

Katharina Brandner, BSc

Konzeptionelles hydrogeologisches Modell rezenter Massenbewegungen am Beispiel der Embacher Plaike und Hochebene, Salzburg, Österreich.

Masterarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

Masterstudium: Erdwissenschaften

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Ass.-Prof. Mag. Dr.rer.nat. Gerfried Winkler

Institut für Erdwissenschaften

Universität Graz

Ass.-Prof. Mag. Dr. Sylke Hilberg

Universität Salzburg, Institut für Geographie und Geologie

ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Graz, August 2016

Katharina Brandner

DANKSAGUNG

Allen voran möchte ich mich bei meinem Betreuer Gerfried Winkler bedanken, der mich tatkräftig und mit viel Zeit bei der Masterarbeit unterstützt hat. Danke für die vielen interessanten Gespräche, die hilfreichen Diskussionen, den lehrreichen und lustigen Stunden im Gelände und vor allem für den großen Lerneffekt im Zuge der Masterarbeit.

Ebenfalls gebührt mein Dank Sylke Hilberg, die mir als Zweitbetreuerin stets ein offenes Ohr für meine Fragen schenkte und mit konstruktiven und hilfreichen Anregungen maßgebend an dieser Masterarbeit beigetragen hat.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Ludwig Fegerl vom Landesgeologischen Dienst Salzburg, zum einen für dieses interessante Thema, welches durch seine Initiative zustande kam, zum anderen für die Unterstützung bei der Analytik und der Zurverfügungstellung der GIS Karten.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie, die mich immer unterstützt, stets für mich da ist und mir immer wenn es nötig war eine große Portion Motivation mitgab. Ohne meine Eltern wäre dieses Studium nicht möglich gewesen. Danke auch meinem Bruder Philippe fürs Korrekturlesen der Masterarbeit.

Meinem Freund Christoph danke ich besonders für den starken Rückhalt und die mobile Unterstützung.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen lieben Studienkollegen und Freunde bedanken, die mir mit viel Geduld, Interesse und Hilfsbereitschaft zur Seite standen und viele lustige Tage und Nächte bescherten.

Ein großes Dankeschön ergeht an:

Thomas Wagner,

Franz Anker von der Wildbach- und Lawinenverbauung Zell am See,

Ralf Benischke vom Joanneum Research,

Gerhard Schuster von der Geologischen Bundesanstalt,

Den hydrographischen Dienst Salzburg,

Ingenieurbüro Moser Wasser.

Abschließend möchte ich mich bei allen Lehrenden und Mitarbeitern des Instituts für Erdwissenschaften (KF-Uni Graz) und des Institutes für Angewandte Geowissenschaften (TU Graz) bedanken, die mich durch das Studium begleitet haben.

INHALTSVERZEICHNIS

ERKLÄRUNG	I
DANKSAGUNG	II
KURZFASSUNG	V
ABSTRACT	VI
1 EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	1
2 GRUNDLAGEN	4
2.1 GEOLOGIE	4
2.1.1 Regionaler Überblick	4
2.1.2 Geologie des Untersuchungsgebiets	6
2.1.3 Quartärgeologie der Embacher Hochebene und Morphologie	10
2.1.4 Tektonik	14
2.2 HYDROGEOLOGIE	15
2.2.1 Bisherige hydrogeologische Untersuchungen	16
2.2.2 Bisherige Maßnahmen	20
2.2.3 Arten und Auslöser von Massenbewegungen	21
2.3 GRUNDLAGEN ZUR EMBACHER PLAIKE	23
2.3.1 Historie der Embacher Plaike	23
2.3.2 Aufbau der Embacher Plaike	24
2.3.3 Art und Auslöser der Embacher Plaike	29
3 UNTERSUCHUNGSMETHODEN	30
3.1 HYDROGEOLOGISCHE KARTIERUNG	30
3.2 HYDROCHEMIE UND SCHWEFELISOTOPIE	31
3.2.1 Hydrochemie	31
3.2.2 Schwefelisotopie	33
3.3 ABFLUSSMESSUNGEN	34
3.4 WASSERBILANZ	37
3.5 MARKIERUNGSVERSUCH	40
4 ARBEITSSCHRITTE	46
5 ERGEBNISSE	47

5.1	KARTIERUNG.....	47
5.1.1	Hydrogeologische Kartierung	47
5.1.2	Lithologische Kartierung.....	57
5.1.3	Morphologische Kartierung.....	62
5.2	PHYSIKALISCHE PARAMETER, HYDROCHEMIE UND SCHWEFELISOTOPIE..	66
5.2.1	Physikalische Parameter	66
5.2.2	Hydrochemie.....	75
5.2.3	Schwefelisotopie	91
5.3	ABFLUSSMESSUNGEN	93
5.3.1	Abflussdynamik der Schüttungsquellen.....	93
5.3.2	Kirchbach	95
5.4	WASSERBILANZ.....	99
5.5	MARKIERUNGSVERSUCH	102
5.5.1	Aktivkohle.....	102
5.5.2	Fluorometer.....	102
6	INTERPRETATION UND KONZEPTIONELLES MODELL	106
6.1	INTERPRETATION	106
6.2	KONZEPTIONELLES HYDROGEOLOGISCHES MODELL	112
7	SCHLUSSBETRACHTUNG UND AUSBLICK	121
7.1	SCHLUSSBETRACHTUNG	121
7.2	AUSBLICK	122
8	LITERATURVERZEICHNIS	123
	ANHANG A	127
	ANHANG B	130
	ANHANG C	150

KURZFASSUNG

Die Embacher Plaike ist eine aktive Massenbewegung, die von der Embacher Hochebene bis hinunter zur Salzach reicht. Die davon ausgehenden Gefahren sind durch das Rückschreiten der Abrisskante in Richtung der Ortschaft Embach, sowie durch die mögliche Aufstauung der Salzach gegeben. Bewegungen in der Plaike werden vermutlich durch Wasser induziert. Eine wesentliche Grundlage für Stabilisierungsmaßnahmen der Embacher Plaike ist das Verständnis der hydrogeologischen Gegebenheiten in der Plaike und der darüber liegenden Hochebene rund um Embach.

Geologisch gesehen liegt das Untersuchungsgebiet in der Grauwackenzone (GWZ), die in diesem Bereich aus verschiedenen Phylliten und metamorphen Vulkaniten aufgebaut ist, die hauptsächlich mittelsteil nach NE einfallen. Im Hangenden davon findet man quartäre, fluviatile, leicht schräg geschichtete Schotter und Sande, die Großteils zu Konglomerat verkittet sind und eine Mächtigkeit von bis zu 40m aufweisen. Diese Konglomerate werden von Seetonen überlagert. Darüber findet man 10-40m mächtige Moränenablagerungen. Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Nahbereich der Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung (SEMP). Die Tauernnordrandstörung, welche das Tauernfenster und die Grauwackenzone trennt, verläuft südlich der Embacher Plaike auf der Embacher Hochebene.

Im Zuge einer hydrogeologischen Kartierung der Embacher Plaike sowie des orographischen Einzugsgebietes des Salater- und Kirchbaches als Hauptentwässerung der Embacher Hochebene, wurden Quellwässer mit elektrischen Leitfähigkeitswerten zwischen 178 und 1230 $\mu\text{S}/\text{cm}$ erhoben. Hydrochemische Untersuchungen zeigen, dass die elektrische Leitfähigkeit im Wesentlichen von räumlich stark variierenden Sulfatgehalten gesteuert wird. Sehr niedrige $\delta^{34}\text{S}$ -Werte in den höher mineralisierten Wässern deuten auf die Lösung von primären Sulfiden hin, die vermutlich von verwitterten Pyriten stammen und als sekundärer Gips in den Klüften des Grundgebirges ausfallen. Abflussmessprofile entlang des Kirchbaches zeigen ein effluentes Fließverhalten. Zusätzlich ergab ein Markierungsversuch im November 2015 keinen Nachweis einer hydraulischen Verbindung zwischen Salater- und Kirchbach zur Embacher Plaike. Untermauert wird dies durch eine Wasserbilanz für das Einzugsgebiet der Embacher Plaike, die zeigt, dass der Abfluss in der Plaike für das Einzugsgebiet ausreicht und kein zusätzlicher Wasserzufluss erforderlich ist. Zusammenfassend ergibt sich aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen, dass die Embacher Plaike im Wesentlichen nicht oder nur in einem sehr geringen, untergeordneten Ausmaß mit dem hydrogeologischen System der Embacher Hochebene (Salater- und Kirchbach) hydraulisch verbunden ist. Dies lässt auf ein eigenes abgegrenztes hydrogeologisches System für die Plaike schließen.

ABSTRACT

The Embacher Plaike is an active landslide reaching from the higher located Embacher plateau down to the Salzach River. There is outgoing hazard due to the backward moving head scarp as well as the possibility of a landslide dam. Movement of the Embacher Plaike is likely triggered by water. For potential measures of stabilization it's necessary to understand the underlying hydrogeological system of the Embacher Plaike and the Embacher plateau.

The investigation area is located in the Greywacke zone and consists of phyllites and metamorphic vulcanites with a northeast directed dip. The hanging wall has a thickness of about 40m and is composed of quaternary, fluvial sands, gravels and stones, which are mainly cemented to conglomerate. On top of these lacustrine clay and 10 – 40m thick moraine have been deposited. The Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg fault (SEMP) strikes along the Embacher plateau and separates the Greywacke zone from the Tauern Window.

Hydrogeological mapping in the Embacher Plaike and the orographic catchment area of the rivers Kirch- and Salaterbach on the Embacher plateau show significant differences in the electrical conductivity (178 – 1230 μ S/cm), derived from local variations of sulphate. Sulphur isotopy showed that spring waters with a high amount of sulphate have low $\delta^{34}\text{S}$ values. Such low values are indicative for a sulphide origin, probably derived from weathered pyrite and subsequent oxidation to secondary sulphate in the gaps of the basement rock. Furthermore, discharge measurements along the Kirchbach showed effluent flow behaviour. Additionally, a tracer test reveals no hydraulic connection between Kirch-/Salaterbach and the Embacher Plaike. The calculated discharge for the catchment area of the Embacher Plaike turned out to exceed the real, measured discharge. That means no additional water from somewhere else is necessary.

The results of the here presented study show no or just a minor extent in the hydraulic connectivity between the hydrogeological systems of the Embacher Plaike and the Embacher plateau. Therefore the Embacher Plaike has an own, separated hydrogeological system.

1 EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Das Untersuchungsgebiet rund um die Embacher Plaike befindet sich im Bundesland Salzburg im Bereich der Taxenbacher Enge, welche zwischen Taxenbach und Lend liegt (Abbildung 1 und Abbildung 2). Die Embacher Plaike mit einer Größe von 0,4 km² zieht sich dabei von der Embacher Hochebene in nördliche Richtung 365 Höhenmeter hinunter zum rechten Salzachufer (Dietrich, 1988).



Abbildung 1 Geographische Lage der Embacher Plaike und Hochebene (Karten aus www.bergfex.at und SAGISonline, Letztzugriff am 24.03.2016).



Abbildung 2 Überblicksabbildung zur Lage der Embacher Plaik und Hochebene. Die rote Linie stellt die Abrisskante der Embacher Plaik dar (Google Earth, Letztstand am 25.07.2016).

Die Embacher Plaik ist eine seit Jahrhunderten aktive Massenbewegung (Stiny, 1911) (Abbildung 3). Die davon ausgehenden Gefahren sind durch das Rückschreiten der Abrisskante in Richtung der Ortschaft Embach, sowie im Falle eines massiven Abgleitens in den Talboden der Salzach verursachten Aufstauung der Salzach und der damit verbundenen Zerstörung bzw. Überschwemmung der Bahngleise und der Bundesstraße gegeben (Abbildung 3).

Die Bewegungen in der Plaik werden vermutlich durch Wasser induziert. Um diesen entgegen wirken zu können, gilt es, das hydrogeologische System in der Plaik und der darüber liegenden Hochebene rund um Embach zu verstehen. Die Erfassung des hydrogeologischen Systems ist somit das Ziel dieser Arbeit. Basierend auf den Ergebnissen einer hydrogeologischen Kartierung wurden Quellen zur hydrochemischen Analyse ausgesucht sowie Abflussmessungen, Wasserbilanzierung und ein Markierungsversuch durchgeführt. Mit Hilfe dieser Untersuchungsmethoden werden die Fließsysteme oberhalb und in der Plaik untersucht, um deren Einfluss auf die Massenbewegung beurteilen zu können. Die Ergebnisse der Studie können die Grundlage für etwaige Schutzmaßnahmen zur Stabilisierung der Plaik bilden.



Abbildung 3 Mit Rot ist in allen Bildern die Abrisskante der Embacher Plaike eingezeichnet, die weißen Pfeile verweisen auf die Bewegungsrichtung der Embacher Plaike. (a) Blick von der gegenüberliegenden Salzachtalseite auf die Embacher Plaike. (b) Der Ort Embach und seine Nähe zur Abrisskante. (c) Einige Häuser sind nur noch wenige Meter von der Abrisskante entfernt. (d) Die Salzach am Fuße der Embacher Plaike kann durch Aufstauung zur Gefährdung für die Bahngleise und die Bundesstraße werden.

2 GRUNDLAGEN

2.1 GEOLOGIE

2.1.1 REGIONALER ÜBERBLICK

Die Geologie von Salzburg wird stratigraphisch und tektonisch in sieben Großeinheiten gegliedert. Vom Hangenden ins Liegende lauten diese: Quartär, Alpidische Molasse, Periadriatische Intrusivgesteine, Ostalpin, Penninikum, Subpenninikum und Helvetikum (Pestal et al., 2005) (Tabelle 1, Abbildung 4)

In Tabelle 1 werden diese Großeinheiten in weitere tektonische Deckensysteme bzw. stratigraphischen Abfolgen eingeteilt (Pestal et al., 2005; Schmid et al., 2013).

Tabelle 1 Gliederung der tektonischen Großeinheiten in Deckensysteme bzw. stratigraphischen Abfolgen (nach Pestal et al., 2005; Schmid et al., 2013)

Quartär		<ul style="list-style-type: none"> • Holozän • Pleistozän (Würm spätglazial) - Holozän • Pleistozän • Pliozän-Pleistozän
Alpidische Molasse		<ul style="list-style-type: none"> • Vorlandmolasse (autochthon und allochthon) • Inneralpine Molasse
Periadriatische Intrusivgesteine		-----
Ostalpin	<i>Oberostalpin</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Nördliche Kalkalpen • Grauwackenzone • Drauzug - Gurktal - Deckensystem • Ötztal - Bundschuh - Deckensystem • Koralpe - Wölz - Deckensystem • Schladming - Seckau - Deckensystem
	<i>Unteroostalpin</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Radstädter Deckensystem und • unterostalpine Schuppen am Südrand des Tauernfensters
Penninikum		<ul style="list-style-type: none"> • Yppsitzer Klippenzone • RhenodanubischeFlyschezone
	<i>Penninische Deckensysteme des Tauernfensters</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Matreier Schuppenzone und Nordrahmenzone • Glockner - Deckensystem
Subpenninikum	<i>Subpenninische Deckensysteme des Tauernfensters</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Eklogitzone • Venediger - Deckensystem
Helvetikum		<ul style="list-style-type: none"> • Ultrahelvetikum • Südhelvetikum

Das Untersuchungsgebiet rund um die Embacher Plaike liegt an der Grenze Grauwackenzone (Ostalpin) und Matreier Schuppenzone und Nordrahmenzone (Penninikum) (Abbildung 4).

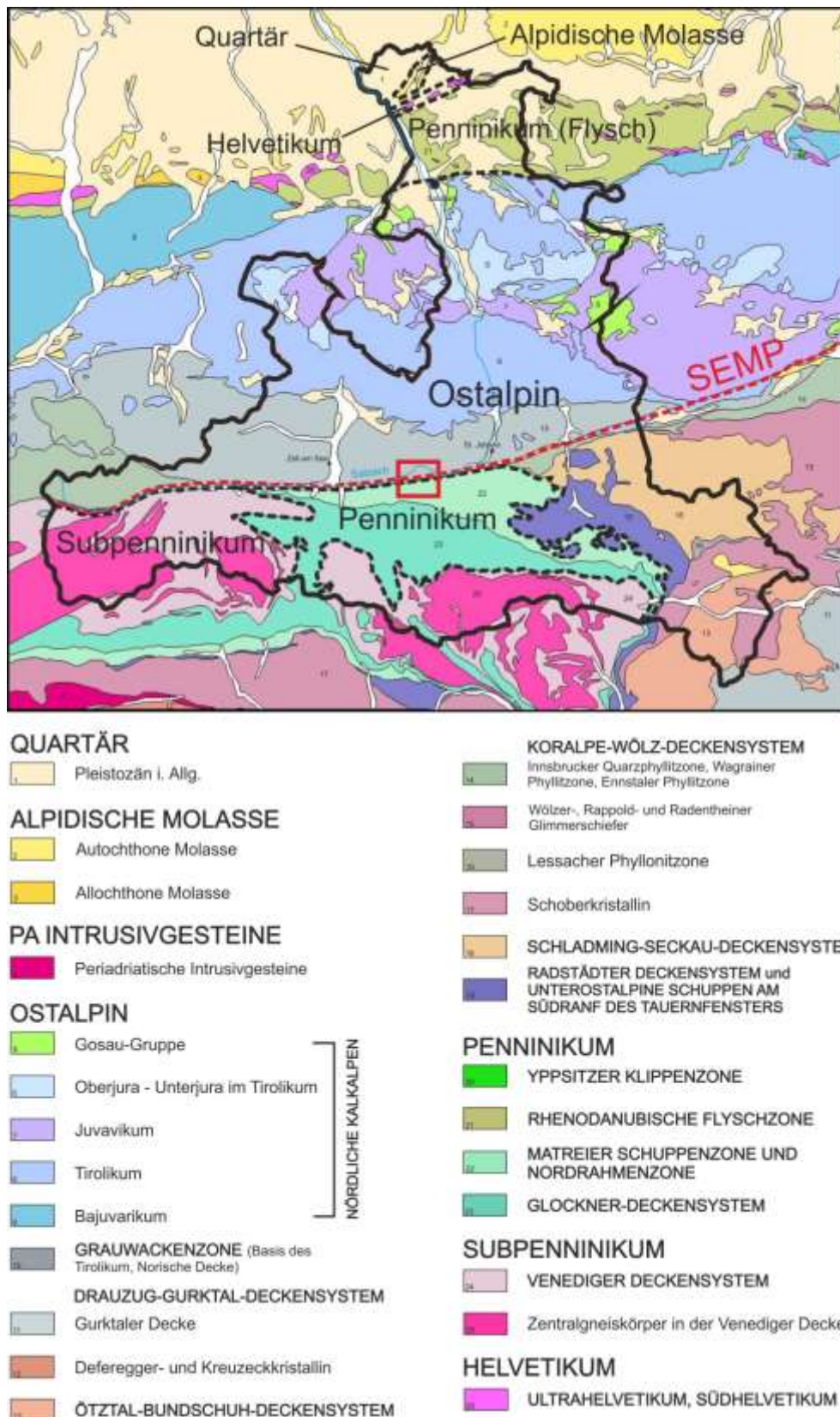


Abbildung 4 Geologische Karte von Salzburg 1:1.000.000 gegliedert in sieben Großeinheiten und die tektonischen Deckensysteme. Das rote Rechteck zeigt das Untersuchungsgebiet an. SEMP = Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg Störung (nach Pestal, 2009).

Die SEMP (Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung) trennt diese zwei Einheiten auf denen sich im Quartär verschiedene glaziale und interglaziale Abfolgen abgelagert haben (Stiny, 1911).

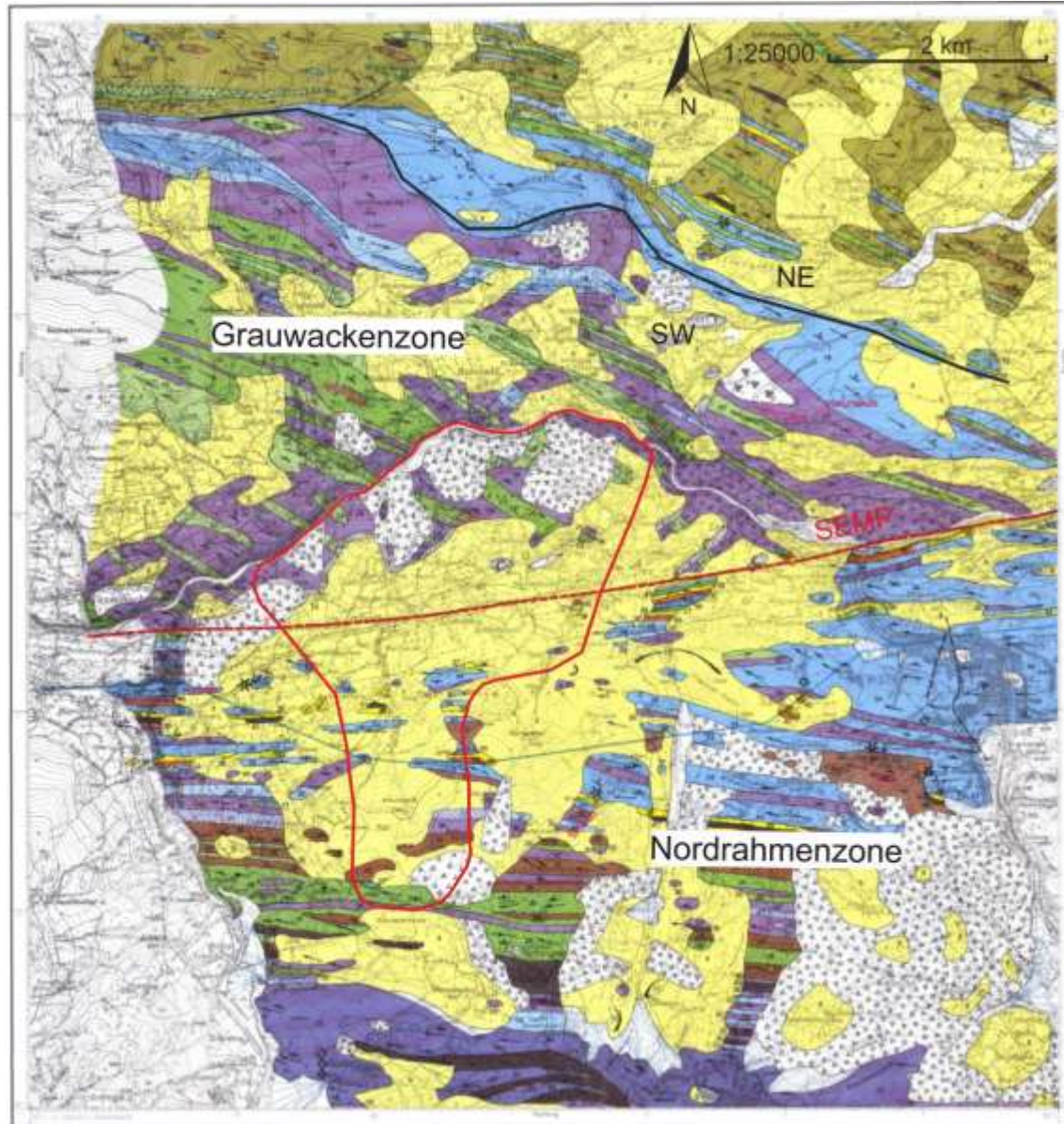
Die Entstehung der Alpen wird im Großen und Ganzen ab dem Perm (ca.300 Millionen Jahre (Ma)) eingeleitet, wobei die involvierten Gesteine zum Teil viel älter sind (Schuster & Stüwe, 2010). Die ältesten Gesteine im Salzburger Bundesland wurden im Zuge des Cadomischen Ereignisses gebildet (Neubauer, 2002), also um ca. 600 Ma. In weiterer Folge erlebten die Gesteinseinheiten zum Teil verschiedene geologische Entwicklungen, wie das varizische, permische, eoalpine und alpidische Event (Pestal, 2009).

Die zwei Deckensysteme des Untersuchungsgebietes (Grauwackenzone und Matreier Schuppenzone und Nordrahmenzone) stammen paläogeographisch gesehen aus zwei unterschiedlichen Bereichen. Während die Grauwackenzone bei der Alpenentstehung einen Teil der Apulischen Platte nördlich des Meliata-Hallstatt Ozeans (Schmid et al., 2004) darstellt, entstammen die Gesteine der Matreier Schuppenzone und Nordrahmenzone dem Piedmont-Ligurischen Ozean und dem Akkretionskeil (Frisch et al., 1989; Kurz et al., 1998), der bei der Subduktion des Ozeans unter die Apulische Platte entstand.

2.1.2 GEOLOGIE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETS

In diesem Kapitel wird näher auf die lithologischen Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet eingegangen (Abbildung 5).

Beginnend mit der **Grauwackenzone** ist zu erwähnen, dass die in Abbildung 5 dargestellte GWZ von Exner (1979) in zwei Teilbereiche gegliedert wird. In einen SW-Teil, dessen Gesteine einen höheren Metamorphosegrad aufweisen und die Gesteinseinheiten der Nordrahmenzone gleichen, und einen NE-Teil, mit schwächer bis gar nicht metamorph überprägten Gesteinen und erhaltenen Fossilien (typisches Altpaläozoikum der Grauwackenzone). Das Untersuchungsgebiet liegt im SW-Bereich und setzt sich aus folgenden Lithologien zusammen:



QUARTÄR
PLEISTOZÄN

Moräne

OSTALPIN
GRAUWACKENZONE

Schwarzphyllit
Grünphyllit
Uralit-Metadiabas und Diabasschiefer

Beschriftung lt. GBA, 2005:

Schattberg-FM, Löhnersbach-FM,
Jausern-FM
Metabasit-Gruppe

PENNINIKUM

PENNINISCHE DECKENSYSTEME DES TAUERNFENSTERS
MATREIER SCHUPPENZONE UND NORDRAHMENZONE

Klammkalk — Klammkalk und Kalkglimmerschiefer
Schwarzphyllit
Grünphyllit
Serizit-Quarz-Schiefer und Feinbrekzie — Phyllitische Bündnerschiefer
Quarzit
Metadiabas und Diabasschiefer — Metabasit
Flyschartiger Sandstein — Sandstein-Brekzien-Formation
Dolomitbrekzie
Rauhacke und Dolomit — Karbonatgesteine der Mittel- und Obertrias i. Allg.

Abbildung 5 Geologische Karte der Taxenbacher Enge 1:25.000 (nach Exner, 1979). Die Legende gilt für den rot umrandeten Bereich, welcher das Untersuchungsgebiet darstellt. Die schwarze Linie im oberen Teil der Abbildung deutet die Grenzlinie zwischen den von Exner (1979) beschriebenen unterschiedlichen Metamorphosebereichen in der Grauwackenzone an. Die rote, strichlierte Linie zeigt die SEMP (Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg Störung).

Schwarzphyllit (Exner, 1979) (Schattberg-, Löhnersbach-, Jausern-Formation (Pestal, 2009)):

Der Schwarzphyllit ist ein kalkarmer bis –freier, feinblättriger, schwarzer Schiefer, dessen Schieferungsflächen mit Glimmerhäutchen bedeckt sind. Edukt dieses Gesteins sind altpaläozoische Pelite (Exner, 1979). Der Schwarzphyllit zählt somit zur Glemmtal-Einheit (Heinisch, 1986).

Grünphyllit (Exner, 1979) (Metabasit-Gruppe (Pestal, 2009)):

Der im Ordovizium gebildete Metabasit der Glemmtal-Einheit (Heinisch, 1986; Pestal et al., 2009) wird heute in umgewandelter Form unter anderem durch den Grünphyllit dargestellt (Exner, 1979). Genauer genommen handelt es sich laut Exner (1979) vermutlich um metamorphe Derivate von Tuffen des Diabasvulkanismus und werden als feinblättrige, grünliche Gesteine beschrieben, deren Feinkörnigkeit megaskopisch nur Chlorit, Hellglimmer und sandige Lagen erkennen lässt (Exner, 1979).

Uralit-Metadiabas und Diabasschiefer (Exner, 1979) (Metabasit-Gruppe (Pestal, 2009)):

Dieses Gestein zählt zur Metabasit-Gruppe der Glemmtal-Einheit (Heinisch, 1986; Pestal et al., 2009) und wurde aus Intraplattenvulkaniten, die in einem Randmeer vulkanische Inseln und Hochzonen darstellten, gebildet (Schlaegel-Blaut, 1990). Die Uralit-Metadiabase finden sich in den dominierenden Diabasschiefer-Zügen wieder und sind teilweise zu diesem umgewandelt. Es handelt sich hierbei um ein massiges, zum Teil geschiefertes, mittelkörniges Gestein mit grünen und weißen Komponenten (Uralit, Plagioklas, Hornblende, Klinozoisit, Titanit) während der Diabasschiefer ein ausgeprägtes, flächiges Gefüge aufweist, graugrün bis hellgrün erscheint und in verschiedenen Variationen auftritt (Exner, 1979).

Die **Matreier Schuppenzone und Nordrahmenzone** des Untersuchungsgebietes besteht hingegen aus nachfolgend beschriebenen Lithologien (Exner, 1979):

Schwarzphyllit, Grünphyllit, Quarzit, Serizit-Quarz-Schiefer und Feinbrekzie (Exner, 1979) (Phyllitische Bündnerschiefer (Pestal, 2009))

Die Phyllitischen Bündnerschiefer stellen die Hauptlithologie der Matreier Schuppenzone und Nordrahmenzone dar und zählen zu den Fuscher Phylliten des Glockner-Deckensystems (Exner, 1979).

Als Ausgangsgestein des Schwarzphyllites nimmt man auf dem Penninischen Ozean abgelagerten Ton an. Der Schwarzphyllit weist eine dunkelgraue Farbe auf und ist kalkfrei bzw. kalkarm (Pestal, 2009).

Der Grünphyllit stammt einerseits von Tuffiten andererseits von ostalpinen Schuppen im Akkretionskeil. Er ist feingeschiefert und besteht hauptsächlich aus Chlorit, Serizit und Quarz (Exner, 1979).

In den Phylliten sind Kalkschiefer, Brekzien und verschiedene Quarzite eingelagert (Pestal, 2009), bei Exner (1979) werden diese unter anderem als Quarzit, Serizit-Quarz-Schiefer und Feinbrekzie bezeichnet.

Flyschartiger Sandstein und Dolomitbrekzie (Exner, 1979) (Sandstein-Brekzien-Formation (Pestal, 2009))

Die Sandstein-Brekzien-Formation weist teilweise turbiditischen Charakter auf und sagt somit bereits einiges über den Ort der Gesteinsbildung aus (Exner, 1979).

Der flyschartige Sandstein tritt als graue bis schwarze, geschieferte Feinbrekzie mit Hellglimmer, Feldspat, Quarz und Tonschieferlinsen (Exner, 1979) auf.

Die Dolomitbrekzie besteht hingegen nur als Dolomitkomponenten, die durch die Matrix aus Karbonatquarzit, metamorphem Kalk und Kalkphyllit zusammengehalten werden (Exner, 1979).

Klammkalk (Exner, 1979) (Klammkalk und Kalkglimmerschiefer (Pestal, 2009))

Es wird vermutet, dass der Klammkalk an der Schelfkante bzw. am Kontinentalhang gebildet wurde (Frisch et al., 1989). Heute tritt er zumeist als gering metamorpher Kalkmarmor auf, der von hellen Kalzitadern durchzogen wird und eine mittel- bis dunkelgraue Farbe aufweist (Pestal, 2009).

Metadiabas und Diabasschiefer (Exner, 1979) (Metabasit (Pestal, 2009))

Die Metabasite sind mit der Sandstein-Brekzien-Formation und den Phyllitischen Bündnerschiefern vergesellschaftet und stellen im Gegensatz zu diesen Härtinge dar (Pestal, 2009). Sie wurden nur durch eine niedrig temperierte Metamorphose grünschieferfaziell überprägt (Exner, 1979).

Die Metadiabase stellen grobkörnige und widerstandsfähige Grüngesteinszüge dar, bei denen sowohl magmatischer Mineralbestand und Gefüge reliktmäßig erhalten sind (Exner, 1979).

Umkristallisierte, dünnere und weniger widerstandsfähige Diabaslagen stellen Grünschiefer dar und werden Diabasschiefer genannt (Exner, 1979).

Rauhacke und Dolomit (Exner, 1979) (Karbonatgestein der Mittel-und Obertrias (Pestal, 2009))

Karbonatische Triasablagerungen zeigen sich im Untersuchungsgebiet als dunkel- bis hellgrauer Dolomit, der gelbe Verwitterungsfarben aufweist, und als Rauhacke, welche auch als deformierter Rauhackeschiefer und mit Gips im Untergrund auftritt (Exner, 1979).

2.1.3 QUARTÄRGEOLOGIE DER EMBACHER HOCHEBENE UND MORPHOLOGIE

Quartäre Ablagerungen:

Auf der Embacher Hochebene liegen auf dem Grundgebirge fluviatile und glaziale Sedimente des Quartärs (Stiny, 1911), welche in ca. 40m mächtigen Aufschlüssen entlang der Abrisskante der Embacher Plaike nachvollziehbar sind. Die quartären Ablagerungen sinken dabei von Ost nach West um einige 10er Meter ab (Dietrich, 1988).

Wie in Abbildung 6 und in Abbildung 7 ersichtlich lagern auf dem Grundgebirge interglaziale, fluviatile (Stiny, 1911; Dietrich, 1988) Terrassensedimente aus Sanden, Kiesen und Steinen (Korngröße ca. 0,5 m) mit einer Mächtigkeit bis zu 40 m, die eine horizontale Schichtung, zum Teil auch schräggeschichtete Bänke aufweisen (Abbildung 6a, c) (Exner, 1979; Stiny, 1911; Dietrich, 1988). Diese Schrägschichtung zeigt im Bereich des Berger Lappens (Stiny, 1911) sogar Winkel bis zu 30° und fällt nach Norden ein (Exner, 1979). Die gerundeten Terrassensedimente sind in weiten Bereichen durch eine karbonatische Matrix zu Konglomerat (Abbildung 6b) verkittet (Stiny, 1911; Dietrich, 1988), stammen aus dem Tauernfenster (Dietrich, 1988) und wurden vermutlich im Mittel-Würm (ca. 30.000 Jahren) vor der Würm-Eiszeit abgelagert (Exner, 1979). Lokal sind Deltaschotter mit einer Mächtigkeit von 3-5 m eingeschaltet (Dietrich, 1988).

Hangend der erwähnten Ablagerungen findet man im Westen 0,5 m, im Osten bis zu 3 m mächtige Seetone (Abbildung 7) (Dietrich, 1988). Stiny (1911) bezeichnet diese als Geschiebemergel, Dietrich (1988) erwähnt allerdings einen feinen Lagenbau und spricht sie daher als Seetone an.

Über den Seetonen lagerte sich Wurm-Moräne (Abbildung 7) mit einer Mächtigkeit von 10-40 m ab (Stiny, 1911; Dietrich, 1988). Das Herkunftsgebiet der Komponentenfraktion > Sand entspricht ebenfalls dem Tauernfenster und besteht aus gekritzten Orthogneis-Blöcken

(Größen bis zu 4 m), Klammkalk, Kalkglimmerschiefer, Serpentin, Metadiabas und Grünschiefer (Exner, 1979).

Die quartären Ablagerungen erlangen an der Abrisskante der Embacher Plaike eine Mächtigkeit von ca. 40 m. Auf der Embacher Hochebene wurden 1967/1968 zwischen Kirchbach und der Abrisskante der Embacher Plaike fünf Bohrungen mit einer Tiefe von max. 80 m durchgeführt. Dabei wurde kein anstehendes Gestein erreicht. Die Tiefe der Grenze Grundgebirge – Quartäre Ablagerungen auf der Embacher Hochebene ist daher nicht bekannt (Insond Ges.m.b.H., 1970), jedoch ist lokal von einer Mächtigkeit > 80 m auszugehen. Diese Grenze Grundgebirge – Quartäre Ablagerungen wird als der Hauptstauhorizont für die Grundwässer der Embacher Hochebene gesehen (Stiny, 1911; Dietrich, 1988) und ist somit für diese Arbeit von großer Bedeutung.



Abbildung 6 (a) Schräg geschichtete Sande und Kiese werden von horizontal geschichtetem Konglomerat überlagert. (b) Konglomeratturm aus dem westlichen Teil der Plaike; im Liegenden feinkörniger, im Hangenden zu Konglomerat verkittet. (c) Der lagige Aufbau zeigt diskordante Überlagerung und Abschiebung. (d) Kontakt zwischen Grundgebirge und quartärer Ablagerung.



Abbildung 7 Darstellung der Quartären Ablagerung anhand einer Fotoaufnahme im Sommer 2015. Die Mächtigkeit der Sedimente beträgt ca. 40m. Auf dem Grundgebirge hat sich vom Liegenden ins Hangende Sande und Schotter, Seetone und Moräne abgelagert.

Morphologie:

Untypischerweise weicht die Salzach zwischen Taxenbach und Lend von der SEMP ab und zieht nördlich davon einen 6 Kilometer langen Bogen (Stiny, 1911; Dietrich, 1988) durch ein steiles, enges Durchbruchtal namens Taxenbacher Enge (Abbildung 8) (Seefeldner, 1928). Verfolgt man die SEMP entlang ihrem Verlauf, führt diese daher direkt über die Embacher Hochebene (Abbildung 8), wo sie eine morphologische Mulde bildet (Stiny, 1911; Dietrich, 1988).

Da alle Hochebenen rund um die Taxenbacher Enge eine Würm zeitliche Talfüllung mit Moräne aufweisen, in der Sohlebene der Taxenbacher Enge allerdings keine Moränenreste zu finden sind, wird die Entstehung des rund 300m tiefen Durchbruchtales als postglazial eingeschätzt (Exner, 1979). Die Salzach floss vor der Würmeiszeit also vermutlich auf der Embacher Hochebene (Seefeldner, 1928). Der genaue Entstehungsvorgang der Taxenbacher Enge ist nicht geklärt. Seefeldner (1928) gibt als möglichen Grund unter anderem die Hebung des Gebietes zwischen Taxenbach und Lend an.

Die Morphologie der übersteilten Hänge entlang der Taxenbacher Enge ist geprägt von zahlreichen Rutschungen und Felsstürzen (Stiny, 1911, Exner, 1979). Auf die Morphologie der Embacher Plaike wird unter dem Kapitel „Aufbau der Embacher Plaike“ näher eingegangen.



Abbildung 8 Die Morphologie der Taxenbacher Enge und Embacher Hochebene anhand eines Ausschnittes von Google Earth und einer Luftaufnahme des Landes Salzburg. Die rot-strichlierte Linie zeigt die SEMP, die rote durchgezogene Linie die Abrisskante der Embacher Plaike.

2.1.4 TEKTONIK

In der Nordrahmenzone des Untersuchungsgebietes, also südlich der SEMP fallen die Gesteine sehr steil nach N ein bzw. stehen vertikal. Die B-Achsen (Lineation, Faltenachsen) fallen nach WNW ein mit Winkeln von 10-30° (Exner, 1979).

Nördlich der SEMP in der GWZ neigen sich die Schieferungsflächen des Grundgebirges nach NNO mit steilen bis mittelsteilen Winkeln, es besteht somit kein großer Unterschied zum Einfallen in der Nordrahmenzone. Die B-Achsen hingegen fallen genau in die entgegengesetzte Richtung nach ESE ein, was auf die große Beeinflussung der SEMP zurückzuführen ist (Exner, 1979).

Wie im Kapitel Geologischer Überblick bereits erwähnt, handelt es sich bei der Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung um eine sinistrale Seitenverschiebung mit lateralem als auch vertikalem Versatz. Sie streicht im Untersuchungsgebiet ENE – WSW, ist als morphologische Kerbe in der Embacher Hochebene zu erkennen und weist mehrere zehner Meter mächtigen Störungsgestein auf (Exner, 1979).

2.2 HYDROGEOLOGIE

Die Hauptentwässerung der Embacher Hochebene wird durch den Kirch- und Salaterbach gewährleistet. Ersterer entspringt im Gebiet zwischen Kapelleralm, Kranhobel und Hörndl (nordwestlich des Anthaupten) (Abbildung 9) im Süden von Embach in 1760 m Höhe. Er fließt nach Norden bis er in Embach Ort seine Richtung nach NE ändert und nach insgesamt 5,9 km in den Reitbach mündet. (Gebietsbauleitung für Wildbach- und Lawinenverbauung, 1962). Das Einzugsgebiet des Kirchbaches beträgt für die Abflussmessstelle KB01 ca. 4,4 km² (Abbildung 9).

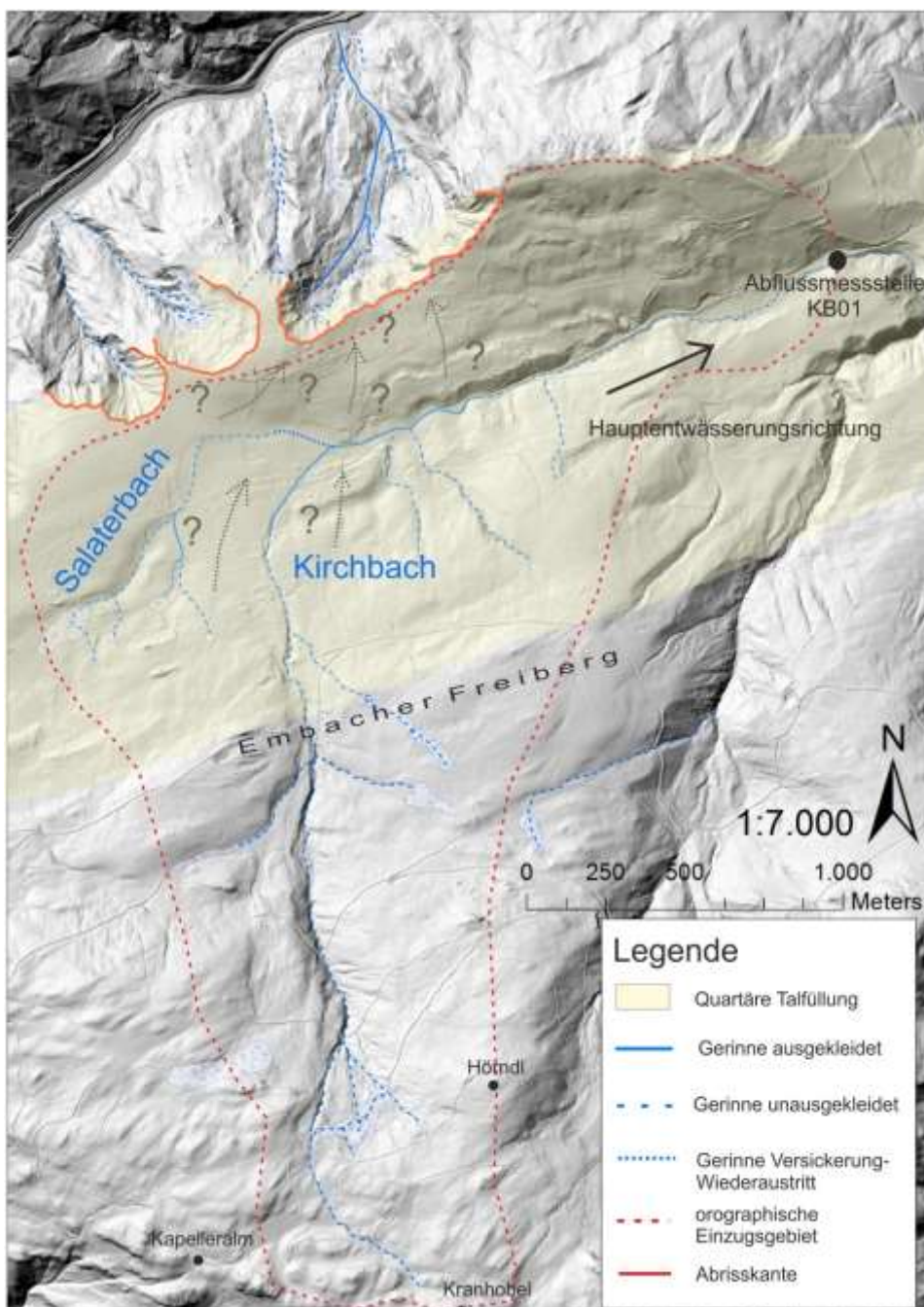


Abbildung 9
Darstellung des Entwässerungssystems auf der Embacher Hochebene mit dem orographischen Einzugsgebiet des Kirch- und Salaterbaches

Der Salaterbach, welcher sich im Einzugsgebiet des Kirchbaches befindet, nimmt von diesen 4,4 km² ca. 0,5 km² ein (Forsttechnische Abteilung für Wildbach- und Lawinenverbauung, 1983). Er entspringt in einer Höhe von 1040 m an den Nordwesthängen des Embacher Freiberges und fließt in nordöstliche bzw. östliche Richtung bis er nach ca. 1 km in den Kirchbach mündet (Gebietsbauleitung für Wildbach- und Lawinenverbauung, 1962).

2.2.1 BISHERIGE HYDROGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Das bisherige hydrogeologische Modell des gesamten Untersuchungsgebietes wurde von Stiny 1911 erstellt. Er verweist auf drei verschiedene Wässer, die zur Schutterzeugung und –verfrachtung in der Plaike beitragen:

- Sickerwasser: Dieses tritt im Liegenden der Sande und Schotter aus, wobei das Grundgebirge als Stauer fungiert. Die Schutthalden am Fuße der Abrisskante unterliegen dadurch einer starken, immerwährenden Durchfeuchtung, welche in weiterer Folge zur Schuttverfrachtung in der Plaike führt. Das Sickerwasser spielt also eine wichtige Rolle für die Bewegungen in der Embacher Plaike.
- Schwitzwasser: An der Unterseite der Seetone bzw. des Geschiebemergels, wie Stiny (1911) diese bezeichnet, sickert Schwitzwasser. Die Seetone sind hochgradig feucht und fungieren daher schon bei geringer Böschungsneigung als Gleitfläche für die hangende Moräne.
- Tagwasser (=Niederschlagswasser): Der Niederschlag spielt für Stiny (1911) eine geringere Rolle als die Sickerwässer. Er führt lediglich zur Bildung von Erdpfeilern und Erdpyramiden.

Das Sickerwasser, welchem Stiny (1911) die größte Bedeutung zuschreibt, stammt von einem in der Tiefe vorhandenen „Grundwassersee“, der vom Kirch- und Salaterbach gespeist wird. Bei einer hohen Wasserführung der Bäche versickert sehr viel Wasser, in Folge dessen sich der Grundwasserspiegel dieses Sees konkav nach oben wölbt. Zur Embacher Plaike hin fällt der Grundwasserspiegel dann ab und Wasser tritt an der Grenze Schotter/Sand und Grundgebirge aus (Abbildung 10). Während Trockenperioden nimmt der Höhenunterschied zwischen Austrittstellen und Wölbungshöhepunkt des Grundwassersees ab, somit verringert sich der hydraulische Gradient und weniger Wasser tritt in der Plaike aus. Dabei verweist Stiny (1911) zusätzlich auf die Unabhängigkeit des Schwitzwassers vom Grundwassersee.

Er führte auch im Zuge seiner Untersuchungen einen Markierungsversuch mittels Kochsalzlösung durch, welche in den Kirch- und Salaterbach eingespeist wurde. Aufgrund von Chlorsilberausfällungen an einigen Quellen in der Plaike, sah er den Beweis einer hydraulischen Verbindung zwischen den Bächen und der Plaike sowie den Nachweis, dass die Bewegungen des „Schuttgletschers“ auf das austretende Grundwasser zurückzuführen ist und nicht auf das Niederschlagswasser (Stiny, 1911).

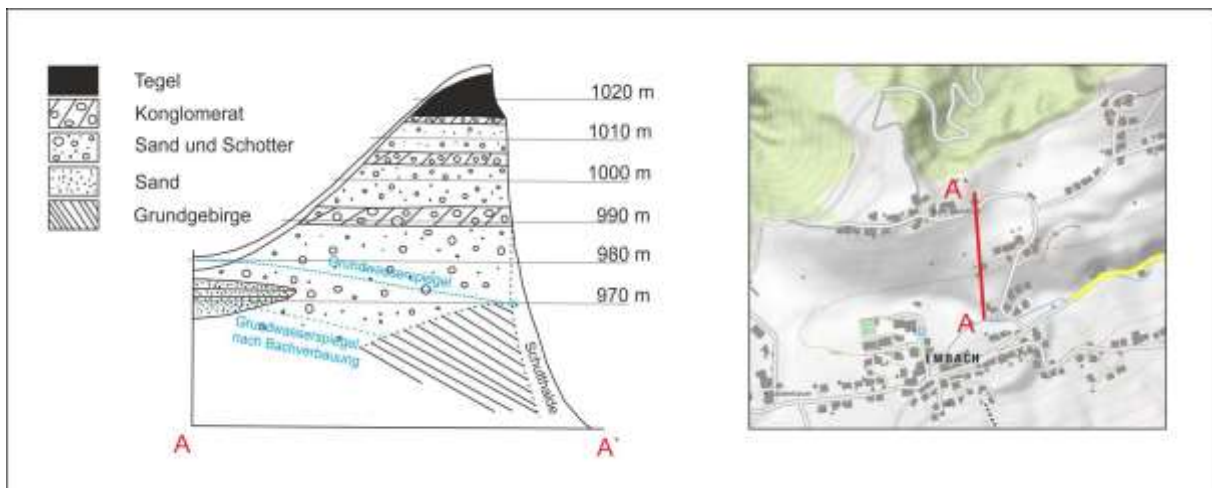


Abbildung 10 Schematische Darstellung des Profils der Embacher Hochebene nach Stiny (1911) mit seinen hydrogeologischen Vorstellungen. Die Lage des Profils ist rechts in der Karte (www.bergfex.at, Letztstand am 23.03.2016) eingetragen.

