

Grundwassererforschung im Sarneraatal

Autor(en): **Liniger, Markus / Bussmann, Felix**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **NAGON / Naturforschende Gesellschaft Ob- und Nidwalden**

Band (Jahr): **4 (2010)**

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-1006732>

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.

Grundwassererforschung im Sarneraatal

Markus Liniger und Felix Bussmann

Einleitung

Sarnen liegt auf einem ausgedehnten Grundwasservorkommen, welches sich vom Sarnersee bis nach Kägiswil erstreckt (Abb. 1). Dieses Grundwasser wird sowohl als Trinkwasser, als auch für Wärme- und Kältegewinnung genutzt. Bis 2005 traten im Dorfkern von Sarnen nie Probleme mit Grundwasseraufstößen in Baugruben oder in Untergeschosse von Gebäuden auf. Die Grundwasserspiegel lagen und liegen im Normalfall mehrere Meter unter dem Talboden. Zudem wusste man aus älteren Untersuchungen [4], dass der Sarnersee und die Sarner Aa nicht, oder nur in sehr geringem Ausmass zur Grundwasserneubildung beitragen. Während des Hochwassers vom 22./23. August 2005 stiegen die Grundwasserspiegel aber derart an, dass viele Gebäude allein durch Grundwasseraufstösse beschädigt wurden [1], [10].

Der Kanton Obwalden startete in der Folge des Hochwassers von 2005 das Hochwasserschutzprojekt Sarneraatal. Neben mehreren Tunnelvarianten wurde auch die Tieferlegung der Sarner Aa geprüft. Es zeigte sich, dass für alle Varianten, aber vor allem für die Variante Tieferlegung, die Kenntnisse bezüglich Grundwasser und dessen Beziehung zu den Oberflächengewässern zu wenig gut bekannt waren. Daher wurde gleichzeitig das Projekt «Untersuchung der aktuellen Grundwasserverhältnisse zwischen Sarnersee und Wichelsee» [10] in Angriff genommen. Die Resultate dieser Untersuchung sind nachfolgend erläutert.

Datengrundlage

Vorhandene Unterlagen

Die verwendeten Unterlagen sind aus dem Literaturverzeichnis ersichtlich. Die Angaben zur geologischen Übersicht stammen aus der geologischen Karte des Kantons Obwalden [9]. Die Grundwasserberandung in Abbildung 1 wurde aus dem Wasserversorgungsatlas [8] und der Gewässerschutzkarte [2] übernommen. Sie wurde lediglich unmittelbar nördlich des Landenberges aufgrund der neusten Erkenntnisse leicht angepasst. Es gab neben wissenschaftlichen Untersuchungen zum Grundwasservorkommen von Labhart [4] auch eine Vielzahl von Bohrdaten (Abb. 1), welche verwendet werden konnten. Vorhandene seismische Daten [6] lieferten Angaben über den Verlauf der Felsoberfläche.

Messstellennetz

Das für die Untersuchungen eingerichtete Messstellennetz umfasste 2007 insgesamt 27 Messstellen:

- 2 Grundwasserpumpwerke mit digitaler Pegelmessung
- 4 zu Kleinfilterbrunnen ausgebaute Bohrungen
- 7 Entnahmebrunnen von Wärmepumpen
- 1 Rückgabeburinen von Wärmepumpen
- 13 Piezometerrohre (Grundwasserbeobachtungsrohre)

Zu diesen Messstellen kamen im Frühling 2008 im Rahmen der Sondierbohrungen Landenberg flussnahe Grundwassermessstellen hinzu: Von elf Bohrungen wurden zehn mit 2-Zoll-Piezometern

Abb. 1
Grundwasservorkommen
im Sarneraatal mit Mess-
stellennetz und mit den
Profilsuren der Abb. 2
und 3. Angegeben ist
auch die Profilsur der
refraktionsseismischen
Untersuchungen der
LEAG 1977, welche An-
gaben zur Lage der
Felsoberfläche liefert.
(Reproduziert mit Bewilli-
gung von swisstopo
[BA100395]).

