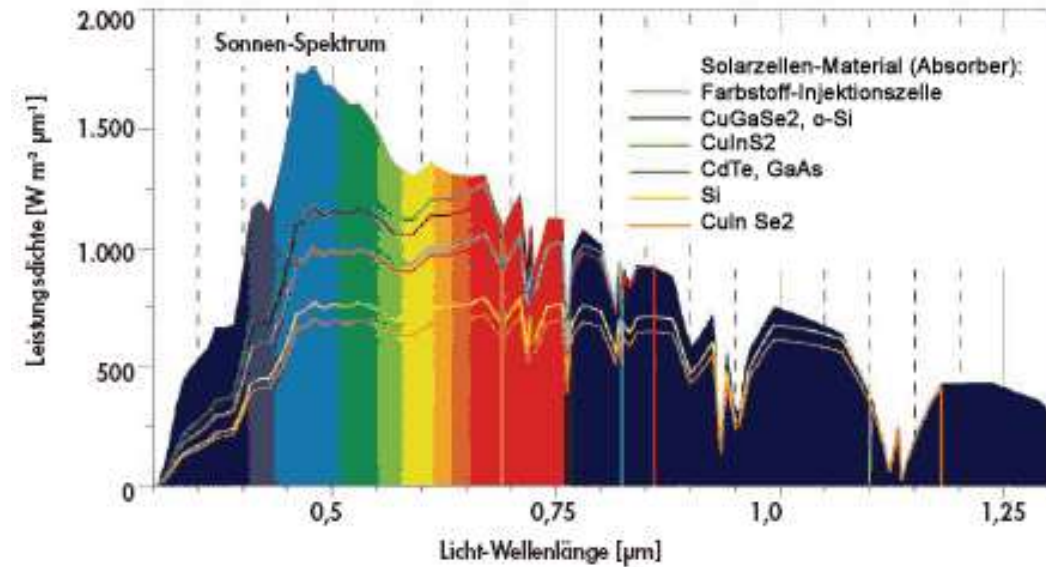
Kohlesilo CH-Basel, Solvatec AG

# Farbige Module

## Wie wird Farbigkeit in PV-Modulen realisiert?



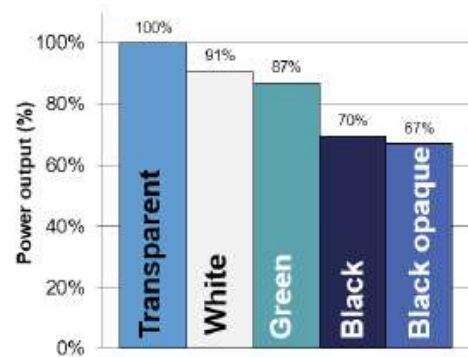
Schichtenaufbau



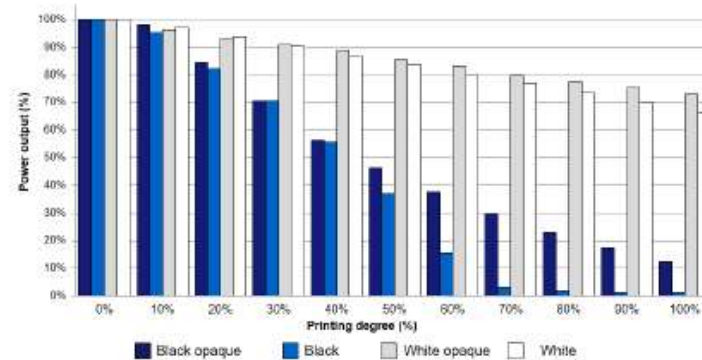
Sonnen-Spektrum

# Farbige Module

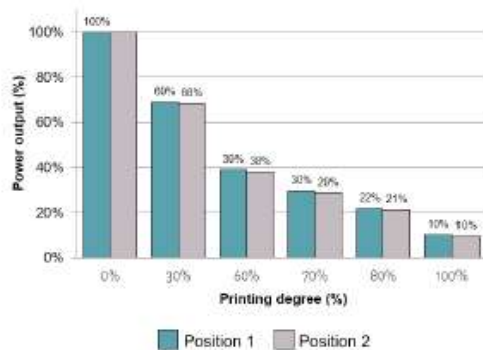
## Einführung– was beeinflusst den Wirkungsgrad?