Insond Ges.m.b.H. (1970) führte 1967/68 Bohrungen auf der Embacher Hochebene sowie in der Plaike selbst durch. Die Lage dieser ist in Abbildung 11 ersichtlich. In drei von fünf Bohrungen (3, 7 und 8) konnte auf der Hochebene der Grundwasserspiegel erreicht werden, Grundgebirge allerdings in keiner. In Tabelle 2 ist der Name der Bohrung, die Seehöhe der Geländeoberkante (GOK), sowie die Seehöhe des Grundwasserspiegels ersichtlich. Es wird darauf hingewiesen, dass ungefähr in derselben Seehöhe wie der des Grundwasserspiegels Quellen in der Plaike anzufinden sind. Als Stauer wird ein sandig-schluffiger Horizont angegeben, welcher von Ost nach West von 939 m ü. A. auf 946 m ü. A. ansteigt. Die Schotter und Kiese der Embacher Hochebene weisen eine sehr hohe Wasserdurchlässigkeit auf, was durch Spülverlust und geoelektrische Untersuchungen dokumentiert ist (Insond Ges.m.b.H, 1970).



Abbildung 11 Lage der Bohrungen der Insond Ges.m.b.H. in den Jahren 1967 und 1968 (1, 7, 8, 9) und der Geoconsult ZT-GmbH im Jahre 1995 (BL1/95, BL2/95, BL3/95) (Karte aus www.bergfex.at, 24.03.2016).

Tabelle 2 Grundwasserspiegelhöhen auf der Embacher Hochebene, eruiert aus den Bohrungen der Insond Ges.m.b.H (1970).

Bohrung	GOK [m. ü. A]	Grundwasserspiegel [m. ü. A]
3	1010,0	939,0
7	1002,0	946,0
8	997,6	945,6

Die Bohrung 9 in der Plaike wurde in einer Höhe von 946,9 m ü. A. angesetzt. Der Grundwasserspiegel pendelte sich während den Bohrarbeiten bei ca. 945,35 m ü. A. ein und liegt somit in den Schutthalden am Fuße der Abrisskante, darunter wird stark beanspruchtes Grundgebirge angetroffen (Insond Ges.m.b.H, 1970).

Weitere Informationen bezüglich der hydrogeologischen Verhältnisse in der Embacher Plaike wurden in einem Technischen Bericht der Geoconsult ZT-GmbH im Jahre 1996 angeführt. Dabei wurden in zwei Begehungen Quellen mit deren Abfluss, Wassertemperatur und elektrische Leitfähigkeit aufgenommen. Die hydrogeologischen Aufnahmen zeigen, dass Quellen mit hohen elektrischen Leitfähigkeiten auftreten und der gesamte Oberflächenabfluß in der Plaike relativ gering ausfällt. Die Geoconsult führt die hohen Leitfähigkeiten auf die Möglichkeit erhöhter Karbonatgehalte im Phyllit zurück. Der geringe Oberflächenabfluß wird mit der hohen Durchlässigkeit der Rutschmasse und ein unterirdisches Zufließen der Grundwässer zur Salzach (Geoconsult ZT-GmbH, 1996) begründet.

Im Zuge dieser Erkundungen wurden drei Bohrungen in der Embacher Plaike durchgeführt (Abbildung 11), wobei zwei davon am Fuß und eine in der Mitte der Plaike abgeteuft wurden. Bohrungsname sowie Seehöhe der GOK und des Grundwasserspiegels sind in Tabelle 3 angeführt (Geoconsult ZT-GmbH, 1996).

Tabelle 3 Grundwasserspiegelhöhen in der Embacher Plaike, erhalten durch die Bohrungen der Geoconsult ZT-GmbH (1996)

Bohrung	GOK [m. ü. A]	Grundwasserspiegel [m. ü. A]
B1/95	835,43	832,63
B2/95	705,84	698,74
B3/95	689,77	674,67

2.2.2 BISHERIGE MAßNAHMEN

Folgende Aufstellung gibt die bisherigen ingenieurtechnischen Sicherungsmaßnahmen an der Embacher Plaike wieder:

- 1940 bis 1959: Entwässerungsmaßnahmen in der Embacher Plaike (Forsttechnische Abteilung für Wildbach- und Lawinenverbauung, 1983). Dabei wurden Sickerschlitze mit Tagwasserschalen eingebaut, welche bis zur Salzach hinunterreichen (Dietrich, 1988).
- 1940 bis 1960: Wiederaufforstungsmaßnahmen (Dietrich, 1988).
- 1960 bis 1970: Sanierung der oben genannten Entwässerungsmaßnahmen (Forsttechnische Abteilung für Wildbach- und Lawinenverbauung, 1983).
- 1958 und 1959: Erste Verbauungsmaßnahmen im Kirchbach (Forsttechnische Abteilung für Wildbach- und Lawinenverbauung, 1983).
- 1965 bis 1980: Verbauung des Kirchbaches und des Salaterbaches (Forsttechnische Abteilung für Wildbach- und Lawinenverbauung, 1983).
- 1985 und 1986: Sanierungsmaßnahmen in der Embacher Plaike und Entwässerungsmaßnahmen in der Taubenlehenplaike (Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, 2002).
- 1995: Sanierung des Aufschließungsweges in der Embacher Plaike (Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, 2002).

Bezüglich der Sicherungsmaßnahmen der Salzach wurde 1906 in einem Projekt die Erstellung einer rechtsseitigen, 356 m langen Ufermauer und einer Grundschwelle beantragt (Gebietsbauleitung – Wildbach- und Lawinenverbauung, 1961). Laut einer Niederschrift im Jahre 1951, aufgenommen vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft in Embach wurde 1908 eine Betongrundschwelle mit einer Sturzhöhe von 2 m errichtet, die allerdings im Baugeologischen Gutachten von Stini 1951 als sehr baufällig beschrieben wird. 1946 fanden Verhandlungen über den Einbau von drei Sohlschwellen statt (Gebietsbauleitung – Wildbach- und Lawinenverbauung, 1961). Heute ist in der Salzach eine Sohlschwelle zu sehen. Detaillierte Angaben über Alter und Ausführung dieser Sohlschwelle konnten nicht ausgehoben werden. Allgemeine Grundlagen zu Massenbewegungen.

2.2.3 ARTEN UND AUSLÖSER VON MASSENBEWEGUNGEN

Arten von Massenbewegungen

Massenbewegungen können auf Basis verschiedener Parameter klassifiziert werden, eine sehr praxisorientierte Einteilung von Massenbewegungen bietet jene von Varnes (1978) (Tabelle 4), welche den Bewegungsmechanismus und die Materialzusammensetzung einer Massenbewegung berücksichtigt (Varnes, 1978).

Oft ist eine klare Zuordnung zu einer Art von Massenbewegung nicht möglich und man muss verschiedene Typen miteinander kombinieren (Zangerl et al., 2008). So ist vermutlich auch bei der Embacher Plaike ein Zusammenspiel verschiedener Bewegungsmechanismen gegeben.

Tabelle 4 Klassifizierung von Massenbewegungen nach Varnes (1978).

TYPE OF MOVEMENT		TYPE OF MATERIAL		
		BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
			Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS		Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES		Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	Rock slide	Debris slide	Earth slide
	TRANSLATIONAL			
LATERAL SPREADS		Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS		Rock flow (deep creep)	Debris flow (soil creep)	Earth flow
COMPLEX		Combination of two or more principal types of movement		

Definition einiger für die Embacher Plaike vermutlich relevanter Bewegungstypen:

- Debris Flows: Lockergestein, welches eine gewisse Zusammensetzung aufweist sowie einen hohen Wassergehalt und sich sehr schnell entlang von Kanälen fortbewegt. (Hungr, Leroueil & Picarelli, 2013; Lotter & Haberler, 2013) (Abbildung 12).
- Hangschuttkriechen: Langsames Fließen im Lockergestein (Zangerl et al., 2008).
- Translationsgleiten: Festgestein oder Lockergesteinpaket, das als Ganzes auf einer Gleitzone abrutscht und in einen Fließprozess übergehen kann (Hungr, Leroueil & Picarelli, 2013; Lotter & Haberler, 2013) (Abbildung 12).

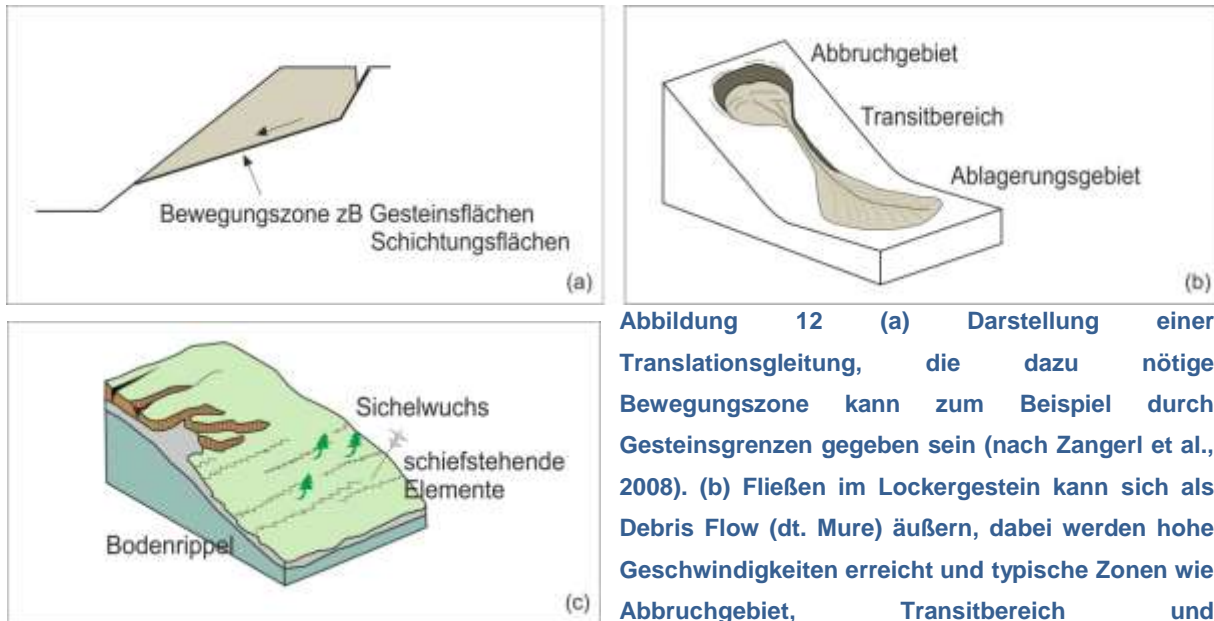


Abbildung 12 (a) Darstellung einer Translationsgleitung, die dazu nötige Bewegungszone kann zum Beispiel durch Gesteinsgrenzen gegeben sein (nach Zangerl et al., 2008). (b) Fließen im Lockergestein kann sich als Debris Flow (dt. Mure) äußern, dabei werden hohe Geschwindigkeiten erreicht und typische Zonen wie Abbruchgebiet, Transitbereich und Ablagerungsgebiet bilden sich aus (nach Zangerl et al., 2008). (c) langsames, oberflächennahes Boden- oder Hangschuttkriechen; Anzeichen dafür sind Bodenrippel, Sichelwuchs und schiefstehende Elemente (nach Lotter & Haberler, 2013)

Auslöser von Massenbewegungen

Bei der Auslösung von Massenbewegungen spielen zumeist mehrere Faktoren zusammen. Als Hauptfaktoren für die Auslösung von Rutschung sind die Topographie, das Wasser und die Geologie, wie es in der Embacher Paiké der Fall ist, aber auch Naturkatastrophen wie z.B.: Erdbeben können als Auslöser fungieren.

Beschreibung der Hauptfaktoren:

- Schwerkraft (Lotter & Haberler, 2013)
- Änderung der Topographie (z.B.: Hangunterschneidung, Straßenbau, etc.) führt zu Spannungsumlagerungen und wiederum zu Instabilitäten (Zangerl et al., 2008) (Abbildung 13).
- Grundwasser: Zum einen setzt der Porenwasserdruck die effektive Spannung im Lockermaterial herab und somit auch die Scherfestigkeit. In weiterer Folge überwiegen die treibenden Kräfte gegenüber den Zurückhaltenden und es kommt zum Versagen des Materials (Zangerl et al., 2008). Zum anderen führt die Erhöhung der Strömungskraft, welche zum Beispiel durch Steigen des Grundwasserspiegels (Erhöhung des hydraulischen Gradienten) bei vermehrten Niederschlägen gewährleistet ist, zur Verstärkung der treibenden Kräfte und wiederum zur Rutschung. Die Grundwasserneubildung ergibt sich durch lange

Niederschlagsperioden und Schneeschmelze. Besonders Hangmuren (engl.: Debris Flows) werden zusätzlich durch Starkniederschlagsereignisse getriggert (Zangerl et al., 2008).

- Geologie: Ungünstiges Schieferungs- bzw. Schichteinfallen; Ausbildung von Gleithorizonten (z.B.: Ton); Grundwasserstauer (Zangerl et al., 2008).

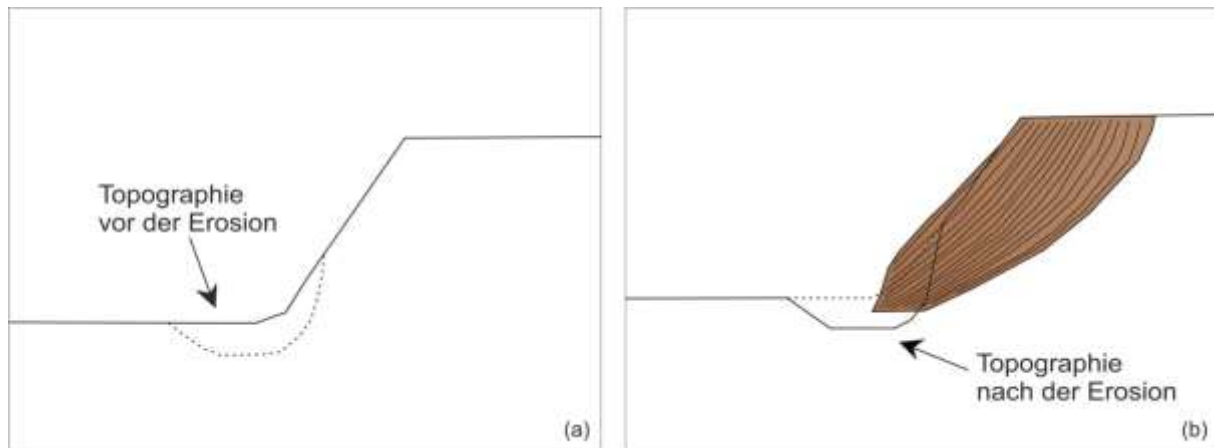


Abbildung 13 Die Erosionstätigkeit eines Flusses führt zu Spannungsumlagerungen und in weiterer Folge zum Hangversagen. (a) Topographie vor der Erosion des Flusses. (b) Topographie nach der Erosion und Verschiebungsbahn des Materials (nach Zangerl et al., 2008).

2.3 GRUNDLAGEN ZUR EMBACHER PAIKE

2.3.1 HISTORIE DER EMBACHER PLAIKE

Das heutige Erscheinungsbild der Embacher Plaike wurde Großteils mit einer Rutschung im Jahre 1794 geschaffen, bei der die Salzach durch einen natürlichen Damm aufgestaut wurde und sich ein 6 km langer See bildete. Erst drei Jahre später kam die Bewegung zur Ruhe und die Salzach konnte sich durch den Damm durcharbeiten, wobei sich der Verlauf des Flusses nach Norden verschob (Wagner, 1879). Die Plaike gibt es allerdings schon länger. Erste Überlieferungen wurden von Lahnsteiner (1960) in einer Chronik zusammengestellt: 1575 wurde ein Weg zerstört, 1598 ein Bauernhaus, bei dem 7 Menschen ums Leben kamen.

Es sind auch jüngere Ereignisse aus dem Jahre 1935 und 1947/1948 dokumentiert. Bei Ersterem rutschten 350.000 m³ Gesteinsmasse ab, die bei einer Seehöhe von 880 m ü. A. zum Stillstand kam (Dietrich, 1988). Dietrich (1988) beschreibt um einige Meter abgesackte Schollen im westlichen Bereich der Abrisskante, diese sind heute noch vorzufinden. 1996

wurde ein Bericht der Geoconsult ZT-GmbH im Auftrag der Salzburger Landesregierung mit Ergebnissen zu geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen erstellt, da es auch in den Jahren 1993 und 1994 zu vermehrten Bewegungen in der Plaike gekommen ist. Dabei wurden Messungen an bestimmten Punkten im Bereich des Hangfußes durchgeführt (Geoconsult ZT-GmbH, 1996), an den gleichen Punkten wurden Folgemessungen bis 2001 durchgeführt. Stellenweise treten Kriechbewegungen mit bis zu 36 cm Versatz jährlich auf (Amt der Salzburger Landesregierung, 2001).

2.3.2 AUFBAU DER EMBACHER PLAIKE

Die Embacher Plaike weist eine Fläche von ca. 0,4 km² auf und zieht sich von ca. 1035 Höhenmeter bis zur Salzach mit einer Höhe von 670 m ü. A. hinunter. Die Länge erreicht dabei ca. 1000 m. Die Breite der Plaike beträgt an der Abrisskante ca. 600 m und wird nach unten hin schmaler. Die Länge der Abrisskante wird auf 1000 m geschätzt (Abbildung 14).

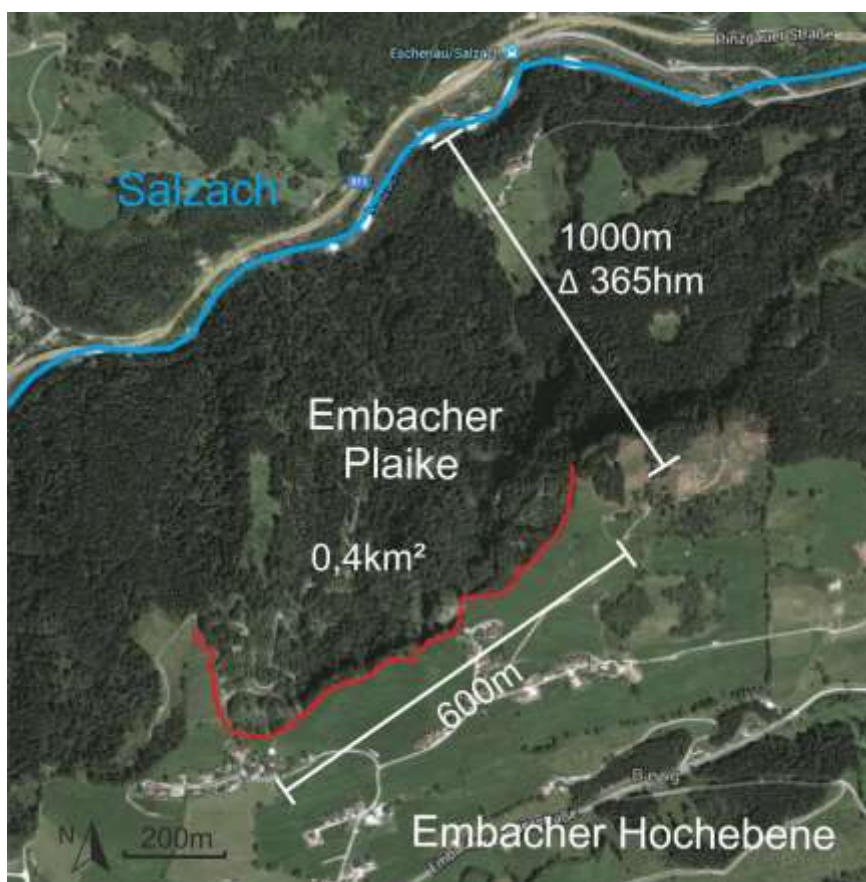


Abbildung 14 Die Embacher Plaike und ihre räumliche Ausdehnung.

Die Abrisskante bildet eine ca. 40 m mächtige Steilwand aus quartären Ablagerungen (Dietrich, 1988) und zeigt einen muschelförmigen Anriss mit drei größeren Einbuchtungen, die von Stiny (1911) als Lappen bezeichnet werden. Diese lauten von Ost nach West Wetterkreuz-, Schober- und Berger-Lappen (Abbildung 15 und Abbildung 16) (Stiny, 1911). Weiter kommt es an der Abrisskante zur Bildung von Schottertürmen (Abbildung 16c), welche sich durch unterschiedliche Widerstandsfähigkeiten des Konglomerates und der Sand- und Kiesbänke formen (Stiny, 1911; Dietrich, 1988). Im Westen und im Osten wird die Embacher Plaike von Felsrippen begrenzt (Abbildung 15), die jeweils im Westen einen steilen Abbruch zeigen, zum Osten hin allerdings flacher auslaufen. Die in der Plaike auftretenden Festgesteine, die zum Teil tektonisch stark beansprucht sind, bestehen hauptsächlich aus Schwarzphyllit, Grünphyllit, Serizitphyllit und Metadiabas, welcher allerdings nur im oberen Bereich des Brandkopfes aufgeschlossen ist (Dietrich, 1988).

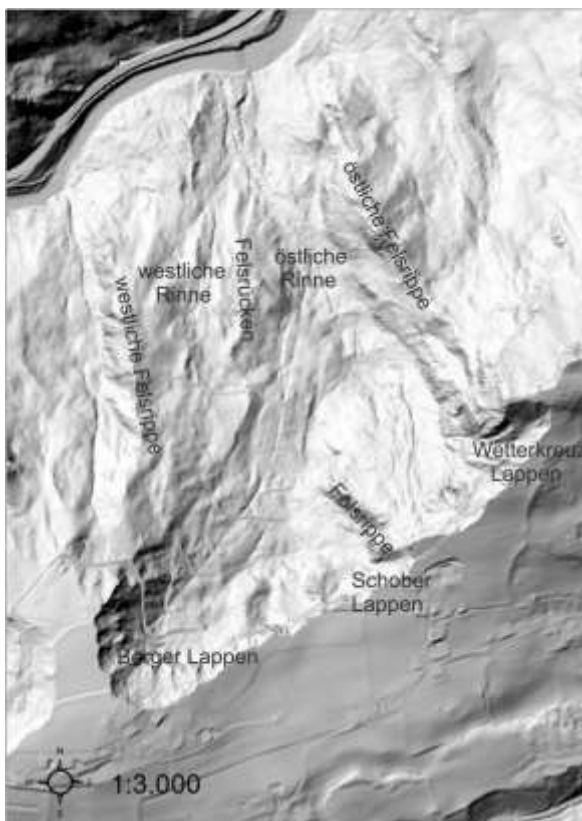


Abbildung 15 Darstellung zur Veranschaulichung wichtiger Charakteristika im Aufbau der Embacher Plaike. Rechtes Foto wurde von der gegenüberliegenden Bergseite in Richtung Süden aufgenommen.

Unter der Abrisskante sammeln sich steile Schuttfächer und verhüllen somit an vielen Stellen die Grenze zwischen Grundgebirge und quartären Ablagerungen. Im oberen Bereich der Plaike ist das Grundgebirge größtenteils mit Lockermaterialien bedeckt, zu erwähnen sei eine ca. 150 m breite Felsrippe, die sich östlich des Schober-Lappens bis auf 880 m ü. A. hinunterzieht (Abbildung 15) (Dietrich, 1988).

Es folgt nach unten hin flacheres Gelände bis man in etwa mittig der Plaike auf einen Felsrücken (Abbildung 15) trifft, der durch mehrere Aufschlüsse gekennzeichnet wird. Dieser teilt die Plaike in zwei „Rinnen“, eine tiefer eingeschnittene, östliche Rinne und eine weniger tiefe, breitere, westliche Rinne (Abbildung 15). Das Hauptentwässerungsnetz der Plaike verläuft entlang der östlichen Rinne (Dietrich, 1988). Im Bereich des Felsrückens wird das Gelände steiler, ab dem nördlichen Ende des Felsrückens wieder flacher.

Im unteren, mittleren Bereich der Embacher Plaike sind keine Aufschlüsse zu finden, das Gelände zeigt eine für Massenbewegungen typische Morphologie mit reliktschen, kleinen Rutschungen. Westlich und östlich des Mündungsbereiches des Hauptgerinnes fällt eine steile Erosionsböschung mit mehreren kleinen Rutschungen zur Salzach hin ab, während im Mündungsbereich das Gelände relativ flach zum Ufer hin ausläuft (Dietrich, 1988).



Abbildung 16 (a) Luftbildaufnahme des Wetterkreuz- (WL) und Schober-Lappens (SL) sowie (b) des Berger-Lappens. (c) Schottertürme an der Abrisskante der Embacher Plaike.

Im Zuge der geologischen Untersuchungen der Geoconsult ZT-GmbH wurden entlang der Embacher Plaike auch geophysikalische Untersuchungen durchgeführt. Diese gaben Auskunft über die Mächtigkeit des Rutschkörpers und den Verlauf der Felslinie.

Wie in Abbildung 17 ersichtlich ergeben sich Bereiche mit höherer Schuttakkumulation und Bereiche mit einer geringen Auflage an Lockermaterial. Diese lassen sich gut mit der Morphologie korrelieren: Im flachen Gelände wird im Gegensatz zu steileren Partien mehr Material angesammelt. Am meisten Lockermaterial findet sich im Fußbereich der Plaike wieder. Hierbei ergibt sich eine maximale Mächtigkeit von 40,5 m, typische Überlagerungsmächtigkeiten betragen allerdings 25 bis 30m. Die Akkumulationsfähigkeit am Hangfuß ist vor allem auch durch ein älteres Flussbett der Salzach gegeben. Dieses verläuft ungefähr 70 bis 100 m südlicher und ca. 7,2 m tiefer als der heutige Salzachverlauf. Der bereits erwähnte Felsrücken in der Mitte der Plaike wird im Gegensatz dazu nur von 5–10 m mächtigem Lockermaterial überlagert. Im oberen flachen Bereich nimmt die Mächtigkeit wieder zu und erreicht sogar an manchen Positionen 20-30 m Überlagerungsmächtigkeit (Geoconsult ZT-GmbH, 1996).

Die Geoconsult ZT-GmbH teilt das Plaikengebiet im Hinblick der Mächtigkeit in drei Bereiche und gibt in der Tabelle 5 eine Berechnung des Gesamtvolumens an Lockermaterial sowie die dafür nötigen Parameter Breite, Länge und Mächtigkeit an. Letztere wurde aus den geologischen Profilen (Abbildung 17) ermittelt, welche wiederum das Resultat der geophysikalischen Untersuchungen sind (Geoconsult ZT-GmbH, 1996).

Tabelle 5 Berechnung des Gesamtvolumens (Geoconsult ZT-GmbH, 1996)

Bereich	N-S Erstreckung (m)	E-W Erstreckung (m)	mittlere Mächtigkeit (m)	Volumen (m³)
<i>Oberer</i>	200	500	15	1.500.000
<i>Mittlerer</i>	450	250	10	1.250.000
<i>Unterer</i>	200	300	25	1.500.000
<i>Gesamt</i>				4.125.000

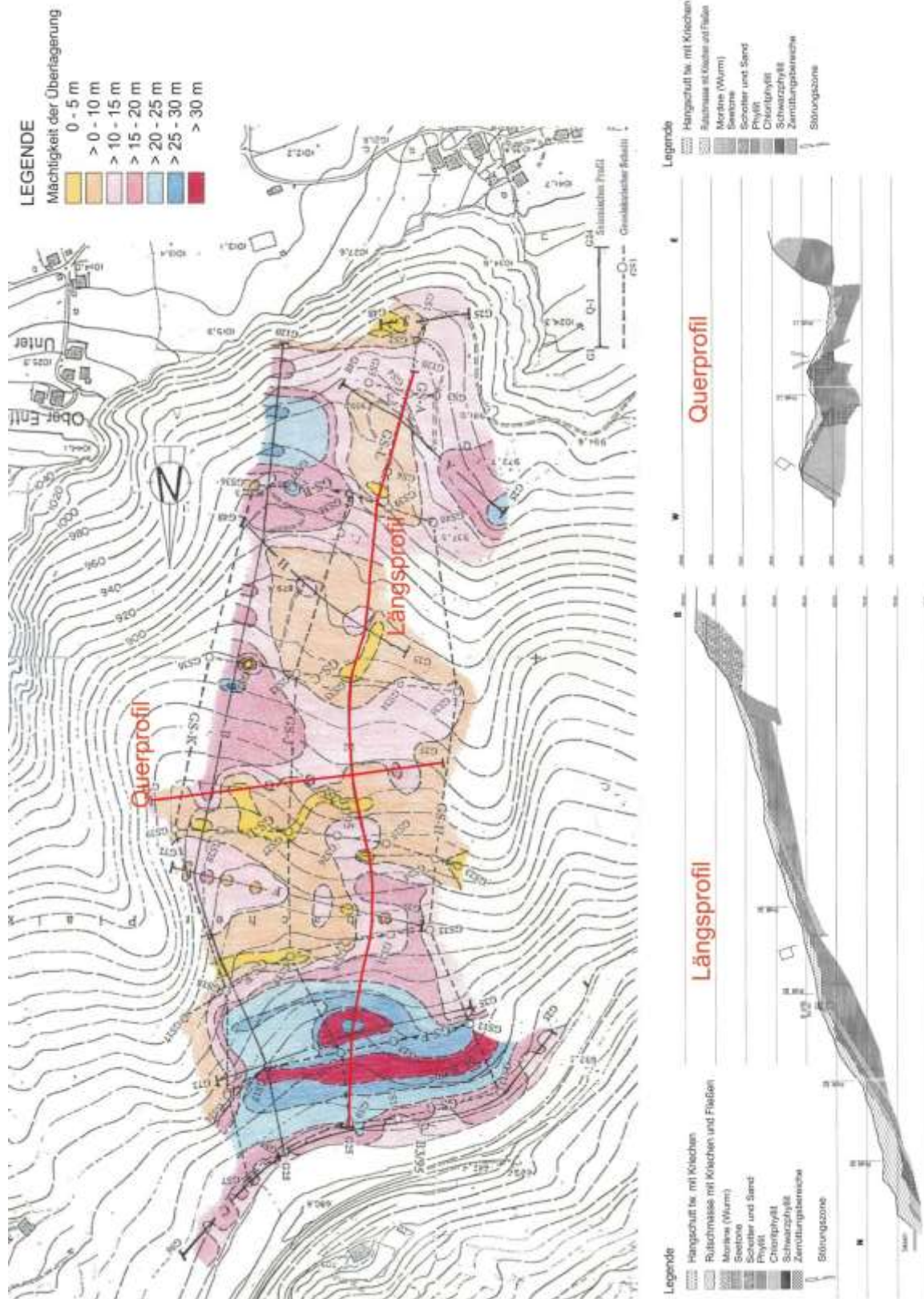


Abbildung 17 Darstellung der Überlagerungsmächtigkeit über dem Grundgebirge sowie zwei Beispiele der dazu nötigen Längs- und Querprofile (nach Geoconsult ZT-GmbH, 1996)

2.3.3 ART UND AUSLÖSER DER EMBACHER PLAIKE

Art der Massenbewegung

Wie die Bewegungsmessungen im unteren Teil der Embacher Plaike aus den 90iger Jahren zeigen (Geoconsult ZT-GmbH, 1996; Amt der Salzburger Landesregierung, 2001), ist ein langsames Fließen im Lockergestein vorhanden, welches in der deutschen Literatur als Hangschuttkriechen (Zangerl et al., 2008) zu bezeichnen ist (Abbildung 12). Ansonsten wurde in der Literatur auf keine anderen Bewegungstypen z.B.: nach der Einteilung von Varnes (1978) hingewiesen.

Auslöser der Embacher Plaike

In der Embacher Plaike gelten als Hauptfaktoren für die Auslösung der Rutschung die Topographie, das Wasser und die Geologie. Ersteres zeigt sich in den übersteilten Hängen der Taxenbacher Enge, wodurch die Schwerkraft bereits ihren Teil zur Bewegung beitragen kann (Lotter & Haberler, 2013). Die Änderung der Topographie ist durch die Erosionstätigkeit der Salzach am Plaikenfuß gegeben und führt zur Hangunterschneidung, das Material hat Platz von oben nach zu rutschen (Zangerl et al., 2008) (Abbildung 13). An der Hangunterschneidung ist gut zu sehen wie die Faktoren der Topographie und der Salzach ineinandergreifen.

Die Grundwassersituation der Embacher Hochebene und Plaike stellt einen dominierenden Einflussfaktor bezüglich der Bewegungsaktivität und Stabilität der Rutschung dar. Während langen Niederschlagsperioden, Schneeschmelze und Starkniederschlagsereignisse wird in der Embacher Plaike erhöhte Bewegung dokumentiert (Stiny, 1911; Geoconsult ZT-GmbH, 1996).

Das Versagen des Hanges wird zusätzlich durch die Geologie beeinflusst. Das Einfallen der Schieferung in nordöstliche Richtung (Dietrich, 1988), sowie das tektonisch stark beanspruchte Grundgebirge (Geoconsult ZT-GmbH, 1996), welches sowohl als Stauer als auch Gleitschicht fungieren kann, tragen ihren Teil dazu bei.

3 UNTERSUCHUNGSMETHODEN

3.1 HYDROGEOLOGISCHE KARTIERUNG

Die hydrogeologische Kartierung dient als Basis für etwaige hydrogeologische Fragestellungen und als Grundlage aller weiteren Untersuchungsmethoden (Coldewey & Göbel, 2015). Mit Hilfe der Kartierung werden die Quellen für die Hydrochemie, die Abflussmessungen, sowie die Eingabestellen und Beobachtungsstellen für den Markierungsversuch ausgewählt.

Bei der hydrogeologischen Kartierung werden sowohl hydrogeologische, geologische als auch anthropogene Aspekte aufgenommen (Coldewey & Göbel, 2015). Im Zuge der Kartierung der Embacher Plaike und Hochebene wurde die Lithologie, struktureologische Daten, Massenbewegungsmaterial, Abrisskanten, natürliche und gefasste Quellen, Drainagen, Vernässungen, Versinterungen sowie natürliche und verbaute oberirdische Abflüsse aufgenommen.

Im Weiteren wurde während den Kartierarbeiten an den Quellen Feldparameter wie Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Schüttung gemessen. Mit dem Messgerät Cond 3110 der Firma WTW wurde die Temperatur und die elektrische Leitfähigkeit aufgenommen, während der pH-Wert mit einem SenTix pH-Messgerät ebenfalls der Firma WTW gemessen wurde.

Die Schüttung wurde meist mittels Behältermessung bestimmt. Dabei wird das gesamte Wasservolumen, das an einer Quelle, Drainage o.ä. austritt, in einem Messbecher über eine definierte Zeitspanne erfasst. Die Schüttung ergibt sich durch Division der Menge durch die Zeit und wird in l/s angegeben.

Als indirekte Messmethode zur Bestimmung größerer Schüttungsmengen wurde die Salzverdünnungsmethode angewandt. Diese wurde vorwiegend zur Bestimmung der Wassermenge des Kirchbaches herangezogen.

Als Kartengrundlage wurde die Österreichische Karte 1:50 000 sowie ein ALS (Airborne Laser Scan) Höhenmodell mit einer Auflösung von 1 m verwendet. Die Karten wurden vom Land Salzburg, Landesplanung – SAGIS zur Verfügung gestellt.

Zur Herstellung einer digitalen, hydrogeologischen Karte sowie zur Auswertung der Daten wurde ArcGIS 10.3 verwendet.

3.2 HYDROCHEMIE UND SCHWEFELISOTOPIE

3.2.1 HYDROCHEMIE

In der Natur kommt Wasser nicht in reiner Form vor. Es transportiert Stoffe, welche vorher im Wasser gelöst wurden und auch wieder ausfallen können. Aus der chemischen Zusammensetzung des Wassers und der Interaktion mit seiner Umgebung kann man auf den Bewegungspfad und der Herkunft des Grundwassers schließen. Dabei ist das Ziel der hydrochemischen Untersuchungen, die Vorgänge, die zur chemischen Zusammensetzung führten, zu bestimmen (Hölting & Coldewey, 2013).

Für die hydrochemischen Untersuchungen wurden im Gelände die Temperatur, die elektrische Leitfähigkeit und der pH-Wert sowie die organoleptischen Merkmale wie Färbung, Trübung und Geruch aufgenommen. Im Labor wurden überdies chemischen und physikalischen Parameter analysiert. Dabei wurden folgende Kationen und Anionen bestimmt: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^- , NO_2^- , NO_3^- . Die Grundwasseranalysen wurden zum einen vom Salzburger Landeslabor, zum anderen von der AGROLAB Austria GmbH, im Auftrag des Ingenieurbüros Moser Wasser GmbH, durchgeführt.

DARSTELLUNG UND AUSWERTUNG DER DATEN

Für die Darstellung und zur weiteren Auswertung der Untersuchungsergebnisse werden Einzeldiagramme und Sammeldiagramme verwendet. Einzeldiagramme, wie z.B. Säulendiagramme und Kreisdiagramme dienen der Darstellung von einzelnen Wasserproben, während mit Hilfe von Sammeldiagrammen mehrere Datensätze direkt und sehr anschaulich verglichen werden können. Zu diesen zählen unter anderem Piper-Diagramme und Schöller-Diagramme (Hölting & Coldewey, 2013), die mit Hilfe der Software Aquachem erstellt wurden.

Auch die Darstellung von Ionen-Verhältnissen gehört in die Kategorie der Sammeldiagramme. Dabei werden geohydrochemisch wichtige Ionen oder auch Ionengruppen separat ausgewertet und untersucht (Hölting & Coldewey, 2013).

PROBENNAHME UND MESSSTELLEN

Auf Basis der hydrogeologischen Kartierung und der dabei aufgenommenen Parameter wurden 20 Messstellen (Tabelle 6) für die hydrogeochemische Analyse ausgewählt, wobei 11 im Plaiken Gebiet und 9 auf der Embacher Hochebene situiert sind. Die Lage der Messstellen ist im Anhang A ersichtlich.

Tabelle 6 Lage und Bezeichnung der 20 Messstellen für die hydrogeochemische Analyse.

Lage	Messstelle	Lage	Messstelle
Embacher Plaike	EPQ07	Embacher Hochebene	EPQ29
	EPQ09		EPQ34
	EPQ10		EPQ44
	EPQ13		EPQD24
	EPQ16		EPQD42
	EPQ17		EPQV27
	EPQD02		EPQV28
	EPQV01		EPQV38
	EPQV15		EPA35
Nachbarplaiken West	EPQ21		
	EPQV19		

Zwei Probenahmen der Messstellen wurden durchgeführt, wobei die erste am 26.05.2015, die zweite am 31.08.2015 stattfand. Die Probenflaschen wurden vom Landeslabor Salzburg und vom Ingenieurbüro Moser Wasser GmbH zur Verfügung gestellt und direkt nach der Probenahme an das jeweilige Labor überbracht (Landeslabor Salzburg und AGROLAB Austria GmbH).

VERSINTERUNG

Für eine Kalzitversinterung sind zum einen ein CaCO_3 Grundwasserleiter sowie eine saure Lösung notwendig. Das Wasser kann z. B. beim Durchfließen der Bodenzone an CO_2 angereichert werden, dadurch steigt der CO_2 – Partialdruck im Wasser und CaCO_3 kann gelöst werden. Sofern das Wasser eine Übersättigung an Ca^{2+} und HCO_3^- aufweist, kommt es beim Quellaustritt zur Entgasung des CO_2 , dadurch steigt der pH-Wert und CaCO_3 fällt aus. Um zu untersuchen ob ein Wasser Versinterungspotential aufweist lässt sich der Sättigungsindex (S.I.) heranziehen, welcher als Logarithmus vom Ionenaktivitätsprodukt (IAP) zum Löslichkeitsprodukt (K_L) definiert ist ($\text{S.I.} = \lg(\text{IAP}/K_L)$). Wenn der S.I. einer Mineralspezies <0 ist, ist da Grundwasser untersättigt und das Mineral wird gelöst, ist er >0 handelt es sich um eine Übersättigung und das Mineral fällt aus (Matthess, 1994).

3.2.2 SCHWEFELISOTOPIE

Die stabilen Schwefelisotope ^{32}S und ^{34}S dienen der Ermittlung der Herkunft und Geschichte von Sulfaten und Sulfiden in einem hydrogeologischen System. Dabei wird das Schwefel-Isotopen-Verhältnis und der daraus resultierende $\delta^{34}\text{S}$ Wert mit der Einheit Promille (‰) genutzt.

Formel (1) beschreibt die relative Differenz des Schwefel-Isotopenverhältnisses von einer Probe und dem des Standards für den $\delta^{34}\text{S}$ Wert, bezogen auf einen Standard (Hölting & Coldewey, 2013). Als internationaler Standard für die Schwefel-Isotopie wird die Troilit Phase (FeS) vom Canon Diablo Meteorit (CDT) verwendet mit einem $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ Isotopen-Verhältnis von 0,0450 (Clark & Fritz, 1997).

$$\delta^{34}\text{S} = \frac{R_{PrS} - R_{StS}}{R_{StS}} * 1000 \quad (1)$$

R_{PrS} = $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ Isotopen-Verhältnis der Wasserprobe

R_{StS} = $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ Isotopen-Verhältnis des Standards

Drei verschiedene Quellwässer (EPQ13, EPQV15 und EPQ17) aus dem östlichen und westlichen Bereich der Embacher Plaike wurden auf Basis der hydrogeologischen Kartierung für die schwefelisotopische Untersuchung ausgewählt (siehe Anhang A und B).

Die Schwefelisotopie wird mit Hilfe der Massenspektrometrie gemessen. Dabei werden geladene Moleküle als Strahl durch ein Magnetfeld geschossen, auf Grund ihrer Masse separiert und in einem Detektor erfasst. Der Ionenstrahl kann aus verschiedenen Quellen stammen. Das Gas-IRMS (Gas source isotope ratiomassspectrometer), welches zur Messung von leichten stabilen Isotopen, also auch Schwefel, verwendet wird, generiert den Ionenstrahl durch thermische Ionisierung einer Gasprobe (Clark & Fritz, 1997).

Für die Analyse der Schwefel-Isotopie wurde im Wege der Geologischen Bundesanstalt (GBA) an der HBLFA Franisco Josephineum durchgeführt.

3.3 ABFLUSSMESSUNGEN

Man unterscheidet direkte und indirekte Methoden zur Abflussmessung. Unter die Kategorie der direkten Methode fällt die Behältermessung, die einfachste Methode der Abflussmessung. Dabei wird das Wasservolumen innerhalb einer definierten Zeitspanne (mehrere Sekunden) in einem Messbehälter direkt erfasst, der Quotient des Volumens und der Zeit ergibt den Abfluss in der Einheit l/sec oder m³/sec (Coldewey & Göbel, 2015).

Zu den indirekten Messmethoden zählt unter anderem die am Kirchbach angewandte Salzverdünnungsmethode, welche vor allem für Gebirgsbäche mit turbulentem Fließen verwendet wird (Coldewey & Göbel, 2015). Dabei wird handelsübliches Kochsalz als Markierungsstoff verwendet und in Form einer Momentaninjektion (Integrationsmessung) in das Gewässer eingebracht (Benischke & Harum, 1984).

Eingespeist wird eine definierte Menge an Kochsalz, welche vorher in einem Gefäß zur Gänze aufgelöst wird. Die Eingabestelle befindet sich von der Messstelle aus gesehen stromaufwärts, in einem Abstand der eine vollkommene Durchmischung des Tracers mit dem Wasser des Vorfluters erlaubt (Benischke & Harum, 1984).

An der Messstelle wird mit einem Messgerät (zB. dem Gerät Q-Trace von Logotronic die elektrische Leitfähigkeit in bestimmten Messintervallen aufgenommen bis der ganze Salztracer die Messstelle passiert und sich wieder die Grundleitfähigkeit des Gewässers einstellt. Auf Grund einer im Gelände durchgeführten Kalibrierung erhält man einen Kalibrationskoeffizienten mit dem die elektrischen Leitfähigkeitswerte in Konzentrationen umgerechnet werden. Daraus ergibt sich eine Tracerkonzentrationsdurchgangskurve, die in Zusammenhang mit nachfolgender Formel (2) (Benischke & Harum, 1984) den Abfluss eruiieren lässt (Benischke & Harum, 1984; Logotronic, 1998).

$$Q = \frac{M}{E \int_0^t (C - C_0) dt} \quad (2)$$

Q = Abfluss (l/sec)

M = Eingabemenge (mg)

E = Kalibrationskoeffizient (-)

C = elektrische Leitfähigkeit (µS/cm)

C₀ = elektrische Grundleitfähigkeit (µS/cm) = Grundmineralisierung des Gerinnes

t = Durchgangszeit (sec)

Voraussetzungen für die Anwendung dieser Formel sind folgende Annahmen (Benischke & Harum, 1984):

- Konstante Schüttung während der Messung
- Vollkommene Durchmischung des Tracers mit dem Gerinne
- Gleichbleibende Grundmineralisierung des Gerinnes

Das Q-Trace führt die Berechnung der Schüttung unter Anwendung der Formel 2 automatisch im Gelände durch.

MESS- UND ANALYSEMETHODE

Ein Abflussprofil spiegelt die Ab- meistens aber die Zunahme der Schüttung entlang eines Gerinnes wieder. Dabei werden sowohl oberirdische Zuflüsse als auch Grundwasserzufluss in den Vorfluter miteinbezogen. Kennt man die Gesamtschüttung aller oberirdischen Zuflüsse kann man schätzungsweise den Zu- oder Abfluss des Grundwassers eruieren (Hölting & Coldewey, 2013).

Im Untersuchungsgebiet wurde diese Messmethode in folgender Weise angewendet:

Embacher Plaike und Hochebene:

Die Abflussmessungen in der Embacher Plaike und auf der Hochebene wurden bis auf den Kirchbach mittels Behältermessung durchgeführt. An den 20 wichtigsten Messstellen wurden im Laufe der Geländearbeiten mindestens einmal im Monat Messungen durchgeführt.

Kirchbach:

Von Juni bis Oktober wurde einmal monatlich an drei verschiedenen Stellen (KB01, KB02 und KB03) (Abbildung 18) mit Hilfe des Q-Traces Abflussmessungen durchgeführt (siehe Anhang A). Dabei wurden auch stets die oberirdischen Zuflüsse zum Kirchbach (EPA39, EPA40, EPA41, EPA45a und EPA45b) (siehe Anhang A) separat mittels Behältermessung aufgenommen.

Im Zeitraum Juli bis Oktober gab es vom Salaterbach zumindest oberirdisch keinen Zufluss in den Kirchbach. Im Juni wurde die Mündung von Salaterbach in den Kirchbach nicht beobachtet.



Abbildung 18 In den Bildern (a), (c) und (d) ist das Messgerät Q-Trace von Logotronic zu sehen. (a) Messstelle Q-Trace KB01. (b) Kirchbach an der Messstelle Q-Trace KB01. (c) Messstelle Q-Trace KB02. (d) Kirchbach an der Messstelle Q-Trace KB02. (e) Messstelle Q-Trace KB03. (f) Kirchbach an der Messstelle Q-Trace KB03.

3.4 WASSERBILANZ

Die Wasserbilanz basiert auf dem Prinzip der Massenerhaltung (Langguth & Voigt, 2004) und ist somit die Gegenüberstellung von Grundwasserneubildung und Grundwasserentnahme (Hölting & Coldewey, 2013). Beide Komponenten sollten bei einer ausgeglichenen Wasserbilanz gleich groß sein. Sie setzen sich aus den Elementen des Wasserhaushaltes zusammen: Niederschlag, Abfluss und Verdunstung (Langguth & Voigt, 2004). Zudem kann es im Untergrund zu Speicheränderungen kommen, welche daher ebenso in der Formel der Wasserbilanz berücksichtigt wird. Mit Hilfe der Wasserbilanz soll der mögliche Abfluss in der Embacher Plaike bezogen auf das Einzugsgebiet der Plaike eruiert werden. Folgende Gleichung gilt als Grundgerüst einer Wasserbilanz (Langguth & Voigt, 2004):

$$N = V + Q^{+/-} \Delta S$$

N = Niederschlag

V = Verdunstung

Q = Abfluss

ΔS = Speicheränderung

MESS- UND ANALYSEMETHODEN

Der Abfluss wurde mittels Behältermessung einmal monatlich im Zeitraum Mai bis November 2015 in der Embacher Plaike und auf der Hochebene gemessen. Zusätzlich wurde die Schüttung (Salzverdünnungsmethode) entlang des Kirchbaches fünfmal von Juni bis November aufgenommen (Kapitel Abflussmessungen). Die Niederschlagswerte als Tagessummen sowie die Lufttemperatur wurden vom Hydrographischen Dienst Salzburg zur Verfügung gestellt. Mit der Lufttemperatur kann nach THORNTHWAITE (1955) und TURC (1961) die Evapotranspiration berechnet werden und in weiterer Folge die Wasserbilanz.

