



Bachelorarbeit

**Lösungs- und Suspensionsfrachtmessung
des Johnsbaches im Nationalpark Gesäuse**

Autorin

Verena **Strommer**

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science

am Institut für Geographie und Raumforschung der Universität Graz
Department of Geography and Regional Science, University of Graz

Begutachter: Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Oliver Sass

Graz, August 2015

Vorwort

Im Zuge meiner Seminararbeit über das Thema „Sedimenttransport in Wildbächen“ wurde ich auf die in diesem Zusammenhang entstandene Problematik aufmerksam und damit erweckte mein Interesse an den fluvialen Prozessen rund um Wildbäche. Um meine Kenntnisse in diesem Bereich zu vertiefen, ergriff ich die Möglichkeit meine Bachelorarbeit an dieses Thema anzuknüpfen. Im Rahmen der Forschungsgruppe ALADYN (Alpine Landschaftsdynamik), die sich unter anderem mit Sedimentströmen im Johnsbachtal im Nationalpark Gesäuse beschäftigt, ergab sich die Chance die Lösungs- und Suspensionsfracht des Johnsbaches zu messen. Das Gebiet des Johnsbachtales erweist sich in dieser Beziehung als sehr interessant – immer wieder gibt es dort Wildbachereignisse und deshalb ist eine genaue Erforschung der Prozesse wichtig. Für mich persönlich stellt diese Bachelorarbeit eine sehr gute Möglichkeit dar mein Wissen in diesem Bereich zu erweitern und damit vielleicht sogar einen Grundstein für mein weiteres Berufsleben zu legen.

Ein großes Dankeschön gilt all jenen Personen die mich während der Erstellung der Arbeit unterstützt und mir stets geholfen haben. Ein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Univ. Prof. Dr.rer.nat. Oliver Sass der mir von Anfang an zur Seite stand und mir die Gelegenheit gab mich in diesem Gebiet zu spezialisieren. Sein enormes Wissen über die gesamten Prozesse rund um das Johnsbachtal war mir eine große Hilfe. Ein weiterer Dank gebührt Dipl. Geogr. Eric Rascher der mir in seiner Funktion als aktiver Mitarbeiter der Forschungsgruppe immer mit Rat und Tat zur Seite stand, für all meine Anliegen ein offenes Ohr hatte und mir immer sehr behilflich war. Besonders dankbar bin ich auch Ao.Univ. Prof. Mag. Dr.rer.nat. Gössler vom Chemie Institut Graz und seinem Team, die mich bei den chemischen Analysen unterstützt haben und mir die Räumlichkeiten und Geräte zur Verfügung gestellt haben.

Ein spezieller Dank geht an meine Familie die mich schon in frühen Jahren immer auf Ausflüge in Österreich mitgenommen haben und damit das Fundament für mein großes Interesse an der physischen Geographie gelegt haben. Während des gesamten Studiums konnte ich stets auf die Unterstützung meiner Eltern in allen Bereichen zählen und konnte auch deshalb schnell große Fortschritte erzielen.

Um die Messungen im Gelände durchführen zu können war ich auf Hilfe angewiesen - ein weiterer Dank geht an meinen Freund Emanuel Kiefer und an Andrea Danklmaier die mich tatkräftig bei den Abflussmessungen unterstützt haben und das ein oder andere nasse Kleidungsstück gerne in Kauf genommen haben.

Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es eine Abschätzung des Verhaltens und der Menge der Lösungs- und Suspensionsfracht im Johnsbach zu erlangen. Die geologische Situation im Einzugsgebiet sowie zusätzliche Faktoren wie Abfluss und Niederschlag machen hier eine Einschätzung ohne Datenerhebung vor Ort problematisch. Diese Erhebung stellt einen wichtigen Teil im Bezug auf den gesamten Sedimenttransport des Gerinnes dar, der im Zuge von anderen Projekten untersucht wird.

An insgesamt 6 Geländetagen in der Zeit von Februar bis Juni wurden an vorher festgelegten Messpunkten im Gerinne Wasserproben genommen sowie Abflussmessungen vorgenommen. Die Abflussmessung erfolgte mit Hilfe der Salzverdünnungsmethode. Die Wasserproben für die Schweb- und Lösungsfrachtanalyse wurden mit Hilfe der sogenannten Einpunktmessung entnommen und zu einem späteren Zeitpunkt im Labor untersucht. Darauf folgte die gravimetrische Bestimmung der Schwebfracht und die Lösungsfracht wurde mit den Verfahren der Atomspektroskopie und der Chromatographie analysiert.

Die Ergebnisse der Schwebfrachtuntersuchungen waren sehr unterschiedlich – die Konzentration im Fluss reicht von 0,46 mg/l bis zu 14,39 mg/l. An den verschiedenen Messpunkten waren die Konzentrationen ebenfalls sehr unterschiedlich und hängen mit dem Abflussverhalten des Johnsbaches zusammen. Allgemein ist zu sagen, dass die Konzentration der Schwebstoffe mit steigendem Abfluss zunimmt. Die Lösungsfrachtkonzentration weist generell nicht so große Unterschiede auf. Sie nimmt im Verlauf des Flussverlaufes zu und hängt stark mit der elektrischen Leitfähigkeit zusammen. Verglichen mit dem Abfluss sinkt die Lösungsfrachtkonzentration jedoch mit steigendem Abfluss. Die Zusammensetzung der Ionen im Wasser ergibt sich teilweise aus dem Gesteinsvorkommen im Einzugsgebiet: Calcium, Sulfat und Magnesium sind hier als Hauptinhaltsstoffe zu nennen. Im Bezug auf den Einfluss auf den gesamten Sedimenttransport stellen die Werte der Schwebfracht eine eher untergeordnete Rolle dar. Die Menge der gelösten Stoffe ist um ein vielfaches größer als die Schwebstoffe (bezogen auf den Zeitraum von Februar bis Juni). Allerdings kann diesbezüglich nur schwer eine Prognose abgegeben werden, da der Zeitraum der Messungen zu kurz war um ein aussagekräftiges Resultat zu bekommen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Schwebfrachttransport im Johnsbach höchst variabel ist und vom Abfluss und einigen weiteren Faktoren wie Niederschlag, Materialverfügbarkeit, etc. abhängig ist. Im Vergleich dazu stellt die Lösungsfracht die konstantere Größe dar. Gelöste Stoffe sind immer vorhanden und spiegeln erwartungsgemäß die geologische Situation im Einzugsgebiet des Gerinnes wieder.

Abstract

Measurement of dissolved and suspended load of the *Johnsbach River* in the national park *Gesäuse*

This research aims to estimate the characteristics and the amount of the dissolved and suspended load in the *Johnsbach River*. The geologic situation in the catchment area and additional factors (such as discharge and precipitation) complicate the estimation without acquisition of data. Nevertheless, this acquisition is crucial to some other projects concerned with the whole sediment transport of stream.

Within 6 days of fieldwork from February to June water samples were taken and discharge measurements were done at specific measuring points. The discharge measurements were performed with the method of salt dilution. Water samples for the analysis of dissolved and suspended load were taken with the method of single sample withdrawal. They were observed in the laboratory at a later date. Thereafter followed a gravimetric analysis of the suspended load while the dissolved load was analyzed with an atomic spectroscopy and a chromatography.

The result of the analyzed suspended load was quite diverging. The concentration in the river varied in the range of 0,46 mg/l and 14,39 mg/l. Variations can also be observed at the different sample points which is connected to the discharge of the river. In general, the concentration of suspended load increases with rising discharge. The concentration of the dissolved load is relatively constant. The dissolved load decreases with rising discharge and correlates with the electric conductivity. The composition of ions in the water results partly from the geological situation in the catchment area. Calcium, sulfate and magnesium are the main ingredients in this particular water. In reference to the impact on the whole sediment transport, the amount of suspended load is rather subsidiary. On the contrary, the amount of dissolved load is much greater than suspended load (based on the period from February to June). However, predictions for the future cannot be made since the period of the measurements was not sufficient enough to get significant results.