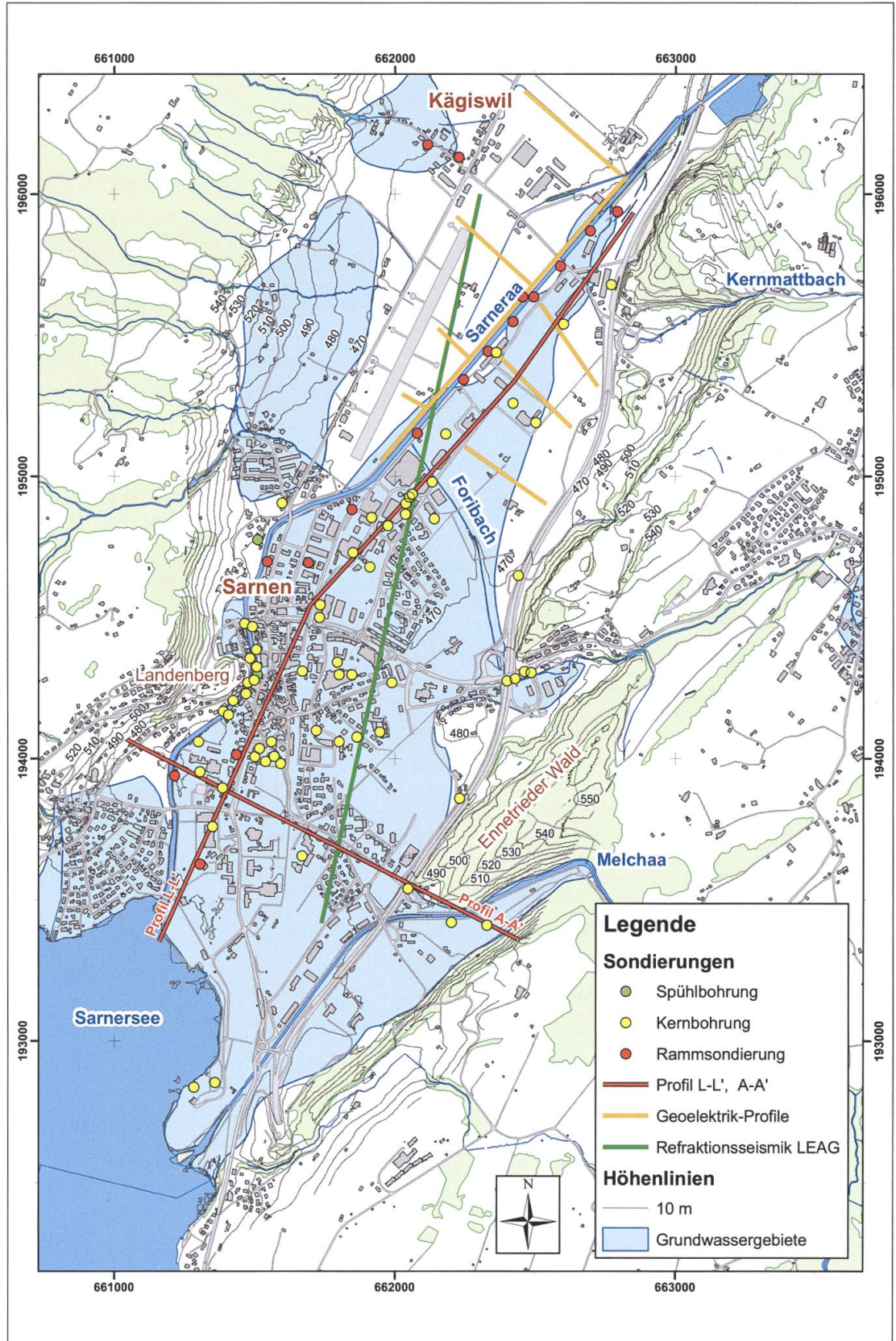


Abb. 1

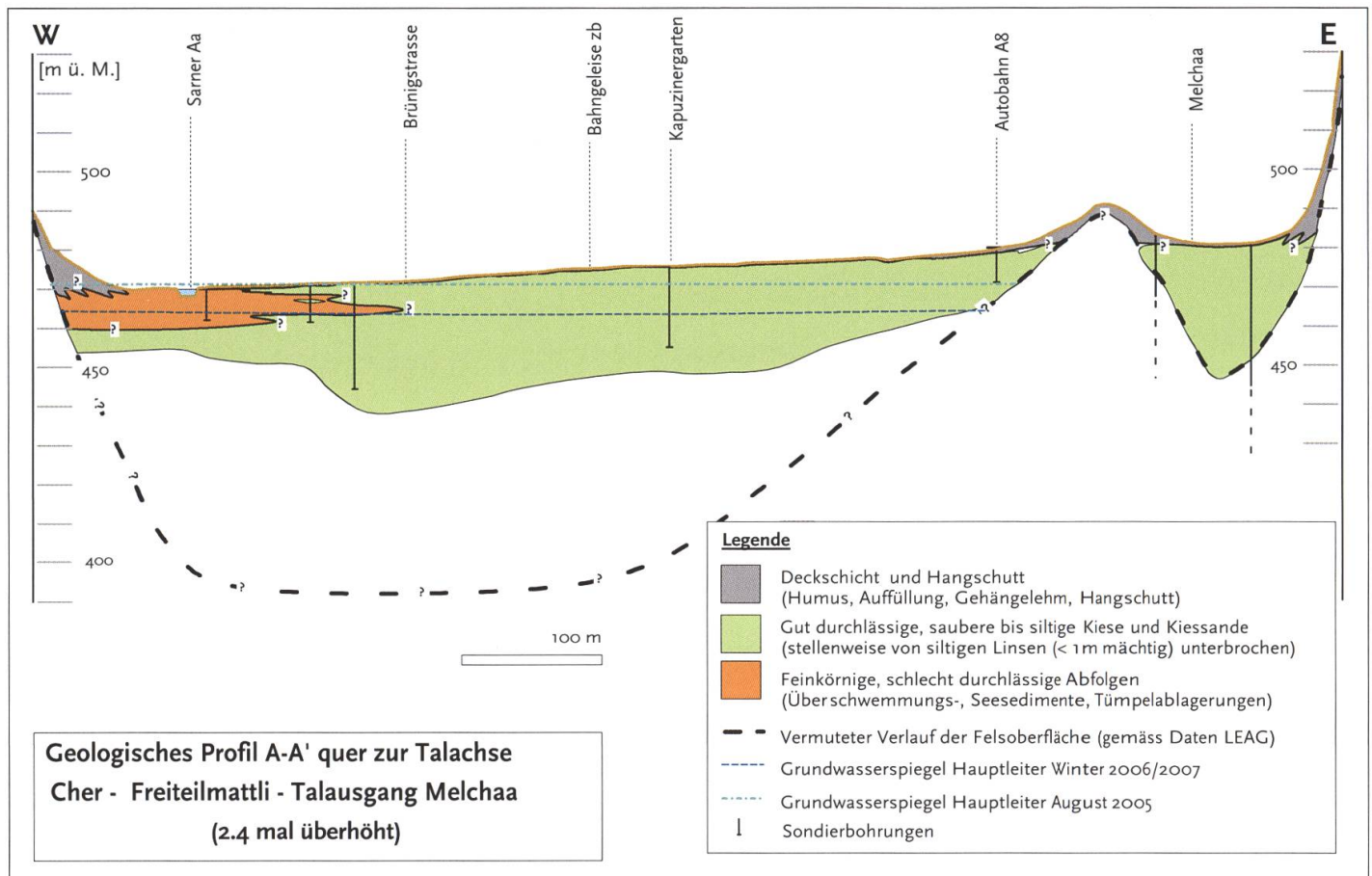


Abb. 2

ausgerüstet. In fünf davon wurde ein zweites Piezometerrohr für das zweite, tiefer liegende Grundwasserstockwerk installiert.

Weitere Untersuchungen und Arbeiten

Es wurden folgende zusätzliche Untersuchungen und Arbeiten ausgeführt:

- Rekonstruktion der maximalen Grundwasserstände während des Unwetters im August 2005.
- Messung von insgesamt sieben 2D-geoelektrischen Profillinien quer zur Sarner Aa sowie einem 2D-geoelektrischen Profil orographisch links entlang der Sarner Aa ab Industriegebiet Sarnen bis Kägiswil (Profilspuren in Abb. 1) durch die GEOTEST AG im August 2007.
- Durchführung eines Multi-Tracerversuchs (Markerversuch) mit drei Tracern, welche am 16. Juli 2007 in das Grundwasser sowie in die Sarner

Aa eingespeist wurden. Anschliessende periodische Probenahme und Analytik bis Februar 2008. Durchführung durch Nano Trace Technologies GmbH.

- Elf Kernbohrungen im Gebiet Landenberg (2008, vgl. [11]).

Geologische Verhältnisse

Geologische Übersicht

Das Sarneraatal liegt im Stirnbereich von zwei helvetischen Decken, der Drusberg-Decke und der Pilatus-Teildecke. Diese werden im Projektgebiet aus oberkretazischen und alttertiären Sedimentgesteinen, vorwiegend massigen Kalken, Mergelschiefern und Sandsteinen aufgebaut, welche die Felsaufschlüsse auf beiden Talseiten bilden (Landenberg, Ennetriederwald, Abb. 1). Die höher gele-

Abb. 2
Geologisches Profil A-A
durch den Grundwasserleiter quer zur Talachse.

Abb. 3
Geologisches Profil L-L
durch den Grundwasserleiter entlang der Talachse.

genen Talflanken im Westen (Glaubenberg) werden durch penninischen Schlierenflysch, vorwiegend Sand-, Silt- und Tonsteine sowie Mergel gebildet.

Lage der Felsoberfläche

Die Lage der Felsoberfläche unter der Talebene von Sarnen ist nur näherungsweise bekannt, da diese unter einer mächtigen Lockergesteinsbedeckung liegt. Auch die tiefste bis anhin abge-

teufte Bohrung im Spitalgarten (Koordinaten ca. 661.500/193.300) erreichte den Fels selbst in 73 m Tiefe (399 m ü.M.) nicht. Es ist anzunehmen, dass die Felsoberfläche unterhalb des Dorfbereichs sogar noch wesentlich tiefer liegt. Einen illustrativen, jedoch räumlich begrenzten Eindruck über die Tiefenlage der Felsoberfläche vermitteln zwei refraktionsseismische Profile, welche 1977 von der Prakla-Seismos GmbH im Auftrag

