



Geologische Bundesanstalt
BIBLIOTHEK

15931,4^e

№ 1394



RegioKAT NEU
Grund- und Trinkwasserwirtschaft



LAND

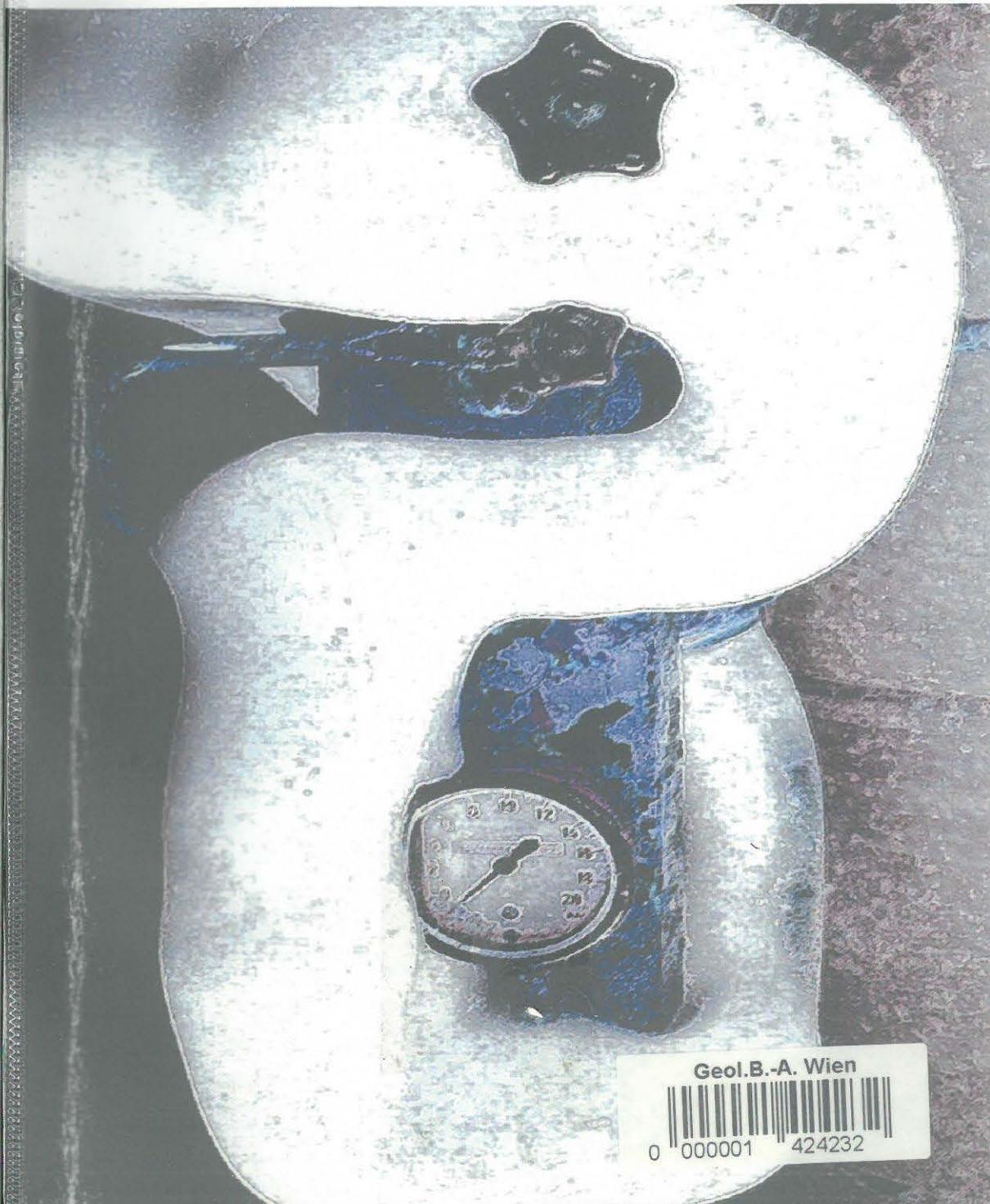
OBERÖSTERREICH

15931,4^e

Grundwasser-Störfallpotenzial des Kältemittelkreislaufes von Wärmepumpen

Möglichkeiten und Stand der Technik der Störfallvorsorge

Technischer
Endbericht



LinZ
verändert



GTW

Geol.B.-A. Wien



0 00001 424232

Bericht

Bezeichnung des Projektes

Studie "Grundwasser-Störfallpotenzial des
Kältemittelkreislaufes von Wärmepumpen;
Möglichkeiten und Stand der Technik der
Störfallvorsorge"

Auftraggeber

Land Oberösterreich,
Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft
Abteilung Grund- und Trinkwasserwirtschaft
Kärntnerstraße 12
4021 Linz

Auftrag vom / Zahl

8. Jänner 2007 / W-GTW-930227/4-2006-Aj/Hb

Projekt Nr.

2.50.00085.1.0

Sachbearbeiter

DI (FH) Andreas Zottl

Ausstellungsdatum	18. Dezember 2009
Ausfertigungen: Anzahl/Nr.	10 / 1
Anzahl der Seiten	47
Anzahl der Beilagen im Blatt	17

Das (Die) Prüfergebnis(se) bezieht(en) sich ausschließlich auf den (die) Prüfgegenstand(stände).

Im Falle einer Vervielfältigung oder Veröffentlichung dieser Ausfertigung darf der Inhalt nur wort- und formgetreu und ohne Auslassung oder Zusatz wiedergegeben werden.

Die auszugsweise Vervielfältigung oder Veröffentlichung bedarf der schriftlichen Zustimmung des Forschungszentrums.

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung	4
2. Aufgabenstellung	7
3. Methodik	7
4. Technische Beschreibung der Wärmepumpe	8
4.1. Die Funktion der Wärmepumpe	8
4.2. Die Hauptkomponenten einer Wärmepumpe	10
4.2.1. Verdichter	10
4.2.2. Wärmeübertrager (Verflüssiger / Verdampfer)	11
4.2.3. Sicherheits-Zwischenkreislauf	15
4.2.4. Expansionsventile	17
4.2.5. Schauglas	17
4.2.6. Filtertrockner	17
4.2.7. Sammler	18
4.2.8. Magnetventil	18
4.3. Anforderungen an Rohrleitungen und -verbindungen	19
4.3.1. Kältemittelführende Rohrleitungen und Verbindungen	19
4.3.2. Wärmeträgerführende Rohrleitungen	20
4.4. Sicherheitseinrichtungen	20
4.4.1. Sicherheitseinrichtungen zur Druckbegrenzung	20
4.4.2. Sicherheitseinrichtungen zur Temperaturbegrenzung	20
4.5. Kältemittel für Kompressions-Wärmepumpen	21
4.5.1. Einteilung und Eigenschaften der Kältemittel	21
4.5.2. Löslichkeit der Kältemittel in Wasser	21
4.6. Schmieröle im Kältemittelkreislauf	22
4.6.1. Einteilung und Eigenschaften der Kältemittelschmieröle	22
4.6.2. Ölfüllmengen im Verdichter	23
4.6.3. Schmieröltransport im Kältemittel-Kreislauf	23
5. Technische Beschreibung der Wärmequellenanlagen	25
5.1. Grundwasser	25
5.1.1. Technische Randbedingungen für die Grundwassernutzung	25
5.1.2. Grundwasserentnahme aus Brunnen und Quellen	26
5.1.3. Rückgabe über Sickeranlagen oder Brunnen	27
5.2. Erdreichgekoppelte Wärmequellenanlagen	28
5.2.1. Erdwärmekollektoren (Flachkollektoren)	28
5.2.2. Erdwärmesonden (Tiefsonden)	29
5.3. Außenluft als Wärmequelle	30
6. Tiefsonden-Wärmepumpenanlage mit Direktverdampfung	30
7. Expertenbefragungen und Interviews	31
8. Analyse und Vermeidung von Störfällen mit Schmiermittel- und Kältemittelaustritt	33
8.1. Analyse austretender Ölleckagemengen	33
8.1.1. Leckagen-Versuche	34
8.1.2. Kompressoröl-Versuche	34
8.1.3. Ölverlagerung in die Wärmequellenanlage	35
8.1.4. Vollkommenes Auslaufen des Schmieröls aus dem Verdichter	35
8.1.5. Öl- und Kältemittelaustritt im Aufstellungsraum	36

8.2.	Vermeidung von Störfällen bei Grundwasser-Wärmepumpen	36
8.2.1.	Sandfrei fördernde Entnahmefrünnen	36
8.2.2.	Planung der Anlage nach der Grundwasserqualität	36
8.2.3.	Wasserfilter	37
8.2.4.	Vermeiden von Frostschiiden im Wärmeübertrager	37
8.2.5.	Vermeidung von Korrosionsschiiden im Verdampfer	37
8.3.	Vermeidung von Störfällen bei Warpumpen mit Direktverdampfung	38
8.3.1.	Pump-Down-Betrieb vor Grabungsarbeiten	38
8.3.2.	Vermeiden von Beschädigungen durch Grabungsarbeiten	39
8.4.	Minimierung der Auswirkungen von Störfällen	39
8.4.1.	Auswahl des Kaltemittelols	39
8.4.2.	Bevorzugter Einbau von Sickerschächten	39
8.4.3.	Kältemittelrückhalt im Sickerschacht durch Aktivkohlefiltermatten	40
9.	Literatur	43
10.	Anhänge	46

1. Kurzfassung

Austrian Institut of Technology wurde vom Land Oberösterreich, Abteilung Wasserwirtschaft, in Unterstützung der Stadt Linz beauftragt, eine Studie über das Störfallpotenzial des Kältemittelkreislaufes von Wärmepumpen zu erstellen und Möglichkeiten zur Störfallvorsorge zum Schutz des Grundwassers auszuarbeiten, die dem Stand der Technik entsprechen. Motivation für die vorliegende Arbeit ist, dass Wärmepumpenanlagen in den letzten Jahren immer mehr zu Heizzwecken und zur Warmwasserbereitung im Ein- und Mehrfamilienhaussektor eingesetzt werden. Grund dafür ist einerseits die immer besser werdende Qualität der Wärmepumpen und der Gesamtanlagen, andererseits steigt der Absatz auch durch die gestiegenen Energiepreise. Deshalb muss in Zukunft verstärktes Augenmerk auf die Qualität und Störfallsicherheit der Anlagen gelegt und müssen vorhandene Optimierungspotenziale genutzt werden, um das Grundwasser und das Erdreich vor Kontaminationen mit wassergefährdenden Stoffen so weit wie möglich zu schützen.

Als Maßnahmen zur Störfallvermeidung sind bei Grundwasser-Wärmepumpen in erster Linie sandfrei fördernde Entnahmeburgen, die konsequente Durchführung von Grundwasseranalysen zur Berücksichtigung der Grundwasserqualität und die Vermeidung von Frost- und Korrosionsschäden durch Einbau ausreichender Sicherheitseinrichtungen auf einem hohen Qualitätsniveau zu nennen. Unter bestimmten Voraussetzungen kann der Einbau eines Sicherheitskreislaufes oder eine andere Wärmeübertragerkonstruktion notwendig sein. Wenn die Anforderungen bezüglich der Grundwasser-Qualität bzw. -Temperatur eine Grundwasser-Wärmepumpe nicht erfüllt werden, sollte durch geeignete Maßnahmen, z.B. Einbau eines Sicherheits-Zwischenkreislaufs, eine Anlage mit einem möglichst geringem Störungspotenzial installiert werden oder ein anderes Wärmequellensystem gewählt werden.

Für diese Studie wurden neben einer umfassenden Literatur-Recherche auch Expertengespräche und Interviews mit Vertretern aus der betroffenen Branche durchgeführt um den derzeitigen Stand der Technik der Wärmepumpentechnologie und den Wärmequellensystemen zu erfassen.

Da ein Teil des Schmieröls während des Betriebs der Wärmepumpe durch den Kältemittel-Kreislauf wandert, wurden verschiedene Betriebszustände des Kältemittelkreislaufs von

Wärmepumpen mit Heizleistungen zwischen 8 und 16 kW und mit Kompressorölfüllungen bis zwei Liter berechnet, um Aussagen über Ölwurfraten treffen zu können. Der Kältekreislauf ist so zu konstruieren, dass das Schmieröl wieder in den Verdichter zurück transportiert wird. Ansonsten käme es im Verdichter durch Schmierölmangel zu Lagerschäden und zu häufigen der Verdichterausfällen. Tausende Wärmepumpen belegen, die Jahrzehnte ohne Ölnachfüllung betrieben werden, dass die Ölrückführung funktioniert.

Entsprechend dem untersuchten Leistungsbereich werden im Kältemittelkreislauf ein Kältemittel-Massenstrom von 25 bis 90 g/s und ein Öl-Massenstrom von 0,13 bis 0,45 g/s gefördert. Beim Leckagen-Test (Neuhäuser, 2001) traten bei einem simulierten Störfall in 20 Minuten mit ca. 480 l Wasser und 2 kg Kältemittel max. 3,62 g Kompressoröl aus. Daraus errechnet sich unter Annahme der vollständigen Lösung des ausgetretenen Kompressoröls im ausgetretenen Wasser eine Kompressorölkonzentration von 8 mg/l. Diese Betrachtungsform stellt ein Worst-Case-Szenario dar. Das Kompressoröl wird somit nicht homogen verteilt im Kältemittel transportiert und tritt bei wasserseitigen Leckagen nur in sehr geringen Mengen aus.

Weiters wurden vom Amt der OÖ Landesregierung Versuche über den Rückhalt von Kompressoröl in verschiedenen Substraten durchgeführt; der Bericht liegt in der Beilage C bei. Anhand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse kann abgeleitet werden, dass bei einem eventuellen Wärmepumpen-Störfall austretendes Kompressoröl durch die getesteten Filtermedien "Sand", "Unterkorn" und "Aktivkohlefiltermatte" vollständig rückgehalten wird. Beim Simulieren eines Weiterlaufens der Grundwasserpumpe wurde festgestellt, dass es beim Filtermedium "Sand" zu einer geringen Rückkontamination von 1 mg/l kam. Bei der Aktivkohlefiltermatte kam es zu keiner messbaren Rückkontamination. Als Störfallnachsorge für eventuell in einen Sickerschacht austretendes, in diesen geringen Mengen nicht sichtbares Kompressoröl erscheint es deshalb ausreichend, die oberste Filterschicht (Sand, etc.) zu entfernen und fachgerecht zu entsorgen. Weiters werden Kompressoröle eingesetzt, welche der WGK 1 entsprechen und biologisch weitgehend abbaubar sind.

Über den Einbau von Aktivkohlefiltermatten zum Kältemittelrückhalt im Sickerschacht liegen noch keine Erfahrungen vor. Entsprechend der durchgeführten Abschätzung wären zum vollständigen Rückhalt des gelösten Kältemittels unter der Annahme der 50 % igen Beladung der Aktivkohlematten fünf Mattenlagen erforderlich, welche an der Schachtwand zu befestigen wären. Bei Einhaltung des Standes der Störfallvermeidungstechnik erscheint die

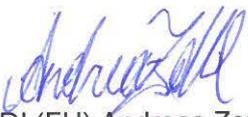
Wahrscheinlichkeit des Austritts von Kältemittel in den Sickerschacht als sehr gering. Der Einbau und die laufende Kontrolle des Beladungszustandes der Aktivkohlefiltermatten erscheinen nicht praktikabel und wirtschaftlich nicht vertretbar. Die im ÖWAV-Regelblatt 207 angeführte Störfallvorsorge (Stand der Technik der Wärmepumpenanlagen, Grundsatz der seichten Rückgabe über Sickerschacht) und die angeführte Störfallnachsorge (Öffnung der Abdeckung des Sickerschachts, damit das gasförmige Kältemittel ausgasen kann) erscheinen aufgrund der geringen Störfallwahrscheinlichkeit und des geringen Störfallpotenzials als ausreichend.

Für den Brunnenbau und die Bohrtechnik würde die Einführung eines Gütesiegels, ähnlich dem „Gütesiegel für Erdwärmesondenfirmen“ (FWS 2007) in der Schweiz, sehr sinnvoll erscheinen. Die Anforderungen dieses Gütesiegels zielen auf die regelmäßige Aus- und Weiterbildung der Ausführenden ab.

Weiters wird empfohlen, dass über die relevanten Parameter der Anlage systematische Aufzeichnungen (Wartungsprotokolle) geführt werden, um möglichst rechtzeitig eine Abweichung vom Regelbetrieb feststellen und somit Störfälle im Vorhinein vermeiden zu können.

Zusammenfassend ist man zu der Erkenntnis gekommen, dass wenn die Wärmepumpe und die dazu gehörige Anlage gemäß dem Stand der Technik geplant, ausgeführt und betrieben wird, Störungen äußerst selten auftreten bzw. im Störfall das Gefahrenpotenzial für die Umwelt als sehr gering einzuschätzen ist.

Projektleiter



DI (FH) Andreas Zottl

Stv. Geschäftsfeldleiter



Ing. Heinrich Huber BSc

2. Aufgabenstellung

Austrian Institut of Technology wurde vom Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft, in Unterstützung der Stadt Linz beauftragt, eine Studie über das Störfallpotenzial des Kältemittelkreislaufes von Wärmepumpen zu erstellen und Möglichkeiten zur Störfallvorsorge zum Schutz des Grundwassers auszuarbeiten, die dem Stand der Technik entsprechen.

Die Motivation für die Durchführung dieser Studie war, dass Wärmepumpenanlagen in den letzten Jahren immer mehr zu Heizzwecken und zur Warmwasserbereitung eingesetzt werden (Faninger 2007, S.115f). Grund für den steigenden Einsatz ist einerseits die immer besser werdende Qualität der Wärmepumpen und der zugehörigen Anlagen, andererseits die gestiegenen Energiepreise. Gerade deshalb muss in Zukunft ein verstärktes Augenmerk auf den Erhalt der Qualität der Anlagen gelegt werden. Dazu gehört auch, dass geeignete Maßnahmen getroffen werden, um das Grundwasser und das Erdreich vor Kontaminationen mit wassergefährdenden Stoffen so weit wie möglich zu schützen.

