

## Solare Luftsysteme



*Das Thema Luftheizung ist im Kommen. Denn moderne Gebäude mit Lüftungssystem und hoch effizientem Wärmeschutz machen eine Beheizung über die zugeführte Warmluft möglich. Die Luft kann in Luftkollektoren mit Solarenergie direkt erwärmt werden. Die solare Luftheizung basiert auf gewöhnlichen Lüftungssystemen und ist für viele Gebäude eine interessante Technik zur Energieeinsparung.*

**1** Die Luftkollektoren des Gemeindezentrums in Waltenhofen sind in die Fassade des Foyers integriert und erwärmen die Zuluft des Gebäudes (Quelle: Fa. Grammer).

**I**n fassaden- oder dachintegrierten Solarkollektoren wird Luft erwärmt und ins Gebäude transportiert. Die solare Wärme kann direkt genutzt oder aber zwischengespeichert werden. Es ist auch möglich, die Systeme für den Sommer so zu modifizieren, dass überschüssige Solarwärme das Brauchwasser erwärmt oder dass das Gebäude gekühlt werden kann. Die Technik ist außerdem zur Sanierung von Gebäuden geeignet.

Schon seit vielen Jahrzehnten werden Gebäude mit solaren Luftsystemen beheizt und mit erwärmter Frischluft versorgt. Die Technik ist frostsicher und bei Undichtigkeiten können keine Bauschäden entstehen. Im Vergleich zur passiven Solarenergienutzung mittels Fenster und Fassaden wird solare Wärme hier gleichmäßiger verteilt und damit effektiver genutzt – der Architekt kann Grundriss und Fassaden flexibler gestalten.

Doch die Technik ist noch nicht sehr verbreitet. Die Planung dieser Systeme und deren Integration ist nämlich anspruchsvoll. Es lohnt der Blick auf die Erfahrungen mit Pilotprojekten. In nationalen Projekten und im Rahmen des IEA-Programms „Solar Heating and Cooling“ (Task 19 – Solar Air Systems) wurden Gebäude mit solaren Luftsystemen realisiert und ausgewertet. In diesem Rahmen wurden auch Planungs- und Auslegungstools sowie ein ausführlicher Leitfaden entwickelt. Auf deutscher Seite wurden die Arbeiten vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des Energieforschungsprogramms gefördert.

# Heizen mit Sonne und Luft

*Luft hat als Wärme führendes Medium eindeutige Vorteile und besondere Anwendungschancen. Zugleich steigen beim Einsatz von solaren Luftsystemen die Planungsanforderungen: Gebäude und Anlagentechnik müssen sehr gut aufeinander abgestimmt werden und zu den Nutzungsanforderungen passen.*

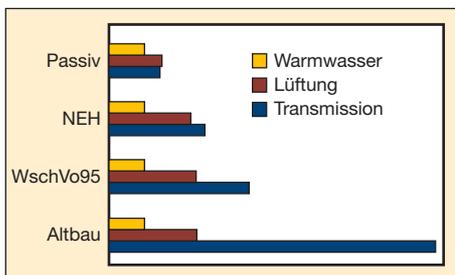
## Wasser oder Luft?

Mit beiden Medien kann Wärme in Gebäuden transportiert werden – vom Wärmeerzeuger bis dahin wo Wärme gebraucht wird. Doch worin liegen die Unterschiede bei der Nutzung solarer Wärme?

Luft hat als Wärme führendes Medium viele Vorteile: Luft tropft nicht, gefriert nicht und steht in ausreichender Menge zur Verfügung. In bestimmten Fällen kann auf Transportleitungen ganz verzichtet werden – Luft kann „bewegt“ werden und frei strömen. In Gebäuden muss Luft als Atemluft und zur Abfuhr von Feuchtigkeit ohnehin laufend ausgetauscht werden. Es liegt daher nahe, die Luft gleichzeitig zur Beheizung zu nutzen. Luft hat gegenüber Wasser aber auch Nachteile: Luft hat eine geringere Dichte und Wärmekapazität als Wasser, nimmt also weniger Wärme auf und speichert und transportiert daher weniger Energie. So erfordert Luft größere Volumenströme und Leitungsquerschnitte sowie einen höheren technischen Aufwand bei der Erwärmung.

## Energiebedarf, Fugendichtigkeit und Lüftung

Die Transmissionswärmeverluste von Gebäuden lassen sich durch konsequenten Wärmeschutz der Gebäudehülle stark verringern. Die Lüftungswärmeverluste hingegen können aufgrund des Frischluftbedarfs in Gebäuden nicht beliebig reduziert werden <sup>2</sup> – in Industriegebäuden müssen zudem mit der



<sup>2</sup> Wärmebedarfsstruktur von Wohngebäuden mit unterschiedlichem Dämmstandard – ein qualitativer Vergleich. Effekte der Wärmerückgewinnung und solare oder interne Gewinne sind hier nicht berücksichtigt.

## Entwicklung der solaren Luftheizung

Das erste solare Luftheizsystem wurde bereits 1881 in den USA gebaut und wenig später vermarktet. Kurz nach dem Zweiten Weltkrieg – unter dem Druck der Energieverknappung – wurden von den US-Pionieren der Solartechnik die Grundlagen für die heutigen solaren Luftsysteme gelegt. Damals wurden viele Häuser mit

Luft oft auch Schadstoffe aus Prozessen abgeführt werden. Weil verbrauchte oder belastete Raumluft laufend durch frische Luft ausgetauscht werden muss, geht die in der Abluft enthaltene Wärme verloren, sofern nicht besondere Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung realisiert werden. Die mit dem Luftwechsel verbundenen Wärmeverluste haben eine immer größere Bedeutung bekommen, denn der Wärmeschutz von Gebäuden wurde bei Alt- und insbesondere bei Neubauten in den letzten Jahren zunehmend besser. Dieser Trend wird sich fortsetzen. Heute wird Wert darauf gelegt, Gebäude weitgehend luftdicht zu bauen. Dies vermindert die Lüftungswärmeverluste und reduziert den Energiebedarf. Zudem steigt die thermische Behaglichkeit im Gebäude aufgrund geringerer Strahlungsasymmetrie und weil Zuglufteffekte vermieden werden. In luftdichten Gebäuden muss frische Luft ständig zugeführt werden. Das Lüften durch Fensteröffnen „von Hand“ ist unter hygienischen und energetischen Aspekten problematisch, da der Luftaustausch hiermit nur schwer dosierbar ist. Hinzu kommen bei der Fensterlüftung Belastungen durch Schmutz und Lärm. Lüftungsanlagen bieten also deutliche Vorteile.

Lüftungswärmeverluste können mit einer kontrollierten Lüftung eingeschränkt werden. Wärmerückgewinnung hilft diese Wärmeverluste weiter zu verringern – anders wirken solare Luftsysteme: Sie kompensieren die Lüftungswärmeverluste von Gebäuden mit solarer Wärme.

## Abhängigkeiten

Wie viel nutzbare Solarwärme mit Luftkollektoranlagen erzeugt werden kann hängt ab:

- vom vorhandenen Strahlungsangebot im Jahresverlauf – die höchsten nutzbaren Solargewinne von Luftheizungssystemen werden in Mitteleuropa in den Übergangsmontaten erreicht,
- vom Wärmebedarf des Gebäudes im Jahresverlauf (Transmissions- und Lüftungswärmeverluste),
- von der Gleichzeitigkeit von Strahlungs-

solarer Luftheizung errichtet. Sie funktionierten gut und sind teilweise heute noch in Betrieb. Die von diesen Gebäuden und Systemen ausgehende Faszination liegt in der Einfachheit, im Wärmeträger Luft und in der erreichbaren engen Verbindung zwischen Gebäude und System. Die solare Luftheizung ist keine Komponente, die wie ein Heizkessel auch nachträglich im Gebäudekel-

## Energieeffizienz von Solarkollektoren

Bei Luftkollektoren verhält es sich wie bei gewöhnlichen, von Wasser durchströmten Kollektoren: Die größte Energieeffizienz wird erreicht bei kleinen Kollektortemperaturen, d. h. bei kleinen Differenzen zwischen Kollektortemperatur und Umgebungstemperatur. Denn bei hohen Temperaturen im Kollektor fließt viel Energie ungenutzt an die Umgebung. Nur sehr gut wärme geschützte Kollektoren (z. B. Vakuum-Kollektoren) haben auf hohem Temperaturniveau eine akzeptable Energieeffizienz.

Soll mit Kollektoren die Heizung unterstützt werden, muss im Solarkollektor eine Temperatur erreicht werden, welche die Temperatur im Heizungsrücklauf überschreitet. Erst ab dieser Temperaturschwelle kann Wärme an den Heizkreislauf übertragen werden. Je höher die Temperatur im Heizungsrücklauf, desto kürzer sind die Perioden im Jahr, in denen die Solarstrahlung dafür ausreichend intensiv ist.

Der Strombedarf von Solarkollektoranlagen ist nicht vernachlässigbar. Die Regelung von Solarkollektoren sollte also berücksichtigen, dass stets mehr Wärme erzeugt wird als Strom für die Umwälzung (Ventilation) der solar erzeugten Wärme benötigt wird. In dieser Energiebilanz wird der Strombedarf primärenergetisch bewertet.

angebot und Wärmebedarf im Tagesverlauf und

- von der passiven Solarenergienutzung durch Fassaden und Fenster (Die aktiven Solargewinne müssen zu Zeiten hoher passiver solarer Wärmegewinne entweder in eine Zone ohne solare Wärmegewinne transportiert oder aber zwischengespeichert werden).

## Temperaturniveau und Energieeffizienz

Luftkollektoranlagen zur Raumheizung kommen mit vergleichsweise niedrigen Temperaturen aus, denn die Kollektortemperatur muss lediglich über der Lufttemperatur im zu erwärmenden Raum liegen. Wird die Frischluft vorgewärmt und dem Gebäude zugeführt, so sind die solaren Luftheritzer selbst bei geringer Sonneneinstrahlung bereits energetisch wirksam und sehr effizient. Jede Temperaturerhöhung im Solarkollektor, und sei sie noch so gering, wird zur Raumbeheizung genutzt.

Dies ist ein enormer Vorteil gegenüber gewöhnlichen Kollektoranlagen zur Heizungsunterstützung, welche zumeist in den Heizungskreis von Radiatoren- oder Fußbodenheizungen einspeisen – hier sind je nach Art der Wärmeverteilung Temperaturen von mindestens 30-55°C notwendig. Die Frischluftherwärmung mit Luftkollektoren ist also eine besonders energieeffiziente Variante der Solarenergienutzung.

ler aufgestellt werden kann. Gebäude und solares Luftsystem bilden hier eine Einheit, kommen mit wenig Technik aus, teilweise sogar ohne jeglichen Antrieb.

