



Dresden.  
Dresden.

# Leitfaden für regenerative Energien im Stadtbild

Photovoltaik, Solarthermie, Luft-Wasser-Wärmepumpen



## Leitfaden für regenerative Energien im Stadtbild

Photovoltaik

Solarthermie

Luft-Wasser-Wärmepumpen

Innovative Kombilösungen



# Inhalt

<b>1. Einleitung</b>	<b>4</b>
Städtebauliche Situation und Klimaschutzstrategie	
<b>2. Photovoltaik – technische Erläuterung</b>	<b>6</b>
Flachdach	8
Satteldach	14
Fassadenintegrierte Gestaltung	18
<b>3. Solarthermie – technische Erläuterung</b>	<b>22</b>
Einfamilienhäuser	26
Mehrfamilienhäuser, Büro- und Gewerbegebäude	28
<b>4. Luft-Wasser-Wärmepumpen – technische Erläuterung</b>	<b>30</b>
Aufstellarten	32
<b>5. Kombilösungen – innovative Ansätze</b>	<b>34</b>
Autoren- und Bildnachweis	36
Schrifttum	37

# 1. Einleitung

## Vorwort

Die Anforderungen an die energetische Qualität der Gebäude sind in den letzten drei Jahrzehnten immer weiter gestiegen. Trotzdem ist der Heizwärmeverbrauch pro Einwohner in Dresden nicht gesunken. Grund ist die seit Jahrzehnten kontinuierlich älter werdende Bevölkerung, die länger auch als Einzelpersonen in ihren Wohnungen verbleiben, sowie ein stetig zunehmender Wohnflächenkonsum. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der damit erforderlichen Maßnahmen zum Klimaschutz ist der umfassende Einsatz von erneuerbaren Energien in der Stadt Dresden daher unbedingt notwendig. Die im vorliegenden Leitfaden beschriebenen Handlungsempfehlungen für den Einsatz von regenerativen Energieanlagen im Gebäudeumfeld berücksichtigen technische, energetische, wirtschaftliche und stadtgestalterische Aspekte. Ziel des Leitfadens ist es, die Interessen des Bauherren, der Planer und Behörden mit Anforderungen hinsichtlich des stadtgestalterischen Erscheinungsbildes und dem höchstmöglichen Nutzen für den Klimaschutz miteinander zu vereinbaren und wenn nötig, verträgliche Kompromisslösungen aufzuzeigen. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen folgende Energieversorgungstechniken, die Einfluss auf das Stadtbild haben:

- Photovoltaikanlagen
- Solarthermie
- Luft-Wasser-Wärmepumpen

Es werden ausschließlich gebäudebezogene Maßnahmen zur Integration der o. g. Technologien betrachtet. Solarthermie- und Photovoltaik-Freiflächenanlagen sind nicht Gegenstand dieses Leitfadens. Diese Broschüre wurde unter Verwendung des „Grundlagendokumentes zur Ableitung eines Leitfadens zur Integration regenerativer Energieversorgungssysteme in das Stadtbild“ der TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Energietechnik, Professur für Gebäudeenergie- und Wärmeverorgung (C. Felsmann, K. Rühling, H. Hundt, V. Volmer) vom 22. November 2018 erarbeitet und greift auf die dort ermittelten Simulationsergebnisse zurück.

## Städtebauliche Situation und Klimaschutzstrategie

Dresden besitzt eine polyzentrische Stadtstruktur, die durch das historische Zusammenwachsen vieler einzelner Dörfer entstanden ist. Dies ist auch heute noch im Stadtbild ablesbar. 2018 wurde vom Stadtrat für das Stadtgebiet ein neuer Landschaftsplan beschlossen. Dieser verfolgt das strategische Leitbild der „kompakten Stadt im ökologischen Netz“ und soll durch Vorgabe eines umfassenden und vorsorgenden Gesamtkonzeptes für Natur und Landschaft örtliche Klimaschutzstrategien unterstützen und die durch den Klimawandel hervorgerufenen lokalklimatischen Effekte mindern helfen.

2013 wurde vom Dresdner Stadtrat das Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzept Dresden 2030 (IEuKK) beschlossen.

Die Stadt Dresden verfolgt das Ziel, die Treibhausgasemissionen (ausgewiesen in Masse CO<sub>2</sub>-äq/Einwohner/Jahr) alle 5 Jahre um 10 % zu reduzieren. Daraus resultiert, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Dresden bis 2030 um insgesamt mehr als 40 % gegenüber 2005 gemindert wird. Derzeit beträgt der Anteil der regenerativen Energien an der Strom- und Wärmeversorgung von Haushalten (2017) lediglich etwa 4 %, gemessen am gesamten Energieverbrauch der Wohngebäude (bundesweit 13 % für Wärme, 36 % für Strom, 5 % Verkehr). Für die Zielerreichung sind sowohl Energieeinspar-, Energieeffizienzmaßnahmen, aber auch ein Ausbau von regenerativen Energieanlagen notwendig.

Die Installationen für regenerative Energiequellen (Photovoltaik, Solarthermie, Luft-Wasser-Wärmepumpen) beeinflussen das Erscheinungsbild der Gebäude. Seit 100 Jahren steht mit der Fernwärme eine in seiner Klimawirkung vorteilhafte Form der Wärmebereitstellung zur Verfügung, mit der sich stadtbildverträgliche und klimafreundliche Lösungen realisieren lassen. Diese zentrale Fernwärmeversorgung soll weiter ausgebaut werden. Einem Schalenmodell folgend wird im integrierten Energie- und Klimaschutzkonzept, entsprechend der unterschiedlichen Bebauungs- und Nutzungsdichte und der bestehenden Infrastruktur, wie folgt unterschieden:



# 2. Photovoltaik – technische Erläuterung

Photovoltaikanlagen wandeln Solarstrahlung in elektrische Energie um. Die Module erzeugen dabei Gleichstrom, welcher anschließend von einem Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt wird. Die Größe von PV-Anlagen wird üblicherweise in  $kW_p$  (Kilowatt peak) angegeben. Dieser Wert beschreibt die maximale Leistung der Anlage bei Standard-Testbedingungen. Pro  $m^2$  Modulfläche haben PV-Module meist eine Peak-Leistung von 0,1- 0,25  $kW_p$ . Photovoltaik-Zellen nutzen die Eigenschaften von Halbleitern, z. B. des heute überwiegend zum Einsatz kommenden Siliziums. Es gibt monokristalline und polykristalline Siliziumzellen und Dünnschichtzellen. Es werden Glas-Glas-Module und Glas-Folien-Module (Folie rückseitig) angeboten. Auf den Modulen wird eine Antireflexionsschicht aufgebracht, die den Reflexionsgrad senkt.

Mehrere einzelne Module werden zu einem String (engl. für „Strang“) verschaltet, um die gewünschte Gleichspannung zu erhalten. Dabei gibt es verschiedene Verschaltungsarten, die von der Verschattungssituation und Systemspannung abhängen. Sind mehrere Module in Reihe verschaltet und eines dieser Module fällt aus (z. B. Verschattung durch Schornstein, Baum, Verschmutzung etc.), sinkt die gesamte Leistung des Strings stark ab. Deshalb spielen Verschattung und Verschaltung bei Photovoltaik eine besonders wichtige Rolle.

Solarstromspeicher dienen der Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils und sorgen für eine höhere Unabhängigkeit vom Stromnetz. Eine sinnvolle Dimensionierung zielt darauf ab, die Abend-/Nachtversorgung durch am Tag gespeicherten Strom zu gewährleisten. Spezifische Investitionskosten sinken mit größerer installierter Kollektorfläche/Anlagengröße.

Laufende Kosten werden üblicherweise in Höhe von 1 % der Anfangsinvestition pro Jahr angenommen. Diese werden bspw. für die PV-Betreiberhaftpflichtversicherung sowie die Wartung und Instandsetzung (z. B. Austausch Wechselrichter) benötigt.

Die erzeugte Leistung am Standort der Photovoltaikanlage errechnet sich in Abhängigkeit der Sonneneinstrahlung, des Neigungswinkels, der Ausrichtung, der Modulfläche und des Wirkungsgrades der einzelnen Komponenten. Zur Abschätzung von Jahreserträgen existieren Online-Tools, die auch ohne Fachwissen nutzbar sind. Die Effizienz ist unter anderem abhängig von folgenden Einflussfaktoren:

- Solarstrahlung
- Modultemperatur

Bezugspunkt für die Datenblattangaben zur Leistung von PV-Modulen sind die STC-Bedingungen (Standard-Test-Bedingungen) mit  $1000 W/m^2$  Solarstrahlung und einer Modultemperatur von  $25 ^\circ C$ . Je niedriger die Solarstrahlung und je höher die Modultemperatur, desto geringer ist die Leistung der PV-Module und damit der Anlage.

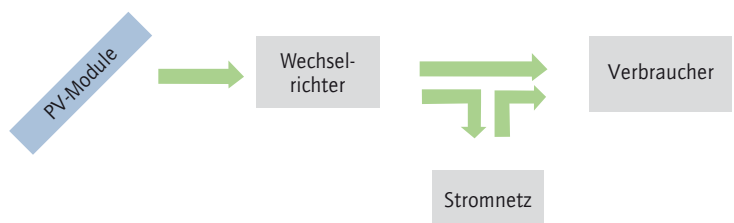


Abb. oben:  
Aufdach-Montage von PV-Modulen auf einem Satteldach  
Abb. unten:  
Vereinfachter Energiefluss einer PV-Anlage



Abb. oben:  
PV-Flachdach auf der BMW-Zentrale München  
Abb. unten:  
Vollflächige Aufdach-Anlage auf einem Satteldach

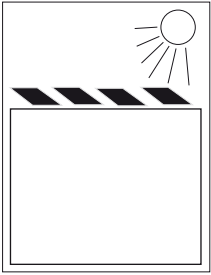
**Alter:** Je älter das Modul, desto weniger elektrische Energie wird erzeugt. Hierzu liefern die Datenblätter der Hersteller meist detaillierte Informationen, als Richtwert gilt ca. 90 % der Nennleistung nach 10 Jahren, ca. 80 % der Nennleistung nach 20-25 Jahre. Wenn man die monetäre Amortisationszeit einer Anlage bestimmt, ist bei Stromeinspeisung die Einspeisevergütung nach EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) anzusetzen. Bei Eigenverbrauch des Stroms ist der eingesparte Bezugsstrom maßgebend.

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sollte aufgrund der komplexen Zusammenhänge des Vergütungs- und Umlagesystems durch Fachberater erfolgen. Für Privatkunden kann diese Beratung z. B. über die Verbraucherzentrale, die SAENA oder Solar-Fachbetriebe erfolgen. Gewerbliche Bauherren können Planungsbüros oder Wirtschaftsprüfer beauftragen eine derartige Berechnung durchzuführen. Die derzeit steuerrechtlich anzusetzende Nutzungsdauer einer PV-Anlage beträgt 20 Jahre. Die Lebensdauer kann je nach Art und Güte der verwendeten Materialien und der Qualität der Ausführung 25 bis 30 Jahre erreichen.