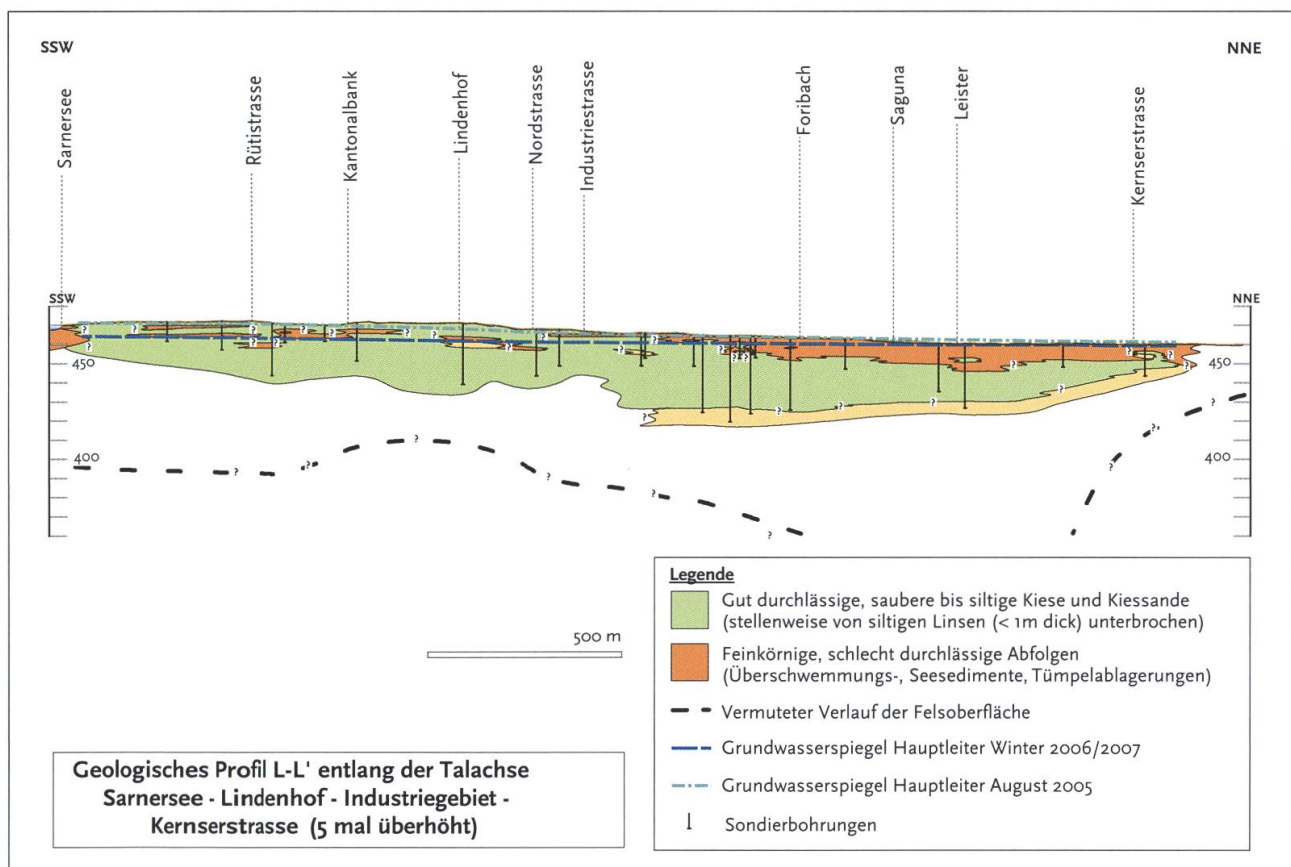


Abb. 3

der Luzerner Erdöl AG aufgenommen wurden [6]. Die Lockergesteinsmächtigkeit unter dem zentralen Talboden beträgt überall im untersuchten Gebiet mindestens 80 m. Der Verlauf der Felsoberfläche in den Abbildungen 2 und 3 wurde aufgrund dieser Daten dargestellt.

Im Hinblick auf die wasserbaulichen Arbeiten wurde zusätzlich der Verlauf der Felsoberfläche im Bereich Landenberg detailliert untersucht. Im Rahmen der Sondierbohrungen, welche beidseitig entlang der Sarner Aa abgeteuft wurden, konnte die Felsoberfläche an fünf Stellen nachgewiesen werden. Der Fels taucht hier steil gegen Osten ab.

Schichtaufbau der Talfüllung

Ein Seitenarm des letzteiszeitlichen Aaregletschers verursachte aufgrund seiner erosiven Tätigkeit die markante Eintiefung des Obwaldner Haupttals. In der Endphase der letzten Eiszeit sowie im frühen Holozän reichte der Ur-Vierwaldstättersee südlich bis weit über Sarnen heraus ins Tal hinein. Die intensive Geschiebefracht der Grossen Schliere führte aber schon bald zu einer Abtrennung des Seearms oberhalb Alpnach. Der See Richtung Brünig und Melchtal wurde höher gestaut. So entwickelte sich südlich des mächtigen Schuttkegels der Grossen Schliere ein vom Vierwaldstättersee abgetrennter See. Seebodenablagerungen aus dieser Zeit wurden in der Bohrung Spitalgarten unterhalb der Kote 419 m ü. M., sowie in mehreren 40 m-Bohrungen im Industriegebiet von Sarnen unterhalb der Kote 428 m ü. M. angetroffen (Abb. 3).

Die vorrückenden Deltas der Seitenbäche, allen voran das der Melchaa, brachten über diese Seesedimente grosse Mengen, vorwiegend leicht siltiger Sande und Kiese zur Ablagerung (sogenannte Melchaa-Schotter). Im zentralen Mündungsbereich der Melchaa in die Talebene sind diese oft mit grösseren Steinen und Blöcken durchsetzt. Sie reichen hier bis an die andere Talflanke. Da die ungebändigte Melchaa ihren Lauf immer wieder änderte, finden sich innerhalb der Melchaa-Schotter zahlreiche Einschaltungen aus feinkörnigen, tonig-siltigen Stillwasserablagerungen. Diese können im Dorfbereich von Sarnen (z.B. im Bereich Kantonalbank) Mächtigkeiten von mehreren Metern erreichen. Inwieweit diese Linsen zusammenhängende Körper darstellen, kann aus der Information aus wenigen Bohrungen und wegen der üblicherweise sehr komplexen Geometrie von Flussablagerungen nicht schlüssig beantwortet werden. Geringmächtige (weniger als ein Meter) Einschaltungen aus feinkörnigen Sedimenten (tonige Silte und Feinsande) sind zudem im gesamten Kieskörper verbreitet. Diese wurden aufgrund ihrer geringen Mächtigkeit in den Profilen (Abb. 2 und 3) nicht speziell ausgeschieden. Gemäss bisherigen Studien wurde angenommen, dass sich weiter stromabwärts das Ablagerungsgebiet der grobkörnigen Kiese aufgrund der verringerten Geschiebefracht zunehmend auf einen mehr oder weniger engen Bereich entlang des heutigen Laufs der Sarner Aa fokussiert. Die durchgeführten geoelektrischen Messungen bestätigen diesen Befund. Zudem tauchen gegen Norden die kiesigen Melchaa-Schotter ab und werden

von einer bereichsweise mächtigen (über 10 m) Schicht aus feinkörnigen Überschwemmungsablagerungen und Verlandungsbildungen überlagert (Abb. 3). Diese wurden im Randgebiet der ungebändigten Melchaa in einem ausgedehnten Sumpfgebiet abgelagert. Ob es im Norden unter diesen feinkörnigen, wenig durchlässigen Ablagerungen eine Verbindung der Melchaa-Schotter mit den Kiesen des Schlieren-Schuttfächers gibt, ist aufgrund der heute vorhandenen Datengrundlagen nur zu vermuten.

Der Sarnersee und der Oberlauf der Sarner Aa sind durch Seesedimente von den Melchaa-Schottern getrennt und so gegen diese abgedichtet (Abb. 2 und 3). In einer Bohrung gegenüber dem Rathaus wurden in diesen tonig-siltigen Seeablagerungen auch Reste von Süswassermuscheln gefunden. Die Mächtigkeit dieser Seesedimente beträgt teilweise über 10 m.

Hydrogeologische Verhältnisse

Allgemeine Übersicht

In den gut durchlässigen Melchaa-Schottern bewegt sich ein bedeutender Grundwasserstrom talabwärts, welcher auf Sarner Gemeindegebiet mit diversen Trink- und Brauchwasserfassungen genutzt wird. Gemäss Wasserversorgungsatlas [8] nimmt dieser Hauptgrundwasserleiter im südlichen Dorfteil bis auf Höhe Unterdorf praktisch die gesamte Talbreite ein. Weiter nördlich beschränkt sich dessen seitliche Ausdehnung zunehmend auf einen engeren Bereich östlich des heutigen Sarner Aa-Laufs (Abb. 1).