In conclusion, the suspended load of the *Johnsbach River* is highly variable and also depends on discharge and some other factors such as precipitation, availability of material etc. By comparison, the dissolved load is much more constant because of the dissolved solids. They are existent at any time in the river and the composition reflects the geological situation of the catchment area.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	2
Zusammenfassung.....	3
Abstract.....	4
1 Einleitung.....	7
1.1 Aufgabenstellung & Ziele	7
1.2 Methodik	7
1.3 Beschreibung des Untersuchungsgebietes	8
1.3.1 Hydrologie.....	9
1.3.2 Geologie.....	10
2 Sedimenttransport	12
2.1 Abfluss	15
2.2 Suspensionsfracht.....	16
2.3 Lösungsfracht.....	20
3 Methoden	22
3.1 Geräte.....	22
3.2 Messpunkte.....	22
3.3 Abflussmessung mit der Salzverdünnungsmethode	23
3.4 Messung der Suspensionsfracht	24
3.5 Messung der Lösungsfracht	27
4 Ergebnisse	28
4.1 Abfluss	28
4.2 Schwebfracht	31
4.3 Lösungsfracht.....	34
5 Diskussion und Interpretation	40
6 Schlussfolgerung	49
7 Literatur	51
Anhang.....	54

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Übersichtskarte des Johnsbachtales mit den Messpunkten.....	8
Abb. 2: Geologische Überblickskarte des Johnsbachtales.....	11
Abb. 3: Diagramm über Fließgeschwindigkeiten und transportierte Korn- bzw. Komponentengrößen	14
Abb. 4: Suspensionsfracht in Gerinnen	16
Abb. 5: Verhalten des Schwebstoffgehalts bei Hochwasser.	18
Abb. 6: Messung des Abflusses an der Station BB am 08.05.2015	23
Abb. 7: Vakuumpumpe PC 2001 Vario von Vakuubrand mit Zubehör.....	25
Abb. 8: Änderung des Abflusses an den Stationen an allen Messtagen.	29
Abb. 9: Abflussveränderung der aller Stationen im Laufe der Messungen.	30
Abb. 10: Schwebfrachtkonzentration der Messpunkte an den unterschiedlichen Messtagen	32
Abb. 11: Verhalten von Abfluss und Schwebfrachtkonzentration von Februar bis Juni an allen Messpunkten mit Abflusswerten.....	33
Abb. 12: Zusammensetzung der analysierten Ionen in Prozen.	34
Abb. 13: Ionenkonzentration der Hauptinhaltsstoffe der Messpunkte von April-Juni	35
Abb. 14: Räumliche und zeitliche Verteilung der Calciumkonzentration.....	36
Abb. 15: Verhalten von Abfluss und Lösungsfrachtkonzentration von allen Messpunkten mit Abflusswerten.....	38
Abb. 16: Zusammenhang zwischen Ionenkonzentration und elektrischer Leitfähigkeit	39
Abb. 17: Summe der Lösungs- und Schwebfrachtkonzentrationen in mg/l während der gesamte Messdauer	39
Abb. 18: Ionenkonzentration von Sulfat, Chlorid und Nitrat an dem Messpunkt Gsengbrücke an allen Messtagen	47

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Hydrologische Daten des Johnsbaches im Bereich der Mündung in die Enns.....	10
Tab. 2: Übersicht über die verwendeten technischen Hilfsmittel	22
Tab. 3: Ergebnisse der Abflussmessung im Zeitraum von Februar 2015 bis Juni 2015	28
Tab. 4: Ergebnisse der Schwebstoffanalyse der Wasserproben.....	31
Tab. 5: Schwebstoffkonzentrationen verschiedener Österreichischer Gewässer im Jahr 2008.	42

1 Einleitung

Das Thema Lösungs- und Suspensionsfrachtmessung stellt einen interessanten Forschungsbereich dar, der vor allem in alpinen Regionen spannende Ergebnisse liefern kann. Die Entscheidung für diese Fragestellung fiel mir auf Grund meines persönlichen Interesses und auch wegen der aktuellen wissenschaftlichen Relevanz nicht schwer. Die Arbeitsgruppe ALADYN beschäftigt sich aktuell unter anderem mit den Sedimentströmen im Johnsbachtal um die Vorgänge besser zu verstehen und zu analysieren. Immer wieder kommt es im Johnsbachtal nach Starkregenereignissen zu starkem Sedimenttransport des Baches, oft ist auch die dortige Infrastruktur gefährdet. Um rechtzeitig effektive Maßnahmen ergreifen zu können, ist es wichtig über die ablaufenden Prozesse Bescheid zu wissen. Mit dieser Arbeit möchte dazu ich einen Beitrag leisten bzw. eine neue Erkenntnis in diesem Bereich liefern.

1.1 Aufgabenstellung & Ziele

Ziel dieser Arbeit ist es, die Suspensions- und die Lösungsfracht des Johnsbaches zu messen. Weiters gilt es festzustellen, ob es Unterschiede in der Lösungs- und Suspensionsfracht im Verlauf des Baches gibt. Der Johnsbach durchläuft bis zu seiner Mündung in die Enns zwei verschiedene Geologien (siehe Kapitel 1.3.2) die sich unterschiedlich auf die Lösungs- und Schwebfracht auswirken können.

Die These, die sich in diesem Zusammenhang ergibt, lautet, dass sich Lösungs- und Suspensionfracht je nach Abflussverhalten und Gesteinsuntergrund an den Messpunkten ändern können.

Eine weitere Frage ist, ob die Suspensionsfracht, langfristig gesehen, einen Einfluss auf den gesamten Sedimenttransport des Baches darstellt. Da die Probenahme aber nur von Februar bis Juni erfolgte, kann diesbezüglich nur eine Prognose erstellt werden.

1.2 Methodik

Neben der Literaturanalyse im Kapitel 2 in der es um eine theoretische Hinführung zum Sedimenttransport gibt, wird ab Kapitel 3 der empirische Teil der Arbeit beschrieben. Dabei handelt es sich um Probenahmen von Wasser im Johnsbach die anschließend selbstständig im Labor mittels einer Filteranalyse bezüglich der Suspensionsfracht ausgewertet wurden. Um die Lösungsfracht zu ermitteln, wurden die Proben im Chemielabor mit Unterstützung von Fachpersonal analysiert, um die Ergebnisse dann verarbeiten zu können. Die genaue Vorgehensweise der Analyse wird ebenfalls in Kapitel 3 detailliert beschrieben.

