



**CARBAMAZEPIN UND KOFFEIN  
– POTENZIELLE SCREENINGPARAMETER  
FÜR VERUNREINIGUNGEN DES  
GRUNDWASSERS DURCH  
KOMMUNALES ABWASSER?**

Claudia Schramm  
Oliver Gans  
Maria Uhl  
Johannes Grath  
Sigrid Scharf  
Irene Zieritz  
Martin Kralik  
Andreas Scheidleder  
Franco Humer

REPORT  
REP-0061

Wien, 2006



**Projektleitung**

Sigrid SCHARF

**AutorInnen**

Claudia Schramm, Oliver Gans, Maria Uhl, Johannes Grath, Sigrid Scharf, Irene Zieritz, Martin Kralik,  
Andreas Scheidleder, Franko Humer

**Übersetzung**

Brigitte Read

**Lektorat**

Maria Deweis

**Satz/Layout**

Elisabeth Lössl

Weitere Informationen zu Publikationen des Umweltbundesamtes unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH  
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Namentlich gekennzeichnete Beiträge externer AutorInnen müssen nicht notwendigerweise mit der Meinung des Umweltbundesamtes übereinstimmen.

Eigenvervielfältigung

*Gedruckt auf Recyclingpapier.*

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2006

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-85457-859-8

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Pilotprojektes „Carbamazepin und Koffein – Potenzielle Screeningparameter für kommunale Verunreinigungen des Grundwassers?“ wurden 56 Grundwassermessstellen, die im Rahmen der Wassergüte-Erhebungsverordnung (WGEV) beprobt werden, auf die Substanzen Carbamazepin und Koffein untersucht, um zu testen,

- ob die Wirkstoffe im Grundwasser nachweisbar sind und
- ob sie sich als Screeningparameter für Abwasserbelastungen des Grundwassers eignen.

Carbamazepin und Koffein werden international bereits als Leitparameter für Abwasserbeeinflussungen von Fließgewässern betrachtet.

**Carbamazepin** ist ein häufig verwendetes Antiepileptikum. Darüber hinaus wird der Wirkstoff als Antidepressivum bzw. gegen Trigeminusneuralgie (Gesichtsschmerz, Ausbreitung entlang des Nervus trigeminus) eingesetzt. 1997 betrug die Verkaufsmenge in Österreich 6.334 kg (SCHARF et al. 2002). Die Dosierung von Carbamazepin beträgt zwischen 200 und 1.600 mg pro Tag. Ca. 2–3 % des Wirkstoffes werden unverändert mit dem Urin ausgeschieden und können somit in das kommunale Abwasser gelangen. Die Substanz wird weder in Kläranlagen noch im Untergrund und Uferfiltrat nennenswert abgebaut bzw. durch Adsorption zurückgehalten und verfügt über eine hohe Mobilität in der (un)gesättigten Zone. Die Abnahme der Carbamazepin-Konzentrationen im Grundwasser erfolgt vorwiegend durch Verdünnung.

**Koffein** ist Bestandteil zahlreicher Lebensmittel. Die Substanz wird im menschlichen Organismus in hohem Ausmaß metabolisiert. Etwa 3 % der Dosis werden in reiner Form im Urin ausgeschieden und ins kommunale Abwasser eingetragen (SEILER 1999). Eine weitere Eintragsquelle ist jenes Koffein, welches nicht konsumiert wurde, z. B. durch das Ausspülen von Kannen bzw. Tassen sowie das Wegleeren von koffeinhaltigen Produkten. Koffein wird vor allem in Kläranlagen, aber auch im Untergrund gut abgebaut bzw. adsorbiert.

Die Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG) der EU hat unter anderem die Sicherstellung einer schrittweisen Reduzierung der Verschmutzung des Grundwassers und die Verhinderung seiner weiteren Verschmutzung zum Ziel, um zu einer ausreichenden Versorgung mit Grundwasser guter Qualität beizutragen (Art. 1). Die Einleitung von Schadstoffen in das Grundwasser ist zu verhindern oder zu begrenzen (Art. 4).

Folgende Ausführungen zur Ökotoxikologie bzw. Trinkwasserrelevanz beziehen sich auf den Wirkstoff Carbamazepin.

Der von der Europäischen Arzneimittelagentur veröffentlichte Entwurf einer EU-Richtlinie zur ökotoxikologischen Risikoabschätzung durch Arzneimittel schlägt eine phasenweise Evaluierung des Risikos vor der Zulassung neuer Arzneimittel vor (EMA-CHMP 2006). Ist ein Arzneimittel infolge von Berechnungen in Konzentrationen unter 10 ng/l (0,01 µg/l) im Oberflächengewässer zu erwarten, ist in der Regel keine weitere Untersuchung des Umweltrisikos vorgesehen (eine Ausnahme davon bilden endokrin wirksame Substanzen). Für Arzneimittel, bei denen höhere Konzentrationen zu erwarten sind, muss eine Risikoabschätzung durchgeführt werden.

### **Aufgabenstellung**

### **Anwendung und Vorkommen von Carbamazepin und Koffein in der Umwelt**

### **Schutz des Grundwassers**

### **Ökotoxikologie**

**Ökotoxikologie** Die ökotoxikologische Risikobewertung orientiert sich an Ergebnissen aus akuten und/oder chronischen Wirktests, um einen Wert zu definieren, bei dem keine Schädigung in Organismen zu erwarten ist (**P**redicted **N**o **E**ffect **C**oncentration – PNEC). Dabei werden NOEC-Werte (**N**o **O**bserved **E**ffect **C**oncentration – Konzentration, bei der in einem Organismus kein Effekt festzustellen ist) mit einem Bewertungsfaktor multipliziert, der abhängig von Qualität und Umfang der Datenlage zwischen 10 und 1.000 liegt. Bezüglich Carbamazepin orientierte sich der Bund/Länderaus-schuss für Chemikaliensicherheit in Deutschland (BLAC) an dem NOEC-Wert für aquatische Crustacea bei chronischer Exposition von 25.000 ng/l (25 µg/l) (FERRARI et al. 2003) und ermittelte aufgrund eines Bewertungsfaktors von 10 (chronische Daten für Organismen dreier trophischer Ebenen) einen PNEC von 2.500 ng/l (2,5 µg/l). Dieser PNEC-Wert wurde von KNACKER et al. (2006) bestätigt.

**Mögliche Gefährdung des Trinkwassers** Bei Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser können Spuren von Carbamazepin im Trinkwasser enthalten sein. Die amerikanische Umweltbehörde EPA wies darauf hin, dass Carbamazepin, da es sich durch hohe Persistenz auszeichnet, möglicherweise das am weitesten verbreitete Arzneimittel in der Umwelt ist und auch ins Trinkwasser gelangen kann. Bei Berechnen der durchschnittlichen Aufnahmemenge durch das Trinkwasser während der gesamten Lebenszeit würde aber in Summe nicht mehr als eine therapeutische Tages-Dosis (200–1.600 mg) erreicht. Wenn man von einer Konzentration von 100 ng/l Carbamazepin im Trinkwasser, einer Aufnahme von drei Litern Trinkwasser pro Tag und einer Lebensdauer von 80 Jahren ausgeht, würde man in Summe 8,76 mg Carbamazepin während der gesamten Lebenszeit aufgenommen haben. Dies deutet darauf hin, dass keine Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch die Aufnahme von geringen Spuren Carbamazepin (im Nanogrammbereich) im Trinkwasser besteht (Kostich in: EPA 2005).

**Gesetzliche Regelungen für Trinkwasser** Derzeit gibt es keine Regelungen für das Vorkommen von Pharmaka im Trinkwasser, dieses muss jedoch geeignet sein, ohne Gefährdung der menschlichen Gesundheit getrunken oder verwendet zu werden und Stoffe jedweder Art dürfen nicht in einer Anzahl oder Konzentration enthalten sein, die eine potenzielle Gefährdung der menschlichen Gesundheit darstellen (BGBl. II 304/2001). Die Trinkwasserkommission in Deutschland (TWK) empfiehlt den Wert von 100 ng/l (0,1 µg/l) für „human-toxikologisch nur teil- oder nicht bewertbare trinkwassergängige Stoffe“ als vorsorgliche Konzentrationsobergrenze im Sinne eines „pragmatischen gesundheitlichen Orientierungswertes“ (GOW) (UMWELTBUNDESAMT BERLIN 2003). Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass dieser Wert keine fundierte Risikoabschätzung ersetzen kann.

**Carbamazepin und Koffein im Grundwasser** Die Ergebnisse der im Rahmen der vorliegenden Studie gemessenen Konzentrationen zeigen, dass die Substanzen Carbamazepin und Koffein nicht ubiquitär im Grundwasser vorhanden sind.

Bezüglich **Carbamazepin** konnten an acht von zehn „weitgehend unbelasteten“ Messstellen **keine** Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze gemessen werden (Anm.: die Einstufung als „weitgehend unbelastet“ erfolgte anhand von bereits vorhandenen WGEV-Daten). An einer Messstelle wurden Konzentrationen von 2,1 und 2,6 ng/l und an einer weiteren Messstelle wurde einmalig eine Konzentration von 24 ng/l Carbamazepin gemessen.

### **Carbamazepin und Koffein im Grundwasser**

Insgesamt lagen die Carbamazepin-Werte an 29 der 56 untersuchten Messstellen in Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze. 18 Messstellen wiesen Konzentrationen bis zu 10 ng/l Carbamazepin und acht Messstellen wiesen Konzentrationen zwischen 10 und 50 ng/l auf. An einer Messstelle ließ sich eine Belastung bis 2.660 ng/l nachweisen. Mit Ausnahme dieser Messstelle lagen die im Rahmen der vorliegenden Studie gemessenen Carbamazepin-Konzentrationen somit unterhalb des PNEC-Wertes von 2.500 ng/l bzw. unterhalb der von der TWK empfohlenen Trinkwasser-Obergrenze von 100 ng/l. Da an dieser Messstelle auch Belastungen mit anderen Parametern festgestellt worden sind, hat die Fachabteilung beim Amt der zuständigen Landesregierung diesbezüglich bereits weitere Untersuchungen veranlasst und den Eigentümer informiert, dass das Wasser nicht zum Genuss tauglich ist.

**Koffein** wurde insgesamt häufiger als Carbamazepin in Konzentrationen über den Bestimmungsgrenzen nachgewiesen. Die Ergebnisse der Untersuchung geben Hinweise auf andere Eintragsquellen von Koffein als Abwasser (z. B. Komposthaufen, landwirtschaftliche Ausbringung von Senkgrubeninhalten). Auffallend war, dass die Koffein-Konzentrationen an denselben Messstellen in den beprobten Quartalen zum Teil beträchtlich schwanken (zwischen Bestimmungsgrenze und 260 ng/l).

Carbamazepin scheint als Indikator für Verunreinigungen des Grundwassers durch

- Undichtheiten in kommunalen Kanalisationssystemen und
- Versickerungen von kommunalen Abwässern (sowohl nach biologischer wie mechanischer Reinigung)

geeignet.

### **Eignung als Screeningparameter**

Für die Feststellung von Undichtheiten von Senkgruben und die landwirtschaftliche Verwertung von Senkgrubeninhalten ist der Parameter nur bedingt geeignet, abhängig davon, ob ein an solchen lokalen Entsorgungssystemen angeschlossener Einwohner den Wirkstoff Carbamazepin einnimmt.

Für Koffein wurde eine eingeschränkte Eignung als Indikatorparameter festgestellt, da die Substanz gut abbaubar ist. Auch andere Eintragsquellen außer Abwasser sind möglich. In Kombination mit Carbamazepin ist die Analytik jedoch zweckmäßig, da sie mit derselben Methode erfolgt.

Als Ergänzung zu vorliegender Untersuchung wird vom Umweltbundesamt empfohlen, **Vor-Ort-Erhebungen** an Messstellen mit erhöhten Carbamazepin-Konzentrationen sowie die Ausarbeitung von **Standortmodellen** durchzuführen. Vor-Ort-Erhebungen waren im Rahmen des Pilotprojektes nicht vorgesehen.

### **Empfehlungen**

Aufgrund der schlechten Abbaubarkeit, reproduktions-toxischer Effekte und möglicher additiver Wirkungen in Gegenwart anderer Pharmaka sollten die Carbamazepin-Konzentrationen in der Umwelt beobachtet und weitere toxikologische Daten erhoben werden (BLAC 2003, RTECs 2005).

## SUMMARY

**Task** Within the framework of the pilot project “carbamazepine and caffeine – potential screening parameters for groundwater contamination because of municipal waste water?” 56 groundwater monitoring stations, which were sampled under the Water Quality Monitoring Ordinance, were analysed for the substances carbamazepine and caffeine in order to test

- whether the active substances are detectable in groundwater and
- whether they are suitable for use as screening parameters for groundwater contamination from wastewater.

Carbamazepine and caffeine are already regarded as screening parameters for contamination of running waters from wastewater.

### **Use and occurrence of carbamazepine and caffeine in the environment**

Carbamazepine is a frequently used antiepileptic. The active substance is also used as anti-depressant and to treat trigeminal neuralgia (pain in the areas of the face spreading along the trigeminal nerve). In 1997, the quantity sold in Austria amounted to 6,334 kg (SCHARF et al. 2002). The dose of carbamazepine is between 200 and 1,600 mg per day. Approximately 2–3% of the active substance leave the body unchanged with the urine and may therefore end up in municipal wastewater. The substance does not undergo any noteworthy degradation, neither in wastewater treatment plants nor in the subsoil or bank filtrate, and it is not retained by adsorption. Its mobility is relatively high in the (un)saturated zone. A reduction of carbamazepine concentrations in the groundwater occurs mainly due to dilution.