**Fördermöglichkeiten für PV und Solarstromspeicher:** günstige Kredite der KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) und SAB (Sächsische Aufbaubank).

#### **Praxistipp:**

Das Einfügen einer DC-Trennstelle (Spannungsfrei-Schalter) kann im Ernstfall z. B. für die Feuerwehr die Risiken von Stromschlag beim Löschen erheblich senken und ist deshalb vorgeschrieben. Diese Trennstelle ist meist mit dem Wechselrichter verschaltet und unterbricht im Notfall den Stromkreis. Da trotzdem weiter Strahlung auf die Module auftrifft, stehen diese zwar noch unter Spannung, solange dieser Stromkreis allerdings nicht geschlossen wird, minimiert sich die Gefahr für Außenstehende.



## Photovoltaik auf Flachdach

Verschattungen von Nachbargebäuden, Bäumen, Schornsteinen und Dachaufbauten reduzieren die Stromausbeute wesentlich, daher muss die PV-Anlage möglichst verschattungsfrei sein. Damit sich die Module untereinander wenig verschatten, ist ein Mindestabstand einzuhalten, der vom Neigungswinkel der Module abhängt: Bei Südausrichtung der Module ist aus energetischer Sicht ein Neigungswinkel von 30°- 45° optimal, auf Flachdächern wird aus gestalterischen Gründen 15° empfohlen. Sollte eine hohe Netzunabhängigkeit gewünscht sein, ist auch eine Ost-West-Ausrichtung mit sehr flachem Neigungswinkel in Kombination mit einem Solarstrom-Speicher möglich.

### Gestaltung

Generell ist eine Sichtbarkeit der PV-Anlagen auf Flachdächern aus dem öffentlichen Raum zu vermeiden. Durch den unregelmäßigen Umriss der aufgeständerten Module wirken Dachkanten unruhig. Außerdem wird von Betrachtern der Stadtraum als angenehmer empfunden, wenn dieser nach oben hin durch klar umrissene Formen abgegrenzt ist.

Ein größerer Randabstand zur Dachkante führt zu verringerter Sichtbarkeit der Module. Die Sichtbarkeit ist abhängig vom Abstand des Betrachters zum Gebäude und damit von der Position des Betrachters, der Gebäudelage und der Umgebung. Deshalb sollte der Randabstand zur Dachkante bspw. bei Gebäuden an großen Plätzen größer sein. Als Richtwert gilt ein Mindestabstand von 1,50 m zwischen Modul und Dachkante (wenn keine Attika vorhanden ist). Ist eine Attika vorhanden oder werden die Module mit flachem Aufstellwinkel installiert, kann der Randabstand reduziert werden. Der Randabstand ist ein wesentlicher Einflussfaktor hinsichtlich der maximal installierbaren Modulanzahl und damit des Ertrags.

### Modulfarbe

Die Modulfarbe ist typischerweise blau/anthrazit, weitere Farben sind jedoch auf dem Markt verfügbar. Bei Flachdächern, die nicht in den Straßenraum wirken, spielt die Farbe der Module eine untergeordnete Rolle.

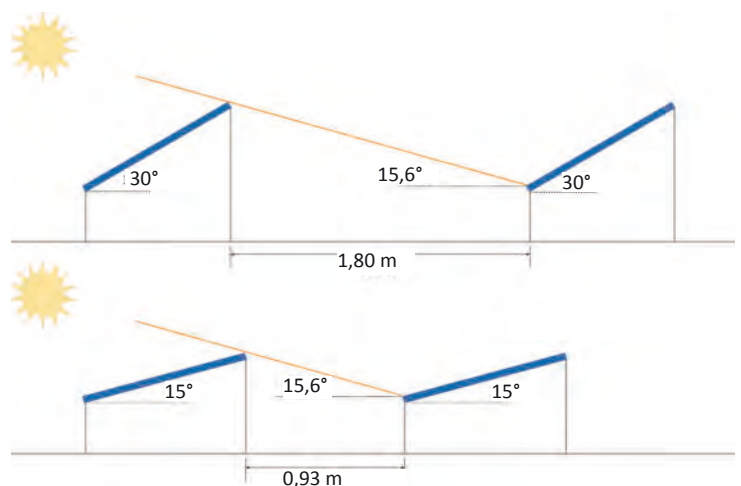


Abb. oben:  
Flachdach-Anlage auf einem Kindergarten (roter Gebäudeteil)

Abb. unten:  
Ein flacher Neigungswinkel verringert den Reihenabstand untereinander.



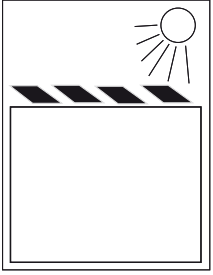
Abb. oben:  
Flachdachanlage mit 15°-Aufstellung  
Abb. unten:  
Flachdachanlage mit 30°-Aufstellung

### Rahmen

Glas-Folien-Module haben standardmäßig aluminiumfarbige Rahmen. Glas-Glas-Module sind oft auch in rahmenloser Ausführung erhältlich. Dies wirkt sich positiv auf die relativ flache Aufständering bei 15° aus, da sich weniger Verschmutzungen an der unteren Kante des Moduls festsetzen können. Glas-Glas-Module sind robuster und langlebiger als Glas-Folien-Module, haben jedoch in der Regel höhere Anschaffungskosten und ein größeres Gewicht.

### Reflexion/Blendwirkung

Die Abdeckgläser von Photovoltaik-Modulen – sogenannte Solargläser – reflektieren Sonnenlicht, sodass eine Reflexion (ca. 8 %) nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann. Es sind Strukturgläser (beidseitige Mikrostrukturen, mit hohen Anteilen diffuser Reflexion) gegenüber Floatglas (ähnlich wie Fensterglas) zu bevorzugen. Überdies wirken sich Neigungswinkel von 15° und geringer bei den meisten Stadtlagen positiv aus (z. B. keine Blendung des Verkehrs). Eine Blendwirkung kann trotzdem nicht generell ausgeschlossen werden, sodass bei exponierten Lagen (z.B. Einflugschneise Flughafen, direkte Blickbeziehung aus bestimmter Stadtansicht) im Einzelfall ist die Blendwirkung zu prüfen.



## Photovoltaik auf Flachdach

### Einfamilienhäuser

Die installierbaren Modulflächen schwanken entsprechend der Größe. Laut Beispielsimulation der TU Dresden liegen übliche Größenordnungen der PV-Anlagen bei 10-45 m<sup>2</sup> Modulfläche. Dabei werden Peakleistungen von 1,5 bis 8 kW erreicht. Bei Ost- bzw. Westausrichtung sind etwa 20 % geringerer Ertrag als bei Südausrichtung zu verzeichnen.

Die Flachdach-Varianten mit 15° Neigung sind zwar gegenüber den 30° Varianten durch einen niedrigeren flächenspezifischen Ertrag gekennzeichnet, jedoch steigt die integrierbare Modulfläche und die Verschattungseffekte fallen geringer aus. Im Ergebnis sind die absoluten Erträge und Deckungsgrade sogar höher als die der 30°-Aufständigung.

Bei einer Deckungsrate bis zu 33 % können 0,5 bis 2,5 t/a CO<sub>2</sub> vermieden werden, wobei immer von der Aufnahme des Überschussstroms (Anteil im Bereich 75 bis 90 % der Gesamterzeugung) ins vorgelagerte Stromnetz ausgegangen wird.

### Besondere Gestaltungshinweise:

Bei Einfamilienhäusern steht nur eine sehr geringe Fläche für die installierbaren PV-Module zur Verfügung und dies bestimmt somit den Ertrag. Oft müssen sich auf der relativ kleinen Dachfläche die PV-Module noch ihren Platz mit Dachaufbauten, Schornsteinen und Satelliten-Schüsseln teilen. Dies muss in der Planung abgewogen werden. Sie sollten so platziert werden, dass sie keine Schatten auf die Module werfen und sich auf der nördlichen Seite des Daches angeordnet werden

### Mehrfamilienhäuser

In den Beispielsimulationen waren 100-150 m<sup>2</sup> Modulfläche mit einer Peakleistung von 15-25 kWp erreichbar. Der höchste Gesamtertrag wird bei West- und Ostbelegung der Dächer erreicht.

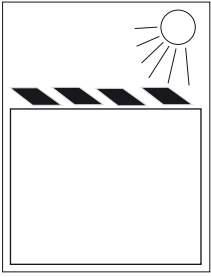
Es ergeben sich CO<sub>2</sub>-Vermeidungen von 3 bis 8 t/a, wobei immer von der Aufnahme des Überschussstroms (Anteil im Bereich 75 bis 80 % der Gesamterzeugung) ins vorgelagerte Stromnetz ausgegangen wird.



Abb. oben:  
Platzbedarf für Wechselrichter und Solarstrom-Speicher im EFH



Abb. oben:  
PV-Anlage in 15° Südaufstellung auf einem EFH, die PV-Anlage ist vom Garten aus nicht zu sehen.  
Abb. unten:  
Gebäudefront mit Anlage in 15° Südaufstellung



## Photovoltaik auf Büro- und Gewerbegebäuden

### Bürogebäude

Auf diesen Gebäuden sind aufgrund der größeren Fläche deutlich größere PV-Anlagen als auf Mehrfamilienhäusern installierbar. Hier sind oft 150-250 m<sup>2</sup> Modulfläche mit einer Peakleistung von 20-25 kW möglich. Dabei sind Deckungsgrade von 7-10 % erreichbar. Diese fallen damit geringer aus als bei MFH (dort 18-26 %), da die verfügbare Dachfläche im Verhältnis zur Nutzfläche sehr viel kleiner ist. Dies führt zu sehr hohen Eigenverbrauchsanteilen von oft teilweise 60 % (Süd- und Ostausrichtung) Bei Ostausrichtung ist der Ertrag etwa 10-15 % geringer als bei Südausrichtung. Es ergeben sich CO<sub>2</sub>-Vermeidungen von 3-7 t/a.

### Gewerbegebäude

Für Großanlagen ist eine Einzelfallbetrachtung bzw. individuelle Beratung unabdingbar. Folgende Hinweise sollten bei der Integration von PV-Anlagen auf Gewerbegebäuden beachtet werden: Die flächenspezifischen Erträge sind aus den Ergebnissen der anderen Gebäudetypen in etwa übertragbar, sodass die Größenordnung der zu erwartenden Erträge abgeschätzt werden kann. Eigenverbrauchsanteil und Deckungsgrad hängen wesentlich vom Nutzungsprofil ab und müssen daher individuell ermittelt werden.

