
benefit E

Gebäudeintegrierte Solaraktive Systeme - Strategien zur Beseitigung technischer, wirtschaftlicher, planerischer und rechtlicher Hemmnisse



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Anlage 1 Systemsteckbriefe

TU Darmstadt, FB Architektur,
Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen,
Prof. Dipl.-Ing. M.Sc.Econ. Manfred Hegger

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Christoph Drebes M.Sc.
Dipl.-Ing. Caroline Fafflok M.A.
Dipl.-Ing. Michael Keller
Dipl.-Ing Steffen Wurzbacher M.Sc.

Aktenzeichen: II 3-F20-09-1-187 / SWD-10.08.18.7-13.47

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor

FORSCHUNGSINITIATIVE
Zukunft BAU

benefit E - Schlußbericht, Anlage 1: Systemsteckbriefe**Zuwendungsempfänger**

TU Darmstadt, FB Architektur, Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen

Bearbeitung

Prof. Dipl.-Ing. M.Sc.Econ. Manfred Hegger

Dipl.-Ing. Christoph Drebes M.Sc.

Dipl.-Ing. Caroline Fafflok M.A.

Dipl.-Ing. Michael Keller

Dipl.-Ing Steffen Wurzbacher M.Sc.

Studentische Mitarbeiter:

Amelie Breitenbach, Katharina Herzog, Sandra Leipe, Leonie Peters, Christian Wagner

Kontakt

Fachbereich Architektur, Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen

Prof. Manfred Hegger

El-Lissitzky-Straße 1

D-64287 Darmstadt

tel +49 [0]6151 16-2048

fax +49 [0]6151 16-5171

fg@ee.tu-darmstadt.de

drebes@ee.tu-darmstadt.de

www.architektur.tu-darmstadt.de/ee

Aktenzeichen: II 3-F20-09-1-187 / SWD-10.08.18.7-13.47

Vorhabensbezeichnung:

benefit E, Gebäudeintegrierte Solaraktive Systeme - Strategien zur Beseitigung technischer, wirtschaftlicher, planerischer und rechtlicher Hemmnisse

Laufzeit des Vorhabens: 15.12.2013 bis 31.10.2015



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

FORSCHUNGSINITIATIVE
ZukunftBAU



Inhaltsverzeichnis

Einflüsse von Standort, Umgebung & Einbau

Systemschema	6
Effizienzreduzierende Faktoren.....	6
Nutzung	6
Standort	7
Umgebung	7
Einbausituation	7

Photovoltaik (PV)

Systemschema	8
Effizienzreduzierende Faktoren.....	8
Systembeschreibung	8
Entwicklung.....	9
Funktionsprinzip	9
Anwendungssysteme	10
Kenngößen	10

Solarthermie

Systemschema	11
Effizienzreduzierende Faktoren.....	11
Systembeschreibung	11
Entwicklung.....	12
Funktionsprinzip	12
Anwendungssysteme	13
Kenngößen	13

Luftkollektor

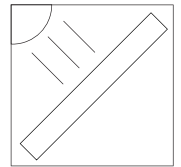
Systemschema	14
Effizienzreduzierende Faktoren.....	14
Systembeschreibung	14
Funktionsprinzip	15
Anwendungssysteme	15
Kenngößen	16

Hybridkollektor (PVT)

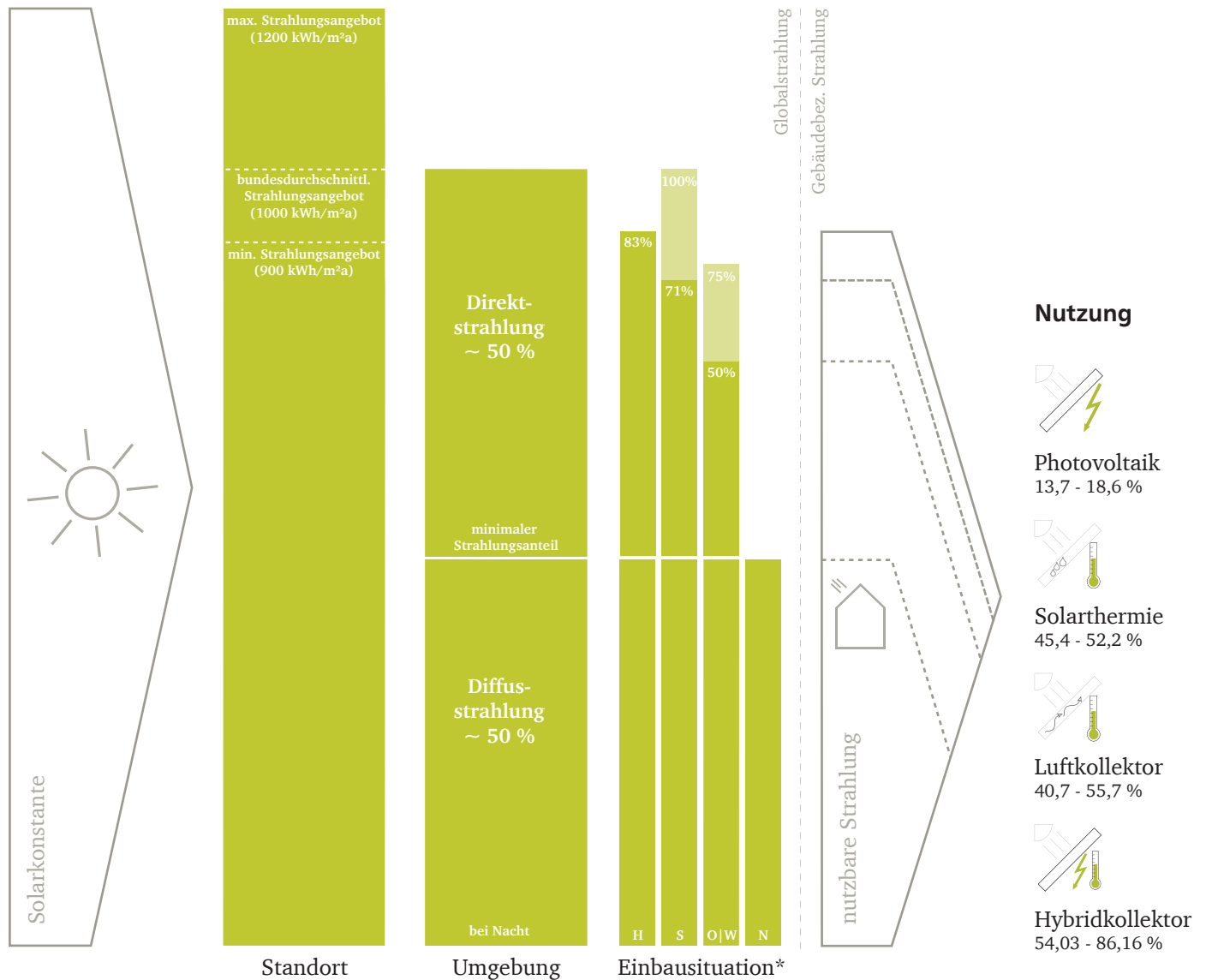
Systemschema	17
Effizienzreduzierende Faktoren.....	17
Systembeschreibung	17
Funktionsprinzip	18
Anwendungssystem	18
Kenngößen	19

Literaturverzeichnis

Einflüsse von Standort, Umgebung & Einbau



Systemschema



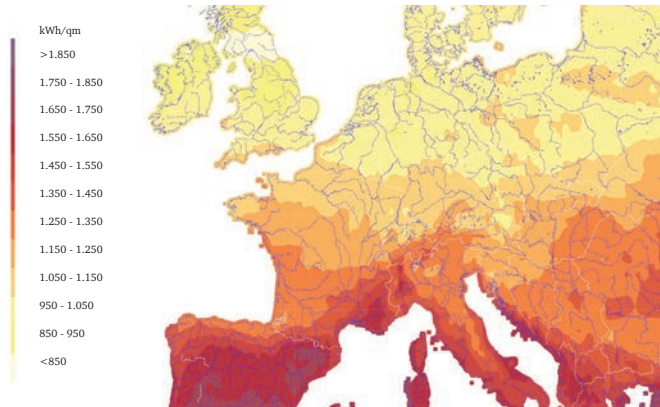
* vgl.: Hegger et al. (2007)

Effizienzreduzierende Faktoren

	Standort	Umgebung	Einbausituation
Beschreibung	Verluste durch Standortbedingungen	Verluste durch Umgebungsbedingungen	Verluste durch die Einbausituation
Faktor	- Regionales Strahlungsangebot	- Vegetation - Gebäudeabstände	- Fassade/Dach - Neigung - Himmelsrichtung
Einflussnehmer	- Bauherr	- Stadtplanung - Architekten	- Stadtplanung - Architekten



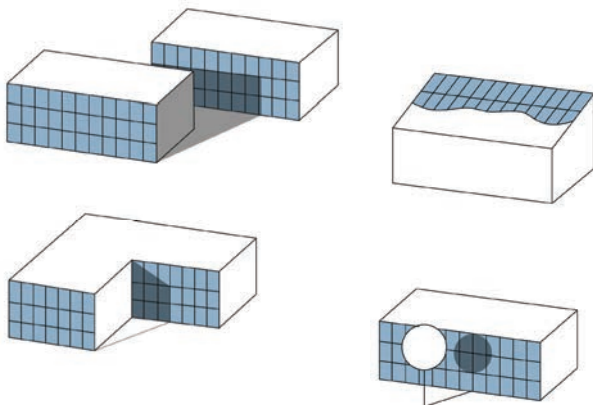
Standort



Quelle:
Darstellung wurde aus dem Programm: Meteonorm
von METEOTEST entnommen

In Deutschland fällt je nach Standort eine jährliche Globalstrahlung von circa 900 und 1300 kWh / qm auf eine horizontale Fläche. Der jeweilige Diffusstrahlungsanteil schwankt dabei bedingt durch wechselnde Wetterbedingungen wie sonnige, trübe oder bewölkte Tage in allen Jahreszeiten. Ganzjährig finden sich sowohl sonnige Tage mit fast ausschließlicher Direktstrahlung und minimaler Diffusstrahlung, über Tage mit gleichem Verhältnis zwischen beiden Strahlungsformen, bis hin zu Tagen mit ausschließlicher Diffusstrahlung. Neben beschriebenen Einflüssen des Standortes wirkt sich auch die umgebende Bebauungsstruktur und Vegetation maßgeblich auf einen potenziellen Solarstrahlungsertrag aus. Diese kann die aktive Energiegewinnung signifikant einschränken, oder sogar unmöglich machen.