Caffeine is an ingredient of a large number of food products. The substance is metabolised to a large extent in the human organism. Approximately 3% of the dose leave the body in its pure form with the urine and end up in municipal wastewater (SEILER 1999). Another input source is unconsumed caffeine entering the wastewater after rinsing pots and cups or pouring away caffeine-containing products. Caffeine breaks down well and is adsorbed mainly in sewage treatment plants, but also in the subsoil.

### **Protection of groundwater**

The purpose of the EU Water Framework Directive (Directive 2000/60/EC) is *inter alia* to ensure the progressive reduction of pollution of groundwater and to prevent its further pollution in order to provide the sufficient supply of good quality groundwater (Article 1). The input of pollutants into groundwater has to be prevented or limited (Article 4).

The following comments on ecotoxicology and potential risks to drinking water refer to Carbamazepin.

### **Ecotoxicology**

The EU draft guideline on the ecotoxicological risk assessment of medicines for human use published by the European Medicines Agency proposes a step-wise, phased procedure to evaluate the environmental risk prior to the marketing authorisation for new medicinal products (EMEA 2005). If, according to the calculations, a medicinal product is expected to be found in concentrations below 10 ng/l (0.01 µg/l) in surface waters, no further environmental risk analysis is usually required (with the exception of endocrine disrupting agents). For medicines which are expected to be found in higher concentrations, a risk assessment has to be performed.

The ecotoxicological risk assessment is guided by the results from acute and/or chronic effects testing so that a value can be defined for which adverse effects are not expected to occur in organisms (Predicted No Effect Concentration – PNEC).

Here NOEC values (No Observed Effect Concentration – concentrations for which no effect can be found in an organism) are multiplied by an assessment factor which, depending on the quality and amount of available data, is between 10 and 1000. The federal/Länder committee for chemical safety in Germany (BLAC) used a value of 25,000 ng/l (25 µg/l) as NOEC guidance value for aquatic crustaceans under chronic exposure (FERRARI et al. 2003) and obtained, by applying an assessment factor of 10 (chronic data on organisms of three trophic levels), a PNEC of 2,500 ng/l (2.5 µg/l). This PNEC value has been confirmed by KNACKER et al. (2006).

When groundwater is used as drinking water, the drinking water may contain carbamazepine traces. The American Environmental Protection Agency (EPA) pointed out that carbamazepine, due to its high persistence, is maybe the most widespread medicinal product in the environment and thus also enters the drinking water. Calculations of the average intake through drinking water during an entire life time show however that the quantity reached would be no more than one therapeutic daily dose (20–1,600 mg). Assuming that the concentration of carbamazepine in drinking water is 100 ng/l, that 3 litres of drinking water are consumed per day and that the duration of a life is 80 years, the intake of carbamazepine would amount to 8.76 mg per day during an entire life time. This suggests that the intake of small traces of carbamazepine (in the nanogramme range) in drinking water does not constitute a risk to human health (Kostich from EPA 2005).

Currently there are no regulations concerning the occurrence of pharmaceutical products in drinking water which, nevertheless, must be safe to drink or use without putting human health at risk and must not contain quantities or concentrations of any substances that may present a threat to human health (Federal Legal Gazette II 304/2001). The value recommended by the drinking water commission in Germany (TWK of the Federal Ministry of Health and Social Security at the Federal Environment Agency) as precautionary upper concentration limit (in the sense of a “pragmatic health orientation value” GOW) for “substances commonly found in drinking water that cannot, or only partially, be evaluated in human-toxicological terms” is 100 ng/l (0.1 µg/l) (UMWELTBUNDESAMT BERLIN 2003). It should be noted however that this value cannot replace a well-founded risk assessment.

The results for the concentrations measured in the course of this study show that the substances carbamazepine and caffeine are not ubiquitous in groundwater.

As for carbamazepine, no concentrations above the quantification limit were measured at 8 out of 10 “largely unpolluted monitoring stations” (note: the classification “largely unpolluted” was based on already available Water Quality Monitoring Ordinance data). At one of the measuring stations concentrations of 2.1 and 2.6 ng/l of carbamazepine were measured, at another one a one-off concentration of 24 ng/l was measured.

Overall, carbamazepine was measured in concentrations below the quantification limit at 29 out of the 56 monitoring stations that were investigated. At 18 monitoring stations, carbamazepine concentrations ranging up to 10 ng/l were measured, and at 8 monitoring stations concentrations were between 10 and 30 ng/l. At one monitoring station concentrations ranging up to 2,660 ng/l were measured.

### ***Potential risk to drinking water***

### ***Legal regulations for drinking water***

### ***Carbamazepine and caffeine in groundwater***



With the exception of this particular monitoring station, the carbamazepine concentrations measured in this study were thus below the PNEC value of 2,500 ng/l, and below the precautionary upper limit for drinking water, as recommended by the German drinking water commission, of 100 ng/l. Since concentrations of other parameters were also found at this particular monitoring site, the specialist department at the official governmental authority of the relevant federal province has already arranged for further investigations and informed the owner that the water is not suitable for drinking purposes.

Overall, caffeine was more often found in concentrations above the quantification and detection limits than carbamazepine. The results of the investigation point to sources of caffeine inputs other than wastewater (e. g. compost heaps, agricultural application of the contents of septic tanks). It was noted that the caffeine concentrations at the same measuring sites varied, sometimes considerably, during the sampling quarter (between the quantification limit and 260 ng/l).

***Suitability for use  
as screening  
parameters***

Carbamazepine seems to be suitable for use as an indicator of groundwater contamination from

- leakages in municipal sewage networks and
- infiltration of municipal wastewater (after biological as well as mechanical purification).

For the identification of wastewater from leaky septic tanks and small-scale sewage treatment systems or the agricultural utilisation of waste water Carbamazepin is suitable only to a limited extent, in case an inhabitant uses the substance Carbamazepin.

Caffeine was found to be suitable, with limitations, for use as an indicator parameter. Caffeine degrades well. Input sources other than wastewater are possible. An analysis in combination with carbamazepine is nevertheless useful as it is conducted with the same method.

***Recommendations***

In addition to this investigation, the Umweltbundesamt recommends in situ investigations at monitoring stations with elevated concentrations, and the development of local conceptual models. There were no provisions for in situ investigations in the pilot project.

Because of its low degradability, its reproduction-toxic effects and its potential additive effects in the presence of other pharmaceutical products, carbamazepine concentrations in the environment should be observed and further toxicological data should be collected (BLAC 2003, RTECs 2005).





# INHALT

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	3
<b>SUMMARY</b> .....	6
<b>1 EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG</b> .....	11
<b>2 EIGENSCHAFTEN/VERWENDUNG/VERHALTEN/VORKOMMEN</b> .....	12
<b>2.1 Carbamazepin</b> .....	12
2.1.1 Eigenschaften und Verwendung.....	12
2.1.2 Verhalten und Vorkommen in der aquatischen Umwelt.....	13
<b>2.2 Koffein</b> .....	16
2.2.1 Eigenschaften und Verwendung.....	16
2.2.2 Verhalten und Vorkommen in der aquatischen Umwelt.....	16
<b>2.3 Eintragspfade von Carbamazepin und Koffein in das Grundwasser</b> ....	17
<b>3 MESSSTELLEN-AUSWAHL UND VOREINSTUFUNG</b> .....	19
<b>4 METHODIK UND MESSGENAUIGKEIT</b> .....	21
<b>5 AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE</b> .....	22
<b>5.1 Vorkommen von Carbamazepin und Koffein im Grundwasser</b> .....	22
<b>5.2 Übereinstimmung der erhobenen Messwerte mit der Voreinstufung der Messstellen</b> .....	24
5.2.1 Übereinstimmung mit den als „weitgehend unbelastet“ eingestuften Messstellen.....	25
5.2.2 Übereinstimmung mit den als „abwasserbeeinflusst“ eingestuften Messstellen.....	26
5.2.3 Übereinstimmung mit den als „landwirtschaftlich belastet“ eingestuften Messstellen.....	29
5.2.4 Zusammenfassende Darstellung der Übereinstimmung der Messergebnisse mit der Voreinstufung .....	30
<b>6 RESÜMEE/EMPFEHLUNGEN</b> .....	31
<b>7 LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	34





# 1 EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen des Pilotprojektes wurden Grundwassermessstellen, die im Rahmen der Wassergüte-Erhebungsverordnung (WGEV) beprobt werden, auf die Substanzen Carbamazepin und Koffein untersucht, um zu testen,

- ob die Wirkstoffe im Grundwasser nachzuweisen sind und
- ob sie sich als Indikator für Verunreinigungen des Grundwassers durch kommunale Abwässer eignen.

Anlass für die Untersuchungen war, dass diese Substanzen international bereits als Leitparameter für Fließgewässer betrachtet werden. Sie wurden im Rahmen des Joint Danube Survey in allen vom Umweltbundesamt untersuchten Wasserproben nachgewiesen (KREUZINGER et al. 2001). Im Fall der Eignung von Carbamazepin und Koffein als Indikatoren für Verunreinigungen des Grundwassers durch häusliche Abwässer können Aussagen über die Herkunft der Verunreinigungen unterstützt werden.

Für die Untersuchung wurden insgesamt 56 WGEV-Grundwassermessstellen ausgewählt. Die Auswahl erfolgte basierend auf vorhandenen Grundwasser-Qualitätsdaten und sollte Messstellen umfassen, die folgenden Klassen zugeordnet werden können:

- weitgehend unbelastete Messstellen,
- Messstellen mit Belastungen durch Abwasser und
- Messstellen mit Belastungen aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung (Punktquellen und diffuse Quellen).

An den ausgewählten WGEV-Messstellen wurden im 3. und 4. Quartal 2004 sowie zur Evaluierung teilweise auch im 2. Quartal 2005 Carbamazepin- und Koffein-Gehalte gemessen. Die Beprobung wurde im Rahmen der WGEV-Probenahme durchgeführt. Parallel dazu wurde eine Literaturstudie mit dem Schwerpunkt „Verhalten der Substanzen in Kläranlagen und im Untergrund“ durchgeführt.

Das Vorkommen der Substanzen Carbamazepin und Koffein im Grundwasser und die Übereinstimmung der Messergebnisse mit der Voreinstufung als (un)belastet wurden im Anschluss ausgewertet. Als Informationsgrundlage für die Interpretation der Ergebnisse wurden weitere Berechnungen durchgeführt. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass im Rahmen der vorliegenden Untersuchung Vor-Ort-Erhebungen nicht vorgesehen waren und auch nicht durchgeführt wurden.

In Abhängigkeit von naturräumlichen Faktoren bzw. Nutzungen (z. B. Hydrogeologie, Entnahmen, Landnutzung, Klima) können die Grundwasserverhältnisse und somit auch die Stoffkonzentrationen an den untersuchten Messstellen Schwankungen unterliegen, die im Rahmen des Projekts nicht berücksichtigt wurden.

*Hinweis:* Konzentrationsangaben erfolgen grundsätzlich in ng/l.

Verwendete Abkürzungen:

BG: Bestimmungsgrenze

NG: Nachweisgrenze

MST: Messstelle



## 2 EIGENSCHAFTEN/VERWENDUNG/VERHALTEN/VORKOMMEN

Die Ergebnisse einer Literaturrecherche für Carbamazepin und Koffein mit dem Schwerpunkt Eigenschaften und Verwendung sowie Verhalten und Vorkommen in der aquatischen Umwelt werden im Folgenden dargestellt. Weitere Literaturhinweise sind der Literaturliste zu entnehmen.

### 2.1 Carbamazepin

#### 2.1.1 Eigenschaften und Verwendung

**Einsatz** Carbamazepin ist einer der weltweit am häufigsten verwendeten Wirkstoffe gegen Epilepsie und unter Handelsnamen wie z. B. Tegretal<sup>®</sup>, Timonil<sup>®</sup>, Finlepsin<sup>®</sup> und Sirtal<sup>®</sup> erhältlich. Darüber hinaus wird der Wirkstoff zur medikamentösen Behandlung von Trigeminusneuralgie (Gesichtsschmerz) und als Antidepressivum eingesetzt. In Österreich lag die Verbrauchsmenge von Carbamazepin 1997 bei circa 6,3 Tonnen (SCHARF et al. 2002). In Deutschland betrug die Verkaufsmenge 2001 circa 87,6 Tonnen (BLAC 2003).

Carbamazepin ist der Wirkstoffklasse der Harnstoffderivate zuzuordnen. Die Substanz ist ein farbloses, weiß bis schwach gelblich-weiß erscheinendes, kristallines Pulver (HARTKE & MUTSCHLER 1993). Die Tagesdosis liegt zwischen 200 und 1.600 mg pro Tag (MERSMANN 2003).

Der Wirkstoff unterliegt im Körper enzymatischen Umwandlungsprozessen. Der Hauptabbauweg führt über den noch biologisch aktiven Primärmetaboliten Carbamazepin-10,11-epoxid zum inaktiven Trans-10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin (MERSMANN, 2003). 2–3 % des Wirkstoffes werden unverändert im Harn ausgeschieden (FENZ et al. 2005).

#### **Abbau- und Sorptionsverhalten**

Die Ergebnisse von Säulenversuchen lassen auf einen allenfalls geringen Abbau und eine hohe Mobilität von Carbamazepin schließen. Die Substanz weist nur schwache Sorptionswirkungen auf (Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient:  $\log K_{ow}$ : 2,25–2,45). Die Sorption von Carbamazepin an den Sedimenten ist stark von der organischen Substanz abhängig (MERSMANN 2003). In reiner wässriger Lösung bleibt die Substanz im pH-Bereich von 0 bis 12 relativ stabil. Unter Lichteinwirkung erfolgt ein photochemischer Abbau zu Cyclobutyl-Dimeren (MERSMANN 2003).

