

## **ST MOUNTING GUIDE**

Leitfaden Solarthermie Montagesysteme und Kollektorinstallation, zur kostenoptimierten Auslegung und Anwendungspraxis

# FÜR GEWERKE DER SOLARTHERMIE BRANCHE: HERSTELLER, SHK BETRIEBE, BETEILIGTES INSTALLATIONSHANDWERK

Leitfaden Solarthermie Montagesysteme und  
Kollektorinstallation, zur kostenoptimierten  
Auslegung und Anwendungspraxis

**Konstantin Geimer**

Fraunhofer-Institut Solare Energiesysteme, ISE  
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg – GERMANY

Stand: Oktober 2019

Projektnummer: 0325860B

**Verbundpartner:** Fraunhofer IAO; IGTE Universität Stuttgart;  
**Industriepartner:** GREENoneTEC; Schweizer, Solvis, Citrin Solar; KBB Kollektorbau, Ritter Energie  
**Assoziierte Partner:** Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks e. V. (ZVDH),  
Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW), Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Inhalt

<b>1</b>	
<b>Zielsetzung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	
<b>Überblick und Einordnung</b> .....	<b>6</b>
2.1	
Mechanische Komponenten und Schnittstellen.....	7
2.2	
Prozesse .....	8
<b>3</b>	
<b>Einwirkungen, Auslegung und Sicherheitsnachweis</b> .....	<b>9</b>
3.1	
Einwirkungen durch Schnee und Wind .....	9
3.1.1	
Allgemein .....	9
3.1.2	
Lokal am Gebäude .....	9
3.2	
Kollektor.....	11
3.2.1	
Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit $R_k$ .....	12
3.2.2	
Baurechtliche Anforderungen an die Anwendung von ST Kollektoren in Deutschland und innerhalb der EU.....	13
3.2.3	
Mechanische Belastungsprüfung nach Kollektorprüfnorm ISO 9806 .....	16
3.3	
Montagesystem .....	16
3.3.1	
Tragsicherheitsnachweis und Anforderungen in Deutschland (abZ, ETA).....	19
<b>4</b>	
<b>Softwaretools und Literatur</b> .....	<b>20</b>
<b>5</b>	
<b>Best practice</b> .....	<b>23</b>
5.1	
Dachanbindung von Montagesystemen für ST Anlagen.....	23
5.1.1	
Empfehlungen .....	23
5.1.2	
Vorteilhafte Systemlösungen (für höhere Belastungsanforderungen im Bestand und allgemein) .....	25
5.1.3	
Einsatz von Formelementen als Dachanbindung (vorwiegend im Neubau) .....	27
5.1.4	
Innovative Ansätze .....	27
5.2	
Akzeptanz und Zusammenarbeit .....	28

5.3	Qualität und Verfügbarkeit von Installations- bzw. Montageanleitungen .....	29
5.4	Herstellerdokumentation zu statischen Grenzwerten .....	30
5.5	Herstellergarantie und gesetzliche Gewährleistung .....	31
<b>6</b>	<b>Kostensenkungspotentiale .....</b>	<b>33</b>
6.1	Prozessoptimierung .....	33
6.1.1	Allgemeine technisch wirtschaftliche Optimierung des Produktportfolios.....	35
6.2	Standardisierung physikalischer Schnittstellen.....	35
6.2.1	Umgang mit Marktzwängen.....	37
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>40</b>

# 1 Zielsetzung

Im Rahmen des Verbundprojekts »KoST« mit »dem Inhalt einer Kostenoptimierung in der Solarthermie durch standardisierte Komponenten und Schnittstellen wurde am Fraunhofer ISE unter anderem das Thema Kollektorbefestigung bearbeitet. Der vorliegende ST Mounting Guide fasst die Ergebnisse dieses Arbeitspakets in einem Leitfaden mit Handlungsempfehlungen zusammen.

Ziel ist es innerhalb der gesamten Wertschöpfungskette Potentiale für wirtschaftliche Lösungen für die Komponente Kollektormontage- und Befestigung mit ihren zugehörigen Schnittstellen aufzuzeigen. Unter Schnittstellen werden dabei physikalische Schnittstellen zwischen Dach, Montagesystem und Kollektor als auch mit dem Endprodukt verbundene Prozesse wie Installation, Anleitungen, Sicherheitsnachweise, Variantenmanagement etc. verstanden.

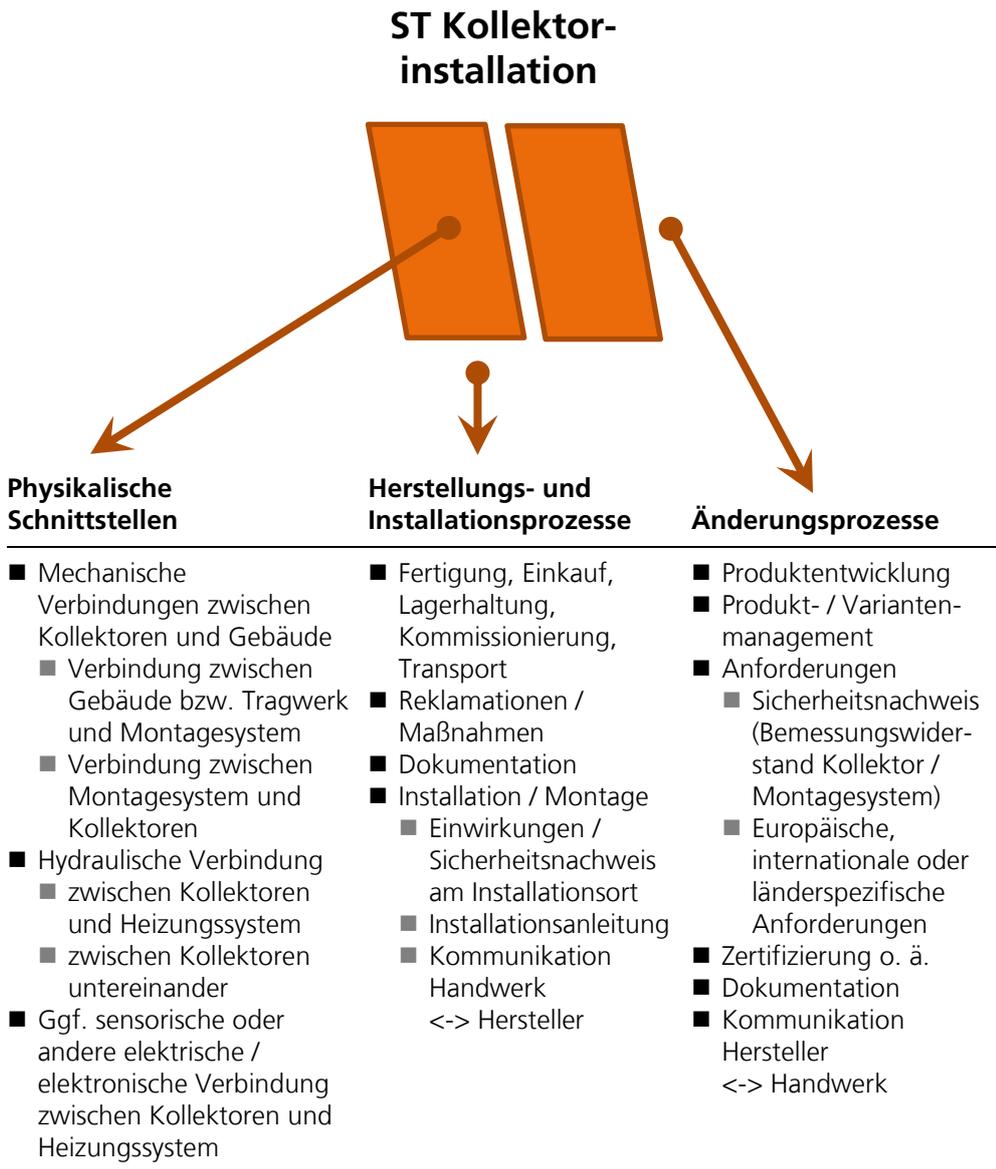
Dieser Leitfaden richtet sich an die verschiedenen Gewerke der Solarthermie Branche: Hersteller bzw. Anbieter, SHK Betriebe sowie beteiligtes Handwerk wie ggf. Betriebe für die Dachinstallation von Kollektoren oder das Dachhandwerk selbst. Auch für Betreiber bzw. Auftraggeber können die Informationen im Rahmen einer Vorplanung nützlich sein.

Das Ziel ist erreicht sofern der ST Mounting Guide für die mechanischen Verbindungskomponenten folgende Hilfestellung bieten kann:

- Überblick sowie Tools und Literatur zum Thema
- Vermeidung bekannter Probleme
- Etablierung einer Best-practice
- Bessere Abstimmung der Gewerke und deren Interessen untereinander (Hersteller, Anbieter, Installateur, Betreiber)
- Mittelfristige Reduzierung von Kosten- und Aufwand

## 2 Überblick und Einordnung

Ausgehend von einer bereits beim Endkunden installierten ST Kollektoranlage werden im Folgenden die Begrifflichkeiten im Rahmen dieses Leitfadens erläutert und eingeordnet. Der Überblick in Abb. 01 dient als Orientierungsrahmen für die weiterführenden Abschnitte. Die physikalischen Schnittstellen einer ST Kollektorinstallation werden vollständig inkl. hydraulischer oder ggf. elektrischer Anbindung aufgeführt.



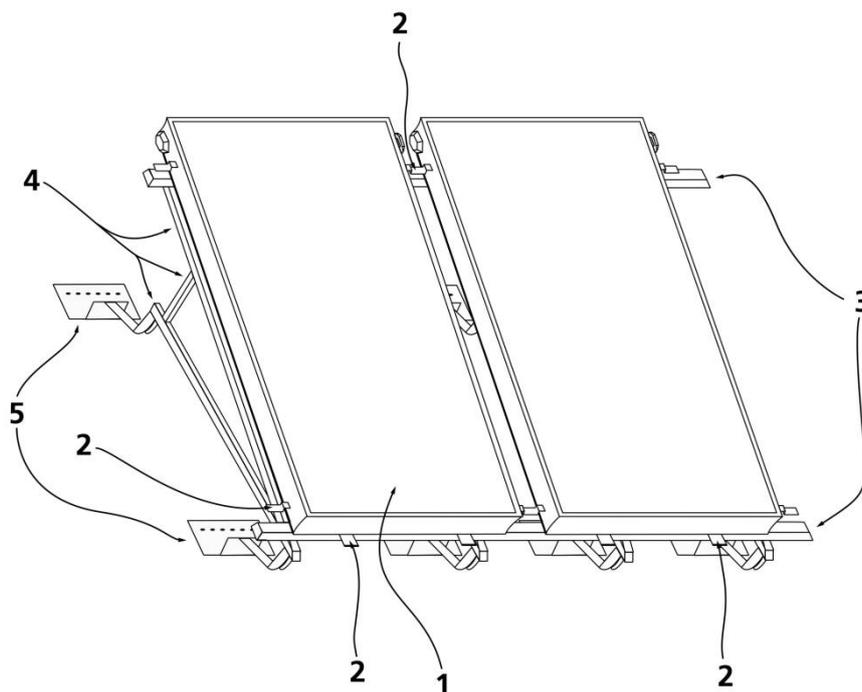
**Abb. 01 Überblick und Begriffsklärung von physikalischen Schnittstellen Prozessen einer beim Endkunden installierten ST Kollektoranlage**

Die wesentlichen an der Wertschöpfungskette beteiligten Prozesse wurden dabei in laufende Prozesse (Herstellung und Installation) sowie Änderungsprozesse unterteilt (siehe Abschnitt 2.2). Auf dieser Basis können mögliche Kostensenkungspotentiale für das Gesamtsystem diskutiert und identifiziert werden (siehe Abschnitt 6).

## 2.1

### Mechanische Komponenten und Schnittstellen

Eine Kollektorinstallation weist vergleichbar viele Einzelkomponenten bzw. Einzelteile auf die ausschließlich der mechanischen Verbindung dienen. Dies erhöht grundsätzlich die Variantenvielfalt. Abb. 02 zeigt beispielhaft die mechanischen Verbindungskomponenten einer typischen Kollektorinstallation (optional mit Aufständering). Alleine für die Befestigungsmittel zwischen Montageschienen und Kollektor (2) kommen teilweise vier oder mehr unterschiedliche Komponenten zum Einsatz (z. B. Außenklemme, Mittelklemme, Abrutschsicherung, Schrauben, Muttern, etc.)



**Abb. 02 Beispielhafte Verbindungskomponenten zwischen Kollektorinstallation und Gebäude bzw. Dach**  
1 – Kollektoren  
2 – Befestigungsmittel  
3 – Montageschienen  
4 – Aufständering (optional)  
5 – Gebäude-/Dachanbindung  
Quelle: (ISO 9806)

Mit Hilfe von Abb. 02 können die auf der vorhergehenden Seite in Abb. 01 aufgeführten mechanischen Verbindungen an Hand der Komponenten (Positionsnummern) verdeutlicht werden:

- (5)** Verbindung zwischen Gebäude bzw. Tragwerk und Montagesystem (4)/(3) (z. B. Dachhaken, Sparrenanker, Dachanker, mit ihren Schraubenbindungen an Sparren und Montagesystem, alternativ Stockschraube oder andere Dachanbindungstypen)
- (4) <-> (3)** Verbindung innerhalb Montagesystem, abhängig von Montagesystemausführung bzw. falls eine zusätzliche Aufständering eingesetzt wird (Standardfall: Winkel/Schraubverbindungen, teilweise vormontiert)
- (2)** Verbindung zwischen Montageschienen (3) und Kollektor (1) (Befestigungsklemmen mit ihren Schraubenbindungen, Abrutschsicherung als Installationshilfe, alternativ andere Befestigungen wie Befestigungswinkel oder Schrauben an Kollektorgewindebohrungen etc.)

Neben vielen auf dem Markt erhältlichen Lösungen für die Verbindung zwischen Gebäude bzw. Tragwerk und Montagesystem **(5)** wird die Verbindung zwischen

Montagesystem und Kollektor **(2)** individuell ausgeführt. Besonders hier sind Potentiale zur Kostensenkung vorhanden (vgl. Abschnitt 6).

Was genau unter »Montagesystem« verstanden wird, kann im Sprachgebrauch variieren. In Abb. 01 und Abb. 02 wurde der Fokus auf die Einzelkomponenten gelegt. Als Montagesystem wurden hier z. B. die Montageschienen oder die Verbindung aus Montageschienen und Aufständerung bezeichnet.

Im gewöhnlichen Sprachgebrauch werden zumeist unter dem Begriff »Montagesystem« alle Verbindungskomponenten **(5)-(2)** inkl. Zubehör verstanden. Wenn es um das gesamte Montagesystem einer Installation geht (alles außer Dach/Tragwerk und Kollektor) ist dies sinnvoll und wird im Rahmen dieses Leitfadens als Überbegriff verwendet.

Der Begriff »Befestigung« oder »Befestigungskomponenten« bezieht sich im Rahmen dieses Leitfadens zumeist auf die Verbindungstechnik zwischen Montagesystem und Kollektor (vgl. Position (2) Abb. 02). Im Allgemeinen Sprachgebrauch wird unter Befestigung weitaus mehr verstanden z. B. Verbindungskomponenten (Schrauben, Winkel etc.) innerhalb des Montagesystems.

## 2.2 Prozesse

Neben den beschriebenen physikalischen Schnittstellen ist eine installierte ST Kollektoranlage als Endprodukt Ergebnis unterschiedlichster Prozesse der gesamten Wertschöpfungskette. D. h. das Endprodukt bzw. seine Komponenten sind mit den Prozessen der Wertschöpfungskette inhaltlich verbunden. Dabei kann zwischen den laufenden Herstellungs-/Installationsprozessen sowie Änderungsprozessen unterschieden werden.

Wohlbekannte laufende Prozesse sind Fertigung, Einkauf, Lagerhaltung, Kommissionierung und Transport. Bezogen auf das Endprodukt bestehen jedoch wichtige Wechselwirkungen vom Hersteller zu den Fachbetrieben. Im Rahmen von Montage und Installation greifen die Fachbetriebe fortwährend auf Informationen des Herstellers zu. Die vom Hersteller ausgegebene Installationsanleitung sowie Hilfen zum Sicherheitsnachweis am Installationsort und der allgemeine Austausch vom Hersteller zum Handwerk werden daher in diesem Rahmen ebenfalls als laufende Prozesse berücksichtigt.

Änderungsprozesse greifen dann wenn neue Ziele oder verpflichtende neue Anforderungen umgesetzt werden. Wird beispielsweise ein neuer Kollektor entwickelt ist es sinnvoll zu evaluieren, ob er mit dem gleichen Befestigungssystem ausgestattet wird wie die bestehenden Kollektortypen. Alternativ kann es auch sinnvoll sein mit den bestehenden Kollektortypen auf ein neues Befestigungssystem umzusteigen, wenn dies Vorteile verspricht. D. h. der Änderungsbedarf bezieht sich im Rahmen von Änderungsprozessen nicht ausschließlich auf das betrachtete Endprodukt. Auch Änderungsprozesse nahestehender Produkte oder Komponenten sollten ebenfalls berücksichtigt werden um sinnvolle Gesamtlösungen zu entwickeln (weitere Ausführungen siehe Abschnitt 6).

## 3 Einwirkungen, Auslegung und Sicherheitsnachweis

### 3.1 Einwirkungen durch Schnee und Wind

#### 3.1.1 Allgemein

Einwirkungen durch Schnee und Wind sind umfassend in der Normenreihe des Eurocode 1 (DIN EN 1991-1-4; DIN EN 1991-1-3) mit ihren entsprechenden nationalen Anhängen beschrieben. Ausgehend von charakteristischen Maximalwerten (z. B. Auftreten von Windmaximum alle 50 Jahre) werden länderspezifische Zonenkarten abgeleitet. Aus den Zonenkarten ergibt sich der Basisgeschwindigkeitsdruck  $q_b$  für Wind oder die charakteristische Schneelastzone.