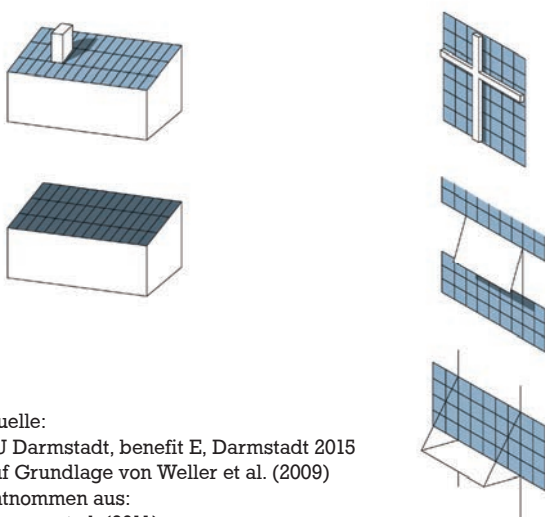
Umgebung



Quelle:
TU Darmstadt, benefit E, Darmstadt 2015
auf Grundlage von Weller et al. (2009)
entnommen aus:
Hegger et al. (2011)

Gebäudehüllflächen sind oftmals mit verschiedenen untergeordneten Bauteilen versehen. Balkone, Erker, Vordächer, Dachüberstände, Brandwandüberstände, Schornsteine, Antennen und weitere Elemente mehr können partielle Teilverschattungen von Hüllflächen verursachen. Je nach System können diese vergleichsweise kleineren Schatten zu einer Reduktion oder einem Totalausfall einer solaren Energieproduktion führen. Photovoltaikanlagen sind hierbei je nach Reihenschaltung besonders sensibel. Hier kann eine relativ geringe Teilverschattung zu einem totalausfall der gesamten Reihe führen. Eine der Verschattung angepasste Verschaltung installierter Module ist hier unbedingt notwendig. Andere Solarsysteme wie Solarthermie oder Luftkollektoren reagieren hier nicht ganz so empfindlich. Bei beiden bleibt die Funktionsfähigkeit erhalten, der Ertrag reduziert sich lediglich um die Höhe der Teilverschattung.

Einbausituation



Quelle:
TU Darmstadt, benefit E, Darmstadt 2015
auf Grundlage von Weller et al. (2009)
entnommen aus:
Hegger et al. (2011)

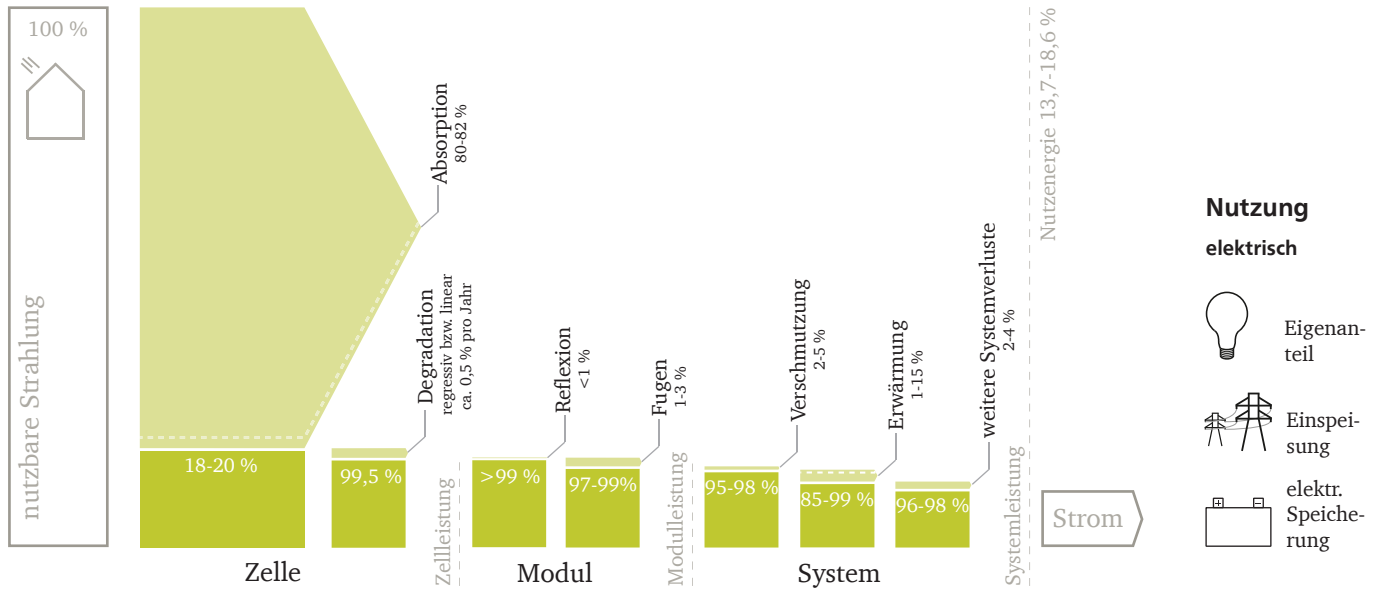
Gebäudehüllflächen sind oftmals mit verschiedenen untergeordneten Bauteilen versehen. Balkone, Erker, Vordächer, Dachüberstände, Brandwandüberstände, Schornsteine, Antennen und weitere Elemente mehr können partielle Teilverschattungen von Hüllflächen verursachen. Je nach System können diese vergleichsweise kleineren Schatten zu einer Reduktion oder einem Totalausfall einer solaren Energieproduktion führen. Photovoltaikanlagen sind hierbei je nach Reihenschaltung besonders sensibel. Hier kann eine relativ geringe Teilverschattung zu einem totalausfall der gesamten Reihe führen. Eine der Verschattung angepasste Verschaltung installierter Module ist hier unbedingt notwendig. Andere Solarsysteme wie Solarthermie oder Luftkollektoren reagieren hier nicht ganz so empfindlich. Bei beiden bleibt die Funktionsfähigkeit erhalten, der Ertrag reduziert sich lediglich um die Höhe der Teilverschattung.



Photovoltaik (PV)



Systemschema



Effizienzreduzierende Faktoren

	Absorption	Degradation	Reflexion	Fugen	Verschmutzung	Erwärmung	Systemverluste
Beschreibung	Verluste durch Transmission	Verluste durch Alterung	Verluste durch Abstrahlung	Verluste durch Fugen	Verluste durch Ablagerung	Verluste durch Erwärmung	Verluste durch das System
Faktor	- Zellwirkungsgrad	- Alter	- Oberflächenbeschaffenheit	- Zellanteil	- Verschmutzungsquellen	- Hinterlüftung	- Verkabelung - Wechselrichter
Verlustanteil	80-82 %	regressiv bzw. linear ca. 0,5 % pro Jahr	<1 %	1-3%	2-5 %	1-15 %	2-4 %
Einflussnehmer	- Hersteller	- Hersteller	- Hersteller	- Hersteller	- Nutzer	- Hersteller	- Hersteller - Solarteuer

Systembeschreibung

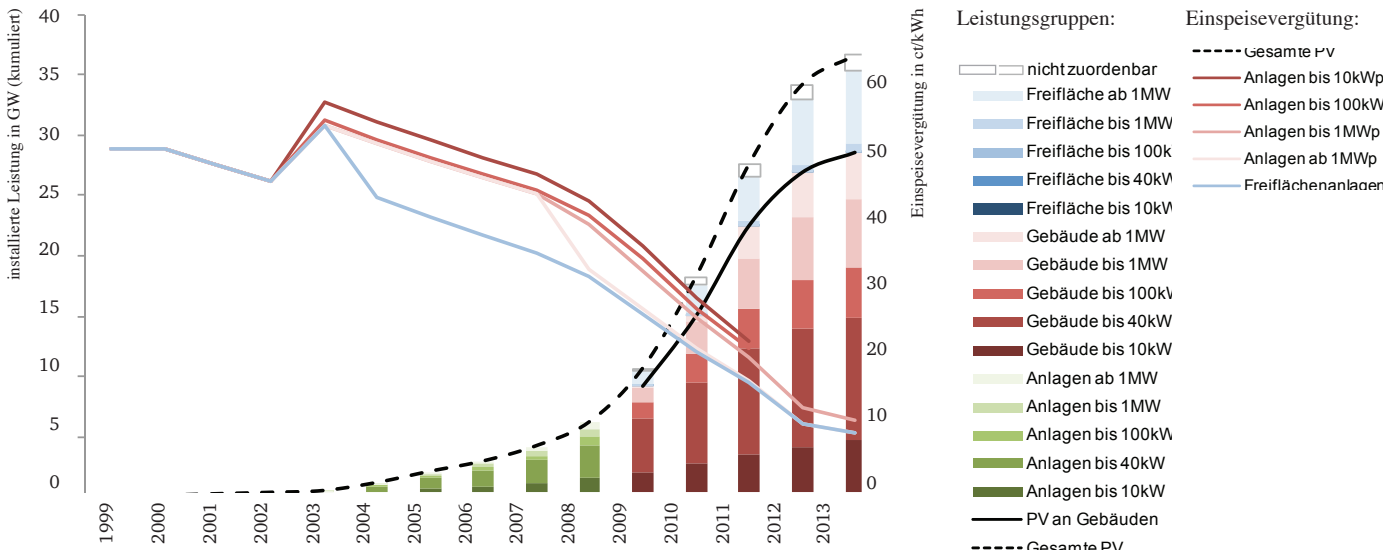
Die Photovoltaik wandelt Strahlungsenergie der Sonne mittels großflächiger Photodioden (auch Solarzellen genannt) in elektrische Energie um. Photovoltaische Systeme gliedern sich in Gruppen kristalliner, Dünnschicht- und organischer Zellen. Je nach verwendetem Zelltypus werden unterschiedliche Wirkungsgrade erreicht. Kristalline Zellen wandeln derzeit 14,0-17,3%, Dünnschichtzellen 9,6-14,2% und organische Zellen bis zu 9,8% der an der Anlage auftretenden Solarstrahlung in Strom um. Form und Farbe verwendeter Halbleitermaterialien wirken sich maßgeblich auf Wirkungsgrade der Zelle aus. Weitere Einflussfaktoren sind geprägt durch den Standort (siehe Einflüsse von Standort, Umgebung und Einbau), Verschmutzung und Reflexion. Daneben können

altersbedingte Effizienzverluste Stromerträge im Laufe der Zeit vermindern.

Der Ertrag an Solarstrom aus Photovoltaik wird zudem wesentlich durch die spezifische Einbausituation und der damit einhergehenden nutzbaren Strahlungsart - diffus oder direkt - sowie dem vorliegenden Einstrahlungswinkel beeinflusst. So sind bei kristallinen und amorphen Zellen unter Schwachlicht erhebliche Einbußen des Wirkungsgrads gegenüber einer direkt besonnenen Modulfläche zu verzeichnen. Im Bereich der kristallinen Zellen sinkt zum Beispiel der mögliche zu erzielende Wirkungsgrad von 14,0-17,3% auf max. zu erzielende 9,8% ab. Organische Zellen hingegen bergen die Möglichkeit einer effizienten Ausnutzung von Schwachlicht. Hier entstehen keine Unterschiede mehr bei der Nutzung von Schwach- und Starklicht.



