**Zeitschrift:** Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen
**Herausgeber:** Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen
**Band:** 44 (1999)

**Artikel:** Mathematisches Grundwassermodell Klettgaurinne
**Autor:** Bühl, Herbert / Tietje, Olaf
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-584910

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 11.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

Mitt. natf. Ges. Schaffhausen **44**, 35 - 49 / Schaffhausen 1999

# Mathematisches Grundwassermodell Klettgaurinne

von

**Herbert Bühl und Olaf Tietje**

## 1 Ausgangslage

Das mathematische Grundwassermodell Klettgau (AHR 1998) ist zentrales Werkzeug bei der Erarbeitung von Entscheidungsgrundlagen für die wasserwirtschaftlichen Planung, die Risikovorsorge und den Schadensfall.

Der Arbeitsgruppe Hydrogeologie und Risikovorsorge[1] stand bei Beginn des Interreg II-Projektes "Entwicklungskonzeption Klettgaurinne" das mathematische Grundwassermodell 1993 zur Verfügung (AWBW 1993). Dessen Modellgebiet reicht von Waldshut (D) im Westen bis nach Beringen (CH) in den östlichen Klettgau. Die für das Grundwassermodell 1993 verwendeten Datengrundlagen waren im deutschen und schweizerischen Klettgau von unterschiedlicher Qualität. Bei der Kalibrierung des Modells war man daher an Grenzen gestossen, und die Modellierungsergebnisse standen gebietsweise im Widerspruch mit den geologischen Gegebenheiten. Beispielsweise

[1]Der Arbeitsgruppe AHR gehörten an: WOLF PABST (Vorsitzender), HERBERT BÜHL, PETRA GRITSCH, HERMANN HARDMEIER, JOHANNES HÖRLER, WERNER SCHALDACH, MICHAEL STOCKER, OLAF TIETJE und WALTER VOGELSANGER.

wurde an einigen Randabschnitten des Modellgebietes ein Abstrom aus dem Modellgebiet berechnet, obwohl nach geologischen Kriterien ein Zustrom zu erwarten wäre. Die Arbeitsgruppe Hydrogeologie und Risikovorsorge des Interreg II-Projektes entschied sich daher für eine Überarbeitung des bestehenden Grundwassermodells.

## 2 Aufbereitung der Eingangsdaten

Das zweidimensionale mathematische Grundwassermodell ist auf einem quadratischen Raster mit 100 m Seitenlänge der einzelnen Zellen aufgebaut. Für jede Modellzelle müssen für folgende Grössen Eingangswerte angegeben werden: Tiefenlage der stauenden Schicht, Durchlässigkeit des Grundwasserleiters, direkte Grundwasserneubildung aus der Versickerung von Niederschlagswasser. Für Modellzellen, innerhalb denen Grundwasserentnahmen aus Brunnen stattfinden, müssen die Entnahmemengen bekannt sein. Für Zellen am seitlichen Modellrand sind die "Randbedingungen" z.B. Grundwasserspiegellagen oder der Zustrom von ausserhalb des Modellgebietes vorzugeben. Die Infiltration oder Exfiltration von Fliessgewässern ist ebenfalls als Randbedingung für die betroffenen Zellen zu formulieren. Diese Arbeiten müssen als "Preprocessing" vor Beginn der Modellkalibrierung vorgenommen werden.

Bei der Aktualisierung des mathematischen Grundwassermodells Klettgaurinne wurden in der Preprocessing-Phase folgende Arbeiten durchgeführt:

- Anpassung des Modellgebietes (Einbezug von bisher nicht berücksichtigten Teilen der Quartärrinne, Abb. 1)
- Einbezug zusätzlicher geologischer Aufschlussdaten (insbesondere Bohrungen) im schweizerischen Teil des Klettgaus, verbunden mit gebietsweisen Anpassungen der Höhenlage der Aquiferbasis und der Durchlässigkeitswerte des Grundwasserleiters.
- Gliederung des Modellgebietes in einen Westteil zwischen Rhein und Wutach und einen Ostteil, der eigentlichen Klettgaurinne östlich der Wutach (Abb. 1).
- Abgrenzung des unterirdischen Einzugsgebietes des Ostteils des Modellgebietes und Gliederung in Teileinzugsgebiete aufgrund hydrogeologischer Kriterien und insbesondere nach einer Analyse der Grundwasserspiegelschwankungen in der Klettgaurinne (Abb. 1).
- Abschätzung der für die Grundwasserneubildung relevanten Bodeneigenschaften "nutzbare Feldkapazität" und "effektive Durchwurzelungstiefe" aus verfügbaren Bodenkarten und geologischen Karten im Ostteil des Modellgebietes und den Teileinzugsgebieten.
- Beschaffung von Bodennutzungsdaten einheitlicher Qualität für das gesamte, grenzübergreifende Bearbeitungsgebiet (Satellitenbildauswertung)
- Neuberechnung der Grundwasserneubildung aus Bodeneigenschafts-, Bodennutzungs- und Klimadaten für die Modellzellen im Ostteil des Modellgebietes und für die randlichen Teileinzugsgebiete (Abb. 2).
- Ermittlung des seitlichen Zustroms zum Modellrand aus den Teileinzugsgebieten unter Abzug der Quellwassernutzungen in den Teileinzugsgebieten und des

