

KOST ABSCHLUSSBERICHT

Kostenoptimierung in der Solarthermie durch standardisierte Komponenten und Schnittstellen (Teilprojekt MCSt¹)

¹Die Schwerpunkte des Teilprojekts MCSt sind Montagesysteme (M) und Regler (C), und Standardisierung (St)

Konstantin Geimer

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

Stand: Oktober 2019

Projektnummer: 0325860B

Verbundpartner:

IGTE Universität Stuttgart (Koordination);
Fraunhofer IAO;

Industriepartner:

GREENoneTEC Solarindustrie GmbH
Ritter Energie und Umwelttechnik GmbH & Co. KG
Citrin Solar GmbH, KBB Kollektorbau GmbH
Ernst Schweizer AG, Solvis GmbH
EMZ Hanauer GmbH & Co KGaA

Assoziierte Partner:

Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks e. V. (ZVDH),
Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW), Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Inhalt

1	
AP 3 Kollektorbefestigung	4
1.1	
Ergebnis Marktanalyse von ST und PV Montagesystemen	4
1.1.1	
Zusammenfassung	4
1.2	
Auswertung und Potentialbestimmung	6
1.3	
Ableitung von Standard Schnittstellen	7
1.3.1	
Festlegung Standard Schnittstellen	8
1.3.2	
Einschätzung der Vor- und Nachteile MOUNT-L vs. MOUNT-C	10
1.4	
Kostenreduktionspotentiale durch Umsetzung eines gemeinsamen Standards	10
1.5	
ST Mounting Guide	13
1.5.1	
Zusammenfassung	13
2	
AP 5 Regler	15
2.1	
Ergebnis Marktanalyse Solarthermie Regler	15
2.1.1	
Thematische Schwerpunkte und Kategorisierung	15
2.1.2	
Schnittstellen	16
2.1.3	
Zusammenfassung	17
2.2	
Ableitung eines Reglerstandards für die Solarthermie	19
2.2.1	
Potentiale	19
2.2.2	
Festlegung von Mindestanforderungen und Empfehlungen	19
3	
Fazit	21
4	
Übersicht Veröffentlichungen / Presseecho	22
5	
Literatur- und Anhangsverzeichnis	23

1.1

Ergebnis Marktanalyse von ST und PV Montagesystemen

Im Rahmen des Projekts wurde ein repräsentativer Querschnitt der auf dem deutschen Markt verfügbaren Photovoltaik (PV) und Solarthermie (ST) Montagesysteme insbesondere mit den Schwerpunkten Standardisierungsgrad und Installationsfreundlichkeit diskutiert. Es wurden insgesamt 188 Montagesysteme (32% ST, 68 % PV) von 115 Anbietern mit einer Marktabdeckung von rund 80 % betrachtet. Die detaillierten Ergebnisse sind dem veröffentlichten Einzelbericht zu entnehmen (Geimer 2017a).

1.1.1

Zusammenfassung

Im Falle von PV Montagesystemen gibt es einen weltweiten Markt. Dieser bringt sowohl Standardisierung als auch Innovationen mit dem Ziel einer Reduktion von Installationsaufwand, Material- und Komponentenvielfalt hervor. Teilweise wird damit geworben, dass sich die Installationskosten um bis zu 50 % durch das entsprechende Montagesystem reduzieren lassen.

Im Gegensatz dazu gibt es noch keinen Markt für ST Montagesysteme. Diese müssen individuell auf den Kollektortyp angepasst werden, weil es an einheitlichen Standards zur Befestigungsanbindung zwischen Montagesystem und Kollektor fehlt. Damit ist ein direkter Wettbewerb für Montagesysteme unmöglich und der Markt reduziert sich auf die Lösungen der ST Kollektorhersteller oder deren Zulieferer von individuell geplanten Montagesystemen. Abgesehen von wenigen Ausnahmen haben unabhängige Anbieter, welche mit ST Montagesystemen werben, entweder keine oder nur sehr geringe Absätze in diesem Segment im Vergleich zum Absatz mit PV Montagesystemen. D. h. obwohl es praktisch Anbieter gibt, ist ein nachhaltiger Markteinstieg mit ST Montagesystemen mangels Standardisierung derzeit schwierig.

Dies kann sich durch eine vergleichbar einfache Maßnahme ändern: Standardisierung der Befestigung zwischen Kollektor und Montagesystem. Dies sollte für ST Kollektoren ebenfalls eine standardisierte Anbindung für eine Abrutschsicherung (Halteblech etc.) für die Installation berücksichtigen.

Während sich bei der ST durch eine Standardisierung der Kollektorbefestigung überhaupt erst ein Markt für Montagesysteme ergeben kann, versuchen große Hersteller von PV Montagesystemen durch Innovationen ihre bisher durch den Markt entstandene Variantenvielfalt zu reduzieren. Daraus entstehen z. B. Klemmenkomponenten welche in der Höhe flexibel verstellbar sind und sowohl als Rand und Mittelklemme eingesetzt werden können. Gegenüber dem Einsatz von einer Vielzahl an Einzelkomponenten kann sich damit in Kürze ein neuer Standard in dem Markt der PV Montagesysteme etablieren.

Noch einfacher kann montiert werden, wenn gar keine PV Modulklemme erforderlich ist, weil der Modulrahmen bereits als Teil der Montageschiene ausgeführt wird. Neben einlagigen und zweilagigen Montagesystemen benötigen diese innovativen »nullagigen« Montagesysteme nur die entsprechende Tragwerksanbindung sowie

Verbindungstechnologien der integrierten Montageschienen untereinander. Hierbei verschiebt sich die Standardisierung jedoch wieder in Richtung PV Modul und macht damit Rückschritte, weil es bereits weltweite Standards der Rahmenhöhen bzw. des Rahmendesigns gibt. Daher wären diese Innovationen umso mehr mit einem gemeinsamen Befestigungsstandard an den integrierten Montageschienen zu begrüßen. Aus diesem Beispiel ist erkennbar: Standardisierung und Innovation sind tendenziell Gegenspieler. Kooperationen mit möglichst vielen Partnern (in diesem Fall besonders zwischen PV Modulherstellern und Herstellern von PV Montagesystemen) können dieser Tendenz nachhaltig entgegenwirken.

Neben der Diskussion von konstruktiven Details wurden auch Aspekte der Dokumentation der Belastungsgrenzen sowie Auslegung und Validierung behandelt. Dabei ist die Palette groß was darunter verstanden wird und wie die einzelnen Anbieter damit umgehen. Grundsätzlich war nur in sehr wenigen Dokumentationen der Bezug zu den aktuellsten Normen und damit auch das korrekte Wording gegeben. In vielen Fällen wird in der Dokumentation aufwändig die Bemessungseinwirkung abgeleitet anstatt den Bemessungswiderstand des Produkts anzugeben mit dem Hinweis, dass dieser nicht überschritten werden darf. Letzteres ist rechtlich gesehen für den Anbieter wesentlich sicherer und verhindert zudem das Entstehen von Missverständnissen was praktisch als Lastgrenze angenommen werden darf.

Gleichzeitig ist es sehr zu begrüßen die Thematik der Einwirkungen auch für den Installateur transparent zu dokumentieren und Beispiele für die Bemessungseinwirkung aufzuführen um dafür zu sensibilisieren.

Für genauere Angaben zur Bemessungseinwirkung bzw. inwiefern an bestimmten Orten der Bemessungswiderstand des Produkts lokal auf dem Dach nicht überschritten wird bieten sich Softwaretools zur Auslegung an. Dabei ist es verwunderlich, dass viele Anbieter diese scheinbar völlig unabhängig voneinander intern entwickeln ohne sich in einer übergreifenden Kooperative zu vernetzen. Es geht dabei immer wieder um die gleichen Fragestellungen der regionalen und im nächsten Schritt lokalen Einwirkungen auf dem Dach. Sehr zu begrüßen ist, dass einige Anbieter ihr Auslegungstool online für jeden nutzbar zur Verfügung stellen. Auf Basis einer Kooperation ließe sich der Aufwand erheblich reduzieren, indem ein gemeinsames Tool für die Bemessungseinwirkung und daran angedockt Tools für die individuelle Auslegung des eigenen Produkts eingesetzt werden könnten. Entscheidend dafür wäre eine funktionierende standardisierte Schnittstelle zur Datenkommunikation der Tools untereinander.

Zu den Montagesystemkomponenten– besonders der PV – sind zum großen Teil unabhängige Zertifizierungen aufgeführt. Bei der Einzelbetrachtung zeigt sich jedoch ein großer Spielraum was darunter zu verstehen ist. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) scheinen im Fall von ST und PV bezüglich schwer zu berechnender Teilkomponenten der Trend zu sein. Die meisten Fälle von Montagesystemen sollten sich allerdings an Hand der einschlägigen Standards berechnen lassen und erfordern damit keine abZ.

Aus den bisherigen Ergebnissen der Marktanalyse und den bilateral mit den Projektpartnern durchgeführten Belastungsprüfungen sowie der Analyse der Installationsanleitungen durch das Fraunhofer IAO wurden verschiedene Projektpfade erarbeitet. Diese wurden im Rahmen eines Industrieworkshops mit externen Firmen diskutiert. Das Ergebnis ist in Abb. 01 aufgeführt.

Priorisierung nach Potentialeinschätzung
Ergebnis Einschätzung 21.6.2017 (1 =gering ... 5 =hoch)

- Outsourcen allg. gültige Rechnungen
- 2 **F_{global}** bis **F_{lokal}** zu Wind/Schnee in Verbu(a)nd
- Kollektor-/montagesystemspezifische Auslegungsleitlinien, „best practice“
- 2 **F_{koll}** bis **F_{TW}** entwickeln ggf. Einfluss Kollektoren/Montagesysteme ergänzen (**F_{lokal}** bis **F_{koll}**)
- Installationsanleitungen: „Praktisch gut durchdacht ist halb gemacht!“
- 4 Z. B. Praktische Überprüfungen im „passiven“ Beisein der Entwickler, Schnittstelle Entwickler <-> Handwerker etablieren/verbessern, etc.
- Abgleich theoretischer Auslegungs- und praktischer/geprüfter Belastungsgrenzen (Iteration mit 1. / 2.)
- 2
- Festlegung Schnittstellenmerkmale (z. B. **Einheitsnut**): Kollektor <-> Befestigungssystem <-> Montagesystem <-> Tragwerksanbindung
- 5 ODER: Andocken an bestehende Standards (z. B. PV Montagesysteme)

Abb. 01 Priorisierung der vielversprechendsten Projektpfade im Rahmen eines KoST Industrieworkshops am 21.6.2017

Neben dem Fokus auf verbesserten Installationsanleitungen und einem fortwährenden Dialog zum installierenden Handwerk wurde einer Einheitsnut für die Kollektorbefestigungen das größte Kostenreduktionspotential zugesprochen. Im weiteren Verlauf wurden verschiedene Ansätze von standardisierten Kollektorbefestigungsschnittstellen erarbeitet und mit den Projektpartnern diskutiert.

Die Ergebnisse wurden ebenfalls mit dem Zentralverband des deutschen Dachdeckerhandwerks e. V. (ZVDH) diskutiert. Dazu wurde ein Fragendialog aufgesetzt und die Rückmeldungen ausgewertet. Die Ergebnisse des Fragendialogs können wie folgt zusammengefasst werden:

- Voraussetzungen / Chancen für Zusammenarbeit mit Dachdeckerhandwerk
 - Kein Einsatz von Komponenten ohne AbZ oder anderem bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis + statischem Nachweis für Gesamtsystem
 - Hintergrund: Gewährleistung auf Ausführung 5 Jahre nach §634a BGB / 4 Jahre nach §13 VOB/B)
 - Klare Dokumentation der Anforderungen an Unterkonstruktion / Befestigung

- »Vereinheitlichung« Systemkomponenten (aktuelle Vielfalt von Systemen mindert Akzeptanz beim Dachdecker)
- Dachdeckerhandwerk erfüllt vorwiegend bauaufsichtliche Anforderungen, Steigerung Akzeptanz von Solaranlagen durch **Sprache und Vorgehensweise des Bauwesens** (nicht des Maschinenbaus)
- Zeit und Kostentreiber aus Sicht des ZVDH: Schlechte Montageanleitungen

Damit konnte unabhängig durch eine Branche mit viel Erfahrung und Fachwissen bestätigt werden, dass sowohl die Verbesserung von Installationsanleitungen als auch die Etablierung einheitlicher Schnittstellen die Akzeptanz im Dachdeckerhandwerk maßgeblich erhöhen können.

1.3 Ableitung von Standard Schnittstellen

Ein Befestigungsstandard sollte dabei 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.

Neben verschiedensten Möglichkeiten, welche bereits in der Branche etabliert sind (Geimer 2017a) wurden zwei vielversprechende Ansätze verfolgt um eine gemeinsame Kollektorbefestigungsschnittstelle in Form einer Einheitsnut abzuleiten.

Zum einen wurde eine bereits in der ST Branche vorhandene Lösung als Basis verwendet welche sich optional erweitern lässt. Weiterhin wurde ein Andocken an den PV Befestigungsstandard geprüft. Bezeichnungen und Skizzierung dieser beiden vielversprechenden Lösungen ist in Abb. 02 aufgeführt.

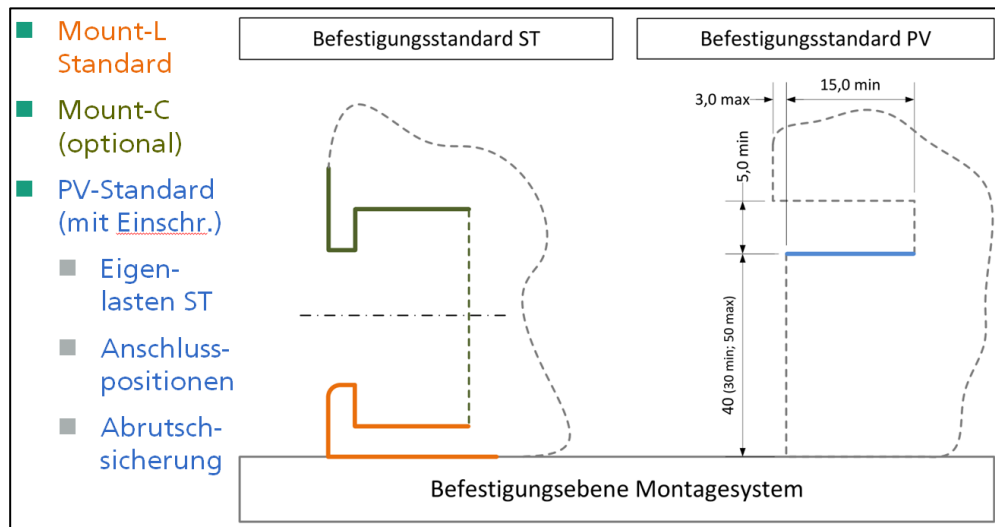


Abb. 02 Ableitung einer Befestigungsschnittstelle für ST Kollektoren mit alternativer Möglichkeit an den PV Befestigungsstandard anzudocken. Die möglichen Freiheitsgrade im Fall der Andockung an den PV Befestigungsstandard sind mit aufgeführt.

In Abstimmung mit dem Partnerkonsortium sowie einem externen Montagesystemhersteller wurde das Andocken an den PV Befestigungsstandard (»PV-Standard) für gerahmte Module als problematisch eingestuft. Die Gründe waren im Einzelnen:

- Ausschließliche Befestigung von Kollektoren über in der PV übliche Klemmverbindung erscheint wegen den wesentlich höheren Eigenlasten für ST

Kollektoren nicht geeignet. Die höheren Eigenlasten resultieren aus dem allgemein höheren spezifischen Flächengewicht sowie den allgemein größeren Bauformen im Vergleich zu PV Modulen.

- Eine derartige Nut im Kollektor würde potentiell die üblichen hydraulischen Anschlussposition von ST Kollektoren behindern und wäre konstruktiv nicht ohne erheblichen Aufwand umsetzbar.
- Wenn doch diese Lösung ggf. mit angepassten Klemmen für höhere Lasten realisiert werden könnte kommt zusätzlich die Fragestellung einer passenden Abrutschsicherung für die Installation auf. Eine Abrutschsicherung ist rein konstruktiv schlecht an den PV Befestigungsstandard anzupassen und vergleichbar aufwändig und sperrig (mindestens 30 mm Höhe bis zu einer möglichen Einfassung einer Abrutschsicherung).

Die L-Nut sowie die voll kompatible optionale C-Nut wurden weiter verfolgt, ihre Vorteile evaluiert und als Standard Schnittstellen bis hin zu fertigungsgerechten Zeichnungen ausgearbeitet.

1.3.1 Festlegung Standard Schnittstellen

Abb. 03 zeigt Ausschnitte der Zeichnungen für die festgelegte Standard Schnittstelle als L-Nut (MOUNT-L) und optional als vollkompatible C-Nut (MOUNT-C).

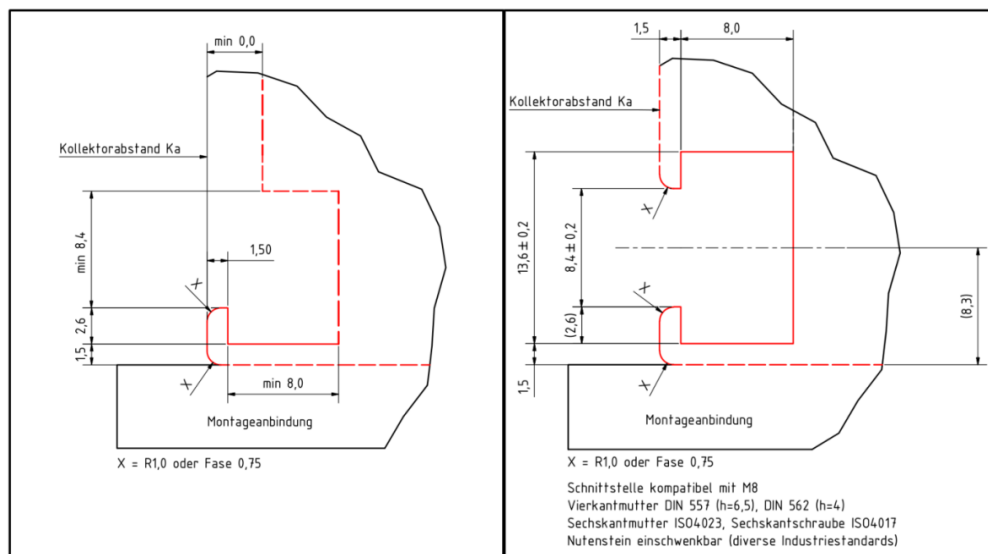


Abb. 03 Festgelegte Standard Schnittstellen für die Kollektorbefestigung in Form von fertigungsgerechten Zeichnungen als MOUNT-L (links) oder optional MOUNT-C (rechts)

Die Lösung vereint dabei folgende Vorteile:

- In der ST gängige Befestigungsanbindung über Klemme möglich
- Sowohl Klemme als auch Nut sind praxiserprobt und validiert am Markt verfügbar (keine »neue« Lösung)
- Lösung durch Anpassung des Rahmenprofils für gerahmte Kollektoren mit vertretbarem Aufwand umsetzbar, im Fall von Wannenkollektoren werden tendenziell Befestigungsadapter verwendet – eine Anpassung dieser ist ebenfalls mit

vertretbarem Aufwand umsetzbar. Für Vakuumröhrenkollektoren lässt sich ebenfalls das Rahmenprofil vergleichbar einfach anpassen.

- Mögliche Freiheitsgrade in der individuellen Gestaltung des Rahmenprofils wurden berücksichtigt (Minimumangaben)
- Einführung eines Kollektorabstand K_a als Anschlag / Bezugsmaß der Außenkante z. B. für die Auslegung hydraulischer Verbinder oder den Befestigungsabstand innerhalb eines Kollektorfelds
- Die optionale Lösung als MOUNT-L bringt zusätzliche Vorteile:
 - Maße fertigungsgerecht hinterlegt (Toleranzen für Mundstückabnutzung berücksichtigt)
 - Voll kompatibel zu MOUNT-L sowie folgenden Normteilen zur Anbindung:
 - M8 Vierkantmutter DIN 557 ($h=6,5$), DIN 562 ($h=4$), in Fertigung vorkonfektioniert oder als invasive Einbringung
 - Passung für Schraubenkopf M8 Sechskantmutter ISO4023 oder M8 Sechskantschraube ISO4017 in Fertigung vorkonfektioniert oder als invasive Einbringung
 - Nutzensteine vorkonfektioniert bzw. invasiv oder auch einschwenkbar (diverse Industriestandards)

Damit ist optional mit MOUNT-C eine Anbindung über Standardteile ohne eine individuelle Klemme möglich.

Der entwickelte Standard »EASY-ST MOUNT« wurde im Rahmen des Projekts unter der Website <http://easy-st.org> sowie dem gleichnamigen Branding easy-st veröffentlicht.

1.3.2

Einschätzung der Vor- und Nachteile MOUNT-L vs. MOUNT-C

Der erarbeitete Befestigungsstandard wurde in einer Umfrage unter dem Partnerkonsortium evaluiert. Das Ergebnis ist in Abb. 04 dargestellt. Der größte Nutzen, hinsichtlich Vorteilen und Umsetzbarkeit mit vertretbarem Aufwand wurde dabei MOUNT-L Lösung zugeschrieben.