Entwicklung



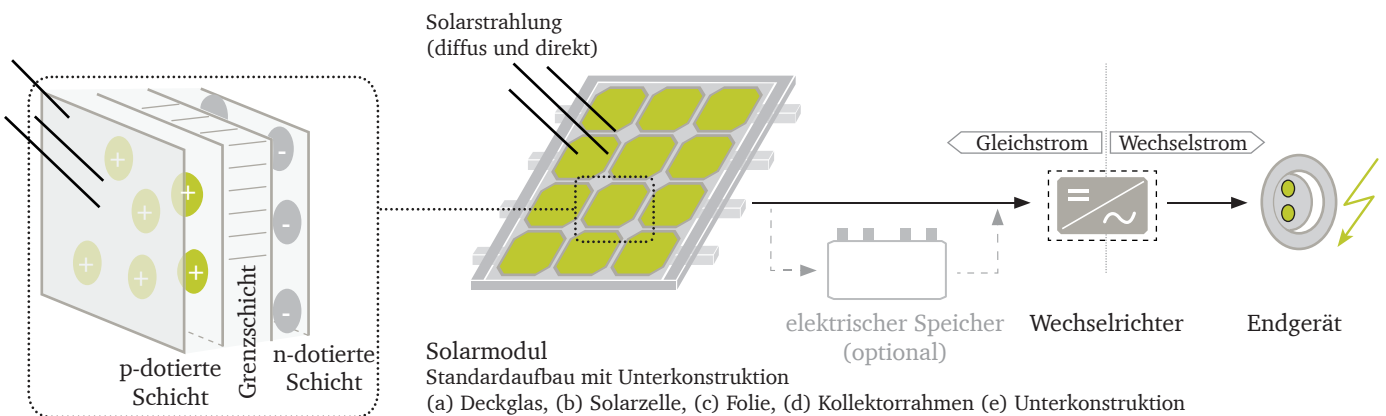
Die ursprünglichen Einsatzgebiete der Photovoltaik entstammen der Raumfahrt und anderen technisch autarken Systemen wie Satelliten oder Wettermessstationen. Seit den 1980er Jahren erfolgt nun die vermehrte Nutzung dieser aktiven Systeme im Gebäudebereich. Eine systematische Verbreitung in Deutschland erfährt die Photovoltaik mit Errichtung einer stattlichen Förderung des Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) ab dem Jahr 2000.

Hierbei werden primär aufgesetzte Module verwendet, welche auf Dach- oder Fassadenflächen montiert werden. In Deutschland werden zudem Anlagen in Freiflächen verwendet. Für diese wird ab 2005 ein eigener Vergütungssatz eingeführt, welcher etwas geringer ausfällt, als gebäudebezogene Vergütungssätze. Zudem werden mit fortschreitendem Ausbau der Photovoltaik Vergütungssätze feingliedriger nach Anlagengrößen unterschieden.

Seitdem wird ein Zuwachs der Stromerzeugung über Photovoltaik von 64 Gigawattstunden (2000) auf 31.000 Gigawattstunden (2013) identifiziert. Dies entspricht etwa einem Anteil von 5,7% des Netto-Stromverbrauchs Deutschlands im Jahr 2013.

Ab dem Jahr 2011 bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist ein starker Rückgang des Zuwachses zu verzeichnen. Dies betrifft vor allem mittlere (ab 100 kWp) bis große (an 1 MWp) Anlagen. Bei Kleinanlagen fällt dieser Rückgang etwas geringer aus.

Funktionsprinzip



Die Stromgewinnung bei photovoltaischen Systemen erfolgt über den Photoeffekt. Hierbei wird die in Photonen des Sonnenlichts enthaltene Energie auf spezifisch behandelte Materialien und deren gebundene Elektronen übertragen. Hierdurch entsteht ein Spannungspotential, welches über einen Stromkreis verwendet werden kann.¹ Der Wechselrichter dient

dazu, den entstandenen Gleichstrom in netzkonformen Wechselstrom umzuwandeln. Man unterscheidet in zentrale und dezentrale Wechselrichter. Zu erst genannter kommt bei einer gleichmäßigen Bestrahlung der Gesamtfläche zum Einsatz. Bei wechselnden Verschattungssituationen werden dezentrale Wechselrichter modular addierbar eingesetzt.²

1 Energie Atlas; Hegger et al.; München, 2007; S. 139

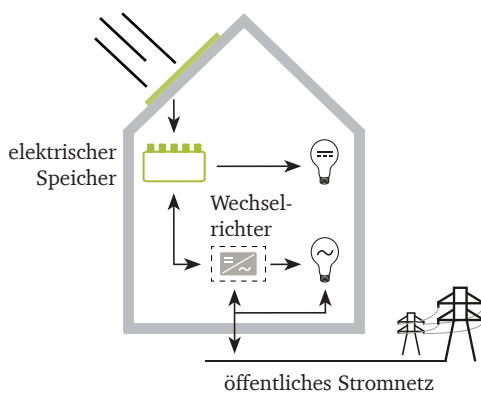
2 Solardesign; Hermannsdörfer, Rüb; Berlin, 2005



Anwendungssysteme

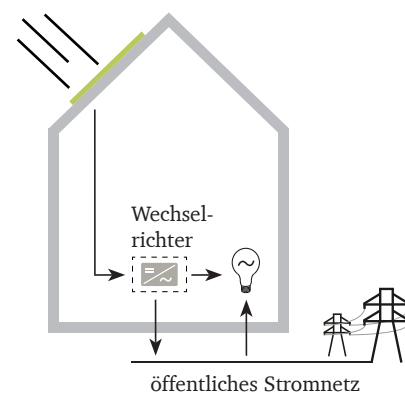
Eigennutzung

Zur Eigennutzung werden so genannte Inselssysteme errichtet. Diese zielen auf eine überwiegende Selbstversorgung ab. Um einen hohen Anteil einer Eigenversorgung zu erzielen, bedarf es entsprechender Speichersysteme (z.B. Akkumulatoren, Batterien, etc.) sowie eines intelligenten Lastmanagements. Systeme zur Eigenversorgung werden in der Regel nicht autark betrieben. Vielmehr verfügen diese über einen Netzanschluss zur Abdeckung von Über- und Unterproduktionen.



Netzeinspeisung

Netzgekoppelte Systeme mit vorwiegender Einspeisung wurden in der Vergangenheit vor allem aus finanziellen Gründen betrieben. Durch die zeitweise hohen Einspeisevergütungssätze bis zum Jahr 2012 war der Verkauf solarproduzierten Stroms finanziell lukrativer, als der Eigenverbrauch. Durch die gesunkene Einspeisevergütung wird die ausschließliche Einspeisung gegenüber der Eigenversorgung wirtschaftlich immer uninteressanter.



Kenngrößen

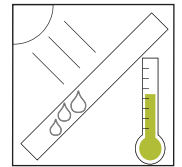
	Wirkungsgrad bei 1000 W/m ² [%]	Wirkungsgrad bei 800 W/m ² [%]	Wirkungsgrad bei 200 W/m ² [%]	Wirkungsgrade im Labor bei 1000 W/m ² [%]	Gewicht pro qm kg	Kosten pro kWp
Monokristalline Zellen	14,0 - 17,3	14,5 - 16,2	9,8 - 12,1	21,4	10,7 - 12,9	822 - 931
Polykristalline Zellen	15,2 - 16,3	13,7 - 15,1	10,6 - 11,4	18,6 - 22,0	10,7 - 11,6	781 - 865
Dünnschicht Zellen	9,6 - 14,2	12,8 - 13,1	9,4 - 11,4	20,4 - 20,9	16,1 - 17,1	466 - 983
Organische Zellen	9,8	9,8	10,8	12,0	k.A.	k.A.

Der Wirkungsgrad ist die wesentliche leistungsbezogene Eigenschaft von Solarzellen. Er ist definiert durch den Anteil der Sonnenstrahlung, welcher durch die Solarzelle in elektrische Leistung umgewandelt werden kann. Ein Anteil der Energie wird bei diesem Prozess in Wärme umgesetzt. Bei kristallinen Zelltypen kann diese Abwärme zudem zu einer Reduktion des Zellwirkungsgrades führen. Dieser Minderertrag kann vermieden werden, indem Wärme abgeführt wird. Dies kann baulich (z.B. Hinterlüftung) oder technisch (z.B. Kühlung) erfolgen. Die charakteristische

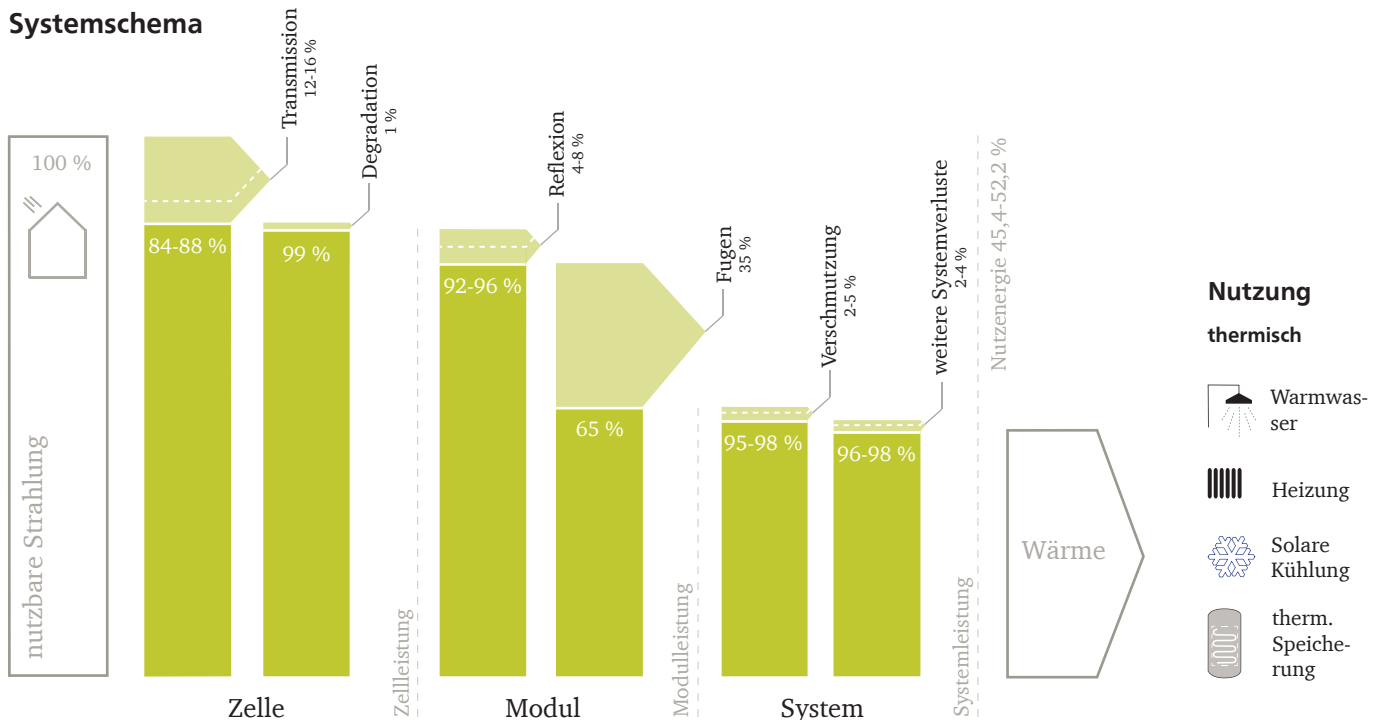
Spitzenleistung für photovoltaische Systeme wird in „Watt peak“ angegeben. Diese Nennleistung gibt das Modul bei senkrechter Sonneneinstrahlung, einer Intensität von 1000 W/m², einem definierten Sonnenspektrum (AM 1,5) und einer Zelltemperatur von 25°C ab. Die Performance Ratio (PR) gibt das Verhältnis zwischen dem realen (gemessenen) und dem idealen (errechneten) Erträgen einer Anlage unter gleichen klimatischen und ortsspezifischen Bedingungen wieder. Effiziente Anlagen weisen dabei eine PR von 85% bis 90% auf.