Ein Grund für die schlechte Abbaubarkeit von Arzneimitteln besteht darin, dass diese entwickelt wurden, um im Körper unverändert zum Wirkort zu gelangen (BLAC 2003).

Für Carbamazepin wurde im Labor eine Halbwertszeit von 1.712 Tagen – das heißt von fast fünf Jahren – ermittelt (FTE-INFO 2004; Anmerkung: der Begriff Halbwertszeit entspricht jener Zeit, die für den natürlichen Abbau der Hälfte der Moleküle notwendig ist).



## 2.1.2 Verhalten und Vorkommen in der aquatischen Umwelt

Carbamazepin unterliegt in Kläranlagen keinem nennenswerten Rückhalt durch Adsorption oder Abbau (CLARA et al. 2004). Untersuchungen von FRIEDRICH & RIES (2003) an zwei kommunalen Kläranlagen in Nordrhein-Westfalen ergaben ebenfalls keine Eliminierung von Carbamazepin. Die Substanz zeigt also ein ausgeprägt persistentes Verhalten in der aquatischen Umwelt (geringfügiger Abbau in Kläranlagen bzw. im Untergrund).

### ***Kläranlagen***

Im Zu- und Ablauf größerer Kläranlagen wird in der Regel eine Carbamazepin-Konzentration von 1.000 ng/l gemessen (FENZ et al. 2005). Da statistisch gesehen nur jeder 500. Einwohner Österreichs den Wirkstoff einnimmt (BMLFUW 2004), kann angenommen werden, dass Carbamazepin im Abwasser von Senkgruben und Kleinkläranlagen nicht immer nachweisbar ist.

Die höchsten Gehalte an Carbamazepin im kommunalen Abwasser wurden von SACHER et al. (1997) mit 46.000 ng/l erhoben (MERSMANN 2003). Im Abwasser einer deutschen Kläranlage in der Nähe von Frankfurt/Main betragen die Konzentrationen bis zu 6.300 ng/l (TERNES 1998). MÖHLE et al. (1999) konnten in Stuttgarter Kläranlagenabläufen Carbamazepin in Konzentrationen von 150 bis 1.760 ng/l messen. Im Ablauf von kanadischen Klärwerksanlagen wiesen METCALF et al. (2000) Carbamazepin-Konzentrationen von 500 bis 1.000 ng/l nach.

In den letzten Jahren wurden zahlreiche Studien zur Erfassung von Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln durchgeführt. Beispielsweise führte der Bund/Länderausschuss für Chemikaliensicherheit (BLAC) in Deutschland von 2000 bis 2003 eine umfangreiche Studie zum Vorkommen von Arzneimitteln in der Umwelt durch (BLAC 2003). Bundesweit wurden dabei etwa 700 Proben (Kläranlagenzu- und -abläufe, Flüsse, Uferfiltrat, Grundwässer, Deponiesickerwässer) und 250 Messstellen auf bis zu 39 Arzneimittel analysiert. Carbamazepin erwies sich als eines der am häufigsten detektierten Arzneimittel in Oberflächengewässern und wurde auch in Grundwässern nachgewiesen. Im Rahmen des Joint Danube Survey wurden Wasserproben der Donau auf zahlreiche Arzneimittel untersucht – Carbamazepin war in den Proben aller untersuchten Probenahmestellen nachweisbar. Die maximale Konzentration betrug 200 ng/l (KREUZINGER et al. 2001).

### ***Oberflächen- gewässer***

Laborversuche über das Verhalten von Carbamazepin in der gesättigten bzw. ungesättigten Zone unter möglichst naturnahen Bedingungen hatten eine verzögerte Ausbreitung von Carbamazepin mit einem Retardationsfaktor von 2,8–3,3 (wassergesättigt) und 1,9 (wasserungesättigt) zum Ergebnis. Das Abbauverhalten in der wassergesättigten Zone liegt unter aeroben Bedingungen zwischen 0 und 20 % (MERSMANN 2003).

### ***(Un)gesättigte Zone/Uferfiltrat***

Carbamazepin kann von kontaminierten Fließgewässern und Seen in das Uferfiltrat gelangen. Die Substanz weist in der (un)gesättigten Zone und im Uferfiltrat eine hohe Mobilität auf (FENZ et al. 2005). In BLAC (2003) wurde Carbamazepin im Uferfiltrat häufig nachgewiesen (bei einer maximalen Konzentration von ca. 200 ng/l). Das Vorhandensein von Carbamazepin im Uferfiltrat kann Rückschlüsse auf Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Grundwässern geben.



**Grundwasser** Eine brunneninduzierte Bodenpassage von Carbamazepin-haltigem Wasser in Colorado führte bei Fließzeiten bis zu sechs Jahren nicht zur Entfernung der Arzneimittelrückstände (DREWES et al. 2003). In Colorado konnte Carbamazepin in Konzentrationen bis 610 ng/l im Grundwasser nachgewiesen werden (DREWES et al., 2001). In einem Fall war Carbamazepin in Grundwassermessstellen detektierbar, obwohl es im Ablauf der nahen Kläranlage nicht nachzuweisen war. Die Autoren wiesen darauf hin, dass aufgrund der langen Verweilzeit von Carbamazepin weitere Studien nötig sind, um das mögliche Risiko durch Exposition von Carbamazepin durch das Trinkwasser für die menschliche Gesundheit zu untersuchen.

Naturnah betriebene Modellsysteme der künstlichen Grundwasseranreicherung zeigten ebenso nur eine geringe Eliminierung von Carbamazepin (PREUSS et al. 2001).

Modellierungen der Fließstrecken von Carbamazepin (BMLFUW 2004) ergaben Folgendes:

Bei einer Konzentration von 1.000 ng/l Carbamazepin im Abwasser und 600 Liter Abwasser pro Tag, das über Versickerungsbrunnen ins Grundwasser versickert, wird – in Abhängigkeit vom Grundwasserleiter – in Grundwässern der Molassezone bzw. tertiärer Becken

- nach längstens 150 Metern Fließstrecke eine Konzentration von 10 ng/l und
- nach längstens 650 Metern Fließstrecke eine Konzentration von 1 ng/l (= Bestimmungsgrenze)

Carbamazepin erreicht (BMLFUW 2004).

Im Rahmen der Quantifizierung der Exfiltration aus undichten Kanalnetzen durch Analyse der Carbamazepin-Konzentrationen in Abwasser und Grundwasser in der Landeshauptstadt Linz (FENZ et al. 2005) wurden in Bereichen des Untersuchungsgebietes mit deutlich erhöhter Grundwasserbelastung durch Abwasser 10 bis 103 ng/l (durchschnittlich 30 ng/l) Carbamazepin gemessen.

**Trinkwasser** Untersuchungen aus Deutschland und den USA zeigen, dass einige Pharmazeutika im Trinkwasser aus Uferfiltrat nachweisbar sind (HEBERER & REDDERSEN 2001). Carbamazepin war im Oberflächengewässer (Wannsee/Berlin) in einer Konzentration von 235 ng/l nachweisbar, in nahe liegenden Grundwassermessstellen bis 36 ng/l und schließlich an der Trinkwasserquelle in einer Konzentration von 20 ng/l.

**Ökotoxikologie** Die seit längerer Zeit bestehenden Richtlinien für die ökotoxikologische Risikobewertung von (Industrie)Chemikalien (letzte Überarbeitung TGD-RA 2003) wurden für Arzneimittel für den menschlichen Gebrauch von der Europäischen Arzneimittelagentur (EU-Richtlinie 2001/83 EC; EMEA – CHMP 2006) angepasst. Dieser Richtlinien-Entwurf betrifft die Zulassung neuer Arzneimittel. Die Abschätzung der durch Arzneimittel bedingten möglichen Risiken für die Umwelt erfolgt stufenweise und lässt sich in zwei Phasen einteilen: In der Phase I wird die Exposition durch neue Wirkstoffe erhoben, um abzuschätzen, ob die Substanz in relevanten Konzentrationen in die Umwelt gelangt. Für Humanarzneimittel nennt der Entwurf eine rechnerisch abgeschätzte Umweltkonzentration (**P**redicted **E**nvironmental **C**oncentration – PEC-Schwellenwert) von 10 ng/l (0,01 µg/l) Arzneistoff im Oberflächenwasser. Ausnahmen bestehen hier beispielsweise für endokrin wirksame Substanzen, da der Verdacht besteht, dass ein Umweltrisiko auch von sehr geringen Expositionskonzentrationen ausgehen kann. Falls die PEC diesen Schwellenwert überschreitet, wird eine Risikoabschätzung durchgeführt und in der Phase II physikalisch-chemische, pharmakologische und toxikologische Eigenschaften erhoben und schließlich mit den Expositionsdaten verknüpft. Für Carbamazepin müsste daher, um als neues Arzneimit-



tel zugelassen zu werden, eine ökotoxikologische Risikoabschätzung durchgeführt werden.

Für die Beurteilung im Hinblick auf ökotoxische Wirkungen wird auf ökotoxikologische Daten aus Tests mit Oberflächenwasserorganismen zurückgegriffen, da es keine normierten Testverfahren mit Grundwasserorganismen gibt, und angenommen werden kann, dass die Lebensgemeinschaft des Grundwassers durch das Empfindlichkeitsspektrum der Organismen in Oberflächengewässern annähernd repräsentiert ist (LAWA 2004). Die ökotoxikologische Risikobewertung (TGD-RA, 2003) orientiert sich an Ergebnissen aus akuten und/oder chronischen Wirktests, um einen Wert zu definieren, bei dem keine Schädigungen in Organismen zu erwarten sind (**Predicted No Effect Concentration – PNEC**). Dabei werden NOEC-Werte (**No Observed Effect Concentration**: Konzentration bei der in einem Organismus kein Effekt festzustellen ist) mit einem Bewertungsfaktor multipliziert, der abhängig von Qualität und Umfang der Datenlage zwischen 10 und 1.000 liegt.

Der Bund/Länderausschuss für Chemikaliensicherheit (BLAC) orientierte sich an dem NOEC-Wert für aquatische Crustacea bei chronischer Exposition von 25.000 ng/l (25 µg/l) (FERRARI et al. 2003) und ermittelte aufgrund eines Bewertungsfaktors von 10 (chronische Daten für Organismen dreier trophischer Ebenen) einen PNEC von 2.500 ng/l (2,5 µg/l). Dieser PNEC-Wert wird auch von KNACKER et al. 2006 bestätigt.

Darüber hinaus wird ein PNEC-Wert für Sediment von < 2,8 ng/g definiert, basierend auf Daten aus Sediment-Toxizitätstest mit der Zuckmückenlarve von 140 ng/g (OETKEN et al. 2005). Daraus wurde für benthische Organismen ein mögliches Risiko abgeleitet, da die im Sediment gemessenen Konzentrationen diesen Wert um das 15-fache übersteigen (KNACKER et al. 2006).

Bei Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser können Spuren von Carbamazepin im Trinkwasser enthalten sein. In Österreich wird die Qualität des Trinkwassers durch die Trinkwasserverordnung (BGBl. II 304/2001), welche die Richtlinie 98/83/EG des europäischen Rates in nationales Recht umsetzt, geregelt. Laut § 3 der Verordnung muss das Wasser geeignet sein, ohne Gefährdung der menschlichen Gesundheit getrunken oder verwendet zu werden. Das ist gegeben, wenn es Mikroorganismen, Parasiten und Stoffe jedweder Art nicht in einer Anzahl oder Konzentration enthält, die eine potenzielle Gefährdung der menschlichen Gesundheit darstellen. Die Betreiber der Wasserversorgungsanlagen sind zur Eigenkontrolle verpflichtet und müssen den zuständigen Behörden (Landeshauptmann) Befunde und Gutachten über die durchgeführten Untersuchungen zur Verfügung stellen. Dabei ist sowohl ein Mindestuntersuchungsumfang als auch eine Mindestuntersuchungshäufigkeit einzuhalten. Es werden allgemeine Parameter (Leitfähigkeit, ph-Wert, ...), diverse organische und anorganische Substanzen sowie Pestizide erhoben. Die Behörde kann den Untersuchungsumfang der Standarduntersuchung für eine Wasserversorgungsanlage erweitern und den Untersuchungsumfang und die Untersuchungshäufigkeit erforderlichenfalls erhöhen oder gegebenenfalls einzelne Parameter zusätzlich vorschreiben, um die Erhaltung oder Wiederherstellung der einwandfreien Wasserqualität zu überwachen. Darüber hinaus kann der Untersuchungsumfang für z. B. Pestizide auf Antrag des Betreibers der Wasserversorgungsanlage abweichend festgelegt werden. Arzneimittel für den menschlichen Gebrauch oder veterinärmedizinische Präparate sind im Standarduntersuchungsumfang nicht vorgesehen. Laut § 5/3 der Verordnung sind jedoch – falls aus Gründen der Sicherung der einwandfreien Beschaffenheit des Wassers weitere Stellen oder zusätzliche Probenahmen erforderlich sind, oder Grund zur Annahme besteht, dass Stoffe oder Mikroorganismen, für

### **Menschliche Gesundheit**



die keine Parameterwerte festgesetzt wurden, in einer Menge oder Anzahl vorhanden sind, die ein potenzielle Gefährdung der menschlichen Gesundheit darstellen – entsprechende zusätzliche Proben zu entnehmen oder zusätzliche Untersuchungen durchzuführen.

Die Trinkwasserverordnung wird demnächst novelliert (Stand Juli 2006).

