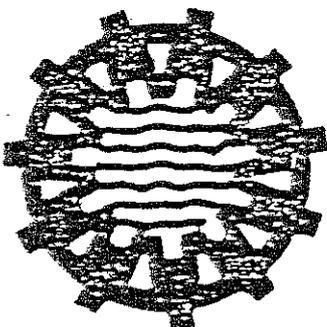


**Länderarbeitsgemeinschaft Wasser  
(LAWA)**

1. Ergänzung zu den

**Grundlagen zur Beurteilung  
des Einsatzes  
von Wärmepumpen aus  
wasserwirtschaftlicher Sicht**



ausgearbeitet von der LAWA-Arbeitsgruppe  
Wärmebelastung der Gewässer

1983



## Vorwort zur 1. Ergänzung

Die im Jahre 1980 aufgelegten und mittlerweile in 2. Auflage erschienenen "Grundlagen zur Beurteilung des Einsatzes von Wärmepumpen aus wasserwirtschaftlicher Sicht" haben sich bewährt. Schon damals war zu erkennen, daß die Entwicklung beim Einsatz von Wärmepumpen noch nicht zum Abschluß gekommen ist.

Mit der vorliegenden 1. Ergänzung der o.g. Ausarbeitung soll aber nicht nur der laufenden Entwicklung Rechnung getragen, sondern sollen auch die Konsequenzen aus den Erfahrungen bei der Anwendung in der wasserwirtschaftlichen Praxis gezogen werden. Der Aufbau dieser Ergänzungslieferung entspricht der jenes Heftes, insbesondere was die Numerierung der Abschnitte anbelangt.

Die Ausarbeitung dieser Ergänzung wurde wiederum vom LAWA-Arbeitskreis "Wärmebelastung der Gewässer" vorgenommen.

### 3. TECHNIK UND TECHNOLOGIE

#### 3.1 Wirkungsweise von Wärmepumpen und Kältemaschinen

##### 3.1.1 Funktionsprinzip einer Kompressionswärmepumpe

(Dieser Abschnitt findet sich unter Ziff. 3.1 im LAWA-Heft)

##### 3.1.2 Funktionsprinzip einer Absorptionswärmepumpe

Bild 3.1.3 zeigt schematisch den Aufbau von Absorptionswärmepumpen. Von der Kompressionswärmepumpe unterscheidet sich die Absorptionswärmepumpe dadurch, daß der mechanische Verdichter durch einen sog. thermischen Verdichter (Absorber und Austreiber) ersetzt wird. Bei der Absorption wird das verdampfte Kältemittel nicht im gasförmigen Zustand verdichtet, sondern in

