



Dresden.
Dresdner

Energiewende im Stadtbild

Leitfaden für gestalterische Lösungen

Energiewende im Stadtbild

Leitfaden für gestalterische Lösungen

Inhalt

1. Einleitung	4
Vorwort	4
Städtebauliche Situation und Klimaschutzstrategie	4
2. Photovoltaik – technische Erläuterung	6
Photovoltaik auf Flachdach	8
Photovoltaik auf Satteldach	14
Photovoltaik an Fassaden	18
Photovoltaik an Glasfassaden	20
3. Solarthermie – technische Erläuterung	22
Einfamilienhäuser	26
Mehrfamilienhäuser und Bürogebäude	28
4. Luft-Wasser-Wärmepumpen – technische Erläuterung	30
Aufstellarten	32
5. Kombilösungen – innovative Ansätze	34
6. Autoren- und Bildnachweis	36

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 verbleibt, sowie ein stetig zunehmender Wohnflächenkonsum. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der damit erforderlichen Maßnahmen zum Klimaschutz sind die Senkung des Energieverbrauchs und der umfassende Einsatz von erneuerbaren Energien in der Landeshauptstadt 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 der Bauherren, Planer und Behörden mit Anforderungen hinsichtlich des stadtgestalterischen Erscheinungsbildes und dem höchstmöglichen Nutzen für den Klimaschutz zu vereinbaren und wenn nötig, verträgliche Kompromisslösungen aufzuzeigen. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen folgende Energieversorgungstechniken, die Einfluss auf das Stadtbild haben:

- Photovoltaikanlagen (PV)
- Solarthermie
- Luft-Wasser-Wärmepumpen

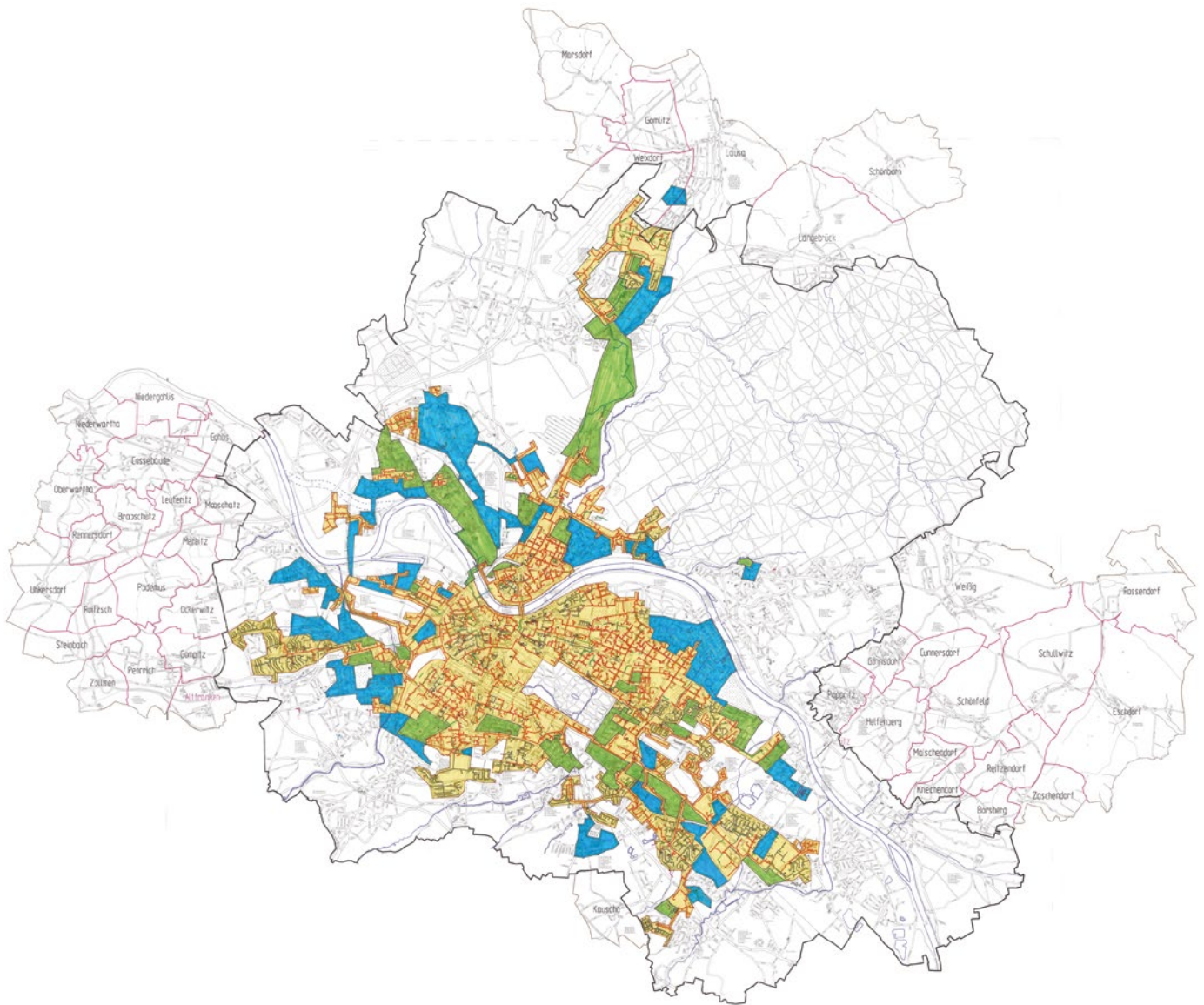
Es werden ausschließlich gebäudebezogene Maßnahmen zur Integration der genannten Technologien betrachtet. Solarthermie- und Photovoltaik-Freiflächenanlagen sind nicht Gegenstand dieses Leitfadens. Diese Broschüre wurde unter Verwendung des »Grundlegendokumentes zur Ableitung eines Leitfadens zur Integration regenerativer Energieversorgungssysteme in das Stadtbild« der TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Energietechnik, Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung vom 22. November 2018 erarbeitet und greift auf die dort ermittelten Simulationsergebnisse zurück.