**Vorläufiger  
Orientierungswert  
für Trinkwasser**

In Deutschland empfiehlt die Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit und soziale Sicherheit (BMGS) beim Umweltbundesamt Berlin den Wert von 100 ng/l (0,1 µg/l) für „humantoxikologisch nur teil- oder nicht bewertbare trinkwassergängige Stoffe“ als vorsorgliche Konzentrationsobergrenze im Sinne eines „pragmatischen gesundheitlichen Orientierungswertes (GOW) (UMWELTBUNDESAMT BERLIN 2003). Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass dieser Wert keine fundierte Risikoabschätzung ersetzen kann.

## 2.2 Koffein

### 2.2.1 Eigenschaften und Verwendung

**Einsatz** Koffein kommt in mehr als 60 Pflanzenarten natürlich vor – wie beispielsweise in Kaffee-, Kakao- und Teepflanzen. Es ist Bestandteil einer Vielzahl von Getränken (z. B. Kaffee, Kakao, Tee) und zahlreichen Lebensmitteln (z. B. Schokolade). Als Arzneimittel ist Koffein in Kombinationspräparaten – z. B. in Verbindung mit Schmerzmitteln – auf dem Markt. Koffein wird darüber hinaus in Produkten wie Vivarin oder Anacin eingesetzt (PEELER 2004). Künstlich wird Koffein durch Methylierung von Theobrom hergestellt (PEELER 2004).

Global beträgt der durchschnittliche Konsum von Koffein 70 mg pro Tag, unterliegt aber starken Schwankungen, so z. B. in UK 440 mg pro Tag und in der Schweiz 300 mg pro Tag (BUERGE 2003). In Kaffee wurde Koffein durchschnittlich in Konzentrationen von ca. 350 mg/l gemessen (SEILER 1999).

**Wirkung** Koffein wird im menschlichen Organismus in hohem Ausmaß metabolisiert. Nur etwa 3 % der Dosis werden in reiner Form im Urin ausgeschieden. Eine Quelle für Koffein mit wesentlich höheren Konzentrationen ist deshalb jenes Koffein, welches nicht konsumiert wurde, z. B. durch das Ausspülen von Kannen bzw. Tassen sowie das Wegleeren von koffeinhaltigen Produkten (SEILER 1999).

**Abbauverhalten** Unter Lichteinfluss weist Koffein in reinem Wasser eine Halbwertszeit von 30,5 Tagen auf. Die Stabilität des Koffeins in Proben, die dem Tageslicht bei Normaltemperatur ausgesetzt waren, betrug drei Tage (d. h. in der Probe waren nach drei Tagen noch mind. 97 % des Koffeins enthalten). Die Abbaurate wird durch Kühlung und Verdunkelung stark reduziert: Bei 5 °C war Koffein in wässriger Lösung im Dunkeln drei Wochen lang stabil, d. h. in der Probe waren nach drei Wochen noch mind. 97 % des Koffeins enthalten (PEELER 2004).

### 2.2.2 Verhalten und Vorkommen in der aquatischen Umwelt

Koffein wird in hohem Ausmaß in Kläranlagen, aber auch im Untergrund abgebaut. Die Substanz ist gemäß Literaturangaben als Indikatorparameter für Abwasserbeeinflussungen v. a. für Fließgewässer und Seen gut geeignet. Für Grundwasser bzw. Uferfiltrat liegen bislang wenige Untersuchungen vor.





Abschätzungen zufolge gelangen täglich ca. 15 mg Koffein je Einwohner in die kommunalen Kläranlagen (BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2005). Diverse Studien belegen, dass Koffeinkonzentrationen bis zu mehreren 100.000 ng/l im unbehandelten Abwasser in Kläranlagen weitgehend abgebaut bzw. eliminiert werden. SCHARF et al. (2002) konnten im Zulauf von elf kommunalen Kläranlagen sowie einer industriellen Kläranlage in Österreich einen Median der Koffein-Konzentration von 38.600 ng/l ermitteln. Der Abbau von Koffein hängt vor allem vom Schlammalter ab (Clara et al. 2004). Gemäß Seiler (1999) wurden in „septic tanks“ (auf Deutsch: Abwasserbehälter) Koffein-Konzentrationen von 100.000 bis 120.000 ng/l erhoben.

### ***Kläranlagen***

Obwohl Koffein in Kläranlagen sehr gut abgebaut wird, gelangen Rest-Konzentrationen in die Vorfluter. Im Ablaufwasser der in Österreich untersuchten Kläranlagen wurde ein Median von 700 ng/l festgestellt (SCHARF et al. 2002). Koffein kann daher als chemischer Indikator für die Reinigungsleistung der Kläranlage und für den Abwasseranteil im Gewässer herangezogen werden (BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2005).

In Schweizer Fließgewässern und Seen wurde Koffein ubiquitär in Konzentrationen zwischen 6 und 250 ng/l vorgefunden – ausgenommen sind abgelegene Bergseen (BUERGE 2003). Die Koffein-Konzentrationen in Seen korrelierten mit der Einwohnerzahl im Einzugsgebiet. Abweichungen davon können an zusätzlichen Eintragsquellen, unbekanntem Abbau-Prozessen bzw. Schwankungen im Koffein-Konsum liegen. Erhöhte Koffeinträge sind während Regenereignissen durch Direkteintrag von ungereinigtem Abwässern zu erwarten (BUERGE 2003). Koffein verhält sich in Seen chemisch stabil (Abbauvorgänge wie Photolyse bzw. biologische Abbauvorgänge sind in Seen nicht relevant). Aufgrund des guten Abbaus in Kläranlagen erhöhen selbst geringe Einträge von unbehandeltem Abwasser in Seen die Koffein-Konzentrationen merklich (BUERGE 2003).

### ***Fließgewässer und Seen***

Koffein wird auch im Untergrund abgebaut bzw. adsorbiert. Das Verhalten von Koffein im Untergrund wird nicht in erster Linie durch Sorptionsvorgänge, sondern vielmehr durch den Abbau durch Bakterien bestimmt (SEILER 1999).

### ***Untergrund und Grundwasser***

SEILER (1999) erhob Koffein-Konzentrationen im Grundwasser bis zu 230 ng/l.

## **2.3 Eintragspfade von Carbamazepin und Koffein in das Grundwasser**

Die beiden Substanzen können über Ausscheidungen, Abfälle und Restmengen über

- Kanalisation, Kläranlagen, Oberflächengewässer und Uferfiltrat sowie
- undichte Senkgruben

in das Grundwasser eingetragen werden (siehe Abbildung 1).

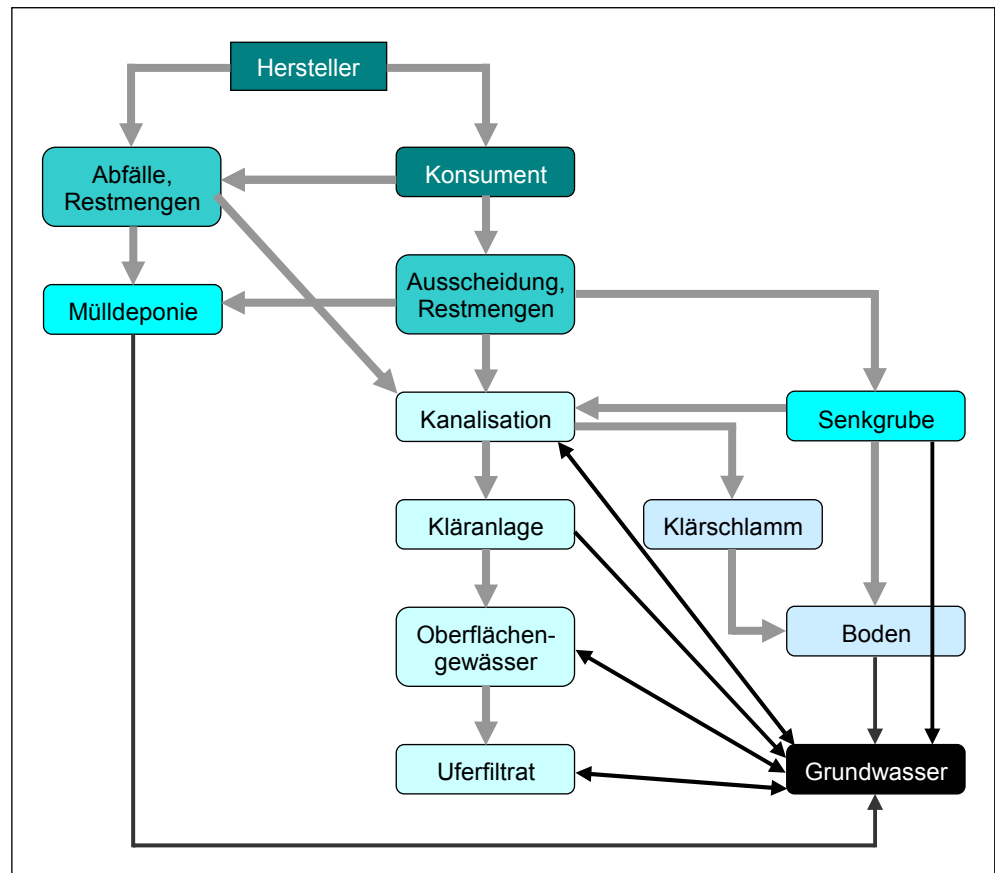


Abb. 1: Mögliche Eintragspfade von Carbamazepin und Koffein in das Grundwasser.

Folgende weitere Eintragspfade kommen in Betracht:

- Die landwirtschaftliche Ausbringung von Senkgrubeninhalten (bezüglich Carbamazepin mit der Einschränkung, dass einer der angeschlossenen Einwohner den Wirkstoff einnimmt (dieser Sonderfall tritt etwa ein Mal in 120 Fällen auf (BMLFUW 2004)),
- die Ausbringung von Klärschlamm sowie
- Deponien.



### 3 MESSSTELLEN-AUSWAHL UND VOREINSTUFUNG

In einem ersten Schritt wurden von ca. 1.800 WGEV-Grundwasser-Messstellen in Österreich im Beobachtungszeitraum 2001/2002

**Qualitätsdaten-  
Auswertung**

- 10 weitgehend unbelastete Messstellen,
- 38 Messstellen mit Belastungen durch Abwasser und
- 8 Messstellen mit Belastungen aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung (Punktquellen und diffuse Quellen)

ausgewählt, die auf Carbamazepin und Koffein untersucht werden sollten.

Die Auswahl der Messstellen erfolgte basierend auf folgenden Arbeitsschritten:

**Hauptkomponentenanalyse** (Principal Component Analysis): Mittels der Hauptkomponentenanalyse wurden ähnlich reagierende Parameter und daraus resultierend Indikatorparametergruppen für häusliches Abwasser (Bor, Chlorid, Karbonathärte, Kalium und Sulfat) sowie Belastungen aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung (Ammonium, Nitrit, Orthophosphat und DOC) ermittelt.

Zuvor wurden Korrelationsanalysen durchgeführt: Von jenen Parametern, die hohe Korrelationen (Korrelationskoeffizient größer 0,7) aufwiesen, wurde einer als Leitparameter ausgewählt und die restlichen Parameter aus der Auswertung genommen, um statistische Verzerrungen zu vermeiden.

**Clusteranalyse:** Ähnlich reagierende Messstellen – d. h. Messstellen mit sehr hohen bzw. sehr niedrigen Konzentrationen bezüglich der jeweiligen Indikatorparametergruppen – wurden identifiziert.

Zusätzlich zur Qualitätsdatenauswertung wurden bei der Messstellenauswahl Stammdaten (vor allem die „Art der Messstelle: Sonde, Bohrbrunnen, Schachtbrunnen“) berücksichtigt.

**Stammdaten-  
Auswertung**

Die Ergebnisse dieser Auswertungen führten zur Auswahl von insgesamt 56 Messstellen (davon 49 Poren- sowie 7 Karst- und Kluftgrundwassermessstellen) in den Bundesländern Oberösterreich (1 Messstelle), Niederösterreich (36 Messstellen), Burgenland (6 Messstellen) und Steiermark (13 Messstellen).

**Auswahl von  
Messstellen**

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die für die Voreinstufung herangezogenen Indikatorparameter zwar Hinweise auf Beeinflussungen durch häusliche Abwässer bzw. Belastungen aus der Landwirtschaft geben, allerdings können andere Eintragspfade ohne weitergehende Untersuchungen nicht ausgeschlossen werden.

Die Einstufung als „weitgehend unbelastet“ muss im Rahmen dieser Arbeit als relativer Begriff verstanden werden und bezieht sich auf Messstellen in den untersuchten Grundwassergebieten/Bundesländern mit relativ geringen Konzentrationen bezüglich der untersuchten Indikatorparameter.

Abbildung 2 zeigt eine Übersicht über die im Rahmen des vorliegenden Projektes untersuchten Messstellen.