Die bauliche oder landschaftliche Situation vor Ort beeinflusst dabei die tatsächlichen Lasten entscheidend. Die Windbelastung wird beispielsweise in Regionen enger Bebauung tendenziell abgeschwächt oder im Fall von Schneelasten nehmen diese in Höhenlagen zu.

Daher ist es erforderlich die Zonenkarten für Wind durch regionale Geländekategorien sowie eine Höhenangabe zu ergänzen. Über den Geländefaktor bzw. Beiwert für den Außendruck ( $c_e$ ) und die Höhe über Grund ( $z$ ) lassen sich charakteristische Werte für den **Böengeschwindigkeitsdruck  $q_p$**  bei bestimmter Höhe über dem Boden berechnen.

Im Fall von **Schneelasten** ergibt sich der **charakteristische Wert  $s_k$**  über die Schneelastzone sowie die Angabe der Höhe über dem Meeresniveau.

Sonderfälle und Einschränkungen sind in der Normenreihe des Eurocode 1 beschrieben (leicht verständlicher Überblick hierzu vgl. Geimer 2013, S. 35 ff)

Das Zuordnen bestimmter Orte zur entsprechenden Zone bzw. Höhe kann innerhalb der Normen mühsam sein. Die Firma Dlubal Software GmbH bietet eine **kostenfreie Online-Lösung um grafisch oder per Ortseingabe die charakteristischen Werte für Schnee ( $s_k$ ) und den Basisgeschwindigkeitsdruck für Wind ( $q_b$ ) zu bestimmen** (siehe <https://dlubal.com/lastzonen>). Das Tool ist für die meisten Länder der EU und die Schweiz verfügbar (vgl. Abschnitt 4).

#### 3.1.2 Lokal am Gebäude

Ausgehend von dem **Böengeschwindigkeitsdruck  $q_p$**  bzw. der **charakteristischen Schneelast  $s_k$**  die Belastung lokal am Gebäude abzubilden bringt unterschiedliche Berechnungsverfahren mit sich. Etwa so viele, wie es grundverschiedene Gebäudetypen gibt. Der Einfluss des Kollektors selbst am Gebäude ist dabei noch nicht berücksichtigt. Allein der Einfluss von Gebäudegeometrie, Dachart, Gebäudehöhe und Position der Einwirkung sowie ggf. Einwirkungskombinationen ist normativ in einem einzigen Berechnungsverfahren nicht abzubilden und daher in viele Einzelbetrachtungen untergliedert. Für Experten ist das Auswählen und Kombinieren der richtigen Teilbetrachtungen selbstverständlich. Es erscheint jedoch fraglich und unwirtschaftlich vor jeder Installation einer ST-Anlage (zumindest im Einfamilienhausbereich) Experten

vom Fach zu Rate zu ziehen, um die Einwirkungen lokal am Gebäude im Bereich der potentiellen Kollektorinstallation zu bestimmen.

-----  
Einwirkungen, Auslegung und  
Sicherheitsnachweis  
-----

Das Wissen über die charakteristischen Einwirkungen am Aufstellort einer ST Anlage ist jedoch für die Gebrauchstauglichkeit und die Haftung bzw. Herstellergarantie von Bedeutung. Die bisherige Praxis der Kollektoranbieter besteht darin Auszüge aus der Normenreihe des Eurocode 1 innerhalb der Kollektordokumentation aufzuführen. Dies um sicherzustellen, dass Kollektoren mit Montagesystem nur an Orten am Gebäude verbaut werden an welchen der Bemessungswiderstand des Gesamtsystems durch die charakteristischen Einwirkungen bzw. die Bemessungseinwirkung nicht überschritten wird (vgl. Abschnitt 3.2). Aus Sicht des installierenden Handwerkers erscheint dies mehr als Absicherung auf Anbieterseite im Gegensatz zu einer wirklichen Hilfe oder Absicherung für den Installateur (vgl. Abschnitt 5.4). Bei größeren Anlagen (z. B. auf Flachdächern von Mehrfamilienhäusern) ist eine externe statische Prüfung von Aufstellbereich und Anlage sinnvoll und abbildbar. Dieser Fall wird inzwischen für Schneelasten insbesondere für aufgeständerte ST und PV Anlagen normativ im nationalen Anhang berücksichtigt (DIN EN 1991-1-3/NA).

Grundsätzlich bietet der Eurocode 1 gute Verfahren mit entsprechenden Beiwerten die lokale Kraft bzw. Druck-/Sogbelastung am Dach bzw. den Gebäudepositionen einer potentiellen Kollektorinstallation zu bestimmen. Die lokale Windeinwirkung auf Basis des **Böengeschwindigkeitsdruck  $q_p$**  an unterschiedlichen Zonen von Wänden und Dächern unterschiedlichen Typs sind in DIN EN 1991-1-4, Abschnitt 7.2 abgebildet. Die lokale Schneebelastung auf Basis der **charakteristischen Schneelast  $s_k$**  auf Dächern ist in Abschnitt 5 (DIN EN 1991-1-3) beschrieben. Besondere Kombinationen von Schnee und Wind sind hier ebenfalls aufgeführt. In Teilen lassen sich sogar Kollektoren als Aufbauten berücksichtigen. So sind beispielsweise die Schneelasten durch »Verwehungen an Wänden und Aufbauten« in Abschnitt 6.2 von (DIN EN 1991-1-3) abgebildet. Die Kollektoren können dabei je nach Verschaltung in den Geltungsbereich von »Aufbauten« fallen.

Der Einfluss der Kollektorinstallation selbst bleibt jedoch zum großen Teil unberücksichtigt. Dies scheint bei Indachsystemen weniger kritisch. Aufdachinstallationen oder aufgeständerte Flachdachanlagen können je nach Einwirkungsart und Einfluss am Gebäude zu unerwarteten Effekten führen. Beispielsweise kann von Kollektoren, welche im unteren Dachbereich installiert wurden, schnell abrutschender Schnee eine potentielle Gefahr darstellen, während derartige Effekte auf dem gleichen Ziegeldach ohne Kollektor ausbleiben würden. Für Glasanbauten gibt es hier sicherlich Hinweise – diese sind jedoch nicht unmittelbar für Kollektoren übertragbar.

Trotz dieser Unzulänglichkeiten ist in der Praxis die Anzahl an Schadensfällen die auf den bisher unberücksichtigten Einfluss des Kollektors selbst zurückzuführen sind mutmaßlich als sehr gering einzustufen. Die häufigsten Schäden werden durch Planungsfehler oder Installationsfehler ausgelöst (Geimer 2013). Daher sollte der Fokus bei übersichtlichen wirkungsvollen Planungshilfen sowie Fehlervermeidung bei der Installation liegen (vgl. Abschnitt 5.4). Zu wirkungsvollen Planungshilfen gehört ebenso ein leicht zugängliches Verständnis für die Einwirkungen und deren Bestimmung am Gebäude.

Auch für die lokale Belastung am Gebäude gibt es online kostenfreie Berechnungshilfen. Die Firma panel sell GmbH bietet beispielsweise eine **Berechnung der Schneelast unter Berücksichtigung des Formfaktors für geneigte Dächer**. Nach Eingabe von Adresse und Dachneigung ermittelt das Tool die **charakteristische Schneelast  $s$  auf dem Dach** (<https://www.panelsell.com/schneelast-berechnen>, vgl. Abschnitt 4).

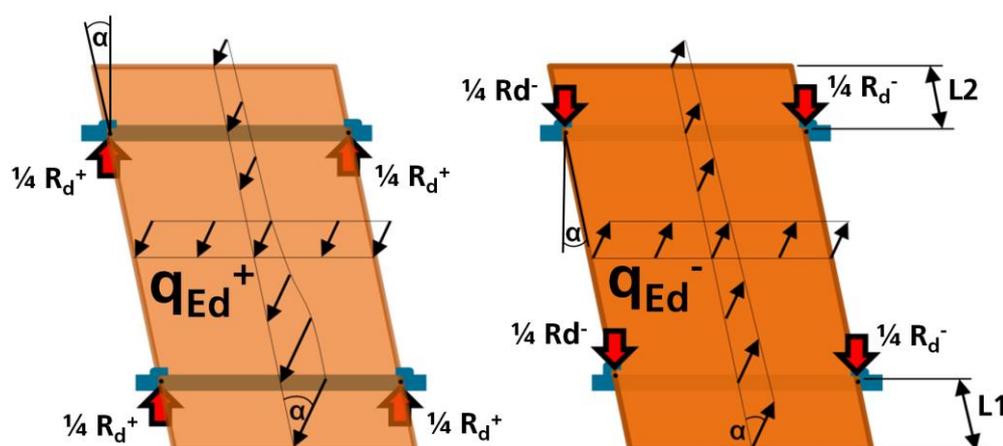
Dabei ist jedoch Vorsicht geboten: Was hier als allgemeine Berechnung erscheint ist für Sonderfälle irreführend. Die Berechnung gilt beispielsweise nicht für Sheddächer oder Trogdächer in denen sich im Bereich der Dachstöße Schnee anstauen kann. Es gilt auch nicht für Dächer unterhalb von Höhengsprüngen an denen sich ebenfalls abfallender Schnee vom Dach oberhalb anstauen kann.

Ein für Handwerker leicht und schnell zu bedienendes Tool zur Einschätzung der Einwirkungen am potentiellen Aufstellort einer ST-Anlage wäre für die Branche eine große Hilfe (z. B. als App). Dabei gilt es jedoch den unterschiedlichen Kenntnisstand des Nutzerkreises zu berücksichtigen. Die Anwendung eines solchen Tools vom Dachhandwerk würde wegen der entsprechenden Vorkenntnisse zu Lasten auf dem Dach zu verlässlicheren Ergebnissen führen als die Anwendung des Tools von Fachbetrieben der Heizungsbranche.

### 3.2 Kollektor

Je nach Konstruktion ergibt sich für Kollektoren ein bestimmter Bemessungswiderstand  $R_d$ . Er stellt die maximalen Werte für Druck- und Zugkraft dar, mit welcher der Kollektor ohne bleibende Schäden belastet werden kann bzw. mit welcher der Kollektor die Kräfte unbeschadet an die Befestigungspunkte übertragen kann. Dies entspricht einem Zustand in dem die Gebrauchstauglichkeit vollständig sichergestellt ist. Sicherheits- und Teilsicherheitsbeiwerte sind im Rahmen des Bemessungswiderstands bereits berücksichtigt. Die Teilsicherheitsbeiwerte resultieren zumeist aus statistischen Betrachtungen und sind im Teilsicherheitskonzept des Eurocode 0 umfassend beschrieben (DIN EN 1990). Der Bemessungswiderstand ist an die Belastungsrichtung (z. B. senkrecht) sowie die Einbausituation (Kollektorbefestigungen und deren Position) gekoppelt. Abb. 03 zeigt schematisch den Bemessungswiderstand  $R_d$  für einen Flachkollektor mit vier Auflagerpunkten für unter einem Winkel  $\alpha$  wirkende Druck ( $R_d^+$ ) und Zugkräfte ( $R_d^-$ ).

Die Montageschienen haben in diesem Beispiel lediglich an zwei Punkten tragende Funktion (keine tragende Kollektorrückwand). Der Bemessungswiderstand wurde an den vier Auflagerpositionen jeweils zu  $\frac{1}{4}$  angesetzt, dies ist zweckmäßig sofern die Auflagerpositionen gleich verteilt sind ( $L1 = L2$ ).



**Abb. 03** Schematische Darstellung von positiven und negativen Bemessungswerten (jeweils unter Winkel  $\alpha$  zur Kollektoroberfläche) für Widerstand  $R_d$  und Einwirkung als Flächenlast  $q_{Ed}$  am Beispiel eines Flachkollektors mit vier Auflagerpunkten und dessen Befestigungspositionen ( $L1, L2$ )

Auf der Einwirkungsseite wirkt die Bemessungseinwirkung  $E_d$  unter einem Winkel  $\alpha$ . Das Eigengewicht (bei Kollektoren inkl. Wärmeträger) wird ebenfalls der Einwirkungsseite zugeschrieben. Im Beispiel (Abb. 03) wurde als Basis für  $E_d$  eine ungleichmäßige Flächenlast  $q_{Ed}$  dargestellt (z. B. Schneeanhäufung im

Kollektorunterbereich oder ungleichmäßiger Windsog). Auf Einwirkungsseite sind in der Bemessungssituation ebenfalls Teilsicherheitsbeiwerte bereits berücksichtigt. Diese beziehen sich z. B. auf die Kombination von Wind und Schneelasten. Informationen zur Bemessungssituation der Einwirkungen finden sich in Eurocode 0 (DIN EN 1990) sowie Eurocode 1 (DIN EN 1991-1-1; DIN EN 1991-1-3; DIN EN 1991-1-4) mit entsprechenden nationalen Anhängen. Die Bemessungssituation auf der Einwirkungsseite berücksichtigt dabei z. B. auch böige Windverhältnisse und die damit einhergehende Erhöhung der Einwirkung für Druckstöße durch Böen. Wie Effekte durch stark böige Windeinwirkung praktisch zu erhöhten lokalen (maximalen) Auflagerreaktionen an einer Kollektorinstallation führen konnte z. B. im Rahmen des geförderten Projekts »MechTest« gezeigt werden (vgl. Geimer 2013, S. 82 ff).

**Für die Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit gilt grundsätzlich dass der Bemessungswiderstand größer oder gleich der Bemessungseinwirkung ausgelegt wird:  $E_d \leq R_d$ .**

Aus diesem Grund ist **eine Angabe des Bemessungswiderstands  $R_d$  für die Hauptwirkungsrichtungen mit Befestigungspositionen höherwertig als eine alleinige Angabe der Bemessungseinwirkung  $E_d$ .**

Ausschließliche Angaben über die Bemessungseinwirkung können zur Folge haben, dass Potentiale der Belastbarkeit des Kollektoraufbaus ungenutzt bleiben. Dies weil als Bemessungseinwirkung auch geringere Werte als der Bemessungswiderstand des Kollektors angegeben werden können und Befestigungspositionen sowie zugehörige Wirkungsrichtungen unberücksichtigt bleiben.

Erfreulicherweise geben vereinzelt Hersteller/Anbieter sowohl Bemessungswiderstand als auch die Bemessungssituation für die Einwirkung am Kollektor an. Das ist bisher jedoch ein geringer Teil. Dies ist für den Kollektor vergleichbar einfach, weil der Bemessungswiderstand (gekoppelt an die Befestigungspositionen) einem konstanten Wert entspricht und nicht variiert. Das Montagesystem als tragende Verbindung zwischen Kollektor und Dach gilt es dabei so auszuwählen, dass es die Lasten von den Befestigungspunkten des Kollektors sicher an das Dach/Tragwerk ableiten kann. Dies jedoch sinnvollerweise nur für die lokale Bemessungssituation. An dieser Stelle besteht Potential zur Kostenreduktion, wenn das Montagesystem (im Idealfall durch modulare Bauweise) auf die lokale Bemessungseinwirkung angepasst werden kann um einer potentiellen Überdimensionierung entgegenzuwirken (vgl. Abschnitt 3.3).

### 3.2.1 Bestimmung der charakteristischen Tragfähigkeit $R_k$

Je nach Kollektorkonstruktion kann die charakteristische Tragfähigkeit  $R_k$  bzw. der Tragwiderstand berechnet oder durch Versuche ermittelt werden. Die charakteristische Tragfähigkeit  $R_k$  berücksichtigt keine Teilsicherheitsbeiwerte und weist daher einen höheren Wert auf als der Bemessungswiderstand  $R_d$ :  $R_k > R_d$

Eine Berechnung ist vergleichbar einfach, wenn für Material- und Konstruktionsart harmonisierte europäische Normen verfügbar sind wie z. B. die Normenreihen (Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten und Stahlbauteilen) oder (Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken). Aus dem Teilsicherheitskonzept dieser oder zusätzlicher Normen wie Eurocode 0 (DIN EN 1990) ist der Bemessungswiderstand  $R_d$  für unterschiedliche Belastungsrichtungen ableitbar. Die derzeit verfügbaren Normenreihen sind jedoch grundsätzlich für Bauwerke ausgerichtet und daher nur bedingt für Kollektorkonstruktionen anwendbar.

Wenn keine harmonisierte Norm oder keine sonstigen Berechnungshilfen für die Konstruktion verfügbar ist, kann die Tragfähigkeit alternativ durch Versuche ermittelt werden. Dies ist beispielsweise sinnvoll wenn Klebungen oder Polymere Teil der tragenden Konstruktion darstellen.

-----  
Einwirkungen, Auslegung und  
Sicherheitsnachweis  
-----

**Versuche sind auch dann sinnvoll wenn absehbar ist, dass dadurch eine höhere Tragfähigkeit als durch Berechnungen erreicht werden kann.**

Bei Klemmverbindungen wird im Allgemeinen rechnerisch eine geringere Tragfähigkeit als durch Versuche erreicht. Daher sind für diesen Fall Versuche wirtschaftlich und sinnvoll (vgl. allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Prüfungen am Gesamtsystem im folgenden Abschnitt).

### 3.2.2

#### **Baurechtliche Anforderungen an die Anwendung von ST Kollektoren in Deutschland und innerhalb der EU**

Baurechtlich wird zwischen dem Produkt eines ST Kollektors und dessen baulicher Anwendung in Form einer ST Anlage unterschieden. In Abb. 04 ist die Übersicht der Zusammenhänge produktseitig (links) und für die bauliche Anwendung (rechts) dargestellt.

**Produktseitig** können ST Kollektoren nach der Druckgeräterichtlinie (EU Richtlinie 2014/68/EU) CE gekennzeichnet werden. Es sind jedoch ggf. **zusätzliche nationale Produktanforderungen zu erfüllen** weil die Druckgeräterichtlinie nicht ursächlich für ST Kollektoren entwickelt wurde.