Städtebauliche Situation und Klimaschutzstrategie

Kennzeichnend für die Landeshauptstadt Dresden ist eine polyzentrische Stadtstruktur, die durch das historische Zusammenwachsen vieler einzelner Dörfer entstanden ist. Im Stadtbild ist dies noch heute ablesbar.

2018 beschloss der Stadtrat für das Stadtgebiet einen neuen Landschaftsplan. 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 sowie die durch den Klimawandel hervorgerufenen lokalklimatischen Effekte mindern helfen. 2013 beschloss der Stadtrat das Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzept Dresden 2030 (IEuKK). Die Landeshauptstadt Dresden verfolgt das Ziel, die Treibhausgasemissionen (ausgewiesen in Masse CO₂-äq/Einwohner/Jahr) alle fünf Jahre um 10 Prozent zu reduzieren. Daraus resultiert, dass der CO₂-Ausstoß in Dresden bis 2030 um insgesamt mehr als 40 Prozent gegenüber 2005 gemindert wird. Derzeit beträgt der Anteil der regenerativen Energien an der Strom- und Wärmeversorgung von Haushalten (2017) lediglich etwa 4 Prozent, gemessen am gesamten Energieverbrauch der Wohngebäude (bundesweit 13 Prozent für Wärme, 36 Prozent für Strom, 5 Prozent Verkehr). Für die Erreichung des Ziels sind sowohl Energieeinspar- und Energieeffizienzmaßnahmen als auch der Ausbau regenerativer Energieanlagen notwendig. Die Installationen für regenerative Energiequellen (Photovoltaik, Solarthermie, Luft-Wasser-Wärmepumpen) beeinflussen das Erscheinungsbild der Gebäude (»Informationen zu Fördermöglichkeiten für Anlagen für Erneuerbare Energien« sind unter anderem bei der Sächsischen Energieagentur (SAENA) erhältlich).

Seit etwa 120 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 werden im Integrierten Energie- und Klimaschutzkonzept die Ausbauziele, entsprechend der unterschiedlichen Bebauungs- und Nutzungsdichte und der bestehenden Infrastruktur, wie folgt unterschieden:



Fernwärmeversorgungsstrategie aus dem IEuKK

- 1. Schale: Fernwärme-Bestandsgebiet
- 2. Schale: Fernwärme-Ausbaugbiet – die Fernwärme wird hier bis 2022 ausgebaut und soll die Wärmeversorgung weitgehend übernehmen.
- 3. Schale: Fernwärme-Zielnetzgebiet – die Fernwärme wird hierhin bis 2030 geführt und soll die Wärmeversorgung schrittweise übernehmen.
- 4. Schale: Dezentrale Wärmeversorgungsgebiete – die Wärmeversorgung basiert weiter vorwiegend auf Erdgas mit einem Anteil Biogas; zunehmende Nutzung von Umweltwärme (Schwerpunkt Wärmepumpen zur Nutzung von Wärme aus dem Grundwasser oder dem oberflächennahen Festgestein) und Biomasse, besonders in Stadtrandlagen und Eingemeindungsgebieten.

2. Photovoltaik – technische Erläuterung

Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) 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 kWp (Kilowatt peak) angegeben. Dieser Wert beschreibt die maximale Leistung der Anlage bei Standard-Testbedingungen (STC-Bedingungen). Pro m² Modulfläche haben PV-Module meist eine Peak-Leistung von 0,1-0,25 kWp. Photovoltaik-Zellen nutzen die Eigenschaften von Halbleitern, z. B. die des heute überwiegend zum Einsatz kommenden Siliziums. Es gibt monokristalline und polykristalline Siliziumzellen und Dünnschichtzellen. Im Angebot sind Glas-Glas-Module und Glas-Folien-Module (Folie rückseitig). 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 diverse 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 Leistung des gesamten Strings stark ab. Deshalb spielen Verschattung und Verschaltung bei der Photovoltaik eine sehr wichtige Rolle.

Solarstromspeicher dienen der Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils und sorgen für eine höhere Unabhängigkeit vom Stromnetz. Eine sinnvolle Dimensionierung zielt darauf ab, die Abend- und Nachtversorgung durch am Tag gespeicherten Strom zu gewährleisten.

Spezifische Investitionskosten sinken mit größerer installierter Kollektorfläche/Anlagengröße.

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

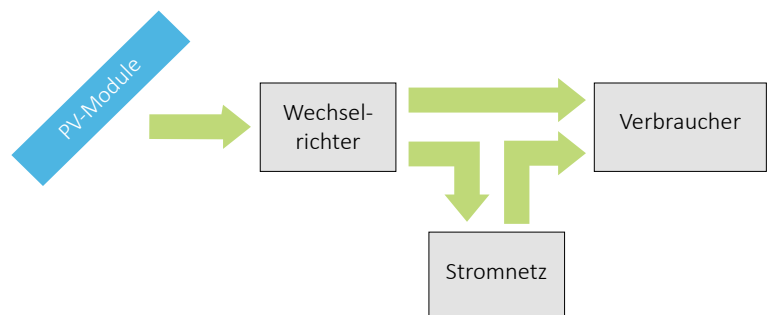
- Solarstrahlung
- Modultemperatur



Aufdach-Montage von PV-Modulen auf einem Satteldach

Solarstrahlung, Modultemperatur

Bezugspunkt für die Datenblattangaben zur Leistung von PV-Modulen sind die STC-Bedingungen mit 1.000 W/m² Solarstrahlung und einer Modultemperatur von 25 °C. Je niedriger die Solarstrahlung und je höher die Modultemperatur, desto geringer ist die Leistung der PV-Module und damit der Anlage.