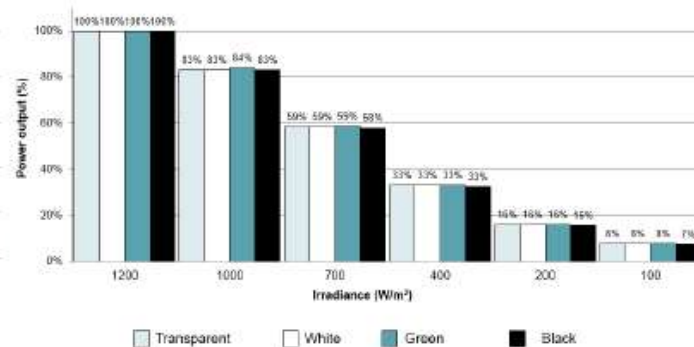
*Influence of the colour type - the max loss is about 33% in comparison with a non coloured module*



*Influence of the dots' thickness - the higher thickness involve an higher opacity of the dots and an higher shadowing of the cell*



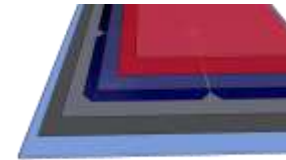
*Influence of the dots' position - the positioning of the dot does not affect significantly the power output at STC.*



*Influence of different irradiance - the colour type does not affect the power output when the modules are subjected to different irradiances intensity*

# Farbige Module

## Farbige Folien: Solaxess



White 55%	Beige barbasol 73%	Dark Brown 88%	Terracotta 82%
Light-Grey 75%	Dark-Grey 90%	Grey-Beige 80%	
Light Terracotta 71%	Pine Green 80%	Verdigris 61%	Ocean Blue 72%
Falun Red 64%	Terra Orange 53%	Gold 72%	



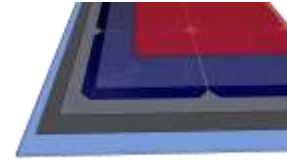
Mögliche Farben

Resultierende Transmission

MFH Männedorf (René Schmid)

Solaxess

# Farbige Module Spektral selektive Beschichtung auf Glas: Kromatix



International school, DK-Kopenhagen



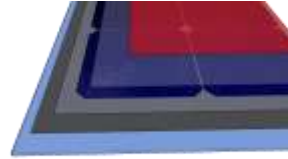
Kohlesilo CH-Basel, Solvatec AG

Grey	Light-grey	Blue	Bluish-green	Green	Bronze	Gold	Terracotta
90 ± 1 %	85 ± 1 %	88 ± 1 %	88 ± 1 %	87 ± 1 %	89 ± 1 %	86 ± 1 %	87 ± 1 %

Swissino/Kromatix

# Farbige Module

# Spektral selektive Beschichtung auf Glas: Morpho Color



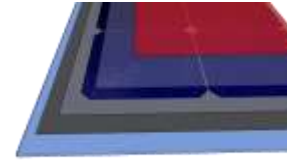
Fraunhofer ISE



Fraunhofer ISE, Freiburg



# Farbige Module Keramischer Digitaldruck



Glasdrucker (Glas Trösch)



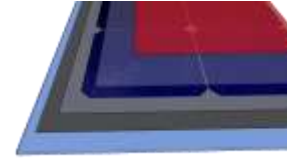
Showcase energy challenge (HSLU)



MFH Solaris, Zürich (sundesign)

# Oberflächen

# Keramischer Digitaldruck

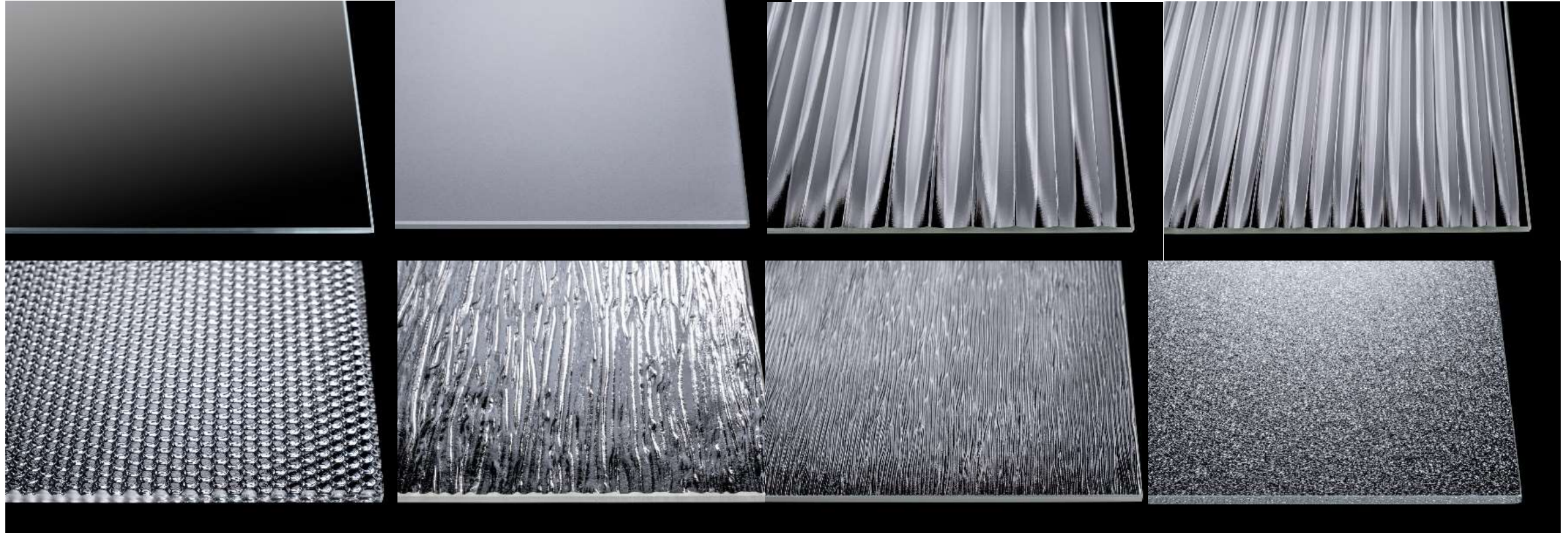
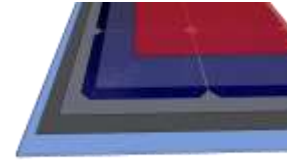