Die heutigen, mit solaren Luftsystemen konzipierten Gebäude, haben teilweise noch den Charme dieser ersten Epoche. Sie sind jedoch energieeffizienter und damit kostengünstiger geworden.

# Systeme und Anwendungen

Voraussetzung für eine Solarenergienutzung mit Luftkollektoren sind ausreichend große und günstig orientierte Flächen zur Installation der Kollektoren. Konventionelle und solare Luftsysteme unterscheiden sich nicht gravierend, was die notwendigen Komponenten angeht. Daher können solare Luftsysteme aus zumeist konventionellen Komponenten aufgebaut werden. Umgekehrt eignen sich in der Sanierung fast alle konventionellen Lüftungs- und Klimasysteme als Basis für solare Luftsysteme.

In der Regel ist es möglich, die solaren Luftkollektoren auf dem Dach oder in der Fassade zu installieren. Problematischer ist die Integration der Lüftungsanlage oder der Luftverteilung in bestehende Gebäude. Hier ist ein hoher Planungsaufwand notwendig, oft müssen Kompromisse gemacht werden. Eine Ausnahme bilden jedoch Hallen oder großvolumige Gebäude. Solare Luftsysteme haben hier den Vorteil, dass Kollektoren und Verteilsystem einfacher am und im Gebäude platziert werden können. Zudem sinken die Wärmeverluste in der Anlage, wenn das Wärmeverteilsystem im Gebäude installiert wird. Auch die Transmissionswärmeverluste nehmen ab, weil mit der Luftheizung die Temperaturschichtung im Gebäude reduziert werden kann.

## Systemvarianten

Für Gebäude gibt es verschiedene konventionelle Lüftungs- und Klimasysteme. Mit

Ausnahme der einfachen Abluftanlagen eignen sich alle als Basis für solare Luftsysteme (s. Tabelle unten).

Zudem sind verschiedene Formen der solaren Lufterwärmung realisierbar. Die wichtigste Variante ist die Zulufterwärmung, die im Frischluft- oder Umluftbetrieb möglich ist. Sie lässt sich bei den meisten üblichen Lüftungsanlagen mit nur geringen Modifikationen realisieren. Die zweite Variante sind Hypokausten- oder Murokaustensysteme, mit denen der Boden oder die Wände von Räumen beheizt werden, indem diese mit warmer Luft hinterlüftet werden. So wird eine zeitversetzte Wärmeabgabe ermöglicht, dies ist insbesondere für Gebäude mit hohen passiven solaren Wärmegewinnen empfehlenswert.

### Solare Frischluftherwärmung

Schon bei geringer Sonneneinstrahlung und auch bei niedrigen Außentemperaturen funktioniert die Erwärmung von Frischluft mit solarer Wärme – denn wenn die Frischluft

## Task 19 Solar Heating and Cooling – Solar Air Systems

### Ziele und Aktivitäten

Solare Luftsysteme sollen vermehrt in Gebäuden eingesetzt werden. Hierfür: Entwicklung und Test verbesserter Komponenten, Weiterentwicklung und Test von Simulations- und Planungssoftware, Demonstration von gebäudeintegrierten solaren Luftsystemen mit neuen Projekten, Evaluierung und Vergleich von bestehenden Anlagen, Entwicklung von Designprinzipien, Aufbereitung der Informationen für Architekten und Planer

### Publikationen / Werkzeuge

- Solar Air Systems – A Design Handbook, S.R. Hastings, O. Mørck (Herausgeber); J&J 2000.
- Solar Air Systems – Built Examples, S.R. Hastings (Herausgeber); J&J 2000
- Solar Air Systems - Product Catalogue, S.R. Hastings, H.N. Røstvik (Herausgeber); J&J 1998
- Software TRNSAIR – siehe Seite 11

### Mitwirkende Länder

Dänemark, Deutschland, Großbritannien, Italien, Kanada, Norwegen, Österreich, Schweden und Schweiz

### Internet

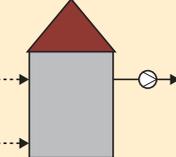
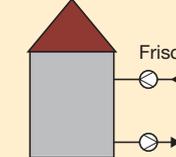
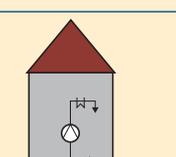
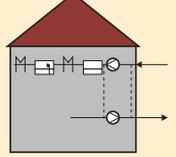
[http://www.iea-shc.org/tasks/task19\\_page.htm](http://www.iea-shc.org/tasks/task19_page.htm)

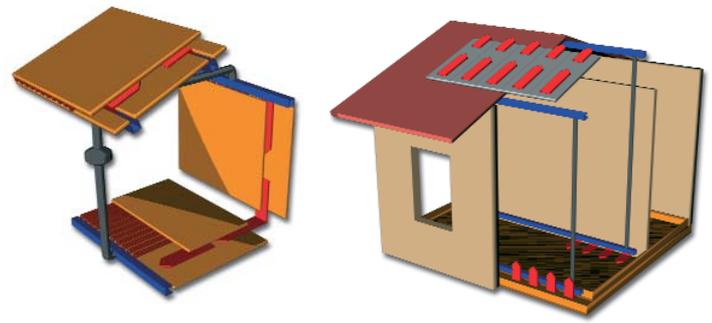
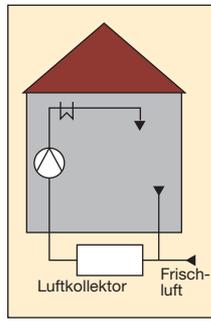
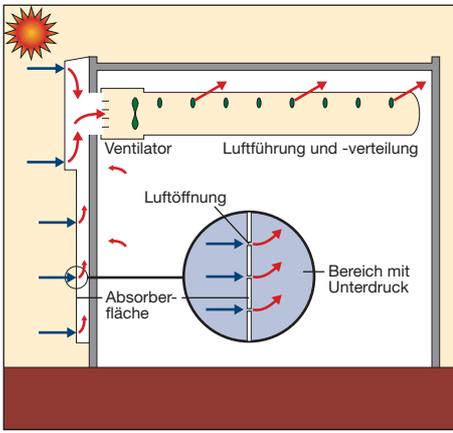
nur um kleine Temperaturdifferenzen erwärmt wird, kann die Solarenergie besonders effizient genutzt werden <sup>3</sup>.

Solare Luftkollektoren oder solare Absorber an Fassaden können einfach an die Frischluftansaugung angeschlossen werden. Die Luft wird entweder permanent oder mittels Klappensteuerung im Bedarfsfall durch den Kollektor geführt. Bei fassadenintegrierten Kollektoren werden zusätzlich die Transmissionsverluste der dahinterliegenden Wände für die Zulufterwärmung genutzt. Konstruktiv einfache Kollektoren reichen für die Frischluftherwärmung aus. Damit sind die energieeffizienten Frischluftsysteme auch kostengünstig. Nachteilig ist jedoch, dass die Systeme durch die nutzungsbedingt festgelegte Frischluftleistung in ihrer Leistung begrenzt werden. Für höhere Wärmeleistungen wären deshalb auch höhere Luftwechselraten nötig. Hohe Luftwechselraten führen im Winter zu einer geringen Luftfeuchtigkeit – zum anderen nimmt der Energiebedarf so in den Zeiten ohne Sonneneinstrahlung deutlich zu. In großen Gebäuden und Hallen wird die Luft deshalb meist zusätzlich auch im Umluftbetrieb erwärmt. Auf diese Weise kann die Anlage vergrößert und die Leistung erhöht werden, ohne den Luftwechsel zu steigern. Die zusätzliche Umluftherwärmung ist etwas weniger energieeffizient als eine bloße Frischluftherwärmung, doch die Wärmegestehungskosten liegen meist günstiger.

### Solare Umluftherwärmung

Bestimmte Gebäude können mit einer Mischung aus Umluft und Frischluft belüftet werden. Hier kann der Solarkollektor in den Abluftkreis integriert werden <sup>4</sup>. Die Frischluft wird der Umluft beigemischt und ebenfalls dem Kollektor zugeführt. Die Umluft-Frischluft-Mischung muss nur um eine kleine Temperaturdifferenz erwärmt werden, daher setzt der Solarkollektor die einfallende Solarstrahlung effizient in nutz-

Lüftungssysteme – Funktion und Eignung als solares Luftsystem	
	<p><b>Abluftanlagen</b> [ Be- und Entlüftung ]</p> <p>Mit einem Ventilator wird die Luft (meist zentral) abgesaugt und nach außen geblasen. Die Zuluft strömt unkontrolliert über Fugen oder kontrolliert über Zuluftventile nach.</p> <p>Ungeeignet für die solare Lufterwärmung</p>
	<p><b>Zu- und Abluftanlagen</b> [ Be- und Entlüftung ]</p> <p>Im Vergleich zur Abluftanlage ist ein weiterer Ventilator für die Zuluft vorhanden, d. h. die Zuluft wird gezielt dem Gebäude oder einzelnen Bereichen im Gebäude zugeführt.</p> <p>Optionen: die Zuluft kann erwärmt werden, die in der Abluft enthaltene Wärme kann auf die Zuluft übertragen werden (Wärmerückgewinnung). Allerdings ist je nach Anordnung die Effizienz entweder des Solarsystems oder der Wärmerückgewinnung eingeschränkt.</p> <p>Optimal geeignet für die solare Lufterwärmung (bei Frischluftbetrieb), jedoch begrenzt in der Leistung</p>
	<p><b>Luftheizanlagen – Umluftanlagen</b> [ Gebäudeheizung, Belüftung ]</p> <p>Luft wird per Ventilator im Gebäude abgesaugt und in der Anlage erwärmt und dem Gebäude wieder zugeführt (Umluft). Die Umluft wird teilweise mit Frischluft gemischt. Die Abluft wird dezentral oder zentral abgesaugt oder strömt aufgrund von Überdruck durch Fugen und Undichtigkeiten ab.</p> <p>Gut geeignet für die solare Lufterwärmung auch bei Erwärmung der Frischluft</p>
	<p><b>Klimaanlagen</b> [ Be- und Entlüftung, Heizen, Kühlen sowie Be- und Entfeuchten ]</p> <p>Zu- und Abluftanlage wie oben jedoch zusätzlich mit den Komponenten zur Beheizung, Kühlung, Be- und Entfeuchtung. Wärmerückgewinnung optional.</p> <p>Geeignet für die solare Lufterwärmung (wie bei Luftheizanlagen)</p>



4 Luftheizanlage mit Umluft und integriertem Kollektor

5 Schema eines Gebäudes mit Hypokausten- und Murokausten sowie solarer Luftkollektoranlage

3 Schematische Darstellung der solaren Frischlufthermung am Beispiel des Systems SolarWall

bare Wärme um.