In dieser Studie sollen Antworten auf folgende Fragestellungen gegeben werden:

- Anreicherung des Verdichteröls im Kältemittelkreislauf, inklusive einer Untersuchung einer genannten Tiefsonden-Direktverdampfer-Wärmepumpenanlage
- Aus dem Kältemittelkreislauf im Störfall austretende Ölmenge und deren Auswirkungen auf das Grundwasser und den Untergrund.
- Adsorption des Kältemittels und des Schmieröls bei Einsatz von Aktivkohlefiltermatten im Rückgabeschacht und die notwendige Tauschfrequenz dieser Matten in Abhängigkeit der Grundwasserqualität
- Stand der Technik der Störfallvorsorge

3. Methodik

Um die Studie zu erarbeiten, wurden neben einer umfassenden Literatur-Recherche Experten befragt und Interviews mit Vertretern aus der betroffenen Branche durchgeführt. Zusätzlich

wurden mithilfe eines Software-Programms verschiedene Zustände des Kältemittelkreislaufes berechnet, um damit Schmierölleckagemengen abschätzen zu können. Eine Besichtigung einer älteren Tiefsonden-Wärmepumpenanlage mit Direktverdampfung in Oberösterreich wurde durchgeführt, um die Betriebserfahrungen dieser Anlage in die Studie mit einzuarbeiten. Weiters wurden vom Amt der OÖ Landesregierung Versuche über den Rückhalt von Kompressoröl in verschiedenen Substraten durchgeführt.

4. Technische Beschreibung der Wärmepumpe

4.1. Die Funktion der Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe nimmt, ähnlich wie ein Kühlschrank, Energie mit einer niedrigen Temperatur auf, transformiert diese Energie auf ein höheres Temperaturniveau und überträgt diese durch einen Wärmeträger zur Raumheizung oder Warmwasserbereitung. Diese Transformation erfolgt durch einen Verdichter, der dafür externe Energie benötigt, die zumeist elektrisch zugeführt wird. Die zugeführte Energie entspricht nach dem Prinzip der Energieerhaltung der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und -senke.

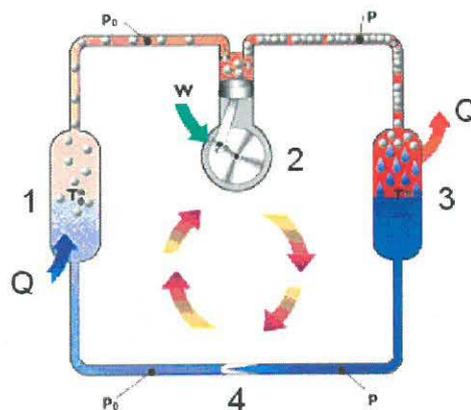


Abbildung 1: Schema einer Kompressionswärmepumpe
 (Quelle: Arbeitsordner Wärmepumpe, BWP)

Der thermodynamische Kreisprozess von Kompressionswärmepumpen ist in vier Hauptphasen unterteilt:

1. Die Verdampfung des Kältemittels findet, wie in Abbildung 1 (1) dargestellt, im Verdampfer statt. Dabei dient der Verdampfer, meist als Plattenwärmeübertrager ausgeführt, zur Übertragung der Wärmeenergie vom Wärmequellenmedium auf das Kältemittel. Dieses Kältemittel beginnt durch die zugeführte Wärmequellenenergie zu sieden und verdampft letztlich vollständig. Als Wärmequellen kann unter anderem das Erdreich, das Grundwasser oder die Luft dienen.
2. Bei der in Abbildung 1 (2) gezeigten Verdichtung wird der im Verdampfer entstandene Kältemitteldampf vom Verdichter gesaugt und verdichtet (komprimiert), wodurch Druck- und Temperatur des Kältemittels ansteigen. In den meisten Fällen wird der Verdichter elektrisch angetrieben.
3. Die Verflüssigung bzw. Kondensierung des heißen Kältemitteldampfes, abgebildet in Abbildung 1 (3), findet im Verflüssiger statt. Dabei wird die Wärmeenergie durch den Wärmeübertrager auf das Heizmedium (üblicherweise Wasser) übertragen und dieses dadurch erwärmt.
4. In der letzten Phase wird das flüssige Kältemittel im Expansionsventil, siehe Abbildung 1 (4), von einem hohen Druck und Temperatur wieder auf einen niedrigeren Druck und Temperatur entspannt, dadurch kann das Kältemittel wieder Energie aus der Wärmequelle aufnehmen und der Prozess beginnt von Neuem.

Die Effizienz einer Wärmepumpe kann mithilfe der Leistungszahl beziehungsweise der über eine gewisse Zeitspanne ermittelte Arbeitszahl bewertet werden.

Die Maßzahl für die Effizienz einer elektrischen Kompressionswärmepumpe ist die Leistungszahl bzw. COP (Coefficient of Performance), die bei normativ festgelegten Betriebsbedingungen, z.B. B0/W35, W10/W35¹, im stationären Betriebszustand ermittelt wird. Sie ist definiert als das Verhältnis zwischen der von der Wärmepumpe erzeugten Heizleistung und der zum Antrieb des

¹ Der Betriebspunkt B0/W35 bedeutet 0°C Eintrittstemperatur der Sole in die Wärmepumpe und 35°C Vorlauftemperatur heizungsseitig. Dementsprechend W10/W35, 10°C Grundwassertemperatur und 35°C Vorlauftemperatur.

Verdichters benötigten elektrischen Antriebsleistung, also als Verhältnis zwischen gewonnener Heizleistung und aufgewendeter elektrischer Leistung.

$$COP = \frac{\text{Heizleistung}}{\text{elektrische Leistung}} = \frac{\dot{Q}_H}{P_{el}}$$

Die über ein ganzes Jahr gemittelte Leistungszahl einer Wärmepumpe wird als Jahresarbeitszahl (JAZ) bezeichnet. Sie ist definiert als das Verhältnis zwischen der von der Wärmepumpe an das Heizsystem gelieferten Wärme und der zum Antrieb benötigten elektrischen Energie, also dem Verhältnis zwischen jährlich gewonnener Nutzwärme und jährlich aufgewendeter Energie. Bei der Berechnung der Jahresarbeitszahl wird nicht nur der Stromverbrauch des Verdichters berücksichtigt, sondern zusätzlich auch der Stromverbrauch der Hilfsantriebe.

$$JAZ = \frac{\Sigma \dot{Q}_H}{\Sigma P_{el}}$$

4.2. Die Hauptkomponenten einer Wärmepumpe

Eine Kompressions-Wärmepumpe besteht im Wesentlichen aus vier Hauptbestandteilen:

- Verdichter
- Verdampfer
- Kondensator
- Expansionsventil

4.2.1. Verdichter

Der Verdichter komprimiert das Kältemittel von einem niedrigen auf ein höheres Druckniveau. Dabei steigt die Temperatur des Kältemittels stark an. Das heißt, der Verdichter muss so ausgelegt sein, dass er für das notwendige Druckverhältnis und für das verwendete Kältemittel geeignet ist. Das verdichtete Kältemittel gelangt dann weiter zum Verflüssiger (Huber 2006, S.16ff).

Die Verdichtung im Verdichter kann basierend auf unterschiedlichen physikalischen Prinzipien erfolgen. Dabei unterscheidet man zwischen statischen (Verdrängungs-) Prinzip und dem

kinetischen (Kreisel-) Prinzip. In der Wärmepumpen-Technologie werden hauptsächlich die nach dem Verdrängungsprinzip arbeitenden Hubkolben- oder Scroll-Verdichter verwendet.

- **Hubkolbenverdichter**

Der Hubkolbenverdichter ist ähnlich einem Verbrennungsmotor aufgebaut und kann bei wirtschaftlichem Betrieb ein Verdichtungsverhältnis von bis zu 1:10 erreichen. Zu beachten ist jedoch, dass Hubkolbenverdichter sehr empfindlich gegenüber Flüssigkeitsschlägen sind, das heißt es muss dafür gesorgt sein, dass das angesaugte Kältemittel vollständig verdampft ist.

- **Spiralverdichter „Scroll-Verdichter“**

Der Scroll-Verdichter zählt zu den widerstandsfähigsten Verdichtern, was sich auch in seiner weiten Verbreitung widerspiegelt. Er besteht aus zwei ineinander verschachtelten Spiralen zwischen denen das Kältemittel verdichtet wird. Für den Scrollverdichter ist ein Verdichtungsverhältnis von 1:3 typisch.

4.2.2. Wärmeübertrager (Verflüssiger / Verdampfer)

- **Plattenwärmeübertrager**

Der Plattenwärmeübertrager ist bei Wärmepumpen die meist verwendete Wärmeübertragerbauart. Der Wärmeübertrager wird aus mehreren einzelnen Platten zusammengesetzt und verlötet oder geschweißt. Durch jeden zweiten so entstandenen Zwischenraum strömt das Kältemittel und durch den anderen der Wärmeträger (siehe Abbildung 2).

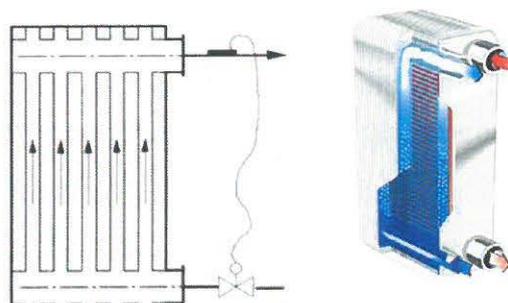


Abbildung 2: Plattenwärmeübertrager (Verdampfer) (TWK)

- **Kupfergelötete Edelstahl - Plattenwärmeübertrager**

In der Vergangenheit wurden bei Sole/Wasser-Wärmepumpen üblicherweise kupfergelötete Edelstahl - Plattenwärmeübertrager eingesetzt. Bei dieser Bauart werden die einzelnen Wärmeübertragerplatten mit dem Hartlötverfahren miteinander verbunden, wobei Kupfer als Zusatzwerkstoff eingesetzt wird. Durch den Einsatz von Kupfer als Zusatzwerkstoff ist diese Wärmeübertragerbauart korrosionsanfälliger und weniger chemisch beständig wie nickelgelötete Edelstahl - Plattenwärmeübertrager.

- **Nickelgelötete Edelstahl - Plattenwärmeübertrager**

Nickelgelötete Edelstahl – Plattenwärmeübertrager werden meistens bei Grundwasser-Wärmepumpen auf Grund der besseren chemischen Beständigkeit eingesetzt. Jedoch ist diese Wärmeübertragerart, da hier Nickel als Zusatzwerkstoff eingesetzt wird, welcher die Festigkeit des Grundwerkstoffs in der Legierungszone reduziert, weniger mechanisch beanspruchbar. Das bedeutet, dass nickelgelötete Edelstahl – Plattenwärmeübertrager empfindlicher auf Eisbildung im Wärmeübertrager reagieren. Nickelgelötete Wärmeübertrager sind etwa 1,5-mal teurer als kupfergelötete Wärmeübertrager.

- **Edelstahl - Plattenwärmeübertrager in AlfaFusion™ Technologie (Alfa Nova)**

Eine Weiterentwicklung zu den kupfer- und nickelgelöteten Wärmeübertragern stellt die Fertigung der Edelstahl-Plattenwärmeübertrager mit der AlfaFusion™ Technologie dar.

Bei diesem neuen Verbindungsverfahren wird eine spezielle Edelstahlpaste als Zusatzmaterial eingesetzt, auf diese Weise kann der Alfa Nova Plattenwärmeübertrager zu 100 Prozent aus Edelstahl hergestellt werden. Laut Alfa Laval können diese Wärmeübertrager höheren Druck- und Temperaturniveaus ausgesetzt werden und sind chemisch beständiger. Laut Herstellerangaben wird, bei chloridhaltigem Grundwasser mit einer Temperatur von 10°C und einem pH-Wert von 7, die Materialbeständigkeit bis zu einem Chloridgehalt von 300 mg/l garantiert (Alfa Laval, 2007).

Verschiedene Wärmepumpenhersteller setzen bei Grundwasserwärmepumpen entweder ausschließlich Edelstahl-Plattenwärmeübertrager mit AlfaFusion™ Technologie ein oder verwenden diese, wenn die Grenzwerte für einen herkömmlichen Wärmeübertrager nicht

eingehalten werden können. Die Kosten für diesen Wärmeübertrager betragen das 2 bis 2,5-fache eines kupfergelöteten Plattenwärmeübertragers.

- **Spiral - Wärmeübertrager**

Als sehr stabil hat sich der in Abbildung 3 dargestellte Wärmeübertrager der Firma Spirec N.A. erwiesen. Diese Wärmeübertrager sind im Vergleich zu nickelgelöteten Edelstahl-Wärmeübertragern auf Grund der gewickelten und geschweißten Ausführung chemisch sehr beständig und relativ unempfindlich gegenüber gefrierendem Wasser im Wärmeübertrager (Bangheri, 2007). Diese Spiralverdampfer weisen einen Abstand der wasserseitigen Spiralgänge von 3 - 4 mm auf. Bei den marktüblichen Plattenwärmeübertrager beträgt der Abstand 2 - 4 mm (M-Tec 2007). Durch die Bauweise des Spiralwärmeübertragers wird das Grundwasser axial ohne Umlenkung wie beim Plattenwärmeübertrager durch den Wärmeübertrager geführt, dadurch wird die Abrasion durch Sande im Wasser stark verringert.



Abbildung 3: Spiralwärmeübertrager (Quelle: spirec.com)

Auch hier betragen die Kosten für diese Wärmeübertragertypen etwa das 2 bis 2,5-fache eines kupfergelöteten Plattenwärmeübertragers.

- **Koaxialwärmeübertrager**

Bei dem in Abbildung 4 abgebildeten Wärmeübertrager handelt es sich um einen Doppelrohr – Gegenstrom - Wärmeübertrager, wobei das Mantelrohr wendel- oder spiralförmig gewickelt ist. In dem Mantelrohr wird ein geripptes Kernrohr eingezogen, welches zur Vermeidung von Geräuschen und zum Schutz vor Durchscheuern mittels Abstandhalter abgestützt wird.

Diese aus Kupfer gefertigten Wärmeübertrager werden bei Grundwasser Wärmepumpen aufgrund der schlechten chemischen Beständigkeit und der großen Baugröße in Neuanlagen nicht mehr eingesetzt.

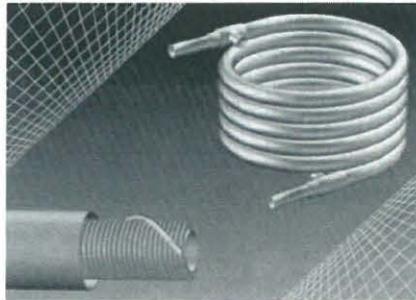


Abbildung 4: Koaxialwärmeübertrager (TWK)

- **Rohrbündel-Wärmeübertrager**

Ein Bündel mehrerer gerader gerippter oder ungerippter Rohre wird stirnseitig durch Endplatten gehalten. Das Rohrbündel befindet sich in einem zylindrischen Mantel, der auf beiden Seiten durch Umlenkdeckel abgeschlossen wird.

Rohrbündel-Wärmeübertrager werden hauptsächlich in Großanlagen, die als Verbundanlagen ausgeführt sind, eingesetzt.

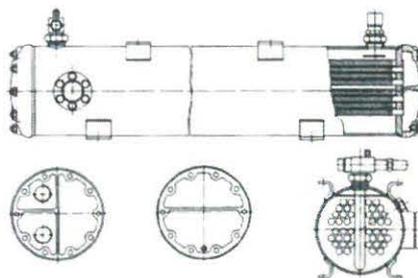


Abbildung 5: Rohrbündel- Wärmeübertrager (TWK)

- **Sicherheitswärmeübertrager**

Mit Hilfe von Sicherheitswärmeübertragern kann im Leckagefall eine Vermischung der primär- und sekundärseitigen Wärmeträgermedien verhindert werden. Denn anstelle einer einzelnen

Wärmeübertragerplatte trennen beim Sicherheitswärmeübertrager zwei Edelstahlplatten die Fließkanäle. Zwischen diesen Edelstahlplatten befinden sich nach außen offene Luftkanäle, siehe Abbildung 6. Im Falle eines Plattenbruches durch Korrosion oder Eisbildung wird das Medium zwischen den Platten nach außen abgeleitet. Diese Wärmeübertrager kommen hauptsächlich bei Ölkühlern und in der Lebensmittelindustrie zur Anwendung.

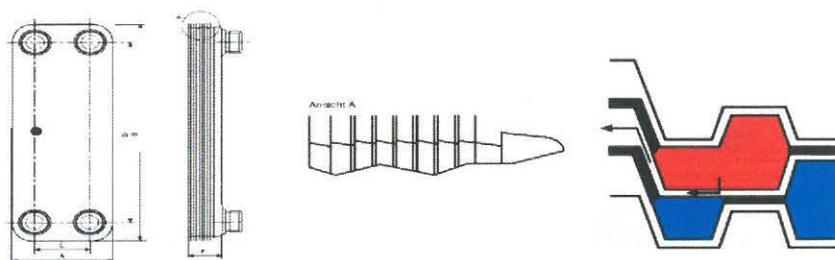


Abbildung 6: gelöteter Sicherheitswärmeübertrager (Quelle: GEA)

Für Wärmepumpenanwendungen sind diese Sicherheits-Plattenwärmeübertrager nicht geeignet. Denn beim Einsatz als Verdampfer kondensiert die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit im Luftspalt der Doppelplatten und gefriert bei Verdampfungstemperaturen unter 0°C . Das sich dabei bildende Eis zerstört in der weiteren Folge den Wärmeübertrager.

4.2.3. Sicherheits-Zwischenkreislauf

Damit im Störfall kein Kältemittel in den Grundwasserkreislauf bzw. kein Wasser in den Kältemittelkreislauf gelangen kann, besteht die Möglichkeit des Einbaus eines Sicherheits-Zwischenkreislaufes, gemäß Abbildung 7. Dieser Zwischenkreislauf besteht aus einem zweiten Wärmeübertrager, einer zusätzlichen Umwälzpumpe, den dazu notwendigen Rohrleitungen, die mit Sole gefüllt sind und einer elektrischen Versorgung der Soleumwälzpumpe. Bei Grundwässern, die zu Ablagerungen im Wärmeübertrager führen, sollte der Zwischenwärmeübertrager in einer zerlegbaren Ausführung zum Einsatz kommen, um eine Reinigung zu ermöglichen. Weiters ist ab einer Kältemittelmenge von 20 kg gemäß ÖNORM M 7755-2 ein Nachweis der Unbedenklichkeit des Kältemittels zu führen oder es ist ein Zwischenkreislauf vorzusehen.

