

# **Wärmeträgerfluide in der Geothermie: Exemplarische Gefährdungsabschätzung anhand von Strukturaufklärung, Abbaubarkeit und Toxizität**

**Zuwendungsgeber**    **Gefördert durch den DVGW  
Bonn**



**Gefördert aus dem  
Innovationsfonds  
Klima- und Wasserschutz  
der badenova AG & Co. KG  
Freiburg**



**BearbeiterInnen**    **Dr. Kathrin Schmidt (TZW)  
Dipl.-Ing. (FH) Tobias Augenstein (TZW)  
EUR ING Dirk Betting (badenova)  
Dr. Andreas Tiehm (TZW)**

**Kurzbericht –  
Langfassung ist bei der badenova AG & Co. KG erhältlich**

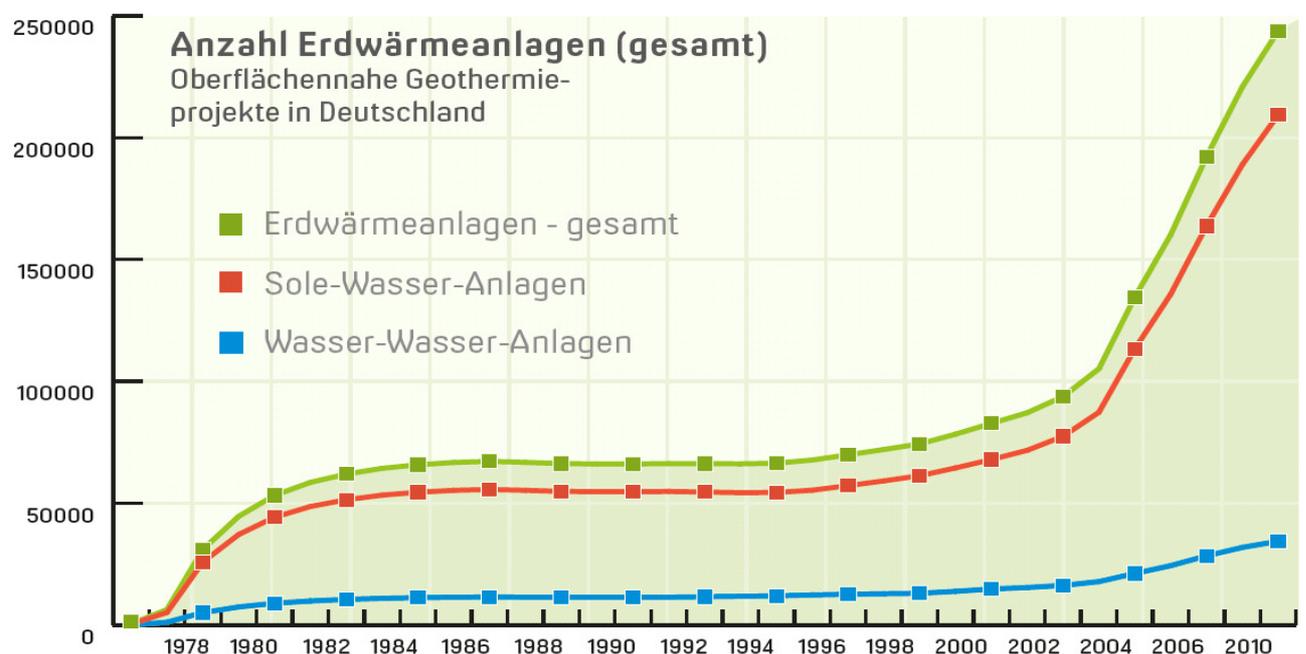
**Karlsruhe, den 02.03.2012**

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
1      Veranlassung .....	1
2      Projektziel.....	2
3      Ergebnisse .....	2
3.1   Strukturaufklärung .....	2
3.2   Biologische Abbaubarkeit und Ökotoxizität.....	3
4      Schlussfolgerungen und Ausblick.....	3
5      Zitierte und weiterführende Literatur.....	4

## 1 Veranlassung

„Die Zeichen in der Geothermiebranche stehen auf Wachstum.“ (BMU, 2009). Die Nutzung der Erdwärme zur Klimatisierung (Beheizen und/ oder Kühlen) von Gebäuden hat in den letzten Jahren stark zugenommen (HLUG, 2007; Hagelauer und Busch, 2008). Ende 2010 gab es bereits über 240.000 Geothermie-Anlagen in Deutschland (Abbildung 1; Bundesverband Wärmepumpe e.V., 2011a). Aufgrund dieser Entwicklungen ist es unabdingbar, eine durchdachte, nachhaltige und umweltverträgliche Nutzung dieser erneuerbaren Energiequelle sicher zu stellen. Neben dem Potential sind auch die möglichen Risiken für Grundwasserschutz und Trinkwassergewinnung zu beurteilen.