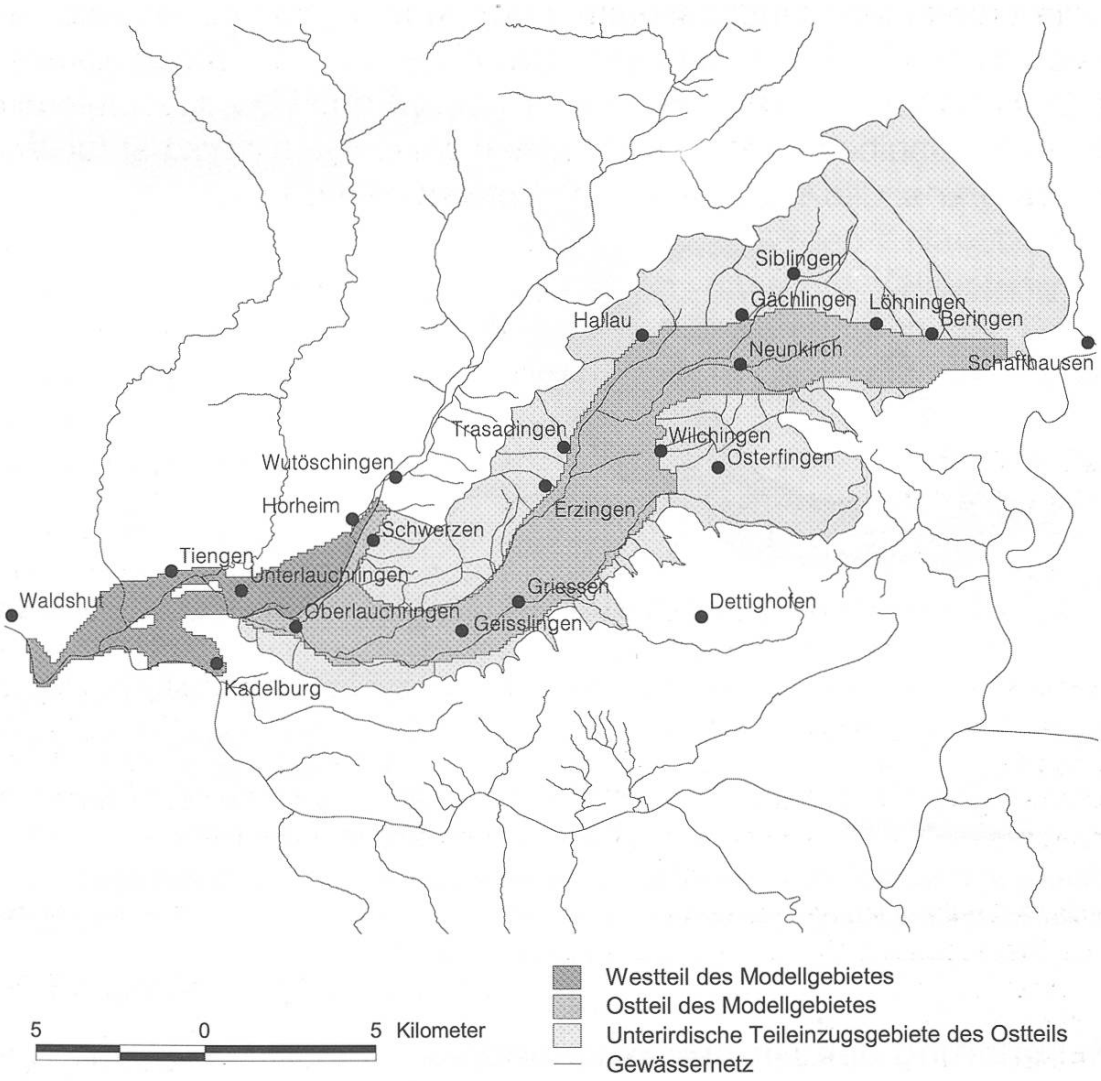


Abbildung 1: Modellgebiet des mathematischen Grundwassermodells Klettgaurinne.

oberirdischen Abflusses aus den Teileinzugsgebieten.

- Ermittlung des seitlichen Abstroms (Grundwasserverlust) aus dem Modellgebiet aufgrund örtlicher hydrogeologischer und geologischer Gegebenheiten.
- Ermittlung der Grundwasserentnahmen aus Tiefbrunnen (Grundwasserpumpwerken) aufgrund der Aufzeichnungen der kommunalen Wasserversorgungen.

Die weiteren Eingangsdaten wurden aus dem bestehenden Grundwassermodell (AWBW 1993) übernommen. Das Preprocessing erfolgte mit Hilfe der GIS-Software ArcInfo und ArcView.