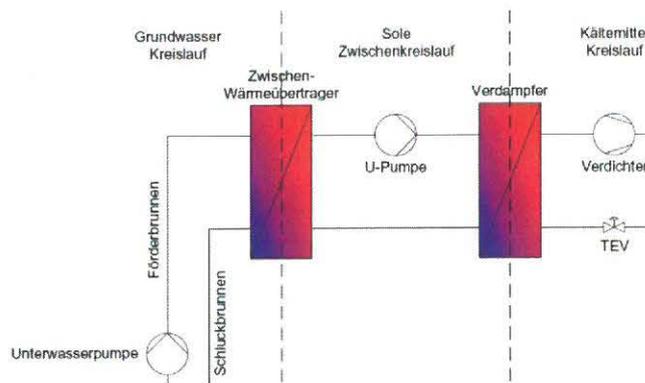


Abbildung 7: Schema Sicherheits-Zwischenkreislauf

Auswirkungen des Sicherheitskreislaufs auf die Anlageneffizienz

Durch den Sicherheitskreislauf sinkt die Arbeitszahl der Wärmepumpenanlage, da durch den zusätzlichen Wärmeübertrager im Sicherheitskreislauf ein zusätzlicher Wärmeübergang hinzukommt. Damit wird die Temperaturdifferenz zwischen Grundwassertemperatur und Verdampfungstemperatur größer, wodurch bei gleich bleibender Grundwassertemperatur die Verdampfungstemperatur des Kältemittels sinkt und somit dem Verdichter mehr elektrische Energie zugeführt werden muss. Weiters muss auch die elektrische Energie für die Soleumwälzpumpe im Sicherheitskreislauf zugeführt werden.

Mithilfe der Solkane® Refrigerant Software wurden diese Auswirkungen abgeschätzt. Im Fall des Kältemittels R 407C kommt es bei einem Temperaturunterschied von 1,5 Kelvin zu einer Reduktion der Leistungszahl von 4,3 % und somit zu einer Erhöhung der notwendigen elektrischen Energie für das System um 8,5 %. Damit ergibt sich ein zusätzlicher Bedarf an elektrischer Energie von etwa 300 kWh/a, für eine Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 12 kW inklusive der zusätzlichen Sole-Umwälzpumpe.

Es ist anzumerken, dass die Temperaturdifferenz des Zwischenkreislaufs von der Größe bzw. Wärmeübertragungsfläche des Wärmeübertrages abhängt und das trotz des Einsatzes eines Zwischenwärmeübertragers Grundwasserwärmepumpen in der Regel höhere Verdampfungstemperaturen erreichen als bei Sole/Wasser-Wärmepumpen.

4.2.4. Expansionsventile

Expansionsventile regeln den Kältemittelmassenstrom im Kältemittelkreislauf und entspannen das flüssige Kältemittel auf ein tieferes Temperatur- und Druckniveau. Bei Wärmepumpen kommen hauptsächlich zwei Bauformen zum Einsatz:

- **Thermostatische Expansionsventile**

Thermostatische Expansionsventile gehören zu den am häufigsten verwendeten Drosselventilen, die am Verdampferausgang die auftretende Arbeits-Überhitzung des Kältemitteldampfes in Abhängigkeit der Soll-Überhitzung konstant halten.

- **Elektronische Expansionsventile**

Neben den thermostatischen Expansionsventilen erlangen elektronische Expansionsventile, die durch Mikroprozessoren geregelt werden, immer mehr an Bedeutung. Einige Vorteile der elektronischen Ventile sind:

- Schnellere Reaktionszeiten d.h. konstante Betriebszustände werden wesentlich schneller erreicht.
- Konstante Überhitzungsregelung über gesamten Einsatzbereich.

4.2.5. Schauglas

Das Schauglas hat zwei Aufgaben: Zum einen wird es benutzt, um zu kontrollieren, ob sich vor dem Eintritt des Expansionsventils Dampfblasen im Kältemittel befinden. Falls Blasen vorhanden sind, kann dies ein Zeichen für Kältemittelmangel im Kreislauf sein. Beim Anlaufen der Wärmepumpe treten jedoch bis zum Erreichen eines stabilen Betriebszustandes häufig Blasen im Schauglas auf. Zum anderen wird das Schauglas benutzt, um zu überprüfen ob sich Wasser im Kältemittel befindet. Hierzu befindet sich ein Feuchtigkeitsindikator in der Mitte des Schauglases, der seine Farbe verändert, sobald Feuchtigkeit im Kältemittel vorhanden ist.

4.2.6. Filtertrockner

Der Kältemittelfilter besteht aus einem Filter und einem Trocknermaterial (Silicagel), das Feuchtigkeit absorbiert. Die Aufgaben des Filtertrockners im Kältemittelkreislauf sind:

- Abscheidung von Schmutz und anderen Fremdkörpern
- Bindung von im Kältemittel enthaltener Feuchtigkeit
- Bindung von im Kältemittel vorhandener Säure

4.2.7. Sammler

Der Sammler dient als Ausgleichsgefäß für das Kältemittel, das im Kreisprozess vorübergehend nicht benötigt wird, da abhängig von den Betriebsbedingungen im Kältemittelkreislauf unterschiedliche Kältemittelmengen zirkulieren. Speziell bei Wärmepumpenanlagen mit stark veränderlichen Betriebspunkten (unterschiedlichen Verdampfungs- und Verflüssigungstemperaturen), wie z.B. bei Luft/Wasser Wärmepumpen, kommen Sammler zum Einsatz.

4.2.8. Magnetventil

Das Magnetventil besitzt eine elektromagnetische Spule und hat im Kältekreislauf die Aufgabe, eine kältemittelführende Rohrleitung abzusperren. Unter anderem werden Magnetventile eingebaut, um einen Heißgas-Abtaubetrieb oder einen Pump-Down-Betrieb zu realisieren und Kältemittelverlagerungen in den Verdampfer bzw. in den Flachkollektor (bei Direktverdampfung) zu vermeiden.

- **Magnetventil bei einer Heißgas-Abtauung des Verdampfers**

Wenn der Verdampfer mittels der Heißgas-Methode abgetaut wird, muss während des Abtauvorganges die Saugleitung abgesperrt werden, wenn das überhitzte Kältemittel durch die Abtaudruckleitung zum Verdampfer strömt (Breidert 2003, S.116).

- **Magnetventil zur Verhinderung von Kältemittelverlagerungen**

Im Falle einer falschen Einstellung der Arbeitsüberhitzung des thermostatischen Expansionsventils kann es im Stillstand der Kälteanlage dazu kommen, dass das Ventil nicht mehr vollständig schließt und dann das Kältemittel sich von der Hochdruckseite auf die Niederdruckseite verlagert. Kritisch ist diesbezüglich eine Kältemittelverlagerung in den Verdampfer, in die Saugdampfleitung oder den Verdichter, da es beim Anlaufen der Anlage zu

Flüssigkeitsschlägen im Verdichter kommen kann. Diese Gefahr kann durch den Einbau eines Magnetventils vor dem Expansionsventil reduziert werden (WEBASTO 2000).

- **Magnetventil für einen Pump-Down-Betrieb**

Weiters kann das Magnetventil in Kälteanlagen für den Pump-Down-Betrieb eingesetzt werden. Dabei wird vor dem Abschalten des Verdichters das Magnetventil geschlossen und das Kältemittel aus der Niederdruck- (Verdampfer) auf die Hochdruckseite (in den Verflüssiger und Sammler) gefördert. Die Abschaltung des Verdichters erfolgt durch ein Schaltsignal des Niederdruckschalters (Schittenhelm 1999, S.189). Eine weitere Anwendung der Pump-Down-Schaltung bei erdreichgekoppelten Wärmepumpensystemen ist in Kapitel 8.3.1 beschrieben.

4.3. Anforderungen an Rohrleitungen und -verbindungen

4.3.1. Kältemittelführende Rohrleitungen und Verbindungen

Kältemittelführende Bauteile und Rohrleitungen müssen den in der EN 378-2 (2003, S.7ff) angeführten Normen bzw. Anforderungen entsprechen. Bei Gefahr von Beschädigungen der Rohrleitungen müssen geeignete Schutzmaßnahmen getroffen werden, z.B. Einbau von Verkleidungen. Sie müssen weiters so konstruiert und hergestellt werden, dass sie dicht bleiben und den vorherrschenden Drücken und Temperaturen widerstehen. Werkstoffe, Wanddicken, Zähigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Prüfverfahren müssen dementsprechend gewählt werden, dass sie für das gewählte Kältemittel geeignet sind. Weiters müssen sie so konstruiert und gebaut sein, dass Gefahren durch Schwingungen, die durch Teile der Anlage erzeugt werden, auf das möglichst niedrigste Niveau gesenkt werden, damit Dauerbrüche bzw. Körperschallübertragungen verhindert werden.

Die Rohrleitungsverbindungen müssen gemäß EN 378-2 den Anforderungen nach EN 14276-2 entsprechen. Grundsätzlich müssen nichtlösbare Rohrleitungsverbindungen durch Hartlötungen hergestellt werden. Lösbare Verbindungen dürfen nur dann eingesetzt werden, wenn nichtlösbare Verbindungen aus technischen Gründen nicht geeignet sind.

4.3.2. Wärmeträgerführende Rohrleitungen

Die Rohrleitungssysteme müssen gemäß EN 12828 (2003 S.8ff) so ausgelegt sein, dass sie die erforderlichen Leistungen bei geringem Druckverlust transportieren können. Dabei sind unter anderem die Parameter Temperatur, Betriebsdruck, Druckverlust, Korrosion, Geräuschübertragung, z.B. durch Fließgeschwindigkeit und mechanische Einflüsse, zu berücksichtigen.

4.4. Sicherheitseinrichtungen

4.4.1. Sicherheitseinrichtungen zur Druckbegrenzung

Im Kältekreislauf sind nach EN 12263 typengeprüfte Sicherheitsschalteneinrichtungen gemäß EN 378-2 (2003, S.24) zu verwenden. Diese müssen durch Abschalten des Druckerzeugers gewährleisten, dass während des Betriebs die zulässigen Drücke in keinem Bauteil der Anlage über- bzw. unterschritten (Hoch- und Niederdruck) werden. Die Gründe für das Ansprechen einer Sicherheitsschalteneinrichtung sind unter anderem zu geringer Massenstrom des Wärmeträgers auf der Wärmequellen- oder Wärmenutzerseite bzw. Kältemittelmangel oder zuviel Kältemittel im Kältemittelkreislauf.

Sollte der Druckerzeuger im Störfall durch eine defekte Sicherheitsschalteneinrichtung nicht abgeschaltet werden, steigt der Druck auf der Hochdruckseite des Kältekreislaufes so weit an, bis ein Ventil im Verdichter den heißen Kältemitteldampf auf die Niederdruckseite überströmen lässt.

4.4.2. Sicherheitseinrichtungen zur Temperaturbegrenzung

Bei Grundwasserwärmepumpen sind in Regionen, wo das Grundwasser im Frühjahr durch Schmelzwasser beeinflusst wird, eine Unterschreitung der zulässigen Rückgabetemperatur bzw. Eisbildungen im Wärmeübertrager zu vermeiden. Dazu stehen folgende Sicherheitseinrichtungen zur Verfügung:

- Temperaturbegrenzungseinrichtungen gemäß ÖNORM M 7425 (2001, S.5ff): Sind auf Temperatur ansprechende Einrichtungen, die sicherstellen, dass das zurückzuführende

Wasser eine vorgegebene Temperatur nicht unterschreitet (ÖNORM M 7755-2 2000, S.3).

- Sicherheits-Zwischenkreislauf: Der Verdampfer kann durch die Solefüllung des Zwischenkreislaufs nicht auffrieren.
- Sicherheitsschalteneinrichtung gemäß EN 12263, die die Verdampfungstemperatur im Kältekreislauf auf über 0 °C begrenzt.
- Durchflusswächter: Diese werden in der Wärmequellenanlage eingesetzt, um den Volumenstrom des Grundwassers durch den Verdampfer zu überwachen.

4.5. Kältemittel für Kompressions-Wärmepumpen

4.5.1. Einteilung und Eigenschaften der Kältemittel

Nach EN 378-1 (2003, S.15) sind Kältemittel: „Fluide, die zur Wärmeübertragung in einer Kälteanlage eingesetzt werden, das bei niedriger Temperatur und niedrigem Druck Wärme aufnimmt und bei höherer Temperatur und höherem Druck Wärme abgibt, wobei üblicherweise Zustandsänderungen des Fluids erfolgen.“

Nachdem das Ozonabbau-Potenzial und der Beitrag von Fluorchlorkohlenwasserstoffen zum Treibhauseffekt bekannt wurden, sind vollhalogenierte und teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe, wie R 11, R 12 und R 22 verboten und durch weniger umweltschädliche Kältemittel ersetzt worden.

Heute werden in Wärmepumpen folgende Kältemittel eingesetzt:

- Synthetische Kältemittel: R 134a, R 404A, R 407C, R 410A
- Natürliche Kältemittel: R 744 - CO₂, R 290 – Propan

4.5.2. Löslichkeit der Kältemittel in Wasser

In diesem Abschnitt, wird auf die Löslichkeit der Kältemittel in Wasser für die bei Wärmepumpen gängigsten eingesetzten Kältemittel R134a, R404A, R407A und R410A eingegangen.

Grundsätzlich ist die Löslichkeit von Gasen in Wasser vom Gas selbst, vom Umgebungsdruck und -temperatur abhängig. Die Löslichkeit von Gasen in Wasser mit sinkender Temperatur prinzipiell zu, dieses Verhalten ist jedoch bei Kältemittel unterschiedlich und hängt vom Kältemitteltyp ab. Gemäß den Sicherheitsdatenblättern der Kältemittelhersteller werden die Kältemitteltypen R404A, R407C und R410A in Wasser als unlöslich, das Kältemittel R134a von gering löslich bis 1,9 g/l und R22 mit einer Löslichkeit von ca. 4 g/l eingestuft, siehe Tabelle im Beilage A

Gemäß Jannick (1996, S.71 - 74) beträgt die Löslichkeit vom Kältemittel R134a bei einer Wassertemperatur von 10 °C 3,6 g/l an.

Um Abzuschätzen wie viel Grundwasser im Fall eines Störfalls mit Kältemittel kontaminiert wird, wurden die Ergebnisse eines Leckage-Versuchs (Neuhäuser, 2001) herangezogen. Beim zitierten Leckage-Versuch traten bei einer simulierten Leckage an einer Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 10 kW etwa 2000 g Kältemittel in 20 Minuten aus, in dieser Zeit wurden 480 l Wasser durch den Verdampfer gefördert. Daraus ergibt sich, dass vom Eintritt der Leckage bis zum Abschalten der Wärmepumpe durch den Niederdruck-Pressostaten, etwa 4,2 g Kältemittel mit einem Liter Wasser vermischen. Da die Lösungsgrenze von R134a in Wasser bei 1,5 g/l liegt gehen ca. 65 % nach dem Eintritt in den Sickerschacht sofort in die Atmosphäre über.

Die Kältemittel R404A, R407C und R410A gehen auf Grund der Unlöslichkeit in Wasser sofort zur Gänze in die Atmosphäre.

4.6. *Schmieröle im Kältemittelkreislauf*

4.6.1. Einteilung und Eigenschaften der Kältemittelschmieröle

Um den Verschleiß und die Reibung im Verdichter zu minimieren, werden Öle eingesetzt, die die notwendige Schmierung der Lagerstellen des Verdichters sicherstellen. Dabei ist auf ein gutes Löslichkeitsverhalten des Schmieröls im Kältemittel zu achten, damit das Öl im Kältemittelkreislauf vom Kältemittel transportiert werden kann. Die im Verdichter verwendeten Öle sind deshalb immer auf das eingesetzte Kältemittel abzustimmen (Bock 2007, S.9). Bei den heute hauptsächlich verwendeten chlorfreien (H)FKW's und dessen Gemischen kommen nur mehr die synthetischen Schmierstoffe Polyol-Ester (POE), Polyvinyl-Ether (PVE) oder, mit

bestimmten Einschränkungen, Poly-Alkylen-Glykol (PAG) zum Einsatz (Bitzer 2003, S.35). Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie üblicherweise in Wasser nicht löslich bzw. wenig mischbar sind und entweder schwach wassergefährdend (WGK1) oder in wenigen Fällen als wassergefährdend (WGK2) eingestuft sind (siehe FUCHS Sicherheitsdatenblätter, Beilage A). Für die am Wärmepumpenmarkt am häufigsten eingesetzten Kältemittel R134a, R407C, R404A, R410A werden zum Großteil POE als Schmierstoffe verwendet. Diese Schmierstoffe sind produktspezifisch der Wassergefährdungsklasse WGK 1 zuzuordnen und die biologische Abbaubarkeit liegt bei >90 % (UNIQEMA 2006)².

4.6.2. Ölfüllmengen im Verdichter

Die in den Verdichtern benötigten Ölmengen hängen von der Bauweise (Scroll- oder Hubkolben-Verdichter) und der Kälteleistung ab. Im untersuchten Einfamilienhaussektor kommen überwiegend Wärmepumpen mit einer Kälteleistung von etwa 5 bis 16 kW mit den Kältemitteln R407C und R410A zum Einsatz. Für diese typischen Heizleistungen wurden verschiedene Verdichter-Typen auf ihre Ölfüllmengen analysiert. Die Ölfüllung nimmt bei den untersuchten Verdichtern mit steigender Kälteleistung zu, die maximale Ölfüllung lag bei 2 Liter, siehe Beilage B.

4.6.3. Schmieröltransport im Kältemittel-Kreislauf

Die verschiedenen Schmierstellen in einem Verdichter werden, je nach Verdichterhersteller, mittels einer Druck- oder Schleuderschmierung mit Schmieröl versorgt. Dabei wird das Schmieröl unter anderem auch teilweise durch den Verdichterausgang auf der Hochdruckseite in die Heißgasleitung transportiert, wo es gemeinsam mit dem Kältemittel durch den gesamten Kältemittel-Kreislauf transportiert werden muss. Als Ölwurfrate wird jener Schmiermittelmassenstrom bezeichnet, der bezogen auf den gesamten Kältemittelmassenstrom durch den Kältemittel-Kreislauf zirkuliert.