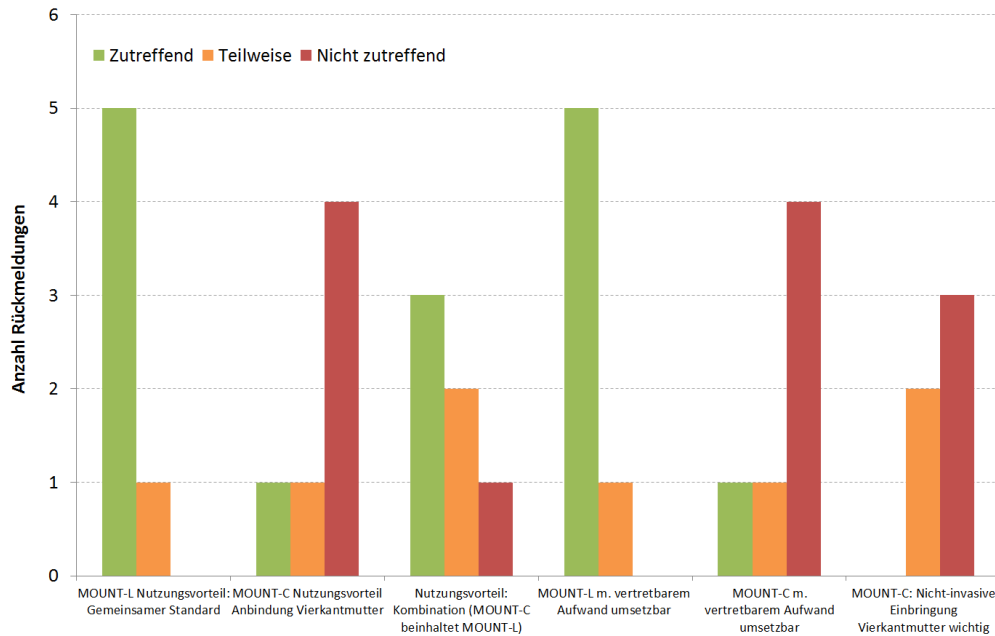


Abb. 04 Einschätzung des Partnerkonsortiums zu Vor- und Nachteilen von MOUNT-L im Vergleich zu MOUNT-C

Die C-Nut bringt Vorteile durch die Kombinationsmöglichkeit. Sie wird jedoch in der Umsetzung als aufwändiger eingestuft.

1.4

Kostenreduktionspotentiale durch Umsetzung eines gemeinsamen Standards

Auf Basis einer Literaturrecherche wurden die Kostenreduktionspotentiale für massentaugliche Montagesysteme abgeschätzt. Die Vergleichsgrundlage war dabei als schwierig einzustufen, da aus der Literatur lediglich Werte für Freilandanlagen zu finden waren und diese mit dem Befestigungs- und Installationsanteil aus BAFA-Rechnungen verglichen wurden (Geimer und Kramer 2014). Aus diesem Grund wurde ein neuer Kostenvergleich von PV vs. ST Montagesystemen aus der aktuellen Marktlage heraus aufgestellt. Es ging dabei um die Kosten pro m² Montagesystem von Anbietern gegenüber Fachbetrieben für eine Aufdachanlage mit Dachhaken für eine ähnliche Wind- und Schneebelastung. Es wurden die Kosten von je fünf namhaften Montagesystemanbietern für PV / ST Systeme recherchiert. Das Ergebnis ist in Abb. 06 dargestellt.

	Kosten in EUR pro m ² gegenüber Fachbetrieben	
	PV	ST
Max	35	47
Mittel	19	41
Min	11	35

Abb. 05 Kosten von Montagesystemen für PV und ST Anlagen im Vergleich (Aufdachanlage mit Dachhaken jeweils für eine ähnliche Wind- und Schneebelastung)

Unter der Annahme, dass sich die Kosten für das Montagesystem für ein ähnliches Lastszenario in Richtung PV Markt angleichen lassen kann von einem Kostenreduktionsfaktor für die ST Anlagen von 2..3,5 im Bereich der Montagesysteme ausgegangen werden. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine etablierte standardisierte Kollektorbefestigungsschnittstelle.

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 (Bachmann et al. 2018) können durch einen gemeinsamen Befestigungsstandard um über 5 % gesenkt werden. Wie sich dabei die Kostenreduktion im Verhältnis zur Gesamtkostenstruktur darstellen kann ist in Abb. 06 dargestellt.

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.

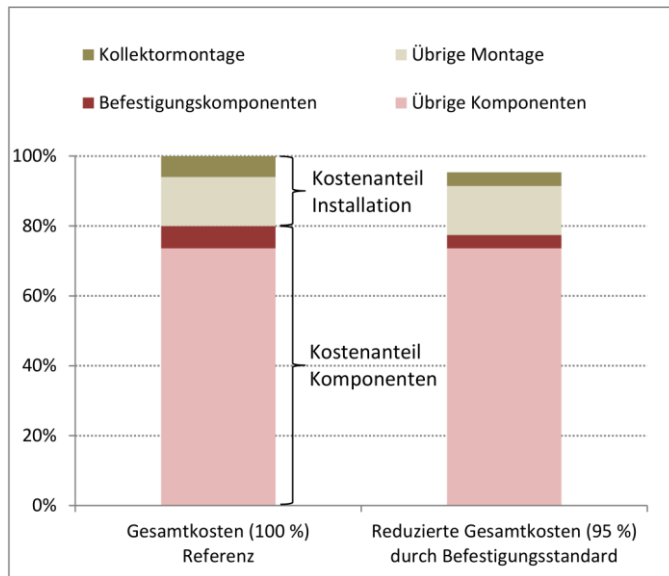


Abb. 06 Reduzierung der Gesamtkosten einer Referenz EFH Kombianlage durch Umsetzung eines ST Befestigungsstandards wie unter <http://easy-st.org> vorgestellt (Kostenstruktur auf Basis Referenzanlage nach IEA SHC Task54)

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 %) 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.

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.

1.5 ST Mounting Guide

Die Ergebnisse wurden in Form eines »ST Mounting Guide« aufbereitet und veröffentlicht. Der 42 seitige Leitfaden für Solarthermie Montagesysteme und Kollektorinstallation, zur kostenoptimierten Auslegung und Anwendungspraxis richtet sich an die Gewerke der Solarthermie Branche wie Hersteller, SHK Betriebe und das beteiligte Installationshandwerk (Geimer 2019).

1.5.1 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. Weiterhin werden z. B. verschiedene Dachanbindungstypen mit Vor- und Nachteilen vorgestellt und geklärt warum das Dachhandwerk – mit gutem Grund – besonders Formelemente zur Dachanbindung bevorzugt.

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.

Wird dabei herstellerseitig 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.

Auch wenn bisher in der ST Branche die Befestigungslösung ein beliebtes Differenzierungsmerkmal darstellt gilt es »technisch freundlichere« Lösungen zur gegenseitigen Differenzierung zu verwenden.

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.

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.

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

Werden zudem herstellereitig 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.

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. 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.

2 AP 5 Regler

2.1 Ergebnis Marktanalyse Solarthermie Regler

2.1.1 Thematische Schwerpunkte und Kategorisierung

Die Liste der betrachteten Produkte und Merkmale setzt sich aus einem bereits vorhandenen Datensatz (<http://www.energie-datenbank.eu/>) mit zusätzlichen aktuell recherchierten Produktdaten und weiteren betrachteten Merkmalen zusammen.

Die Auswahl der zusätzlich aufgenommenen Merkmale der Regler zu den übernommenen Datensätzen erfolgte durch Vorgaben des Projekts sowie die Abstimmung mit den Projektpartnern im Rahmen von Projekttreffen und Rückfragen.

Wie bei der Antragsstellung im Projekt vorgesehen sowie von den Projektpartnern gewünscht, lagen die thematischen Schwerpunkte der Datenaufbereitung in den Themen Kommunikationsschnittstellen, Installation und Montage sowie Bedienmerkmale. Weitere Merkmale wurden aufgenommen wie z. B. die freie Zugänglichkeit von Firmware Updates ohne zwangsläufige Registrierung auf der Herstellerseite und andere (siehe Anhang).

Auf dieser Grundlage wurden die Spalten der generischen Liste mit folgenden thematischen Blöcken gruppiert:

- Ausgänge
- Eingänge
- Schnittstellen
- Bedienmerkmale
- Fernbedienung
- Installation/Montage
- Softwarefeatures
- Funktionsumfang

Die aufbereitete Marktübersichtsliste befindet sich im Anhang dieses Berichts. Die Ergebnisse wurden bezüglich der Einsatzgebiete kategorisiert. Hierfür wurde vereinfacht in drei Kategorien unterteilt:

- Einfache Solarregler zur Warmwasserbereitung: **WW**.
- Regler mit diesen und zusätzlichen Funktionen zur Heizungsunterstützung: **KOMBI**.

- Multifunktionale oder Systemregler mit grundsätzlich darüber hinausgehendem Umfang der Regelmöglichkeiten: **MF**.

Die Kategorisierung wurde maßgeblich von Sonne Wind & Wärme (Jens-Peter Meyer 2014, 2015) bzw. deren Komponentendatenbank (<http://www.energie-datenbank.eu/>) übernommen. Die Trennung dieser Kategorien kann jedoch nicht scharf gezogen werden. Zumeist verfügen die Regler der Kategorie KOMBI gegenüber der grundsätzlichen Regelung eines Kollektorkreislaufs (Kategorie WW) weitaus mehr realisierbare hydraulische Schemata mit Funktionen wie Rücklaufanhebung oder Berücksichtigung bzw. Logikverknüpfung mit weiteren Temperatureingängen. Je nach Anlage kann ein Regler der Kategorie WW jedoch potentiell auch zu anderen Zwecken und nicht nur ausschließlich zur Warmwasserbereitung genutzt werden.

2.1.2 Schnittstellen

Grundsätzlich ist erkennbar, dass die Schnittstellen breit gefächert sind und sich kein klarer Standard abzeichnet. Das Diagramm in Abb. 07 zeigt zu welchen Anteilen die in der Marktübersicht aufgeführten Schnittstellen in bestimmten Reglerkategorien unterstützt werden.

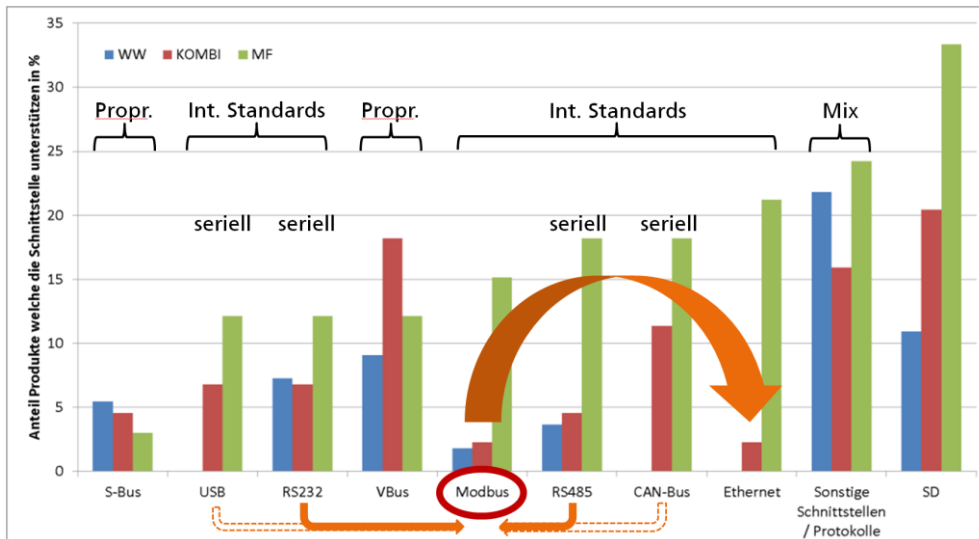


Abb. 07 Unterstützte Schnittstellen nach Kategorien aufsteigend sortiert für WW, KOMBI und MF Regler sowie vereinfachte Darstellung von Schnittstellenbeziehungen
Propr.: Proprietär
Int.: International
SD: Schnittstelle SD Karte

Dabei ist die Frage des Ziels der Schnittstellen entscheidend. Ein Datenlogging beispielsweise was 70 % der KOMBI Regler und 85 % der MF Regler unterstützen kann durch einen internen Speicher oder eine andere Schnittstelle erfolgen. Die Art bzw. Möglichkeiten des Datenloggings wurde nicht für jedes Produkt explizit bestimmt. Die Anbindung per SD-Karte scheint hierfür als Schnittstelle am meisten vertreten. Dies jedoch nicht in einem Maße dass es als Standard erkennbar wäre (WW: 11 %; KOMBI: 20 %; MF: 33 %).

Ein oder mehrere Nutzen kann eine Schnittstelle mit sich bringen wie z. B.:

- Datenlogging
- Fernsteuerung und Auswertung über App, Browser/Internet oder. zu installierende Software

- Verbindung mehrerer (auch unterschiedlicher) Geräte miteinander / standardisierte Bus-Anbindung
- Firmware up-dates
- Erweiterter Service und Wartung bzw. Fernwartung
- Eingänge

Neben den explizit aufgelisteten 9 Schnittstellen in der Marktübersicht sind über 5 weitere Sonstige Schnittstellen / Protokolle - und damit insgesamt eine Diversität von über 14 verschiedenen Schnittstellen vertreten. Besonders die sonstigen und teilweise auch proprietären Schnittstellen sind durch alle Reglerkategorien hinweg gut vertreten.

Das Ziel kann dabei sein, dass sich Hersteller mit einer eigenen oder modifizierten Schnittstelle am Markt positionieren. Damit können sie sich gegenüber der Konkurrenz mit dem eigenen Produktportfolio abheben und die Konnektivität beim Einsatz mehrerer Geräte/Module aus dem eigenen Hause sicherstellen. Dabei bedeutet die Unterstützung einer Schnittstelle bzw. eines Protokolls laut Herstellerangabe jedoch nicht, dass Produkte unterschiedlicher Hersteller miteinander problemlos kommunizieren können. Das wäre zwar für den Endnutzer oder auch das Planungsbüro wünschenswert, dies ist jedoch wegen unterschiedlicher Schnittstellen- bzw. Protokollversionen und auch wegen herstellerspezifischen Implementierungen eine Seltenheit. Grundsätzlich spielt das Thema mehr in den Kategorien KOMBI und MF eine Rolle. Bei MF Reglern ist Ethernet mit 21 % sowie die anderen 8 explizit aufgeführten Schnittstellen zu grob 15 % vertreten.

Auf die technischen Vor- und Nachteile der einzelnen Schnittstellen und deren Marktbedeutung kann im Rahmen dieser Marktübersicht nicht genauer eingegangen werden.

Wenn es darum geht den Bestand zu sanieren und mit moderner Regelungstechnik auszustatten scheint jedoch klar, dass rückwärtskompatible smarte Masterregler welche in der Lage sein sollen mit Geräten aus dem Bestand zu kommunizieren durchaus eine große Herausforderung darstellen. Hätte es vor 15-30 Jahren bereits in großem Stil eingesetzte standardisierte Schnittstellen gegeben wäre derzeit einiges einfacher. Oder: Die Schnittstellen die sich seitdem durchweg behaupten konnten haben grundsätzlich Potential. An dieser Stelle macht es Sinn anzusetzen und gemeinsam einen Standard zu entwickeln bzw. die Vor- und Nachteile der vorhandenen Schnittstellen zu diskutieren um zukunfts-trächtige Anschlussfähigkeit und Kompatibilität herzustellen und so die Kosten für individuelle Lösungen und Schnittstellenprobleme auf ein Minimum zu reduzieren.

2.1.3 Zusammenfassung

In Bezug zu Installation und Montage wurde aus der durchgeführten Marktübersicht deutlich, dass verschiedene Abmessungen mehr einer Ergonomie geschuldet sind als einem technischen Erfordernis. So erscheint es konsequent, dass einige Hersteller innerhalb ihres Produktportfolios identische Gehäuseabmessungen für unterschiedliche Produkte verwenden.

Standardisierte Abmessungen können allerdings dann ihr Potential entfalten wenn sie die Möglichkeit einer Integration bieten. Einige Hersteller bieten diese Integrierbarkeit – allerdings vornehmlich im Rahmen des eigenen Produktportfolios. Inwiefern die

Unterschiede in Installation und Montagemerkmalen grundsätzlich zu kürzeren oder längeren Montagezeiten und damit geringeren oder höheren Gesamtkosten führen, kann in diesem Rahmen nicht geklärt werden. Integrierbare Produkte sollten hier jedoch Vorteile aufweisen.

Die Bedienbarkeit und Einfachheit der Inbetriebnahme schließt sich hier thematisch an. Jeder Hersteller hat sein eigenes Konzept der Bedienungsergonomie mit entsprechenden Assistenztools zur Installation und Inbetriebnahme. Dies hat grundsätzlich einen Einfluss auf Installations- und Montagezeiten. Klar ist das Installateure dazu neigen sich auf ein Bedienkonzept und damit einen Hersteller festzulegen. Aus den Angaben der Bedienmerkmale Vor- und Nachteile abzuleiten kann jedoch nicht im Rahmen dieser Marktübersicht erfolgen. Interviews mit Installateuren die unterschiedliche Bedienkonzepte anwenden, würden hier ggf. weiterführen.

Bezüglich der Fernbedienmöglichkeit erscheint es vorteilhaft z. B. das Bedienteil vom Regler abnehmen zu können um es am benötigten Ort einzusetzen und sich dabei die Konfiguration zusätzlicher Fernbedienungsfunktionen zu ersparen. Wie hoch derartige Effekte für die Installationszeiten wirklich sind bleibt jedoch unklar zumal sie auch nicht zwangsläufig vom Installateur genutzt werden. Dies ist allerdings als Feature für den Endnutzer grundsätzlich interessant mit den genannten Vorteilen (Fernbedienung durch einfaches abnehmen des Bedienteils).

Interessant ist, dass weniger als 30 % der WW Regler Kategorie grundsätzlich über eine Fernbedienungsfunktion verfügen während dies nahezu bei allen KOMBI und MF Regler der Fall ist (80 bzw. 85 %). Besonders auffällig ist dabei, dass als Fernbedienungsfunktion über die Hälfte aller KOMBI Regler über einen Datenzugriff und/oder eine Fernsteuerung per mobiler App verfügen. Dies deutet daraufhin, dass im Falle von WW Reglern die Tendenz besteht, sie einmal einzurichten ohne die Funktion weiterhin zu beobachten oder zu verbessern. Im Falle von KOMBI und MF Reglern ist dabei ein höheres Maß an Kommunikation mit dem Nutzer gewünscht, da sie grundsätzlich für wesentlich mehr Funktionen eingesetzt werden, welche dann bequem per Fernbedienung erreicht werden sollen. Hier tendiert der Standard eindeutig zur mobilen App.

Bezüglich des Themenbereichs Schnittstellen und Interkonnektivität bestehen deutlich Spielräume und Potentiale zur Verbesserung für den Endkunden bzw. die Planer. Zu groß ist der Dschungel der verschiedenartigen teilweise nicht miteinander kompatiblen Schnittstellen und Protokolle. Eine Standardisierung in diesem Bereich könnte viele Probleme lösen und zusätzlich die Kombination unterschiedlicher Produkte und damit Herstellerqualitäten ermöglichen (auch in Bezug zur Rückwärtskompatibilität).

Gleichzeitig lösen dies einige Hersteller durch eine eigene, teilweise proprietäre Schnittstelle innerhalb ihres Portfolios, was für sie viele Vorteile mit sich bringt, sofern entsprechende Marktanteile vorhanden sind. Dies ist jedoch nicht immer im allgemeinen Interesse. Genau an dieser Stelle wäre ein standardisierender Impuls sehr wünschenswert, welcher auch von der Branche unterstützt und wahrgenommen wird.

Die Ausführungen zeigen, dass im Gesamtkontext grundsätzlich Kostenreduktionspotentiale bestehen, welche mit durchdachten Standardisierungsansätzen gehoben werden können. Dies gilt besonders im Bereich der Schnittstellen. Gleichzeitig reicht jedoch der Rahmen dieser Marktübersicht nicht aus, um die in der Praxis vorhandenen Potentiale vollumfänglich zu identifizieren. Dazu wäre ein groß angelegter Dialog mit dem Handwerk erforderlich.

Die gesamte Betrachtung ist dem Einzelbericht zu entnehmen (Geimer 2017b).

2.2

Ableitung eines Reglerstandards für die Solarthermie

2.2.1

Potentiale

In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern sowie als Ergebnis der Durchführung der Reglerprüfungen wurden die möglichen Potentiale für eine Standardisierung eruiert. Folgende Potentiale wurden dabei betrachtet und untersucht.

- Mindestregelfunktion ohne Marktpotential, weil bereits etabliert (SpMax, KollMin, Frostschutz)
- Art der Kabelanbindung / Auflegung
 - Leichte, möglichst werkzeugfreie Bedienung
- Bezeichnung/Kennzeichnung der Anschlüsse (auch virtuelle Anschlüsse)
 - Harmonisierung der Anschlussbezeichnungen
- Installationsassistent / »Anleitungsfrei starten«
 - Z. B. Inbetriebnahmehilfe/-assistent MF/KOMBI inkl. Überprüfung Pumpenanschlüsse etc.
- Verbindungs-/Kommunikationsschnittstelle(n)
 - Reglerübergreifende Konnektivität mit/ohne proprietäre Schnittstelle von Vorteil
 - Etablierung von Datenlogging Architektur für KOMBI / MF Kategorie
 - Fernsteuerung und Auswertung über App, Browser/Internet oder. zu installierende Software
 - Entwicklung der internationalen und proprietären Standards verfolgen, mittelfristige Potentiale für Standardisierung abschätzen

2.2.2

Festlegung von Mindestanforderungen und Empfehlungen

Als Ergebnis wurden Mindestanforderungen und Empfehlungen erarbeitet. Ziel war dabei ein hohes Maß an Installationsfreundlichkeit sowie eine einfache Zugänglichkeit zur Reglerdokumentation zu ermöglichen.

Die folgenden Mindestanforderungen wurden für alle Reglertypen identifiziert:

- Speichertemperaturbegrenzung (im Markt bereits etabliert)
- Kollektorminimaltemperatur zur Solarkreisaktivierung (im Markt bereits etabliert)

- Frostschutzfunktion durch aktive Kollektorbeheizung bei Temperaturunterschreitung im Kollektorkreis (im Markt bereits etabliert)
- Kennzeichnung aller elektrischer Anschlüsse als direkte Zuordnung am Ort des Auflegens, ohne auf eine Anleitung oder Zusatzinfokarte zurückgreifen zu müssen
 - Lesbarkeit der Kennzeichnung auch nach Kabelanbindung
 - Netzanschluss Symbolik nach internationaler Norm EN 60617-2
- Bedienungsanleitung online frei verfügbar (ohne Registrierung)

Zusätzlich wird eine werkzeugfreie Kabelanbindung und -entfernung der elektronischen Leitungen empfohlen. Diese kann optional mit Werkzeug erfolgen.

Für heizungsunterstützende bzw. Multifunktionsregler wurden zusätzlich folgende Mindestanforderungen identifiziert:

- Installationsassistent am Gerät bzw. Bedienteil, damit eine Installation, Anschlusszuweisung und Inbetriebnahme anleitungsfrei möglich wird
 - Dafür ist in den meisten Fällen ein vorheriger Netzanschluss erforderlich. Dieser muss über eine ausreichende elektrische Sicherheit verfügen, sodass Fachpersonal unter Nutzung des Installationsassistenten eine Kabelanbindung an Aktoren / Sensoren vornehmen kann
- Automatische oder manuelle Überprüfungsmöglichkeit der Anschlüsse (Aktoren / Sensoren)

Weiterhin ist empfohlen, dass heizungsunterstützende bzw. Multifunktionsregler über eine Möglichkeit zur Fernüberwachung oder Datenspeicherung verfügen.