Allerdings ist bei hohen internen Wärmelasten oder bei Systemen mit Wärmerückgewinnung der verbleibende Wärmebedarf meist sehr gering.

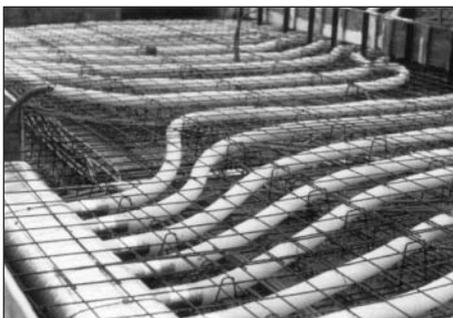
### Hypokaustenheizung

Bei der Hypokaustenheizung (erwärmter Boden – 6) – oder auch Murokaustenheizung (erwärmte Wand) – handelt es sich um ein geschlossenes System: Die erwärmte Luft kommt mit der Raumluft nicht mehr in Kontakt, denn sie zirkuliert in einem in Wand und Boden integrierten Kreislaufsystem. Der Heizeffekt erfolgt also über Wand und Boden (5).

Unterschieden werden kann zwischen Systemen, in denen die zugeführte Wärme rein passiv, d. h. nur über die Oberfläche durch Strahlung und Konvektion abgegeben wird (Hypokausten- und Murokausten) und Systemen, die noch zusätzliche Regelungs- oder Aktivierungselemente besitzen mit denen die Wärmeabgabe an den Bedarf angepasst werden kann.

Grundsätzlich handelt es sich hier um ein reines Heizungssystem, die Räume müssen extra belüftet werden. Hypokaustensysteme können jedoch zu Lüftungssystemen erweitert werden, indem die Luft zunächst durch Wand oder Boden strömt und diese erwärmt und anschließend durch Öffnungen in den Raum geführt wird.

Hypokausten- oder Murokaustensysteme ermöglichen einen hohen Raumkomfort. Aufgrund der nur schwach erwärmten Flächen gibt es in den Räumen viel Wärmestrahlung bei geringer Luftströmung (Konvektion). Voraussetzung dafür sind jedoch



Hypokaustensystem in der Bauphase – mit Rohrregister in der Betondecke

sehr große Flächen, um dem Raum bei niedriger Oberflächentemperatur genügend Wärme zuführen zu können. Bei Hypokausten und Murokausten wirkt die Gebäudemasse als Wärmespeicher.

### Systeme „ohne Technik“

Hypokaustensysteme sind sehr einfach aufgebaut, und obwohl die Technik nicht sichtbar ist, ermöglicht sie doch einen hohen Komfort. Hypokausten können bei geeigneter Konstruktion vollkommen selbsttätig funktionieren, sie kommen ohne jeglichen Antrieb aus – der aktive Kollektor erzeugt den Antrieb durch seine (aufsteigende) Warmluft, wenn er im unteren Bereich des Systems installiert ist. Nicht einmal Klappen oder Regler sind erforderlich, die Warmluft kann selbsttätig ein Ventil öffnen, das aus einer dünnen Verschlussfolie besteht. So wird verhindert, dass das System nachts in umgekehrter Richtung arbeitet und das Gebäude auskühlt. In der Schweiz wurden einige solcher Anlagen realisiert. Sie sind jedoch weniger energieeffizient als die oben dargestellten Systeme.

### Verfügbare Komponenten

Konventionelle Luftsysteme können um solare Komponenten erweitert oder solare Luftsysteme aus zumeist konventionellen Komponenten aufgebaut werden. Konventionelle Komponenten sind: Luftein- und Luftauslässe, Absperrrichtungen, Ventile, Klappen, Kanäle, Rohre, Verbindungselemente, Wärmetauscher, Ventilatoren usw. Die solarspezifischen Komponenten sind Luftkollektoren und Wärmespeichernde Elemente.

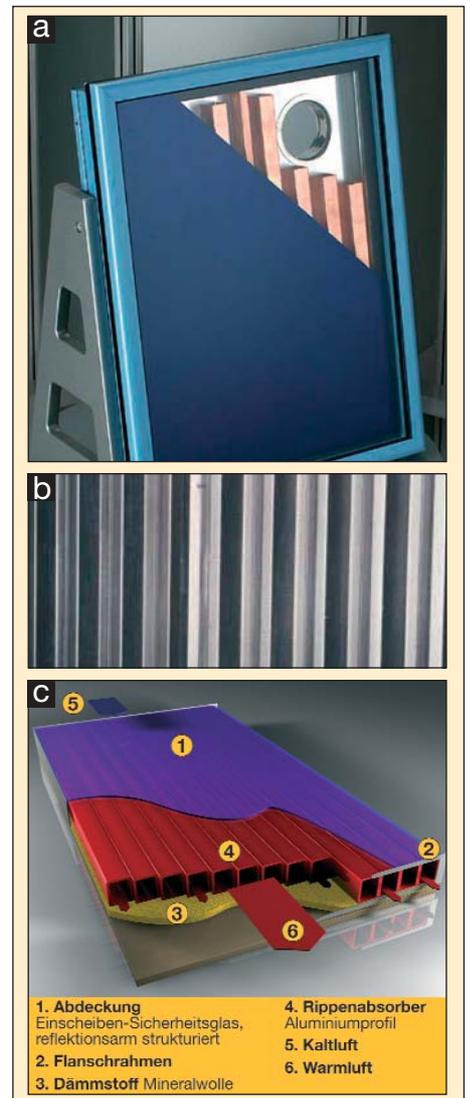
### Kollektoren

Der Kollektor liefert die Energie und ist insofern zentrales Element von solaren Luftheizsystemen. Grundsätzlich können auch weitere Elemente von Gebäuden als Kollektor genutzt werden. Atrien, Wintergärten, Doppelfassaden und Erdwärmetauscher erzeugen nämlich ebenfalls warme Luft, die genutzt werden könnte – wenn auch nicht so effizient wie mit Luftkollektoren.

Marktverfügbar sind in Deutschland Kollektoren der Hersteller Grammer, Schüco und Solarwall (7). In Europa sind auch folgende Hersteller aktiv: ABB (Norwegen), Aidt Miljö (Dänemark) und Silema (Italien). Mit Ausnahme des Systems von SolarWall sind alle marktverfügbaren Kollektoren ver-

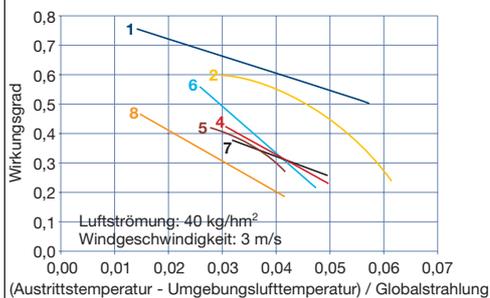
glast. Beim SolarWall-System kann auf eine Verglasung verzichtet werden, da es bevorzugt zur Erwärmung von Frischluft eingesetzt wird und in dieser Anwendung aufgrund der kleinen Temperaturdifferenzen sehr effektiv funktioniert.

Zur Beurteilung von Kollektoren muss mangels standardisierter Vergleichsparameter deren sog. Wirkungsgrad-Kennlinie betrachtet werden (8). Im Gegensatz zu solaren Brauchwassersystemen, für die ein Kollektorsertrag nach einem genormten Verfahren angegeben werden kann, ist bei Luftkollektoren ein solcher Leistungsvergleich noch nicht möglich.

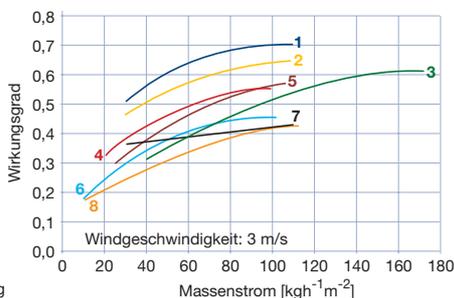


7 Beispiele von Luftkollektoren (Quellen: a) Schüco KG, b) SolarWall, c) Grammer GmbH

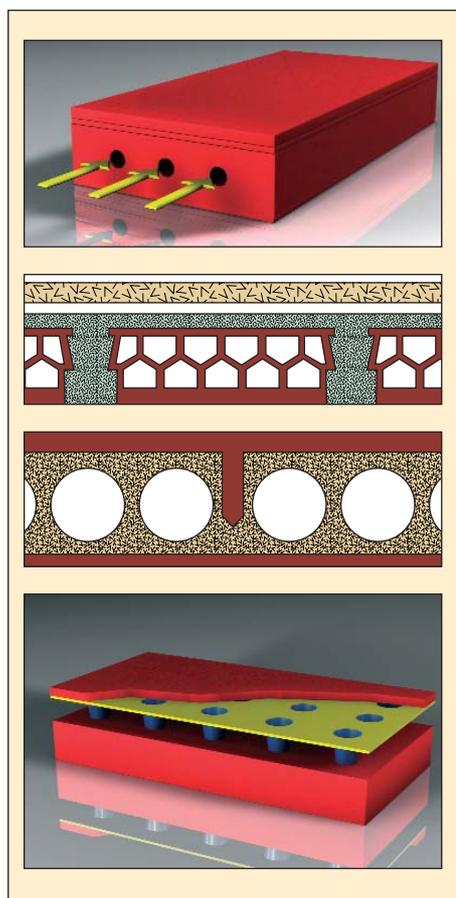
- 1 unterströmt, berippt, selektiv
- 2 textiler durchströmter Absorber, schwarz
- 3 perforierter Absorber, unverglast
- 4 unterströmter glatter Absorber



- 5 rauher Absorber, beidseitig umströmt
- 6 wie 4, jedoch Strömung beidseitig
- 7 Eigenbau, Trapezblech unterströmt
- 8 glatter Absorber, überströmt



Wirkungsgradverlauf von verglasten Luftkollektoren. Links: in Abhängigkeit zur normierten Kollektortemperatur. Rechts: in Abhängigkeit des Massenstromes. Quelle: IEA Handbook solar air systems



Skizzen von Hypokaustenelementen (Fertigdecken, Hohlböden, Rohrregister)

Neben der Wirkungsgrad-Kennlinie spielen auch eventuelle Druckverluste in Kollektoren eine wichtige Rolle. Denn sie bestimmen u. U. den Energiebedarf für die Ventilation maßgeblich.

Der Wirkungsgrad der Kollektoren ist im Wesentlichen von drei Faktoren abhängig: a) von den optischen Eigenschaften (wie vollständig kann der Kollektor die Sonneneinstrahlung absorbieren?) b) vom Wärmeübergang (wie effektiv erwärmt der erhitzte Absorber die Luft?) und c) von den Wärmeverlusten im Kollektor (wie viel Wärme geht aufgrund begrenztem oder fehlendem Wärmeschutz an die Umgebung ungenutzt verloren?)