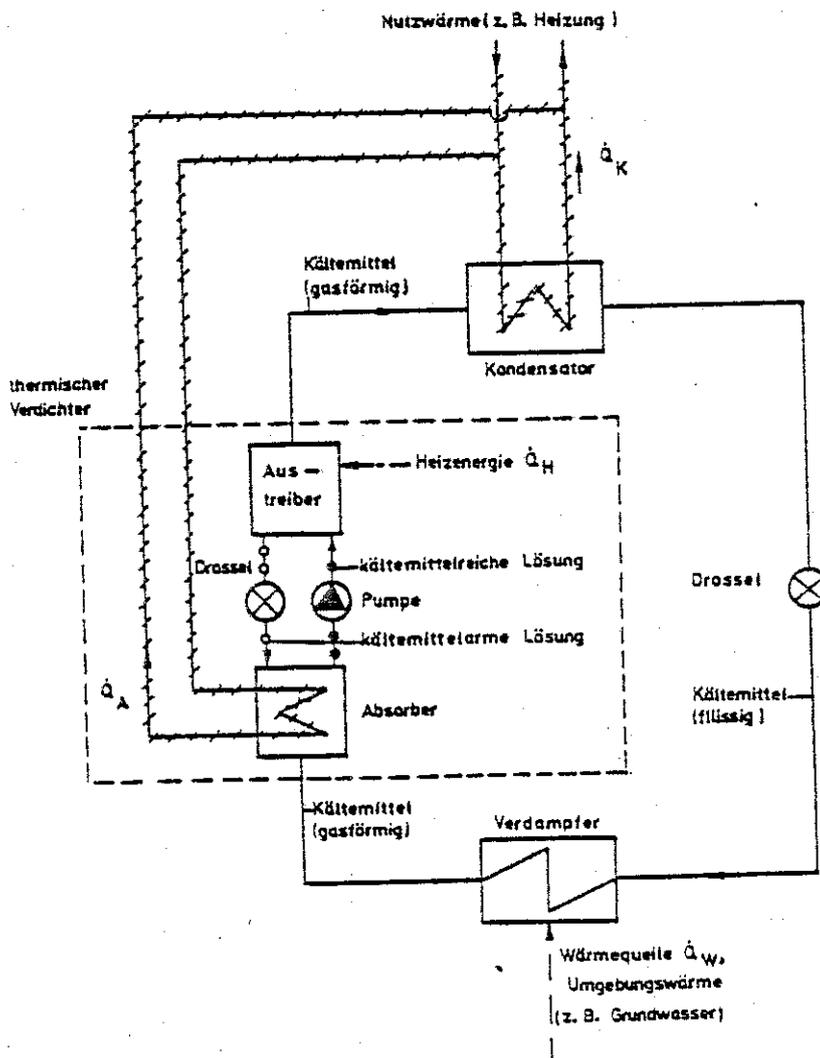


Abb. 3.1.3: Prinzipschaltbild einer Absorptionswärmepumpe

Lösung gebracht. Dazu dient ein zweiter Kreislauf, in dem ein Lösungsmittel zirkuliert. Im Absorber nimmt das kalte Lösungsmittel das verdampfte Kältemittel unter Wärmeabgabe auf (Absorption). Dieser Vorgang gibt dem System seinen Namen. Die kältemittelreiche Lösung wird durch eine Pumpe in den Austreiber gefördert, wo das Kältemittel durch Wärmezufuhr (z.B. Gas- oder Ölflamme) aus der Lösung wieder ausgetrieben wird und in den Kondensator gelangt. Die jetzt kältemittelarme Lösung strömt über eine Drossel zurück in den Absorber. Kondensator und Absorber geben die nutzbare Wärme ab.

Bei der Absorptionswärmepumpe kann die Leistungsfähigkeit durch die Heizzahl  $\zeta$  beschrieben werden. Sie ist definiert als der Quotient der Summe der Wärmeströme aus Kondensator und Absorber und der aufgewendeten Betriebsenergie auf der Basis des Heizwertes zuzüglich der benötigten Pumpenenergie.

$$\zeta = \frac{\dot{Q}_K + \dot{Q}_A}{\dot{Q}_H + W_P}$$

$\dot{Q}_K$  = am Kondensator abgegebener Wärmestrom

$\dot{Q}_A$  = am Absorber abgegebener Wärmestrom

$\dot{Q}_H$  = für Austreibungsprozeß erforderlicher Heizwärmestrom

$W_P$  = Antriebsenergie für Förderpumpe

Je nach Wärmequelle und Wärmepumpenkonstruktion sind Heizzahlen zwischen 1,1 und 1,5 erreichbar.

Im Vergleich mit einer elektrisch angetriebenen Kompressionswärmepumpe (auf die verwendete Primärenergie bezogene Ausbeute von ca. 100 %) und einer mittels Gasmotor angetriebenen Kompressionswärmepumpe (mit ca. 180 %) können für eine Absorptionswärmepumpe mit Gas- oder Ölfeuerung ca. 125 % nutzbare Wärmeenergie angesetzt werden.

...