Solarthermie



Systemschema



Effizienzreduzierende Faktoren

	Transmission	Degradation	Reflexion	Fugen	Verschmutzung	Systemverluste
Beschreibung	Verluste durch Transmission	Verluste durch Alterung	Verluste durch Abstrahlung	Verluste durch Fugen	Verluste durch Ablagerung	Verluste durch das System
Faktor	- Zellwirkungsgrad	- Alter	- Oberflächenbeschaffenheit	- Zellanteil	- Verschmutzungsquellen	- Isolierung - Außentemperatur - Windgeschwindigkeit
Verlustanteil	12-16 %	1 %	4-8 %	35 %	2-5 %	2-4 %
Adressat	- Hersteller	- Hersteller	- Hersteller	- Hersteller	- Nutzer	- Hersteller - Solarteuer

Systembeschreibung

Die Solarthermie wandelt Strahlungsenergie der Sonne über Absorber in Wärmeenergie um. Gängige Typen werden hierbei in Speicher-, Flach- und Vakuumröhrenkollektoren unterschieden. Solarthermie kann im alltäglichen Gebrauch vielseitig genutzt werden. Sie findet Anwendung in der Raumheizung, Warmwasserbereitung, Industrieprozessen, Kühlzwecken, oder aber auch zur Stromerzeugung durch solarthermische Kraftwerke. Eine Unterscheidung erfolgt in solare Schwimmbaderwärmung, solare Trinkwassererwärmung, solare Niedertemperaturerwärmung für Raumheizung, solare Kühlung, solare Prozesswärme, solarthermische Stromerzeugung.

Je nach Subsystem werden verschiedene Absorber verwendet. Diese bestehen aus wärmeabsorbierenden und -leitenden Materialien (z.B. Metall).

Einfache Systeme der ersten Generation weisen hierbei oftmals noch keine Wärmeisolierung des Absorbers auf. Auftreffende Energie geht dabei je nach Außentemperatur hierbei zu großen Teilen wieder verloren. Neuere Systeme verhindern diese Systemverluste durch die Isolierung des Absorbers. Technisch hocheffiziente Systeme wie der Vakuumröhrenkollektor verhindern weitere Verluste durch ein zusätzlich eingebautes Vakuum. Als Wärmeträgermedium wird in der Regel Wasser oder Wasser mit Zusätzen verwendet, welche Korrosion des Systems reduzieren. Der Wirkungsgrad definiert die Menge der eingestrahlt Sonnenenergie auf den Absorber, welche in nutzbare Wärmeleistung umgewandelt werden kann. Einstrahlungswinkel, Umgebungstemperatur, Innentemperatur, Windstärke, sowie die Konstruktion beeinflussen diesen maßgebend.¹

¹ vgl. Hanus (2009)



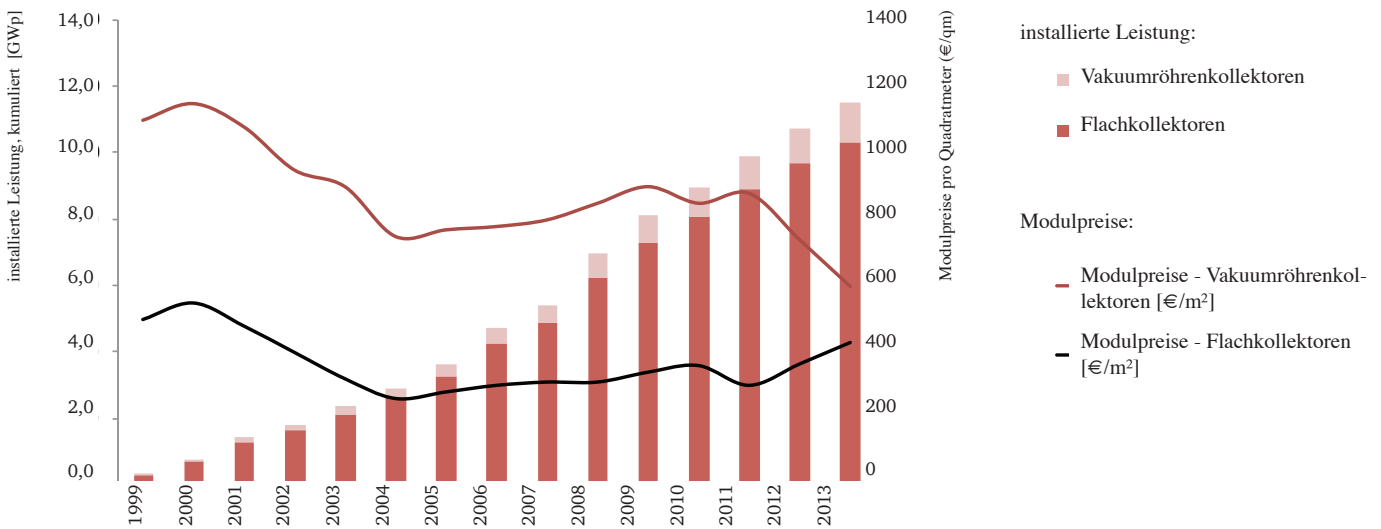
Entwicklung

Die Entwicklung der Solarthermie hat bereits in den 1960er Jahren mit einem aufkommenden Umweltbewusstsein begonnen. Die ersten Anwendungen konzentrierten sich dabei auf die Beheizung von Schwimmbädern und der Trinkwassererwärmung. Die Nutzung solarer Wärme zur Heizungsunterstützung erfolgte erst mit der Verbreitung effizienter Flach- und Vakuumröhrenkollektoren ab dem Jahr 2000.

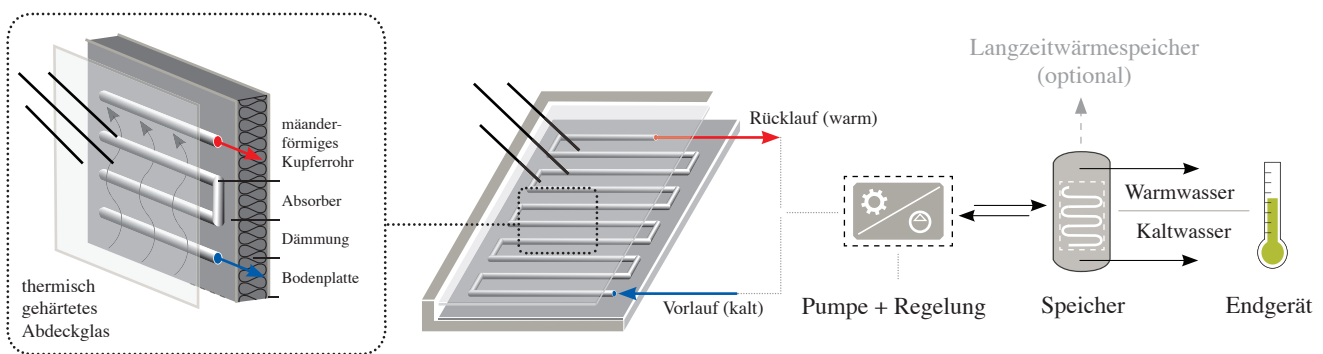
Seit der Förderung Erneuerbarer Energien in Deutschland hat der jährliche Zuwachs an Solarthermieanlagen bis zum Jahr 2008 stetig

zugenommen. Seit der finanziellen Kürzung von Zuschüssen, stagniert die Anzahl an Neuinstallationen pro Jahr. Im Jahr 2013 war in Deutschland eine Leistung von insgesamt 10,3 GW an solarthermischen Anlagen installiert.

Gebäudeintegrierte Systeme wurden bereits realisiert haben jedoch noch Entwicklungsbedarf. Die meisten Anlagen sind entsprechend „additiv“ verbaut. Eine Herausforderung bei der Solarthermie stellt vor allem die Führung und Durchdringung von Leitungen im Zusammenhang mit der Gebäudehülle dar.



Funktionsprinzip



Die Solarthermie nutzt den Prozess der Absorption von Solarstrahlung durch ein Medium um Nutzwärme zu generieren. Dies erfolgt durch die Umwandlung kurzwelliger Solar- in langwellige Wärmestrahlung. Die Effektivität des Systems ist abhängig von der Absorptionsfähigkeit des Materials. Je stärker ein Medium das eintreffende Licht absorbiert, desto stärker der Effekt. Materialien mit minimalen Reflexionen und Transmissionen tragen ebenfalls zu höheren Erträgen bei. Deshalb erweisen sich dunkle Materialien als geeigneter. Ziel ist es die Wärme mittels der Wärmeleitung an das Trägermedium zu übertragen und die Konvektionen bei diesem Prozess möglichst gering zu halten. Eine Dämmung an der sonnenabgewandten Seite reduziert diese Konvektionen.

In Vakuumröhrenkollektoren sind die Verluste durch Strahlung bereits durch ihre spezifische Konstruktion reduziert. Das Trägermedium der gewonnenen Wärme kann in Luft-, Gas- oder flüssiger Form vorliegen. Neben dem Kollektor und dazugehörigem Absorber bedarf es einer Pumpe, eines Speichers und einer abgestimmten Regelung. Je nach System und erwünschter Nutzung, wie beispielsweise Trinkwassererwärmung, Heizungsunterstützung oder Einspeisung ins Fernwärmenetz sind diese unterschiedlich ausgebildet. Prinzipiell gelangt das erwärmte Medium über die Pumpe mit Regelung in den Speicher, von welchem aus es nach Bedarf verwendet werden kann.¹

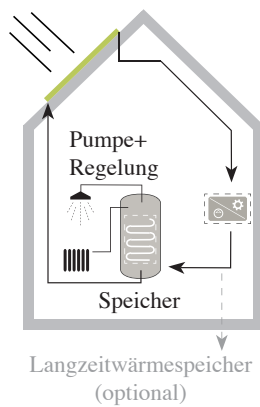
1 Quaschnig (2011 S.90)

Anwendungssysteme

Zweikreisssysteme

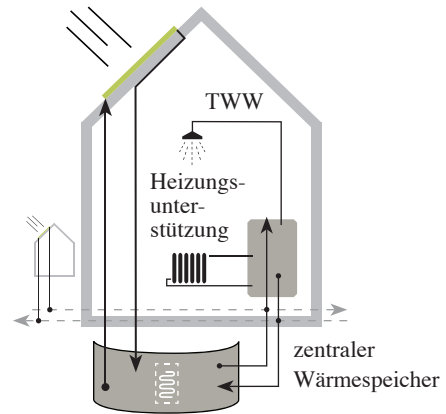
Die gängigste Technik für Ein- und Zweifamilienhäuser sind derzeit Zweikreisssysteme. Dabei gibt es neben dem Heizungskreislauf einen Solarkreislauf. Dieser transportiert die gewonnene Wärme mittels eines frostsicheren Mediums in einen Speicher.¹ Das System wird durch die Regelung so gesteuert, dass eine Pumpe aktiviert ist, sobald die Temperatur im Kollektor um einige Grad im Vergleich zum vorherrschenden Temperaturniveau im unteren Bereich des Speichers erhöht ist.