Vereinfachter Energiefluss einer PV-Anlage



PV-Flachdach auf der BMW-Zentrale München



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 gelten rund 90 Prozent der Nennleistung nach 10 Jahren und rund 80 Prozent der Nennleistung nach 20-25 Jahre. Zur Berechnung, ab welchem Zeitpunkt sich die Investitionskosten in die Anlage ausgezahlt haben, ist bei Stromeinspeisung die Einspeisevergütung nach EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) anzuwenden. 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 ermöglichen als günstige Kredite die KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) und die SAB (Sächsische Aufbaubank). Weitere Informationen sind einzusehen unter: www.saena.de/fordermittelberatung.html

Praxistipp

Das Einfügen einer DC-Trennstelle (Spannungsfrei-Schalter) kann im Ernstfall z. B. für die Feuerwehr das Risiko eines Stromschlags 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 trifft, stehen diese zwar noch unter Spannung, solange dieser Stromkreis nicht geschlossen wird. Allerdings minimiert sich die Gefahr für Außenstehende.

Photovoltaik auf Flachdach

Auf Flachdächern kann die PV-Anlage als Aufdachanlage sehr gut aufgestellt werden. Aber es sind einige Punkte zu beachten. Verschattungen durch Nachbargebäude, Bäume, Schornsteine 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 die Sichtbarkeit der PV-Anlagen auf Flachdächern im 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.

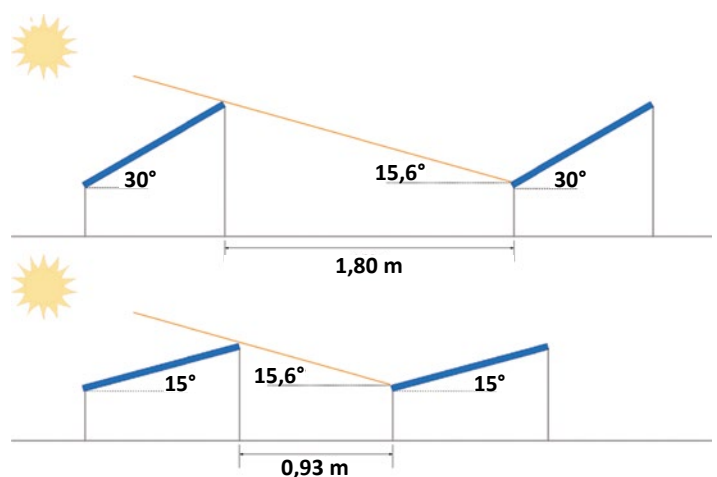
Ein größerer Randabstand zur Dachkante führt zu verringerter Sichtbarkeit der Module. Die Sichtbarkeit ist abhängig vom Abstand des Betrachters zum Gebäude und damit von der Position des Betrachters, der Gebäudelage und der Umgebung. Deshalb sollte der Randabstand zur Dachkante z. B. bei Gebäuden an ausgedehnten 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.



Flachdach-Anlage auf einem Kindergarten (roter Gebäudeteil)



Ein flacher Neigungswinkel verringert den Reihenabstand untereinander.



Flachdachanlage mit 15°-Aufstellung



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 (rund 8 Prozent) nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann. Man sollte Strukturgläser (beidseitige Mikrostrukturen, mit hohen Anteilen diffuser Reflexion) gegenüber Floatglas (ähnlich wie Fensterglas) 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 generell nicht ausgeschlossen werden. Bei exponierten Lagen ist im Einzelfall eine Blendwirkung zu prüfen, z. B. bei Einfugschneisen des Flughafens oder direkter Blickbeziehung aus einer bestimmten Stadtansicht.

Einfamilienhäuser

Die installierbaren Modulflächen schwanken entsprechend der Größe. Laut Beispielsimulation der TU Dresden liegen übliche Größenordnungen der PV-Anlagen bei 10-45 m² Modulfläche. Dabei werden Peakleistungen von 1,5 bis 8 kW erreicht. Bei Ost- bzw. Westausrichtung sind etwa 20 Prozent 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 Prozent können jährlich 0,5 bis 2,5 t CO₂ vermieden werden; dabei wird immer von der Aufnahme des Überschussstroms (Anteil im Bereich 75 bis 90 Prozent der Gesamterzeugung) ins vorgelagerte Stromnetz ausgegangen.

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 den Platz mit Dachaufbauten, Schornsteinen und Satelliten-Schüsseln teilen. Dies muss in der Planung berücksichtigt werden. Die erwähnten Elemente sollten so platziert werden, dass sie keine Schatten auf die Module werfen und auf der nördlichen Seite des Daches angeordnet werden.

Mehrfamilienhäuser

Bei einer Anlagengröße von 100-150 m² Modulfläche sind 15-25 kWp Peakleistung erreichbar. Dabei ergeben sich CO₂-Vermeidungen von jährlich 3 bis 8 t, wobei immer von der Aufnahme des Überschussstroms (Anteil im Bereich 75 bis 80 Prozent der Gesamterzeugung) ins vorgelagerte Stromnetz ausgegangen wird.



Platzbedarf für Wechselrichter und Solarstrom-Speicher im EFH



PV-Anlage in 15°-Südaufstellung auf einem EFH, die PV-Anlage ist vom Garten aus nicht zu sehen



Gebäudefront mit Anlage in 15°-Südaufstellung

Bürogebäude

Auf diesen Gebäuden sind aufgrund der größeren Fläche deutlich größere PV-Anlagen als auf Mehrfamilienhäusern installierbar. Hier sind oft 150-250 m² Modulfläche mit einer Peakleistung von 20-25 kW möglich. Dabei sind Deckungsgrade von 7-10 Prozent erreichbar. Diese fallen damit geringer aus als bei MFH (dort 18-26 Prozent), da die verfügbare Dachfläche im Verhältnis zur Nutzfläche sehr viel kleiner ist. Dies führt zu sehr hohen Eigenverbrauchsanteilen von oft teilweise 60 Prozent (Süd- und Ostausrichtung). Bei Ostausrichtung ist der Ertrag etwa 10-15 Prozent geringer als bei Südausrichtung. Es ergeben sich jährliche CO₂-Vermeidungen von 3-7 t.

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.



Indachanlage auf den gebogenen Dächern einer Kläranlage



Aufdachanlage auf einem Krankenhaus



Aufdachanlage auf einer Gewerbehalle



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 geringe Ertragseinbußen von bis zu 3 Prozent durch eine erhöhte Modultemperatur. Für Schrägdächer sind Deckungsgrade von 18-26 Prozent im MFH (EFH bis 33 Prozent) möglich. Bei Ostausrichtung ist der Ertrag etwa 15-20 Prozent 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.