**Abbildung 1 Anzahl Erdwärmeeinrichtungen in Deutschland (aus Bundesverband Wärmepumpe e.V., 2011a).**

Erdwärmesonden bestehen aus in den Untergrund eingebrachten Rohrsystemen, durch die Wärmeträgerfluide zirkulieren (Klotzbücher et al., 2007; Hagelauer und Busch, 2008). Die Austauschersysteme sind zwar gegenüber der Umwelt geschlossen, ein Austritt der Fluide bei Leckagen kann jedoch nicht ausgeschlossen werden (Klotzbücher et al., 2007).

Der Hauptbestandteil der meisten Fluide ist Mono-Ethylen- oder Propylenglykol (MEG, MPG), welche als gut biologisch abbaubar gelten und eine geringe Toxizität aufweisen. Außerdem enthalten die Fluide weitere Additive wie z.B. Korrosions-Inhibitoren, Biozide, Benetzungsmittel, Farb- und Duftstoffe (Klotzbücher et al., 2007). Da die genaue Zusammensetzung der Wärmeträgerfluide ein wichtiges Kriterium bei der Zulassung von Erdwärmeeinrichtungen ist und vielfach als Betriebsgeheimnis behandelt wird, besteht aus Sicht des vorsorgenden Grundwasserschutzes großer Informationsbedarf, was die Art (chemische Zusammensetzung) und Umweltverträglichkeit (biologische Abbaubarkeit, Ökotoxizität) der bei der Erdwärmeeinrichtung verwendeten Wärmeträgerfluide angeht.

## 2 Projektziel

Projektziel war die Beurteilung einer möglichen Grundwasser-Gefährdung durch die bei oberflächennahen Geothermie-Projekten verwendeten flüssigen Wärmeträgerfluide. Die gasförmigen Wärmeträgermedien Kohlenstoffdioxid, Propan und Propen wurden hier nicht berücksichtigt. Die Gefährdungsabschätzung ausgewählter Wärmeträgerfluide erfolgte anhand der chemischen Zusammensetzung, der biologischen Abbaubarkeit sowie der Ökotoxizität. Mit umfassender chemischer Analytik wurde die Zusammensetzung der Fluide ermittelt. Ihre biologische Abbaubarkeit wurde mit Mikroorganismen aus Grundwasser, Sediment und Belebtschlamm, sowie ihre Ökotoxizität mit dem Leuchtbakterienhemmtest und dem Fischeitest untersucht.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Strukturaufklärung

Aus Sicht des vorsorgenden Grundwasserschutzes können derzeit der hohe Organik-Gehalt sowie die in den meisten Formulierungen enthaltenen Triazole als Hauptprobleme von Wärmeträgerfluiden benannt werden. Es ist außerdem davon auszugehen, dass die Formulierungen weitere, bislang nicht identifizierte Substanzen – wie z.B. Farbstoffe – enthalten (Abbildung 2).



**Abbildung 2** Wärmeträgerfluide.

Beim biologischen Abbau organischer Substanzen kann es zu einer starken Sauerstoff-Zehrung und somit zur Einstellung anaerober Bedingungen im Grundwasser kommen.

Von Triazolen ist bereits bekannt, dass sie ein Problem im Wasserkreislauf darstellen, da sie in Kläranlagen schlecht entfernbar sind. Veröffentlichte Eliminationsleistungen liegen zwischen 0% und 74% (Voutsas et al., 2006; Weiss et al., 2006; Reemtsma et al., 2010), wobei sie sich für die einzelnen Triazole deutlich unterscheiden. Diese Substanzen können sowohl in Oberflächenwasser (Weber et al., 2009; Thoma et al., 2010) als auch in

Grundwasser (Weber et al., 2009) und Trinkwasser (Janna et al., 2011) nachgewiesen werden.

