Gebäudeintegrierte Photovoltaik:

Standardisierte Modulanwendung in Dach und Fassade

Prof. Dr.-Ing. Susanne Rexroth | HTW Berlin

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
University of Applied Sciences

15. EffizienzTagung Klimaneutral Bauen+Modernisieren

Hannover 11.11.2023

HTW Berlin

Profil

Berlins größte Hochschule mit rund 14.000 Studierenden und 80 Studiengängen

Der **Studiengang Regenerative Energien** ist vertreten mit 11 Professorinnen und Professoren in den Bereichen Photovoltaik, Wind, Solarthermie, Biomasse, Geothermie und energieeffiziente Gebäude

HTW Berlin

Rexroth: Forschung und Lehre

(7)

(6)

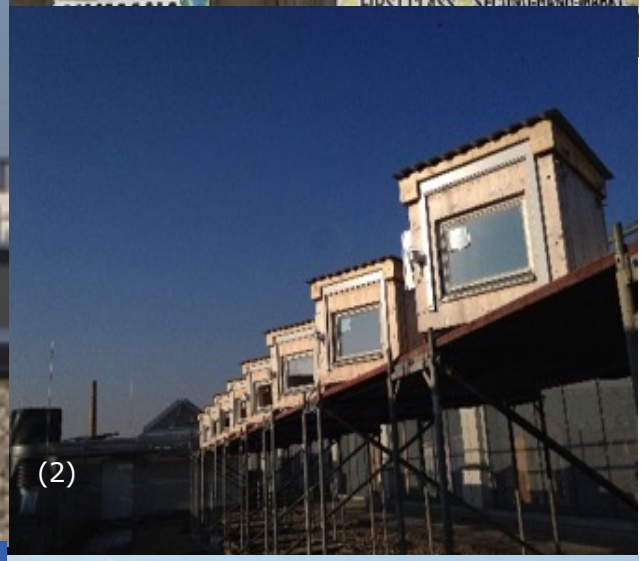
(8)

(9)

Forschungsprojekte – Auswahl (Kurztitel)

(1)Karl-Marx-Allee Berlin: Wärmeschutz der Fassaden
(2)Fenstervergleich
(3)Solar Decathlon Europe 2010 LivingEQUIA
(4)Begleitforschung Modellprojekte Variowohnungen
(5)Energieeffizienz Energie-Plus-Gebäude: Gebäudemonitoring
(6)Energienetz Entwicklungsgebiet B-Adlershof: Energieleitplanung
(7)Energieoptimierte Gebäudehüllen P880: Stahlleichtbau mit PV
(8)BIPV-CIS: Farbige Dünnschicht-PV-Module
(9)PV-VH-Fassaden

(1)


(2)

(5)

(4)

(3)

©HTW Berlin

Flächenpotentiale

	Nutzbare Fläche (technisches Potential) in km²	Jährliche Globalstrahlung in kWh/m²	Möglicher PV-Strom in TWh	Deckungsanteil am Nettostrom-verbrauch (2013)
Dachflächen unteres Potential	800	1.000	97	18%
Dachflächen oberes Potential	1.480	1.000	178	34%
Fassadenflächen unteres Potential	200	500	12	2%
Fassadenflächen oberes Potential	800	500	48	9%

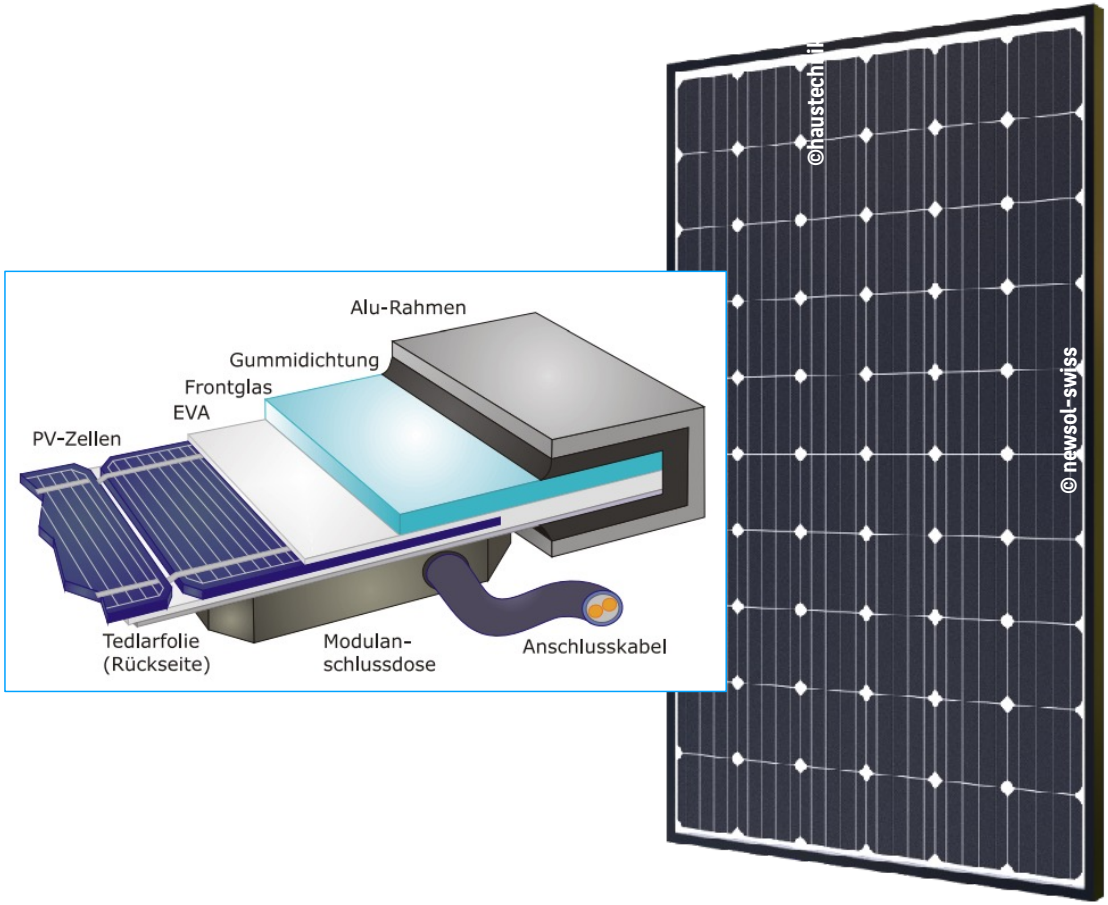
Neue Hochrechnungen des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) und des Leibniz-Instituts für Ökologische Raumentwicklung (IÖR) zeigen, dass das bislang ungenutzte Flächenpotenzial auf Dächern und an Fassaden ausreicht, um ungefähr 2/3 der für die Energiewende notwendigen PV den erforderlichen Platz bereitzustellen