SOLAR <b>COLOR</b> spring	SOLAR <b>COLOR</b> summer	SOLAR <b>COLOR</b> autumn	SOLAR <b>COLOR</b> winter

Solarcolor/Megasol

# Oberflächen

# Ornamentgläser



Solarcolor/Megasol

# Planungsablauf & Schnittstellen

# Anforderungen integrierte PV-Projekte

Phasen, Teilphasen und Teilphasenziele		
Phasen	Teilphasen	Ziele
1 Strategische Planung	11 Bedürfnisformulierung, Lösungsstrategien	Bedürfnisse, Ziele und Rahmenbedingungen definiert, Lösungsstrategie festgelegt
2 Vorstudien	21 Projektdefinition	Vorgehen und Organisation festgelegt, Projektgrundlagen definiert, Machbarkeit nachgewiesen
	22 Auswahlverfahren	Anbieter / Projekt ausgewählt, welche den Anforderungen am besten entsprechen
3 Projektierung	31 Vorprojekt	Konzeption und Wirtschaftlichkeit optimieren
	32 Bauprojekt	Projekt und Kosten optimiert, Termine definiert
	33 Bewilligungsverfahren / Auflageprojekt	Projekt bewilligt, Kosten und Termine verifiziert, Baukredit genehmigt
4 Ausschreibung	41 Ausschreibung, Angebotsvergleich, Vergabeantrag	Vergabereife erreicht
5 Realisierung	51 Ausführungsprojekt	Ausführungsreife erreicht
	52 Ausführung	Bauwerk gemäss Pflichtenheft und Vertrag erstellt
	53 Inbetriebnahme, Abschluss	Bauwerk übernommen und in Betrieb genommen, Schlussabrechnung abgenommen, Mängel behoben
6 Bewirtschaftung	61 Betrieb	Betrieb sichergestellt und optimiert
	62 Erhaltung	Gebrauchstauglichkeit und Wert des Bauwerks für definierten Zeitraum aufrechterhalten

PV-Fassaden müssen frühzeitig in den Planungsprozess integriert werden.

Idealerweise ist die PV-Fassade bereits Bestandteil des Gebäudeentwurfs.

Dies gewährleistet die optimale Einbindung der PV-Fassade an den geeigneten Flächen.

Phasen, Teilphasen und Teilphasenziele, Ordnung SIA 112 «Leistungsmodell»:

CRB/SIA

# Anforderungen integrierte PV-Projekte

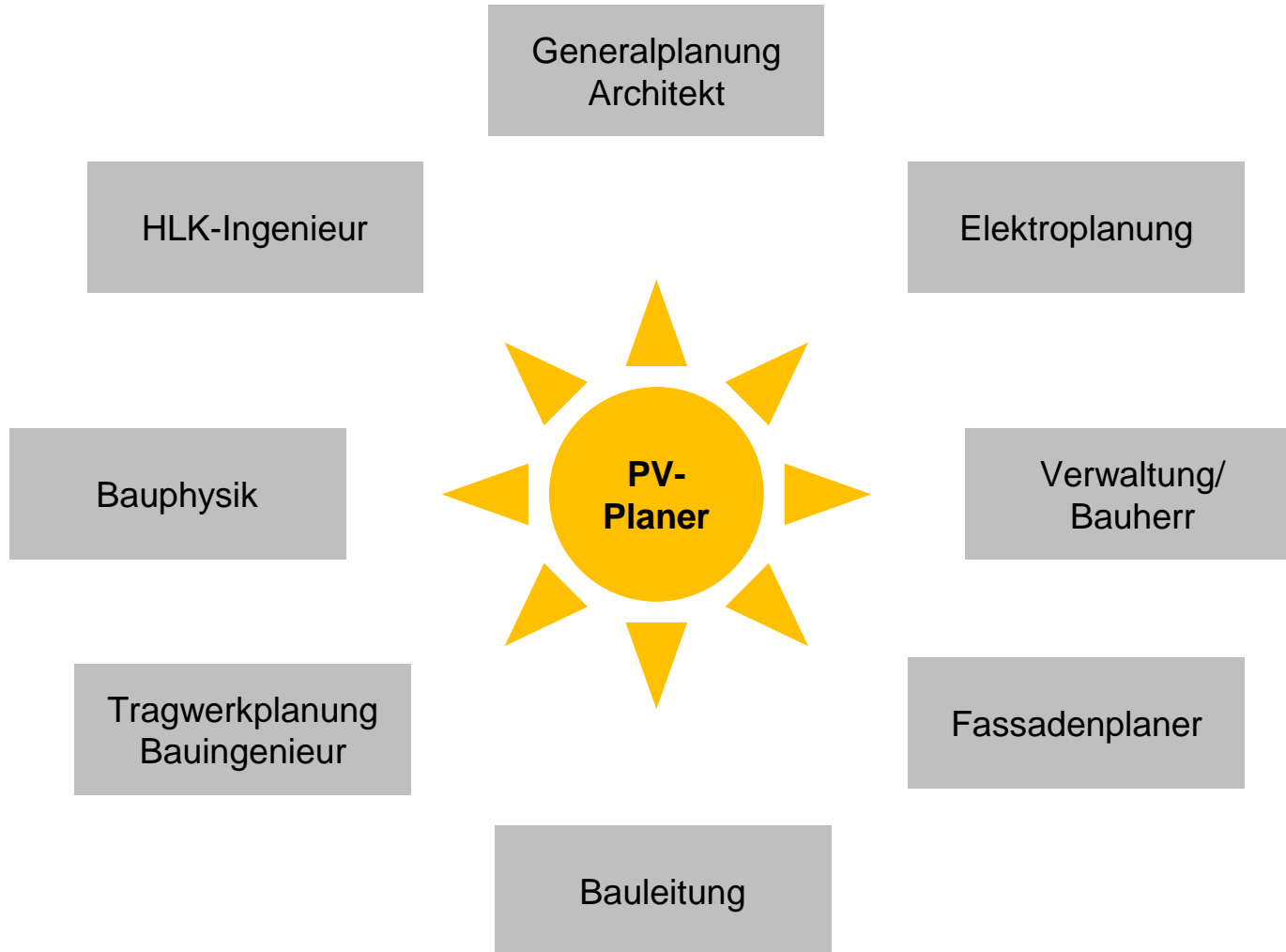
Organisation Eigenverbrauch	Elektromobilität	Heizungssystem	Batteriespeicher
Herkunftsnachweis	Förderung	Baubewilligung	Smart home
Behörden	Elektrokontrolle	Feuerwehr	Optimierung Eigenverbrauch
Brandschutz	Schallschutz	Blendung	Zertifizierung Minergie
Gestaltung	Wirtschaftlichkeit	Baukosten	Konstruktion
Statik	Wartung	Sicherheit	Bauphysik

Die erforderlichen Abklärungen und Planungsschritte sind bei PV-Anlagen ohnehin hoch.

Durch die Optimierung der PV-Systeme zum Eigenverbrauch kommen zusätzliche Anforderungen gebäudeseitig hinzu.

Die Integration der BIPV-Anlage erhöht diese Anforderungen im Rahmen eines Neubaus oder einer umfassenden Gesamtanierung weiter.