1 Witzel; Seifried (2004 S.26)

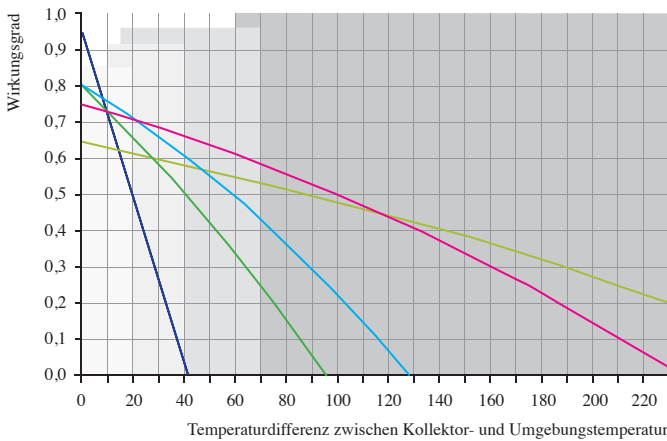


Nahwärmeversorgung

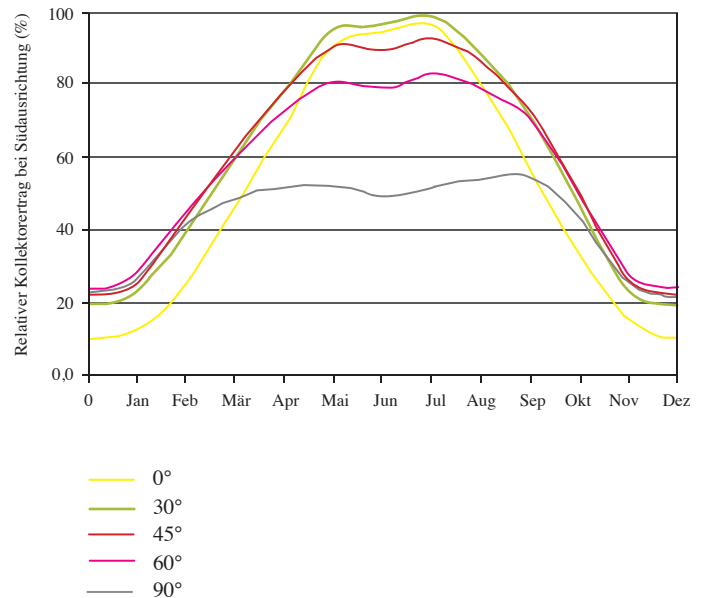
Alternativ zu einer dezentralen Nutzung, lassen sich solarthermische Systeme auch in zentrale Nahwärmenetze einbinden. Als „Erntefläche“ kann eine große zentrale Anlage oder mehrere vereinzelt Anlagen dienen. Die Speicherung der Wärme erfolgt hierbei in der Regel mit einem großen zentralen Wärmespeicher. Dieser minimiert Verluste auf Grund seines großen Volumens und kann somit die Wärme über einen längeren Zeitraum halten. Neue Ansätze basieren auf der Einspeisung von Wärme aus dezentralen Solarthermieanlagen in Niedertemperatur- oder kalten Nahwärmenetzen.



Kenngrößen



- 0-20K Schwimmbadwassererwärmung Röhrenkollektoren
- 10-40 K Luftherwärmung
- 15-70 K Warmwasser und Raumheizung
- >60 K Prozesswärmeerzeugung
- Absorber
- Luftkollektor
- Flachkollektor
- Vakuumröhrenk.
- CPC-VRK

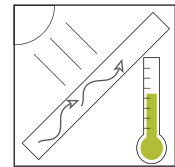


Der Kollektorstufige Wirkungsgrad errechnet sich aus dem Quotient aus dem vom Wärmeträgermedium abgeführten Wärmestrom zu der auf den Kollektor eingestrahlt Globalstrahlung. Dieser Wert ist kein feste technische Größe, sondern wird durch die Intensität der Sonne, dem Einstrahlungswinkel, der Umgebungstemperatur, der Innentemperatur des Kollektors und der Windstärke beeinflusst. Des Weiteren trägt die Konstruktion des Kollektors maßgebend zur Höhe des Ertrags bei. Bei einem einfachen Schwimmbadkollektor beträgt der Wirkungsgrad

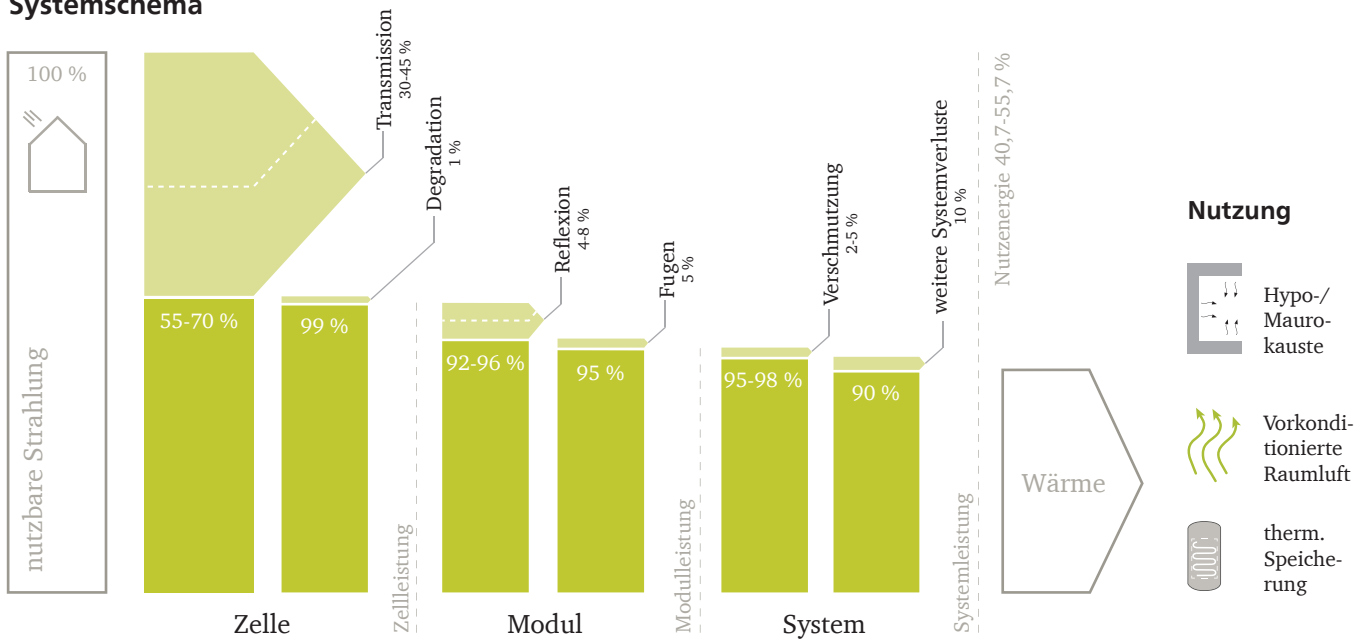
zwischen 30% - 40 %, typische Betriebstemperaturen liegen bei 30-40°. Der Flachkollektor wandelt ca. 65-70% der eingestrahlt Energie in Nutzwärme um, welche schließlich zur Trinkwassererwärmung, Heizung oder solaren Kühlung genutzt werden kann. Die vorherrschenden Betriebstemperaturen liegen bei ca. 60-90°. Vakuumröhrenkollektoren arbeiten am effektivsten mit einem Wirkungsgrad von 80-85%. Zum Einsatz kommen sie zur Trinkwassererwärmung, Heizung, solaren Kühlung und Prozesswärme. Die Betriebstemperaturen liegen zwischen 70-130°.



Luftkollektor



Systemschema



Effizienzreduzierende Faktoren

	Transmission	Degradation	Reflexion	Fugen	Verschmutzung	System
Beschreibung	Verluste durch Transmission	Verluste durch Alterung	Verluste durch Abstrahlung	Verluste durch Fugen	Verluste durch Ablagerung	Verluste durch das System
Faktor	- Wirkungsgrad	- Alter	- Oberflächenbeschaffenheit	- Zellanteil	- Verschmutzungsquellen	- Isolierung
Verlustanteil	30-45 %	1 %	4-8 %	5 %	2-5 %	10 %
Adressat	- Hersteller	- Hersteller	- Hersteller	- Hersteller	- Nutzer	- Hersteller

Systembeschreibung

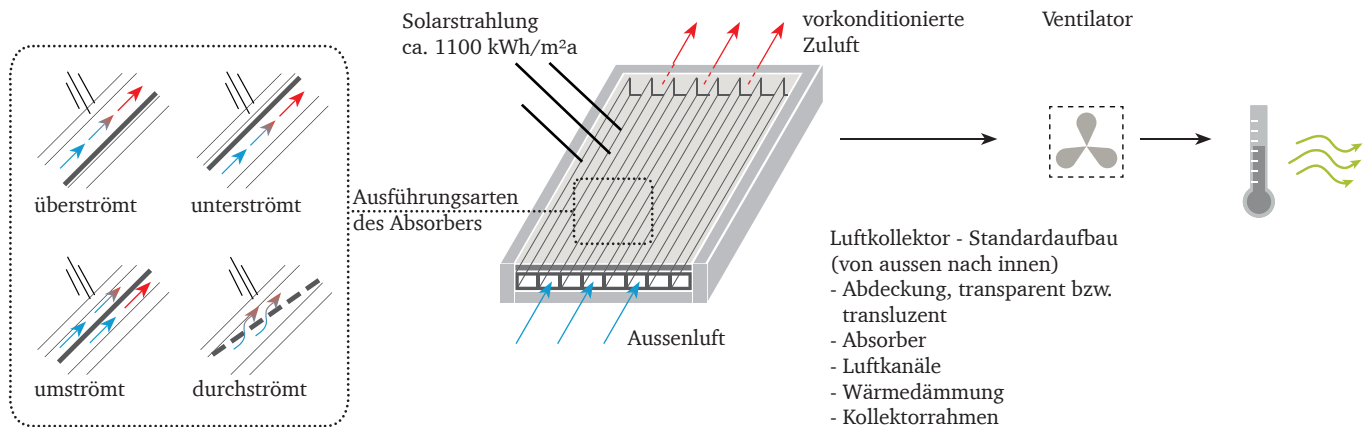
Ein Luftkollektor ist im weiteren Sinne eine Solarthermieanlage. Im Unterschied zu typischen Solarkollektoren wird hier nicht als Transportmedium eine Flüssigkeit, sondern Luft verwendet. Absorbierte Luft kann bei diesem System entweder direkt zur Lufterwärmung des Raumes oder indirekt zur Wärmebereitstellung über eine Wärmepumpe verwendet werden. Luftkollektoren finden in der Architektur sowohl integriert als auch als Modul Anwendung. Industriell gefertigte Module beinhalten meist zusätzlich ein Photovoltaikmodul, um den benötigten Hilfsstrom des Ventilator zu erzeugen. Die Einbindung von Luftkollektoren findet in den wenigen umgesetzten Projekten bisher primär Anwendung in den im Tagesverlauf stark besonnten Fassadenflächen im Südosten bis Südwesten. Auf Grund der im Vergleich zu anderen thermischen Systemen geringeren Energieausbeute ist eine möglichst optimal zur Sonne ausgerichtete Einbindung unter Nutzung der Direktstrahlung notwendig. Zur Anwendung kommen Luftkollektoren oft in Gebäuden