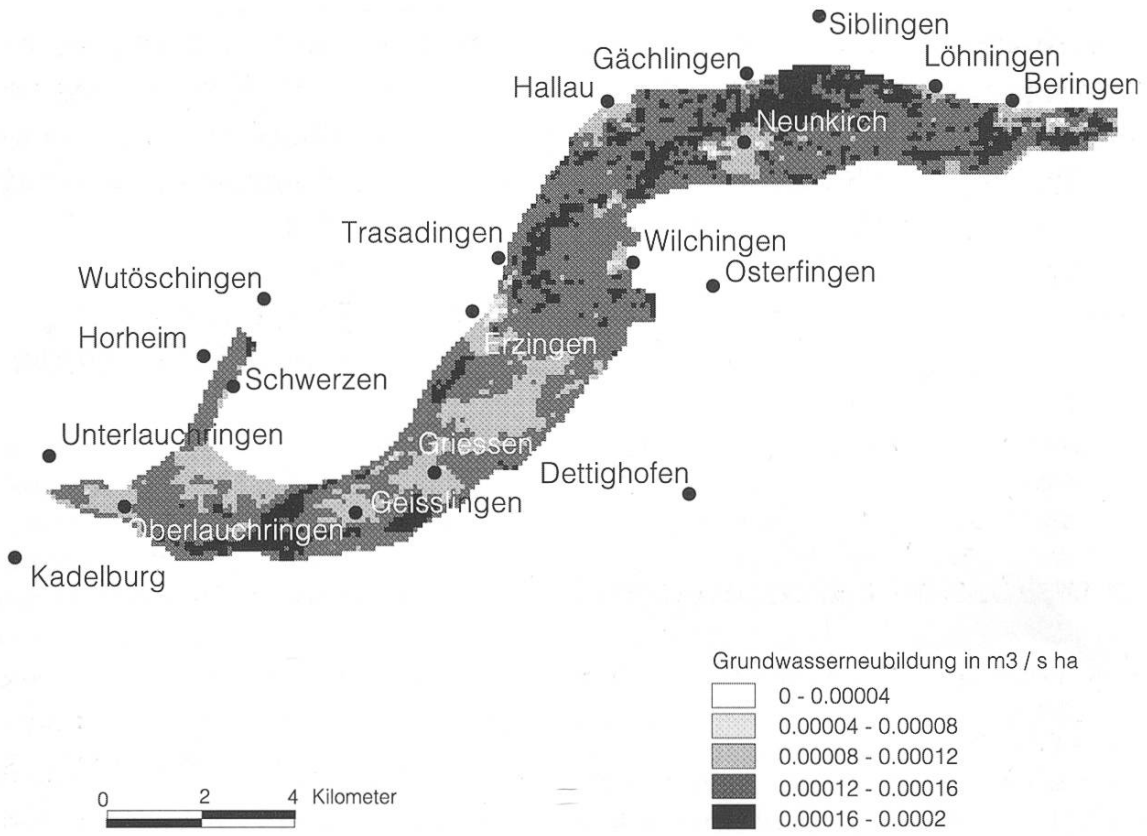


Abbildung 2: Räumliche Verteilung der Grundwasserneubildung im Ostteil des Modellgebietes der Klettgaurinne.

## 3 Kalibrierung des Grundwassermodells

### 3.1 Konzept der Kalibrierung

Für das mathematische Grundwassermodell Klettgaurinne wurden neue, aus geologischer Perspektive plausiblere Eingangsdaten bereitgestellt (s. o.). Eine neue Kalibrierung des Modells auf der Basis dieser Daten wurde damit notwendig.

Bei der Kalibrierung eines Modells werden innerhalb der plausiblen Grenzen die Eingangsdaten des Modells so verändert, dass die berechneten Grundwasserstände die vorgegebenen Pegelmessungen wiedergeben. Bei der Validierung eines Modells wird überprüft, ob Modellrechnungen (Simulationen) mit den bei der Kalibrierung festgelegten Eingangsdaten für neue, bei der Kalibrierung nicht verwendete Messungen eine genügend genaue Berechnung ergeben.

Die Grundwasserneubildung und die Randzuströme sind Modelleingangsdaten, die vom Klimageschehen in der Zeit vor einer Stichtagsmessung beeinflusst werden. Die übrigen Eingangsdaten beschreiben Aquifereigenschaften und Randbedingungen, die unabhängig vom Klimageschehen sind. Ziel der Kalibrierung war es, die klimaunabhänigen Eingangsdaten für den Hauptstichtag 6. November 1989 derart zu bestimmen, dass die Validierung des Modells für weitere Stichtage lediglich mit Korrekturen der Grundwasserneubildung und der Randzuströme durchgeführt werden konnte.

## 3.2 Diskussion der wichtigsten Kalibrierungsmassnahmen

**Hydraulische Leitfähigkeit:** Für die Kalibrierung wurden die aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeiten (kf-Werte) als Orientierungswerte benutzt. Während der Kalibrierung wurden die kf-Werte östlich der Wutach gebietsweise angepasst, während die Sohle des Grundwasserleiters nicht verändert wurde. D. h., dass die Transmissivität immer nur über die kf-Werte korrigiert wurde. Generell hat die neue Kalibrierung in der Klettgaurinne zu höhreren kf-Werten geführt als die alte, im deutschen Klettgau auch zu höheren Werten als in den Pumpversuchen ermittelt. Die kf-Werte des Kalibrierungsergebnisses in der Hauptrinne des Klettgaus östlich der Wutach liegen bei der neuen Kalibrierung zwischen 0.0033 und 0.0077 m/s. Bei der Einmündung des Wangentals musste der kf-Wert auf 0.0014 m/s reduziert werden. Zusätzlich wurden unter dem Plomberg und südlich Wilchingen die kf-Werte auf 0.00014 und 0.0001 m/s reduziert, um örtlich starke Abweichungen des gemessenen vom berechneten Spiegel korrigieren zu können. Die Zonen mit den sehr geringen kf-Werten können als Gebiete mit aufragender Aquiferbasis interpretiert werden. Die Plausibilität dieser Annahme wird einerseits durch die Erosionsresistenz des Plombergs und des Gebietes "Uf em Rain", die gut 35 m über die Talsohle der Wangentaleinmündung herausragen,und andererseits durch die geoelektrischen Prospektionsergebnisse von GILLIAND (1970) gestützt. Auf die Existenz weiterer von GILLIAND vermuteter Felshochzonen ergaben sich während der neuen Kalibrierung keine Hinweise.

**Standörtliche Grundwasserneubildung und Randzuflüsse:** Die Berechnung der Eingangsdaten für die standörtliche Grundwasserneubildung und der Randzuflüsse gehen von gemittelten Klimadaten der Periode 1975 bis 1989 der Station Hallau aus. Der Hauptstichtag vom 6. November 1989 folgt auf eine Klimaperiode mit deutlich geringerem Niederschlag als der Mittelwert. Entsprechend müssen für diesen Stichtag eine geringere Grundwasserneubildung und kleinere Randzuflüsse angenommen werden.

Aufgrund von Berechnungen der jährlichen Grundwasserneubildung, nach einem Verfahren von RENGER et al. (1989), für die Zeitperioden vor den Stichtagen mit Klimadaten der Station Schaffhausen wurden Korrekturfaktoren abgeschätzt. Für den Hauptstichtag 6. November 1989 beträgt der Korrekturfaktor für die Verminderung der standörtlichen Grundwasserneubildung und des Randzustroms 0.7.