1.3 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

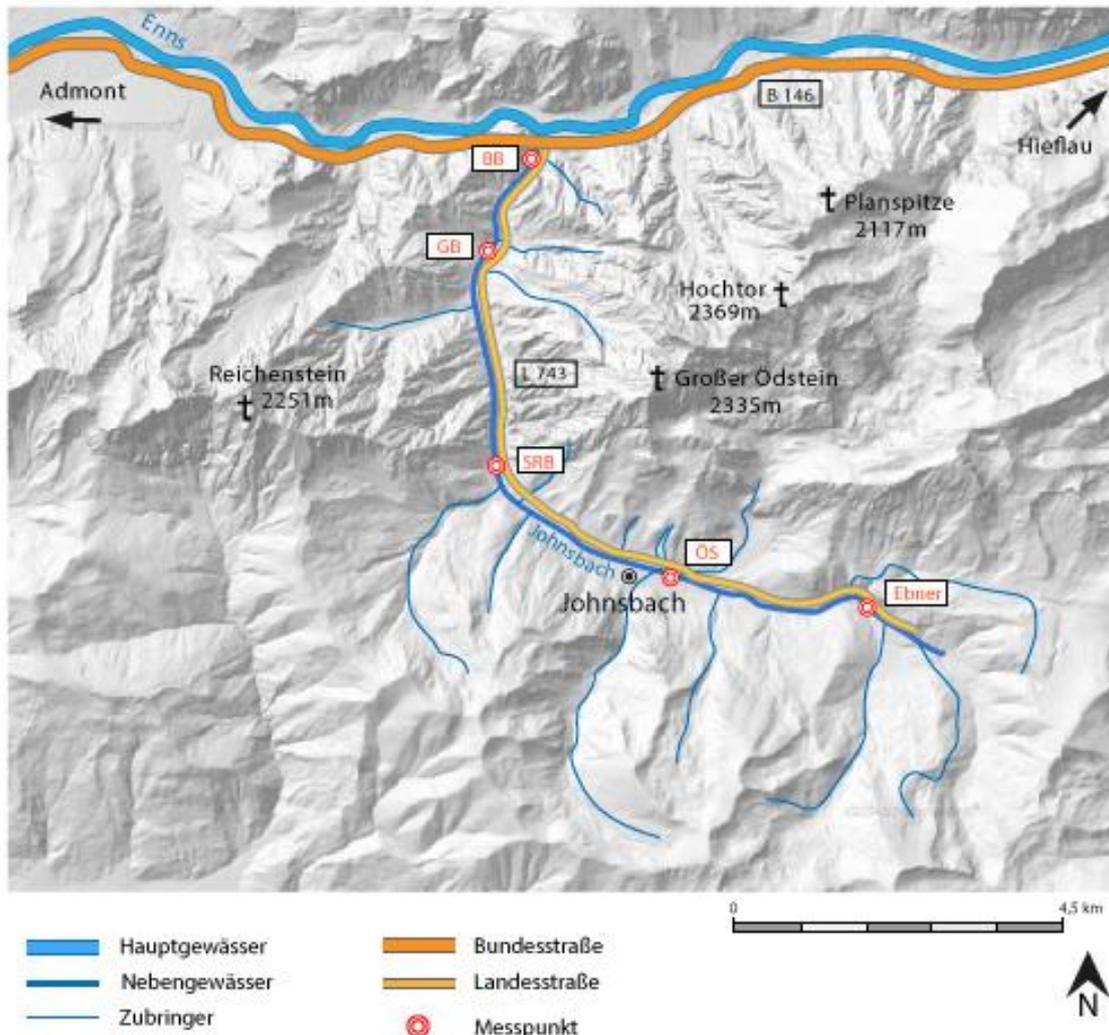


Abb. 1: Übersichtskarte des Johnsbachtals mit den Messpunkten (Messpunkte: BB = Bachbrücke, GB = Ghengbrücke, SRB = Silberreithbrücke, ÖS = Ödsteinblick) (Quelle: eigener Entwurf).

Das Johnsbachtal mit dem Hauptort Johnsbach - nach der Gemeindegemeinschaft am 01.01.2015 trägt die Gemeinde nun den Namen Admont - befindet sich im politischen Bezirk Liezen (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2013). Das Gemeindegebiet (rund 97,83 km²) gehört zum Nationalpark Gesäuse und hat mit 50% den größten Anteil am Parkgebiet (Nationalpark Gesäuse GmbH 2015). Der Johnsbach, in dem die Untersuchungen stattgefunden haben, fließt durch das gesamte Tal, mündet in die Enns und wird auf dem Weg dorthin von mehreren Zubringern gespeist (Abb. 1). Die Messpunkte beziehen sich rein auf den Johnsbach selber und wurden dort an verschiedenen, vorher klar definierten Stellen entnommen.

1.3.1 Hydrologie

Mit einer Lauflänge von 13,5 km und einer Höhendifferenz von 900 m entwässert der Johnsbach ein Einzugsgebiet von rund 65,2 km². Er entspringt in den Eisenerzer Alpen oberhalb der Gössingeralm in einer Seehöhe von rund 1.500 m. Der Bach stellt einen wichtigen Zubringer der obersteirischen Enns dar und durchquert auf seinem Weg dorthin unterschiedliche Talformen (Haseke 2006).

Im Oberlauf des Baches finden sich viele verästelte Quellgebiete die durch tief eingeschnittene Kerbtäler mit starkem Gefälle gekennzeichnet sind. Im Mittellauf zeigt sich das Gerinne mäandrierend in einem Hochtal. Bis zur Mündung in die Enns ist ab dem „Hellichten Stein“ ein Sohltal ausgebildet (Thonhauser 2008). Die unterschiedlichen Talformen sind abhängig von den vielfältigen Geologien die der Bach durchquert. Die geologische Situation des Johnsbachtals wird in Kapitel 1.3.2 näher beschrieben.

Der Abflusscharakter des Baches kann als gemäßigt nivales Regime vom Enns-Typ eingestuft werden. Typisch dafür sind ein Abflussminimum im Winter und ein Maximum im Mai welches durch die Schneeschmelze bedingt ist. Die Schneeschmelze stellt demnach das wichtigste hydrologische Ereignis im Jahresgang dar (Haseke 2006).

Der Johnsbach hat auch zahlreiche Zubringer auf seinem Weg bis zur Enns (Abb. 1). Im inneren Johnsbachtal sind diese unter anderem der Bärengaben, Pichlergraben oder der Hotzengraben. Der Gsenggraben oder der Langgrießgraben sind Zubringer im unteren Flusslauf (Digitale Gewässerkartei Steiermark 2015). Durch diese Seitengraben kann bei Starkregenereignissen zusätzliches Geschiebe in den Johnsbach transportiert werden.

Auf Grund der naturräumlichen Voraussetzungen kommt es im Gebiet des Johnsbaches immer wieder zu Hochwasserereignissen die sogar zu Schäden an der Infrastruktur führen können. Die Landesstraße die als einzige Verbindung zur Siedlung in Johnsbach führt, wurde schon oft durch gewaltige Geschiebemengen, die durch Starkregen und Gewitter mobilisiert werden, zerstört oder beschädigt. Aus diesem Grund sind im Johnsbach und auch bei seinen Zubringern Verbauungen installiert worden, um die Gefahr etwas zu dämmen, diese sind aber größtenteils im Zuge der Renaturierungsmaßnahmen des Nationalparks wieder abgebaut worden (Thonhauser 2008). Die Starkregenereignisse in diesem Gebiet bringen bis über 50 mm pro Stunde und bis über 100 mm Niederschlag pro Tag (Haseke 2006).

Die hydrologischen Daten des Johnsbaches zeigen ein sehr unterschiedliches Bild. Die in Tabelle 1 dargestellten Abflussdaten gelten für den Johnsbach im Mündungsbereich der Enns:

Tab. 1: Hydrologische Daten des Johnsbaches im Bereich der Mündung in die Enns

Abflusswert	NNQ_T	MJNQ_T	MQ	HQ₁	HQ₁₀₀
[l/s]	250	400	2.010	10.000	95.000

Quelle: Haseke 2006, S. 9

NNQ_T = niedrigster Tagesmittelabfluss, MJNQ_T = mittlerer jährlicher Tagesmittelabfluss, MQ = Mittelwasserabfluss, HQ₁ = Hochwasser bei jährlichem Hochwasserereignis gemittelt über eine bestimmte Jahresreihe, HQ₁₀₀ = Hochwasser bei einem 100 jährigen Hochwasserereignis gemittelt über eine bestimmte Jahresreihe.