In kiesigen und sandigen Ablagerungen in Tal-ebenen gibt es genügend Kornzwischenräume, in welchen versickerndes Wasser sich sammeln und zirkulieren kann. Man spricht dann von einem Grundwasserstrom oder einem Talgrundwasservorkommen. Das Grundwasser wird gebildet durch Versickerung von Niederschlagswasser, durch Versickerung aus Oberflächengewässern (Infiltration aus Seen oder Bächen) und durch Zuströmen von Hang- und Hangsickerwasser aus den Seitenhängen. Die Fliessgeschwindigkeiten in Grundwasserströmen sind deutlich kleiner als in Oberflächengewässern und abhängig von der Korngrösse und der Kornverteilung des Lockergesteins, in welchem sie zirkulieren. In Kiesen haben wir eine gute Grundwasserzirkulation, in Sanden eher schlechtere und in Silten und Tonen sprechen wir nicht mehr von Grundwasserzirkulation, weil die Kornzwischenräume zu klein sind.

Im Sarneraatal wird der Kieskörper aus Melchaa-Schottern gegen unten durch Seeablagerungen begrenzt. Diese kommen als Grundwasserleiter kaum in Betracht. Somit dürfte im südlichen Dorfteil von Sarnen die maximale Grundwassermächtigkeit 40–50 m betragen (Abb. 3). Weiter nördlich nimmt die Grundwassermächtigkeit kontinuierlich ab (Abb. 3), da die schlechter durchlässigen Seeablagerungen bereits in geringeren Tiefen angetroffen werden und gegen oben hin bis zu 15 m mächtige, schlecht durchlässige Abfolgen von Seeablagerungen und Verlandungsbildungen den Kieskörper überlagern.

Bedingt durch diese Verengung muss das Grundwasser in Oberflächengewässer und Drainagen

austreten oder unterirdisch in andere, weiter nördlich anschliessende Grundwasserleiter übergehen. Basierend auf den geoelektrischen Messungen und den daraus ableitbaren geologischen Konsequenzen scheint zumindest ein Teil des Sarner Grundwassers in die kiesigen Ablagerungen des Schlieren-Schuttfächers überzutreten. Eine LEAG-Bohrung im Bereich Kreuzstrasse Kägiswil (Koordinaten ca. 662.400/195.950) erbohrte ab einer Tiefe von 19 m unter Terrain kiesige Ablagerungen, was den Befund aus der Widerstandsgeoelektrik stützt.

Gemäss den Resultaten der Widerstandsgeoelektrik (Profilspuren in Abb. 1) ist die östliche Begrenzung der Grundwasserberandung im Wasserversorgungsatlas [8] richtig ausgeschieden. Die westliche Begrenzung muss jedoch teilweise in Frage gestellt werden. Aufgrund der Sondierergebnisse dehnt sich das Grundwassergebiet beim Jordansteg und bei der Brücke Schwanderstrasse (Koordinaten ca. 661.500/194.500) auch westlich der Sarner Aa aus (Abb. 1, Gebiet angepasst gegenüber [1]).

Lage und Schwankungen des Grundwasserspiegels

Im Dorfkern von Sarnen und speziell entlang der Sarner Aa werden auffällig heterogene Grundwasserverhältnisse angetroffen. So werden an mehreren Stellen entlang der Sarner Aa Grundwasserstände gemessen, welche in den kürzeren Grundwasserbeobachtungsrohren meist mehrere Meter höher liegen als in den benachbarten, tief reichenden Messstellen.

Wir interpretieren die gemachten Beobachtungen mit dem Vorkommen von sehr lokal ausgebildeten, hängenden Grundwasservorkommen, welche im Nahbereich der Sarner Aa mit dieser in hydraulischer Verbindung stehen. Als hängendes Grundwasser werden begrenzte Grundwasservorkommen bezeichnet, wo das einsickernde Wasser durch stauende Schichten lokal oberhalb des Hauptgrundwassers zurückgehalten wird. Als Stauer dienen hier tonig-siltige Zwischenschichten oder in einzelnen Fällen auch sehr dicht gelagerte, siltige Kiese.

Gemäss der vorherrschenden geologischen Situation ist die Ausbildung von lokalen, hängenden Grundwasserleitern auch weiter entfernt von der Sarner Aa möglich, wenn in den Melchaa-Schotter eingelagerte tonig-siltige Zwischenschichten als hydraulische Stauer wirken (Abb. 3).

Die Auswertungen verschiedener Grundwasserstände sind als Isohypsen (Linien gleicher Grundwasserdruckhöhen) und Flurabständen (Tiefe des Grundwasserspiegels unter der Terrainoberfläche) in Abbildung 4 dargestellt.

Die Grundwasserstände vom Februar 2007 sind als winterlicher Tiefstand einzuordnen (Abb. 4, linke Darstellung). Typisch sind die weit auseinanderliegenden Isohypsen, was ein äusserst flaches Gefälle anzeigt. Deutlich ersichtlich ist die Absenkung im Bereich um die Trinkwasserfassung Spitalgarten (ganz im Südwesten des bearbeiteten Gebietes, Koordinaten ca. 661.500/193.300). Beim Seeausgang zeigen die Isohypsen keine Infiltration durch die Sarner Aa an. Erst

etwa ab dem Bereich unterhalb der Schwanderstrasse (Koordinaten ca. 661.500/194.500) sind Anzeichen auf Infiltration erkennbar – dass also Wasser der Sarner Aa in den Untergrund einsickert. Im Dorfbereich von Sarnen, im Südteil des Grundwasserleiters, liegt ein freier Grundwasserspiegel vor. Im Norden dagegen sind gespannte Grundwasserverhältnisse vorherrschend. Das heisst, der Grundwasserträger ist gegen oben durch eine dichtende Schicht abgedeckt. Der Flurabstand bei tiefem Grundwasserspiegel ist in Farben abgestuft dargestellt. Darin ist eine sukzessive Abnahme des Flurabstandes nach Norden deutlich erkennbar. Der Flurabstand beträgt bei tiefem Grundwasserspiegel mehr als 10 m im südöstlichen Dorfteil, 6–10 m im zentralen Dorfbereich, 4–5 m im Gebiet Feld und weniger als 2 m im Gebiet nördlich des Foribachs.

Die Grundwasserstände vom Juni 2008 entsprechen einem mittleren Stand (Abb. 4, mittlere Darstellung). Das Messstellennetz ist gegenüber dem Februar 2007 um zusätzliche Beobachtungspunkte erweitert. Die flussabwärts geschleppte Form der Isohypsen bildet die perkolative Infiltration der Sarner Aa ins Grundwasser nördlich der Schwanderstrasse deutlich ab. Das heisst, Wasser sickert durch die Flusssohle oder die Ufer und rieselt eine gewisse vertikale Strecke bis zum darunterliegenden Grundwasserspiegel hinab. Der Grundwasserspiegel ist darum lokal etwas erhöht. Ansonsten sind wenig Unterschiede zum Tiefstand zu sehen, ausser den leicht geringeren Flurabständen.

