

Beschaffenheit des Grundwassers im Thurtal

Autor(en): **Scholtis, Andreas / Hoehn, Eduard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft**

Band (Jahr): **63 (2009)**

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-593750>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Beschaffenheit des Grundwassers im Thurtal

Andreas Scholtis und Eduard Hoehn

129

1 Einleitung

Im Kanton Thurgau werden ca. 50% des Trinkwassers aus Grundwasser gewonnen. Ein grosser Anteil davon wird aus dem Grundwasservorkommen des Thurtales gefördert. Neben seiner Bedeutung als Trinkwasserspeicher ist das Grundwasser des Thurtal-Schotters der bedeutendste Vorrat an Wasser für die landwirtschaftliche Bewässerung. Die Kenntnis über die Beschaffenheit des Grundwassers ist für die nachhaltige Sicherung einer guten Grundwasserqualität von zentraler Bedeutung. Sie ermöglicht auch Aussagen über die Herkunft und die Dauer der unterirdischen Verweilzeit (Alter) des Wassers. Das Grundwasser ist durch vielfältige Schadstoffe aus Industrie, Gewerbe, Landwirtschaft, Siedlungsbau und Verkehr potenziell gefährdet. Die Verfolgung von Schadstofffahnen erlaubt Angaben zur Fliessrichtung des Wassers im Untergrund. Mit diesem Wissen können regionale hydraulische Grundwassermodelle, wie sie für den Thurtal-Grundwasserleiter erarbeitet worden sind, überprüft und wenn nötig angepasst werden (*Spring & Gmünder 2009*).

Im Thurtal-Grundwasserleiter spielt die Infiltration der Thur nicht nur quantitativ (*Spring & Gmünder 2009*) sondern auch qualitativ eine wesentliche Rolle bei der Grundwasser-Neubildung. So beeinflusst infiltrierendes Thurwasser die Beschaffenheit des Grundwassers, da es eine andere Zusammensetzung aufweist als das Grundwasser aus versickerten Niederschlägen oder Grundwasser, welches aus den Seitenhängen des Thurtales (bestehend vorwiegend aus Gesteinen der Oberen Süsswassermolasse, OSM) in den Grundwasserleiter gelangt. Die Thur als Wildwasser weist starke und oft kurzzeitige Hochwasserspitzen auf (*Baumann et al. 2009*), welche die Zusammensetzung des Flusswassers verändern. Das Thurwasser wird durch die im Einzugsgebiet anfallenden Niederschläge verdünnt und möglicherweise durch Abschwemmungen und Abspülungen mit Schadstoffen belastet. Bei Hochwasser infiltriert zudem vermehrt Flusswasser ins Grundwasser (*Spring & Gmünder 2009*).

Grundwasser, das für Trinkwasser verwendet wird, muss gesetzlichen Qualitätsanforderungen genügen (Schweizerisches Lebensmittelbuch 1999, SLMB; Verordnung über die Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln, 1995, FIV; Hygieneverordnung, 1995, HyV). Viele Trinkwasserfassungen liegen nahe am Ufer der Thur und fördern ein Grundwasser, das nennenswert durch Infiltrat gespeist ist (*Hoehn 2009, Spring & Gmünder 2009*). Die Gewässerschutzverordnung (1998, GSchV) dimensioniert die Schutzzone S2 so, dass die Fliessdauer des Grundwassers vom äusseren Rand der Zone S2 zur Grundwasserfassung mindestens zehn Tage beträgt. Diese Bestimmung kann zu Konflikten zwischen Hochwasser- und Grundwasserschutz führen, die im Einzelfall gelöst werden müssen. Bei Aufweitungen des Flussraums könnten die Verweilzeiten des Infiltrats derart verringert werden, dass die Selbstreinigung stark vermindert oder nicht mehr möglich ist und die Trinkwasserqualität des in den Fassungen geförderten Trinkwassers ungenügend wird.

2 Hydrochemische Grundlagen

2.1 Natürliche chemische Vorgänge im Grundwasserleiter

Alle natürlich vorkommenden Wässer enthalten gelöste Stoffe und Gase, die sie aus ihrer Umgebung aufgenommen haben. So werden im Allgemeinen natürliche Wässer, wie Regenwasser, Seen, Weiher, Fließgewässer und Grundwasser zunehmend mineralisiert, d.h. ihre gelösten Bestandteile im Wasser nehmen in dieser Reihenfolge zu.

Bei der Versickerung von Niederschlägen in Schotterebenen wie dem Thurtal, stammt der grösste Anteil an der Mineralisation des Grundwassers von der Auflösung relativ gut löslicher Mineralien im Schotter wie Calcit und Dolomit. Aus den alpinen Gebieten kommen Spuren von weiteren gut löslichen Mineralien wie Gips, Anhydrit und Steinsalz hinzu. Ihre Auflösung führt zu messbaren Konzentrationen an Calcium- (Ca^{2+}), Magnesium- (Mg^{2+}), Natrium- (Na^+), Karbonat- (HCO_3^- und CO_3^{2-}), Sulfat- (SO_4^{2-}) und Chlorid-Ionen (Cl^-). Eine gewisse Verwitterung von Silikaten (v.a. Tonminerale, Glimmer und Feldspäte) bewirkt unter anderem geringe Konzentrationen an Kalium-Ionen (K^+) und an gelöster Kieselsäure (H_4SiO_4) (Matthess 1990).

2.2 Grundwasserverunreinigungen

In industrialisierten und landwirtschaftlich genutzten Gebieten ist das Grundwasser nie vollständig unbelastet, d.h. frei von Schadstoffen. Bei der Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser können zudem bei einer vollständigen Zehrung des Sauerstoffs (O_2) durch Bakterien im Flussbett natürliche Eisen- und Manganoxide gelöst sowie Nitrat (NO_3^-) zu Nitrit (NO_2^-) und Ammonium (NH_4^+) reduziert werden, was die Gefahr einer Belastung des Trinkwassers ebenfalls erhöht (z.B. Hoehn et al. 1983). Viele Schadstoffe, die mit dem Niederschlag, durch Flusswasserinfiltrationen, durch Unfälle, undichte Leitungen, Altlasten oder Deponien ins Grundwasser gelangen, werden durch natürliche Vorgänge, wie der Anlagerung an Gesteinsoberflächen (v.a. Tonminerale und Eisenoxid/-hydroxide), durch chemische Ausfällungen oder durch bakteriellen Abbau zurückgehalten.