Indach-Anlage auf kompletter Süddachfläche eines EFH



Aufdachanlage auf einem EFH



Indach-Anlage auf Süddach eines Bürogebäudes



In PV-Anlage integriertes Plexiglas, dahinter befinden sich Dachfenster

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 Wirkungsgrads 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-Glas-Module 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 rund 8 Prozent. 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. Flughafen-Einflugschneise, direkte Blickbeziehung aus bestimmter Stadtansicht) im Einzelfall der Nachweis zu führen ist.

Aus stadtgestalterischer Sicht sind die besondere Situationen in der Nähe von Denkmälern, Sichtfeldern, Blickbeziehungen sowie die Stadtsilhouette zu berücksichtigen.

Einfamilienhäuser

Die installierbaren Modulflächen schwanken entsprechend Größe, Dachneigung und Dachform sehr stark: Laut der Beispielsimulation liegen übliche Größenordnungen der PV-Anlagen bei 10-45 m². Dabei werden Peakleistungen von 1,5 bis 7 kW erreicht. Größe und 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 Prozent und flächenspezifische Erträge von 120-160 kWh/(m²a) erreicht. Die dachintegrierten PV-Anlagen bringen umrund 2,5 Prozent verringerte Erträge gegenüber den dachparallelen Anlagen. Bei Ost- bzw. Westausrichtung sind etwa 20 Prozent geringere Erträge als bei Südausrichtung zu verzeichnen.

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

Eine CO₂-Vermeidung von 0,5 bis 2,5 t/a ist möglich, wobei immer von der Aufnahme des Überschussstroms (Anteil im Bereich 75 bis 90 Prozent der Gesamterzeugung) ins vorgelagerte Stromnetz ausgegangen wird.

Mehrfamilienhäuser

Auf Mehrfamilienhäusern mit Satteldach sind typische Größen bis zu 150 m² Modulfläche mit einer Peakleistung von 15-25 kWp erreichbar.

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

Es ergeben sich CO₂-Vermeidungen von 3 bis 8 t/a, wobei von der Aufnahme des Überschussstroms (Anteil im Bereich 75 bis 80 Prozent der Gesamterzeugung) ins vorgelagerte Stromnetz ausgegangen wird.



Aufdach-Anlage, schwarze Module auf schwarzem Dachziegel



PV-Deckung der Gaube des denkmalgeschützten Hauses



Seitengebäude eines Bauernhofes: die PV-Anlage wurde auf der gesamten Dachfläche installiert.

Bürogebäude

Aufgrund der größeren Dachflächen sind typische Größen von 150-250 m² Modulfläche mit einer Peakleistung von 20-25 kW möglich. Dabei sind Deckungsgrade von 7-10 Prozent erreichbar. Diese fallen geringer aus als bei MFH (dort 18-26 Prozent), da die verfügbare Dachfläche im Verhältnis zur Nutzfläche sehr viel kleiner ist. Dies führt zu sehr hohen Eigenverbrauchsanteilen von oft über 60 Prozent (Süd- und Ostausrichtung). Bei Ostausrichtung ist der Ertrag etwa 10-15 Prozent geringere als bei Südausrichtung. Es ergeben sich CO₂-Vermeidungen von 3-7 t/a.

Photovoltaik an Fassaden

Fassadenintegrierte Anlage

Neben Anlagen auf Dächern sind PV-Module im Bereich der Fassade integrierbar. Bei dem Neigungswinkel von 90° ist eine Ertragseinbuße von 30 bis 40 Prozent zu erwarten. Aus gestalterischer Sicht und unter dem Aspekt der CO_2 -Minderung ist dies unter Umständen dennoch 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 bei Modulflächen von $100\text{--}150\text{ m}^2$ $15\text{--}20\text{ kWp}$ installiert werden, deren Ausrichtung zwischen Südost und Südwest liegen sollte. Hier eröffnen sich für den Bauherrn besonders viele Gestaltungsmöglichkeiten.

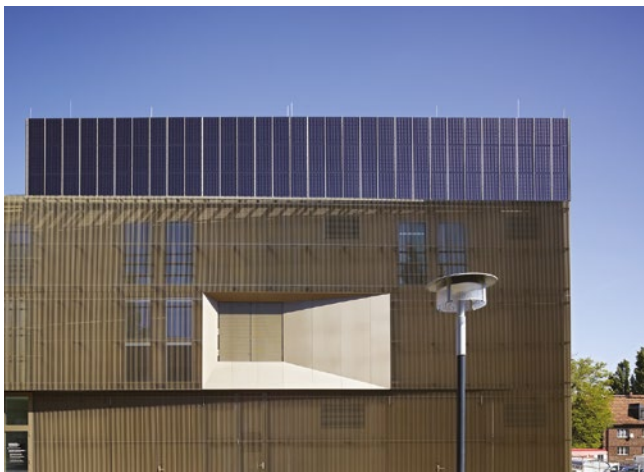
Die Fassadenvarianten haben einen signifikant niedrigeren flächenspezifischen Ertrag als Satteldachvarianten (Größenordnung 30 Prozent). Es ergeben sich bei den genannten Anlagengrößen CO_2 -Vermeidungen von 3 bis 8 t/a, wobei von der Aufnahme des Überschussstroms (Anteil im Bereich 75 bis 80 Prozent der Gesamtzeugung) ins vorgelagerte Stromnetz ausgegangen wird.



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



Laborgebäude: Südfassade und Dachgeschoss mit vorgehangenen PV-Modulen



Forschungsgebäude: flächige Fassadengliederung mit PV-Modulen



Schulgebäude. Die Technikzentrale auf dem Dach ist mit PV-Modulen verkleidet.

Photovoltaik an Glasfassaden

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.



