

**Effizienzhaus Plus im Einfamilienhaus**

## **Gebäudeintegrierte Photovoltaik**

**Bernhard Weller**

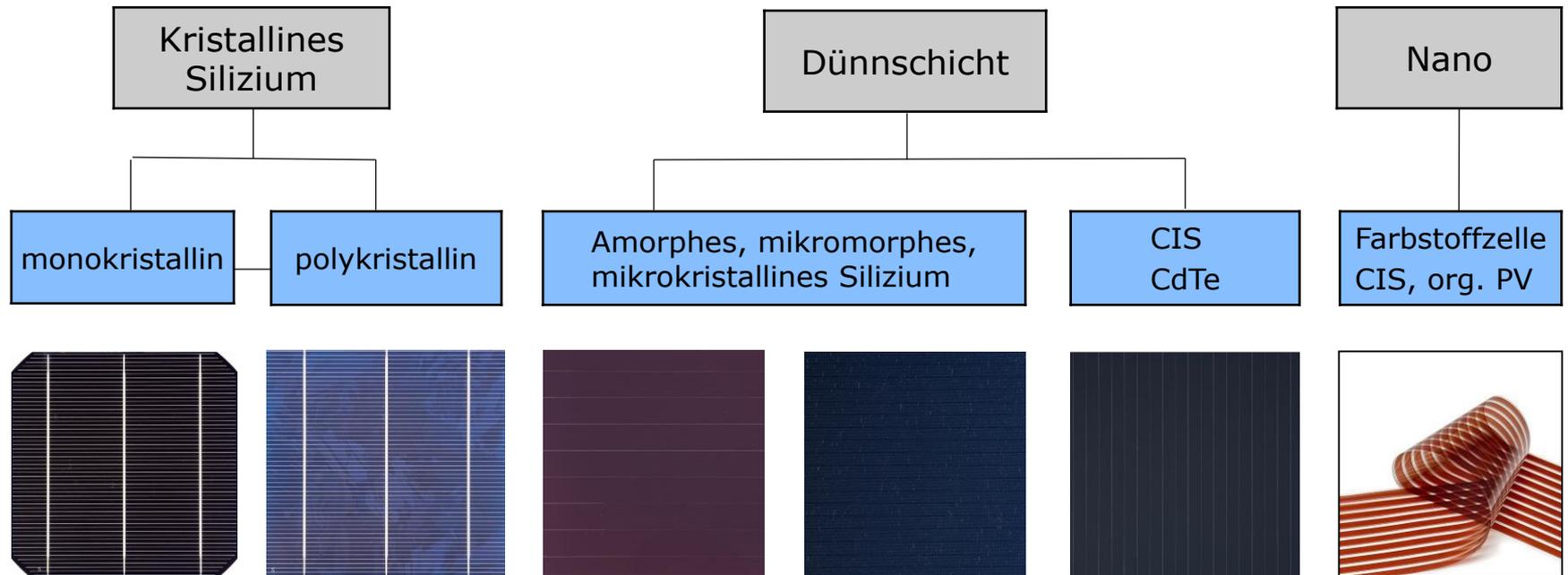
**Technische Universität Dresden**

**Institut für Baukonstruktion**

**Frechen, 18.11.13**

# Technik

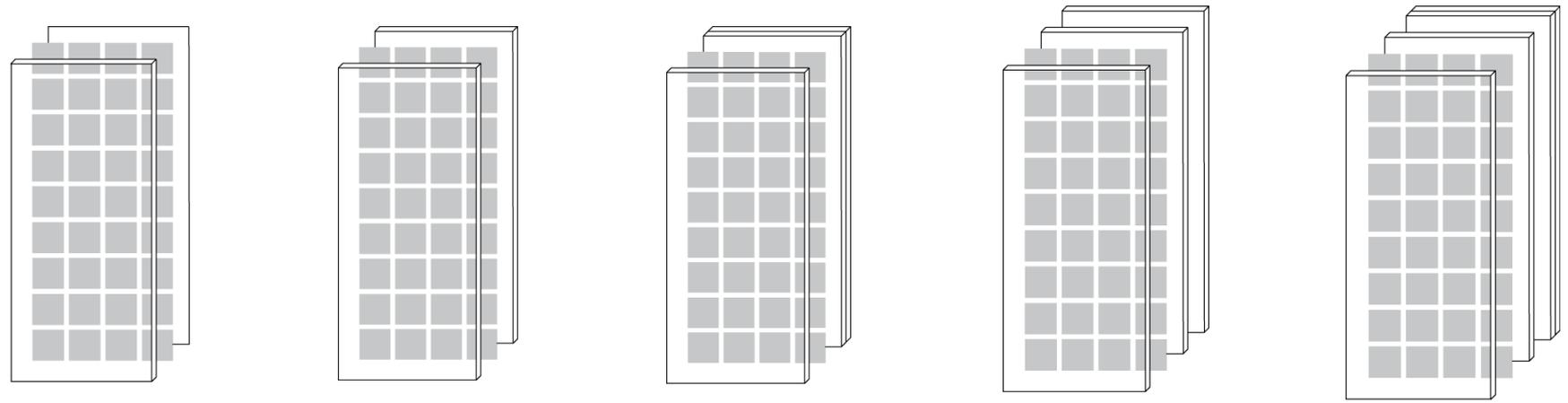