Im Laufe der Jahre haben sich verschiedene Kollektorkonstruktionen etabliert. Sie lassen sich danach unterscheiden, wie der Luftstrom im Kollektor geführt wird:

- 1) Luftführung oberhalb des Absorbers (zwischen Scheibe und Absorber)
- 2) Luftführung unterhalb des Absorbers (zusätzlicher Strömungskanal erforderlich)
- 3) Kombination aus den Vorgenannten (oberhalb des Absorbers hin – unterhalb zurück)

4) Durchströmen des Absorbers, der aus porösem Material besteht

Konstruktion 1 ist nur für die Frischluftherwärmung bzw. geringe Temperaturerhöhungen geeignet – im Hinblick auf Herstellungskosten ist dies jedoch die günstigste Variante. Heute sind solche Systeme vorwiegend aus Eigenbauten bekannt.

Die unterströmten Absorber (Konstruktion 2) haben sich weitgehend durchgesetzt.

Konstruktion 4 mit dem perforierten Absorber besitzt gute Wärmeübergangseigenschaften. Nachteilig ist, dass die Luft zwischen Scheibe und Absorber zugeführt werden muss. Neuere Arbeiten versuchen diesen Effekt zu optimieren, indem sie nur geringe Luftmengen absaugen (Grenzschichtabsaugung) und die Strömung an der Scheibe weitgehend unterbinden.

### Speicherelemente

Speicherelemente sind bei solaren Luftsystemen: Gesteinsspeicher (Rockbed), Hypokausten und Murokausten, aber auch massive Kanäle, Kamine und Trombewände. Eine Kombination typischer Elemente aus der passiven Sonnenenergienutzung mit lüftungstechnischen Komponenten ist möglich und sinnvoll. Wichtig ist hierbei ein stimmiger Gebäudeentwurf mit einer angepassten Raumgestaltung und unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Außenklima, Gebäude und Lüftungssystem. Speicherelemente für die Erstellung von Hypokausten- und Murokastensystemen können in vielfältiger Weise erstellt werden. In der Regel werden Rohrregister in Beton vergossen oder Hohlelemente verwendet.

9 10 zeigen einige Beispiele.

Bei der Verwendung von Hohlkörpern, z. B. Fertigdeckensteinen oder Hohlböden müssen die folgenden Aspekte bedacht und kon-

## Gebäudebeispiele

### Lilly Laborgebäude Hamburg

**Realisierung:** 2002, Neubau

**Architekt:** PSP Hamburg

**Solares Luftsystem:**

Frischluftherwärmung, Überschüsse zur Warmwasserbereitung

**Solkollektor:** Grammer Solarfassade

**Kollektorfläche:** 224 m<sup>2</sup>

**Luftmenge:** 10.000 m<sup>3</sup>/h

**Max. Leistung:** 150 kW

**Max. Temperaturerhöhung:** 44 K

**Synergien:** Kollektor ersetzt Fassade



### Kindergarten Trabitz

**Realisierung:**

2002, Sanierung eines Anbaus

**Architekt:** ohne Architekt

**Solares Luftsystem:**

Kollektor-Hypokaustensystem

**Solkollektor:** Grammer

**Kollektorfläche:** 10 m<sup>2</sup>

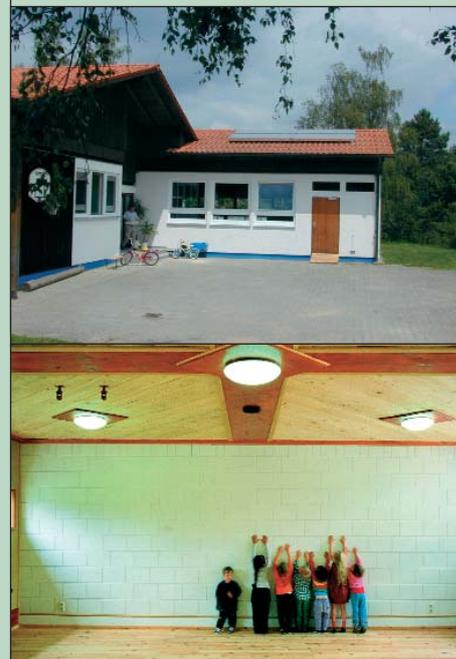
**Luftmenge:** 300 m<sup>3</sup>/h

**Prognostizierte Einsparung:**

280 kWh/m<sup>2</sup><sub>Koll</sub>

**Nennleistung:** 7 kW

**Murokauste:** 22 m<sup>2</sup>, 7t Kalksandstein



struktiv gelöst werden:

- Luftzuführung über tragende Elemente
- gleichmäßige Durchströmung
- niedrige Strömungsverluste

### Kombinierte Komponenten

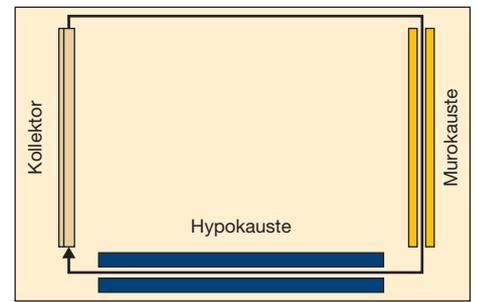
Solarmodule von Photovoltaikanlagen wandeln nur einen geringen Teil der auftretenden Solarstrahlung in Strom um (ca. 7-16%). Der große, verbleibende Teil der einfallenden Sonnenstrahlung wird in Wärme umgewandelt. Dies führt zu einer Erwärmung der Solarmodule und infolgedessen sogar zu geringfügigen Einbußen im elektrischen Ertrag. Es bietet sich also an, die Module mit Luft zu kühlen und die auf diese Weise erwärmte Luft einer Lüftungsanlage zuzuführen und energetisch zu nutzen. ⑪ zeigt eine mögliche Konstruktion.

Einige Projekte mit Luftkollektoren auf Basis von Solarmodulen wurden bereits realisiert (s. a. Gebäudebeispiel S. 10 unten). Hierbei können gewöhnliche PV-Module verschiedener Hersteller verwendet werden. Der Schwerpunkt liegt bei diesen Projekten

jedoch auf der solaren Stromerzeugung, die erzeugte Wärme ist ein nützliches Nebenprodukt. Dies liegt teilweise an attraktiven Förderbedingungen. Auch wird das System mit eher niedrigen Lufttemperaturen betrieben, um die Effizienz der Stromerzeugung nicht zu schmälern.

### Einsatzgebiete

Regenerative Systeme für Heizung, Lüftung und Warmwasser erfordern eine sorgfältige Planung, die sich auf den Standort, den Gebäudeentwurf und auf die geplante Nutzung bezieht. Dies gilt auch für solare Luftsysteme. Hier spielen die Nutzungsanforderungen eine besonders große Rolle. Je nach Gebäude ergeben sich z. T. sehr unterschiedliche Anforderungen an das solare Luftsystem. Nutzungszeit, interne Lasten, passive solare Energiegewinne, Wärme- und Luftbedarf sind wichtige Planungsparameter. Gute Voraussetzungen für solare Luftsysteme bieten Gebäude mit niedrigen internen und



10 Hypokauste und Murokauste als Heiz- und Speicherelemente in einem solaren Luftheizsystem

passiven solaren Energiegewinnen bei gleichzeitig hohem Frischluftbedarf.

### Wohngebäude

Wohngebäude werden aus hygienischen Gründen und zur Begrenzung der Lüftungswärmeverluste belüftet. Dies gilt insbesondere für Niedrigenergiehäuser. Wohnungslüftungssysteme sind hierfür in vielfältigen Varianten verfügbar und können mit einer Energie gewinnenden solaren Luftkollector-

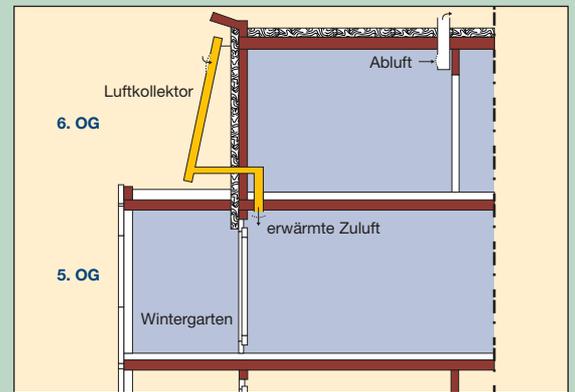
### Projektbeispiel Geschosswohnungsbau

Das Mehrfamilienhaus in München wurde 1996 als kompaktes Gebäude in Niedrigenergiebauweise errichtet. Im 5. und 6. Obergeschoss befinden sich Maisonette-Wohnungen. Um die Integration von solaren Luftsystemen im Geschosswohnungsbau untersuchen zu können, wurden drei Maisonette-Wohnungen (je 77 m<sup>2</sup>) mit unterschiedlichen solaren Luftsystemen ausgestattet ⑬. Es handelt sich um kleine, wohnungsbezogene Anlagen.

Bei den Systemen A und C (Tabelle rechts) ist die Trennwand zwischen Schlaf- u. Wohnzimmer als Hypokauste ausgeführt und beheizt bevorzugt den Wohnraum.

Das reine Frischluft-System (System B) arbeitet am effektivsten ⑫. Allerdings ist der energetische Beitrag der Frischluftherwärmung von der Raumlufttemperatur abhängig, die

mit dem Thermostat der Radiatorheizung eingestellt werden kann. Bei hohen Temperaturen von über 21°C kann mit der Frischluftherwärmung nur noch wenig Wärme an den Raum abgegeben werden. Denn die Thermostatregelung schaltet die Ventilation bzw. Frischluftherwärmung bei ca. 23°C ab, um Überhitzungen zu vermeiden. Außerdem liegt der Luftwechsel mit 1,4 pro Stunde deutlich über dem hygienisch notwendigen Maß. Frischluftvorwärmung führt daher zu höheren Lüftungsverlusten, sie können durch eine sorgfältige Planung und Abstimmung begrenzt werden.



