

**Studie über die
Auswirkungen von Überflutungen im Wasserwerk Sallern
auf die mikrobiologische Beschaffenheit des Grundwassers**

Verfasser: Dr. K.-H. Prösl

Auftraggeber: Rewag & Co KG
Greflinger Str. 22
93055 Regensburg

Durchführung: Dr. Karl-Heinz Prösl
Sachverständigenbüro für Grundwasser
Hintelsberg 2
84149 Velden/Vils

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	5
2	Hydrographische Verhältnisse im Regental	7
3	Abgrenzung der Überschwemmungsbereiche	9
4	Geoelektrische Querprofile im Regental.....	10
5	Geologische Verhältnisse	12
6	Analyse der Hochwasserabflüsse.....	15
6.1	Vorbemerkungen	15
6.2	Hochwasser: Dezember 1993 – Februar 1994.....	15
6.3	Hochwasserereignis: Januar 1995 bis Februar 1995	17
6.4	Hochwasserereignis Februar 1997 – März 1997.....	18
6.5	Hochwasserereignis Okt. 1998 – Dezember 1998	20
6.6	Hochwasserereignis Februar 1999 – April 1999	22
6.7	Hochwasserabflüsse Dez. 1999 – März 2000	23
6.8	August Hochwasser 2002	24
7	Brunnenbetrieb	27
8.	Ergänzendes Untersuchungsprogramm	28
9	Schlußfolgerungen.....	29

Abbildungen / Tabellen / Anlagen / Anhang

- Abbildung 1: Blick auf das Quellgebiet mit Regenbett im Vordergrund
- Abbildung 2: Regenverlegung
- Abbildung 3: Zeitganglinie Pegel Eiserne Brücke und Regenpegel
- Abbildung 4: Lageplan der Stromleitungen
- Abbildung 5: Geologisches Querprofil Regental
- Abbildung 6a: Betonsohle im Regenfluss
- Abbildung 6b: Aufsicht auf das ehemalige Quellgebiet Sallern
- Abbildung 6c: Querschnitt durch das Quellgebiet
- Abbildung 7: Hochwasserereignis Dez. 93 – Febr. 94
- Abbildung 7a: Niederschlag / Wasserstände
- Abbildung 7b: Luft- und Bodentemperatur Station Sarching
- Abbildung 7c: E.coli Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 7d: Coliforme Keime Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 7e: Koloniezahl bei 20 °C Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 7f: Koloniezahl bei 36 °C Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 8: Hochwasserereignis Jan. 95 – März 95
- Abbildung 8a: Niederschlag / Wasserstände
- Abbildung 8b: Luft- und Bodentemperatur Station Sarching
- Abbildung 8c: E.coli Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 8d: Coliforme Keime Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 8e: Koloniezahl bei 20 °C Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 8f: Koloniezahl bei 36 °C Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 9: Hochwasserereignis Febr. 97 – März 97
- Abbildung 9a: Niederschlag / Wasserstände
- Abbildung 9b: Luft- und Bodentemperatur Station Sarching
- Abbildung 9c: E.coli Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 9d: Coliforme Keime Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 9e: Koloniezahl bei 20 °C Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 9f: Koloniezahl bei 36 °C Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 10: Hochwasserereignis Okt. 98 – Dez. 98
- Abbildung 10a: Niederschlag / Wasserstände
- Abbildung 10b: Luft- und Bodentemperatur Station Sarching
- Abbildung 10c: E.coli Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 10d: Coliforme Keime Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 10e: Koloniezahl bei 20 °C Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 10f: Koloniezahl bei 36 °C Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 11: Hochwasserereignis Febr. 99 – April 99
- Abbildung 11a: Niederschlag / Wasserstände
- Abbildung 11b: Luft- und Bodentemperatur Station Sarching
- Abbildung 11c: E.coli Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 11d: Coliforme Keime Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 11e: Koloniezahl bei 20 °C Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 11f: Koloniezahl bei 36 °C Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 12: Hochwasserereignis Dez. 99 – März 00
- Abbildung 12a: Niederschlag / Wasserstände
- Abbildung 12b: Luft- und Bodentemperatur Station Sarching
- Abbildung 12c: E.coli Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 12d: Coliforme Keime Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 12e: Koloniezahl bei 20 °C Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 12f: Koloniezahl bei 36 °C Sallern Br. 1 – 3
- Abbildung 13: Hochwasserereignis Aug. 02 – Okt. 02
- Abbildung 13a: Niederschlag / Wasserstände

Abbildung 13b: Luft- und Bodentemperatur Station Sarching

Abbildung 13c: E.coli Sallern Br. 1 – 3

Abbildung 13d: Coliforme Keime Sallern Br. 1 – 3

Abbildung 13e: Koloniezahl bei 20°C Sallern Br. 1 – 3

Abbildung 13f: Koloniezahl bei 36°C Sallern Br. 1 – 3

Abbildung 13g: Enterokokken Sallern Br. 1 – 3

Abbildung 13h: Chlostridien Sallern Br. 1 - 3

Abbildung 14: Markierungsversuch

Anlage 1: Lageplan Wasserwerk Sallern mit Brunnen und Messstellen

Anlage 2a: Lageplan Wasserwerk Sallern mit Hochwasserverbreitung

Anlage 2b: Geologische Karte mit Hochwasserverbreitungsgrenzen

Anlage 3: Bericht „Geophysikalische Erkundung REWAG Regens / „Bei Sallermühle“ August 04“

Anlage 4: Geologische Karte mit oberflächennaher Verbreitung des Grundwasserleiters Malm

Anlage 5.1: Geologisches Profil Sallern Br. 1

Anlage 5.2: Geologisches Profil Sallern Br. 2

Ablage 5.3: Geologisches Profil Sallern Br. 3

Anlage 6: Geologische Karte mit Lage der Geoelektrik-Profile

1 Veranlassung

Das geförderte Grundwasser aus den drei Brunnen im Wasserwerk Sallern weist entsprechend von langjährigen Beobachtungen jeweils bei Überschreiten bestimmter Flusswasserstände im Regen signifikante mikrobiologische Belastungen auf, die meist erst nach einigen Wochen bis Monaten wieder abklingen.

In der folgenden Studie sollen die Grundlagen für eine Klärung der Herkunft dieser Beeinträchtigungen erarbeitet werden.

Dabei sind die hydrologisch besonders wirksamen Zonen einzugrenzen und die weitere Vorgehensweise zur Minderung der mikrobiologischen Beeinträchtigung durch Hochwasser zu diskutieren.

Im Rahmen der Arbeiten werden folgende Leistungen erbracht:

- (1) Beschreibung der hydrographischen Verhältnisse im Regental
- (2) Abgrenzung des Überschwemmungsbereichs im Regental
- (3) Geoelektrische Profilaufnahmen des Umfeldes des Sallerner Wasserwerks zur Erkundung der Lage der Malmoberfläche
- (4) Darstellung der geologischen Verhältnisse im Überschwemmungsbereich zwischen Straßenkreisel Gallingskofen und Wehr Pielmühle unter Verwendung historischer Daten der Wassergewinnung Sallern
- (5) Beschreibung der Verkeimungssituation am Beispiel des Hochwassers August 2002 und früherer Hochwässer (1994 – 2000 entsprechend Statusbericht)
- (6) Bewertung der hydrogeologischen Verhältnisse unter Berücksichtigung des Brunnenbetriebs
- (7) Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Bei einer Beurteilung der mikrobiologischen Beeinträchtigung und ihrer Herkunft während und nach Hochwasserabflüssen können folgende Randbedingungen oder potentielle Belastungspfade von Bedeutung sein:

- (1) Stoffeintrag durch Hochwasser: Das rasche Auftreten einer mikrobiologischen Belastung bei ansteigenden Wasserständen kann im Zusammenhang mit einem hydraulischen Kurzschluss zwischen dem Grundwasservorkommen (innerhalb des Grundwasserleiters „Malm“) und dem Oberflächengewässer stehen. Dieser müsste über eine direkte Einspeisung in den unbedeckten oder nur mit einer geringmächtigen durchlässigen Deckschichtenaufgabe bedeckten Grundwasserleiter „Malm“ selbst oder über die Zuspelung aus den Terrassenkiesen in den „Malmgrundwasserleiter“ erfolgen. Alle übrigen Zuspelungen verlaufen zeitlich stark verzögert ab und kommen daher nicht als Auslöser für die Belastung in Betracht (Stoffeintrag).