## Solarzellen



CIS: Kupfer-Indium-Diselenid; CdTe: Cadmiumtellurid

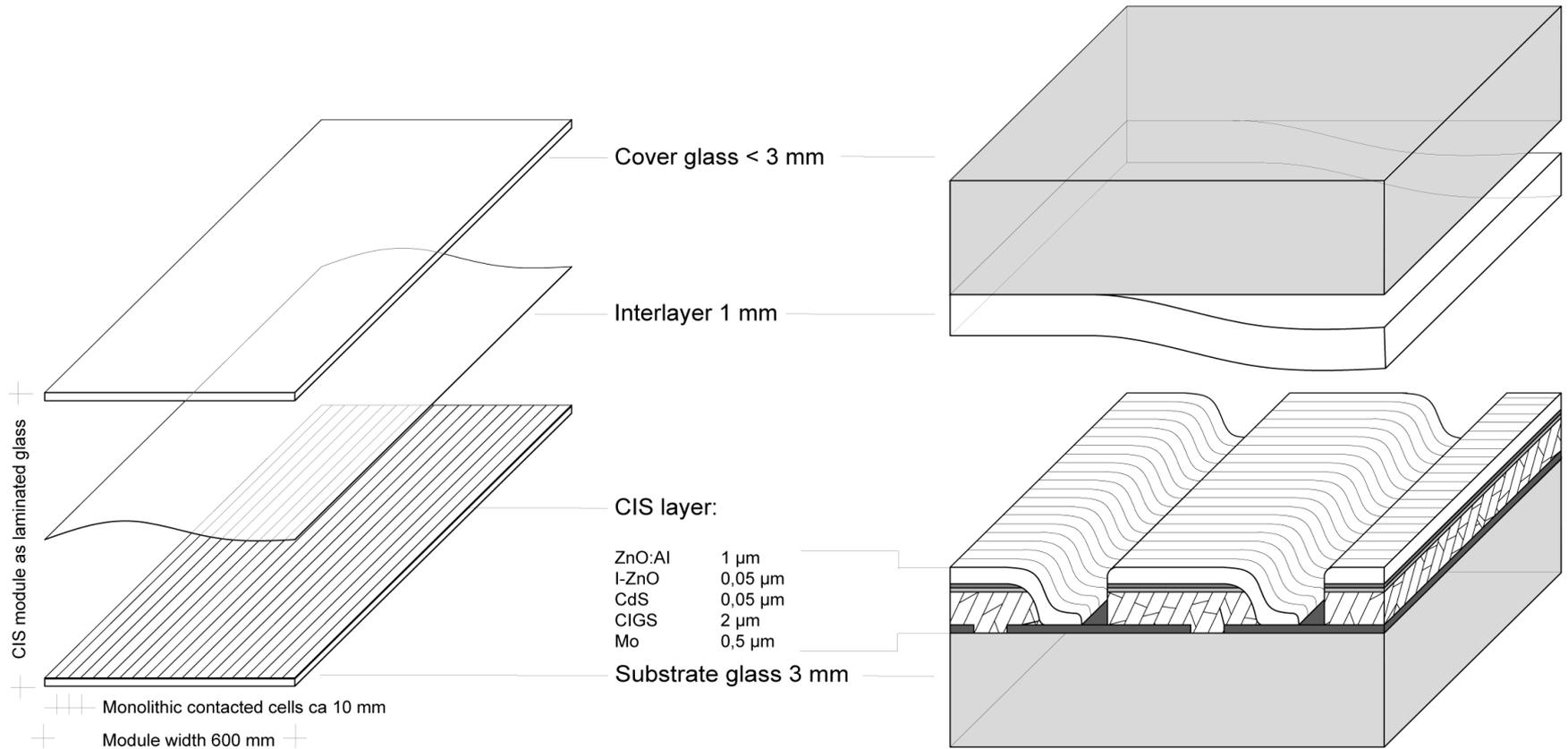
# Technik

## Kristalline Solarmodule



# Technik

## Dünnschichttechnologie auf Glas



## Technik

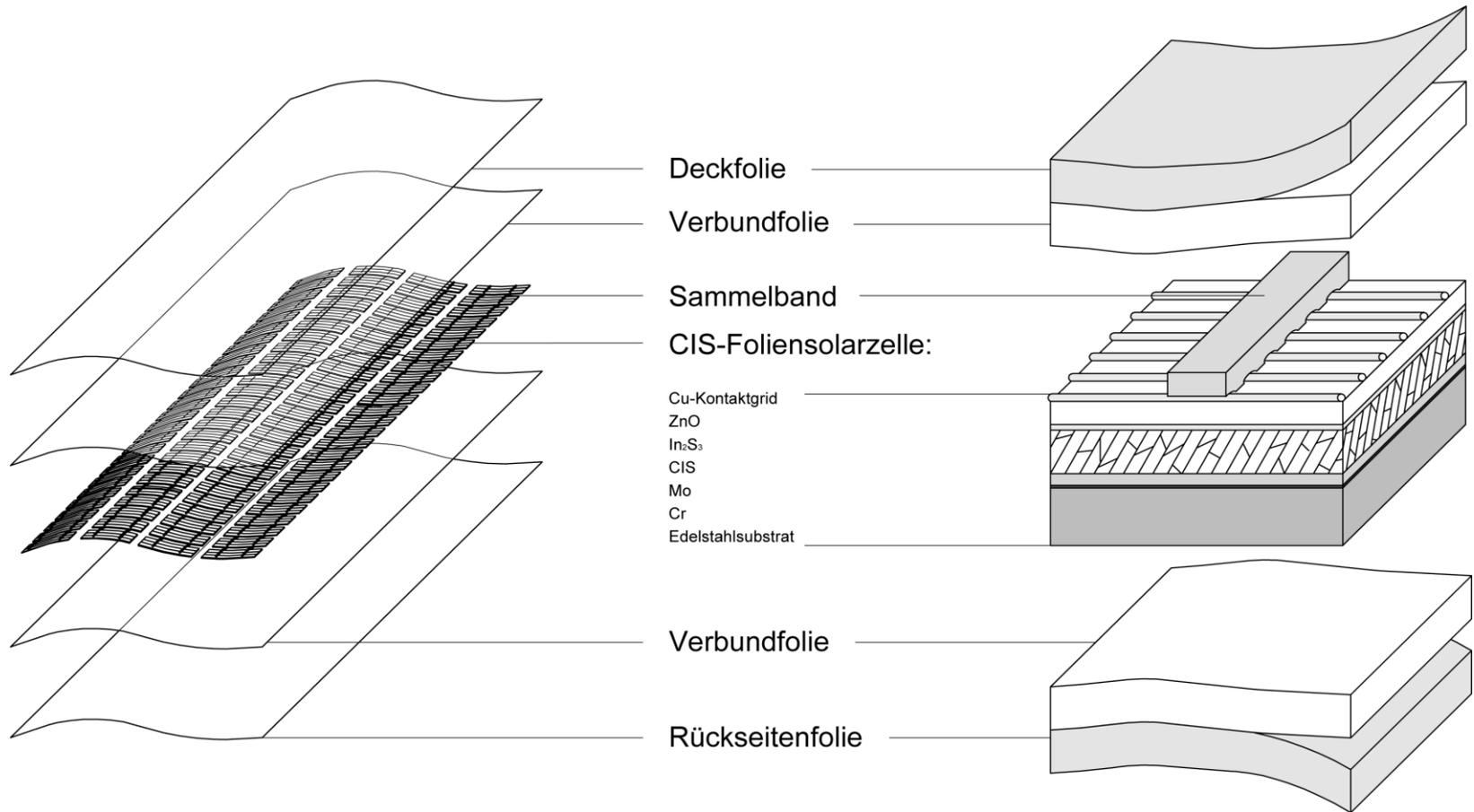
### PV-VH Vorgehängte hinterlüftete Fassade