Über eine ETA (European Technical Approval) lassen sich EU weit die Produktanforderungen erfüllen. Dies ist jedoch mit einem sehr hohen Organisations-, Zeit- und Kostenaufwand verbunden, stellt allerdings für einen EU weiten Einsatz derzeit die beste Lösung dar.

Die Kollektornorm EN 12975 befindet sich derzeit in Bearbeitung mit dem Ziel einer Harmonisierung hin zur hEN 12975 (Mandat M/369 der Europäischen Kommission). Die Harmonisierung ist frühestens 2021 zu erwarten. Dem Bearbeitungsvorgang kommt eine besondere Bedeutung zu: Ist die harmonisierte Kollektornorm hEN 12975 lt. EU Amtsblatt in Kraft getreten, so sind **ST Kollektoren welche mit der hEN 12975 konform sind** geregelte Bauprodukte nach der Bauproduktenverordnung (EU Verordnung Nr. 305/2011). Für geregelte Bauprodukte sind alle Produktanforderungen EU weit erfüllt. D. h. es sind **keine zusätzlichen nationalen Produktanforderungen zulässig**. Dieser Sachverhalt wurde in einem Urteil bezüglich der grundsätzlichen Gültigkeit von harmonisierten europäischen Normen vom Europäischen Gerichtshof zum 10.04.2019 bestätigt (EuGH T-229/17). In diesem Zusammenhang ist die Einordnung der Bedeutung des Urteils in Form einer Mandanteninformation der Kanzlei Kopp-Assemacher & Nusser empfehlenswert zu lesen (Kopp-Assemacher & Nusser).

Im Gegensatz dazu gelten für die bauliche Anwendung eines Produkts nationale Regelungen, falls diese vorhanden sind. Beispielhaft wird im Folgenden die Situation in Deutschland geschildert.

Seit über fünf Jahren waren ST-Kollektoren und PV-Module in Deutschland in die Bauregelliste geregelter Bauprodukte aufgenommen. Für ST-Kollektoren mit mechanisch gehaltenen Glasdeckflächen mit einer maximalen Einzelglasfläche bis 3 m<sup>2</sup>; im Dachbereich mit einem Neigungswinkel  $\leq 75^\circ$  oder für gebäudeunabhängige Solaranlagen im öffentlich unzugänglichen Bereich ist demnach kein Nachweis der Standsicherheit für den Kollektor selbst erforderlich (BSW 2012).

Durch die derzeitige Novellierung des Bauordnungsrechts wurden die Bauregellisten in die Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB) überführt. Im aktuellen Muster (MVV TB) welches die Grundlage für die VV TB der Bundesländer darstellt sind ebenfalls ST-Kollektoren und PV-Module als geregelte Produkte im oben genannten Rahmen gelistet (DIBt MVV TB 2017).

Einwirkungen, Auslegung und Sicherheitsnachweis

Für ST-Kollektoren oder PV-Module welche den beschriebenen Rahmen nicht erfüllen gelten zusätzliche Anforderungen. Dies gilt beispielsweise schon für ST-Kollektoren die potentiell für den Fassadenbereich vorgesehen sind (Neigungswinkel > 75°) oder für Kollektoren innerhalb derer die Glasscheibe ausschließlich durch Klebung befestigt ist. Hierfür sind die Anforderungen des Glasbaus maßgeblich (DIN 18008).

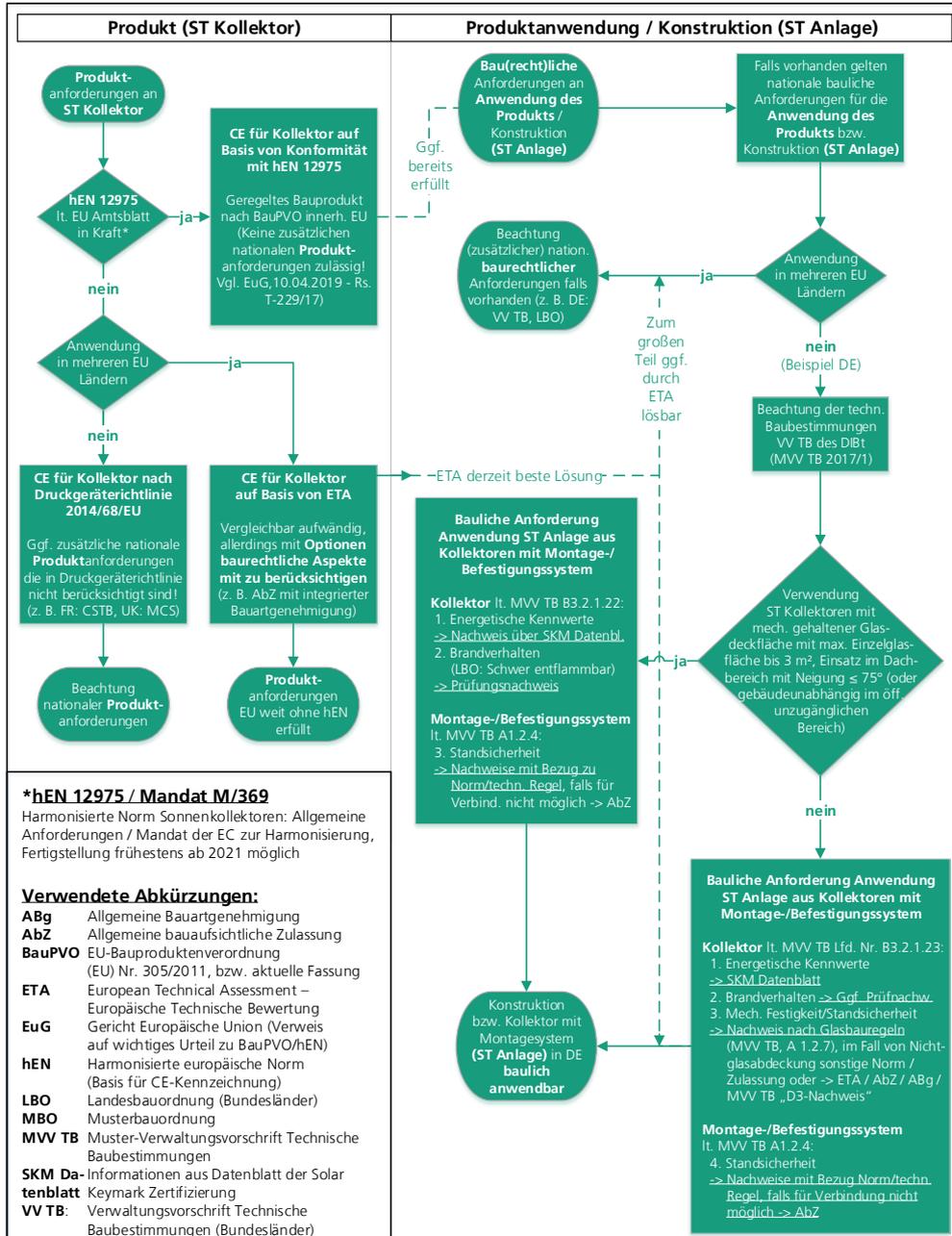


Abb. 04 Übersicht über Produkt- und baurechtliche Anforderungen an Kollektoren bzw. ST Anlagen innerhalb der EU. Das Produkt Kollektor wird dabei von der Anwendung bzw. Konstruktion in Form einer ST Anlage (Kollektoren mit Montagesystem) unterschieden. Als Anwendungsbeispiel sind die derzeitigen nationalen Anforderungen in Deutschland aufgeführt.

Eine gute Produktplanung unter Beteiligung von Tragwerksplanern mit Erfahrung aus dem Glasbau kann dabei mutmaßlich mit vergleichbar wenig Aufwand die Anforderungen erfüllen (z. B. bezüglich der Wahl des Glaseinstands etc.)

Für ST Kollektoren in Form von kleinen Fassadenelemente ( $\leq 0,4 \text{ m}^2$ ,  $\leq 5\text{kg}$ ) gibt es eine Ausnahme: Diese können nach (DIBt MVV TB 2017, Abschnitt D 2.2.2.1) verwendet werden, ohne dass die Anforderungen des Glasbaus greifen (DIBt 2012).

-----  
Einwirkungen, Auslegung und  
Sicherheitsnachweis  
-----

Bisher gilt in Deutschland für abweichende nach den VV TB nicht geregelte Bauprodukte: Fehlt es an harmonisierten Normen zur Berechnung oder werden Versuche zur Bestimmung der Tragfähigkeit herangezogen so ist in Deutschland nach den Anforderungen des DIBt eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich (DIBt 2012). Im Rahmen einer abZ wird die mechanische Verbindung in den Hauptwirkungsrichtungen mit statistischer Relevanz geprüft und die charakteristische Tragfähigkeit abgeleitet. Hieraus ergibt sich der Bemessungswiderstand unter Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten sowie Kombinationen unterschiedlicher Wirkungsrichtungen.

Eine abZ hat den Vorteil einer umfassenden Sicherheit und Dokumentation für die beinhaltende Verbindung. Die Ergebnisse sind klar und strukturiert aufgeführt und lassen sich vergleichsweise gut für weitere Berechnungen verwenden.

Leider gibt es auch viele offensichtliche Nachteile mit denen die Branche seit Jahren zu kämpfen hat und welche eine abZ in Teilen für den Markt praktisch unbrauchbar macht:

- Zeitdauer Beantragung bis Erteilung: Ein bis zwei Jahre (je nach Komplexität und Erfahrungswerten des Bearbeitungsteams)
- Vergleichbar hohe Kosten (für einfache Verbindung rund 10-20 T €)
- Vergleichbar hohe Anforderungen / Folgekosten über dokumentierte Zuliefererqualität hinaus
  - Je nach Fertigungsart zusätzliche Anforderungen an werkseigene Produktionskontrolle (z. B. wiederholende Zugversuche an Produktionscharge, Überprüfung der Materialzusammensetzung durch geeignete Versuche etc.)
  - Mindestens jährliche Fremdüberwachung der werkseigenen Produktionskontrolle
- Zusätzliche Dokumentationsanforderungen

Neben dem Hauptproblem der zu langen Bearbeitungsdauer wäre eine Stärkung der Verantwortlichkeit auf Hersteller bzw. Zuliefererseite wünschenswert (z. B. als alternative eine Prüfung der vertraglichen Haftung für Materialfehler auf Zuliefererseite statt einer Fremdüberwachung der Produktionskontrolle).

Eine abZ erfüllt die Anforderungen in Deutschland. Das Pendant auf EU-Ebene ist die Europäisch Technische Bewertung (European Technical Assessment, ETA). Eine ETA (statt einer abZ) ist wie oben beschrieben für den europäischen Markt anzustreben. Dies auch weil teilweise nationale Aspekte der baulichen Anwendung mit berücksichtigt werden können. Für eine ETA ist jedoch mit zusätzlichen Wartezeiten und Kosten zu rechnen. Dies weil der Aufwand um alle Anforderungen zu erfüllen entsprechend höher ausfällt. Ohne ETA gibt es eine Reihe länderspezifischer Anforderungen die jeweils einzeln erfüllt werden müssen (z. B. CSTB in Frankreich, MCS in GB etc.) Teilweise kann es sogar vorkommen, dass obwohl eine ETA vorliegt für die nationale Anwendung bzw. Verwendbarkeit zusätzliche Vorgaben zu erfüllen sind.

Unabhängig vom ST Kollektor muss für das zugehörige Montagesystem bzw. Befestigungssystem in Deutschland nach DIBt MVV TB 2017, A1.2.4 ein Nachweis nach einschlägigen Normen über die Standsicherheit geführt werden (vgl. Abschnitt 3.3.1).

Auch wenn keine abZ oder ETA angestrebt wird sollten interne Berechnungen des Bemessungswiderstands bei unterschiedlichen Lastszenarien (Wirkungsrichtung und Befestigungspositionen) durch externe Experten (Statiker, Tragwerksplaner) schriftlich

bestätigt und durch Versuche überprüft werden. Eine Überprüfung am installierten Gesamtsystem inkl. Montagesystem wie es z. B. am Fraunhofer ISE möglich ist hat sich dabei ebenfalls als wichtiger Qualifizierungsschritt erwiesen. Diese Maßnahmen helfen die eigenen Berechnungen nachvollziehbar zu dokumentieren oder ggf. die Berechnungsmethoden theoretisch und praktisch zu evaluieren.

-----  
Einwirkungen, Auslegung und  
Sicherheitsnachweis  
-----

### 3.2.3

#### Mechanische Belastungsprüfung nach Kollektorprüfnorm ISO 9806

Die mechanische Belastungsprüfung im Rahmen einer Solar Keymark Kollektorzertifizierung nach der Kollektorprüfnorm (ISO 9806) stellt lediglich eine Stichprobenprüfung dar. Ziel ist es sicherzustellen ob der Kollektor den vom Hersteller vorgegebenen senkrechten Belastungsgrenzen ohne bleibende Schäden standhält.

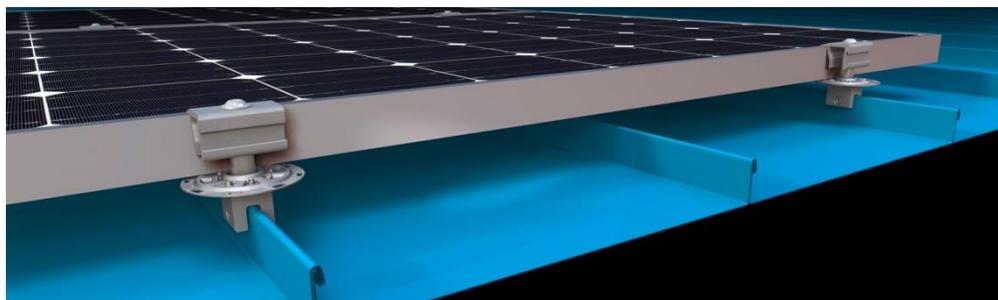
Eine optionale schrittweise Lasterhöhung bis zum Versagen bringt den Mehrwert, dass für dieses Prüfsample die Grenze der Tragfähigkeit bestimmt wird. Im besten Fall erfolgt die Prüfung inkl. original Montagesystemaufbau. Hieraus lässt sich jedoch kein Bemessungswiderstand ableiten, da der Versuch lediglich an einem einzelnen Prüfsample durchgeführt wird und eine statistische Streuung / Teilsicherheitsbeiwerte unberücksichtigt bleiben.

Eine Musterprüfung bis zum Versagen ist jedoch in mehrfacher Hinsicht hilfreich. Zum einen zeigt sich an welcher Stelle ein Versagen zuerst auftritt (z. B. erst am Montagesystem oder erst am Kollektor). Weiterhin hilft es einzuschätzen inwiefern das Prüfsample den Erwartungen entspricht oder, ggf. durch erhöhte Produktionstoleranzen oder mögliche Fehler in der Dokumentation des Bemessungswiderstands, davon abweicht.

## 3.3

### Montagesystem

Idealerweise reduziert sich ein Montagesystem auf ein Minimum: Es benötigt keine zusätzlichen Montageschienen. Dies ist dann möglich, wenn die Befestigungspositionen der ST Kollektoren oder PV Module an diejenigen der Tragstruktur anpassbar sind. Dies ist z. B. für PV-Installationen an Falzdächern üblich: Hier reichen einzelne Verbindungskomponenten aus, ein zusätzliches Montagesystem mit Montageschienen entfällt (vgl. Abb. 05).



**Abb. 05 Beispiel: Falls sich Tragwerksanbindungspunkte und Befestigungspunkte kombinieren lassen werden keine Montageschienen benötigt**  
Quelle: S-5!® PV Kit 2.0;  
[www.s-5.com](http://www.s-5.com)

Sollte die Flexibilität nicht ausreichen kann der Rahmen selbst als Montageschiene ausgeführt werden um Material und Installationsaufwand zu reduzieren. Voraussetzung dafür ist ein individuelles Rahmenkonzept und eine Möglichkeit der Verbindung der Rahmenschienen untereinander wie im Beispiel in Abb. 06 gezeigt. Hinsichtlich der horizontalen Flexibilität ist dieses System vorteilhaft. Problematisch gestalten sich jedoch die vertikalen Abstände der Tragwerksanbindungen. Diese sollten

geometrisch zu den PV Modulen passen. Alternativ muss die Kompatibilität zu den Anbindungspunkten am Dach durch Langlöcher oder lokale Schienenerweiterungen hergestellt werden (wie im Langloch zur Dachanbindung in Abb. 06 erkennbar).

-----  
Einwirkungen, Auslegung und  
Sicherheitsnachweis  
-----



**Abb. 06 Beispiel: Integrierte Montageschienen statt zusätzliches Schienensystem**  
Quelle: MageMount;  
[www.magerack.com](http://www.magerack.com)

Diese innovativen Beispiele aus der Branche der PV Montagesysteme sollen zeigen wie die Aufgabe eines Montagesystems auch gelöst werden kann.

Die ursächliche Aufgabe eines Montagesystems besteht darin die geometrische Kompatibilität der Befestigungspositionen von ST Kollektor oder PV Modul auf der einen Seite, mit den möglichen Befestigungspositionen am Tragwerk auf der anderen Seite herzustellen. Ein Montagesystem bildet damit die notwendige Schnittstelle, weil in den meisten Fällen keine direkte geometrische Kompatibilität gegeben ist. Dabei müssen die an den Befestigungspunkten von ST Kollektor oder PV Modul entstehenden Einwirkungen zuverlässig und sicher an die Befestigungspositionen der Tragstruktur weitergeleitet werden wie in Abb. 07 beispielhaft für Druck dargestellt.