### Besondere Gestaltungshinweise:

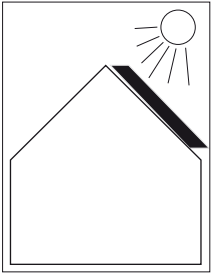
Aus stadtgestalterischen Gesichtspunkten ist bei Gewerbebauten die Wirkung der PV-Anlagen in den Stadtraum in jedem Einzelfall gesondert zu prüfen. Bei hohen Gebäuden ist die Sichtbarkeit der Module aus dem Straßenraum geringer und ordnet sich optisch besser ein.



Abb. oben:  
Indachanlage auf den gebogenen Dächern einer Kläranlage  
Abb. Mitte:  
Aufdachanlage auf einem Krankenhaus  
Abb. unten:  
Aufdachanlage auf einer Gewerbehalle



Abb. oben:  
PV-Fassadenanlage an einem Gewerbebau



## Photovoltaik auf Satteldach

Auch beim Satteldach ist eine verschattungsfreie Dachfläche wichtig, um keine Einbußen bei der Stromausbeute hinnehmen zu müssen. Abstände zu Dachgauben, Schornsteinen, Nachbargiebeln und Bäumen müssen eingehalten werden. Typische geneigte Ziegeldächer weisen einen Neigungswinkel zwischen 20 und 50° auf. Meist werden PV-Aufdachanlagen mit Dachhaken montiert, die in eine Lücke zwischen zwei Ziegeln an den Dachsparren angebracht werden. An den Haken werden Schienen befestigt, die später die Module tragen. Diese Installation wird als „dachparallel“ bzw. die entsprechende Anlage als „Aufdachanlage“ bezeichnet.

Die Befestigung einer Photovoltaikanlage muss standortspezifisch ausgewählt werden. Lage, Witterungsbedingungen und der bauliche Grundkörper beeinflussen diese Entscheidung. So muss z. B. bei hohen Schneelasten die Anzahl der Dachhaken erhöht werden. Auch auf die Windlast muss der Installateur vor der Inbetriebnahme einer PV-Anlage Rücksicht nehmen.

Daneben ist auch die Dachintegration bei Neubauten oder kompletter Dachsanierung möglich. Man unterscheidet zwischen Indach-PV-Anlagen, bei denen die Module in die Dachhaut integriert werden und Solardachziegeln. Dachintegrierte PV-Anlagen sind einfacher zu montieren, da nicht eine vorhandene Bausubstanz wie z.B. Ton-Ziegel an die Anforderungen der Anlage angepasst werden muss. Gestalterisch fügen sie sich besser in das Dach ein. In der Beispielsimulation entstanden bei fehlender Hinterlüftung geringere Ertragseinbußen von bis zu 3 % durch eine erhöhte Modultemperatur. Für Schrägdächer sind Deckungsgrade von 18-26 % im MFH möglich (EFH bis 33 %). Bei Ostausrichtung ist der Ertrag etwa 15-20 % geringer als bei Südausrichtung. Der höchste Gesamtertrag wird bei West- und Ostbelegung der Dächer erreicht.)

### Besondere Gestaltungshinweise:

Aus stadtgestalterischer Sicht wird entweder das vollflächige Belegen des Daches mit PV-Modulen oder bei Teilflächen eine symmetrische Anordnung in Rechtecken (gleiche Ausrichtung der Module) oder in einem horizontalen oder vertikalen Band empfohlen. Übrige Restflächen des Daches sind gestalterisch zu beurteilen.



Abb. oben:  
Indach-Anlage auf kompletter Süddachfläche eines EFH  
Abb. unten:  
Aufdachanlage auf einem EFH



### Modulfarbe

Grundsätzlich sind Module zu bevorzugen, deren Farbe der Dachfarbe entspricht. Die Modulfarbe ist bisher typischerweise blau/anthrazit, sodass bei Verwendung von Standardmodulen nur bei grauen/schwarzen Dächern und Dächern in Schieferoptik eine gute Übereinstimmung mit der Dachfarbe erreichbar ist. Es gibt auch anders gefärbte Solarmodule durch Aufbringen unterschiedlich dicker Reflexionsschichten. Die besonderen Farben haben mitunter geringe Einbußen des Wirkungsgrad und höhere Modulkosten zur Folge. Dies kann aber in speziellen Fällen trotzdem sinnvoll sein.

### Rahmen

Glas-Folien-Module haben standardmäßig aluminiumfarbige Rahmen. Bei Verwendung von anthrazitfarbenen Rahmen ergibt sich ein homogeneres Gesamtbild. Glas-Glasmodule sind auch in rahmenloser Ausführung erhältlich.

Glas-Glas-Module sind robuster und langlebiger als Glas-Folien-Module, haben jedoch in der Regel höhere Anschaffungskosten und ein größeres Gewicht.

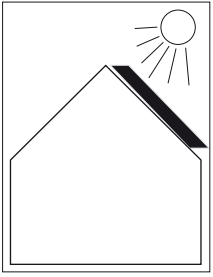


### Reflexion/Blendwirkung

Die Abdeckgläser von Photovoltaik-Modulen – sogenannte Solargläser – reflektieren Sonnenlicht, sodass eine Reflexion nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann. Hersteller dieser Solargläser beziffern den Reflexionsanteil auf ca. 8 %. Für die daraus resultierende Blendwirkung ist die Art des Solarglases entscheidend. Hierbei sind Strukturgläser (beidseitige Mikrostrukturen, mit hohen Anteilen diffuser Reflexion) gegenüber Floatglas (ähnliches Verhalten wie Fensterglas) zu bevorzugen. Der Neigungswinkel der PV-Anlage steht in Abhängigkeit mit der des Satteldaches. Eine Blendwirkung kann nicht generell ausgeschlossen werden, sodass bei exponierten Lagen (z.B. Einflugschneise Flughafen, direkte Blickbeziehung aus bestimmter Stadtansicht) im Einzelfall der Nachweis zu führen ist.

Aus stadtgestalterischer Sicht ist die besondere Situation in der Nähe von Denkmälern, Sichtfeldern, Blickbeziehungen und die Stadtsilhouette zu berücksichtigen.

Abb. oben:  
Indach-Anlage auf Süddach eines Bürogebäudes  
Abb. unten:  
In PV-Anlage integriertes Plexiglas, dahinter befinden sich Dachfenster.



## Photovoltaik auf Satteldach

### Einfamilienhäuser

Die installierbaren Modulflächen schwanken entsprechend Größe, Dachneigung und Dachform sehr stark: Laut der Beispielsimulation liegen übliche Größenordnungen der PV-Anlagen liegen bei 10-45 m<sup>2</sup>. Dabei werden Peakleistungen von 1,5 bis 7 kW erreicht. Die Größe und der Ertrag der Anlage richten sich nach vielen Faktoren (Wirtschaftlichkeit, Erscheinungsbild, Flächenangebot, Ausrichtung der Anlage, Neigungswinkel). Genaue Zahlen liefert der Anlagenplaner für das konkrete Projekt. Bei Schrägdächern werden Deckungsgrade von 25-35 % und flächenspezifische Erträge von 120-160 kWh/(m<sup>2</sup>a) erreicht. Die dachintegrierten PV-Anlagen bringen um ca. 2,5 % verringerte Erträge gegenüber den dachparallelen. Bei Ost- bzw. Westausrichtung sind etwa 20 % geringere Erträge als bei Südausrichtung zu verzeichnen.

Die verfügbare Dachfläche je Wohnfläche ist relativ groß. Daher sind Deckungsgrade bis 33 % möglich.

### Mehrfamilienhäuser

Auf Mehrfamilienhäusern mit Satteldach sind typische Größen bis zu 150 m<sup>2</sup> Modulfläche mit einer Peakleistung von 15-25 kWp erreichbar.

Es sind dabei Deckungsgrade von 18-26 % im MFH möglich (EFH bis 33 %) Bei Ostausrichtung ist der Ertrag etwa 15-20 % geringer als bei Südausrichtung.

### Bürogebäude

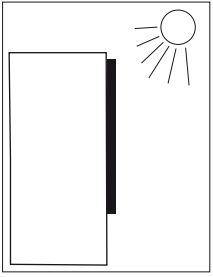
Aufgrund der größeren Dachflächen sind typische Größen von 150-250 m<sup>2</sup> Modulfläche mit einer Peakleistung von 20-25 kW möglich. Dabei sind Deckungsgrade von 7-10 % erreichbar. Diese fallen geringer aus als bei MFH (dort 18-26 %), da die verfügbare Dachfläche im Verhältnis zur Nutzfläche sehr viel kleiner ist. Dies führt zu sehr hohen Eigenverbrauchsanteilen von oft über 60 % (Süd- und Ostausrichtung) Bei Ostausrichtung ist der Ertrag etwa 10-15 % geringere als bei Südausrichtung. Es ergeben sich CO<sub>2</sub>-Vermeidungen von 3-7 t/a.



Abb. oben:  
Aufdach-Anlage, schwarze Module auf schwarzem Dachziegel  
Abb. unten:  
PV-Deckung der Gaube des denkmalgeschützten Hauses



Abb.:  
Seitengebäude eines Bauernhofes, die PV-Anlage  
wurde auf der gesamte Dachfläche installiert.



## Photovoltaik an Fassaden

### Fassadenintegrierte Anlage

Neben Anlagen auf Dächern sind PV-Module im Bereich der Fassade integrierbar. Bei dem Neigungswinkel von  $90^\circ$  ist eine Ertragseinbuße von 30 bis 40 % zu erwarten. Aus gestalterischer Sicht ist dies unter Umständen sinnvoll

Man unterscheidet Kalt- und Warmfassaden. Werden die Module ähnlich wie eine Aufdachanlage auf Schienen vor der eigentlichen Wand montiert, spricht man von einer Kaltfassade. Bei der Warmfassade ersetzen hingegen die Photovoltaikmodule die eigentliche Fassade und übernehmen deren Aufgaben, wie z. B. Wärmedämmung und Schutz vor Feuchtigkeit.

Bei Fassadenanlagen können Modulflächen von  $100\text{--}150\text{ m}^2$  mit  $15\text{--}20\text{ kWp}$  installiert werden, deren Ausrichtung zwischen Südost und Südwest liegen sollte. Hier eröffnen sich für den Bauherrn besonders viele Gestaltungsmöglichkeiten.

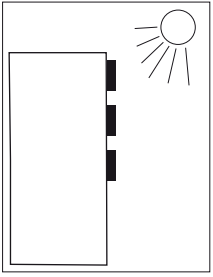
Die Fassadenvarianten haben einen signifikant niedrigeren flächenspezifischen Ertrag als Satteldachvarianten (Größenordnung 30 %). Es ergeben sich  $\text{CO}_2$ -Vermeidungen von 3 bis 8 t/a, wobei von der Aufnahme des Überschussstroms (Anteil im Bereich 75 bis 80 % der Gesamterzeugung) ins vorgelagerte Stromnetz ausgegangen wird.