© LuftbildNürnberg

PV – Technologie

Standardmodule - bisher

häufig 60 monokristalline Siliziumzellen (hellblau bis dunkelblau), Tendenz: homogene Farbgebung, „all black“
typisches Modulformat: 1,64 m x 1,00 m, Tendenz: > 2,00 m^2
Leistung: bis >300 W_p , Tendenz: 400 W_p und mehr



(teil)transparent als Verbundglastechnologie (links) bzw.
opak mit rückseitiger Folie (rechts)

Modulbauweise jenseits des Standards

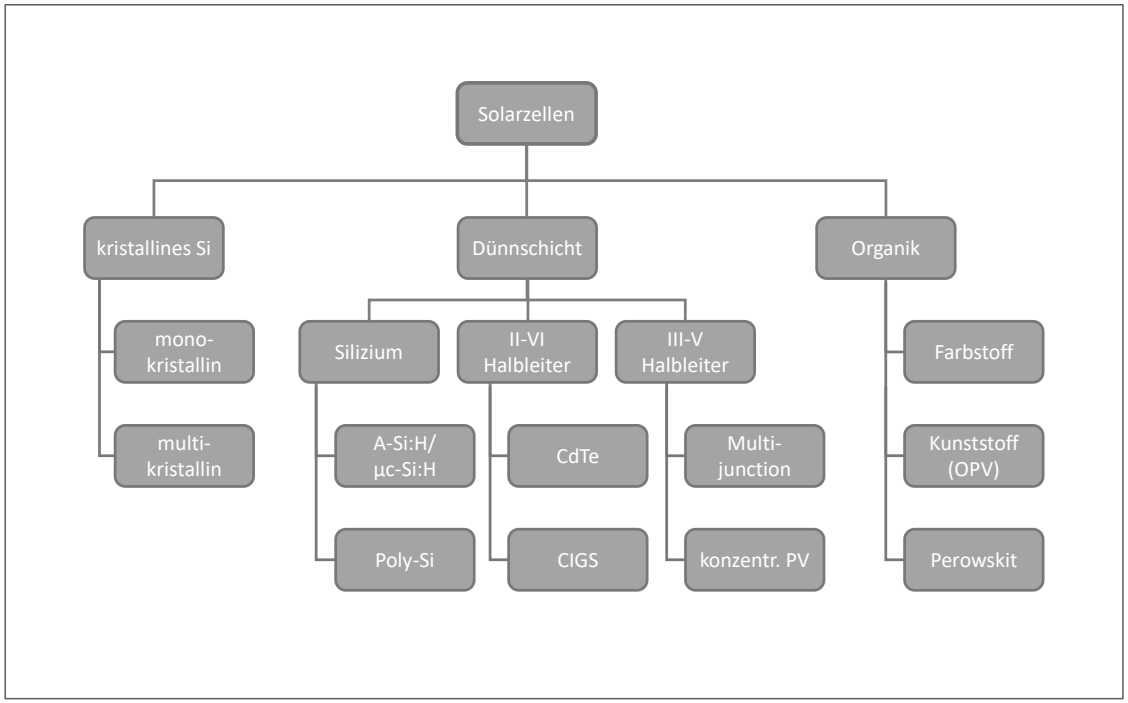
1 Abdeckung aus Gussglas, rot bedruckt und gerillt
MFH Solaris Zürich
Foto: Adrian Berger

2 biegsames CIGS-Solarmodul
Foto: Flisom

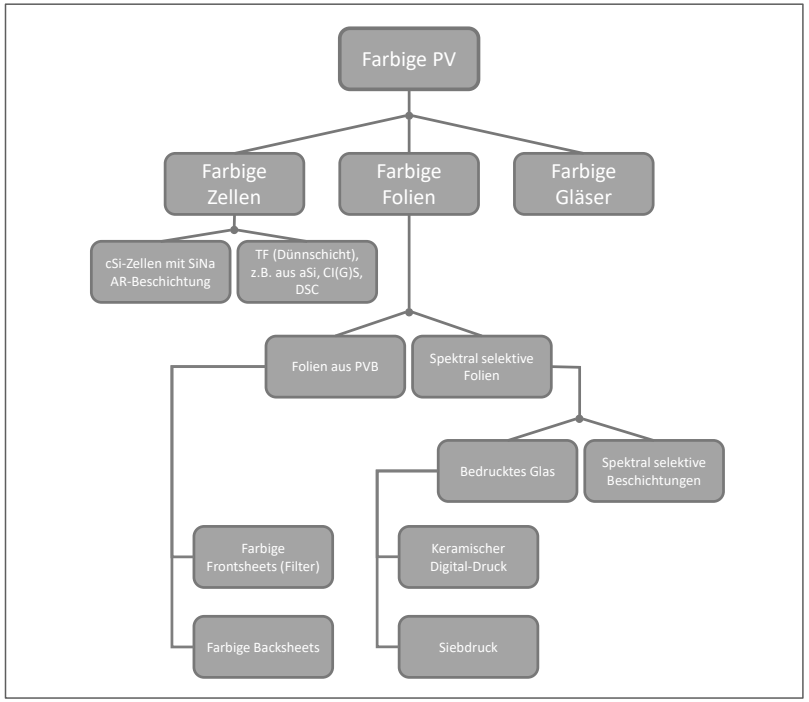
3 Glas-Glas-Module mit organischer PV
SwissTech Convention Center Lausanne
Foto: Fernando Guerra