Der seit Messbeginn höchste Grundwasserstand wurde während dem Unwetter vom August 2005 beobachtet (Abb. 4, rechte Darstellung). Die aufgrund von Befragungen und aufgrund von Spuren nach dem Ereignis erhobenen Koten der Grundwasser-Isohypsen sind in Abbildung 4 zusammen mit der dazugehörigen Flurabstandskarte ersichtlich. Der genaue Verlauf der gezeichneten Isohypsen ist mit grossen Unsicherheiten verbunden, da nur sehr punktuelle Grundwasserstandsangaben als Ausgangslage verfügbar waren. Während dem Unwetter kam es zu einer stark erhöhten Grundwasserneubildung und damit zu einem äusserst markanten Anstieg des Grundwasserspiegels. Das Grundwasser stieg bis nahe an die Terrainoberfläche auf und die Flurabstände verminderten sich drastisch. In mehreren Bereichen wurden Gebäudeschäden beobachtet, welche ausschliesslich durch aufsteigendes Grundwasser entstanden sind [1]. Im Gebiet von Sarnen war ein derart massiver Anstieg des Hauptgrundwasserspiegels und solche Spiegelhöhen bis anhin nicht bekannt. Der Grundwasserspiegel vom August 2005 weist ein mittleres Gefälle von ca. 3,5 ‰ auf. Im südlichen und zentralen Dorfteil lag der Grundwasserspiegel zu dieser Zeit um bis zu sieben Meter höher als zum Beobachtungszeitpunkt im Februar 2007. Der Spiegel reichte beim Seeausgang bereichsweise bis Terrainhöhe oder darüber hinaus. Im ganzen Gebiet nördlich des Foribachs lagen artesisch gespannte Verhältnisse vor mit Grundwasserkoten, welche teilweise mehr als zwei Meter über Terrain lagen.

Abb. 4
Karten der Flurabstände bei tiefem und mittlerem Grundwasserstand sowie beim Grundwasserhöchststand August 2005 (rekonstruiert). (Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo [BA100395]).

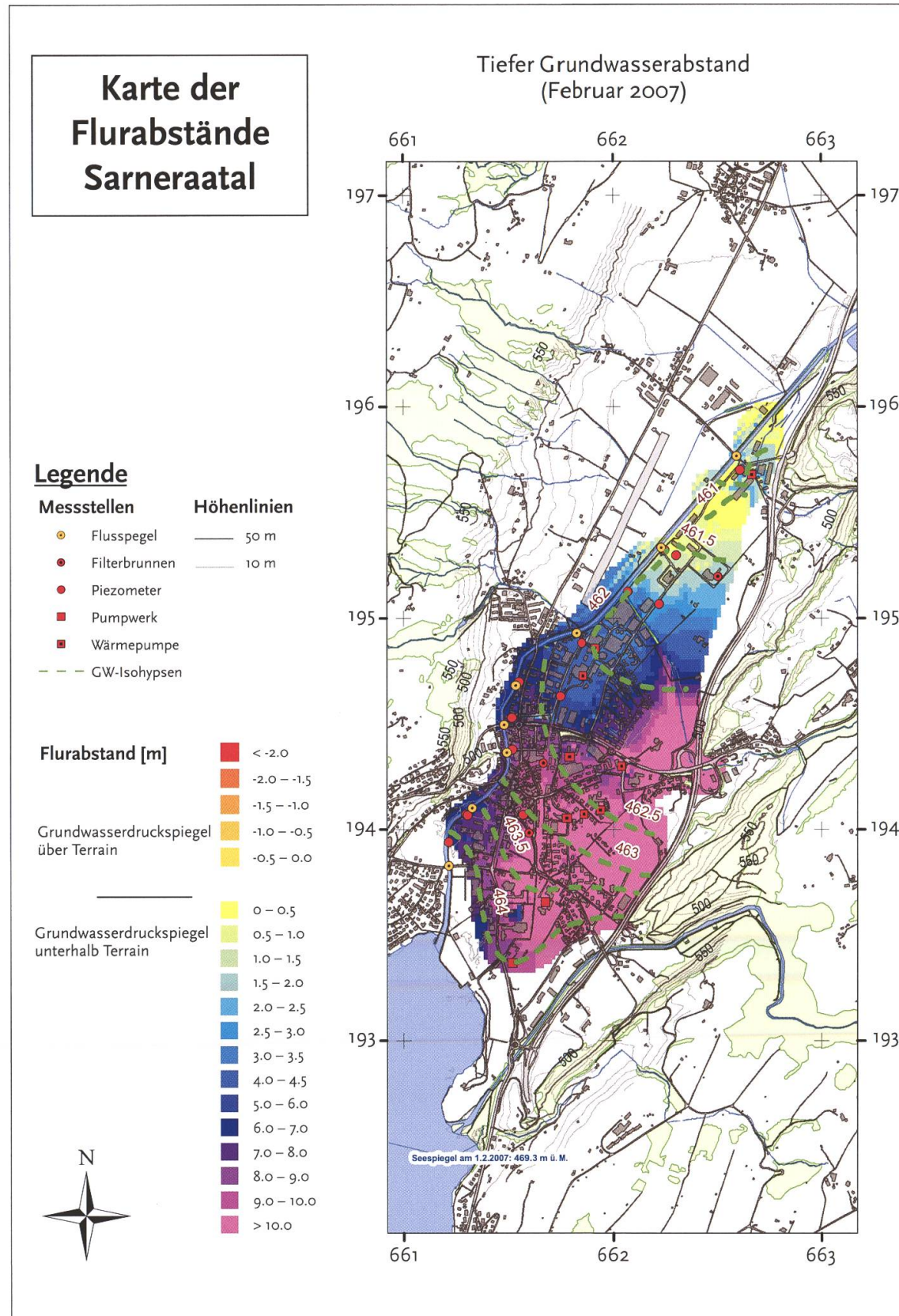
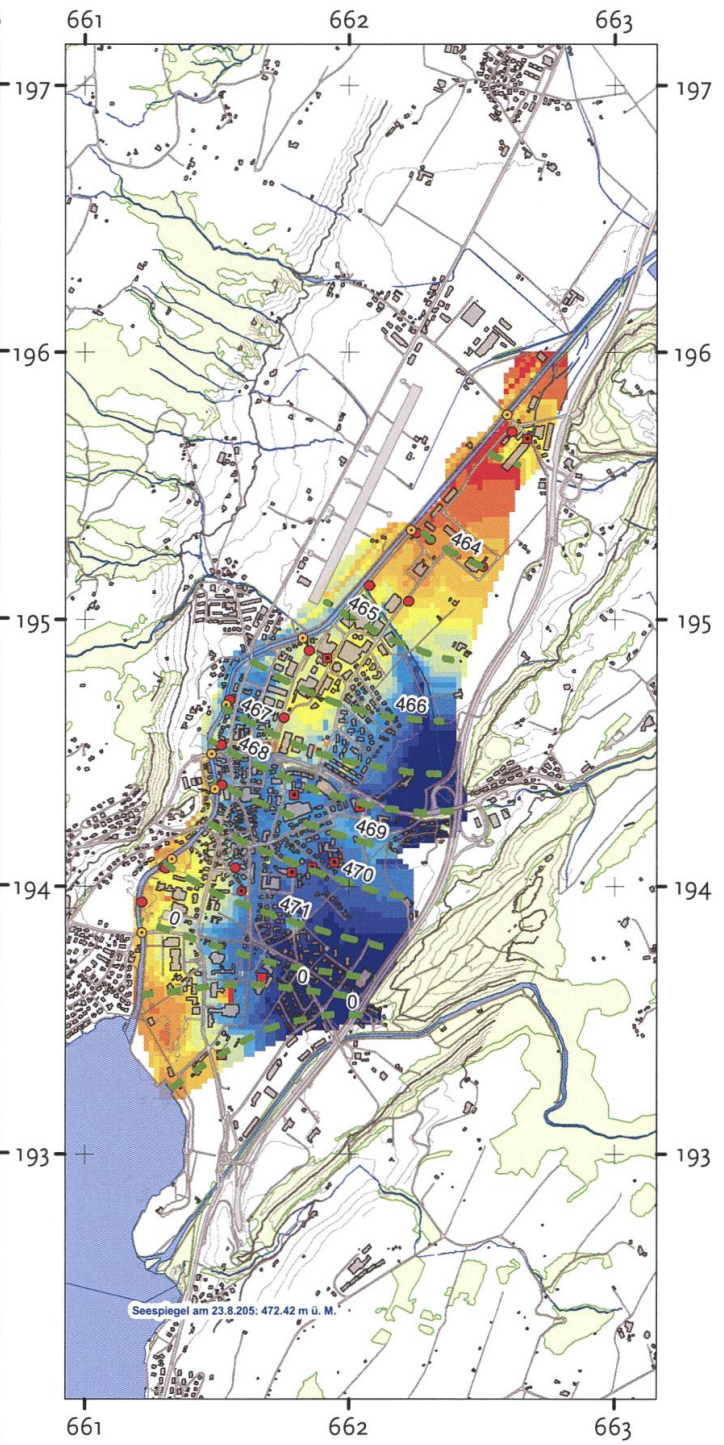
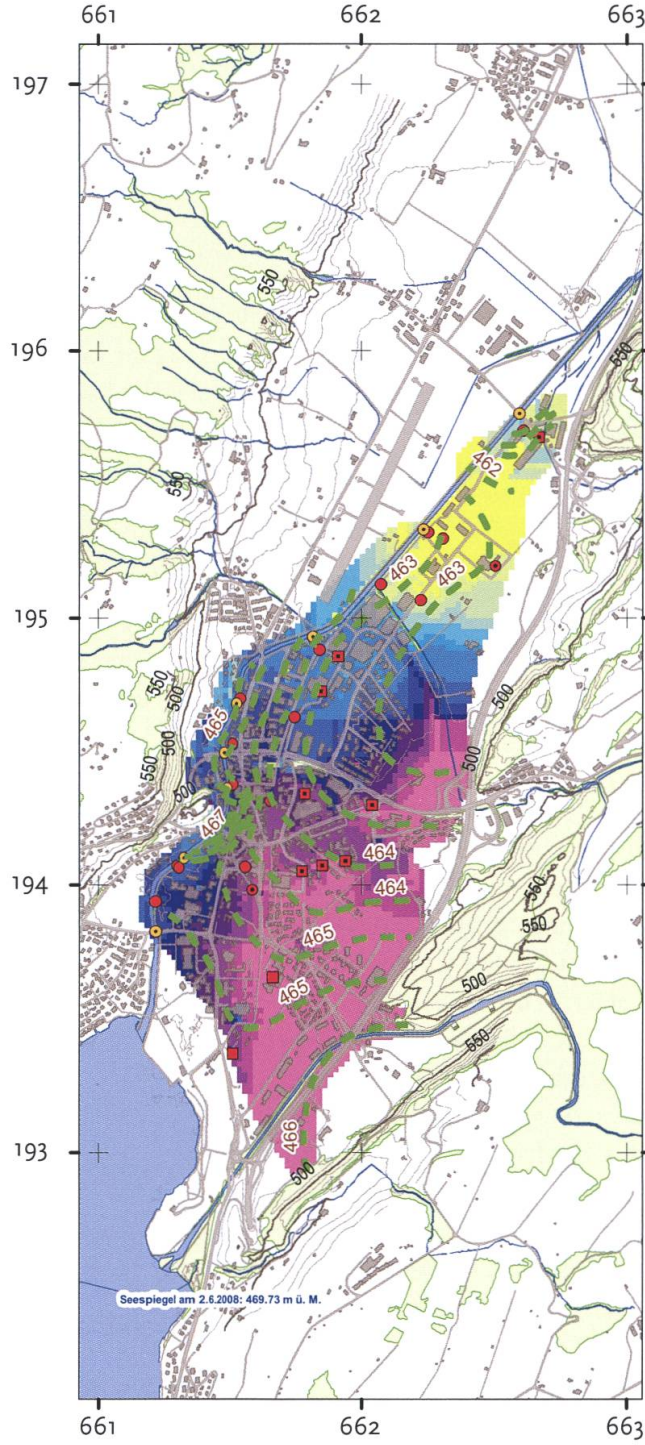