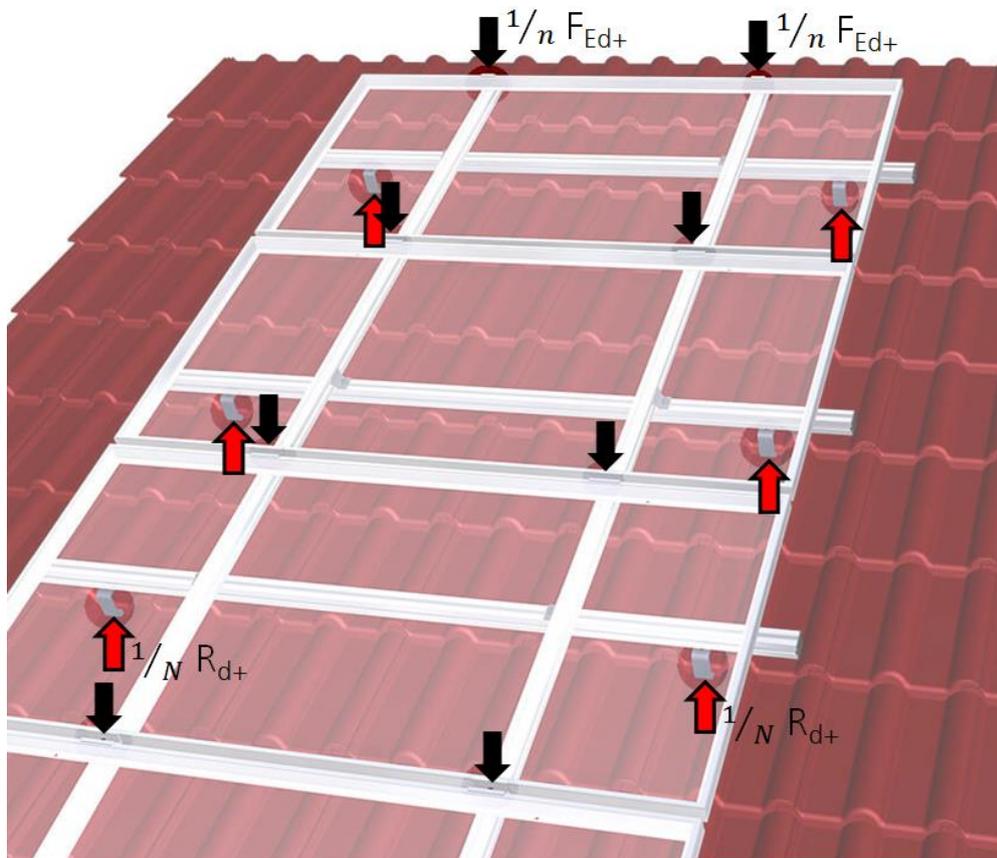
Im Gegensatz zu einem ST Kollektor oder PV Modul, was einen bestimmten konstanten Bemessungswiderstand  $R_d$  aufweist (vgl. Abschnitt 3.2) decken Montagesysteme idealerweise einen großen flexiblen Bereich an Kompatibilität ab. Dabei müssen sowohl die geometrischen Anbindungspositionen für unterschiedliche Produkte und Tragwerkspositionen als auch die verschiedenen Einwirkungsszenarios berücksichtigt werden. So ergibt sich theoretisch für jede Kombination aus einem zu installierenden Produkt (Einwirkungen, Eigengewicht, Größe und Anbindungspositionen) sowie der Anzahl und Verteilung der Tragwerksanbindungspunkte am Dach ein individueller Bemessungswiderstand  $R_d$  für das gesamte Montagesystem. Dabei sind Effekte wie thermische Ausdehnung, ungleichmäßige (Vor-)Spannungen oder Kraftwirkungen in einer anderen als der normalen Belastungsrichtung zusätzlich zu berücksichtigen.

Es erscheint naheliegend mit modularen Systemen zu arbeiten welche bereits konstruktiv viele Freiheitsgrade aufweisen und softwaregestützt statisch berechnet werden können. Die Anzahl der Befestigungspunkte von ST-Kollektor oder PV-Modul ( $n$ ) als auch die Anzahl der Tragwerksanbindungspunkte ( $N$ ) sind für jede Installation individuell. Auch die Abstände der Verbindungspositionen sind selten identisch. Eine Auslegung und Berechnung auf Basis der Dachinformationen erscheint hinsichtlich der Anforderungen absolut sinnvoll.

Trotzdem ist es für viele Systeme nicht erforderlich eine individuelle Auslegungs- oder Statikberechnung durchzuführen. Dazu müssen jedoch alle dokumentierten Anforderungen an den Einsatz des Montagesystems eingehalten werden wie: Mindest- und Maximalabstände sowie Mindestanzahl an Anbindungspunkten je Lastszenario (Auslegungswiderstände des Montagesystems).

Es wird für die Anwendung einfacher, wenn das Montagesystem nur auf der Tragwerksanbindungsseite flexibel bleiben muss und auf der Seite von Kollektoren oder Modulen feste geometrische Maße vorgegeben werden. Dies bringt jedoch die Abhängigkeit zu den passenden Produkten mit sich.

Einwirkungen, Auslegung und Sicherheitsnachweis



**Abb. 07 Aufgabe eines Montagesystems am Beispiel positiven Drucks: Einwirkung ausgehend von Modul- oder Kollektorbefestigungspunkten hin zu den Positionen der Tragwerksanbindung für ein zweilagiges Montagesystem**  
Quelle (ohne Lastindikatoren): [www.alltec-metalltechnik.de](http://www.alltec-metalltechnik.de)

↓  $F_{Ed+}$  Positive Gesamteinwirkung durch ST Kollektor oder PV Modul an Befestigungspositionen (ausgelöst durch Eigengewicht, Wind, Schnee)

↑  $R_{d+}$  Erforderlicher Widerstand des gesamten Montagesystems bis zur Befestigungsseite am Tragwerk um Lastweitergabe sicherzustellen

Eine Überdimensionierung erscheint verlockend um alle Herausforderungen an Einwirkungen und Anbindungsanzahl sowie Anbindungsabständen mit ausreichender Sicherheit gewährleisten zu können. Der Markt der PV-Montagesystemanbieter zeigt jedoch, dass eine große Expertise und Innovationskraft besteht diese Aufgabe mit geringstem Materialaufwand und höchster Sicherheit und Flexibilität bei gleichzeitigem Fokus auf Installationsfreundlichkeit zu bewerkstelligen (vgl. Abschnitt 4).

Die Anzahl Montagelagen bzw. Montageebenen ist dabei in erster Näherung ein Maß für die Grundflexibilität des Montagesystems. Ein zweilagiges Montagesystem kann mögliche Dachunebenheiten oder unsymmetrische Tragwerksanbindungspositionen besser ausgleichen als ein Montagesystem ohne Montageschienen. Mehrere Lagen sind allerdings auch Material- und Verbindungsintensiver.

### 3.3.1

#### Tragsicherheitsnachweis und Anforderungen in Deutschland (abZ, ETA)

-----  
Einwirkungen, Auslegung und  
Sicherheitsnachweis  
-----

Zumeist sind Montagesysteme und deren Komponenten aus Alu, nicht rostendem Stahl oder aus Kombinationen aus beiden ausgeführt. Wie bereits in Abschnitt 3.2.1 beschrieben können zur Berechnung die verfügbaren harmonisierten Normen herangezogen werden (Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten und Stahlbauteilen; Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken). Im Vergleich zur statischen Berechnung eines ST-Kollektors oder PV-Moduls erscheinen die Berechnungen einfacher. Dadurch, dass jedoch die Befestigungspositionen jeweils nicht fixiert sind, sind diese variabel zu halten was die Berechnung und Dokumentation der Anforderungen in der Praxis erschwert.

Eine Berechnung erscheint mit Abstand die günstigste und universellste Art die Verbindungen / Festigkeit nachzuweisen. **Eine Lösung kann dabei sein Verbindungen zu bevorzugen die sich gut nach den einschlägigen Normen berechnen lassen.** Dies ist z. B. möglich, wenn auf schwer zu berechnende kraftschlüssige Verbindungen (z. B. Linienlasten von Klemmverbindungen) verzichtet und stattdessen mit formschlüssigen Verbindungen gearbeitet wird.

Z. B. könnte die Kollektorklemme ausschließlich zur Aufnahme der Normalkräfte in Bezug zur Kollektorebene benutzt werden. Die Abrutschsicherung müsste dann zur Aufnahme von Schublasten konzipiert werden. In Kombination wären die aufnehmenden Lasten gut zu berechnen.

Grundsätzlich gilt wie auch für Kollektoren: Sind keine harmonisierten Normen oder keine sonstigen Berechnungshilfen für die Konstruktion verfügbar, kann die Tragfähigkeit durch Versuche ermittelt werden.

**Versuche sind auch dann sinnvoll wenn absehbar ist, dass dadurch eine höhere Tragfähigkeit als durch Berechnungen erreicht werden kann. Dies ist häufig für Klemmverbindungen bei Montagesystemen sinnvoll (vgl. Abschnitt 3.2.1).**

Fehlt es an harmonisierten Normen zur Berechnung oder werden Versuche zur Bestimmung der Tragfähigkeit herangezogen so ist in Deutschland nach den Anforderungen des DIBt eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich (DIBt 2012). Alternativ ist eine ETA (Europäisch Technische Bewertung) anzustreben. Dies bringt jedoch auch Nachteile mit sich wie bereits in Abschnitt 3.2.2 beschrieben.

Eine besonders gut vorbereitete Hilfe zur Auslegung und Berechnung von Montagesystemen und Verbindungskomponenten ist mit der VDI Richtlinie 6012 gegeben: Grundlagen Befestigung von Solarmodulen und -kollektoren auf Gebäuden (VDI-RICHTLINIEN VDI 6012 Blatt 1.4).

## 4 Softwaretools und Literatur

Neben Fachinformationen wie Merkblättern, Normen, technischen Berichten etc. gibt es inzwischen eine nennenswerte Anzahl an Software Tools. Ziel dieser Tools ist vorwiegend die mechanische Auslegung und Produktzusammenstellung (Stückliste) für ein herstellerspezifisches Montagesystem. Durch Eingabe der Kundenanforderungen wie PV-Modulgröße, Dachart, Dachschräge, Dachfläche mit nutzbaren Bereichen sowie Standort und Gebäudedaten kann die Software die maßgeblichen lokalen Einwirkungen (Wind, Schnee) ermitteln und daraus die erforderlichen Befestigungspunkte am Tragwerk sowie eine passende Montagesystemstruktur berechnen. Im Fall von Montagesystemen für PV-Anlagen ist häufig eine Datenbank mit PV-Modulen (Hersteller und Typ) und damit den Bruttogrößen hinterlegt an welchen das Montagesystem ausgerichtet wird.

Für ST-Anlagen gibt es diese Möglichkeit bisher nicht, weil ST-Montagesysteme jeweils nur für einen bestimmten Kollektortyp nutzbar sind. Trotzdem gibt es von ST Herstellern Berechnungstools welche ausschließlich für die eigenen Kollektoren mit zugehörigem Montagesystem einsetzbar sind.

Darüber hinaus gibt es Tools zur Bestimmung der Einwirkungen an Orten in Europa entlang der einschlägigen Normen (Dlupal Software GmbH). In einem Fall mit Berücksichtigung der Reduzierung der Schneelast am Schrägdach (panel sell GmbH).

Eine Übersicht der Tools ist in Abb. 08 dargestellt. Die Auflistung erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Der Fokus lag auf online verfügbaren Tools möglichst ohne obligatorische Registrierung. Ohne Registrierung waren nur sechs Tools verfügbar. Für die übrigen elf Tools war eine Registrierung erforderlich.

Anbieter	Funktionsumfang	Tool
ALUMERO Systematic Solutions GmbH	Satellitenbildgestützte Planung, Auslegung, eigener PV Montagesysteme (nur registrierte Kunden)	Solar Pro Tool <a href="https://alumero.solarprotool.com">https://alumero.solarprotool.com</a> Erläuterung Funktionsweise: <a href="https://www.alumerogroup.eu/de/produkte/solar/solar-pro-tool">https://www.alumerogroup.eu/de/produkte/solar/solar-pro-tool</a>
BayWa r.e. renewable energy GmbH	Auslegung, Berechnung eigenes PV Montagesystem »Novotegra« (nur registrierte Kunden)	Solar-Planit <a href="https://solar-planit.de">https://solar-planit.de</a>
Braas GmbH	Verschiedene Berechnungstools fürs Dachhandwerk	<a href="https://www.braas.de/services-fuer-profis/programme-fuer-profis">https://www.braas.de/services-fuer-profis/programme-fuer-profis</a>
Dlupal Software GmbH	Bestimmung Einwirkungen Schnee und Wind europaweit mit Normbezug	<a href="https://www.dlupal.com/de/loesungen/online-dienste/schnee-wind-erdbeben-lastzonen">https://www.dlupal.com/de/loesungen/online-dienste/schnee-wind-erdbeben-lastzonen</a>
Esdec B.V.	Auslegung, Berechnung eigenes PV Montagesystem »ClickFit EVO« (nur registrierte Kunden)	ClickFit EVO Calculator <a href="https://calculator.esdec.com">https://calculator.esdec.com</a>

**Abb. 08 Übersicht Tools zur statischen Auslegung sowie Berechnung von Einwirkungen für Solaranlagen mit ihren Montagesystemen (alphabetisch nach Anbieter sortiert)**

Anbieter	Funktionsumfang	Tool
IBC SOLAR AG	Auslegung, Berechnung eigene PV Montagesysteme innerhalb Kundenportal (nur registrierte Kunden)	PV Manager <a href="https://portal.abc-solar.de/">https://portal.abc-solar.de/</a>
K2 Systems GmbH	Satellitenbildgestützte Planung, Auslegung, eigener PV Montagesysteme	K2 Base On <a href="https://base.k2-systems.com">https://base.k2-systems.com</a>
Krannich Solar GmbH und Co.KG	Auslegung, Berechnung eigene PV Montagesysteme innerhalb Kundenportal (nur registrierte Kunden)	Gestellkonfigurator <a href="https://krannich-shop.com">https://krannich-shop.com</a>
Levasoft GmbH	Satellitenbildgestützte online Planungs, Auslegungs und Berechnungsplattform für solare Montagesysteme / Anlagen nach kundenspezifischen Softwareanforderungen	Solar Pro Tool <a href="http://www.solarprotool.com">http://www.solarprotool.com</a>
Lorenz Montage-systeme GmbH	Auslegung, Berechnung eigene PV Montagesysteme (Solar Pro Tool: Nur registrierte Kunden)	Kit Planer (vereinfacht) <a href="https://lorenz-montagesystem.de/planungstools/kit-planer">https://lorenz-montagesystem.de/planungstools/kit-planer</a> Solar Pro Tool <a href="https://lorenz.solarprotool.com">https://lorenz.solarprotool.com</a>
Markus Friedrich Datentechnik	Verschiedene teils kostenfreie Tools für das Dachhandwerk (umfangreiche Tools nur für registrierte Kunden / ZVDH)	MF Dach und andere Keine Online Version verfügbar
Mounting Systems GmbH	Satellitenbildgestützte Planung, Auslegung, eigener PV Montagesysteme (nur registrierte Kunden)	Solar Pro Tool Nur für Kunden verfügbar
Renusol Europe GmbH	Auslegung, Berechnung eigene PV Montagesysteme (nur registrierte Kunden, Demo-Zugang verfügbar)	Renusol Projekt-Konfigurator <a href="https://web.renusol.com">https://web.renusol.com</a>
Schletter Solar GmbH	Auslegung, Berechnung eigene PV Montagesysteme (nur registrierte Kunden)	Schletter Konfigurator Keine online Version verfügbar
Viessmann GmbH & Co. KG	Auslegung, Berechnung eigener PV-/ST-Anlagen mit Montagesystem (nur registrierte Kunden)	Vitodesk 100 Solstat (PV/Thermie) Keine Online Version verfügbar
Wolf GmbH	Auslegung, Berechnung eigene ST Kollektoren mit Montagesystem nach gültigem Baurecht	Solar Konfigurator <a href="https://www.wolf.eu/solar-conf">https://www.wolf.eu/solar-conf</a>

Browserbasierte online Tools haben u. a. folgende Vorteile:

- Keine Installation erforderlich und damit betriebssystemunabhängig
- Software Updates können ohne Nutzeraktion für alle Nutzer durchgeführt werden (keine Probleme durch unterschiedliche Versionen pro Nutzer)
- Erhöhte Datensicherheit durch serverseitige Speicherung / Backups
- Vergleichbar einfache Schnittstellen zum übrigen Online-Angebot herstellbar (z. B. Stücklisten- und Angebotserstellung)

Der Nachteil liegt hauptsächlich darin, dass die online Tools grundsätzlich nicht offline nutzbar sind und damit zwangsläufig für die Nutzung eine Internetverbindung erforderlich ist.

Trotzdem bieten große Anbieter wie Schletter oder Viessmann lokale client-basierte Tools für ihre Kunden. Dies möglicherweise auch aus dem Grund, weil die nutzenden Fachbetriebe damit vor Ort offline und unabhängig arbeiten können und nicht von einer Internetanbindung und dem Funktionieren einer online Plattform abhängig sind.

Unter den online Tools scheint sich was Funktion und Kundenkreis anbetrifft die Plattform »Solar.Pro.Tool« von Levasoft zu bewähren. Die Plattform wird von 26 namhaften Kunden verwendet u. a. von Vaillant, Mounting Systems, Alltec Metalltechnik, S:Flex, Renusol, Sunpower, Bayware und Lorenz Montagesysteme.

Wichtigste Grundlage für die Softwaretools sind die einschlägigen Normen wie die Eurocodes. Um die Anwendung der Normen zu konkretisieren oder einen individuellen Fall auszuarbeiten wurde die Literaturliste in Abb. 09 zusammengestellt.