mit hohem Frischluftbedarf. Die Kombination aus Belüftung und Beheizung bei stetigem Luftwechsel ist insbesondere für temporäre Nutzungen von Vorteil. Über die konditionierte Frischluft können zügig behagliche Innenraumtemperaturen erreicht werden. Die Nutzung des Mediums Luft bietet Vorteile gegenüber wasserbasierten Systemen. Bei Undichtigkeiten in der Leitungsführung ist die Gefahr von Bauschäden deutlich geringer. Darüber hinaus sind keine weiteren Maßnahmen zum Frost- noch Überhitzungsschutz notwendig. Leitungen sind im Vergleich zu fluidgeführten Systemen weniger korrosionsanfällig. Die spezifische Wärmekapazität von Luft ist jedoch vergleichsweise gering, was zu deutlich größeren Leitungsquerschnitten führt. Luftkollektoren machen daher 2009 lediglich 0,05%¹ der in Deutschland installierten Kollektorflächen aus. Sie bedienen derzeit eine Marktnische und dienen überwiegend als Ergänzung zu konventionellen Wärmeversorgungsanlagen.

¹ vgl. Banse (2010)



Funktionsprinzip



Das Grundprinzip des Luftkollektors basiert auf der Luftführung durch ein Kanalsystem. Dieses wird durch auftreffende Direktstrahlung erwärmt. Eingebaute Ventilatoren sorgen für eine gleichmäßige Durchströmung des Systems und Abtransport gewonnener Wärme.

An der Ansaugstelle befindet sich üblicherweise ein Filter, der die zugeführte Aussenluft von Schwebstoffen reinigt und ein Verschmutzen des Kanalsystems unterbindet. Durch eine optimale Ausrichtung des Systems zur Sonne wird ein maximaler Wärmeertrag erzielt. Die Wärmeübertragung zwischen Luft und Absorber innerhalb des Kollektors erfolgt durch Über-,

Unter-, Um- oder Durchströmung der Absorberfläche. Dabei werden die Absorber aus feuerverzinktem Stahlblech oder Aluminium ausgebildet. Zur Erhöhung der Effizienz ist dieser meist zusätzlich beschichtet.

Ziel ist es eine möglichst hohe Übertragungsrate (Absorptionsgrad) der eingestrahnten Sonnenenergie auf die vorbeistreifende Luft bei möglichst geringer Abstrahlung der Wärme (Emissionsgrad) zu erreichen. Durch Perforierung oder Ausbildung von Rippen am Absorber wird die wärmeübertragende Fläche maximiert. Strömt die Luft auf der Abdeckung zugewandten Seite vorbei (Überströmung) sind konvektive Wärmeverluste zu erwarten.

Anwendungssysteme

Für den Einsatz des Luftkollektors gibt es im mitteleuropäischen Klima zwei grundlegende Anwendungsprinzipien. Das erste System arbeitet mit einem herkömmlichen wasserbasierten Heizsystem. Als Wärmequelle fungiert der Luftkollektor in Kombination mit einer Wärmepumpe. Je nach Ertrag des Kollektors kann die gewonnene Wärme entweder direkt in einen Pufferspeicher gespeist werden, oder sie wird mit einer

Wärmepumpe auf das notwendige Niveau gehoben. Das zweite System verwendet vorkonditionierte Luft des Luftkollektors zur Raumlüftung. Die Eintragung erfolgt hierbei entweder direkt über eine mechanische Lüftungsanlage oder über ein Muro- oder Hypokaustensystem (Wärmeübertrag erfolgt über Bauteiltemperierung).

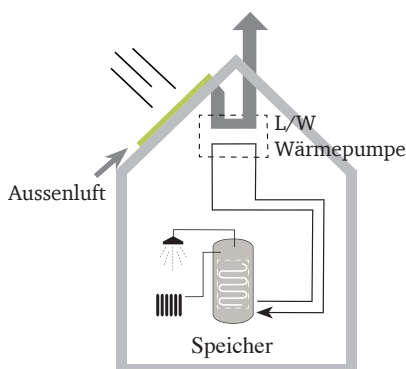


Abb. 2: Luftkollektor zur Warmwasser- und Heizwärmebereitstellung

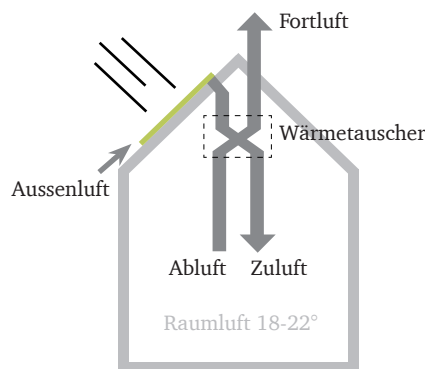


Abb. 3: Luftkollektor zur Vorkonditionierung der Raumluft

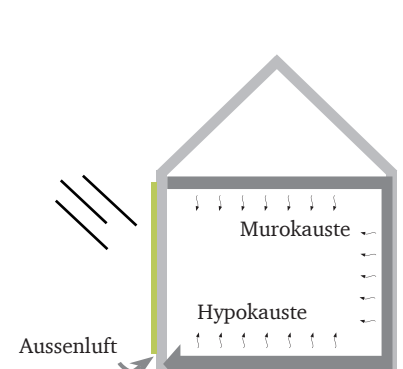


Abb. 4: Luftkollektor als solare Raumheizung



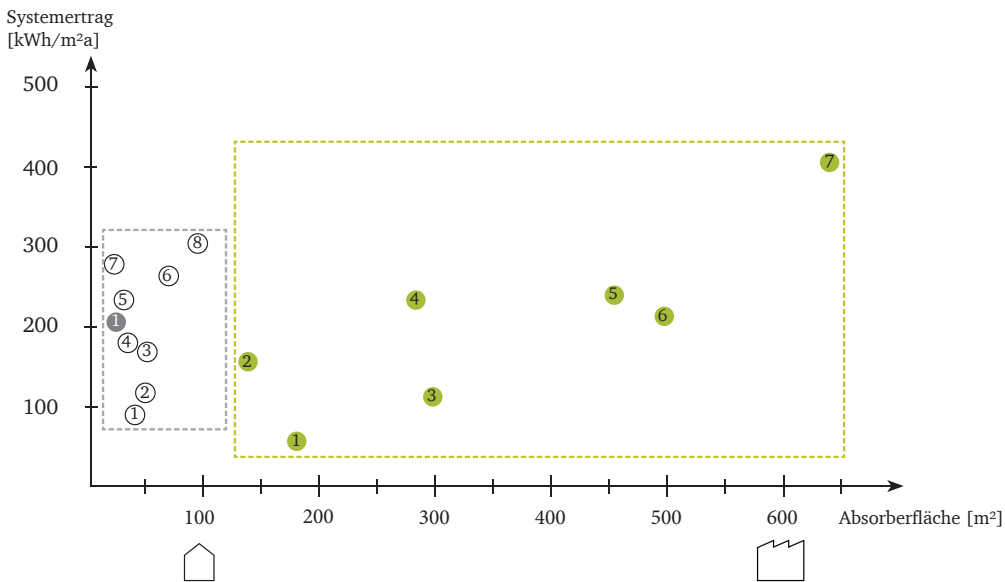
Kenngrößen

Luftkollektor		Kollektorfläche	Absorptionsgrad	mittlere Temperaturerhöhung	Systemdruckverlust	Ventilatorleistung	Kollektorwirkungsgrad	Wärmeertrag (anlagenbezogen)	Volumenstrom (anlagenbezogen)	Wärmeleistung (anlagenbezogen)	Wärmeertrag pro m ²	Luftleistung pro m ²	Kosten pro erzeugter kWh	Erstellungskosten pro m ²
		[m ²]	[%]	[°C]	[Pa]	[W]	[%]	[MWh/a]	[m ³]	[W]	[kWh/a]	[m ³ /h]	[/ kWh]	[]
modularer Standardkollektor	abgedeckter Kollektor ¹	3-75	k.A.	15 - 40	~150	5-115	33-59	5-19	500-3.600	700 -7500	250-260	25-380	~0,11	180-450
Ortsbaukollektor	abgedeckter Kollektor ²	30-60	k.A.	40-120	80-250	115-300	k.A.	4-11	1.400 - 2.000	275 - 480	95-210	25-62	0,13-0,50	95-400
	Fensterkollektor ³	~25	k.A.	~170	~250	k.A.	k.A.	~5,3	~1.600	~385	~200	~62	~0,09	200
	nicht abgedeckter Kollektor ⁴	150-700	~93	4 - 40	~120	~120	>70	12 - 300	1.500-60.000	1.500-60.000	60-400	7,5-18	k.A.	k.A.

Die technologischen Kenngrößen der Luftkollektoren beziehen sich auf die Wärme und den Volumenstrom der Luft. Die obestehende Tabelle zeigt typische Werte für modulare Standard- und für Ortsbaukollektoren. Werte zu Ortsbaukollektoren wurden aus Angaben realer Projekte aus der Veröffentlichung „Solare Luftheizsysteme“¹ entnommen. Eine Verallgemeinerung hierbei ist jedoch nur bedingt möglich. Für Angaben zu Kenngrößen von Standardmodulen wurden Hersteller abgefragt. Beim Absorptionsgrad handelt es sich um die Kenngröße,

die den Absorber im Kanalsystem beschreibt. Dieser variiert je nach Materialbeschaffenheit. Die mittlere Temperaturerhöhung und der Systemdruckverlust beschreiben die Veränderung nach Durchgang durch die Kanäle. Die für den Ventilator benötigte Energie wird in den modularen Kollektoren meist durch Photovoltaikzellen gewonnen. Weitere Kenngrößen bezüglich der erzeugten Wärme ist der jährliche Wärmeertrag, die Wärmeleistung pro Quadratmeter und der flächenbezogene Wärmeertrag. Die Luftströmung im Kanalsystem des Kollektors wird mit dem Volumenstrom und der Luftleistung beschrieben.