Die beiden Arbeitsmittel (Stoffpaar Kältemittel/Lösungsmittel) müssen bestimmten Kriterien genügen. Das Kältemittel soll

- geringe Zähigkeit,
- gute Wärmeübergangswerte,
- geringen Verflüssigungsdruck,
- flachen Verlauf der Dampfdruckkurve und
- möglichst hohe Verdampfungsenthalpie

haben.

Das Lösungsmittel soll

- geringe Zähigkeit auch in der Lösung mit dem Kältemittel,
- gute Wärmeübergangswerte,
- möglichst geringen Dampfdruck,
- ein kleines Verhältnis der Lösungsenthalpie zur Verdampfungsenthalpie des gewählten Kältemittels,
- seinen Festpunkt (Erstarrungspunkt) nicht im Arbeitsbereich,
- tiefe Erstarrungstemperatur,
- hohe Dichte,
- geringe Oberflächenspannung und
- kleine spezifische Wärmekapazität

haben.

Die auf dem Markt befindlichen Absorptionswärmepumpen benutzen mit wenigen Ausnahmen das Stoffpaar Ammoniak/Wasser. Wegen der Giftigkeit des Ammoniaks darf dieser Wärmepumpentyp in Wassergewinnungsgebieten nicht verwendet werden. Außerhalb von Wassergewinnungsgebieten sind aus dem gleichen Grunde die Füllmengen zu begrenzen. Außerdem darf Wasser als Wärmequelle bei Absorptionswärmepumpen mit mehr als 40 kW Verdampferleistung nur unter Zwischenschaltung eines Tertiärwärmetauschers genutzt werden (siehe auch Abschnitt 3.1.3).

Beim Stoffpaar Ammoniak/Wasser können keine Anlagenteile, auch nicht Verdampfer, aus kupferhaltigen Werkstoffen verwendet werden. Dies kann sich je nach Grundwasserbeschaffenheit so nachteilig auswirken, daß sich der Einsatz solcher Absorptionswärmepumpen verbietet.

Einige Anlagen arbeiten mit dem Arbeitsmittelpaar Lithiumbromid/Wasser, das aber nur bei Temperaturen über 0 °C verwendet werden kann, weil sonst dessen Kristallisation beginnt. Die Erprobung neuer Stoffpaare ist im Gange.

Auch für Absorptionswärmepumpen gelten die Sicherheitsvorschriften für Kälteanlagen und die entsprechenden Unfallverhütungsvorschriften. Die meisten Anlagenteile einschließlich des direkt beheizten Austreibers (Desorber, Generator) sind Druckbehälter und unterliegen der einschlägigen Druckbehälterverordnung.

Wie bei den Kompressionswärmepumpen sind Sicherheitseinrichtungen wie baumustergeprüfte Druckbegrenzer, Niveauschalter für Flüssigkeitsstände, Sicherheitsventile usw. vorzusehen (entsprechend DIN 8901).

Absorptionswärmepumpen haben gegenüber Kompressionswärmepumpen einige Vorteile wie

- sehr geringe Körper- und Raumschallemission
- geringe Zahl beweglicher Teile und damit hohe Lebensdauer
- geringer Wartungsaufwand und geringe Störanfälligkeit.

### 3.1.3 Kältemaschinen

Kältemaschinen sind seit über 100 Jahren im Einsatz. Sie werden in Industrie und Gewerbe überall da benutzt, wo niedrige Temperaturen benötigt werden. Besonders rasch nimmt ihr Einsatz in Klimaanlage zu. Teilweise wird auch die bei der Kälteerzeugung entstehende Wärme verwertet z.B. für die Beheizung von Hallenbädern in Verbindung mit Kunsteisbahnen.

Kältemaschinen gleichen in ihrem Aufbau den Wärmepumpen. Anstatt der am Kondensator freiwerdenden Wärme wird der Wärmeentzug am Verdampfer zur Kälteerzeugung genutzt. Die bei der Kondensation des Kältemittels im Kondensator freiwerdende Wärme muß dabei an die Umgebung abgeführt werden.