Des Weiteren sind die in einigen Formulierungen erhöhten Gehalte an Nitrit, Molybdän und/ oder Bor bedenklich für die Grundwasserqualität. Alle drei Substanzen gelten als Schadstoffe im Sinne der Grundwasserverordnung (GrwV, 2010).

### **3.2 Biologische Abbaubarkeit und Ökotoxizität**

Die Abbauprobungen zeigten, dass die biologische Abbaubarkeit stark von der eingesetzten Konzentration der Wärmeträgerfluide und/ oder der Mikroflora im jeweiligen Versuchsmedium abhing. Bei geeigneten Versuchsbedingungen waren alle verwendeten Formulierungen zu 70-95% biologisch abbaubar, was durch Abbauprobungen mit Belebtschlamm sowie mit Grundwasser/ Sediment von einem Altlastenstandort gezeigt werden konnte. Abbauprobungen mit unbelastetem Grundwasser zeigten hingegen kaum Abbau bei Abbaugraden von 13% bis maximal 43%. Additive wie Diethanolamin und Ethylhexansäure wurden vollständig abgebaut. Die Triazole waren persistent; sie erreichten Abbaugrade von 2% bis maximal 27%.

Die Toxizität der Formulierungen im Leuchtbakterienhemmtest und im Fischeitertest war gegenüber den Grundsubstanzen MEG und MPG deutlich erhöht. Für die einzelnen Formulierungen wurden sehr unterschiedliche Toxizitäten gemessen. Bei den durchgeführten Tests handelt es sich um ökotoxikologische Standardmethoden, welche die Wirkung auf marine Bakterien bzw. Fischeier untersuchen. Derzeit existieren keine ökotoxikologischen Testmethoden, mit denen gezielt die ökotoxikologische Wirkung auf Grundwasser-Organismen erfasst werden kann.

Auswirkungen von Geothermie-Anwendungen auf die für den Menschen wichtige ökologische Funktionalität des Grundwassers können nicht ausgeschlossen werden. Eine Verschlechterung der ökologischen Funktionalität kann negative Folgen für das Grundwasser als Trinkwasserressource haben, da nur ein gesundes Grundwasser-Ökosystem zur Bereitstellung von gutem Trinkwasser in der Lage ist.

## **4 Schlussfolgerungen und Ausblick**

Aus Sicht des vorsorgenden Grundwasserschutzes sind folgende Punkte beim Einsatz von Wärmeträgerfluiden zu bedenken:

- Die chemische Zusammensetzung der Fluide ist nicht vollständig bekannt; die nachgewiesenen Gehalte an Triazolen, Nitrit, Molybdän und Bor sind bedenklich.
- Die Fluide haben ökotoxikologische Wirkung auf Standard-Testorganismen wie Leuchtbakterien und Fischeier.
- In Abhängigkeit von den vorherrschenden Milieubedingungen werden die Fluide im Grundwasser kaum abgebaut, was bei Leckagen zu einer chemischen Grundwasserbelastung führen kann.

- Wenn ein biologischer Abbau im Grundwasser stattfindet, ist aufgrund des hohen Organik-Gehalts mit einer deutlichen Sauerstoffzehrung zu rechnen.
- Der biologische Abbau ist nicht vollständig, so dass es zu einer Erhöhung der Grundwasserbelastung mit persistenten Substanzen wie z.B. Triazolen kommen kann.

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse ist die Verwendung von Wasser als Wärmeträger aus Sicht des vorsorgenden Grundwasserschutzes vor allem in Wasserschutz- und Wassereinzugsgebieten zu befürworten. Wasser hat wesentlich bessere hydraulische (geringere Viskosität) und thermische (höhere Wärmeleitfähigkeit) Eigenschaften als andere Wärmeträgerfluide (Umweltministerium Baden-Württemberg, 2010; LAWA, 2011).

Mit Wasser betriebene Erdwärmesonden können allerdings nicht im Frostbereich betrieben werden. Die LAWA (2011) empfiehlt generell einen frostfreien Betrieb von Erdwärmesonden, was die Verwendung von Wasser als Wärmeträger ermöglicht. Es liegen Berichte vor, dass bei geeigneten Randbedingungen und entsprechender Anlagen-Auslegung ein frostfreier Betrieb mit Wasser als Wärmeträger möglich ist (Appel und Menge, 2011; Mands et al., 2012).

