

Geologisch-Paläontologisches
Institut der Universität Basel
Abteilung Angewandte
und Umweltgeologie

Bernoullistrasse 32
CH-4056 Basel

Telefon 061 267 34 45
Fax 061 267 29 98

www.unibas.ch/earth/pract

Vorgezogene Massnahmen Voruntersuchung Deponien Maienbühl und Mönden

Einzugsgebietshydrologie

Untersuchungsphase III



Inhaltsverzeichnis

1	Auftrag und Ziel	4
2	Einzugsgebietshydrologie	6
2.1	Messstellennetz	6
2.2	Auswertung	7
2.2.1	Wasserhaushalt	7
2.2.2	Einzugsgebietsabgrenzung	12
2.2.3	Isotopenhydrologie	14
2.2.4	Silikat	17
2.3	Zusammenfassung der Resultate	20
3	Standortvorschläge für Grundwassermessstellen im Kluftgrundwasserleiter des Buntsandsteins	22
4	Schlussfolgerungen und weiteres Vorgehen	23
	Literatur	25

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Vorgehensweise Voruntersuchungen	5
Abb. 2:	Messstellennetz	6
Abb. 3:	Messungen Hintere Auquelle	8
Abb. 4:	Konzentrationen Einzelsubstanzen und Abfluss der Hinteren Auquelle	8
Abb. 5:	Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Hinteren Auquelle	11
Abb. 6:	ober- und unterirdische Einzugsgebiete	13
Abb. 7:	unterirdisches Einzugsgebiet	14
Abb. 8:	Ergebnisse der ^{18}O –Analysen	15
Abb. 9:	lokale Meteoric-Water-Line	17
Abb. 10:	Ergebnisse der Silikat-Analysen	18
Abb. 11:	Kreuzkorrelation Silikat und Leitfähigkeit	20
Abb. 12:	Vorschläge für Sondierstandorte und permanente Grundwassermessstellen	22

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Messparameter	7
Tab. 2:	Analyseresultate ^{18}O , ^2H , LF und Si	16
Tab. 3:	Mischungsrechnungen	19

Fotos

Titelfoto:	Hintere Auquelle	
Foto 2:	Dreiecksüberfallwehr	7
Foto 3:	Niederschlags-Totalisator	7

1 Auftrag und Ziel

Im Rahmen der Altlastenverordnung soll der Abstrom der Deponien Maienbühl und Münden bewertet werden. Eine Überprüfung des schon bestehenden Messstellennetzes hat ergeben, dass dieses den Anforderungen nur teilweise entspricht und auf deutscher Seite Probeentnahmestellen vollständig fehlen. Bei der üblichen Vorgehensweise werden Sondierbohrungen zum Auffinden geeigneter Standorte für permanente Grundwassermessstellen abgeteuft. In Gebieten mit Kluftwasserzirkulation und unbekannter Wasserwegsamkeit ist dieses Vorgehen allein nur wenig erfolgsversprechend, und die Kosten sind entsprechend schwierig abzuschätzen.

Das Ziel, die Grundwasserqualität im Abstrom der Deponien Maienbühl und Münden zu beurteilen, erfordert Kenntnisse der Hydrologie und Hydrogeologie, um die Wasserwegsamkeit in verschiedenen Tiefen (Bodenzone, Lockergesteine, Poren- und Kluftwasserzirkulation im Fels) im Abstrom der Deponien zu beurteilen.

Die Komplexität des geologischen Aufbaus, welche die Wasserwegsamkeit im Zu- und Abstrom der Deponien beeinflusst, ist weitgehend unbekannt. Ein digitales geologisches 3D Modell der Struktur des Buntsandsteins zeigt, dass ein unterirdischer Abfluss als Kluftwasser über das Aotal in Richtung der Langen Erlen stattfindet [1]. Es ist anzunehmen, dass der Abstrom der Deponien wenigstens teilweise durch die Deponiebasis in das Kluftsystem des Buntsandsteins erfolgt. Über mögliche oberflächennahe Fließpfade existieren nur punktuelle Informationen.

Die Idee, welche den Voruntersuchungen „Hydrologie-Hydrogeologie Maienbühl“ zu Grunde lag ist, aus einer Kombination von nicht-invasiven, geoelektrischen Messungen, einer Oberflächenmodellierung der Hydrologie (Untersuchungsphase I, [2]) und geophysikalisch- hydrologischen Rammsondierungen („Direct Push“ - Methode, Untersuchungsphase II, [3]), oberflächennahe präferentielle Fließwege zu erkunden. Mit der „Direct Push“ - Methode wurden temporäre Messtellen im untiefen Untergrund eingerichtet, welche es erlauben, in Abhängigkeit der hydrologischen Randbedingungen Grundwasserproben zu entnehmen.

Der vorliegende Bericht fasst die seit dem 26.11.2003 stattgefundenen Untersuchungen zur Einzugsgebietshydrologie der Hinteren Auquelle zusammen (Untersuchungsphase III). Die durchgeführten Untersuchungen zur Einzugsgebietshydrologie umfassen hydrometrische Aufnahmen des Niederschlags und der Auquelle, Berechnungen der Verdunstung und Grundwasserneubildung und daraus abgeleitete Wasserbilanzen. Weiterhin wurde das ober- und unterirdische Einzugsgebiet abgeschätzt, sowie Isotopen- und Silikatmessungen ausgewertet.

Die Resultate der Untersuchungsphasen I – III liefern Grundlagen für die technische Untersuchung der Deponien Maienbühl und Münden im Rahmen der Vorgaben der Altlasten-verordnung.

Zur Vervollständigung des Messtellennetzes werden Sondierstandorte für permanente Grundwassermessstellen vorgeschlagen. Diese sollen sowohl oberflächennahe Fließpfade als auch Kluftwässer im Buntsandstein erschliessen. Die aus den Voruntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse zum Gesamtsystem können bei der Planung von zukünftigen Markierversuchen sowie Analytikprogrammen zur Grundwasserbeprobung herangezogen werden.

Die verschiedenen Voruntersuchungen sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

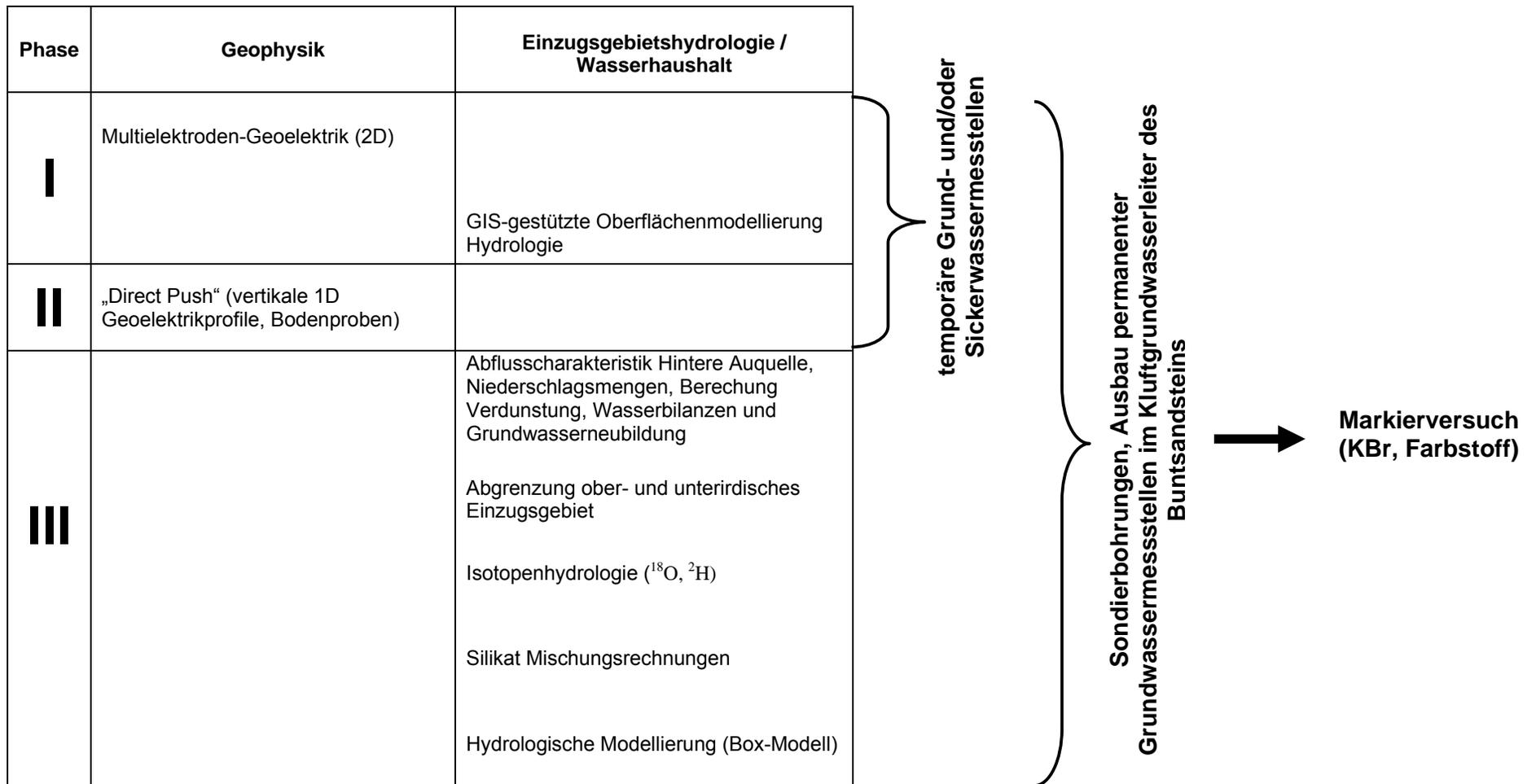


Abb. 1: Vorgehensweise Voruntersuchungen

2 Einzugsgebietshydrologie

2.1 Messstellennetz

Abbildung 2 gibt einen Überblick über das gesamte Messstellennetz. Tabelle 1 fasst die erhobenen Parameter an den verschiedenen Messtellen zusammen.