Der Betriebsdruck im Kondensator einer Kältemaschine ist wesentlich höher als der im Verdampfer einer Wärmepumpe. Zudem werden Kühlmaschinen aus thermodynamischen Gründen heute noch vielfach mit Ammoniak als Kältemittel betrieben. Somit gehen bei Leckagen von Kältemaschinen wegen des mit höherem Druck austretenden Kältemittels vermehrt Gefahren für die benutzten Gewässer aus. Deshalb ist bei Kältemaschinen noch größerer Wert auf ausreichende Sicherheitseinrichtungen zu legen.

Soweit Sicherheitskältemittel verwendet werden, ist durch Einbau eines Druck- oder Temperaturschalters in den Kältemittelkreislauf sicherzustellen, daß die Anlage und die Wasserförderpumpe bei Auftreten von Leckagen automatisch abschalten, und durch Schließen von Ventilen ein Wasserzu- und -ablauf unterbunden wird. Kommt Ammoniak als Kältemittel zum Einsatz, so ist darüberhinaus durch Vorschalten eines Tertiärwärmetauschers sicherzustellen, daß kein Ammoniak in das benutzte Wasser gelangen kann. (Siehe auch Abschnitt 3.1.2)

In Wassergewinnungsgebieten ist die Verwendung von wassergekühlten Kältemaschinen nicht zulässig.

### 3.4.3 Wärmerohre

Die Übertragung hoher Wärmeleistungen bei minimalen Temperaturunterschieden ist durch Verdampfung und Kondensation möglich. Wärmerohre arbeiten nach diesem Prinzip. Es sind dicht verschlossene sehr dünnwandige Rohre, die evakuiert und mit einer geringen Menge einer bei niedriger Temperatur siedenden Flüssigkeit gefüllt sind.

Wärmerohre werden in Längen zwischen 10 und 20 m und Durchmesser von wenigen Zentimetern hergestellt. Wird an einem Ende Wärme zugeführt, verdampft die Flüssigkeit. Der Dampf kondensiert am kälteren Ende unter Abgabe der Kondensationswärme; das Kondensat strömt in die Verdampfungszone zurück.

Das kältere Ende der Wärmerohre ist als Wärmetauscher ausgebildet. Die Wärmeübertragung zur Wärmepumpe geschieht durch Kreislaufführung von Sole.