- PV-Module mit klarem oder farbigen Deckglas
- Individuelle Dämmstoffdicken der dahinterliegenden Außenwand gewährleisten Wärmeschutz
- Homogene schwarze, grüne, rote, gelbe oder weiße Oberfläche ohne sichtbare Befestigung



# Technik

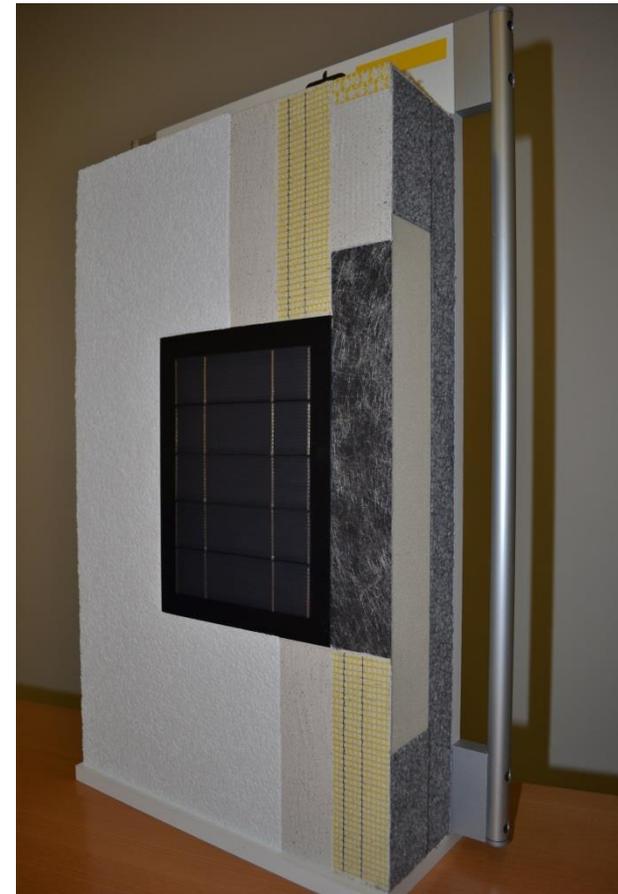
## Entwicklung Dünnschichttechnologie: Foliensolarzellen



## Technik

### PV-WDVS Wärmedämm-Verbundsystem

- PV-Einheiten aus Foliensolarzellen in Wärmedämm-Verbundsystem integriert
- Individuelle Dämmstoffdicken des Wärmedämm-Verbundsystems gewährleisten Wärmeschutz
- Einfache Montage im Rahmen der Außenputzarbeiten ermöglicht kostengünstige Lösungen



# Gestaltung

## Dachintegration

### Wohn- und Geschäftshaus, Unterseen

- Anforderung des Denkmalschutzes
  - Integration in denkmalgeschützte Bebauung
  - graue, raue Moduloberfläche
  - 20 % Transparenz
  - nächtliche Erscheinung weiß
- Ausführung
  - Arkadengang mit Glasdach mit integrierten Solarzellen
  - Solarzellen ohne Antireflexschicht  
⇒ graue statt blaue Zellen
  - Deckglas mit „Orangenhaut“
  - Rückseite mit weißer Tedlarfolie