Eine schnelle Abschätzung der Wasserbilanz und damit des theoretischen Abflusses ist mit den Evapotranspirations- und Niederschlagswerten aus dem digitalen hydrologischen Atlas aus Österreich möglich.

Methode nach THORNTHWAITE:

Zur Berechnung der Evapotranspiration wird im Thornthwaite-Verfahren (Thornthwaite & Mather, 1955) die Lufttemperatur verwendet. Dabei wird ein Monatsmittel der Lufttemperatur verwendet, welches sich auf 12 Stunden pro Tag und eine Monatslänge von 30 Tagen bezieht. Da sich die Tageslänge mit der geographischen Breite ändert müssen die Werte anschließen korrigiert werden (Hölting & Coldewey, 2013). Die potentielle Evapotranspiration berechnet sich wie folgt (Formel 3):

$$\dot{h}_{ETp} = 16 \left(\frac{10\{\vartheta_m\}}{\{I\}} \right)^{\{a\}} \quad (3)$$

$$\{I\} = \sum_1^{12} \left(\frac{\{\vartheta_{Mm}\}}{5} \right)^{1,514}$$

$$\{a\} = \frac{0,9262188}{2,4232459 - \lg\{I\}}$$

h_{ETp} = potentielle Evapotranspirationsrate (mm/Monat)

ϑ_{Mm} = Monatsmittel der Lufttemperatur (°C)

$\{I\}$ = Wärmeindex

$\{a\}$ = Faktor (-)

(Hölting & Coldewey, 2013)

Methode nach TURC:

Die tatsächliche Evapotranspiration wird nach der empirischen Methode nach Turc (1961) auf Basis gemittelter Jahreswerte errechnet (erläutert in Hölting & Coldewey, 2013) (Formel 4):

$$\dot{h}_{ETa} = \frac{\{h_N\}}{\left(0,9 + \left(\frac{\{h_N\}}{J_{\vartheta}}\right)^2\right)^{0,5}} \quad (4)$$

$$J_{\vartheta} = 300 + 25 * \{\vartheta\} + 0,05 * \{\vartheta^3\}$$

h_{ETa} = tatsächliche Evapotranspirationsrate (mm/a)

$\{h_N\}$ = Jahresniederschlagsrate (mm/a)

J_{ϑ} = Faktor

ϑ = Jahresmittel der Lufttemperatur in °C

3.5 MARKIERUNGSVERSUCH

Markierungsversuche werden verwendet um qualitative und quantitative Aussagen über den Grundwasserleiter zu erhalten, sei es zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit oder wie im Fall der Embacher Plaike um die Herkunft der Wässer zu untersuchen und eine hydraulische Verbindung zwischen Eingabe- und Beobachtungsstellen festzustellen.

VERSUCHSAUFBAU

Im Zuge der Vorbereitungen des Markierungsversuches wurden zwei künstliche Tracer (Markierungsmittel) ausgewählt: Uranin (auch Fluorescein-Natrium, $C_{20}H_{10}Na_2O_5$) mit dem Colour Index 45350 (Firma Roth) und Amino G-Säure ($C_{10}H_9O_6NS_2$), (Colorey, Lozanne). Beide gehören in die Kategorie der fluoreszierenden Farbstoffe, sind aber auf Grund ihrer spektralen Eigenschaften gut voneinander unterscheidbar. Während bei Uranin das Fluoreszenzmaximum bei einer Wellenlänge von 512 nm liegt, beträgt dieses bei der Amino G-Säure nur 450 nm (Käss, 2004). Die Vor- und Nachteile dieser zwei Stoffe als Markierungsmittel in der Hydrogeologie sind in der Tabelle 7 angeführt.

Tabelle 7: Vor- und Nachteile von Uranin und Amino G-Säure als Markierungsmittel in der Hydrogeologie (nach Käss, 2004)

	Vorteile	Nachteile
Uranin	<ul style="list-style-type: none"> • Stark fluoreszierend, deswegen niedrige Nachweisgrenze: 0,002µg/l • Geringe Wechselwirkung mit dem Aquifer • Preisgünstig • Legt lange Strecken zurück 	<ul style="list-style-type: none"> • Reversibler Einfluss des pH-Wertes • Zerstörung durch Ozon und starke Oxidantien • Lichtempfindlich • Leuchtende Farbe kann im öffentlichen Raum auch einen Nachteil darstellen
Amino G-Säure	<ul style="list-style-type: none"> • Unsichtbarkeit bei Austrittsstelle (<1000mg/l), Eingabelösung weist blauviolette Farbe auf • Kann neben Uranin, den Rhodaminen und Eosin störungsfrei eingesetzt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Fluoreszenzintensität 1/14 des Uranins • Fluoreszenz nimmt ab bei pH<5 • Zwar geringe Sorptivität aber nachweisbar

Eingabestellen:

Als Eingabestelle wurde für die Amino G-Säure der verbaute Kirchbach gewählt (Abbildung 19 und Anhang A), da dieses im Hauptvorfluter der Embacher Hochebene nicht so großes Aufsehen erregt, wie das stark grün leuchtende Uranin. Wie in Abbildung 19 ersichtlich wurde dieses in den Salaterbach eingespeist (Anhang A) um die niedrige Nachweisgrenze des Uranins auszunützen und eine potentielle Verbindung des versickernden Wassers des Salaterbaches zu den Quellen in der Plaike festzustellen. Ein Problem könnte hierbei die geringe hydraulische Aktivität des Salaterbaches darstellen, der Tracer verbreitet sich nur langsam an der Oberfläche und ist daher lange Zeit dem Licht ausgesetzt (Käss, 2004).



Abbildung 19 Bilder zu den Eingabestellen der Markierungsstoffe. (a) und (b) Eingabe von Uranin in den Salaterbach. (c) und (d) Eingabe von Amino G-Säure in den Kirchbach.



Abbildung 20 (a) Aktivkohle in einem Säckchen aus Nylon mit Maschengitter zur qualitativen Analyse. (b) GGUN FL30 Field Fluorometer 663 zur quantitativen Analyse.

Beobachtungsstellen:

In der Messstellenkarte im Anhang A sind acht Beobachtungsstellen eingezeichnet, davon sind fünf in der Embacher Plaike, zwei in den westlichen Nachbarplaiken und eine auf der Embach Hochebene zu finden. Bei allen Messstellen (EPA01, EPQ17, EPQ13, EPQD02, EPA47, EPQ53, EPQ21 und FLUOROMETER) wurden Aktivkohlenpassivsammler eingebaut, an denen die Tracer adsorbieren sollten (Abbildung 20). Die Aktivkohlenpassivsammler werden nachfolgend hinsichtlich der Tracer analysiert, es ist aber nur eine qualitative Aussage (Tracer vorhanden ja/nein) möglich. Zusätzlich wurde bei der Messstelle FLUOROMETER, welche im Hauptvorfluter Kirchbach liegt, ein Feldfluorometer (Abbildung 20) zur kontinuierlichen Messung der Tracerintensität eingebaut. Dadurch ist eine quantitative Analyse und somit die Erstellung einer Durchbruchkurve und das Eruiere der Wiederfindungsrate möglich.

Versuchsablauf:

Zur Eingabe der Tracer am 06.11.2015 wurden 0,5 kg des jeweiligen Tracers in 5 l Wasser gelöst und an der Eingabestelle zeitlich punktuell (Diracscher Stoß) (Käss, 2004) dem Gewässer hinzugefügt. Vorher wurden bereits die Beobachtungsstellen mit Aktivkohlesäckchen ausgestattet und am Eingabepunkt Blindproben entnommen, welche Auskunft über die Grundbelastung der Wässer an Uranin und Amino G-Acid geben. Circa eineinhalb Monate später am 18.12.2015 wurde das Fluorometer ausgebaut und die Aktivkohlesäckchen ausgetauscht. Die neu eingebauten Aktivkohlesäckchen werden im Frühjahr nach der Schneeschmelze analysiert.

ANALYSEMETHODEN

Zur Analyse der verwendeten Markierungsstoffe Uranin und Amino G-Säure, die beide zu den fluoreszierenden Farbstofftracern gehören, dient die Methode der Fluorometrie. Jeder fluoreszierender Farbstoff wird charakterisiert durch bestimmte Absorptions- und Fluoreszenzwellenlängen, welche als Absorptionsmaxima und Fluoreszenzmaximum bezeichnet werden. In Tabelle 8 sind diese für Uranin und Amino G-Säure angegeben (Käss, 2004).

Tabelle 8 Absorptionsmaxima und Fluoreszenzmaximum für Uranin und Amino G-Säure (nach Käss, 2004)

	Absorptionsmaxima	Fluoreszenzmaximum
Uranin	491 nm (Hauptabsorption) 322 nm (Nebenmaximum)	512 nm
Amino G-Säure	359 nm (Hauptabsorption) 308 nm, 247 nm, 218 nm (Nebenmaxima)	450 nm

Der Tracer im Wasser bzw. in der Probe wird mit Strahlung aus einer Lichtquelle angeregt, welche den Wellenlängen der Absorptionsmaxima entspricht. Daraufhin gibt das fluoreszierende Markierungsmittel Strahlung mit der charakteristischen Fluoreszenzwellenlänge ab, welche von einem Detektor aufgenommen und deren Intensität in mV gemessen wird. Diese Intensität kann in weiterer Folge mit Hilfe einer Kalibrationsgeraden in Konzentration mit der Einheit mg/l umgerechnet werden.

Zur quantitativen Analyse wurde ein „Druchfluss Feld Fluorometer“ (Schneegg, 2002) verwendet. Dabei fließt das Wasser kontinuierlich durch eine Glasröhre, welche in einem metallenen Gehäuse sitzt, und in der bereits im Gelände die Farbintensität in bestimmten Zeitintervallen gemessen wird. Die generierten Daten werden gespeichert und mit dem Programm GGUN (Geomagnetism Group of the University of Neuchatel)-FL Field Fluorometer Vers. 28.0 ausgelesen. Das GGUN (Geomagnetism Group of the University of Neuchatel)-FL 30 FieldFluorometer 663 (Abbildung 20) besitzt vier verschiedene Lichtquellen mit dazugehörigen Detektoren und kann somit drei verschiedene Tracer und die Trübe gleichzeitig messen. Die Nachweisgrenze im klaren Wasser liegt für Uranin bei 0,02 ppb, für die anderen Tracer zwischen 0,14 und 0,2 ppb (Schneegg, 2002). Zur weiteren Auswertung und graphischen Aufbereitung der Daten wird MS Excel verwendet.

Die Aktivkohle wird für qualitative Aussagen herangezogen, da keine zeitliche Auflösung wie beim Durchfluss Feld Fluorometer vorliegt. Der Tracer wird durch die Aktivkohle adsorbiert und im Labor mit N,N-Dimethylformamid als Lösungsmittel desorbiert. Die Tracerlösung wird mit Hilfe eines Spektralfluorimeters gemessen, um die Farbintensität zu erhalten. Dabei wird ein Spektrum zwischen den Wellenlängen 300 nm und 600 nm aufgenommen. Der Tracer erscheint in diesem Spektrum als Peak und dessen Höhe oder auch Fläche gibt Aufschluss über die Fluoreszenz-Intensität (schriftliche Mitteilung von Benischke Ralf, Graz). Die Analyse der Aktivkohle wurde vom JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH durchgeführt.

DURCHBRUCHSKURVE UND WIEDERFINDUNGSRATE

Beim „Durchfluss Feld Fluorometer“ ist auch die Bestimmung der Durchbruchskurve und der Wiederfindungsrate bei bekannten Schüttungswerten möglich. Die Durchbruchskurve zeigt eine zeitliche Konzentrationsveränderung an einem bestimmten Ort. Die Kurvenform gibt dabei bereits Auskunft über das Fließverhalten, so zeigt der Anstieg einer Durchbruchskurve die Geschwindigkeit des Tracers an, während das Tailing über etwaige Rückhaltungsmöglichkeiten entlang der Fließstrecke verweist. Die Durchbruchskurve ergibt sich, indem man die Tracerkonzentration (mg/l) gegen die Zeit plottet. Multipliziert man die Tracerkonzentration mit der Schüttung und dem Zeitintervall spiegelt die Summenkurve daraus die Wiederfindungsrate (%) wieder. Bei der Auswertung der Durchbruchskurve kann man sowohl die Abstandsgeschwindigkeit als auch bestimmende Parameter für den Transportvorgang wie z.B. die Dispersivität ermitteln (Käss, 2004).

Geschwindigkeit, Dispersivität sowie Dispersivitätskoeffizient können mit Hilfe eines einfachen Advektion – Dispersions Modells (ADM) eruiert werden (Rausch, Schäfer & Wagner, 2002).

Die Durchbruchskurve ermöglicht die Berechnung verschiedener Geschwindigkeiten, wie die maximale Abstandsgeschwindigkeit (v_{max}), die dominante Abstandsgeschwindigkeit (v_{dom}), die wirkliche Abstandsgeschwindigkeit ($v_w = v_a$) und die Median-Geschwindigkeit (v_m). Die Geschwindigkeiten ergeben sich aus der Entfernung zwischen Eingabe- und Beobachtungsstelle und der Zeit, die von der Tracer-Eingabe bis zu einer bestimmten Konzentration vergangen ist (Tabelle 9). Die Abbildung 21 zeigt die Durchgangskurve, die Wiederfindungs-Summenkurve sowie die verschiedenen Geschwindigkeiten (Käss, 2004).

Tabelle 9 Auflistung der verschiedenen Abstandsgeschwindigkeiten und der dazugehörigen Zeitmesspunkte (nach Käss, 2004)

Geschwindigkeiten	Berechnet auf Basis der Zeitdifferenz zwischen Zeitpunkt der Tracereingabe und...
v_{max}	...dem erste Auftreten des Tracers
v_{dom}	...dem Zeitpunkt der max. Tracerkonzentration
v_m	...dem Zeitpunkt bei 50 Prozent der wiedergefundenen Tracermenge
$v_w = v_a$...dem Zeitpunkt in der Mitte zwischen den Zeitpunkten von v_{dom} und v_m

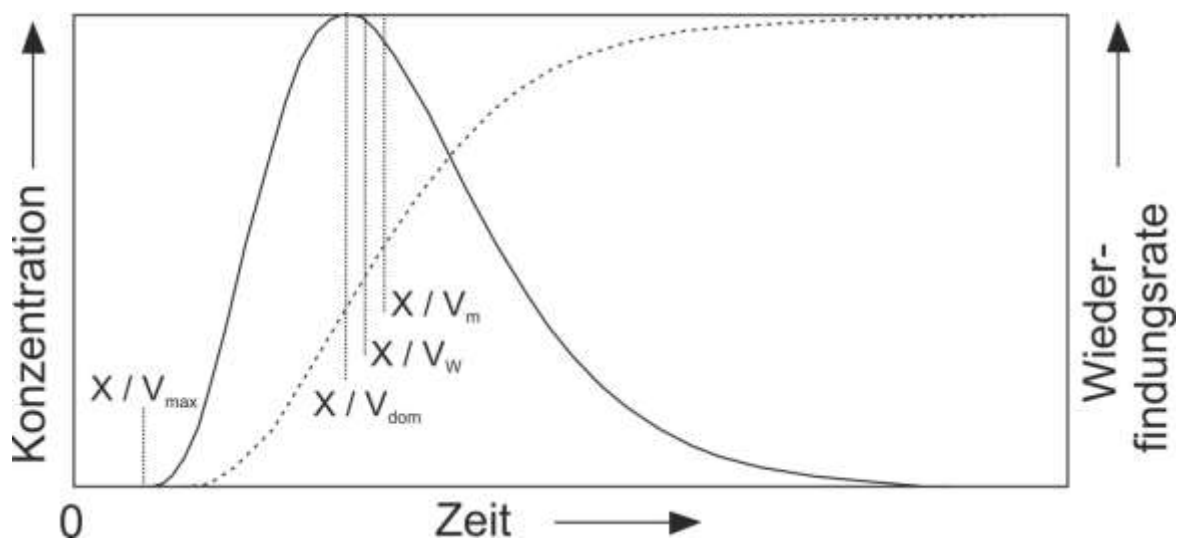


Abbildung 21 Schematische Darstellung einer Durchgangskurve. X = Entfernung von Eingabestelle und Beobachtungsstelle. Diese Entfernung wird durch die jeweiligen Zeiten, die den verschiedenen Abstandsgeschwindigkeiten entsprechen, dividiert (Tabelle 9). Die gestrichelte Linie stellt die Wiederfindungs-Summenkurve dar und zeigt die Wiederfindungsrate an (nach Käss, 2004).

4 ARBEITSSCHRITTE

In Tabelle 10 ist eine chronologische Zusammenfassung der Arbeitsschritte, welche Gelände- und Laborarbeiten sowie Literaturerhebung außerhalb der universitären Einrichtung beinhalten, ersichtlich.

Tabelle 10 chronologische Zusammenfassung der Arbeitsschritte. KB= Kirchbach; WLV = Wildbach- und Lawinenverbauung

21.04.2015	Geländebegehung mit Ludwig Fegerl, Gerfried Winkler, Sylke Hilberg
05.05.2015 – 22.05.2015	Kartierung, Monitoring
26.05.2015	1. Probenahme für die Hydrochemie mit Sylke Hilberg, Monitoring
24.06.2015 – 26.06.2015	Abflussmessungen KB, Monitoring, Kartierung
20.07.2015 – 21.07.2015	Abflussmessungen KB, Monitoring
23.07.2015	Geländebegehung mit WLV
31.08.2015 – 01.09.2015	2. Probennahme, Monitoring, Abflussmessungen KB
02.10.2015 & 05.10.2015	Abflussmessungen KB, Monitoring
29.10.2015 – 30.10.2015	Aktivkohle und Fluorometer Einbau mit Gerfried Winkler und Thomas Wagner, Abflussmessungen KB, Monitoring
05.10.2015 – 06.10.2015	Aktivkohle Wechsel, Tracer Einspeisung, Geophysikalische Untersuchungen UNI Salzburg
09.11.2015	Literaturerhebung bei der WLV Zell am See
18.12.2015	Aktivkohle Wechsel und Fluorometer Ausbau mit Gerfried Winkler
21.01.2015 & 29.01.2015	Laborarbeit - Kalibrierung
13.05.2016	Entschlammen der Aktivkohle
20.06.2016	Ausbau der Aktivkohle

5 ERGEBNISSE

5.1 KARTIERUNG

Die hydrogeologische Kartierung fand im Zeitraum 05.05.2015 bis 22.05.2015 statt. Die verwendete Notation der Messstellen gibt bereits Auskunft über die Art der Messstelle (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11 Bezeichnung der verschiedenen Messstellen und deren Bedeutung

Abkürzung	Abkürzung für...	Bedeutung
EP	Embacher Plaike	lithologische Aufschlüsse
EPQ	Embacher Plaike Quelle	gefasste Quellen und ungefasste, punktuell austretende Quellen
EPQV	Embacher Plaike Quelle Vernässung	Quellen aus Vernässung heraus
EPQD	Embacher Plaike Quelle Drainagierung	Quellen durch Drainagierung
EPA	Embacher Plaike Abfluss	Messung von Oberflächenabflüssen

Da das Untersuchungsgebiet die Embacher Plaike, die Nachbarplaiken und das Einzugsgebiet des Kirchbaches auf der Embacher Hochebene beinhaltet, wird in folgendem Kapitel zwischen diesen drei Bereichen unterteilt. Während in der Embacher Plaike, welche detailliert kartiert wurde, 16 Quellen aufgenommen werden konnten, fanden sich in den Nachbarplaiken insgesamt 15 und auf der Embacher Hochebene 28 Quellen.

5.1.1 HYDROGEOLOGISCHE KARTIERUNG

Embacher Plaike:

Die Entwässerung der Embacher Plaike wird vorwiegend durch den Gerinneausbau in den 40iger und 50iger Jahren vorgegeben (Abbildung 22). Dabei wurden Tagwasserschalen eingebaut, welchen an künstlichen Geländesprüngen Dränagewässer aus dem Untergrund zufließen. Diese baulichen Maßnahmen wurden aus dem Berger-Lappen, beginnend bei EPQD02 und EPA08, über die morphologisch östliche Rinne bis hinunter zur Salzach (EPA16) durchgeführt. Auf einer Höhe von ca. 775 m ü. A. fließt das Wasser aus den östlichen Quellen der Plaike über eine weitere Tagwasserschalung in das Hauptentwässerungsgerinne. Auch von Westen gelangt das Wasser der EPQ17 kurz vor der Mündung in die Salzach zum Hauptgerinne, wobei ab EPA17 das Gerinne ausgekleidet wurde (Abbildung 22 und Abbildung 23).

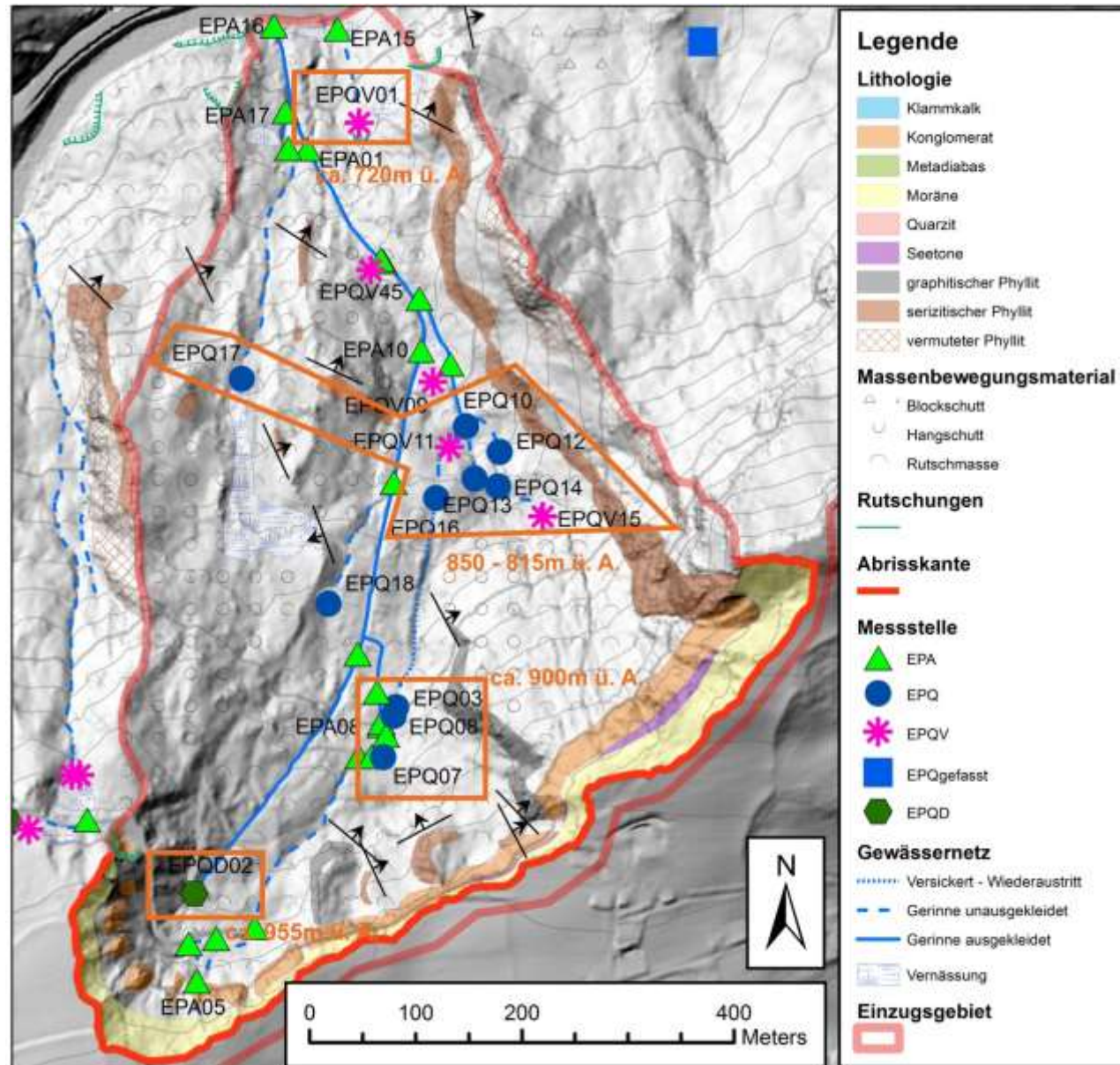


Abbildung 22 Hydrogeologische Detailkartierung der Embacher Plaike. Sowie Lage der Messstellen. Die orange Umrandung zeigt markante Quellbereiche und deren Seehöhe.



Abbildung 23 (a) künstlicher Geländesprung bei EPA01. (b) Drainagierzufuß bei EPA08. (c) Künette bei EPA16 – Zufluß zur Salzach. (d) Tagwasserschalenabau ab EPA17 und Zufluß zum Hauptgerinne kurz vor EPA16. (e) EPQD02 – Beginn der Tagwasserschaltung. (f) Tagwasserschale bei EPA08

Generell tritt bei den Quellen der Embacher Plaike nicht viel Wasser aus. Die vier Hauptquellen EPQ13, EPQ17, EPQD02 und EPQV15 schütteten während der Geländebegehung 0,6, 0,3, 0,13 und 0,2 l/sec. Die restlichen Quellen EPQV01, EPQ03, EPQ07, EPQ08, EPQV09, EPQ10, EPQV11, EPQ12, EPQ14, EPQ16, EPQ18 und EPQV45 schütteten weniger als 0,1 l/sec. Es besteht die Vermutung, dass das Wasser der EPQ03 versickert und EPQ16 ein Wiederaustritt dieses Wassers ist (Abbildung 22).

EPA05 stellt ein tropfendes Wasser von der Abrisskante dar, vermutlich stammt es aus den feuchten Seetonen (Abbildung 22 und Abbildung 24).



Abbildung 24 (a) Überblicksfoto der Quartären Ablagerung bei EPA05. (b) Detailaufnahme von EPA05.

An der Messstelle EPA01 konnte am 05.05.2015 ein Abfluss von 4 l/sec gemessen werden, zusammen mit dem Abfluss von EPA17 und EPA15 ergibt das einen Gesamtoberflächenabfluss der Embacher Plaike von 4,34 l/sec für den Zeitraum der Kartierung.

Zudem gibt es vor allem in der unteren Hälfte der Plaike einige Vernässungszonen, aus denen zum Teil die Quellen mit der Beschriftung EPQV entstammen.

Bezüglich der elektrischen Leitfähigkeit bestehen extreme Unterschiede der einzelnen Quellen. Sie wurden nach der Häufigkeitsverteilung in vier Kategorien eingeteilt, wobei die Gruppen 0 – 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 300 – 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ für Kalk und Dolomit als Aquifer sprechen, während die Gruppe 800 – 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ eine sehr starke Mineralisierung aufweist, entweder auf Grund längerer Verweilzeiten im Untergrund und/oder eines anderen Grundwasserleiters. Generell lässt sich das Plaikengebiet in zwei Bereiche aufteilen: im westlichen Bereich treten Quellwässer mit einer Leitfähigkeit von 250 bis 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf, im östlichen Bereich kommen Wässer mit bis zu 1206 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vor (Abbildung 25 und Tabelle 12).

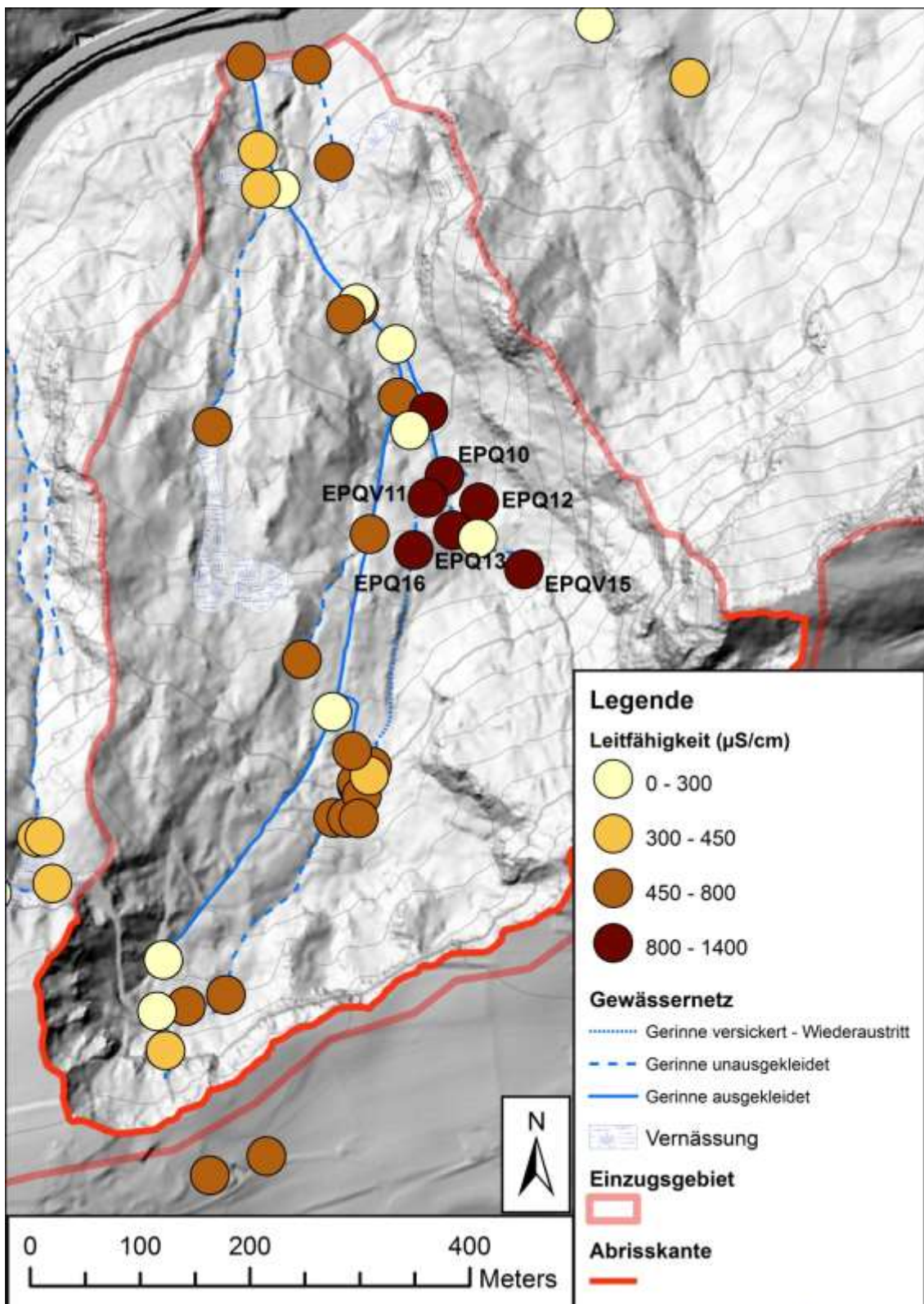


Abbildung 25 Verteilung der elektrischen Leitfähigkeitsbereiche in der Embacher Plaike. Die hochmineralisierten Wässer werden in der Karte benannt (Tabelle 12)

Tabelle 12 Messstellen mit erhöhten elektrischen Leitfähigkeitswerten.

Messstelle	Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
EPQ16	800
EPQV11	927
EPQ10	1140
EPQ12	1180
EPQV15	1190
EPQ13	1206

Die Quellen EPQ17, EPQV01, EPQ16, EPQ13 und EPQ08 weisen Versinterungen auf, wobei sich bei EPQ17 regelrechte Sinterterrassen mit einer Fläche von ca. 20m² und einer Höhe von ca. 60cm ausgebildet haben (Abbildung 26), während die anderen Quellen nur dünne Sinterschichten aufweisen. Weitere Versinterungen sind an den künstlichen Geländesprüngen zu beobachten, sodass teilweise sogar die Drainagezutritte durch die Versinterung verschlossen wurden (Abbildung 26).

Vergleicht man die Seehöhen der einzelnen Quellen miteinander, so lassen sich vier Bereiche feststellen (Abbildung 22).

- EPQD02 stellt eine der wichtigsten Quellen in der Plaike dar. Sie liegt in einer Höhe von ca. 955 m. ü. A.
- Ein vermehrtes Quellauftreten findet man bei einer Höhe von ca. 900 m ü. A. (EPQ07, EPQ08, EPQ03),
- zwischen 850 und 815 m ü. A. (östlicher Plaikenbereich: EPQV15, EPQ13, EPQ10, EPQV11, EPQ12, EPQ16; westlicher Plaikenbereich: EPQ17)
- und bei ca. 720 m ü. A., wobei hier nur die Quelle EPQV01 und mehrere Vernässungen auftreten und somit auch als lokale Vernässungszone interpretiert werden kann.



Abbildung 26 (a) Versinterung an der Quelle EPQ17. Es bauen sich mehrere dieser ca. 60cm mächtigen Sinterplattformen kaskadenförmig auf und bilden somit Sinterterrassen. (b) Beispiel einer Versinterung an den künstlichen Geländesprüngen – EPA10. (c) Versinterungen bei EPQ16 und (d) EPQV01.

Embacher Hochebene:

Die Embacher Hochebene wird durch den Salater- und Kirchbach entwässert. Somit sind hier die Quellen dieser Bäche und die darin mündeten Zuflüsse aufgenommen worden. Durch die Zusammenarbeit mit dem Ort Embach konnten auch die gefassten Quellen für die Wasserversorgung, sowie privat gefasste Quellen kartiert und beobachtet werden und (Anhang A).

Die Schüttung des Salaterbaches ist je nach Witterung sehr variabel. An einem regnerischen, bewölkten Tag wie dem 20.05.2015 führte er bei EPA19 bereits 3 l/sec und verläuft vom Steinerdörfel über die große Wiese östlich des Salaterbauers bis zu EPA35 (hinter dem Eisstockvereinshaus der Gemeinde), wo er versickert (Abbildung 28) und durch einen unterirdischen Ausbau in den Kirchbach geleitet wird, zusätzlich gibt es auch noch ein parallel verlaufendes oberirdisches Gerinnebett, das ebenfalls in den Kirchbach mündet (Abbildung 28). Während trockener Perioden schüttet er nur noch 0,5 l/sec und versickert auf der Wiese (Abbildung 28 und Anhang A).

Der Kirchbach ist ein perennierendes Gerinne mit einer Schüttung zwischen 82 und 39 l/sec im Beobachtungszeitraum (von 24.06.2015 bis 30.10.2015). Die meisten Quellen weisen elektrische Leitfähigkeitswerte zwischen 178 und 417 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf. An 6 Quellen (EPQ26, 29 und EPQD40, 41, 42 und 24) liegt die Leitfähigkeit zwischen 495 und 588 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Anhang A).



Abbildung 27 Beispiele für gefasste Quellen für die Wasserversorgung . (a) EPQ30 (b) EPQ32.



Abbildung 28 (a) Der Salaterbach führt Wasser bis EPA35, wo er schwindet. (b) Der Bereich der Schwinde ist trocken, d.h. (c) das Wasser versickert vorher auf der großen Wiese vor dem Salaterbauer. (d) Mündung des Salaterbaches in den Kirchbach, bestehend aus unter- und oberirdischen Zufluss.

Nachbarplaiken:

Westlich der Embacher Plaike zieht sich die Espenrinne (Stiny, 1911) oder Espangrinne (Dietrich, 1988), noch weiter westlich die zwei Gräben der Espen Plaike (Stiny, 1911) hinunter bis zur Salzach. Zur Espenrinne zählen folgende 5 Quellen: EPQV19, 48 und 49, EPQ50, EPQD20 und EPQD04 (Anhang A), wobei Letztere mit 586 $\mu\text{S}/\text{cm}$ einen wesentlich höheren Leitfähigkeitswert aufweist als die Restlichen, welche zwischen 342 und 408 $\mu\text{S}/\text{cm}$ liegen (Anhang A).

Der östliche Graben der Espen Plaike besitzt eine ausgedehnte Vernässungszone zwischen 980 und 930m ü. A., aus der die Quellen EPQV22, 51 und 52 hervorgehen. Etwas punktueller aber ebenfalls in der Vernässungszone liegend schüttet die Quelle EPQ21, welche zudem Versinterungen aufweist. Südöstlich des Vernässungsgebiets befindet sich die Drainagenquelle EPQD05 (Anhang A). Die Leitfähigkeitswerte liegen zwischen 333 und 399 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Anhang A).

Im westlichen Graben der Espen Plaike konnte die Quelle EPQ53 mit einer Leitfähigkeit von 409 $\mu\text{S}/\text{cm}$ kartiert werden (Anhang A).

Im Weiteren findet sich auch östlich der Embacher Plaike eine Massenbewegung. Es handelt sich hierbei um den steilen Felsabbruch des Brandkopfes. Nahe des Bauernhofes Neudeck findet man zwei gefasste Quellen EPQ46 und 47, wobei nur EPQ47 mit einer Leitfähigkeit von 423 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen werden konnte (Anhang A).

5.1.2 LITHOLOGISCHE KARTIERUNG

Embacher Plaike:

In der Embacher Plaike treten als Grundgebirge verschiedene Phyllite auf, vor allem Serizitphyllit und graphitischer Phyllit (Schwarzphyllit) (Abbildung 29a, b). Ersteres kann einen leichten grünlichen Stich aufweisen (Abbildung 29c), ob es sich dabei um umgewandelte Metabasite handelt oder einfach um mit Chlorit versehenen Serizitphyllit kann makroskopisch nicht festgestellt werden. Die Schieferung fällt so gut wie immer mittelsteil in nordöstliche Richtung ein. Ein Mittelwert aus den Richtungsdaten ergibt eine Einfallrichtung von 72° und einen Einfallswinkel von 44° . Teilweise sind auch Verfaltungen zu beobachten (Abbildung 29d).



Abbildung 29 (a) serizitischer Phyllit. (b) Aufschluss eines graphitischen und serizitischen Phyllits. (c) Grünlicher Phyllit. (d) Falte im Phyllit.

Die Aufschlüsse können massiv sein, meistens jedoch sind sie extrem verwittert bzw. tektonisch stark beansprucht.

Neben Grundgebirge und quartären Ablagerungen findet man in der Embacher Plaike noch Lockermaterial wie Blockschutt, Hangschutt und Rutschmasse (Abbildung 30). Der Blockschutt, welcher leicht östlich der Embacher Plaike zu finden ist, stammt vom Felssturz des Brandkopfes und tritt als große, blockige Gesteinsbrocken auf. Als Hangschutt wird das von der Abrisskante und auch vom Grundgebirge stammende Lockermaterial bezeichnet. Während Bereiche, die als Rutschmasse gekennzeichnet sind, Hinweise auf aktive Bewegungen liefert (Abbildung 30).



Abbildung 30 (a) Die großen Blöcke des Brandkopffelssturzes bilden einen Blockschutt. (b) Hangschutt am Fuß der Abrisskante welcher sich durch Erosion angesammelt hat. (c, d) Ein Teilbereich des Gebietes weist eine lokale Rutschmasse auf.

Embacher Hochebene:

Die meisten Aufschlüsse auf der Embacher Hochebene sind an den Hängen südlich von Embach zu finden. Neben Klammkalk und verschiedenen Schiefen, findet man in der Nähe der Kapelleralm auch Metabasite (Abbildung 31a). Der Klammkalk tritt zum Teil massig auf, aber auch geschichtet und weist teilweise grau-bläuliche Färbung mit hellen Kalzitadern auf (Abbildung 31b, c). In einem großen Aufschluss findet man verschiedene Schiefer, teilweise sehr quarzreich und chloritisch mit einem Schieferungseinfallen von $(352/65)$ (Abbildung 31d). Der Metabasit weist eine leicht grünliche Färbung auf und ist massig.



Abbildung 31 (a) Metabasitaufschluss in der Nähe der Kapelleralm. (b) Grau-bläulicher Klammkalk mit hellen Kalzitadern. (c) Geschichteter Klammkalk. (d) chloritischer Quarzschiefer.

Quartäre Ablagerungen:

Wie bereits im Kapitel „Geologischer Überblick“ sehr ausführlich beschrieben, haben sich auf dem Grundgebirge Sande, Kiese und Steine abgelagert (Abbildung 32a) und zu Konglomerat verfestigt, hangend davon findet man Seetone und darüber Moräne.

Unter den Konglomeraten wurden Sande und Kiese horizontal oder schräg geschichtet abgelagert (Abbildung 32b, c). Die Konglomerate führen Komponenten bis 0,5m Durchmesser (Abbildung 32a). Es gibt allerdings auch Aufschlüsse von interglazialer Ablagerung, die nicht so große Komponenten aufweisen (Abbildung 32d). Hier ist ein lagiger Aufbau zu erkennen welcher diskordant überlagert wird.



Abbildung 32 (a) Die strichlierte Linie stellt den Kontakt Grundgebirge – Quartäre Ablagerungen dar. In den Kreisen befinden sich Konglomeratkomponenten mit einem Durchmesser von ca 0,5 m. (b) Horizontale Ablagerung der Sande, Kiese und Steine. (c) Schräg geschichtete Sande, Kiese und Steine, welche diskordant von Konglomerat überlagert werden.

Richtung Westen zieht sich auf einer Höhe von ca. 900 m ü. A. ebenso ein Konglomeratzug bis in die östliche Espen Plaike (Abbildung 33). In der Espen Plaike hat sich ein sumpfiges Plateau auf diesem Konglomerat gebildet mit mehreren Quellen (Abbildung 33d). Vermutlich ist dieses Konglomerat als Ganzes von der Höhe des Embacher-Plaike-Konglomerats bis auf diese jetzige Höhe gerutscht.



Abbildung 33 (a, b) Konglomerataufschlüsse von der Espangrinne bis in die östliche Espen Plaike. (c) Rollstein aus Konglomerat. (d) Versumpftes Plateau auf dem Konglomerataufschluss von Bild (b).

5.1.3 MORPHOLOGISCHE KARTIERUNG

Embacher Plaike:

Neben den im Kapitel Aufbau der Embacher Plaike dargestellten morphologischen Merkmalen konnten im Zuge der Geländebeobachtungen folgende Erkenntnisse gewonnen werden.

Im Gebiet der Embacher Plaike lassen sich mehrere Indizien für lokale aktive und reliktsche Massenbewegungen finden (Abbildung 34). So zeigt sich am Embacher Hochplateau beim Schober Lappen ein neuer Anriss und eine Mulde (Abbildung 34b). Abgesetzte Lockergesteinsschollen an der Abrisskante beim Wetterkreuz-Lappen (Abbildung 34a) weisen zudem auf ein Abgleiten der quartären Ablagerung hin, zum einen entlang der Seetone, wie es Dietrich (1988) erwähnt, es ist allerdings auch möglich, dass das Grundgebirge mit seinem N-NE Einfallen als Gleithorizont fungiert.

Nach der steilen Abrisskante folgt nach unten hin flacheres Gelände bis man in etwa mittig auf den besagten Felsrücken trifft, der die Plaike in zwei Rinnen teilt (Dietrich, 1988). Im Bereich des Felsrückens wird das Gelände steiler, ab dem nördlichen Ende des Felsrückens wieder flacher.

Am Hangfuß sind etliche Rutschungen in die Salzach zu erkennen (Abbildung 35), welche durch die Erosionskraft der Salzach hervorgerufen werden.



Abbildung 34 (a) Scholle aus quartärer Ablagerung, die sich zwischen Schober- und Wetterkreuz-Lappen immer weiter absetzt. (b) Neuer Anriss auf der Embacher Hochebene im Bereich des Schober-Lappens. (c) Reliktische Bewegung in der Emacher Plaike verborgen unter starken Bewuchs.

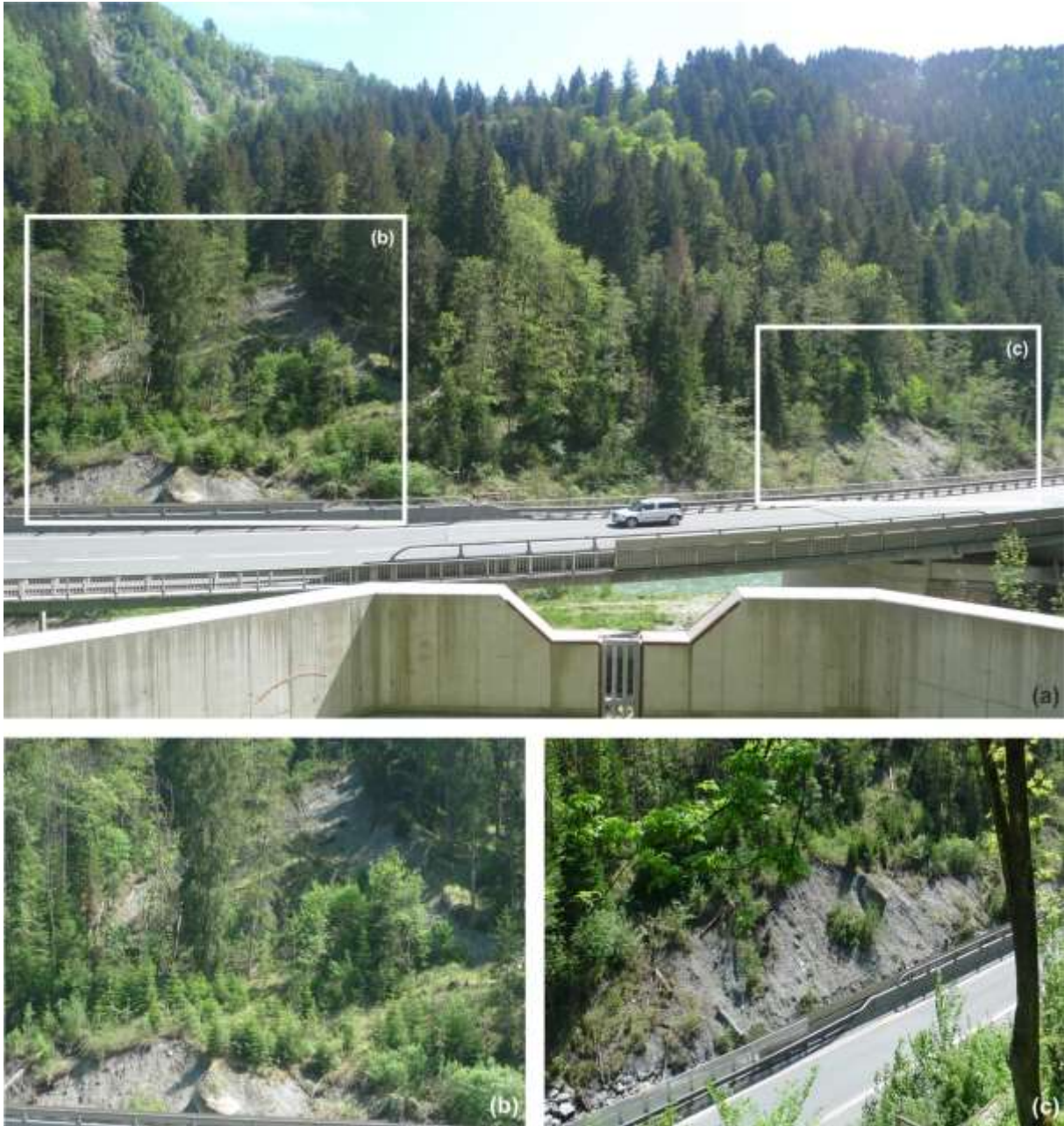


Abbildung 35 (a) Rutschungen am Hangfuß auf Grund der Erosionskraft der Salzach. Bild (b) und (c) stellen Vergrößerungen aus Bild (a) dar.

Espangrinne und Espen Plaike:

Am westlichen Rand der Espangrinne kann man viele Rutschungen (Abbildung 36b, c) und Zerreißen (Abbildung 36d) beobachten, im Großen und Ganzen verengt sich die Rinne nach unten hin. Bei der Espen Plaike (Abbildung 36a) handelt es sich um zwei separate Kanäle mit eigenständigem Einzugsgebiet und einer jeweiligen muscheligen Ausbildung der Abrisskante. Nach unten hin werden diese Kanäle ebenso wie in der Espangrinne immer schmaler und steiler.



Abbildung 36 (a) Rutschung in der Espen Plaike. (b, c) Rutschungen in der Espen Rinne. (d) Ausbildung von Horst und Graben Strukturen durch Zerreißen.

5.2 PHYSIKALISCHE PARAMETER, HYDROCHEMIE UND SCHWEFELISOTOPIE

Auf Basis der hydrogeologischen Kartierung wurden 20 Quellen (Anhang A) für die hydrogeochemische Analyse herangezogen und zusätzlich von Mai bis Oktober siebenmal der Abfluss, die Leitfähigkeit, die Wassertemperatur und dreimal der pH-Wert bestimmt. Zudem wurden drei Quellen für die Schwefelisotopie ausgewählt.