² Ein Stoff wird als biologisch leicht abbaubar eingestuft, wenn der Verlust an gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) größer als 70 % ist, oder wenn die CO₂-Entwicklung oder der Sauerstoffverbrauch mehr als 60 % der theoretischen Werte erreicht und wenn dieser Grad des Abbaus innerhalb der zehn Tage, nachdem die Abbaurate erstmals 10 % erreicht hat, erzielt wird (10-Tage-Fenster).

Um einen störungsfreien Betrieb des Verdichters zu garantieren, muss das in den Kältemittel-Kreislauf geförderte Öl wieder in den Verdichter zurücktransportiert werden. Dies ist dann der Fall, wenn das Öl an den Stellen des Kältemittel-Kreislaufes, bei dem sich das Kältemittel im flüssigen Zustand befindet, im Kältemittel selbst gelöst ist bzw. die Geschwindigkeit des gasförmigen Kältemittels ausreicht um das flüssige Öl in den Rohrleitungen weiter zu transportieren. Da die Löslichkeit des Öls im Kältemittel entscheidend für die Betriebssicherheit des Verdichters ist, ist die Wahl des Öls vom eingesetzten Kältemittel und den Betriebszuständen der Anlage abhängig. Der Kältekreislauf ist so zu konstruieren, dass das Schmieröl wieder in den Verdichter zurück transportiert wird. Ansonsten käme es im Verdichter durch Schmierölmangel zu Lagerschäden und zu häufigen der Verdichterausfällen. Tausende Wärmepumpen belegen, die Jahrzehnte ohne Ölnachfüllung betrieben werden, dass die Ölrückführung funktioniert.

Bei einer Untersuchung von Scroll-Verdichtern (Kämmer 2002, S. 34) wurden Ölwurfraten zwischen 0,3 bis 0,35 % ermittelt. Um sicher zu gehen, dass die darauf folgenden Ergebnisse den Worst-Case-Fall darstellen, wurde mit einer Ölwurfrate von 0,5 % bei den weiteren Untersuchungen weitergerechnet.

Um den entsprechenden Öl-Massenstrom bestimmen zu können, wurde der Kältemittel-Massenstrom für die Kälteleistungen 5 kW und 16 kW und für die Kältemittel R 407C und R 410A mithilfe der Solkane[®] Refrigerant Software berechnet (Berechnungen im Beilage B). Dafür wurden die in Tabelle 1 dargestellten Parameter angewendet:

Größen	Wert
Verdampfungstemperatur	0 °C
Kondensationstemperatur	45 °C
Überhitzung	7 K
Unterkühlung	3 K

Tabelle 1: Zustandsparameter für die Berechnung des Schmieröltransports

Die Berechnungen ergaben, für den untersuchten Verdichterleistungsbereich einen Kältemittel-Massenstrom von 25 bis 90 g/s. Mit einer Ölwurfrate von 0,5 % vom Gesamt-Massenstrom ergibt sich daraus ein Öl-Massenstrom von 0,13 bis 0,45 g/s.

5. Technische Beschreibung der Wärmequellenanlagen

Im Verdampfer wird einer externen Wärmequelle Energie entzogen, um das Kältemittel zu verdampfen. Man spricht von Umweltenergie und unterscheidet folgende Wärmequellen (Cube 1997, S. 1231):

5.1. Grundwasser

Grundwasser hat bei ausreichender Grundwasserüberdeckung während des gesamten Jahres eine nahezu konstante Temperatur von ca. 8 bis 12 °C. Aus diesem Grund eignet es sich sehr gut als Wärmequelle. Das Grundwasser wird aus einem Brunnen mit einer Pumpe zur Wärmepumpe gefördert. In der Wärmepumpe wird dem Wasser Wärme entzogen und anschließend über einen Sickerschacht oder Schluckbrunnen wieder in den Grundwasserhorizont zurückgeführt.



Abbildung 8: Schema einer Grundwasser-Wärmepumpe

5.1.1. Technische Randbedingungen für die Grundwassernutzung

Bereits im Planungsstadium ist die Eignung des Standortes für den Betrieb einer Grundwasserwärmepumpe zu prüfen und es sind entsprechende anlagentechnische Maßnahmen zu treffen, welche einen störungsfreien Betrieb sicherstellen.

Wesentliche Parameter für die Projektierung und den Betrieb sind:

- Die minimale Temperatur des Grundwassers im Jahresgang soll 8 °C nicht unterschreiten. Bei der Bemessung einer Grundwasserwärmepumpenanlage ist jedenfalls vom ungünstigsten Temperaturzustand im Entnahmeaquifer auszugehen.

- Die ausreichende Ergiebigkeit des Entnahmeaquifers ist im Regelfall durch einen Pumpversuch zu überprüfen. Die Ergiebigkeit muss auch bei niedrigen Grundwasserständen gewährleistet sein.
- Der Grundwasserflurabstand sollte nicht zu groß sein. Mit zunehmendem Grundwasserflurabstand steigt der Stromverbrauch der Grundwasserpumpe und reduziert damit die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage.
- Beschaffenheit des Grundwassers, einschließlich Beurteilung des Einflusses auf Korrosion und Brunnenalterung (pH-Wert, O₂-Gehalt, elektrische Leitfähigkeit, Redox-Potential, Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium, Eisen, Mangan, Nitrat, Phosphat, Sulfat, Chlorid, Hydrogencarbonat, Ammonium).

Bezüglich der Materialtauglichkeit sollte diese bei unklaren Situationen auf jeden Fall mit dem Hersteller des Wärmeübertragers abgestimmt werden.

Bei Förderung von eisen- und manganhaltigem Wasser ist mit Ausfällungen zu rechnen. Verstärkt wird dieser Effekt durch die Grundwasserabsenkung bei der Entnahme und Grundwasserüberhöhung bei der Rückgabe des thermisch veränderten Grundwassers und den damit verbundenen Sauerstoffeintrag. Auch die Wärmeentwicklung der Tauchpumpe kann Ausfällungen bewirken, die zum Verstopfen des Brunnenfilters, Förderpumpen, Wärmeübertragern und Versickerungsanlagen führen können und damit erhebliche Betriebsprobleme nach sich ziehen.

5.1.2. Grundwasserentnahme aus Brunnen und Quellen

Die Planung, Errichtung und Rückbau von Brunnen und Quellfassungen sollte von konzessionierten Brunnenbauunternehmen bzw. Fachfirmen ausgeführt werden. Es sind die einschlägigen Normen, z.B. ÖNORM B 2601 Wassererschließung - Brunnen, ÖNORM B 2602 Wassererschließung – Quellfassungsanlagen, ÖNORM B 2261 Brunnenbauarbeiten Werkvertragsnorm) und Richtlinien zu beachten.

Um ganzjährig möglichst konstante Grundwassertemperaturen sicher zu stellen und Konflikte mit konkurrierenden thermischen Nutzungen zu vermeiden, sollte bei mächtigen Grundwasserleitern die Entnahme des Grundwassers aus möglichst tiefen Bereichen erfolgen.

5.1.3. Rückgabe über Sickeranlagen oder Brunnen

Die Rückgabe des entnommenen Wassers kann entweder über Brunnen direkt ins Grundwasser oder indirekt über Sickeranlagen (Sickerschächte und -leitungen) erfolgen.

Bevorzugt sollen Sickerschächte (indirekte Einleitung) zum Einsatz kommen. Durch die Ausbildung des Sickerkegels erfolgt in eingeschränktem Ausmaß bereits vor Einleitung des thermisch genutzten Wassers ins Grundwasser eine Reduktion der Temperaturspreizung. Weiters ist nach einem Störfall (z.B. Leckage des Wärmeübertragers) eine Zugangsmöglichkeit vor dem Eintritt in das Grundwasser gegeben.

Das zur Versickerung gelangende Wasser ist ausschließlich thermisch verändert und in qualitativer Hinsicht ist es mit Abläufen von Dachflächen bzw. befestigten Flächen nicht vergleichbar. Daher hat die Versickerung des Rückgabewassers getrennt von der Versickerung von Niederschlagswässern zu erfolgen, da diese organisch und anthropogen verschmutzt sein können.

Der Kopf des Sickerschachtes ist tagwasserdicht auszuführen, damit keine Fremdwässer eindringen können. Be- und Entlüftungsöffnungen sind mit Insektenschutzgittern zu versehen. Für Kleinanlagen bis 3 l/s ist eine gesonderte Entlüftungseinrichtung nicht erforderlich.

Sickerschacht in Anlehnung an ÖNORM B 2506-1

Es sind die einschlägigen Normen ÖNORM B 2506-1 (2000) und ÖNORM B 2261 zu berücksichtigen. Der Innendurchmesser des Sickerschachtes muss mindestens 1 m betragen und die entsprechende Sickerleistung aufweisen. Durch geeignete Maßnahmen ist sicherzustellen, dass ein Auskolken der Schachtsohle verhindert wird. Zum Beispiel kann das erreicht werden, in dem der Wasserstrahl des Zulaufes auf eine Prallplatte gelenkt wird. Weiters ist darauf zu achten, dass der Zulauf in frostfreier Tiefe zu liegen kommt. Für die Anwendung bei Grundwasser-Wärmepumpen soll entsprechend dem Ergebnis des Kompressoröl-Versuche (siehe Beilage C) im Sohlenbereich eine mind. 20 cm starke Filterschicht aus Sand 0/4 und ein Siebgewebe eingebracht werden (alternativ auch Aktivkohlefiltermatte möglich), sofern kein sandiger Kies mit gleichwertigen adsorptiven Eigenschaften ansteht. Die Abbildung 9 zeigt einen Schnitt durch einen Sickerschacht. Falls es das Gefahrenpotenzial als notwendig erscheinen

lässt, kann als Alternative anstelle des Filterfließes auch ein Sicherheits-Zwischenkreislauf installiert werden.

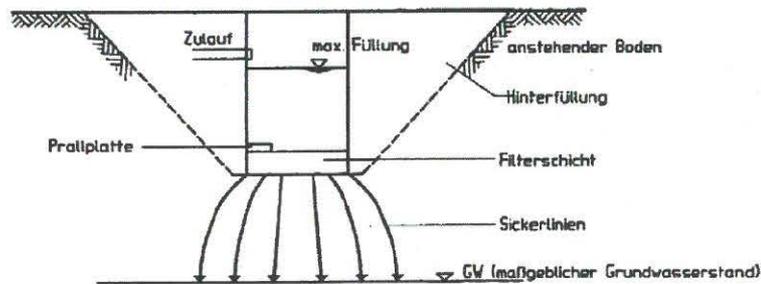


Abbildung 9: Sickerschacht, Versickerung über Schachtsohle (ÖNORM B 2506-1)

5.2. Erdreichgekoppelte Wärmequellenanlagen

5.2.1. Erdwärmekollektoren (Flachkollektoren)

Bei diesem System wird in erster Linie die im Erdreich gespeicherte Sonnenenergie genutzt. Diese wird durch versickernde Niederschlagswässer, Luft und Wärmestrahlung in die oberste Bodenzone eingebracht. Flachkollektoren (Soleanlagen, Direktverdampferanlagen) bestehen aus Kunststoffrohren bzw. kunststoffummantelten Kupferrohren, die in einer Tiefe von 1,2 bis 1,5 m horizontal verlegt werden. Diese werden mit dem Wärmeträgermedium bzw. dem Arbeitsmittel durchströmt. Die über die Erdwärmekollektoren aufgenommene Wärme wird der Wärmepumpe zugeführt.



Abbildung 10: Schema einer Erdwärmekollektor-Wärmepumpe

- **Sole-Flachkollektor**

Die Rohrleitungen bestehen bei Soleanlagen zumindest aus Material der Güte PE-100 SDR-11 (PN 16). Als Wärmeträger kommt hier ein Wasser-Frostschutzgemisch, welches als Sole bezeichnet wird, zum Einsatz.

- **Direktverdampfer-Flachkollektor**

Bei den „Direktverdampfer-Anlagen“ zirkuliert bzw. verdampft das Kältemittel in im Erdreich verlegten Kupferleitungen, welche aus Korrosionsschutzgründen mit Kunststoff ummantelt sind. Als Verdampferrohre werden Kupferrohre verwendet, die gemäß DIN 8905 - „Kältequalität“ und mit einem HDPE – Kunststoffmantel, mit einer mindest Wandstärke von 0,5 mm der VDE 0207 Teil 3 entsprechen, gefertigt sind. Weiters werden die Leitungen einer Wirbelstromprüfung und einer Hochspannungsprüfung mit 14 kV nach EN 10204 unterzogen.

5.2.2. Erdwärmesonden (Tiefsonden)

Erdwärmesonden sind in Tiefbohrungen eingebrachte Rohrbündel, die mit flüssigem bzw. gasförmigem Wärmeträgermedium gefüllt sind. Die Tiefe einer Bohrung beträgt zumeist 70 m bis 150 m. Für Erdwärmesonden mit flüssigem Wärmeträgermedium ist zumindest Material der Güte PE-100 SDR-11 (PN 16) einzusetzen. Die Einsatzgrenzen des Materials sind für alle Bau- und Betriebszustände einzuhalten.



Abbildung 11: Schema einer Erdwärmesonden-Wärmepumpe

5.3. Außenluft als Wärmequelle

Luft/Wasser-Wärmepumpen nutzen die in der Außenluft enthaltene Energie. Die Luft wird dazu durch einen Ventilator angesaugt, über den Verdampfer der Wärmepumpe geführt und abgekühlt.

Bei **Kompaktgeräten** für Innenaufstellung sind sämtliche Bauteile der Wärmepumpe in einem Gehäuse untergebracht. Für die notwendige Förderung des Luftstromes werden meist Radialventilatoren eingesetzt, diese müssen sämtliche Druckverluste der Luftführung überwinden können.

Bei **Splitgeräten** wird der Verdampfer im Freien aufgestellt. Es kommen dabei hauptsächlich geräuscharme Axialventilatoren zum Einsatz. Die Kondensatoreinheit ist mittels Kältemittelleitungen mit dem Verdampfer verbunden, dadurch werden Luftleitungen nicht notwendig.



Abbildung 12: Schema einer Luft-Wärmepumpe

6. Tiefsonden-Wärmepumpenanlage mit Direktverdampfung

Um mögliche Schmierölprobleme bei einer älteren Wärmepumpenanlage unter ungünstigsten Rahmenbedingungen herauszufinden, wurde am 2. Mai 2007 eine Anlage in Neuhofen/Oberösterreich besichtigt. Diese Anlage ist seit 1988 in Betrieb und wendet das Prinzip der Direktverdampfung in zwei 60 m - Tiefsonden an. Um die Ölrückführung zu ermöglichen, sind in den Tiefsonden im Steigrohr alle 12 m Ölsteighilfen (Abbildung 13) eingebaut.

Laut den Aussagen der Betreiber war es seit dem Beginn des Einsatzes nie notwendig, Öl in den Verdichtern nachzufüllen, noch mussten sie wegen Lagerschäden getauscht werden. Daraus ist zu schließen, dass es im Laufe der Betriebsdauer zu keinen Verlagerungen des Schmieröls in die Tiefsonden gekommen ist und die Ölrückführung auch nach 19 Jahren problemlos funktioniert.

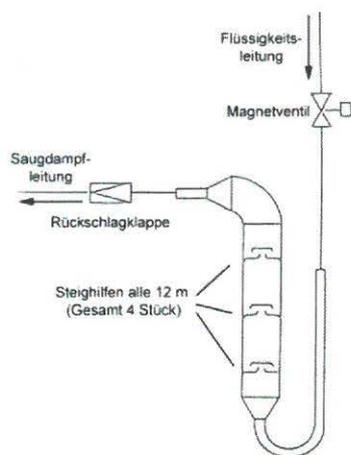


Abbildung 13: Schema der Tiefsonde und Abbildung der installierten Wärmepumpe

7. Expertenbefragungen und Interviews

Um zusätzlich Erfahrungen aus der Behördenpraxis einzuholen, wurden von arsenal research Interviews mit den Experten Brunner (2007), Gesson (2007) und Mader-Kreiner (2007) durchgeführt.

Als generelle Schwierigkeit wurde genannt, dass trotz der Meldepflicht von Störfällen bei Wärmepumpen die Behörden nur spärlich benachrichtigt werden. So würden aufgetretene Gebrechen oft erst nachträglich, beispielsweise bei der Wiederverleihung, festgestellt. Es sei daher nicht möglich, die Häufigkeit der Leckagen mit Austritt von Kältemittel bzw. Öl an die Umwelt zu beziffern.

Die Erfahrungen der Experten zeigen, dass früher vor allem bei Kupfer-Wärmeübertragern von Grundwasser-Wärmepumpen Probleme auftraten. Dieser Typ von Wärmeübertrager wurde laut

Herrn Mader-Kreiner bis vor 10 Jahren noch häufiger eingesetzt und ist daher bei alten Wärmepumpen noch vorzufinden.

Laut Herrn Mader-Kreiner konnte die Korrosion dadurch verhindert werden, indem die Verrohrung der Anlage so ausgeführt wurde, dass der Wärmeübertrager, auch wenn die Wärmepumpe nicht in Betrieb war, immer vollständig mit Wasser gefüllt war und sich somit keine Luft im System ansammeln konnte. Weiters ist ihm kein einziger Fall von Abrasion durch angesaugten Sand bekannt. Andererseits vermeidet Herr Ing. Gesson durch die Beschränkung des Absenktrichters mit max. 25 cm hohe Strömungsgeschwindigkeiten im Förderbrunnen, sodass kein Sand mitgerissen werden kann.

Außerdem berichtet Herr Mader-Kreiner über das Problem der Vereisung von Wärmeübertragern. So könne es bei reduziertem Wasserdurchfluss, verursacht durch Ablagerungen von ausgefallenem Eisen oder Mangan oder im Falle eines kaputten Minimal-Thermostats, zu einer zu großen Abkühlung und zum Gefrieren des Wassers im Wärmeübertrager kommen. Durch die damit zusammenhängende Ausdehnung des Eises kann der Wärmeübertrager aufplatzen. Er empfiehlt deshalb eine regelmäßige Kontrolle des Thermostats und den generellen Einbau eines Strömungswächters. Diese schalten die Anlage ab, sobald der Wasserdurchfluss zu gering ist.