Zusätzlich waren die Randzuflüsse aus den grossen Teileinzugsgebieten ganz im Osten bei der Enge und im Wangental zu verkleinern. Hier wurden die Zuflüsse in einem zweiten Schritt auf 67 %, bzw. 65 % des Wertes nach der ersten Korrektur vermindert. Mit dem zweiten Reduktionsschritt wird einerseits der Oberflächenabfluss aus diesen Teileinzugsgebieten über den Hemmentalerbach und den Seegraben geschätzt und andererseits ein allfällige Fehler bei der Abgrenzung dieser grossen Einzugsgebiete korrigiert. Die Reduktion entspricht einem Abfluss von etwa 66 l/s aus dem Teileinzugsgebiet im Osten mit dem Hemmentalerbach und einem solchen von 45 l/s aus dem Teileinzugsgebiet des Wangentals mit dem Seegraben.

## 3.3 Kalibrierungsergebnis

Abbildung 3 zeigt das Kalibrierungsergebnis für den Hauptstichtag 6. November 1989 als Isohypsendarstellung der berechneten Grundwasseroberfläche. Abbildung 4 beschreibt die Güte der Kalibrierung. Hier werden die Differenzen der berechneten und gemessenen Grundwasserspiegel des Hauptstichtags 6. November in einem Querprofil von Westen nach Osten aufgetragen und zwar für die alte Kalibrierung 1993 und die neue Kalibrierung 1998.

## 3.4 Validierung des Grundwassermodells mit Hilfe der Stichtagsmessungen

**Diskussion der Stichtagsmessungen:** Um die Stichtage beurteilen zu können, wurden die Differenzen zwischen den (Neben-) Stichtagsmessungen am 25. April 1988, 4. Oktober 1988 und 7. September 1992 sowie den Messungen am Hauptstichtag (6. November 1989) berechnet. Abbildung 5 zeigt die Differenzen der Spiegelmessungen.

Am Stichtag 4. Oktober 1988 wurden generell höhere Grundwasserspiegel gemessen als am 6. November 1989. Das Spiegelgefälle ist am 4. Oktober 1988 östlich der Wutach generell grösser als am 6. November 1989. Wenige Messstellen weichen vom generellen Trend ab.

Am 7. September 1992 lagen die Grundwasserspiegel generell tiefer als am 6. November 1989. Das Spiegelgefälle war ganz im Osten zwischen der Enge und Löhningen etwas steiler als am 6. November 1989, zwischen Löhningen und Wilchingen-Unterneuhaus etwa gleich und von dort bis zur Wutach generell flacher. Bei der Einmündung des Wangentals weichen die Spiegeldifferenzen zwischen den beiden Stichtagen lokal stark von den gebietstypischen Differenzen ab.

Am 25. April 1988 ist das Spiegelgefälle im Schaffhauser Klettgau deutlich grösser als am Hauptstichtag, 6. November 1989 und den weiteren beiden Herbststichtagen. Im deutschen Klettgau ist es bis unmittelbar östlich von Oberlauchringen kleiner und von da bis zur Wutach deutlich steiler. Bei der Einmündung des Wangentals bestehen lokal wiederum starke Abweichungen der Spiegeldifferenzen von den übrigen Werten in diesem Gebiet.

Die Abweichungen der Stichtage 4. Oktober 1988 und 7. September 1992 vom Hauptstichtag können mit generell geringerer bzw. generell höherer Grundwasserneubildung und generell kleinerem bzw. grösserem Randzustrom erklärt werden.

An einigen, randlich gelegenen Messstellen im Klettgau, so bei der Einmündung des Wangentals und im östlichen Klettgau bei Beringen wird die Grundwasserspiegelganglinie von Zuströmen aus stark

