

3.3. Solare Klimatisierung

3.3.1 Varianten

Die solare Klimatisierung besitzt den großen Vorteil ungefähre zeitlicher Identität von Strahlungsangebot und Klimatisierungsbedarf. Es gibt eine ganze Reihe von Möglichkeiten, die in Bild 96 dargestellt sind.

Zu unterscheiden ist hauptsächlich zwischen thermischen und elektrischen Verfahren. Während die Kopplung von Solarzellen und Kompressionskältemaschinen als prinzipiell gelöst betrachtet werden kann und der Einsatz nur Kostenprobleme bereitet, sind für den Einsatz von Sorptionsprozessen noch beträchtliche Forschungsaufwendungen zu leisten.

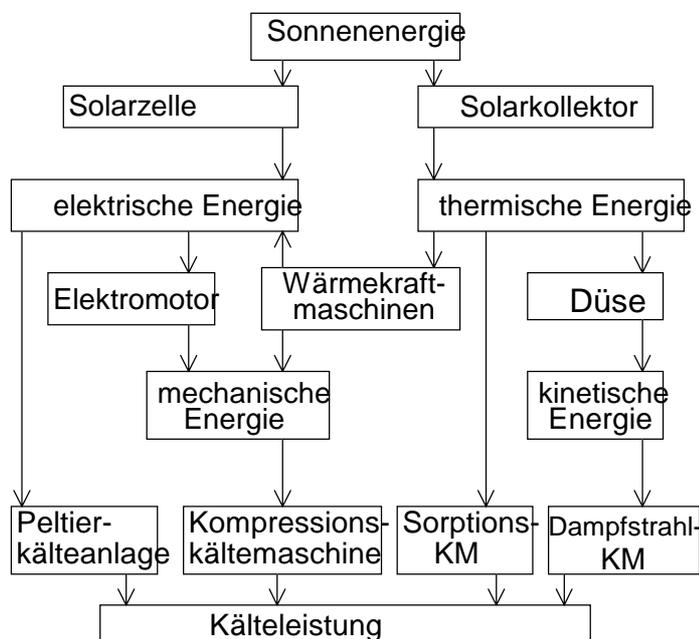


Bild 96: Solare Kühlverfahren nach Schmidt /80/

Sorptionsprozesse basieren auf der Affinität eines Kältemittels zu einem Sorptionsmittel. Zumeist bewirkt das Sorptionsmittel lediglich eine Verschiebung der Dampfdruckkurve des Kältemittels, das sich ansonsten unverändert verhält. Bei einigen Stoffpaaren sind zudem Lösungswärmen zu berücksichtigen.

Unterschieden wird einerseits nach Absorption und Adsorption, je nachdem ob es sich um ein flüssiges oder festes Sorptionsmittel handelt und andererseits nach offenen und geschlossenen Prozessen. Übliche Stoffpaare in geschlossenen Prozessen sind Ammoniak/Wasser sowie Lithiumbromidlösung/Wasser. Alternativ wird am Einsatz von Lithiumbromid/Methanol und Silicagel/Wasser gearbeitet. In offenen Prozessen werden Zeolith, Lithiumchlorid oder -bromid als Sorptionsmittel und der Wasserdampf der Luft als Kältemittel eingesetzt.

In Bild 97 sind die erforderlichen Austreibertemperaturen für eine ideale Ammoniak-Wasser-Absorptionskältemaschine dargestellt. Bei anderen Stoffpaaren sind die Bedingungen ähnlich, bei einigen auch besser, oft sind jedoch keine Temperaturen unter 0 °C herstellbar.

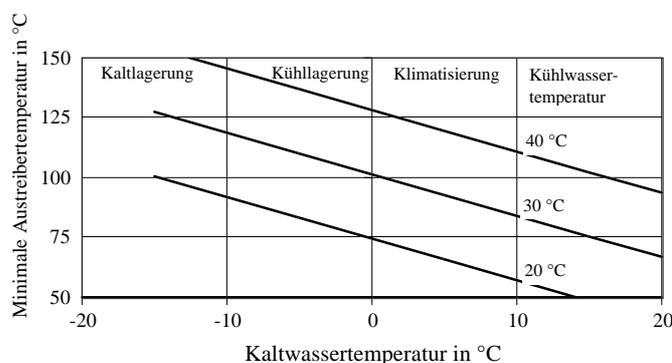


Bild 97: Minimale Austreibertemperatur nach /81/

Erkennbar wird, daß mit Energiequellen, die wie die Solarenergie nur Temperaturen bis 100 °C sinnvoll liefern können, nur für Klimatisierungs- nicht aber für Kühlzwecke Kälte bereitgestellt werden kann sowie zwingend der Einsatz von Naßkühltürmen erforderlich ist.