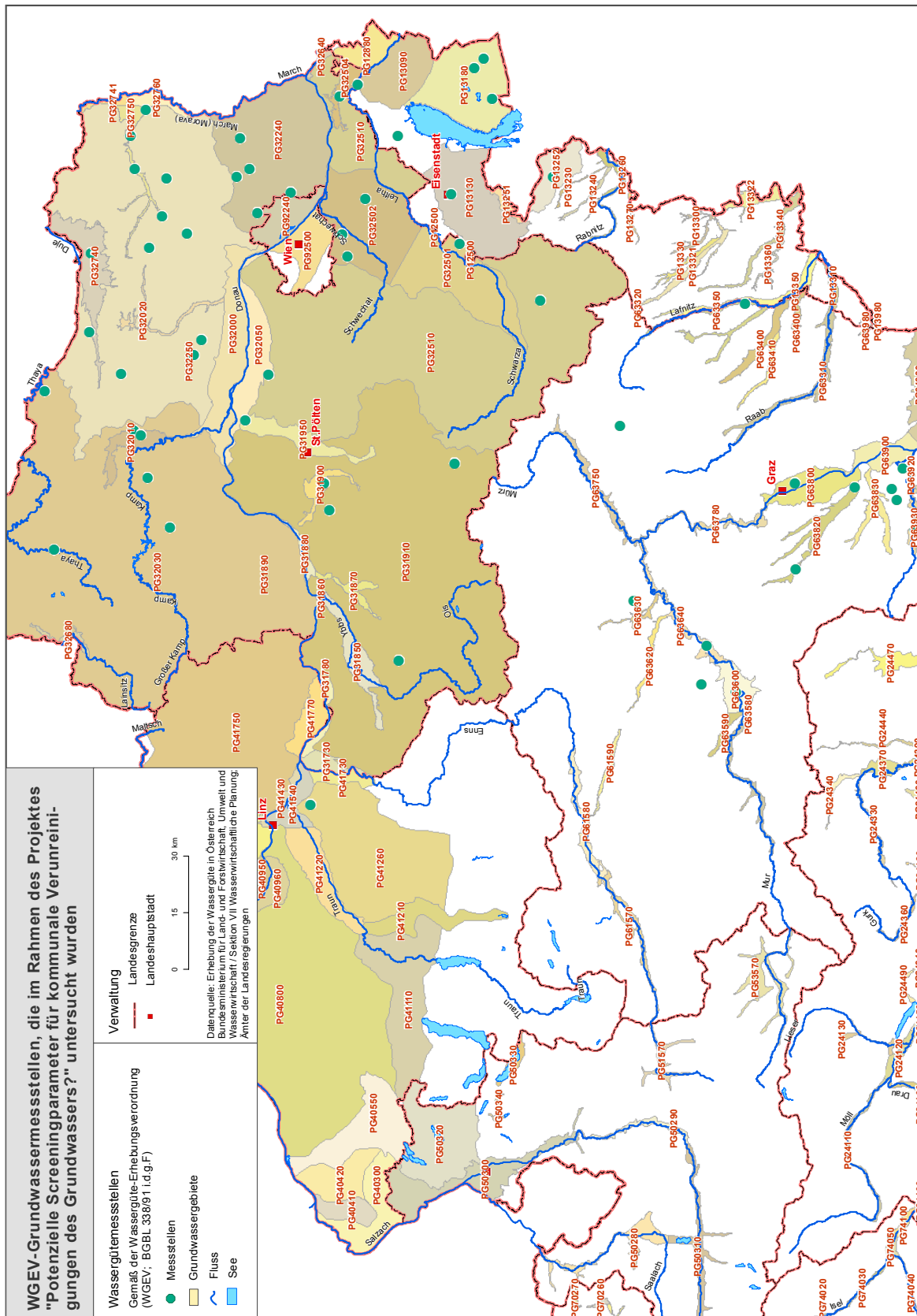


Abb. 2: Übersicht über die auf die Substanzen Carbamazepin und Koffein beprobten WGEV-Grundwasser messstellen



## 4 METHODIK UND MESSGENAUIGKEIT

Die Analysen von Carbamazepin und Koffein wurden im Labor des Umweltbundesamtes durchgeführt. Die Prüfstelle ist seit 2001 nach der internationalen Norm EN ISO/IEC 17025 akkreditiert. Die angewandte Methode zur Analytik von Carbamazepin und Koffein liegt als SOP (Standard Operating Procedure) vor.

Die Analytik der beiden Substanzen erfolgt mit derselben Methode, so dass durch die Erhebung beider Parameter keine Mehrkosten entstehen. Für Koffein gibt es darüber hinaus Isotopenstandards, anhand derer die Analysenqualität geprüft werden kann. Für Carbamazepin wird die Qualität der Analytik bei jeder Probe mit Dihydrocarbamazepin überprüft.

Folgende Arbeitsschritte sind bei der Analytik von Carbamazepin und Koffein erforderlich:

- Einstellen eines Probenaliquots auf sauren pH-Wert mit entsprechender Pufferlösung (NaAc/HAc),
- Anreicherung der Analyten mittels Festphasenextraktion (ENV + Säulchen),
- Elution mit saurem MeOH,
- Lösungsmittelwechsel zu Acetonitril/Wasser,
- Bestimmung mit der Hochleistungsflüssigchromatographie (HPLC) und Massendetektion (LC/MS/MS).

**Methodik**

Die Bestimmungsgrenzen betragen für Carbamazepin 1 ng/l und für Koffein 5 ng/l.

Die Messgenauigkeit entspricht dem Ausmaß der Übereinstimmung zwischen dem Messergebnis und einem wahren Wert der Messgröße (systematischer Fehler).

**Messgenauigkeit**

Die Präzision entspricht dem Ausmaß der gegenseitigen Annäherung voneinander unabhängiger Messergebnisse bei mehrfacher Anwendung eines festgelegten Messverfahrens unter vorgeschriebenen Bedingungen (zufälliger Fehler).

Die Messungenauigkeit, die hier berechnet wurde, beinhaltet folgende kombinierte Unsicherheiten:

- Lauf zu Lauf-Variation (Präzision) der gesamten Analyse,
- systematische Messabweichung,
- Abweichung zum wahren Wert durch systematische Fehler in der Methode,
- Unsicherheit der Referenzstandards,
- Unsicherheit der Standardherstellung etc.

Insgesamt ergibt sich eine kombinierte Messungenauigkeit für Carbamazepin von 6,5 % und für Koffein von 18 %.



## 5 AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE

Folgende Auswertungen beziehen sich auf jene 56 Messstellen, für die sowohl im 3. als auch im 4. Quartal 2004 Messwerte für Carbamazepin und Koffein erhoben wurden. Eine weitere Beprobung im 2. Quartal 2005 an 16 ausgewählten Messstellen diente der Verifizierung der Messwerte aus dem Jahr 2004.

### 5.1 Vorkommen von Carbamazepin und Koffein im Grundwasser

#### **Auswertung der erhobenen Messwerte**

Carbamazepin und Koffein wurden mit folgender Häufigkeit im Grundwasser nachgewiesen (vgl. Abbildung 3):

**Carbamazepin:** 33 % der insgesamt 112 Messwerte lagen über der Bestimmungsgrenze (1 ng/l), davon

- 25 Messwerte  $\leq 10$  ng/l (~ 22 %)
- 10 Messwerte  $> 10$  und  $\leq 100$  ng/l (~ 9 %)
- 2 Messwerte  $> 100$  ng/l (~ 2 %; an einer Messstelle)

**Koffein:** 46 % der insgesamt 112 Messwerte lagen über der Bestimmungsgrenze (5 ng/l), davon

- 26 Messwerte  $\leq 10$  ng/l (~ 23 %)
- 22 Messwerte  $> 10$  und  $\leq 100$  ng/l (~ 20 %)
- 3 Messwerte  $> 100$  ng/l (~ 3 %; an drei Messstellen).

Koffein wurde bei den vorliegenden Untersuchungen häufiger als Carbamazepin in Konzentrationen über den Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenzen nachgewiesen. Auffallend war, dass die Koffein-Konzentrationen an denselben Messstellen in den beprobten Quartalen zum Teil beträchtlich variierten (zwischen Bestimmungsgrenze und 260 ng/l). Die Maximalkonzentration lag für Carbamazepin bei 2.660 ng/l und für Koffein bei 260 ng/l.

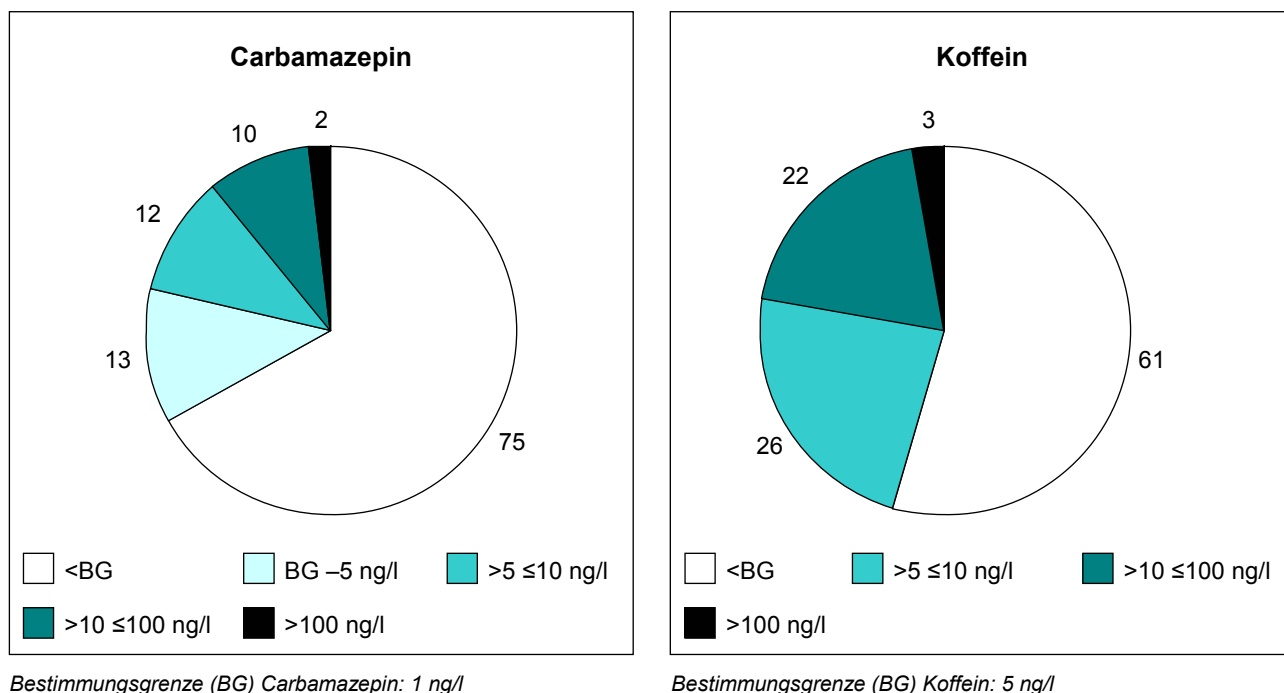


Abb. 3: Häufigkeit der Messwerte (absolut) für Carbamazepin und Koffein in Klassen. (Datenbasis: 56 Messstellen mit Messwerten an Carbamazepin und Koffein im 3. und 4. Quartal 2004).

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die Ergebnisse der Auswertungen für Carbamazepin und Koffein je Parameter und Quartal.

Tab. 1: Anzahl der Messwerte je Substanz und Beprobung in Klassen; in Klammer: Angaben in %, bezogen auf 56 Messwerte je Parameter und Quartal.

	CARBAMAZEPIN		KOFFEIN	
	3. Quartal '04	4. Quartal '04	3. Quartal '04	4. Quartal '04
< BG/NG	35 (63 %)	40 (71 %)	35 (63 %)	26 (46 %)
> BG/NG ≤ 10 ng/l	12 (21 %)	13 (23 %)	14 (25 %)	12 (21 %)
> 10 ≤ 30 ng/l	6 (11 %)	1 (2 %)	4 (7 %)	16 (29 %)
> 30 ≤ 100 ng/l	2 (4 %)	1 (2 %)	0 (0 %)	2 (4 %)
> 100 ng/l	1 (2 %)	1 (2 %)	3 (5 %)	0 (0 %)

An neun der insgesamt 56 Messstellen wurde weder Carbamazepin noch Koffein nachgewiesen. Die restlichen Messstellen zeigten bei zumindest einer Beprobung einen positiven Nachweis an Carbamazepin bzw. Koffein. An einer Messstelle konnten beide Substanzen bei beiden Beprobungen über den Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenzen nachgewiesen werden. Die Nachweise der beiden Substanzen in Konzentrationen über den Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenzen liegen vor allem für Koffein heterogen über die Messstellen verteilt. Koffein unterliegt über der Gesamtheit der erhobenen Messwerte höheren Schwankungen als Carbamazepin.

Ein ubiquitäres Vorkommen von Carbamazepin bzw. Koffein im Grundwasser wurde nicht festgestellt.

**Verteilung der Messwerte auf die beprobten Messstellen**

**Ergebnis**



Bei Vergleich der Carbamazepin-Konzentrationen der vorliegenden Studie mit dem PNEC-Wert von 2.500 ng/l (BLAC 2003; KNACKER et al. 2006) zeigt sich, dass mit Ausnahme einer Messstelle alle Werte unterhalb des PNEC-Wertes liegen und somit derzeit kein Risiko für die Umwelt durch Carbamazepin im Grundwasser abgeleitet werden kann. In einem Fall ist ein Risiko nicht auszuschließen. Da an dieser Messstelle auch Belastungen mit anderen Parametern festgestellt worden sind, hat die Fachabteilung beim Amt der zuständigen Landesregierung diesbezüglich bereits weitere Untersuchungen veranlasst und den Eigentümer informiert, dass das Wasser nicht zum Genuss tauglich ist.

## 5.2 Übereinstimmung der erhobenen Messwerte mit der Voreinstufung der Messstellen

### **Prüfung der Eignung der Substanzen als Screeningparameter**

Die Eignung von Carbamazepin und Koffein als Screeningparameter für Abwasserbelastungen des Grundwassers wurde anhand der Übereinstimmung mit der Voreinstufung als belastete bzw. weitgehend unbelastete Messstellen geprüft.