## Gestaltung

Dach- und Wandintegration

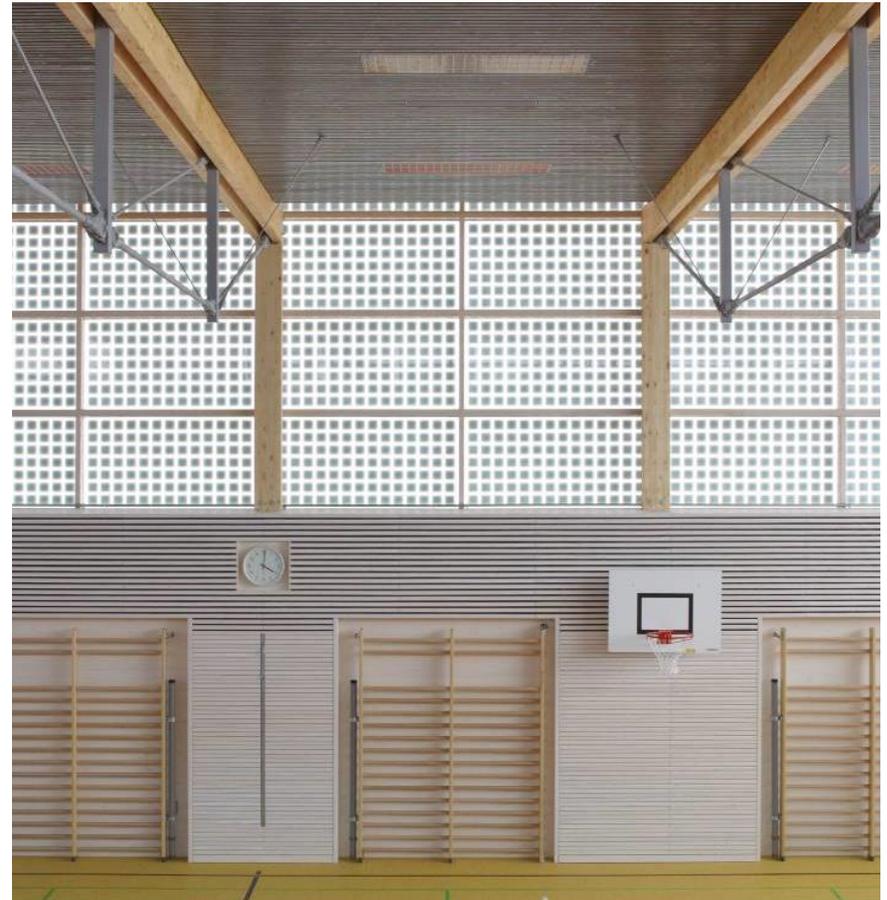


## Gestaltung

### Wandintegration

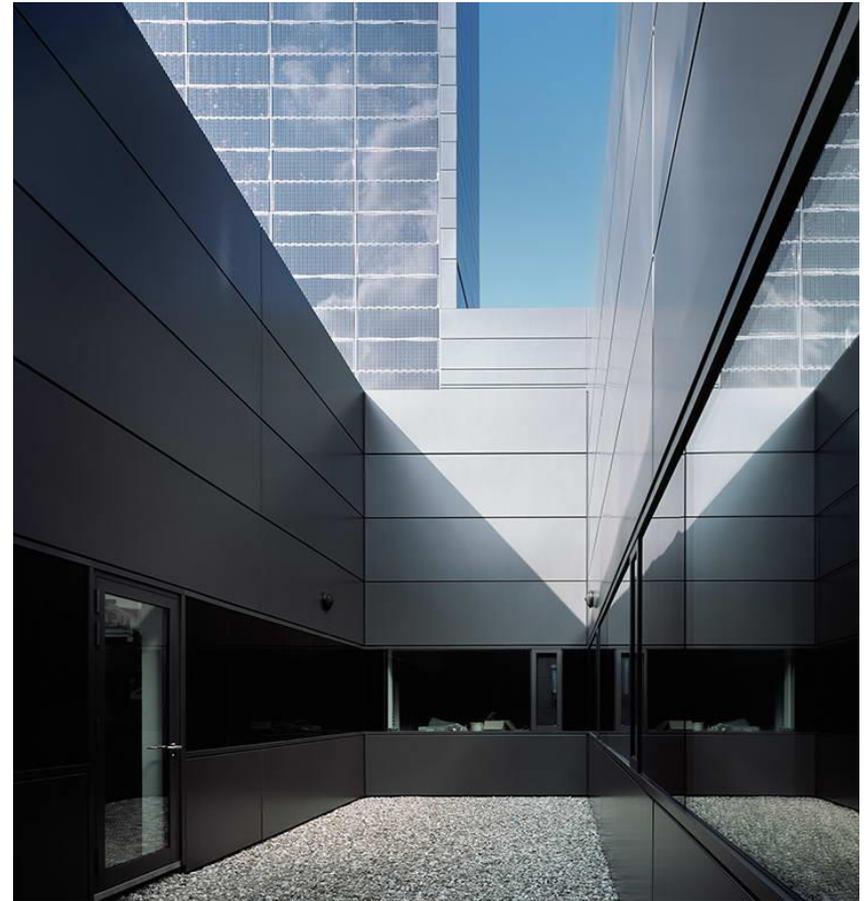
#### Turnhalle, Regensburg-Burgweinting

- Anforderungen an die PV-Südfassade
  - Verschattung
  - Sommerlicher Wärmeschutz
  - Blendfreie Ausleuchtung mit Tageslicht
- Ausführung
  - Innenscheibe aus ballwurfsicherem VSG
  - Lichtstreuende PVB-Folien der polykristallinen Module
  - Zellenabstand von 20 mm