Wichtigster Anlass für die behördliche Überwachung des Grundwassers ist das Verhindern einer übermässigen Belastung durch solche schädlichen Stoffe. Die Art der Beeinträchtigung ist in industrialisierten meist anders als in landwirtschaftlich genutzten Gebieten (BAFU 2008): Im ersten Fall herrschen anorganische Stoffe (z.B. Cl^-) oder organische Spurenstoffe aus der Industrie (z.B. chlorierte Kohlenwasserstoffe) vor, in ländlichen Gebieten sind es meist übermässig ausgebrachte Düngestoffe, die zu erhöhten Nitratkonzentrationen (NO_3^-) führen, sowie Pflanzenschutzmittel (Herbizide, Pestizide, Fungizide), die das Grundwasser belasten.

3 Das Thurtal aus hydrochemischer Sicht

Für eine Beurteilung der hydrochemischen Beschaffenheit der Fluss-, Grund- und stehenden Gewässer im Thurtal stehen dem Amt für Umwelt Daten aus

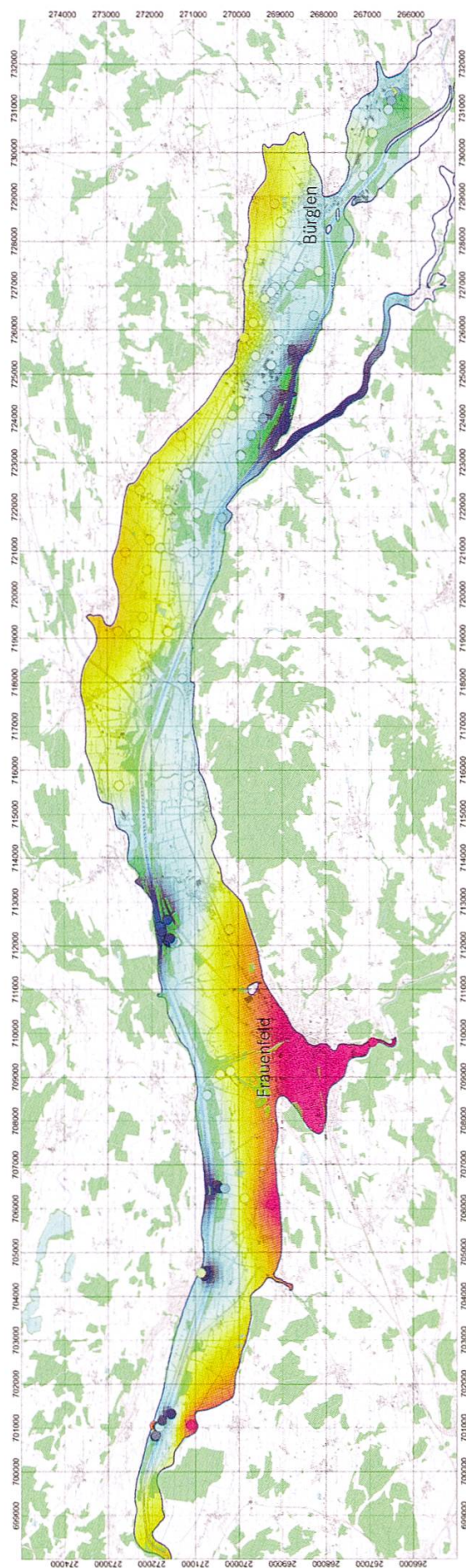


Abbildung 1: Darstellung der Karbonathärten der Grundwässer im Thurtal mittels dem Programm CHEMMAP. Rote, orange und gelbe Farbtöne zeigen hohe, hell- bis dunkelblaue Farbtöne niedrige Karbonathärten an. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