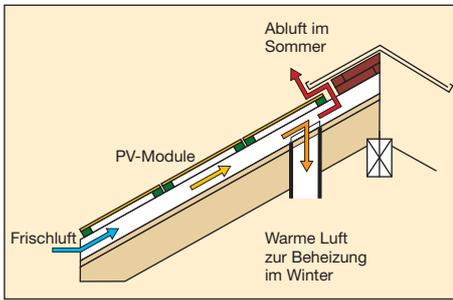
12 Skizze solares Luftsystem Typ B (Frischluftherwärmung)



13 Luftkollektoren des MFH München

Systemvarianten und Ergebnisse im MFH München			
	System A	System B	System C
Luftkollector	6,6 m <sup>2</sup>	6,6 m <sup>2</sup>	6,6 m <sup>2</sup>
System	Hypokauste (Betonschottenwand), geschlossener Kreislauf von Luftkollector und Speicher, Speicherbe- und -entladung wird mit Thermostatventil geregelt	Frischluftherwärmung, kein Speicher, Zuluftventilation mit Thermostatventil geregelt	Frischluftherwärmung und Hypokauste, Vorrang Frischluftherw., Zuluftventilation und Speicherbe- und -entladung wird mit Thermostatventil geregelt
Hypokauste	Kapazität 1 kWh/K, 3,55 x 2,55 x 0,2 m <sup>3</sup>	—	Kapazität 1 kWh/K, 3,55 x 2,55 x 0,2 m <sup>3</sup>
Energiegewinn bezogen auf Kollektorfläche <sup>1)</sup>	127 kWh/m <sup>2</sup>	181 kWh/m <sup>2</sup>	154 kWh/m <sup>2</sup>
Energieeinsparung bezogen auf die Wohnfläche <sup>1)</sup>	10,9 kWh/m <sup>2</sup>	15,5 kWh/m <sup>2</sup>	13,2 kWh/m <sup>2</sup>
Gemessener Heizwärmebedarf der Wohnungen <sup>1)</sup>	54 kWh/m <sup>2</sup>	37 kWh/m <sup>2</sup>	61 kWh/m <sup>2</sup>
Mittlere Innenraumtemperatur <sup>1)</sup>	22,5 °C	21,8 °C	22,5 °C
Luftmengen im Kollektorsystem	30 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	54 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	23 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> (A Betrieb) 37 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> (B-Betrieb)

1) bezogen auf die Messperiode vom 1.9.96-31.05.97



**1** Hinterlüftetes PV-Dach – die erwärmte Luft wird im Winter zur Gebäudebeheizung genutzt.  
Quelle: IEA Handbook solar air systems

anlage kombiniert werden, um zusätzlich Energie einzusparen.

Für solare Lüftungssysteme sind Zu- und Abluftsysteme geeignet (auch mit Wärmerückgewinnung) sowie reine Zuluftanlagen und Hypokaustensysteme.

In nur zeitweise genutzten Gebäuden, wie z. B. Ferienhäuser, können solare Luftsysteme ebenfalls eingesetzt werden. Die Gebäude werden so weitgehend frostfrei gehalten und durch die solar erwärmte Luft belüftet. Eine erhöhte Feuchtigkeit, wie sonst bei unbeheizten Gebäuden üblich, wird vermieden.

### Büro- und Verwaltungsgebäude

Besonders geeignet ist hier die solare Frischlufterwärmung. In modernen Verwaltungsgebäuden fallen jedoch häufig hohe interne

## Eignung verschiedener Gebäudetypen für solare Luftsysteme

	Wohngebäude	Bürogebäude	Industriegebäude	Funktionsgebäude
Luftbedarf	gering - mittel	mittel - hoch	meist hoch	meist hoch
Interne + passive solare Wärmegewinne	gering - mittel	mittel - hoch	gering - hoch	meist gering
Komfortansprüche	mittel - hoch	hoch	gering	gering - mittel
Verbreitung von Lüftungsanlagen	gering, jedoch zunehmend	verbreitet	häufig	häufig
<b>Eignung für solare Lüftung</b>	<b>mittel - hoch</b>	<b>eingeschränkt</b>	<b>hoch</b>	<b>meist hoch</b>

oder passive solare Wärmegewinne an. In den meisten Fällen wäre also eine Zwischenspeicherung der solaren Wärme aus energetischen Gründen positiv. Z. B. mit einer Hypokaustenheizung, die auch zur Speicherung von Kälte geeignet ist. Bei niedrigen internen Wärmegevinnen können Lüftungs- bzw. Luftheizsysteme wie im Wohnungsbau eingesetzt werden. Nutzungsbedingt sind in Bürogebäuden höhere Luftwechsel notwendig, daher wird hier mehr solare Wärme genutzt (höherer solarer Deckungsgrad).

### Industriegebäude

Industriehallen zur Lagerung, Montage oder Produktion sind aufgrund der großen Geschosshöhen häufig mit einfachen Lüftungssystemen ausgestattet. Die Lüftungsra-

ten sind meist hoch und die Komfortanforderungen niedriger. Industriehallen sind also sehr gut geeignet für den Einsatz solarer Luftsysteme. Geeignete solare Lüftungssysteme sind Zuluftsysteme und Luftheizanlagen / Umluftsysteme.

### Funktionsgebäude

Schwimmbädern, Sporthallen und Laborgebäude haben in der Regel sehr hohe Lüftungsraten und sind daher gut für den Einsatz solarer Luftsysteme geeignet. Im Unterschied zu Industriegebäuden sind die Komfortanforderungen meist höher, was einer Solarenergie-nutzung nicht grundsätzlich entgegensteht. Geeignete solare Luftsysteme sind Zuluftsysteme, Zu- und Abluftsysteme sowie Luftheizanlagen / Umluftsysteme.

## Ertrag und Nutzen

Solare Luftsysteme nutzen Sonnenwärme für die Raumheizung. Außerdem können solare Luftsysteme ohne große Modifikationen zum Kühlen und für die sommerliche Warmwasserbereitung genutzt werden. Wie hoch der Nutzen konkret sein kann, das hängt von verschiedenen Faktoren ab.

### Was leisten solare Luftsysteme?

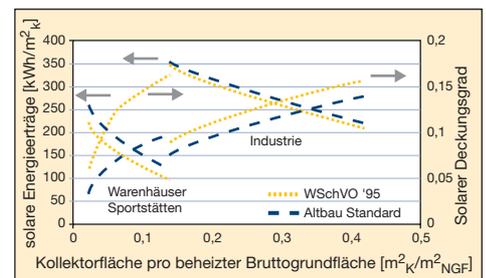
Mit solaren Luftsystemen können pro Quadratmeter Kollektorfläche typischerweise 100 bis 350 kWh Wärme pro Jahr erzeugt und für die Beheizung und Belüftung von Gebäuden genutzt werden. Hinzu kommen die Wärmegewinne zur Warmwasserbereitung im Sommer. Teilweise liegen die Energieerträge auch deutlich darüber – dies gilt insbesondere für Funktionsgebäude. Die Werte variieren so stark, weil der Energieertrag von vielen Faktoren abhängt: vom einzelnen Gebäude, von der Nutzung, der Kollektorfläche, dem lokalen Klima und von dem verwendeten Lüftungssystem. **14** zeigt exemplarisch die Wärmegewinne eines Systems zur Frischlufterwärmung für verschiedene Gebäudetypen: Warenhäuser, Sporthallen und Industriegebäude. Die Ergebnisse sind auf vergleichbare Gebäude übertragbar. Es wird deutlich, wie stark die nutzbaren Wärmeerträge von Gebäudetyp bzw. Nutzung und von der Größe der Kollektorfläche abhängen: Industriehallen erreichen wegen hoher Luftwechsel und geringer Komfort-

ansprüche vergleichsweise hohe solare Wärmegewinne – die auf die Kollektorfläche bezogenen Wärmegewinne sinken mit steigender Größe des solaren Systems. Detaillierte Planungsunterlagen finden sich in "Solar Air Systems – A Design Handbook" (siehe S. 12 "Literatur").

Die Tabelle unten zeigt die gemessenen Wärmeerträge von realen Gebäuden. Die Angaben liegen in drei Fällen deutlich über den Zahlen in **14** – dies ist zurückzuführen auf die speziellen Nutzungsgegebenheiten sowie auf die lokalen Klimabedingungen.

### Ertrag von Zuluftanlagen (Messung - reale Gebäude)

Gebäudetyp	Kollektortyp	Kollektorfläche	Standort	Nutzbare Wärme
Industrie	verglast	126 m <sup>2</sup>	Helsingør, DK	76 kWh/m <sup>2</sup> a
	perforiert, unverglast	725 m <sup>2</sup>	Colorado, USA	810 kWh/m <sup>2</sup> a
Hallenbad	verglast	350 m <sup>2</sup>	Ingolstadt, D	715 kWh/m <sup>2</sup> a
Klinikum	verglast	270 m <sup>2</sup>	Freiburg, D	620 kWh/m <sup>2</sup> a
Schule	verglast, perforiert	177 m <sup>2</sup>	Koblach, A	254 kWh/m <sup>2</sup> a
Wohngebäude	verglast,	5 m <sup>2</sup>	Struer, DK	215 kWh/m <sup>2</sup> a
Büro	verglast	59 m <sup>2</sup>	Karlsruhe, D	85 kWh/m <sup>2</sup> a



**14** Jährlicher Ertrag von Zuluftsystemen bei unterschiedlicher Gebäudenutzung und Dämmstandard (Simulation für mildes und bewölktetes Wetter und für modellhafte Gebäude). Quelle: solar air systems – a design handbook

### Ertrag von Hypokaustensystemen

Solarbeheizte Hypokaustensysteme sind für Wohn- und Bürogebäude geeignet. Aufgrund höherer interner oder passiver solarer Wärmegewinne und des höheren Wärmeschutzes sind die nutzbaren solaren Wärmegewinne niedriger als bei Industrie- und Sporthallen.

**15** zeigt die möglichen Wärmegewinne für Wohn- und Bürogebäude. Die per Simulation

## Gebäudebeispiele

### Metallbau Eisenach

**Realisierung:** 1997

**Architekt:** Tillmanns, Stuttgart

**Solares Luftsystem:**

Frischluftherwärmung für Klimagarten, Überströmen in Büros, Produktion

**Solarkollektor:** Solarwall

**Kollektorfläche:** 200 m<sup>2</sup>



### Biohaus Bozen

**Realisierung:** 1999

**Architekt:** Sasso, Si Collalto, Andriolo

**Solares Luftsystem:** Frischluftherwärmung

**Solarkollektor:**

Grammer, in Fensteranlage integriert

**Kollektorfläche:** 33 m<sup>2</sup> in 9 Einheiten

**Luftmenge:** max. 250 m<sup>3</sup>/h, je Einheit

**Antrieb:**

photovoltaisch versorgter Gleichstrom-Ventilator mit 50 W<sub>peak</sub> pro Einheit



für modellhafte Gebäude ermittelten Werte streuen relativ stark, weil unterschiedliche Gegebenheiten wie Nutzungsbedingungen, Wärmeschutz, interne Wärmequellen und Lüftungssysteme berücksichtigt sind.

### Ergänzende Effekte

Die Solarenergienutzung hat auch Auswirkung auf konventionelle Anlagenteile. Die Kesselaufzeiten und der Schadstoffausstoß werden reduziert. Insbesondere in der Sanierung und besonders bei Anlagen mit alten, ineffizienten Wärmeerzeugern sind die Brennstoffeinsparungen beträchtlich.