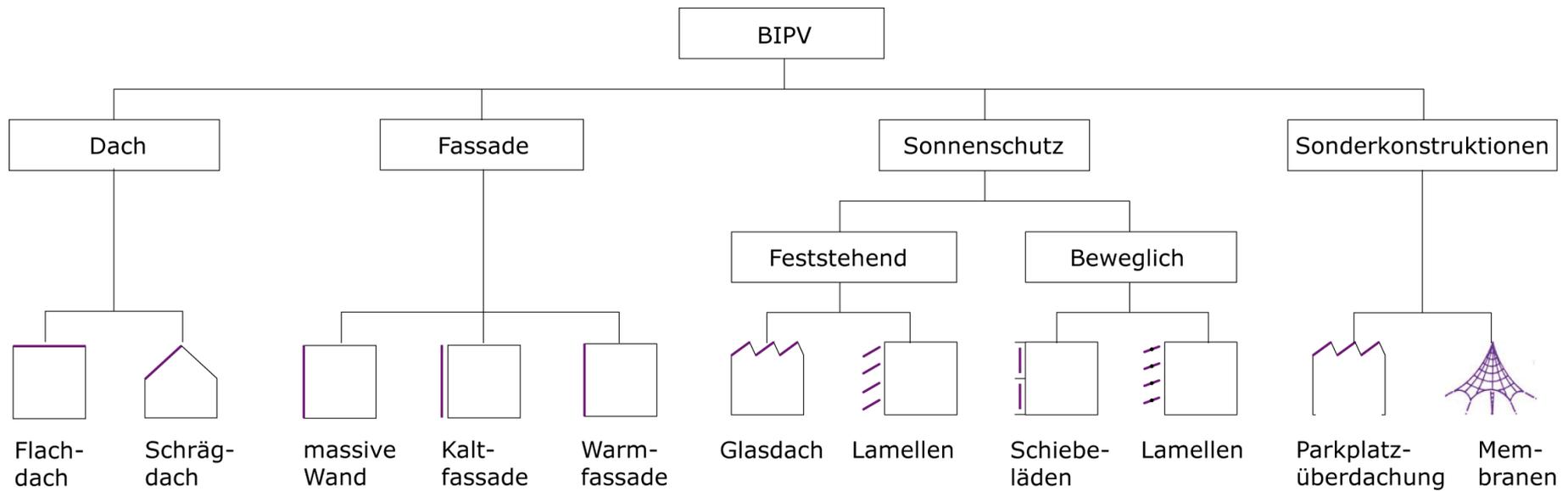
## Gestaltung

### Wandintegration



# Konstruktion

## Einbausituation



## Konstruktion

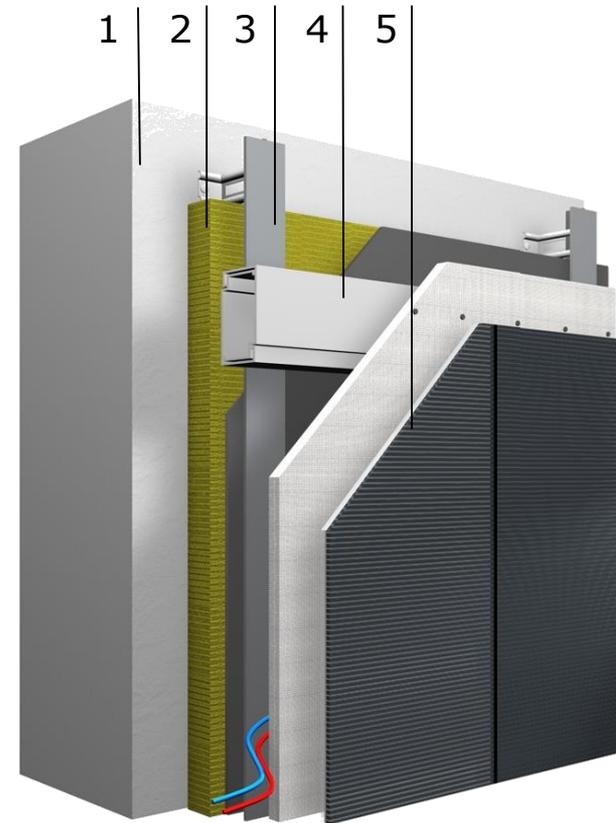
PV-VH: Vorgehängte hinterlüftete Fassade



## Konstruktion

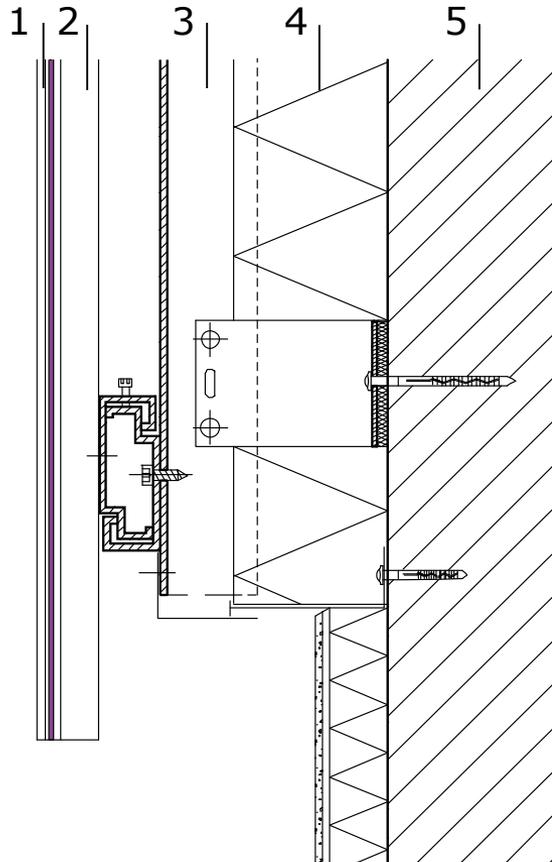
PV-VH: Vorgehängte hinterlüftete Fassade

- 1 Außenwand
- 2 Wärmedämmung
- 3 Unterkonstruktion
- 4 Agraffenprofil
- 5 PV-Glas-Element auf Trägerplatte



## Konstruktion

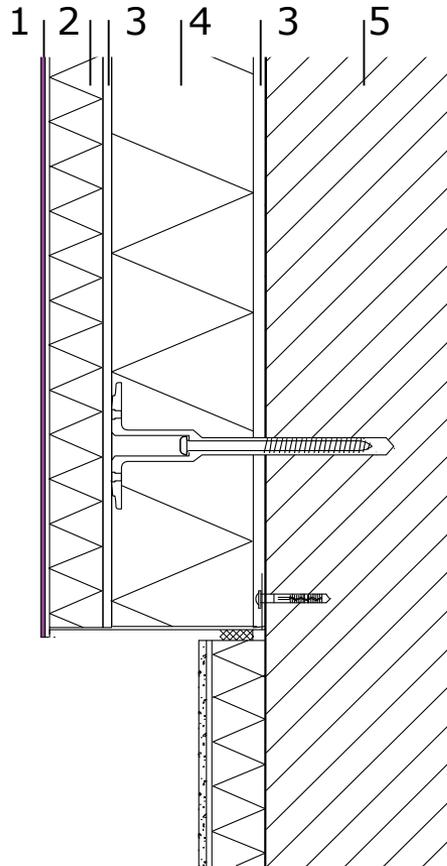
PV-VH: Vorgehängte hinterlüftete Fassade



- 1 Deckglas  
PV-Dünnschichtzelle  
Substratglas
- 2 Trägerplatte
- 3 T-Profil
- 4 Dämmung
- 5 Außenwand

## Konstruktion

### PV-WDVS Fassade



- 1 CIS-Solarmodul
- 2 PUR-Dämmplatte
- 3 Verklebung
- 4 EPS-Dämmplatte
- 5 Außenwand

# Baurecht

## Bauprodukte nach den Landesbauordnungen (LBO)

national				europäisch	
geregelt	nicht geregelt			sonstige	nach harmonisierten europäischen Normen oder mit ETZ
	allgemein	keine erheblichen Anforderungen oder allgemein anerkannte Prüfverfahren	bauaufsichtlich untergeordnete Bedeutung		
Bauregelliste A Teil 1	-	Bauregelliste A Teil 2	Liste C	allgemein anerkannte Regeln der Technik	Bauregelliste B
nationale technische Regeln	ZiE oder AbZ	AbP	kein Verwendbarkeitsnachweis	kein Verwendbarkeitsnachweis	europäische technische Regeln und nationale Verwendungsbeschränkung
Übereinstimmungsnachweis Ü-Zeichen			kein Übereinstimmungsnachweis kein Ü-Zeichen		Konformitätsnachweis CE-Zeichen

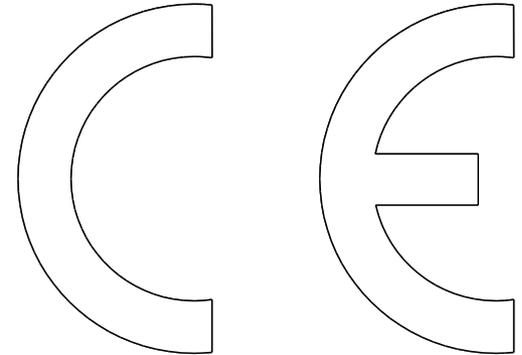
ZiE: Zustimmung im Einzelfall  
 AbP: Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis

AbZ: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung  
 ETZ: Europäische Technische Zulassung