Als **Hypothesen** gelten:

- An weitgehend unbelasteten Messstellen sowie Messstellen mit Belastungen durch die Landwirtschaft werden die Substanzen nicht nachgewiesen.
- An abwasserbeeinflussten Messstellen werden beide Substanzen in Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze gemessen.

### **Informationsgrundlage für die Interpretation der Daten**

Als Informationsgrundlage für die Interpretation der Ergebnisse wurden darüber hinaus folgende Auswertungen herangezogen:

- Lage der Messstellen (ÖK 50, Bundesländer-GIS)
  - im Siedlungsgebiet (wenn ja: zentrale Abwasserentsorgung vorhanden?)
  - im Ackerland
  - nahe Fließgewässern (Uferfiltrat?).
- Berechnungen
  - Korrelationsrechnungen mit anderen WGEV-Parametern (allg. Verschmutzungsparameter wie Bor, Ammonium, Orthophosphat etc., CKW, AOX)
  - Einfache Mischungsrechnungen (Bor, Carbamazepin)
  - Piper-Furtak Diagramme.
- Stammdaten (Art der Messstellen, Beeinflussungen aus der Umgebung, Probenahme, Messstellenskizze, Lageplan)
- Literaturrecherche
- Vereinzelte Anfragen bei den Ämtern der Landesregierungen betreffend Messstellen
- Bewertung der Untersuchungsergebnisse je Messstelle.

Es wird nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die für die Einstufung herangezogenen Indikatorparameter zwar Hinweise auf Beeinflussungen durch häusliche Abwässer bzw. Belastungen aus der Landwirtschaft geben, allerdings können andere Eintragspfade ohne weitergehende Untersuchungen nicht ausgeschlossen werden.





### 5.2.1 Übereinstimmung mit den als „weitgehend unbelastet“ eingestuften Messstellen

Die Auswertungen zeigen, dass sich für **Carbamazepin** an den als weitgehend unbelastet eingestuften Messstellen eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten ergibt:

#### **Carbamazepin**

- An 8 von 10 „weitgehend unbelasteten Messstellen“ konnten **keine** Carbamazepin-Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.
- An Messstelle MST-10 (siehe Tab. 2) wurden Carbamazepin-Konzentrationen im Bereich der Bestimmungsgrenze (1 ng/l) gemessen, jedoch kein Koffein: Möglicherweise kann an dieser Messstelle eine Abwasserbeeinflussung aufgrund der hohen Verdünnung mit konventionellen Indikatoren nicht mehr nachgewiesen werden, während ein Nachweis von Carbamazepin aufgrund der niedrigen Bestimmungsgrenze (1 ng/l) noch möglich ist.
- An Messstelle MST-9 (siehe Tab. 2) wurden eine einmalige Konzentration von 24 ng/l Carbamazepin sowie Koffein-Konzentrationen bis zu 27 ng/l erhoben: Eine Ursache für diese Beobachtung kann im Rahmen der vorliegenden Auswertungen nicht ermittelt werden. Weitergehende Untersuchungen sind zweckmäßig.

**Koffein** wurde an 7 der 10 weitgehend unbelasteten Messstellen zwischen der Bestimmungsgrenze (5 ng/l) und 29 ng/l gemessen:

#### **Koffein**

- Diese Ergebnisse geben einen Hinweis darauf, dass andere Eintragsquellen als Abwasser in Frage kommen – wie beispielsweise Komposthaufen (auf denen im ländlichen Raum häufig Kaffeesud verwertet wird) oder Senkgrubeneinhalte, die landwirtschaftlich ausgebracht wurden.
- Aufgrund des negativen Nachweises von Carbamazepin kommen größere kommunale Kläranlagen als Eintragsquelle an diesen Messstellen vermutlich nicht in Frage.
- Unter der Annahme, dass bereits ein hoher Verdünnungsgrad des Abwassers im Grundwasser besteht, können Abwasserbeeinflussungen durch Senkgruben bzw. Kleinkläranlagen an diesen Messstellen nicht ausgeschlossen werden. Da Koffein im Untergrund nicht persistent ist und andere Eintragsquellen als Abwasser denkbar sind, wären diesbezüglich weitergehende Untersuchungen (wie z. B. Vorort-Erhebungen, Recherche der Hydrogeologie im Umfeld der Messstelle etc.) zweckmäßig.



**Messwerte** Tabelle 2 zeigt die an den als unbelastet eingestuften Messstellen erhobenen Carbamazepin- und Koffeinkonzentrationen im 3. und 4. Quartal 2004 bzw. die Ergebnisse der Evaluierung im 2. Quartal 2005.

Tab. 2 Erhobene Messwerte für Carbamazepin und Koffein an den als weitgehend unbeeinflusst eingestuften Messstellen

Messstellen- Nummer (int. Projektnr.)	Carbamazepin			Koffein		
	3.Quartal 2004	4.Quartal 2004	Evaluierung 2005	3.Quartal 2004	4.Quartal 2004	Evaluierung 2005
MST-1	n. n.	n. n.		n. n.	29	
MST-2	n. n.	n. n.		n. n.	n. n.	
MST-3	n. n.	n. n.		< 5	n. n.	
MST-4	n. n.	n. n.	n. n.	7,4	19	13
MST-5	n. n.	n. n.		5,1	n. n.	
MST-6	n. n.	< 1		n. n.	7,8	
MST-7	n. n.	< 1		< 5	5,6	
MST-8	< 1	< 1	< 1	9,6	< 5	n. n.
MST-9	24	n. n.	n. n.	27	10	20
MST-10	2,1	2,6		< 5	n. n.	

n. n.: nicht nachgewiesen

<: Messwert kleiner als die jeweilige Bestimmungsgrenze

### 5.2.2 Übereinstimmung mit den als „abwasserbeeinflusst“ eingestuften Messstellen

An den 38 als abwasserbeeinflusst eingestuften Messstellen wurden typische Abwasserindikatorparameter wie Bor, Kalium, Sulfat etc. in erhöhten Konzentrationen gemessen.

#### Carbamazepin und Koffein

Folgende Übereinstimmung ergab sich mit den Messwerten für Carbamazepin bzw. Koffein:

- An 19 der insgesamt 38 Messstellen wurden Carbamazepin-Konzentrationen bis zu 30 ng/l gemessen. An 11 dieser Messstellen wurde neben Carbamazepin auch Koffein zumindest einmalig in Konzentrationen bis zu 29 ng/l erhoben. Hier kann auf eine Abwasserbeeinflussung geschlossen werden. Als Verursacher können folgende Eintragsquellen in Frage kommen:
  - **Porengrundwasser:** Verunreinigungen durch undichte Abwasserkanäle bzw. größere kommunale Kläranlagen (dieser Rückschluss basiert u. a. auf Berechnungen des Abwasseranteils im Grundwasser mittels einfacher Mischungsrechnungen für Carbamazepin und Bor).  
*Hinweis:* Konzentrationen im Bereich der Bestimmungsgrenzen sollten nicht überinterpretiert werden.
  - **Karstgrundwassermessstellen:** Verunreinigungen durch Schutz-/Jagdhütten bzw. Gastwirtschaften: Drei Karstgrundwassermessstellen wiesen Carbamazepin-Konzentrationen bis zu 15 ng/l und Koffein-Konzentrationen bis zu 21 ng/l auf.



- Messstelle MST-11 weist ein Konzentrationsniveau von durchschnittlich 2.000 ng/l Carbamazepin auf – d. h. doppelt so viel Carbamazepin wie durchschnittlich in Abwasserkanälen gemessen wird. Dies kann einen Hinweis auf Einträge durch eine undichte Senkgrube bzw. einen undichten Hausanschluss oder -Kanal geben: durch die geringe Verdünnung sind hohe Carbamazepin-Konzentrationen möglich. Die Eintragsquelle liegt vermutlich im Nahbereich der Messstelle. Koffein wurde an dieser Messstelle bis zu 29 ng/l gemessen. Weitergehende Untersuchungen über die Ursache der hohen Carbamazepin-Konzentrationen werden empfohlen. Da an dieser Messstelle Belastungen mit anderen Parametern festgestellt worden sind, hat die Fachabteilung beim Amt der zuständigen Landesregierung diesbezüglich bereits weitere Untersuchungen veranlasst und den Eigentümer informiert, dass das Wasser nicht zum Genuss tauglich ist.
- An 12 Messstellen wurde kein Carbamazepin, jedoch Koffein nachgewiesen: Diese Beobachtung kann möglicherweise einen Hinweis auf Belastungen durch Senkgruben bzw. Kleinkläranlagen geben: Carbamazepin ist – wie bereits erwähnt – in Senkgruben bzw. Kleinkläranlagen nicht unbedingt vorhanden. Andere Eintragsquellen als Abwasser können nicht ausgeschlossen werden.
- An 6 Messstellen wurde weder Carbamazepin noch Koffein gemessen. Andere Belastungen als Abwasser bzw. die eingeschränkte Eignung von Carbamazepin (die Substanz ist nicht unbedingt in allen Abwässern enthalten) und Koffein (verhält sich nicht konservativ im Untergrund) könnten an diesen Messstellen ursächlich für die Verschmutzung sein. Der Einsatz von Carbamazepin bedingt, dass trotz seiner häufigen Verwendung nicht davon ausgegangen werden kann, dass sich die Substanz in allen Abwässern von Senkgruben bzw. Kleinkläranlagen befindet bzw. sind die Konzentrationen unterschiedlich hoch (BMLFUW 2004). Koffein andererseits wird v. a. in Kläranlagen (siehe SCHARF et al. 2002), aber auch im Untergrund, abgebaut bzw. adsorbiert – d. h. es weist kein konservatives Verhalten auf (SEILER 1999).

Tabelle 3 beinhaltet die an den als abwasserbeeinflusst eingestuften Messstellen erhobenen Konzentrationen an Carbamazepin und Koffein.

### **Messwerte**



Tab. 3: Erhobene Messwerte für Carbamazepin und Koffein an den als abwasserbeeinflusst eingestuften Messstellen.

Messstellen- Nummer (int. Projektnr.)	Carbamazepin			Koffein		
	3.Quartal 2004	4.Quartal 2004	Evaluierung 2005	3.Quartal 2004	4.Quartal 2004	Evaluierung 2005
MST-11	2.060	2.660	1.340	n. n.	29	n. n.
MST-12	30	9,7		n. n.	29	
MST-13	26	5,4	n. n.	13	n. n.	< 5
MST-14	25	< 1	< 1	8,8	11	8,9
MST-15	12	16	2,0	n. n.	n. n.	< 5
MST-16	7,8	n. n.		n. n.	26	
MST-17	7,6	8,9		n. n.	< 5	
MST-18	6,9	n. n.		8,2	n. n.	
MST-19	6,1	n. n.		n. n.	6,9	
MST-20	5,4	6,2		n. n.	n. n.	
MST-21	2,5	< 1		n. n.	< 5	
MST-22	2,2	3,0		n. n.	5,4	
MST-23	1,3	< 1		n. n.	< 5	
MST-24	1,2	2,3		< 5	< 5	
MST-25	1,2	n. n.		6,6	6,9	
MST-26	n. n.	7,7		8,4	n. n.	
MST-27	n. n.	6,5		n. n.	22	
MST-28	n. n.	6,0		< 5	< 5	
MST-29	n. n.	1,5		n. n.	21	
MST-30	< 1	1,3		7,5	16	
MST-31	n. n.	n. n.	n. n.	260,0	6,3	< 5
MST-32	n. n.	< 1	n. n.	260	26	< 5
MST-33	n. n.	n. n.		14	n. n.	
MST-34	n. n.	n. n.	2,5	7,7	5,0	17
MST-35	n. n.	n. n.	n. n.	7,2	12	< 5
MST-36	n. n.	n. n.		5,1	< 5	
MST-37	n. n.	n. n.		n. n.	27	
MST-38	n. n.	n. n.		n. n.	17	
MST-39	n. n.	n. n.		n. n.	13	
MST-40	< 1	n. n.		< 5	11	
MST-41	< 1	n. n.		n. n.	10	
MST-42	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	9,6	n. n.
MST-43	n. n.	n. n.		n. n.	n. n.	
MST-44	n. n.	n. n.		n. n.	n. n.	
MST-45	n. n.	n. n.		n. n.	n. n.	
MST-46	n. n.	n. n.		< 5	n. n.	
MST-47	n. n.	n. n.		n. n.	< 5	
MST-48	n. n.	< 1		n. n.	< 5	

n. n.: nicht nachgewiesen

<: Messwert kleiner als die jeweilige Bestimmungsgrenze

### 5.2.3 Übereinstimmung mit den als „landwirtschaftlich belastet“ eingestuften Messstellen

Die Substanzen Carbamazepin und Koffein wurden auch an jenen Messstellen mit „Belastungen aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung“ nachgewiesen (typische Abwasserindikatoren – wie z. B. Bor – wurden an diesen Messstellen nicht in erhöhten Konzentrationen vorgefunden). Bei 5 von 8 Messstellen wurde sowohl Carbamazepin als auch Koffein und bei 2 weiteren Messstellen nur Koffein gemessen (siehe Tab. 4).

#### Carbamazepin und Koffein

Obwohl an diesen Messstellen typische Abwasserindikatoren nicht in erhöhten Konzentrationen auftraten, kann eine Abwasserbeeinflussung nicht ausgeschlossen werden, da die Konzentrationen im Abwasser Schwankungen unterliegen können und die Analytik für herkömmliche Indikatorparameter wie z. B. Bor nicht so empfindlich wie für Carbamazepin ist.

An jenen Messstellen mit Carbamazepin-Nachweisen im Bereich der Bestimmungsgrenze könnte es möglich sein, dass die Eintragsquellen von Carbamazepin in einiger Entfernung von der Messstelle liegen und von landwirtschaftlichen Belastungen bzw. Koffein-Einträgen aus anderen Quellen als vom Abwasser überlagert werden.