5.2.1 PHYSIKALISCHE PARAMETER

Die Ergebnisse für die physikalischen Parameter wie elektrische Leitfähigkeit und Temperatur, welche vor Ort gemessen wurden, werden in diesem Kapitel näher erläutert. Der pH-Wert wurde nur dreimal gemessen und daher ist die Repräsentativität der Werte nicht gesichert. Bezüglich dem pH-Wert sei an dieser Stelle dennoch erwähnt, dass es sich bei allen 20 Quellen während des Messzeitraumes um leicht basische Wässer handelt mit einem Minimum Wert von 7,247 bei EPQ29 und einem Maximum Wert von 8,319 bei EPQ17, was sich bei der Bildung der Sinterterrassen widerspiegelt (Tabelle 13).

Tabelle 13 Arithmetisches Mittel des pH-Wertes von 3 Messungen pro Messstelle.

Messstelle	pH	Messstelle	pH
EPQ21	8,156	EPQV01	8,204
EPQ07	7,490	EPQV15	8,177
EPQ08	7,864	EPQ29	7,247
EPQ10	7,515	EPQ34	7,722
EPQ13	7,448	EPQ44	7,427
EPQ16	7,949	EPQD24	7,629
EPQ17	8,319	EPQD42	7,823
EPQD02	7,435	EPQV38	8,019

Für die nachfolgende Auswertung der elektrische Leitfähigkeit und der Temperatur wurden die Daten der Quellen EPQV19, EPQV27 und EPQV28 zum Teil nicht verwendet, da sie im Juli und August trocken lagen und somit nicht mit den Anderen vergleichbar sind. Die Messstelle EPA35, welche den Abfluss des Salaterbaches kurz vor der Mündung in den Kirchbach zeigt, wurde auf Grund von Trockenheit ganz aus der Analyse genommen.

Im Allgemeinen zeichnet sich für die elektrische Leitfähigkeit und die Temperatur ein saisonaler Trend ab. Beide nehmen von Mai bis Juli und August zu und bis Ende Oktober wieder ab (Abbildung 37).

Für einen genaueren Vergleich muss die erste Messreihe vom 05.05.2015 außer Acht gelassen werden, da es sich dabei um die Erstaufnahme der Quellen bei der hydrogeologischen Kartierung handelt, welche an unterschiedlichen Tagen durchgeführt wurde. Vergleicht man nun die Leitfähigkeitswerte mit den Schüttungsganglinien (Abbildung 51, Seite 93), zeigt sich, dass manche Quellen (EPQ13, EPQV01, EPQV15 und EPQ21) vom 26.05.2015 auf den 25.06.2015 keinen gegenläufigen Trend aufweisen. Hierbei handelt es sich vermutlich um Messfehler. Vor allem die Schüttungsmessungen sind auf Grund der Kübelmessung, dem Gelände und den niedrigen Schüttungen, bei denen sich bereits ein Messunterschied von 0,1 l/sec extrem auswirkt, als fehlerhaft einzustufen.

Die restlichen Quellen zeigen gegenläufige Leitfähigkeits- und Schüttungswerte. Sie weisen daher auf einen schnellen Einfluss der Oberflächenwässer hin. Bei diesem Vergleich wurden auch die Quellen EPQV19, EPQV27 und EPQV28 berücksichtigt.

Ebenso wirken die Schüttungsdaten vom 05.10.2015, die bei manchen Quellen extreme Ausreißer nach oben zeigen, bei der Leitfähigkeit aber eher gleichbleibend sind als fehlerbehaftet.

Der saisonale Trend spiegelt sich ebenso bei einer prozentualen Auswertung wieder:

- **Wassertemperatur:**
100% der Proben zeigen die höchsten Wassertemperaturwerte im Juli und August, wohingegen die niedrigsten Werte im Mai mit 88% aller Proben auftreten (Tabelle 14).
- **Elektrische Leitfähigkeit:**
Die höchsten Leitfähigkeiten treten im Juli und August auf und zwar bei 75% der Proben. 13% der Proben (EPQ17 und EPDQ02) haben die höchsten Werte im Oktober. Dies könnte ein Indiz auf erhöhte Verweilzeiten im Untergrund sein. 100% haben die niedrigsten Werte im Mai (Tabelle 14).

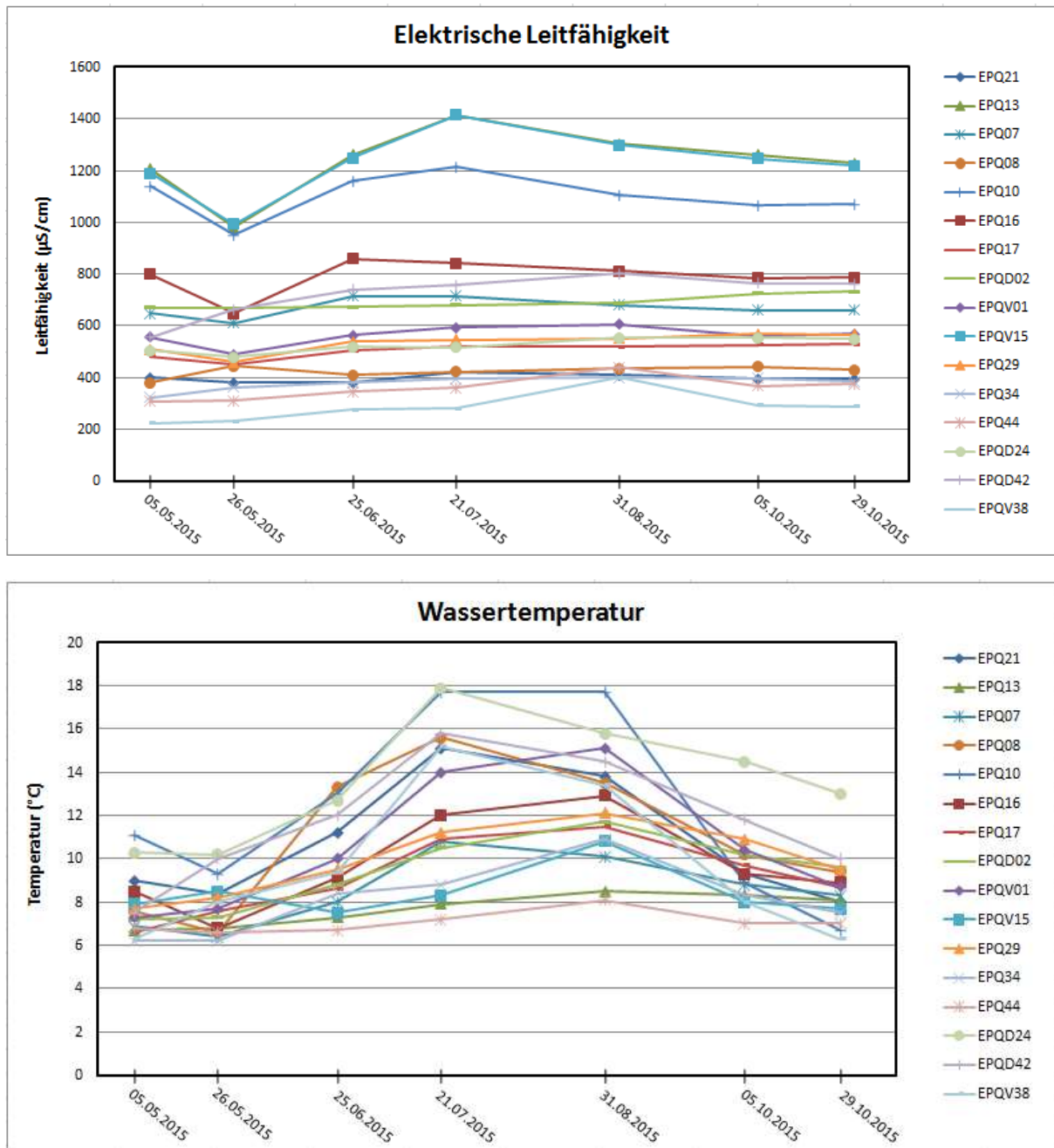


Abbildung 37 Die elektrische Leitfähigkeit und die Wassertemperatur aller Messstellen geplottet gegen die Zeit zur Darstellung des saisonalen Trends

Tabelle 14 Prozentanteil der Proben für maximale und minimale Werte der aufgenommenen Parameter bezogen auf die Zeit.

	Mai		Juni		Juli & August		Oktober	
	MAX Werte	MIN Werte	MAX Werte	MIN Werte	MAX Werte	MIN Werte	MAX Werte	MIN Werte
Temperatur	-	88%	-	6%	100%	-	-	6%
Leitfähigkeit	6%	100%	6%	-	75%	-	13%	-

BESCHREIBUNG DER MESSSTELLEN

Auf Basis der hydrogeologischen Kartierung, welche auf den ersten Blick extreme Unterschiede in der elektrischen Leitfähigkeit zeigt (Anhang A), ist eine Einteilung der Messstellen nach Lage und Leitfähigkeit naheliegend. Auf Grund dieser Kriterien wurden auch die 20 Messstellen ausgesucht (Anhang A). Die Daten zu den Messstellen sind in Tabelle 15 aufgelistet. Im Weiteren sind Fotos sowie Skizzen des Quellbereiches in Anhang B zu finden.

Embacher Plaike:

LF 400-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$:

- **EPQ08** stellt einen Wasseraustritt auf einer Rutschmasse dar. Mit einer Leitfähigkeit von 424 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (geometrisches Mittel = g. M.) stellt EPQ08 die geringst mineralisierteste Quelle in der Embacher Plaike dar mit einem geringen Schwankungsbereich der Leitfähigkeitswerte. Die Temperatur hat einen breiten Schwankungsbereich von 6,6 – 15,6°C.
- **EPQ17** liegt im westlichen Bereich der Embacher Plaike in etwa auf der gleichen Höhe wie EPQ13 und ist bezüglich der Schüttung eine der wichtigsten Quellen in der Embacher Plaike (arithmetische Mittel (= a. M.) der Schüttungswerte:0,247). Hier bilden sich sogenannte Sinterterrassen (a.M. des pH-Wertes: 8,32), die elektrische Leitfähigkeit liegt dabei im Mittel bei 504 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und einer Streuung von 15 %, der mittlere pH Wert bei 8,32. Es sei erwähnt, dass der höchste Leitfähigkeitswert nicht wie bei vielen anderen Quellen im Juli oder August liegt sondern Ende Oktober. Bei dieser Messung ist auch der pH Wert am höchsten. Die Temperatur schwankt von 6,6 – 11,1 °C also um 4,5 °C.
- **EPQV01** liegt im unteren Bereich der Embacher Plaike und weist leichte Versinterungen auf (dünne Sinterschichten um Moos) (mittlerer pH-Wert:8,2). Die Leitfähigkeit (g. M.: 562 $\mu\text{S}/\text{cm}$) bleibt mit einem Schwankungsbereich von 19% relativ konstant, die Temperaturen hingegen schwanken beträchtlich.
- **EPQ07** tritt punktuell an einem Felsen aus, wobei die Temperaturunterschiede im gemessenen Zeitraum um 4,4 °C schwanken. Auch die Leitfähigkeit (g. M.: 669 $\mu\text{S}/\text{cm}$) weist nur einen geringen Streuungsbereich auf.

- **EPQD02** stellt eine gefasste Quelle mit Drainage dar und ist eine der Hauptquellen der Embacher Plaike mit einer Schüttung von 0,12 l/sec (a. M.). Zusätzlich sammelt sich hier das Regenwasser und wird gemeinsam mit dem Quellwasser der EPQD02 über die ausgebaute Tagwasserschale abgeleitet. Die Leitfähigkeit (g. M.: 691 $\mu\text{S/cm}$) variiert um nur 9% und somit über den gemessenen Zeitraum wenig, die Temperatur um 4,5 °C.
- **EPQ16** entspringt bei einem entwurzelten Baum. Die gegebene morphologische Situation deutet darauf hin, dass das Wasser weiter oben versickert und unterirdisch bis EPQ16 verläuft, wo es wieder zu Tage tritt. Die mittlere (g. M.) Leitfähigkeit liegt bei 788 $\mu\text{S/cm}$ und schwankt mit einer Abweichung von 25% bereits um einiges mehr als die bereits beschriebenen Quellen. Die Temperaturdifferenz beträgt 6,1°C.

LF 800-1400 $\mu\text{S/cm}$:

- **EPQ10** ist eine der hochmineralisierten Quellen im östlichen Bereich der Plaike mit elektrischen Leitfähigkeitswerten von 951 – 1213 $\mu\text{S/cm}$. Die Messstelle weist rötliche Verfärbung auf, vermutlich auf Grund mikrobieller Aktivität. Der pH-Wert liegt im Mittel bei 7,515 infolgedessen eine Hydroxid-Fällung auszuschließen ist. Bei allen Parametern zeigen sich hohe Schwankungsbereiche.
- **EPQV15** ergibt sich aus einer größeren Vernässungszone im östlichen Bereich der Plaike und gehört somit zu den Quellen mit hochmineralisiertem Wasser. Mit einer Schüttung von 0,1 l/sec (a. M.) ist sie eine der vier Hauptquellen der Embacher Plaike. Die mittlere (g. M.) elektrische Leitfähigkeit beträgt um die 1224 $\mu\text{S/cm}$, variiert allerdings um 30%. Wassertemperatur bleibt mit geringer Differenz über die gemessene Zeitspanne recht konstant (3,3 °C). Das a. M. des pH-Wertes liegt bei 8,18.
- **EPQ13** schüttet mit 0,42 l/sec (a. M.) am meisten Wasser in der Plaike. Auffallend sind hier die geringen Temperaturschwankungen von Mai bis August, welche nur 1,8°C betragen. Die elektrischen Leitfähigkeitswerte liegen zwischen 982 – 1415 $\mu\text{S/cm}$ und variieren wie bei jeder hochmineralisierten Quelle in der Embacher Plaike stark (31%).

Tabelle 15 Messtellen eingeteilt in Lage und Leitfähigkeitswerte. Gezeigt werden die Datenbereiche für die elektrische Leitfähigkeit und die Temperatur sowie die prozentuale Streubreite der Leitfähigkeit und der Differenzbereich der Temperatur. EP = Embacher Plaike; EH = Embacher Hocheben; NP = Nachbar Plaike.

* = Überlauf von gefasster Quelle trocken, Umgebungswasser gemessen; ** = Pro Messstelle nur 3 - 4 Datensätze vorhanden auf Grund Trockenfallen der Quellen während den Sommermonaten; die Daten dieser Quellen sind deswegen nicht mit den anderen vergleichbar.

Lage	Messstelle	Leitfähigkeits- bereiche ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$)				Temperatur ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
			geometrische Mittel	MIN	MAX	prozentuale Streubreite (%)	MIN	MAX	Δ Temperatur
EP	EPQ08	400 - 800	423	381	444	14	6,6	15,6	9,0
	EPQ17		504	452	529	15	6,6	11,1	4,5
	EPQV01		562	490	607	19	7,3	15,1	7,8
	EPQ07		669	612	715	14	6,4	10,8	4,4
	EPQD02		691	668	732	9	7,2	11,7	4,5
	EPQ16		788	647	860	25	6,8	12,9	6,1
	EPQ10	800 - 1400	1098	951	1213	22	6,7	17,7	11,0
	EPQV15		1224	994	1414	30	7,5	10,8	3,3
	EPQ13		1231	982	1415	31	6,7	8,5	1,8
EH	EPQV38	0 - 400	280	223	399	44	6,3	15,2	8,9
	EPQ44		355	308	439	30	6,6	8,1	1,5
	EPQ34 *		377	322	399	19	6,2	10,9	4,7
	EPQV27 **	400 - 800	428	401	453	11	7,8	10,5	2,7
	EPQV28 **		440	402	460	13	9,3	17	7,7
	EPQD24		524	478	554	14	10,2	17,9	7,7
	EPQ29		533	459	568	19	7,7	12,1	4,4
	EPQD42		716	556	801	31	7,5	15,8	8,3
NP	EPQV19 **	0 - 400	355	311	383	19	7,8	14,3	6,5
	EPQ21		396	379	422	10	8,0	15,1	7,1

Embacher Hochebene:**LF 0-400 μ S/cm:**

- **EPQV38** liegt in einer großen Vernässungszone und zeigt niedrige Leitfähigkeitswerte zwischen 223 und 399 μ S/cm und einer großen prozentualen Streuung von 44%. Die Temperatur ist sehr variabel mit einem Delta-Wert von 8,9°C.
- **EPQ44** stellt eine punktuelle Quelle aus einem Klammkalkaufschluss dar. Diese Quelle ist genauso wie EPQ13 in der Plaike wenig temperaturempfindlich, die Differenzen liegen bei nur 1,5 °C. Die Unterschiede im Leitfähigkeitswerte schwanken zwischen 308 – 439 μ S/cm und einer Streuung von 30%. EPQ44 schüttet mit 0,19 l/sec (a. M.) am meisten von den ausgesuchten Messstellen der Embacher Hochebene.
- Die gefasste Quelle **EPQ34** wurde ebenfalls siebenmal beobachtet, es konnte jedoch keine Schüttung gemessen werden, da nur ein Zugang zum Überlauf gegeben ist, welcher in den heißen Monaten kein Wasser führte. Rund um die gefasste Quelle fließt dennoch Wasser, welches aus der gleichen Wasserquelle stammt. Es treten Leitfähigkeitswerte von 322 bis 399 μ S/cm auf (Abweichung: 19%). Die Temperaturdifferenzen im gemessenen Zeitraum betragen 4,6 °C.

LF 400-800 μ S/cm:

- **EPQV27** und **EPQV28** liegen in etwa 60m voneinander entfernt und fließen beide in den Salaterbach. Während den Monaten Juli und August waren beide Quellen trocken, EPQV27 ebenso im Juli. In den restliche Monaten, in denen gemessen werden konnte, lagen bei beiden Leitfähigkeitswerte zwischen 401 und 460 μ S/cm vor.
- **EPQD24** stellt eine Drainagierung einer kleinen Rutschung hinter einem Bauernhof dar. Sie führt für die Embacher Hochebene eher höher mineralisiertes Wasser (478 – 554 μ S/cm, 14% Abweichung). Die Temperaturen schwanken um 7,7°C.
- **EPQ29** ist in der Nähe der Quellen EPQV27 und EPQV28 zu finden, und zwar als Überlauf einer gefassten Quelle, die einen Brunnen speist. Obwohl diese Nähe zu den zwei erwähnten Quellen besteht, liegen die elektrischen Leitfähigkeitswerte von 459 – 568 μ S/cm um einiges höher (19% Schankung). Die Temperatur 7,7 und 12,1°C.
- **EPQD42** liegt unterhalb eines Bauernhofes und einer Weidewiese und speist den Brunnen eines Privathauses. Die hohen Leitfähigkeitswerte reichen von 556 – 801 μ S/cm und weisen einen Schwankungsbereich von 31% auf. Die Temperaturdifferenz beträgt 8,3°C.

Nachbarplaiken:**LF 0-400 μ S/cm:**

- **EPQV19** fließt in die Espangrinne, lag aber in den Sommermonaten Juli und August trocken. Die elektrische Leitfähigkeit reicht von 311 bis 383 μ S/cm. Die Temperatur variiert auch ohne Messungen in den heißen Monaten um 6,5°C.
- In der Espen Plaike findet man die Quelle **EPQ21** mit einer mittleren (g. M.) Leitfähigkeit von 396 μ S/cm. Die Quelle liegt zwar in einem Gebiet starker Vernässung, tritt aber dennoch recht punktuell aus, außer in Trockenperioden. Die Temperatur schwankt um 7,1 °C, der pH-Wert liegt bei 8,16 (a. M.).

ZUSAMMENFASSUNG DER PHYSIKALISCHEN PARAMETER

Embacher Plaike:

- Die Wässer der Embacher Plaike sind im Allgemeinen höher mineralisiert als jene der Embacher Hochebene und der Nachbarplaiken.
- Nur bei einer Quelle (EPQ13) bleiben die Wassertemperaturen im gemessenen Zeitraum nahezu konstant. Eine Temperaturdifferenz von 1,8°C tritt auf, die restlichen Quellen schwanken in einem Differenzbereich von 3,9 und 11°C.
- Von 9 ausgewählten Quellen in der Plaike sind 3 (EPQ13, EPQV15 und EPQ10) hochmineralisiert mit Leitfähigkeiten bis zu 1415 μ S/cm. Diese Quellen zeigen aber auch die saisonal höchsten Leitfähigkeitsdifferenzen. Bei den weniger mineralisierten Quellwässern ist dieser saisonale Schwankungsbereich nicht so stark ausgebildet.

Embacher Hochebene:

- Zwei Quellen der 8 und zwar EPQV27 und EPQV28 basieren für die Parameter Temperatur und Leitfähigkeit auf nur drei bis vier Datensätze, da diese in den heißen Monaten trocken fielen. Sie sind somit mit den anderen Quellen im gemessenen Zeitraum eigentlich nicht vergleichbar.
- Drei Quellen zeigen niedrigere Leitfähigkeiten (0 - 400 μ S/cm). Ansonsten treten bei den restlichen Quellen Leitfähigkeitswerte zwischen 400 und 800 μ S/cm auf. Hohe Streubreiten lassen sich auf der Embacher Hochebene im Gegensatz zur Embacher Plaike nicht höheren Leitfähigkeitswerten zuteilen.
- EPQ44 zeigt als einzige Quelle Wassertemperaturdifferenzen <1,5 °C, bei den restlichen Quellen liegen diese höher.

Nachbarplaike:

- EPQV19 entwässert in die Espangrinne, fällt aber temporär trocken. Es sind nur vier Datensätze vorhanden.

5.2.2 HYDROCHEMIE

Im Zuge der hydrochemischen Analyse wurden zwei Probennahmekampagnen durchgeführt, wobei die Quellen bei der ersten Probennahme am 26.05.2015 mehr schütteten als bei der Zweiten am 31.08.2015, was auf den saisonalen Trend der Schüttung, welcher in der Abbildung 51 (Seite 93) dargestellt wird, zurückzuführen ist. Die Daten der hydrogeochemischen Analyse sind im Anhang C aufgelistet.

Allgemein betrachtet sind die Wässer der Embacher Plaike höher mineralisiert als jene der Embacher Hochebene und der Nachbarplaiken. Sie lassen sich wiederum in zwei Bereiche gliedern: Hochmineralisierte Wässer im Osten, niedrigmineralisierte im Westen. Die extrem erhöhten Leitfähigkeitswerte sind im östlichen Teil der Plaike primär auf den veränderten Sulfatgehalt zurückzuführen (Abbildung 38), aber auch auf erhöhte Ca^{2+} Werte. Jene Quellen mit einem Leitfähigkeitswert zwischen 800 und 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, weisen bei beiden Probenkampagnen einen Sulfatgehalt >300 mg/l auf. Die Proben der westlichen Embacher Plaike liegen im Leitfähigkeitsbereich von 400 – 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Sulfatgehalte sind hier wesentlich geringer (<50 mg/l SO_4^{2-}).

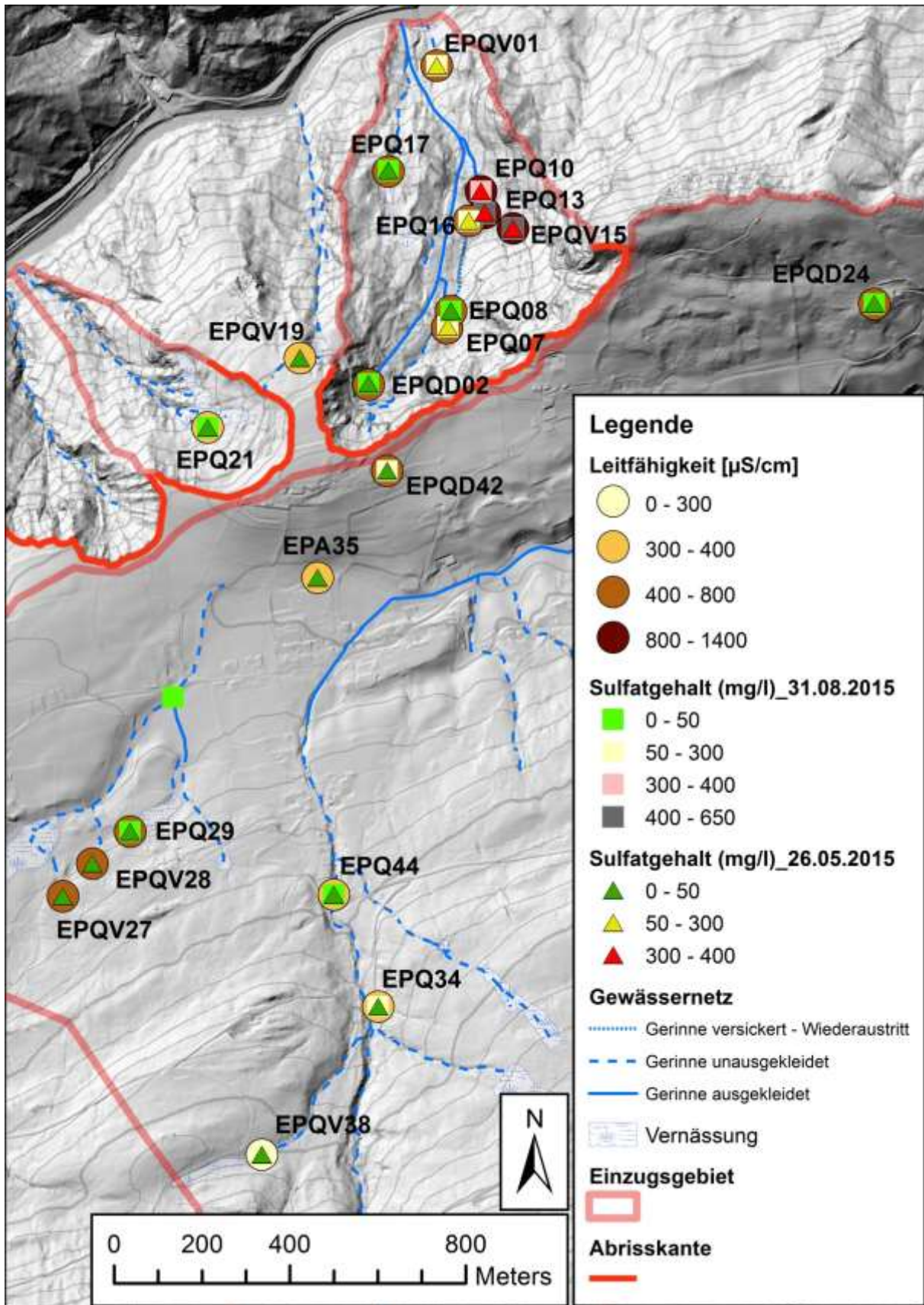


Abbildung 38 Karte zur Veranschaulichung des Zusammenhanges von elektrischer Leitfähigkeit und dem Sulfat-Gehalt. Die Leitfähigkeitswerte zeigen das geometrische Mittel aus allen Datensätzen.

PIPER DIAGRAMME

Um einen Überblick der Wassertypen nach Furtak und Langguth (1967) zu erhalten, zeigt das Piper Diagramm in Abbildung 39a alle Wässer beider Probenkampagnen geordnet nach elektrischer Leitfähigkeit.

Die Wässer mit **hoher Leitfähigkeit** (EPQ10, EPQ13 und EPQV15) liegen im Feld 3 und stellen somit erdalkalisch-sulfatische Wässer ($\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$ Wässer) dar, sie haben dennoch einen sehr hohen HCO_3^- Gehalt. Die hohen Leitfähigkeitswerte sind durch die erhöhten Sulfatgehalte gegeben. Die **mittleren Leitfähigkeiten** verteilen sich auf den Feldern der erdalkalisch-karbonatisch-sulfatischen Wässer (2) ($\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-\text{-SO}_4^{2-}$ Wässer) und der erdalkalisch-karbonatischen Wässer (1) ($\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ Wässer). Im Feld 1 plotten ebenso die Proben mit **niedriger Leitfähigkeit**.

Drei Proben vom 31.08.2015 (EPQ07, EPQ16 und EPQV01) liegen im Feld erdalkalisch-karbonatisch-sulfatisch (2), deren Äquivalente vom 26.05.2015 sind allerdings geringer angereichert an Sulfat und zählen daher gemeinsam mit den restlichen Proben zu den erdalkalisch-karbonatischen Wässern (1). Hierbei kann man wiederum zwischen überwiegend Kalzium-Karbonat (8) und überwiegend Kalzium-Magnesium-Karbonat Wässer (9) unterscheiden. Letztere kommen nur an den Messstellen EPQ07 und EPQD02 bei der Probennahme am 31.08.2015 vor.

Die Abbildung 39b zeigt sehr deutlich die erdalkalisch-sulfatischen Wässer in der **Embacher Plaike** (EP). Nur drei Messstellen in der Embacher Plaike (EPQD02, EPQ17 und EPQ08) liegen unter 20 % $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$. Die Wässer der **Embacher Hocheben** (EH) und der **Nachbarplaiken** (NP) liegen alle im Bereich der erdalkalisch-karbonatischen Wässer, hervorzuheben sind hier drei Probenwässer (EPQ34, EPQV38 und EPQD42), welche leicht erhöhte Sulfatgehalte bei der Probennahme vom 31.08.2015 aufweisen. Die Probe EPQD42 zeigt zudem erhöhte Gehalte bei Na^+ , K^+ , NO_3^- und Cl^- bei beiden Probenkampagnen (Abbildung 43 und Abbildung 44).

EPQ10, EPQ13, EPQV15
 EPQ07, EPQ16, EPQV01
 EPQ34, EPQV38, EPQD42
 EPQ07, EPQD02

Legende (a)

26.05.2015
 ▲ LF 0-450 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 ● LF 450-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 ■ LF 800-1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$

31.08.2015
 ▲ LF 0-450 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 ● LF 450-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 ■ LF 800-1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$

EPQ10, EPQ13, EPQV15
 EPQ07, EPQ16, EPQV01
 EPQ34, EPQV38, EPQD42
 EPQD02, EPQ17, EPQ08

Legende (b)

● EH (21.05.2015)
 ■ EH (31.08.2015)
 ● EP (21.05.2015)
 ■ EP (31.08.2015)
 * NP (21.05.2015)
 + NP (31.08.2015)

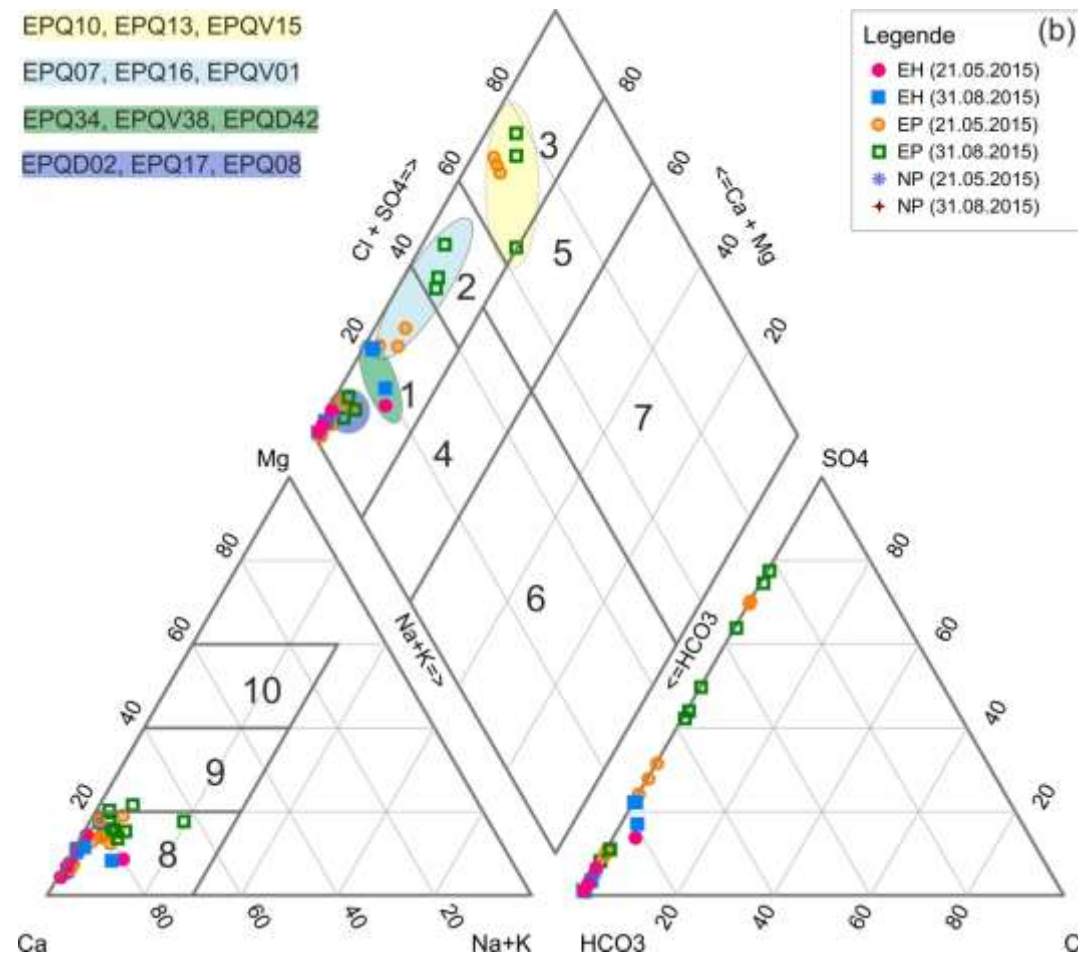
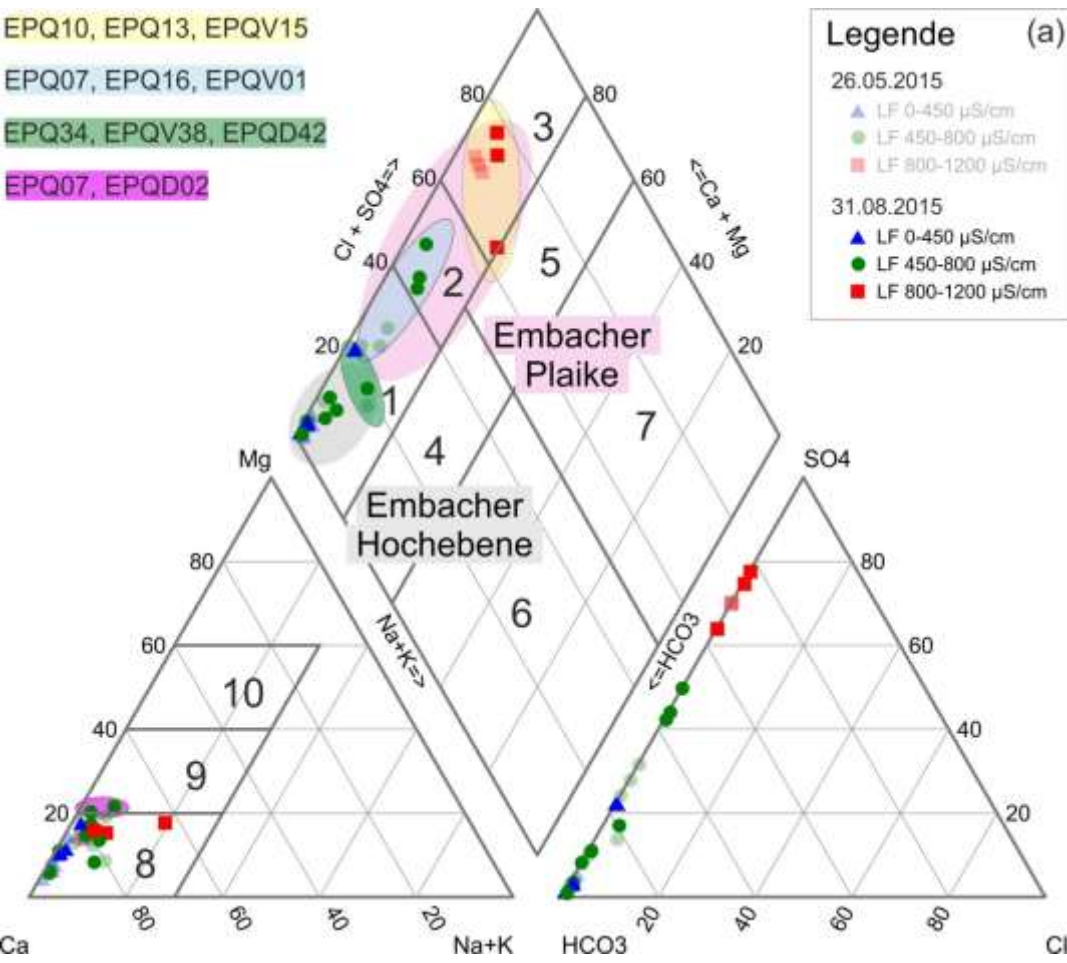


Abbildung 39 Die Wässer der Embacher Plaike und Hochebene dargestellt im Piper Diagramm bezogen auf (a) die elektrische Leitfähigkeit und (b) den Quellort (EH = Embacher Hochebene; EP = Embacher Plaike, NP = Nachbar Plaike) sowie zusätzliche Charakterisierung der Wassertypen nach Furtak und Langguth (1967). Mit Hilfe des grauen und rosaroten Feldes wird zwischen Proben der Embacher Hochebene und Plaike unterschieden. Die Kennzeichnung mit verschiedenen Farbfeldern wird im Text erklärt.

SCHÖLLER DIAGRAMME

Das Schöller Diagramm dient dem Vergleich der Ionengehalte jeder Probe. Die Abbildung 40a bezieht sich auf die **elektrischen Leitfähigkeiten**. Die Proben zwischen 800-1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ heben sich vor allem beim SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} und Na^+ deutlich ab. Wie zu erwarten zeigen die Probenwässer der Embacher Hochebene niedrigere Ionengehalte als die Wässer der Embacher Plaike. Zudem weisen die Wässer vom 31.08.2015 höhere Konzentration auf als jene vom 26.05.2015, was auf den Verdünnungseffekt in humideren Monaten zurückzuführen ist.

Betrachtet man die Gliederung in **Embacher Plaike**, **Embacher Hochebene** und **Nachbarplaiken** genauer (Abbildung 40b), erkennt man eine größere Variation der Gehalte in der Embacher Plaike als in der Embacher Hochebene und den Nachbarplaiken. In der Tabelle 16 ist der mittlere Minimum-Wert sowie der mittlere Maximum-Wert der Massenkonzentration für jedes Ion eingeteilt nach Embacher Plaike (EP) und Embacher Hochebene + Nachbarplaiken (EH + NP; zusammengefasst, da sie ähnliche Werte zeigen) eingetragen. Nach Berechnung einer prozentualen Streubreite der Werte bezogen auf den Maximumwert, kann man erkennen, dass die Ionen Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ und SO_4^{2-} größere Schwankungsbereiche in der EP als auf der EH und in den NP aufweisen. Wohingegen die Ionen K^+ , NO_3^- und Cl^- das Gegenteil zeigen. HCO_3^- hingegen zeigt sowohl in der Embacher Plaike als auch auf der Hochebene und in den Nachbarplaiken ähnliche Gehalte und keine Differenz in der Streubreite. Eine stärkere Variation/Streubreite der Ionengehalte kann auf unterschiedliche Grundwasserleiter hinweisen.

Des Weiteren zeigt die Tabelle 16, dass alle Ionen bis auf K^+ , NO_3^- und Cl^- in den Wässern der Embacher Plaike angereichert sind. Dieser Umstand ist vermutlich dem Weidegebiet auf der Embacher Hochebene zuzuschreiben.

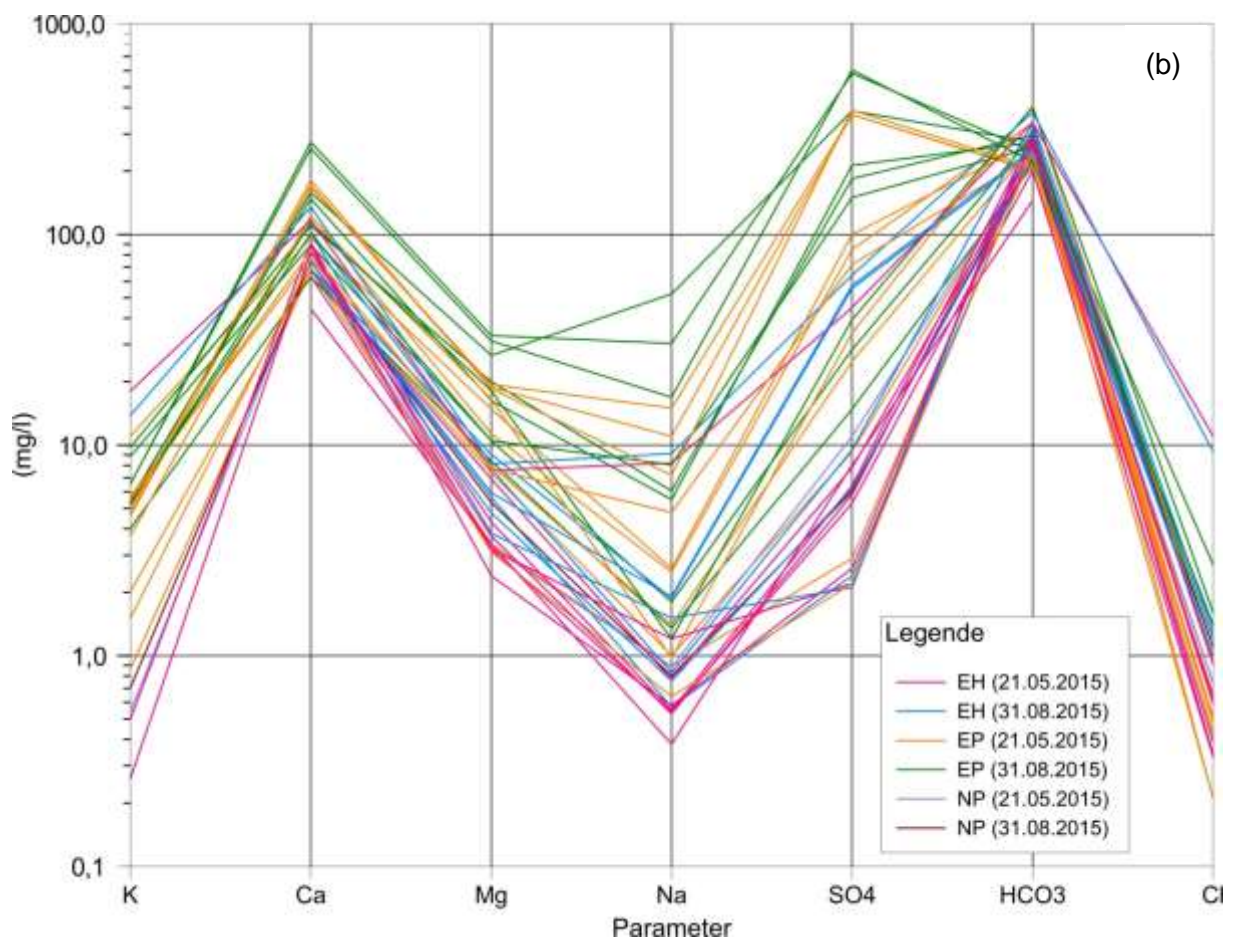
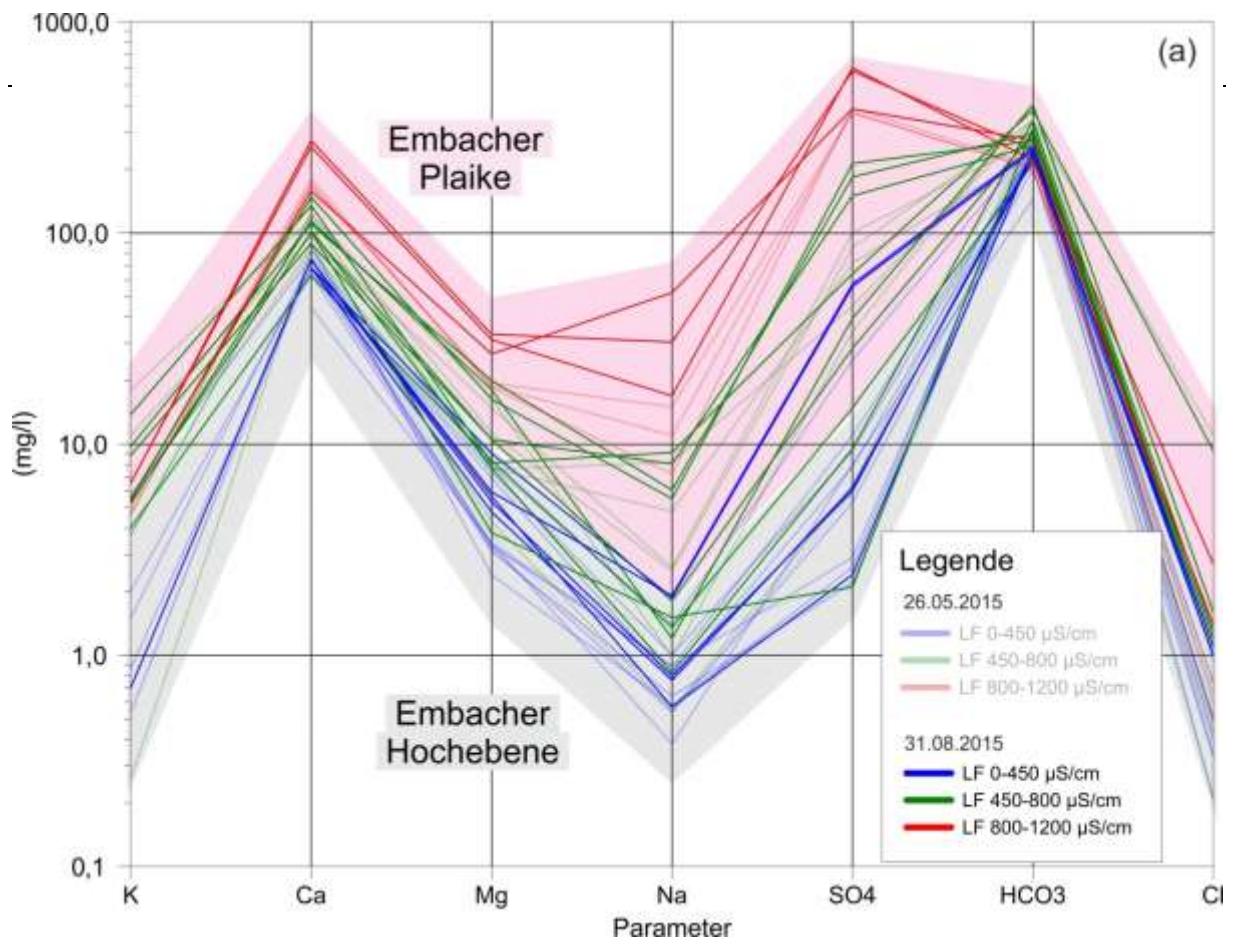


Abbildung 40 Die Wässer der Embacher Plaike und Hochebene dargestellt im Schöller Diagramm bezogen auf (a) die elektrische Leitfähigkeit (mit Hilfe des grauen und rosaroten Feldes wird zwischen Proben der Embacher Hochebene und Plaike unterschieden) und (b) den Quellort (EH = Embacher Hochebene; EP = Embacher Plaike, NP = Nachbar Plaike)

Tabelle 16 Minimale (=MIN) und maximale (=MAX) mittlere (arithmetisches Mittel von der Probennahme am 31.08. und 26.05.2015) Werte der Hauptionen in mg/l, eingeteilt in Embacher Plaike (=EP) und Embacher Hochebene + Nachbarplaiken (=EH + NP). Die Streubreite ist in %, bezogen auf den Maximumwert, angegeben. Die Differenz zwischen Streubreite von EP und EH+NP ergibt den Δ % Streubreite Wert.

Ion	Lage	MIN (mg/l)	MAX (mg/l)	% Streubreite	Δ % Streubreite
Kalzium	EP	65,20	227,45	71	16
	EH + NP	56,35	126,00	55	
Magnesium	EP	7,89	26,25	70	7
	EH + NP	3,11	8,33	63	
Natrium	EP	1,09	33,55	97	2
	EH + NP	0,48	8,66	95	
Kalium	EP	3,01	10,36	71	min. -27
	EH + NP	< 0,28	15,90	min. 98	
Nitrat	EP	< 2,80	9,40	min. 70	min. -27
	EH + NP	< 0,59	19,30	min. 97	
Chlorid	EP	< 0,61	1,83	min. 67	min. -27
	EH + NP	< 0,60	10,15	min. 94	
Sulfat	EP	12,05	497,50	98	2
	EH + NP	2,15	54,50	96	
Hydrogencar	EP	207,00	406,00	49	0
	EH + NP	185,00	361,00	49	

Bis auf die stark erhöhten SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} und Na^+ Gehalte der hochmineralisierten Wässer im östlichen Bereich der Plaike, weisen die Wässer der restlichen Embacher Plaike ähnliche Ca^{2+} und HCO_3^- Werte auf als jene der Embacher Hochebene (Abbildung 40). Die Magnesiumgehalte sind in den Wässern der Embacher Plaike höher als in jenen der Hochebene und Nachbarplaiken, neben den hochmineralisierten stechen aber vor allem noch die Quellen EPQ07 und EOQD02 mit ihren Mg^{2+} Gehalten hervor.