## Baurecht

### Kennzeichnungen

- CE-Kennzeichnung
  - bescheinigt Konformität mit den EU-Richtlinien
- AbZ-Kennzeichnung
  - Keramikstempel bescheinigt Einhaltung mit AbZ bei Glasprodukten



# Baurecht

## Bauarten

### Vertikalverglasungen

- Linienförmige Lagerung nach den TRLV
  - Verwendung auch von Verbundgläser mit geregelten Basisgläsern und sonstige Schichten
  - i.d.R. Freistellung von den TRLV falls Oberkante < 4 m
- Punktförmige Lagerung nach den TRPV
  - nur VSG => mindestens 3 Scheiben oder AbZ bzw. ZiE
- Geklebte Befestigungen nicht geregelt

### Vorhangfassade Köln

- Beispiel: Isolierglasverbund d= 36 mm



# Baurecht

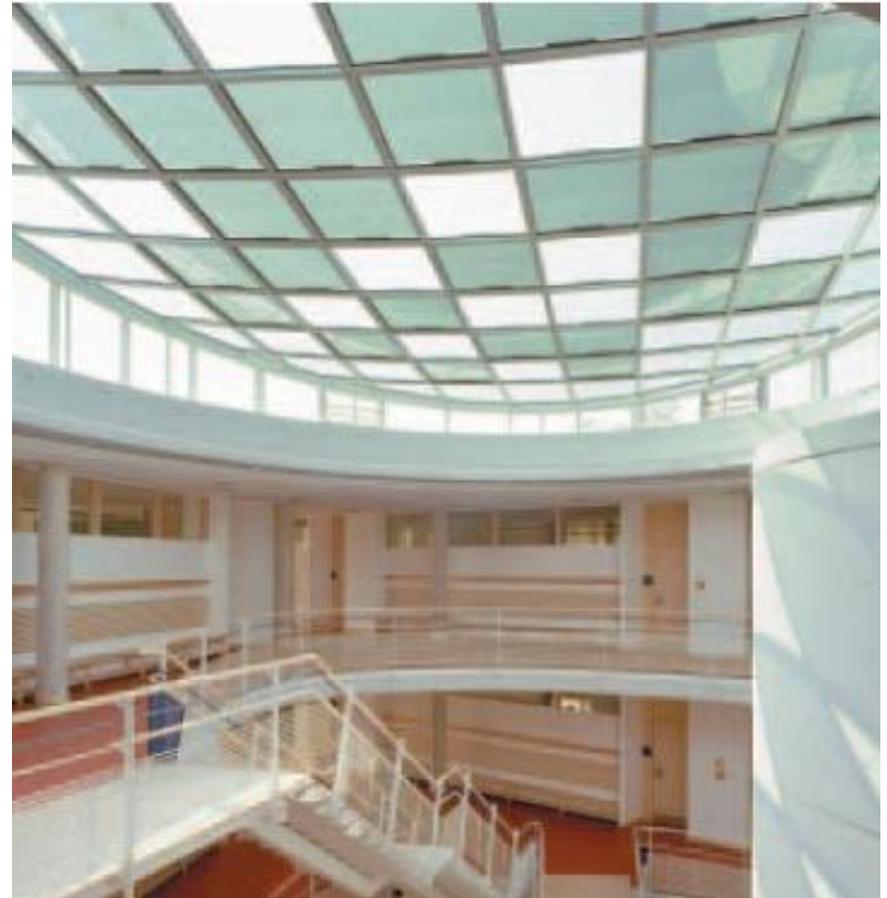
## Bauarten

### Horizontalverglasungen

- Linienförmige Lagerung nach den TRLV
  - Drahtglas oder VSG aus Floatglas bzw. TVG nach AbZ => mindestens 3 Scheiben
- Punktförmige Lagerung nach den TRLV
  - ZiE, AbZ oder ETZ

### Verbundglasdach München

- Verbundaufbau
  - 6 mm TVG
  - 3 mm Floatglas mit teiltransparenter amorpher Siliziumbeschichtung
  - Scheibenzwischenraum
  - 8 mm VSG



## Baurecht

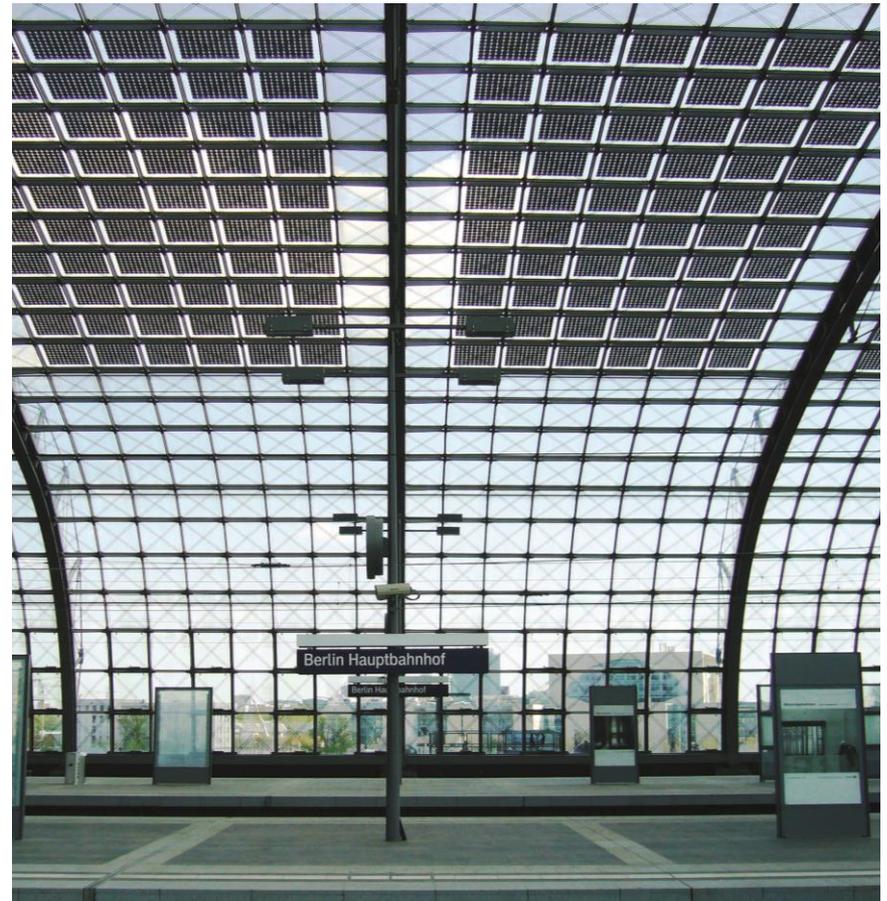
### Bauarten

#### Bedingt betretbare Verglasung

- ZiE, falls die unter ihr befindlichen Verkehrsflächen zum Zweck der Reinigung, Wartung etc. nicht abgesperrt werden können