1 Filleux (2005)



- abgedeckte Luftkollektoren¹
- ① EFH Horw
- ② MFH Winterthur
- ③ EFH Braunwald
- ④ Doppel-EFH Herisau
- ⑤ EFH Degersheim
- ⑥ Sanierung Friedland
- ⑦ EFH Dotzler
- ⑧ Gründerzentrum Hamm²
- offene Luftkollektoren³
- ① Metallbau Eisenach
- ② Rathaus Erlangen
- ③ Firma Bidell Eningen
- ④ Sporthalle Haag
- ⑤ Firma Wasag Zürich, Aarau
- ⑥ Schaumstoffwerke Duderstadt
- ⑦ Lackiererei Geraer Verkehrs betriebe⁴
- Fensterkollektoren⁴
- ① Solarhäuser Maissen

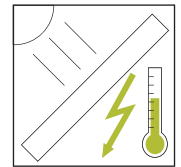
1 vgl.: Charles Filleux 2005
 2 vgl.: Hausladen 2001
 3 Referenzen der Firma Seidemann Solar GmbH
 4 vgl.: Charles Filleux 2005

In ihrer Bauweise unterscheidet man zwischen Fensterkollektoren, abgedeckten und nicht abgedeckten Luftkollektoren. Nicht abgedeckte Kollektoren werden meist großflächig als Teil der Fassadengestaltung eingesetzt. Die Grafik zeigt, dass abgedeckte Luftkollektoren in einer begrenzteren Maßstäblichkeit zum Einsatz

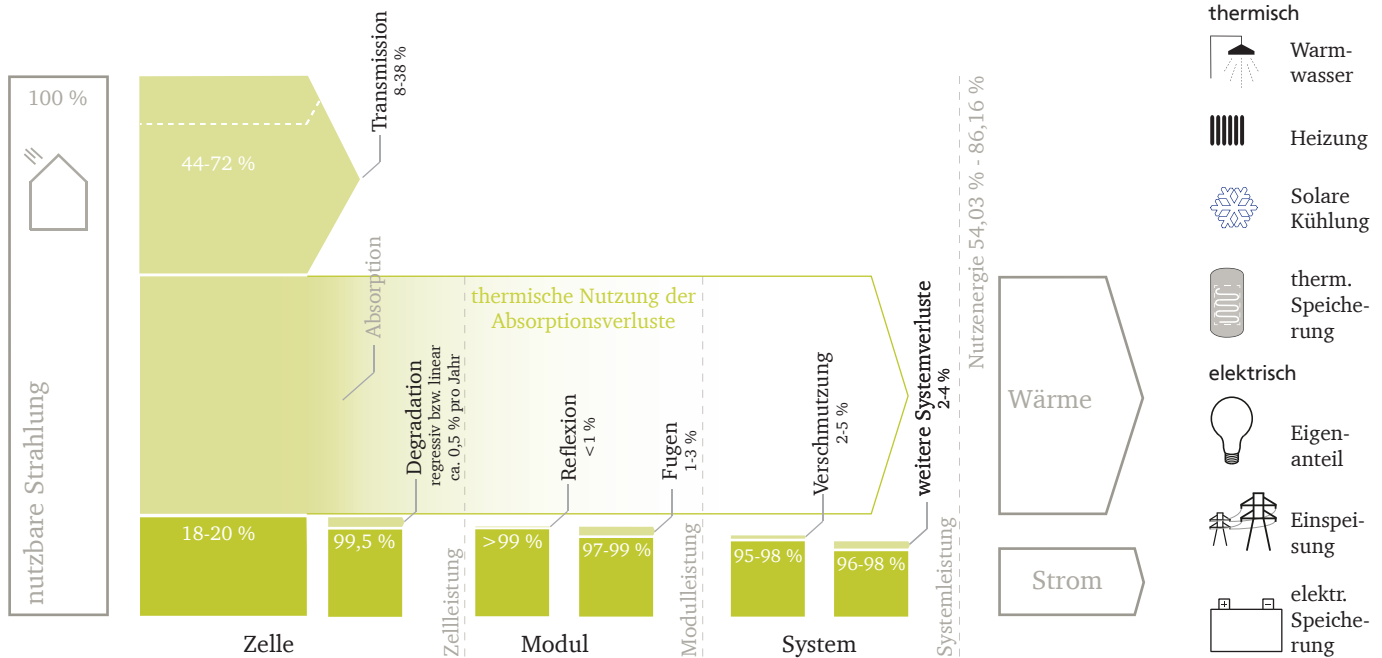
kommen. Bezogen auf die Nutzungen ist ein typisches Einsatzgebiet dieser Kollektoren der Wohnungsbau. Großflächige Kollektoranlagen sind in Sporthallen und der Industrie, insbesondere in Hallenbauten sinnvoll, wo der Frischluftbedarf und damit die Luftwechselrate hoch ist.



Hybridkollektor (PVT)



Systemschema



Nutzung

thermisch

- Warmwasser
- Heizung
- Solare Kühlung
- therm. Speicherung

elektrisch

- Eigenanteil
- Einspeisung
- elektr. Speicherung

Effizienzreduzierende Faktoren

	Absorption	Degradation	Reflexion	Fugen	Verschmutzung	Systemverluste
Beschreibung	Verluste durch Transmission	Verluste durch Alterung	Verluste durch Abstrahlung	Verluste durch Fugen	Verluste durch Ablagerung	Verluste durch das System
Faktor	- Zellwirkungsgrad	- Alter	- Oberflächenbeschaffenheit	- Zellanteil	- Verschmutzungsquellen	- Verkabelung - Wechselrichter - Isolierung
Verlustanteil	80-82 %	regressiv bzw. linear ca. 0,5 % pro Jahr	<1 %	1-3%	2-5 %	2-4 %
Einflussnehmer	- Hersteller	- Hersteller	- Hersteller	- Hersteller	- Nutzer	- Hersteller - Solarteur

Systembeschreibung

Hybridkollektoren (PVT) sind eine Kombination aus Photovoltaik und Solarthermie, beziehungsweise Luftkollektoren. Das Kombisystem erzeugt somit Wärme und Strom. Die Doppelnutzung wird vor allem zur Leistungssteigerung der Photovoltaik angewendet. Während Photovoltaikanlagen ihren höchsten Ertrag bei niedrigen Temperaturen erreichen, sind solarthermische Anlagen bei hohen Temperaturen besonders ertragreich. Hybridkollektoren gibt es modular sowohl abgedeckt als auch unabgedeckt. In ihrer einfachsten Form sind die Photovoltaikzellen direkt auf den Absorber verklebt oder laminiert. Eingesetzt werden die PVT-Anlagen in Gebäuden mit einem ganzjährig hohen Wärmebedarf. Dies ist bei größeren Wohnanlagen, Hotels, Heimen, Krankenhäusern, Schwimmbädern oder bei Erzeugung von Prozesswärme der Fall. Wird

die im Kollektor erzeugte Wärme nicht abgeführt, kann es je nach Einbausituation zu erheblichen Einbußen bei Strombereitstellung der Photovoltaik kommen. Pro Kelvin ist mit einem Leistungsverlust von 0,4 bis 0,5 %¹ zu rechnen. Diese durch Modulerwärmung verursachten Verluste können durch eine aktive Wärmeabfuhr gemindert werden. Bei Schneefall wiederum kann das Modul beheizt werden, sodass die Photovoltaik frei von Schnee bleibt. Der Vorteil der Hybridkollektoren liegt darin, dass eine Flächenkonkurrenz zwischen den strom- und den wärmeerzeugenden Solarsystemen vermieden wird. Somit wird der Flächenenergieertrag durch die PVT-Systeme gesteigert. Gleichzeitig ermöglicht das hybride System ein einheitliches Erscheinungsbild.

1 Hirn (2012)



Funktionsprinzip

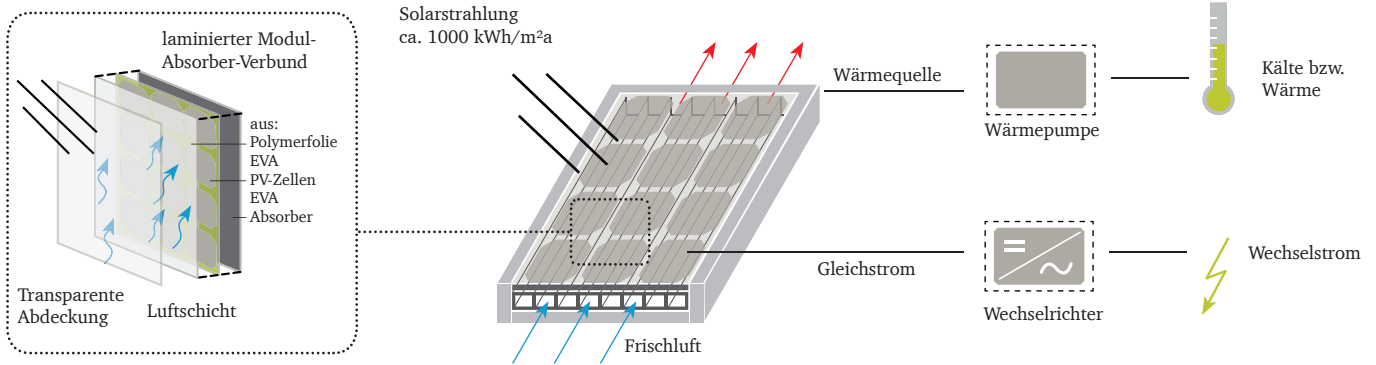


Abb. 7: Funktionsweise eines PVT (luftgeführt)

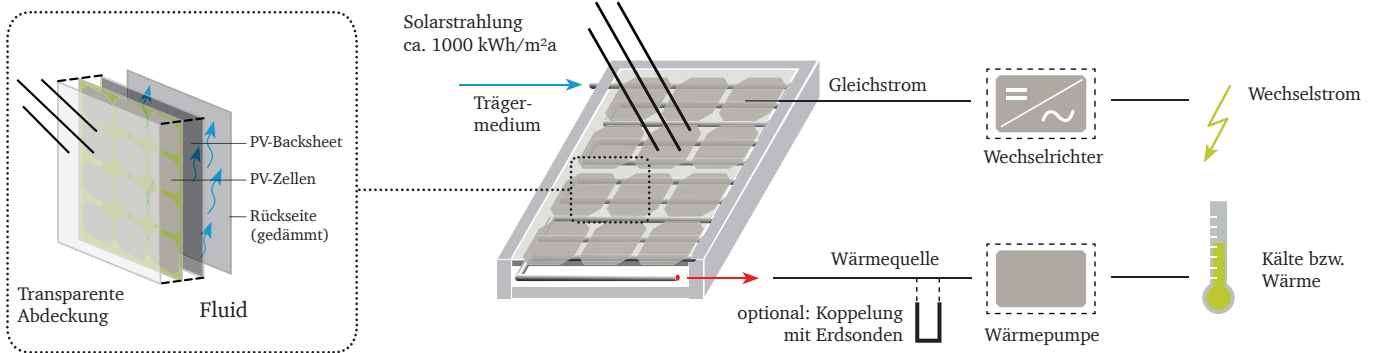


Abb. 8: Funktionsweise eines PVT (solegeführt)

Je höher die Temperatur einer Solarzelle ist, desto geringer wird deren Wirkungsgrad. Grundsätzlich kann die Photovoltaik sowohl mit Solarthermie als auch mit einem Luftkollektor kombiniert werden. Sowohl eine Hinterlüftung, als auch die Hinterströmung durch ein Fluid trägt zur Abkühlung der PV-Zellen und den Erhalt höherer Zellwirkungsgrade bei. Die im Kollektor erzeugte Wärme dient dem solegeführten und dem luftgeführten Hybrid als Quelle für Umweltwärme zum Betrieb einer Wärmepumpe. Der mithilfe der Photovoltaikzellen gewonnene Gleichstrom wird mittels eines Wechselrichters in Wechselstrom umgewandelt.