Im Fall einer Leckage berichtet Herr Mader-Kreiner vom Austritt des gesamten Kältemittels, welches zu Gänze nachgefüllt werden musste, während er aber in keinem Fall ausgetretenes Öl im Sickerschacht nachweisen konnte. Auch war es nie notwendig gewesen, Öl im Verdichter nachzufüllen. Daraus schließt er, dass im Falle einer Leckage nur sehr geringe Ölmengen austreten. Herr Ing. Gesson beruft sich auf den Leckagen-Test von arsenal research. Er sieht in den geringen Ölmengen keine Gefahr, da diese vom Sand im Sickerschacht abgehalten werden ins Grundwasser zu gelangen, wo sie anschließend von Bakterien zersetzt werden. Auch sieht er keine Gefahr durch den vermehrten Einsatz von Wärmepumpen. Bei Tiefsonden-Wärmepumpen waren Herrn Ing. Gesson und Herrn Mader-Kreiner keine Problemfälle bekannt, während Herr Ing. Brunner über die Kontaminierung des Erdreichs bzw. Grundwassers während der Bohrarbeiten berichtet.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass die befragten Experten den technologischen Fortschritt und den Rückgang von Störfällen bei neueren Wärmepumpen anerkennen. Dabei berufen sie

sich auf bessere Sicherheitseinrichtungen (z.B. Magnetventile, Pressostate) mit kürzeren Abschaltzeiten. Wasseranalysen werden positiv gesehen, da dadurch bereits vor dem Bau der Wärmepumpe mögliche Betriebsprobleme durch hohe Gehalte an Eisen und Mangan festgestellt werden können. Herr Ing. Brunner hebt die Möglichkeit von Wasserfiltern mit automatischer Rückspülung hervor. Weiters wird der Einsatz von korrosionsbeständigeren nickelgelöteten Edelstahl-Wärmeübertragern bei den neuen Anlagen gelobt.

8. Analyse und Vermeidung von Störfällen mit Schmiermittel- und Kältemittelaustritt

Bezüglich der Störfallhäufigkeit konnten aus der FAWA Studie (Erb 2004, S.48ff) keine Aussagen für die Wasser/Wasser-Systeme und Wärmepumpen mit Direktverdampfung getroffen werden, da sich die Studie hauptsächlich auf Luft/Wasser und Sole/Wasser Systeme konzentriert hat. Für diese Systeme ergibt sich folgendes Resultat:

“Die in FAWA untersuchten Anlagen weisen bis Mitte 2003 eine akkumulierte Laufzeit von 1.3 Mio. Stunden auf. In dieser Zeit lag während 6'500 Stunden eine Störung vor. Daraus ergibt sich eine mittlere Verfügbarkeit aller Anlagen von 99.5%. Wichtig festzustellen ist auch, dass mehr als 70% der Anlagen bisher ohne Störungen betrieben wurden.” (Quelle: FAWA Studie)

Um das Störfallpotenzial der Gesamtanlage zu minimieren, wird empfohlen, dass nur Produkte eingesetzt werden, deren Hersteller sich einer freiwilligen Qualitätssicherung unterziehen, z.B. EHPA/DACH-Wärmepumpen-Gütesiegel. Weiters sollten diese Anlagen nur von Facharbeitern errichtet werden, die sich durch laufende Weiterbildung, z.B. Zertifizierter Wärmepumpeninstallateur, auf dem neuesten Stand der Technik halten.

8.1. Analyse austretender Ölleckagemengen

Um die austretende Ölmenge im Falle eines Störfalles abschätzen zu können, wurden einerseits Ergebnisse von Versuchen herangezogen und andererseits eine theoretische Analyse durchgeführt.

8.1.1. Leckagen-Versuche

Neuhäuser (2001) führte Leckageversuche am Verdampferaustritt einer 10 kW-Wasser/Wasser-Wärmepumpe durch. Dabei wurde die ausgetretene Ölmenge an einer simulierten Leckstelle gemessen, bis sich der Verdichter durch Erreichen des minimalen Drucks abschaltete.

Beim verwendeten Öl handelte es sich um den Typ EMKARATE RL 32S, gemäß den Angaben des Verdichterherstellers war der Verdichter mit 1500 g Öl gefüllt. Bei der dreimal wiederholten Simulation der Leckage traten 3,50 – 3,62 g Öl gemeinsam mit 1883 – 2058 g Kältemittel aus. Der Zeitraum bis zum automatischen Abschalten der Wärmepumpe, aufgrund des Erreichens des Abschalt-Drucks, war jeweils etwa 20 Minuten.

Entsprechend den Berechnungen gemäß 4.6.3. werden im Kältemittelkreislauf ein Kältemittel-Massenstrom von 25 bis 90 g/s und ein Öl-Massenstrom von 0,13 bis 0,45 g/s gefördert. Bei dem in Kapitel 4.5.2 zitierten Leckagen-Test traten bei den simulierten Störfällen max. 3,62 g Kompressoröl aus. Daraus errechnet sich, unter Annahme der vollständigen Lösung des Kompressoröls im Grundwasser, eine Ölkonzentration von 8 mg/l. Diese Betrachtungsform stellt ein Worst-Case-Szenario dar, da das Kompressoröl in den Bauteilen des Kältekreislaufes nicht homogen verteilt wird und bei wasserseitiger Leckage nur in sehr geringen Mengen austritt.

8.1.2. Kompressoröl-Versuche

Weiters wurden vom Amt der OÖ Landesregierung Versuche über den Rückhalt von Kompressoröl in verschiedenen Substraten durchgeführt; der Bericht liegt im Beilage C bei. Anhand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse kann abgeleitet werden, dass bei einem eventuellen Wärmepumpen-Störfall austretendes Kompressoröl durch die getesteten Filtermedien "Sand", "Unterkorn" und "Aktivkohlefiltermatte" vollständig rückgehalten wird. Beim Simulieren eines Weiterlaufens der Grundwasserpumpe wurde festgestellt, dass es beim Filtermedium "Sand" zu einer geringen Rückkontamination von 1 mg/l kam. Als Störfallnachsorge für eventuell in einen Sickerschacht austretendes, in diesen geringen Mengen nicht sichtbares Kompressoröl erscheint es deshalb ausreichend, die oberste Filterschicht (Sand, etc.) zu entfernen und fachgerecht zu entsorgen. Weiters werden Kompressoröle eingesetzt, welche der WGK 1 entsprechen und biologisch weitgehend abbaubar sind.

8.1.3. Ölverlagerung in die Wärmequellenanlage

Mit dem in Abschnitt 4.6.3 berechneten Kältemittel- und Ölmassenströmen, ergibt sich für einen Verdichter, mit einer Kälteleistung von ca. 8 kW und einer Ölfüllung von einem Liter, ein Öl-Massenstrom von 0,2 g/s. Unter der Annahme, dass das Schmieröl nicht mehr in den Verdichter zurückkommt, hat der Verdichter theoretisch nach ca. 1,5 Stunden das gesamte Öl in den Kreislauf gefördert, was in der Praxis durch die Konstruktion des Verdichters nicht möglich ist. Denn man kann davon ausgehen, dass es bereits, wenn etwa 2/3 der Ölfüllmenge aus dem Verdichter ausgeworfen sind, zu einer Mangelschmierung kommen kann. Da Wärmepumpen mit diesem Wärmequellensystem in vielen Fällen schon Jahrzehnte in Betrieb sind, wie auch die Direktverdampfer-Tiefensonden-Anlage in Neuhofen zeigt (siehe Abschnitt 9), beweist, dass nur sehr geringe Ölmengen im Umlauf sind bzw. sich im Verdampfer anlagern. Diese Erkenntnis untermauert die Erfahrungen der Branche, dass eine Wärmepumpe, die die ersten Betriebsmonaten problemlos arbeitet und es zu keinem Ausfall des Verdichters durch Mangelschmierung gekommen ist, auch den Rest ihrer geplanten Betriebszeit funktionieren wird.

8.1.4. Vollkommenes Auslaufen des Schmieröls aus dem Verdichter

Falls es bei einer Leckage im Verdampfer zu einem Wassereinbruch im Verdichter kommen sollte, ist eine Durchströmung von der Niederdruck- zur Hochdruckseite durch die internen Widerstände im Stillstand nicht möglich. Ebenso ist ein Ausspülen des Schmieröls aus dem Verdichter auf Grund seiner Konstruktion auszuschließen. Da der Eintritt des Saugdampfes etwa am Anfang des oberen Drittels des Niederdruckbereiches des Verdichters eingebaut ist, befindet sich das Öl auf Grund seiner Dichte am Boden des Verdichtergehäuses.

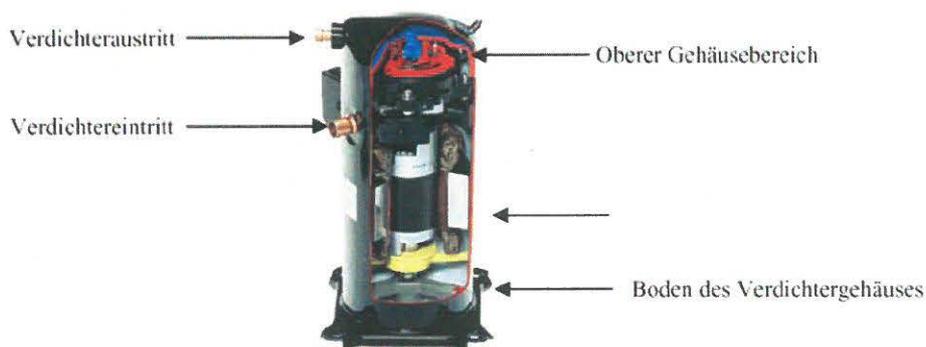


Abbildung 14: Ansicht eines Scroll Verdichters, Quelle: Copeland

8.1.5. Öl- und Kältemittelaustritt im Aufstellungsraum

Bei Leckagen des Kältemittelkreislaufes können bei einem Worst-Case-Szenario ein geringer Teil des Verdichteröls und ein Großteil der Kältemittelfüllmenge in den Aufstellungsraum austreten. Ein Bruch des Verdichtergehäuses im Bodenbereich kann mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Daher ist die Aufstellung der Wärmepumpe in einer Ölauffangwanne bzw. -tasse nicht erforderlich. Nach einem Störfall können möglicherweise das Lüften des Aufstellungsraumes, das Binden des Schmieröls und das Absaugen des im Kreislauf verbliebenen Kältemittels notwendig sein.

8.2. Vermeidung von Störfällen bei Grundwasser-Wärmepumpen

8.2.1. Sandfrei fördernde Entnahmebrunnen

Zur Vermeidung von Abrasion in Wärmeübertragern sind Entnahmebrunnen so zu bemessen und auszubauen, dass abgestimmt auf die Abrasionsbeständigkeit des Wärmeübertragers die technische Sandfreiheit des geförderten Wassers nach ÖNORM B 2601 (2004) gegeben ist. Die Anforderungen an die technische Sandfreiheit sind unter Berücksichtigung der Nutzung des Brunnens vom Planer der Wärmepumpenanlage bzw. vom Hersteller des Wärmeübertragers festzulegen. Als Mindestanforderung an die technische Sandfreiheit nach ÖNORM B 2601 gilt bei kontinuierlicher Förderung im Regelfall 1 g Restsandgehalt je m³ gefördertem Wasser.

8.2.2. Planung der Anlage nach der Grundwasserqualität

Grundsätzlich muss die Materialauswahl aller Anlagenteile nach den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Grundwassers am Aufstellungsort mit dem Wärmepumpenhersteller abgeklärt werden. Wärmeübertrager werden hauptsächlich aus Edelstahl der Stahlgruppen V2A oder V4A hergestellt (EN 10088-1, 2005), wobei bei Chloridwerten des Mediums von über 200 mg/l der Einsatz von V4A – Stählen empfohlen wird (Stahl 2007, S.7).

8.2.3. Wasserfilter

In der Rohrleitung des Förderbrunnens ist vor dem Verdampfer ein Filter mit einer Filterfeinheit gemäß den Empfehlungen des Wärmeübertrager-Herstellers einzubauen. Üblicherweise kommen Filter mit einer Feinheit 400 µm zum Einsatz. Vorzugsweise ist ein Filter mit einer Möglichkeit mit einer einfachen Rückspülung einzusetzen.

8.2.4. Vermeiden von Frostschäden im Wärmeübertrager

Wenn sich Eis im Wärmeübertrager bildet, kann der Kristallisationsdruck so stark anwachsen, dass das Wärmeübertragermaterial mechanisch überlastet wird. Als besonders empfindlich haben sich dabei die nickelgelöteten Edelstahl-Wärmeübertrager erwiesen. Mechanisch stabiler sind kupfergelötete Edelstahl-Wärmeübertrager, Edelstahl - Plattenwärmeübertrager in AlfaFusion™ Technologie oder ein Spiralwärmeübertrager.

Frostschäden im Wärmeübertrager können durch folgende Fehler auftreten:

- Ausfallen oder zu spätes Reagieren der Sicherheitseinrichtung bei Unterschreitung des Mindestvolumenstroms (Min. Thermostat, Durchflusswächter).
- Kein Hochpunkt in der Rückgabelleitung der Wärmequellenanlage, siehe 8.2.5. Luft sammelt sich im Stillstand der Anlage oft im Verdampfer an, dies kann beim Wiederanlauf zu einer partiellen Eisbildung und dadurch zur Zerstörung des Wärmeübertragers führen.

8.2.5. Vermeidung von Korrosionsschäden im Verdampfer

Wie bereits im Kapitel 4.2.2 beschrieben, kann es bei Grundwasser-Wärmepumpen durch Korrosion zu Leckstellen am Verdampfer (Wärmeübertrager) kommen. Ursache sind Reduktionserscheinungen bei nur teilweise gefüllten Leitungen und Wärmeübertragern durch den Anlagenstillstand in den Sommermonaten. Auf dieses Schadenspotenzial kann entweder durch eine entsprechende Auswahl der Verdampfer, siehe Kapitel 4.2.2, oder/und durch eine Rohrleitungsführung, bei der im Anlagenstillstand der Verdampfer immer vollständig mit Wasser gefüllt bleibt, Rücksicht genommen werden. Dazu muss immer eine Brunnenpumpe mit Rückschlagventil eingesetzt und die Rohrleitungen so angeordnet werden, dass nach dem

Verdampfer ein Hochpunkt in der Rückgabelleitung entsteht. Im Hochpunkt ist ein Be- und Entlüftungsventil einzubauen, um Kavitationserscheinungen zu verhindern, siehe Abbildung 15.

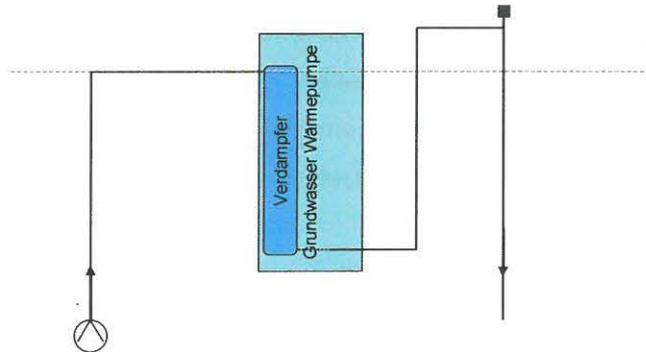


Abbildung 15: Ausführung des Hochpunkts bei einer Grundwasser-Wärmepumpe

8.3. Vermeidung von Störfällen bei Wärmepumpen mit Direktverdampfung

8.3.1. Pump-Down-Betrieb vor Grabungsarbeiten

Vor Grabungsarbeiten kann der Pump-Down-Betriebsmodus aktiviert werden, damit der Verdampfer, sollte er unbeabsichtigt beschädigt werden, nur mehr unter einem geringen Überdruck steht, wodurch nur sehr geringe Mengen an Kältemittel und Schmieröl austreten können (Ingerle 1995, S.77). Dieser geringe Überdruck ist unbedingt notwendig, da sonst im Falle einer Beschädigung Erdreich, Schmutz und Feuchtigkeit in den Verdampfer eingesaugt werden und eine Reparatur der Verdampferleitung damit sehr aufwendig, teuer und unter Umständen sogar unmöglich wird. Es empfiehlt sich daher vor den geplanten Grabungsarbeiten im Kollektorbereich einen Fachmann für den Pump-Down-Betrieb beizuziehen und erst dann mit den Grabungsarbeiten zu beginnen. Laut Herstellerangaben entspricht der Pump-Down-Betrieb dem Stand der Technik von Direktverdampferwärmepumpen und ist bei den am Markt erhältlichen Produkten im Gerät integriert. Im Falle einer Nachrüstung (Sammler, Magnetventil) ist mit Materialkosten von ca. 400 EUR zu rechnen.

Jedoch hat die langjährige Erfahrung gezeigt, dass bei der Errichtung und Betreuung von mehr als 1000 Wärmepumpenanlagen der Einsatz der Pump-Down-Einrichtung nicht notwendig war (M-Tec 2007).

8.3.2. Vermeiden von Beschädigungen durch Grabungsarbeiten

Bei den Erdwärmekollektoren (Flachkollektoren) kann es bei Grabungsarbeiten zur Beschädigung bzw. Durchtrennen der Rohrleitungen kommen. Handelt es sich dabei um ein Direktverdampfer-System, so tritt ein Kältemittel-Öl-Gemisch aus der beschädigten Verdampferleitung aus. Wenn dabei die Wärmepumpe in Betrieb ist, stellt der Niederdruck-Pressosat, durch den massiven Kältemittelverlust im Kältemittelkreislauf, nach kurzer Zeit die gesamte Wärmepumpenanlage ab.

Im Falle einer derartigen Beschädigung von Direktverdampfer-Erdkollektoren, wird von einer Wärmepumpe mit 12 kW Heizleistung ein lokaler Ölaustritt von etwa 6 g verursacht (Beilage C). Das Öl kontaminiert dabei nur in einem sehr begrenzten Bereich das Erdreich und kann somit leicht abgegraben und fachgerecht entsorgt werden.