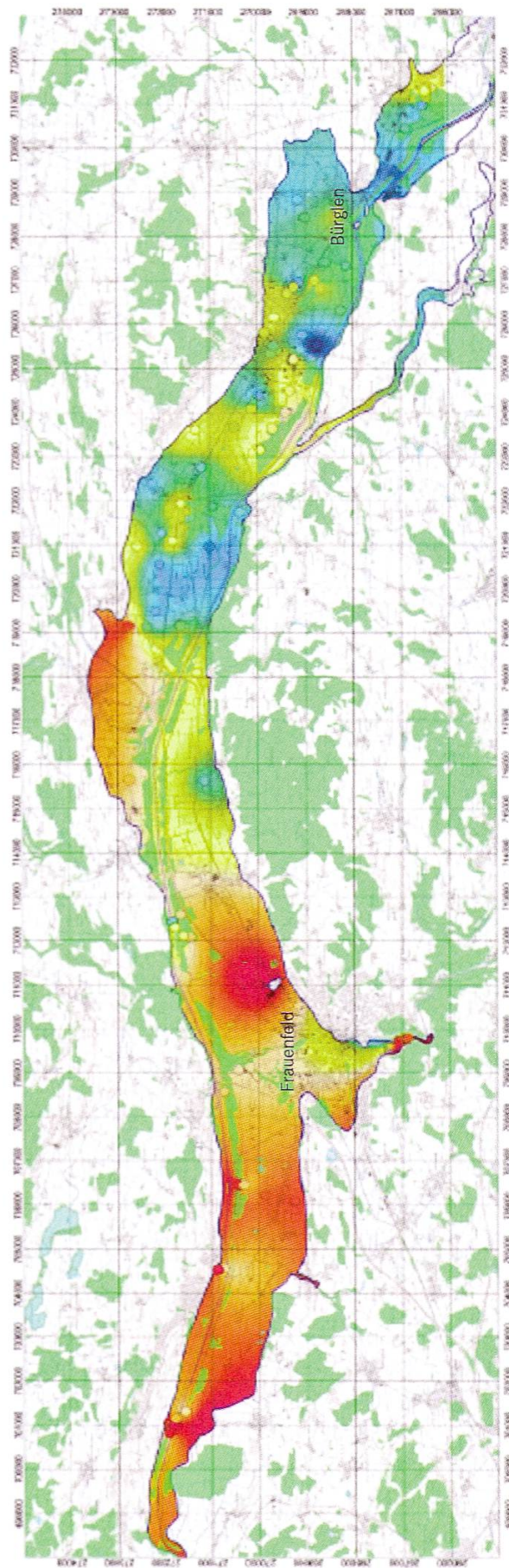


Abbildung 2: Darstellung der Sauerstoffgehalte der Grundwasser im Thurtal mittels dem Programm CHEMMAP. Rote, orange und gelbe Farböne zeigen niedrige, hell- bis dunkelblaue Farböne hohe Sauerstoffgehalte an. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

| | | Thur | | | Grundwasser thurnah < 300 m | | | Grundwasser thurfern > 300 m | | | Hangwasser | | |
|------------------------------|---------|-------------|------------|-------------|--------------------------------|------------|-------------|---------------------------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| | | 20% Quantil | Mittelwert | 80% Quantil | 20% Quantil | Mittelwert | 80% Quantil | 20% Quantil | Mittelwert | 80% Quantil | 20% Quantil | Mittelwert | 80% Quantil |
| Anzahl Messstellen | | 24 | | | 30 | | | 50 | | | 17 | | |
| | Einheit | | | | | | | | | | | | |
| Temperatur Wasser | C | 4,4 | 10,2 | 15,8 | 8,1 | 11,1 | 14,0 | 10,5 | 11,1 | 11,8 | 10,1 | 11,1 | 12,3 |
| pH (Feld) | pH | 8,3 | 8,4 | 8,5 | 7,3 | 7,5 | 7,7 | 7,1 | 7,2 | 7,3 | 7,2 | 7,3 | 7,5 |
| Leitfähigkeit 25 C | µS/cm | 385 | 449 | 521 | 431 | 500 | 570 | 588 | 641 | 709 | 691 | 723 | 766 |
| O ₂ | mg/L | 9,8 | 11,5 | 13,1 | 0,9 | 3,6 | 6,5 | 4,4 | 5,9 | 7,6 | 7,2 | 8,2 | 9,6 |
| O ₂ Sättigung | % | 97 | 108 | 116 | 17 | 41 | 63 | 40 | 58 | 73 | 26 | 62 | 83 |
| DOC | mg/L | 2,0 | 3,2 | 4,1 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 0,7 | 1,0 | 1,2 | 0,5 | 0,8 | 1,2 |
| Ca | mg/L | 59 | 69 | 78 | 67 | 77 | 88 | 92 | 101 | 109 | 105 | 112 | 122 |
| Mg | mg/L | 10 | 12 | 14 | 11 | 14 | 16 | 16 | 18 | 20 | 26 | 28 | 31 |
| Na | mg/L | 5 | 10 | 14 | 7 | 10 | 12 | 8 | 9 | 10 | 5 | 5 | 6 |
| K | mg/L | 1,7 | 2,4 | 3,1 | 2,1 | 2,8 | 3,0 | 2,0 | 2,5 | 2,6 | 0,8 | 1,4 | 1,5 |
| Cl | mg/L | 7 | 13 | 17 | 9 | 13 | 17 | 11 | 14 | 16 | 8 | 13 | 17 |
| SO ₄ | mg/L | 6 | 11 | 15 | 9 | 12 | 14 | 11 | 15 | 17 | 18 | 29 | 42 |
| NO ₃ | mg/L | 7 | 10 | 14 | 7 | 11 | 14 | 13 | 18 | 21 | 15 | 24 | 29 |
| Karbonathärte ¹ | mmol/L | 3,7 | 4,1 | 4,7 | 4,1 | 4,7 | 5,4 | 5,6 | 5,9 | 6,3 | 6,5 | 6,9 | 7,3 |
| Gesamthärte ² | mmol/L | 2,0 | 2,2 | 2,6 | 2,2 | 2,5 | 2,9 | 3,0 | 3,7 | 3,6 | 3,7 | 4,0 | 4,2 |
| theor. Trocken- rückstand | mg/L | 202 | 240 | 284 | 236 | 271 | 302 | 307 | 334 | 354 | 381 | 387 | 395 |

Tabelle 1: Einteilung der Wassertypen nach der Distanz von der Thur. Angegeben sind Messwerte der Hauptbestandteile (Quantil 20%, 80%, Mittelwerte) und die Anzahl der Messstellen.

Karbonathärte¹: 1 mmol/L entspricht 5 °fH (französische Härtegrade)

Gesamthärte²: 1 mmol/L entspricht 10 °fH (französische Härtegrade)

eigenen Probenahmen, den Trinkwasseranalysen des Kantonalen Laboratoriums sowie aus Detailuntersuchungen der Eawag zur Verfügung. Insgesamt können wir auf ca. 460 Probenahmestellen, davon ca. 250 aus dem Grundwasser, 180 aus Fließgewässern und 30 aus stehenden Gewässern zurückgreifen. Die ca. 9000 Analysen wurden in den Jahren 1969 bis heute erhoben, die meisten davon liegen ab 1990 vor. Bei den untersuchten Wässern handelt es sich aufgrund der Zusammensetzung der Hauptbestandteile fast immer um Wasser vom Typ Ca-Mg-HCO₃-(NO₃) gemäss der Klassifikation von Jäckli (1970). Wie dies für Wasser aus dem schweizerischen Mittelland typisch ist, bilden Calcium (Ca) und Hydrogenkarbonat (HCO₃) zusammen über 50% an der Gesamtmineralisation den Hauptbestandteil. Die Mineralisation der Wässer, d.h. der Trockenrückstand (Abdampf- oder auch Glührückstand für ein Liter Wasser) liegt im Mittel bei 200 bis 400 mg/L.