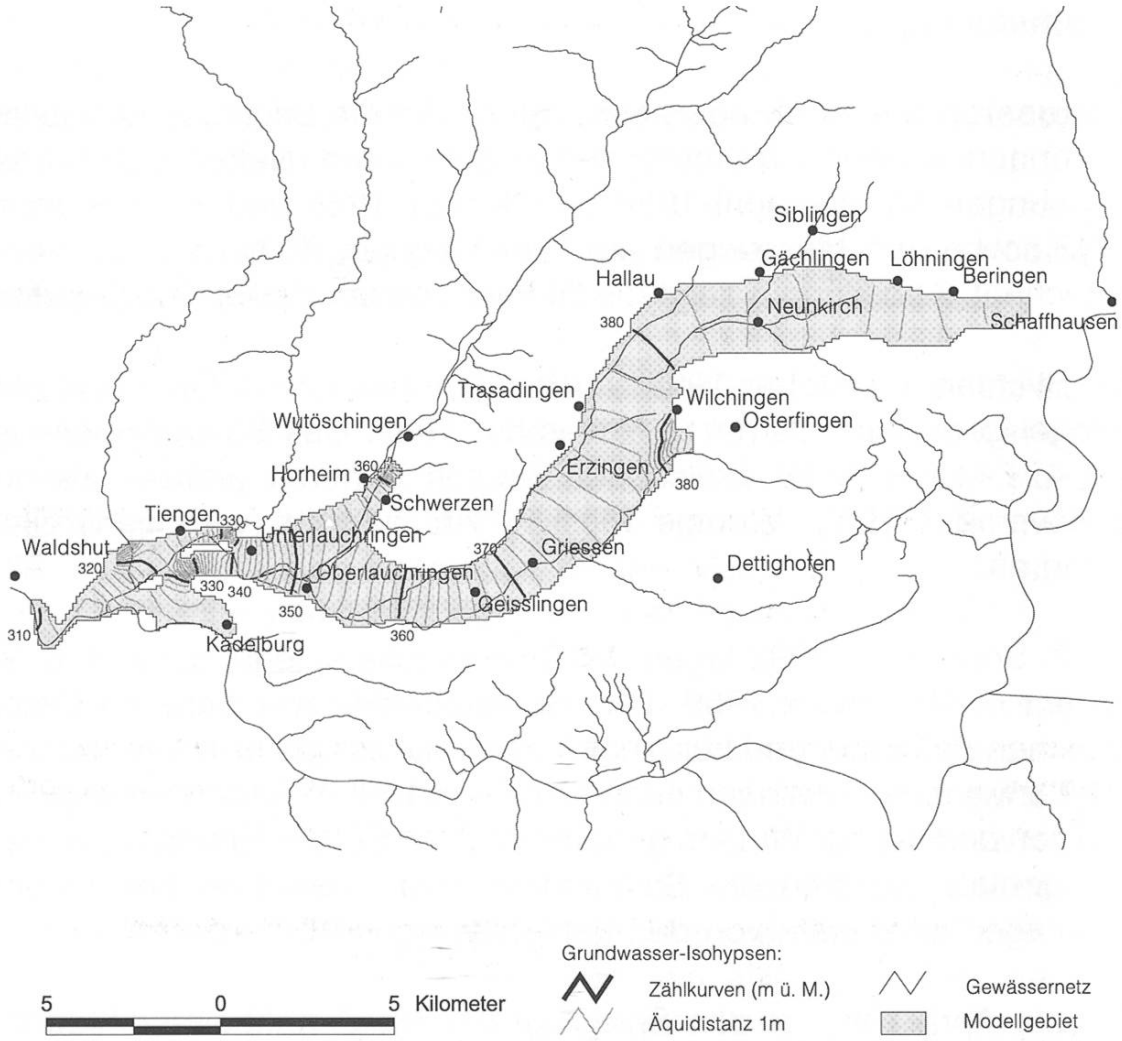


Abbildung 3: Berechnete Isohypsen des Grundwasserspiegels für den Hauptstichtag 6. November 1989 aufgrund der Kalibrierung 1998

karsthydrologisch geprägten Teileinzugsgebieten bestimmt. Die Amplituden der Jahresschwankungen sind generell höher als an den im Innern der Rinne gelegenen Messstellen (Abb. 6). Die starken Karstwasserzuströme, die vor allem im östlichen Klettgau und im Wangental auftreten und im Winter einsetzen, bewirken im Frühjahr insbesondere auch einen früheren und stärkeren Grundwasserspiegelanstieg als an den übrigen Messstellen. Die hydrologischen Unterschiede der Teileinzugsgebiete führen im Frühjahr zu grundsätzlich anderen Gefällsverhältnissen in der Klettgaurinne als im Herbst.

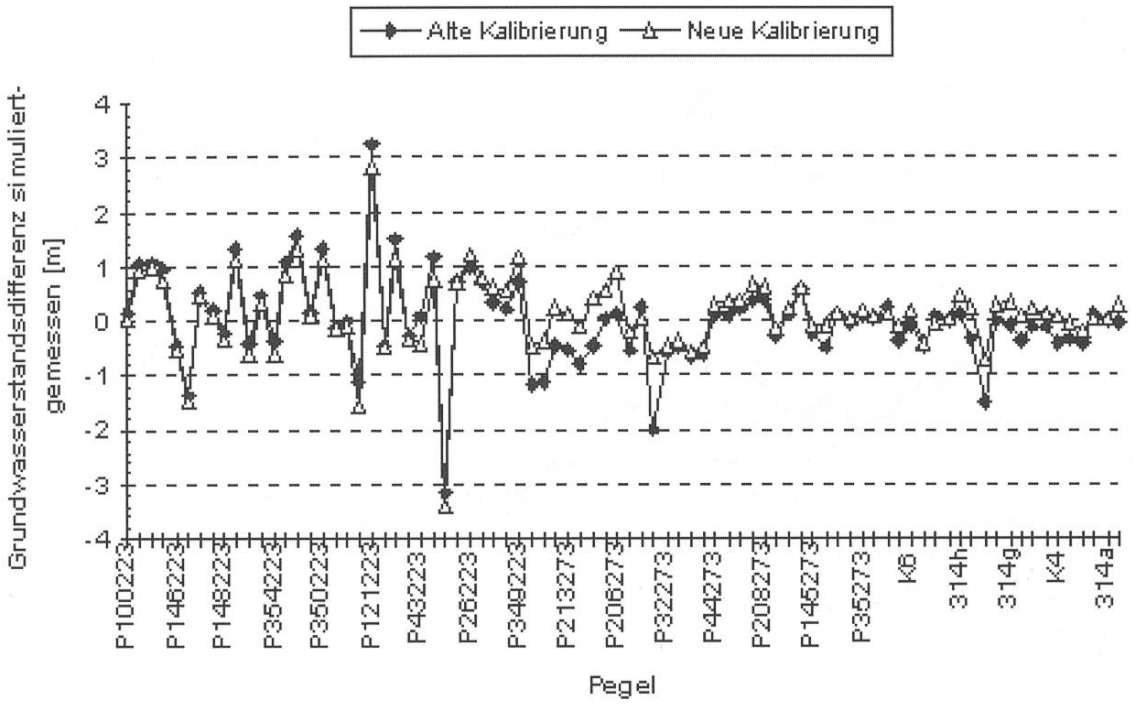


Abbildung 4: Grundwasserspiegeldifferenz (berechnet minus gemessen) für den Hauptstichtag 6. November 1989 an den Messpegeln in einem Profil von West nach Ost. Vergleich der alten Kalibrierung 1993 mit der neuen Kalibrierung 1998.