Maßnahmen zur Vermeidung:

- Errichtung mit Warnband
- Detaillageplan des Kollektors mit Sperrmaßen
- Fotodokumentation der Anlagenerrichtung
- Pump-Down-Betrieb

8.4. Minimierung der Auswirkungen von Störfällen

8.4.1. Auswahl des Kältemittelöls

Um Grundsätzlich das Gefahrenpotenzial der Grundwasserverschmutzung zu reduzieren dürfen nur Kompressoröle entsprechend der Empfehlungen der Verdichterhersteller eingesetzt werden, welche der WGK 1 entsprechen und biologisch weitgehend abbaubar sind.

8.4.2. Bevorzugter Einbau von Sickerschächten

Bevorzugt sollten Sickerschächte (indirekte Einleitung) zum Einsatz kommen, da im Störfall im Rückgabewasser enthaltenes Kältemittel zu einem Großteil direkt in die Atmosphäre ausgasen und das Verdichteröl im obersten Bereich des Sickerschachtes durch Sand oder gleichwertigen Filtermaterial zurückgehalten werden kann. Als Störfallnachsorge erscheint es für den Fall, dass

in geringen Mengen nicht sichtbares Kompressoröl in den Sickerschacht ausgetreten ist, als ausreichend die oberste Filterschicht (Sand, etc.) zu entfernen und fachgerecht zu entsorgen. Vor Einsteigen in den Sickerschacht sollte dieser aus Sicherheitsgründen belüftet bzw. zwangsbelüftet werden.

8.4.3. Kältemittelrückhalt im Sickerschacht durch Aktivkohlefiltermatten

Als eine weitere Möglichkeit der Störfallvorsorge wurde die Variante mit Aktivkohlefilter-Matten im Sickerschacht untersucht. Dabei wurde geprüft, ob diese Technik in Sickerschächten von Grundwasser-Wärmepumpen geeignet ist, im Störfall Kältemittel und Schmieröl zurückzuhalten.

In einem Interview (Öko-Tex 2007) wurde über eine langjährige Erfahrung über die Verwendungsmöglichkeiten der Filtermatten in Sickerschächten von Straßenentwässerungen berichtet. Beim Einsatz in Sickerschächten von Wärmepumpenanlagen zum Kältemittelrückhalt gibt es jedoch noch keine Erfahrungen.

- **Art des Materials**

Unter Aktivkohlefilter-Matten versteht man feines Aktivkohle-Granulat, das zwischen zwei wasserdurchlässigen Matten eingenäht wird. Seitens der Silcarbon Aktivkohle GmbH wird für diesen Anwendungsfall der Einsatz von ungewaschener Standard-Steinkohle in Granulat-Form empfohlen. Durch die Kompaktheit dieser Technologie ist die Aktivkohle gut handhabbar und in Sickerschächte leicht einsetzbar, wie in Abbildung 16 dargestellt.

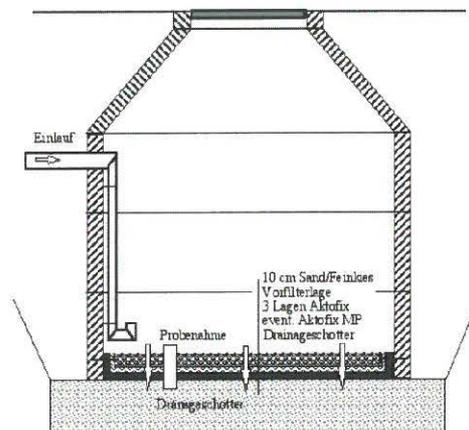


Abbildung 16: Regenwassersickerschacht mit Aktivkohlefilter-Matte (Quelle: oeko-tex.at)

- **Adsorptionsverhalten der Aktivkohle**

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass das Kältemittel im Wasser gelöst sein muss, damit dieses von der Aktivkohle adsorbiert werden kann. Von Kältemitteln ist generell bekannt, dass diese aufgrund ihrer Molekülgröße von Aktivkohle gut adsorbiert werden. Aktivkohlefiltermatten können ca. 20 % ihres Eigengewichtes an HFKW Kältemittel aufnehmen. Gemäß Datenblatt der Firma Öko-Tex enthält das Produkt Aktifix 2550 g Aktivkohle pro m² Filterflies. Bei einem Schachtdurchmesser von 1 m entspricht dies bei vollständiger Beladung der Aktivkohle einem Aufnahmevermögen von 0,4 kg Kältemittel.

Dadurch werden für eine vollständige Adsorption des Kältemittels bei einer angenommenen Benetzung der Sickerschachtfäche von ca. 50 % und bei Annahme einer Sättigung des Kältemittels im Wasser von 50 % etwa fünf Lagen Aktivkohlefiltermatten benötigt. Bei dieser Betrachtung ist jedoch eine eventuell vorhandene Beladung der Aktivkohle durch die Inhaltsstoffe des Wassers sowie der zeitgerechte Austausch der Filtermatten vor Erreichen der vollständigen Beladung noch nicht berücksichtigt.

- **Lebensdauer der Aktivkohlematten**

Generell werden alle Wasserinhaltsstoffe in Abhängigkeit von der Molekülgröße von der Aktivkohle adsorbiert. Insbesondere ist davon auszugehen, dass es bei reduzierten Grundwässern zum Ausfallen von Eisen- oder Mangan-Verbindungen („Verockerung“) kommt

und daher die Aktivkohlefiltermatten im Regelbetrieb über eine begrenzte Standzeit verfügen. Daher hängt die Standzeit der Aktivkohle-Filtermatte in Sickerschächten stark von der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers ab.

Um für den Störfall eine ausreichende Beladungskapazität der Aktivkohle vorzuhalten, wäre der Beladungszustand der Aktivkohle periodisch zu untersuchen und zeitgerecht auszutauschen. Auf jeden Fall sind nach einem Störfall der Wärmepumpe mit Öl- und Kältemittelaustritt die Aktivkohlefilter-Matten auszutauschen und ordnungsgemäß zu entsorgen.

- **Kosten**

Nach Einschätzung der Firma Öko-TEX belaufen sich die Kosten pro Lage Aktivkohlefilter-Matte für einen Sickerschacht mit 1 m Durchmesser und einem Hochzug von 30 cm auf ca. 50 EUR. Dazu kommen noch die Kosten für das Vorfilterfließ von 20 EUR, einen Sprengling und die Arbeitszeit. Dadurch entstehen Materialkosten beim Einbau von fünf Lagen von ca. 270 EUR. Weiters fallen noch Kosten für den Einbau, die periodische Kontrolle des Beladungszustandes sowie die Entsorgung der Aktivkohlefilter-Matten an.

- **Stand der Technik**

Bisher wurden über das Standzeitverhalten bei Beaufschlagung mit unterschiedlichen Grundwässern ohne Störfall und den Kältemittelrückhalt von Aktivkohlefilter-Matten in Sickerschächten von Grundwasser-Wärmepumpenanlagen keine Versuche dokumentiert. Bei Einhaltung des Standes der Störfallvermeidungstechnik erscheint die Wahrscheinlichkeit des Austritts von Kältemittel in den Sickerschacht als sehr gering. Der Einbau und die laufende Kontrolle des Beladungszustandes der Aktivkohlefiltermatten erscheinen nicht praktikabel und wirtschaftlich nicht vertretbar. Die im ÖWAV-Regelblatt 207 angeführte Störfallvorsorge (Stand der Technik der Wärmepumpenanlagen, Grundsatz der seichten Rückgabe über Sickerschacht) und die angeführte Störfallnachsorge (Öffnung der Abdeckung des Sickerschachts, damit gasförmiges Kältemittel ausgasen kann) erscheinen aufgrund der geringen Störfallwahrscheinlichkeit und des geringen Störfallpotenzials als ausreichend.

9. Literatur

Alfa Laval 2007. Technische Beschreibung der AlfaFusion™ Technologie, Alfa Laval Mid Europe GmbH Industrie Zentrum-NÖ-Süd Strasse 2/M7/1, AT-2355 Wiener Neudorf; technischer Innendienst (Alfa Nova)

B 2601 2004. ÖNORM B 2601, Wassererschließung - Brunnen - Planung, Bau und Betrieb. Ausgabe 1.2.2004

B 2506 2000. ÖNORM B 2506 Teil1, Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen, Anwendung hydraulische Bemessung, Bau und Betrieb. Ausgabe 1.6.2000

Bangheri 2007. Geschäftsführer von Fa. Heliotherm und Obmann der Leistungsgemeinschaft Wärmepumpe Austria, telefonisches Interview am 10.5.2007

Bitzer 2003. Kältemittel Report, 12 Auflage, Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH, Sindelfingen, 2003

Bock 2007. Kältemittel-Fibel V, Bock GmbH & Co. Kältemaschinenfabrik, Frickenhausen

Breidert 2003. Projektierung von Kälteanlagen – Berechnungen, Auslegungen, Beispiele. 2. Auflage, C.F. Müller Verlag, Heidelberg, ISBN 3-7880-7688-7, 2003

Brunner 2007. Amt der OÖ. Landesregierung, Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, telefonisches Interview am 19.06.2007

Cube 1997. Cube, von H.L.; Steimle, F.; et al., 1997. Lehrbuch der Kältetechnik, 4. Auflage. Heidelberg: C.F. Müller Verlag, Heidelberg ISBN 3-7880-7509-0

EN 378-1 2003. ÖNORM EN 378-1, Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen. Ausgabe 1.11.2003

EN 378-2 2003. ÖNORM EN 378-2, Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen. Ausgabe 1.11.2003

EN 10088-1 2005. DIN EN 10088-1:2005, Nichtrostende Stähle - Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle. Ausgabe 1.9.2005

EN 12828 2003. ÖNORM EN 12828, Heizungsanlagen in Gebäuden – Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen. Ausgabe 1.9.2003

Erb 2004. Erb M., et al. Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen FAWA 1996 – 2003, Schlussbericht, Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2004

Faninger 2007. Erneuerbare Energie in Österreich – Marktentwicklung 2006, BMVIT, www.nachhaltigwirtschaften.at, letzter Zugriff: 10.08.2007

FWS 2007. Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen, Fördergemeinschaft Wärmepumpe Schweiz (FWS), http://www.fws.ch/fws_062.html, letzter Zugriff: 10.08.2007

Gesson 2007. Land Vorarlberg, Siedlungswasserbau und Gewässeraufsicht, telefonisches Interview am 20.06.2007

Huber 2006. Wärmepumpenanlagen – Skripten zum Meisterkurs der Zentralheizungs- und Lüftungsbauer. arsenal research, Nachhaltige Energiesysteme, Wien.

Ingerle 1995. Ingerle, K, et al. Ausbreitung von Wärmepumpen-Kältemitteln im Erdreich und Grundwasser, Innsbruck

Jannick 1996. "Untersuchung der Löslichkeit von Kältemitteln in Wasser", Diplomarbeit FH Hannover, Fachbereich Maschinenbau, 12/1996

Kämmer 2002. Kämmer, N. et al.; Parallelanwendungen von Scroll-Verdichtern. Die Kälte und Klimatechnik, 4/2002, Gentner Verlag

M 7425 2001. ÖNORM M 7425, Temperaturregel- und Temperaturbegrenzungseinrichtungen für Wärmeerzeugungsanlagen. Ausgabe 1.8.2001

M 7755-2 2000. ÖNORM M 7755-2, Elektrisch angetriebene Wärmepumpen - Besondere Anforderungen an Wärmepumpenanlagen bei Nutzung von Grundwasser, Oberflächenwasser oder Erdreich. Ausgabe 1.9.2000

Mader-Kreiner 2007. Amt der OÖ. Landesregierung, Wasserwirtschaft, telefonisches Interview am 21.06.2007

M-Tec 2007. Expertengespräch, telefonisches Interview am 10.5.2007

Neuhäuser 2001. Neuhäuser, M. Leckagen Test an einer Wasser/Wasser Wärmepumpe. arsenal research im Auftrag der Leistungsgemeinschaft Wärmepumpe, Wien, 2001

Öko-Tex 2007. DI Thomas Eichenauer, Geschäftsführer der Firma Öko-Tex. Interview am 16.04.2007

Schittenhelm 1999. Kälteanlagentechnik Elektro- und Steuerungstechnik, C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 1999, ISBN 3-7880-7642-9

Stahl 2007. Edelstahl Rostfrei für die Wasserwirtschaft, Merkblatt 893, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 2007

UNIQEMA 2006. EG-Sicherheitsdatenblatt EMKARATE RL 32-3MAF, POE Schmiermittel für Copelandsrollverdichter, Uniqema GmbH & Co.KG. Emmerich 2006



WEBASTO 2000. Schulungs-Handbuch Kälte-Klima, Online verfügbar unter http://www.extremecooling.net/index/e107_files/public/1172150057_126_FT13600_schulungshandbuch_klima_d_9003161a_3002kb.pdf, letzter Zugriff: 10.09.2007

10. Anhänge

Beilage A ... Tabelle Löslichkeit der Kältemittel in Wasser

Beilage B ... Öfüllmengen im Verdichter

Beilage C ... Kompressoröl-Versuche vom Amt der OÖ Landesregierung

Beilage A

In dieser Tabelle sind die Löslichkeiten von Wasser in unterschiedlichen Kältemitteln diverser Hersteller zusammengestellt. Die Daten wurden soweit verfügbar den Sicherheitsdatenblättern entnommen.

Wasserlöslichkeit von Kältemittel in Wasser									
	Gemisch aus	DuPont	Klea	TYCKA Industrie-Gase GmbH	Solkane	Linde	Air Liquide	GHC	INES Fluor
R 22		2,93 g/l bei 25 °C bei 1 013 hPa 4,22 g/l bei 12 °C bei 1 013 hPa		3628 mg/l, o. Angabe v. p u. T	4,2 g/l	3,6 g/l	3,6 g/l	3 g/l bei 20 °C	gering löslich
R32							Keine zuverlässigen Daten verfügbar.		
R125		0,9 g/l bei 25 °C bei 1 013 hPa						0,9 g/l (bei 25 °C)	
R134a		1,5 g/l bei 25 °C bei 1 013 hPa	gering löslich	1930 mg/l, o. Angabe v. p u. T	1,5 g/l		1,5 g/l, 20°C, 1 bar	1,5 g/l bei 20 °C	gering löslich
R143a							Keine zuverlässigen Daten verfügbar		
R404A	52% R143a, 44% R125, 4% R134a	k.A.	unlöslich	n. bekannt	n. bekannt			sehr gering (bei 20 °C)	unlöslich
R407C	52% R134a, 25% R125, 32% R32	k.A.	unlöslich	n. bekannt				n. bekannt	unlöslich
R410A	50% R125, 50% R32	k.A.	unlöslich	n. bekannt				0,45 g/l bei 25 °C	unlöslich
R417A	50% R134a, 47% R125, 3% R600a	1,2 g/l bei 25 °C		k. A.				1,2 g/l (bei 20 °C)	

Beilage B

Im Folgenden sind die Verdichter inkl. der Öfüllmengen, die bei der Bewertung der Ölwurfrate verwendet wurden, zusammengestellt.

Hubkolbenverdichter

H75 B22Q ABH
Kälteleistung 5722W
Öfüllung 1l

H75AA 62Q DBE
Kälteleistung 15192W
Öfüllung 1,8l

Scrollverdichter

H20C 233 ABK
Kälteleistung 5,48kW
Öfüllung 1l

H20R 633 DBE
Kälteleistung 15kW
Öfüllung 1,6l

AE33Y
Kälteleistung 5,7kW
Öfüllung 0,9l

BE82Y
Kälteleistung 15,0kW
Öfüllung 1,2l

AN30Y
Kälteleistung 6,7kW
Öfüllung 0,9l

BN52Y
Kälteleistung 13,9kW
Öfüllung 1,2l

BN65Y
Kälteleistung 17,6kW
Öfüllung 1,2l

Amt der Oö. Landesregierung
Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft
Abteilung Grund- und Trinkwasserwirtschaft
4021 Linz • Kämtnerstraße 10-12

Bearbeiter: TAR Ing. Markus Brandlmayr
Tel: (+43 732) 77 20-14589
Fax: (+43 732) 77 20-212662
E-Mail: gtw.post@ooe.gv.at

<http://www.land-oberoesterreich.gv.at/>

Simulation eines Wärmepumpen-Störfalles mit Austritt von Kompressoröl

1) Fragestellung

In einem Laborversuch war zu untersuchen, in wie weit bei einem Wärmepumpen-Störfall austretendes Kompressoröl durch verschiedene Filtermedien bei der Wiederversickerung rückgehalten werden kann.

Für den Versuch wurde das Kompressoröl EMKARATE RL 32-3MAF der Firma UNIQEMA eingesetzt, welches lt. EG-Sicherheitsdatenblatt als synthetisches Schmiermittel charakterisiert ist.

2) Versuchsanordnung und Durchführung

2.1) Simulation eines Wärmepumpen-Störfalles mit Austritt von Kompressoröl

1 Gramm Kompressoröl wurde in 5.000 ml vorgekühltem Linzer Leitungswasser eingewogen. Es wurde daher eine bei einem ev. auftretenden Störfall realistische Ölkonzentration von 0,2 g/l hergestellt. Die Wassertemperatur lag bei Versuchsbeginn bei 7,0 °C. Die Verteilung des Kompressoröles im Messkolben erfolgte durch Schütteln. Für jede Anordnung bzw. zu testendes Filtermaterial wurde eine neue Lösung (5.000 ml) hergestellt.

In eine Glasfilternutsche wurden der Reihe nach die zu testenden Filtermaterialien eingebracht und mit 300 ml gekühltem Linzer Leitungswasser vorgespült. Die mineralischen Filter wurden in einer Schichthöhe von 8 cm eingebracht, die restlichen Filter (Vorfilterfließ, Aktivkohlefließ) wurden einlagig eingesetzt. Anschließend wurden die Filtermaterialien mit 5 Litern der "kontaminierten" Lösung beschickt. Die filtrierte Proben wurden anschließend hinsichtlich deren "Restkonzentration" untersucht. Zwischen den einzelnen Versuchsanordnungen wurden die Glasfilternutschen jeweils gereinigt.