Anhand der Zusammensetzung der Hauptinhaltsstoffe der Grundwässer im Thurtal soll im Folgenden versucht werden, das Grundwasser weiter zu unterteilen. Dabei spielt die Distanz der Probenahmestelle zur Thur eine wichtige Rolle. Dies lässt sich am besten mit einer Karte (*Abbildung 1*) zeigen, welche die flächenhafte Verteilung der gemessenen durchschnittlichen Karbonathärte (HCO_3^-) darstellt. Diese Karte basiert auf einer geostatistischen Interpolation (Kriging) der Messwerte mit dem Programm *ChemMap (2002)*, welches im Auftrag des Amtes für Umwelt entwickelt wurde. Da die Konzentration der Wasserinhaltsstoffe in der Thur geringer ist als im Grundwasser, geben die Konzentrationsverhältnisse der Karbonathärte ein Bild über die Einmischung versickerten Thurwassers ins Grundwasser. Der Thurabschnitt auf der Höhe von Müllheim, wo das Grundwassermodell Exfiltration von Grundwasser mit hoher Karbonathärte zurück in die Thur anzeigt, kommt in der Karte gut zur Geltung.

Andere Hauptinhaltsstoffe (z.B. Ca, SO_4) oder z.B. die elektrische Leitfähigkeit des Grundwassers, die ein Mass für die total gelösten Feststoffe des Wassers sind, verhalten sich – wie erwartet – ähnlich. Die Karte der Sauerstoffkonzentrationen (*Abbildung 2*) zeigt einen generellen Trend von hohen Sauerstoffkonzentrationen im Grundwasser im oberen Thurtalabschnitt zwischen Bürglen und Weinfelden und tiefen Gehalten im unteren Thurtal (ab Frauenfeld bis Niederneunforn). Dies spiegelt den Verbrauch des im Grundwasser gelösten Sauerstoffs, d.h. die Zehrung (Veratmung) des Sauerstoffs durch Bodenbakterien wider. Von der Sauerstoffzehrung ist das Thur-Infiltrat besonders dort betroffen, wo die Thur ohne eine ungesättigte Sickerzone direkt ins Grundwasser infiltriert. Dies ist im Bereich westlich von Amlikon der Fall (*Abbildung 2*). Besonders in den Sommermonaten weist das Infiltrat dort geringe Sauerstoffgehalte auf, und dies, obwohl die Thur gut belüftet ist. Da durch den niedrigen Sauerstoffgehalt vermehrt Nitrat zu Ammonium reduziert wird, zeigt die Konzentration von Ammonium im Grundwasser eine ähnliche Verteilung wie der Sauerstoff.

3.1 Fluss- und Grundwassertypen und ihre Beschaffenheit in Abhängigkeit ihrer Distanz zur Thur

Das Grundwasser des Thurtals kann also nach seiner Zusammensetzung in verschiedene Typen unterteilt werden, deren horizontale Ausdehnung in erster Linie durch die Distanz von der Thur kontrolliert wird. Hierbei unterscheiden wir thurnahes Grundwasser (Distanzen vom Ufer kleiner als 300 m) und thurferne (grösser als 300 m). Diese Unterteilung basiert auf ca. 100 Messstellen im Thurtal und ca. 2000 Analysen. Als Hangwasser bezeichnen wir vorwiegend Quellen der Oberen Süsswassermolasse, die den Seitenhängen des Thurtals entspringen. Von diesen wurden 17 Messstellen und ca. 200 Analysen herangezogen. Die Mittelwerte dieser Analysen sowie die 20% und 80% Quantile dieser Gruppen sind in der *Tabelle 1* aufgeführt.

Deutlich zu erkennen ist die Zunahme der Hauptbestandteile (Ca, Mg, Karbonathärte, SO_4) und der Leitfähigkeit mit zunehmender Distanz zur Thur. So nimmt z.B. Ca von 69 mg/L in der Thur über 77 mg/L für im thurnahen bis zu

101 mg/L im thurfernen Grundwasser zu. Die Hangwässer zeigen mit 112 mg/L die höchste Konzentration. Der zunehmende Gehalt an gelösten Feststoffen im Wasser wird auf die zunehmende unterirdische Verweilzeit des Grundwassers zurückgeführt, die vermehrt Mineralien lösen konnten. Isotopenhydrologische Untersuchungen bestätigen das zunehmende Alter dieser Wässer mit Entfernung von der Thur (*Osenbrück 2001, Aeschbach-Hertig et al. 2001*).

An den meisten Beobachtungsstellen besteht das Thurtaler Grundwasser aus einer Mischung von Grundwässern verschiedener Herkunft. Als Endglieder für diese Herkunft gelten einerseits Thurwasser und andererseits thurfernes Grundwasser, welches hauptsächlich durch die Versickerung von Niederschlägen gebildet wird. Im Folgenden werden diese Endglieder und ihre Mischungen kurz beschrieben.

Thurwasser

Das Thurwasser, als das eine Endglied für ein Mischgrundwasser, weist in seiner Zusammensetzung folgende Eigenschaften auf (*Tabelle 1*): Mit elektrischen Leitfähigkeiten zwischen etwa 385 und 520 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (20% und 80% Quantile) und Gesamt- und Karbonathärten zwischen 2–3 bzw. 3–5 mmol/L ist es relativ stark mineralisiert und hart. Die Konzentrationen an geogenen Wasserinhaltsstoffen (Ca, Mg, HCO_3) sind im Mittel dennoch geringer als jene der Grundwässer. Diese Stoffe können für Mischungsrechnungen zur Bestimmung des Infiltratanteils des Grundwassers in einer Fassung verwendet werden (*Hoehn et al. 2007*). Die organischen Schadstoffe aus Kläranlagen, der Landwirtschaft und anderen menschlichen Tätigkeiten finden in dem gegenüber den Grundwässern höheren Mittelwert von 3.2 mg/L (*Tabelle 1*) für den gesamten gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) ihren Niederschlag.