Als Schnittstelle für heizungsunterstützende oder Multifunktionsregler wird Modbus TCP empfohlen. Problematisch ist dabei jedoch, dass die Werte/Register innerhalb der Schnittstelle bisher nicht harmonisiert sind. Eine Kompatibilität ist zwar damit technisch gegeben, die direkte konsistente Wertübergabe ist jedoch an gleiche Werte/Register gebunden.

Mittelfristig sollte der EEBUS als Schnittstelle etabliert werden: <https://www.eebus.org/>
Die Entwicklung ist jedoch derzeit noch nicht marktreif, wird jedoch von einem großen Konsortium vorangetrieben.

Der entwickelte Reglerstandard wurde im Rahmen des Projekts unter der Website <http://easy-st.org> sowie dem gleichnamigen Branding easy-st veröffentlicht.

3 Fazit

.....
Fazit
.....

Die Inhalte und Ergebnisse des Projekts adressieren die in der Bekanntmachung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) zur Forschungsförderung im 6. Energieforschungsprogramm angesprochenen Punkte aus dem Bereich der Niedertemperatur Solarthermie wie die Senkung der Kosten für die Technologien und die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen.

Das Projekt beschäftigte sich mit ST Kollektoren und deren Befestigungstechnologien mit dem Ziel einer Kostenreduktion durch Standardisierung. Ausgehend von einer umfangreichen Marktanalyse war das wesentliche Ergebnis, dass die Standardisierung im Bereich der Kollektorbefestigung praktisch nicht vorhanden ist und dringend etabliert werden muss. Zudem wurde klar, dass die Installationsfreundlichkeit verbessert werden muss und generell Fachbetriebe bzw. das installierende Handwerk besser in der Auslegung der Anlagen unterstützt werden sollten.

Technisches Ergebnis ist dabei eine standardisierte Kollektorschnittstelle EASY-ST MOUNT sowie der ST Mounting Guide auf dem in rund 40 Seiten erläutert wird auf was es ankommt um Montage- und Befestigungssystem bei der Kollektorentwicklung kostengünstig und installationsfreundlich zu berücksichtigen. Dabei richtet sich der ST Mounting Guide an Hersteller, anbietende Fachbetriebe als auch das installierende Handwerk. Der in deutscher Sprache verfasste und vergleichbar einfach geschriebene ST Mounting Guide hilft dabei direkt potentiellen Neueinsteigern in der Branche die Thematik zu erleichtern und schon in der Planung die Punkte zu vertiefen auf die es für kostengünstige Lösungen für Kollektoren mit ihren Befestigungen ankommt. Etablierte Firmen können damit ebenfalls Verbesserungspotentiale in dem beschriebenen technischen Feld ableiten und insgesamt ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern.

Die Senkung der Kosten für die erneuerbaren Energien im Feld der Niedertemperatur Solarthermie ergibt sich durch eine Nutzung der entwickelten Standard Schnittstellen im Bereich der Kollektorbefestigung sowie eine Nutzung der dokumentierten Mindestanforderungen im Bereich Solarthermieregler. Regler welche die entwickelten Mindestanforderungen erfüllen haben dabei das Potential einfacher und schneller installiert werden zu können. Kollektoren welche an Hand der standardisierten Kollektorbefestigungsschnittstelle designt werden haben das Potential von geringeren Gesamtkosten vor allem im Bereich des Montagesystems. Eine Umsetzung und Verbreitung der Standards soll mittelfristig zu mehr Akzeptanz beim installierenden Handwerk führen, weil sich Wiedererkennungseffekte einstellen und die Anzahl an unterschiedlichen Schnittstellen welche das Handwerk bedienen muss reduziert.

4 Übersicht Veröffentlichungen / Presseecho

2018 IEA Task 54: 6th Experts Meeting on 24th April, Sophia Antipolis, France – Cost reduction by standardizing the collector mounting interface

2018 Journée R&D ADEME: Final dissemination workshop 26th April, Sophia Antipolis, France – Cost reduction by standardizing the collector mounting interface

2018 Symposium Thermische Solarenergie 13.-15. Juni Kloster Banz, Bad Staffelstein: Posterbeitrag – Kostenreduktion in der Solarthermie durch Standardisierung von Befestigungs- und Montagesystemen

2019 Newsartikel auf solarthermalworld.org zu Marktübersicht Regler: (siehe <https://www.solarthermalworld.org/content/app-controlled-solar-thermal-equipment>)

2019 Informationswebsite easy-st.org: Informationsüberblick über entwickelte Standards EASY-ST CONTROL, EASY-ST MOUNT, EASY-ST CONNECT (IGTE)

2019 Research Gate: ST Mounting Guide (siehe https://www.researchgate.net/publication/336771283_ST_MOUNTING_GUIDE_Leitfaden_Solarthermie_Montagesysteme_und_Kollektorinstallation_zur_kostenoptimierten_Auslegung_und_Anwendungspraxis)

2019 Bad Staffelstein, Kloster Banz 21.5.2019: Industrieworkshop zum Projektabschluss (Kostenreduktion und Qualitätssicherung in der Solarthermie)

5

Literatur- und Anhangsverzeichnis

Bachmann, S.; Fischer, S.; Hafner, B. (2018): Task 54 Reference System, Germany Solar Combisystem for Single-Family House. INFO Sheet A09. Hg. v. Solar Heating & Cooling Programme. Online verfügbar unter <http://task54.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/A09-Info-Sheet--Ref-SF-Solar-Combisystem--Germany.pdf>.

Geimer, K. (2017a): Marktanalyse Montagesysteme. 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.

Geimer, K. (2017b): Marktanalyse Solarregler. Fraunhofer Institute for Solar Energy (ISE). Online verfügbar unter https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/downloads/pdf/Forschungsprojekte/KoST_AP5_1_Marktanalyse-Marktuebersicht%20Solarregler.pdf.

Geimer, K. (2019): ST Mounting Guide. Leitfaden Solarthermie Montagesysteme und Kollektorinstallation, zur kostenoptimierten Auslegung und Anwendungspraxis. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE). Freiburg. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/336771283_ST_MOUNTING_GUIDE_Leitfaden_Solarthermie_Montagesysteme_und_Kollektorinstallation_zur_kostenoptimierten_Auslegung_und_Anwendungspraxis.

Geimer, K.; Kramer, W. (2014): Cost reduction by standardizing the collector mounting interface. Subtask B.1: Definition of standardized components. Hg. v. 6 th Task 54 Experts Meeting Dissemination Workshop Sophia Antipolis, France. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Sophia Antipolis, France.

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#>.

Anhang A: Marktanalyse Solarregler

Anhang B: Marktanalyse Montagesysteme

Anhang C: ST Mounting Guide

Bericht ST01-KGe-161122-E

Marktanalyse Solarregler

Bericht und Abschluss AP 5.1 im Projekt „KoST“

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**Bericht und Abschluss des Arbeitspakets AP 5.1
„Marktanalyse Solarregler“ im Rahmen des geförderten
Verbundprojekts Kostenreduktion in der Solarthermie
durch standardisierte Komponenten und Schnittstellen
„KoST“.**

Teilprojekt: MCSt

Förderkennzeichen: 0325860B

bearbeitet von:

Konstantin Geimer

9. Februar 2017

Anschrift:

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Heidenhofstrasse 2

79110 FREIBURG

Deutschland

Inhalt

1	Literaturquellen und Datengrundlage.....	4
2	Thematische Schwerpunkte	5
3	Kategorisierung der Reglertypen	6
4	Entwicklung seit 2001.....	6
5	Generische Auswertung	7
5.1	Sortierung.....	7
6	Auswertung unter Standardisierungsaspekten	8
6.1	Abmessungen Montage und Installation	8
6.2	Fernbedienung	10
6.3	Schnittstellen.....	11
7	Standby Verluste und ErP Anforderungen	14
8	Fazit	14
9	Literaturverzeichnis	16

Dieser Bericht umfasst 16 Seiten. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse darf nicht unvollständig oder im sinnentstellenden Zusammenhang erfolgen.

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Abteilung Wärme und Kältetechnik

Freiburg, 9. Februar 2017

Konstantin Geimer
Projektleitung

Dr. Korbinian Kramer
Gruppenleitung



1 Literaturquellen und Datengrundlage

Als Datengrundlage wurde einschlägige Fachliteratur, im Internet verfügbare Datenbanken und Projektberichte zum Thema verarbeitet. Es wurden auch Informationen aus Herstellerdokumentationen zu einem spezifischen Produkt ergänzt. Folgende Liste enthält alle Quellen:

- Henner Kerskes, Harald Drück, Stephan Bachmann (August/2001): "Kombianlagen" Solaranlage zur kombinierten Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung. Hg. v. Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW). Stuttgart
- Jens-Peter Meyer (2014): Marktübersicht Solarregler. Im Schatten der Richtlinie. In: *Sonne Wind & Wärme* (02/2014), S. 42–49
- Jens-Peter Meyer (2015): Marktübersicht Solarregler. Mehr als Temperaturdifferenz. In: *Sonne Wind & Wärme* (01/2015), S. 28–35; (Jens-Peter Meyer 2015)
- <http://www.energie-datenbank.eu/>
Komponentendatenbank Sonne Wind & Wärme
- Produktspezifische Herstellerinformationen (Datenblätter, Installationsanleitungen, ggf. Herstellerkontakt etc.)

Im Wesentlichen wurden die Datensätze aus der Komponentendatenbank übernommen, an Hand der Herstellerdokumentation stichprobenartig auf Plausibilität überprüft, ggf. korrigiert und um bestimmte Merkmale erweitert. In Bezug zur Richtigkeit und Aktualität der Angaben wurde der online abrufbaren Herstellerdokumentation bzw. Infos aus dem Direktkontakt die höchste Plausibilität eingeräumt.

Die Bezeichnung „Hersteller“ bedeutet in diesem Rahmen nicht zwingend, dass diese Firma selbst herstellt bzw. produziert. Ein Teil der Produkte stellt Handelsmarken dar womit potentiell Doppelungen möglich sind. Diese spiegeln jedoch auch den Markt selbst wieder.

2 Thematische Schwerpunkte

Die Auswahl der zusätzlich aufgenommenen Merkmale der Regler zu den übernommenen Datensätzen erfolgte durch Vorgaben des Projekts sowie die Abstimmung mit den Projektpartnern im Rahmen von Projekttreffen und Rückfragen.

Wie bei der Antragsstellung im Projekt vorgesehen sowie von den Projektpartnern gewünscht, lagen die thematischen Schwerpunkte der Datenaufbereitung in den Themen Kommunikationsschnittstellen, Installation und Montage sowie Bedienmerkmale. Darüber hinaus wurden weitere Merkmale im Rahmen dieser Arbeit aufgenommen wie z. B. die freie Zugänglichkeit von Firmware Updates ohne zwangsläufige Registrierung auf der Herstellerseite und andere (siehe Anhang).

Auf dieser Grundlage wurden die Spalten der generischen Liste mit folgenden thematischen Blöcken gruppiert:

- Ausgänge
- Eingänge
- Schnittstellen
- Bedienmerkmale
- Fernbedienung
- Installation/Montage
- Softwarefeatures
- Funktionsumfang

Die aufbereitete Marktübersichtsliste befindet sich im Anhang dieses Berichts.

3 Kategorisierung der Reglertypen

Die Ergebnisse wurden bezüglich der Einsatzgebiete kategorisiert. Hierfür wurde vereinfacht in drei Kategorien unterteilt:

1. Einfache Solarregler zur Warmwasserbereitung (WW),
2. Regler mit diesen und zusätzlichen Funktionen zur Heizungsunterstützung (KOMBI) sowie
3. Multifunktionale oder Systemregler mit grundsätzlich darüber hinausgehendem Umfang der Regelmöglichkeiten (MF).

Die Kategorisierung wurde maßgeblich von Sonne Wind & Wärme (Jens-Peter Meyer 2014, 2015) bzw. deren KomponentenDatenbank (<http://www.energie-datenbank.eu/>) übernommen. Die Trennung dieser Kategorien kann jedoch nicht scharf gezogen werden. Zumeist verfügen die Regler der Kategorie KOMBI gegenüber der grundsätzlichen Regelung eines Kollektorkreislaufs (Kategorie WW) weitaus mehr realisierbare hydraulische Schemata mit Funktionen wie Rücklaufanhebung oder Berücksichtigung bzw. Logikverknüpfung mit weiteren Temperatureingängen. Je nach Anlage kann ein Regler der Kategorie WW jedoch potentiell auch zu anderen Zwecken und nicht nur ausschließlich zur Warmwasserbereitung genutzt werden.

4 Entwicklung seit 2001

An Hand vorangegangener Marktübersichten kann ein grober Trend abgeleitet werden. Die Marktübersichten erheben jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit so auch die vorliegende nicht. Es zeichnet sich jedoch ab, dass die Diversität, d. h. die Anzahl verschiedener Regler auf dem Markt stark zugenommen hat. Tabelle 1 zeigt diesen groben Trend. Die Anzahl Anbieter sind dabei in etwa gleich geblieben. Die Bedeutung der verschiedenen Kategorien scheint auch in etwa gleich geblieben zu sein bis auf eine leichte Verschiebung von den Kategorien MF in Richtung WW und KOMBI.

Tabelle 1: Grober Trend aus vorangegangenen Marktübersichten

	Quelle Marktübersicht	Anzahl untersch. Hersteller	Anzahl gelisteter Produkte	Aufteilung in Kategorien		
2001	Projektbericht "Kombianlagen" Uni Stuttgart 08/2001	22	50	-	-	-
2014	Sonne Wind & Wärme 02/2014	24	47	17 WW (36%)	13 KOMBI (28%)	17 MF (36%)
2015	Sonne Wind & Wärme 01/2015	22	49	-	-	-
2016	Vorliegende Marktübersicht aufbauend auf Daten von www.energie-datenbank.eu	25	132	55 WW (42%)	44 KOMBI (33%)	33 MF (25%)

5 Generische Auswertung

Es erfolgte eine generische Auswertung nach Merkmalen und deren Vorhandensein innerhalb der drei Kategorien (WW, KOMBI, MF). Damit lässt sich zeigen inwieweit bestimmte Merkmale innerhalb der Kategorien gut oder weniger gut vertreten sind und sich so ggf. ein Standard abzeichnet. Beispielsweise unterstützen über 70 % der KOMBI und MF Regler ein Datenlogging während dies bei WW Reglern nur bei 35 % der Fall ist. Viele weitere Aspekte der generischen Auswertung können direkt der Marktübersicht entnommen werden (oberer Auswerteblock).

5.1 Sortierung

Die Produkte wurden in erster Ebene alphabetisch nach Herstellername und innerhalb eines Herstellers aufsteigend nach den Reglerkategorien WW, KOMBI, MF sortiert. Mit der zugrundeliegenden Excel-Datei sind individuelle Sortierungen oder eine Filterung der Ergebnisse möglich.

6 Auswertung unter Standardisierungsaspekten

6.1 Abmessungen Montage und Installation

Im Fall von 10 Produkten waren die Abmaße nicht verfügbar. Bei vier Produkten war der Regler innerhalb einer Station integriert und die Abmaße der Station würden einen Vergleich verzerren. Für die restlichen Produkte ließen sich die Abmaße aus den technischen Daten ermitteln.

Eine erste Analyse ergab, dass komplexere Regler nicht durchweg größer sein müssen bzw. ein größeres Volumen aufweisen. Dies bestätigen auch die Diagramme in Abbildung 1 und Abbildung 2 in welchen die Abmaße aufsteigend nach Volumen sortiert wurden. Es gibt eine Tendenz, dass Regler der Kategorie MF zumindest am Ende der Sortierung mit zu den größten Reglern zählen. Dies liegt vermutlich daran, dass für die elektrische Belegung zahlreicher Ein- und Ausgänge grundsätzlich mehr Platz benötigt wird. Gleichzeitig reihen sich jedoch auch Regler der Kategorie WW am Ende der Sortierung ein. D. h. Größe und Abmaße stellen mehr ein Ergebnis von herstellerepezifischem Design bzw. der entwickelten Ergonomie dar, als dass dies einem technischen Erfordernis geschuldet wäre. Dies macht aus Herstellersicht auch Sinn um die Diversität von unterschiedlichen Gehäusen und deren Produktpflege möglichst gering zu halten und damit potentiell Kosten einzusparen.

Eindeutig lässt sich in den Diagrammen erkennen, dass die Hersteller intern relativ gut im Rahmen ihres Produktportfolios standardisieren (vgl. mit Querstrichen markierte Blöcke gleicher Hersteller). Teilweise haben alle drei Kategorien eines Herstellers die gleichen Abmaße (z. B. Hanazeder, vgl. Abbildung 2).

Produkt ist eine Montage innerhalb eines Isolierausschnitts bzw. einer passenden Öffnung optional möglich, bei zwei Produkten lässt sich der Regler mit einem Nachrüstsatz innerhalb einer Station oder eines Isolierausschnitts integrieren.

In einem Fall wird ein zusätzlicher Montagesockel geliefert an den das abnehmbare Bedienteil alternativ befestigt werden kann.

Die Befestigung erfolgt zumeist mit 2 bis 4 Schrauben oder alternativ auf einer TS 35 Tragschiene. Letztere Möglichkeit ist bei KOMBI und MF Reglern mit 50 % und bei WW Reglern mit 27 % vertreten.

6.2 Fernbedienung

Weniger als 30 % der WW Regler verfügen über eine Fernbedienungsfunktion während dies bei nahezu allen KOMBI und MF Regler der Fall ist (80 bzw. 85 %). Besonders auffällig ist dabei, dass als Fernbedienungsfunktion über die Hälfte aller KOMBI Regler über einen Datenzugriff und/oder eine Fernsteuerung per mobiler App verfügen. Dies liegt jedoch auch daran, dass marktführende Hersteller wie Resol, Sorel und EMZ Hanauer nahezu alle KOMBI Regler mit diesem Feature ausstatten. Eine Ethernet Schnittstelle verfügen diese Regler jedoch nicht, d. h. die Funktion muss mit einer bestimmten Reichweite entsprechend beschränkt sein oder sie ist erst mit einem zusätzlichen Webmodul (ggf. mit zwangsläufiger Verbindung über Server der Hersteller) verfügbar.

Abnehmbare Bedienteile erscheinen als sehr elegante Fernbedienungslösung was mit 15 % bei den MF Reglern vertreten ist. Der Vorteil liegt in der sofortigen Fernbedienbarkeit ohne zusätzliche Softwareinstallationen oder Verbindungseinrichtung zu den weiteren Geräten. Dies bringt z. B. bei der Inbetriebnahme vor Ort einen Mehrwert wenn sich die Installation z. B. auf mehrere Räume verteilt und schon Werte/Signale zur Überprüfung bei der Inbetriebnahme an Ort und Stelle angezeigt/überprüft werden können.

6.3 Schnittstellen

Grundsätzlich ist erkennbar, dass die Schnittstellen breit gefächert sind und sich kein klarer Standard abzeichnet. Das Diagramm in Abbildung 3 zeigt zu welchen Anteilen die in der Marktübersicht aufgeführten Schnittstellen in bestimmten Reglerkategorien unterstützt werden.

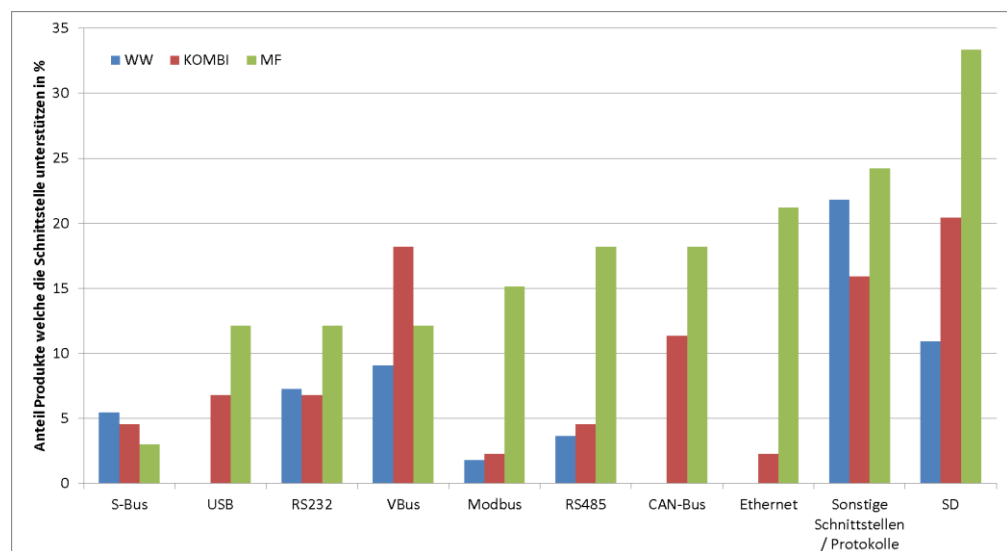


Abbildung 3: Unterstützte Schnittstellen nach Kategorien aufsteigend sortiert für MF Regler

Dabei ist die Frage des Ziels der Schnittstellen entscheidend. Ein Datenlogging beispielsweise was 70 % der KOMBI Regler und 85 % der MF Regler unterstützen kann durch einen internen Speicher oder eine andere Schnittstelle erfolgen. Die Art bzw. Möglichkeiten des Datenloggings wurde nicht für jedes Produkt explizit bestimmt. Die Anbindung per SD-Karte scheint hierfür als Schnittstelle am meisten vertreten. Dies jedoch nicht in einem Maße dass es als Standard erkennbar wäre (WW: 11 %; KOMBI: 20 %; MF: 33 %).

Ein oder mehrere Nutzen kann eine Schnittstelle mit sich bringen wie z. B.:

- Datenlogging

- Fernsteuerung und Auswertung über App, Browser/Internet oder zu installierende Software
- Verbindung mehrerer (auch unterschiedlicher) Geräte miteinander / standardisierte Bus-Anbindung
- Firmware up-dates
- Erweiterter Service und Wartung bzw. Fernwartung

Neben den explizit aufgelisteten 9 Schnittstellen in der Marktübersicht sind über 5 weitere Sonstige Schnittstellen / Protokolle - und damit insgesamt eine Diversität von über 14 verschiedenen Schnittstellen vertreten. Besonders die sonstigen und teilweise auch proprietären Schnittstellen sind durch alle Reglerkategorien hinweg gut vertreten.