Besonders günstige Temperaturverhältnisse bieten die erst seit wenigen Jahren auf dem Markt verfügbaren Adsorptionskältemaschinen mit den Arbeitsmitteln Silicagel und Wasser. Der Prozeß ist diskontinuierlich und geschlossen. In Bild 98 ist ein solches Gerät im Schnitt dargestellt. Ein Zyklus läuft in folgenden Arbeitstakten ab:

1. Das an das Silicagel angelagerte Wasser wird im 2. Wärmeübertrager unter Wärmezufuhr ausgetrieben.
2. Das Wasser wird im Kondensator verflüssigt und Wärme an das Kühlwasser abgeführt.
3. Das Kondensat wird in den Verdampfer eingesprüht und bei starkem Unterdruck verdampft. Dabei wird Wärme aus dem Kaltwasser entnommen und dieses dabei auf die für die Klimaanlage erforderliche Temperatur abgekühlt.
4. Im Wärmeübertrager 1 wird der Wasserdampf adsorbiert und die entstehende Wärme an das Kühlwasser abgeführt.

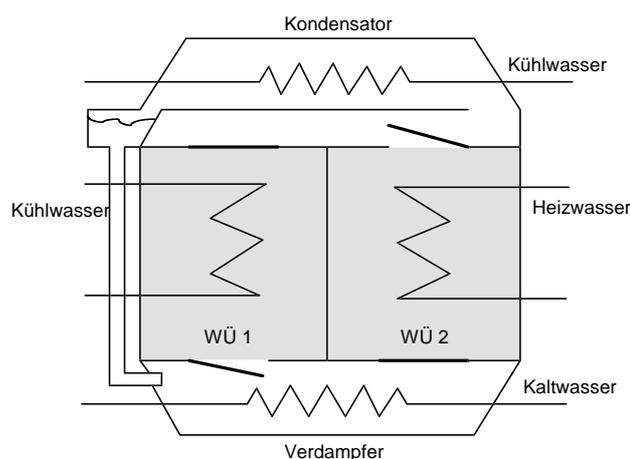


Bild 98: Adsorptionskältemaschine NAK/82/

Durch einfaches Umlenken des Heiz- und Kühlwasserkreislaufs zwischen den Wärmeübertragern 1 und 2 werden die Funktionen Austreiber und Adsorber am Ende eines Zyklusses vertauscht und der Prozess beginnt von neuem. Im Auslegungszustand dauert ein Zyklus etwa sieben Minuten.

Die Maschinen sind deutlich größer und schwerer als vergleichbare Absorptionskältemaschinen und leider gegenwärtig auch teurer. Ein Unternehmen arbeitet momentan an einer Verbesserung dieses Prinzips. So soll die Gußkonstruktion durch eine Schweißkonstruktion ersetzt werden. Der Leistungsbereich, der gegenwärtig bei 70 kW beginnt, wird nach unten erweitert.

Unter günstigen Rahmenbedingungen setzt die Desorption bereits bei 55 °C ein. Allerdings sind die Kälteverhältnisse mit 0,4 bis 0,65 auch niedriger als bei Absorptionskältemaschinen, so daß sich der Einsatz auf temperaturbegrenzte Heizenergiequellen, wie Abwärme, Solarenergie und Fernwärme beschränken dürfte.

In Bild 99 sind die Kälteverhältnisse für die NAK und die LiBr-H₂O-Maschine York WFC 10 /83/ dargestellt. Es fällt auf, daß die York-Maschine bei hohen Heizwasser- und niedrigen Kühlwassertemperaturen geeigneter ist, bei Verschlechterung der Temperaturbedingungen jedoch schnell im Kälteverhältnis nachläßt. Die NAK ist sehr viel unempfindlicher.