4 bedrucktes Solarglas mit Farbstoffsolarzellen
Photovoltaik-Fassade „Swissness“ in der Umwelt-Arena Schweiz
Foto: Hochschule Luzern

Stand der Technik



Solarzellen



Farbige PV-Module

PV – Multifunktionales Bauelement

Komplexe Aufgaben einer Fassade

Belichtung

Wärmeschutz

Sonnenschutz

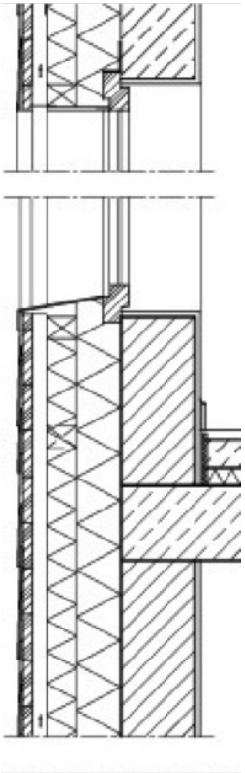
Schallschutz

Brandschutz

Lüftung

Sicherheit

Repräsentation



...das Dach ist die fünfte Fassade...

Gegenüberstellung Addition versus Integration

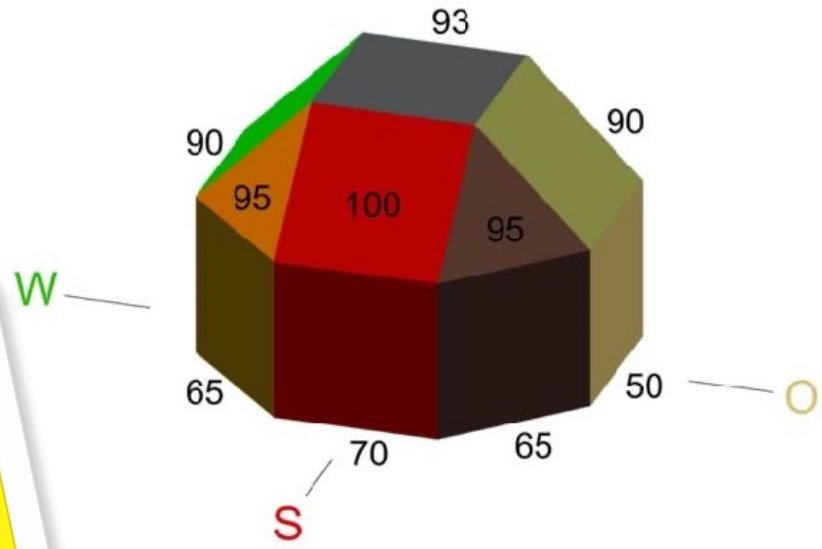
Merkmal	Bauwerk-addiert / appliziert	Bauwerk-integriert
Anlagen-Standardisierungsgrad	hoch	gering
Energieertrag	80% bis 100 %	≤70%
Planungsaufwand	moderat	hoch
PV-Module	Standardformate	eher Sonderformate
Gestalterischer Anspruch	moderat	sehr hoch
Baurecht	meist geregelt (nach Landes BauO Genehmigungsfreie Vorhaben)	meist aBZ / abG / ZiE erforderlich (Anwendungsfall)

Planungsparameter

Zentrale Fragen

- Ist der Standort für PV-geeignet?
- Welche Anwendung ist geplant? (Lastanalyse)
- Welcher energetische Gebäudestandard ist geplant? (Verbraucher)