1.3.2 Geologie

Die Geologie der Gesäuseberge und speziell die des Johnsbachtales gilt als sehr gut erforscht und bekannt. Dieses Kapitel stützt sich auf die Aussagen von Ampferer (1935) der dieses Gebiet sehr detailliert untersucht und kartiert hat, sowie auf Lieb (2008) der sich mit der daraus resultierenden Geomorphologie beschäftigt hat.

Das Johnsbachtal zeichnet sich durch unterschiedliche Gesteinsarten und Gesteinsalter aus. Die Gesteinsarten kann man grob in zwei Gruppen, die gut voneinander unterscheidbar sind, aufteilen: Gesteine der nördlichen Kalkalpen und Gesteine der Grauwackenzone (Ampferer 1935). Die geologische Übersichtskarte (Abb. 2) verschafft einen guten Überblick über das Gebiet.

Wenn man der Straße die nach Johnsbach führt folgt, kann man die Geologien sehr gut erkennen. Der erste Teil des Tales ist ein markantes Durchbruchstal aufgebaut aus Wettersteindolomit und Dachsteinkalk. Vor allem im Bereich der „Zwischenmauer“, einem sehr engen Durchbruchstal erkennt man die typischen Formen des Kalkgesteins wie Steilformen, markante und massige Gipfel wie den großen Ödstein und den Reichenstein (Lieb & Premm 2008).

Kurz vor dem Ort Johnsbach, direkt nach der „Zwischenmauer“ ändert sich das geologische Bild des Tales markant. Die steilen Wände werden plötzlich abgelöst von sanften Berghängen, eher abgerundeten Gipfformen und mittelsteilen, teils bewaldeten Hängen. Diese Zo-

ne ist charakteristisch für die Grauwackenzone die aus erzführenden Kalken und Phylliten besteht (Lieb & Premm 2008).

Geologische Übersichtskarte

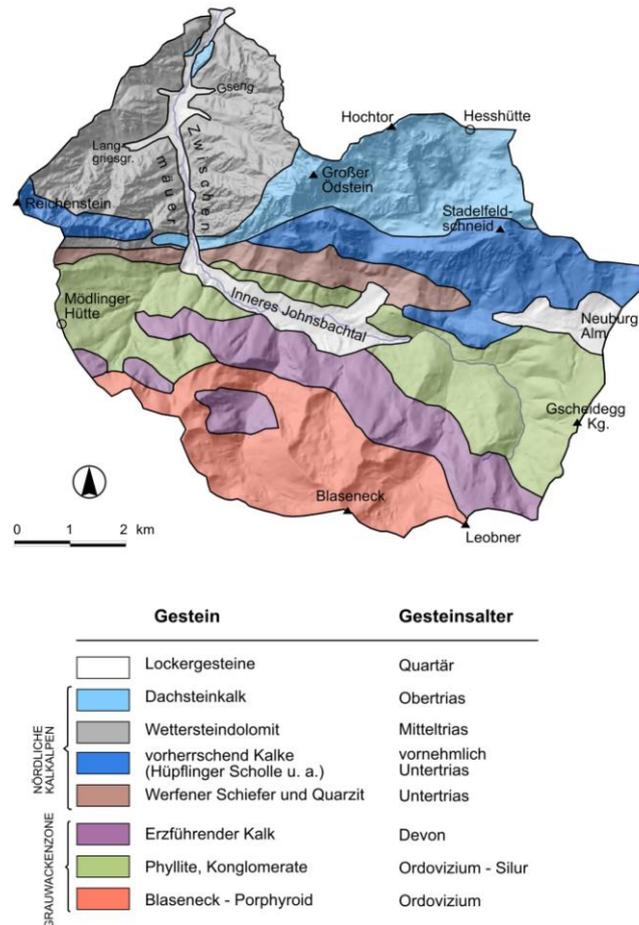


Abb. 2: Geologische Überblickskarte des Johnsbachtales (Quelle: Lieb & Premm 2008, S. 13)

In der Grauwackenzone befinden sich auch Bereiche in denen man Eisenerze, Kupfer- und Fahlerze findet, die bereits im 12. Jahrhundert in Bergwerken bis ins ca. 18. Jahrhundert abgebaut wurden (Redlich 1923).

Für die Lösungs- und Suspensionsfrachtmessungen ist es relevant, dass die Proben sowohl in dem Bereich der nördl. Kalkalpen (Karbonate) als auch in der Grauwackenzonen entnommen werden, um festzustellen welchen Einfluss unterschiedliche Geologien auf die Ergebnisse haben.

2 Sedimenttransport

„In Wildbächen nimmt der Sedimenttransport bei Hochwasser oft ein erstaunliches Ausmaß an; sein Volumen kann 50% des Abflusses erreichen und den Wasserspiegel bis zu 100% anheben. Die Folgen sind bekannt: verheerende Überschwemmungen und Schuttablagerungen in den angrenzenden Niederungen und im Mündungsbereich“ (Smart & Jaeggi 1983).

Nach Press & Siever (1995) versteht man unter Sedimenttransport den Transport von Gesteinsbruchstücken in ein Ablagerungsgebiet. Laut Ahnert (2003) wird diese Fracht dem Fluss durch Prozesse der Verwitterung und Denudation von den Hängen und aus dem Grundwasser des Einzugsgebiets zugeführt, kann aber auch aus dem Flussbett selbst stammen.

Zepp (2013) unterscheidet drei unterschiedliche Frachtkomponenten des Sedimenttransports:

- rollend oder springend auf der Gewässersohle (Geröllfracht, Bodenfracht oder bed load)
- in Suspension gehaltene Sedimente (Schwebfracht, suspended load)
- Lösungsfracht (dissolved load, chemisch gelöste Stoffe)

Anderson & Anderson (2010) unterteilen die Suspensionsfracht noch in die sogenannte „wash load“ welche aus Partikeln der Suspensionsfracht bestehen die so klein sind, dass sie permanent nahe der Oberfläche transportiert werden und somit kontinuierlich im Wasser transportiert werden.

Die Geröllfracht besteht größtenteils aus Schottern und wird am Boden des Flussbettes bewegt. Die Gerölle werden meist in kleinen Schüben während einzelner Hochwasserereignisse transportiert. Generell ist in Gebieten mit intensiver mechanischer Verwitterung der Anteil an Grobschutt größer als in Gebieten mit chemischer Verwitterung (Ahnert 2003).

Um den Vorgang des Transportes genauer erklären zu können, ist es wichtig die Strömungseigenschaften eines Gerinnes zu definieren. Generell wird zwischen laminaren und turbulentem Fließen unterschieden. Laminare Strömungen können sehr kleine, leichte Teilchen in der Größe von Tonmineralen aufnehmen, turbulente Strömungen verfrachten in Abhängigkeit von ihrer Geschwindigkeit Teilchen von Tongröße bis hin zu Kies und Blöcken (Press & Siever 1995).

Die laminare Strömung ist auf sehr geringe Wassertiefe und Fließgeschwindigkeiten beschränkt, sodass sie in Bächen und Flüssen nur sehr selten auftritt (Ahnert 2003). Nach Press & Siever (1995) weisen die meisten Flüsse und Bäche aufgrund ihrer hohen Fließgeschwindigkeit und ihrer Breite und Tiefe ein turbulentes Fließen auf. Allerdings ist es möglich, dass eine Strömung im mittleren Bereich des Flussbettes turbulent und an den Ufern, wo das Wasser flach ist und langsam fließt, durchaus laminar sein kann. Beide Strömungsformen tragen unterschiedlich zur Erosion bei und wirken demnach auch unterschiedlich beim Transport des Materials.