Thurfernes Grundwasser

Das andere Endglied der Mischreihe, das durch Niederschläge gebildete thurferne Grundwasser, ist gegenüber dem Thurwasser im Mittel stärker mineralisiert (höhere Leitfähigkeiten, theoretischer Trockenrückstand) und härter, sowohl in der Karbonat- als auch in der Gesamthärte (*Tabelle 1*). Das gilt in geringerem Ausmass auch für die Anionen Sulfat und Chlorid. Erhöht sind zudem gegenüber dem Thurwasser auch die Nitratkonzentrationen, was hier auf einen deutlichen Einfluss der Landwirtschaft hinweist. Die Sauerstoffgehalte im Grundwasser sind gegenüber der Thur geringer.

Thurnahes Grundwasser

Die nicht weiter als etwa 300 m von der Thur gelegenen Grundwasserfassungen weisen unterschiedlich hohe, aber meist nennenswerte Anteile an Grundwasser auf, das ursprünglich aus der Thur stammt. Dieser Infiltratanteil zeigt sich in den Werten für die Mineralisierung und die Aufhärtung, welche zwischen jenen des Thurwassers und des thurfernen Grundwassers aus versickerten Niederschlägen liegen. Auch in der Zeitreihe der Temperatur lassen sich solche Misch-Grundwässer identifizieren: Die jahreszeitliche Schwankungsbreite bewegt sich zwischen den grossen Amplituden der Thur und den sehr geringen des thurfernen Grundwassers.

Eine spezielle Eigenschaft des Infiltrat-Grundwassers soll beispielhaft anhand der Grundwasserfassung Forren, Frauenfeld, beleuchtet werden. Hier infiltriert Thurwasser direkt und ohne Passage durch eine belüftete Bodenzone ins Grundwasser. Es verliert bei der Uferpassage einen Teil des Sauerstoffs, weil aerobe Bakterien im Flussbett den hohen Gehalt an organischem Kohlenstoff im Material der Flusssohle veratmen (siehe auch DOC-Konzentrationen in der Thur in *Tabelle 1*). Vor allem im Sommer bei hohen Wassertemperaturen ist diese bakterielle Aktivität in der Thur sehr hoch. Im heissen Sommer 2003 war sie in der Fassung Forren derart hoch, dass der Sauerstoff im Infiltrat-Grundwasser vollständig aufgebraucht wurde, und das so reduzierte Grundwasser Eisenoxyde aus dem Gestein löste. Weil durch den Pumpbetrieb in der Grundwasserfassung atmosphärischer Sauerstoff ins Grundwasser gelangte, fiel das gelöste Eisen dort wieder aus. Dies führte zu einer sehr unerwünschten bräunlichen Trübung des Leitungswassers. Wenn sich in Zukunft das Klima wie erwartet in Richtung einer generellen Erhöhung der sommerlichen Luft- und Wassertemperaturen ändert, ist zu befürchten, dass solche Reduktionserscheinungen in den kommenden Jahren erneut und auch in anderen Fassungen mit ähnlichen Infiltrationsverhältnissen auftreten.

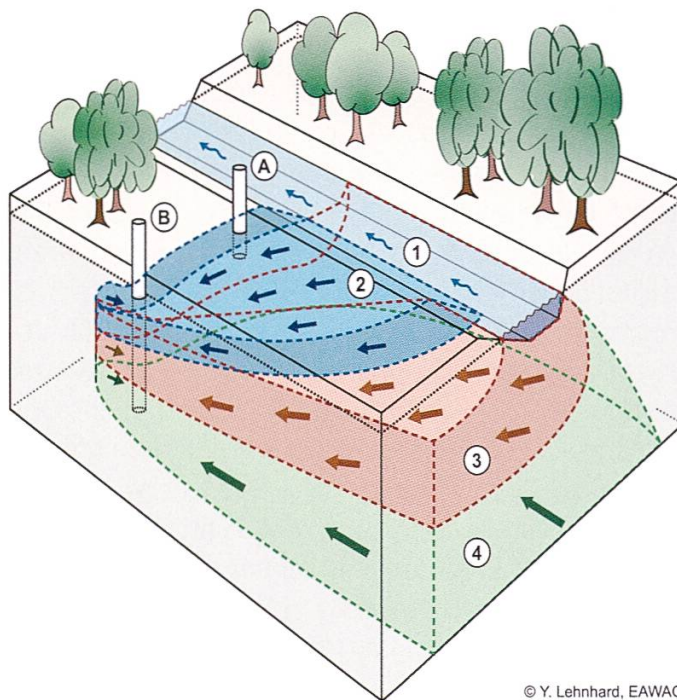
Hangwasser

Die Abhänge des Thurtals bestehen mehrheitlich aus Sandsteinen und Mergeln der Oberen Süsswassermolasse, wobei die Sandsteine für Wasser durchlässig sind. An den Abhängen treten einerseits Quellen aus der Molasse aus, und andererseits wird das Thurtal-Grundwasser unterirdisch etwas durch Hangwasser angereichert. Dieses Hangwasser unterscheidet sich von den bereits besprochenen, dass es im Mittel noch etwas stärker mineralisiert und härter ist als das thurferne aus Niederschlägen gespeiste Grundwasser der Talsohle (*Tabelle 1*). Die Sulfatkonzentrationen sind fast doppelt so hoch, und die Nitratkonzentrationen, welche eine Beeinträchtigung des Grundwassers durch landwirtschaftliche Nutzung anzeigen, sind ebenfalls erhöht.