Luftkollektoren in der Fassade oder im Dach sind zugleich eine Wärmedämmung für das Gebäude. Sie ermöglichen zusätzlich eine Rückgewinnung der (verringerten) Transmissionswärmeverluste.

### Zusatznutzung

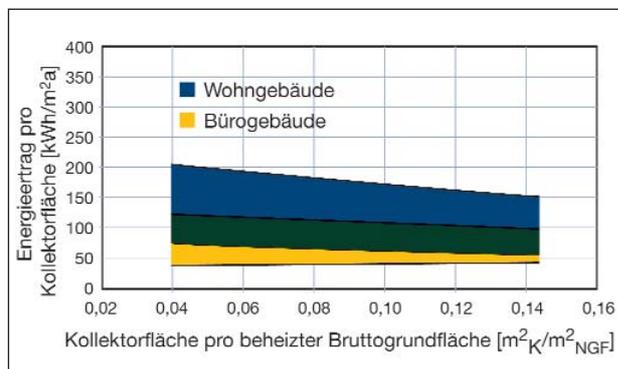
#### Sommernutzung (Warmwasserbereitung)

Im Sommer werden solare Luftheizsysteme in der Regel nicht benötigt, sie „stehen still“ – es verbleibt allein die Lüftungsfunktion ohne Erwärmung. Stillstand schadet den Luftkollektoren nicht, jedoch geht viel Wärme ungenutzt verloren. Es besteht jedoch die Möglichkeit, solare Luftsysteme auch für die Warmwasserbereitung einzusetzen. Die Anlagen können entsprechend erweitert werden. Solarsysteme, die für die kombinierte Erwärmung und Belüftung von Gebäuden ausgelegt werden, sind für die Warmwasserbereitung ausreichend leistungsfähig. Die Erweiterung oder Umrüstung ist vergleichsweise einfach, sofern auch die Wassererwärmung luftseitig als offenes System realisiert wird: Ein Luft-/Wasserwärmetauscher wird in einen Bypass zwischen Kollektor und Lüftungssystem am Kollektorausstritt installiert. Bei offenen Systemen muss die Luft im Kollektor in einem Schritt von der Umgebungstemperatur auf bis zu 70-90°C erwärmt werden. Dies gelingt nur bei kleinen Volumenströmen.

Mit geschlossenen Systemen <sup>16</sup> können zwar deutlich höhere solare Wärmegewinne erzielt werden, die Kosten steigen hier jedoch ebenfalls.

#### Kühlen mit solaren Luftsystemen

Solare Luftsysteme können im Sommer auch zur Kühlung von Gebäuden eingesetzt werden. Der Kollektor wird dafür durch eine parallel geschaltete Kälteerzeugung – z. B. einen Erdwärmetauscher – ersetzt. Wenn auch die Kältenutzung mit jedem solaren Luftsystem möglich ist, so unterscheiden sich Wirkungsweise und Aufwand je nach System deutlich. Maßgeblich sind hierfür die Gebäudekonstruktion und das Lüftungssystem sowie auch die Art der Wärmespeicherung und der Wärmeübergabe an die Räume.



**15** *Jährliche Wärmeerträge von Hypokaustensystemen für Wohngebäude (links) und Bürogebäude (rechts) bei überwiegend mildem, bewölktem Wetter in der Heizperiode.*

*Quelle: solar air systems – a design handbook*

#### Möglichkeiten zur Kälteverteilung

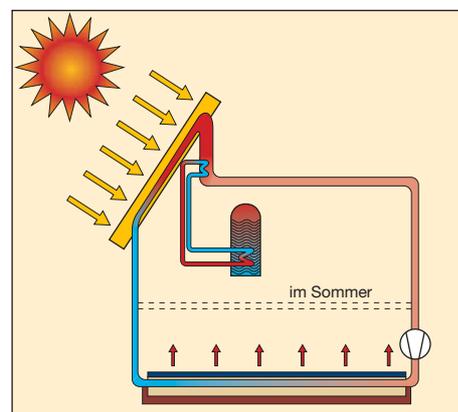
Die kühle Luft kann direkt in die Räume geblasen und verteilt werden oder indirekt über Hypokausten oder Murokausten die Räume kühlen.

#### Möglichkeiten zur Kältegewinnung

Aus energetischen Gründen ist die Installation von Erdwärmetauschern sinnvoll, insbesondere wenn die natürliche Nachtkühlung mit Umgebungsluft nicht ausreicht. Weiter besteht die Möglichkeit nach dem DEC-Verfahren zu kühlen: Die Luft ist hier ebenfalls der Kälte Träger und wird mit adsorbierenden Materialien wie z. B. Silikagel getrocknet und anschließend befeuchtet (Verdunstungskühlung). Zur Regeneration des Trocknungsmittels reichen Temperaturen von 55-65°C aus, weshalb hierzu solare Warmluft eingesetzt werden kann. Weiterhin bieten sich Absorptions- und Adsorptionskälteanlagen an, die ebenfalls solar betrieben werden können.

Der größte Doppelnutzen ergibt sich für das solare Luftsystem immer dann, wenn sich mit der Kühlungsfunktion eine mechanische Klimatisierung komplett erübrigt – dies ist am ehesten für Gebäude mit geringem sommerlichen Kältebedarf machbar.

Solare Luftsysteme sind besonders in „schweren“ Gebäuden zur Kühlung einsetzbar, weil hier zugleich eine effektive natürliche Nachtkühlung möglich ist und dies die täglichen Temperaturspitzen mit ihrem Wärmespeichervermögen begrenzt.



**16** *Warmwasserbereitung in einem Hypokaustensystem schematisch*

# Sanierungsprojekte

*Solare Luftsysteme sind in der Sanierung sehr gut einsetzbar, wenn Lüftungssysteme bereits vorhanden sind oder nachträglich eingebaut werden können. Die erzielbaren Einspareffekte hängen sehr stark von den Gegebenheiten des Gebäudes ab.*

Bei der energetischen Sanierung von Gebäuden geht es darum, die begrenzten finanziellen Mittel möglichst effektiv einzusetzen. Sanierungsmaßnahmen mit geringen Kosten pro eingesparter Kilowattstunde Wärme oder Strom werden in der Regel zuerst in Angriff genommen. Meist lohnen sich Maßnahmen zur Strom einsparung. Im Wärmebereich sind normalerweise Einsparungen bei den dominierenden Wärmeverlusten besonders effektiv. Bei älteren Wohn- und Bürogebäuden sind dies in der Regel die Transmissionswärmeverluste, in Funktionsgebäuden dominieren oft die Lüftungswärmeverluste, insbesondere wenn ein hoher Frischluftbedarf besteht.

## Welche Gebäudetypen?

Solare Luftsysteme kommen dann in Frage, wenn bei dem zu sanierenden Gebäude die Lüftungswärmeverluste dominieren. Dies ist bei Funktionsgebäuden mit hohem Frischluftbedarf der Fall. Außerdem sind solare Luftsysteme als Alternative interessant für alle Gebäude, bei denen der bauliche Wärmeschutz bereits ausreichend gut ist, jedoch bei hohem Frischluftbedarf solare Wärme zur Lufterwärmung genutzt werden kann. Solare Luftsysteme sind auch immer dann eine Alternative, wenn höherer Wärmeschutz aus gestalterischen Gründen erschwert ist, wie z. B. bei denkmalgeschützten Fassaden. Kostengünstig ist der Einsatz einer solaren Lüftung immer, wenn das Gebäude bereits eine Lüftungsanlage hat und (Warm-)Luftbedarf hoch ist. Auch für solare Luftsysteme gilt grundsätzlich, dass mit steigendem energetischen Standard alle weiteren Maßnahmen – bezogen auf die erreichbaren Einsparungen – überproportionale Kosten verursachen.

Auf diesen Seiten sind zwei Projektbeispiele dokumentiert: eine Sporthalle mit typischerweise hohem Frischluftbedarf und ein Klinikumsgebäude mit ebenfalls hohem Frisch-

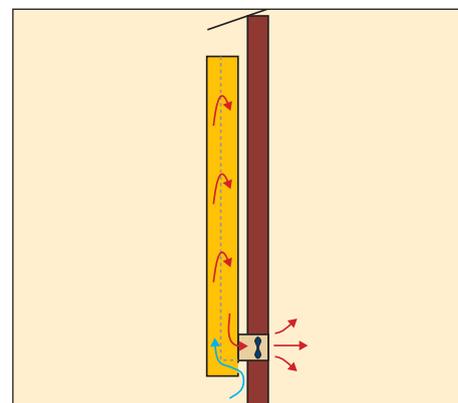
luftbedarf. In beiden Fällen wird mit dem solaren Luftsystem im Sommer Warmwasser erwärmt.

Weitere Beispiele für installierte solare Luftheiz- und Lüftungsanlagen in der Sanierung sind Möbelhäuser, Schwimmbäder, Fabrikhallen und Werkstätten. Vorteilhaft sind hier die bereits vorhandenen Lüftungsanlagen und die meist hohen Lüftungswärmeverluste. Wenn diese Gebäude nur kleine Fensterflächen haben, verlängert sich die Heizperiode aufgrund geringer passiver solarer Wärmegevinne – dies erhöht die Attraktivität von solaren Luftsystemen. Schwimmbäder benötigen häufig relativ hohe Innenlufttemperaturen, so dass hier die Heizperiode auch verlängert ist.

## Synergieeffekte

Besondere Synergieeffekte sind bei Gebäuden mit hohem Frischluftbedarf und vorhandener Lüftungsanlage erreichbar, wenn die Fassade sanierungsbedürftig ist. Mit Wandkollektoren (z. B. SolarWall) können bei nur geringen Mehrkosten im Vergleich zu einer Wandverkleidung deutliche Einsparungen erreicht werden. Insbesondere bei Industrie- und Gewerbebauten ist das eine interessante Sanierungsalternative.