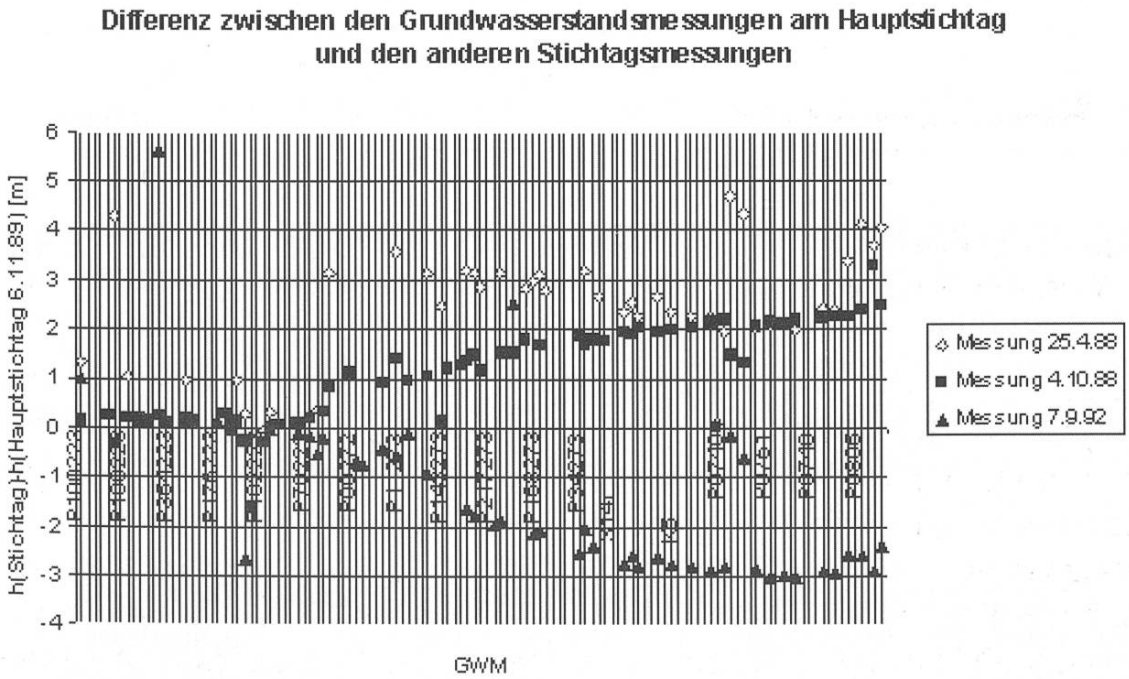


Abbildung 5: Übersicht zu den Stichtagsmessungen.

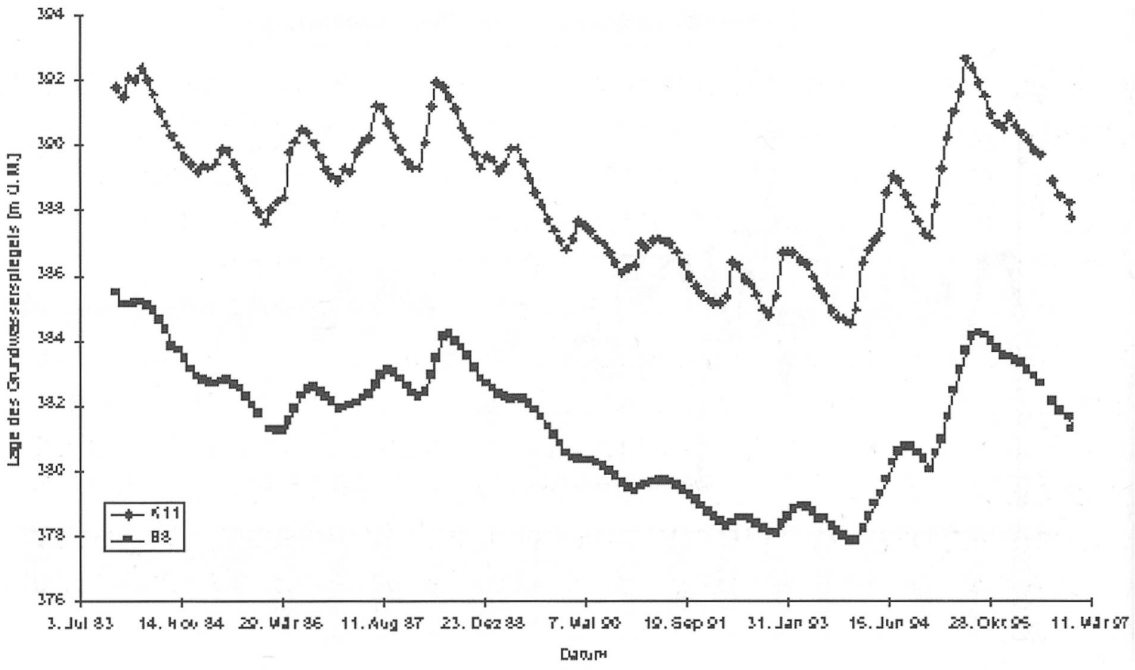


Abbildung 6: Grundwasserspiegelganglinien an zwei Messstellen in der Klettgaurinne. Die Messstelle K11 liegt ganz im Osten der Klettgaurinne. Sie weist grosse jahreszeitliche und witterungsabhängige Schwankungen auf. Der Grundwasserspiegelanstieg erfolgt jeweils sehr rasch. Demgegenüber erfolgt der Spiegelrückgang verzögert. Die Ganglinie ist charakteristisch für einen Pegel, der auf starke Karstwasserzuströme zum Lockergesteinsaquifer reagiert. Die Messstelle B8 liegt westlich von Neunkirch im Gebiet Hungerbuck. Der zeitliche Spiegelverlauf ist hier stark geglättet. Randzuflüsse wirken sich nicht unmittelbar auf auf die zeitlichen Spiegelschwankungen aus.

**Konsequenz für die Kalibrierung:** Eine stationäre Kalibrierung wird durch die Annahme generell höherer oder tieferer Grundwasserneubildungen und Randzuströme die Spätsommer- und Herbststichtage gut annähern können. Mit einer generellen Korrektur dieser Grössen werden jedoch Frühjahrssituationen nicht befriedigend simuliert werden können. Hier stösst die stationäre Kalibrierung an ihre Grenzen.

Die Ergebnisse der Grundwasserspiegelberechnungen für die Stichtage 25. April 1988, 4. Oktober 1988 und 7. September 1992 sind in den Abbildungen 7 bis 9 jeweils in West-Ost-Profilen durch das Modellgebiet dargestellt.

## 3.5 Sensitivitätsanalysen

Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen wurde untersucht, wie stark sich Änderungen von Modellparametern auf die berechneten Grundwasserstände auswirken. Daraus kann abgeleitet werden, welche Anforderungen an die Genauigkeit der Modellparameter zu stellen sind, bzw. ob zusätzliche Datenerhebungen erforderlich sind.