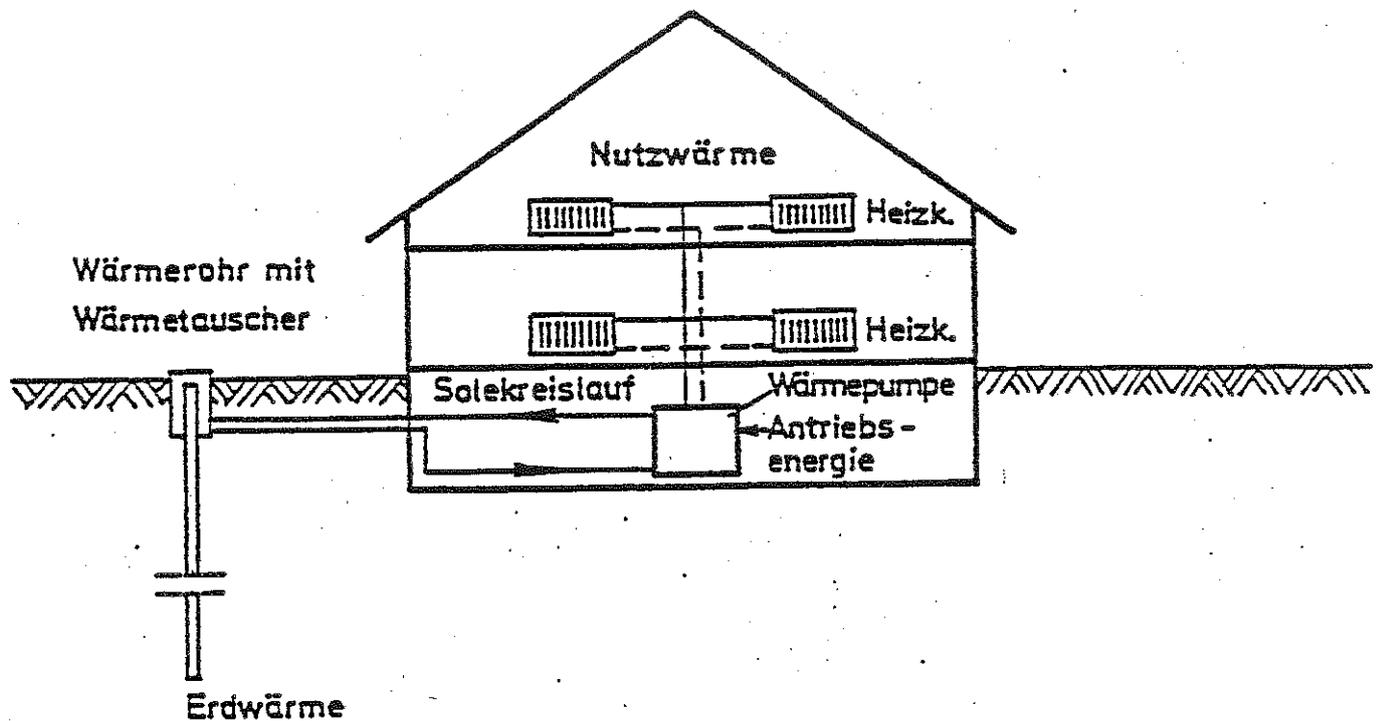


Abb. 3.4.3.1: Prinzipschaltbild eines Wärmepumpenheizsystems mit Wärmerohren

Auf Grund ihrer Stoffeigenschaften kämen als Arbeitsmittel (Füllung der Wärmerohre) in Frage:

- Ammoniak
- Fluorchlorkohlenwasserstoffe (z.B. R 12, R 113)
- Kohlenwasserstoffe (Hexan, Heptan)
- Alkohole (Methanol, Ethanol)

Aus wasserwirtschaftlichen Gründen dürfen Ammoniak, Hexan, Heptan und Methanol nicht eingesetzt werden; ansonsten gilt für die Arbeitsmittel das unter 4.3, 6.2.6 und 6.3.1 gesagte.

Bei geeigneter Wahl des Arbeitsmittels kann das Wärmerohr auch ständig unter Unterdruck gehalten werden.

Im Wärmerohr herrscht Verdampfungsgleichgewicht. Damit ist der Druck aufgrund der Dampfdruckkurve  $p(T)$  eindeutig festgelegt. Er läßt sich aus der Betriebstemperatur ermitteln. Das Wärmerohr kann über die ganze Länge als "isotherm" angesehen werden. Der höchste auftretende Druck ist somit durch die maximale Temperatur des Bodens (ca.  $12^{\circ}\text{C}$ ), der niedrigste Druck durch die minimale Bodentemperatur bestimmt.