3.2 Räumliche Modellvorstellung der Verteilung der Grundwässer im Thurtal

Wie dargelegt, kann das Thurtaler Grundwasser in horizontaler Richtung allein aufgrund der Distanz zur Thur und der Fliessrichtung (Abnahme der Sauerstoffkonzentration und Zunahme des Ammoniumgehaltes) beschrieben und in verschiedene Typen unterteilt werden. Da es sich aber beim Grundwasserträger des Thurtales um einen dreidimensionalen Körper handelt, stellt sich die Frage nach der Verteilung der verschiedenen Wässer in der Tiefe. Im Zusammenhang mit der Infiltration von Thurwasser in den Grundwasserkörper ist das Modell von *Hoehn et al. (2007)* dienlich (*Abbildung 3*).

Das junge Infiltrat (z.B. < 20 Tage Verweildauer im Untergrund) gleicht in seiner Zusammensetzung in vielerlei Hinsicht noch dem Thurwasser. Das ältere Infiltrat weist in der Regel eine Verweildauer im Untergrund von mehr als 20 Tagen auf, und ist im Übrigen ähnlich beschaffen wie das thurferne Grundwasser aus Niederschlägen. Der Übergang von frischem zu älterem Infiltrat ist kontinuierlich und



© Y. Lehnhard, EAWAG

Abbildung 3: Schematisches Blockdiagramm der räumlichen Beziehungen zwischen Thurn und Grundwasser. (1) Thurn (hellblau); (2+3) thurnahes Grundwasser (dunkelblau: frisches Thurn-Infiltrat mit < 20 Tage Verweildauer; rot: älteres Thurninfiltrat mit > 20 Tage Verweildauer); (4) thurfernes, durch versickerte Niederschläge gebildetes Grundwasser (grün).

die Abgrenzung über eine Verweildauer willkürlich. Das thurferne Grundwasser aus Niederschlägen ist meist älter als das Infiltrat-Grundwasser und wird von diesem beim Infiltrationsprozess vielerorts nach unten verdrängt (Abbildung 3). An verschiedenen Stellen ist also der Grundwasserkörper in senkrechter Richtung geschichtet, und frisches Infiltrat findet sich in der Regel zuoberst, gefolgt von älterem Infiltrat und thurfernen Grundwässern aus Niederschlägen. Mittels einer kontinuierlich messenden Multiparametersonde konnte anhand eines sogenannten Fluidlogging, eines kombinierten Tiefenprofils der Temperatur, der elektrischen Leitfähigkeit, des Sauerstoffgehalts und des pH-Werts eine Schichtung des Grundwassers nachgewiesen werden (Abbildung 4).

Bis auf den pH-Wert ändern sich all diese Parameter mit der Tiefe. So finden wir geringere Leitfähigkeiten, hohe Sauerstoffgehalte und höhere Temperaturen im oberen Teil des Thurtalschotters. Gegen die Basis des Schotters nehmen diese Werte signifikant zu (Leitfähigkeit und Temperatur) bzw. ab (Sauerstoff). Die oben beschriebenen «Modellvorstellungen» werden somit bestätigt.

3.3 Veränderungen der Grundwasserqualität am Beispiel der Fassung Gugel I

Der Grundwasserstrom zwischen Weinfeldern und Frauenfeld wird durch ca. 20 Fassungen der öffentlichen Trinkwasserversorgung genutzt. Die bedeutendste davon ist das Pumpwerk Gugel I mit einer konzessionierten Menge von 30 000 l/min. An dieser Fassung betrachten wir die Zeitreihe von 1999 bis

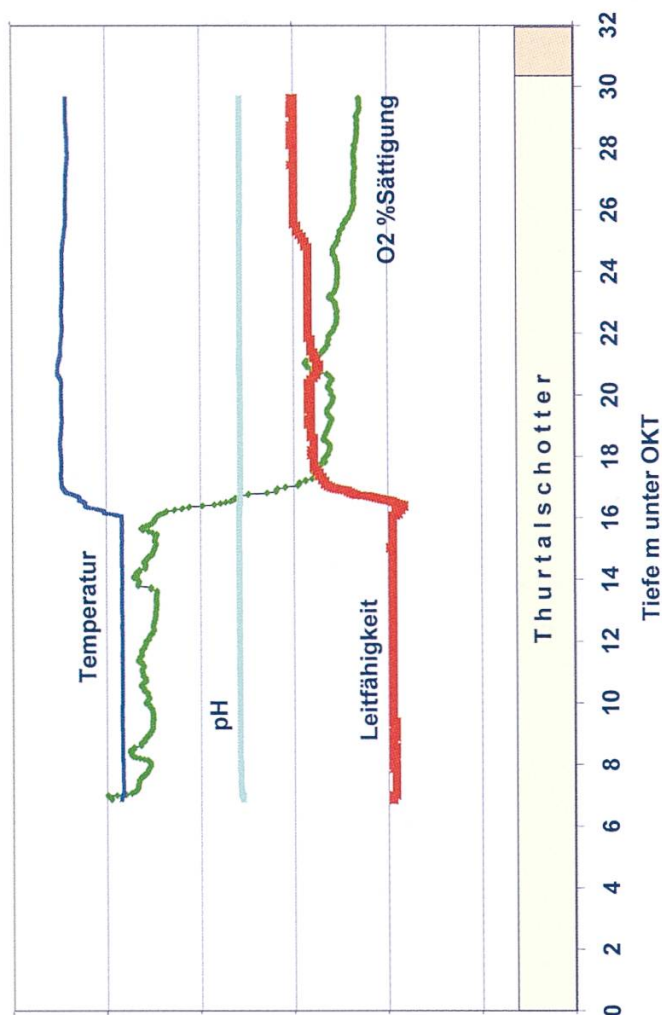


Abbildung 4: Tiefenprofil (Fluidlogging) einer Bohrung im Schachen bei Weinfeldern. Dargestellt sind die Messwerte des Grundwassers mit der Tiefe: Temperatur (dunkelblaue Linie), pH-Wert (hellblaue Linie), Leitfähigkeit (rote Linie), Sauerstoffsättigung in % (grüne Linie). Messwerte nehmen nach rechts zu. (OKT = Oberkante des Terrains).