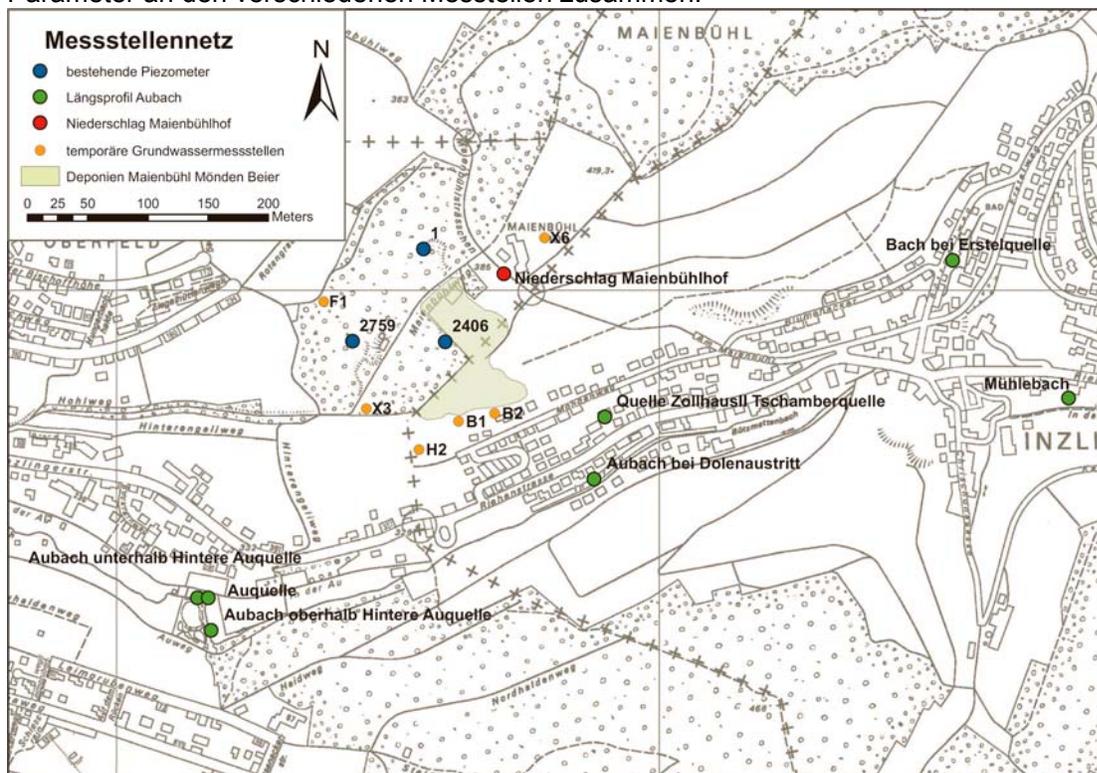


Abb. 2: Messstellennetz

In der Hinteren Auquelle werden seit dem 26.11.2003 der Abfluss, die Leitfähigkeit und die Temperatur kontinuierlich aufgezeichnet. Der Abfluss der Auquelle wurde durch ein in der Brunnenstube installiertes Überfallwehr und eine Drucksonde bestimmt (Foto 2). Die Pegel-Abfluss-Beziehung wurde zweiwöchentlich volumetrisch mittels Eimermessungen geeicht. Für die Probenahme von Niederschlagswasser wurde für den Zeitraum vom 13.07.2004 bis zum 12.07.2005 ein Niederschlags-Totalisator am Maierbühlhof eingerichtet und zweiwöchentlich beprobt (Foto 3). Neben der Probengewinnung wurde auch die im jeweiligen Zeitraum gefallene Niederschlagsmenge erfasst.

Die Probenahmen in den Piezometern 2406, 2759 und im Sickerschacht S1 wurde als Schöpfprobe durchgeführt. Vor den Probenahmen wurde der Pegel der Messstellen durch das Abschöpfen von ca. 70 l Wasser abgesenkt. Die anschließende Beprobung wurde erst durchgeführt, nachdem der Pegel wieder annähernd das ungestörte Niveau erreicht hatte. Dadurch ist gewährleistet, dass in der Messstelle ein Grundwasseraustausch stattfindet, und das entnommene Wasser repräsentativ für das lokale Grundwasser ist.

Die Analyseresultate von Grundwasserproben aus dem Sickerschacht S1 werden gänzlich verworfen, da über den Beobachtungszeitraum kein nennenswerter Grundwasseraustausch stattgefunden hat (stagnierendes Sickerwasser).

Parallel wurden die durch die „Direct Push“ - Methode eingerichteten sechs temporären Grundwassermessstellen im Rahmen von zwei Messrunden beprobt (19.05.2005 und 21.09.2005). Eine Entsandung der Messstellen hat vor den eigentlichen Probenahmen stattgefunden. Am 27.10.2004 und 10.02.2005 wurden bei unterschiedlichen hydrologischen Randbedingungen

Wasserproben in einem Längsprofil aus dem Aubach entnommen. Analyseergebnisse zu diesen Untersuchungen sind den entsprechenden Berichten des AUE zu entnehmen.

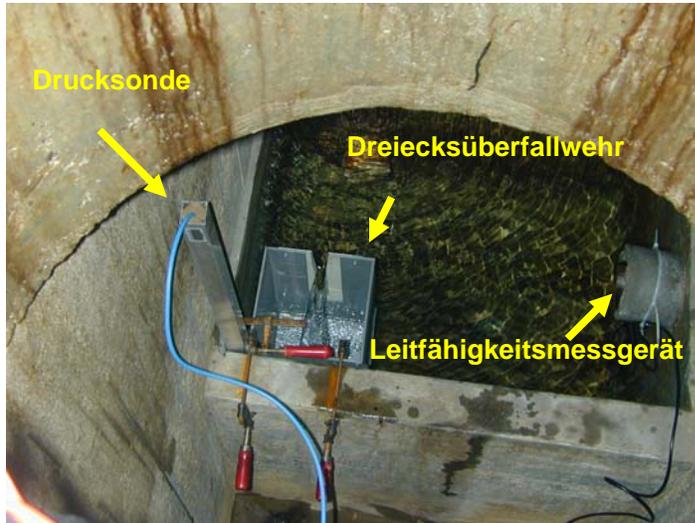


Foto 2: Dreiecksüberfallwehr

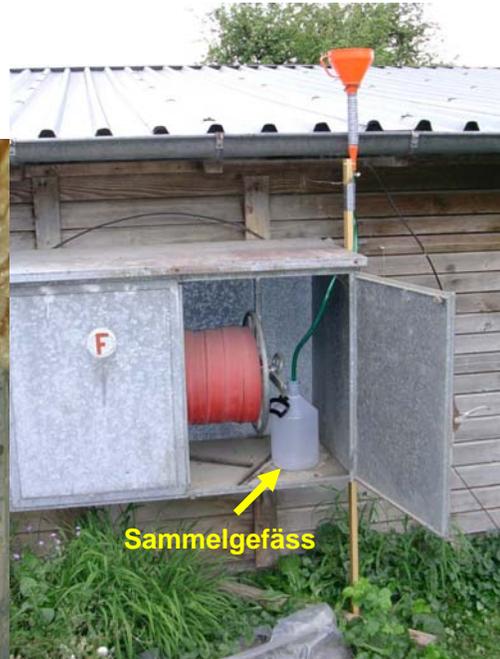


Foto 3: Niederschlags-Totalisator

Tab. 1: Messparameter

	Menge	18O, 2H	Si	LF	T
Niederschlag	X	X	-	X	X
Auquelle (kontinuierlich = k)	X (k)	X	X	X (k)	X (k)
Aubach	-	X	X	X	X
2406 (Pegelmessung = P)	X	X	X	X	X
2759 (Pegelmessung = P)	X	X	X	X	X
S1 (Pegelmessung = P)	X	X	X	X	X

2.2 Auswertung

2.2.1 Wasserhaushalt

Zur Ermittlung des Wasserhaushalts im Untersuchungsgebiet der Hintere Auquelle wurden die Schüttung der Auquelle und die Niederschlagsmenge gemessen. Die kontinuierliche Aufzeichnung der Quellschüttung sowie des Leitfähigkeits- und Temperaturverlaufs ermöglichen eine Beschreibung der Abflusscharakteristik der Hintere Auquelle.

Anhand der Niederschlagsdaten zusammen mit meteorologischen Daten aus den Langen Erlen kann die potentielle Evapotranspiration berechnet und die Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet abgeschätzt werden. Aus der resultierenden Wasserbilanz wird die Mindestgrösse des Einzugsgebiets abgeleitet.

Hintere Auquelle

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Abflussmessungen in der Auquelle zusammen mit den Temperatur und Leitfähigkeitsmessungen.

Der Pegelverlauf zeigt, dass die Abflussmenge vom November 2003 bis Anfang November 2004 zwischen ca. 35 und 45 l/min liegt, mit einem Maximum im Frühling. Ab November 2004 steigt der

Abfluss bis Anfang Juni auf bis zu 60 l/min an. Der Temperaturverlauf zeigt einen ausgeprägten Jahresgang. Leitfähigkeiten liegen zwischen 875 und 925 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ausreisser liegen grundsätzlich unterhalb des langzeitigen Trends und markieren einzelne Ereignisse, welche zeitlich mit den Abflussspitzen übereinstimmen.