Die nächstbeste Alternative ist die Verwendung von MEG oder MPG ohne Additive. Im Zuge der Qualitätssicherung muss gewährleistet sein, dass die Sonden sowie die Hinterfüllung dauerhaft dicht sind und außerdem Leckage-Überwachungseinrichtungen bestehen.

Für die nicht wassergefährdenden Wärmeträgermedien Kohlenstoffdioxid, Propan und Propen wurde im Rahmen des hier durchgeführten Forschungsprojektes keine Gefährdungsabschätzung durchgeführt.

Generell ist das Verschlechterungsverbot der Wasserrahmenrichtlinie zu beachten. Dieses besagt, dass eine Verschlechterung des Zustandes aller Wasserkörper vermieden werden muss (BMU, 2010).

Bei der weiteren Entwicklung der geothermischen Energiegewinnung sollten die möglichen Auswirkungen auf das Schutzgut Grundwasser, die Trinkwasserversorgung sowie das Ökosystem Grundwasser umfassend in die ökologisch-ökonomische Kosten-Nutzen-Analyse einbezogen werden. Die Trinkwasserversorgung sollte immer Vorrang vor der Nutzung des Grundwassers als Energiequelle haben (DVGW, 2010; LAWA, 2011).

## 5 Zitierte und weiterführende Literatur

Appel G., Menge K. (2011) Intelligente Energieversorgung – Geothermie für mittelständische Unternehmen. GIT Labor-Fachzeitschrift 06: 380-384.

BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009) Gute Perspektiven für Geothermie. download von <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/40226/4594/> am 06.07.2009.

BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010) Die Wasserrahmenrichtlinie. download von [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere\\_wasserrahmenrichtlinie\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_wasserrahmenrichtlinie_bf.pdf) am 14.02.2012.

Brandenburgische Energie Technologie Initiative (2009) Nutzung von Erdwärme in Brandenburg. download von [http://www.eti-brandenburg.de/fileadmin/user\\_upload/Energiethemen/Geothermie/geothermie-leitfaden\\_brandenburg.pdf](http://www.eti-brandenburg.de/fileadmin/user_upload/Energiethemen/Geothermie/geothermie-leitfaden_brandenburg.pdf) am 17.01.2012.

- Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2011a) Leitfaden Erdwärme. download von [http://www.waermepumpe.de/fileadmin/grafik/pdf/Flyer-Broschueren/Leitfaden-Erdwaerme\\_BWP.pdf](http://www.waermepumpe.de/fileadmin/grafik/pdf/Flyer-Broschueren/Leitfaden-Erdwaerme_BWP.pdf) am 16.01.2012.
- Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2011b) Leitfaden Erdwärmesonden in Bayern. download von [http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug\\_app000004?SID=1472333130&ACTIONxSESSxSHOWPIC\(BILDxKEY:stmugv\\_klima\\_00007,BILDxCLASS:Artikel,BILDxTYPE:PDF\)=Z](http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug_app000004?SID=1472333130&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:stmugv_klima_00007,BILDxCLASS:Artikel,BILDxTYPE:PDF)=Z) am 17.01.2012.
- DVGW, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V. (2010) Positionspapier zur Erdwärmenutzung in Trinkwassereinzugsgebieten. download von <http://www.dvgw.de/wasser/ressourcenmanagement/gewaesserschutz/erdwaermenutzung/> am 19.01.2012.
- Geologischer Dienst für Bremen (2012) Technische und rechtliche Hinweise zur Installation von Erdwärmesonden in Bremen. download von <http://www.gdfb.de/> am 17.01.2012.
- GrwV (2010) Verordnung zum Schutz des Grundwassers. download von [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/grwv\\_2010/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/grwv_2010/gesamt.pdf) am 07.11.2011.
- Hagelauer W.-D., Busch K. J. (2008) Kühlen mit Erdwärme. UmweltWirtschaftsForum 16: 25-30.
- Hähnlein S., Blum P., Bayer P. (2011) Oberflächennahe Geothermie – aktuelle rechtliche Situation in Deutschland. Grundwasser 16: 69-75.
- Hamburg Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (2011) Leitfaden zur Erdwärmenutzung in Hamburg. download von <http://www.hamburg.de/contentblob/1189030/data/leitfaden-erdwaermenutzung-e.pdf> am 17.01.2012.
- HLUG, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2007) Erdwärmenutzung in Hessen. download von [http://www.hlug.de/medien/geologie/dokumente/erdwaerme/erdwaerme\\_web.pdf](http://www.hlug.de/medien/geologie/dokumente/erdwaerme/erdwaerme_web.pdf) am 03.06.2009.
- HLUG, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2011) Erdwärmenutzung in Hessen. download von [http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/geologie/erdwaerme/erdwaerme\\_web.pdf](http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/geologie/erdwaerme/erdwaerme_web.pdf) am 17.01.2012.
- Janna H., Scrimshaw M. D., Williams R. J., Churchjley J., Sumpter J. P. (2011) From dishwasher to tap? Xenobiotic substances benzotriazole and tolyltriazole in the environment. Environ. Sci. Technol. 45: 3858-3864.
- Klotzbücher T., Kappler A., Straub K. L., Haderlein S. B. (2007) Biodegradability and groundwater pollutant potential of organic anti-freeze liquids used in borehole heat exchangers. Geothermics, 36: 348-361.
- Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (2005) Geologischer Leitfaden für die oberflächennahe Erdwärmenutzung in Sachsen-Anhalt. download von [http://www.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Elementbibliothek/Bibliothek\\_Politik\\_und\\_Verwaltung/Bibliothek\\_LAGB/geothermie/doc/geothermiekarte\\_erlaeuterung.pdf](http://www.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Elementbibliothek/Bibliothek_Politik_und_Verwaltung/Bibliothek_LAGB/geothermie/doc/geothermiekarte_erlaeuterung.pdf) am 17.01.2012.
- Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (2011) Leitfaden zur geothermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes. download von [http://www.schleswig-holstein.de/cae/servlet/contentblob/1029518/publicationFile/Geothermie\\_2011.pdf](http://www.schleswig-holstein.de/cae/servlet/contentblob/1029518/publicationFile/Geothermie_2011.pdf) am 17.01.2012.
- Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (2006) Leitfaden Erdwärmesonden in Mecklenburg-Vorpommern. zu bestellen unter [http://www.lung.mv-regierung.de/insite/cms/umwelt/geologie/produkte/ews\\_leitfaden.htm](http://www.lung.mv-regierung.de/insite/cms/umwelt/geologie/produkte/ews_leitfaden.htm).
- Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2004) Wasserwirtschaftliche Anforderungen an die Nutzung von oberflächennaher Erdwärme. download von <http://www.lanuv.nrw.de/veroeffentlichungen/merkbl/merk48/merk48.pdf> am 10.02.2012.
- LAWA, Bund/ Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2002) Anforderungen an Erdwärmepumpen. download von [http://www2.hmuelv.hessen.de/imperia/md/content/internet/pdfs/umwelt/wasser/gewaesserschutz-/erdw\\_rmepumpen\\_lawa\\_2002.pdf](http://www2.hmuelv.hessen.de/imperia/md/content/internet/pdfs/umwelt/wasser/gewaesserschutz-/erdw_rmepumpen_lawa_2002.pdf) am 19.12.2011.
- LAWA, Bund/ Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2011) Empfehlungen der LAWA für wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren. download von [http://www.lawa.de/documents/LAWA\\_Empfehlungen\\_Erdwaermesonden\\_und\\_kollektoren\\_24c.pdf](http://www.lawa.de/documents/LAWA_Empfehlungen_Erdwaermesonden_und_kollektoren_24c.pdf) am 19.01.2012.

Mands E., Sanner B., Sauer M., Seidinger W. (2012) Das Low Energy Office der Deutschen Flugsicherung in Langen mit geothermischer Wärme/Kälte-Speicherung. download von <http://www.ubeg.de/downloads/LeoDFSGerm.pdf> am 16.01.2012.

Ministerium für Umwelt (2008) Leitfaden Erdwärmenutzung. download von [http://www.saarland.de/dokumente/ressort\\_umwelt/08-05\\_Leitf\\_Erdwaerme.pdf](http://www.saarland.de/dokumente/ressort_umwelt/08-05_Leitf_Erdwaerme.pdf) am 17.01.2012.

Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (2007) Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden. download von <http://www.lgb-rlp.de/fileadmin/cd2009/download/-erdwaerme/LeitfadenEWS.pdf> am 17.01.2012.

Niedersächsisches Umweltministerium (2006) Leitfaden Erdwärmenutzung in Niedersachsen. download von [http://www.umwelt.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation\\_id=2568&article\\_id=8927&psmand=10](http://www.umwelt.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=2568&article_id=8927&psmand=10) am 17.01.2012.