- (2) Zufluss aus dem Nahbereich (bebauter Bereich): Die Überflutungen des Regentals kann dazu führen, dass der ursprünglich von NE nach SW (aus dem Malmgrundwasserleiter über die Kiesterrasse zum Regen) gerichtete Grundwasserstrom nach Süden abgelenkt wird. Unter diesen Bedingungen kann das Malm-Grundwasser nicht mehr über die Kiesterrasse zum Regen sondern muss in Richtung zu den Brunnen abfließen, inwieweit dadurch Belastungen aus dem Siedlungsbereich (alte B15) direkt und rasch zu den Brunnen gelangen, ist nicht geklärt.
- (3) Stoffeintrag durch Sickerwässer bei Starkniederschlägen/Schneeschmelze: Nach einem Markierungsversuch im Nahbereich des Brunnen I besteht eine sehr kurze Verweilzeit zwischen den Bereich jenseits der Straße B15 und den Brunnen. D.h., dass bei Starkniederschlägen junges Wasser rasch aus dem Bereich der engeren Schutzzone zu den Brunnen vordringen kann.

Diese drei Möglichkeiten einer Herkunft sind bei einer Bewertung der mikrobiologischen Belastung zu berücksichtigen.

2 Hydrographische Verhältnisse im Regental

Das Brunnenfeld Sallern liegt linksseitig des Regens auf der unteren Flussterrasse; letztere ist durch eine Terrassenkante von ca. 0,5 – 1 m von der eigentlichen derzeitigen Talaue abgetrennt (Anlage 1).

Die **Talaue** selbst weitet sich nach einer in der flußaufwärtigen Zone des Wasserwerks gelegenen Talverengung (Entfernung: ca. 1,2 km) kontinuierlich auf und erreicht vor der Sallerner Mühle (vor dem Brunnenfeld) ihre größte Breite. Nach dem Wasserwerk verengt sich die Talaue wieder (Anlage 1). Die Geländeoberfläche der Aue hat mit 0,5 ‰ einen geringen Neigungsgradienten; das Talniveau fällt von Höhe Benhof von 331 m ü. NN auf 329,5 – 330,0 m ü. NN (auf Höhe der Sallerner Brunnen I) ab.

Die **untere Terrasse** (Verbreitungsgebiet der frühwürmglazialen Schotter) ist durch eine Terrassenkante von ca. 0,5 m - 1 m vom Talboden der jetzigen Flussaue abgesetzt. Den östlichen Rand dieser Terrassenfläche markiert die alte Trasse der B15-Strasse. Auf der unteren Terrasse bzw. im Übergang zur Talaue liegen die drei Förderbrunnen. Hier waren auch die Quellfassungen angelegt; sie erschließen dort die am Terrassenrand aus den anstehenden Malmkalken austretenden Karstquellen (Abb. 1: Quellfassungen Sallern). Das Niveau der Terrasse sinkt von 331,5 - 332 m ü. NN im Norden (Benhof) auf 330,5 m ü. NN im Süden (Brunnenfeld) ab. Die Terrassenoberfläche steigt zu ihrem östlichen Rand hin an; der flache Anstieg erreicht im Norden ein Niveau von bis zu 336 m ü. NN und im Süden bis zu 340 m ü. NN.

Die untere Terrasse wird randlich vom Hochwasser erreicht.

Die nächst **höhere Terrasse** (Hochterrasse) lehnt sich an die Hänge des Sallerner Berges und des Mühlberges an. Die Terrasse ist aufgrund der überlagernden Schuttdecken nur sehr undeutlich von der unteren Terrasse abgesetzt. Sie wird vom Hochwasser nicht berührt.

Der **Regenfluss** wurde in den Jahren 1977/78 begradigt und verläuft derzeit mittig in der Talaue. Ursprünglich war auf Höhe des Wasserwerks der Regenverlauf auf das „Sallerner“ Ufer hin ausgerichtet (Abb. 2); daraus ergab sich die damalige Prallhangsituation („Regenschleife“) mit dem Quellgebiet.

Das alte Regenbett in der Regenschleife dürfte nach Begradigung mit Aushubmaterial, das bei der Regenbegradigung anfiel (Aktenvermerk 4.9.72), d.h. mit kiesig-sandigem Material auf ein Geländeneiveau von 329,5 - 331 m ü. NN aufgefüllt worden sein. Verfüllt wurde ebenfalls der sog. Triebwerkskanal, der bei Fluss-km 6,0 aus dem Regen ausgeleitet worden war. Die Trasse des Kanals verlief zuerst vom Fluß aus diagonal zum Talrand, dann talabwärts vorbei an der Sallerner Mühle und mündete unterhalb des Maschinenhauses wieder in den Regen (Abb. 2) ein. Die Flusssohle lag an der Einmündung ursprünglich bei ca. 327,5 m ü. NN.

Die Quellfassungen der südlichen Quellgruppe waren 1958 nach Erstellen der Brunnen I und II von der Terrasse durch Betonverpressungen zum Regen hin „abgeschirmt“ worden. Nach Schreiben vom

7.7.1958 konnte mit dieser Dichtungsschürze der direkte Abfluß in den Regen unterbunden werden. Zur Beobachtung des Wasserstandes war ein „Messbrunnen“ (Pegel Sallern Nord ?) errichtet worden. Die Abdichtung der Quellgruppe Nord sollte in ähnlicher Weise erfolgen (genauer Zeitpunkt nach 1958 unbekannt). Es ist jedoch davon auszugehen, dass trotz einer benannten Abschirmung weiterhin der Überlauf von 180 l/s bei Außerbetriebnahme der Brunnen auftreten kann. Der ursprüngliche Quellaustritt lag bei einem Niveau von 327,8 m ü. NN. Das vorhandene vertikale Kluftsystem konnte sicherlich nicht abgedichtet werden. Der derzeitige Wasserstand in den Brunnen I und II beträgt bei Niedrigwasser 327 - 328 m ü. NN. Dies entspricht dem Niveau der ursprünglichen Quellaustritte.

Der Regenfluss ist derzeit auf Höhe Fluss-km 4,85 am sog. Pielmühlewehr mit einer Einstauhöhe von ca. 2 m (Oberwasser: 330,0 m ü. NN; Unterwasser 328,00 m ü. NN) eingestaut. Auf Höhe des Wasserwerks werden unmittelbar am Regen die Wasserstände der Aue durch den Grundwasserpegel „Regenpegel“ gemessen (Anlage 1). Im Vergleich der Wasserstände mit dem Pegel Eiserne Brücke / Donau ergibt sich folgendes Bild (Abb. 3).

Im Zeitraum zwischen 01.01.1999 und 08.09.2005 wurden folgende Wasserstände im Regenpegel gemessen (in der Zeit vom 26.05.03 – 01.01.04 waren keine Messungen am Regenpegel durchgeführt worden):

Min	327,15 m ü NN
Mittel	328,37 m ü NN
Maximum:	333,40 m ü NN

Der Unterschied zwischen den Wasserständen Eiserne Brücke (Donau) vor Einmündung Regen und Regenpegel (GWM direkt am Regen (Höhe WW Sallern) beträgt im Mittel < 0,5 m; daraus errechnet sich ein Gradient von < 1 ‰ innerhalb der ca. 4000 m langen Fließstrecke. Bei Niedrigwasser erniedrigt sich der Gradient auf << 1 ‰. Der Rückstau des Donaueinstaus Geisling reicht bis in das Gebiet der Sallerer Brunnen. Altwässer sind auf der linken Talseite nicht vorhanden.

3 Abgrenzung der Überschwemmungsbereiche

Nach vorliegenden Beobachtungen treten Verkeimungen auf, wenn die Flusswasserstände bzw. die Ausuferungen ein Niveau von 330,5 m ü. NN erreicht haben.

Ein wichtige Grundlage für die Bewertung der mikrobiologischen Belastungen bilden daher die Flusswasserstände sowie die Verbreitung der überfluteten Bereiche.

Aufgrund des Fehlens eines Flusspegels im Regen auf Höhe des Wasserwerks wurde im Jahre 1996 eine Grundwassermessstelle Regenpegel unmittelbar neben dem Regenfluss errichtet (Anlage 2a/b).

Wie die Zeitganglinie (Zeitraum 1.1.99 – 31.12.2004) des Regenpegels zeigt, liegt der Niedrigwasserstand des Regens bei ca. 328 m ü. NN (Abb. 3). Insgesamt ist der Regen mind. 12 mal in diesem Zeitraum ausgeferrt (über Niveau 329,5 m ü. NN).