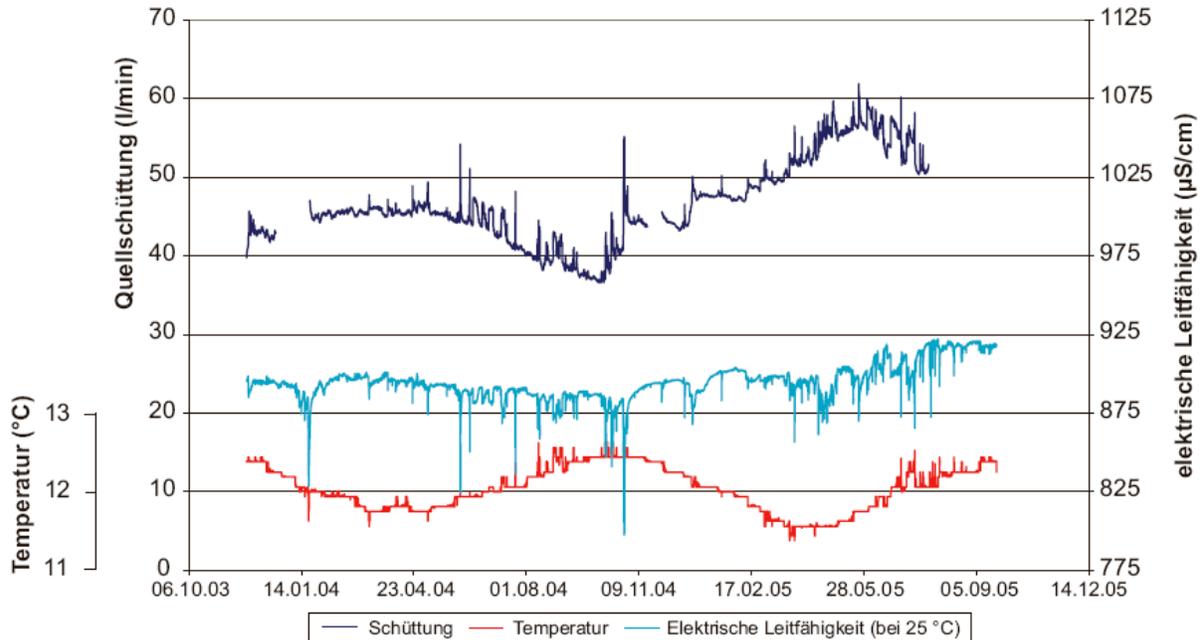


Abb. 3: Messungen Hintere Auquelle

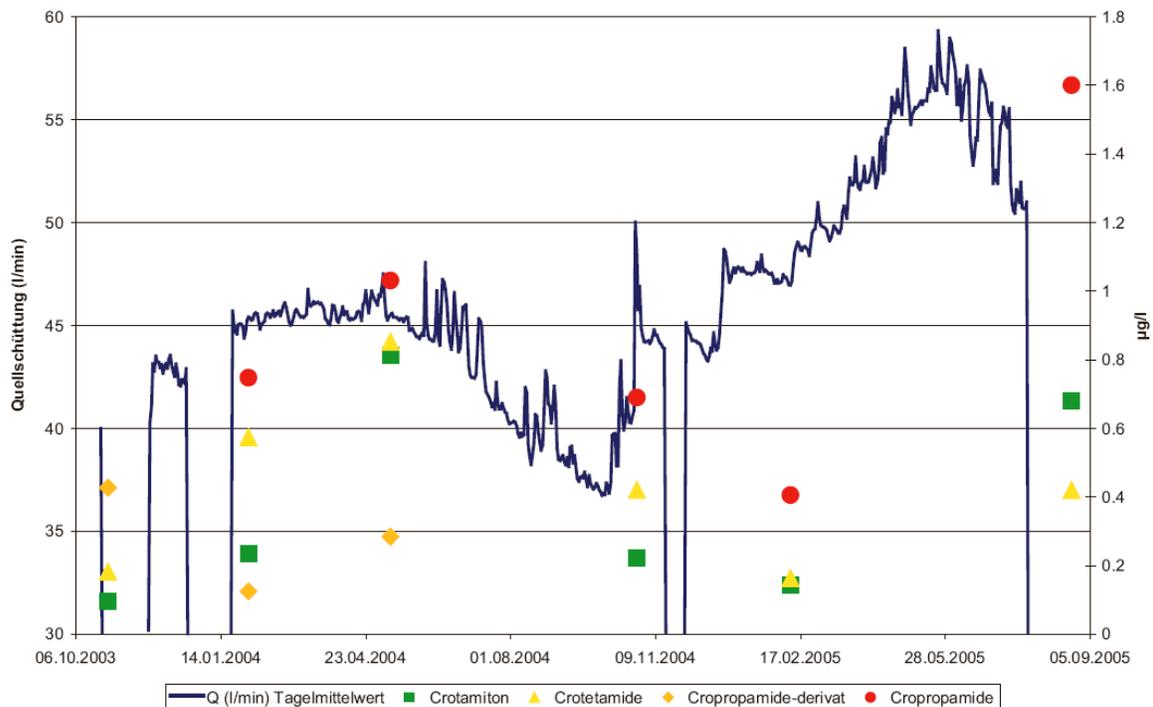


Abb. 4: Konzentrationen Einzelsubstanzen und Abfluss der Hinteren Auquelle

Seit dem Bestehen der Abflussmessungen in der Hinteren Auquelle wurden durch das AUE insgesamt sechs Stichtagsmessungen durchgeführt. Dabei wurden die entnommenen Grundwasserproben unter anderen auf die relevanten pharmazeutischen Substanzen untersucht. Abbildung 4 zeigt, dass ausgenommen von der Stichtagsbeprobung vom 10.02.2005, höhere Konzentrationen gut mit der Höhe des Abflusses korrelieren.

Dies deutet darauf hin, dass neben einer Grundbelastung während durchschnittlicher hydrologischer Randbedingungen bei erhöhten Abflüssen der Austrag der pharmazeutischen Substanzen zunimmt.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Konzentrationen dieser Substanzen nicht mittels kalibrierter Einzelstoffanalytik bestimmt wurden, d.h. dass die Messunsicherheit bis zu 50 % betragen kann.

Berechnung der aktuellen Verdunstung und Grundwasserneubildung

Die maximale Verdunstung einer natürlich bewachsenen Fläche entspricht der potentiellen Evapotranspiration (ETp). Sie kann nach verschiedenen Methoden aus Klimadaten berechnet werden. Für die vorliegende Untersuchung wurde der Ansatz nach Penmann, vereinfacht nach Wendling gewählt [5]:

$$ETp = g(T) \cdot \frac{t}{L^*} \cdot (0.6 \cdot R_G + 37.6 \cdot (1 + 1.08 \cdot v_2) \cdot (1 - \frac{U}{100}))$$

mit	t	Zeitschritt in s bei der Erfassung der Messwerte
	R_G	Globalstrahlung in W/m^2
	L^*	spezifische Verdunstungswärme in Ws/kg
	$g(T)$	Temperaturfunktion
	v_2	Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe in m/s
	U	relative Luftfeuchte in %

Im Gegensatz zu einfacheren, empirischen Methoden ist dieser Ansatz physikalisch begründet und hat nur geringe regional bedingte Fehler. Er ist nicht nur zur Berechnung von Monatswerten, sondern auch für kürzere Zeiträume anwendbar. Die potentielle Evapotranspiration setzt unbegrenzte Verfügbarkeit von Wasser voraus. Dies ist in trockenen Perioden jedoch nicht der Fall. Die tatsächliche (= aktuelle) Evapotranspiration ist dann geringer als die potentielle. Zur Berechnung der aktuellen Evapotranspiration wurden folgende Annahmen gemacht:

In Perioden, in denen die Niederschlagsmenge (N) grösser ist als die potentielle Evapotranspiration (ETp), steht genügend Wasser zum Verdunsten zur Verfügung. Die aktuelle Evapotranspiration (ETa) wird deshalb der potentiellen gleichgesetzt. Die Grundwasserneubildung (GWN) ergibt sich aus der Niederschlagsmenge abzüglich der potentielle Evapotranspiration.

$$N > ETp \rightarrow ETa = ETp \text{ und } GWN = N - ETa = N - ETp$$

In Perioden, in denen die Niederschlagsmenge geringer ist als die potentielle Evapotranspiration, wird der gesamte Niederschlag verdunstet. Die aktuelle Evapotranspiration entspricht der Niederschlagsmenge, es findet keine Grundwasserneubildung statt.

$$N < ETp \rightarrow ETa = N \text{ und } GWN = 0$$

Die benötigten Klimadaten zur Berechnung der potentielle Evapotranspiration wurden vom Institut für Meteorologie und Fernerkundung der Universität Basel zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um 10-minütige Aufzeichnungen der Meteostation in den Langen Erlen. Der Niederschlag wurde mittels eines Niederschlagstotalisators 14-tägig am Hof Maienbühl gemessen (siehe Kap. 2.1). Die aktuelle Evapotranspirationshöhe beträgt entsprechend des gewählten Ansatzes für den untersuchten Zeitraum vom 13. 07. 2004 bis zum 12. 07. 2005:

$$ETa = 557 \text{ mm}$$

Um den gewählten Ansatz auf Plausibilität zu testen, wird die berechnete aktuelle Evapotranspiration mit Ergebnissen aus alternativen Berechnungsmethoden verglichen. Aus dem Hydrologischer Atlas der Schweiz [4] ist zu entnehmen, dass die aktuelle Evapotranspiration 1973-

1992 für den Bereich des Maienbühls zwischen 650-700 mm liegt. Dieses mehrjährige Mittel trägt jedoch nicht der besonderen Situation in einem bestimmten Jahr Rechnung. Weiterhin lässt sich die mittlere jährliche aktuelle Evapotranspiration mit empirischen Überschlagsformeln abschätzen.

Für Mitteleuropa gilt nach DVWK [5]:

$$V_r = -5 + 1.2 \cdot N - 0.0006 \cdot N^2$$

Für das mitteleuropäische Flachland und Mittelgebirge gilt nach Wundt [6]:

$$V_r = 175 + 0.15 \cdot N + 25 \cdot T$$

Dabei wird gewöhnlich für N der mittlere Jahresniederschlag und für T die mittlere Jahrestemperatur herangezogen. Um eine Abschätzung für die spezielle Situation des untersuchten Jahres zu erhalten, wurden anstatt der mittleren Jahreswerte die im Untersuchungszeitraum gemessenen Werte herangezogen. Dies ergab:

$$\text{DVWK } ET_a = 595 \text{ mm}$$

$$\text{Wundt } ET_a = 572 \text{ mm}$$

Diese Werte weichen nur wenig vom Wert der zuvor berechneten aktuellen Evapotranspirationshöhe ab. Abbildung 5 zeigt die so berechnete Grundwasserneubildung zusammen mit noch nicht veröffentlichten Daten zur Grundwasserneubildung aus dem Interreg III-Projekt MoNit [7]. Die Ergebnisse der Interpolation verdeutlichen die innerjährliche und saisonale Variabilität der Grundwasserneubildung einzelner Monate im betrachteten Zeitraum von 1985 bis 2002.

Die geschätzten Werte der Grundwasserneubildung aus Niederschlagsdaten vom Maienbühlhof und der potentielle Evapotranspiration der Meteostation Lange Erlen liegen meist im Bereich der interpolierten Werte aus dem Interreg III - Projekt MoNit. Tendenziell sind die geschätzten Werte geringer. Die durchgeführten Untersuchungen liegen demnach in einer Periode mit vergleichsweise geringer Grundwasserneubildung. Da der Austrag von Schadstoffen aus den Deponien mit den hydrologischen Randbedingungen verknüpft sein kann, sollten hinsichtlich einer Gefährdungsabschätzung, insbesondere auch Perioden mit höherer Grundwasserneubildung berücksichtigt werden.

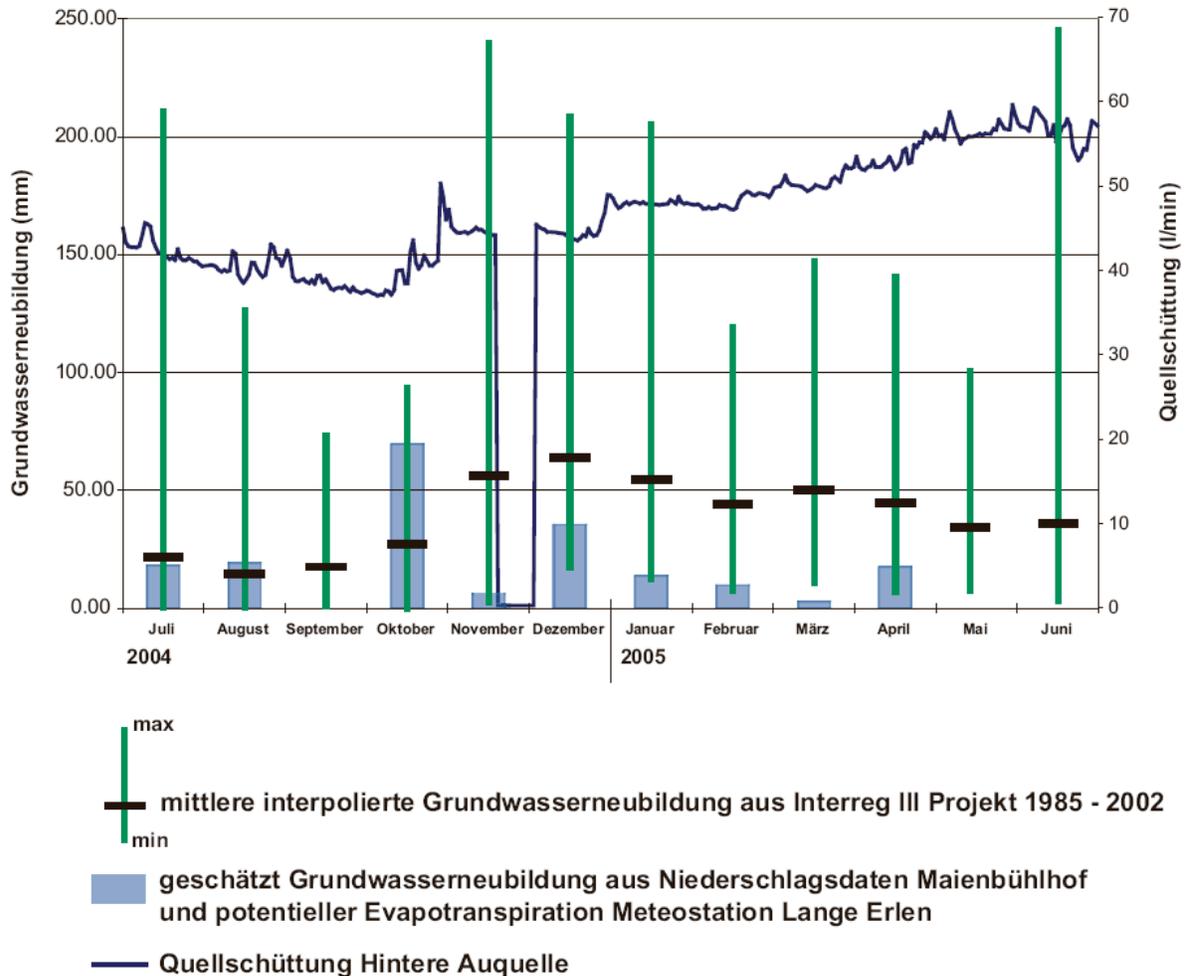


Abb. 5: Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Hinteren Auquelle

Wasserbilanz

Über die Bilanzierung des Wasserhaushalts kann die Grösse des Einzugsgebiets abgeschätzt werden. Es gilt:

$$A = (N - ET_p) \pm \Delta S$$

- A Abfluss der Quelle
- N Niederschlag
- ET_p potentielle Evapotranspiration
- ΔS Änderung Speicher