Jährliche Einstrahlung in Prozent



Wirkungsgrade

- kristallines Si 16% - 24%
- Dünnschicht 10% - 18%
- organische PV 8% - 10%

Zentrale Parameter

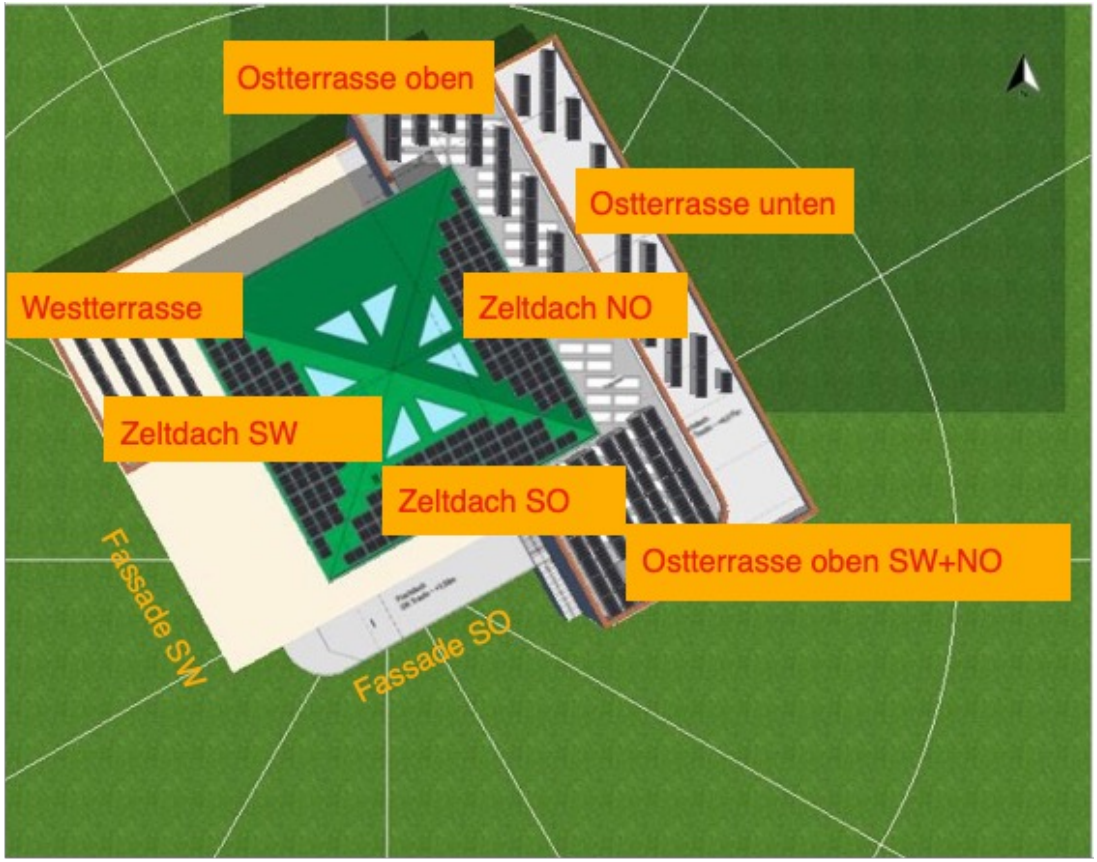
- Ausrichtung und Neigung
- Temperaturentwicklung
- Verschattung

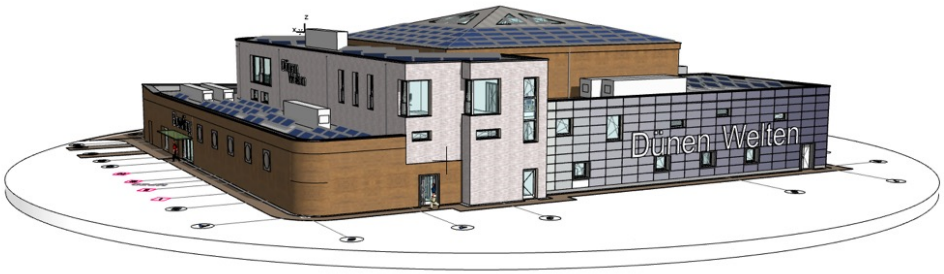
0,35% bis 0,45% Leistungsminderung je K **Temperaturerhöhung des Moduls**

Beispiel: 0,4%: Bei einer Modul-Nennleistung von 15 % und einer Temperaturerhöhung von 10 K ergibt sich eine effektive Leistung von 14,4%.

Planungsparameter

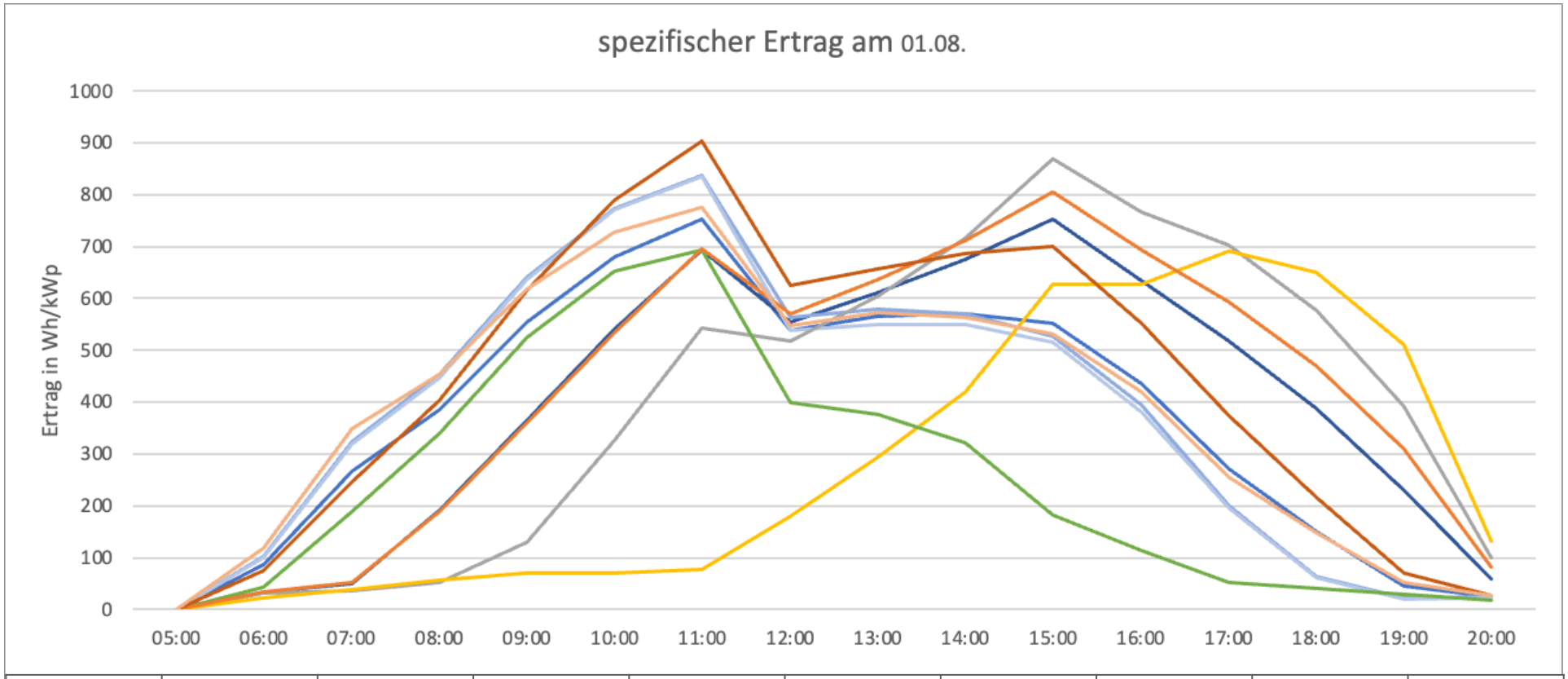
Dach + Fassade:
Eigenverbrauchsquote erhöhen
Autarkiegrad erhöhen