Abb. oben und unten:  
PV-Fassadenanlage an einem modernen Kirchturm



Abb. oben:  
 Laborgebäude: Südfassade und Dachgeschoss mit vorgehangenen PV-Modulen  
 Abb. unten links:  
 Forschungsgebäude: flächige Fassadengliederung mit PV-Modulen  
 Abb. unten rechts:  
 Schulgebäude: Die Technikzentrale auf dem Dach ist mit PV-Modulen verkleidet.



## Photovoltaik an Glasfassaden

### Glasfassadenintegration

Die Photovoltaikzellen werden auf die Innenseite der äußeren Scheibe der Mehrscheibenverglasung aufgeklebt. So können die Glasfassaden ganz normal von innen und außen gereinigt werden und die Wärmedämmung der Glasfassade bleibt erhalten.

Es ist möglich die Zellen mit größeren Abständen aufzukleben, sodass genügend Licht durch die PV-Anlage in den Raum fällt. Zu beachten ist, dass die Photovoltaikzellen Wärme in den Raum abgeben.



Abb. oben:  
PV-Module in Streifen integriert in Glasfassade eines Bürogebäudes  
Abb. unten:  
PV-Zellen auf Abstand in die 3-Scheiben-Isolierverglasung eingebaut,  
dadurch fällt Licht durch die PV-Glasfassade.



Abb. oben:  
Photovoltaik wurde mit farbigen Gläsern kombiniert.  
Abb. unten links:  
Südfassade eines Kindergartens mit künstlerisch gestalteter PV-Anlage  
Abb. unten rechts:  
Detail

# 3. Solarthermie – technische Erläuterung

Die Kollektoren wandeln Solarstrahlung in Wärme um. Die erzeugte Wärme wird an spezielle Solarflüssigkeiten (meist Wasser-Glykol-Gemische) oder auch an Wasser bzw. Luft in den Kollektoren übertragen. An der Absorberfläche der Kollektoren werden dabei in Abhängigkeit des Kollektortypes, der Außentemperatur und der Solarstrahlung Temperaturen im Bereich von wenigen Grad Celsius bis zu 150 °C erreicht.

Entscheidend für die Effizienz der Kollektoren ist der Einbau der Absorberflächen in Konstruktionen, die einerseits die Solarstrahlung möglichst ungehindert zum Absorber gelangen lassen, aber andererseits auch den Wärmeverlust an die Umgebung minimieren. Auf der zur Sonne gewandten Seite werden deshalb bei Flachkollektoren transparente Abdeckungen – meist aus Glas, künftig auch vermehrt aus Kunststoffen – eingesetzt. Auf der Rückseite sind spezielle Wärmedämmungen angebracht. Bei Vakuum-Röhrenkollektoren gewährleisten entweder evakuierte Röhren oder evakuierte Zwischenräume zwischen zwei Glasröhren die Gesamtfunktion von Transparenz und Wärmeverlustminimierung.

Solarthermieanlagen benötigen einen thermischen Speicher und einen zweiten Wärmeerzeuger z. B. eine Gas-Brennwerttherme, um ganzjährig die Versorgungsaufgabe für die verschiedenen Nutzungsbereiche sicherzustellen. Solarthermie-Kollektoren erreichen eine thermische Peakleistung von 0,7-0,85 kW<sub>p</sub>/m<sup>2</sup>.

Die energetische Amortisation beträgt in der Regel 1,5-3 Jahre. Für Betreiber ist das Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) relevant. Dieses verlangt, dass mindestens 15 % des gesamten jährlichen Wärmebedarfs durch die Solaranlage gedeckt werden muss, falls Solarthermie die einzige Maßnahme zur Integration regenerativer Energien darstellt. Dies gilt derzeit bei privat genutzten Gebäuden nur für Neubauten, bei öffentlichen Gebäuden auch für grundlegend sanierte Altbauten. Der Nachweis erfolgt über die Aperturfläche im Verhältnis zur Nutzfläche. Bei einem Einfamilienhaus mit 200 m<sup>2</sup> Nutzfläche muss eine Solarthermieanlage eine Aperturfläche von mindestens 8 m<sup>2</sup> haben.

Laufende jährliche Kosten für Versicherung, Betrieb und Wartung betragen ca. 0,5 % der Investitionskosten (bei typischen Anlagen für Einfamilienhäuser ca. 150 bis 200 EUR im Jahr). Hinzu kommen Kosten für den Betrieb der Pumpen, die im Bereich von ca. 0,3 bis 1 % des Jahresertrages der Solarthermieanlage liegen.

Die Nutzungsdauer einer Solarthermieanlage beträgt 20 Jahre, erreicht werden Lebensdauern von 25 Jahren und mehr. Das BAFA bezuschusst Solarthermieanlagen. Die KfW bietet zum derzeitigen Stand von 2019 günstige Kredite und teilweise Tilgungszuschüsse. Die Fördermöglichkeiten des BAFA und der KfW sind (nur) teilweise kombinierbar.

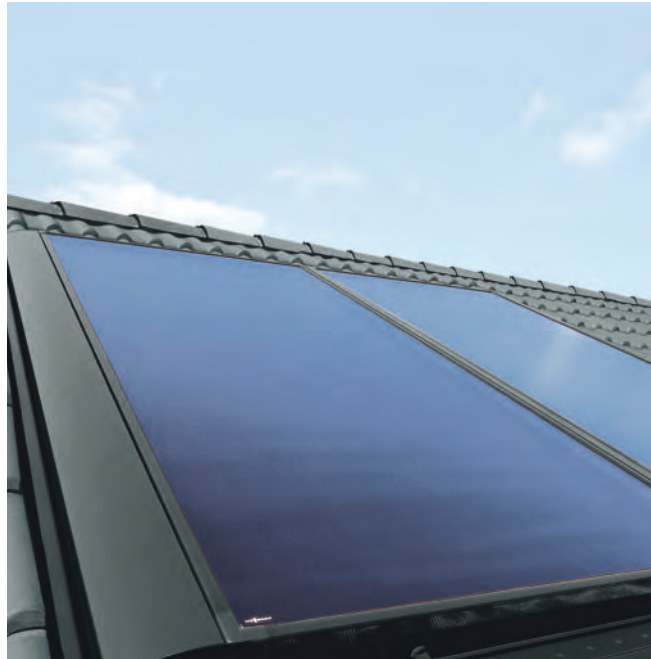


Abb. oben:  
Schwarzer Flachdachkollektor in schwarzer Dachfläche integriert  
Abb. unten:  
Dachparallele Anordnung eines Vakuum-Röhrenkollektors



## Gestaltung

Kompakte Flächen oder Streifen sind zu bevorzugen, d. h. keine Zerstückelung der Gesamtfläche, z. B. aufgrund von Dachfenstern und Dachdurchdringungen; keine Sägezahnanordnung an Graten und Kehlen.

Die Anordnung der Module sollte in jeder Fläche – vorzugsweise am gesamten Gebäude – einheitlich (horizontal oder vertikal) sein. Auf Flachdächern ist eine horizontale Anordnung zu bevorzugen, da die Module so weniger über die Gebäudeoberkante hinausragen und so eine Attika o. ä. vermieden werden kann. Hier sind im Planungsprozess die Kosten einer Attika bei vertikaler Anordnung gegenüber horizontaler Anordnung unter Einbeziehung der Erträge gegeneinander abzuwägen.

Auf Schrägdächern sind kompakte Flächen oder Streifen zu bevorzugen, die sich in die Gesamtgestalt des Gebäudes und der Dachstruktur einordnen. Die Kollektoranordnung sollte sich an der Form der Dachfläche orientieren.

Als besonders gute Lösung für das Stadtbild gilt die vollflächige Belegung von großen, durchgängigen Dachgauben. Bei mehreren kleinen Dachgauben ergibt sich durch den großen Verrohrungsaufwand nur selten eine wirtschaftliche Lösung.

Grundsätzlich sind im Einzelfall auch nahezu vollflächige Schrägdachbelegungen möglich, wobei bei dachintegrierten Varianten gewisse Randabstände aus der Sicherstellung der Dichtheit der gesamten Dachkonstruktion resultieren bzw. sich die Dachkonstruktion an sogenannten Solarroof-Maßen orientieren muss.

Im Allgemeinen werden bei Bestandsgebäuden die Speichergrößen durch den vorhandenen Aufstellraum im Bereich des Heizungsraumes limitiert. Diese Speicher von 500 bis 2.000 Litern überbrücken in Einfamilienhäuser und kleinen Mehrfamilienhäusern in der Regel 1 bis 3 Tage, maximal eine Woche, um zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung genutzt zu werden. Bei Neubauten mit dem Anspruch einer 95 bis 98 % regenerativen Wärmeversorgung aus Solarthermie werden saisonale Speicher mit Größen von bis zu 50.000 Litern eingesetzt. Diese sind dann entweder im Gebäude (z. B. im Treppenauge) oder in Ausnahmefällen außen aufgestellt. Bei Letzterem sind höhere Wärmeverluste sowie die gestalterische Integration in das Gesamtbild der Liegenschaft zu beachten. Die Gebäudeintegration hat zwar im Winter- und Übergangsbereich Vorteile, jedoch sind für den Sommerfall entsprechende Vorkehrungen zur Vermeidung einer Überwärmung vorzusehen (z.B. umgebender Spalt mit Notlüftungsfunktion).

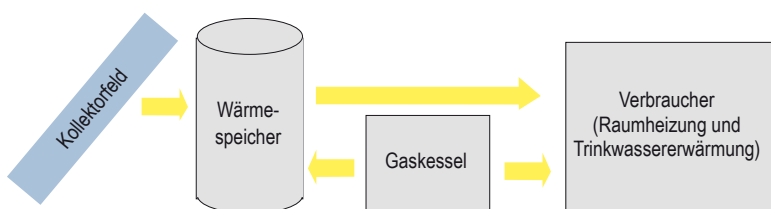


Abb. oben:

Thermische Solaranlage auf MFH

Abb. unten:

Vereinfachter Energiefluss Solarthermie

## Praxistipp: Technische bzw. energetische Gesichtspunkte

Generell ist zu berücksichtigen, dass die Verrohrung der meist in Reihe geschalteten Modulgruppen zu realisieren ist. Da Vor- und Rücklauf sowie eine ausreichende Wärmedämmung zu realisieren sind, ergeben sich entsprechende Platzbedarfe. Die äußere Hülle der Verrohrung wird dabei entweder in alukaschiertem Blech oder in anthrazitfarbener Spezialdämmung ausgeführt.