Die Fläche des Einzugsgebiets ergibt sich dann aus:

$$(N - ET_p) = (n - et_p) \times F$$

- n Niederschlagshöhe
- et_p potentielle Evapotranspirationshöhe
- F Fläche Einzugsgebiet

Die Berechnung der Wasserbilanz wird in der Regel auf das hydrologische Jahr bezogen (in der Schweiz vom 1. Oktober bis 31. September des darauf folgenden Jahres). Die Bilanzierung des Wasserhaushalts im Einzugsgebiet der Hinteren Auquelle erfolgt für den Zeitraum vom 13.07.2004 bis zum 12.07.2005, da für diesen Zeitraum Niederschlagsdaten am Maienbühlhof erhoben wurden.

Folgende Glieder aus der Wasserbilanz wurden für diesen Zeitraum aufsummiert:

$$A = 24762.6 \text{ m}^3$$

$$n = 981.5 \text{ mm} = 0.9815 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Die Verdunstung ist der unsicherste Faktor der Wasserbilanz. Hier wurde der oben beschriebene Ansatz gewählt.

$$ETa = 556.5 \text{ mm} = 0.5565 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Bei der Bilanzierung des Wasserhaushalts wird angenommen, dass sich die gespeicherte Wassermenge über längere Perioden nicht ändert:

$$\Delta S = 0$$

Aus diesen Messwerten und Annahmen ergibt sich rechnerisch als Abschätzung der Einzugsgebietsgrösse:

$$F = (A \pm \Delta S) / (n - et_p) = (24762.6 \text{ m}^3 \pm 0) / (0.9815 \text{ m}^3/\text{m}^2 - 0.5565 \text{ m}^3/\text{m}^2) = 58\,265 \text{ m}^2$$

$$= 5.8 \text{ ha}$$

Andere Berechnungsmethoden zur Abschätzung der Verdunstung ergaben aktuelle Evapotranspirationshöhen von $ETp = 0.675 \text{ m}^3/\text{m}^2$, $ETp = 0.595 \text{ m}^3/\text{m}^2$ und $ETp = 0.572 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Hieraus resultieren Einzugsgebietsgrössen von:

Hydrologischer Atlas der Schweiz	→	$F = 8.1 \text{ ha}$
DVWK	→	$F = 6.4 \text{ ha}$
Wundt	→	$F = 6.0 \text{ ha}$

Die minimale Grösse des Einzugsgebiets liegt also bei ca. 6 ha.

Zu Beginn des Bilanzierungszeitraums ist die gemessenen Quellschüttung geringer (42 l/min) als am Ende (49 l/min). Dies ist ein Hinweis darauf, dass während des Untersuchungszeitraums die gespeicherte Wassermenge zunahm und $\Delta S > 0$ ist. Somit wird das Einzugsgebiet als zu klein berechnet. Die berechnete Grösse ist als Minimalgrösse anzusehen.

2.2.2 Einzugsgebietsabgrenzung

In Gebieten mit Kluftgrundwasserzirkulation können sich die Grenzen von oberirdischem und unterirdischem Einzugsgebiet stark unterscheiden. Das oberirdische Einzugsgebiet kann aus der Oberflächentopographie abgeleitet werden. Eine Abgrenzung des unterirdischen Einzugsgebiets basiert auf strukturellen Überlegungen und Grundwasserpegelmessungen.

Oberirdisches Einzugsgebiet

Das oberirdische Einzugsgebiet der Hinteren Auquelle wurde mittels hydrologischer Oberflächenmodellierung bestimmt [2]. Durch folgende Überlegungen wurde das oberirdische Einzugsgebiet weiter eingegrenzt (Abb. 6):

Reduktion auf das Einzugsgebiet rechtsseitig des Aubachs	→	$> 110,6 \text{ ha}$
Subtraktion des oberirdischen Einzugsgebiets des Erstelbachs	→	$ca. 47 \text{ ha}$
Subtraktion weiterer oberirdischer Teileinzugsgebiete Richtung Auquelle	→	$ca. 21,4 \text{ ha}$

Diese Überlegungen führen zu einem potentiellen oberirdischen Einzugsgebiet mit einer Fläche von ca. 21,4 ha mit einer generellen Entwässerung Richtung Autorial. Die tatsächliche Grösse des oberirdischen Einzugsgebiets liegt zwischen dem aus der Wasserbilanz berechneten minimalen

Einzugsgebiet mit einer Fläche von ca. 6 ha (siehe Kap. 2.2.1) und dem potentiell oberirdischem Einzugsgebiet.

Ein weiteres oberirdisches Einzugsgebiet mit ca. 58,9 ha entwässert Richtung Oberfeld. Die oberirdische Wasserscheide der Einzugsgebiete verläuft entlang des Hohlwegs und teilweise entlang der Grenze. Die Deponie Münden liegt im oberirdischem Einzugsgebiet welches Richtung Aulental entwässert, die Deponie Maienbühl im jenem welches Richtung Oberfeld entwässert.

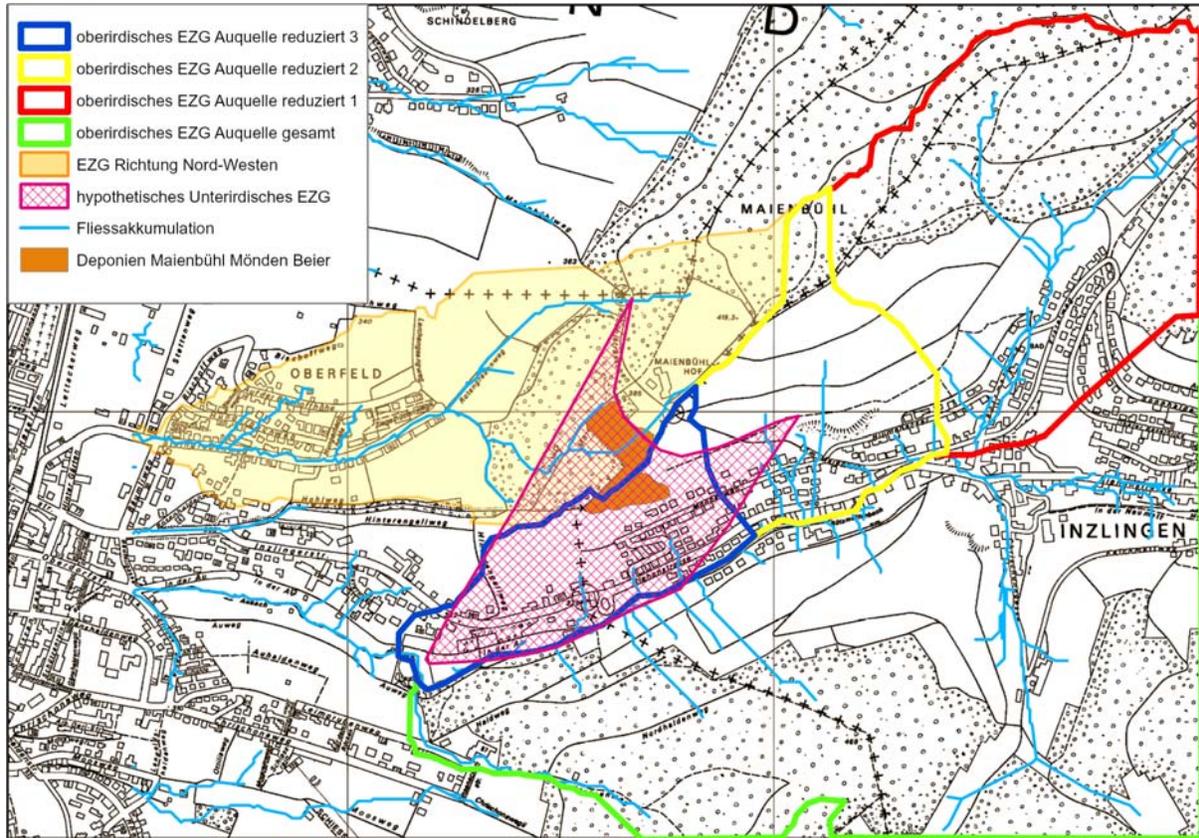


Abb. 6: ober- und unterirdische Einzugsgebiete

Unterirdisches Einzugsgebiet

Das unterirdische Einzugsgebiet der Hinteren Auquelle ist nicht bekannt. Aufgrund der vorliegenden Daten stammt der überwiegende Anteil der Schüttung der Hinteren Auquelle aus dem Kluffgrundwasserleiter des Buntsandsteins. Das Quellwasser der Hinteren Auquelle zeigt bezüglich gelöstem Silikat als geogenen Tracer ähnliche Werte wie Buntsandsteinwasser aus den Piezometern P2406 und P2759 (vgl. Kapitel 2.2.4). Die in der Hinteren Auquelle nachgewiesenen Belastungen belegen, dass zumindest eine der im Buntsandstein angelegten Deponien in ihrem Einzugsgebiet liegt.

Abbildung 7 zeigt eine hypothetische Abgrenzung des unterirdischen Einzugsgebiets basierend auf strukturellen Überlegungen und Pegelmessungen. Das generelle Einfallen der Buntsandsteinschichten nach SSW legt ein Einzugsgebiet nördlich und östlich der Hinteren Auquelle nahe. Als westliche Grenze wird eine Störung vermutet, welche parallel zur Rheintalflexur streicht. Hinweise auf eine solche Störung liefern Grundwasserspiegelmessungen in Piezometern vom 10.08.04. Diese zeigen, dass westlich und östlich der vermuteten Störung zwei unterschiedliche FlieSS-Systeme vorhanden sind: Piezometer P2759 weist einen rund 30 m tiefer gelegenen Wasserspiegel auf als die Piezometer P2404, P2406 und P2422. Im Osten wurde die Grenze wiederum parallel zur Richtung der vermuteten Störung durch eine Quelle in Inzlingen

östlich der Hinteren Auquelle gelegt. Die Begrenzung im Norden bildet die kartierte Verbreitung der Buntsandsteinschichten, im Süden das Aural.