Abb. 4

Mittlerer Grundwasserabstand
(Juni 2008)

Grundwasserhöchststand
(August 2005)



Räumliche und zeitliche Reaktion des Grundwasserleiters

Die Erkenntnisse aus dem Hochwasser vom August 2005 und die Daten der Messkampagnen wurden herangezogen, um die Reaktion des Grundwasserdruckspiegels auf Starkniederschlagsereignisse zu studieren. Es zeigt sich deutlich, dass die Druckspiegel im Norden zuerst ansteigen und der Anstieg dann zeitlich verzögert gegen Süden erfolgt. Dies ist bedingt durch den eingeschränkten Leiterquerschnitt gegen Norden hin, was bei starkem Grundwasserandrang zu einem Rückstau führt.

Grundwassertemperaturen

Laut früheren Studien von Labhart [4] liegen die Temperaturen des künstlich nicht beeinflussten Grundwassers zwischen 9–12 °C. Diese Temperaturen sind durch unsere eigenen Messungen für einen Grossteil der Messstellen im zentralen und östlichen Teil des Grundwassergebietes bestätigt worden. Augenfällig ist jedoch eine gut erkennbare Grundwassertemperaturanomalie im zentralen Dorfbereich bis zum Foribach, wo deutlich erhöhte Temperaturen bis teilweise über 16 °C beobachtet wurden. Eine eindeutige Erklärung dafür existiert nicht. Die Temperaturanomalie könnte aber von warmen Sarner Aa-Infiltrat in der Sommerzeit aus dem Bereich nördlich der Schwanderstrasse stammen.

Zusammenhänge Oberflächengewässer/ Grundwasser

Eine Grundwasserbilanzierung wurde im Rahmen dieser Studie zwar nicht durchgeführt. Dennoch

können grundlegende qualitative Aussagen zu den hydraulischen Zusammenhängen zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser aufgrund der Lage und der Geometrie der Grundwasserspiegel, der Temperaturverteilung und der Resultate der Markierversuche gemacht werden.

Infiltration

Oberflächengewässer tragen neben der Versickerung von Meteorwasser und Zuflüssen aus den Talflanken oft entscheidend zur Grundwasserneubildung bei. Für das Grundwasservorkommen im Sarneraatal kommen drei Gewässer für einen mengenmässig bedeutsamen Infiltrationsbeitrag in Frage: Sarnersee, Melchaa und Sarner Aa.

Aus früheren Arbeiten [4] ist bekannt, dass der **Sarnersee** keine hydraulische Verbindung mit dem Hauptgrundwasserleiter des Sarneraatal aufweist, da dessen Grund bedingt durch sehr schlecht durchlässige Seebodenablagerungen praktisch vollständig kolmatiert («abgedichtet») ist. Diese hydraulische Entkoppelung zeigt sich darin, dass der Grundwasserspiegel in Sarnen bis nahe an den See stets einige Meter tiefer liegt als der Seespiegel. Zwei im Juli 2008 für den Neubau Lido Sarnen abgeteufte Bohrungen bestätigten diesen Befund. Dementsprechend findet bei normalen Bedingungen keine Infiltration von Seewasser in den Hauptgrundwasserleiter statt.

Es ist jedoch möglich, dass der Sarnersee während Hochwasserereignissen wie 2005 zu einer mengenmässig bedeutsamen Grundwasserneubildung beiträgt, indem Seewasser im Bereich der Überflutungsflächen versickert und so das Grund-

wasser speist. Da die gut durchlässigen und somit gut sickertfähigen kiesigen Ablagerungen im südwestlichen Dorfteil (Abb. 2) bereits unter einer geringmächtigen Deckschicht anstehen, dürfte die Sickerleistung in den überschwemmten Gebieten kurzfristig erheblich sein.