Betrachtet man die Streubreiten der Ionengehalte innerhalb der Embacher Plaike, berechnet aus dem Mittelwert von der Probennahme am 26.05.2015 und 31.08.2015, zum einen geordnet nach Leitfähigkeit (geometrisches Mittel) zum anderen nach geographischen Bereichen, zeigt sich Folgendes (Tabelle 17):

Die Wässer geordnet nach Leitfähigkeitsbereichen streuen alle wenig bei Ca^{2+} , Mg^{2+} und HCO_3^- , die hochmineralisierten zudem bei SO_4^{2-} . Die höchsten Streubreiten liegen bei den Ionen mit niedrigen Gehalten: Na^+ , K^+ , NO_3^- und Cl^- .

Die „geographischen“ Bereiche sind wie folgt gegliedert: EPQ10,13 und V15 liegen im selben Bereich; EPQD02 und EPQ17 ganz im Westen der Plaike und in Falllinie; die Morphologie zwischen den Quellen EPQ07 und EPQ16 erweckt den Anschein, dass EPQ07 versickert

und als EPQ16 wiederaustritt; und EPQV01 und EPQ08 liegen zwar nicht nebeneinander aber beide weisen ein lokales, kleinräumiges Einzugsgebiet auf. Die Streubreiten bezogen auf die „geographischen“ Bereiche variieren um einiges weniger. Auffällig ist die Abweichung bei EPQ08 und EPQV01 bezogen auf das SO_4^{2-} , welche sich allerdings durch die Lage der zwei Quellen erklären lässt. Ansonsten streuen die Ionengehalte vom Cl^- , K^+ und Na^+ am Meisten.

Tabelle 17 Prozentuale Streubreiten der Ionengehalte in der Embacher Plaike, wobei zum einen nach Leitfähigkeitsbereiche zum anderen nach „geographische“ Bereiche unterteilt wurde.

Leitfähigkeits- bereiche ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Messstellen	Streubreite (%)							
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
423-562	EPQ07	24	21	75	57	26	84	75	30
	EPQD02								
	EPQ16								
669-788	EPQ17	29	15	82	59	56	38	89	18
	EPQV01								
	EPQ08								
1098-1231	EPQ10	27	11	64	12	27	45	24	10
	EPQ13								
	EPQV15								
"geographische" Bereiche									
1	EPQ07	24	21	8	56	14	74	5	7
	EPQ16								
2	EPQD02	29	47	32	39	20	38	27	31
	EPQ17								
3	EPQ10	27	11	64	12	27	45	24	10
	EPQ13								
	EPQV15								
4	EPQ08	29	13	82	44	36	31	89	7
	EPQV01								

IONENVERGLEICH

In den Abbildung 41, Abbildung 42, Abbildung 43 und Abbildung 44 sind die einzelnen Hauptionen dargestellt, wobei die Daten aus der ersten und zweiten Probennahme aufgetragen sind und entweder mit einem weißen (Probe vom 31.08.2015 hat höhere Werte als Probe vom 26.05.2015) oder einem schwarzen Balken (Probe vom 26.05.2015 hat höhere Werte als Probe vom 31.08.2015) verbunden sind. Zusätzlich ist noch die Standardabweichung angegeben.

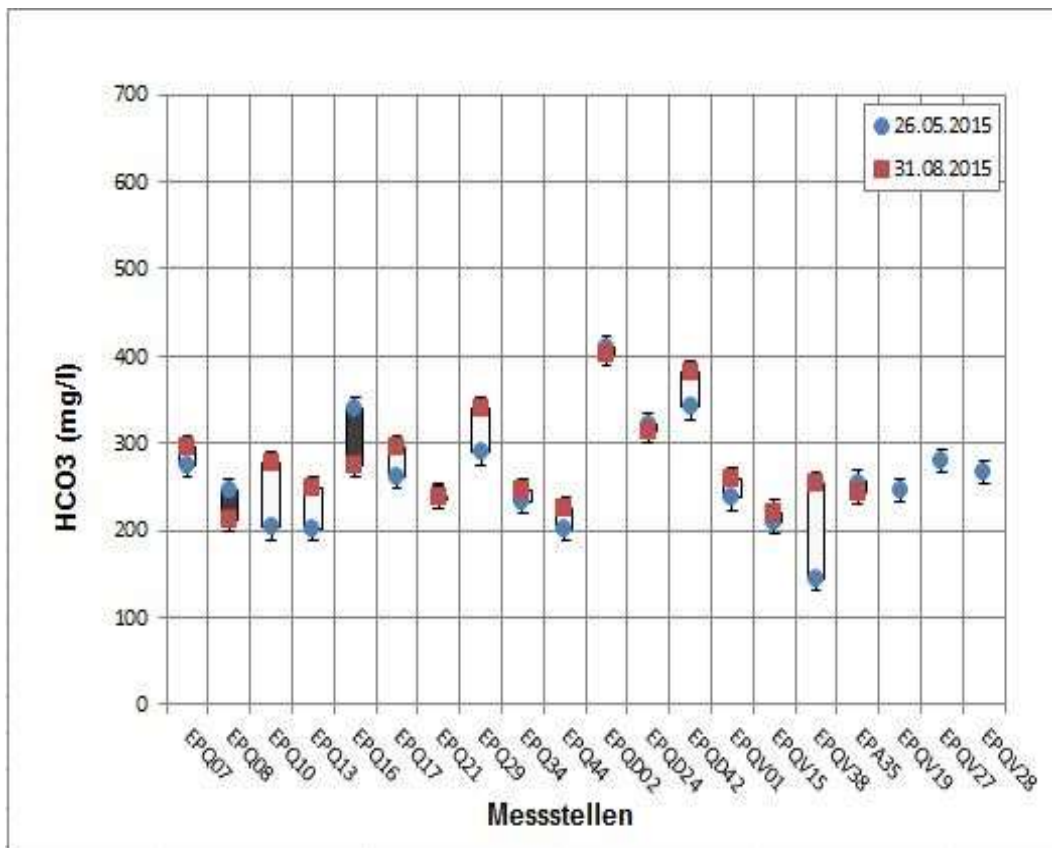
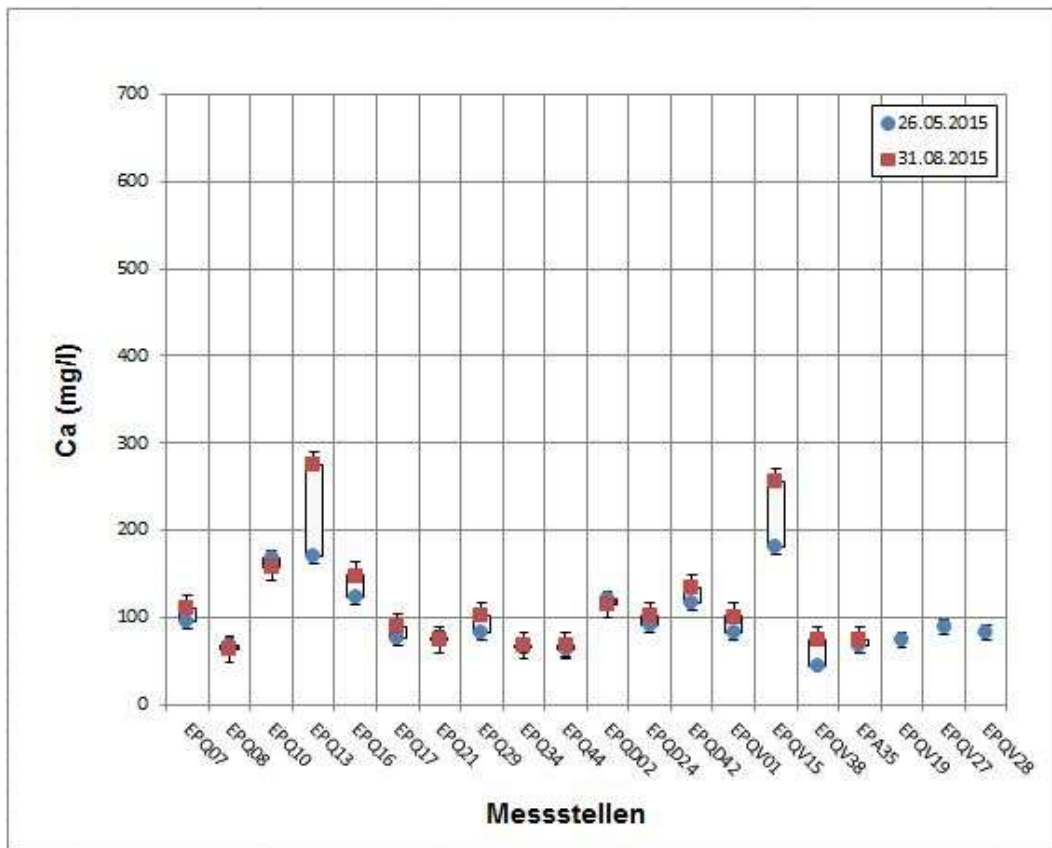


Abbildung 41 Darstellung aller Proben und derer Massenkonzentrationen in mg/l von Kalzium (Ca²⁺) und Hydrogenkarbonat (HCO₃⁻) und deren Standartabweichung. Weiße Balken = Konzentration 31.08.2015 > Konzentration 26.05.2015. Schwarzer Balken = Konzentration 26.08.2015 > Konzentration 31.08.2015.

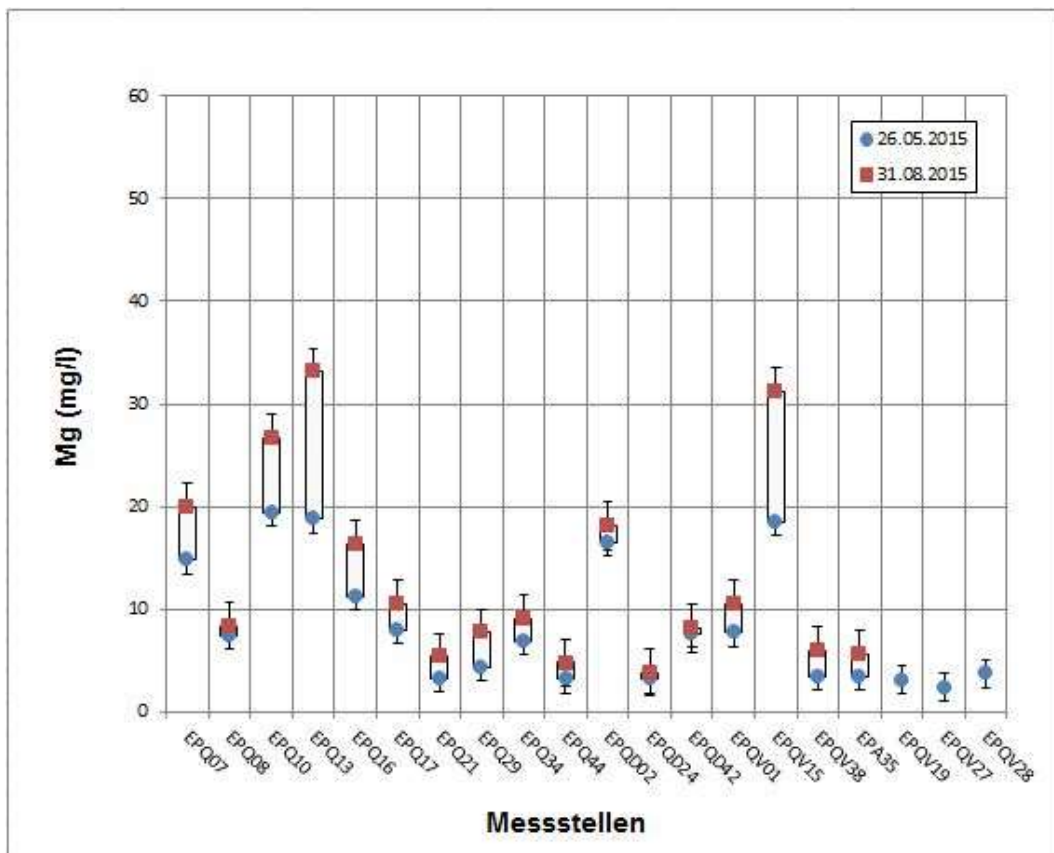
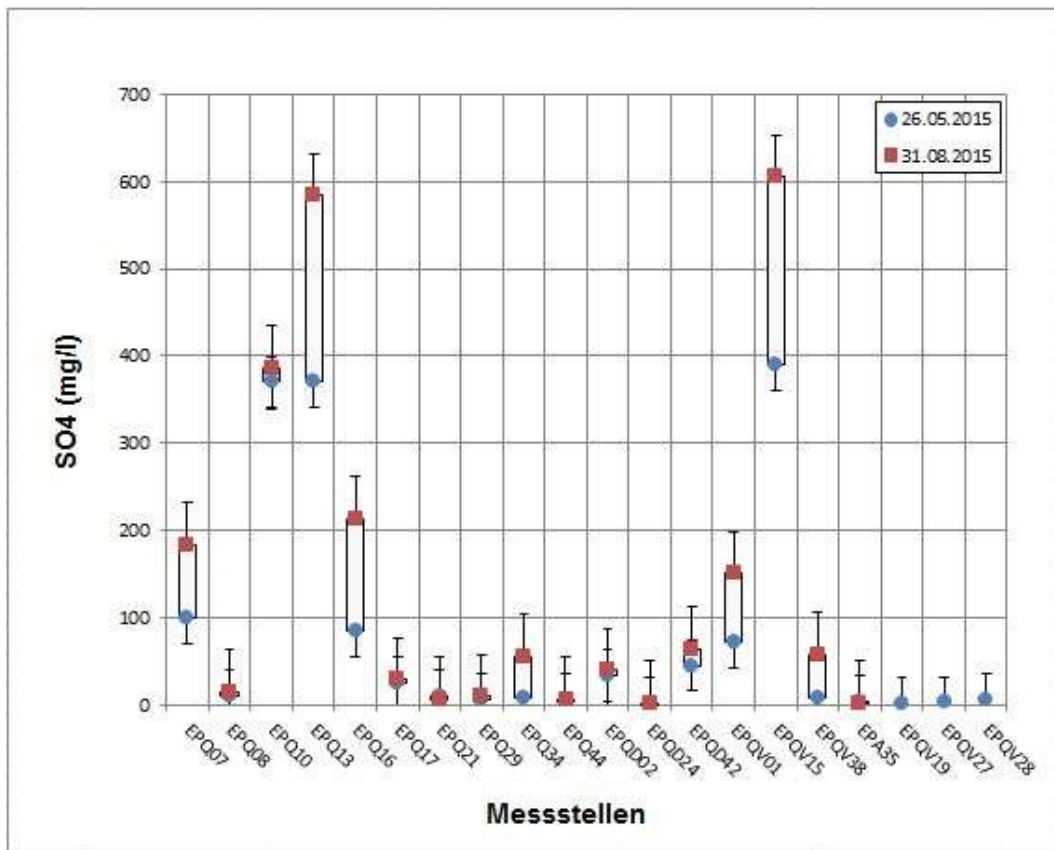


Abbildung 42 Darstellung aller Proben und deren Massenkonzentrationen in mg/l von Sulfat (SO_4^{2-}), und Magnesium (Mg^{2+}) und deren Standardabweichung. Weiße Balken = Konzentration 31.08.2015 > Konzentration 26.05.2015. Schwarzer Balken = Konzentration 26.08.2015 > Konzentration 31.08.2015.

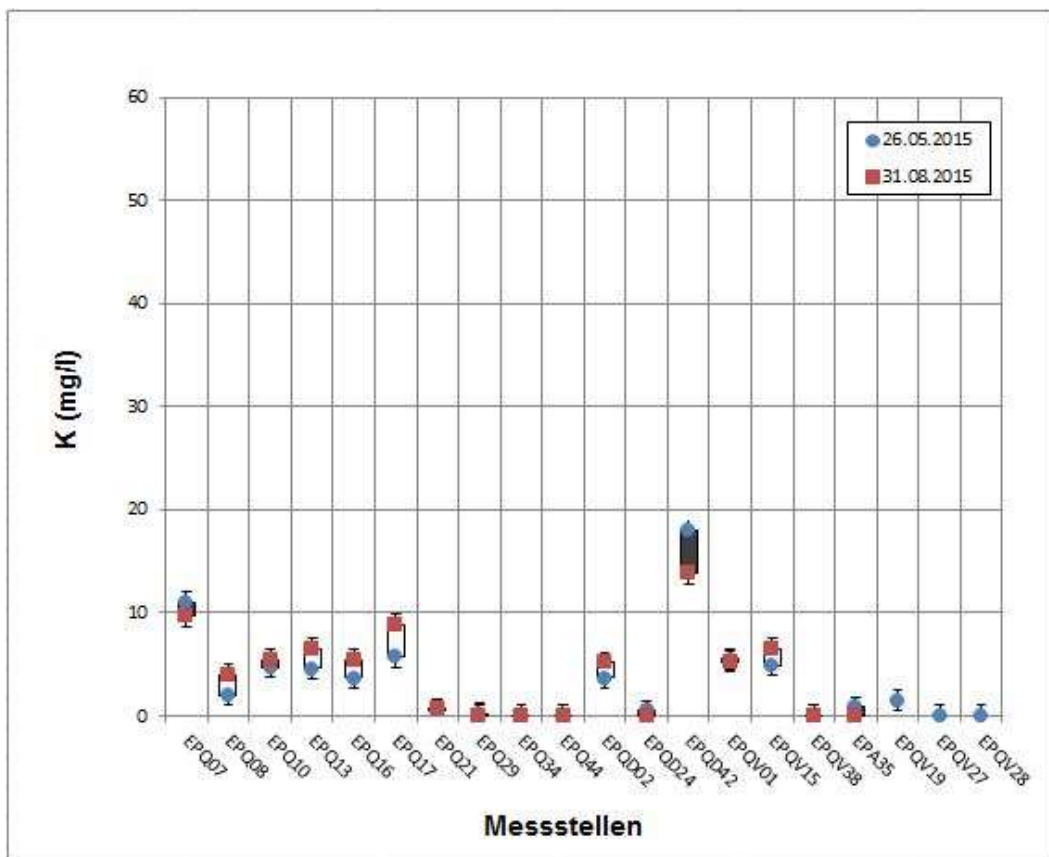
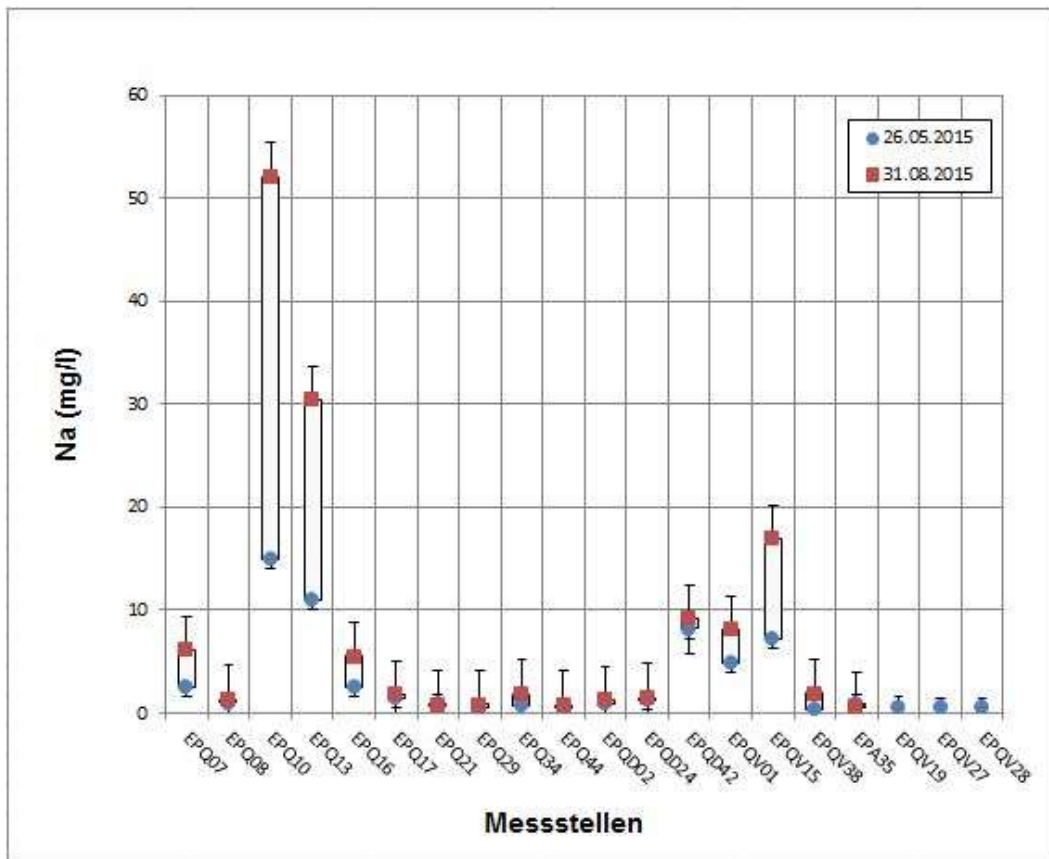


Abbildung 43 Darstellung aller Proben und deren Massenkonzentrationen in mg/l von Natrium (Na⁺) und Kalium (K⁺) und deren Standardabweichung. Weiße Balken = Konzentration 31.08.2015 > Konzentration 26.05.2015. Schwarzer Balken = Konzentration 26.05.2015 > Konzentration 31.08.2015.

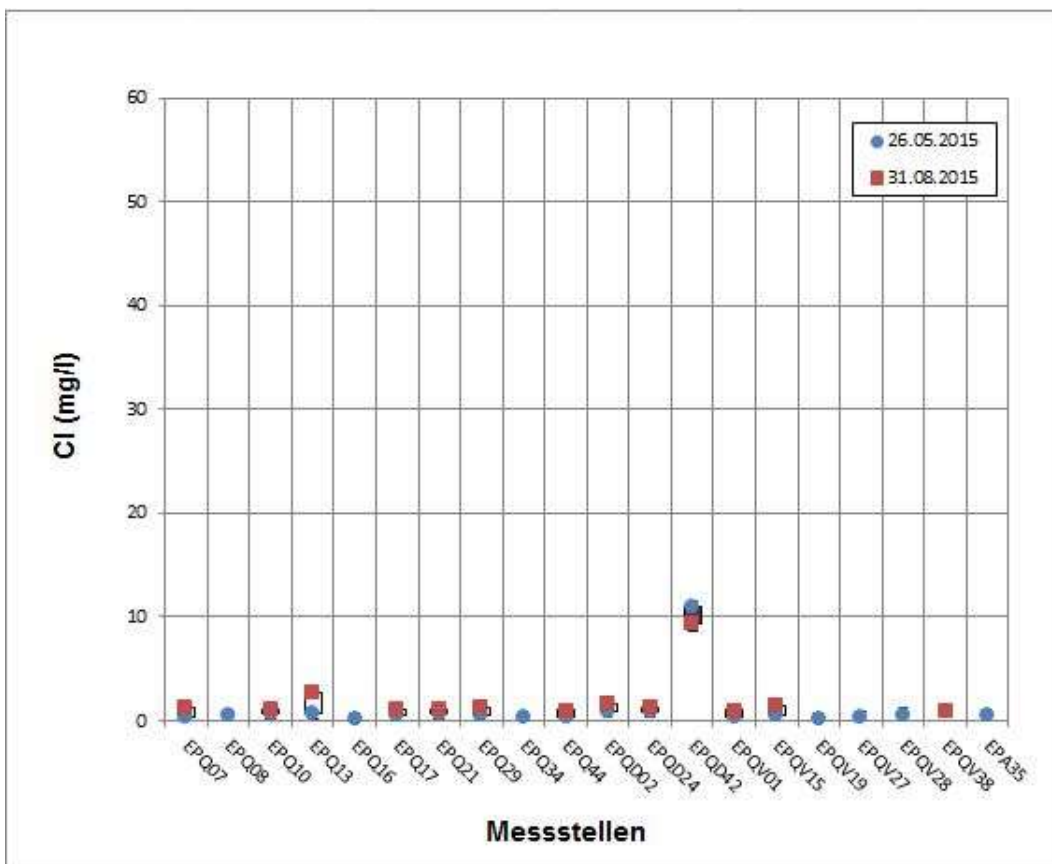
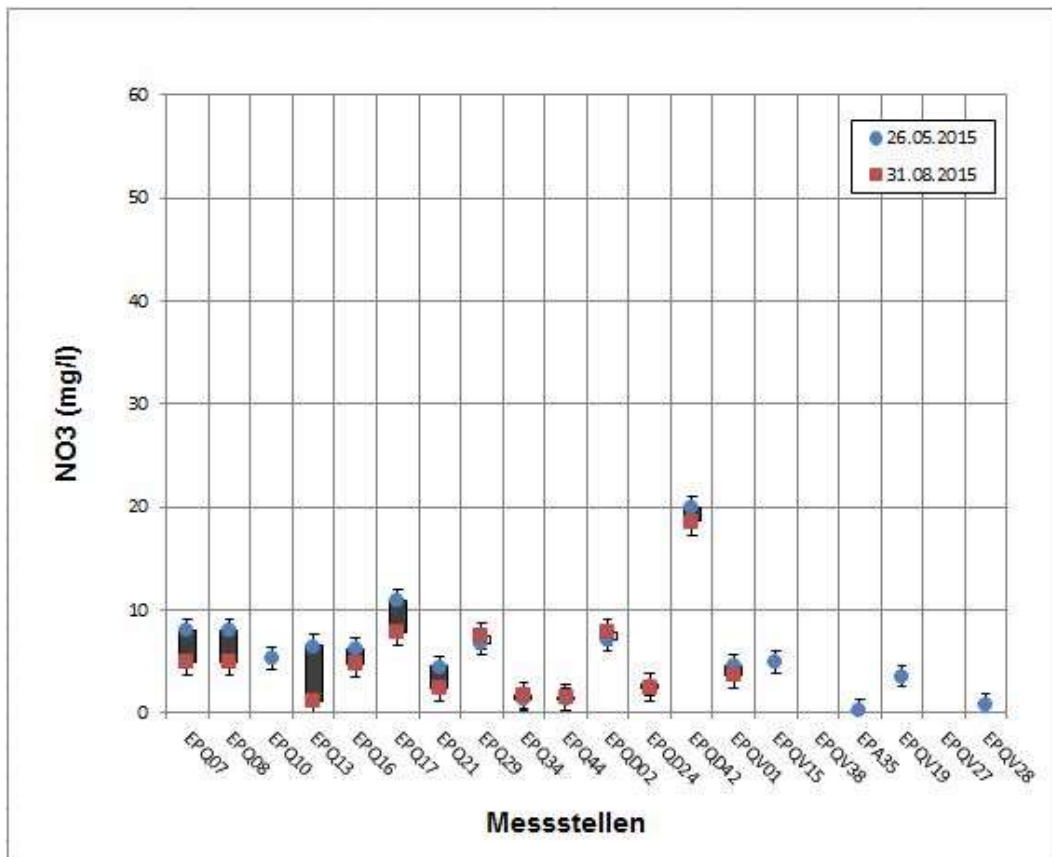


Abbildung 44 Darstellung aller Proben und deren Massenkonzentrationen in mg/l von Nitrat (NO₃) und Chlor (Cl⁻) und deren Standardabweichung. Weiße Balken = Konzentration 31.08.2015 > Konzentration 26.05.2015. Schwarzer Balken = Konzentration 26.08.2015 > Konzentration 31.08.2015.

Wie in Abbildung 41 und Abbildung 42 ersichtlich sind Ca^{2+} und SO_4^{2-} für die Proben EPQ10, EPQ13 und EPQV15 deutlich erhöht. HCO_3^- ist hingegen bei allen Wässern mit einem Gehalt zwischen 185 und 406 mg/l vorhanden, was für karbonatbeeinflusste Aquifere spricht. Die Probe EPQD02 sticht dabei mit einem Gehalt um die 400 mg/l HCO_3^- jedoch hervor. Vergleicht man diese Beobachtungen mit den Mg^{2+} Gehalten (Abbildung 42) kann man feststellen, dass die Proben EPQ10, EPQ13 und EPQV15 auch reich an Mg^{2+} sind, zusätzlich aber auch die Proben EPQ07 und EPQD02. Na^+ ist wie Mg^{2+} in den hochmineralisierten Proben erhöht, K^+ allerdings nicht. Dieses ist in EPQ07, EPQ17 und vor allem in EPQD42 angereicht. EPQD42 weist zudem erhöhte NO_3^- und Cl^- Gehalte auf. NO_3^- tritt auch noch leicht erhöht in EPQ17 auf (Abbildung 43 und Abbildung 44).

Die Probe EPQ08 zeigt keine Anreicherungen an ebenso wie EPQV01, welche allerdings leicht erhöhte SO_4^{2-} Gehalte aufweist.

Plottet man Ca^{2+} gegen HCO_3^- (Abbildung 45a) ist zu beobachten, dass mit steigendem HCO_3^- Gehalt auch das Ca^{2+} steigt. Ausgenommen hiervon sind die Proben EPQ10, EPQ13, EPQV15 und zum Teil EPQ16, welche erhöhte Ca^{2+} -Werte bei nahezu gleichbleibenden HCO_3^- -Gehalten aufweisen. Dies lässt sich mit Hilfe der Abbildung 45b erklären. Die erhöhten Ca^{2+} -Gehalte der oben genannten Quellen korrelieren mit den hohen SO_4^{2-} -Werten. Auch hier ist ein allgemeiner Trend erkennbar: Je mehr Sulfat desto mehr Kalzium ist in den Wässern vorhanden.

Das Mg^{2+} zeigt wiederum eine positive Korrelation mit Ca^{2+} (Abbildung 46).

Das Gegenüberstellen von K – Na, K – Mg, Na – Mg weist keine Korrelation auf.

Im Großen und Ganzen spiegeln die Ionenverhältnisse, aber auch die Betrachtung der Ionengehalte insgesamt die Geologie des Grundwasserleiters wider. Alle Wässer durchfließen Kalziumkarbonat (Ca^{2+} - HCO_3^-), die hochmineralisierten Wässer zusätzlich Kalziumsulfat (Ca^{2+} - SO_4^{2-}). Die Korrelation zwischen Ca^{2+} und Mg^{2+} weist auf Kalzium-Magnesium-Karbonat und/oder Substitutionen von Ca^{2+} durch Mg^{2+} im Kalziumkarbonat bzw. Kalziumsulfat hin.

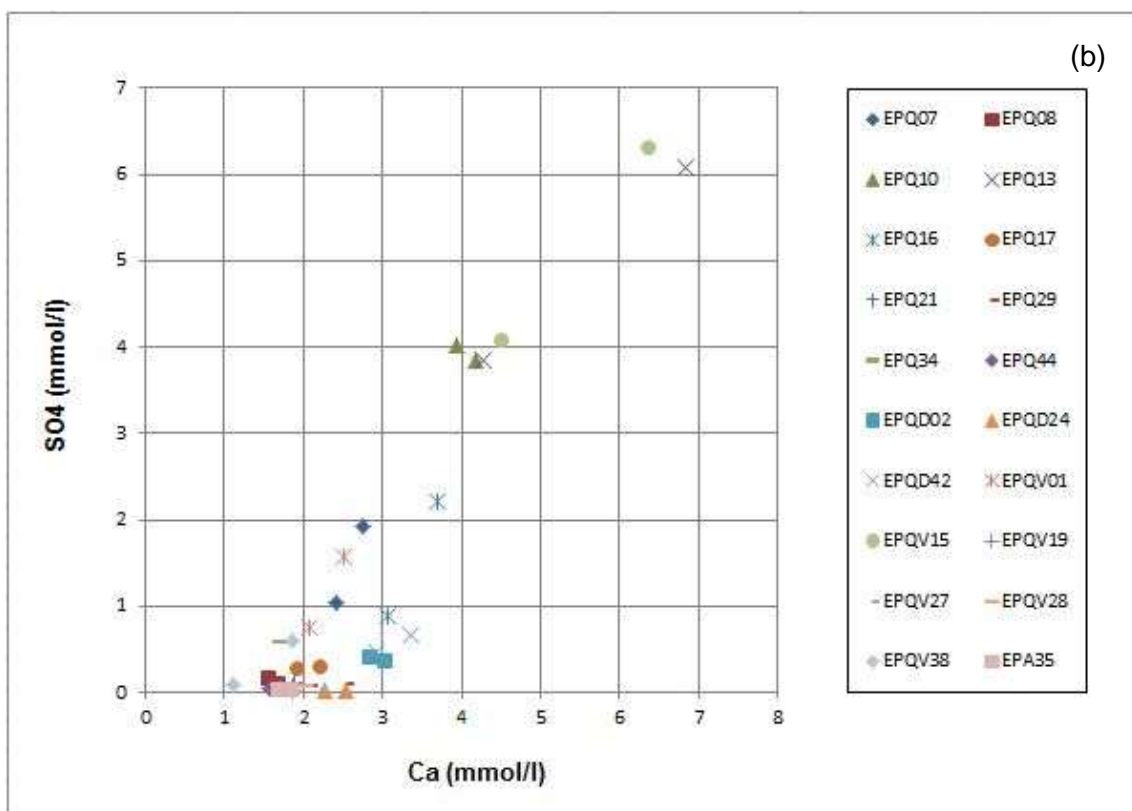
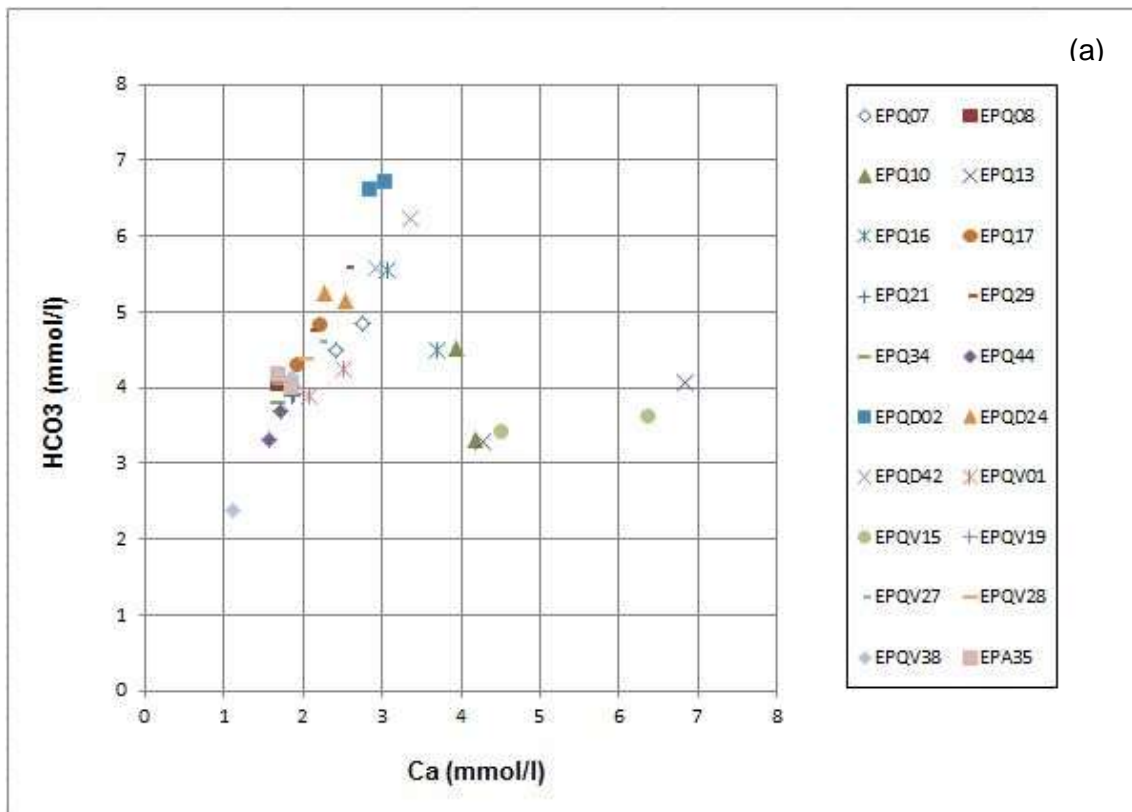


Abbildung 45 (a) Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) und Kalzium (Ca^{2+}) sowie (b) Sulfat (SO_4^{2-}) und Kalzium (Ca^{2+}) aller Proben gegeneinander geplottet. Für jede Probe sind zwei Punkte vorhanden, welche die zwei Probenkampagnen widerspiegeln.

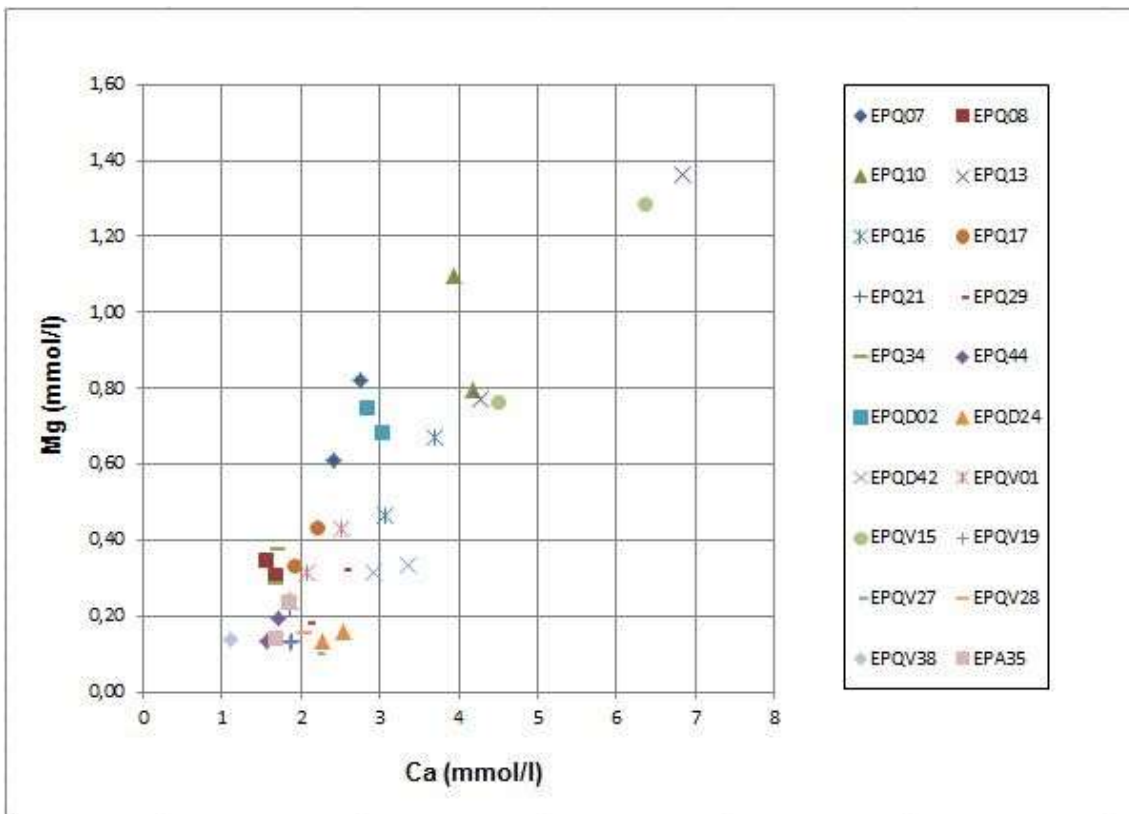


Abbildung 46 Magnesium (Mg^{2+}) und Kalzium (Ca^{2+}) aller Proben gegeneinander geplottet. Für jede Probe sind zwei Punkte vorhanden, welche die zwei Probenkampagnen widerspiegeln.

SÄTTIGUNGSINDEX UND CO_2 PARTIALDRUCK

Versinterungen wurden bei der Geländebegehung an den Quellen EPQ17 (Sinterterrassen), EPQV01, EPQ13, EPQ08, EPQ16 und EPQ21 festgestellt (Abbildung 47). Die Berechnung der Sättigungsindizes mit PhreeQC ergeben allerdings bei allen Proben einen positiven Sättigungsindex für Aragonit, Kalzit und teilweise Dolomit. Hingegen liegt der Sättigungsindex für Gips bei allen Proben unter 0. Für die Proben EPQ17, EPQ08, EPQ10, EPQ13, EPQV01 und EPQV15 wurde zusätzlich der CO_2 Partialdruck (pCO_2) ermittelt (Sylke Hilberg, E-Mail Korrespondenz, 12.05.2016), welcher bei allen Proben erhöht ist und somit Ausfällungen fördert. In Abbildung 48 ist der Sättigungsindex gegen den pCO_2 geplottet. Dabei ergeben die Proben EPQV01, EPQ10, EPQ17 und EPQ08 eine erwartete Korrelation, EPQV15 und EPQ13 fallen allerdings aus der Reihe.



Abbildung 47 Versinterungen bei folgenden Quellen: (a) EPQ17 (b) EPQV01 (c) EPQ16 (d) EPQ13 (e) EPQ08 (f) EPQ21.

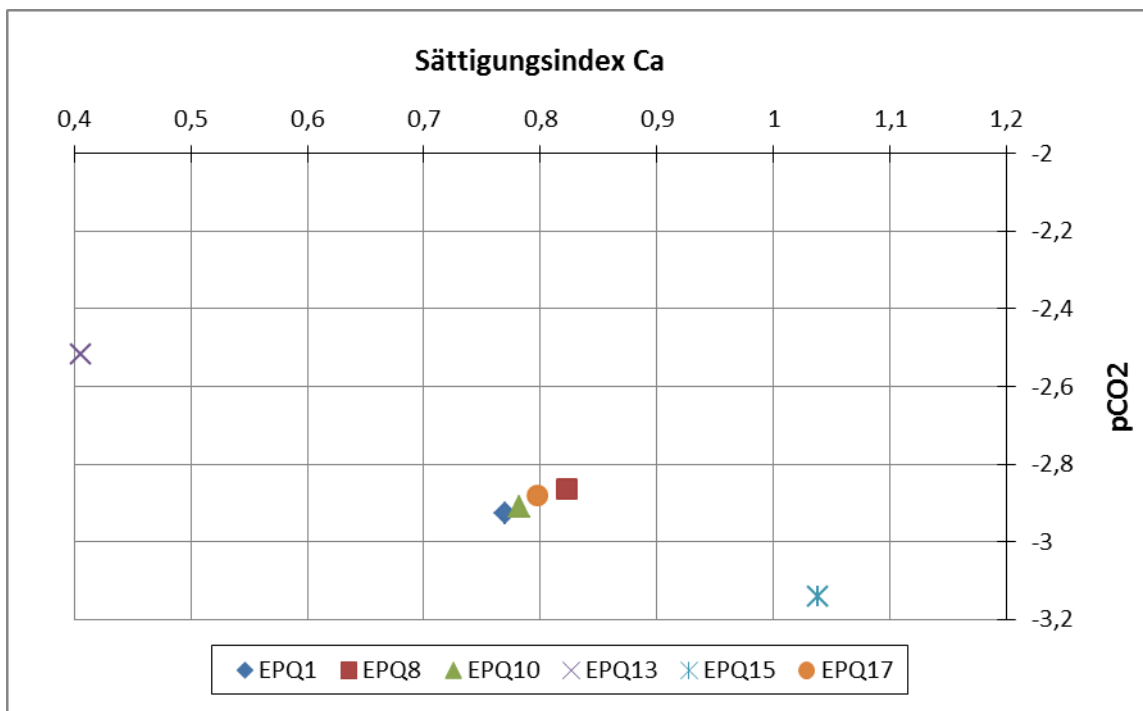


Abbildung 48 Sättigungsindex von Kalzit (Ca²⁺) geplottet gegen den CO₂ Partialdruck.

5.2.3 SCHWEFELISOTOPIE

Für die Schwefelisotopie wurden 3 Proben (EPQ17, EPQ13 und EPQV15) herangezogen (Anhang A), wobei EPQ17 zu wenig Sulfat für einen $\delta^{34}\text{S}$ Wert beinhaltet. Die beiden anderen Proben weisen einen $\delta^{34}\text{S}$ -Wert von -8,9 auf. Wie in Abbildung 49 ersichtlich, schneidet die rote Markierung, welche den $\delta^{34}\text{S}$ -Wert von -8,9 zeigt, die Balken des biogenen Pyrites („biogenic pyrite“), der Tone („shales“) und der Kalke („limestones“). Die Herkunft des $\delta^{34}\text{S}$ im Kalk ist wiederum auf CaSO_4 oder Sulfide zurückzuführen, in diesem Fall deuten die niedrigen $\delta^{34}\text{S}$ Werte auf Sulfide hin. Einen besseren Einblick bietet die Abbildung 50, in der der rote Balken eindeutig nur die sekundären Sulfate kreuzt, also jene die durch die Oxidation von Sulfiden gebildet wurden (Clark & Fritz, 1997).

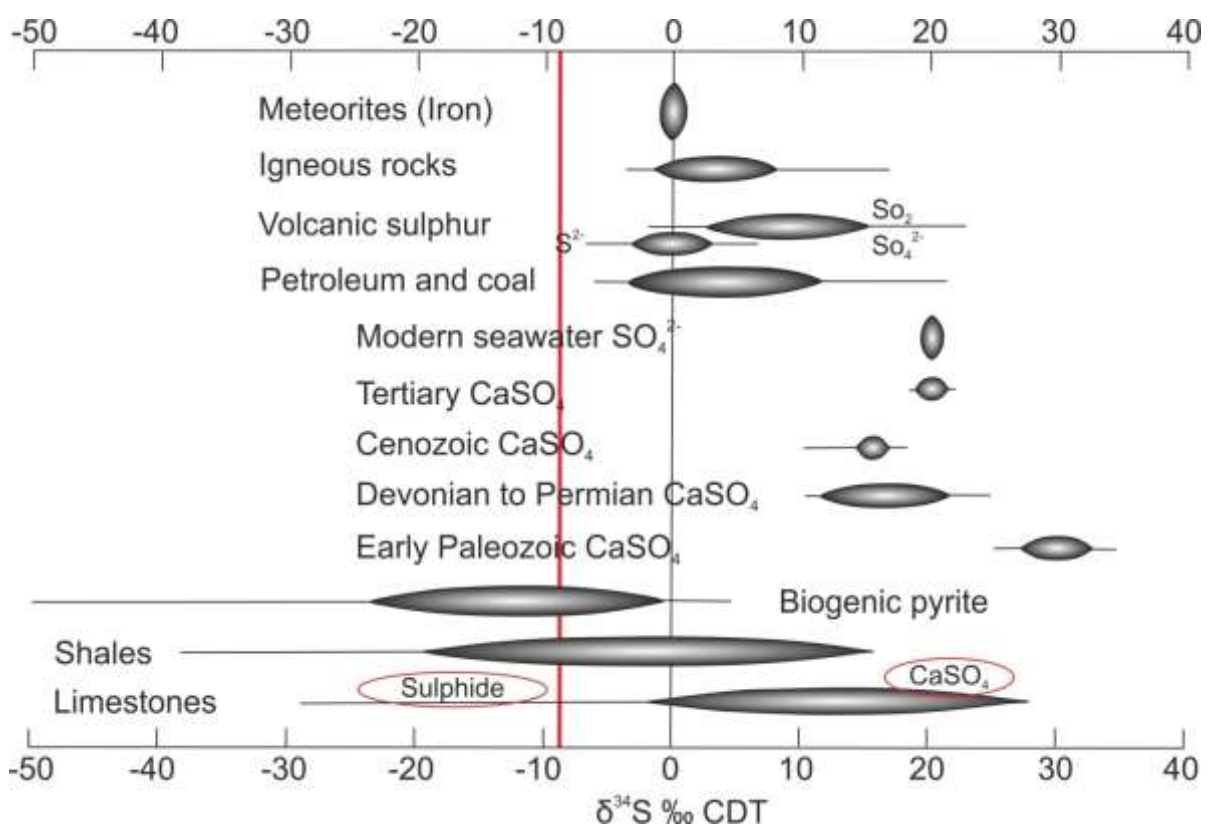


Abbildung 49 Bereiche der $\delta^{34}\text{S}$ -Werte und deren Signatur in verschiedenen Gesteinen. Der rote Balken symbolisiert die Schwefelisotopie der hochmineralisierten Wässer in der Embacher Plaike (verändert nach Krouse, 1980).