Das Ziel kann dabei sein, dass sich Hersteller mit einer eigenen oder modifizierten Schnittstelle am Markt positionieren. Damit können sie sich gegenüber der Konkurrenz mit dem eigenen Produktportfolio abheben und die Konnektivität beim Einsatz mehrerer Geräte/Module aus dem eigenen Hause sicherstellen. Dabei bedeutet die Unterstützung einer Schnittstelle bzw. eines Protokolls laut Herstellerangabe jedoch nicht, dass Produkte unterschiedlicher Hersteller miteinander problemlos kommunizieren können. Das wäre zwar für den Endnutzer oder auch das Planungsbüro wünschenswert, dies ist jedoch wegen unterschiedlicher Schnittstellen- bzw. Protokollversionen und auch wegen herstellerspezifischen Implementierungen eine Seltenheit. Grundsätzlich spielt das Thema mehr in den Kategorien KOMBI und MF eine Rolle. Bei MF Reglern ist Ethernet mit 21 % sowie die anderen 8 explizit aufgeführten Schnittstellen zu grob 15 % vertreten.

Auf die technischen Vor- und Nachteile der einzelnen Schnittstellen und deren Marktbedeutung kann im Rahmen dieser Marktübersicht nicht genauer eingegangen werden.

Wenn es darum geht den Bestand zu sanieren und mit moderner Regelungstechnik auszustatten scheint jedoch klar, dass rückwärtskompatible smarte Masterregler welche in der Lage sein sollen mit Geräten aus dem Bestand zu kommunizieren durchaus eine große Herausforderung darstellen. Hätte es vor 15-30 Jahren bereits in großem Stil eingesetzte standardisierte Schnittstellen gegeben wäre derzeit einiges einfacher. Oder: Die Schnittstellen die sich seitdem durchweg behaupten konnten haben grundsätzlich Potential. An dieser Stelle macht es Sinn anzusetzen und gemeinsam einen Standard zu entwickeln bzw. die Vor- und Nachteile der vorhandenen Schnittstellen zu diskutieren um zukunftssträchtige Anschlussfähigkeit und Kompatibilität herzustellen und so die Kosten für individuelle Lösungen und Schnittstellenprobleme auf ein Minimum zu reduzieren.

7 Standby Verluste und ErP Anforderungen

Einige Hersteller halten sich an die EU Verordnungen Nr. 811/2013 und 812/2013 und bieten ein entsprechend gekennzeichnetes Produktdatenblatt mit Angabe der Leistungsaufnahme im Bereitschaftszustand zum Download an.

Inwiefern es hier von der EU wie für etliche Produkte aus dem Consumer Bereich eine vorgegebene Grenze gibt oder der Regler an Hand dieser Angabe zu klassifizieren ist bleibt unklar.

Im Fall von 104 Produkten liegt der Standby-Verbrauch, bzw. die Leistungsaufnahme im Bereitschaftszustand bei einem Wert von bis zu 2 W. Für weitere 17 Produkte liegt der Wert zwischen 2,6 und 9 W. Für die restlichen Produkte waren hierzu keine Angaben verfügbar.

8 Fazit

In Bezug zu Installation und Montage wird aus der vorliegenden Marktübersicht deutlich, dass verschiedene Abmessungen mehr einer Ergonomie geschuldet sind als einem technischen Erfordernis. So erscheint es konsequent, dass einige Hersteller innerhalb ihres Produktportfolios identische Gehäuseabmessungen für unterschiedliche Produkte verwenden.

Standardisierte Abmessungen können allerdings dann ihr Potential entfalten wenn sie die Möglichkeit einer Integration bieten. Einige Hersteller bieten diese Integrierbarkeit – allerdings vornehmlich im Rahmen des eigenen Produktportfolios. Inwiefern die Unterschiede in Installation und Montagemerkmale grundsätzlich zu kürzeren oder längeren Montagezeiten und damit geringeren oder höheren Gesamtkosten führen, kann in diesem Rahmen nicht geklärt werden. Integrierbare Produkte sollten hier jedoch Vorteile aufweisen.

Die Bedienbarkeit und Einfachheit der Inbetriebnahme schließt sich hier thematisch an. Jeder Hersteller hat sein eigenes Konzept der

Bedienungsergonomie mit entsprechenden Assistenztools zur Installation und Inbetriebnahme. Dies hat grundsätzlich einen Einfluss auf Installations- und Montagezeiten. Klar ist das Installateure dazu neigen sich auf ein Bedienkonzept und damit einen Hersteller festzulegen. Aus den Angaben der Bedienmerkmale Vor- und Nachteile abzuleiten kann jedoch nicht im Rahmen dieser Marktübersicht erfolgen. Interviews mit Installateuren die unterschiedliche Bedienkonzepte anwenden, würden hier ggf. weiterführen.

Bezüglich der Fernbedienmöglichkeit erscheint es vorteilhaft z. B. das Bedienteil vom Regler abnehmen zu können um es am benötigten Ort einzusetzen und sich dabei die Konfiguration zusätzlicher Fernbedienungsfunktionen zu ersparen. Wie hoch derartige Effekte für die Installationszeiten wirklich sind bleibt jedoch unklar zumal sie auch nicht zwangsläufig vom Installateur genutzt werden. Dies ist allerdings als Feature für den Endnutzer grundsätzlich interessant mit den genannten Vorteilen (Fernbedienung durch einfaches abnehmen des Bedienteils).

Interessant ist, dass weniger als 30 % der WW Regler Kategorie grundsätzlich über eine Fernbedienungsfunktion verfügen während dies nahezu bei allen KOMBI und MF Regler der Fall ist (80 bzw. 85 %). Besonders auffällig ist dabei, dass als Fernbedienungsfunktion über die Hälfte aller KOMBI Regler über einen Datenzugriff und/oder eine Fernsteuerung per mobiler App verfügen. Dies deutet daraufhin, dass im Falle von WW Reglern die Tendenz besteht, sie einmal einzurichten ohne die Funktion weiterhin zu beobachten oder zu verbessern. Im Falle von KOMBI und MF Reglern ist dabei ein höheres Maß an Kommunikation mit dem Nutzer gewünscht da sie grundsätzlich für wesentlich mehr Funktionen eingesetzt werden welche dann bequem per Fernbedienung erreicht werden sollen. Hier tendiert der Standard eindeutig zur mobilen App.

Bezüglich des Themenbereichs Schnittstellen und Interkonnektivität bestehen deutlich Spielräume und Potentiale zur Verbesserung für den Endkunden bzw. die Planer. Zu groß ist der Dschungel der verschiedenartigen teilweise nicht miteinander kompatiblen Schnittstellen und Protokolle. Eine Standardisierung

in diesem Bereich könnte viele Probleme lösen und zusätzlich die Kombination unterschiedlicher Produkte und damit Herstellerqualitäten ermöglichen (auch in Bezug zur Rückwärtskompatibilität).

Gleichzeitig lösen dies einige Hersteller durch eine eigene, teilweise proprietäre Schnittstelle innerhalb ihres Portfolios was für sie viele Vorteile mit sich bringt sofern entsprechende Marktanteile vorhanden sind. Dies ist jedoch nicht immer im allgemeinen Interesse. Genau an dieser Stelle wäre ein standardisierender Impuls sehr wünschenswert, welcher auch von der Branche unterstützt und wahrgenommen wird.

Die Ausführungen zeigen, dass im Gesamtkontext grundsätzlich Kostenreduktionspotentiale bestehen, welche mit durchdachten Standardisierungsansätzen gehoben werden können. Dies gilt besonders im Bereich der Schnittstellen. Gleichzeitig reicht jedoch der Rahmen dieser Marktübersicht nicht aus um die in der Praxis vorhandenen Potentiale vollumfänglich zu identifizieren. Dazu wäre ein groß angelegter Dialog mit dem Handwerk erforderlich.

9 Literaturverzeichnis

Henner Kerskes, Harald Drück, Stephan Bachmann (August/2001): "Kombianlagen" Solaranlage zur kombinierten Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung. Hg. v. Universitaet Stuttgart, Institut fuer Thermodynamik und Waermetechnik (ITW). Stuttgart.

Jens-Peter Meyer (2014): Marktübersicht Solarregler. Im Schatten der Richtlinie. In: *Sonne Wind & Wärme* (02/2014), S. 42–49.

Jens-Peter Meyer (2015): Marktübersicht Solarregler. Mehr als Temperaturdifferenz. In: *Sonne Wind & Wärme* (01/2015), S. 28–35.

Bericht WKT1-KGe-170822-E

Marktanalyse Montagesysteme

Bericht und Abschluss AP 3.1 im Projekt “KoST”

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Bericht und Abschluss des Arbeitspakets AP 3.1 „IST-Analyse Montageequipment und Montagegestelle“ im Rahmen des geförderten Verbundprojekts Kostenreduktion in der Solarthermie durch standardisierte Komponenten und Schnittstellen „KoST“.

Teilprojekt: MCSt

Förderkennzeichen: 0325860B

bearbeitet von:

Konstantin Geimer

19. Dezember 2017

Anschrift:

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Heidenhofstrasse 2

79110 FREIBURG

Deutschland

Inhalt

1	Literaturquellen und Datengrundlage.....	4
1.1	Marktrelevanz der hinterlegten Hersteller bzw. Anbieter.....	5
2	Ziel der Marktanalyse	6
3	Generische Auswertung	7
3.1	Anzahl Montagelagen.....	9
3.2	Material und Eigengewicht.....	10
4	Auswertung unter Standardisierungsaspekten	11
4.1	Allgemeiner Standardisierungsgrad und Identität als eigenständiges Produkt	11
4.2	Einsatz von Standard Industrieprofilen.....	13
4.3	Vergleich zulässige Einsatzgebiete bzw. Belastungsgrenzen und deren Dokumentation	16
4.4	Aspekte der Auslegung und deren Validierung	19
4.5	Zertifizierung von Komponenten oder dem Gesamtsystem bzw. Erfüllung einschlägiger Vorschriften / Standards	21
5	Installationsfreundlichkeit und Komponentenreduktion.....	23
6	Fazit	31
7	Literaturverzeichnis	34

Dieser Bericht umfasst 36 Seiten. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse darf nicht unvollständig oder im sinnentstellenden Zusammenhang erfolgen.

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Abteilung Wärme und Kältetechnik

Freiburg, 19. Dezember 2017

Konstantin Geimer
Projektleitung

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'K' and 'G' followed by a horizontal line.

1 Literaturquellen und Datengrundlage

Die vorliegende Markanalyse stützt sich im Wesentlichen auf eine bereits vorhandene ältere Herstellerübersicht für Photovoltaik (PV) Schrägdachmontagesysteme (pv magazine 2013) sowie eine ergänzende online-Recherche zu namhaften PV Montagesystemherstellern, Solarthermie (ST) Kollektor- bzw. Montagesystemherstellern auf Basis der im Internet verfügbaren Dokumentation. Zusätzlich wurde auf Werte aus Datenblättern der Solar Keymark Datenbank (www.solarkeymark.dk) verwiesen.

In einigen Fällen sind die Einträge auch Ergebnisse aus dem Direktkontakt mit dem entsprechenden Hersteller. Auf Grund dieser heterogenen Verteilung ist die Quelle für jeden Eintrag explizit hinterlegt und damit nachvollziehbar.

In Bezug zur Richtigkeit und Aktualität der Angaben wurde der online abrufbaren Herstellerdokumentation bzw. Infos aus dem Direktkontakt die höchste Plausibilität eingeräumt. Teilweise beziehen sich die Inhalte auch auf mehrere Quellen.

Die Informationen/Dokumentationen der ST Montagesysteme basieren zu rund 70 % aus online Recherchen und etwa 30 % aus Direktkontakten. Im Falle der Daten für die PV Montagesysteme wurden 90 % aus der genannten Marktübersicht (pv magazine 2013) übernommen, und rund 10 % aktuell online recherchiert. Dabei wurde auch stichprobenartig überprüft inwiefern die Produkte oder Firmen aus der Marktübersicht von 2013 noch von Relevanz und Aktualität sind und ggf. aus der Liste entfernt. Der Anteil an aktuell recherchierten Datensätzen beträgt insgesamt über 41 % (ST: 100 %; PV: 15 % inkl. nachträglichen Stichproben/Überprüfungen).

Die Bezeichnung „Hersteller“ oder „Anbieter“ bedeutet in diesem Rahmen nicht zwingend, dass diese Firma selbst herstellt bzw. produziert. Ein Teil der Produkte stellt Handelsmarken dar, womit potentiell Doppelungen möglich sind. Diese spiegeln jedoch auch den Markt selbst wieder.

1.1 Marktrelevanz der hinterlegten Hersteller bzw. Anbieter

Für den Bereich der PV Montagesysteme kann davon ausgegangen werden, dass die pv magazine Redaktion in ihrer damaligen Marktübersicht (pv magazine 2013) einen – auch für den deutschen Markt – repräsentativen Querschnitt an Firmen hinterlegt hatte. Zu diesem Zeitpunkt hatte sich die turbulente Ausbauphase der PV von 2005 bis 2012 in Deutschland wieder beruhigt, leider auch mit rückläufigen Absatzzahlen seit 2013 (IWR 2017). Durch eine stichprobenartige Überprüfung der Marktübersicht aus (pv magazine 2013) wurde sichergestellt inwiefern die Anbieter noch am Markt präsent sind. Zudem wurden weitere aktuelle Produkte durch eine ergänzende online Recherche im Rahmen dieser Marktanalyse hinzugefügt. Aus diesen Gründen sollte ein repräsentativer Marktbezug für die PV Montagesysteme gegeben sein.

Im Falle der ST verlief die turbulente Marktphase von etwa 2005 bis 2010 ebenfalls mit einer anschließenden Beruhigungsphase und einem rückläufigen Markt (European Solar Thermal Industry Federation 2015). Da es keinen unabhängigen Markt für ST Montagesysteme gibt (vgl. Kap. 4.1) teilt sich der Markt auf die Kollektoranbieter bzw. –hersteller auf.

Welche Anbieter im Wesentlichen den deutschen Kollektormarkt ausmachen wurde zuletzt im Jahr 2010 veröffentlicht (Jens-Peter Meyer 2010; W. B. Koldehoff 2011). Eine aktuelle Aufteilung des Marktes auf die Hersteller ist nicht verfügbar. Bezogen auf die damalige Herstelleraufteilung von 2010 macht die aktuelle Marktübersichtsliste über 50 % des damaligen Marktes aus, mit den weiter unten genannten Vollsortimentern rund 80 %. Die Tatsache, dass die aufgeführten ST Hersteller noch am Markt bestehen konnten legt nahe, dass die aktuelle Übersicht der ST Montagesysteme umso mehr den derzeitigen Markt widerspiegelt.

Zwei große Vollsortimenter (Viessmann, Vaillant) wurden bisher nicht mit ihren Produkten in der Marktübersichtsliste aufgeführt. Daher wurde das Produktportfolio dieser Hersteller zu Montagesystemen unabhängig von der

Produktliste überprüft. Das Ergebnis: Alle Aussagen im Hinblick auf eine Standardisierung (vgl. Kap. 4.1 und 4.2) sind auch hier vollumfänglich zutreffend.

Im Fall von Viessmann war für den Zugang zu der Dokumentation ein Login erforderlich. Diesen Login erhalten laut telefonischer Auskunft ausschließlich Fachhandwerker und -betriebe (wie es teilweise auch bei anderen Anbietern praktiziert wird). Für unsere Recherche war auch ein Zugang für ein Fraunhofer Institut auffindbar. In den dort hinterlegten Installationsanleitungen konnten keinerlei Informationen zu zulässigen Wind- und Schneelasten gefunden werden. Die in dem Portal downloadbare Windows Software „Vitodesk 100 Solstat Thermie“ ermöglicht allerdings eine Konfiguration und statische Auslegung von Solarthermie-Montagesystemen auf Flach- und Schrägdächern. Dies unter Berücksichtigung von Standort- und baulichen Gegebenheiten. Ein online-Tool zur Berechnung war nicht verfügbar.

Im Fall von Vaillant ist eine gute Dokumentation (inklusive Bemessungswiderständen in kN/m^2) online per google Suche auffindbar. Dies jedoch nur innerhalb der österreichischen Website. Über die deutsche Internetpräsenz bzw. innerhalb der Suche auf der offiziellen Vaillant Website waren keine entsprechenden Dokumente abrufbar.

2 Ziel der Marktanalyse

Im Rahmen des geförderten Projekts „KoST“ sollen mit der Marktanalyse sowohl für PV als auch ST Montagesysteme folgende Ziele erreicht werden:

- Abschätzung Standardisierungsgrad
- Vergleich Installationsfreundlichkeit / Plug&Play Features
- Vergleich zulässige Einsatzgebiete bzw. Belastungsgrenzen und deren Dokumentation
- Vergleich Aspekte der Auslegung und deren Validierung

- Zertifizierung von Komponenten oder dem Gesamtsystem bzw. Erfüllung einschlägiger Vorschriften / Standards

Auf dieser Grundlage wurden neben Anbieter- und Produktinfos die Spalten der generischen Liste mit folgenden thematischen Blöcken gruppiert:

- Gebäudeanbindung
- Anzahl Montageebenen
- Material und Eigengewicht
- Einsatz von Standard Industrieprofilen
- Belastungsfähigkeit und Einsatzgebiete sowie dessen Dokumentation
- Angaben zur statischen Auslegung (Auslegungsprogramme, deren Ergebnisdokumentation und Validierung)
- Zertifikate auf Teilkomponenten der Montagesysteme

Die aufbereitete Übersichtsliste befindet sich im Anhang dieses Berichts.

3 Generische Auswertung

Es erfolgte eine generische Auswertung und Diskussion nach Merkmalen und deren Häufigkeit bzw. Vorhandensein innerhalb der zwei Kategorien (ST, PV). Viele Aspekte der generischen Auswertung können direkt der Übersichtsliste entnommen werden (siehe Anhang, jeweils oberer Auswerteblock).

In drei Fällen soll „das Montagesystem“ laut Herstellerangaben für PV als auch ST geeignet sein. Da das Produkt jedoch nicht weiter spezifiziert wurde, wird in diesem Rahmen von einem „Angebot“ ausgegangen. D. h. das konkrete Produkt für ST / PV gibt es auf Anfrage in Zusammenarbeit mit dem Hersteller. Daher sind diese „PV/ST-hybrid-Einträge“ für diese Marktanalyse von untergeordneter Bedeutung. Es konnte auf dem Markt bisher kein

eigenständiges Produkt gefunden werden, welches für den Einsatz von sowohl ST als auch PV geeignet ist.

Die Ergebnisse wurden grundsätzlich bezüglich der Einsatzgebiete für PV und ST aufgeteilt. Die Sortierung erfolgte weiterhin nach Hersteller bzw. Marke und weitergehend in der Sortierung nach unterschiedlichen Aufdach-Systemen und deren Bezeichnungen (Produkt bzw. Kollektor) sowie den übrigen Gebäudeanbindungstypen.

Die Marktanalyse führt insgesamt 187 Montagesysteme von 115 unterschiedlichen Anbietern auf. Im Falle von ST Montagesystemen sind es 62 Produkte von 23 Anbietern PV-seitig 128 Produkte von 93 Anbietern.

Dabei fällt auf, dass sich die Montagesysteme der ST auf vergleichsweise wenig Anbieter verteilen, während bei der PV die Anzahl unterschiedlicher Anbieter und die Anzahl Produkte vergleichsweise gering voneinander abweichen. Dies liegt u. a. daran, dass sich in der ST pro Anbieter Montagesysteme für unterschiedlichste Dachtypen wiederfinden und einzeln gelistet werden während sich dies in der PV auf die zwei Systeme Aufdach / Schrägdach (50 %) und Flachdach (53 %) reduziert. Dass in Summe in den Auswertungen der einzelnen Gebäudeanbindungen über 100 % erreicht werden liegt daran, dass bestimmte Systeme sowohl für Aufdach / Schrägdach als auch für Flachdachanwendungen geeignet sind, diese kombinierten Einsatzmöglichkeiten finden sich auch in der Einteilung der ST Systeme wieder.

In der ST sind die Gebäudeanbindungen Aufdach / Schrägdach (61 %) und Flachdachanwendungen (47 %) am stärksten vertreten. Fassaden- und Indachsysteme sind jedoch immerhin je mit einem Viertel aller ST Produkte vertreten. Die Kategorie „Aufständigung möglich“ (ST: 55 %) bezieht sich fast ausschließlich auf den Bereich der ST. Zum einen wurde dies in der referenzierten PV Marktübersicht nicht explizit abgefragt, weiterhin kann dies für den Fall von PV Flachdachinstallationen in den meisten Fällen als gegeben angesehen werden und wurde nicht gesondert differenziert.

3.1 Anzahl Montagelagen

Unter den aufgeführten Produkten befinden sich sowohl einlagige als auch zweilagige Montagesysteme (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Einlagiges (links) und zweilagiges (rechts) PV Montagesystem
(Quelle: www.altec-metalltechnik.de)

Die meisten in der Marktübersicht aufgeführten PV Montagesysteme sind laut Hersteller sowohl einlagig als auch zweilagig einsetzbar. Unter den vorhandenen Angaben verteilt sich der Einsatzbereich auf einlagig mit 75 % zu zweilagig mit 56 %.

In der ST sind auch Systeme vertreten welche einlagig als auch zweilagig eingesetzt werden können. Für den größten Teil der Produkte der ST war jedoch die Anzahl an Montagelagen schwer auffindbar oder bestimmbar. Innerhalb der Angaben ist der Einsatz von zweilagigen Systemen mit 26 %, und einlagigen mit 7 % vertreten.

In Abhängigkeit der möglichen Tragwerksanbindungspunkte am Dach können zweilagige Montagesysteme von Vorteil sein. Der Vorteil liegt in einer höheren Flexibilität, da sich der Abstand der Montageschienen der zweiten Lage individuell festlegen lässt und somit an die Module/Kollektoren angepasst

werden kann. Diese Flexibilität ist erforderlich wenn nur eine geringe Anzahl an Tragwerksanbindungspunkten vorgesehen ist oder wenn durch extrem hohe Schnee- oder Windlasten eine hohe Anzahl an Tragwerksanbindungspunkten benötigt wird.