Temperatur  
°C

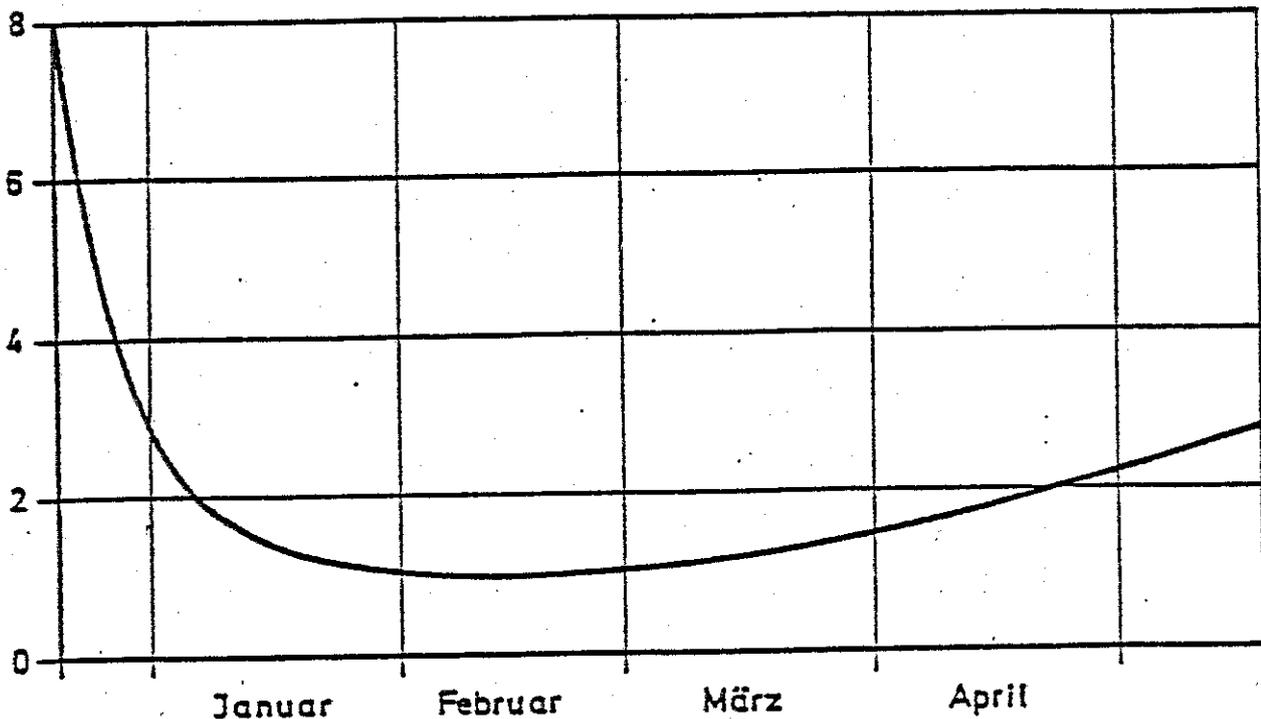


Abb. 3.4.2.2: Beispiel für den Temperaturverlauf im Wärmerohr während einer Heizperiode

Die Füllmenge eines 10 m langen Wärmerohres beträgt etwa 150 - 200 g Arbeitsmittel.

Gegenüber den Wärmesonden sollen die Wärmerohre auch die Wärme der oberen Bodenschicht nutzen. Eine hinreichende Wärmeausbeute kann auch hier nur erreicht werden, wenn durch Grundwasser Wärme nachgeliefert wird.

Pro Wärmerohr können bis zu 300 W Wärme entnommen werden. Je nach Heizleistungsbedarf, möglicher Leistungsziffer und einzusetzender Antriebsenergie der Wärmepumpen besteht für eine Wohneinheit ein Bedarf von 20 - 40 Wärmerohren.

Anlagen, die Erdwärme mit Hilfe von Wärmerohren nutzen, befinden sich noch in der Erprobung. Allgemeingültige Aussagen über das Langzeitverhalten sind noch nicht möglich. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht läßt sich jedoch vorerst festhalten:

...

- Die Verwendung von Wärmerohren mit Ammoniak und Kohlenwasserstoffen als Kältemittel ist aus der Sicht der Wasserwirtschaft abzulehnen. Dagegen kann einem Einsatz von Wärmerohren mit Sicherheitskältemitteln außerhalb von Wassergewinnungsgebieten zugestimmt werden.
- Der feste Einbau von Wärmerohren, z.B. im Straßenbau, darf nur erfolgen, wenn durch besondere Vorkehrungen sichergestellt ist, daß die Beanspruchungen des Baukörpers und des Untergrundes nicht auf die Wärmerohre übertragen werden können.