PV-Module in Streifen integriert in die Glasfassade eines Bürogebäudes



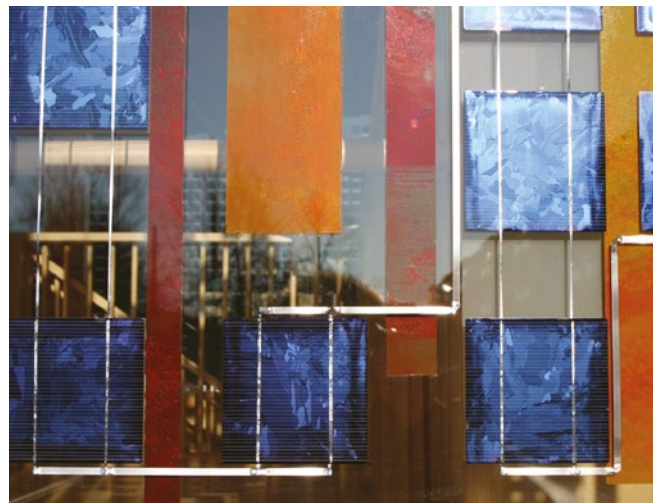
PV-Zellen auf Abstand in die 3-Scheiben-Isolierverglasung eingebaut, dadurch fällt Licht durch die PV-Glasfassade



Photovoltaik wurde mit farbigen Gläsern kombiniert.



Südfassade eines Kindergartens mit künstlerisch gestalteter PV-Anlage



Südfassade eines Kindergartens mit künstlerisch gestalteter PV-Anlage (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.

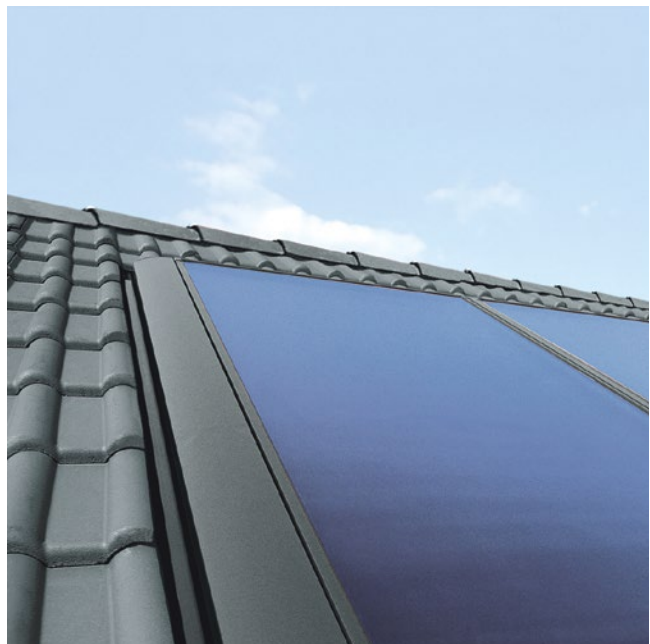
Entscheidend für die Effizienz der Kollektoren ist der Einbau der Absorberflächen in Konstruktionen, die einerseits die Solarstrahlung möglichst ungehindert zum Absorber gelangen lassen, aber andererseits auch den Wärmeverlust an die Umgebung minimieren. Auf der zur Sonne gewandten Seite werden deshalb 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 vakuierte 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 haben einen Ertrag von 300 bis 650 kWh/(m²a) je nach Nutztemperaturniveau und Kollektortyp.

Für Betreiber ist das Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) relevant. Dieses verlangt, dass mindestens 15 Prozent 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 m² Nutzfläche muss eine Solarthermieanlage eine Aperturfläche von mindestens 8 m² haben.

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

Die Nutzungsdauer einer Solarthermieanlage beträgt 20 Jahre, erreicht werden Lebensdauern von 25 Jahren und mehr.



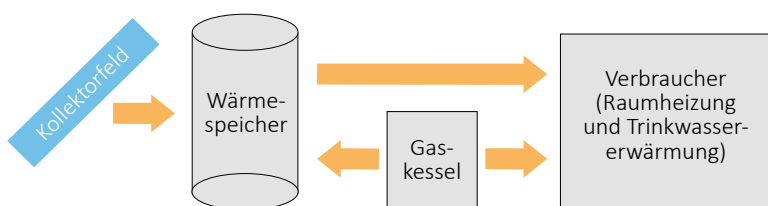
Schwarzer Flachdachkollektor in schwarzer Dachfläche integriert



Dachparallele Anordnung eines Vakuum-Röhrenkollektors



Thermische Solaranlage auf MFH



Vereinfachter Energiefluss Solarthermie

Gestaltung

Kompakte Flächen oder Streifen sind zu bevorzugen, d. h. keine Zerstückelung der Gesamtfläche, z. B. aufgrund von Dachfenstern und Dachdurchdringungen; keine Sägezahnordnung 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 ein bis drei Tage, maximal eine Woche, um zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung genutzt zu werden. Bei Neubauten mit dem Anspruch einer 95 bis 98 Prozent 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).

Praxistipp: Technische bzw. energetische Gesichtspunkte

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

Bei der Anzahl von in Reihenschaltung anzuordnenden Modulen zu einer Kollektorgruppe müssen hydraulische Grenzen beachtet werden (siehe Hersteller-Hinweise). 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 sowohl 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.



Thermische Solaranlage: Flachkollektoren auf energieautarker Kirche

Rahmen

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



Flachkollektoren auf einem 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° beträgt bzw. geringe Neigungswinkel zu bevorzugen sind.

Selbst bei 0° Neigungswinkel sollten die meisten Kollektorarten auf einer Unterkonstruktion mit einer Mindesthöhe von rund 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° und 70° 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 die Installation einer höheren Kollektoranzahl möglich wird, sodass sich der Ertrag erhöht. Eine höhere Kollektoranzahl verursacht höhere Investitionskosten.

Einfamilienhäuser

Bei Einfamilienhäusern sind typischerweise rund 10 bis 40 m² Kollektorfläche möglich. Je nach Anlagenkonfiguration wird bei einer solchen Größe ein solarer Deckungsgrad der Wärmebereitstellung von 8 bis 21 Prozent erreicht. Die CO₂-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 die Überhitzungsgefahr bei Indach-Anlagen. Daher sollte hinter Solarthermieanlagen eine sehr dicke Wärmedämmung eingebaut werden.