Damit sich die Geröll- und Suspensionsfracht überhaupt in Bewegung setzen kann, ist ein Erosionsvorgang im Vorfeld notwendig. Der Vorgang bedeutet eine Ablösung und Aufnahme von Partikeln vom Ufer und von der Gewässersohle. Dieser Ablauf findet dann statt, wenn die haltenden Kräfte kleiner sind als die durch die Strömung erzeugten Antriebskräfte, die letztlich die Aufwärts- und Vorwärtsbewegung des Partikels bewirken. Für die Erklärung der Erosions- und Transportvorgänge existieren verschiedene Konzepte - einerseits physikalische Beschreibungen anhand von kritischen Scherspannungen und Grenzgeschwindigkeiten und andererseits ein empirisches Konzept der Grenzgeschwindigkeit nach Hjulström (1935) in (Zepp 2013). Da die Formeln für die physikalischen Grundlagen nicht ohne Anpassungen auf Wildbäche angewandt werden können (Zepp 2013), werden die Grundlagen anhand des empirischen Konzepts auf der folgenden Seite erklärt. Wichtig zu erwähnen ist auch, dass diese Konzepte nur für die Abschätzung der Kompetenz (Fähigkeit einer Strömung, Material einer bestimmten Korngröße zu transportieren) zu verwenden sind (Press & Siever 1995). Sie sind streng von der Berechnung Transportkapazität zu trennen, da diese zusätzlich vom Abfluss abhängig ist (Zepp 2013).

Folgender Abschnitt bezieht sich auf die Aussagen von Press & Siever (1995).

Das von Hjulström (1935) entworfene Diagramm (Abb. 3) auf der folgenden Seite beschreibt die Beziehungen zwischen Korngröße und Strömungsgeschwindigkeit. Die untere rote Linie beschreibt die Geschwindigkeit, bei der sich die Teilchen einer bestimmten Korngröße am Grund absetzen. Ein Kiespartikel mit einer Korngröße von 2 mm würde erst ab einer Strömungsgeschwindigkeit von ca. 18 cm/s transportiert werden. Die obere rote Linie kennzeichnet die Geschwindigkeit, bei der Teilchen vom Flussbett erodiert werden. Der Zwischenbereich ist die sogenannte Transportzone die neben der Korngröße und der Fließgeschwindigkeit auch von der Wassertiefe abhängt. Generell verdeutlicht das Diagramm wie stark die Geschwindigkeit ansteigen muss, damit immer größere Körner erodiert und transportiert werden können.

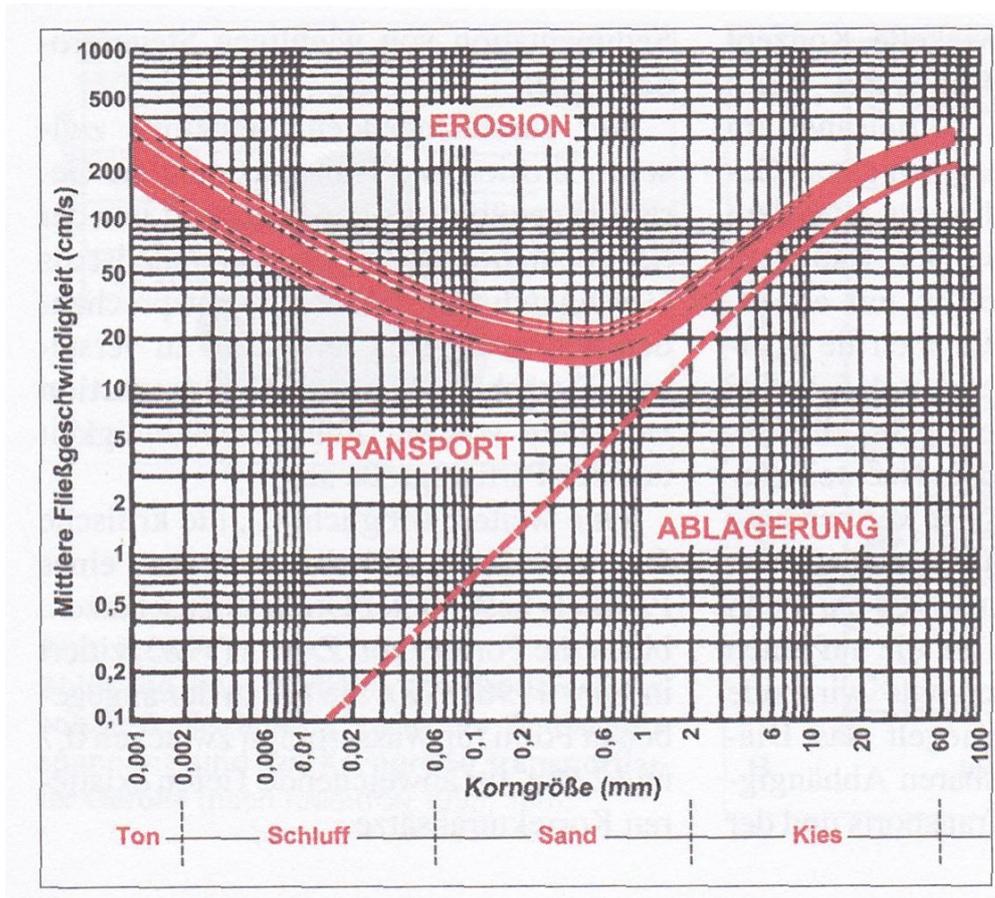


Abb. 3: Diagramm über Fließgeschwindigkeiten und transportierte Korn- bzw. Komponenten-Größen nach Hjulström(1935) Quelle: (Zepp, 2013).

In Kapitel 2.2 und 2.3 werden die Suspensions- und die Lösungsfracht genauer beschrieben. Da die Geröllfracht für die Fragestellung der Arbeit nicht ausschlaggebend ist, wird diese nicht detaillierter erklärt.

2.1 Abfluss

Generell versteht man unter dem Abfluss eines Gerinnes das Wasservolumen welches pro Zeiteinheit eine bestimmte Stelle passiert. Gewöhnlich wird der Abfluss in Kubikmetern pro Sekunde (m^3/s) oder Liter pro Sekunde (l/s) ausgedrückt. Zwischen dem Abfluss und der Transportrate eines Gerinnes besteht ein Zusammenhang der bezüglich der verschiedenen Frachtarten aber auch im Verlauf der Jahreszeiten unterschiedlich sein kann (Ahnert 2003).

Folgende Aussagen basieren auf Becht & Wetzel (1994): Einen wesentlichen Bestandteil von quantitativen Untersuchungen zu Lösungs- und Suspensionsfracht bildet die Abflussmessung in einem Gerinne. Neben der Stoffkonzentrationsmessung ist die Bestimmung der Abflussmenge notwendig um diese beiden Größen miteinander in Verbindung zu bringen. Die Wahl der Abflussmessmethode ist abhängig von den jeweiligen Fließbedingungen im Gerinne. Generell werden verschiedene Methoden unterschieden – verschiedene Verdünnungsmethoden mit Tracern, Messung mit einem hydrometrischen Flügel, verschiedene Messkanäle oder Pegelmessungen; wobei die Wahl der Messmethode von den vorherrschenden Fließbedingungen abhängig ist. Da bei den Messungen im Johnsbach die Methode der Salzverdünnung (Kochsalz, NaCl) angewendet wurde, wird diese näher beschrieben.