Hydraulische Grenzen sind bei der Anzahl von in Reihenschaltung anordenbaren Modulen (Herstellerangaben sind zu beachten) zu einer Kollektorgruppe zu beachten. Bei Überschreitung dieser Grenze sind zwei und mehr derartiger Gruppen parallel zu schalten. Dabei spielt der sogenannte hydraulische Abgleich der Gruppen für eine gleichmäßige Durchströmung eine entscheidende Rolle.

Generell ist bei der Verrohrung darauf zu achten, dass für die Seite der Vorlaufleitung möglichst kurze Wege außerhalb des Gebäudes gewählt werden, um die Wärmeverluste zu minimieren.

Der Teil der Rohrleitungsverlegung innerhalb eines Hauses sollte ebenfalls kurz gewählt werden, um unnötige Wärmeverluste und Pumpstromaufwendungen zu vermeiden. Die Verlegung darf aus trinkwasserhygienischen Gründen keinesfalls in einem gemeinsamen Schacht mit dem Teil der Trinkwasserinstallation erfolgen, die dem Transport des kalten Trinkwassers dient.

Rohrleitungen können z. B. durch nicht genutzte Schornsteinschächte oder Deckendurchbrüche als auch außen an der Fassade geführt werden. Stellt die Sichtbarkeit der Leitungen eine optische Einschränkung dar, ist es möglich, sie in Scheinfallrohren unterzubringen.

### Kollektorfarbe

Aus stadtplanerischer Sicht sind Kollektoren zu bevorzugen, deren Farbe der Dachfarbe entspricht. Solarthermie-Kollektoren haben eine blaue bzw. schwarze bis graue Farbe. Dies ergibt sich aus der besseren Wärmeabsorption von dunkleren Materialien. Rot ist für Solarthermie-Anlagen derzeit nicht entwickelt, sodass in der Regel Kontraste zur typischen roten Dachfarbe entstehen.

### Rahmen

Rahmen und Eindeckflächen sind bei Herstellern in unterschiedlichen Farben erhältlich, um den Übergang zwischen Dachhaut und Kollektorfläche optisch ansprechender zu gestalten.



Abb.:  
Thermische Solaranlage – Flachkollektoren auf energieautarker Kirche



Abb.:  
Flachkollektoren auf „Plattenbau-Dach“

### Neigungswinkel

Auf Schrägdächern sind lediglich dachparallele oder dachintegrierte Installationen akzeptabel. Eine Aufständering im Sinne einer Ertragsmaximierung durch optimalen Neigungswinkel ist technisch möglich, wird aber wegen gestalterischer Bedenken ausgeschlossen.

Auf Flachdächern führt ein geringerer Neigungswinkel zu einer geringeren Sichtbarkeit der Module, sodass der stadtplanerisch optimale Neigungswinkel  $0^\circ$  beträgt bzw. geringe Neigungswinkel zu bevorzugen sind.

Selbst bei  $0^\circ$  Neigungswinkel sollten die meisten Kollektorarten auf einer Unterkonstruktion mit einer Mindesthöhe von ca. 10 bis 30 cm montiert werden (Sicherheitsabstand zu direkter Beeinträchtigung der Kollektorkanten sowie der Anschlussbereiche durch Regen, Schnee und Schmutz etc.).

### Ertrag

Hinsichtlich hoher jährlicher Gesamterträge sind Neigungswinkel zwischen  $25^\circ$  und  $70^\circ$  anzustreben. Aufgrund des insgesamt höheren Sonnenstands im Sommer bringen zu dieser Zeit niedrigere Neigungswinkel tendenziell höhere Erträge. Im Winter hingegen steht die Sonne tiefer, sodass größere Neigungswinkel zu höheren Erträgen führen. Somit ist der zeitliche Verlauf des Ertrags vom Neigungswinkel abhängig. Dies ist bei Solarthermieanlagen besonders relevant, da im Gegensatz zu PV-Installationen in der Regel kein allgemeines Versorgungsnetz zur Einspeisung überschüssiger Energie zur Verfügung steht. Soll Stagnation im Sommer vermieden und gleichzeitig der Ertrag im Winter gesteigert werden, sind größere Neigungswinkel zu bevorzugen.

Aus Abweichungen vom vorgenannten Neigungswinkel-Bereich resultiert eine verringerte Solarstrahlung auf die Kollektorebene und dadurch eine Ertragsminderung.

Bei Flachdachinstallationen folgt aus einem verringerten Neigungswinkel ein geringerer Reihenabstand. Dies kann dazu führen, dass eine höhere Kollektoranzahl installiert werden kann, sodass sich der Ertrag erhöht. Eine höhere Kollektoranzahl verursacht höhere Investitionskosten.

## Einfamilienhäuser

Bei Einfamilienhäusern sind typischerweise ca. 10 bis 40 m<sup>2</sup> Kollektorfläche möglich.

Je nach Anlagenkonfiguration wird ein solarer Deckungsgrad der Wärmebereitstellung von 8 bis 21 % erreicht.

Die CO<sub>2</sub>-Vermeidung ist mit 0,6 bis 1,8 t/a zu beziffern.

### Besondere Gestaltungshinweise:

Bei Einfamilienhäusern steht nur eine geringe Dachfläche zur Verfügung. Bei Schrägdächern wird eine vollflächige Indachverlegung empfohlen, die parallel zur Traufe angeordnet wird. Zu beachten ist eine Überhitzungsgefahr bei Indach-Anlagen. Daher sollte hinter Solarthermieanlagen eine sehr dicke Wärmedämmung eingebaut werden.



Abb. oben:  
Thermische Solaranlage

Abb. unten:  
Röhrenkollektoren flach auf Garage



Abb.:  
Röhrenkollektoren senkrecht am Balkongeländer montiert

### Mehrfamilienhäuser und Bürogebäude

Bei Mehrfamilienhäusern sind typischerweise 40 bis 130 m<sup>2</sup> Kollektorfläche installierbar, bei Bürogebäuden auch mehr. Je nach Anlagenkonfiguration wird ein solarer Deckungsgrad der Wärmebereitstellung von 4 bis 19 % erreicht. Die CO<sub>2</sub>-Vermeidung ist mit ca. 2 bis 9 t/a zu beziffern.

#### Besondere Gestaltungshinweise:

Einzelfallprüfungen sind bei Fassadenanlagen notwendig. Die Wirkung in den öffentlichen Raum ist ausschlaggebend. Aufgeständerte Solarthermieanlagen sollten einen deutlichen Abstand von der Dachkante haben (ca. 1,50 m). Siehe auch PV-Anlagen-Gestaltung.

### Gewerbegebäude

Für Gewerbegebäude ist eine Einzelfallbetrachtung bzw. individuelle Beratung aufgrund der großen Bandbreite an Nutzungsprofilen besonders relevant.

Bei großen Solarthermie-Anlagen lohnt sich ggfs. die Einspeisung in ein Fernwärmenetz. Als Größenordnung gilt hierbei eine Solarthermiefläche von mindestens 500 m<sup>2</sup>, wobei immer eine Einzelfallprüfung in Abstimmung mit dem Fernwärmeversorger notwendig ist. Bei Anlagen auf Gewerbegebäuden ist der Ertrag von Nutzungsprofil und Speichergröße abhängig. Ist die Anlage an ein Fernwärmenetz angeschlossen, so können höhere flächenspezifische Erträge erreicht werden, da die Anlage nicht (bzw. selten) in Stagnation geht. Bei diesen Anlagengrößen können sich die spezifischen Investitionskosten verringern.

#### Besondere Gestaltungshinweise:

Aus stadtgestalterischen Gesichtspunkten ist die Wirkung der Solarthermie-Anlagen in den Stadtraum im Einzelfall gesondert zu prüfen.

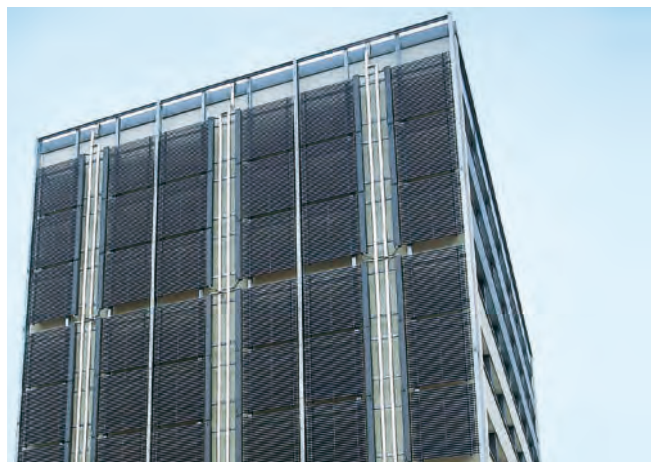


Abb. oben:  
Röhrenkollektoren an Hotelfassade  
AbbMitte:  
Röhrenkollektoren auf Flachdach  
Abb. unten:  
Röhrenkollektoren an Hausgiebel als Fassadenelement



Abb.:  
Solarthermie auf Mehrfamilienhaus

# 4. Luft-Wasser-Wärmepumpen technische Erläuterung

Wärmepumpen sind geeignet, Wärme aus einer Wärmequelle niedriger Temperatur aufzunehmen und unter Einsatz von zusätzlicher Energie auf ein höheres Temperaturniveau „zu heben“ und der Gebäudeheizung als Wärmesenke zuzuführen. Wärmepumpen werden daher immer dort eingesetzt, wo Umweltwärme z. B. Außenluft, Erdreich, Grund- oder Oberflächenwasser für die Wärmeversorgung von Gebäuden erschlossen werden soll, die Temperatur der natürlichen Wärmequelle für eine sichere Versorgung der Heizungsanlage aber nicht ausreicht.

In der Kompressionswärmepumpe zirkuliert Kältemittel zwischen den beiden Wärmeübertragern (Verdampfer und Kondensator) in einem geschlossenen Kreislauf und sorgt so für einen Energiefluss von der Wärmequelle zur Wärmesenke. Weitere Bestandteile dieses internen geschlossenen Kältemittelkreislaufs sind der Kältemittelverdichter zur Verdichtung und Druckerhöhung des gas- bzw. dampfförmigen Kältemittels sowie das Drossel- oder Expansionsventil zur Druckreduzierung.

Zwei Effizienzwerte sind entscheidend: Die Leistungszahl COP (Coefficient of Performance) einer elektrisch angetriebenen Kompressionswärmepumpe ist definiert als das Verhältnis von momentaner Heizleistung am Kondensator der Wärmepumpe (in kW) zu der erforderlichen elektrischen Leistung (kW) zum Antrieb des Verdichters. Die Jahresarbeitszahl JAZ berücksichtigt die im Jahresverlauf betriebsbedingt veränderlichen Leistungszahlen, indem die von der Wärmepumpe innerhalb eines bestimmten Zeitraumes abgegebene Wärme (kWh/a) ins Verhältnis zu der dafür notwendigen elektrischen Energie (kWh/a) gesetzt wird.