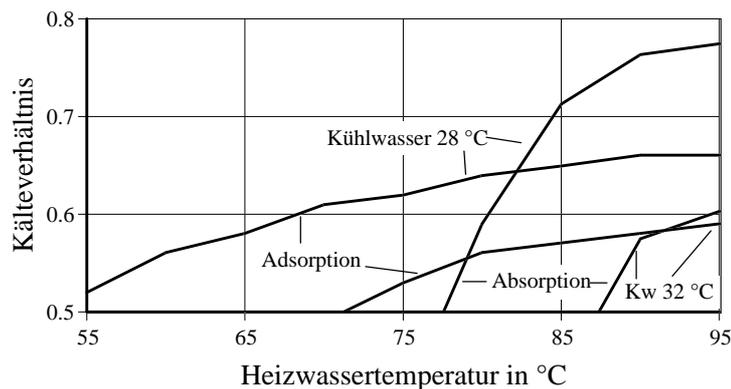


Bild 99: Kälteverhältnisse für Absorption und Adsorption

3.3.2. Simulation mit TRNSYS

Die solare Klimatisierung mit einer Sorptionskältemaschine soll anhand eines Beispiels untersucht werden. Die Schaltung erfolgt in vereinfachter Weise entsprechend Bild 100 /84/. Bedingt durch die starke Abhängigkeit von Wetterdaten und variablen Anlagenzuständen ist die energetische Bilanzierung nur mit Simulationsprogrammen wie TRNSYS möglich. Dort ist deshalb seit längerem auch ein TYPE 7 entsprechend der Absorptionskältemaschine Arkla WF 36 enthalten. Zusätzlich wurde ein TYPE für die Adsorptionsmaschine NAK programmiert.

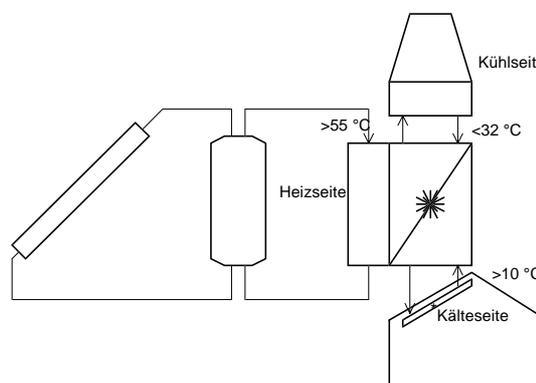


Bild 100: Beispiel für die solare Klimatisierung

In den Unterlagen zu den Maschinen sind sehr ausführliche Angaben in Tabellen zu Kältezahl und -leistung in Abhängigkeit von Kalt-, Kühl- und Heizwassertemperatur enthalten. Diese Angaben sollten allerdings noch bei ausgeführten Anlagen überprüft werden. Unpraktisch ist auch, daß die Angaben nur für eine Kühlwassertemperatur von 28 bis 32 °C gemacht wurden. In der Realität ist das Spektrum sehr viel breiter.

Die Abhängigkeit von den Masseströmen ist nicht hinreichend dokumentiert. Deshalb wird von konstanten Werten ausgegangen. Somit ändern sich die Temperaturspreizungen bei Abweichung vom Auslegungszustand.

Da es nicht gelang, empirische Funktionen für die zu berechnenden Größen zu erstellen, wurden alle Angaben mit DATA in das TYPE-Unterprogramm integriert und ein Auswahl- und Interpolationsalgorithmus geschaffen. Berücksichtigt werden mußte, daß Kältezahl und Leistung bei einer Erhöhung der Heiztemperatur über 100 °C oder des Kaltwasserzuflusses über 14 °C sowie einer Senkung der Kühlwassertemperatur unter 28 °C konstant bleiben. Weiterhin war zu berücksichtigen, daß die Kältemaschine bei einer Heizwassertemperatur unter 55 °C oder eines Kaltwasserzuflusses unter 10 °C sowie einer Kühlwassertemperatur über 32 °C ihre Tätigkeit einstellt. Die Kältemaschine soll im Bereich zwischen 0 und der zum jeweiligen Temperaturzustand gehörenden Kälteleistung proportional regelbar sein.

Die Belegung des TYPE wurde folgendermaßen definiert:

Parameter

1	CAPY	Nennkälteleistung
---	------	-------------------

Inputs

1	t_{hzu}	Vorlauftemperatur Heizwasser
2	m_h	Massestrom Heizwasser
3	t_{kzu}	Vorlauftemperatur Kühlwasser
4	m_k	Massestrom Kühlwasser
5	t_{czu}	Vorlauftemperatur Kaltwasser
6	m_c	Massestrom Kaltwasser
7	Q_{load}	erforderliche Kälteleistung

Die Masseströme dürfen sich nicht wesentlich von den Auslegungsmasseströmen unterscheiden. Alle Wärmeströme sind in kJ/h anzugeben.