Grundsätzlich sollten jedoch wenn möglich einlagige Systeme eingesetzt werden da in den meisten Fällen Kollektor- bzw. Modulgröße ausreicht um sie an den Montageschienen der ersten Lage zu befestigen welche direkt mit dem Tragwerk verbunden sind. Dies hilft sowohl Material als auch Montagezeit einzusparen.

Eine weitere sehr elegante Möglichkeit liegt in der Integration der Montageebene in Modul bzw. Kollektor (integrierte Montageschienen). Diese Thematik wird in Kap 5 eingehender behandelt.

3.2 Material und Eigengewicht

Unter den insgesamt hinterlegten Angaben dominiert Aluminium als Material in 21 % der Fälle. Im Falle von ST ist Alu mit 41 %, Stahl mit 16 % vertreten. Im Falle von PV ist Alu mit 11 %, Stahl mit 6 % vertreten. Vermutlich liegen die Anteile an Alu insgesamt jedoch höher als die erfassten Daten zeigen (> 80 %). Als Stahlsorten werden ausschließlich Edelstähle bzw. nichtrostende Stähle aufgeführt. Im Vergleich von Stahl zu Aluminium liegt der Vorteil bei Stahl in einem rund dreifach höheren E-Modul, dabei jedoch auch etwa einer dreifach höheren Dichte. Damit kann sich bei entsprechend schlankeren Konstruktionen das Volumen für Montagesysteme aus Stahl reduzieren, das Gewicht bleibt in etwa gleich. Preislich ergibt sich durch Verwendung von nichtrostendem Stahl (Legierungszuschläge) im Vergleich zu Aluminium zumindest bezogen auf den Rohstoff pro kg kein wesentlicher Unterschied.

Ferner ist nichtrostender Stahl im Vergleich zu Aluminium ökosystemzuträglicher, da er ein um den Faktor 4-5 geringeres Treibhauspotential aufweist (GWP Vergleich mit SimaPro 8.4 / ecoinvent 3.3 auf Basis von Methode IPCC 2013 mit Betrachtungsraum von 20 Jahren).

Die angegebenen Eigengewichte variierten von der leichten Montagesystemvariante im Bereich 0,2 bis 20 kg/m² mit einem Mittelwert von rund 4 kg/m² (Median: 3 kg/m²) zur schweren Montagesystemvariante von 0,8 bis 22 kg/m² mit einem Mittelwert von etwa 7 kg/m² (Median: 5 kg/m²). Die Ergebnisse beziehen sich dabei fast ausschließlich auf die frühere Marktübersicht (pv magazine 2013) und sind mehr für den Einzelfall relevant als in der Gesamtbetrachtung (siehe aufbereitete Übersichtsliste im Anhang).

4 Auswertung unter Standardisierungsaspekten

4.1 Allgemeiner Standardisierungsgrad und Identität als eigenständiges Produkt

PV Montagesysteme sind inzwischen derart standardisiert, dass der Einsatz für unterschiedliche PV Modulgrößen und unterschiedliche Rahmenhöhen möglich ist. Der Schlüssel dieser Standardisierung liegt in verstellbaren Klemmweiten zur Anbindung an verschiedene Rahmenhöhen sowie in dem zumeist universellen Rahmendesign der PV-Module. Trotz dieser Standardisierung sind laut Listung nur 26 % der PV Montagesysteme mit eigener Produktbezeichnung geführt. Eine eigene Produktbezeichnung wurde zumindest in dieser Marktanalyse als Indiz für das Vorhandensein eines eigenen Produkttyps gesetzt. Teilweise sind jedoch auch Anbieter von unterschiedlichen Einzelkomponenten vertreten die erst nach einer individuellen Planung die Einzelkomponenten zu einem Montagesystem zusammenstellen. Dies erhöht die Flexibilität gegenüber den Anforderungen reduziert jedoch im Allgemeinen den Standardisierungsgrad. Dies weil insgesamt eine größere Anzahl unterschiedlicher Komponenten zum Einsatz kommen.

ST Montagesysteme sind von einer übergreifenden Standardisierung weit entfernt. In fast allen Fällen ist das Montagesystem als Teil eines Gesamtpakets auf den jeweiligen Kollektor abgestimmt. In wenigen Fällen der 61 gelisteten ST Montagesysteme ist das Montagesystem ein eigenständiges Produkt und für unterschiedliche Kollektortypen desselben Herstellers einsetzbar. Hier wurde zumindest intern versucht eine Standardisierung anzustreben. Dies sind

zumeist die Fälle in denen eigene Produktbezeichnungen geführt werden (insgesamt bei 30 % der ST Produkte). Ausschlaggebender bei der ST ist die Kollektorbezeichnung auf die das Montagesystem abgestimmt ist.

Mounting Systems und Altec Metalltechnik geben im Internet an sowohl Montagesysteme für PV, als auch für ST herzustellen. Im Falle von ST müssen diese jedoch an den jeweiligen Kollektortyp individuell angepasst werden. Eine telefonische Nachfrage bei diesen beiden Herstellern ergab dass in einem Fall zwar online mit Montagesystemen für ST geworben wird, es jedoch praktisch keinerlei Absatz gibt. Im zweiten Fall gibt es erfreulicherweise Kollektoren einzelner Hersteller die mit den verfügbaren ST Standard-Klemmen installierbar sind. D. h. das Montagesystem ist prinzipiell mit mehreren Herstellern kompatibel. Der Absatz liegt im Vergleich zu PV Montagesystemen hier bei etwa 20 %. Neben Kunden des Tagesgeschäfts gab es hier laut telefonischer Auskunft teilweise auch einzelne Handwerker oder Installationsbetriebe, welche offensichtlich Kollektoren ohne Montagesysteme eingekauft haben und mit vergleichbar hohem Aufwand eine Lösung für das Montagesystem suchen.

In weiteren Telefongesprächen mit Montagesystemherstellern wurde auch deutlich, dass sich die Zusammenarbeit mit ST Kollektorherstellern eher als müßig darstellt, weil es häufig an leicht auffindbaren Informationen fehlt. Eine Standardisierung zu etablieren (z. B. Einheitsnut am Kollektor) wurde im Allgemeinen sehr begrüßt.

Wagner-Solar bietet unter der Überschrift „TRIC“ sowohl für PV als auch ST Montagesysteme an. Die Systeme sind weiterhin in Anwendungsbereiche untergliedert, so ergeben sich jeweils drei Produkttypen pro Einsatz für ST oder PV. Konkretere Informationen erfährt der Interessent auf Anfrage, es sei denn es besteht bereits ein Kundenzugang.

Auch wenn die Montagesysteme im Fall von ST als eigene Produkte mit Produktbezeichnung erscheinen ist auf Nachfrage bei Fremdkollektoren immer

eine Anpassung auf den jeweiligen Kollektor erforderlich (Länge Montageschienen und Klemmenanpassung für Kollektorbefestigung). Die Kosten hierfür seien laut Herstellerangabe vergleichbar gering. Immerhin werden im Verhältnis zu PV Montagesystemen 10 % und mehr an ST Montagesystemen abgesetzt. Von diesen wiederum machen Fremdkollektoren (mit individuell angepassten Montagesystemen) einen Anteil von 25-50 % aus. Nicht zu vernachlässigen ist jedoch in diesem Rahmen dass Wagner zumeist Komplettpakete inkl. hydraulischer Verbindung anbietet. D. h. der Kollektoranbieter kann die Lösung für Montagesystem und hydraulische Verbindungstechnik insgesamt an extern abgeben was in diesem Fall. den eigentlichen Bedarf bezogen auf Montagesystemen verzerren kann.

4.2 Einsatz von Standard Industrieprofilen

Die Diskussion um den Einsatz von Standard Industrieprofilen soll vorerst klären was idealerweise mit Standard Industrieprofil gemeint ist. Vor dem Hintergrund der Kostenreduktion geht es darum möglichst auf vorhandene in der Industrie etablierte Komponenten zurückzugreifen. Diese etablierten Komponenten oder Standard Industrieprofile sind wegen kontinuierlicher Nachfrage von vielen Herstellern in gleicher Qualität und standardisierten Profilquerschnitten als Lagerware europaweit oder bestenfalls weltweit verfügbar. Die Querschnitte reduzieren sich dabei im Wesentlichen auf L, U, C, Z, T, I, H (I/H/Doppel-T teilweise äquivalent im Sprachgebrauch) teilweise auch Doppel-C sowie Rohr oder Vierkant Profile mit vielseitig verfügbaren Abmaßen. Sicherlich sind nicht alle dieser Standard Profile sinnvoll für den Einsatz als Montageschienen geeignet. U, C, H und insbesondere Doppel-C Profile sind jedoch in Kombination mit angepassten Klemmensystemen sehr gut einsetzbar wie viele Beispiele zeigen.

Im Rahmen der Marktanalyse gibt es bisher einen Anbieter, welcher konsequent weltweit verfügbare Standard Industrieprofile aus nichtrostendem Stahl als Montageschienen einsetzt (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Montagesystem unter Verwendung von Standard Industrieprofilen der Firma SE-Consulting GmbH

Weitere fünf Anbieter verwenden zum Teil Montageschienen, welche den beschriebenen standardisierten Querschnitten sehr nahe kommen wie beispielsweise Altec Metalltechnik (siehe Abbildung 3).

Sicherlich sind nicht alle Profilschienen von Montagesystemen erfasst, welche im Vergleich zu den genannten Standard Industrieprofilen ähnliche Querschnitte einsetzen. Bemerkenswert ist jedoch, dass in allen Fällen von Montageschienen individuelle Profilmerekmale enthalten sind welche grundsätzlich einem universellen Einsatz entgegen wirken und wegen der Entwicklung von Einzellösungen aus Sicht des Endpreises den Aufwand erhöhen. Dies wirkt sich in einem weiteren Schritt auch auf die Verbindungstechnik aus, die wiederum an die Einzellösungen an Montageschienen oder umgekehrt angepasst werden muss.



Abbildung 3: Montagesystem mit Doppel-C Montageschiene der Firma Altec Metalltechnik GmbH aus eigener Fertigung

In Bezug zu den Kosten sind Montageschienen bei entsprechender Mengenabnahme im Verhältnis zum Rohstoffpreis um Faktor 1,5 bis 3 verfügbar (bei derzeit 1,80 € pro kg für nichtrostenden Stahl bzw. Aluminium). Die Art des Profilquerschnitts spielt dabei eine untergeordnete Rolle, hier kommt es fast ausschließlich auf die Menge an. Trotzdem kann eine Verwendung von Standardprofilen für Montagesysteme zu einer Konzentration des Entwicklungsaufwands auf die Verbindungselemente, zu einer Verringerung von Verwaltungsaufwand (Komponentenpflege Eigenentwicklung vs. Standard Zulieferung) und weiterhin zu einem reduzierten Schulungsbedarf für Installateure führen weil mit Standardprofilen ein vertrauter Umgang ermöglicht wird.

4.3 Vergleich zulässige Einsatzgebiete bzw. Belastungsgrenzen und deren Dokumentation

Im Falle der Datenerfassung für ST Montagesysteme wurden die Werte einer verfügbaren technischen Dokumentation entnommen und in die Übersichtsliste übertragen. Dabei waren für etwa 30 bis 50 % der Produkte die relevanten Informationen abrufbar. Für die PV Montagesysteme wurden fast alle Werte von der älteren bereits vorhandenen Marktübersicht (pv magazine 2013) übernommen und waren für 60 bis 80 % der Produkte verfügbar.

Welche Bezeichnungen und Werte gemeint und verwendet wurden konnte im Einzelfall durchaus zu Irritationen führen. Dabei war es zumeist hilfreich, wenn auf die einschlägigen Eurocodes (DIN EN 1991-1-3; DIN EN 1991-1-4) verwiesen wurde oder zumindest die Begriffe und Bezeichnungen im Einklang mit den aktuellen Normen verwendet wurden.

Universeller kann indirekt auf die maximalen Einsatzgrenzen nach den Eurocodes geschlossen werden, wenn konkrete maximale Flächenlasten als **Bemessungswiderstände** angegeben sind. Der **Bemessungswiderstand** beschreibt dabei die Widerstandsfähigkeit des entsprechenden Bauteils (hier: Montagesystem) gegenüber der einwirkenden Last. Materialsicherheitsbeiwerte (γ_M) sind im Rahmen des Bemessungswiderstand berücksichtigt (DIN EN 1990).

Diese Angabe ist noch nicht selbstverständlich, sie scheint jedoch von einigen ST Herstellern zusätzlich oder alleinig angegeben zu werden. In der Liste der Marktübersicht sind die Bemessungswiderstände am ehesten durch die Spalten „Max. Windlast (Sog/Druck)“ und „Max. Druck-/Schneelast“ vertreten.

In dem Moment in dem alleinig „maximale“ oder „zulässige“ Windlasten bzw. Schneelasten mit Höhenlagen ü. M. angegeben werden, ist unklar wie die daraus resultierende Flächenlast mit dem Montagesystem und dessen Widerstandsfähigkeit in Verbindung steht. Ohne die Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten handelt es sich um eine **charakteristische**

Einwirkung (im Gegensatz zu einer vermuteten „maximal zulässigen“ Einwirkung auf das Montagesystem).

Erst die Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten (γ_F für Wind, Schnee oder Kombinationen aus Wind und Schnee) führt zu einer Aussage von „maximal zulässigen“ Lasten und wird als **Bemessungseinwirkung** bezeichnet.

Der **Bemessungswiderstand** des Bauteils sollte dabei immer höher oder gleich der **Bemessungseinwirkung** sein (DIN EN 1990).

Im Rahmen der Herstellerangaben wird davon ausgegangen, dass Teilsicherheitsbeiwerte berücksichtigt wurden und mit „max. Lasten“ nicht die charakteristischen Einwirkungen sondern die Bemessungseinwirkungen gemeint sind.

Durch alleinige Angabe von Bemessungseinwirkungen können allerdings Missverständnisse entstehen. Die Bemessungseinwirkungen sind z. B. lokal für Wind am Gebäude in einer Randzone des Daches um ein vielfaches höher als mittig auf dem Dach. Analog bei Schnee sind sie z. B. unterhalb eines Dachvorsprungs von dem Schnee abrutschen kann ebenfalls um ein vielfaches höher als im Bereich des Dachfirsts. D. h. der lokale Einsatzort auf dem Dach bestimmt maßgeblich die Höhe der Bemessungseinwirkung. Bei den Herstellerangaben sind die lokalen Einsatzorte nur dann berücksichtigt, wenn entsprechende Ausschlüsse oder zusätzliche Hinweise zum lokalen Einsatzort am Dach gegeben sind.

Im Falle von alleinigen Angaben der Bemessungswiderstände ist damit noch kein Einsatzgebiet eingegrenzt und es obliegt dem Inverkehrbringer oder einer entsprechenden Beratungsleistung im nächsten Schritt in Erfahrung zu bringen, in welchen Wind-/Schneelastzonen und mit welchen lokalen Einschränkungen am Gebäude der Einsatz möglich ist. Hierfür sind besonders die Eurocodes hilfreich (DIN EN 1991-1-3; DIN EN 1991-1-4). In Dokumentationen wäre es dabei hilfreich für das Verständnis konkrete Beispiele aufzuführen um die Zusammenhänge zu erläutern.

Sowohl PV als auch ST Montagesysteme sind zum großen Teil für die maximale Windlastzone 4 sowie Schneelastzone 3 ausgelegt. Diese Systeme können laut Herstellerangabe bzw. Herstellerdokumentation selbst in den deutschen Bergregionen mit hoher Schneelast und an den Küstengebieten mit erhöhten Windlasten eingesetzt werden (ggf. mit besonderen Einschränkungen).

Für PV Montagesysteme wurden zulässige Gebäudehöhen von 5 bis 300 m angegeben. Bei ST Montagesystemen ist diese Spanne deutlich kleiner, sie reicht von maximal 8 bis 25m. Ähnlich sieht es bei der maximalen Geländehöhe aus. Die Spanne reicht für PV von 323m bis 3000m bei ST von 500m bis 1500m.

In 52 % der ST Herstellerdokumentationen sind bestimmte Dachzonen, die besonders gefährdet sind für Wind ausgeschlossen, im Falle von Schnee finden sich bei 49 % zusätzliche Einschränkungen oder Hinweise zum Einsatz. Im Gegensatz dazu wurde bei zwei Montagesystemen von S:flex in der Dokumentation ausdrücklich darauf hingewiesen dass alle Dachzonen für den Einsatz zulässig sind.

Insgesamt gesehen erscheinen die Einsatzgebiete für die ST Montagesysteme begrenzter. Ursache hierfür ist mutmaßlich das Vorhandensein und die entsprechend genauere Überprüfungsmöglichkeit der einzelnen Dokumentationen zur Auslegung.

Für kollektorzugeordnete ST Montagesysteme wurde zusätzlich die geprüfte Last an einem Kollektor Sample lt. Solar Keymark Datenblatt aufgeführt. Das Datenblatt ist Bestandteil der Solar Keymark Zertifizierung und sollte seit 1.3.2016 (Version v5.01) diese Werte enthalten. Betrachtet man die Einsatzgrenzen von Montagesystem und die erfolgreich geprüfte Last am Kollektor lt. Datenblatt im Vergleich so fällt bei fast allen hinterlegten Werten auf, dass entweder das Montagesystem im einzelnen Lastfall um bis zu rund Faktor 3 stabiler ausgelegt ist, als dem Kollektor laut Prüfung testiert wurde. Als auch umgekehrt, dass der Kollektor bis zu Faktor 3 mit höheren Lasten geprüft wurde als für das Montagesystem angegeben ist.

Die Information laut Datenblatt kann keine Aussage über die maximal mögliche Flächenlast bzw. den Bemessungswiderstand des Kollektors geben, weil sie den Wert einer einzelnen Momentanprüfung eines Kollektorsamples darstellt und dabei keinerlei Sicherheitsfaktoren oder eine statistische Streuung der Ergebnisse berücksichtigt sind. Trotzdem können die Werte als grober Vergleich dienen und z. B. mit einem Sicherheitsfaktor von 1,5 angesetzt werden. Wird ein Sicherheitsfaktor angesetzt so erhöht sich zusätzlich die „Asynchronität“ zwischen Belastungsgrenze von Kollektor und Montagesystem wenn das Montagesystem bspw. höhere Werte ausgelegt ist.

4.4 Aspekte der Auslegung und deren Validierung

62 % der PV Anbieter geben an für die statische Auslegung oder in Teilen der statischen Auslegung ein Programm zu verwenden. Bei 32 % der Anbieter scheint das Programm in irgendeiner Weise zertifiziert zu sein. Ähnlich wie bei den Zertifizierungen der Komponenten gibt es hier jedoch ein relativ breites Feld, was darunter im Einzelnen verstanden wird.

74 % der PV Anbieter halten im Rahmen der statischen Auslegung einen Bericht oder eine Ergebnisdokumentation bereit.

Die ST Anbieter von Montagesystemen verwenden in 26 % der Fälle ein Auslegungsprogramm, welches in 4 % der Fälle zertifiziert zu sein scheint.

9 % der ST Anbieter halten entsprechende Ergebnisdokumentationen vor.

In diesem Rahmen muss allerdings betont werden, dass die Erfassung insbesondere des Vorliegens von Ergebnisdokumentationen zur Auslegung wahrscheinlich zu geringe Anteile darstellt, weil die Ergebnisdokumentationen statischer Auslegungen im Einzelnen nur schwer online recherchierbar sind.

Besonders erfreulich ist, dass drei Anbieter ihr Auslegungsprogramm online frei zur Verfügung stellen:

- Wolf GmbH Solar Konfigurator: <http://www.wolf.eu/solar-conf>
(Für ST Kollektoren des Anbieters mit deren Montagesystemen; Berechnung gem. der Eurocode Normenreihe EN 1990 bis EN 1999 und der VDI 6012 Blatt 1.4 mit statischer Berechnung nach gültigem Baurecht.)
- Mounting Systems GmbH: <https://www.quickconfigurator.com>
(Für die gängigen PV Montagesysteme des Anbieters, Berechnung für 20 Länder, prüffähige Statik, Stücklisten für die Montagesysteme extrahierbar)
- Lorenz Montagesysteme GmbH:
<http://www.lorenz-montagesystem.de/Planungstool/> -einfach
<https://lorenz.solarprotool.com/> -umfangreich mit Modulauswahl etc.
(Ein einfaches und ein umfangreiches Auslegungsprogramm für die PV Montagekits des Anbieters, die umfangreiche Version stellt nach einmaliger Registrierung die Ermittlung von Wind- und Schneelasten zur Verfügung und begleitet den Interessenten inkl. Auswahl der Montagekits und der PV Module bis zur weitgehend geplanten Anlage)

Klar ist, dass der Aufwand für Auslegungstools beachtlich ist, vor allem wenn sie als rechtlich relevant einzustufen sind. Gerade deshalb scheint es verwunderlich, dass jeder Anbieter die vollständige Entwicklung eines solchen Auslegungstools intern stemmt, sind es doch zumindest was den regionalen Einsatz (Eurocodes Wind/Schnee) und den lokalen Einsatz (Dachtypen und Einsatzzonen) anbetrifft immer die jeweils gleichen Fragestellungen.

Durch eine Kooperation z. B. mit dem Zentralverband des deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH) könnten beispielsweise die regionalen und lokalen Einwirkungen in einem gemeinsamen Tool zur Verfügung gestellt werden und auf Basis dieser Ergebnisse die eigenen Systeme der Anbieter in einem „daran angedockten individuellen Auslegungsprogramm“ weiterhin auf die entsprechenden Flächen hin berechnet werden.

Eine Zusammenarbeit mit dem ZVDH würde sich anbieten, da im Bereich Dach und Einwirkungen neben dem technischen Stand der Technik auch rechtlich gesehen der größte Erfahrungsschatz besteht. Der ZVDH setzt dabei auf eine Reihe von Softwaretools die für die gesamten Mitglieder zum Einsatz kommen und laufend aktualisiert werden. Die Softwaretools wurden in Zusammenarbeit mit der Firma Markus Friedrich Datentechnik entwickelt.

4.5 Zertifizierung von Komponenten oder dem Gesamtsystem bzw. Erfüllung einschlägiger Vorschriften / Standards

Über 40 % der PV Montagesysteme verfügen über eine TÜV Zertifizierung, welche jedoch nicht weiter spezifiziert wurde. Weiterhin folgen 14 % RAL, 9 % VDE und 5 % UL Zertifikate. 12 % der Produkte hatten bereits eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) auf Teilkomponenten, bei 14 % war sie 2013 in Arbeit. Weiterhin sind bei 56 % der PV Montagesysteme sonstige Zertifikate, Siegel bzw. Prüfungen aufgeführt. Bei der Einzelbetrachtung zeigt sich hier jedoch ein großer Spielraum was darunter zu verstehen ist. So ist von MCS über CE bis zu ISO 9001 und Namen einzelner Prüfinstitute eine große Bandbreite vertreten.