#### Glasdach Berlin

- teiltransparente Glas-Glas-Module aus TVG



## Baurecht

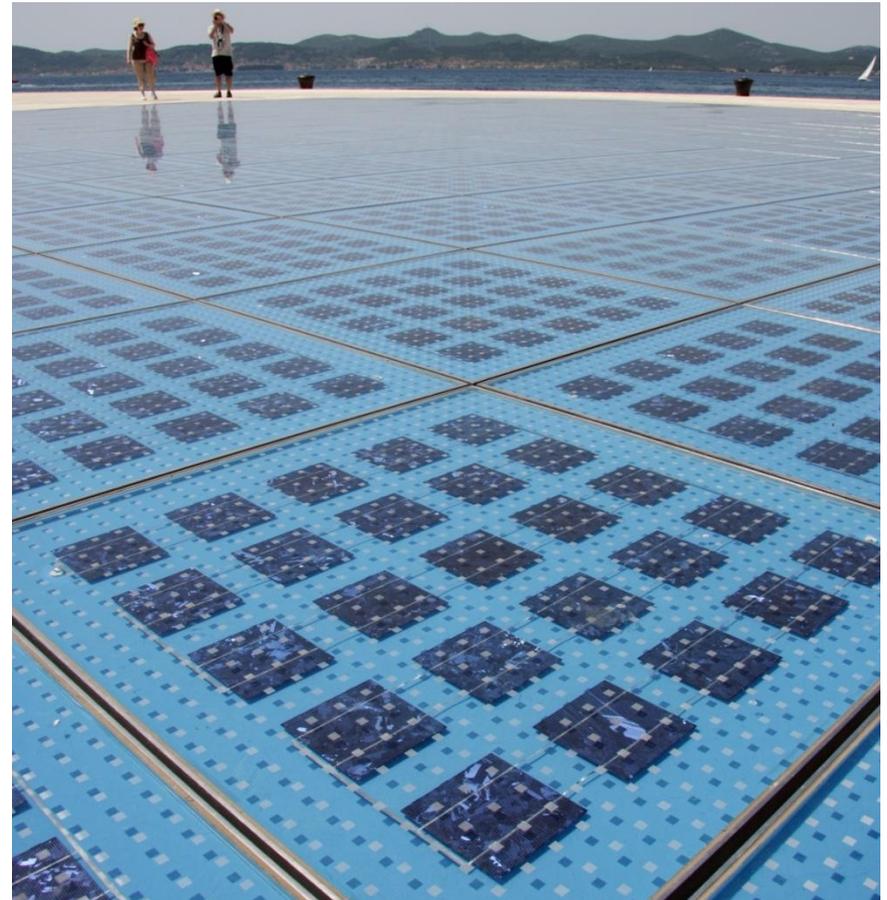
### Bauarten

#### Begehbare Verglasung

- AbZ oder ZiE erforderlich
- Mindestaufbau: drei Scheiben

#### Verbundglasboden Zadar

- rutschhemmende Bedruckung
- Verbundaufbau
  - 6 mm ESG (Weißglas)
  - PVB-Folie
  - 12 mm TVG (Weißglas)
  - PVB-Folie
  - Polykristalline Solarzellen
  - PVB-Folie
  - 12 mm TVG mit rückseitigem Siebdruck (hellblau)



## Baurecht

### Experimentelle Nachweise

#### Pendelschlagversuch

- Nachweis der Stoßsicherheit von absturzsichernden Verglasungen
- Zwillingsreifen mit einer Masse von 50 kg, der in Abhängigkeit der Konstruktion aus einer Höhe von 45, 70 oder 90 cm auf die Verglasung pendelt
- Anforderungen
  - Kein Durchschlag
  - Kein Lösen aus der Verankerung
  - Bruch zulässig bei Rissen mit weniger als 76 mm Öffnungsweite