Outputs

1	t_{hab}	Rücklauftemperatur Heizwasser
2	m_h	Massestrom Heizwasser
3	t_{kab}	Rücklauftemperatur Kühlwasser
4	m_k	Massestrom Kühlwasser
5	t_{cab}	Rücklauftemperatur Kaltwasser
6	m_c	Massestrom Kaltwasser
7	Q_{cool}	realisierte Kühlleistung
8	Q_{gen}	Heizleistung
9	$Q_{kühl}$	Rückkühlleistung

Die Einbindung in ein ausführbares Programm ergab keine besonderen Schwierigkeiten.

Zu beachten ist, daß die Kühlwassertemperatur nicht über 32 °C ansteigen darf. Somit ist der Einsatz eines Naßkühlturms zwingend erforderlich. Setzt man für diesen kein spezielles TYPE ein, so ist die Kühlwassertemperatur approximierbar, indem der Feuchtkugeltemperatur ein konstanter oder lastabhängiger Wert hinzuaddiert wird.

Die Einbindung in das Gebäude darf auf keinen Fall über "cooling type" erfolgen. Das Gebäude würde von einer Kühlung mit der jeweils erforderlichen Leistung ausgehen, auch wenn die Kältemaschine diese zeitweilig nicht erbringen kann. Die Energiebilanz würde dann nicht stimmen.

Eine sinnvolle Variante ist die Errechnung einer raumtemperaturabhängigen Kälteanforderung in einer Gleichung, die dann der Kältemaschine übermittelt wird. Diese bestimmt die erreichbare Kälteleistung und liest sie in das Gebäude über ein negatives "gain type" ein. Sehr viel realitätsnäher, aber auch wesentlich komplizierter ist die exakte Modellierung einer Vollklimaanlage.

Die Rückkopplungen zwischen Solarkreis, Gebäude und Kältemaschine führen zu Konvergenzproblemen. Es müssen relativ kleine Zeitschritte gewählt werden und die Regelung sollte stetig erfolgen. Stetig heißt in diesem Fall nicht nur die Abwesenheiten von Sprungstellen, sondern auch von Knickpunkten.

3.3.3. Betriebsverhalten anhand eines Beispiels

Als Untersuchungsbeispiel wurde ein in Planung befindliches Verwaltungsgebäude in Berlin gewählt. Dort sollen ein sehr gut genutzter Kongreßsaal mit 250 Plätzen sowie mehrere Beratungs- und Büroräume klimatisiert werden. Vorgesehen sind dafür 450 m² Flachkollektoren mit transparenter Wärmedämmung, ein Speicher von 10 m³ und eine NAK-Kältemaschine mit 70 kW Nennleistung. Die Kälteeinbindung wird mit dem vereinfachten Algorithmus berechnet. Die Regelung erfolgt stetig mit den Stützstellen 23 und 27 °C. Die Klimatisierung arbeitet nur tagsüber. In Bild 101 ist ein charakteristischer Tagesgang der Anlage und in Bild 102 ein Energieflußbild dargestellt .