Folgende Filtermedien wurden getestet:

- **Sand** Körnung 0 – 4 mm, gewaschen, Herkunft Fa. Treul – Steyregg
- **Unterkorn** 4 mm, ungewaschen, Herkunft Fa. Cemex – Kies der Steyr-Hochterasse in Sierning
- **einkörniger Quarzsand** ca. 2 – 3 mm, Herkunft Korsika
- **Vorfilterfließ 350 g/m²**, Dicke ca. 10 mm, zur Verfügung gestellt von Magistrat Linz, DI Dirnhirn
- **Aktivkohlefließ**, zur Verfügung gestellt von Magistrat Linz, DI Dirnhirn

Bei der Durchführung des Versuches wurden bei den Filtermedien Sand und Unterkorn nur sehr geringe Durchflussgeschwindigkeiten erreicht. Beim Filtermedium Sand wurde eine Durchflussgeschwindigkeit von 5 Litern in 30 min und beim Filtermedium Unterkorn eine Durchflussgeschwindigkeit von 5 Litern in 60 min festgestellt.

Beim Aktivkohlefließ mussten zwei Anordnungen durchgeführt werden, da bei der ersten Anordnung (Filter in Nutsche gelegt) festgestellt wurde, dass der Filter umspült wird. Für die zweite Anordnung (Filter trichterförmig in Nutsche eingebracht) war nur mehr 0,54 g Kompressoröl vorrätig. Daher war es notwendig, nur mit 2,5 l Linzer Leitungswasser zu verdünnen, damit annähernd die gleiche Ausgangskonzentration hergestellt wurde. Auch bei dieser Anordnung (Aktivkohlefilter trichterförmig in Nutsche) wurde eine sehr geringe Durchflussgeschwindigkeit festgestellt (2,5 Liter in 15 min).

Bei den Filtermedien "einkörniger Quarzsand" und "Aktivkohlefließ UMSPÜLT" waren in den Proben eindeutig Ölschlieren feststellbar.

Ein Schema der 1. Versuchsanordnung sowie Notizen dazu sind in den Anhängen 1 und 2 dargestellt.

2.2) Simulation eines Wärmepumpen-Störfalles und Weiterlaufen der Grundwasserförderpumpe

Die aus dem ersten Versuch mit Kompressoröl beladenen Filtermedien wurden in der zweiten Versuchsanordnung mit jeweils 25 Litern Linzer Leitungswasser weiter gespült. Die letzten 2,5 Liter wurden in Probengebinde abgefüllt und der Analytik zugeführt.

Bei den Filtermedien Sand, Unterkorn und Aktivkohlefließ (trichterförmig in der Nutsche) wurden wieder sehr geringe Durchflussgeschwindigkeiten festgestellt. Beim Filtermedium Aktivkohle (trichterförmig in Nutsche) wurde eine Durchflussgeschwindigkeit von 25 Litern in 90 min gemessen, nachdem bei den Filtermedien Sand und Unterkorn noch geringere Durchflussgeschwindigkeiten festgestellt wurden, wurde abweichend von den restlichen Anordnungen lediglich mit der halben Menge an Leitungswasser gespült (12,5 Liter). Beim Filtermedium Sand wurde eine Durchflussgeschwindigkeit von 10 Liter in 90 min und beim Filtermedium Unterkorn eine Durchflussgeschwindigkeit von 10 Liter in 115 min gemessen.

Optisch waren nach dieser Versuchsanordnung nach dem Filtermedien "einkörniger Quarzsand" und "Vorfilterfließ" Ölschlieren feststellbar.

Ein Schema der 2. Versuchsanordnung sowie Notizen dazu sind in den Anhängen 1 und 2 dargestellt.

3) Analysenergebnisse

Da es sich beim untersuchten Öl um ein synthetisches Esteröl handelte, konnte die Analyse nicht über den Parameter "gesamt-Kohlenwasserstoffe" bzw. "Kohlenwasserstoffindex" erfolgen. Die Erfassung der Ölkonzentration erfolgte daher über die gravimetrische Methode "lipophile schwerflüchtige Stoffe".

3.1) Ergebnisse aus der ersten Versuchsanordnung (Simulation eines Wärmepumpen-Störfalles mit Austritt von Kompressoröl)

Die Analysenergebnisse sind in den Schemen der 1. Versuchsanordnung in den Anhängen 1 und 2 dargestellt und zeigen, dass die Filtermedien "Sand", "Unterkorn" und "Aktivkohlefließ (trichterförmig in Nutsche)" Kompressoröl praktisch zu 100% rückhalten.

Auch beim Vorfilterfließ konnte mit einer Restkonzentration von 3 mg/l eine 98,5 %-iger Rückhalt festgestellt werden. Beim umspülten Aktivkohlefließ wurde mit einer Restkonzentration von 12 mg/l

noch ein Rückhalt von 94 % festgestellt, mit einkörnigem Quarzsand wurde der schlechteste Rückhalt von 80 % mit einer Restkonzentration von 41 mg/l festgestellt.

3.2) Ergebnisse aus der zweiten Versuchsanordnung (Simulation eines Wärmepumpen-Störfalles und Weiterlaufen der Grundwasserförderpumpe)

Die Analysenergebnisse sind in den Schemen der 2. Versuchsanordnung in den Anhängen 1 und 2 dargestellt.

Es wurde festgestellt, dass es bei den Filtermedien "Aktivkohlefließ (umspült)", "Aktivkohlefließ (trichterförmig in Nutsche)" und "Unterkorn" zu KEINER Rückkontamination bei der Simulation eines Weiterlaufens der Grundwasserförderpumpe kam. Bei den Filtermedien "Sand", "einkörniger Quarzsand" und "Vorfilterfließ" kam es zu geringen Rückkontaminationen von 1 mg/l (Sand und Vorfilterfließ) bzw. 4 mg/l (einkörniger Quarzsand).

4) Zusammenfassung

Anhand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse kann abgeleitet werden, dass bei einem eventuellen Wärmepumpen-Störfall austretendes Kompressoröl durch die getesteten Filtermedien "Sand", "Unterkorn" und "Aktivkohlefließ" vollständig rück gehalten wird. Beim Aktivkohlefließ ist jedoch sicher zu stellen, dass es nicht umspült wird.

Beim Simulieren eines Weiterlaufens der Grundwasserpumpe wurde festgestellt, dass es beim Filtermedium "Sand" zu einer geringen Rückkontamination von 1 mg/l kam.

Eine Fotodokumentation der Versuchsanordnungen befindet sich im Anhang 3.

Es wird darauf hingewiesen, dass sich die Ergebnisse und daraus resultierenden Feststellungen lediglich auf den Labormaßstab beziehen und in der Praxis durchaus Abweichungen davon möglich sind.



Ing. Markus Brandlmayr

EG-SICHERHEITSDATENBLATT

1. Stoff/Zubereitungs- und Firmenbezeichnung

PRODUKTNAME: EMKARATE RL 32-3MAF

Anschrift/Telefon: UNIQEMA
Postfach 100963
D-46429 Emmerich
Deutschland
Tel. : +49 (0) 2822 72 212
Telefax : +49 (0) 2822 72 289

Notruftelefon : +32 3575 5555

2. Zusammensetzung/Angaben zu Bestandteilen

CHEMISCHE CHARAKTERISIERUNG

Synthetische Schmiermittel

Gefährliche Inhaltsstoffe	CAS No.	Symbol	R-Sätze
Enthält keine gefährlichen Inhaltsstoffe (93/112/EWG)			

3. Mögliche Gefahren

Die Angaben zu den Gefahren basieren auf den Eigenschaften der Komponenten dieses Produktes.
Wiederholter und/oder längerer Hautkontakt kann leichte Hautreizung hervorrufen.

4. Erste-Hilfe-Maßnahmen

Einatmen: Patient an die frische Luft bringen, warm halten, ausruhen lassen.
Beim Auftreten gesundheitlicher Beschwerden ärztlichen Rat einholen.

Hautkontakt: Beschmutzte, getränkte Kleidung ausziehen.
Haut mit Wasser abwaschen.
Wenn Symptome auftreten, Arzt aufsuchen.

Augenkontakt: Mindestens 10 Minuten bei gespreizten Lidern mit sauberem Wasser oder Augenwaschlösung ausspülen.
Augenärztlichen Rat einholen.

PRODUKTNAME: EMKARATE RL 32-3MAF

Verschlucken: Kein Erbrechen hervorrufen.
Mund mit Wasser ausspülen lassen und Glas Wasser zu trinken geben.
Ärztlichen Rat einholen.

Besondere Hinweise für den Arzt

Symptomatische Behandlung und stützende Therapie wie angezeigt.

5. Maßnahmen zur Brandbekämpfung

Geringe Brandgefahr. Produkt entzündet sich nur bei sehr großer Wärmezufuhr.
Bei thermischer Zersetzung werden reizende Dämpfe freigesetzt.

Löschmittel:	Auf die Umgebung abstimmen. Wasser nur mit Vorsicht einsetzen, um eine eventuelle heftige Dampfentwicklung zu vermeiden.
Schutzmaßnahmen bei der Brandbekämpfung:	Umluftunabhängiges Atemschutzgerät und geeignete Schutzkleidung tragen.

6. Maßnahmen bei unbeabsichtigter Freisetzung

Nicht in die Kanalisation oder Gewässer gelangen lassen.
In Sand, Erde oder einem ähnlich absorbierenden Material aufnehmen.
Für die ordnungsgemäße Entsorgung in Behälter füllen.
Verunreinigte Stelle mit Wasser säubern.

Bei Eindringen in Gewässer oder Kanalisation Polizei oder zuständige Behörden informieren.

7. Handhabung und Lagerung

7.1 Handhabung

Längeren Hautkontakt vermeiden.
Einatmen hoher Nebelkonzentrationen vermeiden.
Einatmen hoher Dampfkonzentrationen vermeiden.

7.2 Lagerung

Geeignetes Material für Gebinde: Flußstahl.
Unbenutzte Behälter fest verschliessen, um das Eindringen von Feuchtigkeit zu verhindern.
Von starken Oxidationsmitteln fernhalten.

Lagertemperatur: Umgebend
max. Lagerdauer: 2 Jahr(e)

PRODUKTNAME: EMKARATE RL 32-3MAF

8. Expositionsbegrenzung und persönliche Schutzausrüstungen

Um die Anforderungen an die gute Arbeitshygiene zu erfüllen, sind Schutzhandschuhe und eine Schutzbrille zu tragen.

Bezeichnung	CAS	Grenzwert ppm	Grenzwert mg/m ³	Bemerkun- gen
Enthält keinen Inhaltsstoff, für den ein Grenzwert nach TRGS 900 festgelegt ist.				

9. Physikalische und chemische Eigenschaften

Form:	flüssig
Farbe:	blaß strohfarben
Geruch:	schwach
Geruchsschwelle (ppm):	Keine Daten
pH-Wert:	Keine Daten
Siedepunkt (Grad C):	Keine Daten
Schmelzpunkt (Grad C):	Keine Daten
Flammpunkt (Grad C):	256 (open cup)
Explosionsgrenzen in Luft:	Keine Daten
Zündtemperatur (Grad C):	Keine Daten
Explosionseigenschaften:	Nicht anwendbar.
Oxidationseigenschaften:	Keine Daten
Dampfdruck (Pascals):	Keine Daten
Dichte (g/ml):	0.9872 Bei 20 °C
Löslichkeit in Wasser:	<1%
Weitere Lösungsmittel:	Keine Daten
Verteilungskoeffizient:	Keine Daten
Pourpoint (Grad C):	-56
Spezifisches Gewicht/Dichte:	0.9877 (20/20 °C)
Kinematische Viskosität:	31.55 cSt Bei 40 °C 5.85 cSt Bei 100 °C

10. Stabilität und Reaktivität

Gefährliche Reaktionen:	Unverträglich mit: starke Oxidationsmittel
Gefährliche Zersetzungsprodukte:	Siehe Teil 5

11. Angaben zur Toxikologie

Die Angaben zu den Gefahren basieren auf den Eigenschaften der Komponenten dieses Produktes.

Einatmen

Hohe Nebelkonzentrationen können leicht reizend auf die oberen Atemwege wirken.
Bei thermischer Zersetzung werden reizende Dämpfe freigesetzt.

Hautkontakt

Wiederholter und/oder längerer Hautkontakt kann leichte Hautreizung hervorrufen.
In Tierversuchen nicht hautsensibilisierend.

PRODUKTNAME: EMKARATE RL 32-3MAF

Augenkontakt

Kann zu einer leichten Augenreizung führen.

Verschlucken

Geringe orale Toxizität, aber Verschlucken kann zu einer Reizung des Magen-Darm-Traktes führen.

Langzeitwirkung

Kurzzeitversuche und die Struktur geben keinen Hinweis auf eine mögliche Krebsgefahr beim Menschen.

12. Angaben zur Ökologie

Die Angaben zur Ökologie basieren auf Informationen über die einzelnen Komponenten der Zubereitung.

Migrationsverhalten und Verhalten im Ökosystem

Produkt ist nahezu vollständig wasserunlöslich.

Persistenz und Abbauverhalten

Es wird erwartet, daß dieses Produkt nahezu vollständig biologisch abbaubar ist.

Toxizität

Keine Informationen über diese Formulierung.

WGK No.

WGK 1

Verhalten in Abwasserbehandlungsanlagen

Keine Informationen über diese Formulierung.

13. Hinweise zur Entsorgung

Für die Entsorgung sind die örtlichen behördlichen Vorschriften zu beachten.

14. Angaben zum Transport

Kein gefährliches Gut im Sinne der nationalen und internationalen Transportvorschriften.

15. Vorschriften

Das Produkt ist nach EG-Richtlinien/GefStoffV nicht kennzeichnungspflichtig.

Nationale Vorschriften:

Einstufung nach StörfallV: Störfallverordnung, im Anhang II, nicht genannt.

Klassifizierung nach VbF:

Unterliegt nicht der Verordnung brennbarer Flüssigkeiten

PRODUKTNAME: EMKARATE RL 32-3MAF

16. Sonstige Angaben

Verwendungszweck

Schmierstoff

Dieses EG-Sicherheitsdatenblatt wurde gemäß der Richtlinie 93/112/EWG erstellt.

Die Angaben und Empfehlungen der vorstehenden Publikation sind nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Informationen und Meinung gelten für das Datum der Veröffentlichung. Es wird keine Haftung dafür übernommen, dass die Informationen und Empfehlungen auch dann noch zutreffend sind, wenn Änderungen in der Produktbeschaffenheit durch Zeitablauf oder Handlungen des Anwenders eintreten. Außerdem stellt keine der Angaben hierin - weder ausdrücklich noch impliziert - eine Garantie, eine Zusicherung von bestimmten Eigenschaften, oder eine bestimmte Qualität, oder einen definierten Einsatzbereich dar. Jeder Anwender hat somit das beabsichtigte Einsatzgebiet und den jeweiligen Verwendungszweck unter Berücksichtigung etwaiger spezifischer Besonderheiten in eigener Verantwortung zu überprüfen. Auf die Ermittlungspflichten nach § 16 der Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen wird ausdrücklich hingewiesen.

Alle hier erwähnten Warenzeichen/Handelsnamen und das ICI-Roundel sind eingetragene Warenzeichen von Gesellschaften der ICI-Gruppe.

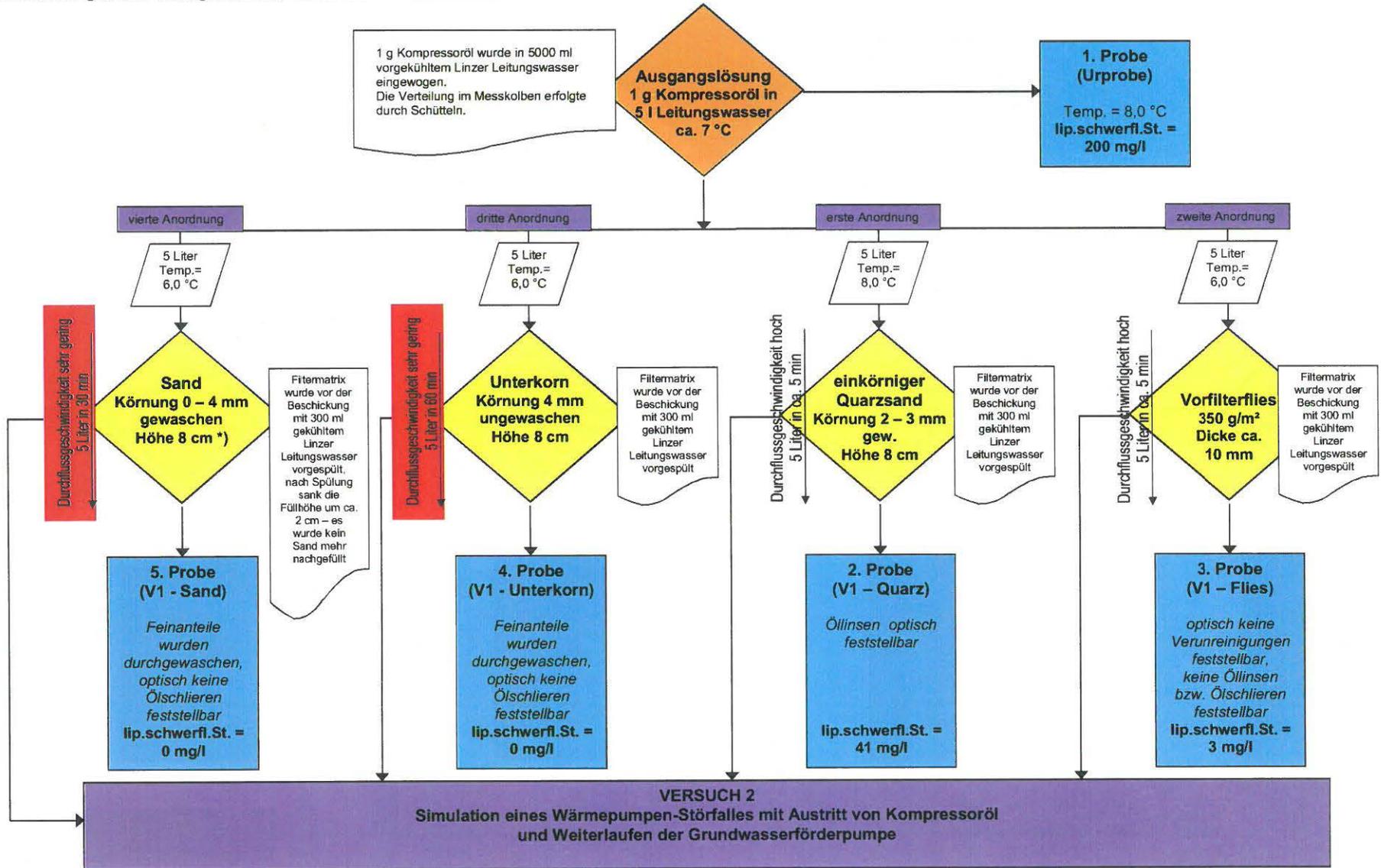
EMKARATE ist ein eingetragenes Warenzeichen der ICI Firmengruppe.