Ein weiteres Beispiel in einem ganz anderen Bereich sind solare Luftheizanlagen in nur zeitweise genutzten Gebäuden wie Ferienhäusern oder Kirchen. Hier ist der Aspekt der Installation die Vermeidung von zu hoher Innenluftfeuchte, Erhalt von Inventar und Bausubstanz. Diese Anlagen sind als kleinere betriebsfertige Anlagen erhältlich (17). Sie sind mit einem Photovoltaik-Modul zur Stromversorgung des Ventilators ausgerüstet. Angenehmer Nebeneffekt: es ist keine Steuerung erforderlich – die Anlage läuft nur, wenn das PV-Modul Strom liefert, dies



17 Einfache Luftkollektoranlage zur Entfeuchtung und Temperierung von nur zeitweise genutzten Gebäuden

## Sanierungsprojekt Karl-Gymnasium in München

### Kollektorfläche

190 m<sup>2</sup>

### Luftmengen

2-stufig: 2.400/4.800 m<sup>3</sup>/h  
(2 Lüftungsgeräte mit Nacherhitzer)

### Betriebsweise

Vorrang für Frischluft- und Umlufterwärmung  
Warmwasserbereitung im Sommer

### Ergebnisse

Nutzbare Solargewinne: 283 kWh/m<sup>2</sup>a  
(53,7 MWh/a)  
Zusätzlich: Vermiedene Kesselstillstandsverluste von 48 MWh/a

### Gesamtkosten

83.850 €  
entspricht 440 €/m<sup>2</sup>, davon 65% für Kollektoren (einschließlich Montage), 18,3% Luftkanäle, 6,1% Regelung, 10,6% Warmwasserbereitung

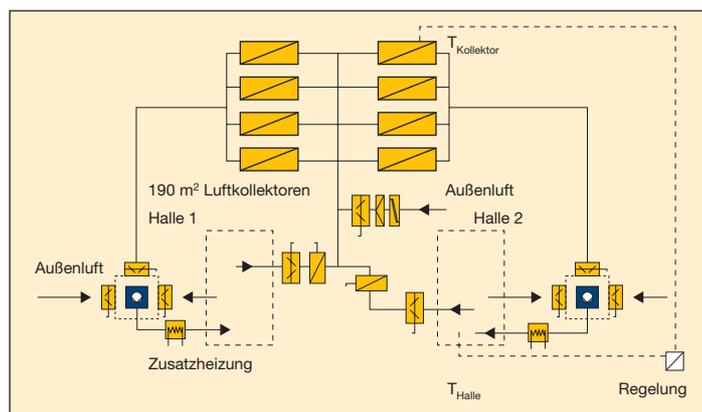
ermöglicht sogar eine Volumenstromregelung. Zur Installation ist lediglich ein einzelner Mauer- oder Dachdurchbruch erforderlich.

## Schulsporthalle

Die Zweifach-Turnhalle des Karl-Gymnasiums in München stammt aus dem Jahr 1972. Im Rahmen eines durch das BMWi geförderten Vorhabens wurde die Sporthalle energetisch analysiert und mit einem solaren Luftsystem ausgerüstet. Wesentliche Teile der



18 Zweifach-Turnhalle des Karl-Gymnasiums München Pasing



19 Schema der solaren Luftheizungsanlage

## Gebäudebeispiele

### Gemeindezentrum Waltenhofen

**Realisierung:** 2000

**Architekt:** Lichtblau, München

**Solares Luftsystem:** Umlüfterwärmung

**Solarkollektor:**

Grammer, semitransparenter Kollektor (3% Lochanteil)

**Kollektorfläche:** 20,8 m<sup>2</sup>

**Luftmenge:** 400 m<sup>3</sup>/h

**Prognostizierte Einsparung:**

250 kWh/m<sup>3</sup><sub>Koll</sub>

**Nennleistung:** 14 kW

**Weitere Informationen:**

www.energie-projekte.de



### Stadtreinigung Leipzig

**Realisierung:** 2001

**Architekt:** Schulz, Schulz, Sebralla; Leipzig

**Solares Luftsystem:** Hybridsystem, hinterlüftete PV Anlage, Frischlüfterwärmung

**Solarkollektor:** PV-Modul

**Kollektorfläche:** 120 m<sup>2</sup>

**Luftmenge:** 3.500 m<sup>3</sup>/h

**Nennleistung:** 56 kW thermisch, 9 kW elektrisch



bestehenden Lüftungsanlage konnten weiter verwendet werden. Nur wenige Modifikationen waren notwendig – so wurde die Frischluftansaugung über die neue Kollektoranlage geführt <sup>19</sup>. Trotz fehlender Daten über den Warmwasserverbrauch wurde eine solare Wassererwärmung für den Sommer realisiert. Auch der Blick auf vergleichbare Hallen half hier nicht weiter: Für Sporthallen sind sowohl hohe als auch extrem niedrige Werte dokumentiert. Der nach der Installation der solaren Warmwasserbereitung gemessene Verbrauch stellte sich als sehr gering heraus. Der bisherige Wärmeerzeuger kann im Sommer komplett abgeschaltet werden.



**20** Personalcasino des Klinikums Freiburg mit 109 Luftkollektoren zur Luftvorwärmung und Warmwasserbereitung – zusätzlich im Bild: diagonal verlaufende Modulreihen der Photovoltaik-Anlage

Um die Solarenergie auch während der Monate, in denen keine oder nur wenig Luftvorwärmung benötigt wird, voll nutzen zu können, wird überschüssige Wärme zur Brauchwarmwassererwärmung genutzt. Die Anlage läuft störungsfrei und bringt sehr hohe Energieerträge.

## Klinikgebäude

Das am Klinikum Freiburg installierte solare Luftsystem erwärmt mit auf dem Flachdach installierten Luftkollektoren die Frischluft der Klimaanlage und im Sommer zugleich das Brauchwasser <sup>20</sup> <sup>21</sup>.

Nach einer Machbarkeits- und Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde 1995 für das Personalcasino des Universitätsklinikums Freiburg ein solares Luftsystem installiert. Das Personalcasino hat einen relativ hohen Energiebedarf für Lüftung, Heizung, Warmwasser und Elektrizität. Die für die Klimatisierung des Casinos benötigte Außenluft wird jetzt solar vorgewärmt, und die im Sommer anfallende überschüssige Wärme wird zur Brauchwarmwassererzeugung genutzt.

Die Kollektorreihen sind parallel zur Gebäudelängsachse in Süd-Ost-Orientierung und unter einem Winkel von 45° zur Horizontalen aufgestellt. Diese Orientierung ist vorteilhaft, weil der Luftwärmebedarf vormittags am größten ist.

### Wann sind solare Luftsysteme interessant?

- Bei installierter oder geplanter Lüftungsanlage – insbesondere wenn keine Wärmerückgewinnung geplant oder installiert ist
- bei Gebäuden mit hohem Frischluftbedarf
- bei Gebäuden mit Lüftungswärmebedarf und zusätzlichem Warmwasserbedarf im Sommer
- bei nur zeitweise genutzten Gebäuden zur Vermeidung von Feuchteschäden (Sommer-Wochenendhäusern, Kirchen etc.) und zur Anhebung der Temperatur außerhalb (Frostsicherung) und während der Nutzung
- Bei Gebäuden mit massiven Decken mit Deckenhohlräumen (Hypokaustenfunktion)

### Sanierungsprojekt Klinikum Freiburg

**Kollektorfläche**

270 m<sup>2</sup>

**Luftmengen**

Zentrale Klimaanlage: 40.000 m<sup>3</sup>/h

Solarkollektoranlage: 12.000 / 27.500 m<sup>3</sup>/h (Winter/Sommer)

**Betriebsweise**

Vorrang für Frischlüfterwärmung; je nach Bedarf: Warmwasserbereitung im Mischbetrieb und als Vorwärmesystem; Regelung: DDC-Regelung, Luftmengenregelung durch Kollektorkreisventilator mit Frequenzumrichter in Abhängigkeit von Solareinstrahlung und Temperaturdifferenz

**Ergebnisse**

Nutzbare Solargewinne: 620 kWh/m<sup>2</sup>a (170 MWh/a)

Davon: 100 MWh/a für die Luftvorwärmung (entspricht 15% des Luftwärmebedarfs)  
70 MWh/a für die Warmwasserbereitung (entspricht 18% des Wärmebedarfs für WW)

**Kosten**

500.000 € (Gesamtes System einschließlich Planung, Montage)



**21** Detailsichten von Luftkollektoren, Zentrallüftungsgerät mit Luft/Wasser-Wärmetauscher und Luftführung

# Planung

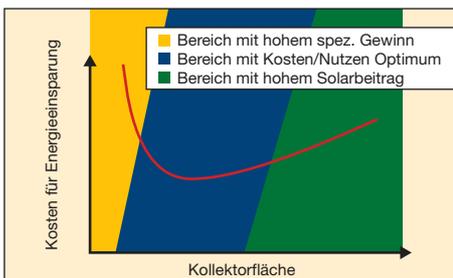
Die Planung eines solaren Luftsystems stellt im Kern die gleichen Anforderungen, wie die Planung einer gewöhnlichen Solaranlage. Im Folgenden geht es daher um die planungsrelevanten Besonderheiten von solaren Luftsystemen.

Eine wichtige Kenngröße solarer Luftsysteme ist der solare Deckungsgrad (SF). Dies meint den Anteil des Wärmebedarfes für Heizung, Lüftung und Warmwasser, welcher übers Jahr durch Solarenergie bereitgestellt werden kann. Solare Deckungsgrade von über 50 % sind für die solare Luftheizung nur mit sehr hohem Aufwand erreichbar, d. h. nur mit großen Kollektorflächen und Speichern sowie bei gut wärmegeschützten Gebäuden. Der unter energetischen und ökonomischen Aspekten optimierte Wert für den solaren Deckungsgrad liegt bei den meisten Anlagen zwischen 15 und 30%. Denn groß dimensionierte Anlagen erreichen zwar einen hohen solaren Deckungsgrad jedoch lediglich geringe flächen- und kostenbezogene Leistungen. Bei kleinen Anlagen verhält es sich umgekehrt. 22 zeigt, dass sich die Kosten nicht linear zwischen diesen Polen entwickeln: Die anlagenspezifischen Fixkosten, wie Regelung, einmalige Installationen etc. und feste Nebenkosten wirken sich bei kleinen Anlagen besonders stark auf die spezifischen Einsparkosten aus.

## Gebäude- und Systemintegration

**Lüftungssystem:** Die Gestaltungsmöglichkeiten hängen in sehr hohem Maße davon ab, wie früh im Planungsprozess Luftsysteme eine Rolle spielen. Lüftungsanlagen haben in der Regel einen höheren Platzbedarf als gewöhnliche Heizungsanlagen mit Radiatoren. Dies sollte in einem sehr frühen Planungsstadium berücksichtigt werden, später steigt der Aufwand deutlich.

**Kollektoren:** Für die Luftkollektoren kann zumeist das Dach genutzt werden. Ist eine solare Luftheizung geplant, kann auch die Fassade genutzt werden. Im Jahresmittel die höchste Einstrahlung erhalten Kollektoren mit Südorientierung und einer Neigung von ca. 40° gegen die Horizontale. Je nach solarem Luftsystem, Gebäudetyp und Verbrauchsstatistik sind Abweichungen von dieser Orientierung sinnvoll. Liegt zum Beispiel



der Schwerpunkt des Wärmebedarfs in den Abendstunden, verschiebt sich die ideale Kollektororientierung etwas in Richtung Westen und mit einer größeren Neigung gegen die Horizontale. Abweichungen von der jeweils idealen Kollektororientierung von  $\pm 10^\circ$  sind völlig unproblematisch.