Thermische Solaranlage



Röhrenkollektoren flach auf Garage



Röhrenkollektoren senkrecht am Balkongeländer montiert

Mehrfamilienhäuser und Bürogebäude

Bei Mehrfamilienhäusern sind typischerweise 40 bis 130 m² Kollektorfläche installierbar, bei Bürogebäuden auch mehr. Je nach Anlagenkonfiguration wird ein solarer Deckungsgrad der Wärmebereitstellung von 4 bis 19 Prozent erreicht. Die CO₂-Vermeidung ist mit rund 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, rund 1,50 m (siehe auch PV-Anlagen-Gestaltung).

Gewerbegebäude

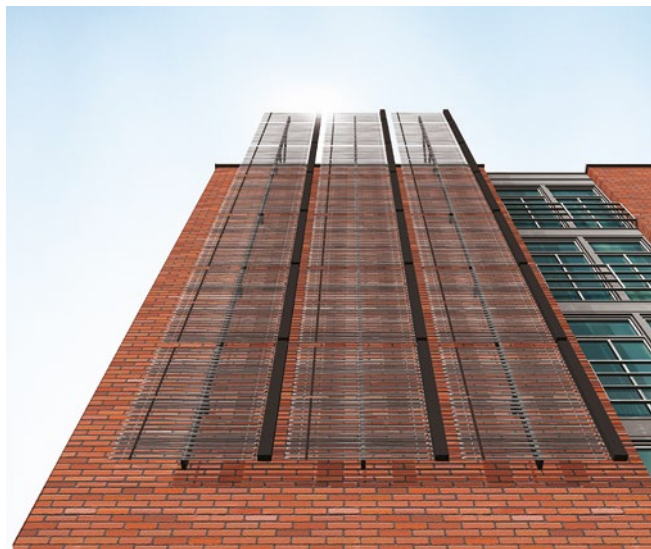
Für Gewerbegebäude ist eine Einzelfallbetrachtung bzw. individuelle Beratung aufgrund der großen Bandbreite an Nutzungsprofilen besonders relevant.

Bei großen Solarthermie-Anlagen lohnt sich gegebenenfalls die Einspeisung in ein Fernwärmenetz. Als Größenordnung gilt hierbei eine Solarthermiefläche von mindestens 500 m², 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

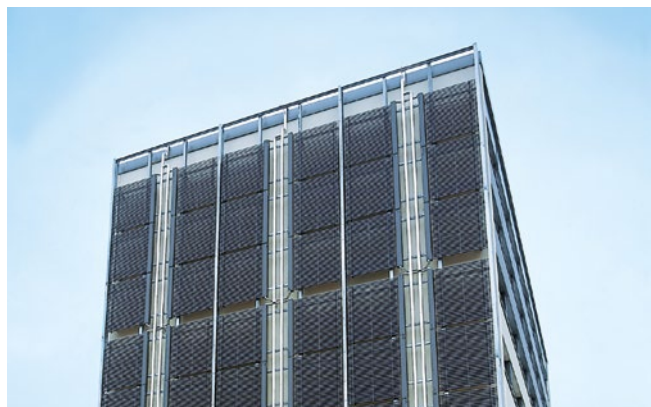
Aus stadtgestalterischen Gesichtspunkten ist die Wirkung der Solarthermie-Anlagen in den Stadtraum im Einzelfall gesondert zu prüfen.



Röhrenkollektoren an Hotelfassade



Röhrenkollektoren auf Flachdach



Röhrenkollektoren an Hausgiebel als Fassadenelement



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 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. Auf dem Markt gibt es auch Wärmepumpen, die für Bestandsgebäude oder Gebäude mit höheren Temperaturanforderungen geeignet sind.

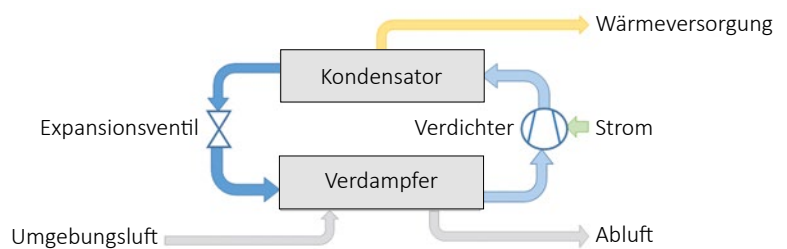
Der energetisch effiziente Einsatz von Wärmepumpen wird daher durch folgende Umstände begünstigt:

Niedrige Wärmesenkentemperatur

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.



Splitgerät vor einer Hausfassade



Funktionsprinzip der elektrisch angetriebenen Kompressionswärmepumpe



Splitgerät hinter dem Haus in einer Fassaden-Nische

Die Trinkwassererwärmung erfordert ganzjährig höhere Temperaturen. Hierfür könnte sinnvoll eine PV-Anlage in Verbindung mit einem elektrischen Heizelement ergänzt werden.

Hohe Wärmequellentemperatur

Im Jahresverlauf relativ gleichmäßig hohe Temperaturen stehen bei Nutzung des Erdreichs (Geothermie) über einen Erdwärmübertrager (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.

Die Investitionskosten für Wärmepumpen sind höher als für konventionelle Heizkessel. Versicherung, Wartung und Instandhaltung sind mit 2,5 Prozent 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.

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 Geräuschentwicklungen 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 Technischen Anleitung 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 m² und eine maximale Höhe von 2 m sind ausreichend.

Außenaufstellung

Die Wärmepumpe steht vollständig außerhalb des Gebäudes, sie kann auf dem Flachdach des Gebäudes angeordnet werden. Die Heizleitungen werden unterirdisch ins Gebäude geführt. 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.