Bei 18 % der ST Montagesysteme ist eine abZ auf Teilkomponenten gegeben. Ferner werden bei zwei Anbietern externe Konformitätsnachweis aufgeführt.

Inwiefern in den Einzelfällen alle einschlägigen Vorschriften als erfüllt eingeschätzt werden ist im Rahmen dieser Marktanalyse nicht leistbar. An dieser Stelle sollen jedoch die einschlägigen Vorschriften in Kürze zusammengefasst werden. Die Informationen beruhen auf Hinweisen des DIBt zu Solaranlagen und ihren Montagesystemen (Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) 2012).

Daraus geht hervor, dass im Fall von Bauteilen aus Stahl, nichtrostendem Stahl und Aluminium folgende Normen und Zulassungen für die Berechnung und Ausführung berücksichtigt werden müssen (ggf. einschließlich ihrer jeweiligen nationalen Anhänge):

- **DIN EN 1999-1-1:** Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil (DIN EN 1999-1-1)
- **DIN EN 1090-3:** Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 3: Technische Anforderungen an Aluminiumtragwerke (DIN EN 1090-3)
- **DIN EN 1993-1:** Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1 (DIN EN 1993-1-9)
- **DIN EN 1090-2:** Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken (DIN EN 1090-2)
- AbZ Nr. Z-30.3-6 vom 12. Mai 2017 für Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen (Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (AbZ) Z-30.3-6)

Zudem ist in folgenden Fällen eine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) erforderlich:

- Verwendung ist abweichend von Liste C der Bauregelliste bzw. MVV-TB, D 2.2.6
- Komponenten und/oder Verbindungen sind ungeregelt
- Die Tragfähigkeit wird durch Versuche ermittelt
- Relevante Bauteile bestehen aus Kunststoff
- Statisch tragende Verbindungen sind geklebt

Daraus lässt sich ableiten, dass prinzipiell für den Großteil der Montagesysteme entsprechende Nachweise ohne eine abZ möglich sein sollten, sofern die obigen einschlägigen Standards sowie die Zulassung im Falle von nichtrostendem Stahl

Anwendung finden kann. Im Zweifelsfall sollte dafür ein Statiker hinzugezogen werden, der die bauteilspezifischen Berechnungen erstellen kann und auf dessen Dokumentation sich wiederum ein Konformitätsnachweis beziehen kann.

5 Installationsfreundlichkeit und Komponentenreduktion

Bezüglich installationsfreundlichen oder selbstbeworbenen besonders wirtschaftlichen Montagesystemen durch geringen Installationsaufwand gibt es eine Vielzahl an Beispielen aus der PV Montagesystemtechnik.

Diese lassen sich nicht immer auf die ST übertragen, da Kollektoren ein höheres Eigengewicht aufweisen und allgemein ein anderes Handling auf Grund der hydraulischen Anschlüsse und der Größe erfordern. Die folgenden Aspekte können dabei grundsätzlich als zielführend identifiziert werden:

- Klare Anleitungen (Einhaltung der einschlägigen Standards, vgl. Berichte Verbundpartner Fraunhofer IAO)
- Komponenten mit möglichst fehlersicheren Einbaumöglichkeiten (vgl. Poka Yoke Prinzip)
- Hoher Vorfertigungsgrad (dies jedoch zumeist auf Kosten der Flexibilität)
- Einsatz von möglichst wenig untersch. Werkzeugen auf dem Dach
- Montageschritte wenn möglich einhändig ausführbar

Mehrere Hersteller bieten Klick oder Klemmsysteme an, die weitestgehend ohne Schrauben auskommen und teilweise mit werkzeuglosen Montageschritten installiert werden können.

Das Montagesystem „Calyxo MX“ der Firma Calyxo ist ausdrücklich zur Befestigung rahmenloser Module (Glas-Glas-Laminate) konzipiert. Die Module

werden weder geklemmt noch geschraubt sondern laut Hersteller schwimmend gelagert. Diese entsteht durch vier mittig ausgerichteten EPDM Adaptern, welche vor dem Einlegen an den Modulkanten angebracht werden. Das Einlegen geschieht durch ein Hochschieben in eine Nut an der Oberseite und anschließendes Abrutschen lassen in eine Nut an der Unterseite (siehe Abbildung 4 obere drei Montageschritte). Eine horizontale Fixierung wird durch Einsatz von EPDM T-Stücken an den oberen Ecken erreicht. Die Enden der Modulreihen werden durch Haltekrallen mit Hilfe von Schrauben befestigt (vgl. Abbildung 4 rechts unten).

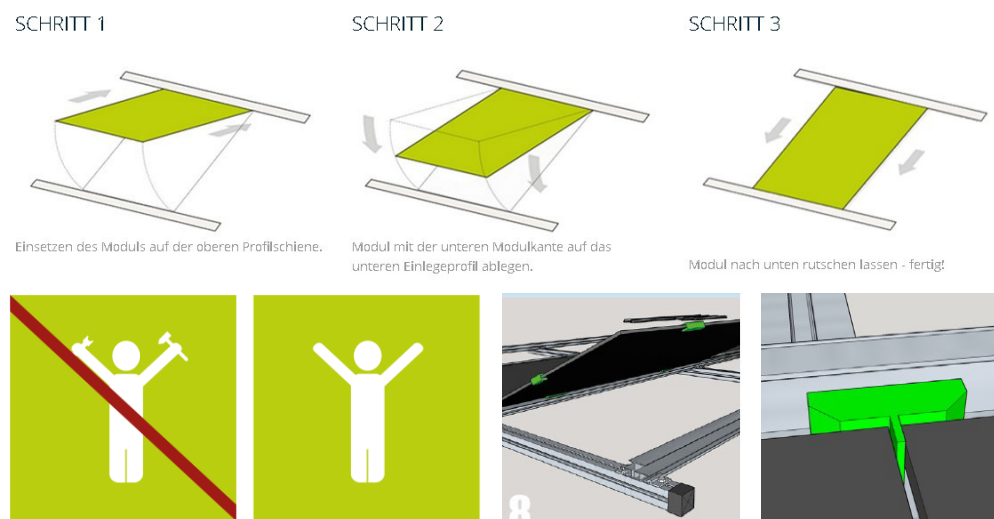


Abbildung 4: Prinzip Modulverlegung und Symbolik innerhalb der Installationsanleitung des Montagesystem Calyxo MX (Calyxo)

Die Symbolik in der Installationsanleitung (siehe Abbildung 4 links unten) ist durchaus originell, jedoch auch irreführend: Eine werkzeugfreie Montage ist ausschließlich für die Module möglich, sofern die Montageschienen mit entsprechenden Werkzeugen richtig vorbereitet wurden. Auf Toleranzen bzw. ggf. die erforderliche Parallelität der Montageschienen sowie die Anbindung der Montageschienen an Dach bzw. Tragwerksstruktur wird in dem als Anleitung bezeichneten Download nicht weiter eingegangen. Weitere Dokumente informieren über die verschiedenen Teilkomponenten.

Die Firma ClickCon aus Freiburg hat ein ähnliches Einlegeverfahren der Module realisiert. Unten werden die Module ebenfalls innerhalb einer Nut gehalten während die Befestigung an der Oberkante über zwei Module mittels „C-Halter“ realisiert wird. Der „C-Halter“ wird wiederum per Feder und Klick in der oberen Nut fixiert (siehe Abbildung 5). In der Anleitung gibt es Informationen zu Wind- und Schneelasten und es wird auch darauf eingegangen wie die Anbindung an die Tragwerksstruktur unterschiedlicher Dachtypen realisiert werden kann.



Abbildung 5: Einlegung der Module des ClickRail Systems von ClickCon per „C-Halter“ sowie Nut und Feder (ClickCon 2011)

Nach Angaben von ClickCon reduziert sich mit ihrem ClickRail-System die Montagezeit um bis zu 50% gegenüber herkömmlichen Systemen (ClickCon 2016). Angenommen diese Aussage ist glaubwürdig, dann ließen sich bei Kosten für Montage und Installation von etwa 20 % der Gesamtkosten (Geimer 2013, S. 69–70; energie-experten.org 2016) diese (die Gesamtkosten) mit dem entsprechenden ClickCon Montagesystem bereits um insgesamt 10 % reduzieren.

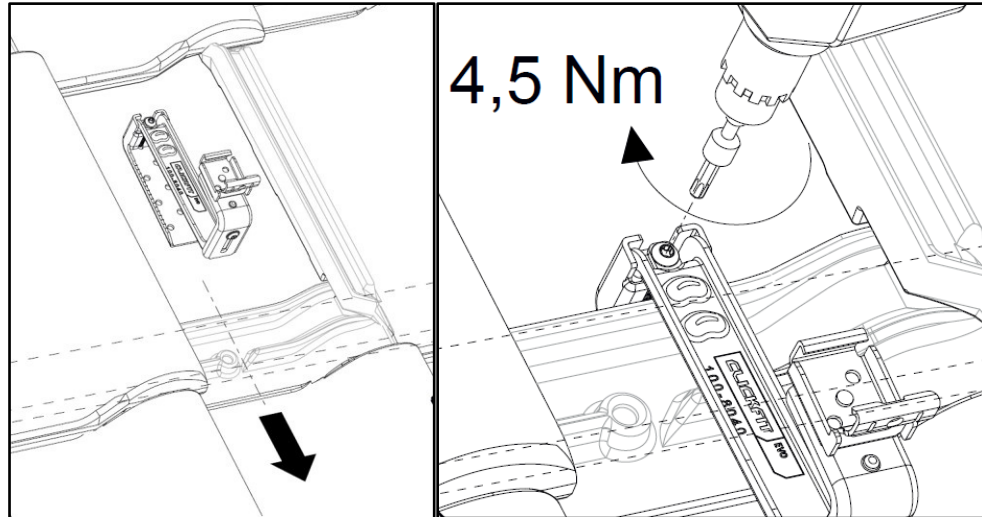


Abbildung 6: Dachhaken Montage Clickfit Evo (ESDEC 2017)

Die Firma ESDEC aus den Niederlanden setzen mit ihrem System „Clickfit Evo“ noch konsequenter auf ein möglichst werkzeugloses Klicksystem im Hinblick auf das gesamte Montagesystem bis zur Tragwerksanbindung:

- Einklemmung: Befestigung Dachhaken direkt über Ziegel und Dachlatte ohne Holzverschraubung mit unterseitigen Wiederhaken (vgl. Abbildung 6)
- Klick: Montageschienen an Dachhaken
- Klick: Verlängerung Montageschienen
- Klick: Befestigung Modulklemmen an Montageschienen
- Verschraubung Steckschlüssel: Festziehen Verklebung Dachhaken mit Ziegel/Dachlatten (vgl. Abbildung 6) und Festziehen Modulklemmen

Nachteilig ist dabei, dass eine höhere Anzahl an Dachhaken zum Einsatz kommt um annähernd die gleichen Lasten einleiten zu können im Vergleich zu einer Direktanbindung an die Sparren. Nachteilig ist weiterhin, dass die Last inklusive

Verklebung direkt auf den Ziegeln zu liegen kommt, wobei diese wie beschrieben pro Dachanker geringer ausfallen sollte. ESDEC wartet dabei mit einigen Zertifikaten/Prüfberichten auf und gibt eine beachtliche Herstellergarantie von 20 Jahren auf Funktion, Material und Konstruktion. Insgesamt kommt das System mit einer vergleichbar geringen Anzahl an Komponenten aus.

Eine Reduktion der Komponenten bzw. der Komplexität des Gesamtsystems führt im Allgemeinen zu einer Vereinfachung und damit zu weniger Arbeitsschritten bei der Installation. Diesen Fokus haben sich weitere Anbieter aus dem Bereich der PV Montagesysteme gesetzt und entsprechende Produkte am Markt platziert.

Die US amerikanischen Firmen Spice Solar und Magerack bieten beispielsweise Lösungen für integrierte Montageschienen an PV Modulen an. Diese können zum Teil mit Standard Industrieklemmen direkt an der Tragwerksanbindung befestigt werden und kommen ohne ein zusätzliches Schienensystem aus. Die PV Module selbst werden untereinander mit Verbindern befestigt bzw. die integrierten Schienen untereinander „verlängert“.

Dieses „built-in racking“ spart sowohl Montagezeit als auch Material und führt laut Spice Solar zu einer Kostenersparnis von 0,05 US\$ pro Watt alleine durch die Einsparung an Zusatzkomponenten und Material (Spice Solar 2017). Ausgehend von einer Annahme von 1,50 US\$ pro Watt (Ran Fu 2016) entspricht dies einer Einsparung von 3-4 % gegenüber den Modulkosten. Wenn der Anteil an Kosteneinsparung durch einen geringeren Installationsaufwand mit 10 % angenommen wird (vgl. Spice Solar) hat dieses System ein Potential zur Kostenreduktion von 12-15 %.

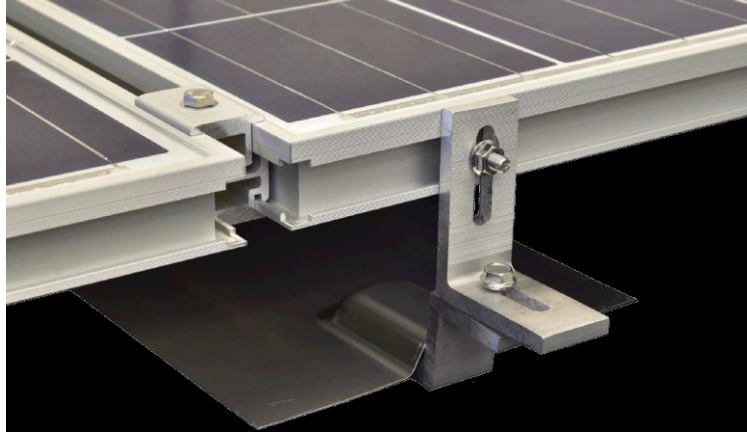


Abbildung 7: Schienenloses Montagesystem (Magerack 2017)

An diesen Beispielen kann jedoch auch beobachtet werden wie sich diese wieder von den Standards (standardisierte Klemmenanbindung am Modul) entfernen. Dies kann bei integrierten Montageschienen verhindert werden in dem sich die Hersteller strikt an Standards ausrichten (z. B. Nutenbreite von Standard Industrieprofilen abgeleitet). Oder indem die Hersteller frühzeitig die Thematik Standardisierung in einem kooperativen Prozess diskutieren. Die Tendenz bei Innovationen scheint grundsätzlich gegenläufig zu sein, da sich leider auch mit banalen individuellen Maßen kurzfristig Alleinstellungsmerkmale realisieren lassen.

Das „Direct Attachment Solution“ System für Blechfalzdächer von S-5! kommt ebenfalls ohne Profilschienen aus. Das Modul wird zwischen einem höhenverstellbaren Greifer und einer Montagescheibe eingespannt und mit einer Standard-Klemme an der Falz befestigt (siehe Abbildung 8). Weiterhin ist die Montagescheibe aus nichtrostendem Stahl so konzipiert, dass sie die Leitfähigkeit mit dem Aluminium-Modulrahmen und dem Dach gewährleistet.

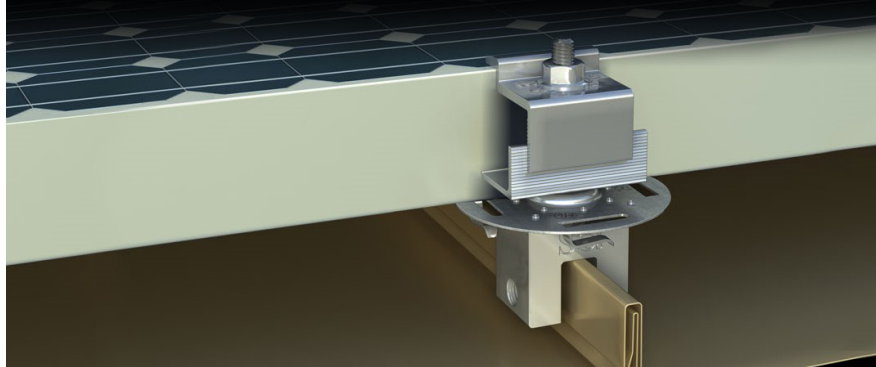


Abbildung 8: S-5! PV Direct Attachment Solutions (S-5! 2017)

Dadurch können die Module elektrisch verbunden werden und es werden keine Erdungsverbindungen benötigt. Durch dieses System werden laut Hersteller 6 bis 12 US \$ pro Einheit für die Elektroinstallation eingespart (S-5! 2017). Diese Einsparung in der Elektroinstallation soll ausreichen, dass sich in einigen Fällen allein hierüber das Montagesystem selbst bezahlen lässt. Inwiefern dabei z. B. die deutschen Anforderungen an die elektrische Sicherheit erfüllt sind bleibt unklar. Zudem sind für Blechfalzdächer viele Lösungen auf Basis von ein oder zwei Komponenten verfügbar.

In Bezug zu ST Installationssystemen lässt sich aus dem letzten Beispiel ableiten, dass es Sinn machen kann das Montagesystem aus ganzheitlicher Sicht zu entwickeln um ggf. weitere positive Installationseffekte zu integrieren (z. B. integrierte Anschlagpunkte zur einfachen hydraulischen Verbindung mehrerer Kollektoren mit Standardverbindern etc.)

Häufig werden auch vielseitig einsetzbare Komponenten angeboten, die für verschiedene Module und Dacharten geeignet sind und damit eine fehlende Standardisierung ausgleichen können. Zum Beispiel hat Schletter eine Modulklemme mit drehbarer Krallen und flexibler Klemmweite entwickelt. Dadurch reduziert sich die Anzahl der Produktvarianten laut Schletter intern von 190 auf 5. Dies führt zu Einsparungen in Lagerhaltung, Produktion und Verwaltung (Schletter News 2017).

Im Bereich der ST sind im Vergleich zur PV keine nennenswerten Innovationen zu Installationsfreundlichkeit oder Komponentenreduktion von Montagesystemen zu finden.

Erwähnenswert ist, dass Wagner Solar mit ihrem Produkt EURO TRIC für ST Montagesysteme, grundsätzlich auf einen hohen Vormontagegrad setzt. Das Montagesystem wird dabei individuell für einen Kollektorhersteller auf dessen Kollektor abgestimmt. Dabei werden auch die Montageschienen entsprechend den Kollektormaßen abgelängt und bereits mit Schrauben bzw. Klemmen vormontiert. Dies gilt auch für die Tragwerksanbindung (z. B. Dachhaken inkl. vormontierter Montageschienenanbindung). Der Vorteil liegt darin, dass es fast keine losen Kleinteile auf dem Dach gibt, sondern Einzelkomponenten die entsprechend verbunden und dann mit den bereits vormontierten Schrauben angezogen werden müssen (Montageschienen mit vorinstallierten Klemmen, Tragwerksanbindungen mit Verbindungsadaptern, Haltebleche). Allerdings nur „fast“ keine losen Kleinteile: Für die Befestigung der Dachhaken (z. B. am Sparren) kommen lose Schrauben zum Einsatz. Eine Alternative wäre z. B. ein Dachhaken nach dem Prinzip des Clickfit Evo Systems der Fa. ESDEC (vgl. Abbildung 6 auf S. 26).

Insgesamt gesehen liegen die Vorteile der Montagefreundlichkeit auf der Hand. Eine einfache Verlängerung einer Montageschiene die nicht genau einem Kollektormaß entspricht (ausweichen einer Dachentlüftung o. ä.) ist jedoch nicht möglich. D. h. es bringt Vorteile für kleine Installationen reduziert jedoch im Allgemeinen die Flexibilität.

Bezüglich der Montagefreundlichkeit/Technik von ST Anlagen führt der Verlag Markt Intern regelmäßig Umfragen durch. Die namhaften deutschen Hersteller sind hier vertreten. 2015 gaben die befragten Fachhandwerker den Unternehmen im Durchschnitt eine 2,20 für Solarthermieinstallationen. Die Gesamtnote hat sich 2017 geringfügig zu einer 2,13 gebessert (Markt Intern' Verlag GmbH 2017). Bewertet wurde allerdings nicht ausschließlich die Kollektorinstallation auf dem Dach sondern die Installation der Gesamtanlage.

6 Fazit

Innerhalb der vorliegenden Marktanalyse wurde ein repräsentativer Querschnitt der auf dem deutschen Markt verfügbaren Photovoltaik (PV) und Solarthermie (ST) Montagesysteme insbesondere mit den Schwerpunkten Standardisierungsgrad und Installationsfreundlichkeit diskutiert.

Im Falle von PV Montagesystemen gibt es einen weltweiten Markt. Dieser bringt sowohl Standardisierung als auch Innovationen mit dem Ziel einer Reduktion von Installationsaufwand, Material- und Komponentenvielfalt hervor. Teilweise wird damit geworben, dass sich die Installationskosten um bis zu 50 % durch das entsprechende Montagesystem reduzieren lassen (vgl. Kapitel 5).

Im Gegensatz dazu gibt es noch keinen Markt für ST Montagesysteme. Diese müssen individuell auf den Kollektortyp angepasst werden, weil es an einheitlichen Standards zur Befestigungsanbindung zwischen Montagesystem und Kollektor fehlt. Damit ist ein direkter Wettbewerb für Montagesysteme unmöglich und der Markt reduziert sich auf die Lösungen der ST Kollektorhersteller oder deren Zulieferer von individuell geplanten Montagesystemen. Abgesehen von wenigen Ausnahmen haben unabhängige Anbieter, welche mit ST Montagesystemen werben, entweder keine oder nur sehr geringe Absätze in diesem Segment im Vergleich zum Absatz mit PV Montagesystemen. D. h. obwohl es praktisch Anbieter gibt, ist ein nachhaltiger Markteinstieg mit ST Montagesystemen mangels Standardisierung derzeit schwierig.

Dies kann sich durch eine vergleichbar einfache Maßnahme ändern: Standardisierung der Befestigung zwischen Kollektor und Montagesystem. Dies sollte für ST Kollektoren ebenfalls eine standardisierte Anbindung für eine Abrutschsicherung (Halteblech etc.) für die Installation berücksichtigen.