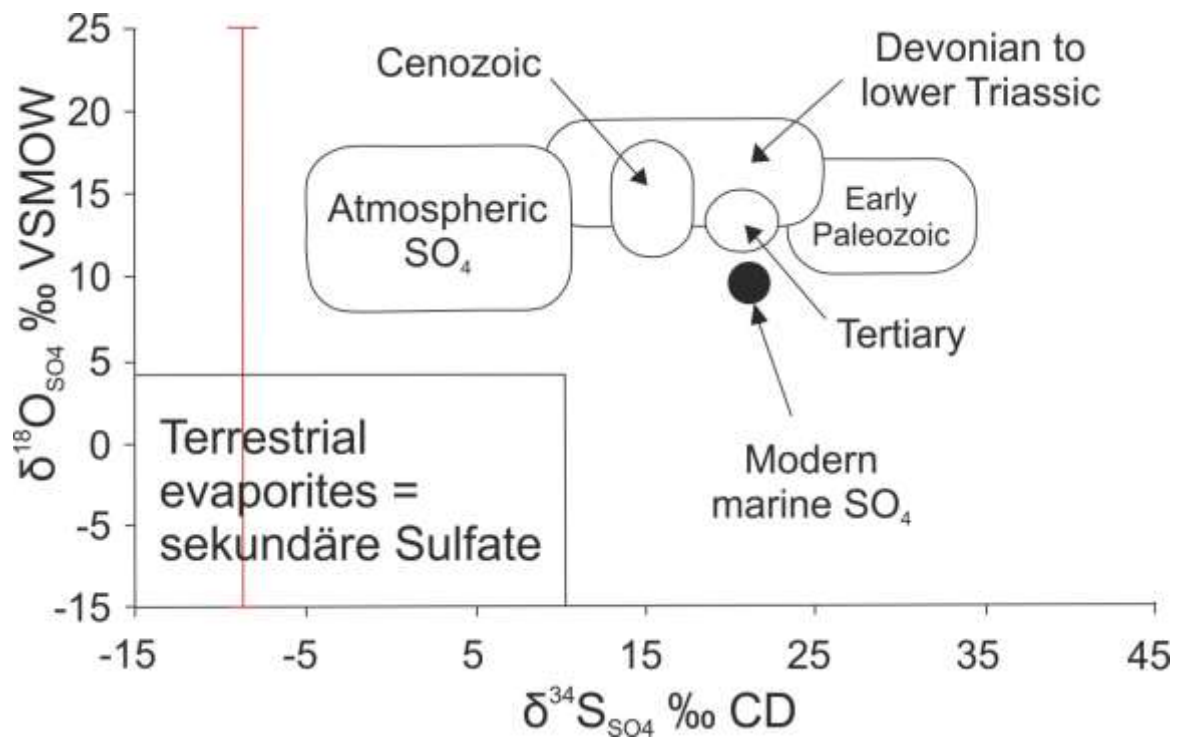


Abbildung 50 $\delta^{34}\text{S}$ geplottet gegen $\delta^{18}\text{O}$ zur Charakterisierung von terrestrischen Sulfaten, atmosphärischen und verschiedenen marinen Sulfaten (nach Clark & Fritz, 1997). Der rote Balken deutet die $\delta^{34}\text{S}$ -Werte der Embacher Plaike von -8,9 an.

5.3 ABFLUSSMESSUNGEN

5.3.1 ABFLUSSDYNAMIK DER SCHÜTTUNGSQUELLEN

Neben den physikalischen Parametern wurde an den 20 ausgewählten Messstellen siebenmal die Schüttung gemessen. Es zeigt sich ein saisonaler Trend (Abbildung 51) bei dem die Schüttungswerte im Großen und Ganzen in den heißen Monaten am niedrigsten sind. Schüttungshöchstwerte treten Ende Mai auf mit 78% der Proben, die Minimumwerte dahingegen im Juli und August mit 83% der Proben (Tabelle 18). Die Verteilung der restlichen Prozentwerte auf Juni und Oktober weist auf längeres Anhalten der Schneeschmelze bzw. spätes Einsetzen der Grundwasserneubildung hin.

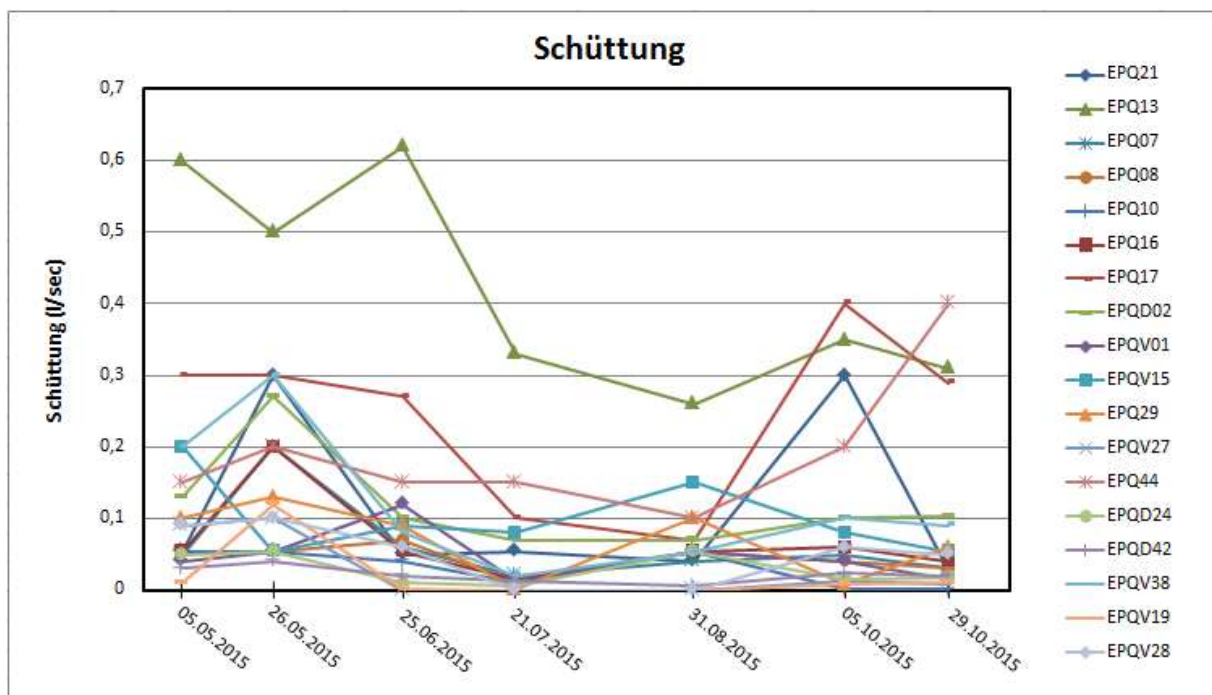


Abbildung 51 Darstellung der Schüttungsdaten für 20 Messstellen

Tabelle 18 Prozentanteil der Proben für maximale und minimale Werte der Schüttung bezogen auf die Zeit.

	Mai		Juni		Juli & August		Oktober	
	MAX Werte	MIN Werte	MAX Werte	MIN Werte	MAX Werte	MIN Werte	MAX Werte	MIN Werte
Schüttung	78%	-	11%	-	-	83%	11%	17%

In Tabelle 19 sind die Messproben geordnet nach Lage und mittlerer Schüttung aufgelistet:

Embacher Plaike

- Die Quellen EPQ10, EPQV01, EPQ08, EPQ07 und EPQ16 weisen während des gesamten Beprobungszeitraumes Schüttungen $<0,06$ l/sec auf
- EPQD02 und EPQV15 schütten im Mittel zwischen $0,06$ und $0,15$ l/sec und gehören somit zu den Hauptquellen in der Embacher Plaike.
- Die zwei bedeutendsten Quellen in der Embacher Plaike sind EPQ13 und EPQ17 mit einer Schüttung $>0,2$ l/sec.

Embacher Hocheben

- EPQD42, EPQD24, EPQV27, EPQ29 und EPQV28 zeigen eine mittlere Schüttung von $<0,6$ l/sec. EPQV28 und EPQV27 lagen 2-3 von 7-mal trocken.
- Eine mittlere Schüttung im Bereich von $0,06$ – $0,15$ weist die Quelle EPQV38 auf.
- Die Quelle EPQ44 schüttet im Mittel $>0,15$ l/sec.
- Bei der gefassten Quelle EPQ34 konnte kein Abfluss gemessen werden, die physikalischen Parameter wurden anhand des Überlaufes gemessen.

Nachbarplaiken

- EPQV19 schüttet im Mittel $<0,06$ l/sec. Die Quelle führte 2 von 7-mal kein Wasser.
- EPQ21 weist eine mittlere Schüttung von $0,06$ – $0,15$ l/sec auf.

EMBACHER PLAIKE

Der Gesamtabfluss in der Embacher Plaike wurde während des Untersuchungszeitraumes an den Messstellen EPA01 und EPA17 (Anhang A) viermal gemessen, wobei die Werte je nach Monat zwischen $1,72$ und $4,33$ l/sec schwanken. Der mittlere, gesamte Oberflächenabfluss beträgt $3,1$ l/sec.

Tabelle 19 Messstellen geordnet nach Lage und dem geometrischen Mittel der Schüttungswerte aus 7 Datensätzen.

Lage	Messstellen	Schüttungs- bereiche (l/sec)	Schüttung (l/sec)		
			geometrisches Mittel	MIN	MAX
EP	EPQ10	< 0,06	0,013	0,005	0,054
	EPQV01		0,038	0,013	0,120
	EPQ08		0,039	0,010	0,070
	EPQ07		0,049	0,020	0,200
	EPQ16		0,053	0,015	0,200
	EPQV15	0,06 - 0,15	0,091	0,054	0,200
	EPQD02		0,109	0,070	0,270
	EPQ17	> 0,15	0,213	0,001	0,400
	EPQ13		0,403	0,054	0,620
EH	EPQD42	< 0,06	0,018	0,005	0,040
	EPQD24		0,023	0,007	0,054
	EPQV27		0,030	0,000	0,100
	EPQ29		0,034	0,001	0,130
	EPQV28		0,051	0,000	0,100
	EPQV38	0,06 - 0,15	0,090	0,020	0,300
	EPQ44	> 0,15	0,177	0,100	0,400
NP	EPQV19	< 0,06	0,021	0,000	0,120
	EPQ21	0,06 - 0,15	0,076	0,028	0,300

5.3.2 KIRCHBACH

In Tabelle 20 und Abbildung 52 sind die Abflussmessungen entlang des Kirchbaches ersichtlich. Im Juni sind die Abflüsse an allen drei Messstellen (KB03, KB02, KB01) am höchsten. In den Monaten Juli bis Anfang September sinkt die Schüttung um mehr als die Hälfte und ab Anfang Oktober steigt sie wieder leicht an.

Die Abbildung 53 zeigt die prozentuale Zunahme der Schüttung von der Messstelle KB03 zur Messstelle KB02 sowie von KB02 zur KB01. Die Schüttung bei KB03 wird als Ausgangsschüttung verwendet. Die Zunahme der Schüttung von KB03 auf KB02, also entlang dem ausgebauten Bachbett beträgt im Juni 24 l/sec, dies entspricht bei einer Ausgangsschüttung von 26 l/sec einer Zunahme von 92% (ca. Verdoppelung), im September nimmt der Abfluss um 9 l/sec zu, bei einer Ausgangsschüttung von 4 l/sec sind das allerdings 225% sowie im Oktober jeweils 20 l/sec (286 bzw. 500% Zunahme). Eine Ausnahme bildet der Juli mit einer nur geringen Zunahme von 2 l/sec (10% Zunahme), was möglicherweise auf einen Messfehler bei der Messstelle KB03 zurückzuführen ist. Die messbaren Oberflächenzuflüsse (Tabelle 20) auf der Strecke KB03 – KB02 sind gegeben durch EPA40 und EPA41, die gemeinsam je nach Monat zwischen 0,11 und 3,7 l/sec schütten. Der Salaterbach mündet ebenfalls entlang dieser Strecke in den Kirchbach. In den

Monaten Juli bis Oktober konnte kein Zufluss festgestellt werden, für den Juni gibt es keine Aufzeichnungen. Allerdings ist ein Schüttungsanstieg von 20 l/sec, verursacht durch den Salaterbach auszuschließen, da der Abfluss an der Messstelle EPA35, die kurz vor der Mündung in den Kirchbach liegt im Juni 2015 nur um die 5 l/sec betrug.

Der Streckenabschnitt zwischen KB02 und KB01 besitzt keinen Gerinneausbau und nur den Zufluss EPA39, welcher in den Sommermonaten zumeist kein Wasser führt. Hier liegt die Schüttungszunahme von Juni bis Oktober im Bereich von 32 bis 23 l/sec, dies entspricht einer prozentuellen Zunahme, bezogen auf die Ausgangsschüttung bei KB03, zwischen 123 und 650%. In beiden Fällen kann die Schüttungszunahme bei beiden Teilstrecken nur in sehr geringem Maße auf die oberirdischen Zuflüsse zum Kirchbach zurückgeführt werden.

Tabelle 20 Auflistung der Abflussmessungen entlang des Kirchbaches sowie dessen Zuflüsse zwischen KB03 und KB01. tr = trocken.

	Messstellen	24.06.2015	20.07.2015	01.09.2015	02.10.2015	30.10.2015
Kirchbach Schüttung (l/sec)	KB03	26	20	4	4	7
	KB02	50	22	13	24	27
	KB01	82	48	39	49	50
Zuflüsse zum Kirchbach Schüttung (l/sec)	EPA39	0,3	tr	tr	tr	0,1
	EPA40	1,4	<0,01	tr	0,8	1
	EPA41	2,3	0,1	0,05	0,3	1,2
	EPA45	tr	0,1	tr	0,1	0,2

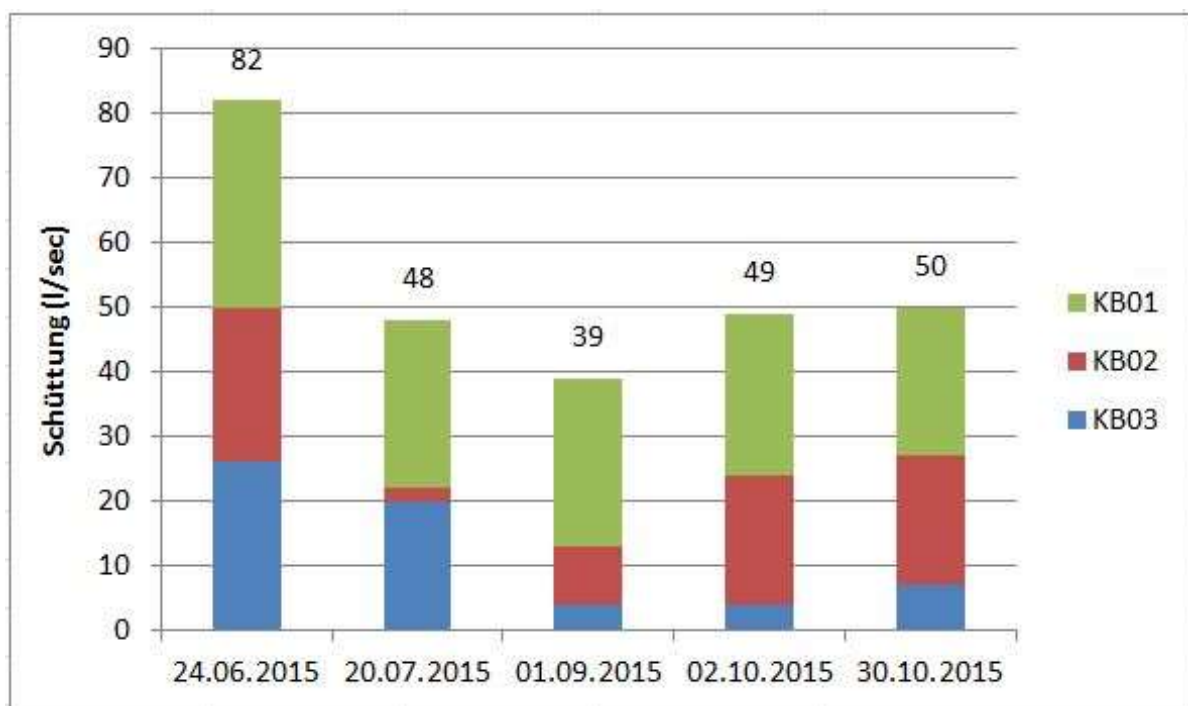


Abbildung 52 Darstellung der Schüttungswerte an den Messstellen KB03, KB02 und KB01 für jeden Messtag. Die Werte oberhalb der Säulen stellen die Gesamtschüttung bei der Messstelle KB01 dar.

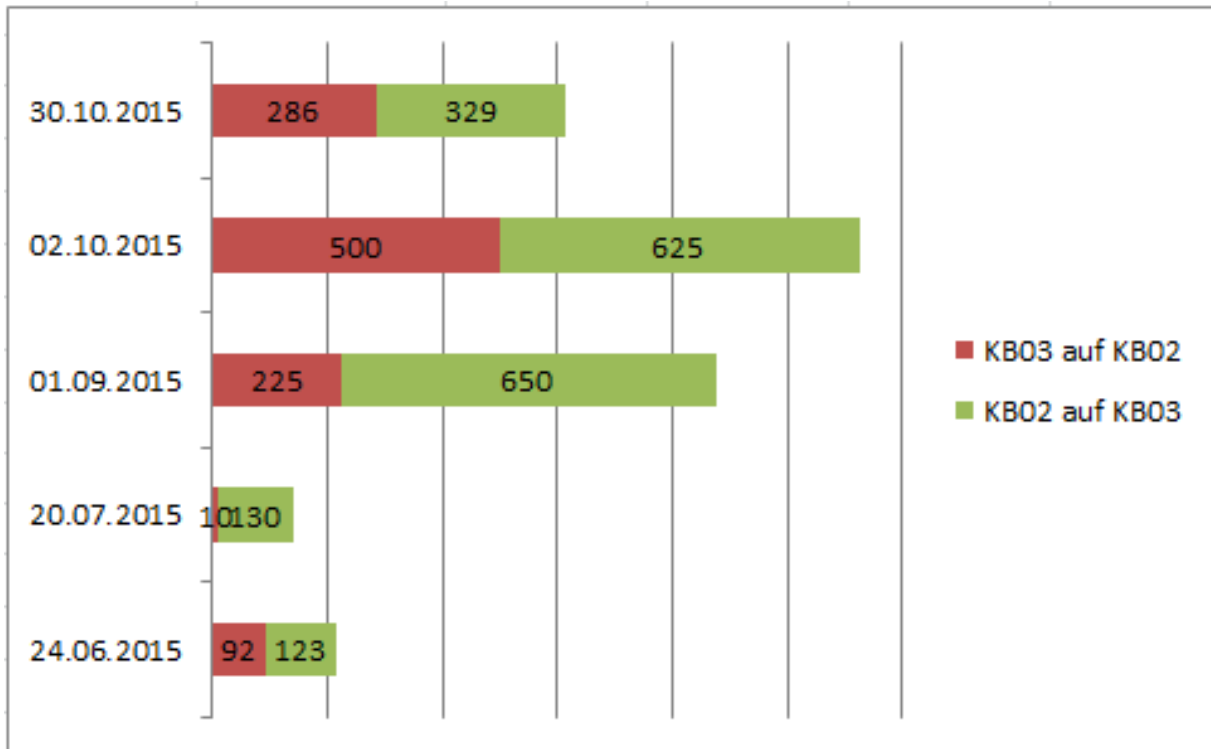


Abbildung 53 Darstellung der prozentualen Zunahme der Schüttung entlang des Kirchbaches. Als Ausgangsschüttung wird jene der Messstelle KB03 verwendet. Die Zahlen in den Balken stellen Prozentwerte dar.

Geht man davon aus, dass die Schüttung bei KB01 100% beträgt, kann man den prozentuellen Anteil der Schüttung bei den einzelnen Messstationen berechnen (Abbildung 54). Somit beträgt die Schüttung bei KB03 für den Messtag 24.06.2015 32% der Gesamtschüttung (82 l/sec), bei KB03 61% der Gesamtschüttung.

Aus den Abbildungen Abbildung 53 und Abbildung 54 zeigt sich, dass die Schüttungszunahme des Kirchbaches vor allem in den heißen Monaten im Abschnitt KB02 – KB01 größer ist, als im Bereich KB03 – KB02 und somit saisonal variiert.

Im Allgemeinen zeigt die Zunahme der Schüttung entlang eines Vorfluters ein effluentes Fließverhalten. In den kalten Monaten ist der oberflächliche Abfluss des Kirchbaches stärker vorhanden als in den heißen Monaten, was sich durch eine stärkere Schüttungszunahme im ausgebauten Gerinnebett widerspiegelt. In den heißen Monaten hingegen ist vor allem die Schüttungszunahme auf Grund des Grundwasserzuflusses im unausgebauten Gerinne gegeben.

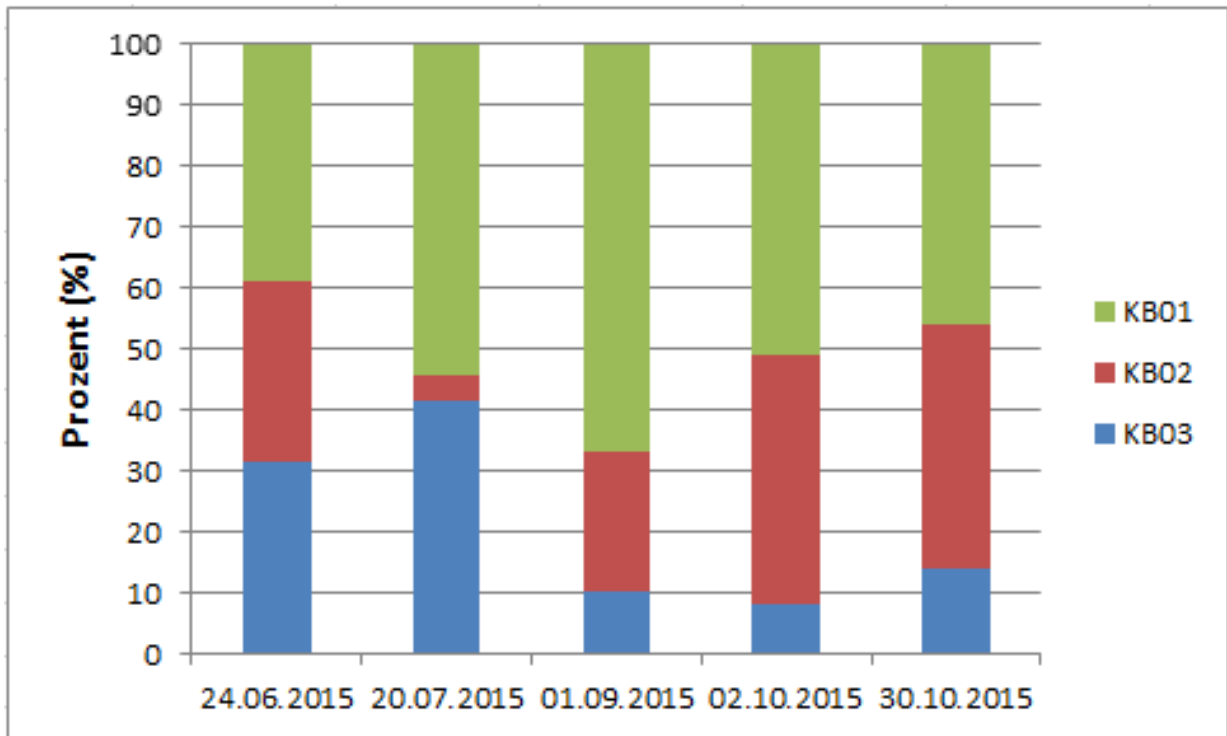


Abbildung 54 Prozentualer Anteil an der Gesamtschüttung für jede Messstelle. Als Gesamtschüttung wurde die jeweilige Schüttung an der Messstelle KB01 verwendet.

5.4 WASSERBILANZ

Der hydrographische Dienst Salzburg stellte zur Berechnung der Evapotranspiration die täglichen Niederschlags- und Temperaturwerte von den Wetterstationen Bucheben (1035 m. ü. A.) und Karbachalm (925 m. ü. A.) (siehe Kapitel Einleitung und Fragestellung, Abbildung 1) für den Zeitraum 2010 bis inkl. 2014 zur Verfügung. Die Temperaturdaten der beiden Messstationen korrelieren sehr gut miteinander, die Niederschlagswerte weisen einen Korrelationskoeffizienten von 0,64 und somit eine höhere Varianz auf. Zusätzlich ist zur Datengrundlage zu erwähnen, dass die Niederschlagswerte, nicht wie eigentlich anzunehmen mit steigender Seehöhe zunehmen, sondern sie werden niedriger. Dies lässt sich auf die unterschiedliche geographische Lage der Wetterstationen zurückführen. Mit Hilfe der unterschiedlichen Höhen und Daten der beiden Wetterstationen wurde ein Seehöhengradient berechnet. Dieser beträgt für die Temperatur $0,31^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, für den Niederschlag $0,21\text{mm}/100\text{m}$. Die Niederschlags- und Temperaturdaten der Embacher Plaike, welche eine mittlere Höhe von 886 m ü. A. aufweist, wurden mit Hilfe des Seehöhengradienten extrapoliert. Der mittlere Niederschlag für die Embacher Plaike beträgt demnach 1396 mm/a . Die Tabelle 21 zeigt die mit den extrapolierten Daten berechneten mittleren Evapotranspirationswerte nach THORNTHWAITE und TURC. Aus den zwei Parametern (Evapotranspiration und Niederschlag) lässt sich nach der Wasserbilanzgleichung unter der Annahme, dass es sich um ein ausgeglichenes System ohne Speicheränderung handelt, der mittlere Abfluss (Tabelle 22) berechnen.

Des Weiteren wurde zur Kontrolle der mittlere Abfluss aus den Daten des digitalen hydrologischen Atlas Österreichs eruiert, dessen Datensatz von 2007 stammt.

Die mittlere Höhe der Embacher Plaike mit 886 m ü. A. sowie deren Fläche von $0,382\text{ km}^2$ wurden aus dem digitalen Höhenmodell mit Hilfe von GIS bestimmt.

Tabelle 21 Mittlere Evapotranspirationswerte (ET_{pot} = potenzielle Evapotranspiration; ET_{tat} = tatsächliche Evapotranspiration) aus dem digitalen hydrologischen Atlas Österreichs (digHAÖ) (Daten von 2007) sowie berechnet nach THORNTHWAITE und TURC. Mittlerer Niederschlag (N) aus dem digHAÖ (2007) und aus Niederschlagsdaten von 2010 – 2014 für die Methoden nach THORNTHWAITE und TURC..

Parameter	Methode		
	digHAÖ	Thornthwaite	Turc
ET _{pot} (mm/a)		363	
ET _{tat} (mm/a)	510		456
N (mm/a)	1738	1396	

Die Niederschlags- und Evapotranspirationswerte zeigen zwar eine Diskrepanz auf Grund der unterschiedlichen Datensätze aus unterschiedlichen Jahren, den unterschiedlichen Berechnungen und den verschiedenen Wetterstationen, für eine grobe Abschätzung der Wasserbilanz, welche hier durchgeführt wird, ist diese allerdings vernachlässigbar.

In Tabelle 22 sind die berechneten Abflüsse in l/sec aus der Wasserbilanz ersichtlich, sowie der tatsächlich gemessene mittlere Abfluss aus dem Gelände. Die berechneten Abflüsse nach THORNTHWAITE und TURC zeigen Werte von 12,5 l/sec und 11,38 l/sec, der Abfluss aus dem digitalen hydrologischen Atlas Österreichs beträgt 14,86 l/sec. Mit einer Differenz von ca. 3,5 l/sec zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert passen die Abflussberechnungen für eine grobe Abschätzung der Wasserbilanz gut zusammen. Der mittlere Oberflächenabfluss aus den Kübelmessungen im Gelände beträgt für das gesamte Plaikengebiet 3,1 l/sec. Dazu kommt noch ein nicht bestimmbarer unterirdischer Basisabfluss in die Salzach. Wie bereits erwähnt, beruhen die berechneten Werte auf verschiedene Datensätze, Wetterstationen und Berechnungen (digHAÖ: Datensatz 2007, Wetterstation und Berechnungsmethode nicht eruierbar; Thornthwaite und Turc: Datensatz 2010-2014, gleiche Wetterstationen Bucheben und Karbachalm, unterschiedliche Berechnungsmethoden; gemessener Oberflächenabfluss: Datensatz Mai-Oktober 2015, Kübelmessung), sowie einer Extrapolation der Daten für die Embacher Plaie, es kann daher nur eine grobe Abschätzung der Wasserbilanz durchgeführt werden.

Tabelle 22 Berechnete Abflussergebnisse aus der Wasserbilanz basierend auf Datensätze von 2007 (digHAÖ) und 2010-2014 (Thornthwaite und Turc) sowie der gemessene Abfluss in der Plaie, basierend auf Daten von Mai –Oktober 2015. digHAÖ = digitaler hydrologischer Atlas Österreichs.

	BERECHNETE Abflüsse aus der Wasserbilanz			GEMESSENER Oberflächenabfluss
Methode	digHAÖ	Thornthwaite	Turc	Kübelmessung
Abfluss (l/sec)	14,86	12,50	11,38	3,1

Im Weiteren wurde für die Quellen EPQ07, EPQD02 sowie für die Quellgruppe EPQ10, EPQ13 und EPQV15 mit Hilfe der Wasserbilanz (Niederschlag, tatsächliche Evapotranspiration nach TURC und gemessene mittlere Schüttung) die Fläche des Einzugsgebietes eruiert (siehe Tabelle 23).

Tabelle 23 Die berechneten und aus dem GIS gemessenen Einzugsgebiete für die Quellen EPQ07, EPQD02 sowie EPQ10, EPQ13 und EPQV15

Messstelle	Fläche (m ²)	
	berechnet	gemessen
EPQ07	2157	12650
EPQD02	4026	20901
EPQ10/13/V15	18659	77608

Die berechneten Flächen sind um ein Vielfaches kleiner als die aus dem GIS gemessenen, orographischen Einzugsgebiete. Dies deutet auf einen höheren unterirdischen als oberirdischen Abfluss bereits im oberen Bereich der Embacher Plaike hin.

5.5 MARKIERUNGSVERSUCH

5.5.1 AKTIVKOHLE

Nach der Beprobung der Grundbelastung wurde am 05.11.2015 neue Aktivkohlesäckchen an den 8 Messstellen eingebracht, welche ca. 6 Wochen später am 18.12.2015 zur Analyse entnommen wurden. Es konnte weder Uranin noch Amino G-Acid in den Aktivkohleproben vom 18.12.2015 detektiert werden (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24 Auflistung der Aktivkohle (AK) Analyse für drei Beprobungen wobei die Erste zur Feststellung der Grundbelastung dient

Probenliste - Aktivkohle Embacher Plaike	Eingebaut: 29.10.2015 Ausgebaut: 05.11.2015	AK- Analyse	Eingebaut: 05.11.2015 Ausgebaut: 18.12.2015	AK- Analyse	Eingebaut: 18.11.2015 Ausgebaut: 20.06.2015	AK- Analyse
Messstellen	AK-Nummer	Uranin	AK-Nummer	Uranin	AK-Nummer	Uranin
EPA01	4836	n.n.	5510	n.n.	5503	n.n.
EPQ17	4837	n.n.	5509	n.n.	5502	n.n.
EPQ13	4839	n.n.	5508	n.n.	5519	n.n.
EPQD02	4840	n.n.	5505	n.n.	5520	n.n.
Fluorometer	4838	n.n.	5504	n.n.	4873	952
EPA47	4876	n.n.	5507	n.n.	5511	n.n.
EPQ53	4875	n.n.	5506	n.n.	5515	n.n.
EPQ21	4874	n.n.	5501	n.n.	5512	n.n.

Um das System auch bei höher hydraulischer Aktivität (Schneesmelze) zu untersuchen, wurden im Dezember wiederum Aktivkohlesäckchen eingebaut, welche erst nach dem Ende der Schneesmelze ausgebaut wurden. Die Analyse zeigt wiederum in keiner der Proben Amino G-Acid. Uranin wurde dahingegen in geringer Menge bei der Messstelle „Fluorometer“ detektiert (siehe Tabelle 24), welche im Kirchbach liegt.

Die Aktivkohle weist bei der Analyse von Amino G-Acid einen hohen unspezifischen Messuntergrund auf, welcher eine Identifizierung von Amino G-Acid sehr erschwert.

5.5.2 FLUOROMETER

Die Aufzeichnungen des Fluorometers ergaben nur eine Durchbruchkurve des Amino G-Acids (Abbildung 55)

Eingespeist wurde am 06.11.2015 um 10:25 Uhr, nach 160 Minuten verzeichnet das Fluorometer den Anstieg der Intensität, 34 Minuten später wird bereits die maximale Konzentration erreicht. Das Tailing der Durchbruchkurve zieht sich über 2 Tage, genauer

gesagt über 2756 Minuten nach dem Peak bis sich wieder die Ausgangskonzentration eingestellt hat.

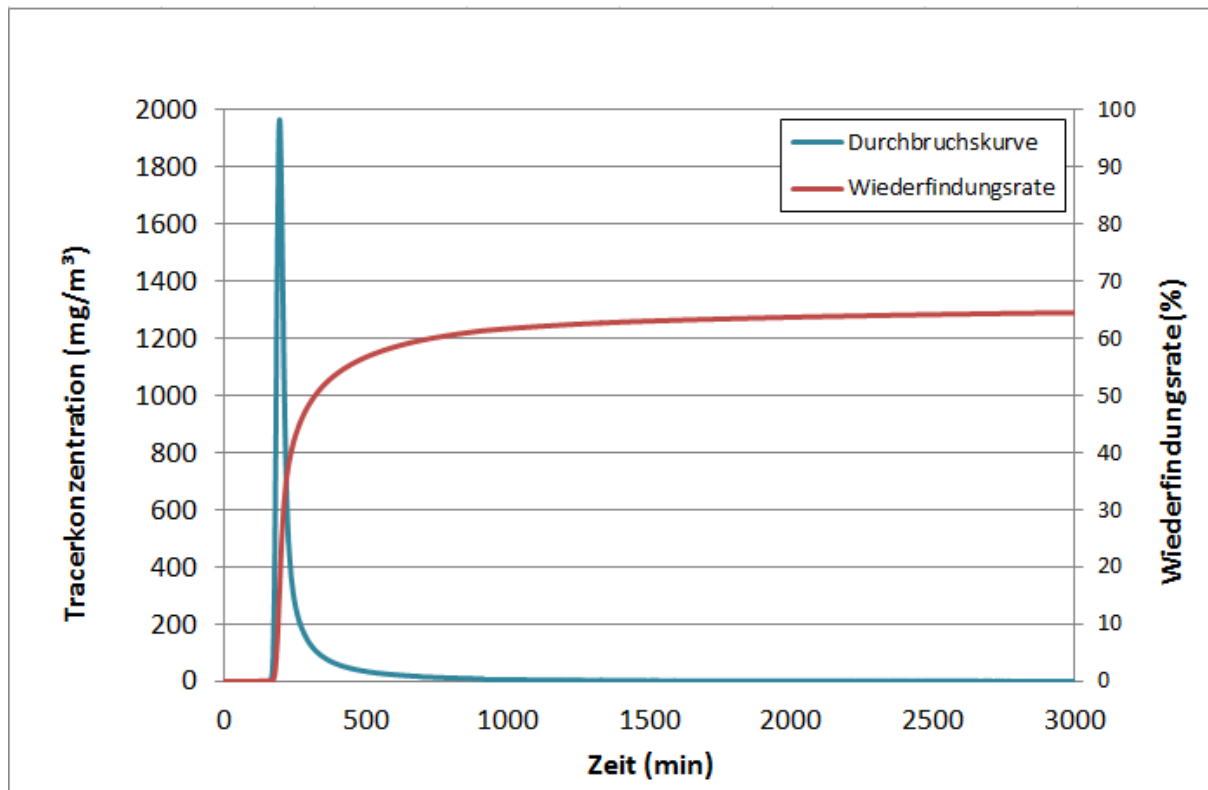


Abbildung 55 Durchbruchkurve und Wiederfindungsrate des Amino G-Acids. Der Nullzeitpunkt stellt den Eingabezeitpunkt des Tracers dar.

Die Wiederfindungsrate beträgt 66 % und ist somit für ein offenes Gerinne relativ gering. Eine Unsicherheit stellt hierbei die fehlenden Abflussmessungen während der Markierungsversuches dar, da die Wiederfindung vom Abfluss abhängig ist. Die zur Berechnung der Wiederfindung herangezogene Schüttung, welche aus vorherigen Messungen an der Fluorometerstation (ca. bei KB01) abgeschätzt wurde, beträgt 51 l/sec. Ist der Abfluss in Wirklichkeit höher, ist die Wiederfindung von 66% nicht mehr korrekt. Es wurde daher eine Anpassung der Schüttung mit dem eindimensionalen Advektion-Dispersions Modell (1D ADM) durchgeführt, welche eine Schüttung von 126 l/sec ergab. Mit Hilfe der Wiederfindungsrate führte die Überprüfung dieses Schüttungswertes, welcher auch auf Grund der Schüttungsbeobachtungen während des Untersuchungszeitraumes als sehr hoch eingeschätzt werden kann, zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis (170% Wiederfindungsrate). Setzt man die Wiederfindungsrate auf 100% erhält man eine Schüttung von ca. 75 l/sec. Auf Grund der Unsicherheiten, wie der unbekanntenen Schüttung während des Tracerversuches und der hohen Trübung, welche während des Versuchs gemessen wurde und Fehler bei der Intensitätsmessung hervorrufen kann, ist die Aussagekräftigkeit

des Tracerversuches bezogen auf eine qualitative Auswertung entlang des Kirchbaches eingeschränkt.

Nichtdestotrotz ergab die Anpassung des ADMs an die Durchbruchkurve des Amino G-Acids ähnliche Ergebnisse für die Geschwindigkeit (0,215m/sec – 0,217m/sec) und die Dispersivität (5,5m – 6,67m). Dies entspricht Dispersionskoeffizienten zwischen 1,183m²/sec und 1,437m²/sec (Tabelle 25 und Abbildung 56).

Das Tailing des Modells konnte nicht an jenes der Messung angeglichen werden (Abbildung 56).

Tabelle 25 Drei Varianten der angegebenen Parameter zur Anpassung der Geschwindigkeit, Dispersivität und des Dispersivitätskoeffizienten.

Parameter	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Einspeisemenge (g)	500	200	300
Schüttung (l/sec)	126	51	75
Fließstrecke (m)	2568	2568	2568
Geschwindigkeit (m/sec)	0,216	0,215	0,217
Dispersivität (m)	6,67	5,5	6,1
Dispersivitätskoeffizient (m ² /sec)	1,4367	1,1825	1,3237

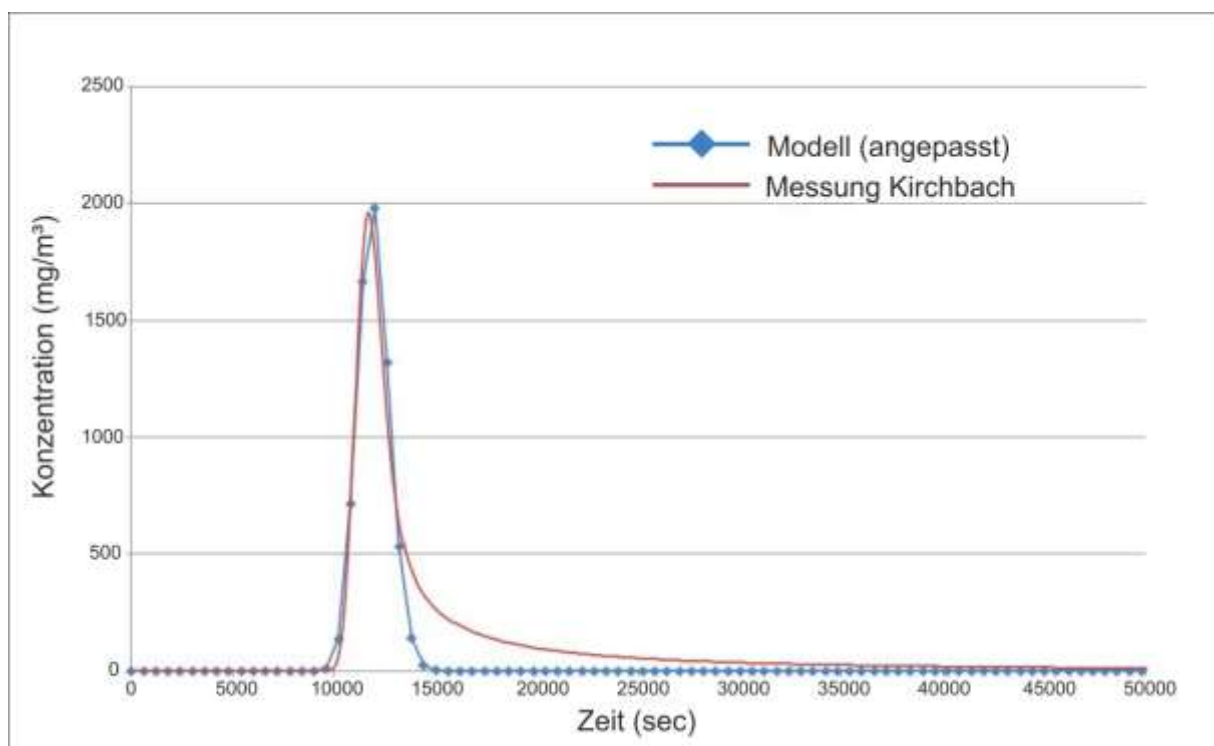


Abbildung 56 Anpassung des Advektion – Dispersions Modell (ADM) an die Durchbruchkurve des Tracerversuches am Kirchbach. Das Modell passt bis auf das Tailing gut mit der Messung des Tracers zusammen.

Zusätzlich wurden anhand der Durchbruchskurve die verschiedenen Abstandsgeschwindigkeiten bestimmt. In der Abbildung 57 sind die Zeiten zur Berechnung der Abstandsgeschwindigkeiten v_{\max} , v_{dom} , v_a und v_m (Tabelle 26) eingezeichnet. Die Entfernung vom Einspeiseort zum Fluorometer beträgt 2567,5 m.

v_{\max} beträgt 0,27 m/sec. Allerdings sind auch die anderen drei Abstandsgeschwindigkeiten v_{dom} , v_a und v_m auf Grund des schnellen Durchgangs des Tracers nicht sehr viel langsamer und liegen zudem sehr nahe zusammen. Sie unterscheiden sich maximal um 0,02 m/sec.

Tabelle 26 Die unterschiedlichen Abstandsgeschwindigkeiten v_{\max} , v_{dom} , v_a und v_m berechnet aus der Durchbruchskurve.

Abstands- geschwindigkeiten	m/sec
v_{\max}	0,27
v_{dom}	0,22
v_a	0,21
v_m	0,20

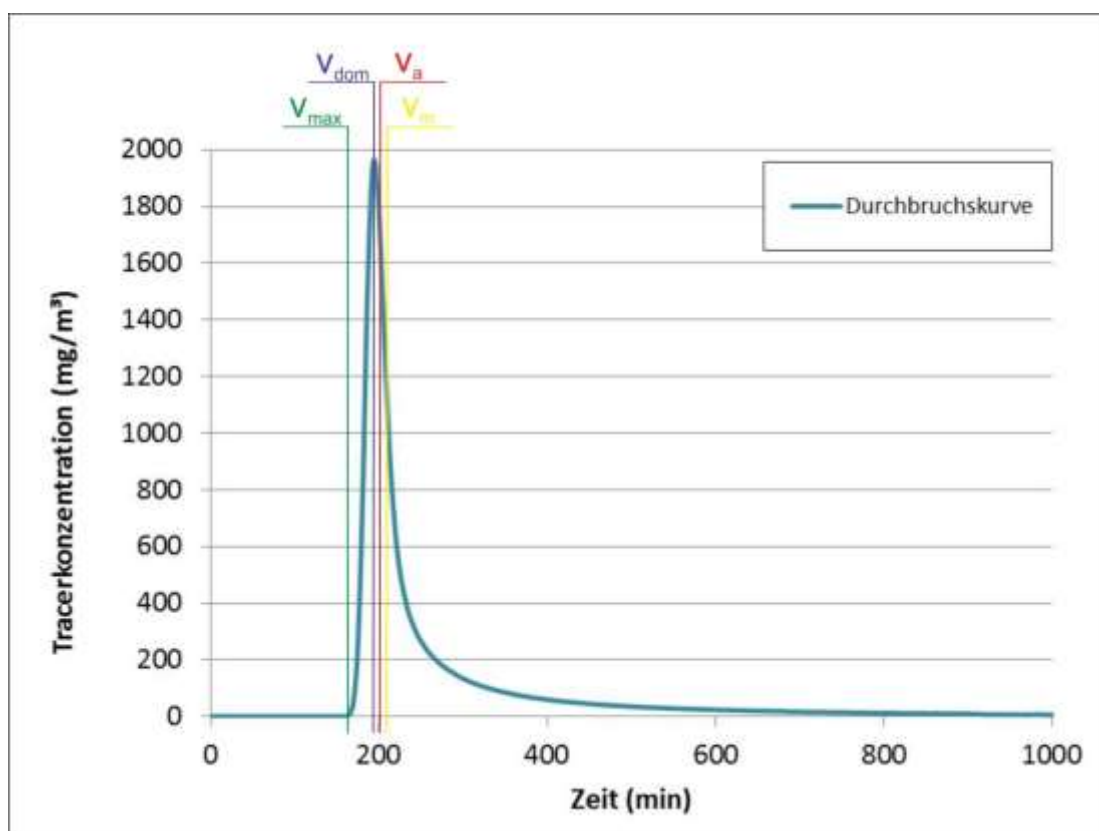


Abbildung 57 Die Durchbruchskurve mit den markierten Zeiten für die jeweilige Abstandsgeschwindigkeit. v_{\max} = maximale Abstandsgeschwindigkeit; v_{dom} = dominante Abstandsgeschwindigkeit; $v_a = v_w$ = wirkliche Abstandsgeschwindigkeit; v_m = Median-Geschwindigkeit. Der Eingabezeitpunkt des Tracers liegt bei der Zeit 0.

6 INTERPRETATION UND KONZEPTIONELLES MODELL

6.1 INTERPRETATION

Um die Fragestellung rund um die Embacher Plaike zu beantworten, gilt es nun die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zu diskutieren und in weiterer Folge aus dieser Interpretation der Daten ein konzeptionelles, hydrogeologisches Modell zu erstellen.

Geologie

Die Lithologie der Embacher Plaike wurde bereits mehrfach in der Literatur beschrieben, vor allem die Längs- und Querprofile der Geoconsult ZT - GmbH (1996), erstellt auf Basis von Bohrungen und Geoelektrik, geben Aufschluss auf den Untergrund in der Plaike sowie die Überlagerungsmächtigkeit. Die quartären Ablagerungen, insbesondere die Konglomerate, Sande, Kiese und Steine gelten als Aquifer, ausgenommen hiervon sind die Seetone, welche lokale Grundwasserstauer darstellen.

Die Firma InSOND Ges.m.b.H. verweist zudem bei Bohrungen auf der Embacher Hochebene auf hohe Spülverluste in den quartären Ablagerungen. Das Grundgebirge der Embacher Plaike wird größtenteils mit Lockermaterial bedeckt, einzelne Felsrücken und –schuppen sind allerdings oberflächlich ersichtlich ebenso wie der Kontakt zwischen Grundgebirge und den hangenden quartären Ablagerungen. Das Grundgebirge ist teilweise tektonisch stark beansprucht durch die unmittelbare Nähe zur SEMP. Dadurch kann das Grundgebirge wegen zahlreicher Klüfte und Trennflächen als Kluftgrundwasserleiter fungieren, aber auch auf Grund der vorherrschenden Lithologien als Grundwasserstauer angesehen werden.

Die Bohrungen der Geoconsult ZT - GmbH (1996) geben Aufschluss über die Tiefe des Grundwasserspiegels im mittleren und unteren Plaikenbereich zu dieser Zeit. Der Grundwasserspiegel liegt je nach Überlagerungsmächtigkeit 2,37 m – 15,1 m unter Geländeoberkante. Es sei darauf hingewiesen, dass diese Daten aus dem Jahr 1995 stammen, und daher auf Grund der Heterogenität und Variabilität einer Massenbewegung vermutlich zum einen die Seehöhenangaben als auch die Grundwasserstände hinfällig sind. Wichtig erscheint hier, dass in Kombination mit den Bohrkernen festgestellt werden konnte, dass der Grundwasserspiegel in den schluffigen Kiesen lag, welche auf dem Grundgebirge aufliegen.

Im Zuge der Kartierung kann man sich einen guten Überblick über das Untersuchungsgebiet verschaffen. Die Morphologie der Embacher Plaike zeigt nach wie vor Indizien einer aktiven

Massenbewegung mit abgesetzten Schollen aus quartärer Ablagerung und neuen Anrissen, deren Bewegungsmechanismus eventuell auf Grund des wasserstauenden Grundgebirges und somit Ausbildung eines Gleithorizontes als Translationsgleitung ausgelegt werden kann. Des Weiteren ist die Rinnenbildung in der Plaike ein Indikator für „Debris Flows“ (dt. Hangmuren). Zusätzlich treten Rutschungen am Hangfuß wegen der Erosionstätigkeit der Salzach auf.