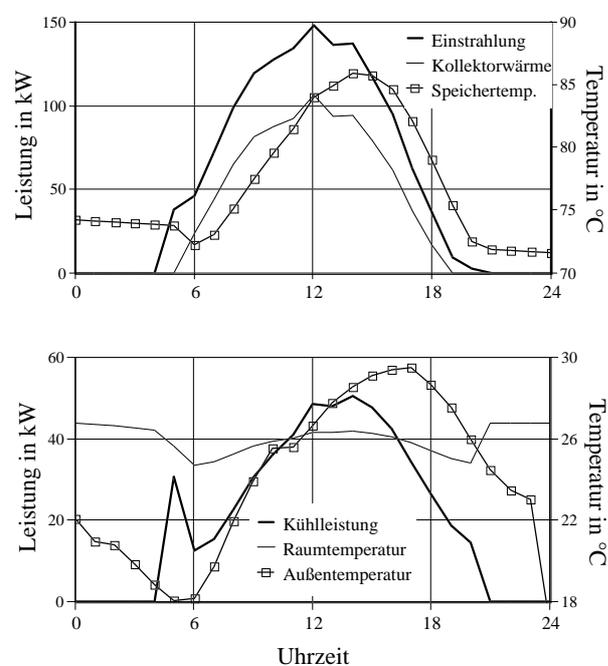


Bild 101: Charakteristischer Tagesverlauf

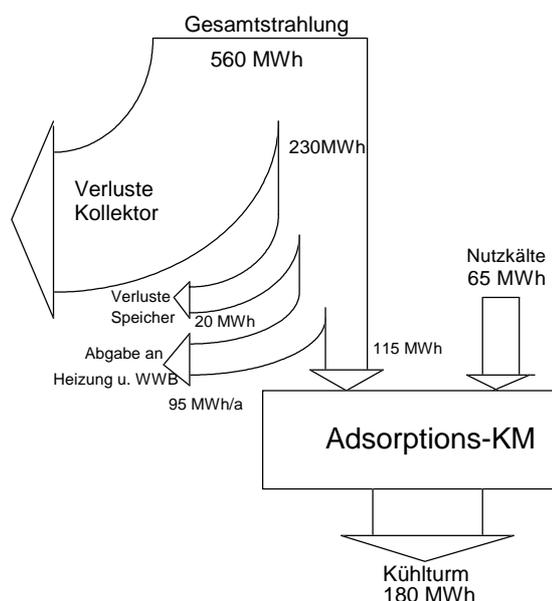


Bild 102: Energieflußbild

In den Abendstunden des Vortages war die Raumtemperatur bis auf 27°C angestiegen, um in den Morgenstunden durch die geringen Außentemperaturen wieder leicht abzusinken. Mit dem Sonnenaufgang 4.30 Uhr wird die Klimatisierung eingeschaltet. Da die Kollektoren erst ab 6.00 Uhr und dann zunächst auch nur sehr wenig Energie liefern, kühlt sich der Speicher ab. Im Laufe des Vormittags steigt die Speichertemperatur dann wieder deutlich an, um sich bei vermindertem Strahlungsangebot am späten Nachmittag wieder abzukühlen.

Bis 6.00 Uhr ist der Raum auf 24,5 °C abgekühlt. Im Laufe des Vormittags erwärmt er sich aufgrund der Sonneneinstrahlung wieder. Die Klimatisierung steuert dem entgegen, kann jedoch aufgrund der Regelabweichung nur ein Ansteigen auf über 26,5°C verhindern. Dies

entspricht den Vorgaben des Auftraggebers. Während das Maximum der Strahlung 12.00 Uhr auftritt, liegt dieses bei der Außentemperatur um 17.00 Uhr und beim Kältebedarf um 14.00 Uhr.

Von 560 MWh Gesamtstrahlung werden 115 MWh zur Beheizung der Kältemaschine genutzt. Mit dieser Wärmemenge kann eine Kältemenge von 65 MWh bereitgestellt werden, was einem Kälteverhältnis von 57 % gleichkommt. Die Maschine hat also zumeist im mittleren Temperaturbereich gearbeitet. Diese Kältemenge war für die Klimatisierung ausreichend. Es muß keine konventionelle Zusatzversorgung installiert werden.

Während der Winter- und Übergangszeit wird keine Solarwärme für die Klimatisierung benötigt. Es werden dann insgesamt 95 MWh der Heizung und Warmwasserbereitung zugeführt.

Wie sieht es nun aus, wenn eine Einschränkung des Komforts hingenommen oder eine konventionelle Zusatzbeheizung vorgesehen wird? In Bild 103 ist die solare Deckungsrate der Klimatisierung für unterschiedliche Kollektorflächen dargestellt. Die Deckungsrate sinkt zunächst sehr langsam ab. Die Ursache ist darin zu suchen, daß zunächst nur die relativ kleine Gruppe der warm-diesigen Tage nicht mehr vollständig solar abgedeckt werden kann.

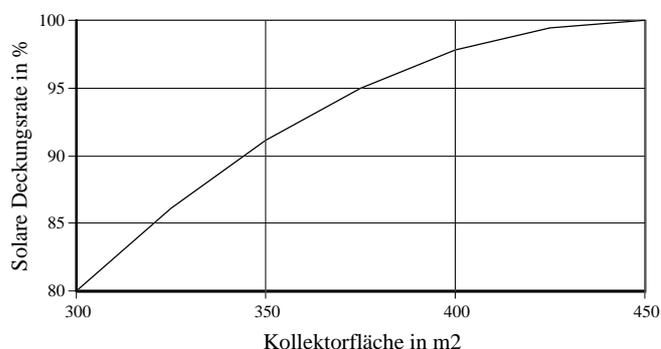


Bild 103: Deckungsrate und Kollektorfläche

3.3.4 Überschlägige Kostenermittlung

Die Kosten der Kältebereitstellung sollen ganz grob nach dem Annuitätenverfahren abgeschätzt werden. Folgende Varianten werden miteinander verglichen:

- elektromotorisch betriebener Kompressions-Kaltwassersatz
- fernwärmebeheizte Adsorptionskältemaschine
- solar beheizte Adsorptionskältemaschine

Zunächst werden kapital- und betriebsgebundene Kosten bestimmt:

	Investition	kapitalg. Kosten	betriebsg. Kosten
a) luftgek. el. Kaltwassersatz	60 TDM	6100 DM/a	2000 DM/a
Montage Kaltwassersatz	20 TDM	2000 DM/a	
Kältekreis	40 TDM	3400 DM/a	800 DM/a
Leittechnik	20 TDM	2000 DM/a	600 DM/a
Summe	140 TDM	13500 DM/a	3400 DM/a

b)	Adsorptionskältemaschine	150 TDM	10700 DM/a	1000 DM/a
	Kühlturm	25 TDM	2500 DM/a	500 DM/a
	Montage	40 TDM	2900 DM/a	
	Heiz-, Kühl- und Kältekreis	100 TDM	8600 DM/a	1000 DM/a
	Speicher	7 TDM	600 DM/a	100 DM/a
	Leittechnik	30 TDM	3100 DM/a	600 DM/a
	Summe	245 TDM	28400 DM/a	3200 DM/a
c)	Adsorptionskältemaschine	150 TDM	10700 DM/a	1000 DM/a
	Kühlturm	25 TDM	2500 DM/a	500 DM/a
	Kollektoren	300 TDM	25800 DM/a	3000 DM/a
	Montage	80 TDM	6900 DM/a	
	Koll., Kühl- und Kältekreis	100 TDM	8600 DM/a	1000 DM/a
	Speicher	20 TDM	1700 DM/a	200 DM/a
	Leittechnik	40 TDM	4100 DM/a	800 DM/a
	Summe	715 TDM	60300 DM/a	6500 DM/a

Anschließend werden die verbrauchsgebundenen Kosten bestimmt:

- a) Für die Kompressionskältemaschine ergibt sich bei einer Leistungszahl von 2,5 ein Strombedarf von 26 MWh/a. Bei einem Strompreis von 200 DM/MWh ergeben sich jährliche Stromkosten von 5200 DM/a.
- b) Bei einem Kälteverhältnis von 0,64 ergibt sich für die Adsorptionskältemaschine ein Wärmebedarf von 100 MWh/a. Bei einem Sommerarbeitspreis der Fernwärme von 30 DM/MWh liegen die Heizwärmekosten bei 3000 DM/a. Hinzu kommen noch Frischwasserkosten. Geht man von einem Verdunstungskühlungsanteil von 60 % und der Nichtexistenz von Spritzwasserverlusten aus, beträgt der Verbrauch 100 m³/a, was bei einem spezifischen Preis von 3 DM/m³ zu Kosten von 300 DM/a führt.
- c) Für eine Solaranlage fallen neben den Frischwasserkosten keine nennenswerten verbrauchsgebundenen Kosten an. Es tritt im Gegenteil ein Wärmegewinn außerhalb der Kühlperiode für Heizung und Warmwasserbereitung auf. Wird diese Menge von 95 MWh/a mit einem Preis von 60 DM/MWh bewertet, ergeben sich zusätzliche Einnahmen von 5700 DM/a

Die Ergebnisse werden in Tabelle 30 zusammengefaßt:

Tabelle 30: Zusammenstellung der Kosten für eine Kleinanlage in Deutschland

	Kompression	Adsorption FW	Adsorption solar
kapitalgeb. Kosten	13500 DM/a	28400 DM/a	60300 DM/a
betriebsgeb. Kosten	3400 DM/a	3200 DM/a	6500 DM/a
verbrauchsgeb. Kosten	5200 DM/a	3300 DM/a	-5400 DM/a
Summe	22100 DM/a	34900 DM/a	61400 DM/a

Die kostengünstigste Variante bleibt die Klimatisierung mit einer Kompressionskältemaschine. Die fernwärmeversorgte Adsorption ist 1,6 mal so teuer, die solare Versorgung 2,8 mal so teuer wie die konventionelle Vergleichsvariante.

Das Beispiel ist aber nicht in jeder Hinsicht repräsentativ. Zum einen ist das Versorgungsobjekt relativ klein. Die eingesetzte Adsorptionskältemaschine ist spezifisch wesentlich teurer als größere Maschinen. Zum anderen sind in südlichen Ländern die Nutzungsbedingungen günstiger als in Deutschland. Die Vollbenutzungstundenzahl der Klimatisierung ist 100 % und die spezifische Einstrahlung auf eine Optimalfläche 65 % größer. Die Wärmeabgabe an Heizung und Warmwasserbereitung ist spezifisch höher zu bewerten, da die konventionelle Versorgung häufig elektrisch erfolgt. In Tabelle 31 werden diese Punkte variiert.