# Planerteam



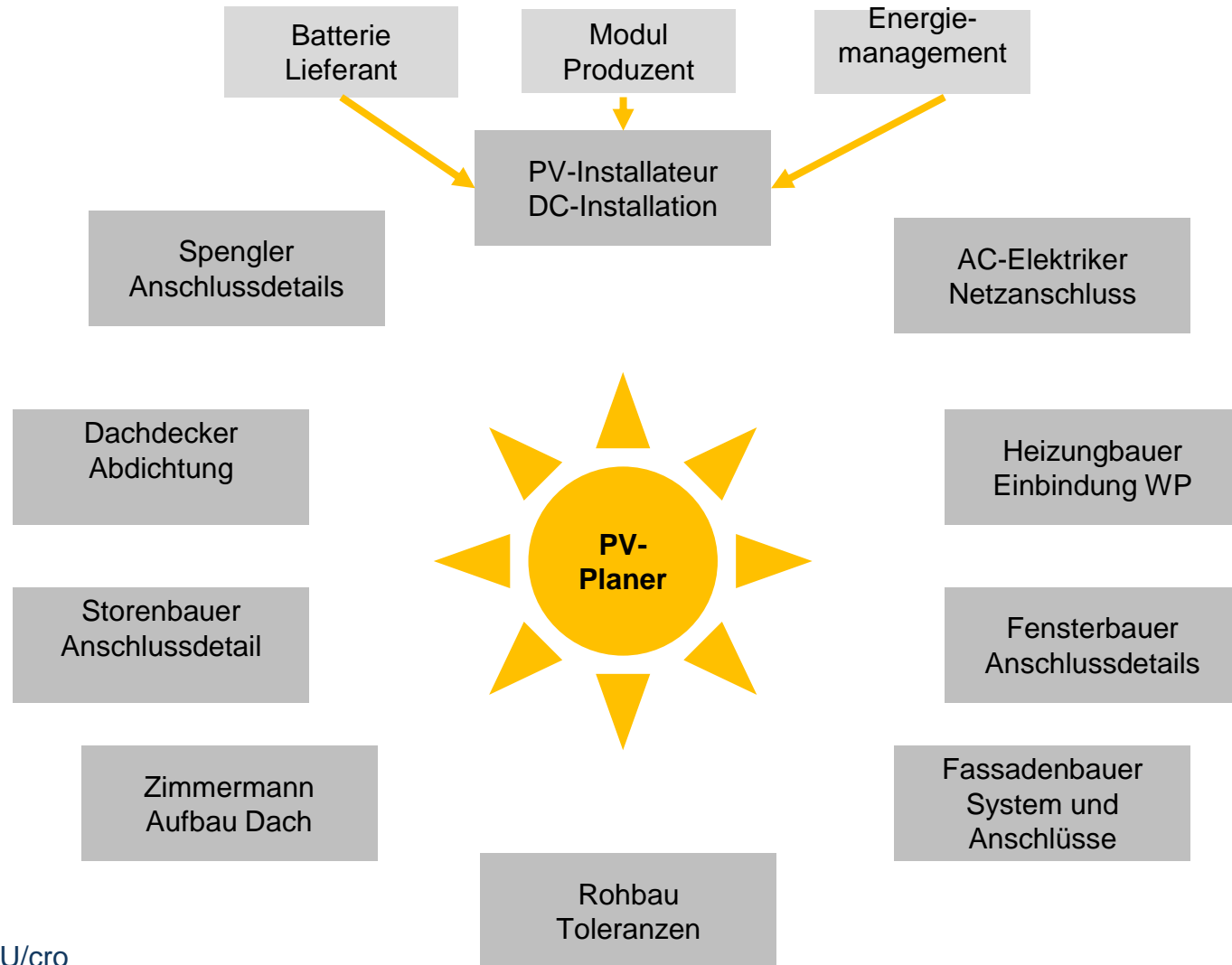
Durch die Anforderungen moderner PV-Fassaden ist der PV-Planer mit nahezu allen Fachplanern involviert.

Das setzt eine professionelle Organisation zwischen den Projektbeteiligten voraus. Insbesondere der Generalplaner/Architekt muss das Planerteam klar führen.

Durch die geringe Standardisierung im BIPV Segment sind klassische Planungswerkzeuge oft nicht mehr hilfreich.

Bei grösseren und komplexen Bauvorhaben ist früh eine Planung auf BIM Basis empfehlenswert.

# Beteiligte Gewerke



Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Koordination der mittelbar oder unmittelbar beteiligten Unternehmen am Bau.

Insbesondere in der Vorabklärung ist dieser Koordinationsaufwand durch den klassischen PV-Installateur oder Fassadenbauer im Rahmen einer Akquise Planung nicht mehr wirtschaftlich darstellbar.