#### 3.4.4 Deckschichtverletzungen

Deckschichten schützen die Grundwasserleiter. Jede Verletzung oder Beseitigung der Deckschichten vergrößert die Gefahr von Grundwasser-Verunreinigungen.

Wärmerohre und Erdwärmesonden mit Längen zwischen 10 und 100 m verletzen nicht nur die oberste Deckschicht, sondern durchstoßen oftmals auch die Trennschicht zwischen verschiedenen Grundwasserstockwerken. Da meist mehrere Rohre niedergebracht werden müssen, ist damit zu rechnen, daß die vielfache Verletzung der Deck- und Trennschichten sich nachteilig auf das Grundwasser auswirkt. Mit der Durchlöcherung von Stauhorizonten können z.B. Wege für das Eindringen von Wasser anderer Beschaffenheit in nutzbare Grundwasserleiter geschaffen werden. Auch dann, wenn eine Abdichtung entlang der Sonden zunächst hergestellt werden kann, muß damit gerechnet werden, daß die Sonden früher oder später durch Korrosion undicht werden und damit eine unerwünschte Verbindung zwischen den Grundwasserleitern hergestellt wird. Zudem kann das im System befindliche Arbeitsmittel (teilweise mehr als 500 l) in den Untergrund auslaufen.

Ebenso sind die Folgen der Grundwasserabkühlung tieferer Regionen nicht abschätzbar. Der Aufwand für die notwendige umfassende Überwachung der Anlage sowie die Beseitigung möglicher Auswirkungen können bei weitem den angestrebten wirtschaftlichen Nutzen einer Wärmepumpenanlage übersteigen. Deshalb ist die Nutzung von Grundwasser tieferliegender Stockwerke ebenso wie das Einbringen von Wärmesonden in diese Stockwerke aus wasserwirtschaftlicher Sicht abzulehnen.

### 3.5 Sonstige Wärmekollektoren

Obwohl mit vielen Wärmekollektoren (Solarkollektoren, Energiezäune, Energiedächer usw.) im wesentlichen die Umgebungsluft als Wärmequelle genutzt wird, ist bei Leckagen eine Gewässergefährdung durch auslaufendes Arbeitsmittel zu besorgen. Deshalb dürfen in Wärmekollektoren Arbeitsmittel (Wärmeträgerflüssigkeiten) nur so verwendet werden, daß von ihnen keine Gewässergefährdung ausgehen kann. (Tab. 4.5.1) Die Regelungen für Wasserschutzgebiete sind dabei sinngemäß anzuwenden.

### 4. Arbeitsmittel für Wärmepumpen

Die Tabellen 4.4.1 und 4.4.2 werden wie folgt ersetzt:

Verbindung	Formel	Kenn- zahl	M D	K <sub>p</sub> °C	T <sub>K</sub> °C	P <sub>K</sub> bar	VW kJ/kg
Trichlorfluormethan	CCl <sub>3</sub> F	R 11	137,4	23,7	198,0	44	182,2
Dichlordifluormethan	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	R 12	120,9	- 29,8	112,0	41,5	166,0
Bromchloridifluormethan	CBrcClF <sub>2</sub>	R 12 B 1	165,4	- 3,7	154,6	41,2	133,2
Chlordifluormethan	CHClF <sub>2</sub>	R 22	86,5	- 40,8	96,2	49,9	234,7
1,1,2-Trichlortrifluorethan	CCl <sub>2</sub> F-CClF <sub>2</sub>	R 113	187,4	47,6	214,1	34,1	144,7
1,2-Dichlortetrafluorethan	CClF <sub>2</sub> -CClF <sub>2</sub>	R 114	170,9	3,6	145,7	32,6	136,8
Chlorpentafluorethan	CClF <sub>2</sub> -CF <sub>3</sub>	R 115	154,5	- 38,0	80,0	31,3	123,3
Azeotrop aus R 22 und R 115	CHClF <sub>2</sub> /CClF <sub>2</sub> - CF <sub>3</sub>	R 502	(111,6)	- 45,6	82,2	40,8	172,6
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	-	17	- 33,4	132,9	111,3	1 358,3
Schwefeldioxid	SO <sub>2</sub>	-	64	- 10,0	157,5	77,8	389,9
Methanol	CH <sub>3</sub> -OH	-	32	65,0	239,5	81,0	1 103,3