**Anschlusskanäle:** Sie verbinden Luftkollektoren mit der Lüftungsanlage. Hierfür sollte genügend Platz vorgesehen werden. Auch ist auf geringen Druckverlust zu achten.

**Lüftungsgeräte:** Auch hierfür sollte ausreichend Platz eingeräumt werden. Eine kollektornaher Aufstellung ist vorteilhaft.

**Regelung:** Generell ist es günstig solare Heizsysteme für die Nord- und Südzone getrennt zu regeln, um den unterschiedlichen Wärmebedarf berücksichtigen zu können.

## Werkzeuge

Für einfache Zuluft- und Luftheizsysteme sind einfache Bilanzprogramme ausreichend. Verschiedene solcher Software-Werkzeuge sind verfügbar. Es handelt sich zumeist um die Auslegungsprogramme der Komponentenhersteller, welche ihre Software den Planern zugänglich machen (z. B. LUFTIKUS). Diese Planungshilfsmittel sind von den Herstellern entwickelt worden auf der Basis reichhaltiger Projekterfahrungen.

Bei der Planung von solaren Luftsystemen sind Wechselwirkungen mit dem Gebäude – durch passive solare Wärmegewinne und Speichereffekte – in besonderer Weise zu beachten. Aufgrund der wechselnden äußeren Bedingungen (ungleichmäßige Solarstrahlung und Außentemperatur) ist eine passende Systemauslegung keine einfache

## Dynamische Simulation mit TRNSAIR

### Leistungsumfang

Dynamische Simulation mit einem Zwei-Zonen-Gebäudemodell. 6 verschiedene Systemvarianten. Berücksichtigung interner und passiver solarer Wärmegewinne. Berechnung der Temperaturentwicklung in Zeitschritten.

### Merkmale

- Vollständige TRNSYS-Simulation
- Einfache Änderung der Gebäudegeometrie
- 3 vordefinierte Gebäudedämmstandards
- 2 Gebäudekonstruktionen (schwer – leicht)
- 2 vordefinierte Nutzungsarten (Büro + Wohnen)
- 6 unterschiedliche solare Luftheizsysteme
- Vordefinierte Werte können individuell geändert werden
- Datenbank für Materialien, Wände, Fenster
- Graphische und tabellarische Darstellung der Simulationsergebnisse

### Systemvoraussetzungen

PC mit WINDOWS-Betriebssystem

### Bezugsquelle

[www.transsolar.com/ts/indexair.htm](http://www.transsolar.com/ts/indexair.htm)

Hier ist auch eine kostenfreie Demoversion erhältlich

### Preis

500 € zzgl. MwSt. (ohne Hotline)

### Hinweis

Der Einarbeitungsaufwand für TRNSAIR ist – wie bei TRNSYS – nicht zu unterschätzen. Ggf. wird empfohlen, die Zusammenarbeit mit einem erfahrenen Dienstleister zu suchen, der die Simulation per Auftrag übernimmt.

Aufgabe. Für größere und komplexe Gebäude wird daher eine detaillierte Simulationsrechnung empfohlen, denn die einfachen Werkzeuge können interne und passive solare Wärmegewinne nicht oder nur ungenau erfassen und die Dynamik des thermischen Gebäudeverhaltens nicht abbilden. Im Rahmen des Task 19 des IEA-Programms „Solar heating and cooling“ wurde die Software TRNSAIR auf Basis von TRNSYS entwickelt. TRNSAIR hat die in Task 19 definierten solaren Luftsysteme in einer System- und Komponentenbibliothek hinterlegt und bietet ein detailliertes, dynamisches Berechnungsverfahren (Tabelle oben) mit graphischer Ausgabemöglichkeit der Berechnungsergebnisse.

## Planungsschritte und Tipps

**Wärmebedarf:** Ermittlung der Transmissionswärmeverluste, des Lüftungswärmebedarfs und der internen und passiven solaren Wärmegewinne.

**Integration:** Möglichkeiten zur Installation/Nachrüstung eines solaren Luftsystems prüfen. Hierbei das dynamische thermische Verhalten des Baukörpers, die Grundrisse und die thermische Zonierung berücksichtigen.

**Solaraktive Flächen:** Ermittlung geeigneter Flächen zur Anbringung von Kollektoren. Hierbei möglichst zusammenhängende Flächen für die Kollektoren identifizieren und evtl. Verschattungseffekte durch umliegende Gebäude oder Bäume sowie Eigenverschattung beachten.

**Optimierung** von Kosten und Nutzen gemäß 22: Kleine Anlagen sind tendenziell energieeffizienter aber auch teurer pro Leistungsgröße als große Anlagen – solare Deckungsgrade von 15-30% sind meist ideal. Es empfehlen sich je nach Objekt entweder einfache Tools auf Basis von Gebäudebilanzgleichungen wie z. B. LUFTIKUS oder eine dynamische Gebäudesimulation z. B. mit TRNSAIR.

**Zonierung:** Meist ist es vorteilhaft das solare Luftheizungssystem für die Nord- und Südzone getrennt zu regeln. So können auch evtl. Wärmeüberschüsse aus der Südzone für die Nordzone genutzt werden.

**Achtung:** Auch Fenster, Wintergärten und Atrien etc. tragen zu solaren Wärmegewinnen bei. Ihr Wärmebeitrag muss möglichst genau kalkuliert und ggf. Wärme speichernde Komponenten vorgesehen werden (z. B. Hypokaustensysteme), um die solare Wärme möglichst vollständig und effektiv nutzen zu können.

Weitere Hinweise finden sich im Planungshandbuch des IEA Tasks 19 (s. a. „Ergänzende Informationen“ auf S. 12)

## Fazit

*Mit solaren Luftsystemen kann Energie eingespart und der Raumkomfort erhöht werden. Die Technik kann im Neu- und Altbau eingesetzt werden und bietet sich an bei Gebäuden mit ohnehin notwendiger oder vorhandener Lüftungsanlage bei hohem Frischluftbedarf. Fassadenintegrierte Komponenten stehen zur Verfügung, so dass auch architektonisch anspruchsvolle Lösungen möglich sind. Nur bei sehr sorgfältiger Planung und Abstimmung von Komponenten kann bei bestimmten Gebäudetypen ausreichend solare Wärme im Gebäude genutzt und damit das solare Luftsystem kosteneffizient betrieben werden.*

Solare Luftsysteme sind immer auf das Zusammenspiel mit einer konventionellen Wärmeversorgung oder mit Lüftungs- und Klimaanlage angewiesen. Dies ist zunächst einmal ein Nachteil, denn mit dem zusätzlichen solaren System steigen die Kosten und die Planung wird aufwendiger. Doch zugleich sind die vielfältigen Kombinations- und Anwendungsmöglichkeiten dieser Technik eine Chance für bestimmte Gebäudetypen und viele Sanierungsprojekte. Hohe solare Wärmegewinne und damit Energieeinsparereffekte sind möglich, wenn gewöhnliche Lüftungs- und Klimaanlage in Gebäuden mit hohem Frischluftbedarf um die meist einfachen solaren Komponenten erweitert werden. In verschiedenen Demonstrationsprojekten konnte gezeigt werden, dass das günstigste Kosten-/Nutzen-Verhältnis erreicht

wird mit solaren Luftsystemen zur Vorerwärmung der Frischluft.

Solare Luftsysteme stehen in Konkurrenz mit Systemen zur Wärmerückgewinnung. Grundsätzlich lassen sich beide kombinieren, jedoch schrumpfen dann die nutzbaren solaren Wärmegewinne.

Für die Planung ist wichtig, dass das solare Luftsystem in einem möglichst frühen Planungsstadium zum Zuge kommt. Bei Gebäuden mit hohen internen oder passiven solaren Wärmegevinnen oder auch in Fällen mit hohen Komfortansprüchen, z. B. zur Integration einer Hypokaustenheizung, ist die dynamische Anlagensimulation notwendig. Ein für die Konzeptbewertung und für den Vergleich verschiedener Systeme geeignetes Werkzeug steht zur Verfügung.

## Literatur

- Hastings, S. R. (Hrsg.); Mörck, O. (Hrsg.): Solar Air Systems – A Design Handbook. London: James & James Ltd., Dez. 2000. 286 S. ISBN 1-873936-86-9, Engl. Pfd. 50,00
- Hastings, S. R. (Hrsg.): Solar Air Systems – Built Examples. London: James & James Ltd., Jan. 1999. 224 S., ISBN 1-873936-85-0, Engl. Pfd. 45,00
- Hastings, S. R. (Hrsg.); Røstvik, H. N. (Hrsg.): Solar Air Systems – Product Catalogue. London: James & James Ltd., Nov. 1998. 32 S. + Anl., ISBN 1-873936-84-2, Engl. Pfd. 15,00
- Fechner, H.; Bucek, O.: Vergleichende Untersuchungen an Serien-Luftkollektoren im Rahmen von IEA Task 19 „Solar Air Systems“. In: Neuntes OTTI-Symposium Thermische Solarenergie 1999. 570 S. S. 91-95

## Ergänzende Informationen

Weitere Informationen sowie eine ausführliche Linkliste zum Thema sind bei BINE oder unter [www.bine.info](http://www.bine.info) (Service/InfoPlus) abrufbar.

## Projektorganisation

### Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), 11019 Berlin

Projekträger Jülich (PTJ) des BMWi  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Jürgen Gehrman  
52425 Jülich

### Projektadressen

Forschungsstelle Solararchitektur  
ETH Hönggerberg, Robert Hastings  
8093 Zürich, Schweiz

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)  
Hans Erhorn  
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Ingenieurbüro Morhenne GbR  
Dr. Joachim Morhenne  
Schülkestraße 10, 42277 Wuppertal

Transsolar Energietechnik GmbH  
Alexander Knirsch  
Curiestraße 2, 70563 Stuttgart

### Projektkennzeichen

0329016E, 0338928D, 0329796A u. a.

## Impressum

### ISSN

1610 - 8302

### Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,  
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische  
Information mbH,  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

### Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig mit vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares. Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung des jeweils Berechtigten.

### Autor

Joachim Morhenne

### Redaktion

Johannes Lang

## Kontakt

### Fragen zu diesem Themeninfo?

Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie die BINE Experten-Hotline:

Tel. 0228 / 923 79-44

### Allgemeine Fragen?

Wünschen Sie allgemeine Informationen zum energie- und umweltgerechten Planen und Bauen? Dann wenden Sie sich bitte an die unten stehende Adresse



**BINE**

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe  
Mehenstraße 57, 53129 Bonn  
Tel. 0228 / 9 23 79 0  
Fax 0228 / 9 23 79 29  
eMail [bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de)  
Internet: [www.bine.info](http://www.bine.info)