2008 für Nitrat und Chlorid und vergleichen sie mit dem Verlauf des Grundwasserspiegels in diesem Gebiet. Die Veränderungen der Wasserqualität treten in Abhängigkeit des Grundwasserspiegels auf resp. können mit einem Ansteigen eines über längere Zeit tiefergelegenen Grundwasserspiegels erklärt werden.

In der *Abbildung 5* sind die Grundwasserstände im Pegel von Märstetten sowie die Nitrat- und Chloridgehalte des PW Gugel I von 1998 bis 2008 aufgeführt. Seit dem sehr heißen und trockenen Sommer 2003 ist bis Ende 2006 ein genereller Anstieg der Nitrat- und Chlorid-Konzentrationen im Wasser der Fassung zu beobachten. Seit Anfang 2007 nimmt der Gehalt wieder ab. Für Nitrat treten kurzfristige Spitzenkonzentrationen auf, die den generellen Anstieg überlagern und die jeweils mit einem Anstieg des Grundwasserspiegels korrelieren. Die Thur führt mit ca. 10 mg/L tiefere Nitratkonzentrationen als das Grundwasser. Der periodische Anstieg muss also von jenem Anteil des gefördertem Grundwassers stammen, der aus versickerten Niederschlägen stammt. Dies entspricht jenem

Teil des Entnahmebereichs, der von thurfernem Grundwasser gespeist wird. Die Nitratspitzen in der Fassung traten gegenüber dem Maximum des Grundwasserspiegelanstiegs nur sehr wenig verzögert auf. Daraus kann geschlossen werden, dass die Spitzenbelastung an Nitrat aus dem näheren Entnahmebereich der Fassung stammt. Der Anstieg des Nitratgehaltes wird wie folgt erklärt: Bei sinkendem Grundwasserspiegel kann vermehrt Nitrat in der kontinuierlich

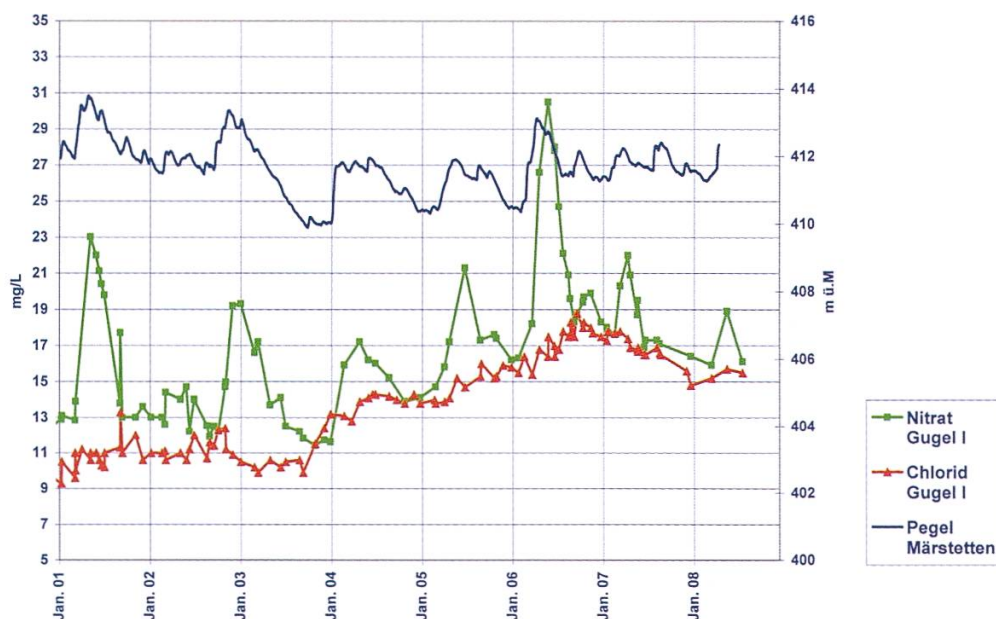


Abbildung 5: Grundwasser des PW Gugel I, Nitrat- und Chlorid-Gehalte zwischen 2001 und 2008 sowie Pegelwerte der Messstelle Märstetten.

grösser werdenden ungesättigten Bodenzone gespeichert werden. Steigt der Grundwasserspiegel an, so wird das in der ungesättigten Zone gespeicherte Nitrat durch das Grundwasser gelöst und führt so zu ansteigenden Nitratwerten. Somit sind die hohen Nitrat-Spitzenkonzentrationen des PW Gugel im Juni 2006 auf die sehr niedrigen Grundwasserstände im extrem heissen Sommer 2003 zurückzuführen. Erst im Juni 2006 erreichte der Grundwasserspiegel wieder die Höhenlage, die er zuletzt im Frühjahr 2003 besass. Das in diesen vier Jahren gespeicherte Nitrat wurde danach durch das Grundwasser ausgewaschen.

Der Effekt des Nitratanstiegs infolge Auswaschung durch den steigenden Grundwasserspiegel im untersuchten Zeitraum ist für ca. ein Drittel der Gesamtnitratkonzentrationen im Grundwasser aus dem PW Gugel I verantwortlich. Aus der guten Korrelation der Nitratgehalte und dem Pegelstand kann nun jedem Anstieg von einem Meter ein entsprechender Konzentrationsanstieg von ca. 6 mg/L Nitrat zugeordnet werden. Für vergleichbare hydrologische Situationen von tiefen Grundwasserständen und anschliessendem Anstieg des Grundwasserspiegels kann diese Erkenntnis für eine Prognose der Nitratgehalte des zukünftig geförderten Trinkwassers herangezogen werden.