Ein weiterer möglicher Eintragspfad von Carbamazepin bzw. Koffein stellt die landwirtschaftliche Ausbringung von Senkgrubenhaltigen dar. Dies gilt für Carbamazepin nur, wenn davon ausgegangen wird, dass einer der angeschlossenen Einwohner den Wirkstoff einnimmt. Dieser Sonderfall tritt, wie bereits in Kapitel 2.3 ausgeführt, etwa 1 Mal in 120 Fällen auf (BMLFUW 2004).

An jenen beiden Messstellen, an denen Koffein (aber kein Carbamazepin) in Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze gefunden wurde, können – wie bereits bei den als unbelastet eingestuften Messstellen ausgeführt – auch andere Eintragsquellen als Abwasser in Frage kommen.

Tabelle 4 beinhaltet die an den als landwirtschaftlich belastet eingestuften Messstellen erhobenen Konzentrationen an Carbamazepin und Koffein.

#### Messwerte

Tab. 4: Erhobene Messwerte für Carbamazepin und Koffein an den als landwirtschaftlich belastet eingestuften Messstellen.

Messstellen- Nummer (int. Projektnr.)	Carbamazepin			Koffein		
	3.Quartal 2004	4.Quartal 2004	Evaluierung 2005	3.Quartal 2004	4.Quartal 2004	Evaluierung 2005
MST-49	36	43	10	210	10	n. n.
MST-50	33	n. n.		< 5	32	
MST-51	24	n. n.	n. n.	20	n. n.	n. n.
MST-52	1,2	n. n.		5,2	16	
MST-53	n. n.	1,1		6,5	58	
MST-54	< 1	n. n.		n. n.	9,6	
MST-55	n. n.	n. n.		n. n.	< 5	
MST-56	n. n.	n. n.		5,7	< 5	

n. n.: nicht nachgewiesen

<: Messwert kleiner als die jeweilige Bestimmungsgrenze



### 5.2.4 Zusammenfassende Darstellung der Übereinstimmung der Messergebnisse mit der Voreinstufung

Tabelle 5 zeigt eine zusammenfassende Darstellung der Übereinstimmung der Messergebnisse von Carbamazepin und Koffein mit der Voreinstufung anhand ausgewählter Verschmutzungsparameter.

Tab. 5: Anzahl der positiven Nachweise von Carbamazepin bzw. Koffein je Messstelle in Klassen gemäß der Voreinstufung

Voreinstufung	Anzahl MST	Anzahl MST mit zumindest 1 Nachweis von Koffein bzw. Carbamazepin	Anzahl MST mit zumindest 1 Nachweis > BG/NG		
			ausschl. Carbamazepin	Carbamazepin und Koffein	ausschl. Koffein
unbelastet	10	8	1	1	6
abwasserbeeinflusst	38	32	7	13	12
landwirtschaftlich belastet	8	7	0	5	2
<b>Summe MST</b>	<b>56</b>	<b>47</b>	<b>8</b>	<b>19</b>	<b>20</b>

MST: Messstellen

> BG/NG: größer Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenze

Aus Tabelle 5 geht hervor, dass Carbamazepin nur an 2 von 10 weitgehend unbelasteten Messstellen in Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze gemessen wurden. An einer Messstelle wurden Konzentrationen von 2,1 und 2,6 ng/l und an einer weiteren Messstelle wurde einmalig eine Konzentration von 24 ng/l Carbamazepin gemessen. Koffein wurde an 7 von 10 weitgehend unbelasteten Messstellen in Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze gemessen.

Insgesamt wurde Carbamazepin an 29 der 56 untersuchten Messstellen in Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze und an 27 Messstellen in Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze gemessen. An 20 von 38 als abwasserbeeinflusst eingestuften Messstellen erfolgte zumindest ein Nachweis von Carbamazepin.

Koffein wurde an 17 der 56 untersuchten Messstellen in Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze und an 39 Messstellen in Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze gemessen. Koffein wurde häufiger als Carbamazepin in Konzentrationen über den Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenzen nachgewiesen. Andere Eintragsquellen von Koffein als Abwasser sind möglich.

## 6 RESÜMEE/EMPFEHLUNGEN

Folgende Eigenschaften sind für die Eignung von Substanzen als Indikatoren für Abwasserbeeinflussungen des Grundwassers relevant:

**Kriterien für die Eignung als Indikatorparameter**

- **Vorkommen von konstant hohen Mengen im Abwasser**

Grundsätzlich sind Substanzen als Indikatoren für Abwasserbeeinflussungen im Grundwasser geeignet, die in konstant hohen Mengen im Abwasser vorkommen.

Carbamazepin wird im Zu- und Ablauf größerer Kläranlagen in der Regel mit einer Konzentration von 1.000 ng/l gemessen (FENZ et al. 2005). Da statistisch gesehen nur jeder 500. Einwohner Österreichs den Wirkstoff einnimmt, ist das Vorhandensein von Carbamazepin im Abwasser von Senkgruben und Kleinkläranlagen allerdings selten (BMLFUW 2004).

Koffein, das Bestandteil zahlreicher Lebensmittel ist, wird in kommunalen Abwässern (vor der Abwasserreinigung) in Konzentrationen bis zu mehreren 10.000 ng/l nachgewiesen (siehe auch Kap. 2.2.2).

- **Konservatives Verhalten in Kläranlagen bzw. in der aquatischen Umwelt**

Carbamazepin zeigt ein ausgeprägt persistentes Verhalten (geringfügiger Abbau in Kläranlagen bzw. im Untergrund). Für die Substanz wurde im Labor eine Halbwertszeit von ca. 1.700 Tagen ermittelt – das heißt von fast fünf Jahren (Fte-INFO 2004; Anmerkung: der Begriff Halbwertszeit entspricht jener Zeit, die für den natürlichen Abbau der Hälfte der Moleküle notwendig ist). Carbamazepin ist für Untersuchungen zur **Interaktion Grundwasser–Oberflächengewässer** an Uferfiltrat-beeinflussten Grundwasser-Messstellen geeignet, da die Substanz in der (un)gesättigten Zone sehr mobil ist und – wie die Ergebnisse diverser Studien zeigen – nur in geringem Ausmaß abgebaut wird.

Koffein wird v. a. in Kläranlagen (SCHARF et al. 2002), aber auch im Untergrund, abgebaut bzw. adsorbiert – d. h. es weist **kein** konservatives Verhalten auf (SEILER 1999).

- **Zuordnung zur Eintragsquelle**

Für Carbamazepin ist eine Zuordnung zur Eintragsquelle „Abwasser“ möglich. Betreffend Koffein geben die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen Hinweise darauf, dass mögliche andere Eintragsquellen als Abwasser denkbar sind (z. B. Komposthaufen).

Sowohl Carbamazepin als auch Koffein weisen den Vorteil auf, dass sie nicht natürlich in der aquatischen Umwelt vorhanden und im unbeeinflussten Grundwasser nicht nachzuweisen sind. Aufgrund der niedrigen Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenzen sind die Substanzen auch noch bei großer Verdünnung messbar.

Basierend auf den Untersuchungen und Auswertungen bzw. der Literaturrecherche scheint **Carbamazepin** als Screeningparameter für Verunreinigungen des Grundwassers durch

**Eignung von Carbamazepin als Screening-Parameter**

- Undichtheiten in kommunalen Kanalisationssystemen und
- Versickerungen von kommunalen Abwässern (sowohl nach biologischer wie mechanischer Reinigung)

geeignet.



Für die Feststellung von Undichtheiten von Senkgruben und die landwirtschaftliche Verwertung von Senkgrubeninhalten ist der Parameter nur bedingt geeignet, abhängig davon, ob ein an solchen lokalen Entsorgungssystemen angeschlossener Einwohner den Wirkstoff Carbamazepin einnimmt.

Anhand des Konzentrationsniveaus von Carbamazepin sowie von anderen Verschmutzungsparametern und der Lage der Messstellen können erste Hinweise auf mögliche Eintragsquellen des Abwassers abgeleitet werden (z. B. Vorhandensein von größeren kommunalen Kläranlagen bzw. Kanal, Schutz/Jagdhütten, Uferfiltrat, Senkgrube). Diese Hinweise können Aussagen über die Herkunft von Belastungen vereinfachen bzw. einen Ansatzpunkt für weitere Untersuchungen geben.

Vor-Ort-Erhebungen (Recherche möglicher Eintragsquellen, hydrogeologische Verhältnisse im Umfeld der Messstelle) sind für eine Interpretation der Daten zweckmäßig.

**Eignung von Koffein  
als Screening-  
Parameter**

**Für Koffein** wurde nur eine eingeschränkte Eignung als Indikatorparameter festgestellt. Die Substanz ist gut abbaubar. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen geben Hinweise darauf, dass mögliche andere Eintragsquellen als Abwasser bzw. Verunreinigungen bei der Probenahme möglich sind. In Kombination mit Carbamazepin ist die Analytik von Koffein jedoch zweckmäßig, da die Analytik von beiden Stoffen mit derselben Methode erfolgt, so dass durch die Erhebung beider Parameter keine Mehrkosten entstehen. Für Koffein gibt es darüber hinaus Isotopenstandards, anhand derer die Analysenqualität geprüft werden kann.

**Empfehlungen**

In methodischer Hinsicht sind zur Ergänzung der vorliegenden Untersuchungen **Vor-Ort-Erhebungen** und die Ausarbeitung von **Standortmodellen** an Messstellen mit erhöhten Konzentrationen zweckmäßig. (*Anmerkung:* Unter dem Begriff Standortmodell wird die Beschreibung der (hydro)geologischen Gegebenheiten sowie der Einflussfaktoren im Nahbereich einer Messstelle verstanden).

Ein Richtwert für „erhöhte“ Carbamazepin-Konzentrationen kann im Rahmen der vorliegenden Auswertungen nicht angegeben werden. In FENZ (2005) wird angegeben, dass bei der Untersuchung der Exfiltration von Abwasser aus undichten Kanalnetzen durchschnittlich 30 ng/l Carbamazepin in Bereichen des Untersuchungsgebietes Linz mit deutlich erhöhten Grundwasserbelastungen durch Abwasser nachgewiesen wurden. Neben erhöhten Carbamazepin-Konzentrationen war auch eine Erhöhung der Konzentrationen anderer Parameter wie Chlorid, Natrium, Bor und Sulfat erkennbar.

Gegebenenfalls sind weitere Untersuchungen möglicher Eintragspfade von Koffein in das Grundwasser außer Abwasser sachdienlich.



### **Trinkwasser**

Bei Nutzung des Grundwassers als **Trinkwasser** können Spuren von Carbamazepin im Trinkwasser enthalten sein. Obwohl in Österreich Arzneimittelrückstände im Trinkwasser nicht explizit geregelt sind, ist definiert, dass das Wasser geeignet sein muss, ohne Gefährdung der menschlichen Gesundheit getrunken oder verwendet zu werden. Laut § 5/3 der Trinkwasserverordnung (BGBl. II Nr. 304/2001) sind aus Gründen der Sicherung der einwandfreien Beschaffenheit des Wassers weitere Probenahmestellen oder zusätzliche Probenahmen erforderlich oder falls Grund zur Annahme besteht, dass Stoffe oder Mikroorganismen, für die keine Parameterwerte festgesetzt wurden, in einer Menge oder Anzahl vorhanden sind, die ein potenzielle Gefährdung der menschlichen Gesundheit darstellen, entsprechende zusätzliche Proben zu entnehmen oder zusätzliche Untersuchungen durchzuführen.

Dies sollte die Grundlage sein, um ein potenzielles Risiko durch Carbamazepin und andere schwer abbaubare Arzneimittel in Österreichs Grundwasser zu untersuchen, um gegebenenfalls Minimierungsmaßnahmen treffen zu können.

In Deutschland empfiehlt die Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit und soziale Sicherheit (BMGS) beim Umweltbundesamt Berlin den Wert von 100 ng/l (0,1 µg/l) für humantoxikologisch nur teil- oder nicht bewertbare trinkwassergängige Stoffe als vorsorgliche Konzentrationsobergrenze im Sinne eines „pragmatischen gesundheitlichen Orientierungswertes (GOW) (UMWELTBUNDESAMT BERLIN 2003). Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass dieser Wert keine fundierte Risikoabschätzung ersetzen kann.

Mit Ausnahme einer Messstelle lagen die im Rahmen der vorliegenden Studie gemessenen Carbamazepin-Konzentrationen unterhalb der von der TWK empfohlenen Trinkwasser-Obergrenze von 100 ng/l. Da an dieser Messstelle auch Belastungen mit anderen Parametern festgestellt worden sind, hat die Fachabteilung beim Amt der zuständigen Landesregierung diesbezüglich bereits weitere Untersuchungen veranlasst und den Eigentümer informiert, dass das Wasser nicht zum Genuss tauglich ist.

Aufgrund der schlechten Abbaubarkeit, reproduktions-toxischer Effekte und möglicher additiver Wirkungen in Gegenwart anderer Pharmaka sollten die Carbamazepin-Konzentrationen in der Umwelt beobachtet und weitere toxikologische Daten erhoben werden (BLAC 2003, RTECs 2005).