Das Augusthochwasser 2002 selbst (5-jährliches Hochwasser nach mündl. Mitteilung durch WWA Regensburg) erreichte im Wasserwerk eine Marke von 333,40 m ü. NN. Die Hochwasserlinie verläuft wie in Anlage 2a dargestellt. Die von der WW benannte Verbreitungsgrenze des 100-jährlichen Hochwassers verläuft in ähnlicher Höhe.

Eine wichtige Wasserstandsmarke, bei deren Überschreitung im geförderten Grundwasser mikrobiologische Beeinträchtigungen beobachtet werden, liegt bei 330,5 m ü. NN (Anlage 2a/2b).

4 Geoelektrische Querprofile im Regental

Zur Erkundung der Verbreitung und der Höhenlage der Malmfestgesteinsoberfläche wurden im Regental zwischen Fluß-km 1,7 und 2,6 sechs Querprofile geoelektrisch vermessen. Die Ergebnisse sind in Anlage 3 zusammengefasst.

Von Norden nach Süden erbrachte die Vermessung folgende Ergebnisse:

Profil 6:

Am Rande des Regentals tritt im Untergrund eine höher ohmige Zone hervor, die eventuell auf eine räumliche begrenzte Aufragung des Malms (überdeckt von kiesigen Talsedimenten) zurückzuführen ist. Diese Aufhöhung liegt im Umfeld einer morphologischen Senke in der Talau.

Profil 5:

Das Profil zeigt eine deutliche Dreiteilung, wobei insbesondere bindige Zwischenschichten zwischen ca. 305 – 325 m ü. NN ausgewiesen wurden. Eine hydraulische Verbindung zwischen einem oberem, durchlässigen und einem tieferen, ebenso durchlässigen Grundwasserleiter (evtl. Malmgesteine) ist nicht nachgewiesen.

Profil 1:

Im Profil finden sich im östlichsten Randbereich Anzeichen von räumlich anstehenden Malmgesteinen (Abstand vom Nullpunkt bis ca. 25 m); danach sind wie im Profil 5 bindige Sedimente (tertiäre Rinnenfüllung) verbreitet.

Profil 2:

Im Profil 2 sind im östlichsten Randbereich Anzeichen von hoch anstehenden Malmgesteinen (Abstand vom Nullpunkt der Messreihe bis ca. 25 m); danach sind wie im Profil 1 und 5 bindige Sedimente (tertiäre Rinnenfüllung bis < 280 m) verbreitet.

Profil 3:

Dieses Profil setzt deutlich weiter im Osten an; es sind daher auf der Strecke zwischen 0 und ca. 60 m Hinweise auf hoch anstehenden Malm vorhanden. Danach sinkt der hochohmige Bereich deutlich ab. Zwischen 110 m und 140 m erscheint das Vorhandensein einer tiefreichenden tertiären Rinnenfüllung nicht ausgeschlossen.

Profil 4:

Hier sind auf den Profilstrecken zwischen ca. 30 und 85 m, 140 – 240 m sowie 270 und 325 m hochohmige Bereiche unter geringer bzw. sehr geringer Bedeckung. Sollte dieser der Malmfels sein, so stimmt dies zu mindestens auf den Strecken zwischen 140 – 240 sowie 270 und

325 m mit den geologischen Karten nicht überein. Wie aus Abb. 4 ersichtlich ist, sind in dieser Zone mehrere Störfaktoren (Hochspannungsleitung) vorhanden, die eine eindeutige Aussage verhindern.

Zusammenfassung:

Talaufwärts vom Brunnenfeld Sallern gibt es nur im Profil 6 einen Hinweis auf eine schmale Malmaufragung; in den Profilen 5, 1, und 2 fehlen solche (abgesehen von den unmittelbaren Rändern in Profil 3 und 2).

Deutlich tritt der abtauchende Malmfels im Profil 3 in Fortsetzung des ehemaligen Quellgebietes hervor. Die auffallende hochohmige Zone in Profil 4 - sie reicht weit in die Talmitte – ist wohl z.T. eher auf Störfaktoren zurückzuführen.

Die Lage der Profile sind auf der geologischen Karte (Anlage 4 eingetragen).

5 Geologische Verhältnisse

Das Regental ist beidseitig von den Gesteinen des Grundwasserleiters Malm eingerahmt; letztere sind im Talbereich bis in unterschiedliche Tiefen ausgeräumt (Anlage 4/Abb. 5).

Neben den oberflächennahen, quartären Talalluvionen und den Terrassenschottern sind tiefe tertiäre Rinnenfüllungen verbreitet, die ebenfalls hydraulisch von Bedeutung sind:

Diese **tertiären Rinnenfüllungen** reichen nach Bohrung R (ehemalige Regenschleife) mind. bis in eine Tiefe von 266,5 m ü. NN (64,5 m unter Talgrund: das dortige Profil besteht aus ca. 8 m mächtigen quartären Auelehmen und Kiesauflagen, unterlagert von einer restlichen vorrangig sandig, untergeordnet tonig ausgebildeten Gesteinsfolge).

Am Standort des randlich gelegenen Brunnen 3 ist noch eine Mächtigkeit von ca. 10 m bindiger Sedimente über Feinsande/Feinkiese vorhanden.

Die tertiären Sedimente setzen sich im oberen Bereich aus schluffig-feinsandigen Sedimenten zusammen. Diese tertiäre Hauptrinne verläuft mehr oder weniger in der Talachse. An den Rändern keilen die tertiären Sedimente aus bzw. sind nur mehr in geringmächtigen sandigen Auflagen vorhanden. Ihre Verbreitung im nördlichen Anstrom-Bereich von Sallern ist durch das geoelektrische Profil 5 bis zu einer Teufe von 295 m ü. NN belegt (tertiäre Sande mit Mächtigkeit von mind. 24 m sind im Pegel SA 1 ebenfalls bestätigt).

Da die Verkeimungen jeweils nach ca. 2 – 3 Tagen in den Brunnen auftreten, kann davon ausgegangen werden, dass bei einer Überlagerung des Grundwasserleiters durch 3 m tertiäre schluffige Feinsandschichten ein Zustrom, der die Belastung auslöst, auszuschließen ist.

Inwieweit der gegenüber dem Wehr Pielmühle am Talrand erkennbare flache „Malmrücken“ in das Tal hinein reicht, ist derzeit nicht bekannt. In den damals im Zuge der Regenverlegung aufgenommenen Sondierungsprofilen wurde ca. 250 m oberhalb des Wehres Pielmühle der **Malmfels** in einer Teufe von ca. 6 m u.GOK erreicht. Im gesamten neuen Regenbett sind 2 - 3 m mächtige Tallehme über bis zu 5 m mächtigen Talkiesen und -sanden verbreitet; diese Schichtfolge verhindert eine Direktzuspeisung in den Malmfels.

Neben den oben benannten zwei Bereichen mit möglicherweise hoch anstehendem Malm ist das Gebiet des Malmrückens, dem ehemaligen Prallhang von Sallern, in dem auch die beiden Quellzonen liegen und in den Regen direkt entwässerten, von Bedeutung.

Diese Zone erstreckt sich auf einer Länge von 100 m und reicht bis in den Bereich des ehemaligen Wohnhauses.

In dem Profil „Betonsohle im Regenfluss“ ist dargestellt, dass in einem Niveau von ca. 327 m ü. NN Fels ansteht und in einer Breite von 13 m vor den südlichen Quellen ein Betonsockel errichtet (Abb. 6a/b/c); gegenüber im Pegel SAO 2 liegt der Malmtop bei ca. 323 m ü. NN. Das Flussbett lag ur-

sprünglich in einem Niveau von ca. 327 m ü NN. Im Geoelektrik-Profil 2 südlich der Quellen ist auf einer Strecke von ca. 25 m ein höher anstehender Malm zu erkennen (Prallhang !). im Profil 1 nördlich des Maschinenhauses ist nur für den Hangbereich höher anstehender Malmfels abzuleiten.

Unter Berücksichtigung des geologischen Profils am Standort Brunnen II (ca. 8,5 m Kiese über Blockwerk=Dolomitschutt ? von 12,5 m) und der Ergebnisse nach Profil 1 mit abtauchendem Malmfels am Prallhang kann im Bereich des Maschinenhauses bis zu den ehemaligen südlichen Quellen von einer flach abtauchenden Malmoberfläche ausgegangen werden, während südlich die Malmoberfläche rascher und somit steiler abtaucht.