@Tourismus-Service Grömitz / ARGE Dünenpark, Risp & Benthien

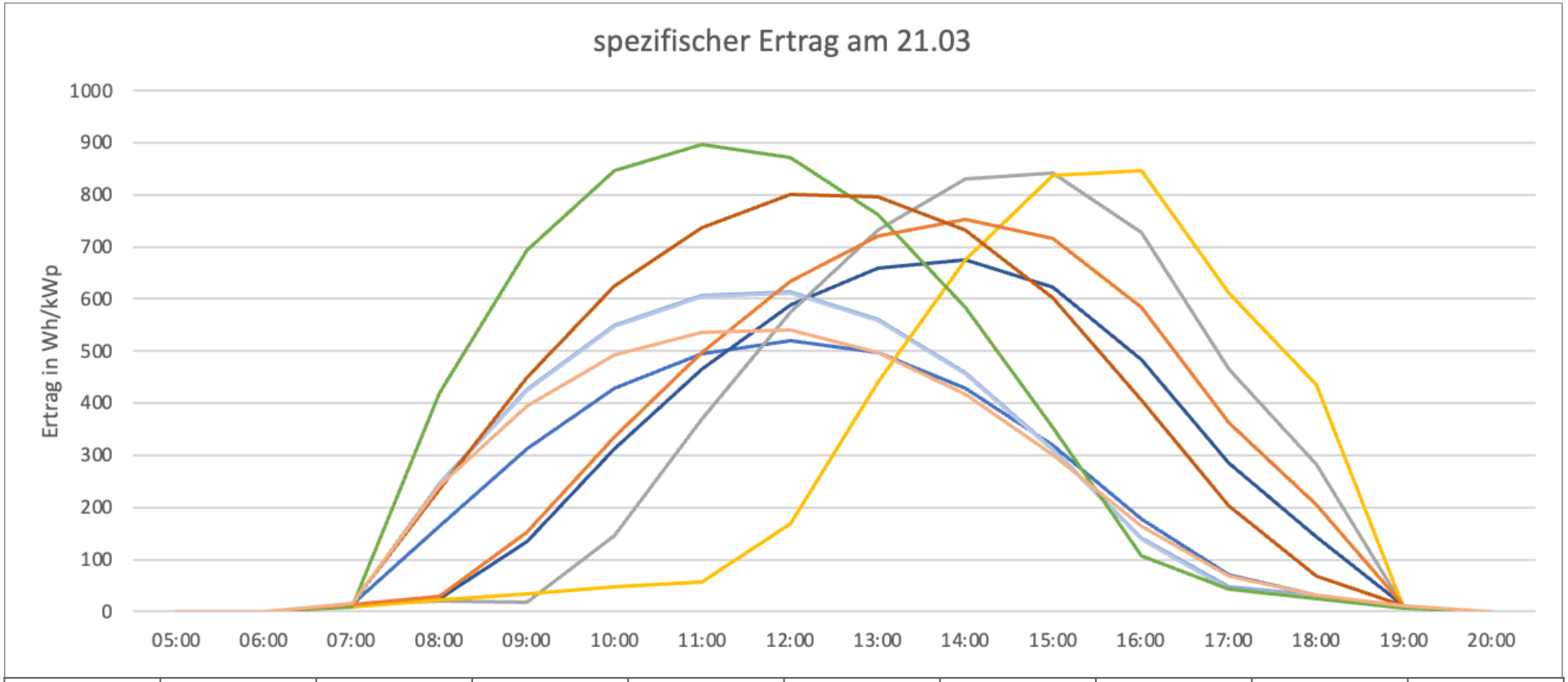
Simulationsergebnis: Dach + Fassade ergänzen sich



Ostterrasse oben, Modulfläche NO	Ostterrasse oben, Modulfläche SW	Ostterrasse unten Module NO	Ostterrasse oben Module O	Westterrasse Module SW	Zeltdach Module SW	Zeltdach Module SO	Zeltdach Module NO	Fassade Module SW	Fassade Module SO
10°	10°	15°	15°	30°	15°	15°	15°	90°	90°

Spezifische Erträge (bezogen auf die Leistung) der Teilgeneratoren im Tagesdiagramm vom 1. August