Bei der Salzverdünnung handelt es sich um eine sogenannte Integrationsmethode, bei der die Tracereinspeisung zu einem bestimmten Zeitpunkt erfolgt. Die Salzverdünnungsmethode ist besonders für kleine und mittlere Abflüsse gut geeignet, da sie kostengünstig ist, schnell löslich, überall erhältlich, umweltverträglich ist und sich nicht durch Wassertemperatur, pH-Wert oder Sedimentbelastung beeinflussen lässt. Zeitgleich ist diese Methode im Gelände leicht durchzuführen und benötigt außer einem Konduktometer keine technischen Geräte. Die Zugabe des Salzes erhöht den Ionengehalt im Wasser und dieser kann über die Leitfähigkeit gemessen werden. Bei dieser Methode wird der das Salz zu einem bestimmten Zeitpunkt ins Gewässer eingebracht. Bei der Tracereingabe ist es wichtig, dass zwischen dem Messort und der Salzeingabe eine möglichst turbulente Durchmischung gegeben ist. Weiters sollte auch darauf geachtet werden, dass es keine Verzweigungen oder „Tracer-Fallen“ gibt. Der Tracerdurchgang wird dann anschließend an der Messstelle registriert und über die Messzeit integriert. Details zur Vorgehensweise bei der Messung sind in Kapitel 3 erläutert.

2.2 Suspensionsfracht

Die Suspensions- oder Schwebfracht besteht aus Feststoffpartikeln, meist Schluff- und Tonpartikel, die klein und leicht genug sind, um von ihrem Auftrieb und von der Turbulenz des Wassers in der Schwebelage gehalten und vom Wasser mitgeführt zu werden (Ahnert 2003). Abb. 4 zeigt an, wo sich die Schwebfracht im Wasser befindet. Es ist gut zu erkennen, dass als Schwebfracht jene Partikel gelten, die bei entsprechender Strömungsgeschwindigkeit von der Sohle des Flussbetts abgelöst werden.



Abb. 4: Suspensionsfracht in Gerinnen (Quelle: Press & Siever, 1995).

Je nach Stärke der Strömung können z.B. bei schießendem Hochwasser sogar Gerölle über kurze Distanzen schwebend bewegt werden. Bei starker Strömung können Sandkörner von der Sohle des Flussbetts abgehoben und transportiert werden (Ahnert 2003). Nach Press & Siever (1995) ist die typische Bewegung der Sandkörner ein periodischer, sprunghafter Transport der auch Saltation bezeichnet wird. Dabei werden die Körner durch turbulente Wirbel in die Strömung aufgenommen und über kurze Strecken von der Strömung mitgetragen, bevor sie auf den Boden zurück fallen. Allgemein kann man sagen, dass je größer ein Korn ist, desto länger bleibt es normalerweise auf dem Flussbett liegen ehe es aufgewirbelt wird. Sobald es dann in die Strömung gelangt, wird es rasch wieder absinken. Umgekehrt werden kleinere Körner länger schwebend transportiert.

Gemäß Ahnert (2003) werden die Ton- und Schluffpartikel der Suspensionsfracht überwiegend von den Böden der Landoberfläche gelöst und durch Spüldenudation bei Starkregen in

den Fluss transportiert. Dieser Vorgang erklärt auch die trübe Schlammfärbung von Flüssen bei Hochwasser. Die Menge des verfügbaren Materials hängt von der Landoberfläche und vom Grad der Vegetationsbedeckung ab, wobei eine dichte Decke mit niedrigen Pflanzen gegen eine Abspülung schützt indem sie Teile des Niederschlags durch Interzeption in Bodennähe aufhält. Wird die nähere Umgebung von weitständigen Pflanzen bedeckt, bewirkt dies oft eine Konzentration des Oberflächenabflusses auf engere Bahnen und eine damit einhergehende Ausbildung von Rillen und Runsen, welche bei verstärkter Vertiefung den Eintrag von Schwebfracht in den Fluss begünstigt. Da sich die Vegetationsbedeckung und auch der Abfluss im Laufe der Jahreszeiten ändern, ist auch mit einer veränderten Schwebfracht innerhalb eines Jahres zu rechnen. Der Oberflächenabfluss ist eine wichtige Größe im Bezug auf die Suspensionsfracht. Generell gilt, dass bei höherem Abfluss die Schwebstoffkonzentration zunimmt. Der Oberflächenabfluss trägt auch zum Steigen des Hochwassers und zur Hochwasserspitze bei – dabei liegt das Maximum der Suspensionsfracht zeitlich in der Nähe des Abflussmaximums (Abb. 5), vielfach auch etwas früher. Betrachtet man ein Gerinne im Querschnitt, so ist die Suspensionsfrachtkonzentration nahe den Rändern und der Flussbettsohle höher als in der Mitte und nahe der Oberfläche.

Nach dem Beitrag der IHD-WHO Working Group (1978) stammt ein Großteil der Suspensionsfracht aus dem Flussbett selber. Dies setzt aber den oben beschriebenen Ablauf der Spüldenudation voraus, damit die feinkörnigen Partikel überhaupt in das Gerinne gelangen können. Je nach Abfluss und Niederschlag gestaltet sich dann der Schwebstoffgehalt. Die Schwebstoffkonzentration reicht von wenigen Milligramm pro Liter bis zu einigen Gramm pro Liter, wobei die tatsächliche Konzentration von Abfluss, Niederschlag, Materialverfügbarkeit und weiteren Faktoren abhängig ist.

Im Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes vom BMLFUW (2008) werden insgesamt drei verschiedene Quellen des Schwebstofftransportes angegeben: Flächige Quellen (aktueller Landabtrag), lineare Quellen (Flussabschnitte mit Mobilisierung von sedimentierten Material) und punktuelle Quellen wie Einleitungen oder lokale Anrisse im Flussbett. Bezüglich der Herkunft der Suspensionsfracht wird in diesem Leitfaden davon ausgegangen, dass diese hauptsächlich durch Erosion entsteht. Durch Verwitterung wird Festgestein aufgelockert und zersetzt und anschließend wird das Lockermaterial durch Rutschprozesse und Oberflächenabfluss den Gewässern zugeführt und talwärts bewegt. Im Gewässer selber wird die Entstehung von Schwebstoffen als Produkt der Zerkleinerung von Geschiebe beschrieben. Auch können Partikel aus der Gewässersohle, Böschungen oder Uferanrissen herausgelöst werden und mit der fließenden Welle mittransportiert werden.

Weiters nennt das BMLFUW (2008) verschiedene Faktoren die den Eintrag von Feststoffen in das Gerinne beeinflussen: Niederschlag, Wind, Temperatur, Vergletscherung, Bodenart, Bodennutzung, Vegetation und Geländeneigung. Eine weitere wichtige Rolle für die Mobilisierung von Schwebstoffen spielen die hydraulischen Parameter eines Gerinnes wie zum Beispiel Abfluss, Wassertiefe, Sohlschubspannung, Fließgeschwindigkeit und Gefälle.

Das Verhalten des Schwebstoffgehaltes bei Hochwasser haben Dyck & Peschke (1989) untersucht. Im Allgemeinen weist bei Hochwasser der Hochwasseranstieg höhere Schwebstoffgehalte auf als der Hochwasserabfall. Wie auf Abb. 5 zu erkennen, liegt das Maximum des Schwebstoffgehaltes (C_s) (strichlierte Linie) vor dem Maximum des Abflusses (Q) (durchgehende Linie). Das liegt hauptsächlich am Stoffeintrag durch Starkregeneration und an der Aufnahme von Sedimenten aus Stauhaltungen und vom Flussbett selber. Auch die Zusammensetzung der Schwebstoffe innerhalb einer Hochwasserwelle kann sich ändern und unterschiedliche Komponenten aufweisen.