Der Energieaufwand für den Betrieb der Wärmepumpe hängt maßgeblich von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke (dem „Temperaturhub“) ab. Am Markt gibt es auch Wärmepumpen, die für Bestandsgebäude oder Gebäude mit höheren Temperaturanforderungen geeignet sind.

Der energetisch effiziente Einsatz von Wärmepumpen wird daher durch folgende Umstände begünstigt:

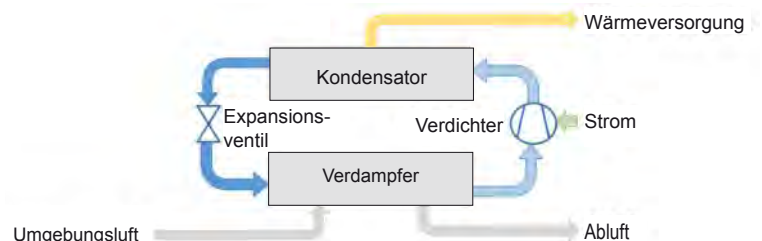


Abb. oben:  
Splitgerät vor einer Hausfassade

Abb. unten:  
Funktionsprinzip der elektrisch angetriebenen  
Kompressionswärmepumpe



Abb.:  
Splitgerät hinter dem Haus in einer Fassaden-Nische

### **Niedrige Wärmesenktemperatur**

Niedertemperaturheizsysteme ermöglichen die Wärmeversorgung bei Heizmitteltemperaturen unter 50 °C. In Betracht kommen hier Gebäude mit geringem Heizwärmebedarf sowie Flächenheizungen (Fußbodenheizung, Bauteilaktivierung). Aber auch großzügig dimensionierte Heizkörper in Bestandsgebäuden sind geeignet.

Die Trinkwassererwärmung erfordert ganzjährig höhere Temperaturen. Hierfür könnte sinnvoll eine PV-Anlage ergänzt werden

### **Hohe Wärmequellentemperatur**

Im Jahresverlauf relativ gleichmäßig hohe Temperaturen stehen bei Nutzung des Erdreichs (Geothermie) über einen Erdwärmeübertrager (Sonde oder Kollektor) zur Verfügung. Die Nutzung der Außenluft als Wärmequelle ist im Vergleich dazu relativ unkompliziert, jedoch ändert sich die Außenlufttemperatur im Jahresverlauf deutlich und ist ausgerechnet in Zeiten des größten Heizwärmebedarfs im Winter am geringsten. Wird der Wärmepumpenbetrieb bei niedrigen Außenlufttemperaturen zu ineffizient, muss unter Umständen auf den Einsatz der Wärmepumpe verzichtet werden und es wird ein zweiter Wärmeerzeuger (z. B. Gaskessel oder Elektroheizstab) erforderlich.

Gesetzliche Rahmenbedingungen sind im EEWärmeG geregelt. Dieses schreibt für Luft-Wasser-Wärmepumpen eine minimal zulässige Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3,5 vor.

Die Investitionskosten für Wärmepumpen sind höher als für konventionelle Heizkessel. Versicherung, Wartung und Instandhaltung sind mit 2,5 % der Investitionskosten anzusetzen. Hinzu kommt aber bei elektrischen Wärmepumpen der dominierende Teil der Stromkosten. Die rechnerische Nutzungsdauer einer Luft-Wärmepumpe beträgt 18 Jahre. Die Energieversorger bieten in der Regel spezielle Wärmepumpen-Tarife für den bezogenen Strom an.

Förderung: Das BAFA bezuschusst effiziente Luft-Wasser-Wärmepumpen, die KfW bietet günstige Kredite und teilweise Tilgungszuschüsse (nur teilweise kombinierbar). Leistungsgeregelte Wärmepumpen und Wärmepumpen, die für das Lastmanagement geeignet sind („Smart Grid Ready“), erhalten teilweise höhere Förderungen. Das BAFA führt eine Liste förderfähiger Wärmepumpen.

## Luft-Wasser-Wärmepumpen – Aufstellarten

### Innenaufstellung

Die Wärmepumpe befindet sich im Inneren des Gebäudes. Die Luftführung der Außenluft zum Verdampfer und vom Verdampfer wieder nach außen erfolgt über Luftkanäle. Die Zu- und Abluftöffnungen sind so anzuordnen, dass eine Kurzschlussströmung verhindert wird. Die Luftkanäle sind durch Luftgitter vor grober Verschmutzung, unbefugtem Zugang und Vogelflug gesichert.

Trotz Innenaufstellung sind die Geräuscentwicklungen an den Lüftungsgittern und die resultierenden Schallemissionen zu beachten. Eine hohe Dichte der Bebauung (und damit ein geringer Abstand zur Schallquelle) oder Einschränkungen der Schallausbreitung verstärken den Schalldruckpegel. Richtwerte für zulässige Schallimmissionswerte in einzelnen Gebietskategorien sind der TA Lärm zu entnehmen.

Die Wärmepumpen für Innenaufstellung mit Leistungsgrößen bis etwa 30 kW (ausreichend für Ein- und Mehrfamilienhäuser) haben Abmessungen im „Kühlschrankformat“, d. h. eine Aufstellfläche von 1 m<sup>2</sup> und eine maximale Höhe von 2 m sind ausreichend.

### Außenaufstellung

Die Wärmepumpe steht vollständig außerhalb des Gebäudes. Die Heizleitungen werden unterirdisch ins Gebäude geführt. Sie kann auf dem Flachdach des Gebäudes angeordnet werden. Eine Attika ermöglicht auch eine randnahe Anordnung der Wärmepumpe oder der Außeneinheit auf dem Dach. Die Schallausbreitung und akustische Beeinträchtigung der Umgebung sind zu beachten. Gegebenenfalls sind kompensatorische Maßnahmen zu ergreifen (z. B. Einhausung).

Bei Platzierung der Wärmepumpe auf dem Dach des Gebäudes können vorhandene Aufbauten, die Attika oder separate Schallschutzwände den notwendigen Schallschutz sichern helfen.

Der Platzbedarf ist von der Leistungsgröße der Wärmepumpe abhängig. Bei Ein- und kleineren Mehrfamilienhäusern wird eine Aufstellfläche von ca. 1 m<sup>2</sup> mit einer Höhe bis zu zwei Metern benötigt.



Abb. oben:  
Wärmepumpe Innenaufstellung mit Zu- u. Abluftkanal  
Abb. unten:  
Dachaufstellung einer Wärmepumpenkaskade



### Innenaufstellung Splitgerät mit Außeneinheit

Die Wärmepumpe ist in eine Außeneinheit (bestehend aus Verdampfer und optional auch dem Verdichter) und eine Inneneinheit geteilt. Die Außeneinheit kann auf den Boden gestellt, aufgeständert, an der Außenwand mittels geeigneter Tragkonstruktion befestigt oder auf dem Dach des Gebäudes angeordnet werden.

Es ist ein Kondensatablauf an der Außeneinheit vorzusehen. Das Kondensat kann wahlweise vor Ort versickern (Auf Frostfreihaltung und Bauschadensvermeidung ist zu achten!) oder über eine separate Kondensatleitung in das Gebäudeinnere geführt und dort abgeleitet werden.

Der in der Außeneinheit angeordnete Ventilator zur Luftansaugung verursacht Geräusche (gegebenenfalls auch der in der Außeneinheit untergebrachte Verdichter), sodass die Geräuschentwicklung und Schallausbreitung zu beachten sind.

Es besteht die Möglichkeit, die Außeneinheit von Wärmepumpen einzuhausen. Diese Einhausungen dienen je nach Bedarf mehreren Zwecken: dem Schallschutz, der visuellen Verbrämung und der Zugriffssicherung. Formen, Farben und konstruktive Gestaltung sind sehr vielfältig. Der Schalleistungspegel an der Außeneinheit ist größer als bei Innenaufstellung. Entsprechend sind größere Abstandsflächen oder zusätzliche Lärmschutzmaßnahmen erforderlich.

Die Außeneinheiten haben, je nach Leistung der Wp, Abmessungen im „Kofferformat“. Der äußere Flächenbedarf ist geringer als bei der Außenaufstellung der Wärmepumpe..

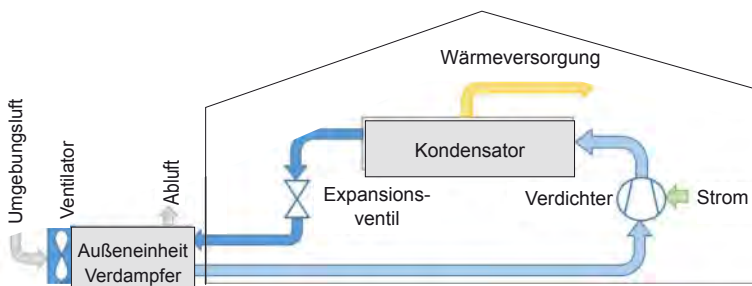


Abb. oben:  
Wärmepumpen Außeneinheit

Abb. unten:  
Luft-Wasser-Kompressionswärmepumpe Innenaufstellung, Splitgerät mit Außeneinheit

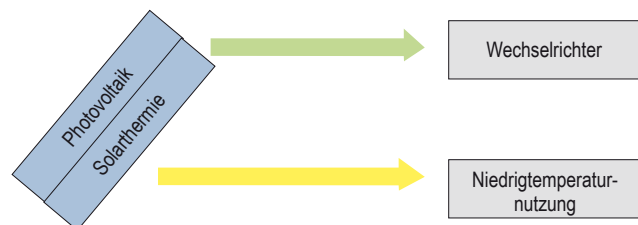
# 5. Kombilösungen – innovative Ansätze

## Dach- und Fassadenbegrünung

Die positiven Wirkungen von Dach- und Fassadenbegrünungen im Bilanzraum Stadt sind allseits bekannt (z. B. Verbesserung Mikroklima, Schallabsorption, zeitverzögerte Abwasserwirkung bei starken Niederschlägen, Lebensraum für Nützlinge in der Stadt) und gehen damit weit über das allseits einfach wahrzunehmende, ansprechendere Erscheinungsbild hinaus. Trotz formaler Flächenkonkurrenz wird zunehmend auch international der Ansatz gewählt, Photovoltaik- und Solaranlagen mit Dach- und Fassadenbegrünungen zu kombinieren. Systeme, welche PV bzw. Solarthermie und Begrünung kombinieren, sind auf dem Markt verfügbar.