Tabelle 31: Kostenbetrachtung für unterschiedliche Klimazonen und Anlagengrößen

Land	Deutschland		Spanien	
	70 kW	350 kW	70 kW	350 kW
Kältebedarf	70 kW	350 kW	70 kW	350 kW
Kompression	22,1 TDM/a	66,1 TDM/a	28,9 TDM/a	90,1 TDM/a
Adsorption FW	34,9 TDM/a	82,2 TDM/a		
Adsorption solar	61,4 TDM/a	154,6 TDM/a	37,4 TDM/a	86,7 TDM/a
Verhältnis	1 : 1,6 : 2,8	1 : 1,2 : 2,3	1 : 1,3	1 : 1

Der Einsatz der Adsorptionstechnik zur Gebäudeklimatisierung ist nur in Spanien und auch nur für Großanlagen konkurrenzfähig. Das positive Ergebnis wird aber nur durch den Vergleich mit der in Spanien weitverbreiteten elektrischen Heizung und Warmwasserbereitung erreicht. Unter deutschen Bedingungen rückt die Fernwärmebeheizung bei Großanlagen nahe an die Wirtschaftlichkeit heran. Eine Überschreitung dieser Grenze dürfte bei einer vergrößerten Vollbenutzungsdauer möglich werden. Diese läßt sich durch die Einordnung der Maschine in die Grundlast und bei Vorliegen technologischer Kälteverbraucher ermöglichen.

Des Weiteren existiert noch ein beträchtliches Kostensenkungspotential bei der Maschine durch Übergang zu höheren Produktions- und Verkaufszahlen. Anzustreben ist aber auch eine Kostendämpfung auf der Seite von Anschluß und Verrohrung, z. B. durch standardisierte Anschlußstationen.

Dennoch wird die solare Versorgung der Maschinen in Deutschland nur für Investoren mit hohen ökologischen Ansprüchen relevant sein.

Letztlich soll noch untersucht werden, inwiefern die Berücksichtigung externer Kosten die Wirtschaftlichkeitsberechnung beeinflusst. Gemäß den Vorgaben der AMEV /85/, die für öffentliche Investoren gelten, können je Tonne CO₂ 110 DM angesetzt werden. Es ist hierbei von folgenden spezifischen Emissionen auszugehen:

Strom: 0,9 t/MWh Erdgas: 0,25 t/MWh Fernwärme: 0,1 t/MWh (je nach KWK-Anteil)

In Tabelle 32 sind die entsprechenden Gesamtkosten enthalten.

Tabelle 32: Kostensituation bei Berücksichtigung externer Kosten

Land	Deutschland		Spanien	
	70 kW	350 kW	70 kW	350 kW
Kältebedarf	70 kW	350 kW	70 kW	350 kW
Kompression	24,7 TDM/a	79,0 TDM/a	34,8 TDM/a	119,8 TDM/a
Adsorption FW	36,0 TDM/a	87,7 TDM/a		
Adsorption solar	57,8 TDM/a	141,5 TDM/a	25,5 TDM/a	27,3 TDM/a
Verhältnis	1 : 1,5 : 2,3	1 : 1,1 : 1,8	1 : 0,7	1 : 0,2

Die Berücksichtigung externer Kosten verhilft den Anlagen in Spanien zu einer sehr guten Wirtschaftlichkeit. In Deutschland wird die fernwärmeversorgte Großanlage an die Wirtschaftlichkeitsgrenze geführt. Der exakte Wert wird stark vom Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung an der Fernwärmeerzeugung beeinflusst. Die solaren Klimatisierungsanlagen bleiben in Deutschland auch bei Berücksichtigung externer Kosten unwirtschaftlich.

Die zweite Umweltentlastung durch den Einsatz FCKW-freier Kältemittel ist gegenwärtig nicht monetär bewertbar, sollte jedoch im Entscheidungsprozeß berücksichtigt werden.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgte bisher für die Auslegung der Solaranlage auf volle Bedarfsdeckung. Gemäß Bild 103 verursacht eine Verringerung der Kollektorfläche nur eine schwache Absenkung der solaren Deckungsrate. In Bild 104 sind die spezifischen Kosten der solar erzeugten Kälte als Funktion der solaren Deckungsrate für eine Kleinanlage in Deutschland aufgetragen. Es gibt eine optimale Deckungsrate bei 92 %.