Tabelle 4.4.1 (zu Abschnitt 4.1 und 4.3)

- M = relative Molekülmasse
- K<sub>p</sub> = Siedepunkt
- T<sub>K</sub> = kritische Temperatur
- P<sub>K</sub> = kritischer Druck
- VW = Verdampfungswärme

Arbeitsmittel	Löslichkeit von Wasser im Arbeitsmittel mg/l		Löslichkeit von Arbeitsmittel in Wasser mg/l 25 °C	Hydrolysegrad in Wasser g/l.a	Harmblütter- toxizität (*)	Fischtoxizität LC <sub>0</sub> mg/l	Wassergefährdungs- klasse (nach Katalog Wassergefährdender Stoffe)
	0 °C	30 °C					
R 11	36	130	1 100	ca. 10	5	- )	
R 12	25	125	280	0,8	6	120 )	
R 12 B 1	32	146	300	-	5	- )	
R 22	600	1 500	3 000	0,1	6	400 )	bisher nicht bewertet
R 113	36	130	170	ca. 50	5	50 )	
R 114	26	110	120	1,4	6	- )	
R 115	25	100	60	-	6	- )	
R 502	239	649	1 680	-	6	- )	
NH <sub>3</sub>			ca. 350 000	-	2	1,25	1
SO <sub>2</sub>			ca. 110 000	-	1	0,5	1
CH <sub>3</sub> OH				-	4	10 000	1

\*) Klassen entsprechend Hodge/Sternier

Tabelle 4.4.2

Zusatz	Wasserlöslich- keit g/l bei 20 °C	biolog. Abbau	Fischtoxizität LC <sub>0</sub> mg/l	Harmblüttertoxizität (*)	Wassergefähr- dungsklasse (nach Katalog)
Ethylenglykol	1 000	sehr gut	10 000	4	1
Propylenglykol	1 000	sehr gut	10 000	6	1
Calciumchlorid	74,5		5 000	5	0

\*) Klassen entsprechend Hodge/Sternier

Tabelle 4.5.1

#### 4.5.1 Besondere Eigenschaften der "Sole" (früher: Wasserwirtschaftlich-toxikologische Eigenschaften der "Sole")

Die in Tabelle 4.5 aufgeführten Zusätze zur "Sole" zeichnen sich allgemein durch toxikologische Unbedenklichkeit aus (Tabelle 4.5.1)

Die organischen Substanzen sind zwar biologisch gut abbaubar, jedoch sehr geschmacksintensiv. Sie gehören zur Klasse 1 (schwach wassergefährdend) des Kataloges der wassergefährdenden Stoffe, d.h. in der Regel führen nur größere Mengen eine Gewässergefährdung herbei.

#### 4.6 Zusätze zu Arbeitsmitteln und Betriebswasser

In Wärmepumpenanlagen ist der Einsatz von Korrosionsschutzmitteln oder anderen Zusätzen nicht gestattet, weil sie das Grundwasser nachteilig verändern können. Zudem stehen korrosionsbeständige Werkstoffe zur Verfügung.

Unzulässig sind in gleicher Weise Zusätze (z.B. Phosphate) zu Wasser (Oberflächen- oder Grundwasser) das als Wärmequelle oder zur Kühlung benutzt wird.

Hingegen bestehen keine Bedenken, wenn in den Heizungssystemen biologisch abbaubare Zusatzmittel verwendet werden. Das aus der Heizung abgelassene Wasser muß hier jedoch einer öffentlichen Kanalisation zugeführt werden.