Folgende Aspekte sollten bei einer Pro- und Contra-Betrachtung Berücksichtigung finden: Die Pflanzen sind in der Lage, CO<sub>2</sub> zu binden. Dies führt jedoch nicht zu einer tatsächlichen Vermeidung, da das CO<sub>2</sub> nach Ablauf der Lebensdauer wieder an die Umgebung abgegeben wird. Der Anteil, der als Kohlenstoff im Boden langfristig gebunden wird, ist relativ gering: 23,6 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> in 50 Jahren, während PV oder Solarthermie doppelte Größenordnungen pro Jahr, also 100-fache Werte erreichen können. Im Sinne einer maximalen CO<sub>2</sub>-Vermeidung sind deshalb PV- oder Solarthermieanlagen gegenüber der Dach-/ Fassadenbegrünung zu bevorzugen.

- Die Bepflanzung führt vor allem im Sommer zu einer Absenkung der lokalen und Oberflächentemperatur. Bei PV resultieren daraus leichte Ertragssteigerungen, bei Solarthermie leichte Ertragseinbußen.
- Die Begrünung hat Einsparungen beim Heiz- und vor allem Kühlenergiebedarf zur Folge.
- Trotz bau- und nutzungsseitig bedingter Asymmetrien (Schornsteine, Dachausstiege etc.) oder technisch erforderlicher Zwischenräume in der Anordnung von PV- und Solarthermiefeldern kann durch geschickte Dachbegrünungslösungen die architektonische Gesamtlösung äußerst positiv für das Stadtbild sein.



## PVT-Anlagen

Seit mehr als 20 Jahren wird an der Entwicklung von Hybridmodulen gearbeitet, die sowohl elektrische Energie als auch Wärme auf niedriger bis mittlerer Temperatur bereitstellen. Sie werden als PVT-Kollektoren bezeichnet. Die Grundidee greift den Nachteil auf, dass die Leistung von heutigen Photovoltaik-Standardmodulen bei Modultemperaturen über 25 °C deutlich abnimmt. Durch einen Flüssigkeits- oder Luftstrom wird die Kühlung der Module erreicht und der jährliche PV-Ertrag kann gesteigert werden. Wird

Abb. oben:  
Beispiel Symbiose Photovoltaik und Dachbegrünung

Abb. unten:  
Stark vereinfachter Energiefluss PVT-Kollektoren

für die Wärme auf niedrigem bis mittleren Temperaturniveau eine zielführende Nutzung gefunden, so kann die Gesamteffizienz noch weiter gesteigert werden. Überdies wird weniger Fläche für die Installation benötigt.

Vom optischen Erscheinungsbild entsprechen sie auf der Frontseite Photovoltaikmodulen, in der Aufbauhöhe den Solarthermie-Modulen,

Großes Potential besteht zur Erdreichregeneration bei Wärmepumpen mit Erdwärmesonden, also einer Art Langzeitwärmespeicherung sowie zur Nutzung als Wärmequelle für Wärmepumpen zur Trinkwassererwärmung. Wenn auch heute die organischen Solarfolien allein für gewerbliche Anwendungen angeboten werden und die spezifischen Flächenerträge noch gering sind, so haben doch genau diese Produkte bis ca. 80 °C eine beinahe konstante elektrische Effizienz. Insofern kann zwar der elektrische Jahresertrag nicht erhöht, aber die Wärme gleich auf einem direkt für die Trinkwassererwärmung nutzbaren Temperaturniveau bereitgestellt werden. Entsprechende PVT-Module befinden sich im Forschungsstadium.

### Solarthermie und Wärmepumpe

Wärmepumpen sind ein wichtiges Element der Durchdringung des Wärmemarktes mit der Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Dabei erweist sich im urbanen Raum die Erschließung der Umweltenergie als Wärmequelle oft als problematisch, da weder das Erdreich noch die Umgebungsluft beim Trend zur Umsetzung der urbanen Bebauungsdichte signifikante Beiträge leisten können. Hier kann eine Kombination mit Solarthermie eine sehr gute Alternative darstellen. Marktübliche Flach- und Vakuumröhrenkollektoren können im Sommer bis zur Übergangszeit die direkte Versorgung auf dem für Trinkwassererwärmung und Raumheizung benötigten Niveau realisieren. In den übrigen Zeiten des Jahres dient die Solaranlage dann als Wärmequelle für die Wärmepumpe, trägt also indirekt zur Wärmeversorgung bei. Kommen PVT-Kollektoren zum Einsatz, so ist nahezu ganzjährige eine Anhebung auf das Nutztemperaturniveau durch die Wärmepumpe erforderlich. Ähnliches gilt für kostengünstige Solarthermiekollektoren (z. B. ungedeckte Rippenabsorber), wobei hier die Option der Integration von Kühlaufgaben besteht. Dafür ist es notwendig, Wärmepumpen einzusetzen, die neben ihrer Heizfunktion über entsprechende Zusatzbauteile auch Kühlfunktionen ("natural cooling" NC oder "aktive cooling" AC) realisieren. Die Kollektoren übernehmen in diesem Betriebsmodus die Wärmeabfuhr an die Umgebung.

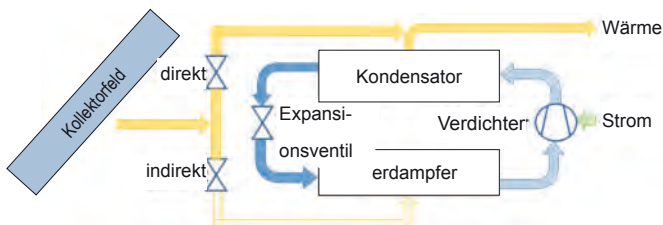


Abb.  
Stark vereinfachter Aufbau Wärmeversorgung über Solarthermie und Wärmepumpe

## Quellen

### Autoren- und Bildnachweis

	<b>Objekt/Zeichnung</b>	<b>Architekt</b>	<b>Fotografie</b>
Titelbild	GebäudeEnsemble Hellerau	Prof. Morgenstern	Olaf Reiter
Seite 5	Stadtplanungsamt Dresden		
Seite 7	BMW-Zentrale in München	Coop Himmelblau	MR SunStrom
Seite 8	Kita Meußlitzer Str. in Dresden	AG Reiter+ Rentzsch	Steffen Spitzner
Seite 9	DFG-Zentrum in Dresden	Gunter Henn Architekten	MSR SunStrom
Seite 11	Passivhaus in Dresden Hellerau	Reiter Architekten	Steffen Spitzner
Seite 13	Verwaltungsgebäude von Ardenne	Architekt Lenk	MR SunStrom
Seite 14 o.	Wohnhaus in Dresden Hellerau	Rentzsch Architekten	Olaf Reiter
Seite 15	GebäudeEnsemble Hellerau	Prof. Morgenstern	Olaf Reiter
Seite 16 o.	Baugemeinschaft Altomsewitz	Reiter Architekten	Steffen Spitzner
Seite 18	Kath.Propsteikirche St. Trinitatis Leipzig	Schulz und Schulz	Stefan Müller
Seite 19.	Walther-Hempel-Bau TU Dresden	AWB Architekten	Michael Weser
Seite 19 o. li	Zentrum für Energietechnik TU Dresden	Knerer und Lang	Connolly Weser
Seite 19 u. re	Schulcampus in Dresden Tolkewitz	AG Raum und Bau Fuchs Rudolf Zimmermann	R. Gommlich
Seite 20	BGW-Bürogebäude in Dresden	log id Prof. Schempp	Prof.Schempp
Seite 21	Kath. Kita Ulmenstr. in Dresden	AG Reiter + Rentzsch	Lothar Sprenger,
Seite 23 u.	Mehrfamilienhaus in Rietzschen	Architekt Dietmar Herklotz	Dietmar Herklotz
Seite 24 o.	Weinbergkirche in Dresden	Architekt Matthias Helm	Olaf Reiter
Seite 26 o.	Einfamilienhaus in Freital	Architekt Dietmar Herklotz	Dietmar Herklotz
Seite 29	Mehrfamilienhaus in Dresden	Architekt Käßner	Thomas Hoffmann

### Bildnachweis:

Bundesverband Wärmepumpe e. V. S. 30 u.

DREWAG-Stadtwerke Dresden GmbH S. 5

Cornelia Kurbjuhn. S. 34

LfD Pinkwart, S. !6/17

MR SunStrom GmbH S. 6,7, 9, 13, 14 u, 34 o.

Olaf Reiter S. 8, 10, 11, 14 o.

SOLARWATT GmbH S. 6 o., 12, 34, 35

LH Dresden Klimaschutzstab S. 35 o.

Viessmann Werke GmbH & Co. KG S. 16 u., 17, 22, 25, 26 u., 27, 28, 30 o., 31, 32, 33 o.

TU Dresden; Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeerzeugung S. 6 u., 8 u., 27, 30 u., 33 u., 34 u., 35

## Schrifttum

- EEG Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Juli 2017 (BGBl. I S. 2532) geändert worden ist. Stand: Zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 17.7.2017 I 2532
- EEWärmeG Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz vom 7. August 2008 (BGBl. I S. 1658), das zuletzt durch Artikel 9 des Gesetzes vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1722) geändert worden ist. Stand: Zuletzt geändert durch Art. 9 G v. 20.10.2015 I 1722
- [IEuKK] Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Dresden 2030, Dresden 2013
- POLYSUN® POLYSUN-Simulationssoftware Version 10.1.5.25637-2018 Vela Solaris AG, Winterthur, CH
- [Viessmann] <https://www.viessmann.de/de/wohnungsbaeude/solaranlage/roehrenkollektoren/vitosol-200-tm.html>
- [Viessmann] Planungshandbuch S. 54
- [Quaschnig] Quaschnig, V.: Regenerative Energiesysteme. ISBN 978-3-446-44267-2. Carl Hanser Verlag München 9. aktualisierte und erweiterte Auflage 2015
- TU Dresden „Grundlagendokumentes zur Ableitung eines Leitfadens zur Integration regenerativer Energieversorgungssysteme in das Stadtbild“ der TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Energietechnik, Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung C. Felsmann, K. Rühling, H. Hundt, V. Volmer

## Einheiten

°	Grad	Winkel
°C	Grad Celsius	Temperatur
a	Jahr	Zeitraum
d	Tag	Zeitraum
h	Stunde	Zeitraum
kg	Kilogramm	Masse
l	Liter	Volumen
m	Meter	Länge
m <sup>2</sup>	Quadratmeter	Fläche
W bzw. kW	(Kilo-)Watt	Leistung
W <sub>p</sub> bzw. kW <sub>p</sub>	(Kilo-)Watt peak	Peakleistung
Wh bzw. kWh	(Kilo-)Wattstunde	Energie