Während sich bei der ST durch eine Standardisierung der Kollektorbefestigung überhaupt erst ein Markt für Montagesysteme ergeben kann, versuchen große Hersteller von PV Montagesystemen durch Innovationen ihre bisher durch den

Markt entstandene Variantenvielfalt zu reduzieren. Daraus entstehen z. B. Klemmenkomponenten welche in der Höhe flexibel verstellbar sind und sowohl als Rand und Mittelklemme eingesetzt werden können. Gegenüber dem Einsatz von einer Vielzahl an Einzelkomponenten kann sich damit in Kürze ein neuer Standard in dem Markt der PV Montagesysteme etablieren.

Noch einfacher kann montiert werden, wenn gar keine PV Modulklemme erforderlich ist, weil der Modulrahmen bereits als Teil der Montageschiene ausgeführt wird. Neben einlagigen und zweilagigen Montagesystemen (vgl. Kapitel 3.1) benötigen diese innovativen „nulllagigen“ Montagesysteme (vgl. Kapitel 5) nur die entsprechende Tragwerksanbindung sowie Verbindungstechnologien der integrierten Montageschienen untereinander. Hierbei verschiebt sich die Standardisierung jedoch wieder in Richtung PV Modul und macht damit Rückschritte, weil es bereits weltweite Standards der Rahmenhöhen bzw. des Rahmendesigns gibt. Daher wären diese Innovationen umso mehr mit einem gemeinsamen Befestigungsstandard an den integrierten Montageschienen zu begrüßen. Aus diesem Beispiel ist erkennbar: Standardisierung und Innovation sind tendenziell Gegenspieler. Kooperationen mit möglichst vielen Partnern (in diesem Fall besonders zwischen PV Modulherstellern und Herstellern von PV Montagesystemen) können dieser Tendenz nachhaltig entgegenwirken.

Neben der Diskussion von konstruktiven Details wurden auch Aspekte der Dokumentation der Belastungsgrenzen sowie Auslegung und Validierung behandelt. Dabei ist die Palette groß was darunter verstanden wird und wie die einzelnen Anbieter damit umgehen. Grundsätzlich war nur in sehr wenigen Dokumentationen der Bezug zu den aktuellsten Normen und damit auch das korrekte Wording gegeben (vgl. Kapitel 4.3). In vielen Fällen wird in der Dokumentation aufwändig die Bemessungseinwirkung abgeleitet anstatt den Bemessungswiderstand des Produkts anzugeben mit dem Hinweis, dass dieser nicht überschritten werden darf. Letzteres ist rechtlich gesehen für den Anbieter wesentlich sicherer und verhindert zudem das Entstehen von Missverständnissen was praktisch als Lastgrenze angenommen werden darf.

Gleichzeitig ist es sehr zu begrüßen die Thematik der Einwirkungen auch für den Installateur transparent zu dokumentieren und Beispiele für die Bemessungseinwirkung aufzuführen um dafür zu sensibilisieren.

Für genauere Angaben zur Bemessungseinwirkung bzw. inwiefern an bestimmten Orten der Bemessungswiderstand des Produkts lokal auf dem Dach nicht überschritten wird bieten sich Softwaretools zur Auslegung an. Dabei ist es verwunderlich, dass viele Anbieter diese scheinbar völlig unabhängig voneinander intern entwickeln ohne sich in einer übergreifenden Kooperative zu vernetzen. Es geht dabei immer wieder um die gleichen Fragestellungen der regionalen und im nächsten Schritt lokalen Einwirkungen auf dem Dach. Sehr zu begrüßen ist, dass einige Anbieter ihr Auslegungstool online für jeden nutzbar zur Verfügung stellen (vgl. Kapitel 4.4). Auf Basis einer Kooperation ließe sich der Aufwand erheblich reduzieren, indem ein gemeinsames Tool für die Bemessungseinwirkung und daran angedockt Tools für die individuelle Auslegung des eigenen Produkts eingesetzt werden könnten. Entscheidend dafür wäre eine funktionierende standardisierte Schnittstelle zur Datenkommunikation der Tools untereinander.

Die Softwaretools der in diesem Rahmen gelisteten Anbieter verfügen zu einem kleinen Anteil eine unabhängige Zertifizierung oder sonstige Validierungen.

Zu den Montagesystemkomponenten- besonders der PV – sind zum großen Teil unabhängige Zertifizierungen aufgeführt. Bei der Einzelbetrachtung zeigt sich jedoch ein großer Spielraum was darunter zu verstehen ist. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) scheinen im Fall von ST und PV bezüglich schwer zu berechnender Teilkomponenten der Trend zu sein. Die meisten Fälle von Montagesystemen sollten sich allerdings an Hand der einschlägigen Standards berechnen lassen und erfordern damit keine abZ (vgl. 4.5).

7 Literaturverzeichnis

DIN EN 1090-3, 2008-09: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 3: Technische Anforderungen an Aluminiumtragwerke.

DIN EN 1090-2, 10-2011: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken DIN EN 1090-2.

DIN EN 1999-1-1, 05-2010: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken.

DIN EN 1993-1-9, 12-2010: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten.

Calyxo: MX-Profil-Einlegesystem. Online verfügbar unter <http://calyxo.com/de/mx-profil.html>, zuletzt geprüft am 05.12.2017.

ClickCon (2011): Montageanleitung. Online verfügbar unter http://clickcon.eu/wp-content/uploads/2017/02/Montageanleitung_deutsch_clickrail.pdf.

ClickCon (2016): ClickRail. Online verfügbar unter <http://clickcon.eu/wp-content/uploads/2016/07/Flyer-ClickRail-2016a.pdf>, zuletzt geprüft am 21.09.2017.

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

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

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

energie-experten.org (2016): Kosten für Montage und Installation. Online verfügbar unter <http://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/photovoltaikanlage/kosten/montage.html>, zuletzt geprüft am 28.11.2017.

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (AbZ) Z-30.3-6, 05-2017: Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen.

ESDEC (2017): ClickFit Evo Montageanleitung. Montagesystem mit Schrägdach mit Dachziegeln. Online verfügbar unter https://www.esdec.com/img/downloads/Handleiding_ClickFit_EVO_schuinedaken-met-dakpannen_REV05_DE.pdf.

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

European Solar Thermal Industry Federation (2015): Solar Thermal Markets in Europe. Trends and Market Statistics 2014. Online verfügbar unter http://www.estif.org/fileadmin/estif/content/market_data/downloads/2014_solar_thermal_markets_LR.pdf, zuletzt geprüft am 24.11.2015.

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).

IWR (2017): Entwicklung der jährlich installierten Solarstromleistung in Deutschland. Hg. v. IWR. Online verfügbar unter <http://www.energiestatistik-nrw.de/themen/regenerative-energien/photovoltaik>.

Jens-Peter Meyer (2010): Solar thermal market in Germany. In: *Sun & Wind Energy* (07), S. 32.

Magerack (2017): Rail-Less Mounting System. Online verfügbar unter <https://www.magerack.com/rail-less-mounting-system/roof-attachments/>.

Markt Intern' Verlag GmbH (2017): Markt Intern Leistungsspiegel. Installation Sanitär/Heizung (Beilage ISH 10/17).

pv magazine. Themenschwerpunkt Großhandel EEG-Reform | Praxistipps Speicher Themenschwerpunkt Montage. pv magazine (2013). In: *pv magazine* (85308 03|2013).

Ran Fu (2016): U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2016. Unter Mitarbeit von Donald Chung, Travis Lowder, David Feldman, Kristen Ardani, Robert Margolis. Hg. v. National Renewable Energy Laboratory (NREL). NREL (NREL/TP-6A20-66532). Online verfügbar unter <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66532.pdf>, zuletzt geprüft am 12.12.2017.

S-5! (2017): S-5! PV Kit and EdgeGrab. Online verfügbar unter <https://www.s-5.com/wp-content/uploads/migrated-downloads/Prod-Lit-S-5-PV-Kit.pdf>, zuletzt aktualisiert am 2017, zuletzt geprüft am 22.09.2017.

Schletter News (2017): Schletter Gruppe präsentiert Produktneuheiten auf der Intersolar. Online verfügbar unter <https://news.schletter.eu/allgemein/schletter-gruppe-praesentiert-produktneuheiten-auf-der-intersolar-2/>, zuletzt geprüft am 27.09.2017.

Spice Solar (2017): Spice Solar for Commercial Metal Roofs. Online verfügbar unter <http://www.spicesolar.com/spice-solar-commercial/>, zuletzt geprüft am 21.09.2017.

W. B. Koldehoff (2011): The Market for Flat-Plate-Collectors - Germany 2010 -. Results of a Market Research. Hg. v. Management Beratung W. B. K. Görisried.

Legende: Siehe letzte Seite

Hersteller / Marke	Produktbezeichnung Montagesystem	Produktbezeichnung Kollektor	Gebäudeanbindung						Legenzahl	Material	Eigengewicht			Belastungsfähigkeit und Einsatzgebiet (Geländeprofil: Binnenland)										Statische Auslegung				Zertifikate auf Teilkomponenten					Quelle																	
			Einsatzkategorie (ST, PV)	Aufdach / Schrägdach	Flachdach	Fassade	Aufständerung möglich	Indach			einlagig	zweiilagig	Material Hauptkomponenten	Einsatz von Standard Industrieprofilen	Wind Belastungsgrenzen					Schnee Belastungsgrenzen					Geprüfte Last an Kollektor Sample lt. Solar Keymark Datenblatt (Scenocalc v5.01 seit 1.3.2016)	Auslegungsprogramm	Bericht/Dokumentation über Auslegungsergebnis	Zertifikate Software (laut Hersteller ohne weitere Spezifizierung)	TÜV	UL	RAL	abZ	VDE	Sonstige Zertifikate/Siegel/Prüfungen	Online	pv-magazine.de 2013	Direktkontakt													
															Leichteste Variante	Schwerste Variante (erhöhte Schneelasten)	Max. Windlastzone	Max. Gebäudehöhe	Max. Windlast (5og/Druck)	Max. Böengeschwindigkeit	Ausschluss von bestimmten Dachzonen (bezug auf aerodynamischen Beiwert, Wind)	Max. Schneelastzone	Max. Geländehöhe	Max. Druck-/Schneelast														Bezug auf konkreten Formbeiwert	Zusätzliche Auslegungsinformationen (Ausschlüsse, Grenzen, Hinweise, Berechnungsbeispiele)	Auslegungsergebnis	Zertifikate Software (laut Hersteller ohne weitere Spezifizierung)	TÜV	UL	RAL	abZ	VDE	Sonstige Zertifikate/Siegel/Prüfungen	Online	pv-magazine.de 2013	Direktkontakt
															[kg/m²]	[kg/m²]	[m]	[m]	[kN/m²]	[km/h]		[kN/m²]	[m]	[kN/m²]															[Pa]											
ST: 23 Anbieter	ST Anzahl Mont.sys.: 62	[mit Produktbez. Mont.sys.: 18 (29 %)]	33	61	47	27	55	26	6	Alu: 40 / St: 18	0	1,7..7	2..15	3..4	8..25	0,5..2,4	120..157	52	2..3	500..1500	0,8..5	23	48	34	26 / 7 on	9	4	0	0	18	0	3	69	2	32															
PV: 93 Anbieter	PV Anzahl Mont.sys.: 128	[mit Produktbez. Mont.sys.: 33 (26 %)]	67	45	57	1	5	2	73	55	5	0,2..20	0,8..22	2..4	5..300	1,4..2,4	na	3	2..4	323..3000	1,4..5,4	na	na	62 / 2 on	74	32	41	5	13/14 iB	9	56	12	89	3																
Gesamt: 115 Anbieter	Gesamtanzahl: 187	[mit Produktbez. Mont.sys.: 77 (41 %)]	100	50	53	9	20	9	33	20	Alu: 21 / St: 10	5	0,2..20	0,8..22	2..4	5..300	0,5..2,4	na	3	2..4	323..3000	0,8..5,4	7	16	34	55 / 4 on	62	27	28	4	10	14/10 iB	6	58	30	59	12													
Optigrün	RBB Aluminium Profilttechnik		PV	+								8	8	3	o				2	o				-	+									+	+															
Regtec			PV	+								1,5	2,5	4	20				3	800				-	+	sonstige								+	+															
REM			PV	+								3	3	4	20				3	800				-	+	sonstige								+	+															
Renolit			PV	+								3	3	4	100				3	2500				+	+	sonstige								+	+															
Renusol			PV	+								3	3	4	300				3	1000				+	+	IFI								+	+															
Renusol			PV	+								3	3	4	20				2	900				+	+	sonstige								+	+															
Renusol			PV	+								0,2	3	4	70				3	1100				+	+	zT								+	+															
Renusol			PV	+								3,9	4,4	4	25				3	o				zT	zT								+	+																
Rheinzink			PV	+								9,65	10,23	4	o					o				-	-									+	+															
Richard Brink GmbH & Co. KG			PV	+								2	2,5	4	bel				3	bel				zT	+									+	+															
Rooftec			PV	+								0,5		3	o				3	o				-	-									+	+															
S-flex	Schrägdachgestell		PV	+								4	25	4	25				3	o				-	-									+	+															
S-flex	Dreieck Delta		PV				+							4	25				3	o															+	+														
S-flex	LEICHTmount 2.1 S/EW		PV	+										4	25	2,4				2,4					+										+	+														
S-5	S-5-PV Direct Attachment Solutions		PV	+																															+	+														
Schletter	Slate Plan, Kreuzverbinder Rapid, ClampFit-H, Dachhaken HSL, Dachhaken Rapi 2L, Alu Tile , Blechdachklemme		PV	+								<5	18	4	o				3	o					+	+	TÜV, RAL, VDE								+	+														
Schletter	AluGrid, AluGrid 100		PV	+								zT	0,5	5	4	o			3	o					+	+	zT TÜV, RAL, VDE								+	+														
Schüco			PV	+										3	o				3	1000															+	+														
Schüco			PV	+										4	25				3	700				zT	zT										+	+														
Schweiger Abdichtung			PV	+								7	10	4	o				3	o					+	+									+	+														
SEN	SOL-SMART		PV	+										4	18					o					+	+									+	+														
SEN			PV	+								5	6	4	18				3	500					+	+									+	+														
SIKO Solar			PV	+								5	4	4	30				4	2000					+	+	sonstige								+	+														
Siso			PV	+								4,3		4	20				3	1200					+	+									+	+														
Solardirekt			PV	+								5,46	8	4	20				2a	800				zT	+										+	+														
Solaris			PV	+								15	20	3	20				3	900				-	-										+	+														
Solarport Plus			PV	+								5	5	4	5				3	1000					+	+									+	+														
Solarstep			PV	+								4,5	4,5	4	45					o					-	+									+	+														
Solarworld			PV	+								4	8	4	25				3	o					+	+									+	+														
Solarworld			PV	+								5	10	3	25				3	800					-	+									+	+														
Solarzentrum Allgäu			PV	+								10		4	o				3	1000					+	+									+	+														
Solarzentrum Allgäu			PV	+								10	10	4	20				3	1200					+	+									+	+														
Solion			PV	+								3,5	3,4	4	20				3	1000					+	+									+	+														
Solon			PV	+								< 10	12	4	o				3	o				zT	+		TÜV								+	+														
Solon			PV	+								1	<5	4	25				3	500				zT	zT		zT TÜV								+	+														
Soltech	solRoof Light, solRoof (Indach System)		PV	+										4	o				3	o					+	+									+	+														
Soltech			PV	+								4,5	4,5	4	o				3	o					+	+									+	+														
Sonnenzeit	Windcutter4		PV	+								1	2,5	4	20				3	850					-	+									+	+														
Spice solar	Spice Solar built-in Racking, Series 300		PV	+																5,4															+	+														

Legende: Siehe letzte Seite

Hersteller / Marke	Produktbezeichnung Montagesystem	Produktbezeichnung Kollektor	Gebäudeanbindung										Material	Eigengewicht		Belastungsfähigkeit und Einsatzgebiet (Geländeprofil: Binnenland)										Statische Auslegung					Zertifikate auf Teilkomponenten					Quelle											
			Einsatzkategorie (ST, PV)		Aufdach / Schrägdach		Flachdach		Fassade		Aufständerung möglich			Indach		Lagenzahl		Material Hauptkomponenten	Einsatz von Standard Industrieprofilen		Wind Belastungsgrenzen					Schnee Belastungsgrenzen					Geprüfte Last an Kollektor Sample lt. Solar Keymark Datenblatt (Scenocalc v5.01 seit 1.3.2016)	Auslegungsprogramm	Bericht/Dokumentation über Auslegungsergebnis	Zertifikate Software (laut Hersteller ohne weitere Spezifizierung)	TÜV	UL	RAL	abZ	VDE	Sonstige Zertifikate/Siege/Prüfungen	Online	pv-magazine.de 2013	Direktkontakt				
			ST	PV	1	2	3	4	5	6	7	8		9	10	11	12		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24														25	26	27	28
ST: 23 Anbieter	ST Anzahl Mont.sys.: 62	[mit Produktbez. Mont.sys.: 18 (29 %)]	33	61	47	27	55	26	6	Alu: 40 / St: 18	0	1,7..7	2.15	3.4	8.25	0,5..2,4	120..157	52	2..3	500..1500	0,8..5	23	48	34	26 / 7 on	9	4	0	0	0	18	0	3	69	2	32											
PV: 93 Anbieter	PV Anzahl Mont.sys.: 128	[mit Produktbez. Mont.sys.: 33 (26 %)]	67	45	57	1	5	2	73	55	5	0,2..20	0,8..22	2..4	5..300	1,4..2,4	na	3	2..4	323..3000	1,4..5,4	na	na	62 / 2 on	74	32	41	5	14	13/14	iB	9	56	12	89	3											
Gesamt: 115 Anbieter	Gesamtanzahl: 187	[mit Produktbez. Mont.sys.: 77 (41 %)]	100	50	53	9	20	9	33	20	Alu: 21 / St: 10	5	0,2..20	0,8..22	2..4	5..300	0,5..2,4	na	3	2..4	323..3000	0,8..5,4	7	16	55 / 4 on	62	27	28	4	10	14/10	iB	6	58	30	59	12										
Spice solar	Spice Solar built-in Racking, Series 300		PV	+						Alu, St-rl		14	19	4	50	o		+	3	700	3,6			+	+		+	+							+												
Sunova			PV	+								< 2	8	4	100				3	800																	+										
Sunova			PV	+															3	500																		+									
Sunpower			PV	+															3	500																			+								
Tritec			PV	+								4	6	4	100				3	1200					+	+														+							
Tritec	TRI-STAND East-West klemmen, TRI-STAND East-West einlegen, TRI-FLAT East-West, TRI-STAND FLAT South		PV	+								1,2	12	4	100				3	1200					+	zT															+						
Varista			PV	+								4		4	o				3	o					+	+															+						
VM Edelstahltechnik			PV	+								< 3	< 5	4	25				3	1000					+	+																+					
VM Edelstahltechnik			PV	+								4,4	16	4	25				3	1000					zT	zT																	+				
Wagner Solar	Trapezblechanker TR fix		PV	+								5	8	4	o				3	o					+	+																	+				
Wagner Solar	TRIC		PV	+						Alu		5	15	4	25				3	1500					+	+																		+			
Wasi			PV	+								3	22	4	20				3	o					+	+																			+		
Wasi			PV	+															3	o					+	+																				+	
Wiemann			PV	+								10	10	2	12				2	o					-	-																			+		
Zinco			PV	+								2,7	7	4	o					o					-	-																			+		
ZSD			PV	+								≤ 3	≤ 12	4	25				3	800					+	+																				+	

Legende	
38	= Anteil an Produkten in % innerhalb der Kategorie (ST, PV) welche die entsprechenden Merkmale aufweisen (+ bzw. > 0)
74	= Anteil an Anbietern in % innerhalb der Kategorie (ST, PV) welche die entsprechenden Merkmale aufweisen (+ bzw. > 0)
1,4..2,4	= Min..Max Werte für die entsprechenden Angaben innerhalb der Kategorie
30	= Fett gekennzeichnete Werte beziehen sich auf alle Produkte bzw. alle Anbieter
ST	= Solarthermie
PV	= Photovoltaik
+	= zutreffend (+ on = online frei verfügbar)
-	= nicht zutreffend
o	= keine Angabe
zT	= zum Teil zutreffend
bel	= beliebig
iB	= laut Hersteller 2013 in Bearbeitung
abZ	= allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
Alu	= Aluminium/Aluminium Legierung
Est	= Edelstahl
St	= Stahl
rf	= rostfrei
vz	= verzinkt
*	= Angaben nicht eindeutig zuzuordnen
A	= Auf Anfrage
na	= nicht explizit abgefragt
Direktkontakt	= Direkt vom Hersteller angefragte Unterlagen/Informationen
Online	= Im Internet verfügbare Montageanleitungen / Planungsgrundlagen / Unterlagen
pv-magazine.de 2013	= Eingegliedert aus Marktübersicht 03 / 2013 von pv-magazine.de
exKon	= externer Konformitätsnachweis
BZUL	= Bauartzulassung

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

1	
Zielsetzung	5
2	
Überblick und Einordnung	6
2.1	
Mechanische Komponenten und Schnittstellen.....	7
2.2	
Prozesse	8
3	
Einwirkungen, Auslegung und Sicherheitsnachweis	9
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
4	
Softwaretools und Literatur	20
5	
Best practice	23
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	
6		
Kostensenkungspotentiale	33	
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	
7		
Zusammenfassung.....	38	
8		
Literaturverzeichnis.....	40	

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.