Nach Schreiben Enders vom 16.7.75 steht der „Jura“ im Fluß zwischen Fluß-km 4,2 – 4,4 (alte Kilometrierung; siehe Abb. 2) oberflächennah an.

Nach Plan der Fa. E+M/HOF wurde 1958 im Bereich der südlichen Quellgruppe zur Herstellung einer Dichtungsschürze mittels 19 Bohrungen ein Zement-Ton-Sand-Gemisch auf einer Länge von 39 m und einer Tiefe von 25 m verpresst. Die Verpressung von 25 m reicht ca. 20 m unter Regenniveau. Inwieweit diese auch im Bereich der nördlichen Quellgruppe erfolgt ist, ist dem Verfasser nicht bekannt.

Geologische Verhältnisse an den Brunnenstandorten:

Die drei Brunnenstandorte liegen auf der unteren Terrasse. An den einzelnen Standorten finden sich unterschiedliche Deckschichtenstapel über dem Malmfels (Anlage 5).

Am Standort **Brunnen I** (im östlichen Bereich der Terrasse) reicht bis ca. 6 m unter die Oberfläche der Malmfels, der Fels wird überlagert von einer steinigen Zersatzzone (**d.h. bis zur GOK reicht der Malmgrundwasserleiter**).

Im Brunnen I sind in einer Teufe von 65 – 86 m u. GOK (= 269 m – 248 m ü. NN) - Sperrrohr reicht bis in eine Teufe von 68,75 m u. GOK - intensive Verkarstungen - gebunden an steilstehende Karstspalten (unterschiedliche Richtungsangaben schwankend zwischen N/S- und Ost/ESE) – erschlossen.

Am Standort **Brunnen II** folgt unter einer kiesigen Auflage (Talschotter) von 8,5 m eine mächtige dolomitische (?) Zersatzzone (Blockwerk !!) bis zu einer Teufe von 31,5 m. Der Brunnen II erschließt eine ca. 155 m lange Strecke von geklüfteten und verkarsten Malmgesteinen. Nach BATSCHE tritt die Hauptverkarstung zwischen 290 – 265 m ü. NN auf (Sperrrohr-UK: 294 m ü. NN). **Am Standort Brunnen II ist demnach die Filterwirkung der Deckschichten über dem Malmaquifer als sehr gering einzustufen.**

Am Standort **Brunnen III** ist der Grundwasserleiter durch eine ca. 31,5 m (bis 301,5 m ü. NN) mächtige vorrangig tonige, tertiäre Schichtfolge überlagert. Im Brunnen III (Sperrrohr-UK: 265 m u. GOK) liegt

die Hauptverkarstungsstrecke zwischen 250 – 239 m ü. NN. Die geringleitende Überdeckung reicht bis in eine Tiefe von 298,8 m ü. NN. Am Standort Brunnen III liegen filterwirksame Deckschichten vor.

Aufgrund des bisher geologischen Kenntnisstandes sind in der Talaue selbst keine signifikanten Malm-
auftragungen vorhanden, die in einem direktem Kontakt zum Grundwasserleiter stehen. Allerdings besteht bereichsweise noch zusätzlicher Klärungsbedarf.

Kontaktbereiche sind im Randbereich der unteren Terrasse innerhalb des Wasserwerks („Malmrücken“ von Sallern) nachgewiesen; hier erstrecken sich steilstehende Klüftzonen mit Verkarstungen talparallel. In diesem Bereich steht der Grundwasserleiter unter einer sehr geringen Lockergesteinsauflage an (Anlage 6).

6 Analyse der Hochwasserabflüsse

6.1 Vorbemerkungen

Im folgenden Kapitel werden Hochwasser- und Starkregenereignisse zwischen 1993 – 2000 untersucht. Dazu werden die Abflussverhältnisse des Regens, die Wasserspiegellagen in Brunnen und Messstellen den mikrobiologischen Befunden der Brunnen gegenüber gestellt.

Der Betrieb im Brunnenfeld erfolgt entweder als Einzelbetrieb eines Brunnens bzw. als Doppelbetrieb zweier Brunnen; deshalb liegen nur für die Einschaltphasen der jeweiligen Brunnen Untersuchungen vor. Die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen werden einfachheitshalber in einer alle Brunnen zusammenfassenden Graphik dargestellt.

Im folgenden werden verschiedene Hochwasserereignisse analysiert:

(Kap.6.2)	Dez. 93	-	Febr. 94
(Kap.6.3)	Jan. 95	-	März 95
(Kap.6.4)	Febr. 97	-	März 97
(Kap.6.5)	Okt. 98	-	Dez. 98
(Kap.6.6)	Febr.99	-	April 99
(Kap.6.7)	Dez. 99	-	März 00
(Kap.6.8)	Aug. 02	-	Okt. 02

6.2 Hochwasser: Dezember 1993 – Februar 1994

Die Zeitganglinien mit Darstellung der Wasserstände und der mikrobiologischen Untersuchungsergebnisse finden sich in den Abbildungen 7a/b/c/d/e/f.

() Witterungsverhältnisse (Station Regensburg)

Im Vorfeld waren bis Mitte Dezember zahlreiche Niederschläge gefallen; am 20.12. war das Niederschlagsmaximum mit 41 mm/d. Danach traten in den folgenden Wochen nur mehr sporadisch kleinere Niederschlagsereignisse auf.

() Abflussverhalten/Regen

Der Regen weist eine erste Hauptabflussspitze zwischen 21.12. und 23.12. auf (Spitzenabfluss von 573 m³/s am 22.12.), während dieser Zeit fielen auch in Regensburg hohe Niederschläge. Das Abflussereignis war ein Einzelereignis.

Während der Hochwasserspitze war der Brunnen III in Betrieb.

() Wasserspiegel

Am 22.12. traten zeitgleich mit den höchsten Regenabflüssen auch die höchsten Wasserstände (Haupt- und drei Nebenmaxima) im **Pegel SAO 1** („Sandpegel“) mit einer max. Höhe von 331,83 m ü. NN und SAO 2 (max. Höhe: 331,37 m ü. NN) auf. Der Pegel SAO 2 („Sandpegel“ im ehemaligen Regenbett) erreicht die Höhe SAO 1 nicht; denn er fiel vorzeitig aus. Der Pegel **SAO 3** („Sandpegel“) reagierte erst später auf die eigentliche Hochwasserspitze, während die anderen Pegelstände vorher anstiegen; fiel aber am 22.12. bei einer Höhe 330,3 m ü. NN aus; in Folge blieben aber die Wasserstände hoch.

Der Pegel **Sallern Nord** verhielt sich wie Brunnen I (Maximum am 26.12.), jedoch mit stets niedrigeren Wasserständen (ehemaliges Quellgebiet Süd) als die Brunnen.

Die Messung im Brunnen I fiel ebenfalls während der Spitze aus.

Der **Pegel AS** (im weiteren Vorfeld) hatte in der Vorphase die höchsten Wasserstände; der Anstieg verlief zeitgleich mit den Brunnen; während der Hochwasserspitze waren die Wasserstände ähnlich hoch wie im Brunnen II. Während der Hauptabflussspitze liegt der Wasserstand vom Pegel AS unter denen im Brunnen SAO 1 und 2 sowie Brunnen I.

Resumee

Die Wasserstände in den Pegeln SAO 1/2 im Anstrom reagieren wegen der Überflutung der Standorte direkt auf die Überflutungen, die Brunnen und übrigen Pegel ca. 1 - 3 Tage später. Der Pegel SAO 3 reagiert geringfügig später auf den Hauptabfluss und verbleibt nachher in einem hohen Niveau.

Das Abflussereignis dauerte nur insgesamt 5 Tage. Während des Ereignisses lagen die Wasserspiegel in den Pegel SAO 1 und SAO 2 über denen der landseitigen Pegel; d.h. es erfolgte kurzzeitig eine Infiltration in den Grundwasserleiter.

() Mikrobiologie

Die Brunnen werden im Wechselbetrieb gefahren; nur für den jeweiligen Betriebsbrunnen liegen Untersuchungen vor, sie werden daher in einer Graphik dargestellt.

E.coli waren vom 13.1. – 14.2. aufgetreten, also ca. 22 Tage nach der Hochwasserspitze und 24 Tage nach dem Niederschlagsereignis.