Simulationsergebnis: Dach + Fassade ergänzen sich

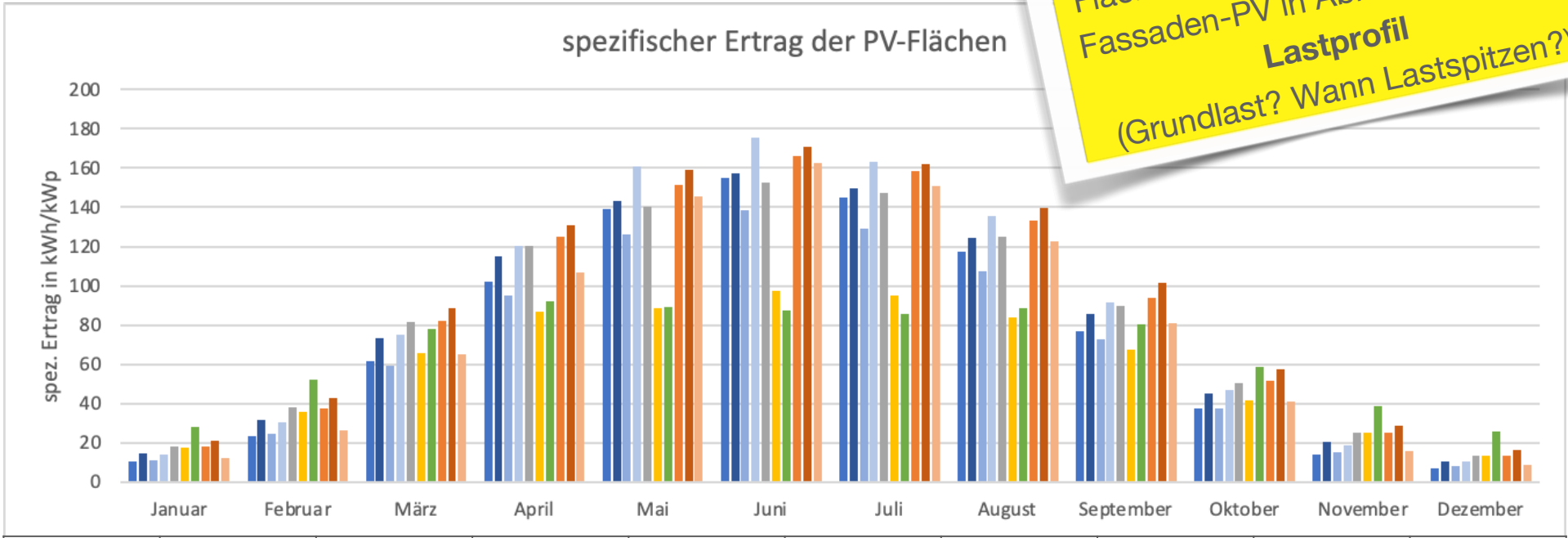


Ostterrasse oben, Modulfläche NO	Ostterrasse oben, Modulfläche SW	Ostterrasse unten Module NO	Ostterrasse oben Module O	Westterrasse Module SW	Zeltdach Module SW	Zeltdach Module SO	Zeltdach Module NO	Fassade Module SW	Fassade Module SO
10°	10°	15°	15°	30°	15°	15°	15°	90°	90°

Spezifische Erträge (bezogen auf die Leistung) der Teilgeneratoren im Tagesdiagramm vom 1. August

Simulationsergebnis: Dach + Fassade ergänzen sich

Wirksamkeit der geneigten PV-Flächen nach Osten und Westen / Fassaden-PV in Abhängigkeit vom **Lastprofil**
(Grundlast? Wann Lastspitzen?)



Ostterrasse oben, Modulfläche NO	Ostterrasse oben, Modulfläche SW	Ostterrasse unten Module NO	Ostterrasse oben Module O	Westterrasse Module SW	Zeltdach Module SW	Zeltdach Module SO	Zeltdach Module NO	Fassade Module SW	Fassade Module SO
10°	10°	15°	15°	30°	15°	15°	15°	90°	90°

Spezifische Erträge der Teilgeneratoren im Jahresverlauf

Anwendung in Dach und Fassade

Beispiel-Einbausituationen: Bauaufsichtliche Anforderungen und Nachweise

Einbausituation	Randbedingungen	Anforderungen	Nachweise
Indach	Dachbereich mit Neigungswinkel < 75° Module mit Glasdeckschicht Keine Überkopfverglasung (Dachkonstruktion o. a. Barriere gegen herabfallendes Glas unter den Modulen) Modulfläche ≤ 2,0 m² Mechanische (nicht: geklebte) Glasbefestigung	**Brandschutz** 1) Brandverhalten PV-Modul: Mindestanforderung: normalentflammbar (B2 bzw. E) je nach Anwendung ggf. höhere Anforderungen: schwerentflammbar (B1 bzw. C) oder nichtbrennbar (A2) 2) ggf. harte Bedachung	1) Klassifizierungsbericht für PV-Modul durch Prüfstelle oder objektbezogenes Brandschutzkonzept 2) abP für BIPV-System durch Prüfstelle oder objektbezogenes Brandschutzkonzept
Fassade	Fassaden und Brüstungen mit Neigungswinkel ≥ 80° PV-Modul als Glas-Glas-Modul = VG, 4-seitig linienförmig gelagert o. PV-Modul mit VSG als Rückglas oder PV-Modul als Bestandteil von Mehrscheiben-Isolierglas (MIG) mit innenliegendem VSG	**Brandschutz** Brandverhalten PV-Modul: Mindestanforderung: i. d. R. schwerentflammbar (B1 bzw. C) je nach Anwendung ggf. höhere Anforderungen: nichtbrennbar (A2)	Klassifizierungsbericht für PV-Modul durch Prüfstelle oder objektbezogenes Brandschutzkonzept
		Mechanische Festigkeit und Standsicherheit Übereinstimmung mit 1) Produktnorm VG/VSG/MIG und 2) Technischen Baubestimmungen zu Einbau, Befestigung, Planung, Bemessung, Ausführung, d. h. Einbau nach DIN 18008	