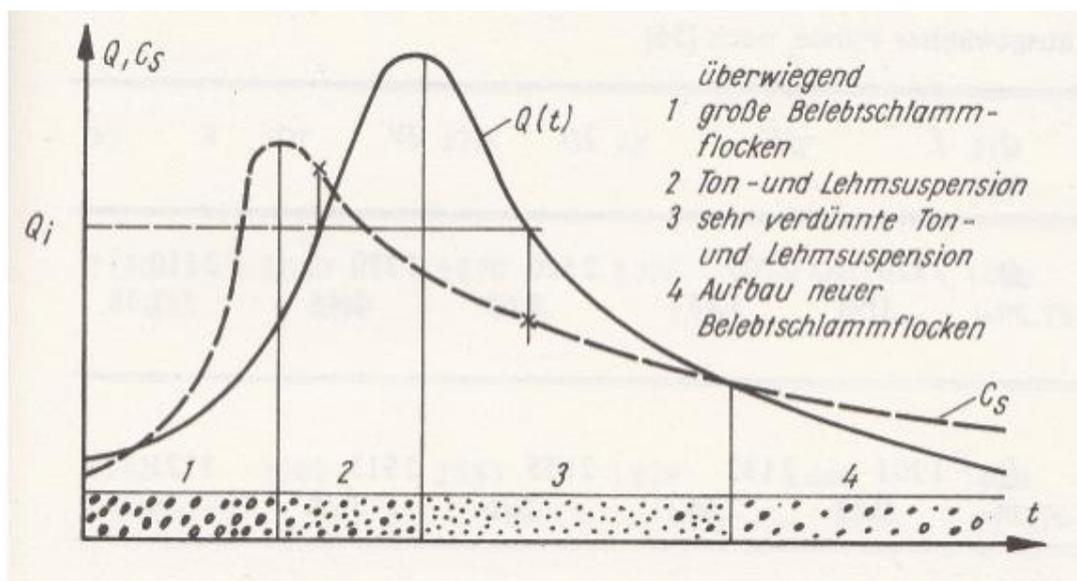


Abb. 5: Verhalten des Schwebstoffgehalts bei Hochwasser (Quelle: Dyck & Peschke, 1989).

Bei Hochwasser kommt es häufig auch zur schlagartigen Remobilisierung von temporär abgelagerten Schwebstoffen. Durch Anlandung von Feinmaterial in Flussprofilen kann es zu einer Abnahme der Durchflusskapazität kommen wodurch Hochwasserereignisse früher und häufiger ausufern können (BMLFUW 2008).

Für eine Abschätzung der Suspensionsfracht geben Anderson & Anderson (2010) an, dass diese 50%-90% der Gesamtfracht eines Flusses ausmachen kann. Morche et al. (2006) hingegen haben bei Messungen in alpinen Gebirgsflüssen auch deutlich niedrigere Werte ge-

messen (unter 10%). Diese höchst unterschiedlichen Angaben deuten auf große Unterschiede zwischen Gebirgs- und Tieflandflüssen hin. Schmidt & Morche (2008) gaben als weiteres Unterscheidungsmerkmal verschiedene Lithologien und das Vorhandensein von gekoppelten- oder entkoppelten Systemen an.

Um die Konzentration der Suspensionsfracht zu messen gibt es nach Ward (1984) in Goudie (1995) vier Möglichkeiten:

- **Manuelle Entnahme von einzelnen Proben**
Eine weite Flasche wird in das Gerinne gehalten und eine Wasserprobe wird entnommen. Diese Methode ist schnell und einfach, jedoch kann sie unterschiedliche Ergebnisse bringen, je nachdem ob die Probe nach der Sohle oder an der Oberfläche genommen wird.
- **Mechanische Entnahme von einzelnen Proben**
Pumpen entnehmen automatisch zu bestimmten Zeiten eine Probe vom Wasser und leiten diese in Flaschen.
- **Mehrfache Entnahme entlang eines Abschnittes**
Behälter werden von einer Brücke oder einem Boot in das Gerinne gelassen. Es können Proben an verschiedenen Stellen des Gerinnequerschnitts entnommen werden. Meist kommt diese Methode bei großen Flüssen mit großer Sandmenge zur Anwendung.
- **Indirekte Messung mit Hilfe von installierten Instrumenten**
Permanent installierte Instrumente die auf dem Prinzip des Lichts oder der Gammastrahlung basieren (Trübesensoren).

Für diese Arbeit wurde die erste Methode gewählt die im Kapitel 3.4 näher beschrieben wird.

2.3 Lösungsfracht

Nach Ahnert (2003) ist die Lösungsfracht oder dissolved load ein Produkt der chemischen Verwitterung, wobei aber auch gelöste organische Stoffe beteiligt sein können. Diese gelösten Substanzen sind ionare und molekulare Bestandteile des Wassers selbst und werden somit transportiert, solange das Wasser fließen kann, unabhängig vom Gefälle. Der Transport der Lösungsfracht vom Einzugsgebiet wird auch dann fortgesetzt, wenn alle anderen Abtragungs- und Transportvorgänge beendet sind.

Dyck & Peschke (1989) beschreiben die Lösungsfracht als Inhaltsstoffe die einen Filter von bestimmter Porengröße passieren können. Die Hauptquelle dieser Stoffe ist die Denudation wobei hier die Intensität des Niederschlags eine wichtige Rolle spielt. Weiters definieren Sie auch das Ausgangsgestein und das Feuchtigkeits- und Temperaturregime als wichtigen Faktor bei der Bildung von gelösten Stoffen. Auch der anthropogene Stoffeintrag muss beachtet werden und kann sich in Gebieten mit großer landwirtschaftlicher Tätigkeit in der Lösungsfracht zeigen. Da Wasser als hervorragendes Lösungsmittel gilt, enthält es somit immer Stoffe, mit denen es Kontakt hatte.

Goudie (1995) beschreibt speziell in Bergregionen den Niederschlag als ein wichtiges Kriterium der chemischen Verwitterung, da dort oft ein erhöhter Regenfall festgestellt wird. Bezüglich der Gesteinsarten hält er fest, dass die unterschiedlichen Gesteinsarten die Rate der chemischen Verwitterung beeinflussen. So finden sich hohe Verwitterungsraten in Gebieten mit Sedimentgesteinen wie z.B. Karbonaten wobei hier auch die Temperatur bedacht werden muss. Weitere Faktoren sind die Bodenbedingungen sowie die Vegetationsbedeckung eines Gebietes.

Als Hauptkomponenten der Lösungsfracht definiert Hellmann (1999) gelöste Gase wie Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoffdioxid. Weiters wichtige Komponenten stellen die Kationen und Anionen Natrium, Kalium, Magnesium, Calcium, Karbonat, Silikat, Nitrat und Phosphat dar. Eine vollständige Angabe der möglichen gelösten Stoffe in Gewässern ist in Hellmann 1999, S. 25 sowie in dem Werk von Lienig (1983) zu finden.

Die Art und der Menge der gelösten Stoffe in Gewässern lassen sich nach Sigg & Stumm (1996) auf Vorgänge an den Grenzflächen Gestein-Wasser und Atmosphäre-Wasser zurückführen. Demnach wären die Auflösprozesse an Gesteinen weitgehend Säure-Base-Reaktionen, die Zusammensetzung des Süßwassers eine Folge der Einwirkung des Kohlendioxids der Atmosphäre auf die Gesteine. Eine weitere mögliche Herkunft der Stoffe sind

biologische Prozesse, vor allem jene der Photosynthese. Man kann daher sagen, dass kleinere Fließgewässer größtenteils die geochemische Situation des Einzugsgebietes spiegeln.

Wie bereits beschrieben ist Wasser ein sehr gutes Lösungsmittel für feste, flüssige und gasförmige Stoffe wobei die Löslichkeit der verschiedenen Stoffe sehr unterschiedlich ist. Nach Liening (1983) nimmt die Löslichkeit bei festen Stoffen in der Regel bei steigender Temperatur zu und wird speziell bei Elektrolyten von anderen gelösten Stoffen beeinflusst. Die Löslichkeit von Gasen nimmt dagegen mit steigender Temperatur ab und wird durch gelöste Stoffe ziemlich stark vermindert.