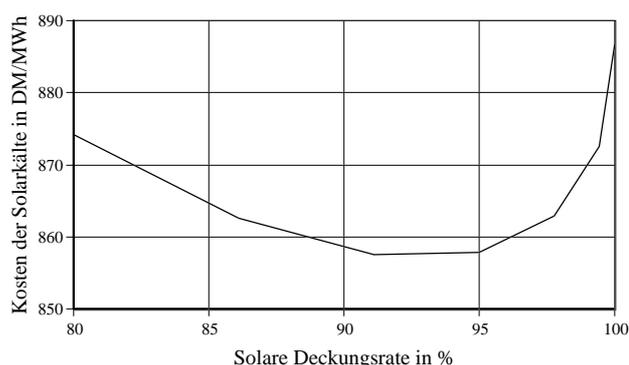


Bild 104: Optimale Deckungsrate

Dieses Optimum liegt deutlich höher als bei der solaren Warmwasserbereitung, was angesichts des rein sommerlichen Einsatzes der Klimatisierung nicht ungewöhnlich ist. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß es sich nur um das Kostenminimum der solaren Kälte handelt. Das spezifische Kostenminimum der Gesamtkälte liegt dann vor, wenn es gar keine Solaranlage gibt.

3.3.5 Vorstellung einiger Beispielanlagen der solaren Klimatisierung

In Deutschland existieren neben einigen kleinen Versuchsständen bisher drei größere Systeme mit teilweiser solarer Beheizung, die in Tabelle 33 aufgeführt sind.

Tabelle 33: Größere solare Klimatisierungsanlagen in Deutschland

Objekt	Kältemaschine	Q _{kälte,nenn}	Wärmequelle		Kollektorfeld		
			haupt-	neben-	Art	A [m ²]	Richtg.
Verwaltung Fa. Wolfferts Köln /86/	Absorptionsmaschine York	92 kW	Solar-energie	Erdgas	Vakuump-röhren	176	horiz.
Verwaltung Fa. Götz Würzburg	Adsorptionsmaschine NAK	70 kW	Solar-energie	BHKW	Flachkollektoren	200	optimal
Bürogebäude "An der Loge" Dresden		70 kW	Fernwärme	Solar-energie		150	Fassade

In allen Objekten erfolgt die Kälteverteilung über Kühldecken. Die Solarenergie kann überall auch für Heizung und Warmwasserbereitung genutzt werden. Diese Nutzungsmöglichkeit wird jedoch dadurch eingeschränkt, daß die Klimatisierungsanlagen in Köln und Dresden ihren Speicher auf der kalten Seite haben. Besser wäre eine Speicherung auf der heißen Seite, die dann allen Versorgungsaufgaben dient. Dies ist jedoch nur bei der Adsorptionsmaschine zu vertretbaren Kosten möglich - ein wesentlicher Vorteil dieser Anlagenart. Die Absorptionsmaschine benötigt fast 100 °C Desorptionstemperatur, so daß teure Überdruckspeicher eingesetzt werden müßten.

Es liegen dem Autor bisher keine Betriebserfahrungen vor, da die Anlagen erst seit kurzem in Betrieb, bzw. erst in der Inbetriebnahmephase sind. Sie werden in einer späteren Arbeit vorgestellt.

3.3.6 Kapitelzusammenfassung

Die Solarenergie ist aufgrund zeitlich ähnlicher Verläufe von Angebot und Bedarf gut für die Deckung des Klimatisierungsbedarfs geeignet. Eine bevorzugte Variante ist die Beheizung von Adsorptionskältemaschinen durch Sonnenkollektoren. Für diese Technologie wurde ein TRNSYS-Unterprogramm geschrieben und anhand eines konkreten Objektes erprobt. Es zeigte sich, daß die volle solare Abdeckung des Klimatisierungsbedarfs in Deutschland möglich, jedoch aus wirtschaftlicher Sicht eine teilweise Abdeckung sinnvoller ist, wie dies auch bei den drei großen Demonstrationsanlagen in Deutschland der Fall ist.

Die Untersuchung der Kosten ergab, daß in Deutschland keine Wirtschaftlichkeit herstellbar ist. Südeuropa, zum Beispiel Spanien, bietet wesentlich bessere klimatische Voraussetzungen. Anlagen der solaren Klimatisierung können in Spanien ab 350 kW Kältebedarf wirtschaftlich sein, unter Berücksichtigung externer Kosten sogar schon ab 70 kW.

Zum Vergleich wurde für Deutschland die Fernwärmebeheizung von ADKA untersucht, die gegenüber Kompressionskältemaschinen ab 350 kW Kältebedarf wirtschaftlich ist.