Einbausituationen: Bauaufsichtliche Anforderungen und Nachweise

Einbausituation	Randbedingungen	Anforderungen	Nachweise
Fassade	Module mit Glasdeckschicht Abweichungen, z. B. Modulfläche > 2,0 m² PV-Modul ≠ VG o. VSG andere als 4-seitig linienförmige Lagerung mit PV ≠ VSG absturzsichernde Verglasung (erfordert unabhängig von PV mindestens ein abP) Einbau nicht in Übereinstimmung mit DIN 18008 geklebte Glasbefestigung	**Brandschutz** Brandverhalten PV-Modul: Mindestanforderung: i. d. R. schwerentflammbar (B1 bzw. C) je nach Anwendung ggf. höhere Anforderungen: nichtbrennbar (A2)	Klassifizierungsbericht für PV-Modul durch Prüfstelle oder objektbezogenes Brandschutzkonzept
		Mechanische Festigkeit und Standsicherheit je nach Abweichung von 1) Produkt und/oder 2) Anwendung: Technische Baubestimmungen zu Einbau, Befestigung, Planung, Bemessung, Ausführung	1) abZ, alternativ ZiE 2) aBG, alternativ vBG

Werden PV-Module als Bauelement verwendet, so werden sie als Bauprodukt betrachtet. Sie müssen also neben den Anforderungen aus der Elektrotechnik auch jenen aus der Bautechnik genügen. Gemäß der Musterbauordnung (MBO) und der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) müssen für Bauprodukte und Bauarten Nachweise der Einhaltung der bauaufsichtlichen Schutzziele geführt werden. Ist dies nicht nach den Technischen Baubestimmungen bzw. den Regeln der Technik möglich, so muss das Bauprodukt bzw. die Bauart im Rahmen der Erteilung eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis, einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, einer allgemeinen Bauartgenehmigung oder einer anderen Art Ver- bzw. Anwendbarkeitsnachweis geprüft werden. Für das Ausstellen solcher Nachweise ist das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) zuständig.

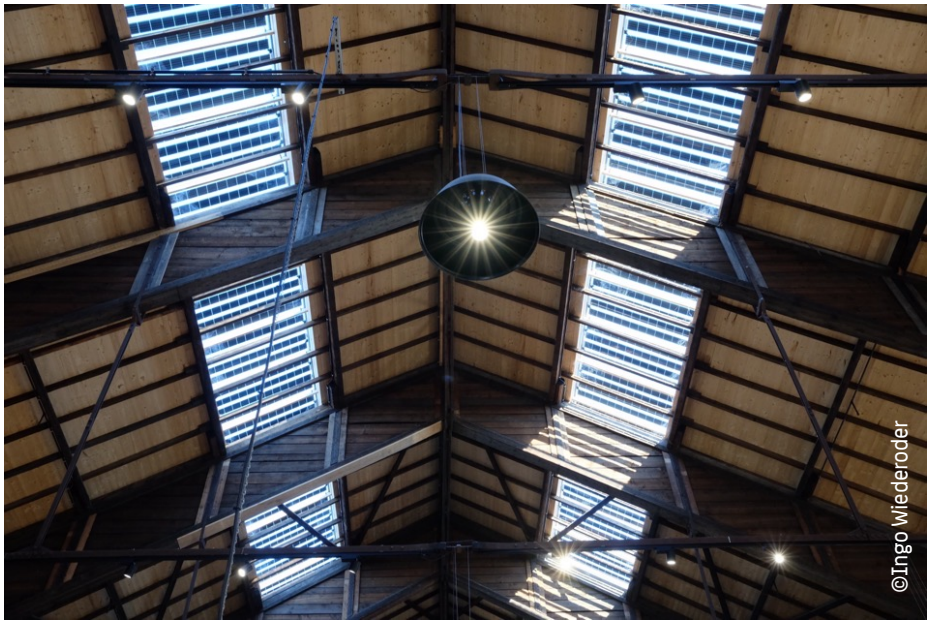
Ersatz der Dachdeckung: In-Dach-PV; Solardachziegel

„Nur“ Brandschutzanforderungen
Zusatzmaßnahmen gemäß Dachdecker-Richtlinien

Glas im Bauwesen

DIN 18008-1:2010-12	DIN 18008-2:2010-12	DIN 18008-3:2013-0	DIN 18008-4:2013-07	DIN 18008-5:2013-7
Bemessungs- und Konstruktionsregeln	Linienförmig gelagerte Verglasungen	Punktförmig gelagerte Verglasungen	Zusatzanforderungen an absturzsichernde Verglasungen	Zusatzanforderungen an begehbare Verglasungen
Anlagen A 1.2/7/1 und A 1.2.7/3	Anlagen A 1.2.7/3			

Überkopfverglasung



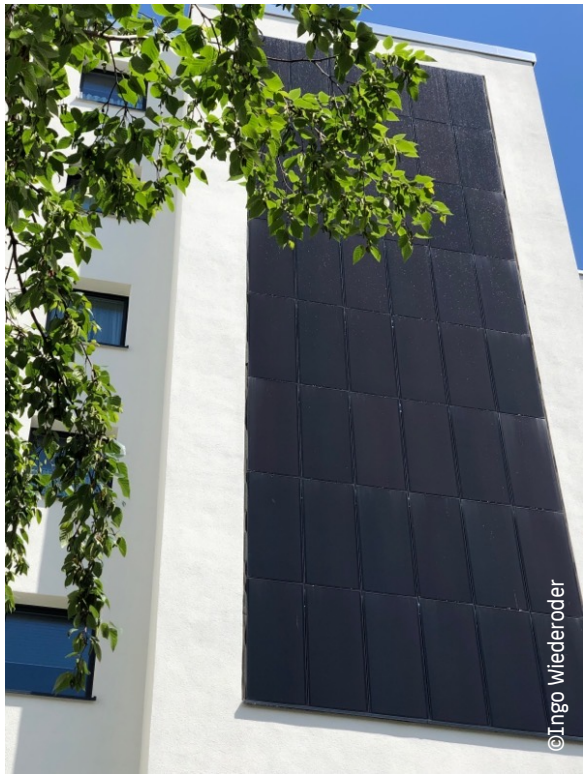
Anforderungen an mechanische Festigkeit und Standsicherheit:
VSG nach DIN 18008, allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP); Nachweis 4-seitige Lagerung;
bzw. Prüfstatik / Zustimmung im Einzelfall (ZiE)