Die Sensitivitätsanalysen zeigen den Einfluss von prozentualen Änderungen der Eingangsgrössen. Diese Änderungen beziehen sich jeweils auf den gesamten Klettgau. Die Sensitivitätsanalysen ergeben generell, dass sich Variationen der Modellparameter im östlichen Klettgau jeweils am stärksten auswirken. Das heisst, die Auswirkungen nehmen mit der Entfernung von der Wutach, die als Vorfluter wirkt, zu.

Lokale Änderungen der Eingangsgrössen haben einen kleineren Effekt auf die Höhe der Grundwasserstände als pauschale Änderungen. Diese lokalen Änderungen (z.B. die Änderung der Leitfähigkeiten im Einflussbereich des Wangentals) wirken sich jedoch lokal stärker aus und führen insbesondere zu anderen Grundwasserfliessbahnen.

Wir fassen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse in der Tabelle 1 zusammen. Veränderungen der Grundwasserentnahmen haben einen geringen Einfluss auf die Lage des Grundwasserspiegels, bzw. sie wirken sich nur lokal aus. Das Modell reagiert am sensitivsten auf Veränderungen der hydraulischen Leitfähigkeit. Das ist insofern von Bedeutung, weil hier die Ungenauigkeit der Datenerhebung gross ist, worauf auch die Streuung der Pumpversuchsdaten aus der Klettgaurinne hinweist. Die mit Pumpversuchen in Tiefbrunnen ermittelten hydraulischen Leitfähigkeiten variieren in der Klettgaurinne zwischen 0.002 und 0.01 m/s (BÜCHI & MÜLLER 1985; KÜHNLE-BAIKER 1992). Um die Verteilung der Leitfähigkeiten im Raum zuverlässig abschätzen und in das Modell einbringen zu können, müsste die Datengrundlage räumlich stark verdichtet werden. Dies erscheint aber aus Kostengründen nicht realistisch.

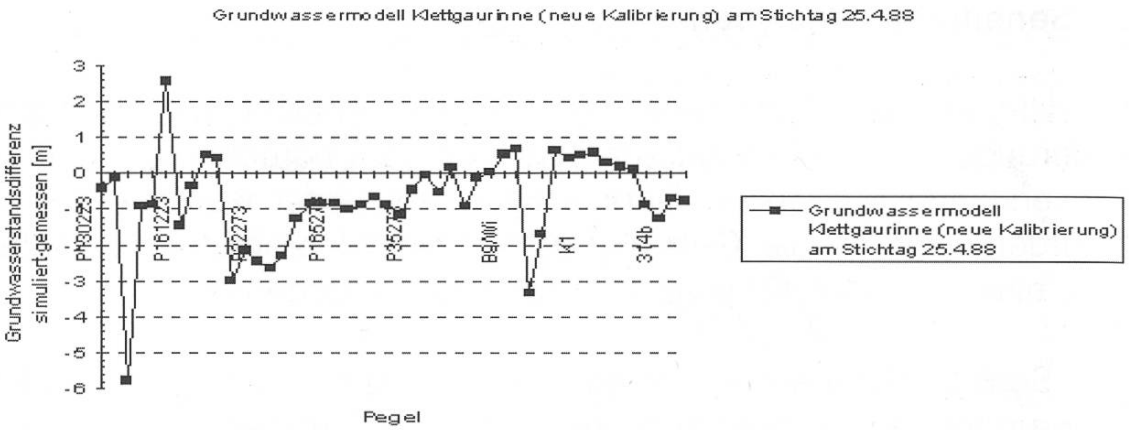


Abbildung 7: Vergleich der für den Stichtag 25. April 1988 berechneten Grundwasserstände mit den entsprechenden Messwerten.

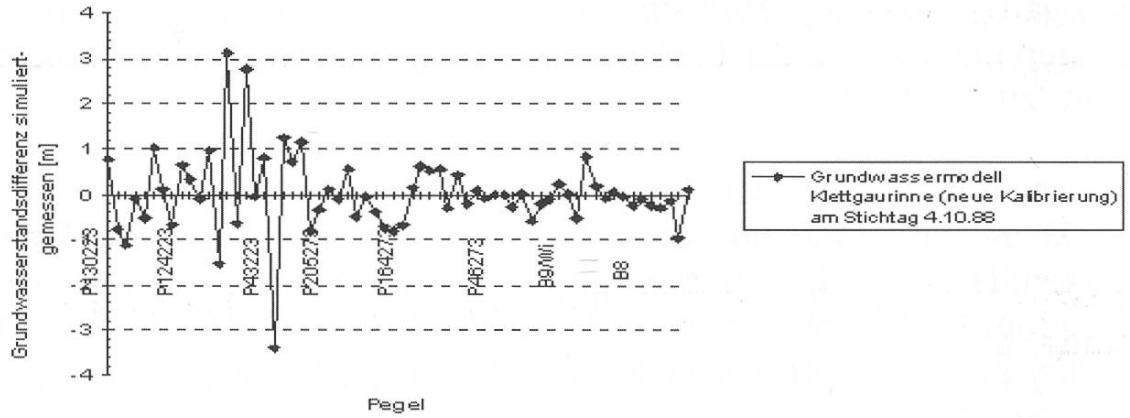


Abbildung 8: Vergleich der für den Stichtag 4. Oktober 1988 berechneten Grundwasserstände mit den entsprechenden Messwerten.