Coliforme Keime waren vereinzelt zwischen dem 27.12. (Beginn: 5 Tage nach der Abflussspitze) und dem 15.3. aufgetreten .

Die Koloniezahl (20/36) war im Vorfeld unauffällig. Am 27.12. nach dem Ereignis war eine deutliche Erhöhung der Keimzahl 20° C nachweisbar; danach traten insbesondere im Brunnen 3 sporadische Verkeimungen auf. Auch bei 36° C traten vorrangig in Brunnen III erhöhte, teilweise stark erhöhte

Koloniezahlen auf. Der Wasserspiegel des Brunnen III lag gegenüber denen in den anderen beiden Brunnen tiefer.

Aufgrund des hohen Regenabflusses und der Wasserstandshöhe von > 331 m ü. NN ist von einer vollständigen Überflutung des Geländes auszugehen. Die Verkeimungen begannen ca. 5 Tage nach der Hochwasserspitze aufzutreten und dauerten nahezu 3 Monate an. Das Abflussereignis war auf wenige Tage begrenzt.

6.3 Hochwasserereignis: Januar 1995 bis März 1995

Die Zeitganglinien mit Darstellung der Wasserstände und der mikrobiologischen Untersuchungsergebnisse finden sich in den Abbildungen 8a/b/c/d/e/f.

() Witterungsverhältnisse (Regensburg)

Nach einer mittleren Niederschlagstätigkeit im Vorfeld fielen am 25.1.95 ca. 22 mm Niederschlag. In der Folgezeit nahm die Niederschlagstätigkeit deutlich ab und es fielen nur mehr vereinzelt Niederschläge. Parallel dazu kam es zu einer Erwärmung.

() Abflussverhältnisse Regen

Der Regenabfluss reagierte mit einem Anstieg bis zum 24.1. mit einem ersten Nebenmaximum. Danach kam es zu einem Hauptmaximum am 27.1. und einem zweiten Nebenmaximum am 31.1.1995. Mit dem Niederschlag setzte zeitgleich eine Tauperiode ein. Das Hauptmaximum des Abflusses lag bei **330 m³/s**.

() Wasserspiegel

In den Brunnen I und II liegen keine Messungen in der Anstiegsphase und während der Abflussspitze selbst vor. Der Brunnen I erreichte einen Wasserstand am 2.2. von 330,2 m ü. NN, der Brunnenwasserstand III reagierte ab 23.1. mit einem leichten Anstieg und erreichte am 1.2. den höchsten Stand. Die Brunnenwasserstände wurden während des Spitzenabflusses nicht gemessen. Entsprechend des Brunnenwasserstandes in Brunnen I ist davon auszugehen, dass die Überflutung > 330,5 m ü. NN lag und also in den Fassungsbereich reichte.

Alle drei SAO-Pegel waren während der Abflussspitze ausgefallen.

Der **Pegel SAO 2** reagiert deutlich bereits am 24.1. und wurde scheinbar durch kleinere Überflutung des Regens beeinflusst, während die Pegel **SAO 1** und **3** nur zeitlich verzögert (insbesondere Pegel SAO 3) reagieren.

Der Pegel Nord zeigte ein ähnliches Verhalten wie Brunnen III. Während der Wasserstand in **Sallern Nord** stets unter oder gleich dem in AS liegt, sind die Wasserstände in SAO 1 und Brunnen I während der Abflußspitze höher als im Pegel AS.

Es ist von einer vollständigen totalen Überschwemmung auszugehen. Die Wasserspiegel im Br. I und SAO 1 lagen mehrere Wochen über dem in AS. Es ist daher längere Zeit von einer Infiltration in den Grundwasserleiter auszugehen.

Brunnen I weist die höchsten Wasserstände auf.

Mikrobiologie

Die Brunnen wurden während des Ereignisses in folgender zeitlicher Abfolge betrieben:

- Brunnen III: (Anstiegsphase) bis 24.1.
- Brunnen II: (Hauptmaximum + Rückgangsphase) 25.1. – 15.2.
- Brunnen I: (Rückgangsphase) ab 16.2.

Die Koloniezahl im Förderbrunnen III war bereits am 23.1. erhöht, d.h. bereits mit einsetzender Schneeschmelze; nach Umschalten auf Brunnen II in der Folgezeit traten während der Abflussspitze und in der anfänglichen Rückgangsphase (Brunnen I) bis zum 25.3. insbesondere erhöhte Koloniezahlen 36° C auf.

In der Anstiegsphase im Brunnen III gab es keine positiven E.coli und coliforme Keime - Nachweise. In der Brunnen II-Betriebsphase wechselten negative und positive Befunde von E.coli (zwischen 30.1. – 15.2.) und coliforme Keime (30.1.-29.3). In der Rückgangsphase traten im Brunnen I nur wechselnde positive und negative coliforme Keime-Befunde auf, keine positiven E.coli-Befunde

Zusammenfassung

Bereits mit Beginn der Schneeschmelze setzten ohne vorhandene Niederschläge die Verkeimungen ein. Parallel zur längeren Hochwasserspitze und dem verzögerten Rückgang traten längere Zeit Verkeimungen auf; in diesem Zusammenhang fällt insbesondere die Belastung durch coliforme Keime auf.

6.4 Hochwasserereignis Februar 1997 – März 1997

Die Zeitanglinien mit Darstellung der Wasserstände und der mikrobiologischen Untersuchungsergebnisse finden sich in den Abbildungen 9a/b/c/d/e/f.

() Witterungsverhältnisse (in Regensburg)

Im Vorfeld waren bis Mitte Februar zahlreiche Niederschläge bzw. am 26.2. waren dann ca. 19 m/d gefallen. Danach traten in den folgenden Wochen mehrmals größere Niederschlagsereignisse auf. Ab ca. 10. Februar waren die Lufttemperaturen über 0° C angestiegen.

() Abflussverhalten/Regen

Der Regen weist zwei kurzzeitige Hauptabflussspitzen (maximale Abflussmenge 215 m³/s) auf, denen in zeitlichen Abständen kleinere Abflussspitzen folgten.

Während der Hochwasserspitze waren die Brunnen III (1. Hochwasserwelle:14.2.) und Brunnen II (2. Hochwasserwelle: 27.2.) in Betrieb.

Während der Beobachtungsperiode kam es bis zur 2. Welle zu einer Erhöhung der Basisabflüsse, danach kam es zu einem Rückgang mit mehreren kleineren Abflussspitzen (< 100 m³/s).

() Wasserspiegel

Das Hochwasser führte in keinem der beobachteten Pegel zu einem Anstieg > 330 m ü. NN. Die höchsten Wasserstände traten in den Pegeln und Brunnen jeweils 2 - 3 Tage nach dem Niederschlagsereignis auf.

Beim 2. Ereignis war der höchste gemessene Brunnenwasserstand im Brunnen II; Brunnen I und Pegel Nord hatte zueinander vergleichbare Wasserstände. Nach dem Ereignis hatten SAO 1 und Pegel AS über eine lange Periode nahezu gleich hohe Wasserstände. SAO 2 weist vergleichsweise niedrige Wasserstände auf. Der AS-Pegel hatte nahezu in der gesamten Beobachtungszeit (nur kurzzeitig vom Pegel LS übertroffen) die höchsten Wasserstände.

() Mikrobiologie

Die Brunnen werden im Wechselbetrieb gefahren; nur für den jeweiligen Betriebsbrunnen liegen Untersuchungen vor, sie werden daher in einer Graphik dargestellt.

E.coli und coliforme Keime waren nicht positiv. Kleinere Erhöhungen der Koloniezahl waren sporadisch aufgetreten.

Zusammenfassung

Während dieser über einen längeren Abflusszeitraum mit mehreren Niederschlagsereignissen sowie einer Schneeschmelze traten mehrere Abflussereignisse auf. Es kam zu keiner nennenswerten Überflutung. Die mikrobiologische Belastung blieb auf eine zeitweise geringe Erhöhung der Keimzahl beschränkt.

6.5 Hochwasserereignis Okt. 1998 – Dezember 1998

Die Zeitganglinien mit Darstellung der Wasserstände und der mikrobiologischen Untersuchungsergebnisse finden sich in den Abbildungen 10a/b/c/d/e/f.

() Witterungsverhältnisse (in Regensburg)

Im Vorfeld waren zwischen 1.9. und 20.10.98 im Rahmen von zwei längeren Niederschlagsereignissen 170,8 mm Niederschlag gefallen.