Sonnenschutz-Lamellen; Absturzsichernde Verglasung

Anforderungen an mechanische Festigkeit und Standsicherheit:
VSG nach DIN 18008, allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (abP) oder Zustimmung im Einzelfall (ZiE)

Warmfassade: Isolierverglasung; Kombination mit WDVS

Anforderungen an mechanische Festigkeit und Standsicherheit: nach DIN 18008, zu wählende Glas-/Verbundart abhängig von Lasten, Lagerung und Einbauhöhe

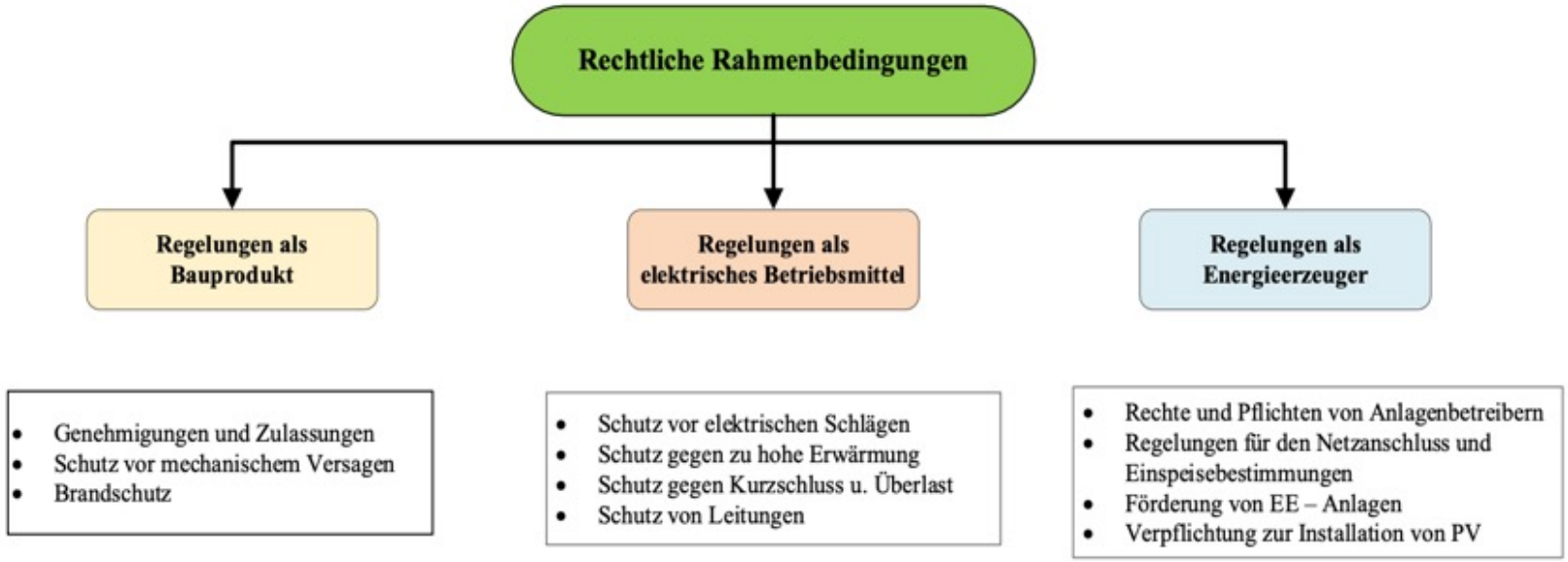


Kaltfassade: Vorgehängte hinterlüftete Fassade (vhF)

Anforderungen an mechanische Festigkeit und Standsicherheit:
nach DIN 18008, zu wählende Glas/Verbundart abhängig von Lasten, Lagerung und Einbauhöhe

Ausblick

Forschungsprojekt StaGiMo https://stagimo.de



Aus der Elektrotechnik ergeben sich die Anforderungen an den Betrieb und die Sicherheit, als Bauprodukt ergeben sich nochmals Anforderungen, die hauptsächlich wieder die Sicherheit betreffen. Dabei sind die Kriterien aus den beiden Bereichen teilweise ganz ähnlich, aber die Nachweise geschehen nach unterschiedlichen Normen. Gesamtziel des Projektes ist deshalb die Entwicklung von standardisierten Prüfverfahren und Fachregeln für die gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV)

Forschungsprojekt StaGiMo: Verbundpartner

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
University of Applied Sciences

UNIVERSITÄT SIEGEN

DGS Berlin

StaGiMo_Sys
- Projektkoordination
- Konstruktive und gestalterische Fragestellungen
- Kosten und Wirtschaftlichkeit
- Simulation und Teststand

StaGiMo_Proof
- Verbundsicherheitsglas
- Simulation von Trag- und Resttragverhalten
- Bauteilversuche, Entwicklung von Prüfmethoden
- Zusammenarbeit mit TÜV Rheinland

StaGiMo_Praxis
- Vor-Ort-Untersuchungen
- Erarbeitung von Fachregeln und Schulungsunterlagen
- Brücke zur Praxis

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Susanne Rexroth
susanne.rexroth@htw-berlin.de

HTW Berlin FB 1 - RE
Wilhelminenhofstr. 75A
12459 Berlin

030 5019 3557