Auch für Chlorid wurde eine seit etwa dem Ende der Neunzigerjahre einsetzende Grundbelastung festgestellt. Anders als beim Nitrat wurden aber beim Chlorid keine

Spitzenkonzentrationen festgestellt, die mit dem Ansteigen des Grundwasserspiegels korrelieren. Einzelne Hinweise aus einigen Grundwasserfassungen lassen vermuten, dass auch für weitere Kontaminanten, wie z.B. Pflanzenschutzmittelrückstände (PSM) oder chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) bei steigendem Grundwasserspiegel mit erhöhten Konzentrationen im Grundwasser zu rechnen ist.

Die vorliegenden Untersuchungen liefern den Wasserversorgungen im betrachteten Gebiet nützliche Erkenntnisse, um in kritischen Situationen (Pegelanstieg nach tiefen Grundwasserständen) geeignete Massnahmen zur nachhaltigen Sicherung der Trinkwasserqualität zu treffen. Diese Massnahmen könnten z.B. vermehrte Qualitätskontrollen des Trinkwassers, die temporäre Abschaltung der Fassung, das Zumischen von Fremdwasser oder eine Wasseraufbereitung beinhalten.

4 Zusammenfassung

Aufgrund der vorliegenden Datenbasis können das Thurtaler Grundwasser aus hydrochemischer Sicht beschrieben und die Beobachtungen und Erkenntnisse interpretiert werden. Die Gesamtmineralisation aller im Thurtal vorhandenen Fluss- und Grundwässer liegt zwischen 200 und 350 mg/L. Die Grundwässer können durch die Zusammensetzung ihrer Hauptbestandteile dem Typ $\text{Ca-Mg-HCO}_3(\text{NO}_3)$ zugeordnet werden. Die mengenmässig grössten Bestandteile im Wasser sind mit über 50% der Gesamtkonzentrationen Calcium (Ca) und Hydrogenkarbonat (HCO_3), wie dies für Grundwasser aus dem schweizerischen Mittelland typisch ist. Anhand von geochemischen Karten (*Abbildung 1 und 2*) sowie aus den Untersuchungen des Grundwassers aus Bohrungen (*Abbildung 4*) kann ein dreidimensionales Modell der Verteilung der Grundwässer in horizontaler und vertikaler Richtung hergeleitet werden. Dabei ist die Entfernung der Grundwassermessstelle zur Thur sowie die unterirdisch zurückgelegte Flie遳strecke bzw. Verweilzeit des Grundwassers ein wichtiges Kriterium zur weiteren Unterscheidung der Grundwasserbeschaffenheit. Die Qualität des Grundwassers variiert also aufgrund ihrer räumlichen Position im Thurtal, aber auch aufgrund von jahreszeitlichen Veränderungen bzw. extremen Wetterbedingungen (z.B. der sehr heisse Sommer 2003). Auch die Landnutzung im Entnahmebereich spielt für die Qualität eine Rolle, wie dies am Beispiel des PW Gugel westlich von Weinfeldern aufgezeigt werden konnte. Für eine nachhaltige Sicherung einer guten Grundwasserqualität im Thurtal ist der sorgsame Umgang und Schutz dieses wertvollen Grundwasserkörpers als Trinkwasserlieferant eine immer wichtigere Aufgabe.

5 Literatur

- *Aeschbach-Hertig W., Kipfer R. & Hofer M., 2001: Analysen von Umweltracern im Grundwasser des Thurtals. – Interner Bericht der EAWAG im Auftrag des Amt für Umwelt Kanton Thurgau, unpubl. Bericht.*
- *BAFU 2008: Bundesamt für Umwelt. Management des Grundwassers in der Schweiz, Hrsg: BAFU, 40 pp.*

- *Baumann M., Hoehn E. & Jordan P., 2009:* Einsatz des neuen Grundwassermodells im Rahmen der 2. Thurgauer Thurkorrektur, Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 63.
- *ChemMap, 2002:* Projektbeschreibung für ein Programm zur Umwandlung von Punkt-Messdaten in Flächenkarten. – Interner Bericht, Amt für Umwelt Kanton Thurgau, unpubl. Bericht.
- *Hoehn E., 2009:* Methoden zur Bestimmung der Wechselwirkungen zwischen Thur und Grundwasser – Wichtigste Ergebnisse von Untersuchungen der Eawag an der Thur. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 63.
- *Hoehn E., Zobrist J., Schwarzenbach R.P., 1983:* Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser – Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Glattal, Gas – Wasser – Abwasser 63(8), 401–410.
- *Hoehn E., Cirpka O.A., Hofer M., Zobrist J., Kipfer R., Baumann M., Scholtis A. & Favero R., 2007:* Untersuchungsmethoden der Flussinfiltration – Gas – Wasser – Abwasser 87(7), 497–505.
- *Jäckli H., 1970:* Klassifikation von Grundwasservorkommen – Eclogae geol. Helv. 63(2), 389–434.
- *Matthess G., 1990:* Beschaffenheit des Grundwassers – Lehrbuch der Hydrogeologie Band 2, Gebrüder Bornträger, Berlin-Stuttgart, 2. Auflage, 498 pp.
- *Naef H. & Frank St., 2009:* Neue Erkenntnisse zur Entstehung und Aufbau des Thurtaler Grundwasserträgers. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 63.
- *Osenbrück K., 2001:* Pilot-Isotopen-Studie Thurtal. – Hydroisotop, Schweitenkirchen, Deutschland, Interner Bericht im Auftrag des Amt für Umwelt, Kanton Thurgau.
- *Schweizer M., 2008:* Grundwassermanagement im alluvialen Aquifer des Thurtals im Abschnitt Weinfeld–Märstetten–Masterarbeit Ingenieurgeologie, Departement Erdwissenschaften, ETHZ, Juni 2008, 79 pp.
- *Spring U. & Gmünder Ch., 2009:* Grundwasserströme und Grundwasserbilanzen. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 63.

Adressen der Autoren:

Dr. Eduard Hoehn
Hydrogeologe, Eawag, Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs
CH-8600 Dübendorf

Dr. Andreas Scholtis
Hydrogeologe, Abteilung Gewässerqualität
Amt für Umwelt Thurgau, CH-8510 Frauenfeld