Es ist aufgrund dieser Hinweise wahrscheinlich, dass sowohl die Deponie Münden als auch Maienbühl im unterirdischen Einzugsgebiet, welches Richtung Auquelle entwässert, liegen. Diese Hypothese müsste anhand von Markierversuchen überprüft werden.

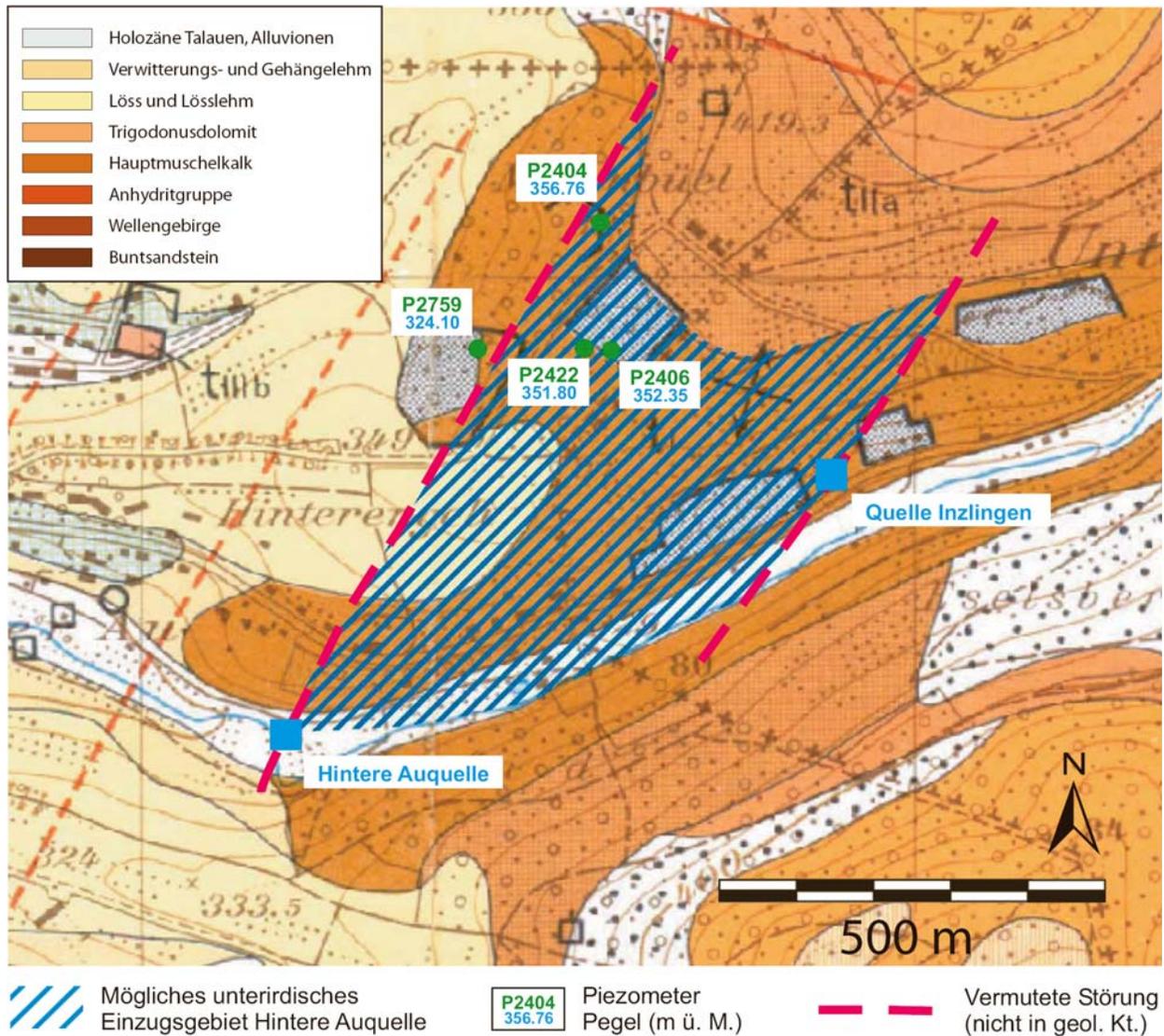


Abb. 7: unterirdisches Einzugsgebiet

2.2.3 Isotopenhydrologie

Mit Hilfe der stabilen Isotope ^{18}O und ^2H sollen mittlere Verweilzeiten im Grundwasserleiter und das Alter des Wassers in den Grundwassermessstellen und in der Hinteren Auquelle im Kluftgrundwasserleiter bestimmt werden.

Die Analyseresultate der stabilen Isotope ^{18}O und ^2H sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Da die Werte von ^{18}O und ^2H sehr gut miteinander korrelieren (siehe auch Abb. 9), werden im Folgenden ausschliesslich die Ergebnisse des stabilen Isotops ^{18}O dargestellt.

Die Gehalte des stabilen Sauerstoffisotops ^{18}O im Wassermolekül H_2O sind als $\delta^{18}\text{O}$ -Werte in ‰ dargestellt und beziehen sich auf den Standard VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water):

$$\delta^{18}O = [(R_{Probe} - R_{Standard}) / R_{Standard}] * 1000 \text{ (‰)} \text{ mit } R = {}^{18}O / {}^{16}O$$

Der analytische Fehler beträgt $\pm 0.15 \text{ ‰}$

Das Isotopenverhältnis von ${}^{18}O$ zu ${}^{16}O$ im Niederschlag variiert sehr stark, mit einer vergleichsweise „leichteren“ (mehr negativen) Wassersignatur in der kalten Jahreszeit und einer „schwereren“ (weniger negativen) Wassersignatur in der warmen Jahreszeit (Abb. 8). Das gewichtete Mittel des Niederschlags liegt bei -8.06 ‰ . Die mittleren Isotopenwerte der Hinteren Auquelle und der Piezometer betragen -9.11 ‰ (Hinterer Auquelle), -8.99 ‰ (P2406) und -9.03 ‰ (P2759). Die nur geringfügig leichtere Isotopensignatur der Quelle und der Piezometer gegenüber dem Niederschlag zeigt, dass eine Grundwasseranreicherung ganzjährig stattfindet. Würden die isotopisch schwereren Sommerniederschläge überwiegend verdunsten, müsste das Grundwasser eine ähnlich leichte Isotopensignatur wie die Winterniederschläge aufweisen.

Im Gegensatz zum Aubach, wo schwere Sommerniederschläge im August 2004 die Isotopenwerte stark erhöhen, lassen die geringen Variationen des ${}^{18}O$ -Gehalts in der Hinteren Auquelle ebenso wie in den Piezometern keine grösseren, direkten Zuflüsse von Niederschlagswasser erkennen. Dies ist ein Hinweis dafür, dass die Zusammensetzung des Quellwassers auch während grösserer Regenereignisse grundwasserdominiert ist.