UNIQEMA is part of ICI Industrial Specialties, a business of ICI Chemicals & Polymers Ltd which is registered in England No 358535. Registered Office, The Heath, Runcom, Cheshire WA7 4QF. A subsidiary of ICI.

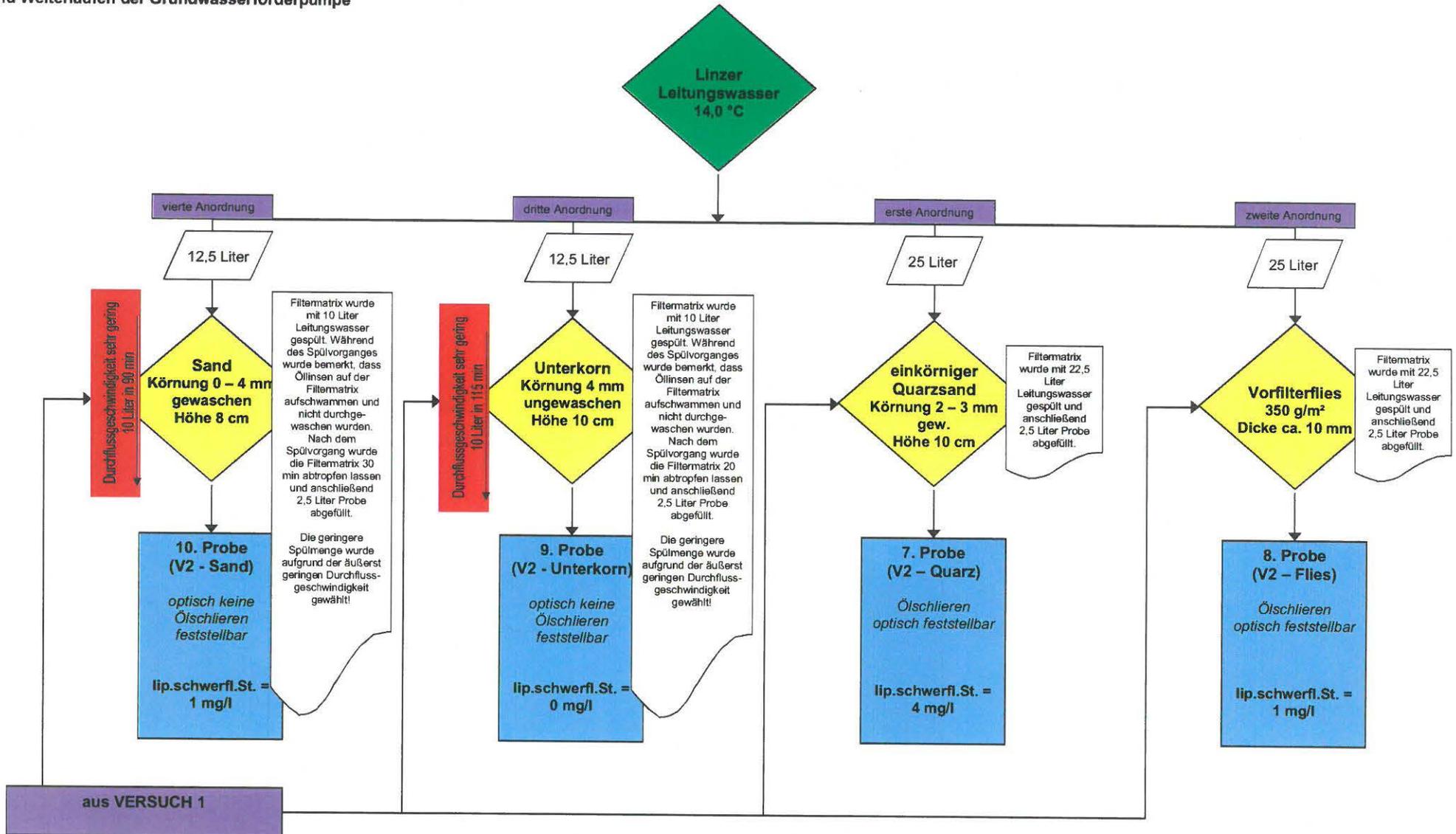
Notes: Detaillierte Informationen sind von ICI Chemicals & Polymers Limited erhältlich.

Siehe auch www.uniqema.com

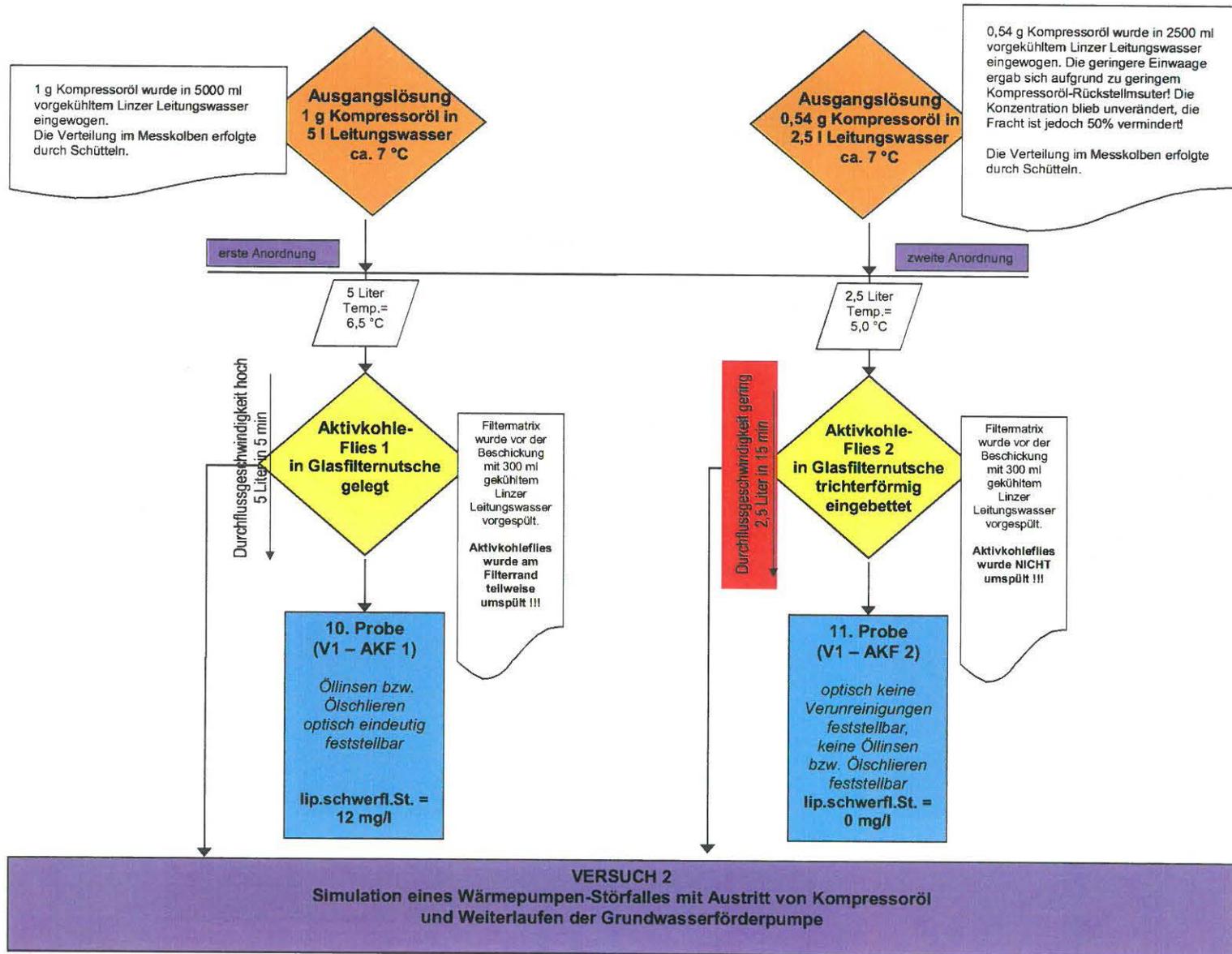
VERSUCHSANORDNUNG 1:
Simulation eines Wärmepumpen-Störfalles mit Austritt von Kompressoröl
und Versickerung in den Untergrund über verschiedene Filtermedien



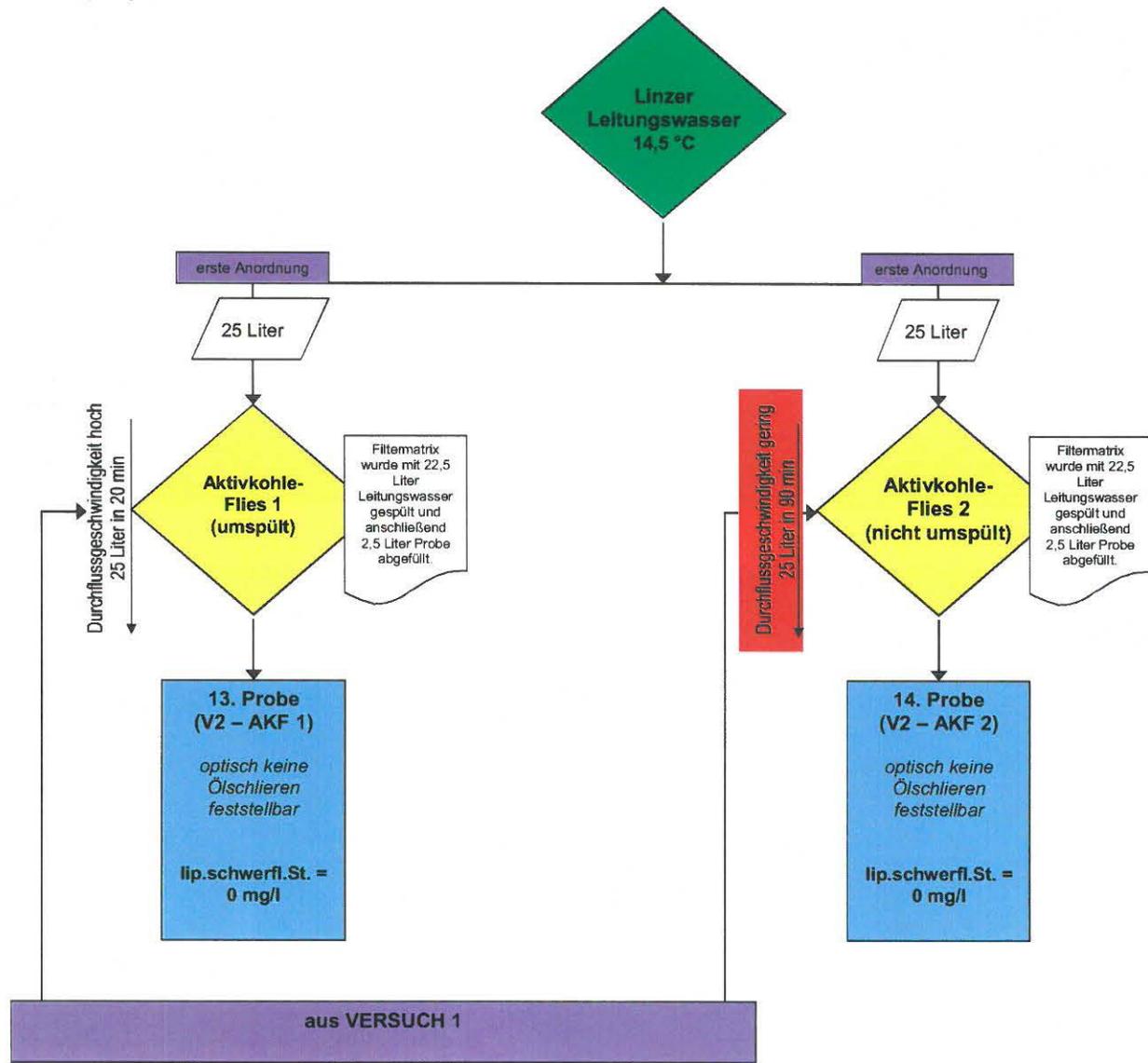
VERSUCHSANORDNUNG 2:
 Simulation eines Wärmepumpen-Störfalles mit Austritt von Kompressoröl
 und Weiterlaufen der Grundwasserförderpumpe



VERSUCHSANORDNUNG 1:
Simulation eines Wärmepumpen-Störfalles mit Austritt von Kompressoröl
und Versickerung in den Untergrund über verschiedene Filtermedien



VERSUCHSANORDNUNG 2:
Simulation eines Wärmepumpen-Störfalles mit Austritt von Kompressoröl
und Weiterlaufen der Grundwasserförderpumpe





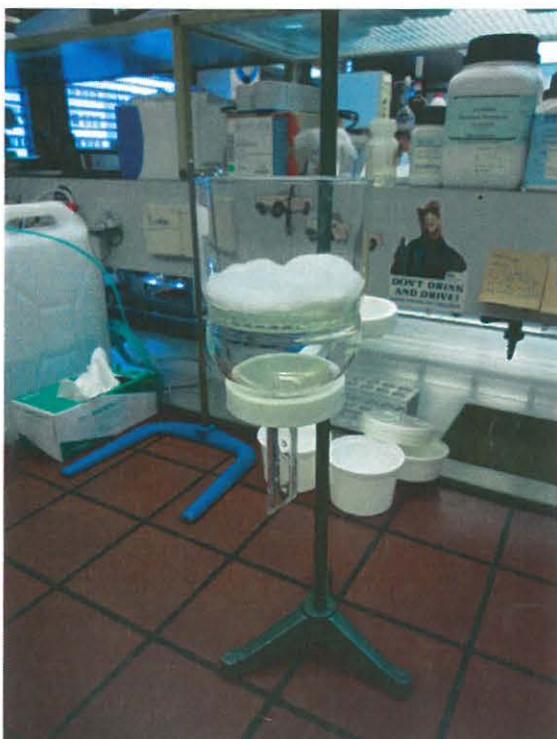
Anhang 3 – Fotodokumentation der Versuchsanordnungen



Urprobe nach Verteilung durch Schütteln



Filtermedium "einkörniger Quarzsand" vor Beaufschlagung mit Urprobe



Filtermedium "Vorfilterfließ" vor Beaufschlagung mit Urprobe



Filtermedium "Unterkorn" vor Beaufschlagung mit Urprobe



Filtermedium "Unterkorn" nach Beaufschlagung mit Urprobe



Filtermedium "Sand" nach dem Vorspülen mit 300 ml Leitungswasser



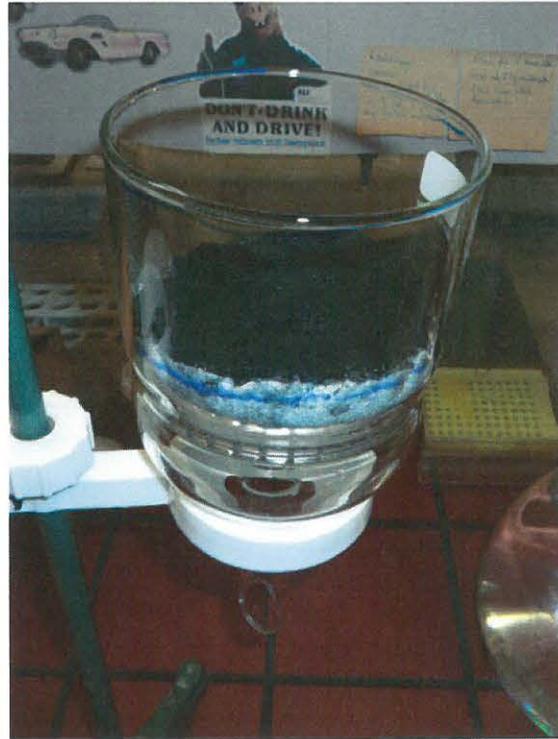
Filtermedien "Unterkorn" und "Sand" bei der 2. Versuchsanordnung "Weiterlaufen der Grundwasserpumpe"



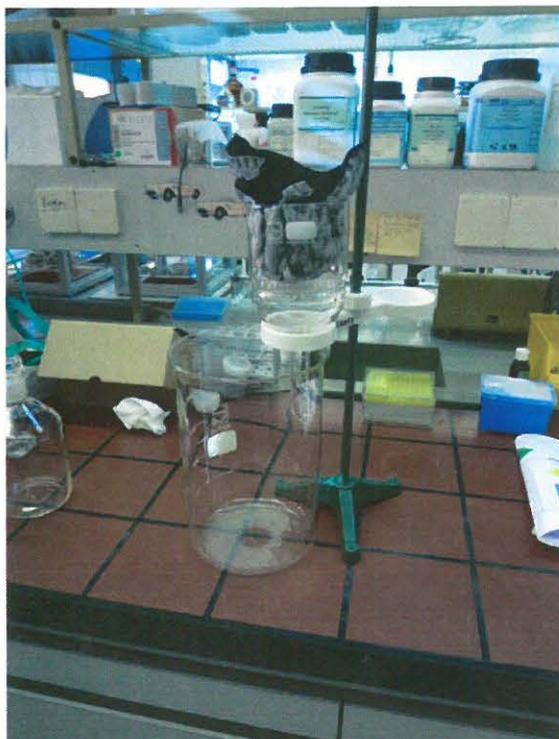
Filtermedium "Sand" nach der 2. Versuchsanordnung "Weiterlaufen der Grundwasserpumpe"



Filtermedium "Unterkorn" nach der 2. Versuchsanordnung "Weiterlaufen der Grundwasserpumpe"



Filtermedium "Aktivkohle in Nutsche gelegt" vor Beaufschlagung mit Urprobe



Filtermedium "Aktivkohle trichterförmig in Nutsche gelegt" vor Beaufschlagung mit Urprobe