Herausgeber	Titel	Stand
CEN	BS PD CEN/TR 16999: Solar energy systems for roofs. Requirements for structural connections to solar panels	2019-03
VDI	VDI 6012 Blatt 1.4: Befestigung von Solarmodulen und -kollektoren auf Geb.	2016-09
PV Magazine	Ausgabe Juni 2016 Artikel: »Ziegelbruch vermeiden« (S.102, <a href="#">Bezugslink</a> )	2016-06
BDH, BSW	Infoblatt 61: Arbeitsblatt zur Ermittlung von Windlasten an Solarthermischen Anlagen ( <a href="#">Online Link</a> )	2015-02
Fraunhofer ISE	Projektabschlussbericht »MechTest« ( <a href="http://mechtest.de">http://mechtest.de</a> )	2013-09
BDH, BSW	Infoblatt 49: Arbeitsblatt zur Ermittlung von Schneelasten an Solarthermischen Anlagen ( <a href="#">Online Link</a> )	2012-04
Photovoltaik	Ausgabe April 2012 Artikel »Achtung, Bruchgefahr« (S.70, <a href="#">Bezugslink</a> )	2012-04
ZVDH	Merkblatt Solartechnik für Dach und Wand	2011-04
DIN	Normenreihe zur Tragwerksplanung insbesondere Grundlagen (1), Einwirkungen (2), Stahlbau (3), Aluminiumbau (9) ( <a href="https://www.eurocode-online.de">https://www.eurocode-online.de</a> )	2010 und neuer
Solarpraxis	Tragkonstruktionen für Solaranlagen: Planungshandbuch zur Aufständerung von Solarkollektoren	2001-09

**Abb. 09 Übersicht Literatur zur mechanischen Auslegung von ST Anlagen mit ihren Befestigungssystemen (nach Ausgabestand sortiert)**

## 5 Best practice

### 5.1 Dachanbindung von Montagesystemen für ST Anlagen

Die Technik und das Handwerk des Dachdeckens sind mit Erfahrungen von Jahrhunderten ausgestattet. So haben sich heute auch entsprechende Regelwerke und Qualitätsstandards bis hin zur täglichen Anwendung im Dachhandwerk durchgesetzt.

Demgegenüber erscheinen Installationstechniken von Solaranlagen vergleichbar neu. Immer wenn es darum geht an die unter der Dachabdichtung befindliche Tragstruktur anzubinden (z. B. für eine solare Aufdachinstallation) entsteht eine neue Schnittstelle: Die Durchdringung oder Anbindung an die Dachabdichtung von einer Befestigungskomponente. Sofern das Dach von anderen Gewerken als die Solarinstallation durchgeführt wird hat diese Schnittstelle nicht nur technische sondern insbesondere auch rechtliche Relevanz. D. h. Die Gewährleistung des Installateurs des Daches »schneidet« die Gewährleistung des Installateurs der Solaranlage.

In den meisten Fällen – mutmaßlich auch mit Planungs und Installationsfehlern – treten keine Schäden auf. Sofern jedoch lokale extreme Wetterereignisse Solaranlagen und ihre Planung und Installation auf die Probe stellen, kann es zu Schäden kommen. Zwar sprechen die Zahlen von Versicherungen für einen verschwindend geringen Anteil an Schäden an ST Anlagen durch Schneedruck oder Sturm (vgl. Geimer 2013, S.52 ff). Trotzdem gilt es hiermit zu informieren was zu beachten ist **so dass z. B. Ziegelbruch auch bei Auftreten extremer Wetterereignisse im Rahmen der Auslegung sicher vermieden werden kann.**

Im Folgenden werden vorwiegend Aufdachinstallationen mit dem Schwerpunkt einer Nachrüstung im Bestand behandelt. Dieser Bereich umfasst kleinere und mittlere ST Anlagen für welche die größtmöglichen Verbesserungspotentiale eingeschätzt werden.

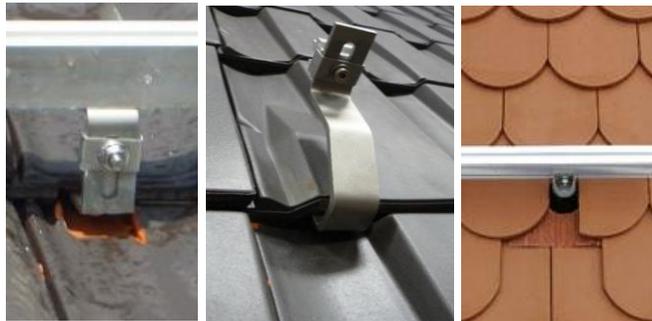
#### 5.1.1 Empfehlungen

Sofern durch eine Aufdachinstallation die Rahmenbedingungen für den Einsatz der Dachabdichtung vollständig eingehalten sind, ist die technische und rechtliche Schnittstelle klar. Im Neubau ist dies zumeist unproblematisch, da sich die Gewerke hierzu direkt Abstimmen können. Im Fall einer Nachrüstung von Solaranlagen im Gebäudebestand sind jedoch die Rahmenbedingungen für den Einsatz der Dachabdichtung mit höherem Rechercheaufwand verbunden oder teilweise nicht mehr bestimmbar. Es ist zu begrüßen, wenn der Installateur der Solaranlage über ein umfangreiches Fachwissen bezüglich unterschiedlichster Dacheindeckungen verfügt, dies sollte jedoch kein Ausschlusskriterium sein um erfolgreich Solaranlagen zu installieren.

Für Aufdachanlagen auf gedeckten Dächern ist besonders Kapitel 6.2.1 »Verankerungselemente für Dachdeckungen« der VDI-RICHTLINIEN VDI 6012 Blatt 1.4 hilfreich. Es werden sowohl beispielhaft Fälle behandelt in denen eine direkte Lastableitung ins Tragwerk erfolgt, als auch Fälle in denen ein Teil der Last auf die Dachdeckung abgeleitet wird.

**Um den Aufwand gering zu halten und keine Risiken einzugehen wird für die Installation von ST Anlagen auf eingedeckten Dächern folgendes empfohlen: Die Lasten der Dachanbindungen sollten direkt ins Tragwerk (z. B. Sparren) und nicht (auch nicht zum Teil) in die Dacheindeckung eingeleitet werden.**

Dies führt zu einer klaren Trennung der Aufgaben von Dachdichtigkeit und Anlagenbefestigung. Die Vorteile liegen darin, dass kein Wissen über die zusätzliche Belastbarkeit der Dachdeckung erforderlich ist und die rechtliche Überschneidung vom Installateur der Solaranlage zum Dachdecker weitgehend entfällt.



**Abb. 10 Dachanbindungen mit direkter Lasteinleitung: Dachhaken mit Ziegelbearbeitung (links) und Flächenlüftern (mittig) sowie Dachanker mit Ziegelbearbeitung / Dichtmanschette (Quellen links nach rechts: photovoltaikforum.com, VDI 6012, Viessmann)**

Die Schnittstelle lässt sich jedoch nicht vollständig vermeiden: Dachdeckungen schützen gegen das Eindringen von Umwelteinflüssen wie Regen oder Schnee. So ist es nicht verwunderlich, dass das benötigte Spaltmaß bzw. die Öffnung zur Durchführung von Dachhaken, inkl. Freiraum zur Verformung dieser, wesentlich größer ist als das, was bei Dachdeckungen als Spaltmaß üblich ist. **D. h. Dachziegel müssen z. B. zur Durchführung der Dachanbindung fachmännisch bearbeitet werden oder durch alternative Abdichtungsmaßnahmen bzw. Sonderziegel mit entsprechenden Freiräumen ersetzt werden.**

Abb. 10 zeigt drei Beispiele einer Dachhakenanbindung mit direkter Lastableitung: Durchführung mit bearbeitetem Dachziegel (links) oder dem Einsatz in Kombination mit Flächenlüftern (mittig). Sowie ein Dachanker mit bearbeiteten Dachziegeln und nachträglicher Abdichtung durch eine Dichtmanschette (rechts).

Wie groß die Öffnung inkl. Freiraum zur zulässigen Verformung für Dachhaken mindestens ausgeführt werden muss ist leider herstellereitig selten dokumentiert. Die VDI-RICHTLINIEN VDI 6012 Blatt 1.4, Abschnitt 7.3.5 nennt 5 mm lediglich als Beispiel für die Verformung eines Dachhakens. **Wird für die Verformung von Dachhaken für den Auslegungszustand kein ausreichender Freiraum berücksichtigt, so besteht das Risiko bei entsprechenden Wetterereignissen unzulässige Lasten auf die Dacheindeckung zu übertragen sodass Ziegelbruch entstehen kann.** In der Praxis gibt es unter den Anbietern deutliche Unterschiede was für Verformungen bei welchen Belastungen eintreten. Die Verformungen sind dabei zusätzlich von der Einbausituation abhängig. (vgl. Untersuchungen zur Verformung an Dachhaken Michael Fuhs, Udo Siegfriedt, pv magazine Juni 2016)

Die Schnittstelle zur Dachabdichtung bleibt damit ein wichtiges Thema. Die Problematik der Ziegelbearbeitung oder Abdichtung ist jedoch im Vergleich wesentlich einfacher und auch wirtschaftlicher zu lösen als die Frage nach einer zulässigen Lastableitung auf die Dacheindeckung.

**Die Möglichkeit über Dichtmanschetten ggf. nachträglich eine Dichtigkeit von bearbeiteten Ziegeln herzustellen ist dabei als besonders effektiv zu betrachten.** Dies weil Dichtmanschetten frei verformbar sind und unabhängig von der Ziegelart eingesetzt werden können. Sonderziegel wie z. B. Flächenlüfter sind im

Bestand nicht immer verfügbar und ihre Besorgung mit zusätzlichem Rechercheaufwand / ggf. langen Lieferzeiten verbunden.

Best practice

**Als Alternative ist es möglich Ziegeleratzformen aus Metall unterhalb eines Dachhakens einzusetzen (vgl. Abb. 11).** Dies bietet folgende Lösungen: Eine Abdichtung im kritischen Bereich mit ausreichend Platz zur Durchführung sowie die potentielle Sicherheit dass die Übertragung »außerplanmäßiger Belastungen« nicht direkt zum Bruch führen. Grundsätzlich sollten jedoch laut VDI-RICHTLINIEN VDI 6012 Blatt 1.4, Abschnitt 6.2.1.3 auch über Ziegeleratzformen aus Metall keine Lasten von Dachanbindungen übertragen werden.



**Abb. 11 Einsatz von Metalldachplatten (Quelle: Marzari Technik GmbH)**

Neben optischen Nachteilen setzt dies jedoch voraus, dass z. B. auch im Bestand eine passende Ziegeleratzform aus Metall zur Verfügung steht, oder diese selbst handwerklich in fachmännischer Qualität hergestellt oder termingerecht bezogen wird. Für Installateure von Solaranlagen besteht damit ein zusätzliches Planungs- und Terminrisiko beim Einsatz von Ziegeleratzformen aus Metall.

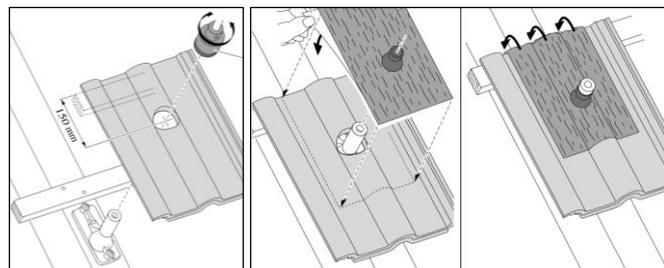
### 5.1.2

#### **Vorteilhafte Systemlösungen**

#### **(für höhere Belastungsanforderungen im Bestand und allgemein)**

Geht es um eine Nachrüstung im Gebäudebestand in Regionen mit vergleichbar hohen Wind oder Schneelasten so erscheint der typische Dachhaken auf Basis seiner Form und Funktion ungeeignet und unwirtschaftlich. Es würden vergleichbar viele Dachhaken benötigt um z. B. hohe Schneelasten mit entsprechender Schublasteinwirkung sicher ins Tragwerk einzuleiten.

Senkrecht zum Sparren eingesetzte Dachanker bzw. Sparrenanker sind für diese Aufgabe besser geeignet. Dachanker benötigen jedoch wie z. B. auch Stockschrauben eine Durchdringung / Bohrung durch den entsprechenden Bereich der Dachdeckung und damit eine Abdichtung durch eine Dichtmanschette.



**Abb. 12 Beispielhafte Installationsschritte Sparrenanbindung über Dachanker mit direkter Lasteinleitung (Quelle: Kurzanleitung Solarsystem WTS-F2 Aufdach; Max Weishaupt GmbH, 88475 Schwendi)**

Von der Firma Max Weishaupt ist hierzu ein Produkt mit Dichtmanschette und optionalem Bohrwerkzeug verfügbar (siehe Abb. 12). Das Produkt verfügt zudem über eine AbZ, d. h. die zulässigen Belastungswerte sind detailliert dokumentiert. Abb. 12 zeigt den Installationsablauf für den Fall einer Standard Dachpfanne. Das Grundprinzip ließe sich jedoch auf viele andere Dacheindeckungstypen übertragen.

**Die Vorteile liegen darin, dass diese Art der Dachanbindung im Neubau und Bestand nahezu unabhängig von der Art der Eindeckung mit einer reproduzierbaren Bearbeitung (Bohrung) und ihrer zugehörigen Abdichtung als Gesamtmodul ohne dachabhängiges Zubehör eingesetzt werden kann.**

Die derzeit verfügbaren Module sind – auch durch den Einsatz für höhere Lasten – preislich eher im höheren Segment angesiedelt, daher ist der Einsatz in Zonen mit gemäßigten Wind- und Schneelasten bisher fraglich, es sei denn die Anzahl an Anbindungspunkten an das Dach lässt sich maßgeblich reduzieren.

Allgemein bieten derartige Systemlösungen zur Sparrenanbindung jedoch eine Reihe von Vorteilen:

- Komponenten: Dachanker, Dichtmanschette ggf. mit Zubehör, Schrauben
- Nahezu mit jeder Art von Dacheindeckung kompatibel (es werden keine dachabhängigen Zusatzkomponenten benötigt)
- Reproduzierbare Durchdringung der Eindeckung durch Bohrung (keine individuelle Ziegelbearbeitung z. B. mit Flex erforderlich)
- Flexibel an die Dachdeckung anpassbare Dichtmanschette
- Anpassung an Dachfarbe durch Dichtmanschette mit Farboptionen möglich
- Über ein Pool an Fachanleitungen könnte der Einsatzbereich für unterschiedliche Dacheindeckungen (z. B. auch für ausländische Dachtypen) stetig erweitert werden, dies ohne die Komponenten zu überarbeiten
- Gleichartiger Montageablauf für unterschiedliche Eindeckungstypen
- Im Vergleich zum Dachhaken entstehen keine Freiräume / Öffnungen (für die im Falle eines Dachhakens erforderliche Verformung)

**Eine kostengünstige auf Montagefreundlichkeit optimierte Version eines derartigen Dachankermoduls für gemäßigte Lasten mit einem Satz an Fachanleitungen, Schablonen und Bohrwerkzeug wäre als (montage-)sichere Alternative für den klassischen Dachhaken zu begrüßen.**

Die beschriebene Systemlösung wird besonders effektiv eingeschätzt wenn es darum geht einen europäischen bzw. internationalen Markt zu bedienen. Wichtig dabei ist, dass die Rahmenbedingungen gründlich recherchiert werden und damit das Produkt als Systemlösung möglichst vielseitig einsetzbar ist. Zum Einsatz z. B. für traditionelle Eindeckungen mit Mönch / Nonne wäre eine ausreichende Ankerlänge von besonderer Bedeutung. Je nach Anbindungsmöglichkeiten an das Montagesystem wäre dies jedoch kein Hinderungsgrund für den gleichzeitigen Einsatz mit typischen Dachpfannen mit geringerer Höhe.

Da jedes Montagesystem zumeist eine eigene Verbindungsmethode zu den Komponenten der Dachanbindung aufweist wäre weiterhin wichtig eine möglichst gute Kompatibilität mit unterschiedlichen Montage- bzw. Schienensystemen herzustellen.

**Essenziell bei dieser vorgeschlagenen Systemlösung ist die Qualität und Langlebigkeit der Dichtmanschette.** Dachziegel weisen je nach Ausführung Lebenserwartungen von 40 bis 100 Jahren auf. Im Vergleich hierzu erscheint eine Lebensdauer für Dichtmanschetten mit dichtenden Teilen aus elastischen Polymeren von z. B. 20 Jahren als eher gering. Selbst wenn die PV- oder ST-Anlage nicht mehr im Einsatz ist, sollte das Dach dauerhaft dicht bleiben. Daher sollten potentielle Hersteller von Systemlösungen mit entsprechenden Produktqualifizierungen bzw. langjährigen Herstellergarantien für Dichtmanschetten aufwarten um eine hohe Akzeptanz im (Dach-)handwerk sicher zu stellen.

### 5.1.3

#### Einsatz von Formelementen als Dachanbindung (vorwiegend im Neubau)

Best practice

Besonders im Neubau ist der Einsatz von Formelementen sinnvoll wie in Abb. 13 dargestellt. Formelemente bringen bereits als Produkt die Eigenschaften einer lückenlosen Dachabdichtung und Lastweiterleitung mit sich. In den meisten kommen die Produkte von Haus aus mit bauaufsichtlichem Verwendbarkeitsnachweis.



**Abb. 13 Formelemente Dachanbindungen (Quellen: Braas Monier, Otto Lehmann GmbH)**

Verständlicherweise werden derartige Lösungen besonders vom Dachhandwerk favorisiert, weil sie herstellereitig für diese Aufgabe vorgesehen sind und damit die Schnittstelle zwischen Dachabdichtung und Lastweiterleitung als Gesamtpaket enthalten ist.