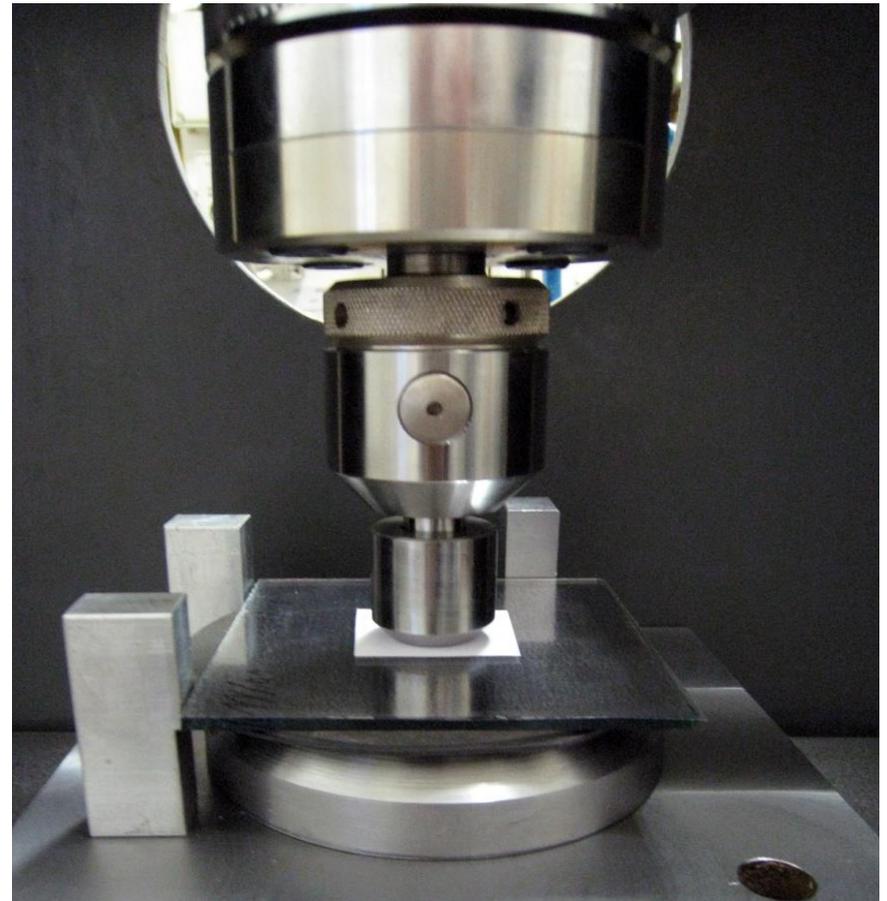


## Baurecht

### Experimentelle Nachweise

#### Doppelring-Biegeversuch

- nach DIN EN 1288-5
- Nachweis der Biegefestigkeit
- Zunahme der Prüfkraft muss so gewählt werden, dass die Biegespannung in der Mitte der Probe mit einer Geschwindigkeit von  $2 \pm 0,4$  N/(mm<sup>2</sup> s) bis zum Versagen ansteigt
- Ort des Bruchursprungs ist aus den Bruchstücken zu bestimmen



## Baurecht

### Experimentelle Nachweise

#### Vier-Punkt-Biegeversuch

- z.B. nach DIN EN 843-1
- Untersuchung der Verbundwirkung verschiedener Modulaufbauten
- balkenförmiger Probekörper, der auf Auflagerrollen nahe seiner Enden aufliegt
- Beanspruchung durch zwei symmetrisch zu den Auflagerrollen angreifende Kräfte (über Belastungsrollen)
- Aufzeichnung der Höchstkraft beim Bruch



## Baurecht

### Experimentelle Nachweise

#### Resttragfähigkeitsnachweis

- entsprechend der Erwärmung durch die Solarzellen

#### PV-Horizontalverglasung

- Verbundaufbau
  - 6 mm TVG
  - 2 mm Gießharz mit polykristallinen Zellen
  - 8 mm TVG



## Baurecht

### Experimentelle Nachweise

#### Widerstand gegen Flugfeuer und strahlende Wärme

- Nachweis als „harte Bedachung“ nach DIN 4102-7 und DIN V ENV 1187
- Drahtgestell mit Holzwolle brennt auf Probedach ab
- Anforderungen
  - nur begrenzte Ausbreitung des Feuers
  - kein Herabfallen brennenden oder glimmenden Materials



## PV-Monitoring

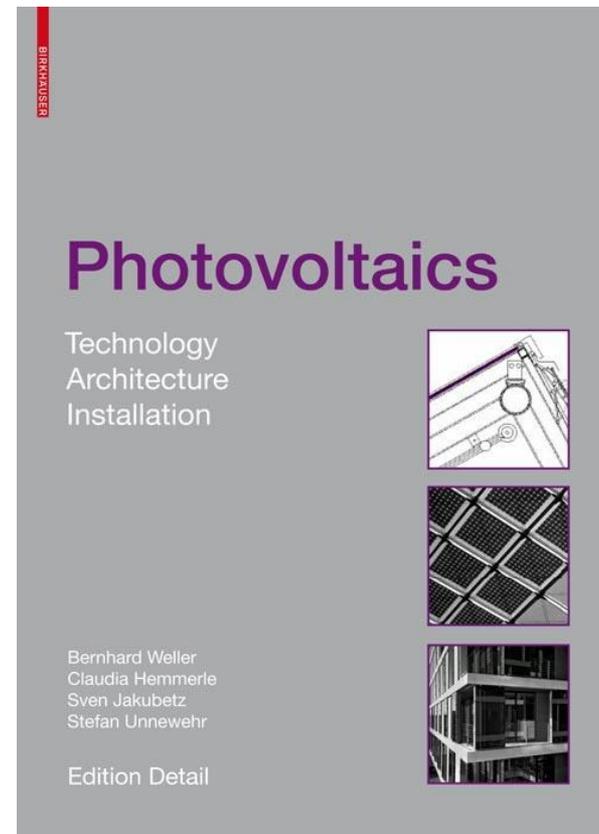
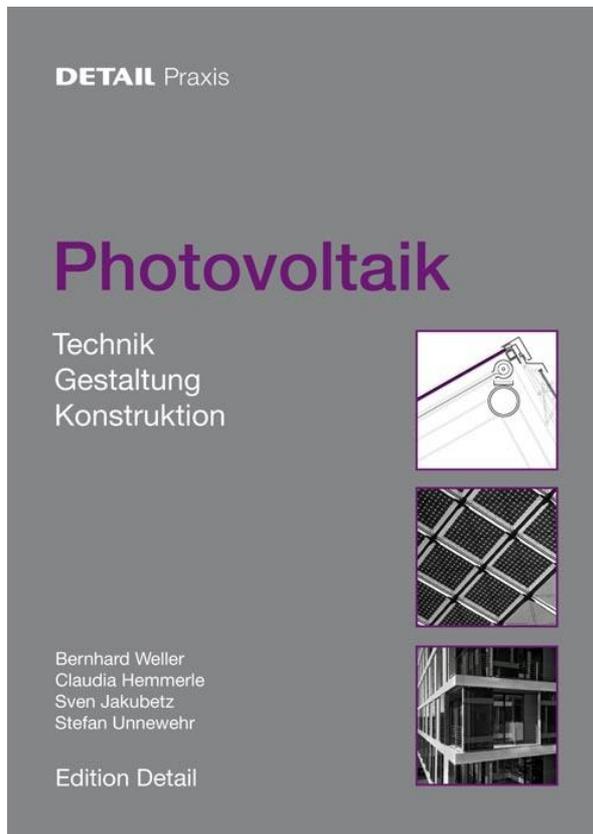
### Testcontainer

- Baucontainer mit verschiedenen PV-Fassaden
- Abbildung realer Einbausituationen
- Messsensoren an Modulen und in hinterlüfteten Zwischenräumen
- Monitoring von Modulleistung und -temperatur
- Wetterstation
  - Global-, UV-A-, UV-B-Strahlung
  - Windrichtung und -geschwindigkeit
  - Lufttemperatur
  - Luftfeuchtigkeit



# Literatur

## Photovoltaik – Technik, Gestaltung, Konstruktion



**Vielen Dank**