# Verantwortlichkeiten und Schnittstellen

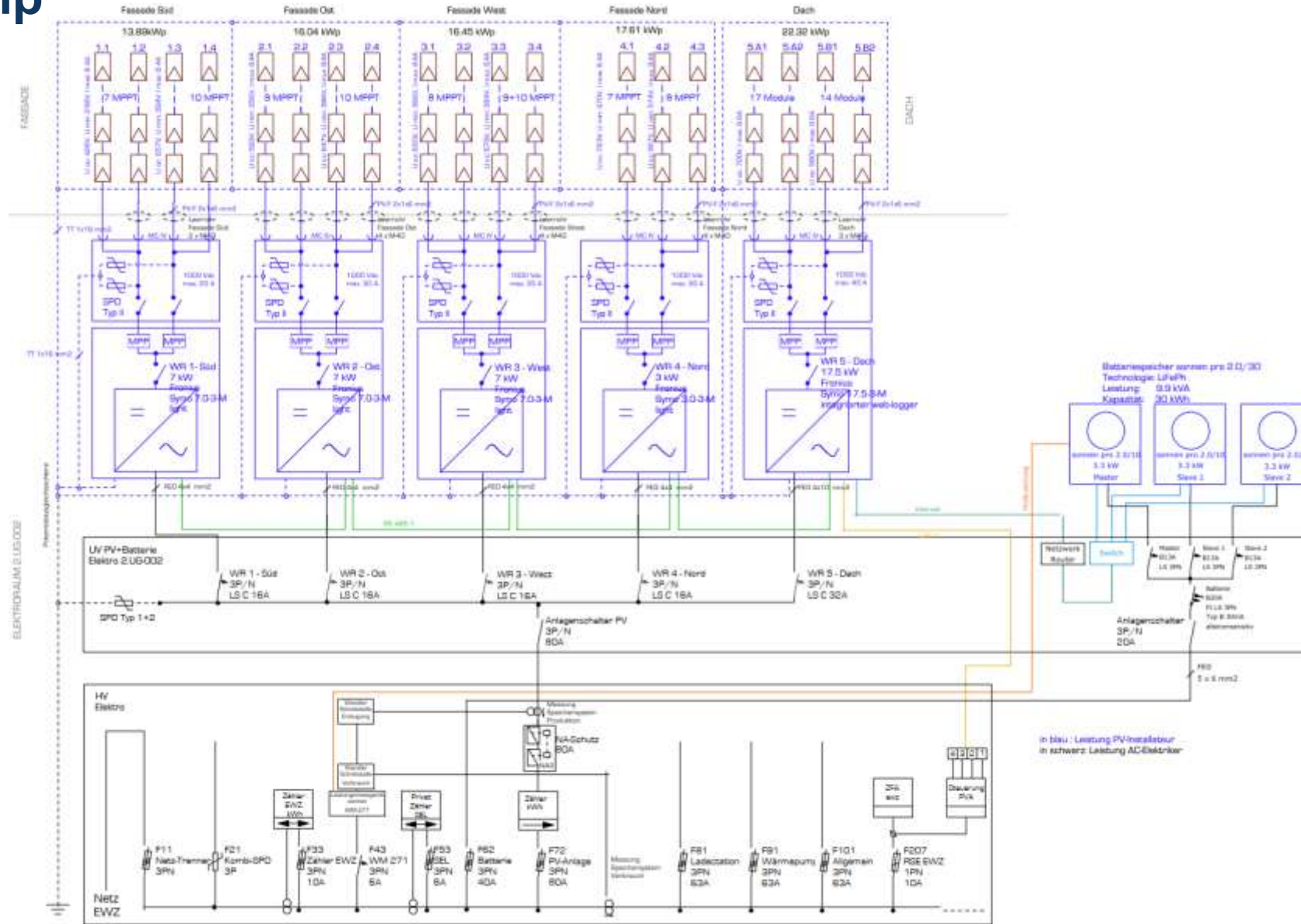
Phase	Bauherrschaft	Fachplaner Fassade	Fachplaner Solar	Fassadenbauer	Solarlieferant	Solateur
<b>1 Strategische Planung</b>						
Beratung			■			
<b>2 Vorstudien</b>						
Vorstudie		■	■			
<b>3 Projektierung</b>						
Vorprojekt		■	■			
Bauprojekt		■	■			
<b>4 Ausschreibung</b>						
Devisierung		■	■			
Offertbearbeitung				■	■	■
<b>5 Realisierung</b>						
Fassade erstellen				■		
Solarmodule liefern					■	
Solarmodule montieren				■	■	■
Elektrik montieren					■	■
<b>Systemverantwortung Fassade</b>				■	■	
<b>Systemverantwortung Energiegewinnung</b>					■	■
<b>6 Betrieb</b>						
Überwachung	■					
Service, Erfolgskontrolle					■	■

Systemverantwortung Fassade	Systemverantwortung Energiegewinnung
■ Verantwortlich	■ Verantwortlich
■ Unterstützend	■ Unterstützend