#### **Idealerweise Installiert das Dachhandwerk bereits die vorgeplanten Verankerungen und die Schnittstelle reduziert sich für den Installateur der Solaranlage z. B. auf eine Schraubenbindung mit der Angabe von zulässigen Belastungswerten.**

Nachteilig erscheint bei den Lösungen ein erhöhter Aufwand zur statischen Anbindung an das Tragwerk bzw. die Sparren. Zumeist sind für Formelemente rückseitig zusätzliche Verstärkungen oder Hilfsschienen erforderlich. Die Einbauposition des Formelements innerhalb der Eindeckung unterliegt damit zwar keiner Einschränkung, je nach Einbausituation muss jedoch die rückseitige Konstruktion individuell vorbereitet werden.

Trotzdem sind diese Lösungen besonders im Neubau zu favorisieren, weil sie bestenfalls vom Dachhandwerk mit ausgeführt werden und an Langlebigkeit und Sicherheit kaum zu übertreffen sind.

### 5.1.4

#### Innovative Ansätze

Ausnahmen und weitere Alternativen sollten immer möglich sein, sofern alles für die erfolgreiche Installation und Sicherheit bedacht wurde. So soll die obige Empfehlung (für ST Anlagen keine Belastung auf die Dachdeckung zu übertragen) keine innovativen kostengünstigen Lösungen ausbremsen. Das PV Montagesystem für Ziegeldächer »Clickfit EVO« des niederländischen Herstellers Esdec setzt beispielsweise ausschließlich auf in die Dachlattung einrastende Dachhaken welche nach Installation auf den Dachziegeln aufliegen (Esdec Produktinformation). Dies theoretisch ohne dass Ziegel nachbearbeitet werden müssen. Auf Grund der geringeren Tragfähigkeit (auch durch Abstützung auf die Ziegeleindeckung) werden entsprechend mehr Dachhaken eingesetzt.

Der besondere Vorteil liegt in der hohen Montagegeschwindigkeit, auf die auch das zugehörige Montagesystem optimiert ist. Damit kann mutmaßlich der Aufwand

Dachziegel zu bearbeiten oder zusätzliche Abdichtungen zu installieren ausgeglichen werden. Und dies obwohl im Vergleich wesentlich mehr Dachhaken installiert werden müssen.

-----  
Best practice  
-----

Die Nachteile liegen darin, dass der Nachweis der Standsicherheit von Eigenschaften der Dachdeckung abhängt und nur durch aufwändige Versuche erbracht werden kann. Zudem sind Belastungen durch Windsog in Bezug zu genagelten Dachlatten quasi nicht nachweisbar und diese müssten ggf. nachverschraubt werden (vgl. VDI-RICHTLINIEN VDI 6012 Blatt 1.4, Abschnitt 6.2.1.6). In der »Clickfit EVO« Montageanleitung steht dazu »...Das Dach muss in gutem Zustand und stark genug sein, um das Gewicht der Solarmodule einschließlich der weiteren Materialien, Wind und Schneelast zu tragen. Kontrollieren Sie die Stabilität des Dachs und passen Sie die Dachkonstruktion nach Bedarf an...« (Esdec Montageanleitung Clickfit Evo). Genau hier liegt die Schwierigkeit des Systems weil nicht direkt an die Dachsparren angebunden wird.

Eine Nachfrage bei Esdec ergab, dass hierzu umfangreiche Untersuchungen angestellt wurden. D. h. für eine Reihe von Dachziegeln liegen bei Esdec konkrete Untersuchungsergebnisse vor, welche die Tragsicherheit mit Abstützung auf den verschiedenen Ziegeltypen nachweisen.

So schnell der Installateur auch sein mag, der Nachweis dass die genagelten Dachlatten und die verwendeten Ziegel den Lasten im Auslegungsfall standhalten erscheint an dieser Stelle herausfordernd. Weiterhin wird das originale Spaltmaß der Ziegeldeckung durch die Einbringung der Dachhaken verändert. Dies kann dazu führen dass die aufliegenden Ziegel nicht die ursprünglich vorgesehenen Nachbarverbindungen aufweisen.

Trotzdem sind derartige innovative Produkte grundsätzlich sehr zu begrüßen. Esdec bietet eine umfangreiche Auslegungsoftware für das Montagesystem (vgl. Kapitel Abb. 08) und **gewährt auf sein Montagesystem verantwortungsvolle 20 Jahre Herstellergarantie!**

Auch wenn es dieses Montagesystem bisher für ST Anlagen nicht gibt, soll die Diskussion in diesem Rahmen zeigen was für innovative Ansätze möglich sind und was es dabei zu beachten gilt.

## 5.2

### Akzeptanz und Zusammenarbeit

Solare Anlagen auf Dächern sind mit Sicherheit kein Neuland. Qualitätsstandards und Professionalisierung nehmen stetig zu. Trotzdem verbreiten und halten sich Negativbeispiele von Ausführungen zumeist besser als Positivbeispiele. Dilettantisch ausgeführte Dachanbindungen oder Anlageninstallationen haben u. a. dazu geführt, dass z. B. im Dachhandwerk das Berufsbild des »Solarteurs« nicht immer den besten Stand hat. Umso wichtiger ist es die Zusammenarbeit mit dem Dachhandwerk zu pflegen um dessen Best Practice und Erfahrungswerte zu integrieren und Negativbelegungen auszuräumen.

Die aktuelle Vielfalt von Montagelösungen vermindert tendenziell die Akzeptanz im Dachhandwerk. Dies vor allem wenn die Produktdokumentationen für den Einsatz unzureichend sind (z. B. Dachhaken ohne Werte für die maximale Verformung im Auslegungsfall). Dies führt dazu, dass das Dachhandwerk fast ausschließlich auf Produkte von Herstellern von Dacheindeckungen wie z. B. Formelemente setzt und damit die Dienstleistungen mehr im Bereich des Neubaus angesiedelt sind.

Für die Abdichtung oder Bearbeitung von Dachziegeln bei der Durchführung von Dachanbindungen sind Lösungen zu empfehlen welche innerhalb der unterschiedlichen Gewerke eine möglichst hohe gemeinsame Akzeptanz genießen. D. h. Hersteller und Installateure von Solaranlagen sollten Lösungen und Best Practice Beispiele mit dem Dachdeckerhandwerk spiegeln um die unterschiedlichen Erfahrungen einfließen zu lassen und insgesamt die Akzeptanz zu fördern.

Eine wichtige Rückmeldung des Zentralverbands des Deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH) war, dass für solare Installationen die Sprache des Bauwesens und nicht des Maschinenbaus verwendet werden sollte. Dies vor dem Hintergrund weil das Dachhandwerk vor allem bauaufsichtliche Anforderungen erfüllen muss.

Dies ist teilweise auch für solare Anlagen gegeben (vgl. Abschnitte 3.2.2 und 3.3.1). Ein laufender Dialog bezüglich Anbindungsschnittstellen zwischen Kollektorherstellern, Herstellern von Montagesystemen und dem Dachhandwerk wäre ein gutes Mittel um Akzeptanz und Best Practice weiterhin zu verbessern und dem Thema grundsätzlich mehr Aufmerksamkeit zu schenken. **Von gemeinsamen, aus unterschiedlichen Blickwinkeln durchdachten Systemlösungen profitiert letztendlich die Branche und damit alle daran beteiligten Gewerke.**

Die Installation von ST Anlagen und damit die Installation der Kollektoren auf dem Dach werden zumeist von Betrieben der Heizungsbranche ausgeführt. Nicht alle Heizungsinstallateure haben dabei eine »Affinität« zu Arbeiten auf dem Dach. Dies kann auch zum bremsenden Faktor werden, sobald Dinge auf dem Dach unklar sind oder individuell gelöst werden müssen. **Durchdachte Systemlösungen ohne die Notwendigkeit individueller Anpassungen sind daher ein wesentlicher Schlüssel zu mehr Akzeptanz selbst in der Heizungsbranche (vgl. Abschnitt 5.1.2).**

## 5.3

### Qualität und Verfügbarkeit von Installations- bzw. Montageanleitungen

Gute Montageanleitungen sind der Schlüssel zu einer reibungsfreien und professionellen Montage. Dabei sollten sie jedoch auch leicht auffindbar bzw. digital unkompliziert abrufbar sein.

Es ist kein Geheimnis, dass in vielen Fällen ohne Anleitung gearbeitet wird. Die Ursachen dafür sind unterschiedlich. Bei einer entsprechenden Installationsroutine erscheint die Verwendung einer Anleitung nicht zwingend erforderlich. Basis für eine gute Routine ist jedoch ursächlich eine durchdachte und mit dem Handwerk gespiegelte Montageanleitung. Im Gegensatz dazu gibt es sicher auch Fälle in denen keine Anleitung verwendet wird, weil sie auf Anhieb zu kompliziert oder unstrukturiert erscheint. In beiden Beispielen wirkt sich die Qualität der Montageanleitung entscheidend auf die Montage aus.

Die Norm DIN EN 82079-1 behandelt das Erstellen von Gebrauchsanleitungen – Gliederung, Inhalt und Darstellung. **Die Anwendung der DIN EN 82079-1 zur Erstellung von Gebrauchs- und Montageanleitungen für ST Anlagen wird hiermit sehr empfohlen!**

Das Fraunhofer Institut für Arbeitsorganisation – IAO hat im Rahmen des Verbundprojekts »KoST« unter anderem Montageanleitungen hinsichtlich ihrer Qualität für den Einsatz überprüft. Neben der Ausrichtung entlang den Vorgaben Norm DIN EN

82079-1 ist weiterhin **der Lesbarkeitsindex für eine schnelle und intuitive Erfassung der Inhalte von Bedeutung.**

Best practice

Wird eine ST Installation inkl. Anbindung zum Dach herstellerseitig von Grund auf als Gesamtsystem entwickelt so kann das parallele Entwickeln der zugehörigen Montageanleitung helfen wichtige Aspekte zur Installationsfreundlichkeit und -sicherheit vorzeitig zu berücksichtigen. Der Einsatz z. B. des Poka Yoke Prinzips ist dann sinnvoll wenn an wichtigen Verbindungsstellen Montagefehler sicher ausgeschlossen werden sollen.

**Ein fortwährender Dialog zum praktizierenden Handwerk ist dabei unerlässlich. Z. B. können Montageanleitungen und -konzepte überprüft werden, in dem sie im »passiven« Beisein der Produktentwickler von ausgewählten Handwerkern angewendet werden.** Die Schnittstelle zwischen Produktentwicklung und Handwerk intensivieren bringt zudem weitere Vorteile mit sich. Neben bereits etablierten Schulungen für neue Produkte ist auch eine fortwährende Feedbackmöglichkeit des Handwerks zu Produkten und deren Installation / Inbetriebnahme-Erfahrungen für zukünftige Weiterentwicklungen sehr wertvoll.

Inwiefern es zukunftsweisend ist smartphone-taugliche Installationsanleitungen bereitzuhalten ist fraglich und wäre ebenfalls über die Schnittstelle zum Handwerk zu klären. Trotzdem **sollten alle Anleitungen in digitaler Form (z. B. als PDF) leicht im Internet zugänglich sein.** Damit ist eine schnelle Verfügbarkeit für den Endnutzer gegeben und es ermöglicht z. B. dem Handwerk im Rahmen der Vorbereitung einen schnellen und unkomplizierten Zugriff.

## 5.4

### Herstellerdokumentation zu statischen Grenzwerten

Im Rahmen der Zertifizierungsanforderungen sind Angaben zu zulässigen Wind- und Schneelasten innerhalb der Anleitung obligatorisch. Dies bezieht sich dabei auf das Produkt des einzelnen Kollektors, sinnvollerweise mit Befestigungsklemmen, jedoch ohne das weitere Montagesystem. Eine Angabe von zulässigen Schnee- oder Windlastzonen ist jedoch nur bedingt hilfreich. Dies weil z. B. die effektive Last am Kollektor von der Dachneigung und der Höhe über dem Meeresniveau abhängt. Im Falle von Windlasten hängt die effektive Windlast von Gebäudehöhe oder Dachposition ab.

**Wesentlich sinnvoller ist die Angabe des Bemessungswiderstands des Kollektors für Druck und Sog** bestenfalls mit Bemessungswerten für die Schubbelastung (Belastungen in gleicher Richtung wie der Kollektoroberfläche).

Damit sind die Einsatzgrenzen transparent und nachvollziehbar dokumentiert. Die Ergänzung, dass der Einsatz nur in Gebieten möglich ist, in welchen die angegebenen Bemessungswerte durch Schnee- oder Windlasten nicht überschritten werden sollte der Zertifizierungsanforderung vollkommen genügen.

ST Kollektoren sind herstellerseitig mit einem individuellen Montagesystem ausgestattet vgl. (Geimer 2017). In Kombination mit dem Kollektor und der Anzahl an Dachanbindungspunkten ergeben sich für dieses mechanische Gesamtsystem im Vergleich zum Kollektor zumeist reduzierte zulässige Bemessungswerte.

Innerhalb der Herstellerdokumentationen ist es dabei gängige Praxis für unterschiedliche Einsatzgebiete (Schnee- / Windlastzone) unterschiedliche Konfigurationen des Montagesystems (z. B. Anzahl Dachhaken) zu dokumentieren.

Dabei wird der Einsatz zusätzlich auf bestimmte Winkel oder Dachpositionen beschränkt. Gibt es keinerlei Einschränkungen so besteht die Gefahr von Auslegungsfehlern (z. B. Einsatz unterhalb von Höhensprüngen von Dächern, bei denen durch abrutschenden Schnee wesentlich höhere Schneelasten auftreten können).

-----  
Best practice  
-----

Grundsätzlich führt die derzeit gängige Praxis der Dokumentation von Einsatzgebieten unweigerlich zu einer Wiederholung der Angaben innerhalb des Eurocode 1 (DIN EN 1991-1-4; DIN EN 1991-1-3)(DIN EN 1991-1-4; DIN EN 1991-1-3), in welchen die Ableitung bis zu den lokalen Lasten auf dem Dach fehlerfrei, klar und umfangreich dokumentiert sind (vgl. Abschnitt 3.1.2).

Es ist fraglich inwiefern eine Wiederholung der Abhandlungen innerhalb des Eurocode 1 für den Installateur einen praktischen Nutzen hat. Zudem würden Neuerungen oder Erweiterungen der Eurocodes ggf. eine Aktualisierung der Anleitung erfordern. **Wesentlich sinnvoller erscheint für Konfigurationen verschiedener Gesamtsysteme aus Kollektor und Montagesystem die Bemessungswerte für Druck und Sog anzugeben. Alternativ könnten die Bemessungswerte für die verschiedenen Gesamtsystemkonfigurationen softwareseitig durch ein Tool berechnet werden.**

Damit kann unabhängig von den Einwirkungen der Bemessungswiderstand für die verfügbaren Konfigurationen des Gesamtsystems dokumentiert werden. Die Schnittstelle zur Einwirkungsseite wird dadurch hergestellt, dass ein Gesamtsystem gewählt werden muss, bei dem der Bemessungswiderstand stets über den Werten der lokalen Einwirkung liegt. **Ergänzende Beispiele für die Bestimmung der lokalen Einwirkungen wie Wind- und Schneelastzonen entlang des Eurocode 1 sollten im Anhang der Anleitung beschrieben werden.** Dies führt innerhalb einer Anleitung zu mehr Klarheit und Transparenz (Widerstand des Kollektors und des Montagesystems gegenüber lokalen Einwirkungen am Gebäude) und erleichtert die allgemeine Zugänglichkeit zum Thema.

Mit einer strikten Auftrennung in Widerstands- und lokaler Einwirkungsseite wäre es weiterhin möglich für die gesamte Branche z. B. ein gemeinsames Software-Tool für die Einwirkungsseite zu nutzen. Die Software Solar Pro Tool der Levasoft GmbH nutzt genau diesen Vorteil, da die Berechnung der Einwirkungsseite für alle Kunden ein gemeinsames mehrfach angewendetes Modul darstellt (vgl. Abschnitt 4).

**Ein in Zusammenarbeit z. B. mit der Levasoft GmbH gepflegtes Software-Portal zur Bestimmung der lokalen Einwirkungen am Gebäude wäre die ideale Hilfe für die professionelle Planung der installierenden Betriebe.** Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die Bemessungswiderstände für die verschiedenen Gesamtsystemkonfigurationen (aus Kollektoren mit Montagesystemkonfiguration) herstellereitig dokumentiert sind.

## 5.5

### Herstellergarantie und gesetzliche Gewährleistung

Für die Komponenten von ST Anlagen wie z. B. Kollektoren sind Herstellergarantien von bis zu 10 Jahren keine Seltenheit. Derartige Herstellergarantien sind freiwillig und umfassen weitaus mehr als die übliche gesetzliche Gewährleistung von 2 Jahren. Freiwillige Herstellergarantien gelten ausschließlich für das Produkt bzw. die Komponente, wenn diese wie vorgesehen installiert wurde und im weiteren Verlauf bestimmungsgemäß eingesetzt wird.

Tritt ein Garantiefall an einer Komponente auf so sind jedoch auch die Kosten ggf. für einen Kollektortausch vom Hersteller zu übernehmen. Zumindest ist es nicht zulässig die Übernahme dieser Kosten an anderer Stelle der AGB wiederum auszuschließen (vgl. LG München mit Urteil vom 10. Mai 2012, Aktenzeichen 12 O 18913/11). Die Kosten für die Montage können prinzipiell ausgeschlossen werden, dann jedoch auch an allen Stellen an denen mit der freiwilligen Herstellergarantie geworben wird.

Werden ST Anlagen verbaut so entsteht eine gesetzliche Gewährleistung auf die Ausführung bzw. die durchgeführten Arbeiten von mindestens zwei bis maximal fünf Jahren. Die Dauer der Gewährleistung ist davon abhängig in welchem Zusammenhang die Arbeiten durchgeführt wurden.