## 7 LITERATURVERZEICHNIS

- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, FACHABTEILUNG 17C – TECHNISCHE UMWELTKONTROLLE UND SICHERHEITSWESSEN (2003): Grundwasseruntersuchungen auf ausgewählte Hormone, Xenohormone, Arzneimittel und Phthalate – Bereich Leibnitzerfeld-Haslacher Au. Dokumentation zum Thema Gewässerschutz, Graz.
- BARNES, K. , CHRISTENSON, S.C.; KOLPIN, D.W. et al. (2004): Pharmaceuticals and Other Organic Waste Water Contaminants Within a Leachate Plume Downgradient of a Municipal Landfill. *Ground Water Monitoring and Remediation* 24, No. 2, 119-226.
- BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2005): Arzneistoffe in der Umwelt. Umweltberatung Bayern.
- BENDZ, D.; PAXEUS, N.A., GINN, T.R. et al. (2005): Occurrence and Fate of Pharmaceutically Active Compounds in the Environment, a case study: Höje River in Sweden. *Journal of Hazardous Substances* 122.
- BLAC – Bund/Länderausschuss für Chemikaliensicherheit (1998): Auswirkungen der Anwendung von Clofibrinsäure und anderer Arzneimittel auf die Umwelt und Trinkwasserversorgung. Bericht an die 50. Umweltministerkonferenz (UMK).
- BLAC – Bund/Länderausschuss für Chemikaliensicherheit (2003): Arzneimittel in der Umwelt – Auswertung der Untersuchungsergebnisse. Bericht an die 61. Umweltministerkonferenz in Hamburg.
- BREIDENICH, N. (2000): Bestimmung von sauren und neutralen Arzneimittelwirkstoffen in Wasserproben. Vortragsskript Umweltanalytiktag NRW vom 19. bis 21.06.2000.
- BUERGE, I., POIGER T.; MÜLLER, M. et al. (2003): Koffein als anthropogene Markersubstanz für häusliche Abwässer. Beiträge von der APPLICA 2003, 5.-7.Mai 2003. URL [http://www.sach.ch/applica/buerge\\_appl03.html](http://www.sach.ch/applica/buerge_appl03.html).
- BUERGE, I.; POIGER, T.; MÜLLER, M. et al. (2003a): Caffeine, an Anthropogenic Marker for Wastewater Contamination of Surface Waters. *Environmental Science & Technology* Vol. 37, No. 4, 691-700.
- BMLFUW – Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hg.) (2004): Auswirkung von Versickerung und Verrieselung von durch Kleinkläranlagen mechanisch biologisch gereinigtem Abwasser in dezentralen Lagen". Endbericht Phase I, Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Projektteam: Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft / Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft / Institut für Ingenieurgeologie, alle TU-Wien; Institut für Wassergüte, Bundesamt für Wasserwirtschaft Wien.
- CLARA, M.; STRENN, B.; KREUZINGER, N.: (2004): Carbamazepin as a possible anthropogenic marker in the aquatic environment: investigations on the behaviour of Carbamazepine in wastewater treatment and during ground infiltration. *Water Research* 38, 947-954.
- CORDY, G.E.; DURAN, N.L.; BOUWER, H. et al. (2004): Do Pharmaceuticals, Pathogens, and Other Organic Waste Water Compounds Persist When Waste Water Is Used for Recharge? *Ground Water Monitoring & Remediation*, No. 2, 58-69.

- DREWES, J.E.; HEBERER, T.; RAUCH, T. et al. (2001): Removal of pharmaceuticals during conventional wastewater treatment, advanced membrane treatment and soil-aquifer treatment. 2<sup>nd</sup> International Conference on Pharmaceuticals and Endocrine Disrupting Chemicals in Water, October 9–11, 2001 \_ Hyatt on Nicollet Mall \_ Minneapolis, Minnesota.
- DREWES, J.E.; HEBERER, T.; RAUCH, T. et al. (2003): Fate of Pharmaceuticals During Groundwater Recharge. *Ground Water Monitoring & Remediation* 23, No. 3, 64-72.
- DÜRING, R.A.; GULL, S., GÄTH, S. (2006): Pharmazeutische Reststoffe in der Umwelt – Bilanzierung des Einzugsgebiets der KA Gießen unter besonderer Berücksichtigung des Antiepileptikums Carbamazepin. *Wasser und Abfall* 5.
- EMA–CHMP – European Medicines Agency – Committee for medicinal products for human use (2006): Guideline on the environmental risk assessment of medicinal products for human use. Draft. EMEA/CHMP/SWP/4447/00.
- EPA – U.S. Environmental Protection Agency (2005): Meeting on Pharmaceuticals in the Environment – Meeting Summary. U.S. EPA, National Exposure Research Laboratory, Las Vegas, August 23–25.
- EUROPEAN COMMISSION – Joint Research Center (2003): TGD: Technical guidance document on risk assessment, Ispra, Italy.
- FENZ, R. & ZESSNER, M. (2005): Einsatz von Tracern im Gewässerschutz. *Wiener Mitteilungen*, Band 92, 411-436; Institut für Wassergüte, TU-Wien.
- FENZ, R.; BLASCHKE, A.P.; CLARA, M. et al. (2005): Quantifizierung der Exfiltration aus undichten Kanalnetzen durch Analyse der Carbamazepin-Konzentrationen in Abwasser und Grundwasser. *KA – Abwasser, Abfall* (52) Nr. 4.
- FERRARI, B.; PAXEUS, N.; LO GIUDICE, R. et al. (2003): Ecotoxicological impact of pharmaceuticals found in treated wastewater: study of carbamazepine, clofibric acid, and diclofenac. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 55, 359-370.
- FRIEDRICH, H. & RIES, T. (2003): Umweltpolitische Bedingungen für den Einsatz der Membrantechnik im Bereich der Abwasserreinigung. In: Melin, T. & Dohmann, M.: *Membrantechnik; Begleitbuch zur 5. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik*.
- FTE-INFO – Magazin über europäische Forschung (2004): Medikamente und Umwelt – Damit Heilen nicht mehr auf Kosten der Umwelt geht. URL [http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/40/article\\_481\\_de.html](http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/40/article_481_de.html)
- HARTKE, K. & MUTSCHLER, E. (1993): *Deutsches Arzneibuch DAB 10 – Kommentar*. 10. Ausgabe, Deutscher Apotheker-Verlag, Stuttgart.
- HEBERER, T. & ADAM, M. (2004): Transport and Attenuation of Pharmaceutical Residues During Artificial Groundwater Replenishment, *Environ. Chem.*, 22-25.
- HEBERER, T. & REDDERSEN, K. (2001): Occurrence and fate of pharmaceutical residues in the aquatic system of Berlin as an example for urban ecosystems. 2<sup>nd</sup> International Conference on Pharmaceuticals and Endocrine Disrupting Chemicals in Water, October 9–11, 2001 \_ Hyatt on Nicollet Mall \_ Minneapolis, Minnesota.
- HEBERER, T., MECHLINKSI, A.; FANCK, B. et al. (2004): Field Studies on the Fate and Transport of Pharmaceutical Residues in Bank Filtration. *Ground Water Monitoring and Remediation* 24, No. 2, 70-77.

- JOS, A.; REPETTO, G.; RIOS, J.C. et al. (2003): Ecotoxicological evaluation of carbamazepin using six different model system with eighteen endpoints. *Toxicology in Vitro* 17, 525-532.
- KNACKER, T.; MOLTSMANN, J.F. & LIEBIG, M. (2006). Environmental risk assessment. In *Human pharmaceuticals, hormones and fragrances – A challenge for urban water management* (eds. T. Ternes and A. Joss). IWA Publishing.
- KOLPIN, D.; FURLONG, E.T.; MEYER, M. et al. (2002): Pharmaceuticals, Hormones, and Other Organic Wastewater Contaminants in U.S. Streams, 1999-2002: A National Reconnaissance. *Environmental Science & Technology*, Vol. 36, No. 6.
- KOPPE, P. & STOZEK, A. (1999): *Kommunales Abwasser – Seine Inhaltsstoffe nach Herkunft, Zusammensetzung und Reaktionen im Reinigungsprozess einschließlich Klärschlämme*. Vulkan Verlag, Essen.
- KREUZINGER, N.; LORBEER, G. & SCHARF, S. (2001): Joint Danube Survey, Results of the additional Austrian sampling programme, Vienna, December 2001; Institute for Water Quality and Waste Management, Vienna University of Technology.
- KROISS, H. et al. (Hg.) (2002): *Auswirkung der Versickerung von biologisch gereinigten Abwasser auf das Grundwasser*. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU-Wien.
- LAWA (2004) Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: *Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser*. LAWA Düsseldorf:  
<http://www.lawa.de/pub/kostenlos/gw/GFS-Bericht.pdf>
- MERSMANN, P. (2003): *Transport- und Sorptionsverhalten von Arzneimittelwirkstoffen Carbamazepin, Clofibrinsäure, Diclofenac, Ibuprofen und Propyphenazon in der wassergesättigten und -ungesättigten Zone*. Dissertation, TU-Berlin.
- METCALF, Ch.; KOENIG, B.G.; TERNES, T. et al. (2000): *Drugs in sewage treatment plant – effluents in Canada*. In: Keith, L.H., Needham, L.L. & Jones-Lepp, T.L. (Hrsg.): *Issues in the analysis of environmental endocrine disruptors*. Proceedings Volume ACS Symposium 40, San Francisco, CA.
- MÖHLE, E.; HORVATH, S.; MERZ, W. ET AL. (1999): *Bestimmung von schwer abbaubaren organischen Verbindungen im Abwasser – Identifizierung von Arzneimittelrückständen*. *Vom Wasser* 92, 207-223.
- OETKEN, M.; NENTWIG, G.; LOFFLER, D. et al (2005) *Effects of pharmaceuticals on aquatic invertebrates. Part I. The antiepileptic drug carbamazepine*. *Arch Environ Contam Toxicol.* 49, No.3, S. 353-61.
- PEELER, K. A. (2004): *Caffeine as an anthropogenic source indicator in freshwater and marine systems*. Thesis submitted to the Department of Oceanography, Florida State University.
- POIGER, T. et al. (2003): *Occurrence and Fate of Organic Micropollutants in the Environment: Regional Mass Balances and Source Apportioning in Surface Waters Based on Laboratory Incubation Studies in Soil and Water, Monitoring, and Computer Modeling*. *Chimia* 2003, 57, No. 9, Schweizerische Chemische Gesellschaft.
- PREUSS, G.; WILLME, U.; ZULLEI-SEIBERT, N. (2001): *Verhalten ausgewählter Arzneimittel bei der künstlichen Grundwasseranreicherung – Eliminierung und Effekte auf die mikrobielle Besiedlung*. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 29, 5, 269-277.
- PRÖSCH, J. & PUCHERT, W. (1998): *Coffein: Vorkommen in Fließgewässern Mecklenburg-Vorpommerns*. *Vom Wasser*, 91: S. 207–214.

- RTECS – Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (2005): Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 5H-Dibenz (b,f) azepine-5-carboxamide. National Institute of occupational health and safety, <http://www.cdc.gov/niosh/rtecs/hn7d80e8.html>.
- SACHER, F.; LOCHOW, E.; BETHMANN, D. et al. (1997): Vorkommen von Arzneimittelwirkstoffen in Oberflächengewässern. – Poster auf der Jahrestagung 1997 der Fachgruppe Wasserchemie der Gesellschaft Deutscher Chemiker in Lindau.
- SACHER, F.; LOCHOW, E.; BETHMANN, D. et al. (1998): Vorkommen von Arzneimittelwirkstoffen in Oberflächengewässern. Vom Wasser, 90, 223-243.
- SATTELBERGER R. (1999): Arzneimittelrückstände in der Umwelt – Bestandsaufnahme und Problemdarstellung. R162, Umweltbundesamt, Wien.
- SCHARF, S.; GANS, O.; SATTELBERGER, R.: (2002): Arzneimittelwirkstoffe im Zu- und Ablauf von Kläranlagen. BE-201, Umweltbundesamt GmbH, Wien.
- SCHEYTT, T.; HEBERER, T.; STAN, H.J. (o.J.): Vorkommen und Verhalten von Arzneimittelwirkstoffen im Grundwasser. Schriftenreihe Wasserforschung 6, Chemische Stressfaktoren in aquatischen Systemen, o.O.
- SEILER, R.; ZAUGG, S.D.; THOMAS, J.M. et al. (1999): Caffeine and Pharmaceuticals as Indicators of Waste Water Contamination in Wells. Ground Water, Vol. 37, No. 3.
- SPECTRUM Laboratories Inc.: Chemical Fact Sheet Coffein. URL: <http://www.speclab.com/compound/c58082.htm>
- TERNES, T. (1998): Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. Water Research 32 (11).
- TERNES, T.; JANEX-HABIBI, M.L.; KNACKER, T. et al. (2004): POSEIDON – Assessment of Technologies for the Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Sewage and Drinking Water Facilities to Improve the Indirect Potable Water Reuse. Detailed Report related to the overall project duration January 1<sup>st</sup> – June 30<sup>th</sup>. Contract No. EVK1-CT-2000-00047, URL: <http://www.eu-poseidon.com>.
- UMWELTBUNDESAMT BERLIN (2003): Empfehlungen des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission, Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht, Bundesgesundheitsbl.-Gesundheitsforsch.-Gesundheitsschutz 3.
- ZESSNER, M.; VOGEL, B.; BLASCHKE, A.P. et al (2003): Untersuchungen zur Beeinflussung des Grundwassers durch die Versickerung von gereinigtem Abwasser. Institut für Wasser- güte und Abfallwirtschaft, TU-Wien, Wiener Mitteilung Band 193 – Fortbildungsseminar Abwasserentsorgung, Wien.
- ZÜHLKE, S. (2004): Verhalten von Phenazonderivaten, Carbamazepin und estrogenen Steroiden während verschiedener Verfahren der Wasseraufbereitung. Dissertation, TU Berlin.

\*\*\*\*\*