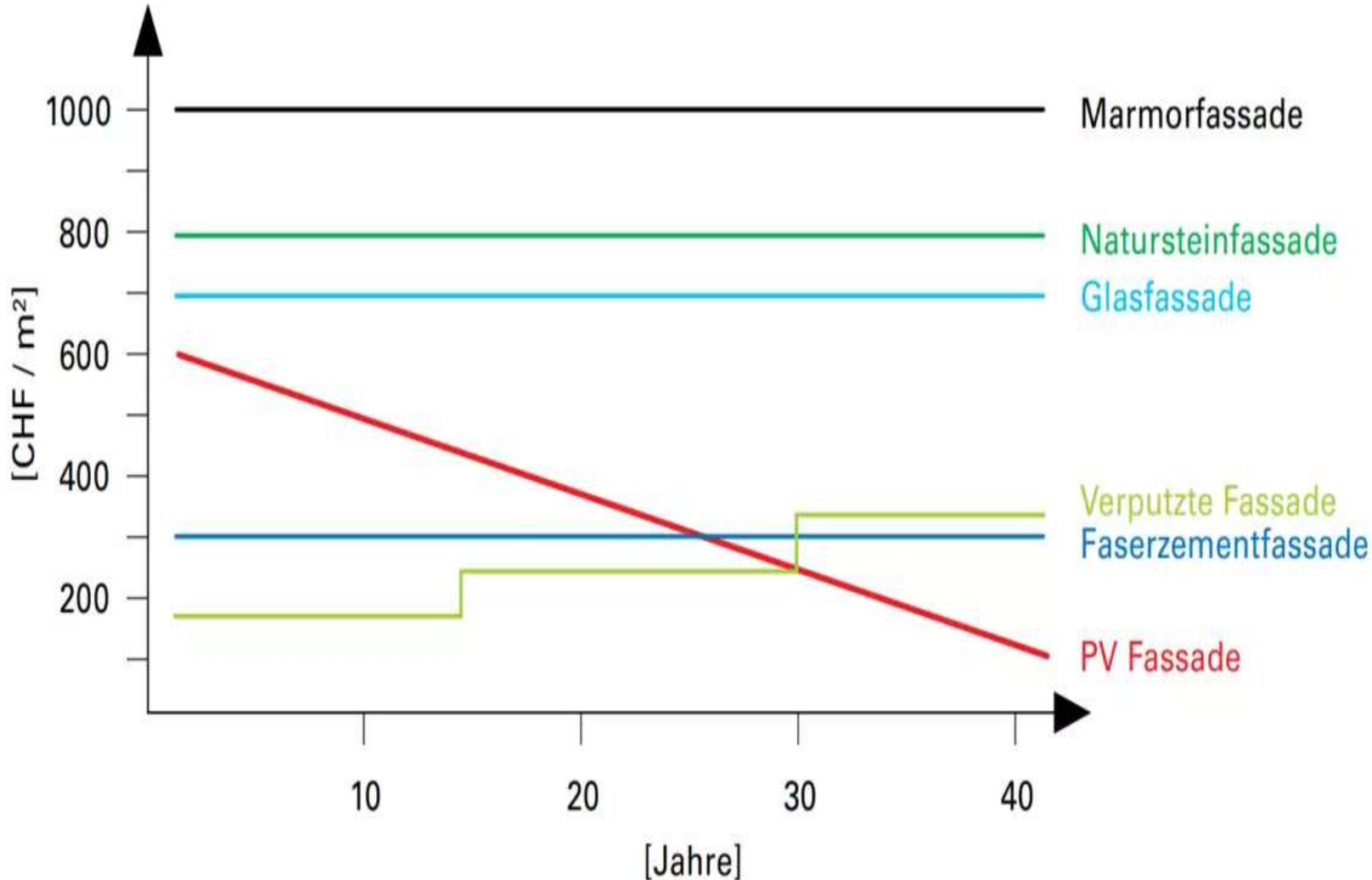
SFHf, TECINFO 5 «Die Fassade als Kraftwerk»

# Prinzip



# Wirtschaftlichkeit

# Beispiel Kostenvergleich im Lebenszyklus PV-Fassaden



Durch den Wert der Stromproduktion kann sich die PV-Fassade im Gegensatz zu konventionellen Fassadenbekleidungen im Laufe der Betriebszeit zumindest teilweise amortisieren.