Das nächste Ereignis setzte am 23.10.98 ein. Der Hauptniederschlag fiel am 28.10. mit 37 mm/d. Danach nahm die Niederschlagstätigkeit bis zum 13.11. weitgehend ab. Zwischen dem 4.12. und 15.12. fielen sehr geringe Niederschlagsmengen (14,3 mm). Die Lufttemperatur war ab Mitte November unter 0° C abgesunken.

() Abflussverhalten/Regen

Im Regen trat eine erste Abflussspitze zwischen 13.9. und 23.9. (Maximum: 17.9.) auf, während dieser Zeit fielen auch in Regensburg nennenswerte Niederschläge. Das zeitlich langandauernde Hauptereignis folgte dann zwischen 24.10. - 29.11. (**Spitzenabfluss am 30.10. mit 420 m³/s**). Eine weitere untergeordnete Abflussspitze wurde zwischen 13.12. und 21.12. (Maximum: 15.12.) beobachtet.

Während der Hochwasserspitze war der Brunnen I in Betrieb.

() Wasserspiegel

Am 30.10. und 3.11. traten zeitgleich mit den höchsten Regenabflüssen auch die höchsten Wasserstände (Haupt- und drei Nebenmaxima) im **Pegel SAO 1** („Sandpegel“) auf. Die übrigen drei Nebenmaxima im Regen waren ebenfalls zeitgleich aufgetreten.

Der Pegel **SAO 3** („Sandpegel“) reagierte zeitgleich mit Brunnen 1 und erreichte das Hauptmaximum am 6.11. Der Rückgang erfolgt sehr langsam, mit zeitweise höchsten Wasserstand gegenüber den übrigen Pegel und Brunnen, während er vor dem Hauptmaximum den niedrigsten Wasserstand aufwies. Das letzte Nebenmaximum war am 17.12.

Der **Pegel AS** im weiteren Vorfeld wies in der Vorphase die höchsten Wasserstände auf; der Anstieg verlief zeitgleich mit den Brunnen; während der Hochwasserspitze waren die Wasserstände ähnlich hoch wie im Brunnen II (6.11.) und wurden vom Wasserstand im Pegel SAO 1 zweimal übertroffen.

Der Pegel **Sallern Nord** verhielt sich wie Brunnen I (Maximum am 6.11.), jedoch mit stets niedrigeren Wasserständen (ehemaliges Quellgebiet Süd) als die Brunnen.

Die **Brunnen I und II** haben vergleichbare Wasserstände, wenn sie nicht im Betrieb sind, sie zeigen gleiches Verhalten und höhere Wasserstände als die umliegenden Grundwassermessstellen, auch während der Hochwasserabflüsse.

Resumee

Der Pegel SAO 1 im Anstrom reagiert direkt auf die Überflutungen, die Brunnen und übrigen Pegel ca. 2 - 3 Tage später. Die letzte Abflussspitze steht in keinem Zusammenhang mit Niederschlägen im Raum Regensburg. Der Potentialrückgang verläuft in den Brunnen rascher ab als in den Messstellen SAO 3 und AS.

() Mikrobiologie

Die Brunnen werden im Wechselbetrieb gefahren; nur für den jeweiligen Betriebsbrunnen liegen Untersuchungen vor.

Brunnen I

Die Koloniezahl (20/36) lag im Vorfeld des Hauptabflussereignisses deutlich unter 10; zwischen 14.10. - 2.11.98 liegen keine Untersuchungen vor (Brunnen I außer Betrieb). Am 3.11. trat sofort mit Inbetriebnahme ein Hauptmaximum auf. Auffallend ist der kontinuierliche Rückgang bis 9.11. (Koloniezahl < 5). Dann folgt ein Nebenmaximum zwischen 20.11. und 1.12. (ca. 20 Tage nach der Hauptwelle); es steht in keiner Verbindung mit einer neueren Abflusserhöhung oder Niederschlägen. Während des abschließenden Nebenmaximums des Abflusses gab es keine Analytik (Brunnen außer Betrieb).

Mit einsetzender Beprobung am 2.11. wechselten die Befunde von E.coli und coliforme Keime bis zum 28.12. ständig zwischen positiv und negativ. Das heißt dieses Ereignis führte zu einer intensiven Verkeimung.

Der **Brunnen II** war noch in der Zeit niedriger Abflüsse in Betrieb und das geförderte Wasser wies fast keine Verkeimungen auf (E.coli und coliforme Keime). Die Koloniezahl bei 36° C war nach dem Hauptabfluss erhöht sowie nach dem ersten Nebenmaxima.

Das Wasser aus **Brunnen III** war vor dem Hauptereignis nicht oder nur sehr gering erhöht hinsichtlich der Koloniezahl (und wenn dann nur bei 36°, sowie nach dem Hauptereignis). Im Brunnen III waren nach dem Hauptereignis zweimal coliforme Keime erhöht. E.coli waren nicht nachgewiesen.

Zusammenfassung

Im Beobachtungszeitraum traten über eine lange Phase erhöhte Grundwasserabflüsse auf, die ausgeprägte Abflussereignisse mit hohen Tagesniederschlägen aufweisen. Dabei traten kurzzeitig Infiltrationsverhältnisse mit einer vollständigen Überflutung auf (Wasserstände Pegel SAO 1 > AS). In der Folgezeit lagen auch die Wasserstände im Pegel SAO 3 über denen im Pegel AS. Es ist daher davon auszugehen, dass die Umstellung auf Normalverhältnisse über einen längeren Zeitraum andauert. Die Verkeimung durch E.coli und coliforme Keime erwies sich als langandauernd.

6.6 Hochwasserereignis Februar 1999 – April 1999

Die Zeitganglinien mit Darstellung der Wasserstände und der mikrobiologischen Untersuchungsergebnisse finden sich in den Abbildungen 11a/b/c/d/e/f.

Witterungsverhältnisse

Im Februar 1999 traten zwischen 1.2. und 24.2. zwei mehrtägige Niederschlagsereignisse, verbunden mit zwei kleineren Abflussereignissen auf.

Zwischen 8.3. und 10.3. trat ein weiteres Ereignis mit einem Niederschlag am 9.3. mit 11 mm auf. Am 4.4. – 8.4. folgte ein weiteres Ereignis mit 22,5 mm verteilt auf zwei Tage.

Ende Februar steigen die Temperaturen auf $> 0^{\circ}\text{C}$ an.

Abflussverhältnisse

Insgesamt traten drei Abflussspitzen auf, die sich stetig erhöhten:

1. 5.2. – 10.2. (Spitze 6.2.: $125\text{ m}^3/\text{s}$)
2. 20.2. – 25.2. (Spitze 22.2.: $156\text{ m}^3/\text{s}$)
3. (Spitze am 4.3.: $216\text{ m}^3/\text{s}$)

Die Abflussereignisse stehen scheinbar auch mit Schneeschmelze-Ereignissen in Verbindung.

Wasserspiegel:

Der Pegel LS wies am 24.2. einen Wasserstand von ca. 330 m ü. NN auf; ein Indiz für eine begrenzte Ausuferung des Flusses; in der Folgezeit traten hohe Wasserstände in allen Grundwassermessstellen auf. Der Hauptanstieg fällt in die Zeit der Schneeschmelze.

Während der nahezu gesamten Zeit stellt der Wasserspiegel im Pegel AS den höchsten Wasserstand dar. In der Hauptanstiegsphase liegt im Brunnen I (gegenüber II) der Wasserstand am höchsten. Der Pegel LS reagiert unmittelbar auf die Flusswasserstände. Pegel Sallern Nord liegt nach dem Ereignis deutlich unter dem von Brunnen I und II.

Während des Ereignisses besteht scheinbar eine eindeutige Steuerung der Grundwasserverhältnisse von der Landseite her.

Das letzte Ereignis Anfang April wirkt sich auf die Wasserstände sehr gering aus.

Mikrobiologie

Im gesamten treten sporadisch geringe (untergeordnet zweimal deutliche) Erhöhungen der Koloniezahl 20°C und 36°C auf.

Zusammenfassung

Während dieser Phase erhöhter Abflüsse kam es zu keiner signifikanten Infiltration. Eine randliche Ausuferung des Regens trat kurzzeitig auf. Die Befunde waren bis auf diffuse Erhöhung der Koloniezahl negativ.