Auf die wichtige Rolle der **Melchaa** für die Grundwasserneubildung haben vorangehende Arbeiten [4] wiederholt hingewiesen. Es darf angenommen werden, dass ein Anteil der Grundwassermenge von diesem Fließgewässer stammt. Die Melchaa-Infiltration erfolgt perkolativ, denn der Grundwasserspiegel liegt stets mehrere Meter unterhalb der Flusssohle. Über die Infiltrationsleistung und den effektiven Anteil des Melchaa-Wassers an der Grundwasserneubildung liegen keine Daten vor. Gewisse neue Erkenntnisse werden im Zusammenhang mit dem laufenden Hochwasserschutzprojekt Grosse Melchaa gewonnen werden.

Die Rolle der **Sarner Aa** bezüglich der Grundwasserneubildung war bis anhin nicht ausreichend geklärt, ist aber für das Projekt zur Tieferlegung der Sarner Aa von zentraler Bedeutung. Ältere Untersuchungen gingen noch von einem praktisch vollständig kolmatierten Flussbett aus. Man war der Ansicht, dass das Fehlen von größerem Geschiebe zu einer raschen Abdichtung der Flusssohle durch Feinsedimente führe. Die Studie von Labhart [4] hat allerdings gezeigt, dass sich die beiden untersuchten Oberflächengewässer (Melchaa resp. Sarner Aa) in ihrer chemischen Zusammensetzung, vor allem in ihrem Sulfatgehalt (SO_4^{2-}) signifikant unterscheiden. Ein ähnlicher Unterschied war auch im beprobten Grundwasser

feststellbar. So konnte das beprobte Grundwasser in drei Gruppen (Melchaa-Infiltrat, Sarner Aa-Infiltrat, Mischwasser) eingeteilt werden. Zusätzlich deuteten positive Temperaturanomalien im zentralen Dorfbereich bis Foribach auf eine vorhandene Sarner Aa-Infiltration hin.

Um die Rolle der Sarner Aa bei der Grundwasserneubildung vertieft zu untersuchen, wurde im Rahmen unserer Untersuchungen ein Multi-Tracerversuch durchgeführt, bei welchem zwei verschiedene Farbstoffe (Uranin bei der Mündung Sarnersee und Sulforhodamin-B beim Rathaus Sarnen) in die Sarner Aa eingespeist wurden. Die in die Sarner Aa eingegebenen Farbstoffe konnten zwar schon nach kurzer Zeit in 4 flussnahen Messstellen nachgewiesen (eine davon in schwebendem Grundwasser), in allen anderen Messstellen konnte hingegen während der Beobachtungsdauer von insgesamt 215 Tagen die beiden Farbstoffe nicht nachgewiesen werden, auch wenn diese wenige Meter neben der Sarner Aa lagen. Die Isohypsen der Grundwasserspiegel (Abb. 4) deuten neben den geringen Nachweisen von Farbstoffen auch darauf hin, dass eine perkolative Infiltration der Sarner Aa im Bereich ab Schwanderstrasse und Foribach in den Hauptgrundwasserleiter existiert. Die Isohypsen wurden auf der Basis der Messdaten aus den Bohrungen 2008 im Bereich Landenberg konstruiert (Abb. 4, mittlere Darstellung). Hier sind neben lokal hängenden Grundwässern auch eine deutliche Aufwölbung des Grundwasserspiegels des Hauptleiters im Nahbereich der Sarner Aa zu beobachten, was auf die perkolative Infiltration von Sarner Aa-

Wasser in den Hauptgrundwasserleiter hinweist. Die Aufwölbung des Grundwasserspiegels beträgt teilweise mehr als ein Meter gegenüber den erwarteten Spiegelhöhen ohne Infiltration und führt im Nahbereich der Sarner Aa zu einem erhöhten Grundwasserspiegelgefälle. Eine präzise Aussage über die Infiltrationsmenge und deren Anteil im Vergleich zur Melchaa-Infiltration kann zwar nicht gemacht werden. Aufgrund des Nichtauftretens der Farbstoffe im Hauptgrundwasserleiter in weiter von der Sarner Aa entfernten Messstellen und aufgrund der Temperatur- und Sulfatverteilung im Grundwasserleiter [4], kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der Infiltrationsanteil der Sarner Aa eher gering, aber doch vorhanden ist.

Exfiltration

Aus dem Auskeilen des Grundwasserleiters in Fließrichtung muss geschlossen werden, dass praktisch das gesamte Grundwasser unterhalb der Kernserstrasse in die Sarner Aa, welche ab einem Niveau von ca. 459.5 m ü.M. als Vorfluter wirkt, austritt. Der Grundwasserdurchfluss durch einen repräsentativen Leiterquerschnitt kann gemäss Darcy berechnet werden. Für den Leiterquerschnitt im Bereich südlich des Foribachs können folgende Parameter angenommen werden:

Durchlässigkeit $k = 5 \cdot 10^{-3}$ m/s, Leiterquerschnitt $F = 20'600$ m² und Gefälle $I = 1,4$ ‰ (Februar 2007) resp. $3,5$ ‰ (August 2005). Mit diesen Zahlen lässt sich ein mittlerer Grundwasserdurchfluss von ca. 140 l/s bei tiefen Grundwasserständen

(Februar 2007) resp. 360 l/s bei maximalen Grundwasserständen (August 2005) berechnen.

Es gibt tatsächlich Hinweise darauf, dass zumindest ein Teil des Grundwassers im Gebiet nördlich der Kernserstrasse in die Sarner Aa exfiltriert. So können beispielsweise in den Messstellen im Bereich der Einmündung des Kernmattbachs in die Sarner Aa nur noch geringe Schwankungen des Grundwasserspiegels beobachtet werden. Wahrscheinlich wird in diesem Bereich der Grundwasserpegel schon massgeblich vom Vorflutniveau der nahen Sarner Aa bestimmt.

Aufgrund einer Bohrung der LEAG im Gebiet Kreuzstrasse [6] sowie der im Rahmen eines Zusatzauftrages durchgeführten Widerstandsgeoelektrik kommen wir zur Ansicht, dass ein nicht näher quantifizierbarer Teil des Sarner Grundwassers durch einen Grundwasserleiter, der im Gebiet Kreuzstrasse unter einer fast 20 m mächtigen Schicht aus Verlandungssedimenten liegt, gegen N in die kiesigen Ablagerungen des Schlierenschuttfächers übertritt. Diese Ablagerungen sind in den geoelektrischen Profilen (Profilsuren linksufrig Sarner Aa bei Kägiswil, Abb. 1) gut zu erkennen und scheinen mit den Melchaa-Schottern in hydraulischer Verbindung zu stehen.

Folgerungen

Allgemeines

Die in diesem Bericht vorgestellten Grundwasseruntersuchungen erfolgten im Hinblick auf die wasserbaulichen Massnahmen entlang der Sarner Aa

über einen Zeitraum von 1,5 Jahren. Aufgrund der verhältnismässig kurzen Beobachtungszeit sowie des auf den Sarner Dorfteil und das Industriegebiet von Sarnen fokussierten Untersuchungsperimeters kann kein Anspruch auf eine vollständige und universelle Betrachtung der regionalen Grundwasserverhältnisse in der Sarner Talebene erhoben werden. So sind beispielsweise bis heute die exakte Begrenzung des Grundwassergebiets sowie die allfälligen Interaktionen mit anderen Grundwasserleitern nicht genau bekannt. Auf eine Grundwasserbilanzierung wurde wegen zu vielen Unbekannten vorerst verzichtet. Für eine umfassende Betrachtung der lokalen Grundwasserverhältnisse wären längere Messreihen sowie zusätzliche Messstellen nötig.