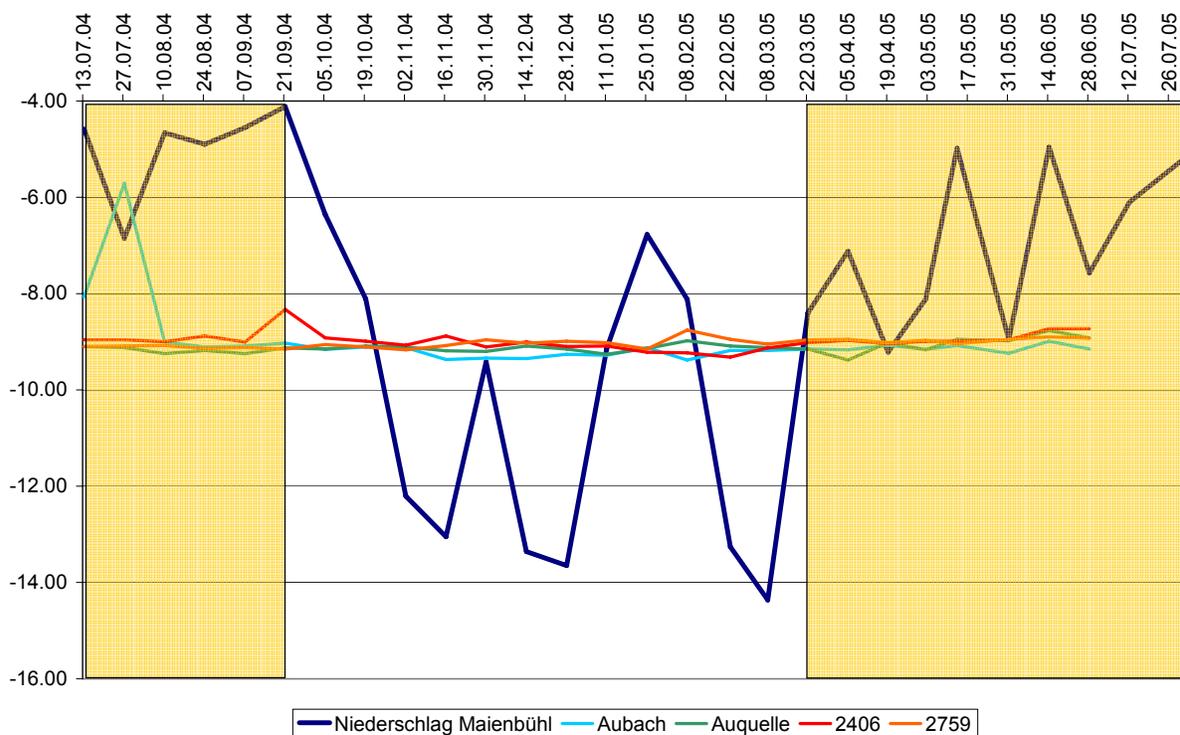


Abb. 8: Ergebnisse der ${}^{18}O$ -Analysen

Tab 2: Analyseresultate 18O, 2H, LF und Si

Datum	hintere Auquelle				Aubach				Piezometer 2406				Piezometer 2759				Sickerschicht S1				Niederschlag					
	¹⁸ O	² H	EL (μS/cm)	mg Si/L	¹⁸ O	² H	EL (μS/cm)	mg Si/L	¹⁸ O	² H	EL (μS/cm)	mg Si/L	¹⁸ O	² H	EL (μS/cm)	mg Si/L	¹⁸ O	² H	EL (μS/cm)	mg Si/L	¹⁸ O	² H	EL (μS/cm)			
01.07.2004																										-15.6
13.07.2004																								-4.58	-35.6	22
27.07.2004																								-6.85	-51.6	18
10.08.2004	-9.10	-66.5	863	5.58	-8.07	-58.9	601	3.96	-8.96	-62.6	1281	5.97	-9.10	-65.6	715	6.42	-8.43	-63.3	1094	11.9	-4.66	-37.6	68			
24.08.2004	-9.12	-65.2	872	5.33	-5.71	-41.4	309	1.77	-8.96	-63.3	1238	6.25	-9.09	-65.5	739	6.25	-8.35	-62.6	1217	13.4	-4.90	-37.6	15			
07.09.2004	-9.25	-64.3	872	5.53	-9.01	-65.2	705	3.55	-9.00	-63.4	1238	6.11	-9.08	-63.8	676	6.54	-7.87	-57.9	1298	13.1	-4.55	-36.3	16			
21.09.2004	-9.18	-65.2	868	5.33	-9.11	-63.7	695	3.70	-8.88	-62.8	1247	6.15	-9.14	-63.9	680	6.45	-7.37	-52.8	1239	13.0	-4.12	-32.4	18			
05.10.2004	-9.25	-65.4	865	5.61	-9.09	-63.2	711	4.06	-9.01	-64.6	1211	6.55	-9.12	-64.1	754	6.57	-7.31	-52.6	1213	13.8	-6.36	-46.5	14			
19.10.2004	-9.13	-66.9	858	5.45	-9.03	-61.0	603	3.41	-8.33	-58.1	1185	6.87	-9.15	-65.5	757	6.52	-7.36	-49.7	1100	12.3	-8.11	-53.7	15			
02.11.2004	-9.15	-63.2	864	5.05	-9.16	-61.7	707	3.93	-8.92	-63.1	1241	5.64	-9.06	-60.3	720	6.11	-7.92	-54.0	1098	11.4	-12.21	-87.0	7			
16.11.2004	-9.09	-63.3	870	5.42	-9.11	-63.4	726	4.36	-8.99	-64.5	1316	6.20	-9.11	-62.6	687	6.29	-9.12	-62.3	1007	11.5	-13.05	-90.5	36			
30.11.2004	-9.11	-62.7	871	5.55	-9.12	-61.5	729	4.10	-9.07	-65.5	1307	6.15	-9.17	-63.3	754	6.25	-8.84	-62.8	1011	11.7	-9.42	-66.9	18			
14.12.2004	-9.19	-62.9	876	5.56	-9.37	-66.2	739	4.09	-8.88	-64.1	1296	6.13	-9.08	-65.7	730	6.41	-8.78	-60.7	979	10.9	-13.36	-96.7	15			
28.12.2004	-9.20	-63.9	863	5.40	-9.34	-66.2	732	4.04	-9.11	-65.0	1218	6.28	-8.96	-64.3	766	6.51	-8.93	-60.8	991	10.8	-13.65	-97.8	16			
11.01.2005	-9.09	-64.0	878	5.52	-9.35	-65.9	707	4.09	-9.01	-63.9	1271	6.29	-9.03	-62.3	704	6.47	-8.59	-57.4	994	10.7	-9.14	-60.6	26			
25.01.2005	-9.15	-65.1	884	5.56	-9.26	-65.4	718	4.06	-9.10	-64.6	1279	6.16	-8.99	-61.2	754	6.38	-8.65	-57.4	977	10.8	-6.77	-49.2	16			
08.02.2005	-9.26	-66.6	883	5.54	-9.28	-65.6	701	3.78	-9.09	-64.9	1266	5.95	-9.02	-62.1	695	6.43	-8.56	-60.6	964	10.1	-8.12	-54.8	70			
23.02.2005	-9.14	-65.2	881	5.56	-9.12	-64.6	901	3.49	-9.22	-65.9	1250	5.89	-9.15	-65.9	724	6.41	-8.3	-59	943	10.1	-13.26	-98.3	24			
08.03.2005	-8.98	-65.1	879	5.48	-9.38	-66.6	923	3.28	-9.23	-65.8	1261	5.76	-8.76	-61.9	695	6.45	-8.4	-60.9	901	9.4	-14.36	-105	46			
22.03.2005	-9.09	-64.9	882	5.58	-9.18	-66.1	684	3.42	-9.32	-67	1261	5.92	-8.95	-61.2	753	6.18	-8.38	-60.6	993	9.1	-8.4	-58.2	49			
05.04.2005	-9.12	-63.4	880	5.09	-9.18	-65.4	676	3.30	-9.13	-64.1	1282	6.01	-9.05	-65.1	662	6.22	-8.42	-59.4	1060	11.1	-7.12	-52.4	20			
19.04.2005	-9.15	-64.4	870	5.35	-9.15	-63.7	684	3.65	-9.02	-63.9	1250	6.24	-8.96	-62.1	733	6.41	-8.59	-60.8	1065	11.4	-9.22	-64.3	21			
02.05.2005	-9.38	-66.4	879	5.38	-9.17	-62.7	645	3.88	-8.97	-64	1254	6.22	-8.95	-63.7	737	6.40	-8.41	-61.1	1066	9.3	-8.12	-59.4	15			
13.05.2005	-9.02	-64.9	883	5.55	-9.07	-63.0	654	3.92	-9.04	-62.0	1310	6.19	-9.02	-62.7	753	6.52	-8.11	-56.1	1111	12.2	-4.98	-31.2	23			
31.05.2005	-9.17	-63.0	848	5.44	-9.16	-64.0	635	4.03	-8.99	-61.7	1228	6.13	-8.97	-61.4	711	6.43	-8.25	-56.9	1110	12.7	-8.95	-60.3	18			
14.06.2005	-8.95	-62.4	885	5.42	-9.08	-61.8	662	3.95	-8.99	-61.5	1302	6.14	-9.04	-62.3	748	6.33	-7.89	-54.0	1140	12.8	-4.96	-27.7	21			
28.06.2005	-8.98	-61.6	882	5.42	-9.24	-63.8	646	4.07	-8.96	-60.8	1317	6.02	-8.95	-61.1	773	6.24	-8.06	-54.5	1185	13.1	-7.57	-48.8	30			
12.07.2005	-8.77	-61.9	886	5.55	-8.99	-62.3	685	3.90	-8.73	-60.6	1261	6.25	-8.90	-60.9	769	6.30	-7.77	-51.8	1136	12.8	-6.10	-38.1	17			
01.08.2005	-8.92	-61.1	894	5.70	-9.15	-63.3	658	4.00	-8.73	-62.3	1263	6.30	-8.93	-61.3	773	6.40	-7.38	-48.4	1039	12.0	-5.15	-30.0	34			
Mittel	-9.11	-64.21	874	5.46	-9.00	-62.95	686	3.76	-8.99	-63.46	1263	6.15	-9.03	-63.07	729	6.38	-8.23	-57.63	1074	11.59	-8.14	-57.45	25			

Abbildung 9 stellt die lokale Meteoric-Water-Line dar, die Ergebnisse sind vergleichbar mit vorausgegangenen Untersuchungen [8]:

$$\delta^2H = 7.55 \cdot \delta^2O + 4.8$$

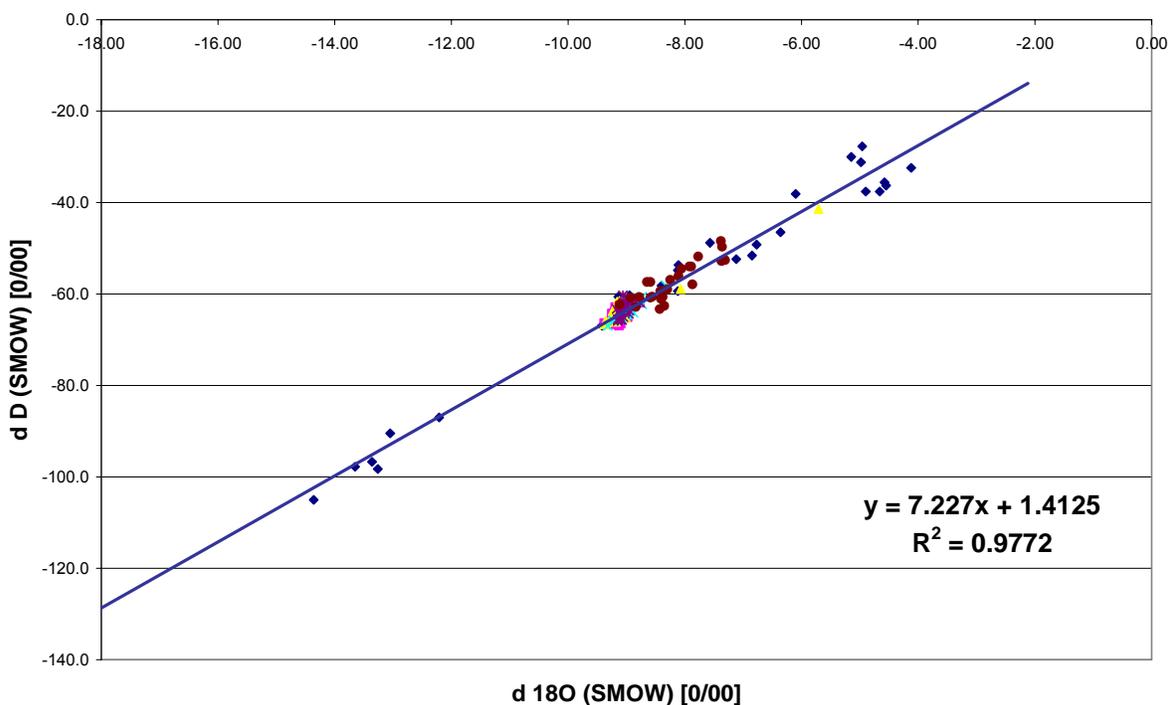


Abb. 9: lokale Meteoric-Water-Line

2.2.4 Silikat

Über den Untersuchungszeitraum wurde das zweiwöchentlich in den Messstellen entnommene Grundwasser auf den geogenen Markierstoff Silikat untersucht. Anhand der Silikatgehalte können Rückschlüsse auf die relativen Anteile verschiedener Abflusskomponenten und deren Herkunft gezogen sowie Mischungsprozesse beschrieben werden.

Tabelle 2 und Abbildung 10 geben einen Überblick über die analysierten Silikatkonzentrationen. Deutlich ist zu erkennen, dass im Aubach bei allen Messungen die geringsten Silikatwerte auftreten. Der Anteil von Wasser, welches eine geringe Zeit Kontakt mit silikathaltigen Bestandteilen im Untergrund hatte ist hier am höchsten. Die höchste Mineralisation mit Silikat ist bei den beiden Piezometern zu verzeichnen, welche bis in den Anstehenden Buntsandstein reichen. Die gemessenen Silikatkonzentrationen der Auquelle selbst liegen etwas unter den Werten der Piezometer.

Mischungsrechnung

Um den Anteil von niederschlags- und grundwasserdominierten Abfluss in der Auquelle abzuschätzen wurde eine Mischungsrechnung (End member mixing analysis; EMMA) durchgeführt. Mittels Frachtgleichungen und Massenbilanzen können dabei Abflusskomponenten voneinander getrennt werden.