6.7 Hochwasserabflüsse Dez. 1999 – März 2000

Die Zeitganglinien mit Darstellung der Wasserstände und der mikrobiologischen Untersuchungsergebnisse finden sich in den Abbildungen 12a/b/c/d/e/f.

Witterungsverhältnisse

Im Winter 1999/2000 traten seit Dezember vermehrt Niederschläge auf, die mehrmals Tagesmengen von 10 mm überschritten. Herauszuheben ist eine Phase am 17.12. - 19.12.1999 und 30.1.2000.

In zwei Fällen war nach einer kurzen Frostphase eine Erwärmung mit anschließender Schneeschmelze aufgetreten.

Abflußverhältnisse

Im Gefolge der Schneeschmelze gepaart mit Niederschlägen kam es insbesondere Ende Dezember wie auch Ende Januar zu Abflüssen von 80 m³/s und > 160 m³/s, die zu deutlichen stetigen Erhöhungen der Grundwasserstände führten. Eine Überflutung der Talaue trat zu mindestens im nennenswerten Umfang nicht auf.

Wasserstände

Die Wasserstandsspitzen traten in den Brunnen ca. 2 - 3 Tage nach dem Ereignis auf. In nahezu der gesamten Zeit lag der Wasserspiegel im Pegel AS am höchsten. Der Pegel Sallern Nord lag anfangs gleich mit den Brunnen I und II, danach darunter. Der Brunnen III lag stets unterhalb.

Mikrobiologie

E.coli und coliforme Keime wurden nicht nachgewiesen. Koloniezahl war im Februar und März sporadisch geringfügig erhöht.

Zusammenfassung:

Während dieser Abflussphase kam es zu keiner nennenswerten Infiltration. Ein Zusammenhang zwischen den Erhöhungen der Koloniezahl und den zahlreichen Niederschlägen ist nicht auszuschließen. Positive Befunde an E.coli und coliforme Keime traten nicht auf.

6.8 August Hochwasser 2002

Die Zeitganglinien mit Darstellung der Wasserstände und der mikrobiologischen Untersuchungsergebnisse finden sich in den Abbildungen 13a/b/c/d/e/f/g/h.

Witterungsverhältnisse

Im Vorfeld des Abflussereignisses waren am 31.7.2002 an der Station Sallern/REWAG) 56,4 mm Niederschlag gemessen worden. In der unmittelbaren Vorphase des Ereignisses waren am 11.8. und 12.8. insgesamt 25,9 mm Niederschlag gefallen, d.h. der abflussrelevante Niederschlag war im Bayerischen Wald (Mittel- und vorrangig im Oberlauf des Regens mit > 140 mm gefallen (Höchstwerte am 12.8.).

Abflussverhältnisse

Wegen der Einstellung des Messbetriebs in Regenstaufl muss auf den Pegel Marienthal (ca. 29,540 km flussaufwärts) zurückgegriffen werden. Es ist eine Zeitdifferenz von 11 - 13 h zwischen dem Pegel und Wasserwerk Sallern anzusetzen. Die Spitze der Hochwasserwelle müsste demnach in Sallern am 14.8. zwischen 3 und 4 Uhr aufgetreten sein. Das Ereignis dauerte ca. vom 12.8. bis zum 15.8. Auffallend an diesem Abflussereignis ist, dass nur eine klar abgetrennte Abflussspitze aufgetreten ist.

Wasserstände

Die Wasserstände in den Brunnen stehen zum einen in Abhängigkeit vom Förderbetrieb. So liegen die Wasserstände im nicht betriebenen Brunnen I bis zum 12.8. deutlich über denen der beiden anderen sich im Betrieb befindlichen Brunnen II und III. Mit ihrem Abschalten kehren sich die Verhältnisse um. Auffallend ist das relative deutliche Absinken des Wasserstands im Brunnen I nach Ende des Abflussereignisses. Im allgemeinen ist ein maximaler Anstieg von 1,5 m durch das Hochwasserereignis nachzuweisen. Der Wasserstand liegt allerdings ca. 3 - 4 m unter der Wasserstandshöhe während der Abflussspitze (überschwemmter Bereich im Wasserwerk).

Auffallend ist, dass die Abflussspitze (Pegel Regen) niveaumäßig mind. ca. 3 m über der von den Brunnen Sallern und AS lag. D.h. es besteht ein vom Fluss landeinwärts gerichtetes deutliches Grundwassergefälle. Während der Wasserstand des Regens am Ende des Abflussereignisses rasch auf Ausgangsniveau abfällt, verbleiben die Wasserstände in der Messstelle AS ca. 0,5 m noch lange über Ausgangsniveau. Im Brunnenfeld selbst beträgt die Aufhöhung ca. 1,5 m.

Hydrochemische/Mikrobiologische Ergebnisse

Untersuchungen auf Clostridien:

Der Nachweis von Clostridien beschränkte sich vorrangig auf die Hauptabflussphase zwischen 14. und 16.08 (zeitlich um einen Tag versetzt zum Hauptereignis). Am 23.8. wurde ein weiterer Nachweis

geführt. Clostridien treten u.a. in Böden und Oberflächengewässern auf. Ihr kurzzeitiges Auftreten während der Hauptabflussmaximums sprechen für eine direkte Infiltration während der Überflutung der Anstromzone des Brunnen I.

Untersuchungen auf Enterokokken:

Enterokokken traten vorrangig während der Hauptabflussspitze zwischen 14. und 16.08. auf. Der Durchgang spricht für eine einmalige „Einspeisung“, in ähnlicher Form wie bei Clostridien.

Ein positiver Nachweis von E.coli trat vorrangig in der Anfangsphase des Abflussereignisses auf. Bis Mitte Sept. waren sporadisch Nachweise vorhanden.

Gesamtkeimzahl bei 20 °C und Gesamtkeimzahl bei 36° C ist bereits am 20.8.2002 wieder abgeklungen. Die Verkeimung zwischen 31.10. und 20.11. steht im Zusammenhang mit den erhöhten Wasserständen und Niederschlägen (vier Starkniederschlagsereignisse) in dieser Zeit.

Ähnlich wie die Zeitganglinie der Enterokokken verhält sich auch die der Keimzahlen. Dabei fällt die Erhöhung bei Gesamtkeimzahl bei 20° C höher aus.

Org. Inhaltsstoffe und sonstige chem. Parameter

Im Brunnenfeld Sallern wurden die Kenngrößen pH-Wert, Leitfähigkeit und Nitrat in einem engen Zeit-raster ermittelt.

Zusammenfassung

- In der Zeit vom 13.8. bis zum 16.8.2002 führte ein Abflussereignis des Regens (5 jährliches Hochwasser) zu flächigen Überschwemmungen im Regental, die im Wasserwerk Sallern ein Niveau von ca. 333,5 m ü. NN erreichte. Die Abflussspitze trat am 14.8.2002 auf. Im Raum Regensburg lagen die Niederschläge an den Tagen 11. und 12.8. bei ca. 26 mm. Der Hauptniederschlag war in den weiter entfernten Teilen des Einzugsgebietes – im Oberlauf des Regens - gefallen.
- In der Folgezeit kam es innerhalb der Brunnen I - III und den Vorfeldmessstellen zur maximalen Erhöhung bis zu 1,5 m. Die Ausbildung der Zeitganglinien der Wasserstände in Grund- und Oberflächenwasser ähneln sich so stark, so dass hier von einer Infiltration von Oberflächenwasser im Regental auszugehen ist.
- Während des Abflussereignisses war eine deutliche Potentialdifferenz zwischen Oberflächenwasser im Regental und Grundwasser in den Vorfeldmessstellen vorhanden. Im Brunnenfeld lag dieses Gefälle wegen dort vorhandener Förderung noch höher, da der Absenkrichter sich direkt unter dem Regental ausgebildet hatte. Das Maximum der Grundwasserstände war ca. 1

Tag nach dem Erreichen der Flusswasserständen in den Messstellen Br. Sallern I, II, und III erreicht, ebenso in der Vorfeldmessstelle As.

- Während und in der unmittelbaren Zeit danach traten mikrobiologische Belastungen auf. Im zeitlichen Ablauf der Verkeimung (Gesamtkeimzahl und Enterokokken) war deutlich das Abflussereignis zu erkennen. Die Spitzen der Belastungen traten während der höchsten Wasserstände auf. In der Anfangsphase (während der Haupt-Abflussspitze waren auch Clostridien nachgewiesen worden). Der Nachweis von E.coli und coliforme Keime war über einen längeren Zeitraum vorhanden (mind. bis Mitte Sep.). Anfänglich betraf er vorrangig E.coli.