Eine Reihe von Gerichtsurteilen bestätigen inwiefern die Gewährleistung im Einzelfall zwei, vier oder fünf Jahre beträgt. Im Falle von zwei oder fünf Jahren stützen sich die Urteile auf BGB §437 bzw. §634a. Im Falle von vier Jahren ist §13 der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen Teil B (VOB/B) maßgeblich.

Auf Basis der Gesetzeslage bzw. der vorliegenden Gerichtsurteile sind die Gewährleistungen wie folgt einzuschätzen:

#### ■ Gewährleistung von fünf Jahren

- Die **Montage wird separat von der ST Anlage beauftragt** und damit ein Werkvertrag geschlossen
- Die **ST Anlage wird im Neubau montiert** und ist so zum ordentlichen Betrieb des Gebäudes erforderlich

#### ■ Gewährleistung von vier Jahren

- Arbeiten nach §13 VOB/B wie z. B. im Dachdeckerhandwerk üblich

#### ■ Gewährleistung von zwei Jahren

- Die **ST Anlage inklusive Installation** wird z. B. als Nachrüstung zu einer bestehenden Anlage **in einem Gesamtpaket beauftragt** (die Montage wird als Nebenleistung zum gekauften Produkt gewertet)

Für den Auftraggeber ist eine Ausführung anzustreben in der eine Gewährleistung von fünf Jahren gegeben ist. **Eine Bestätigung der Gewährleistung innerhalb des Auftrags ist dabei die einfachste und effektivste Lösung** um die Situation für beide Seiten im Vorfeld zu klären. Im Dachdeckerhandwerk sind fünf Jahre nach BGB oder alternativ vier Jahre nach VOB/B üblich und selbstverständlich. Erfahrene Betriebe aus der ST Installationsbranche sollten Gewährleistungen von fünf Jahren nicht abschrecken. Eine gute Zusammenarbeit mit dem Anlagenhersteller bezüglich der Dokumentation zu Wind- / Schneelasten und der Auslegung vor Ort stellt dabei die wichtigste Basis dar um Planungsfehler in diesem Bereich zu vermeiden (vgl. Abschnitt 5.4). Für nicht ausreichend informierte »Einmannbetriebe« ergibt sich zum Teil die Situation, dass sie mit einer Gewährleistung von fünf Jahren aufwarten ohne es selbst zu wissen. Im Falle eines selbstverschuldeten Schadens kann dies schnell zur Insolvenz führen.

Treten trotz ordnungsgemäßer Installation und bestimmungsgemäßem Einsatz Mängel an der Anlage auf so wendet sich der installierende Betrieb im Falle einer Reklamation an den Hersteller um dessen Gewährleistung oder Herstellergarantie in Anspruch zu nehmen. Auch hier profitiert eine Abwicklung davon wenn stets eine gute Zusammenarbeit gepflegt wird.

# 6 Kostensenkungspotentiale

Ausgehend von einer Kollektorinstallation bestehen Kostensenkungspotentiale in sämtlichen Prozessschritten wie den laufenden Herstellungs- und Installationsprozessen sowie den Änderungsprozessen der Produktentwicklung bzw. des Produktmanagements. **Das mutmaßlich größte Potential liegt in der initialen Produktplanung unter Berücksichtigung aller beteiligten Gewerke für die Ausführung.** Werden hier die physikalischen Schnittstellen innerhalb des Gesamtsystems bzw. der installierten Komponenten untereinander kostengünstig gesetzt, so können damit direkt die Gesamtkosten reduziert werden. Mit Gesamtkosten sind hier die Kosten inkl. Lagerung, Kommissionierung UND Installation bzw. Montage gemeint.

Die Prozesse und Schnittstellen sind zumeist in gegenseitigen Abhängigkeiten verwoben. Dabei ist es günstiger, wenn die Abhängigkeiten von Anfang an aufeinander abgestimmt werden, als wenn sie sich zwangsläufig im Nachhinein ergeben. Im Folgenden wird auf die Potentiale innerhalb der Prozessschritte und im weiteren Abschnitt hinsichtlich der physikalischen Schnittstellen eingegangen.

## 6.1 Prozessoptimierung

In Abb. 14 sind die wesentlichen Herstellungs-, Installations- und Änderungsprozesse aufgeführt. In Form von kurzen Fallbeispielen soll gezeigt werden, worin die Potentiale einer Prozessoptimierung im Einzelfall liegen können.

Eine weitergehende Betrachtungsmethode derartiger Effekte auch in Bezug zum gesamten Hersteller Produktportfolio und den absatzgenerierenden Leitprodukten wurde im Rahmen des geförderten Projekts TeWiSol erarbeitet (Projektinfo TEWISol).

Herstellungs- und Installationsprozesse	Änderungsprozesse
---	-------------------

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>■ Fertigung, Einkauf, Lagerhaltung, Kommissionierung, Transport</li><li>■ Reklamationen / Maßnahmen</li><li>■ Dokumentation</li><li>■ Installation / Montage<ul style="list-style-type: none"><li>■ Einwirkungen / Sicherheitsnachweis am Installationsort</li><li>■ Installationsanleitung</li><li>■ Kommunikation Handwerk &lt;-&gt; Hersteller</li></ul></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>■ Produktentwicklung</li><li>■ Produkt- / Variantenmanagement</li><li>■ Anforderungen<ul style="list-style-type: none"><li>■ Sicherheitsnachweis (Bemessungswiderstand Kollektor / Montagesystem)</li><li>■ Europäische, internationale oder länderspezifische Anforderungen</li></ul></li><li>■ Zertifizierung o. ä.</li><li>■ Dokumentation</li><li>■ Kommunikation Hersteller &lt;-&gt; Handwerk</li></ul> |
|---|---|

**Abb. 14** Aufstellung wesentlicher Prozessschritte ausgehend von einer ST Kollektorinstallation (vgl. Abb. 01)

Die laufenden Prozesse von Herstellung und Installation sind im Allgemeinen etabliert und bilden damit die Grundlage für eine wirtschaftliche Abbildung des Endprodukts im Markt. **Für das Endprodukt können signifikante Kostensenkungen identifiziert werden wenn die laufenden Prozesse gemeinsam betrachtet werden.**

**Beispiel Installationsanleitung:** Sie wird vom Hersteller erstellt und ausgegeben. Wird sie schnell auffindbar, übersichtlich und intuitiv für das Handwerk angelegt so erhöht sich zum einen die Akzeptanz bei Fachbetrieben und es reduzieren sich potentiell die Installationszeiten (vgl. 5.3). Hierzu ist ein aktiver Dialog zwischen Handwerk und Hersteller erforderlich, welcher häufig wie auch die Qualität von Installationsanleitungen unterschätzt wird.

Große Vollsortimenter haben an dieser Stelle Vorteile, weil sie durch ein regelmäßiges Schulungsangebot und weitere Aktivitäten für Fachbetriebe attraktiv bleiben und sich so eine »Fachgemeinschaft« oder auch »Fanggemeinschaft« um die entsprechenden Produkte des Vollsortimenters bildet. Potentiale zur Kostenreduktion (aus Preisvergleichen gegenüber Fachbetrieben) sind allerdings auch hier vorhanden. Der Antrieb diese Potentiale zu heben leidet leider durch eine allgemein gute Marktpositionierung der Vollsortimenter und wird damit des Öfteren in den Hintergrund gedrängt.

In den laufenden Prozessen Fertigung, Einkauf, Lagerhaltung, Kommissionierung und Transport erscheinen die Kostensenkungspotentiale vorerst gering. Eine genauere Betrachtung führt jedoch dazu, dass besonders Maßnahmen zur Reduzierung des Aufwands innerhalb dieser wichtigen Prozesskette einen Schlüssel zur Kostenreduktion darstellen.

**Beispiel Sicherheitsnachweis:** Der Sicherheitsnachweis bzw. die Auslegung des passenden Montagesystems am Installationsort stellt einen wichtigen laufenden Prozess in Bezug zum Endprodukt dar. Die Hilfen für die Fachbetriebe bestehen zumeist aus Hinweisen im Rahmen der Anleitung / Dokumentation. Ansonsten werden die Fachbetriebe mit ihrer Verantwortung bzw. Gewährleistung über die installierte Anlage vorwiegend »allein gelassen« (vgl. Abschnitt 3.1 und 5.4). Wird das installierende Handwerk vom Hersteller nachhaltig in der Auslegung vor Ort z. B. durch Softwaretools unterstützt so hilft dies Planungsfehler und spätere ggf. schwer abwickelbare Reklamationen bzw. Schädigung des guten Rufs zu verhindern.

**Beispiel Entwicklung eines neuen technisch nahestehenden Produkts:** Wird z. B. ein Wannenkollektor in das Produktportfolio neu aufgenommen, so sollte auf Seite des Variantenmanagements geprüft werden inwiefern die gemeinsame Nutzung vorhandener Komponenten oder Merkmale wie z. B. der Kollektorbefestigung sinnvoll ist. Alternativ kann geprüft werden ob bestimmte Merkmale oder Komponenten des neu zu entwickelnden Produkts bisherige Merkmale oder Komponenten des vorhandenen Produkts ersetzen können. Dies mit dem Ziel um insgesamt die Variantenvielfalt gering zu halten. Grundsätzlich ist anzunehmen, dass diese Vorgehensweise in einem funktionierenden Variantenmanagement bereits gegeben ist. Je nach Fall sind die Potentiale dabei höher als allgemein angenommen.

Eine **fortlaufende partnerschaftliche Abstimmung zwischen den Herstellern und dem installierenden Handwerk bzw. Fachbetrieben** hilft dabei die Prozesse rund um das Endprodukt zu verbessern. Dies bringt dem Produkt mehr Aufmerksamkeit, fördert die gegenseitige Wertschätzung der beteiligten Gewerke und steigert allgemein die Produktakzeptanz.

**Beispiel Anzahl unterschiedlicher Komponenten:** Inwiefern ein Lagerplatz und damit eine zusätzliche Variante im Produktionssystem / in der Produktpflege entfällt, weil z. B. die Befestigungsklemme sowohl als Mittel- wie auch als Randklemme eingesetzt werden kann, ist quantitativ im System nicht offensichtlich und bildet ein Potential zur Kostenreduktion.

## 6.1.1

### Allgemeine technisch wirtschaftliche Optimierung des Produktportfolios

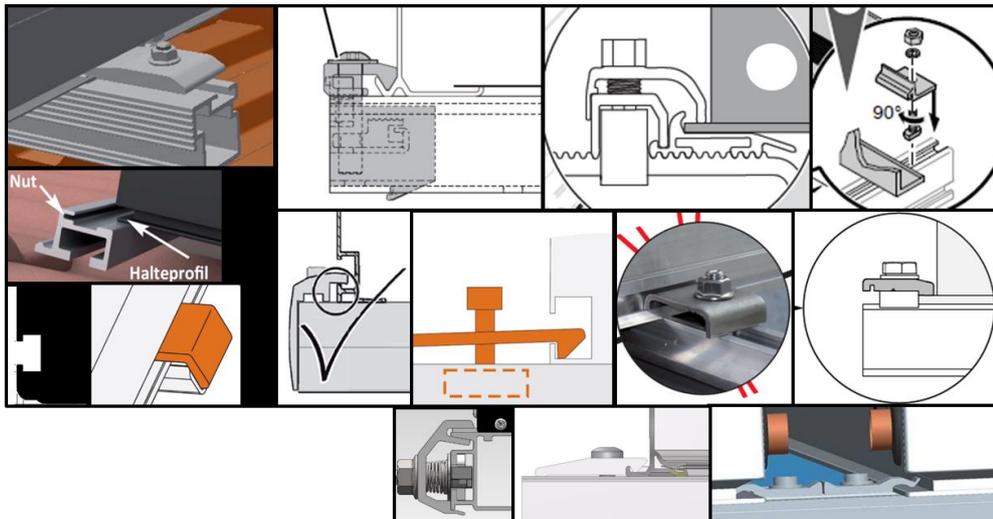
-----  
Kostensenkungspotentiale  
-----

Studien des Fraunhofer ISE haben gezeigt, dass heute trotz der sehr großen System- und Preisvielfalt bei Kombianlagen die Ertragsunterschiede relativ gering sind. Durch Reduktion der Variantenvielfalt können folglich ohne wesentliche Ertragseinbußen die Kosten gesenkt werden, da die Hersteller höhere Skaleneffekte erzielen können. Durch technische und wirtschaftliche Optimierungen ist deshalb eine signifikante Kostenreduktion erreichbar. Im inhaltlich nahestehenden Forschungsprojekt TeWiSol wurde die Kombination von Methoden zur Produktkosten sowie Produktleistungs-optimierung zu einer integrierten Vorgehensweise untersucht. Auf Basis dessen lässt sich ein ganzheitlicher Ansatz zur Optimierung des Preis-/Leistungsverhältnisses von solarthermischen Kombianlagen ableiten (weiterführende Infos Projekt TeWiSol unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/tewisol.html>).

## 6.2

### Standardisierung physikalischer Schnittstellen

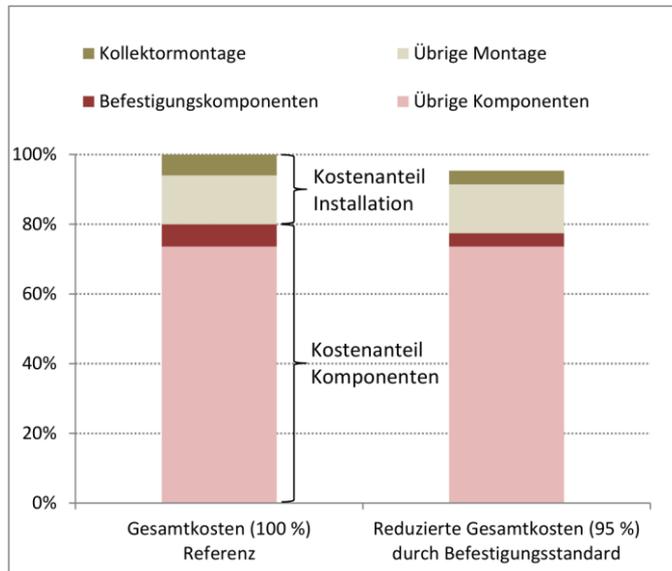
Neben vielen auf dem Markt erhältlichen Lösungen für die Verbindung zwischen Gebäude bzw. Tragwerk und Montagesystem wird die Verbindung zwischen Montagesystem und Kollektor individuell ausgeführt (vgl. Abschnitt 2.1). Dies ist ein wesentliches Ergebnis der umfangreichen Marktanalyse von 128 PV und 62 ST Montagesystemen im Rahmen des Projekts KoST (Geimer 2017). Besonders in der Standardisierung der Kollektorbefestigung liegen hohe Potentiale zur Kostensenkung.



**Abb. 15 Status quo Kollektor Befestigungslösungen:**  
**Kein Standard erkennbar**  
**Quelle: Installationsanleitungen verschiedener ST Hersteller**

Eine Etablierung eines Befestigungsstandards innerhalb der ST Branche weist dabei die höchsten Kostensenkungspotentiale auf (vgl. Abschlussbericht im geförderten Projekt »KoST«). Der Befestigungsstandard selbst sollte möglichst viele technische Nutzungsvorteile vereinen und auf einer etablierten Lösung basieren. Ein Umstieg von vorhandenen Produkten auf den neuen Befestigungsstandard sollte leicht ohne hohe Zusatzkosten umsetzbar sein. Im Rahmen des Projekts KoST wurde ein freiwilliger offener Standard definiert (vgl. <http://easy-st.org>). Basis hierfür war unter anderem ein Kostenvergleich von ST und PV Montagesystemen mit ähnlicher Lastauslegung wie sie gegenüber Fachbetrieben angeboten werden (vgl. Abschlussbericht im geförderten Projekt »KoST«). Weiterhin wurde analysiert wie sich mögliche Kostensenkungspotentiale durch den Befestigungsstandard auf die Gesamtkosten auswirken.

Es reicht dabei eine geringe Anzahl an Kollektorherstellern bzw. Anbietern aus, die auf einen gemeinsamen Befestigungsstandard setzen. **Die Gesamtkosten** auf Basis der Kostenstruktur einer Referenz Kombianlage für ein Einfamilienhaus in Deutschland (IEA SHC Task54) **können durch einen gemeinsamen Befestigungsstandard um über 5 % gesenkt werden.** Wie sich dabei die Kostenreduktion im Verhältnis zur Gesamtkostenstruktur darstellen kann ist in Abb. 16 dargestellt.



**Abb. 16 Reduzierung der Gesamtkosten einer Referenz EFH Kombianlage durch Umsetzung eines ST Befestigungsstandards wie unter <http://easy-st.org> vorgestellt (Kostenstruktur auf Basis Referenzanlage nach IEA SHC Task54)**

Für das vorgestellte Kostensenkungspotential von 5 % liegen folgende Annahmen zu Grunde: Durch den mittelfristigen Wiedererkennungseffekt des ST Befestigungsstandards und die Durchsetzung installationsfreundlicher Befestigungskomponenten wird eine Reduzierung des Installationsaufwands für den Kollektor von 35 % angenommen. Diese Annahme ist dabei eher »sportlich« gewählt. Sie ist von der individuellen Situation des einzelnen Installationsbetriebs abhängig. Wahrscheinlicher ist eine Reduktion des Installationsaufwand in einem im Bereich von 10-35 %. An dieser Stelle ist es wichtig zu erwähnen, dass es in diesem Rahmen darum geht die möglichen Potentiale aufzuzeigen und nicht darum zu dem bereits existierenden Zeitdruck auf das ausführende Handwerk zusätzlichen Optimierungsdruck zu erzeugen. Voraussetzung zur Entfaltung der Potentiale ist, dass das Installationshandwerk mit dem gemeinsamen Standard ebenfalls viele Vorteile verbindet.