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q \cdot c = Q_1 \cdot c_1 + Q_2 \cdot c_2$$

Q

c

$Q_{1,2}$

$c_{1,2}$

Gesamtabfluss

Konzentration im Gesamtabfluss

Abfluss aus den Speicherelementen 1, 2

Konzentration in den Speicherelementen 1, 2

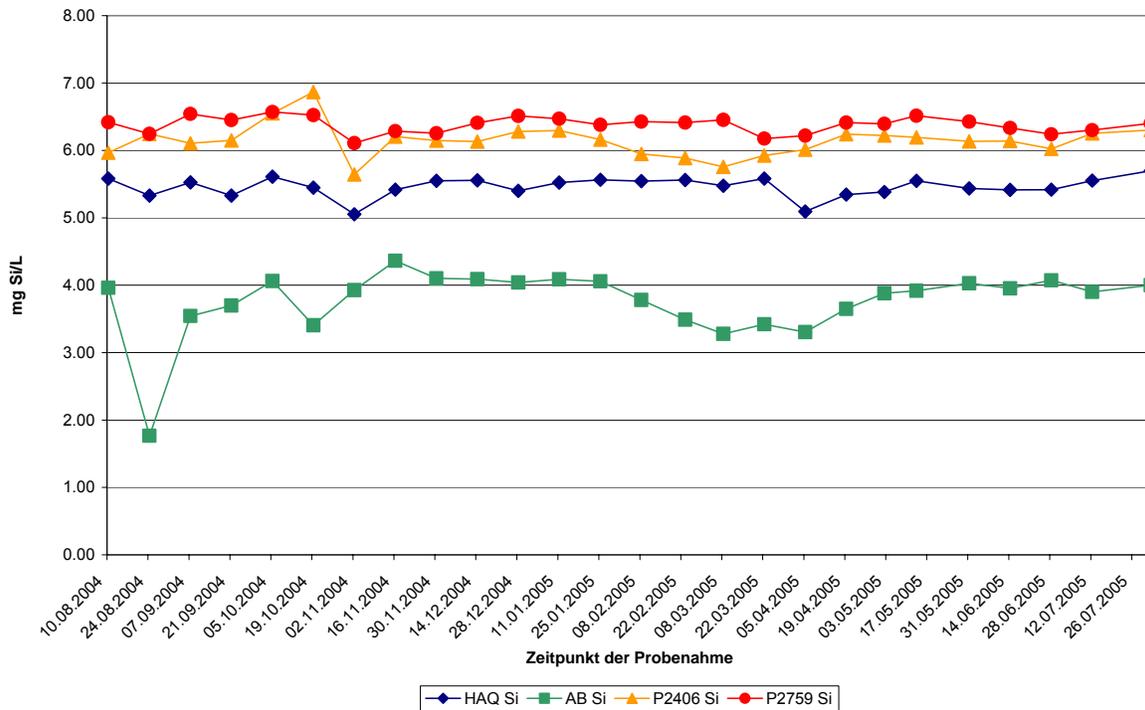


Abb. 10: Ergebnisse der Silikat-Analysen
 HAQ Hintere Auquelle
 AB Aubach

Q ist die Schüttung in der Auquelle, Q₁ der niederschlagsdominierte Abfluss (event water) und Q₂ der grundwasserdominierte Abfluss (preevent water). c ist die gemessene Konzentration in der Auquelle, c₁ die des niederschlagsdominierten und c₂ die des grundwasserdominierten Abflusses. Nach Umformung der Gleichung ergibt sich:

$$Q_1 = Q \cdot \frac{c - c_2}{c_1 - c_2} \quad \text{und} \quad Q_2 = Q \cdot \frac{c - c_1}{c_2 - c_1}$$

Voraussetzung für die Anwendung dieser Gleichungen ist, dass die Änderung der Konzentration im niederschlagsdominierten Abfluss c₁ während des Ereignisses vernachlässigbar oder kalkulierbar sein muss und die anderen Zuflüsse vernachlässigbar sind. Weiterhin muss sich c₁ signifikant von c₂ unterscheiden und innerhalb des Einzugsgebiets überall gleich sein. Alle Werte ausser Q₁ und Q₂ sind bekannt oder werden gemessen. Für c₁ wurde ein Wert von 0,1 mg Si/L für Niederschlagswasser gewählt. Für c₂ wird der Mittelwert aus den Konzentrationswerten der beiden Piezometer gebildet unter der Annahme, dass dieses Grundwasser die Signatur des grundwasserdominierten Abflusses widerspiegelt. Diese Annahme, sowie die Tatsache, dass andere Zuflüsse nicht ausgeschlossen werden können führen dazu, dass die berechneten Werte lediglich Schätzungen sind. Diese Berechnung wurde für die zweiwöchentlich entnommenen Stichproben durchgeführt. Tabelle 3 stellt die Ergebnisse zusammenfassend dar. Der geschätzte Anteil an niederschlagsdominiertem Abfluss liegt demnach zwischen 8 und 19 %, derjenige des grundwasserdominiertem entsprechend bei 81 bis 92 %.

Tab. 3: Mischungsrechnungen

Datum der Probenahme	niederschlagsdominierter Abfluss (%)	grundwasserdominierter Abfluss (%)
10.08.2004	10	90
24.08.2004	15	85
07.09.2004	13	87
21.09.2004	16	84
05.10.2004	15	85
19.10.2004	19	81
02.11.2004	15	85
16.11.2004	14	86
30.11.2004	11	89
14.12.2004	12	88
28.12.2004	16	84
11.01.2005	14	86
25.01.2005	12	88
08.02.2005	11	89
23.02.2005	10	90
08.03.2005	11	89
22.03.2005	8	92
05.04.2005	17	83
19.04.2005	16	84
02.05.2005	15	85
13.05.2005	13	87
31.05.2005	14	86
14.06.2005	14	86
28.06.2005	12	88
12.07.2005	12	88

Eine Kreuzkorrelation von Silikat und Leitfähigkeitswerten zeigt (Tab. 3), das die Messwerte der einzelnen Messstellen Gruppen bilden (Abb. 11). Niederschlagswasser ist geprägt von niedrigen Leitfähigkeitswerten und Silikatkonzentrationen. Gemessenen Silikatkonzentrationen mit bis zu ca. 7 mg Si/L sind am höchsten in den Piezometern 2406 und 2759, wobei die Leitfähigkeit in Piezometer 2406 signifikant höher ist als im Piezometer 2759. Analysresultate des Aubachs und der Auquelle liegen zwischen den drei zuvor erwähnten Beprobungsstandorten und stützen die Hypothese, dass diese Beprobungswasser somit eine Mischung der einzelnen Komponenten darstellen. Gemessene Silikatkonzentrationen und Leitfähigkeitswerte in der Auquelle sind erwartungsgemäss höher als jene im Aubach. Dies ist ein Hinweis auf den vergleichsweise hohen Anteil von grundwasserdominierten Abflusskomponenten in der Auquelle und von eher niederschlagsdominierten Abflusskomponenten im Aubach.

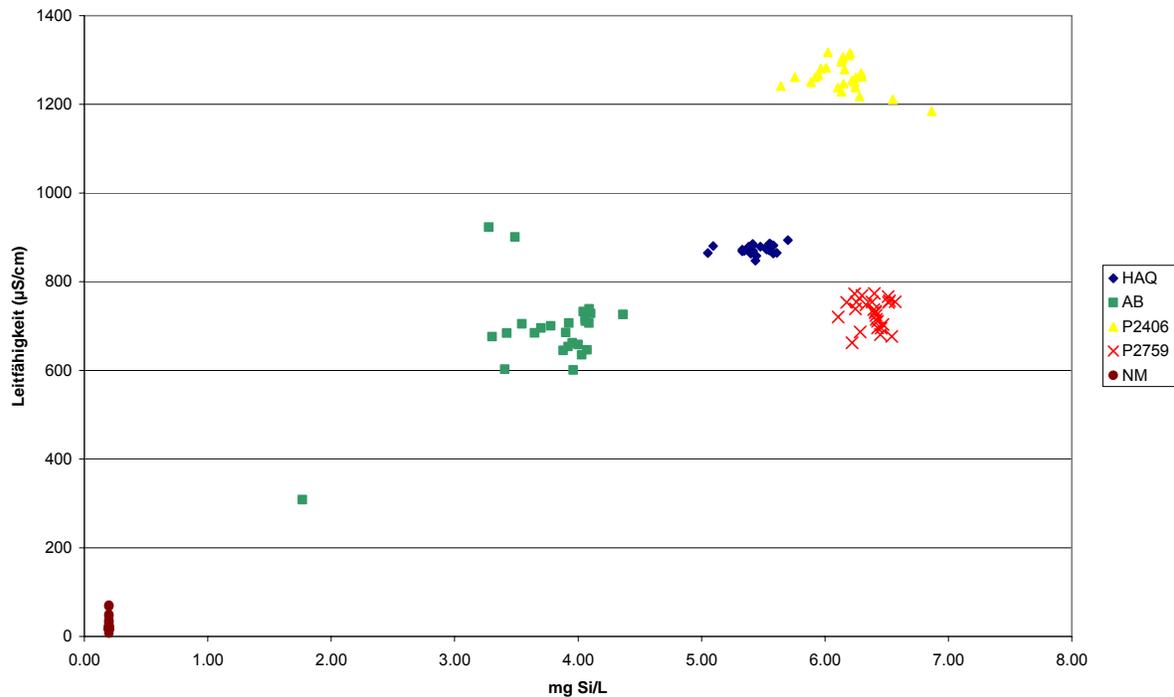


Abb.11: Kreuzkorrelation Silikat und Leitfähigkeit

HAQ Hintere Auquelle
 AB Aubach
 NM Niederschlag Maienbühl

2.3 Zusammenfassung der Resultate

Die Resultate der Untersuchungen zur Einzugsgebietshydrologie der Auquelle lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die hydrometrischen Aufnahmen des Niederschlags und der Auquelle ermöglichten eine Beschreibung der Abflusscharakteristik der Hinteren Auquelle und Berechnungen zur Verdunstung und Grundwasserneubildung sowie die Abschätzungen von Wasserbilanzen. Grundwasseranalysen zeigen, dass Konzentrationshöhen der relevanten pharmazeutischen Substanzen gut mit der Höhe des Abflusses korrelieren. Die Evapotranspiration wurde für den untersuchten Zeitraum vom 13.07.2004 bis zum 12.07.2005 mit 557 mm ermittelt. Die daraus berechneten Werte der Grundwasserneubildung liegen im Schwankungsbereich der mehrjährigen Werte aus dem Interreg III - Projekt MoNit [7] und ergeben für den Untersuchungszeitraum ein Jahr mit relativ geringer Grundwasserneubildung. Aufbauend auf diesen Ergebnissen konnten Wasserbilanzen abgeleitet und ein minimales Einzugsgebiet der Hinteren Auquelle von ca. 6 ha bestimmt werden.
- Das oberirdische Einzugsgebiet der Hinteren Auquelle wurde mittels hydrologischer Oberflächenmodellierung bestimmt. Die Deponie Münden liegt demnach in einem oberirdischen Einzugsgebiet welches Richtung Aulal entwässert, die Deponie Maienbühl hingegen liegt in einem welches Richtung Oberfeld entwässert. Strukturelle geologische und hydrogeologische Überlegungen zum unterirdischen Einzugsgebiet legen Nahe, dass sowohl die Deponie Münden als auch Maienbühl im unterirdischen Einzugsgebiet der Hinteren Auquelle liegen.

- Die Isotopenuntersuchungen zeigten, dass eine Grundwasseranreicherung ganzjährig stattfindet, und dass die geringe Variationen des ^{18}O -Gehalts in der Hinteren Auquelle ebenso wie in den Piezometern keine grösseren, direkten Zuflüsse von Niederschlagswasser erkennen lässt. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Zusammensetzung des Quellwassers auch während grösserer Regenereignisse grundwasserdominiert ist.
- Anhand von Silikatanalysen der zweiwöchentlich entnommenen Grundwasserproben konnten Mischungsrechnungen durchgeführt werden. Der Anteil an niederschlagsdominierten Abfluss in der Auquelle liegt demnach zwischen 8 und 19 %, derjenige des grundwasserdominierten Abflusses bei 81 bis 92 %.