7 Brunnenbetrieb

Der Brunnenbetrieb

Der Brunnenbetrieb in Sallern erfolgt in der Regel als Wechselbetrieb, d.h. es werden jeweils nur ein Brunnen maximal zwei Brunnen im Wechsel (meist im wöchentlichen Turnus) betrieben.

Aufgrund der Entnahme treten in den jeweiligen Förderbrunnen Absenkungen des Brunnenwasserspiegels unter die der umliegenden Pegel und Brunnen auf. Wie die Messungen in den Pegel Sallern Nord und SAO 3 zeigen, sind die Auswirkungen auf den überlagernden Kiesgrundwasserleiter und den Karstgrundwasserleiter sehr gering.

Die Absenkung der Brunnenwasserspiegel liegt im Förderbrunnen in einem Bereich zwischen 1 und 1,3 m unter Ausgangswasserspiegel. Anhand der gemessenen Absenkungen lässt sich zeigen, dass auch während der Mittel- und Niedrigwasserverhältnisse ein randlicher Zustrom aus dem Regental vorhanden ist, der sich aber während der Hochwasserstände deutlich erhöht.

Im Jahresbericht 1977 der GSF (1998) wird eine Tracereinspeisung in einer Entfernung von ca. 200 m zum Brunnen I in einem alten Steinbruch beschrieben. Der Tracer war nach 1,5 Tagen in **allen** Brunnen mit einem Hauptmaximum mit zwei folgenden Nebenmaxima nachzuweisen. Dazwischen sinken die Konzentrationen gegen Null ab (Abb.14 : Einspeisungslageplan und Durchgangskurve).

Es ist davon auszugehen, dass das Quellgebiet in Sallern von Karstquellen gebildet wird, deren Schüttung einen hohen Anteil von aufsteigendem Tiefenwasser enthält, das aus dem mittlerweile durch die Brunnen erschlossenen Karstsystem abfließt. Die Verpressungsarbeiten in den Jahren 1958 haben nicht eine vollständige Abdichtung des Systems bewirkt, sondern das Karstwasser ist weiterhin abgeflossen. Die Aufnahmen in den Brunnen zeigen, dass es sich hier um ein talparalleles, steil stehendes Kluftsystem handelt, das ein rasches vertikales Vordringen von Wässern gestattet. Auch bei der großen Tiefe der Absperrung ist ein Vordringen von oberflächennahen Wässern nicht unterbunden.

8. Ergänzendes Untersuchungsprogramm

Folgende weiterführenden Untersuchungen zur Abklärung der Zuflusszonen werden vorgeschlagen:

(1) Markierungsversuch (Eingabe von drei Farbtracer) im Bereich des Terrassenrandes (westlich der Trasse B15 Alt)

- Der Versuch ist in derart vorzubereiten, dass er umgehend während eines Hochwasserabflusses kurzfristig durchgeführt werden kann.

- **Fragestellung:**

Besteht während eines Hochwasserabflusses eine kurze Verbindung (innerhalb weniger Tage) des Randbereichs (Siedlungsgebiet an der alten B15) zum Brunnenfeld ?

(2) Mehrtägiger PV an der Messstelle SA 1 mit wasserchemischen und mikrobiologischen Untersuchungsprogramm

Fragestellung:

Welche Belastung ist im oberen Grundwasserleiter unterhalb des Siedlungsgebietes vorhanden. Bisherige Untersuchungen der REWAG weisen auf eine abwassertypische Belastungen hin.

(3) Geophysikalische Profilaufnahme (N/S-Profile) zur Ergänzung bisheriger Untersuchungen

Zur Verdichtung der bisherigen Untersuchungen werden zwei weitere N/S-Profile und 4 kurze E-W-Profile vorgeschlagen.

Fragestellung:

Wie ist im Detail die Deckschichtsituation im Randbereich und innerhalb des Fassungsereiches beschaffen, vor allem im Hinblick auf eine mögliche Zusickerung bei der Überflutung des Fassungsereichs?

(4.) Abteufung von 4 Sondierbohrungen in der Talaue (im Anstrom der Sallerner Mühle)

Zur Erkundung der Deckschichtenauflage in der Anstromzone (im Randbereich) ist eine Erkundung der Deckschichtenauflage notwendig. Die Ergebnisse bilden die weitere Grundlage für die Eichung der zusätzlichen geophysikalischen Messungen im Regental.

9 Schlußfolgerungen

- () Nach bisherigem Kenntnisstand zum geologischen Aufbau bestehen nur im Talrandbereich d.h. im räumlich begrenzten Umfeld des Malmrückens im Wasserwerk Deckschichtenverhältnisse, die eine rasche Zusickerung von Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter Malm zulassen. Die durchgeführten geophysikalischen Messungen engen zwar den möglichen Zuspeisungsbereich ein. Eine genauere Abgrenzung der Zone erscheint jedoch noch erforderlich.
Zudem besteht ein weiterer Klärungsbedarf über die Deckschichtenverhältnisse in der weiteren Anstromzone (bis 650 m Entfernung), da dort Aufragungen des Malmuntergrundes nicht auszuschließen sind. Die Standorte sind durch Sondierungsbohrungen verbunden mit weiteren geophysikalischen Messungen zu erkunden.
- () Bei Hochwasserabflüssen des Regens kommt es zeitversetzt (bis zu 2 Tage) zu einer Erhöhung der Grundwasserstände. Bei höher reichenden Überflutungen übersteigen in der Regel (bis zu mehreren Tage) die Grundwasserstände der Pegel in der Talau und der Förderbrunnen die Wasserstände in den Pegel der höheren Terrasse. Zu dieser Zeit kann es aus hydraulischer Sicht zu einer verstärkten Infiltration in das Malmgrundwasservorkommen innerhalb der Talau kommen. Im räumlich begrenzten Absenktrichter kommt es zwar auch bei Mittelwasserverhältnissen im Rahmen des Brunnenbetriebs zu einer Zuspeisung aus der Talau. Allerdings ist letztere durch die sandigen tertiären Zwischenschichten begrenzt. Bei Hochwasserständen erhöht sich aber die Potentialdifferenz kurzzeitig von ca. 1 - 2 m auf 2 – 3 m.
- () Verkeimungen des Grundwassers (E.coli, coliforme Keime und Enterokokkenbelastung) treten stets in Verbindung mit Hochwasserabflüssen auf; als wichtige Höhenmarke ist 330,5 m ü. NN – Marke zu nennen. Bei kleineren Hochwässern (mit Überflutung des flussnahen Randbereichs) treten nur vereinzelte Erhöhungen der Koloniezahlen auf. Die Belastungen setzen in einem zeitlichen Abstand von 2 – 3 Tagen nach Auftreten der Abflussspitze auf.
- () Örtliche Niederschläge führen nur in sehr geringem Maße zu mikrobiologischen Belastungen. Die bisherigen Beobachtungen weisen darauf hin, dass es bei Hochwasserständen zu einer Zuspeisung im Talaubereich kommt, der zu der mikrobiologischen Beeinträchtigung führt.
- () Derzeit nicht geklärt sind die eventuellen Einträge aus dem Bereich der Siedlungshäuser entlang der alten B15. Vorliegende Ergebnisse wasserchemischer Untersuchungen am Pegel SA1 geben einen Hinweis auf eine Belastung des Grundwassers im oberen, sandigen Grundwasserleiter. Inwieweit es bei der Umstellung der Fließver-

hältnisse bei Hochwasserabflüssen von NW/SE auf N/S zu einem verstärkten Zustrom aus diesem Bereich zu den Sallerner Brunnen kommt, ist derzeit noch nicht geklärt.

- () Sollten sich diese Zupsungszone in der Talaue eindeutig abgrenzen lassen, ist zu prüfen, ob nicht durch technische Maßnahmen eine Überflutung dieser Zupsungsbereiche unterbunden werden kann.

- () Die bisherigen Ergebnisse machen eine Infiltration von Flusswasser als Ursache für die bei Hochwässern auftretenden Verkeimungen sehr wahrscheinlich.

Velden, den 20.12.05

Sachverständigenbüro für Grundwasser

Dr. K.-H. Prösl

Diese Gutachten umfasst 30 Seiten.

M:\Kunden\REWAG\HochwasserSallern\Endbericht2.doc