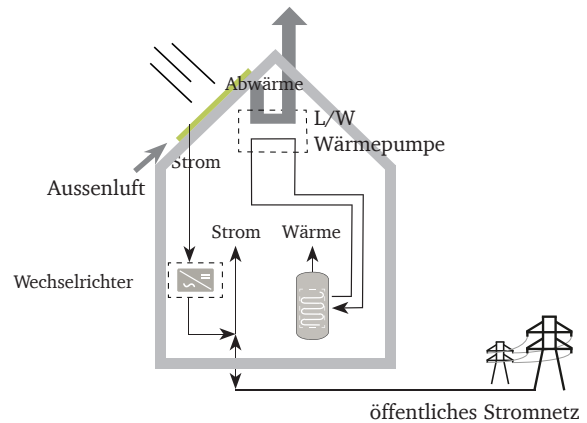


Abb. 5: PVT (luftgeführt) mit L/W-Wärmepumpe

Anwendungssystem

Je nach Art der Wärmeabfuhr (Luft oder Wasser) werden in der weiteren Verwendung jeweils unterschiedliche Technikkonzepte verfolgt. Bei PVT- Luftkollektoren bietet sich die Verwendung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe in Kombination mit einem Pufferspeicher an.

Bei PVT-Solarthermie Systemen bietet es sich an gewonnene Wärme direkt in einen Speicher, bzw. indirekt über eine W/W Wärmepumpe zu nutzen. Optional kann diese Systemvariante auch mit Erdsonden gekoppelt werden. Nicht benötigte Wärme (Sommer) kann in diesem Fall zur Regeneration der Erdsonden (Nutzung im Winter) verwendet werden.

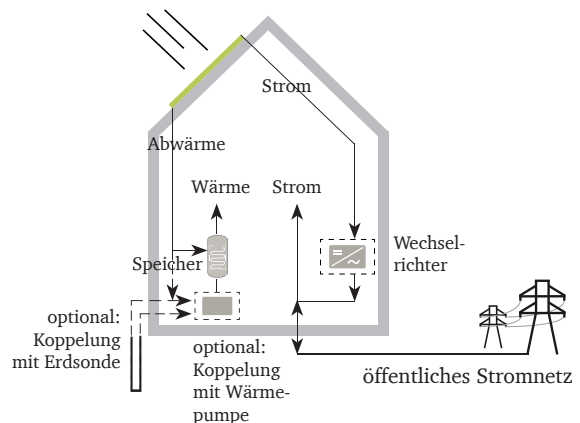


Abb. 6: PVT (solegeführt) mit Pufferspeicher oder Wärmepumpe

Kenngrößen

	Allgemein			Elektrisch				Thermisch				
	Fläche	Gewicht	Anzahl Zellen	Zellwirkungsgrad max (Labor)	Modulwirkungsgrad (STC)	Nennleistung	Temperaturkoeffizient	(Nenn-) Leistung bei TO	Wirkungsgrad	Stillstandstemperatur	Betriebstemperatur	Fluid/Kollektor
	[m ²]	[kg]		[%]	[%]	[Wp]	[Wp]	[W]	[%]	[°C]	[%]	[%]
monokristallin	1,3-1,64	29-40	48-72	18,4	11,5-17,5	170-280	-0,46-007	460-916	58-71	75-80	-20-75	0,75-3,88
polykristallin	1,3-1,84	27-40	48-72	17,4	14,5-15,3	190-300	-0,48-0,065	888-930	58-71	75-83	-125	0,80-3,88

Kenngrößen von Hybridanlagen kennzeichnen elektrische und thermische Verhaltensweisen. Im elektrischen Bereich beschreiben die genannten Kenngrößen Eigenschaften eingesetzter Photovoltaikzellen. Bei fertigen Modulen kommen lediglich mono- und polykristalline Zellen zum Einsatz. Typische Kenngrößen beziehen sich auf Zell- und Modulwirkungsgrad, Nennleistung und Temperaturkoeffizient. Die thermischen Werte

beschreiben Nennleistung, Wirkungsgrad, Stillstands- und Betriebstemperatur der Kollektoren. Bei den wärmeabführenden Kollektoren unterscheidet man zwischen Solarthermie und Luftkollektoren. Allerdings sind derzeit keine industriell gefertigten Module auf Luftbasis am Markt erhältlich. Hybridkollektoren mit Luftkollektoren sind in Pilotprojekten oder im Ortsbau im Einsatz.

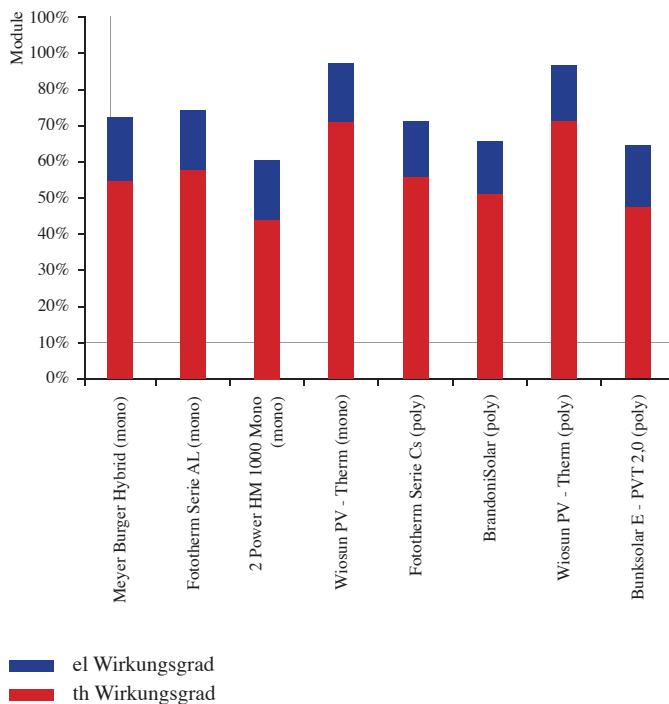


Abb. 9: Vergleich installierter Module

Das System des Hybridkollektors ist vergleichsweise neu. Erhältlich sind verschiedene Ausführungen von luft- oder solegeführten Kollektoren. Daneben werden bisher Anlagen oftmals „baulich“ vor Ort entwickelt. Das bedeutet, die Nutzung der Abwärme von Photovoltaikanlagen wird architektonisch (z.B. Doppelfassade) oder haustechnisch (z.B. Kombination

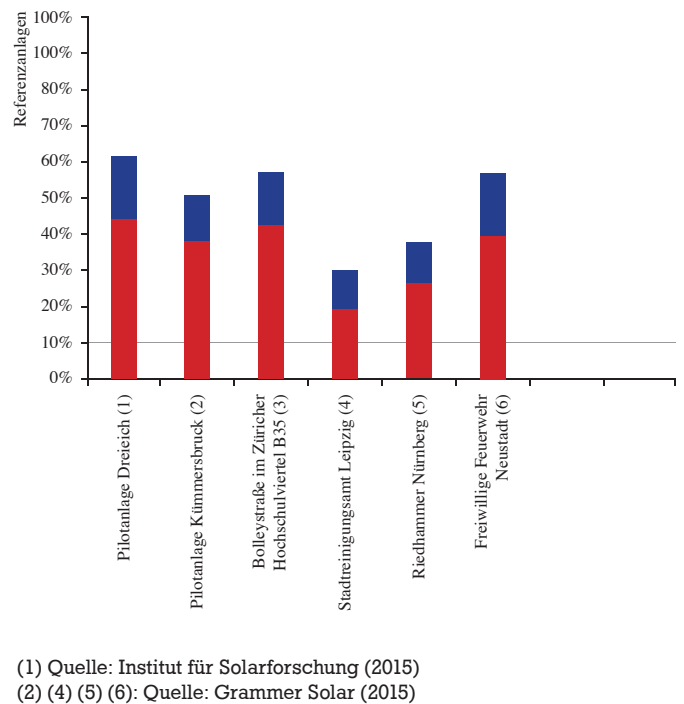


Abb. 10: Vergleich von Referenzanlagen

wassergeführter Absorber + PV Modul) geplant. Die oben stehende Grafik zeigt den Wirkungsgrad (Summe aus Wärme und Strombereitstellung) verschiedener marktgängiger Module (links) sowie ausgewählter Referenzbeispiele (rechts).

Literaturverzeichnis

Banse (2010)

Banse, Stephanie: (2010). Standardization paves the way to the mass market. 9/2010.

Filleux (2005)

Filleux, Charles; Gütermann, Andreas: Solare Luftheizsysteme - Konzepte, Systemtechnik, Planung; Staufen bei Freiburg 2005

Grammer Solar (2015)

Grammer Solar: URL: www.grammer-solar.com/cms/de/riedhammer.html; Zugriff am: 25.04.2015

Hanus (2009)

Hanus, Bo: Thermische Solaranlagen - Planen und installieren Poing 2009

Hegger et al. (2007)

Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Stark, Thomas; Zeumer, Martin: Energie-Atlas: Nachhaltige Architektur (1. Aufl. ed.); München 2007

Hirn (2012)

Hirn, Gerhard: (2012). Solardächer doppelt nutzen. Projektinfo 10/2012 BINE Informationsdienst.

Institut für Solarforschung (2015)

Institut für Solarforschung: URL: http://www.isfh.de/institut_solarforschung/files/06_bisolarwp_umsetzungserfahrung.pdf; Zugriff am: 25.04.2015

ISE (2014)

ISE, Fraunhofer: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland; 2014; abgerufen von: <http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>; Zugriff am: 08.05.2014

Quaschnig (2011)

Quaschnig, Volker: Regenerative Energiesysteme - Technologie, Berechnung, Simulation (7. Auflage ed.); München 2011

statista.de (2015a)

statista.de: Erzeugte Strommenge durch Photovoltaik in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2013 (in Gigawattstunden); 2015a; abgerufen von: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/13550/umfrage/stromerzeugung-durch-photovoltaik-seit-2001-in-deutschland/>; Zugriff am: 15.04.2015

Witzel et al. (2004)

Witzel, Walter; Seifried, Dieter: Das Solarbuch - Fakten, Argumente, Strategien (2. ed.); Freiburg 2004