## Glossar

- Anordnung horizontal:** Schrägdach: Die längere Seite der Module bzw. Kollektoren ist parallel zur Traufe.  
Flachdach: Die längere Seite der Module bzw. Kollektoren ist parallel zum Dach.
- Anordnung vertikal:** Schrägdach: Die kürzere Seite der Module bzw. Kollektoren ist parallel zur Traufe  
Flachdach: Die kürzere Seite der Module bzw. Kollektoren ist parallel zum Dach.
- Anteil Netzeinspeisung:** Siehe Eigenverbrauchsanteil
- Aperturfläche:** Die Aperturfläche eines Solarthermiekollektors ist die Fläche, durch die die Solarstrahlung eintreten kann. (s. a. Bruttokollektorfläche)
- Ausrichtung:** Ist die Orientierung der Kollektor- bzw. Modulfläche entsprechend der Himmelsrichtung. Fachwissenschaftlich korrekt wäre der Begriff Azimut.
- Bruttokollektorfläche:** Die Bruttokollektorfläche wird durch die Außenmaße eines Solarthermiekollektors bestimmt.
- Dachintegriert:** Bei dachintegrierter Installation werden die PV-Module oder Solarthermie-Kollektoren in die Dachhaut integriert.
- Dachparallel:** Bei dachparalleler Installation werden die PV-Module oder Solarthermie-Kollektoren mit Abstand über die Dachfläche montiert – üblicherweise mit Dachhaken, welche zwischen die Dachziegel eingehängt werden. (s. a. dachintegriert)
- Deckungsgrad:** Anteil des Energiebedarfs, der durch die PV- oder Solarthermieanlage gedeckt werden kann. \*Bei Solarthermie entspricht die erzeugte Wärme in der Regel der selbst genutzten Wärme, siehe dazu auch Eigenverbrauchsanteil.
- EEWärmeG:** Das EEWärmeG verpflichtet Eigentümer von Neubauten, den Wärme- und Kältebedarf des Gebäudes zumin-

dest teilweise aus erneuerbaren Energien zu decken. Dabei ist auch die Nutzung von Solarthermieanlagen möglich. In diesem Fall muss der Wärme- und Kältebedarf zu mindestens 15% aus der Anlage gedeckt werden. Das gilt als erfüllt, wenn das Verhältnis von Aperturfläche des Kollektors zu Nutzfläche des Gebäudes mindestens 0,04 (Wohngebäude mit einer oder zwei Wohnungen), 0,03 (Wohngebäude mit mehr als zwei Wohnungen) bzw. 0,06 (öffentliche Gebäude) beträgt.

**Auszug aus § 3 (1)** Die Eigentümer von Gebäuden nach § 4, die neu errichtet werden, müssen den Wärme- und Kälteenergiebedarf durch die anteilige Nutzung von Erneuerbaren Energien nach Maßgabe der §§ 5 und 6 decken. Satz 1 gilt auch für die öffentliche Hand, wenn sie öffentliche Gebäude nach § 4 im Ausland neu errichtet.

**Auszug aus § 5 (1)** Bei Nutzung von solarer Strahlungsenergie nach Maßgabe der Nummer I der Anlage zu diesem Gesetz wird die Pflicht nach § 3 Abs. 1 dadurch erfüllt, dass der Wärme- und Kälteenergiebedarf zu mindestens 15 Prozent hieraus gedeckt wird.

**Auszug aus Anlage I**

1. Sofern solare Strahlungsenergie durch solarthermische Anlagen genutzt wird, gilt:

a) der Mindestanteil nach § 5 Abs. 1 als erfüllt, wenn aa) bei Wohngebäuden mit höchstens zwei Wohnungen solarthermische Anlagen mit einer Fläche von mindestens 0,04 Quadratmetern Aperturfläche je Quadratmeter Nutzfläche und bb) bei Wohngebäuden mit mehr als zwei Wohnungen solarthermische Anlagen mit einer Fläche von mindestens 0,03 Quadratmetern Aperturfläche je Quadratmeter Nutzfläche installiert werden;

**Eigenverbrauchsanteil:**

Der Eigenverbrauchsanteil ist der Anteil der erzeugten Energie, die selbst verbraucht und nicht in ein Netz eingespeist wird. Dieser Wert ist hauptsächlich für PV interessant, da dort in der Regel ein Teil des erzeugten Stroms ins Netz eingespeist und somit nicht alles selbst verbraucht wird. Bei Solarthermie hingegen liegt der Eigenverbrauchsanteil in der Regel bei 100 %, da standardmäßig nicht in ein Fernwärmenetz eingespeist wird.

**Anteil Netzeinspeisung:**

Der Anteil Netzeinspeisung ist der Anteil der erzeugten Energie, der ins Netz eingespeist und nicht selbst verbraucht wird.

**Energetische Amortisation:**

Die energetische Amortisation beschreibt, wie lange die Anlage braucht, um die Energie zu produzieren, die zu deren Herstellung benötigt wurde.

**Lebensdauer:**

Zeitspanne, in der die Anlage funktionsfähig ist und unter (betriebs)wirtschaftlichen Kriterien genutzt werden kann. Bei PV und ST üblicherweise die Zeit, bis zu der die Anlage 80 % der Leistung nach Herstellerangaben erbringt. (s. a. Nutzungsdauer)

**Montage vhorizantal:**

Schrägdach: Die längere Seite der Module bzw. Kollektoren ist parallel zur Traufe  
 Flachdach: Die längere Seite der Module bzw. Kollektoren ist parallel zum Dach.



**Montage vertikal:**

Schrägdach: Die kürzere Seite der Module bzw. Kollektoren ist parallel zur Traufe  
 Flachdach: Die kürzere Seite der Module bzw. Kollektoren ist parallel zum Dach.



**Neigungswinkel:**

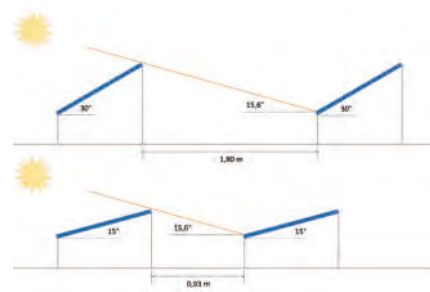
Ist der Aufstellwinkel der Kollektor- oder Modulflächen gegenüber der Horizontalen (0° - liegend bis 90 ° vertikal als Fassadenanlage).

**Nutzungsdauer:**

Die Nutzungsdauer ist die normative Nutzungsdauer nach z.B. VDI 2067 bzw. AfA-Tabellen. Dies ist auch für steuerliche Aspekte (Abschreibung der Anlage) relevant. (s. a. Lebensdauer)

**Peakleistung der PV-Anlage:  
 Reihenabstand Flachdach in  
 Abhängigkeit vom Neigungswinkel:**

Summe der Leistung aller PV-Module einer Anlage bei STC.  
 Sowohl Photovoltaikmodule als auch Solarthermiekollektoren müssen bei mehrreihigen Flachdachinstallationen so installiert werden, dass die Zeiten mit partieller Verschattung gering gehalten werden. Dies gilt als gut erfüllt, wenn der Fußpunkt der von einer davorliegenden Reihe beeinflussten Reihe am Tag der Wintersonnenwende mittags nicht verschattet wird. Für Dresden gilt dies für die unten zeichnerisch dargestellten 15,6° als gut erfüllt. Es wird deutlich, dass der Abstand zwischen den Reihen mit steigendem Neigungswinkel zunimmt. Von dieser Grundregel wird aus Gründen der Flächenknappheit derzeit bei großen Freiflächenanlagen teilweise abgewichen. (siehe Schema unten rechts)



<b>Stagnation</b>	<p>Stagnation tritt ein, wenn kein Wärmebedarf vorliegt bzw. der Wärmespeicher vollständig gefüllt oder eine Komponente defekt ist. In diesem Fall bringt die Regelung den Solarthermie-Kreislauf zum Erliegen.</p> <p>Stagnation tritt in den meisten Solarthermieanlagen regelmäßig auf und bereitet im Normalfall keine Probleme. In der Anlage treten sehr hohe Temperaturen von bis zu 300 °C auf, die von moderner Solarthermie-Technik gut beherrscht werden.</p>
<b>STC</b>	
<b>Standard Test Conditions:</b>	Standard-Test-Bedingungen, unter denen die Peakleistung von PV-Modulen bestimmt wird: 25 °C Modultemperatur, 1000 W/m <sup>2</sup> Globalstrahlung, Air-Mass-Faktor AM 1,5 als Maß für Länge des Weges der Solarstrahlung durch die Erdatmosphäre
<b>String:</b>	Reihenschaltung von Photovoltaikmodulen gleichen Typs und mit ähnlichen sonstigen Bedingungen (z.B. partielle Verschattung). Die maximale Anzahl der in Reihe geschalteten Module wird dabei von der Wechselrichterleistung bestimmt.
<b>Stringanordnung:</b>	Bei Photovoltaikanlagen mit mehreren Strings gewählte örtliche Zuordnung der Strings, um den Ertrag zu maximieren (z.B. ein String mit morgendlicher Verschattung und ein zweiter ohne Verschattung).

# Impressum

Herausgeberin:  
Landeshauptstadt Dresden

Stadtplanungsamt  
Telefon (03 51) 4 88 32 32  
Telefax (03 51) 4 88 38 13  
E-Mail [stadtplanungsamt@dresden.de](mailto:stadtplanungsamt@dresden.de)

Klimaschutzstab  
Telefon (03 51) 4 88 94 44  
Telefax (03 51) 4 88 99 944  
E-Mail: [klimaschutz@dresden.de](mailto:klimaschutz@dresden.de)

Amt für Presse-und Öffentlichkeitsarbeit  
Telefon (03 51) 4 88 23 90  
Telefax (03 51) 4 88 22 38  
E-Mail [presse@dresden.de](mailto:presse@dresden.de)

Postfach 12 00 20  
01001 Dresden  
[www.dresden.de](http://www.dresden.de)

Zentraler Behördenruf 115 – Wir lieben Fragen

Redaktion:  
Stadtplanungsamt in Zusammenarbeit mit den Fachämtern

Titelfoto: Olaf Reiter, BdA

Herstellung:  
Dipl. -Ing. Olaf Reiter; Reiter Architekten GmbH

Januar 2020

Elektronische Dokumente mit qualifizierter elektronischer Signatur können über ein Formular eingereicht werden. Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit, E-Mails an die Landeshauptstadt Dresden mit einem S/MIME-Zertifikat zu verschlüsseln oder mit DE-Mail sichere E-Mails zu senden. Weitere Informationen hierzu stehen unter: [www.dresden.de/kontakt](http://www.dresden.de/kontakt).

Dieses Informationsmaterial ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit der Landeshauptstadt Dresden. Es darf nicht zur Wahlwerbung benutzt werden. Parteien können es jedoch zur Unterrichtung ihrer Mitglieder verwenden.



[www.saena.de/angebote/foerdermittelratgeber.html](http://www.saena.de/angebote/foerdermittelratgeber.html)