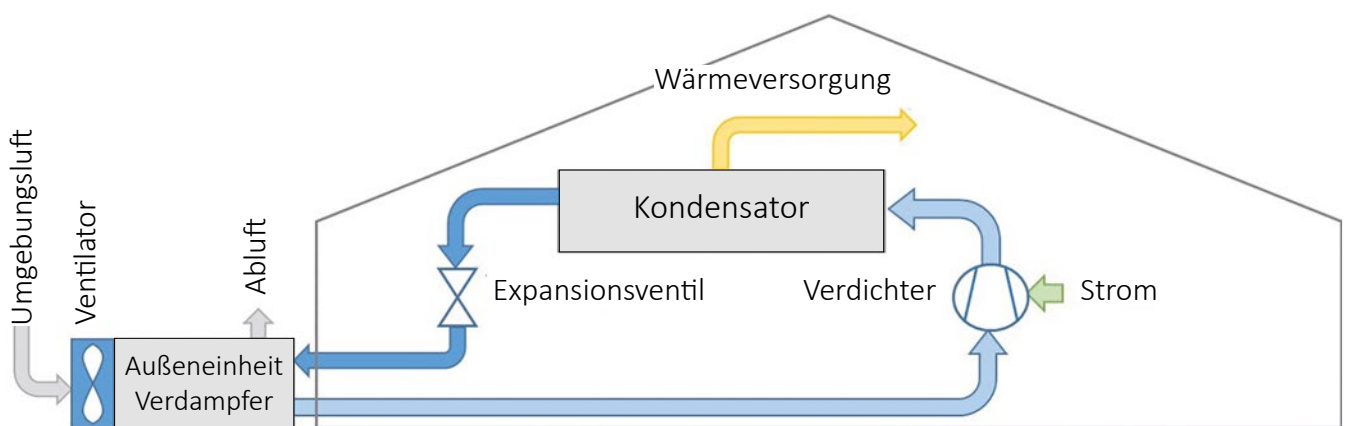
Der Platzbedarf ist von der Leistungsgröße der Wärmepumpe abhängig. Bei EFH und kleineren MFH wird eine Aufstellfläche von rund 1 m² mit einer Höhe bis zu 2 m benötigt.



Wärmepumpe Innenaufstellung mit Zu- u. Abluftkanal



Dachaufstellung einer Wärmepumpenkaskade



Luft-Wasser-Kompressionswärmepumpe Innenaufstellung, Splitgerät mit Außeneinheit



Wärmepumpen Außeneinheit

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 Wärmepumpe, Abmessungen im »Kofferformat«. Der äußere Flächenbedarf ist geringer als bei der Außenaufstellung der Wärmepumpe.

5. Kombilösungen – innovative Ansätze

Dach- und Fassadenbegrünung

Dach- und Fassadenbegrünungen haben vielfältige positive Wirkungen im Stadtraum. So verbessert sich das Mikroklima, Schall wird absorbiert und starke Niederschläge werden verzögert und gemindert in das Abwassersystem abgeleitet. Darüber hinaus bietet gebäudebezogenes Grün auch Lebensraum für Nützlinge und verbessert das Erscheinungsbild. Trotz formaler Flächenkonkurrenz wird zunehmend auch international der Ansatz gewählt, Photovoltaik- und Solarthermie-Anlagen 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, CO₂ zu binden. Dies führt jedoch nicht zu einer tatsächlichen Vermeidung, da das CO₂ 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 CO₂/m² in 50 Jahren, während PV oder Solarthermie doppelte Größenordnungen pro Jahr, also 100-fache Werte, erreichen können. Im Sinne einer maximalen CO₂-Vermeidung wären deshalb PV- oder Solarthermie-Anlagen gegenüber der Dach-/Fassadenbegrünung zu bevorzugen.

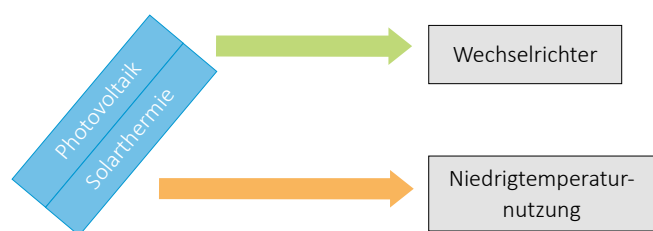
- Die Bepflanzung führt vor allem im Sommer zu einer Absenkung der lokalen und Oberflächentemperatur. Bei PV resultieren daraus leichte Ertragssteigerungen, bei Solarthermie leichte Ertragseinbußen.
- Die Begrünung hat Einsparungen beim Heiz- und vor allem Kühlenergiebedarf zur Folge.
- Trotz bau- und nutzungsseitig bedingter Asymmetrien (Schornstein, Dachausstieg 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-Standard-Modulen bei Modultemperaturen über 25 °C deutlich abnimmt. Durch einen Flüssigkeits- oder Luftstrom wird die Kühlung der Module erreicht und



Beispiel Symbiose Photovoltaik und Dachbegrünung



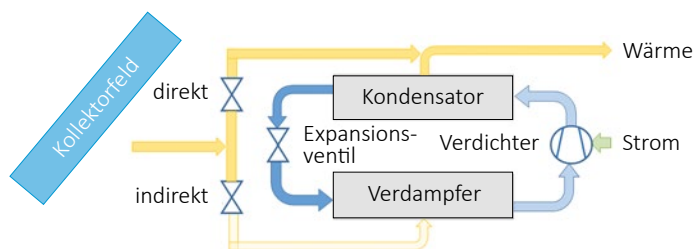
Stark vereinfachter Energiefluss PVT-Kollektoren

der jährliche PV-Ertrag kann gesteigert werden. Wird 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.

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 rund 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.



Stark vereinfachter Aufbau Wärmeversorgung über Solarthermie und Wärmepumpe

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 aber als nicht ausreichend, da weder das Erdreich noch die Umgebungsluft in dicht bebauten Bereichen genügend Wärmeentzugsleistung bieten. 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 Nutzttemperaturniveau durch die Wärmepumpe erforderlich. Ähnliches gilt für kostengünstige Solarthermiekollektoren (z. B. unabgedeckte 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 (NC: natural cooling oder AC: aktive cooling) realisieren.

Die Kollektoren übernehmen in diesem Betriebsmodus die Wärmeabfuhr an die Umgebung. Großes Potenzial besteht zur Erdreichregeneration bei Wärmepumpen mit Erdwärmesonden, also einer Art Langzeitwärmespeicherung sowie zur Nutzung als Wärmequelle für Wärmepumpen zur Trinkwassererwärmung.