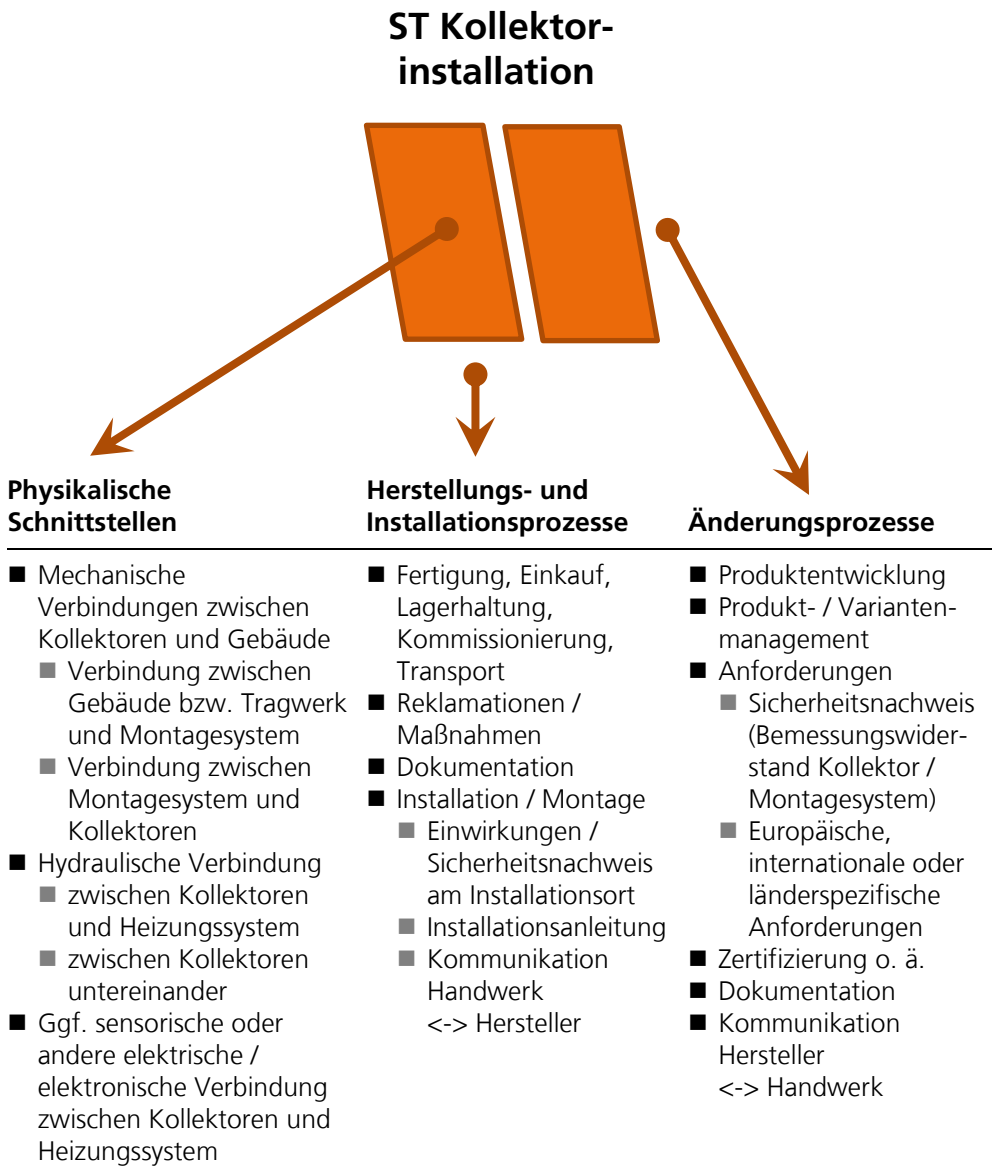


Abb. 01 Überblick und Begriffsklärung von physikalischen Schnittstellen Prozessen einer beim Endkunden installierten ST Kollektoranlage

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.)

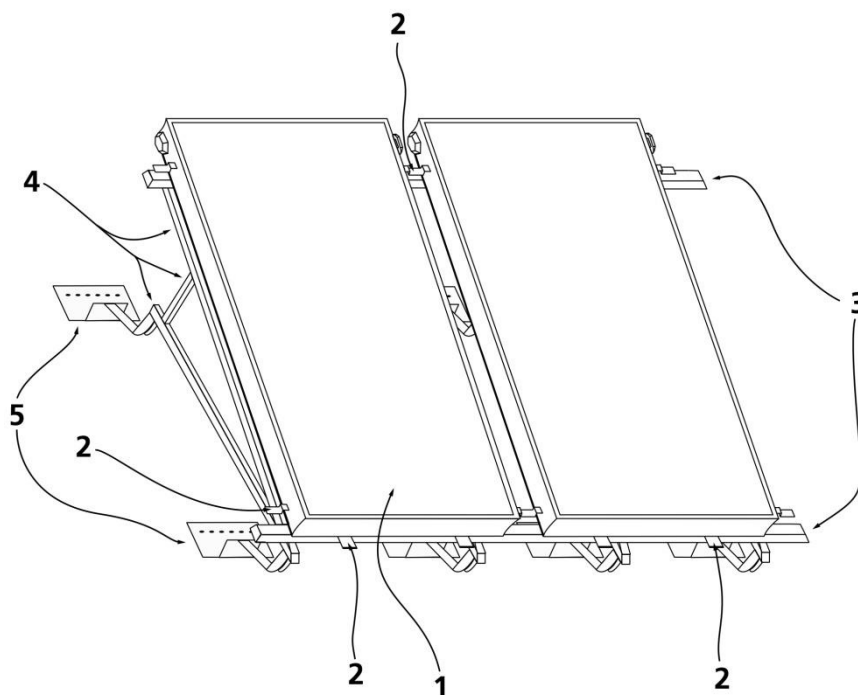


Abb. 02 Beispielhafte Verbindungskomponenten zwischen Kollektorinstallation und Gebäude bzw. Dach
1 – Kollektoren
2 – Befestigungsmittel
3 – Montageschienen
4 – Aufständering (optional)
5 – Gebäude-/Dachanbindung
 Quelle: (ISO 9806)

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 Aufständigung 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 α 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 ($L1 = L2$).

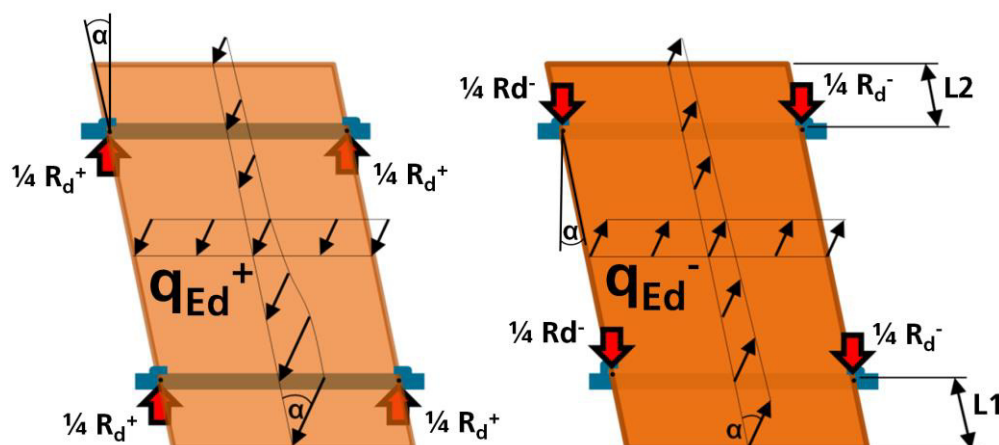


Abb. 03 Schematische Darstellung von positiven und negativen Bemessungswerten (jeweils unter Winkel α zur Kollektoroberfläche) für Widerstand R_d und Einwirkung als Flächenlast q_{Ed} am Beispiel eines Flachkollektors mit vier Auflagerpunkten und dessen Befestigungspositionen ($L1, L2$)

Auf der Einwirkungsseite wirkt die Bemessungseinwirkung E_d unter einem Winkel α . 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 m²; 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).

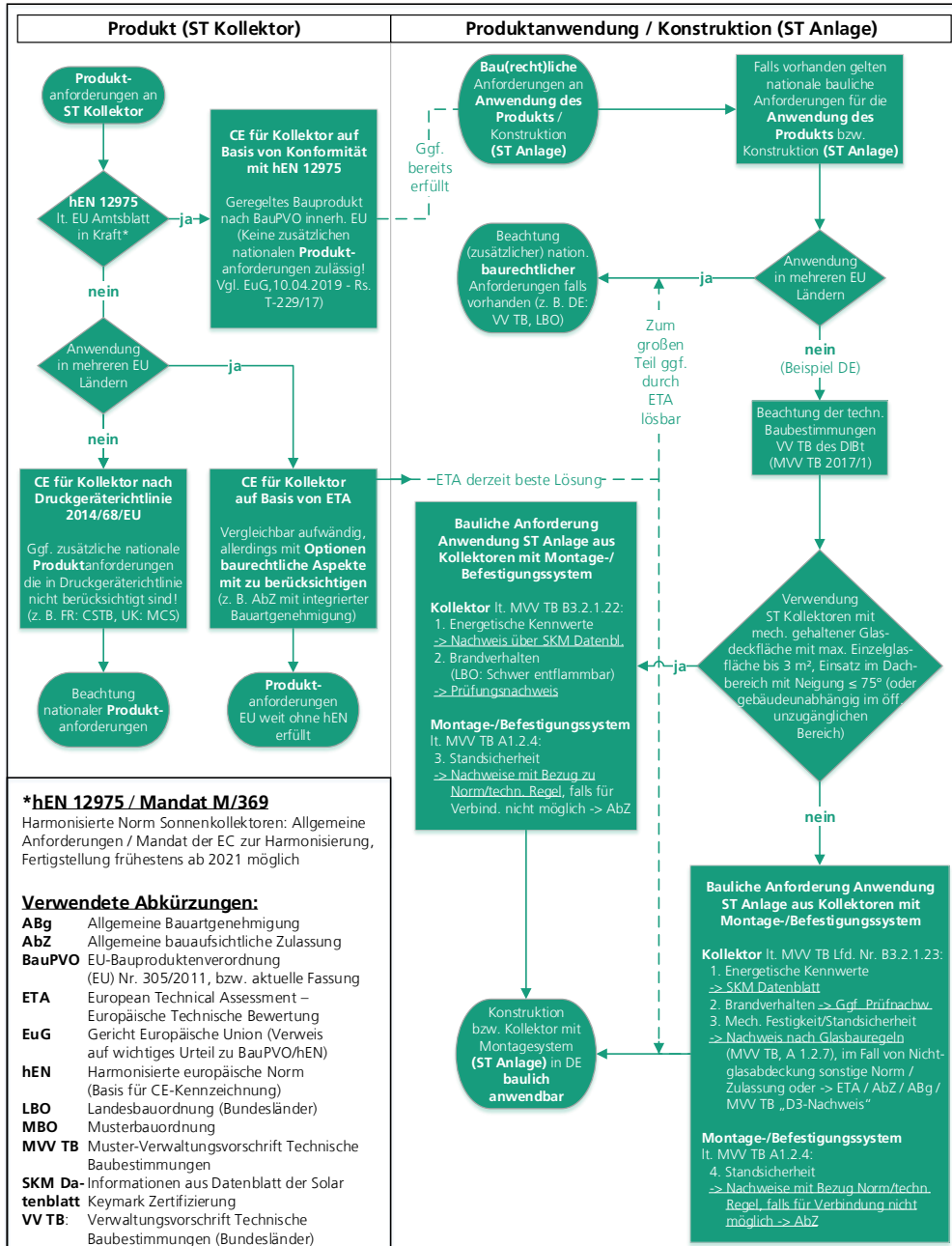


Abb. 04 Übersicht über Produkt- und baurechtliche Anforderungen an Kollektoren bzw. ST Anlagen innerhalb der EU. Das Produkt Kollektor wird dabei von der Anwendung bzw. Konstruktion in Form einer ST Anlage (Kollektoren mit Montagesystem) unterschieden. Als Anwendungsbeispiel sind die derzeitigen nationalen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

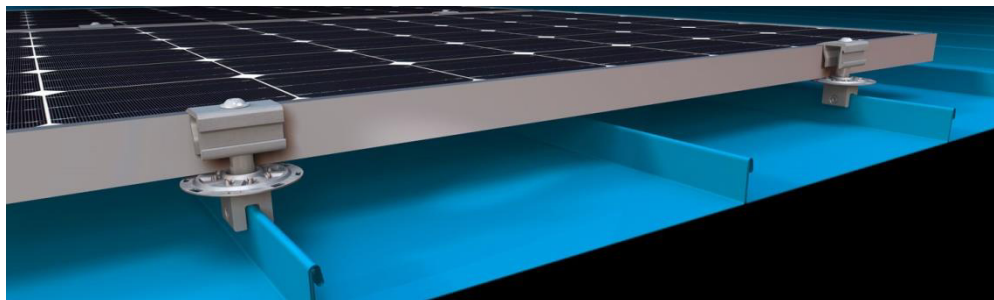


Abb. 05 Beispiel: Falls sich Tragwerksanbindungspunkte und Befestigungspunkte kombinieren lassen werden keine Montageschienen benötigt

Quelle: S-5!® PV Kit 2.0;
www.s-5.com

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

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

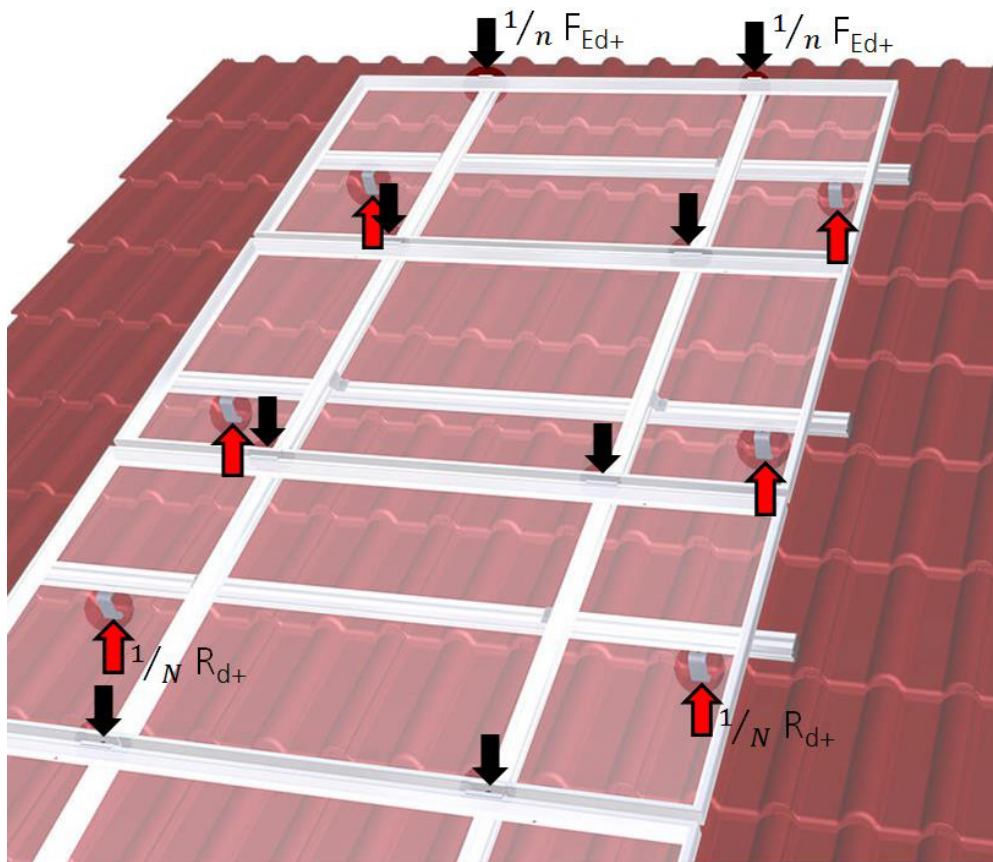


Abb. 07 Aufgabe eines Montagesystems am Beispiel positiven Drucks: Einwirkung ausgehend von Modul- oder Kollektorbefestigungspunkten hin zu den Positionen der Tragwerksanbindung für ein zweilagiges Montagesystem
Quelle (ohne Lastindikatoren): www.alltec-metalltechnik.de

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

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 https://portal.abc-solar.de/
K2 Systems GmbH	Satellitenbildgestützte Planung, Auslegung, eigener PV Montagesysteme	K2 Base On https://base.k2-systems.com
Krannich Solar GmbH und Co.KG	Auslegung, Berechnung eigene PV Montagesysteme innerhalb Kundenportal (nur registrierte Kunden)	Gestellkonfigurator https://krannich-shop.com
Levasoft GmbH	Satellitenbildgestützte online Planungs, Auslegungs und Berechnungsplattform für solare Montagesysteme / Anlagen nach kundenspezifischen Softwareanforderungen	Solar Pro Tool http://www.solarprotool.com
Lorenz Montagesysteme GmbH	Auslegung, Berechnung eigene PV Montagesysteme (Solar Pro Tool: Nur registrierte Kunden)	Kit Planer (vereinfacht) https://lorenz-montagesystem.de/planungstools/kit-planer Solar Pro Tool https://lorenz.solarprotool.com
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 https://web.renusol.com
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 https://www.wolf.eu/solar-conf

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, Bezugslink)	2016-06
BDH, BSW	Infoblatt 61: Arbeitsblatt zur Ermittlung von Windlasten an Solarthermischen Anlagen (Online Link)	2015-02
Fraunhofer ISE	Projektabschlussbericht »MechTest« (http://mechtest.de)	2013-09
BDH, BSW	Infoblatt 49: Arbeitsblatt zur Ermittlung von Schneelasten an Solarthermischen Anlagen (Online Link)	2012-04
Photovoltaik	Ausgabe April 2012 Artikel »Achtung, Bruchgefahr« (S.70, Bezugslink)	2012-04
ZVDH	Merkblatt Solartechnik für Dach und Wand	2011-04
DIN	Normenreihe zur Tragwerksplanung insbesondere Grundlagen (1), Einwirkungen (2), Stahlbau (3), Aluminiumbau (9) (https://www.eurocode-online.de)	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.

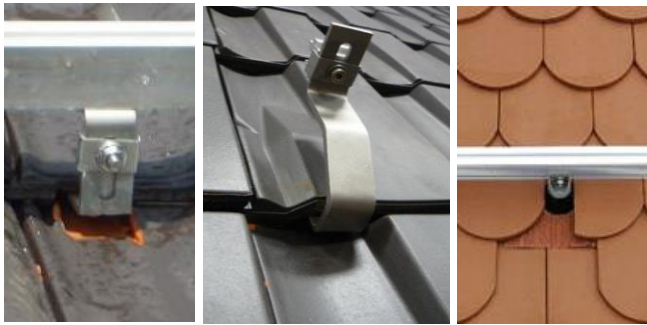


Abb. 10 Dachanbindungen mit direkter Lasteinleitung: Dachhaken mit Ziegelmontage (links) und Flächenlüftern (mittig) sowie Dachanker mit Ziegelmontage / Dichtmanschette (Quellen links nach rechts: photovoltaikforum.com, VDI 6012, Viessmann)

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 Ziegelmontage 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.

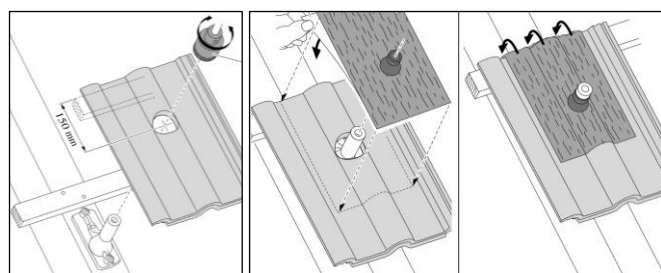


Abb. 12 Beispielhafte Installationsschritte Sparrenanbindung über Dachanker mit direkter Lasteinleitung (Quelle: Kurzanleitung Solarsystem WTS-F2 Aufdach; Max Weishaupt GmbH, 88475 Schwendi)

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

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.

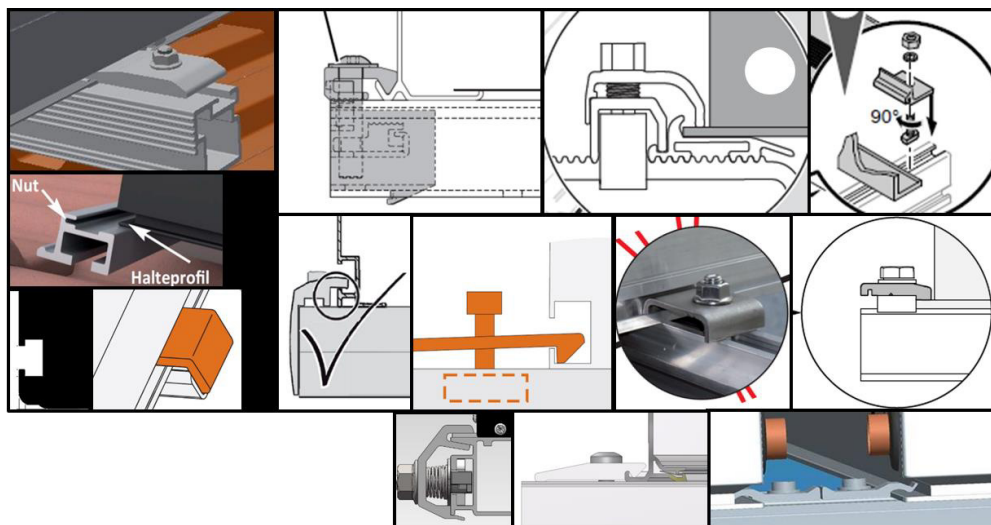


Abb. 15 Status quo Kollektor Befestigungslösungen:
Kein Standard erkennbar
Quelle: Installationsanleitungen verschiedener ST Hersteller

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.

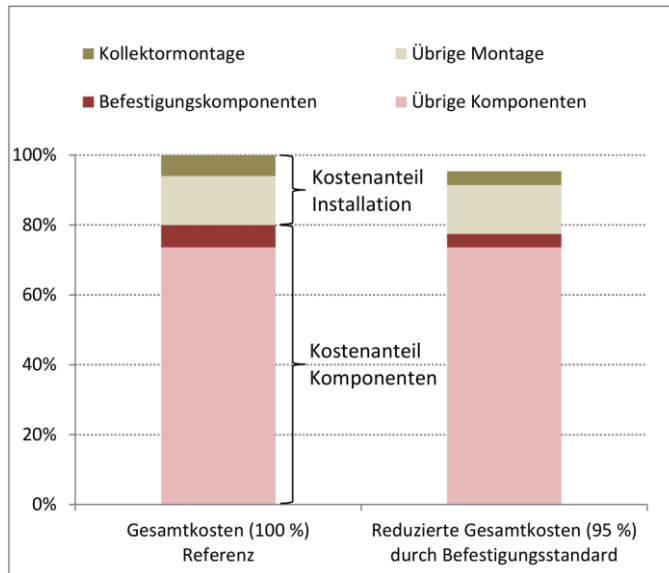


Abb. 16 Reduzierung der Gesamtkosten einer Referenz EFH Kombianlage durch Umsetzung eines ST Befestigungsstandards wie unter <http://easy-st.org> vorgestellt (Kostenstruktur auf Basis Referenzanlage nach IEA SHC Task54)

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 Gemeinkenaufschläge 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 herstellerseitig 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 herstellerseitige 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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/>.