Peterwitz U. (2011) Einfluss von geothermischer Nutzung auf Trinkwassereinzugsgebiete. Bluefacts 2011: 154-159.

Reemtsma T., Mieke U., Duennbier U., Jekel M. (2010) Polar pollutants in municipal wastewater and the water cycle: Occurrence and removal of benzotriazoles. Water Res. 44: 596-604.

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2011) Erdwärmesonden - Informationsbroschüre zur Nutzung oberflächennaher Geothermie. download von [http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/4824\\_7.pdf](http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/4824_7.pdf) am 17.01.2012.

Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz (2010) Erdwärmenutzung in Berlin. download von <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/wasser/wasserrecht/pdf/leitfaden-erdwaerme.pdf> am 17.01.2012.

SGD, Staatliche Geologische Dienste (2011) Fachbericht zu bisher bekannten Auswirkungen geothermischer Vorhaben in den Bundesländern download von [http://www.infogeo.de/home/geothermie/-dokumente/download\\_pool/FS2011\\_Top\\_6.2\\_Anlage\\_PK\\_Geothermie\\_Bericht.pdf](http://www.infogeo.de/home/geothermie/-dokumente/download_pool/FS2011_Top_6.2_Anlage_PK_Geothermie_Bericht.pdf) am 16.08.2011.

Thoma A., Graf C., Kurzenberger I., Sacher F. (2010) Benzotriazole im Rhein – Vorkommen und Bedeutung für die Trinkwasserversorgung. In: Jahresbericht 2010 der ARW (Arbeitsgemeinschaft der Rhein-Wasserwerke E. V.): 99-122.

Thüringer Landesverwaltungsamt (2010) Nutzung oberflächennaher Geothermie. download von [http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlwwa2/440/arbeitshilfe\\_erdw\\_\\_rme\\_stand\\_15-02-10.pdf](http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlwwa2/440/arbeitshilfe_erdw__rme_stand_15-02-10.pdf) am 17.01.2012.

Umweltministerium Baden-Württemberg (2005) Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden. download von [http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/17495/Leitfaden\\_-\\_Nutzung\\_von\\_-\\_Erdwaerme.pdf?command=downloadContent&filename=Leitfaden\\_-\\_Nutzung\\_von\\_Erdwaerme.pdf](http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/17495/Leitfaden_-_Nutzung_von_-_Erdwaerme.pdf?command=downloadContent&filename=Leitfaden_-_Nutzung_von_Erdwaerme.pdf) am 16.12.2011.

Umweltministerium Baden-Württemberg (2010) Qualitätsmanagement - Fehlervermeidung bei Wärmepumpen- und Erdsonden-Heizsystemen. download von <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/84041/Quali-Management%202010.pdf?command=downloadContent&filename=Quali-Management%202010.pdf> am 19.01.2012.

Umweltministerium Baden-Württemberg (2011) Leitlinien Qualitätssicherung Erdwärmesonden. download von [http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/87437/\\_Leitlinien\\_Qualitaetssicherung\\_Erdwaermesonden.pdf?command=downloadContent&filename=\\_Leitlinien\\_Qualitaetssicherung\\_Erdwaermesonden.pdf](http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/87437/_Leitlinien_Qualitaetssicherung_Erdwaermesonden.pdf?command=downloadContent&filename=_Leitlinien_Qualitaetssicherung_Erdwaermesonden.pdf) am 17.01.2012.

Voutsas D., Hartmann P., Schaffner C., Giger W. (2006) Benzotriazoles, alkylphenols and bisphenol A in municipal wastewaters and in the Glatt River, Switzerland. Environ. Sci. Pollut. Res. 13(5): 333-341.

Weber W. H., Müller A., Weiß C., Seitz W., Schulz W. (2009) 1H-Benzotriazol und Tolytriazole in der aquatischen Umwelt – Vorkommen in Grund-, Oberflächen- und Abwasser im Gebiet Donauried-Hürbe. Vom Wasser 107(4): 3-34.

Weiss S., Jakobs J., Reemtsma T. (2006) Discharge of three benzotriazole corrosion inhibitors with municipal wastewater and improvements by membrane bioreactor treatment and ozonation. Environ. Sci. Technol. 40(23): 7193-7199.