6. Autoren- und Bildnachweis

Architekturfotos

		Objekt/Zeichnung	Architekt	Fotografie
Titelbild		Wohnhaus in Dresden Hellerau	Rentzsch Architekten	Olaf Reiter
Seite	7 o.	BMW-Zentrale in München	Coop Himmelblau	MR SunStrom
Seite	8 o.	Kita Meußlitzer Str. in Dresden	AG Reiter+ Rentzsch	Steffen Spitzner
Seite	9 u.	DFG-Zentrum in Dresden	Gunter Henn Architekten	MR SunStrom
Seite	11 u.	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 o.	Walther-Hempel-Bau TU Dresden	AWB Architekten	Michael Weser
Seite	19 u. 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 o.	Mehrfamilienhaus in Rietzschen	Architekt Dietmar Herklotz	Dietmar Herklotz
Seite	24	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

Seite	5	Landeshauptstadt Dresden, Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept, Dresden 2013, S. 216.
Seite	6 o.	MR SunStrom GmbH
Seite	6 u.	TU Dresden; Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeerzeugung
Seite	7 u.	MR SunStrom GmbH
Seite	8 u.	TU Dresden; Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeerzeugung
Seite	9 o.	MR SunStrom GmbH
Seite	10	Olaf Reiter
Seite	11 o.	Olaf Reiter
Seite	12.	SOLARWATT GmbH
Seite	14 u.	MR SunStrom GmbH
Seite	16	LfD Pinkwart
Seite	17	LfD Pinkwart
Seite	22	Viessmann Werke GmbH & Co. KG
Seite	23 u.	TU Dresden; Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeerzeugung
Seite	25	Viessmann Werke GmbH & Co. KG
Seite	26 u.	Viessmann Werke GmbH & Co. KG
Seite	27	Viessmann Werke GmbH & Co. KG.
Seite	28	Viessmann Werke GmbH & Co. KG
Seite	30 o.	Viessmann Werke GmbH & Co. KG

Seite	30 u.	TU Dresden; Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeerzeugung
Seite	31	Viessmann Werke GmbH & Co. KG
Seite	32	Viessmann Werke GmbH & Co. KG
Seite	33 o.	Viessmann Werke GmbH & Co. KG
Seite	33 u.	TU Dresden; Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeerzeugung
Seite	34 o.	MR SunStrom GmbH
Seite	34 u.	TU Dresden; Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeerzeugung
Seite	35	TU Dresden; Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeerzeugung

Schrifttum

EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), Stand: Zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 17.07.2017
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz vom 7. August 2008 (BGBl. I S. 1658), 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	www.viessmann.de/de/wohngebaeude/solarthermie/roehrenkollektoren/vitosol-200-tm.html
Viessmann	Planungshandbuch
Quaschnig	Quaschnig, V.: Regenerative Energiesysteme. ISBN 978-3-446-44267-2. Carl Hanser Verlag München 9. aktualisierte und erweiterte Auflage 2015
TU Dresden	Grundlegendokument zur Ableitung eines Leitfadens zur Integration regenerativer Energieversorgungs- systeme in das Stadtbild, TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Energietechnik, Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung C. Felsmann, K. Rühling, H. Hundt, V. Volmer

Einheiten

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

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 lachdach: 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:	<p>Das EEWärmeG verpflichtet Eigentümer von Neubauten, den Wärme- und Kältebedarf des Gebäudes zumindest 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 Prozent 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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Auszug aus Anlage I</p> <p>1. Sofern solare Strahlungsenergie durch solarthermische Anlagen genutzt wird, gilt:</p> <p>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</p>

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 Prozent, 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 Prozent der Leistung nach Herstellerangaben erbringt. (s. a. Nutzungsdauer)

Montage 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.



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.



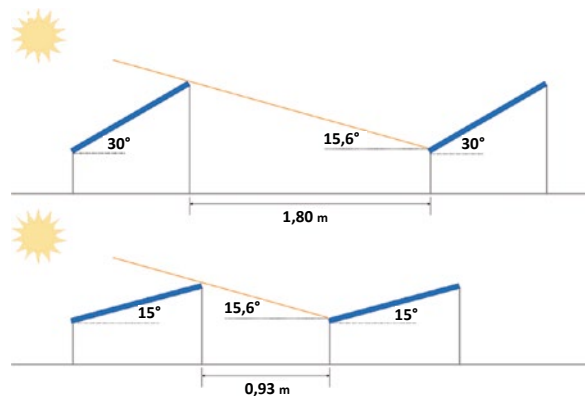
Neigungswinkel: Ist der Aufstellwinkel der Kollektor- oder Modulflächen gegenüber der Horizontalen (0°- liegend bis 90 ° vertikal als Fassadenanlage).

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: Summe der Leistung aller PV-Module einer Anlage bei STC.

**Reihenabstand
Flachdach in
Abhängigkeit vom
Neigungswinkel:**

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 $15,6^\circ$ 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).



Stagnation:

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. 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.

**STC Standard Test
Conditions:**

Standard-Test-Bedingungen, unter denen die Peakleistung von PV-Modulen bestimmt wird: 25°C Modultemperatur, 1.000 W/m^2 Globalstrahlung, Air-Mass-Faktor AM 1,5 als Maß für Länge des Weges der Solarstrahlung durch die Erdatmosphäre

String:

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.

Stringanordnung:

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).



Energie fürs Klima
Dresden schaltet.

Impressum

Herausgeber:
Landeshauptstadt Dresden

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

Klimaschutzstab
Telefon (03 51) 4 88 22 20
Telefax (03 51) 4 88 99 22 20
E-Mail klimaschutz@dresden.de

Amt für Presse-, Öffentlichkeitsarbeit und Protokoll
Telefon (03 51) 4 88 23 90
Telefax (03 51) 4 88 22 38
E-Mail presse@dresden.de
facebook.com/stadt.dresden

Postfach 12 00 20
01001 Dresden
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
aktualisierte Auflage, Oktober 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. 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.dresden.de/klimaschutz