Betrachtet man die räumliche Lage der Quellen kann man vier Gebiete in der Embacher Plaike bezogen auf die Seehöhe ausweisen, welche ein verstärktes Auftreten an Quellen bzw. einen markanten Quellaustritt zeigen. Berücksichtigt man dabei die Morphologie der Plaike liegen die Quellen fast immer am Übergang vom steilen in flaches Gelände oder umgekehrt. Dies kann vermutlich auf einen erhöhten hydraulischen Gradienten im steilen Gelände und der Kompression beim Übergang steil auf flach zurückgeführt werden.

Tiefe der Zirkulation, Verweilzeiten und Verdünnungseffekte

Die Ergebnisse der hydrogeologischen Kartierung zeigen, dass die Plaike im Allgemeinen wesentlich höher mineralisierte Quellen aufweist als die Embacher Hochebene und auch die Nachbarplaiken westlich und östlich der Embacher Plaike. Vor allem im östlichen Teil der Embacher Plaike treten Quellen mit extrem hohen elektrischen Leitfähigkeiten bis zu 1206 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf. Die Leitfähigkeit gibt somit bereits eine erste Gruppierung der Quellwässer vor.

Auf Grund der Lage und der Leitfähigkeiten wurden 20 Quellen zum einen für die Hydrochemie zum anderen für die kontinuierliche Messung von Leitfähigkeit, Temperatur und Schüttung ausgewählt um das Verhalten der Quellwässer genauer beurteilen zu können.

Die Parameter geben dabei Auskunft über Tiefe der Zirkulation, Verweilzeiten und Verdünnungseffekte. Es zeigt sich über die Messdauer hinweg ein saisonaler Trend bei Temperatur, Leitfähigkeit und Schüttung. Letztere nimmt in den heißen, niederschlagsarmen Monaten ab, Temperatur und Leitfähigkeit verhalten sich gegenläufig. Die Temperatur des Wassers nimmt mit steigenden Lufttemperatur zu, die Leitfähigkeit erhöht sich in den heißen Monaten, da das Grundwasser nicht durch neuen Niederschlag verdünnt wird und somit an Ionen angereichert ist.

EPQ13 (EP) und EPQ44 (EH) variieren in der gemessenen Zeitspanne im Gegensatz zu den anderen Quellen um nur 1,8°C. Dies lässt auf tiefer zirkulierende Grundwässer schließen als jene Wässer, die bis zu 11°C schwanken. An dieser Stelle sei allerdings erwähnt, dass die Wassertemperatur von sehr vielen Einflussfaktoren, wie z.B. die Lufttemperatur, Lage der Quelle (Schatten – Sonnenschein), Art der Quelle (Quellen aus einer Vernässung heraus; gefasste Quellen; punktuell austretende, nicht gefasste Quellen), usw. abhängig ist.

Den größten prozentualen Streubereich bei der Leitfähigkeit zeigen in der Embacher Plaike jene Quellen mit den höchsten Werten. Die starken Schwankungen könnten demnach davon stammen, dass diese Wässer längere Zeit im Aquifer unterwegs sind und der Verdünnungseffekt gepuffert wird, ergo kommt es zu einer größeren Anreicherung an Ionen sowie zu einem anderen Speicherverhalten als bei oberflächennahen Wässern. Eine zweite Möglichkeit für die starken Schwankungen ist eine höhere Verdünnung während Regenperioden im Gegensatz zu den anderen Quellen.

Auf der Embacher Hochebene lassen sich hohe prozentuale Abweichungen nicht auf hohe Leitfähigkeitswerte zurückführen. Die Abweichungen lassen sich zum Teil allerdings durch Düngereinfluss erklären, welcher bei manchen Quellen vor allem aber bei EPQD42 mit hohem Schwankungsbereich auf Grund der Hydrochemie festgestellt werden kann.

Fließweg

Die Hydrogeochemie spiegelt für die höchsten Leitfähigkeiten die höchsten Ionengehalte wieder, Grund dafür ist ein erhöhter Sulfatgehalt, der die Proben EPQ10, EPQ13 und EPQV15 zu erdalkalisch-sulfatischen Wässern (Ca^{2+} - SO_4^{2-} Wässer) ausweist.

Die restlichen Wässer zählen zu den erdalkalisch-karbonatischen Wässern (Ca^{2+} - HCO_3^- Wässer). Es sei darauf hingewiesen, dass die Proben vom 31.08.2015 leicht abweichende Ergebnisse liefern als vom 26.05.2015. Durch die mögliche Anreicherung der Ionen in den heißen, trockenen Monaten werden aus den erdalkalisch-karbonatischen Proben EPQ07, EPQ16 und EPQV01 erdalkalisch-karbonatisch-sulfatische Wässer, sowie aus EPQ07 und EPQD02 Ca^{2+} - Mg^{2+} -Karbonat Wässer.

Vergleicht man die Ionengehalte miteinander stellt sich heraus, dass alle beprobten Quellen ob Embacher Plaike, Hochebene oder Nachbarplaike ähnliche HCO_3^- und Ca^{2+} Gehalte aufweisen. Die hochmineralisierten Quellen (EPQ13, EPQ10 und EPQV15) in der Plaike zeigen zudem erhöhte SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Na^+ und Mg^{2+} Werte. Des Weiteren treten bei den Quellen EPQD02, EPQ07 und EPQ16 erhöhte Mg^{2+} Werte auf und in den trockenen Monaten bei den Quellen EPQ07, EPQ16 und EPQV01 leicht erhöhte SO_4^{2-} Gehalte. Die Proben EPQ07 und EPQ17 weisen mehr K^+ auf, EPQ17 zusätzlich NO_3^{2-} .

Die Gehalte für K^+ , NO_3^- und Cl^- sind auf der Embacher Hochebene im Gegensatz zu allen anderen Ionen am höchsten. Ebenso sind hier ausnahmsweise die Proben vom 26.05.2015 mehr angereichert als vom 31.08.2015. Diese Tatsachen lassen die „hohen“ Gehalte auf Düngung zurückführen. Davon betroffen ist vor allem EPQD42.

Korreliert man die einzelnen Ionen miteinander, erkennt man eine positive Korrelation von Ca^{2+} mit HCO_3^- , Ca^{2+} mit SO_4^{2-} und Ca^{2+} mit Mg^{2+} .

Im Großen und Ganzen spiegeln die Ionenvergleiche und Korrelationen die Geologie des Grundwasserleiters wieder. Alle Wässer durchfließen Kalziumkarbonat (Kalk), die hochmineralisierten Wässer (EPQ13, EPQ10 und EPQV15) zusätzlich Kalziumsulfat (Gips). Die Quellwässer von EPQ07, EPQ16 und EPQV01 streifen die sulfatreiche Zone nur, fließen durch eine eigenständige, allerdings viel kleinere Sulfatzone oder sind stärkeren Verdünnungen ausgesetzt. Die Korrelation zwischen Ca^{2+} und Mg^{2+} weist auf Kalzium-Magnesium-Karbonat (Dolomit) und/oder Substitutionen von Ca^{2+} durch Mg^{2+} im Kalziumkarbonat bzw. Kalziumsulfat hin. Die erhöhten Mg^{2+} , K^+ , Na^+ Werte könnten auch ein Indiz für den Kontakt des Wassers mit den Mineralien Chlorit, Biotit, Muskovit und Feldspat sein.

Das Durchfließen von Kalziumkarbonat zeigen die Versinterungen an manchen Quellen sowie die Berechnung der Sättigungsindizes, der zeigt, dass alle Wässer in der Plaike an CO_2 und CaCO_3 übersättigt sind. Ein erhöhter pCO_2 im Wasser gegenüber der Atmosphäre deutet auf das Durchfließen einer biologisch aktiven Bodenzone hin. Beim Austritt des Wassers an der Quelle entgast das CO_2 , der pH-Wert wird basischer, was auch die pH Messungen zeigen, und CaCO_3 fällt aus. Demnach müsste bei allen Quellen Kalk ausfallen, warum dies nur bei einigen Quellen der Fall ist, ist aus den Daten nicht ableitbar.

Um die Herkunft des Gipses zu eruieren wurde die Schwefelisotopie herangezogen. Der $\delta^{34}\text{S}$ Wert verweist mit -8,9 auf kein Salinar des Perms oder Mesozoikums sondern auf oxidiertes Sulfid, welches für sekundäre Gipsfällungen in den Klüften spricht. Das Sulfid stammt dabei vermutlich von sulfidischen Erzen (z.B. Pyrit). Aus diesem Resultat kann man schließen, dass die sulfatreiche Zone, dem Grundgebirge zugeordnet werden kann. Die sulfathältigen Wässer sind demnach ein Hinweis für einen Wasserzirkulation durch das Grundgebirge.

Kombiniert man nun die Quellbereich in der Embacher Plaike mit dem Aquifergestein, lässt sich Folgendes feststellen:

- Die hochmineralisierten Wässer (EPQ13, EPQ10, EPQV15) fließen durch sekundär gebildeten Gips im Grundgebirge), Kalk und teilweise Dolomit (beides ist in der quartären Ablagerung vorhanden) und /oder Gestein mit den Mineralien Chlorit, Biotit, Muskovit und Feldspat (eventuell Grundgebirge)
- Das Wasser der Quelle EPQ07 passt gut mit jenem von EPQ16 zusammen, EPQ16 ist vermutlich ein Wiederaustritt von dem Wasser rund um EPQ07. Entweder streift

das Wasser die lokale sulfatreiche Zone, durchfließt eine eigenständige, viel kleinere Sulfatzone oder erlebt eine stärkere Verdünnung. Die leicht erhöhten Mg^{2+} und K^+ Werte könnten von Dolomit aus der quartären Ablagerung bzw. von Dünger auf der Wiese bei der Abrisskante stammen oder wiederum von einem Gestein mit den Mineralien Chlorit, Biotit, Muskovit und Feldspat.

- Die Quelle EPQD02 scheint von ihrer Lage her gesehen an der Grenze quartäre Ablagerung - Grundgebirge auszutreten. Auf Grund der Hydrochemie lässt sich ein Fließweg durch die kalkhaltige Matrix der quartären Ablagerung und/oder durch das Lockermaterial am Fuße der Abrisskante nachvollziehen. Der leicht erhöhte Mg-Gehalt stammt vermutlich aus Dolomit. Das Wasser wird unterirdisch gefasst und mit einem Rohr an die jetzige EPQD02 Position geleitet (mündliche Auskunft, Ludwig Fegerl, 21.04.2015).
- EPQV01 weist zwar leicht erhöhte Sulfatgehalte auf, ansonsten allerdings keine Anreicherungen außer Ca^{2+} und HCO_3^- . Die Quelle entwässert einen lokal, kleinräumigen Bereich der Massenbewegung im unteren Abschnitt. Auch das flache Gelände mit lokalen Unregelmäßigkeiten, welche eine Quellnische ausbilden spricht dafür. Das Sulfat könnte von versickertem Wasser aus der Tagwasserschale stammen oder vom Sickerwasser aus der Massenbewegung selbst, da es quasi in der Falllinie der SO_4^{2-} Quellen liegt.
- EPQ17 stellt eine Quelle mit klassischem Kalzium-Hydrogenkarbonat Wasser dar. Leicht erhöhte K^+ und NO_3^- Werte könnten auf Düngereinfluss hinweisen. Das Wasser der Quelle EPQ17 fließt daher vermutlich nur durch das Lockermaterial, welches dem Grundgebirge aufliegt.
- EPQ08 ist gering mineralisiert und weist keine Anreicherungen auf.

Die Hydrochemie bezogen auf die Lage der Quellen in der Plaike zeigt, dass sich das Grundwasser in der Plaike in Falllinie fortbewegt und sich somit das Grundwasser des östlichen und westlichen Plaikenbereiches nicht vermischt.

Entwässerung

Die Abflussmessungen entlang des Kirchbaches ergaben eine kontinuierliche Zunahme der Schüttung in Fließrichtung, welche nicht durch oberirdische Zuflüsse erklärbar ist. Demnach muss trotz des teilweise ausgebauten Gerinnes das Grundwasser dem Kirchbach zuströmen und zwar entlang der gesamten Strecke. Es bestehen also im Großen und Ganzen effluente

Verhältnisse, welche gegen eine Wasserabgabe des Kirchbaches an einen unterirdischen „Grundwassersee“, wie Stiny (1911) es postulierte, spricht.

Mit Hilfe des Markierungsversuches konnte im gemessenen Zeitraum keine hydraulische Verbindung zwischen Salater- und Kirchbach zur Embacher Plaike nachgewiesen werden. Eine Verbindung zwischen Salaterbach und Kirchbach ist gegeben wenngleich diese entweder nur bei hoher hydraulischer Aktivität besteht oder das Wasser einfach sehr lange braucht bis es im Grundwasserleiter vom Salaterbach zum Kirchbach kommt. Allerdings bedeutet ein Nichtnachweis nicht automatisch, dass keine hydraulische Verbindung vorliegt. Es besteht die Möglichkeit, dass der Tracer länger braucht, um an den Quellen anzukommen und/oder eine zu geringe Dosierung Werte unter der Nachweisgrenze liefert. Letzteres ist allerdings auf Grund der hohen Einspeisemenge eher unwahrscheinlich.

Das lange Tailing der Durchbruchskurve des Amino G-Acids (über 2 Tage) deutet auf Senken („Pools“) hin (Zhang et al., 2010), in denen sich das Wasser längere Zeit aufhält bevor es wieder in die normale Wasserströmung gelangt. Diese Pools treten im oberen und unteren Teil des einbezogenen Bachbettes auf, aber auch entlang des Gerinneausbaus, der an mehreren Stellen bereits beschädigt ist.

Anhand der Abflussmessungen in der Embacher Plaike lassen sich 4 Hauptquellen bezogen auf die Schüttungsmenge feststellen (EPQ13, EPQ17, EPQD02, EPQV15). Der gesamte gemessene Oberflächenabfluss der Plaike beträgt im Mittel 3,1l/sec. Mit Hilfe der Wasserbilanz wurde für das Einzugsgebiet der Embacher Plaike ein möglicher Abfluss berechnet mit 11,4 l/sec und 12,5 l/sec. Dies bedeutet, dass das Einzugsgebiet der Embacher Plaike für den mittleren Oberflächenabfluss ausreicht und kein zusätzliches Wasser zufließen muss. Die Differenz zwischen gemessenen und berechneten Abfluss beinhaltet den unterirdischen Basisabfluss in die Salzach. Die Ergebnisse der Wasserbilanz können nur als grobe Abschätzung gesehen werden, da sehr viele Annahmen dahinter stecken, als Orientierung sind sie allerdings hilfreich.

Die obersten Quellen in der Plaike können durchaus von den Abrissbereichen und ein wenig dahinter gespeist werden, das das Wasser in den Untergrund einsickert und auf Grund lokaler Gefälle der Kontaktfläche Grundgebirge zu Quartär eine Fließrichtung in die Plaike ermöglichen. Dies sind aber keine großen Wassermengen, können aber ausreichen, um die Seetone als Stauer oder den Kontaktbereich des Grundgebirges zu den Konglomeraten beispielsweise zu sättigen, dadurch die Scherfestigkeit herabzusetzen und eine Bewegung im Stirn/Abrissbereich lokal zu ermöglichen.

6.2 KONZEPTIONELLES HYDROGEOLOGISCHES MODELL

Als Arbeitshypothese sei nun angenommen, dass die Plaike ein eigenständiges hydrogeologisches System darstellt und keine hydraulische Verbindung zwischen Kirch- und Salaterbacher zur Embacher Plaike besteht. In diesem Fall könnte das konzeptionelle hydrogeologische Modell, wie folgt, aussehen:

Die Schieferung fällt zwar NE ein aber das gesamte Grundgebirge fällt Richtung Kirchbach ab. Die Bohrungen der InSOND Ges.m.b.H auf der Embacher Hochebene geben Anlass zu dieser Annahme, denn dabei wurde das Grundgebirge bei allen 4 Bohrungen mit einer Tiefe von 80 m nicht angetroffen. Wie das Grundgebirge morphologisch im Bereich zwischen Abrisskante und den ersten Erkundungsbohrungen verläuft, kann dadurch natürlich nicht erfasst werden. Das Einflussgebiet der SEMP wird Richtung Kirchbach immer größer, somit auch die tektonische Beanspruchung des Gesteins. Störungsgesteine können Grundwasserstauer sein. Es ist also möglich, dass sich eine stauende Schicht, die Richtung SE also Richtung Kirchbach einfällt, gebildet hat und das infiltrierte Wasser somit dem Kirchbach zugeleitet wird. Lokal treten an den Seetonen, die als Aquiclude fungieren, Wässer aus. Im Großen und Ganzen ist aber das oberirdische und unterirdische Einzugsgebiet der Embacher Plaike ähnlich groß. Die zwei Bäche der Embacher Hochebene würden außerhalb dem unterirdischen Einzugsgebiet der Embacher Plaike liegen.

Im Bereich der Embacher Plaike tritt das Grundgebirge sowohl als Grundwasserstauer als auch in „Zerrüttungsbereichen“, also in Bereichen mit vermehrten Trennflächen als Kluftgrundwasserleiter auf. Diese Zerrüttungsbereiche entstehen auf Grund des Einflusses der SEMP oder der Massenbewegung selbst. Als weiterer allerdings nur lokal vorherrschender Grundwasserstauer gelten die Seetone als Teil der quartären Ablagerung. Ansonsten werden die quartären Ablagerungen als Grundwasserleiter gesehen, die Moräne mit geringerer hydraulischer Durchlässigkeit miteingeschlossen, ebenso wie das Massenbewegungsmaterial welches dem Grundgebirge in der Plaike aufliegt.

Auf Grund der hydrochemischen Ergebnisse und den Beobachtungen im Gelände, lassen sich die Wässer der Embacher Plaike in sechs Bereiche einteilen (Tabelle 27).

Tabelle 27 Die Wässer der Embacher Plaike, auf Grund der Ergebnisse eingeteilt in 6 Bereiche bezogen auf deren Fließwege

Bereich	Messstelle	Interpretation	Erkenntnis aus...
1	EPQ10 EPQ13 EPQV15	• Zirkulation bis in das Grundgebirge	Sulfatanreicherung, Ca ²⁺ -SO ₄ ²⁻ Wasser
		• Tieferzirkulierend	Temperatur
		• Längere Verweilzeit im Untergrund	Anreicherung an Ionen
2	EPQ07 EPQ16	○ EPQ16 spiegelt Wiederaustritt von EPQ07 wieder	Morphologie, ähnliche Hydrochemie
		○ Fließt oberflächlich durch Grundgebirge	Sulfatanreicherung 31.08.2015
3	EPQD02	• Stauer vermutlich Grundgebirge	Lage
		• Fließt durch quartäre Ablagerung und/oder Lockermaterial am Fuße der Abrisskante	Ca ²⁺ -HCO ₃ ⁻ Wasser
4	EPQ17	○ Wasser fließt durch Lockermaterial, welches dem Grundgebirge aufliegt	Ca ²⁺ -HCO ₃ ⁻ Wasser
5	EPQV01	• Beeinflusst durch sulfatreiche Wässer	Leicht erhöhte Sulfatgehalte
6	EPQ08	○ Oberflächiger, kurzer Fließweg; kleines Einzugsgebiet	Keine Anreicherung

Auf Basis der sechs Bereiche mit unterschiedlichen Fließwegen wurden 3 Profile (A-A', B-B' und C-C') erstellt, die der Falllinie folgen und die Quellbereiche schneiden (Abbildung 58). Der Maßstab der Abszisse beträgt 1:4000, der der Ordinate 1:5000. Die Überlagerungsmächtigkeit ist aus dem Bericht der Geoconsult ZT - GmbH von 1996 entnommen, ebenso wie der Aufbau des Grundgebirges, welcher auf Basis der Profile L1 und L2 der Geoconsult ZT - GmbH inter- bzw extrapoliert wurde. Der südöstlichste Teil der Embacher Plaike zwischen Schober- und Wetterkreuz-Lappen bis hinunter zu den Quellen EPQV15, EPQ13 und EPQ10 zeigt sich im Profil A-A'. Da diesem Bereich auf Grund des schwierigen Geländes noch keine Untersuchungen zugrunde liegen, wurde die Überlagerungsmächtigkeit abgeschätzt und der Kontakt zwischen Grundgebirge und dem Lockermaterial im Profil strichliert eingezeichnet. Das Grundgebirge wird nur schematisch angedeutet, es liegen keine Daten vor.

Der Grundwasserspiegel in der Plaike wurde zwar in den Bohrungen der Geoconsult ZT - GmbH und InSOND Ges-m.b.H. verzeichnet, da es sich allerdings nur um eine punktuelle Stichprobe handelt und der Grundwasserspiegel variabel ist, wurde er in den Profilen an die Morphologie, die Überlagerungsmächtigkeit und den Untergrund angepasst.

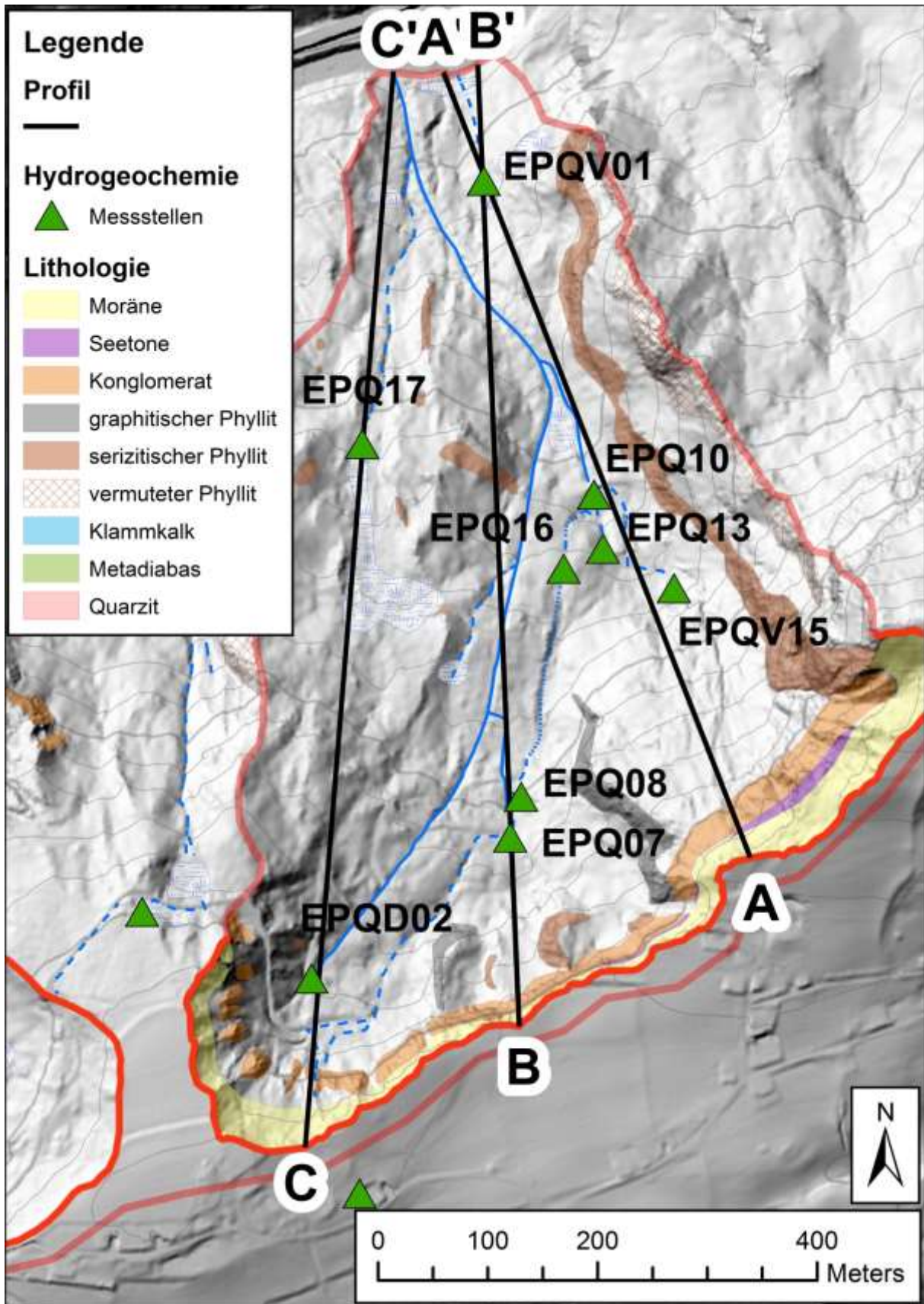
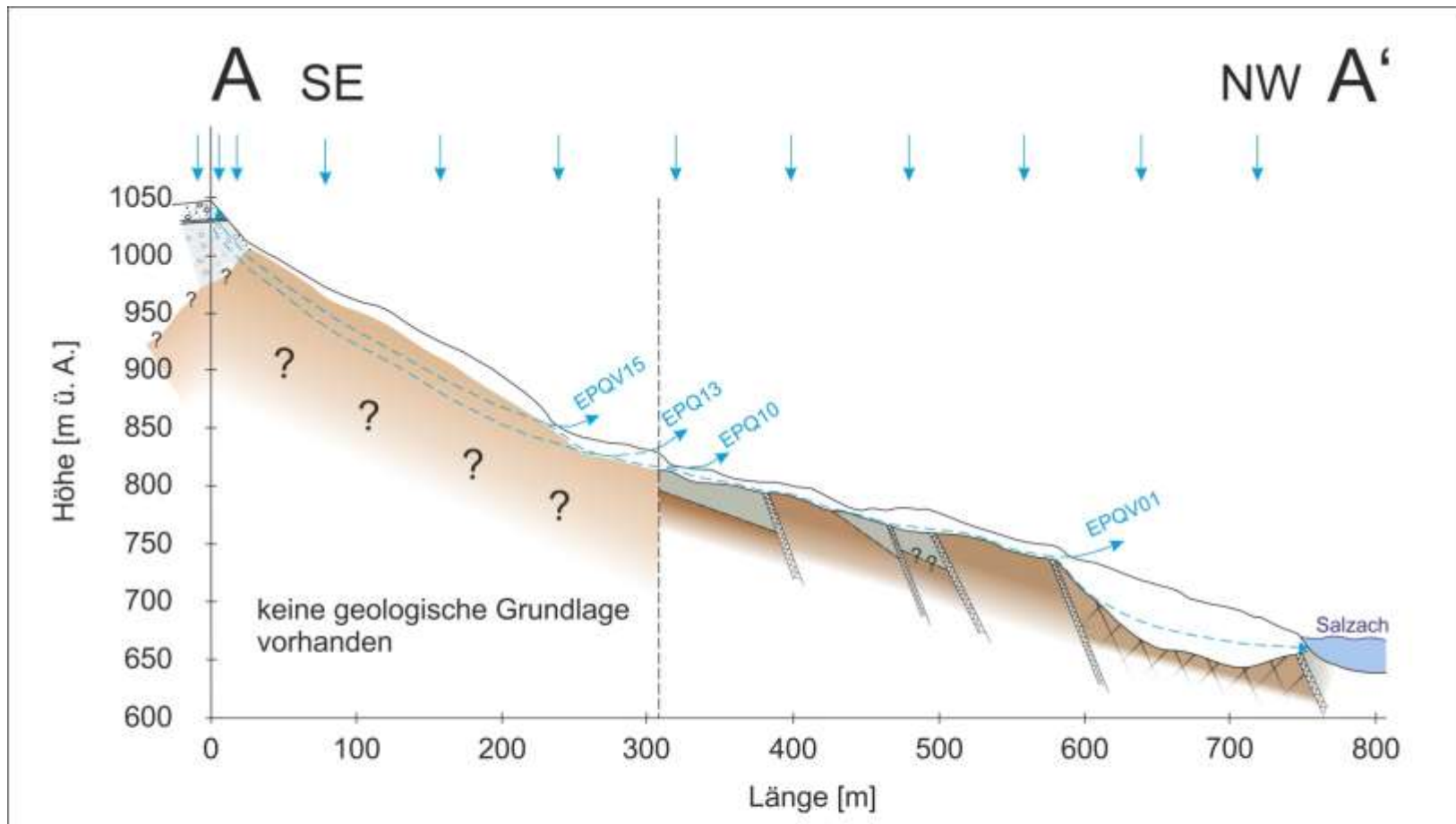


Abbildung 58 Karte zur Veranschaulichung der Lage von den Profilen A-A', B-B' und C-C'.

Profil A-A'

Das Profil A-A' (Abbildung 59) zeigt einen Längsschnitt durch den östlichen Bereich der Plaike und erfasst die Quellen EPQV15, EPQ13 und EPQ10 sowie die Quelle EPQV01. Das Wasser infiltriert im Bereich der Abrisskante, fließt durch die quartäre Ablagerung und gelangt in weiterer Folge vermutlich über einen Zerrüttungsbereich in die oberste Zone des Grundgebirges. Es durchfließt möglicherweise einen darin ausgebildeten Kluffgrundwasserleiter oder eine Zerrüttungszone und reichert sich während einer längeren Verweilzeit im Untergrund mit Ionen an. Der erhöhte Sulfatgehalt könnte aus sekundär gebildetem Gips stammen, der als Klufffüllung oder Füllung in Zerrüttungszonen, vorliegen könnte. Das Wasser tritt an den Übergängen von flaches auf steiles Gelände bzw. umgekehrt sowie an weniger mächtigen Lockergesteinsüberlagerungen aus. Das Wasser der EPQV01 infiltriert lokal oberhalb der Quelle und tritt an einer Verengung zwischen Oberfläche und dem Grundgebirge in einer Quellnische aus.



Legende

 Moräne	 Konglomerat	 Chloritphyllit	 Störungszone
 Seeton	 Phyllit i.A.	 Zerrüttungsbereich	 vermuteter Grundwasserspiegel

Abbildung 59 Profil A-A' mit den Quellen EPQV15, EPQ13, EPQ10 und EPQV01. Die geologische Grundlage und die Überlagerungsmächtigkeit, sofern diese vorhanden sind, sind aus dem Bericht der Geoconsult ZT - GmbH übernommen. Die Lage des Profils ist in Abbildung 58 ersichtlich.

Profil B-B'

Das Profil B-B' (Abbildung 60) verläuft durch die Mitte der Embacher Plaike und zeigt die Quellen EPQ07 sowie EPQV01 und, wo es auf den bereits im Kapitel Morphologie beschriebenen Felsrücken trifft, der die östliche Rinne der Embacher Plaike von der Westlichen trennt. Das Wasser der EPQ07 gelangt über die quartäre Ablagerung zum Grundgebirge, ähnlich wie bei Profil A-A'. Der durchflossene Zerrüttungsbereich im Grundgebirge wird hier allerdings durch zwei Störungszonen begrenzt, wobei die untere Störungzone sowie die Verringerung der Überlagerungsmächtigkeit dafür sorgen, dass das Wasser an der Oberfläche austritt. Es handelt sich hierbei vermutlich um ein Mischwasser aus oberflächennahen und tiefer zirkulierenden Wässern, bei Trockenheit sind tieferzirkulierende dominanter, deswegen kommen erhöhte Sulfatgehalte in den heißen Monaten vor.

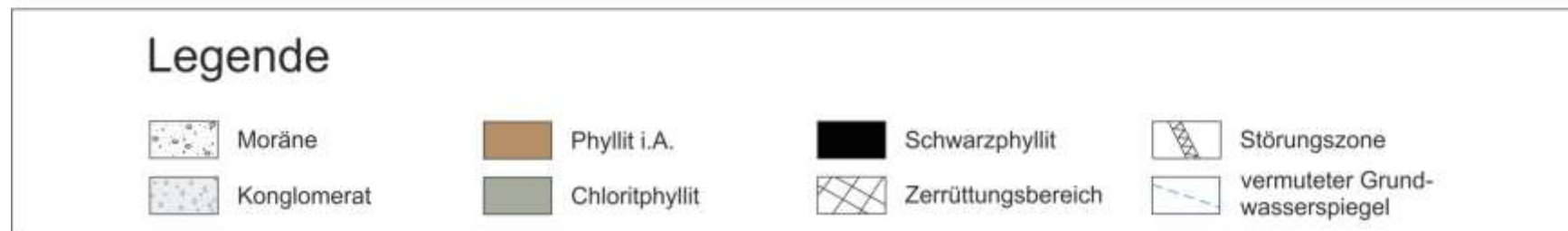
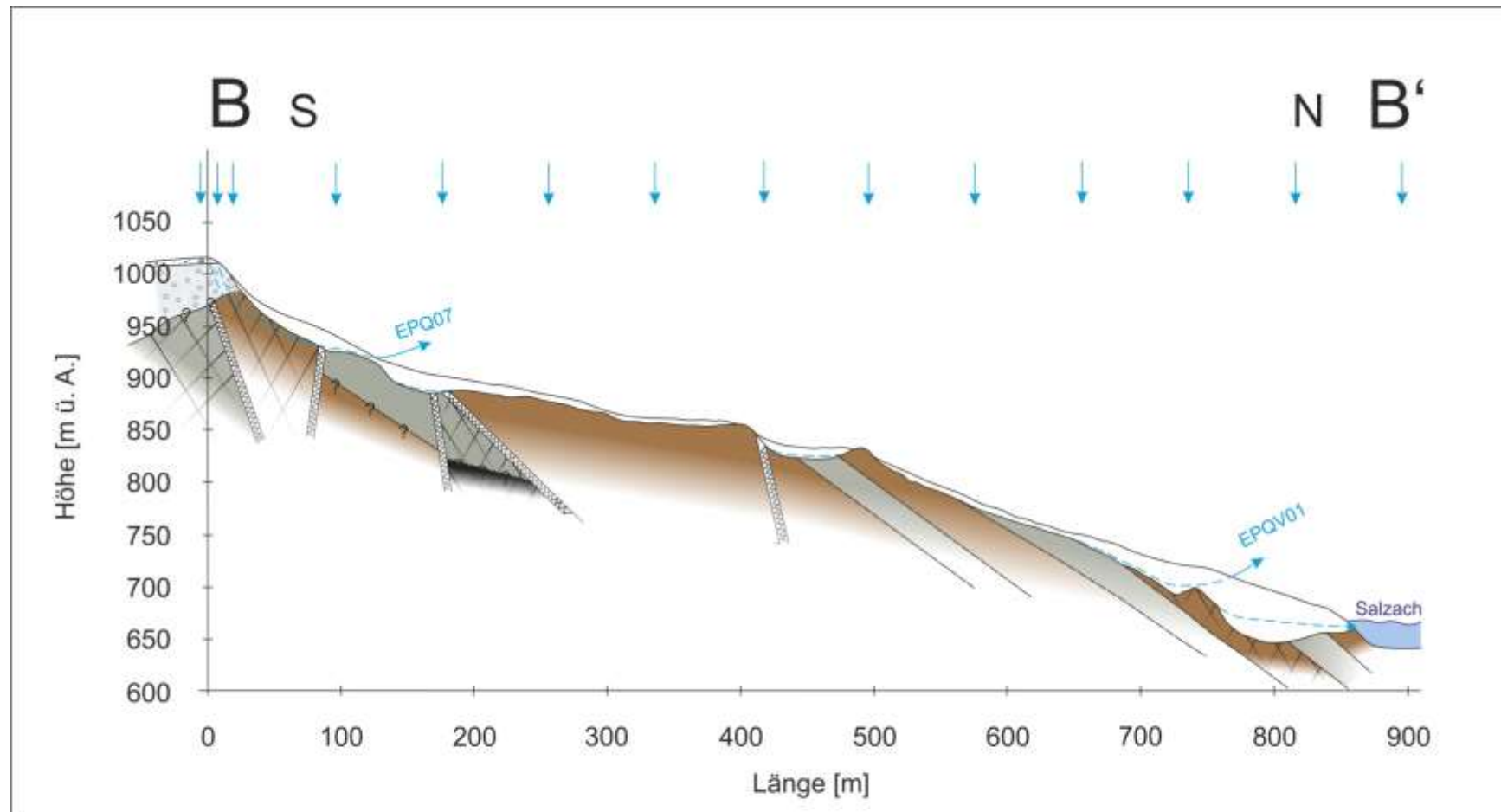
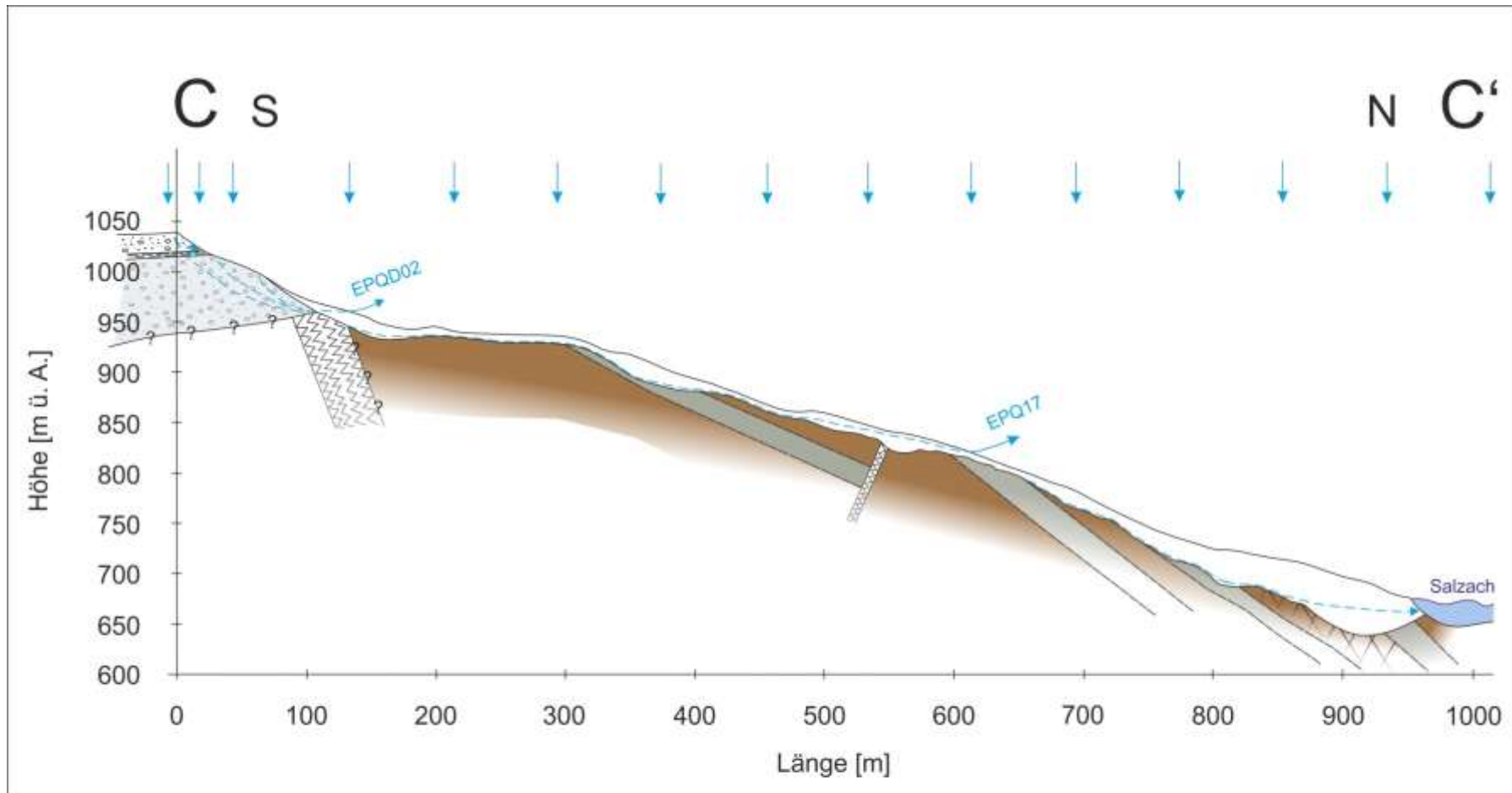


Abbildung 60 Profil B-B' mit den Quellen EPQ07 und EPQV01. Die geologische Grundlage sowie die Überlagerungsmächtigkeit sind aus dem Bericht der Geoconsult ZT – GmbH übernommen. Die Lage des Profils ist in der Abbildung 58 ersichtlich.

Profil C-C'

Durch den westliche Bereich der EmbacherPlaike verläuft das Profil C-C' (Abbildung 61) und erfasst dabei die Quellen EPQD02 und EPQ17, welche als typische Ca^{2+} - HCO_3^- Wässer gelten. Das Wasser der EPQD02 infiltriert im Bereich der Abrisskante und durchfließt die quartäre Ablagerung bis zum Grundgebirge. Im Gegensatz zu den anderen Profilen tritt hier kein Zerrüttungsbereich sondern eine Störungszone auf, welche als Grundwasserstauer fungieren dürfte. Laut mündlicher Auskunft von Ludwig Fegerl (21.04.2015) wurde diese Quelle im Untergrund gefasst. Ein Rohr leitet das Wasser zur jetzigen EPQD02 Position, wo das Wasser direkt in die Tagwasserschale rinnt. Das Wasser der EPQ17 infiltriert in das Lockermaterial, welches dem Grundgebirge aufliegt. Da sich dieses aus der quartären Ablagerung zusammensetzt, erreicht das Wasser einen hohen Ca^{2+} und HCO_3^- Gehalt. Die Quelle tritt an einem Geländeübergang und einer Verringerung der Überlagerungsmächtigkeit aus.



Legende









- | | | | |
|--|--|--|---|
|  Moräne |  Konglomerat |  Chloritphyllit |  Störungszone |
|  Seeton |  Phyllit i.A. |  Zerrüttungsbereich |  vermuteter Grundwasserspiegel |

Abbildung 61 Profil C-C' mit den Quellen EPQD02 und EPQ17. Die geologische Grundlage sowie die Überlagerungsmächtigkeit sind aus dem Bericht der Geoconsult ZT – GmbH übernommen. Die Lage des Profils ist in Abbildung 58 ersichtlich.

7 SCHLUSSBETRACHTUNG UND AUSBLICK

7.1 SCHLUSSBETRACHTUNG

Zusammenfassend kann man folgende Schlussbetrachtung für das hydrogeologische System der Embacher Plaike anstellen:

- Der Kirchbach weist effluente Fließbedingungen auf, d. h. das Grundwasser der Embacher Hochebene fließt dem Kirchbach zu.
- Des Weiteren konnte durch den Markierungsversuch keine hydraulische Verbindung zwischen Kirch- und Salaterbach zur Embacher Plaike festgestellt werden.
- Eine für das Einzugsgebiet der Embacher Plaike aufgestellte Wasserbilanz deutet überdies auf keinen zusätzlichen Wasserzufluss hin. Der daraus berechnete Abfluss deckt sich im Großen und Ganzen mit dem tatsächlich gemessenen Abfluss in der Plaike.
- Hydrogeochemische Analysen geben Auskunft über die Wassertypen und Fließwege der Quellwässer. Man kann dadurch zwischen $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ Wässer und $\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$ Wässer, die ebenso einen hohen HCO_3^- -Gehalt aufweisen, unterscheiden. Erstere fließen durch die quartäre Ablagerung mit der kalkhaltigen Matrix der Konglomerate sowie durch das Lockermaterial, welches in der Plaike auf dem Grundgebirge liegt. Die Herkunft des Sulfates wurde durch die Schwefelisotopie eruiert. Demnach stammt das Sulfat von oxidiertem Sulfid, welches voraussichtlich in Klüften gelöst wurde. Anhand dieser Erkenntnis kann auf eine tiefere Zirkulation der $\text{Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$ Wässer durch die quartäre Ablagerung in die obersten Zonen des Grundgebirges angenommen werden.

Auf Grund der angeführten Resultate und Erkenntnisse kann keine hydraulische Verbindung zwischen Kirch- und Salaterbach zur Embacher Plaike nachgewiesen werden. Die Embacher Hochebene und die Embacher Plaike stellen demnach zwei voneinander im Wesentlichen entkoppelte hydrogeologische Systeme dar.

Im Allgemeinen ist die Embacher Plaike ein gutes Beispiel für die Erstellung und Untersuchung eines hydrogeologischen Systems. Indizien einer Fachrichtung alleine reichen nicht aus, um die komplexen Vorgänge und den Aufbau des Untergrundes zu eruieren, es ist daher interdisziplinäres Arbeiten zwischen Geologie, Hydrol(geo)logie, Geophysik, etc. notwendig, um ein schlüssiges Gesamtbild zu erhalten.

7.2 AUSBLICK

Im folgenden Kapitel werden noch offene Fragen und Methoden für deren Beantwortung erörtert.

- ***Kontakt zwischen Grundgebirge und quartären Ablagerungen?***

Mit geophysikalischen Untersuchungen könnte man feststellen wie der Kontakt zwischen Grundgebirge und quartären Ablagerungen von der Abrisskante in Richtung Kirchbach verläuft.

- ***Abflussverhalten der Wässer in der Embacher Plaie?***

Um das Abflussverhalten in der Embacher Plaie zu charakterisieren, wäre es nötig ein Messwehr für die kontinuierliche Aufzeichnung des Gesamtabflusses zu errichten. Somit kann mit Hilfe einer Abflussganglinie das Abflussverhalten des Gewässers typisiert werden, die Reaktionszeit auf Niederschlagsereignisse eruiert und Direktabfluss von Basisabfluss getrennt werden. Daraus lässt sich das Speicherverhalten eines Systems genauer kategorisieren.

- ***Optimierung der Wasserbilanz***

Wie bei jeder hydrogeologischen Untersuchung ist eine kontinuierliche Messung von Lufttemperatur, Niederschlag und Schüttung (Messwehr) vor Ort für die Berechnung der Wasserbilanz sowie für die Gegenüberstellung Abflussganglinie – Niederschlagsereignis von Vorteil.

- ***Verweilzeiten***

Im Weiteren geben Wasserstoff- und Sauerstoffisotopie Auskunft über die Verweilzeit des Grundwassers. Zudem würde die Isotopie noch Informationen über die Herkunft des Grundwassers sowie die Höhe des Einzugsgebietes liefern.

8 LITERATURVERZEICHNIS

- Amt der Salzburger Landesregierung (2001). EmbacherPlaike, Lend – Verschiebungsmessungen des Jahres 2000. GZ 6/-603/602/77-2001. Salzburg.
- Bauer, F. (1967). Erfahrungen beim Uraninnachweis mit Aktivkohle. *Steierische Beiträge zur Hydrogeologie*, 18(19), 169-178.
- Benischke, R. (2016). Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH. Schriftliche Mitteilung (E-Mail). 27.01.2016.
- Benischke, R., & Harum, T. (1984). Computergesteuerte Abflussmessungen in offenen Gerinnen nach der Tracerverdünnungsmethode (Integrationsverfahren). *Steirische Beiträge zur Hydrogeologie*, 36, 127-137.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (1951). Niederschrift – Gegenstand: kommissionelle Besichtigung der Embacher – Plaike und des Salzach Laufes im Bereiche des Plaiken-Fußes zwecks Aufstellung eines Rahmenprogrammes und zwecks grundsätzlicher Regelung der Finanzierung der nötigen Verbauungsmaßnahmen. Aufgenommen vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft am 03. August 1951 in Embach.
- Clark, I. D., & Fritz, P. (1997). Environmental isotopes in hydrogeology. *CRC press*.
- Coldewey, W. G., & Göbel, P. (2015). Hydrogeologische Gelände-und Kartiermethoden. *Springer-Verlag*.
- Dietrich, M. (1988). Geologischer Bericht zum aktuellen Zustand der Embacher Plaike. Erstellt im Zuge der Dissertation von Herrn Michael Dietrich an der TU-München mit dem Titel „Geologische Untersuchungen der Hangbewegungen im Bereich der Taxenbacher Enge (Land Salzburg)“.
- Exner, C. (1979). Geologie des Salzachtales zwischen Taxenbach und Lend. *Jahrb Geol Bundesanstalt*, 122, 1-73.
- Forsttechnische Abteilung für Wildbach- und Lawinenverbauung (1983). Unveröffentl. Kollaudierungsniederschrift. Gegenstand: Maßnahmen zur Verbauung des Kirch- und Salaterbaches. Aufgenommen am 08. Juni 1983 in Embach.
- Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung (2002). Unveröffentl. Kollaudierungsniederschrift. Gegenstand: Maßnahmen in der Embacherblaike. Aufgenommen am 30. Juli 2002 in Lend.