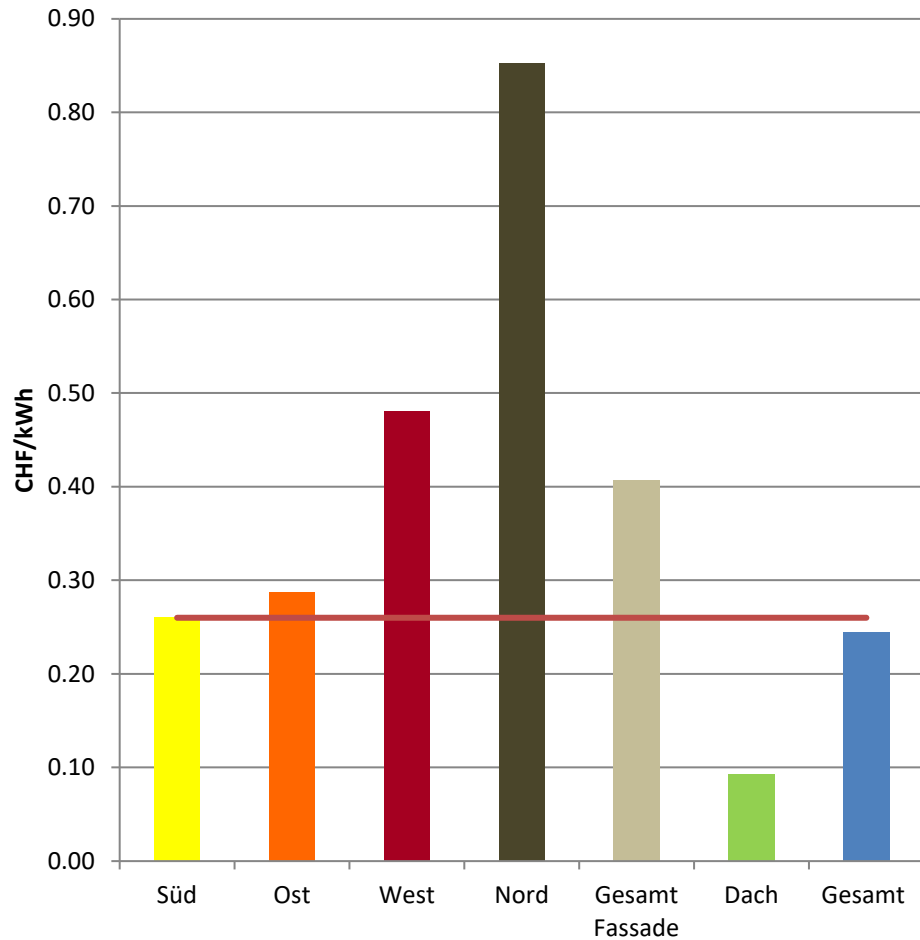
Dies setzt eine Planung für eine Lebensdauer von ca. 40 Jahren voraus.

# Kostenvergleich PV-Fassade vs. konventionelle Materialien

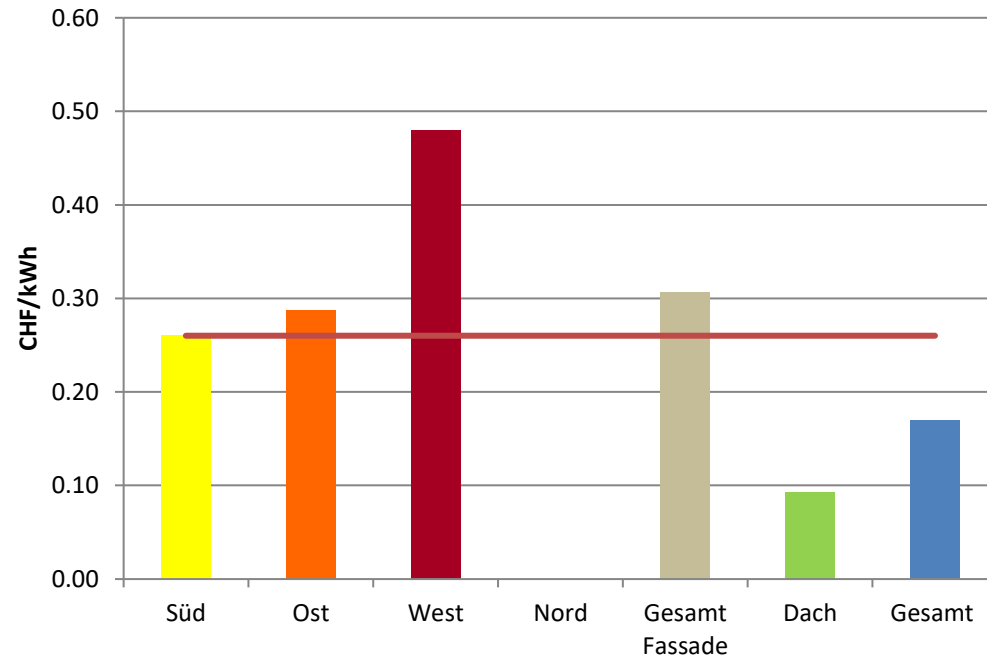


# Kostenaufteilung PV-Fassade Beispiel

## Stromgestehungskosten mit Nordseite



## Stromgestehungskosten ohne Nordseite



# Vielen Dank

Dipl.-Ing. Christian Roeske

[www.sundesign.ch](http://www.sundesign.ch)

T direct +41 44 390 14 58  
[christian.roeske@sundesign.ch](mailto:christian.roeske@sundesign.ch)

Sundesign GmbH  
photovoltaic engineering  
Gamlikon 14  
CH-8143 Stallikon