Auswirkungen der aktuellen Grundwasserverhältnisse auf bestehende und neue Bauwerke

Das Rekordhochwasser vom August 2005 führte die herrschende Grundwasserproblematik in Sarnen eindrücklich vor Augen. Praktisch im gesamten über dem Grundwasserleiter liegenden Baugebiet von Sarnen wurden neben erheblichen Schäden durch die über die Ufer tretenden Oberflächengewässer auch schwere Schäden durch Grundwasseraufstösse gemeldet. Die Rekonstruktion der Grundwasserstände vom August 2005 belegt, dass in Sarnen der Grundwasserspiegel als Folge extremer Abflussspitzen von Melchaa und Sarner Aa sowie vermutlich erheblicher Grundwasserzuflüsse von den Talflanken und allenfalls durch versickerndes Überschwemmungs-

wasser innerhalb sehr kurzer Zeit bis in die Nähe der Terrainoberfläche oder sogar darüber ansteigen kann.

Mit der in Abbildung 4 dargestellten Flurabstandskarte vom August 2005 ist für die Zukunft eine Grundlage bezüglich den zu erwartenden minimalen Flurabständen vorhanden. Sie sollte bei der Projektierung neuer Bauwerke mit Unterkellerung als Planungsgrundlage verwendet werden. Aufgrund des flächenhaften Auftretens von maximalen Grundwasserständen knapp unter der Terrainoberfläche im gesamten zentralen Dorfbereich empfehlen wir die Untergeschosse zukünftiger Bauwerke in dichter Bauweise zu erstellen und allfällig auftretende Auftriebsprobleme bei der Dimensionierung zu berücksichtigen.

Auswirkungen von Sohlenabsenkungen und Gerinneverbreiterungen der Sarner Aa auf die lokalen Grundwasserverhältnisse

Erhöhte Sarner Aa-Infiltration ab Sarnersee bis Foribach

Die Beobachtungen deuten auf eine bestehende perkolative Infiltration ab etwa Dorfmitte bis zum Foribach hin. Diese erfolgt mehrheitlich rechtsufzig (Isohypsenform, Temperaturanomalie).

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass bauliche Veränderungen des Flusslaufes zumindest temporär, womöglich aber auch permanent, zu einer spürbaren Durchlässigkeitserhöhung der Flusssohle führen, da eine allfällig vorhandene Kolmation entfernt wird. Durch die Bauarbeiten ist daher lokal mit einer erhöhten Sarner Aa-Infil-

tration und dementsprechend höheren Grundwasserständen im Dorfgebiet zu rechnen. Die temporäre Erhöhung stellt bei Basisabflusswerten der Sarner Aa aber kein gravierendes Problem dar. Ohne flankierende Abdichtungsmassnahmen für den Endzustand bewirkt die Gerinneabsenkung bei Hochwasserabfluss aufgrund der grösseren Druckhöhe über der Sohle und der bei vollem Gerinne grösseren Sickerfläche eine Zunahme der Infiltrationsleistung und damit einen gewissen Anstieg des Grundwasserspiegels bei Hochwasser. Für das ausgearbeitete Tieferlegungs-Projekt der Sarner Aa wurden diese Umstände berücksichtigt. Das Projekt sieht während dem Bau vor, die Sarner Aa in einem dichten Kanal zu führen und das abgeteufte Flussbett für den Endzustand abzudichten.

Setzungen durch Absenkungen des Grundwasserspiegels nördlich des Foribachs

Das geoelektrische Profil entlang der Sarner Aa liefert zusammen mit durchgeführten Rammsondierungen ein detailliertes und kontinuierliches Bild der im Untergrund der Sarner Aa herrschenden geologischen Verhältnisse. Gemäss den vorliegenden Untersuchungen sind die geplanten Sohlenabtiefungen in Bereichen mit kiesigem und somit gut durchlässigem Untergrund, welcher nur in geringem Ausmass setzungsempfindlich ist.

Schäden an Holzpfahlssystemen infolge einer Grundwasserspiegel-Absenkung

Eine Bestandesaufnahme der bestehenden Gebäudefundationen hat ergeben, dass nur ein ein-

ziges Objekt in Kägiswil mit einem Holzpfahlssystem mit Betonaufsatz fundiert ist. Dieses liegt in einer Entfernung von 100 m zur Sarner Aa, was eine Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit eher unwahrscheinlich erscheinen lässt.

Ausblick

Es ist zur Zeit noch ungewiss, welche Hochwasserschutzmassnahme ausgeführt wird. Zur Diskussion stehen zwei Tunnelvarianten und die Tieferlegungsvariante.

Im Bauzustand werden nach heutigem Kenntnisstand die Grundwasserverhältnisse nur bei der Variante Tieferlegung beeinflusst.

Das gleiche gilt für den Endzustand. Mit der vorgesehenen Abdichtung der Flusssohle wird die perkolative Infiltration der Sarner Aa jedoch unterbunden und es ist mit einer leichten Absenkung der Grundwasserspiegel zu rechnen (weniger Infiltration).

Für Extremzustände ist der Einfluss aller Varianten auf die Grundwasserspiegel vermutlich aber nur gering (Aufstau von Norden gegen Süden). Mit allen Hochwasserschutzvarianten wird zwar das Überflutungsgebiet reduziert, so dass hier für die Extremzustände mit etwas geringerer oder verzögerter Infiltration zu rechnen ist. Es muss aber bei vergleichbaren Witterungsverhältnissen wie 2005 weiterhin mit ähnlich hohen Grundwasserständen gerechnet werden, da die direkte Versickerung von Meteorwasser auf dem Talboden und die Infiltration über Bäche und Seitenhänge nicht verändert wird.

Literatur

- [1] **KANTON OBWALDEN**, Unwetter 22./23. August 2005, Ereignisdokumentation; Berwert-Lopes, 16. Januar 2006.
- [2] **KANTON OBWALDEN, AMT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT**, Gewässerschutzkarte des Kantons Obwalden; GEOTEST AG, September 2006.
- [3] **KANTON OBWALDEN**, Hochwassersicherheit Sarneraatal, Hydrologische Grundlagen für den Hochwasserschutz am Sarnersee und an der Sarneraa; Scherrer AG, Juli 2006.
- [4] **LABHART, W.**, 1988; Beispiel einer thermischen und chemischen Beeinflussung des Grundwassers durch Einleitung von erwärmten Wasser (Sarnen/Kanton Obwalden); Dissertation ETH Zürich.
- [5] **BUNDESAMT FÜR UMWELT BAFU**; Hydrologische Daten Sarnersee und Sarneraa; <http://www.hydrodaten.admin.ch/d/index.htm>.
- [6] **PRAKLA-SEISMOS GMBH**, 1977; Messauftrag Nr. 771'304 der Luzerner Erdöl AG, LEAG 1977 Subalpine Molasse, Profile LU18, LU21; Hannover, 1978.
- [7] **BAUDEPARTEMENT OBWALDEN**, Nationalstrasse N8; Flurgenossenschaft Kernmatt, Drainagen (Plan 1:1'000); Nationalstrassenbüro, Juni 1982.
- [8] **BUNDESAMT FÜR LANDESTOPOGRAPHIE**, Wasserversorgungsatlas 1:25'000, Blätter 1170 und 1190; Ausgabe 1985.
- [9] **KANTONALES OBERFORSTAMT OBWALDEN**, Geologische Karte des Kantons Obwalden, 1:50'000, 1980.
- [10] **KANTON OBWALDEN**, Hochwassersicherheit Sarneraatal, Untersuchung der aktuellen Grundwasserverhältnisse zwischen Sarnersee und

Wichelsee (Schlussbericht); GEOTEST-Bericht Lo6192.4, August 2008.

- [11] **KANTON OBWALDEN**, Hochwasserschutz Sarneraatal, Geologisch-geotechnische Abklärungen sowie Felsverlauf entlang der Sarneraa im Gebiet Landenberg; GEOTEST-Bericht Lo8013.1, 1. Juli 2008.

Adresse der Autoren

Markus Liniger
Dr. sc. nat. Geologe
GEOTEST AG
Untere Feldstrasse 19
6055 Alpnach

Felix Bussmann
dipl. geol. ETH
GEOTEST AG
Grisigenstrasse 6
6048 Horw