3 Standortvorschläge für Grundwassermessstellen im Kluftgrundwasserleiter des Buntsandsteins

Grundwassermessstellen im Kluftwassersystem müssen gewisse Anforderungen erfüllen, um eine Beurteilung der analytischen Resultate der Wasserinhaltsstoffe zu ermöglichen. Anforderungen bezüglich Lage zur Deponie und Ausbau der Filterstrecken sind in Abbildung 7 des Berichts [3] schematisch dargestellt. Sondierbohrungen im Zu- und Abstrom der Deponien Maienbühl und Münden sollten demnach je nach Standort Mindesttiefen von 25 - 30 m erschliessen und gegebenenfalls über mehrere Horizonte verfiltert sein (Koordinaten und Bohrtiefen siehe auch [3]).

Abbildung 12 gibt nochmals einen Überblick über insgesamt fünf Standortvorschläge für Sondierbohrungen und dem anschliessenden Ausbau zu permanenten Grundwassermessstellen abgeleitet aus den Ergebnissen der Geoelektrik, der GIS-gestützten Oberflächenmodellierung, den „Direct Push“ - Messungen sowie den Bodenproben und den Untersuchungen zur Einzugsgebietshydrologie.

Priorität sollten dabei die Standorte im Abstrom H2, D2 und F2 sowie entweder B1 oder B2 haben. Die Projektleitung schlägt zudem eine weitere Messstelle im Zustrom der Deponien vor, um allfällige Belastung im Zustrom ausschliessen zu können.

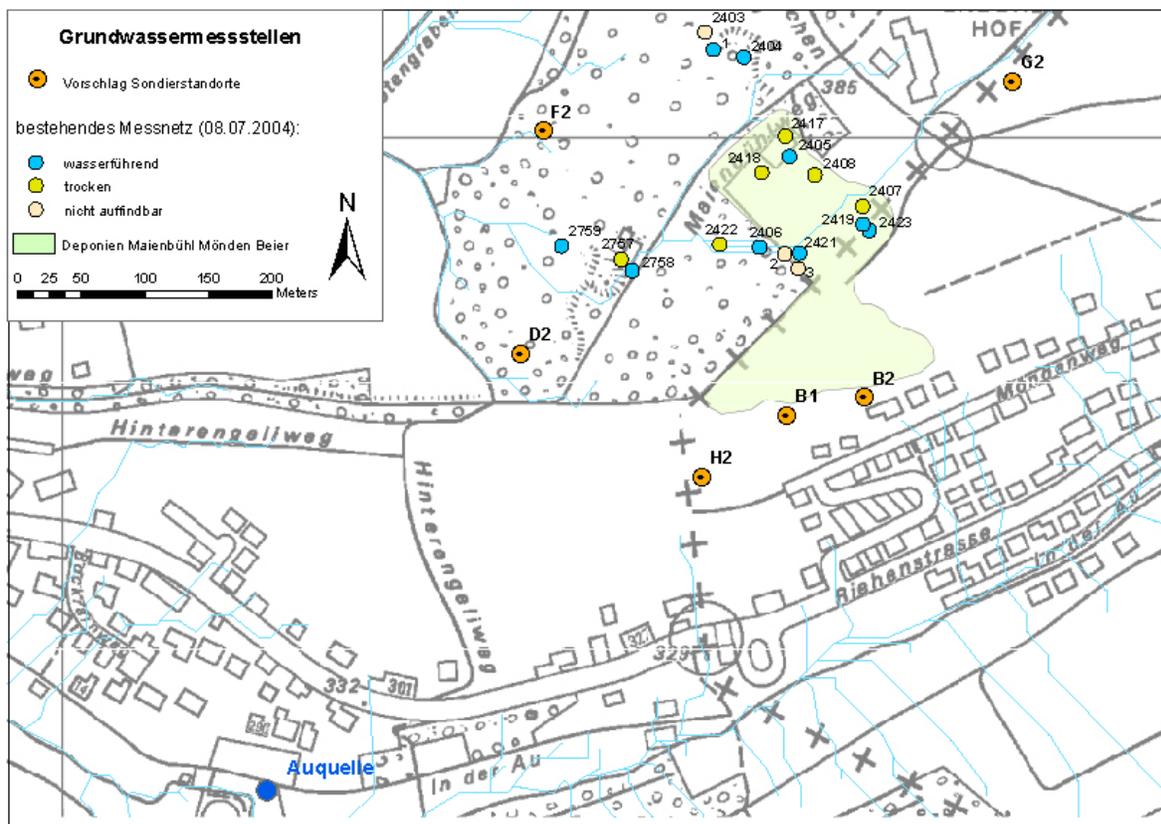


Abb. 12: Vorschläge für Sondierstandorte und permanente Grundwassermessstellen

4 Schlussfolgerungen und weiteres Vorgehen

Folgende Schlussfolgerungen können aus den nun vorliegenden Voruntersuchungen abgeleitet werden:

Untersuchungsphase I

- Im Umfeld der Deponien existieren Bruchstrukturen die mit der 2D-Multielektroden-Geoelektrik im Sommer 2004 nachgewiesen werden konnten.
- Neben der zeitweiligen Grundwasserzirkulation im Boden und den Lockergesteinen der Deckschichten (oberflächennaher Zwischenabfluss / Interflow) ist mit präferentiellen Fliesswegen im Kluftsystem und entlang von Bruchstrukturen im Buntsandstein zu rechnen.
- Durch eine Kombination der Ergebnisse aus der 2D-Multielektroden-Geoelektrik und einer GIS-gestützten Oberflächenabflussmodellierung konnten geeignete Standorte für „Direct Push“ - Messungen ausgewiesen werden.

Untersuchungsphase II

- Mit der „Direct Push“ – Methode wurden im Frühjahr 2005 neben der Aufzeichnung von 33 vertikalen Geoelektrikprofilen an neun Standorten Bodenproben entnommen und insgesamt sechs Standorte zu Grundwassermessstellen in den Deckschichten ausgebaut. Diese Messstellen ermöglichten eine Evaluation der Wasserqualität des oberflächennahen Zwischenabflusses im Zu- und Abstrom der Deponien bis zum anstehenden Fels. Die Analyseresultate der ersten zwei Beprobungsrunden der temporären Grundwassermessstellen am 19.05.2005 und 21.09.2005 zeigten, dass nicht ausreichend Beprobungswasser entnommen werden konnte. Dies ist ein Hinweis darauf, dass bei normalen hydrologischen Randbedingungen nicht oberflächennahe Ausbreitungspfade sondern tiefere, bevorzugte Fliesswege im Buntsandstein das Abflussgeschehen dominieren.

Untersuchungsphase III

- Die Ergebnisse der Einzugsgebietshydrologie zeigen, dass in der Untersuchungsperiode die Grundwasserneubildung verglichen mit anderen Jahren verhältnismässig gering war und, dass der Abfluss in der Auquelle auch bei Ereignissen hauptsächlich von älteren Abflusskomponenten dominiert wird.
Nur die Deponie Münden befindet sich im oberirdischen Einzugsgebiet der Hinteren Auquelle. Überlegungen zum unterirdischen Einzugsgebiets legen jedoch nahe, dass sich sowohl die Deponie Münden als auch Maienbühl im unterirdischen Einzugsgebiet befinden.

Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Voruntersuchungen werden vier Standorte für Grundwassermessstellen bis in den Kluftgrundwasserleiter des Buntsandsteins vorgeschlagen. Die Sondierbohrungen sollen bei Wasserführung zu permanenten Grundwassermessstellen ausgebaut werden. Dabei ist zu berücksichtigen das, falls in unterschiedlichen Tiefen wasserführende Horizonte angetroffen werden, diese tiefenabhängig beprobt werden.

Für das weitere Vorgehen empfehlen wir:

- Im Hinblick auf bevorstehende Markierversuche sollten die Schüttungsmessungen an der Hinteren Auquelle weitergeführt werden. Dies wäre mit einem verhältnismässig geringen Kostenaufwand verbunden.
- Eine weitere Beprobung der temporären Messstellen im Frühjahr sollte unbedingt durchgeführt werden. Dabei sollte der Zeitpunkt der Messung an die hydrologischen Bedingungen (nach längeren Niederschlagsperiode) angepasst sein.
- Für zuverlässigere Wasserbilanzen wäre es sinnvoll den Niederschlag im Untersuchungsgebiet kontinuierlich aufzuzeichnen.

- Die Beprobung fand routinemässig in einem zweiwöchentlichen Rhythmus statt. Dabei konnten unterschiedliche hydrologische Randbedingungen nicht gezielt berücksichtigt werden. Erste Ergebnisse aus den Silikatmessungen zeigen, dass dieser Parameter für weitere Untersuchungen in Rahmen von Ereignisbeprobungen geeignet ist. Aufbauend auf den Analyseresultaten könnten zuverlässigere Mischungsrechnungen zu den unterschiedlichen Abflusskomponenten in der Hinteren Auquelle durchgeführt werden.
- Wir begrüßen Markierversuche, setzen jedoch voraus, dass vorgängig die Erweiterung des Messstellennetzes stattfindet. Zum heutigen Zeitpunkt möchten wir von Markierversuchen mit Farbstoffen ausdrücklich abraten, da einzubringende Markierstoffmengen schwer abzuschätzen sind und dadurch unter Umständen künftige Markierversuche im Grundwassergebiet der Lange Erlen gestört werden. Deshalb schlagen wir vor, dass vorgängig mit ein Markierversuch mit Kaliumbromid durchgeführt wird. Dadurch könnten einzubringende Mengen für Markierversuche mit Farbstoffen abgeschätzt und weitere Informationen zum Gesamtsystem gesammelt werden. Ein solcher Versuch wäre verhältnismässig kostengünstig!

Zur Erinnerung möchten wir Sie auch darauf hinweisen, dass im Rahmen der Voruntersuchungen nur noch die Arbeiten zum Aufbau des Box-Modells (Hydrologische Modellierung) ausstehen. Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Frühjahr zu erwarten.

Basel, den 20. Dezember 2005



Prof. Dr. P. Huggenberger
Beauftragter für Kantonsgeologie der Universität Basel



Dipl. Hydr. J. Epting

Sachbearbeitung:

Dipl. Hydr. J. Epting
Dipl. Geol. C. Butscher
Prof. Dr. P. Huggenberger

Literatur

- [1] GPI (2001): Bericht BS-Riehen-16 „Bestimmung der Zuströmbereiche der Grundwasser-Fassungen Lange Erlen unter Einbezug der Aquifersysteme Lange Erlen und Dinkelberg“.
- [2] GPI (2004): Bericht BS-Riehen-20A „Vorgezogene Massnahmen Voruntersuchungen Deponien Maienbühl und Mönden“ , Untersuchungsphase I.
- [3] GPI (2005): Bericht BS-Riehen-20B „Vorgezogene Massnahmen Voruntersuchungen Deponien Maienbühl und Mönden“, Untersuchungsphase II.
- [4] Weingartner, R. & Spreafico, M. (Hrsg.) (1999): Hydrologischer Atlas der Schweiz, 4. Lieferung, Bern
- [5] DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 238, Bonn
- [6] Wundt, W. (1938): Bestimmung des Jahresabflusses aus dem Niederschlag und der Temperatur. Wasserkraft und Wasserwirtschaft, 13.
- [7] Interreg III-Projekt MoNit (in Bearbeitung): Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben.
- [8] Pearson Jr., F.J. et al (1991): Applied Isotope Hydrogeology; A Case Study in Northern Switzerland.