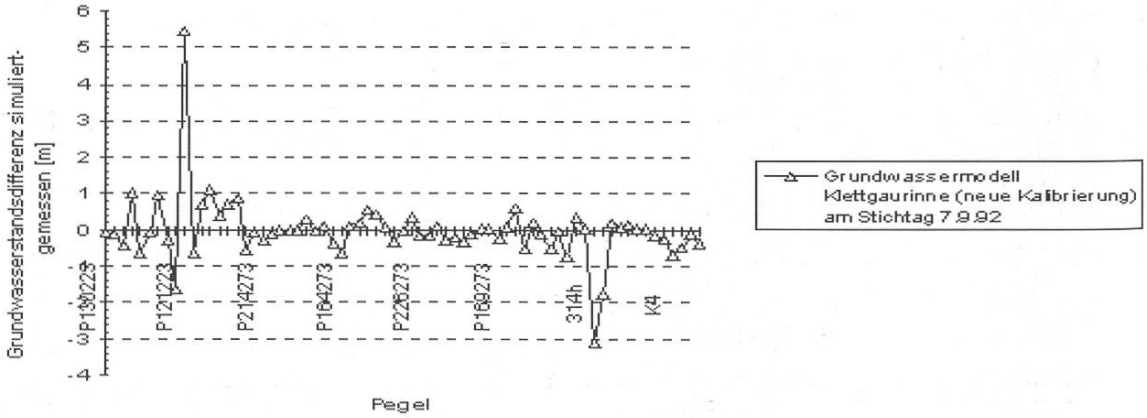


Abbildung 9: Vergleich der für den Stichtag 7 September 1992 berechneten Grundwasserstände mit den entsprechenden Messwerten.

Tabelle 1: Auswirkung der Variation von Modellparametern auf die berechneten Grundwasserstände im Oberklettgau bei Beringen

| Modellparameter | Auswirkung einer pauschalen Änderung des Modellparameters im Modellgebiet um +/-10% auf die Lage des Grundwasserspiegels im Oberklettgau bei Beringen |
|---|---|
| Grundwasserneubildung | +- 1 m |
| Randzuströme | + 1.5 m, -2m |
| Hydraulische Leitfähigkeit | +- 2 m |
| Grundwasserentnahmen | +- 0.1 m |

## 4 Einsatzmöglichkeiten des mathematischen Grundwassermodells

Das mathematische Grundwassermodell Klettgaurinne eignet sich als stationär geeichtes Strömungsmodell derzeit für folgende Anwendungen:

- Fliesswegberechnungen (Bahnlinien von Wasserteilchen)
- Fliesszeitberechnungen
- Ermittlung von Grundwasserbilanzen an beliebigen Querschnitten durch die Klettgaurinne
- Ermittlung des Zuströmbereichs von Grundwasserbrunnen
- Ermittlung des Abströmbereichs von Risikostandorten wie Altlastverdachtsflächen, Unfallstandorten usw.
- Simulation der Auswirkungen von Grundwasserentnahmen oder Grundwasseranreicherungen auf die Strömungsverhältnisse und Grundwasserspiegel.

Mit einer Erweiterung zum Transportmodell sind weitere Anwendungen möglich, z.B.:

- Simulation der Auswirkung von Grundwasserentnahmen oder Grundwasseranreicherungen auf den Chemismus des an einem Brunnen geförderten Wassers
- Ausbreitungsrechnungen von Grundwasserkontaminationen

Eine Erweiterung zum Transportmodell ist nur sinnvoll, wenn es als Mehrschichtmodell entwickelt wird. Weiter müssen die Parameter für Konvektion (effektive Porosität), Dispersion, Abbau, Sorption, Reaktionen zuverlässig festgelegt werden können. Dazu ist die heutige Datengrundlage zu schmal.

Mit Hilfe des Strömungsmodells lassen sich immerhin "genauere" Überschlagsrechnungen für Kontaminationsprobleme durchführen (als ohne Strömungsmodell). Dafür müssen aber die Unsicherheiten abgeschätzt werden (Sensitivität auf Stoffflussparameter).

## 5 Literatur


AHR (1998): Arbeitsgruppe Hydrogeologie und Risikovorsorge (Interreg II-Projekt Entwicklungskonzeption Klettgaurinne), 1998: Grundwasseratlas (Teil 1, Bericht und Teil 2, Materialien) Waldshut/Schaffhausen.

AWBW (1993): Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz Waldshut: Programmgebiet Klettgaurinne, Landkreis Waldshut, länderübergreidfendes Grundwassermodell, Erweiterung auf Schweizer Gebiet, Hydrag, Karlsruhe, 15.12.1993.

BÜCHI & MÜLLER AG (1985): Kantonaler Wasserwirtschaftsplan: Abklärung der Grundwasserverhältnisse im Klettgau. Tiefbauamt des Kantons Schaffhausen. Unveröff. Bericht Nr. 1764/II. Frauenfeld.

GILLIAND, P.-A. (1970): Etude Géoélectrique du Klettgau (Suisse), Canton de Schaffhouse. - Matériaus pour le Géolologie de la Suisse, Géophysique No.12. Hrsg.: Commission Géotechnique Suisse; Kümmerly & Frey, Bern.

KÜHNLE-BAIKER, E. K. E. (1992): Erkundung des Grundwasservorkommens in der Klettgaurinne (deutscher Teil), Hochrheingebiet. Dissertation Albert-Ludwigs-Universität. Freiburg i.Br.

RENGER, M., G. WESSOLEK, R. KÖNIG, F. SWARTJES, C. FAHRENHORST & B. KASCHANIAN (1989): Modelle zur Ermittlung und Bewertung von Wasserhaushalt, Stoffdynamik und Schadstoffbelastbarkeit in Abhängigkeit von Klima, Bodeneigenschaften und Nutzung. - Endbericht zum BMFT-Projekt 03 74 34 3, 138 pp.

**Dank:** Wir danken den Mitgliedern der Arbeitsgruppe Hydrologie und Risikovorsorge des Interreg II-Projekts für die konstruktive Begleitung der Arbeiten für das Grundwassermodell Klettgaurinne.

Adresse der Autoren:

Herbert Bühl, dipl. Natw. ETH, Oekogeo AG, 8200 Schaffhausen.
oekogeo@bluewin.ch

Dr. Olaf Tietje, dipl. Math. ETH Zürich, Umweltnatur- und sozialwissenschaften, 8090 Zürich.
tietje@uns.umnw.ethz.ch