- Frisch, W., Gommeringer, K., Kelm, U., & Popp, F. (1989). The Upper Bündner Schiefer of the Tauern Window – A key to understanding eoalpine orogenic processes in the Eastern Alps. *Geodynamics of the Eastern Alps*, 55-69.
- Furtak, H., & Langguth, H. R. (1965). Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. In Mem. IAHR-congress (Vol. 7, pp. 86-96).
- Gebietsbauleitung für Wildbach- und Lawinenverbauung (1961). Unveröffentl. Technischer Bericht – zum Teilverbauungsprojekt über die Regulierung des Kirchbaches und des Salaterbaches der Embacher – Hochflur in der Gemeinde Lend, Bezirk Zell am See verfaßt auf Grund des Erlasses des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft vom 30. September 1955, Zl.: 70.056 – V/15 – 1955.
- Gebietsbauleitung für Wildbach- und Lawinenverbauung (1962). Unveröffentl. Verhandlungsschrift. Bezüglich des Teilverbauungsprojektes für die Regulierung des Kirchbaches und des Salaterbaches. Aufgenommen am 24. Oktober 1962 in Lend.
- Geoconsult ZT-GmbH (1996). Embacher Plaike – Endbericht Sommer 1996. GZ 2501/JKI. Unveröffentl. Bericht. Salzburg.
- Heinisch, H. (1986). Die Geologie der Nördlichen Grauwackenzone zwischen Kitzbühel und Zell am See und ihre Bedeutung für die Rekonstruktion der altpaläozoischen Geodynamik des Ostalpenraumes. Unveröff. Habilitationsschrift, 291 S. *LMU-München*.
- Höltling, B., & Coldewey, W. G. (2013). Hydrogeologie: Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. *Springer-Verlag*.
- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), 167-194.
- Insond Ges.m.b.H. (1970). Sondierbohrungen 1967/68 im Gebiet der Embacher Plaike - Technischer Bericht. Im Auftrag der Wildbach- und Lawinenverbauung. Unveröffentl. Bericht. Salzburg.
- Käss, W. (2004). Geohydrologische Markierungstechnik-2. überarbeitete Aufl., 557 Seiten, 239 Abbildungen, 43 Tabellen, 8 Farbtaf. Lehrbuch der Hydrogeologie, 9.
- Krouse, H. R. (1980). Sulphur isotopes in our environment. *Handbook of environmental isotope geochemistry*, 1, 435-471.
- Kurz, W., Neubauer, F., & Dachs, E. (1998). Eclogites meso- and microfabrics: implications for the burial and exhumation history of eclogites in the Tauern Window (Eastern Alps) from PTd paths. *Tectonophysics*, 285(1), 183-209.
- Lahnsteiner, J. (1960). Unterpinzgau: Zell am See, Taxenbach, Rauris; geschichtlich und heimatkundlich beschrieben. *Selbstverl. Lahnsteiner*.

- Langguth, H. R., & Voigt, R. (2004). Hydrogeologische Methoden. 2. Auflage. Springer-Verlag.
- Logotronic (1998). Benutzerhandbuch. Qtrace – Abflussmessung nach der Salzverdünnungsmethode. Version 1.0.
- Lotter, M., & Haberler, A. (2013). Geogene Naturgefahren – gravitative Massenbewegungen und ihre Ursachen. *Bericht Geol. B.-A.*, 100.
- Matthess, G. (1994). Die Beschaffenheit des Grundwassers, 3. überarbeitete Auflage. Lehrbuch der Hydrogeologie Band 2. *Gebrüder Borntraeger*, Berlin, Stuttgart.
- Pestal, G. (Ed.) (2009). Geologie der österreichischen Bundesländer. Geologische Karte von Salzburg: Erläuterungen ; 11 Farbtaf. Wien, Salzburg: Geolog. Bundesanstalt; Land Salzburg.
- Pestal, G., Hejl, E., Egger, H., van Husen, D., Linner, M., & Mandl, G. (2005). Geologische Karte von Salzburg 1: 200.000. Wien: Geologische Bundesanstalt.
- Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(6), 914-928.
- Rausch, R., Schäfer, W., & Wagner, C. (2002). Einführung in die Transportmodellierung im Grundwasser. *Gebrüder Borntraeger*. Berlin, Stuttgart.
- Schlaegel-Blaut, P. (1990). Der basische Magmatismus der nördlichen Grauwackenzone, oberostalpinen Paläozoikum. *Abh. Geol. B.-A.*, 43, 1-149.
- Schmid, S. M., Fügenschuh, B., Kissling, E., & Schuster, R. (2004). Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 97(1), 93-117.
- Schmid, S. M., Scharf, A., Handy, M. R., & Rosenberg, C. L. (2013). The Tauern Window (Eastern Alps, Austria): A new tectonic map, with cross-sections and a tectonometamorphic synthesis. *Swiss Journal of Geosciences*, 106(1), 1–32. doi:10.1007/s00015-013-0123-y.
- Schnegg, P. A. (2002). An inexpensive field fluorometer for hydrogeological tracer tests with three tracers and turbidity measurement. *Groundwater and Human Development*, 3, 1484-1488.
- Schoeller, H. (1956). Geochimie des eaux souterraines, Application aux causes des gisements de pétrole, Soc. Des editor Technip, Paris. *In article*.
- Schuster, R., & Stüwe, K. (2010). Die Geologie der Alpen im Zeitraffer. *Mitt. Naturw. Ver. Steiermark*, 140, 5-21.
- Seefeldner, E. (1928). Die Taxenbacher Enge. Eine morphologische Studie. *Mitt. Ges. Salzburger Landeskunde*.

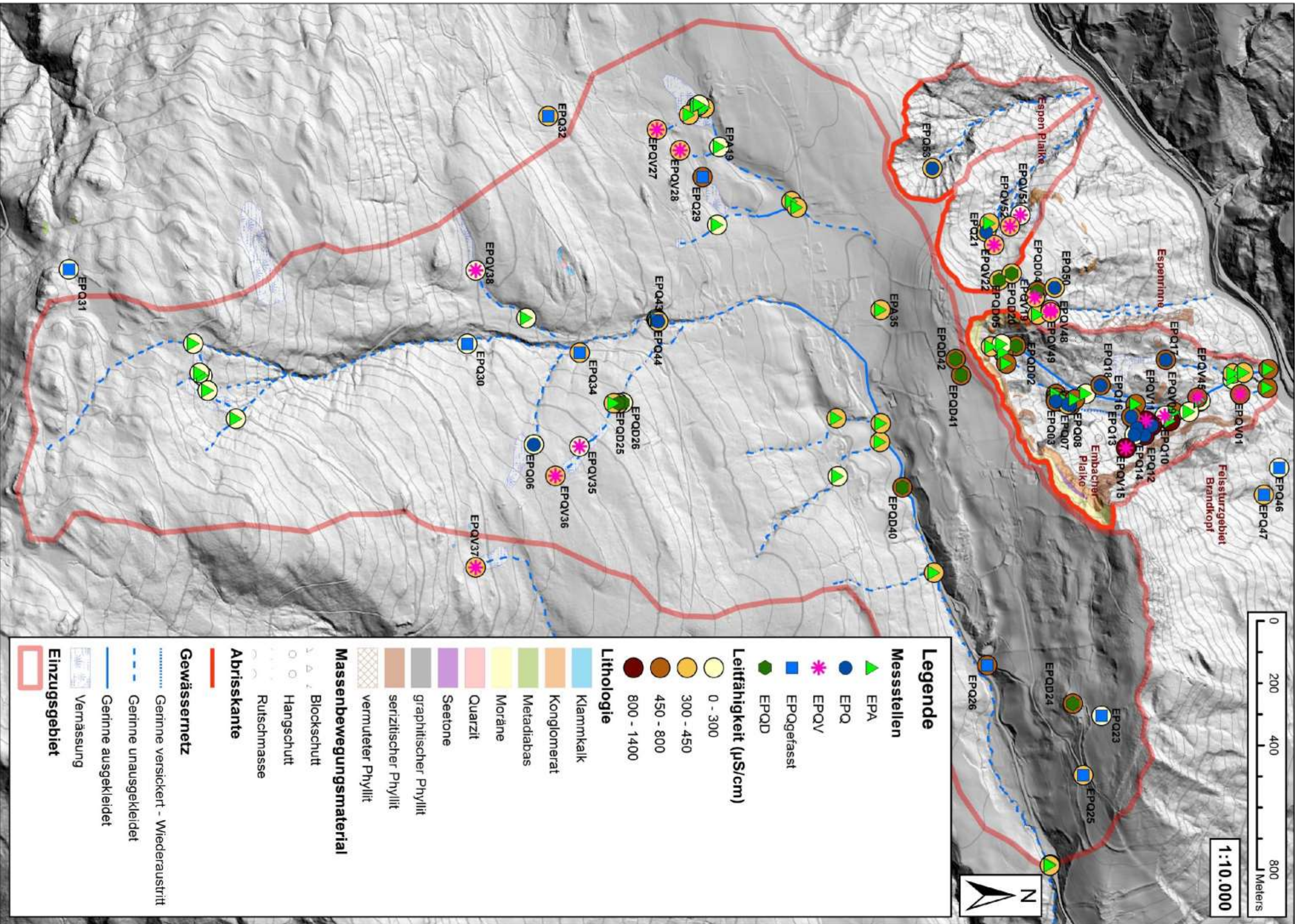
- Stiny, J. (1911). Geologisches Gutachten über das Detailprojekt betreffend die Verbauung der Embacher- und Espangplaike.
- Stini, J. (1951). Baugeologisches Gutachten – betreffend den derzeitigen Zustand der Embacherblaike bei Lend, Salzburg.
- Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1955). The water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p. *Publications in climatology*, 8(1).
- Toride, N., Leij, F. J., & Van Genuchten, M. T. (1995). *The CXTFIT code for estimating transport parameters from laboratory or filed tracer experiments*. Riverside: US Salinity Laboratory.
- Turc, L. (1961). Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. *Ann Agron*, 12(1), 13-49.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. *Transportation Research Board Special Report*, (176).
- Wagner, C. J. (1879). Die geologischen Verhältnisse des Tunnels am Unterstein mit Einbeziehung des Terrains zwischen Lend und Taxenbach. *Jb. Geol. R.-A.*, 29. Wien
- Zangerl, C., Prager, C., Brandner, R., Brückl, E., Eder, S., Fellin, W., Tentschert, E., Poscher, G. & Schönlaub, H. (2008). Methodischer Leitfaden zur prozessorientierten Bearbeitung von Massenbewegungen. *Geo. Alp*, 5, 1-51.
- Zhang, W., Boufadel, M. C. (2010). Pool Effects on Longitudinal Dispersion in Streams and Rivers. *Journal of Water Resource and Protection*, 2010.

Google Earth, Letztzugriff am 25.07.2016

SAGISonline, Letztzugriff am 24.03.2016

www.bergfex.at, Letztzugriff am 24.03.2016

Hilberg, Sylke – E-Mail Korrespondenz am 12.05.2016



1:10.000



EPQ46
EPQ47
Feissturzgebiet
Brandkopf

Esperrinne

Espen Plaike

Embacher
Plaike

EPQ32

EPA19

EPQV27

EPQV28

EPQ29

EPQ53

EPQV51

EPQV52

EPQ21

EPQV22

EPQ50

EPQV48

EPQ49

EPQD02

EPQ17

EPQV09

EPQ10

EPQ12

EPQ14

EPQV15

EPQV01

EPQ18

EPQ16

EPQ13

EPQ03

EPQ08

EPQ07

EPQ08

EPQD04

EPQV19

EPQD20

EPQD05

EPQD02

EPQD01

EPQD02

EPQD01

EPQD01

EPQD01

EPA35

EPQD42

EPQD41

EPQD40

EPQD40

EPQD40

EPQD40

EPQD40

EPQD40

EPQD40

EPQD40

EPQD40

EPQD40

EPQD40

EPQD40

EPQ45

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQ44

EPQV38

EPQ30

EPQ06

EPQV37

EPQD26

EPQD25

EPQV35

EPQV36

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

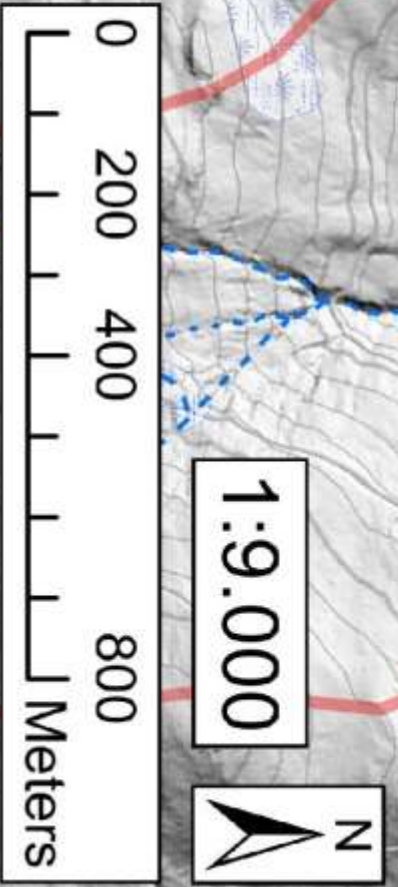
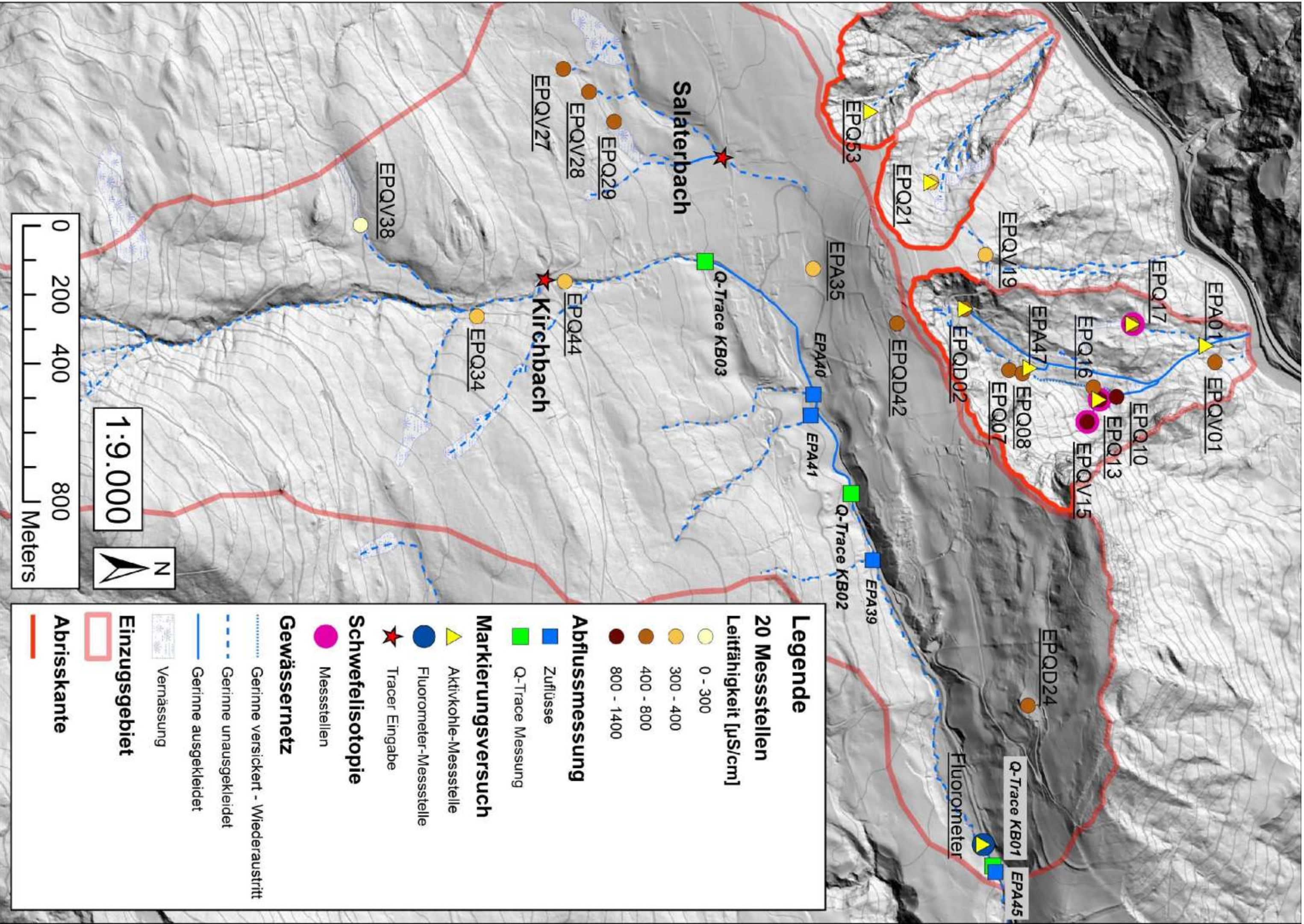
EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31

EPQ31



Legende

20 Messstellen
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]

- 0 - 300
- 300 - 400
- 400 - 800
- 800 - 1400

Abflussmessung

- Zuflüsse
- Q-Trace Messung

Markierungsversuch

- ▲ Aktivkohle-Messstelle
- Fluorometer-Messstelle
- ★ Tracer Eingabe

Schwefelisotopie

- Messstellen

Gewässernetz

- Gerinne versickert - Wiederaustritt
- - - - Gerinne unausgekleidet
- Gerinne ausgekleidet
- Vernässung

Einzugsgebiet

- Einzugsgebiet

Abrißskante

- Abrißskante

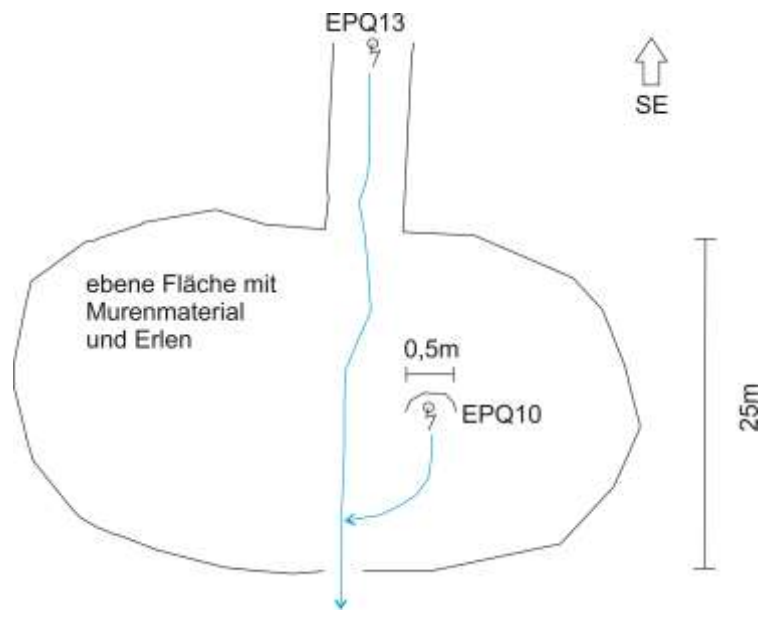
Quellkatasternummer:	EPQ07	Ort:	Embacher Plaike
Art der Messstelle:	Quelle ungefasst		
Aufnahmedatum:	11.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm), korr. 25°]:	647	Q (l/sec) gemessen:	0,07
Wassertemperatur (°C):	6,9		
Seehöhe (m ü.A.):	910		
Witterung am Aufnahmetag:	sonnig		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	sonnig		
Bemerkungen:	niedrige Schüttung, rote Verfärbung auf Grund mikrobieller Aktivität		



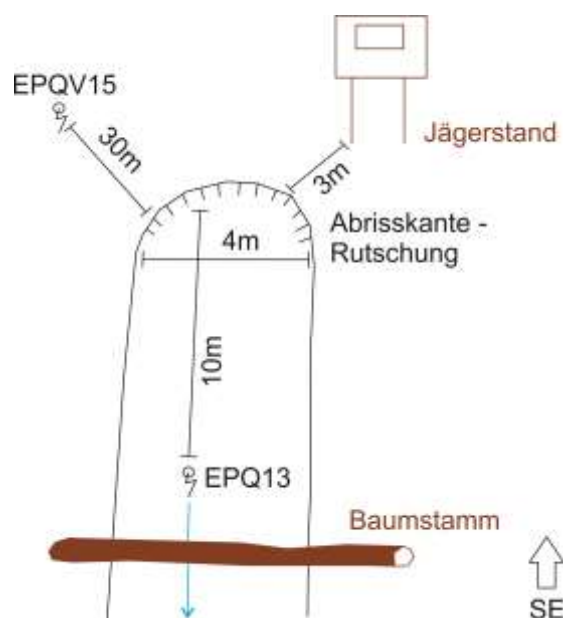
Quellkatasternummer:	EPQ08	Ort:	Embacher Plaike
Art der Messstelle:	Quelle ungefasst		
Aufnahmedatum:	11.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm),korr. 25°]:	381	Q (l/sec) gemessen:	0,06
Wassertemperatur (°C):	7,6		
Seehöhe (m ü.A.):	898		
Witterung am Aufnahmetag:	sonnig		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	sonnig		
Bemerkungen:	leichte Versinterung		



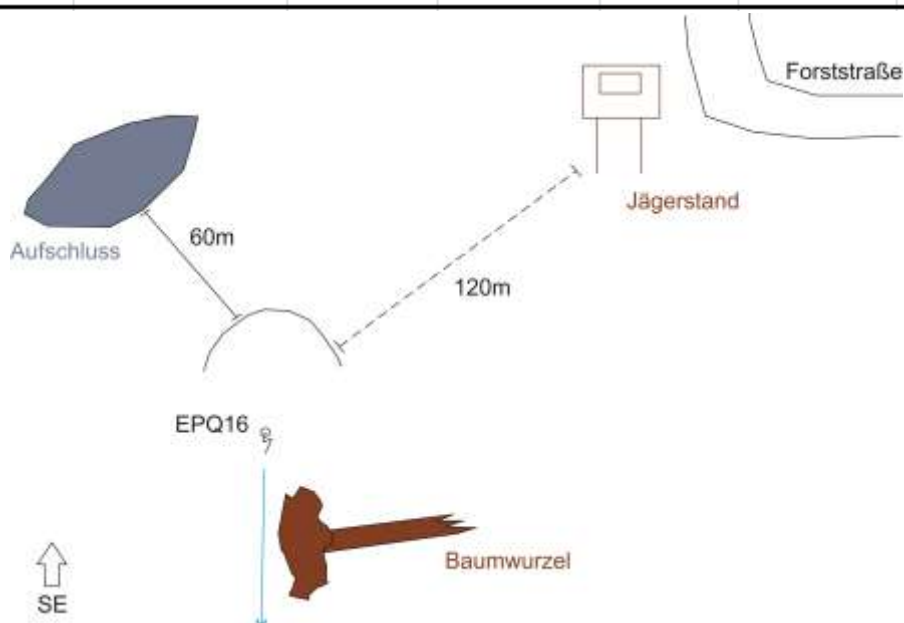
Quellkaternummer:	EPQ10	Ort:	Embacher Plaike
Art der Messstelle:	Quelle ungefasst		
Aufnahmedatum:	12.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	0,04
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm),korr. 25°]:	1140	Q (l/sec) gemessen:	
Wassertemperatur (°C):	11,1		
Seehöhe (m ü.A.):	810		
Witterung am Aufnahmetag:	sonnig		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	sonnig		
Bemerkungen:	punktuelle Austritt bei Stein		



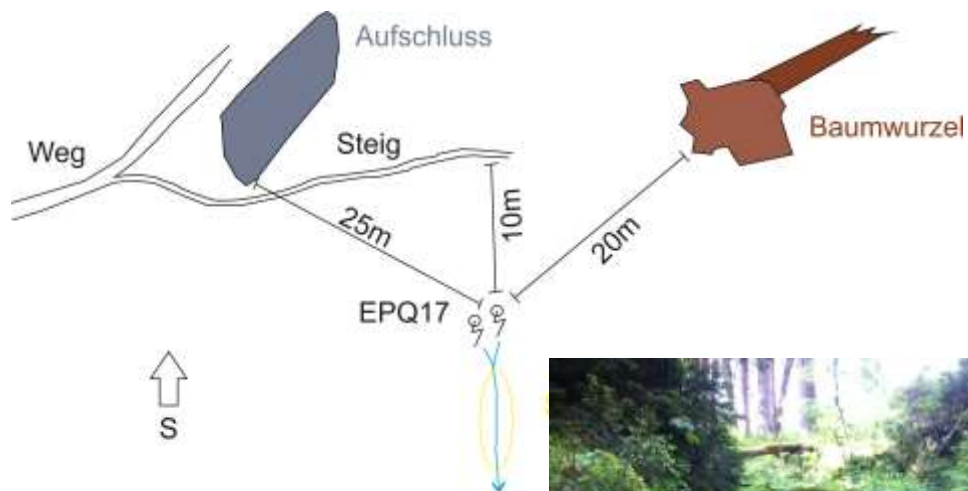
Quellkatasternummer:	EPQ13	Ort:	Embacher Plaike
Art der Messstelle:	Quelle ungefasst		
Aufnahmedatum:	12.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm), korr. 25°]:	1206	Q (l/sec) gemessen:	0,60
Wassertemperatur (°C):	6,7		
Seehöhe (m ü.A.):	832		
Witterung am Aufnahmetag:	sonnig		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	sonnig		
Bemerkungen:	tritt in einer kleiner Rutschung aus		



Quellkatasternummer:	EPQ16	Ort:	Embacher Plaike
Art der Messstelle:	Quelle ungefasst		
Aufnahmedatum:	12.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm), korr. 25°]:	800	Q (l/sec) gemessen:	0,02
Wassertemperatur (°C):	8,5		UNI GRAZ
Seehöhe (m ü.A.):	845		
Witterung am Aufnahmetag:	sonnig		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	sonnig		
Bemerkungen:	leichte Versinterung, tritt bei entwurzelten Baum aus		



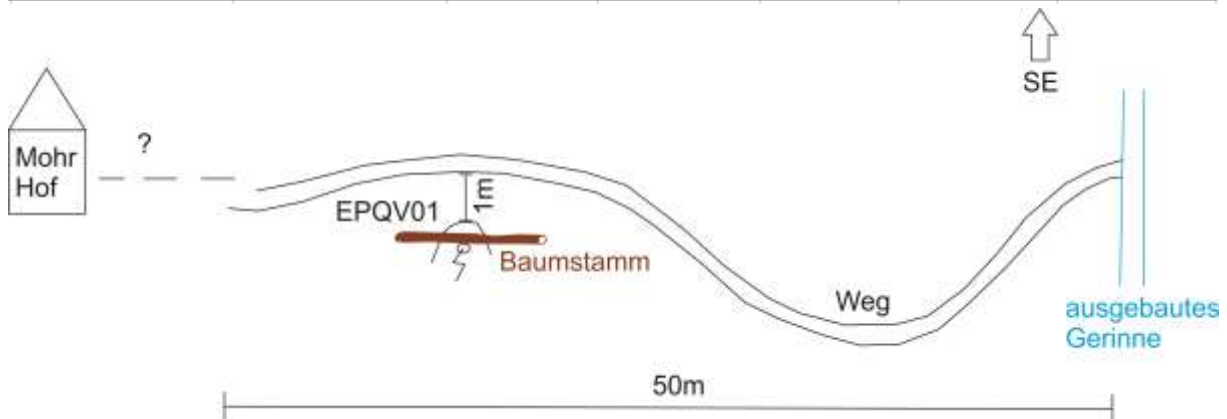
Quellkatasternummer:	EPQ17	Ort:	Embacher Plaike
Art der Messstelle:	Quelle ungefasst		
Aufnahmedatum:	12.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm), korr. 25°]:	481	Q (l/sec) gemessen:	0,03
Wassertemperatur (°C):	6,6	UNI GRAZ	
Seehöhe (m ü.A.):	818		
Witterung am Aufnahmetag:	sonnig		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	sonnig		
Bemerkungen:	tritt sehr punktuell aus; Bildung von Sinterterrassen		



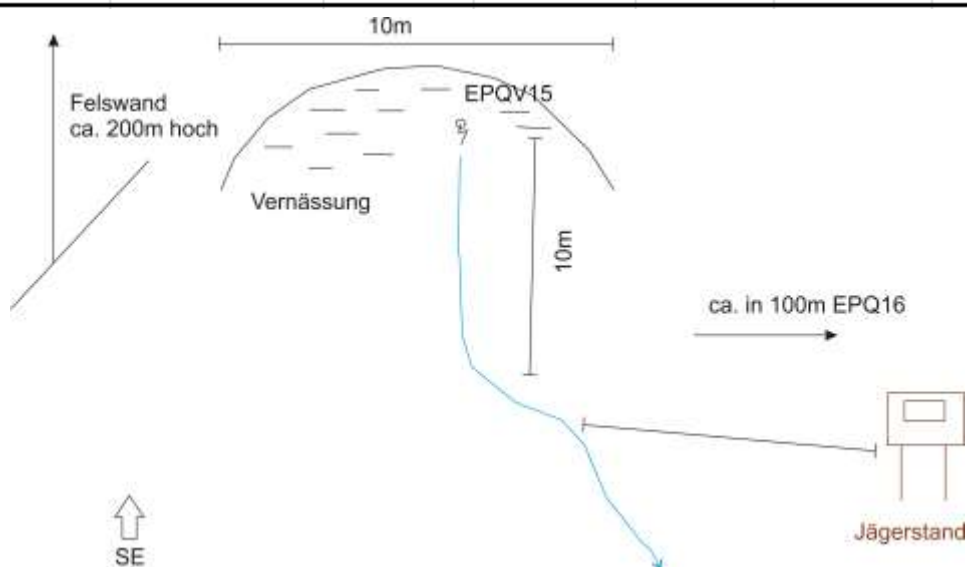
Quellkatasternummer:	EPQD02	Ort:	Embacher Plaike
Art der Messstelle:		Quelle gefasst	
Aufnahmedatum:	21.04.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm),korr. 25°]:	259	Q (l/sec) gemessen:	0,13
Wassertemperatur (°C):	7,2		
Seehöhe (m ü.A.):	957		
Witterung am Aufnahmetag:	Sonne		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	Sonne		
Bemerkungen:	unterirdisch, gefasste Quelle, wird in die Tagwasserschale abgeleitet		




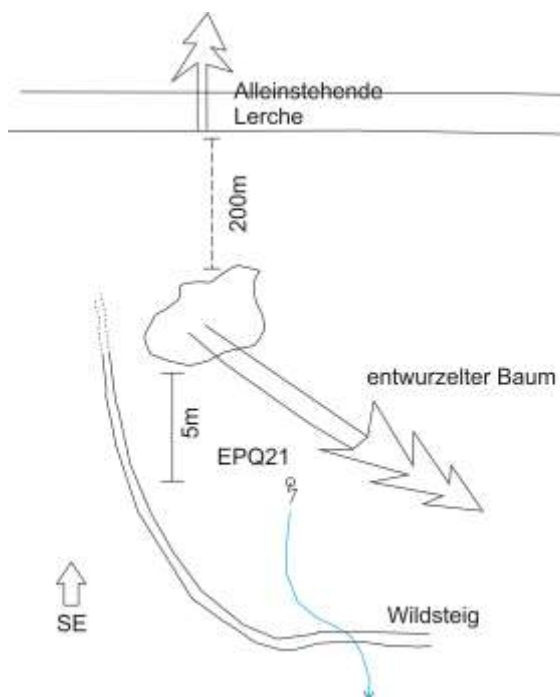
Quellkaternummer:	EPQV01	Ort:	Embacher Plaike
Art der Messstelle:		Quelle aus	Vernässung
Aufnahmedatum:	21.04.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm), korr. 25°]:	557	Q (l/sec) gemessen:	0,04
Wassertemperatur (°C):	7,3		
Seehöhe (m ü.A.):	715		
Witterung am Aufnahmetag:	sonnig		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	sonnig		
Bemerkungen:	Quelle aus Vernässungszone, leichte Versinterungen		



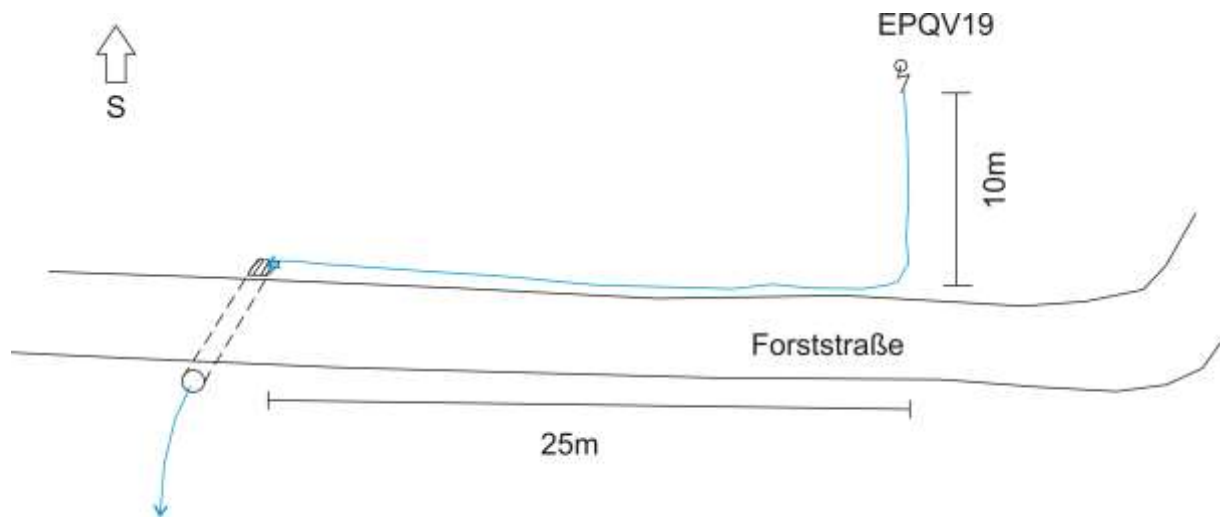
Quellkatasternummer:	EPQV15	Ort:	Embacher Plaike
Art der Messstelle:		Quelle aus	Vernässung
Aufnahmedatum:	12.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [($\mu\text{S}/\text{cm}$), korr. 25°]:	1190	Q (l/sec) gemessen:	0,20
Wassertemperatur (°C):	7,9		
Seehöhe (m ü.A.):	852		
Witterung am Aufnahmetag:	sonnig		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	sonnig		
Bemerkungen:	Quelle aus Vernässungszone, leichte Versinterungen		



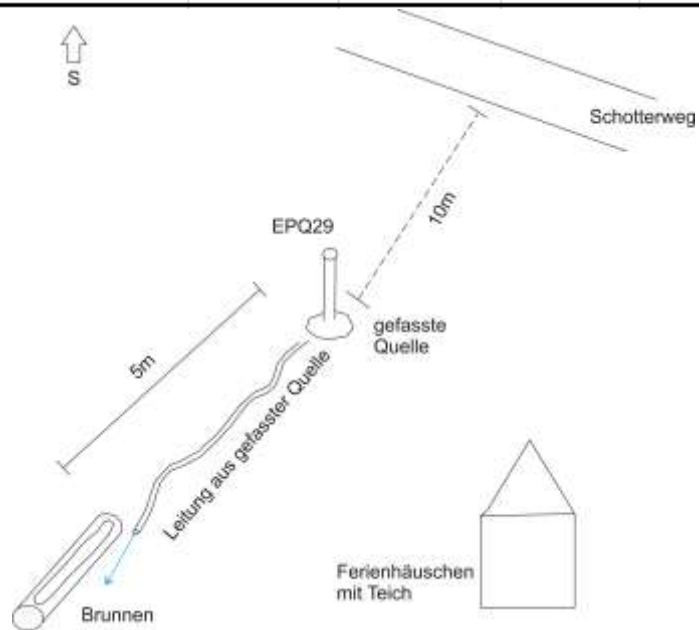
Quellkaternummer:	EPQ21	Ort:	Espen Plaike	
Art der Messstelle:	Quelle ungefasst			
Aufnahmedatum:	19.05.15	Q (l/sec) geschätzt:		
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm), korr. 25°]:	399	Q (l/sec) gemessen:		0,05
Wassertemperatur (°C):	9,0			
Seehöhe (m ü.A.):	975			
Witterung am Aufnahmetag:	trüb			
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	sonnig			
Bemerkungen:	ausgedehnte Vernässungszone oberhalb der Quelle, leichte Versinterungen			




Quellkatasternummer:	EPQV19	Ort:	Espenrinne
Art der Messstelle:		Quelle aus	Vernässung
Aufnahmedatum:	18.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm),korr. 25°]:	371	Q (l/sec) gemessen:	<0,01
Wassertemperatur (°C):	14,3		
Seehöhe (m ü.A.):	998		
Witterung am Aufnahmetag:	sonnig		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	sonnig		
Bemerkungen:	extrem geringe Schüttung		



Quellkatasternummer:	EPQ29	Ort:	Embacher Hochebene
Art der Messstelle:		Quelle gefasst	
Aufnahmedatum:	20.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm), korr. 25°]:	509	Q (l/sec) gemessen:	0,13
Wassertemperatur (°C):	7,7		
Seehöhe (m ü.A.):	1038		
Witterung am Aufnahmetag:	Regen, Schnee		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	Regen		
Bemerkungen:	gefasste Quelle mit Abfluss zu einem Brunnen		



Quellkatasternummer:	EPQ34	Ort:	Embacher Hochebene
Art der Messstelle:		Quelle gefasst	
Aufnahmedatum:	20.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm),korr. 25°]:	322	Q (l/sec) gemessen:	
Wassertemperatur (°C):	6,2		
Seehöhe (m ü.A.):	1135		
Witterung am Aufnahmetag:	Regen, Schnee		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	Regen		
Bemerkungen:	gefasste Quelle mit Überlauf deswegen keine Schüttungsmessung möglich		



Quellkatasternummer:	EPQ44	Ort:	Embacher Hochebene
Art der Messstelle:		Quelle ungefasst	
Aufnahmedatum:	21.04.15	Q (l/sec) geschätzt:	0,30
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm), korr. 25°]:	322	Q (l/sec) gemessen:	
Wassertemperatur (°C):	6,8		
Seehöhe (m ü.A.):	1080		
Witterung am Aufnahmetag:	Sonne		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	Sonne		
Bemerkungen:	punktuell austretende Quelle bei Klammkalkaufschluss		



Quellkatasternummer:	EPQD24	Ort:	Embacher Hochebene
Art der Messstelle:		Quelle aus	Drainage
Aufnahmedatum:	19.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm), korr. 25°]:	505	Q (l/sec) gemessen:	0,01
Wassertemperatur (°C):	10,3		
Seehöhe (m ü.A.):	1030		
Witterung am Aufnahmetag:	trüb, teilweise regnerisch		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	Sonne		
Bemerkungen:	Quelle aus einer Drainage um eine kleine Rutschung zu entwässern		



Quellkatasternummer:	EPQD42	Ort:	Embacher Hochebene
Art der Messstelle:		Quelle aus	Drainage
Aufnahmedatum:	21.04.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm),korr. 25°]:	556	Q (l/sec) gemessen:	0,04
Wassertemperatur (°C):	7,5		
Seehöhe (m ü.A.):	1025		
Witterung am Aufnahmetag:	Sonne		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	Sonne		
Bemerkungen:	Drainagierung der Wiese, Wasser wird in eine Brunnen geleitet		



Quellkatasternummer:	EPQV27	Ort:	Embacher Hochebene
Art der Messstelle:		Quelle aus	Vernässung
Aufnahmedatum:	20.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm), korr. 25°]:	401	Q (l/sec) gemessen:	0,10
Wassertemperatur (°C):	9,7		
Seehöhe (m ü.A.):	1047		
Witterung am Aufnahmetag:	Regen, Schnee		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	Regen		
Bemerkungen:	Die Quelle EPQV27 und EPQV28 liegen sehr nah zusammen		



Quellkatasternummer:	EPQV28	Ort:	Embacher Hochebene
Art der Messstelle:		Quelle aus	Vernässung
Aufnahmedatum:	20.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm),korr. 25°]:	402	Q (l/sec) gemessen:	0,10
Wassertemperatur (°C):	9,7		
Seehöhe (m ü.A.):	1041		
Witterung am Aufnahmetag:	Regen, Schnee		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	Regen		
Bemerkungen:	Die Quelle EPQV27 und EPQV28 liegen sehr nah zusammen		



Quellkatasternummer:	EPQV38	Ort:	Embacher Hochebene
Art der Messstelle:		Quelle aus	Vernässung
Aufnahmedatum:	22.05.15	Q (l/sec) geschätzt:	
el. Leitfähigkeit [(μ S/cm), korr. 25°]:	223	Q (l/sec) gemessen:	0,30
Wassertemperatur (°C):	7,5		
Seehöhe (m ü.A.):	1204		
Witterung am Aufnahmetag:	Regen, trüb		
Witterung an den Tagen vor Aufnahme:	Regen, trüb		
Bemerkungen:	Quelle bei Vernässungszone		



Probennahme: 26.05.2015

Name	Calcium (mg/l)	Magnesium (mg/l)	Natrium (mg/l)	Kalium (mg/l)	Hydrogencarbonat (mg/l)	Chlorid (mg/l)	Sulfat (mg/l)	Eisen (mg/l)	Mangan (mg/l)	Aluminium (mg/l)
EPQ17	77,0	8,0	1,4	5,7	262	0,48	25	[0,006]	[0,006]	<0,010
EPQ16	122,8	11,3	2,5	3,7	339	0,21	85	[0,006]	[0,006]	0,01
EPQV15	180,9	18,5	7,2	4,9	209	0,51	390	[0,006]	<0,020	0,062
EPQ13	171,0	18,8	11	4,6	201	0,66	370	[0,006]	<0,020	0,035
EPQ10	167,3	19,4	15	4,7	203	0,74	370	[0,006]	[0,006]	0,013
EPQV01	83,4	7,7	4,8	5,5	237	0,43	72	[0,006]	[0,006]	0,011
EPQ08	67,5	7,4	1	2	246	0,49	9,3	<0,020	[0,006]	1,2
EPQ07	96,4	14,8	2,6	11	275	0,42	100	<0,020	<0,020	0,023
EPQD02	121,7	16,5	0,98	3,7	409	0,95	34	[0,006]	[0,006]	0,018
EPQV19	74,6	3,1	0,64	1,5	245	0,21	2,2	[0,006]	<0,020	0,12
EPQ21	75,7	3,3	0,88	0,54	239	0,74	11	<0,020	<0,020	0,01
EPQV35	67,9	3,4	0,89	0,86	255	0,51	2,9	<0,020	[0,006]	[0,0033]
EPQ29	83,8	4,3	0,55	0,26	289	0,59	6,4	[0,006]	[0,006]	[0,0033]
EPQV28	82,7	3,7	0,53	<0,20	267	0,63	5,8	[0,006]	[0,006]	0,01
EPQV27	88,9	2,4	0,58	<0,067	280	0,34	2,6	[0,006]	[0,006]	0,01
EPQ44	63,4	3,2	0,54	<0,20	202	0,33	5,3	[0,006]	[0,006]	<0,010
EPQV38	44,3	3,4	0,38	<0,20	145	<0,20	8	[0,006]	[0,006]	0,035
EPQ34	67,4	6,9	0,77	<0,20	232	0,39	7,8	[0,006]	[0,006]	[0,0033]
EPQD42	117,0	7,6	8,2	18	341	11	45	[0,006]	[0,006]	<0,010
EPQD24	91,2	3,2	1,2	0,5	321	0,91	2,2	[0,006]	[0,006]	[0,0033]

Name	pH-Wert	LF (µS/cm)	Gesamthärte (°dH)	Carbonathärte (°dH)	DOC (mg/l)	Chrom gesamt (mg/l)	Kupfer (mg/l)	Nickel (mg/l)	Nitrit (mg/l)	Ammonium (mg/l)
EPQ17	8,19	449	12,6	12,01	3,3	0,0012	0,0094	0,019	0,012	0,013
EPQ16	7,66	652	19,8	15,54	1,1	0,0013	0,0013	0,0041	0,014	<0,013
EPQV15	8,32	966	23,5	9,60	1,1	<0,0010	0,0013	0,023	0,014	0,015
EPQ13	7,70	951	28,2	9,21	0,69	<0,0010	0,0016	0,016	0,013	0,024
EPQ10	8,09	940	27,8	9,30	0,92	<0,0010	0,0012	0,01	0,016	0,04
EPQV01	8,19	481	13,4	10,86	3,5	<0,0010	0,0046	0,0064	0,013	0,025
EPQ08	8,22	381	11,1	11,28	0,89	0,0056	0,0057	0,0083	0,014	0,026
EPQ07	7,82	597	16,9	12,60	1,2	0,0013	0,0019	0,0099	0,014	0,031
EPQD02	7,75	663	20,8	18,79	0,77	0,0015	0,0014	0,0082	0,016	0,031
EPQV19	8,40	364	11,1	11,23	3,5	<0,0010	0,0026	0,0015	0,018	0,023
EPQ21	8,34	376	4	10,98	2,4	<0,0010	0,0025	0,0011	0,015	0,024
EPA35	8,16	375	10,3	11,70	4,2	0,0012	0,0094	0,0035	0,013	<0,0043
EPQ29	7,41	454	12,7	13,24	0,56	0,0012	0,0094	0,0025	0,014	<0,0043
EPQV28	8,20	399	12,4	12,24	2,1	0,0013	0,0013	0,0011	0,014	0,025
EPQV27	8,04	413	13	12,85	4,2	<0,0010	0,0011	<0,0010	0,014	0,023
EPQ44	7,72	312	9,6	9,27	0,95	[0,00033]	<0,0010	[0,00033]	0,013	0,023
EPQV38	8,02	230	7	6,64	2,6	[0,00033]	<0,0010	<0,0010	0,014	0,014
EPQ34	7,93	358	11	10,64	0,65	<0,0010	<0,0010	[0,00033]	0,013	0,024
EPQD42	7,64	661	18,1	15,65	1,4	0,0015	0,0014	0,0022	<0,0030	0,045
EPQD24	7,75	783	13,5	14,73	0,55	<0,0010	0,0026	0,0015	0,011	<0,0043

Probennahme: 31.08.2015

Name	Calcium (mg/l)	Magnesium (mg/l)	Natrium (mg/l)	Kalium (mg/l)	Hydrogencarbonat (mg/l)	Chlorid (mg/l)	Sulfat (mg/l)	Eisen (mg/l)	Mangan (mg/l)
EPQ07	110,0	20,00	6,06	9,72	296	1,2	184,0	<0,01	<0,005
EPQ08	62,9	8,38	1,35	4,01	213	<1	14,8	0,018	<0,005
EPQ10	158,0	26,70	52,10	5,39	276	1,1	386,0	<0,01	0,023
EPQ13	274,0	33,10	30,40	6,52	248	2,7	584,0	0,015	<0,005
EPQ16	148,0	16,30	5,51	5,49	274	<1	213,0	0,013	<0,005
EPQ17	89,3	10,50	1,80	8,83	295	1,1	28,4	<0,01	<0,005
EPQ21	74,4	5,33	0,80	0,70	238	1,1	6,0	0,026	0,023
EPQ29	103,0	7,73	0,83	<0,5	340	1,3	9,5	<0,01	<0,005
EPQ34	68,4	9,05	1,87	<0,5	246	<1	55,5	<0,01	<0,005
EPQ44	68,5	4,77	0,76	<0,5	225	1,0	6,2	<0,01	<0,005
EPQD02	114,0	18,10	1,20	5,20	403	1,6	39,3	<0,01	<0,005
EPQD24	102,0	3,81	1,51	<0,5	314	1,2	2,1	<0,01	<0,005
EPQD42	135,0	8,14	9,12	13,80	381	9,3	64,0	<0,01	<0,005
EPQV01	101,0	10,50	8,06	5,25	259	1,0	150,0	<0,01	<0,005
EPQV15	256,0	31,20	16,90	6,54	221	1,4	605,0	<0,01	<0,005
EPQV38	74,2	5,93	1,91	<0,5	253	1,0	57,1	<0,01	<0,005
EPQV19					trocken				
EPQV27					trocken				
EPQV28					trocken				
EPA35					trocken				

Name	Temp (°C)	pH-Wert	LF (µs/cm)	Gesamthärte (°dH)	Carbonathärte (°dH)	Oxidierbarkeit (mg O ₂ /l)	Säurekapazität bis pH 4,3 (mmol/l)	Nitrat/50 + Nitrit/50 (mg/l)	Summer Erdalkalien (mmol/l)
EPQ07	10,1	7,40	591	20,0	13,7	0,36	4,90	0,105	3,57
EPQ08	15,1	8,20	526	10,7	9,9	0,39	3,54	0,107	1,91
EPQ10	17,7	7,60	972	28,2	12,8	0,76	4,57	0,027	5,04
EPQ13	8,5	7,50	1150	45,9	11,5	<0,25	4,12	0,031	8,20
EPQ16	12,9	8,00	711	24,4	12,7	0,46	4,54	0,103	4,36
EPQ17	11,5	8,30	465	14,9	13,7	1,30	4,88	0,163	2,66
EPQ21	13,8	7,90	349	11,6	11,1	0,82	3,95	0,055	2,07
EPQ29	12,1	7,30	477	16,2	15,7	<0,25	5,62	0,157	2,89
EPQ34	10,9	8,00	340	11,6	11,4	0,32	4,08	0,041	2,08
EPQ44	8,1	7,50	375	10,7	10,4	0,31	3,73	0,037	1,90
EPQD02	11,7	7,50	599	20,1	18,6	0,35	6,65	0,163	3,59
EPQD24	15,8	7,70	478	15,1	14,5	0,27	5,19	0,057	2,70
EPQD42	14,5	7,80	700	20,7	17,6	0,32	6,29	0,379	3,70
EPQV01	15,1	8,20	526	16,5	12,0	1,26	4,30	0,081	2,95
EPQV15	10,8	8,20	1150	42,9	10,3	0,50	3,68	0,027	7,67
EPQV38	13,4	8,00	340	11,7	11,8	3,04	4,20	0,027	2,09
EPQV19					trocken				
EPQV27					trocken				
EPQV28					trocken				
EPA35					trocken				