Die Kostenreduktion im Bereich der Befestigungskomponenten wurde vergleichbar konservativ angesetzt: Es wurde ein Faktor von 1,7 (rund 40 %) für die Kostenreduktion der Befestigungskomponenten angenommen wie sie vom Montagesystemhersteller gegenüber installierenden Fachbetrieben angeboten werden.

Einschränkend muss darauf hingewiesen werden, dass bei dieser Betrachtung davon ausgegangen wird, dass das Montagesystem vom Kollektorhersteller oder installierenden Fachbetrieb zu ähnlichen Konditionen zugekauft wird. Wird ein eigenes Montagesystem beim Kollektorhersteller in massentauglichen Mengen bereits selbst gefertigt oder ändern sich beim Kollektorhersteller die internen Kosten durch Gemeinkostenaufschläge auf das Zulieferprodukt, so ergeben sich ggf. keine oder nur sehr geringfügige Kostensenkungspotentiale im Bereich der Befestigungskomponenten.

Seit Mai 2019 liegt den KoST Projektpartnern ein Richtpreisangebot eines namhaften Montagesystemherstellers vor welches mit dem unter <http://easy-st.org> vorgestellten Standard »EASY-ST MOUNT« kompatibel ist und um den Faktor 2,7 (rund 60 %) gesenkt werden kann.

günstiger liegt im Vergleich zu den derzeitigen Kosten für ST Befestigungskomponenten mit ähnlicher Lastauslegung. Im Fall einer Lieferantenvereinbarung bietet der Hersteller die volle Kostenübernahme für Werkzeuge, Prüfungen etc.

-----  
Kostensenkungspotentiale  
-----

Derartig kostengünstige und zudem installationsfreundliche Montagesystemlösungen sind nur durch konsequente interne Standardisierung und entsprechende Absatzzahlen beim Montagesystemhersteller möglich. Voraussetzung dafür ist jedoch der Umstieg auf die einheitliche Befestigungsschnittstelle von einigen Kollektorherstellern. Je nach interner Standardisierung beim Montagesystemhersteller kann für PV und ST das gleiche Baukastensystem zu Grunde gelegt werden womit zusätzlich die Kompatibilität mit allen jeweils angebotenen Dachanbindungslösungen hergestellt werden kann.

Ein weiterer Vorteil der Umsetzung des Befestigungsstandards liegt darin, dass sich die Kollektorhersteller auf ihr Kerngeschäft konzentrieren können. Dies ist mutmaßlich sinnvoller als Zeit, Organisationskapazität und damit hauptsächlich indirekte Kosten in vergleichbar unwirtschaftliche Montagesysteme ohne Potentiale für einen Massenmarkt zu investieren.

Voraussetzung für die Entfaltung der Kostensenkung sind Entscheidungen der Hersteller zur Umsetzung der vorgestellten Maßnahmen. Verständlicherweise führen die derzeitigen Absatzzahlen jedoch zu einer geringen Investitionsbereitschaft.

### 6.2.1 Umgang mit Marktzwängen

Werden Kollektoren vor allem für OEM-Kunden bzw. Anbieter hergestellt so können sich Marktzwänge ergeben. Z. B. fordert ein OEM-Kunde für sein Premium Produktportfolio eine Abgrenzung seiner Produkte gegenüber den übrigen Produkten. Dies kann dazu führen, dass eine individuelle Montagenut oder Kollektorbefestigung als Differenzierungsmerkmal für eine »zwangsläufige Inkompatibilität« verwendet wird.

Würden dem Kunde daraufhin die »echten« Mehrkosten für sein individuelles Montagesystem in kleinen Stückzahlen vorgestellt bzw. in Rechnung gestellt, so würden derartige Differenzierungsmerkmale schnell vom Markt verschwinden. Voraussetzung dafür wäre eine ehrliche Zuschlagskalkulation, welche die Kosten dem Produkt direkt zuordnet. Die damit im Allgemeinen indirekt verbundenen Prozesskosten sind mutmaßlich ungleich hoch und gehen im Unternehmen in den Gemeinkosten unter bzw. erhöhen diese laufend (vgl. Abschnitt 6.1.1).

An dieser Stelle sollten dem Kunden alternative Differenzierungsmerkmale vorgestellt werden. Beispielweise ist es sinnvoller trotzdem den einheitlichen Befestigungsstandard als gesetzt anzubieten und diesen dann optisch z. B. mit Abschlussblenden an den Befestigungsstellen in abweichenden Farben oder anderen optischen ansprechenden Merkmalen zu gestalten. Auf dem Dach selbst ist das Montagesystem – außer in den Randbereichen – fast nicht erkennbar. Und alleine für die Abgrenzung des Premiumneben dem Standardprodukt für den Endkunden im Baumarkt erscheint es absolut unökonomisch ein konstruktives Individualdesign der Kollektorbefestigung mit all ihren Folgekosten (statischer Nachweis, Berechnung, Zulassung, Zusatzvarianten, interne Produktpflege/-management) zu vertreten.

Grundsätzlich kann es kurzfristig aus Sicht des Herstellers »wirtschaftlicher« erscheinen OEM-Kunden mit derartigen Sonderwünschen direkt zu bedienen. Die Gesamtwirtschaftlichkeit derartiger Lösungen ist jedoch in der üblichen Unternehmensbuchhaltung nicht ausreichend nachvollziehbar und kann bei mehreren derartigen Sonderlösungen zu einem schleichenden Anstieg der indirekten Kosten und damit der Gemeinkosten führen (vgl. Abschnitt 6.1.1).

# 7

## Zusammenfassung

Ob auf technischer Ebene über mechanische oder hydraulische Schnittstellen oder auf Prozessebene in Form von Fertigung, Installation oder Produktänderung: Die inhaltliche Betrachtung ausgehend vom Gesamtsystem einer Solarthermie (ST) Kollektoranlage ist lohnenswert um wesentliche Verbesserungs- und/oder Kostensenkungspotentiale zu identifizieren. Der vorliegende Leitfaden Solarthermie Montagesysteme und Kollektorinstallation »ST Mounting Guide« richtet sich dabei an die Gewerke der ST Branche wie Hersteller, SHK Betriebe und das beteiligte Installationshandwerk mit dem Ziel einer kostenoptimierten Auslegung und Anwendungspraxis.

Es geht darum einen guten Überblick für Leser mit unterschiedlichem Wissensstand darzustellen und gleichzeitig bei Bedarf alle weiterführenden Informationen bereitzuhalten.

Wichtige Begrifflichkeiten werden erläutert wie z. B. die Unterscheidung der klimatischen Einwirkungen wie Schnee und Wind gegenüber dem leider zu selten angegebenen Bemessungswiderstand eines Kollektors bzw. einer ST Anlage, welche diesen Einwirkungen standhalten muss. (vgl. Abschnitt 3, S.9). Weiterhin werden z. B. verschiedene Dachanbindungstypen mit Vor- und Nachteilen vorgestellt und geklärt warum das Dachhandwerk – mit gutem Grund – besonders Formelemente zur Dachanbindung bevorzugt (vgl. Abschnitt 5.1, S.23).

Ist die Thematik klarer so ist es nicht verwunderlich, dass sich für bestimmte Teilgebiete wie das Montagesystem auf dem Dach, sowie dessen Optimierung zu einer hohen Installationsfreundlichkeit, erfahrene und kostengünstige Dienstleister auf dem Markt etablieren. Diese arbeiten wiederum mit Dienstleistern aus der Softwarebranche zusammen um Auslegung und Sicherheitsnachweis für ihr Produktportfolio mit möglichst wenig Aufwand und hoher Funktionalität abzubilden (vgl. Abschnitt 4, S.20).

Wird dabei herstellereitig für jeden Kollektortyp ein eigenes Befestigungssystem entwickelt so entstehen hohe Anpassungskosten und eine Diversität welche einer nachhaltigen Kostendegression entgegensteht. Der Umstieg auf einen freien, gemeinsamen und einfach umzusetzenden Befestigungsstandard wie unter <http://easy-st.org> veröffentlicht, stellt einen Schlüssel zu einer nachhaltigen Kostendegression dar (vgl. Abschnitt 6.2, S.35).

Auch wenn bisher in der ST Branche die Befestigungslösung ein beliebtes Differenzierungsmerkmal darstellt gilt es »technisch freundlichere« Lösungen zur gegenseitigen Differenzierung zu verwenden (vgl. Abschnitt 6.2.1, S.37).

Eine standardisierte Befestigungsschnittstelle gepaart mit einem fortlaufenden Dialog zum Dach- und Installationshandwerk schafft mittelfristig ein Best practice-Selbstverständnis in der Branche. Dabei wirkt sich die herstellereitige Unterstützung des installierenden Handwerks bei der statischen Auslegung des Systems vor Ort ebenso akzeptanzfördernd aus wie eine hohe Qualität und Verfügbarkeit der Installations- bzw. Montageanleitung. (vgl. Abschnitt 5.2, S.28).

Die in diesem Rahmen vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen im Bereich der Standardisierung von Befestigungskomponenten können mittelfristig zu einer **Reduktion der Gesamtkosten z. B. einer ST Kombianlage (EFH) inkl. Installation von 5 %** führen (vgl. Abschnitt 6.2, S.35).

D.h. alleine durch Maßnahmen im Bereich Montagesysteme und Kollektorinstallation lassen sich die Gesamtkosten einer ST Anlage maßgeblich senken.

.....  
Zusammenfassung  
.....

Werden zudem herstellerseitig im Produkt- und Variantenmanagement Lösungen mit einer möglichst geringen Anzahl an unterschiedlichen Komponenten angestrebt, wobei die Komponenten gleichzeitig in vielerlei Produktpaketen kompatibel anwendbar sind, so lassen sich zusätzlich intern die indirekten Kosten (Gemeinkosten) senken bzw. ein stetiger Anstieg vermeiden (vgl. Abschnitt 6.1, S.33).

Neben diesen Aspekten wird im ST Mounting Guide auf die derzeitigen und zukünftigen baurechtlichen Anforderungen in Europa und Deutschland eingegangen. Die Überführung der Bauregellisten in die Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB) ist dabei bereits berücksichtigt (vgl. 3.2.2, S.13 bzw. 3.3.1, S.19). Die Kollektornorm EN 12975 befindet sich in Überarbeitung mit dem Ziel einer Harmonisierung. Diesem Vorgang kommt eine besondere Bedeutung zu, weil Kollektoren in Zukunft auf Basis der harmonisierten Norm hEN 12975 (Mandat M/369 der Europäischen Kommission) CE gekennzeichnet werden können.

## 8

### Literaturverzeichnis

BDH, BSW. (2012): Arbeitsblatt zur Ermittlung von Schneelasten an Solarthermischen Anlagen. Infoblatt 49. Hg. v. Interessengemeinschaft Energie Umwelt Feuerungen GmbH. Köln. Online verfügbar unter [https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user\\_upload/ISH2019/Infoblaetter/Infoblatt\\_Nr\\_49\\_Mai\\_2012\\_Ermittlung\\_von\\_Schneelasten\\_Solarthermie.pdf](https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/ISH2019/Infoblaetter/Infoblatt_Nr_49_Mai_2012_Ermittlung_von_Schneelasten_Solarthermie.pdf).

BDH, BSW. (2015): Arbeitsblatt zur Ermittlung von Windlasten an Solarthermischen Anlagen. Infoblatt 61. Hg. v. Interessengemeinschaft Energie Umwelt Feuerungen GmbH. Köln. Online verfügbar unter [https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user\\_upload/ISH2019/Infoblaetter/Infoblatt\\_Nr\\_61\\_April\\_2015\\_Arbeitsblatt\\_Windlasten\\_Solarthermische\\_Anlagen.pdf](https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/ISH2019/Infoblaetter/Infoblatt_Nr_61_April_2015_Arbeitsblatt_Windlasten_Solarthermische_Anlagen.pdf).

BSW (2012): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung von Solaranlagen. Informationspapier, Stand: Dezember 2012. Unter Mitarbeit von Alexander Werner. Hg. v. BSW Solar. BSW Solar. Online verfügbar unter [https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/infopap\\_bauaufs\\_zulass.pdf](https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/infopap_bauaufs_zulass.pdf).

BS PD CEN/TR 16999, 2019-03: Solar energy systems for roofs. Requirements for structural connections to solar panels (TR: technical report).

DIBt (2012): Hinweise für die Herstellung, Planung und Ausführung von Solaranlagen.

DIBt MVV TB (2017): Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB). Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). Online verfügbar unter [https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Bauregellisten/MVV\\_TB\\_2017-1\\_inkl\\_Druckfehlerkorrektur.pdf](https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Bauregellisten/MVV_TB_2017-1_inkl_Druckfehlerkorrektur.pdf).

DIN 18008: Normenreihe Glas im Bauwesen: Teil 1 - Begriffe und allgemeine Grundlagen, Teil 2 - Linienförmig gelagerte Verglasungen, Teil 3 - Punktförmig gelagerte Verglasungen.

DIN EN 1990, 12-2010: Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010.

DIN EN 1991-1-1, 2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009.

DIN EN 1991-1-3, 2004-09: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten.

DIN EN 1991-1-3/NA, 2019-04: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten.

DIN EN 1991-1-4, 2005-07: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten.

DIN EN 82079-1, 2013-06: Erstellen von Gebrauchsanleitungen - Gliederung, Inhalt und Darstellung - Teil 1: Allgemeine Grundsätze und ausführliche Anforderungen (IEC 82079-1:2012), Entspricht VDE 0039-1:2013-06.

ISO 9806, 2017: Solar energy - Solar thermal collectors - Test methods (DIN EN ISO 9806:2017).

Erfurth + Partner, Beratende Ingenieure (2001): Tragkonstruktionen für Solaranlagen: Planungshandbuch zur Aufständerung von Solarkollektoren: Solarpraxis Supernova AG.

Esdec Montageanleitung Clickfit Evo. Online verfügbar unter [https://www.esdec.com/wp-content/uploads/2018/12/Handleiding\\_ClickFit\\_EVO\\_schuine-daken-met-dakpannen\\_REV06\\_DE.pdf](https://www.esdec.com/wp-content/uploads/2018/12/Handleiding_ClickFit_EVO_schuine-daken-met-dakpannen_REV06_DE.pdf).

Esdec Produktinformation: Clickfit Evo. Online verfügbar unter <https://www.esdec.com/de/clickfit-evo-ziegeldach/>.

EuGH T-229/17: Rechtsangleichung - Verordnung (EU) Nr. 305/2011 - Verordnung (EU) Nr. 1025/2012 - Bauprodukte - Harmonisierte Normen EN 14342:2013 und EN 14904:2006 - Begründungspflicht. Europäischer Gerichtshof. Online verfügbar unter <http://curia.europa.eu/juris/document/document.jsf?text=&docid=212845&pageIndex=0&doclang=DE&mode=req&dir=&occ=first&part=1>.

EU Richtlinie 2014/68/EU: des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt Text von Bedeutung für den EWR. Online verfügbar unter <http://data.europa.eu/eli/dir/2014/68/oj>.

EU Verordnung Nr. 305/2011: des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates Text von Bedeutung für den EWR. Online verfügbar unter <http://data.europa.eu/eli/reg/2011/305/oj>.

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten und Stahlbauteilen. Normenreihe. Online verfügbar unter <https://www.eurocode-online.de/de/eurocode-inhalte/eurocode-3>.

Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken. Normenreihe. Online verfügbar unter <https://www.eurocode-online.de/de/eurocode-inhalte/eurocode-9>.

Geimer, K. (2013): Projektabschlussbericht »MechTest« - Charakterisierung der mechanischen Lastfälle durch Schnee- und Windlasten an solarthermischen Kollektoren mit ihren Befestigungs- und Montagesystemen. Unter Mitarbeit von K. Kramer. Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme ISE. Freiburg (STO2-KGe-130902-E).

Geimer, K. (2017): Marktanalyse Montagesysteme. Bericht und Abschluss AP 3.1 im Projekt «KoST». Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE). Online verfügbar unter [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/downloads/pdf/Forschungsprojekte/KoST\\_Marktanalyse\\_Montagesysteme\\_Projektbericht.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/downloads/pdf/Forschungsprojekte/KoST_Marktanalyse_Montagesysteme_Projektbericht.pdf).

Hahn, Walter; Strozyk, Helge: Achtung, Bruchgefahr. In: *Photovoltaik* (04-2012). Online verfügbar unter <https://www.photovoltaik.eu/article-449315-30021/achtung-bruchgefahr-.html>.

Kopp-Assenmacher & Nusser: EU-BauPVO: EuG bestätigt abschließende Wirkung harmonisierter Normen. EuG, Urteil vom 10.04.2019 – Rs. T-229/17. Kopp-Assenmacher & Nusser Rechtsanwälte PartGmbH. Online verfügbar unter <https://kn-law.de/files/upload/news/blog/Mandanteninfo%20EuG%20Stand%2016.4.2019.pdf>.

Mandat M/369 der Europäischen Kommission: M/369 Amendment to: Mandate to CEN/CENELEC concerning the execution of standardisation work for harmonised standards on M 129 «space heating appliance and energy capturing appliances». Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/mandates/index.cfm?fuseaction=search.detail&id=326#>.

Michael Fuhs, Udo Siegfriedt, pv magazine Juni (2016). Messreihe an Dachhaken. In: *pv magazine* (Juni 2016), S. 98–104. Online verfügbar unter [www.pv-magazine.de](http://www.pv-magazine.de).

Projektinfo TEWISol: Technisch-wirtschaftliche Optimierung von solarthermischen Kombianlagen. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE). Online verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/tewisol.html>.

VDI-RICHTLINIEN VDI 6012 Blatt 1.4, 01.2016: Regenerative und dezentrale Energiesysteme für Gebäude - Grundlagen Befestigung von Solarmodulen und -kollektoren auf Gebäuden.

Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks e. V. (2011): Merkblatt Solartechnik für Dach und Wand. Köln. Online verfügbar unter <https://dachdecker.org/architekten-planer/regeluebersicht/>.