Die Transportrate der Lösungsfracht wird von Ahnert (2003) als Produkt von aus Abfluss und Konzentration gelöster Stoffe verstanden, wobei sich die Konzentration in den verschiedenen Phasen des Abflusgangs ändern kann. Kriterien hierfür sind der Trockenwetterabfluss bei dem das Gerinne nur vom Grundwasser gespeist wird, der Oberflächenabfluss oder eine Kombination aus beiden.

Für diese Arbeit wurden Kationen und Anionen untersucht, die am wahrscheinlichsten in diesem Gebiet vorkommen. Nach Rücksprache bezüglich der Möglichkeiten der Analyse mit dem Chemieinstitut wurde die Untersuchung auf folgende Stoffe begrenzt: Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium, Sulfat, Chlorid, Nitrat, Silizium, Strontium, Barium, Rubidium und Cäsium.

3 Methoden

3.1 Geräte

Im Laufe der Arbeit wurden verschiedene technische Hilfsmittel verwendet die nachfolgend (Tab. 2) detailliert aufgelistet werden. Im Text sind die Geräte jeweils nur mit dem Kurznamen beschrieben.

Tab. 2: Übersicht über die verwendeten technischen Hilfsmittel

Bezeichnung	Typ	Hersteller	Bemerkung
Leitfähigkeitsmessgerät	Profiline Cond 3310	WTW	Inkl. Datalogger
Messzelle - Leitfähigkeit	TetraCon 325	WTW	
Vakuumpumpe	Laboport	Neuberger	
Vakuumpumpe	PC 2001 Vario	Vacuubrand	
Glassaugpumpe			Inkl. Filteraufsatz
Brutschrank	Heraeus Typ 5050	Gemini	Trockenschrank
Analysewaage		Sartorius	Ablesbarkeit: 0,1 mg
Analysegerät	Agilent 7700 Series ICP-MS	Agilent Technologies	Inkl. ASX-500 Für Kationen Analyse
Automatischer Probennehmer	ASX-500	Agilent Technologies	
Analysegerät	ICS-5000+ DC	Dionex	Für Anionen Analyse

Quelle: eigener Entwurf

3.2 Messpunkte

Die Wahl der Messstellen wurde so getroffen, dass sie möglichst alle interessanten Gebiete des Baches beinhalten. Auf Abb. 1 ist eine Übersicht der Punkte zu sehen. Insgesamt wurde jeweils an fünf Punkten gemessen, wobei die Messstellen repräsentativ für ein bestimmtes Gebiet sind. Die erste Stelle der Probenahme war an der Bachbrücke, kurz vor der Mündung des Johnsbachs in die Enns. Die Stelle an der Gsengbrücke wurde gewählt, da sie direkt im karbonatischen Gebiet liegt. Der Messpunkt an der Silberreithbrücke befindet sich genau an der Grenze zwischen dem karbonatischen Bereich und dem Bereich der Grauwackenzone. Der Messpunkt Ödsteinblick liegt in der Grauwackenzone direkt zwischen landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen und der letzte Punkt beim Gasthof Ebner befindet sich ebenfalls in der Grauwackenzone und liegt in der Nähe des Quellgebiets.

3.3 Abflussmessung mit der Salzverdünnungsmethode

Folgendes Unterkapitel stützt sich auf die Aussagen von Becht & Wetzel (1994):

Wie bereits in Kapitel 2.3 erwähnt wurde im Untersuchungsgebiet mit Hilfe von Kochsalz und der sogenannten Integrationsmethode gearbeitet.

Die Messung wurde nach Möglichkeit an allen fünf Messstellen durchgeführt. Dazu war es notwendig immer mit einer zweiten Person zu messen. Die Länge der Messstrecke wurde bei jeder Messung gleich gewählt (ca. 50m) um die Ergebnisse miteinander vergleichbar zu machen. Die eingespeiste Salzmenge wurde je nach Abfluss geschätzt. Bei niedrigem Abfluss im Frühjahr wurden 0,5 kg / 10 Liter eingespeist, im Mai bereits 1,5 kg / 10 Liter. Das Salz wurde in einem 10 Liter Kübel aufgelöst und anschließend konzentriert mit dem Stromstrich in das Gewässer eingespeist. Gleichzeitig bzw. kurz vor der Eingabe des Salzes wurde an der Messstelle die Messung mit dem Leitfähigkeitsmessgerät gestartet. Da bei starker Strömung eine Messung direkt in der Mitte des Baches nicht möglich war, wurde mit einer Verlängerung der Messsonde gearbeitet. Der Wert der Leitfähigkeit ändert sich mit dem Durchströmen des Tracers und wird vom Gerät aufgezeichnet. Die Messung wurde beendet sobald der Basiswert der Leitfähigkeit wieder erreicht wurde. Mithilfe der unten beschriebenen Formel 1 konnte dann der Abfluss bestimmt werden. Ergebnisse werden in Kapitel 4 vorgestellt.



Abb. 6: Messung des Abflusses an der Station BB am 08.05.2015 (Quelle: Andrea Danklmaier).

In der folgenden Formel 1 wird die Abflussbestimmung in offenen Gerinnen dargestellt. Die Formel und die Beschreibung beziehen sich auf die Aussagen von Fürst (2012, S.88 ff.).

Das Ergebnis der Berechnung ist der Abfluss Q, welcher sich aus der Masse des Tracers M, dem Eichkoeffizienten E und der Summe der Leitfähigkeiten L_t über eine bestimmte Zeit berechnen lässt. Sollte der Tracer auch natürlich im Gewässer vorhanden sein, muss das bei der Leitfähigkeit L_t berücksichtigt werden. In diesem Fall muss die Bezugsleitfähigkeit L_0 (natürliches Vorkommen des Tracers im Gewässer) von der Leitfähigkeit L_t abgezogen werden. Die Messung beginnt zum Zeitpunkt $t=0=t_0$ bis zum Zeitpunkt t, bei welchem die gemessene Leitfähigkeit L_t wieder der Bezugsleitfähigkeit L_0 entspricht. Der Einheitenrechnung kann man die Einheiten der jeweiligen Größe entnehmen. Außerdem kann man erkennen, dass die Masse des Tracers, angegeben in kg, in mg umgerechnet wird. Daraus ergibt sich, dass der Abfluss Q in l/s angegeben wird.

$$Q = \frac{M}{E * \int_{t_0}^t (L_t) dt} = \frac{M}{E * \int_{t_0}^t (L_t - L_0) dt} = \frac{(kg) * 10^6}{\left(\frac{mg * cm}{l * \mu S}\right) * \left(\frac{\mu S * s}{cm}\right)} = \frac{l}{s} \quad (1)$$

3.4 Messung der Suspensionsfracht

Folgendes Kapitel stützt sich auf die Aussagen des BMLFUW (2008):

Bei der Entnahme der Proben für die Erfassung der Schwebstoffe im Johnsbach wurde die Methode der Einpunktentnahme angewandt. Dieses Verfahren zählt zu den direkten Probenentnahmeverfahren welches sich für dies Arbeit besonders angeboten hat, da damit geringe Kosten verbunden sind und keine weiteren technischen Maßnahmen erforderlich waren. An jeder Messstelle im Gerinne wurde vor Messung der Leitfähigkeit eine Wasserprobe in eine 1000 ml Weithalsflasche entnommen. Es wurde versucht die Probenahme immer relativ mittig und sohlennahe durchzuführen, was aber auf Grund der starken Strömung nicht immer möglich war. Weiters musste darauf geachtet werden kein Ufer- oder Sohlsubstrat aufzuwirbeln, da dies die Wasserprobe beeinflussen kann. Die Flasche musste möglichst schnell auf die entsprechende Wassertiefe abgesenkt und befüllt werden bis keine Luft mehr aus dem Gefäß entwich. Die Probebehälter wurden mit Messpunkt, Messzeit und Datum beschriftet und zusätzlich wurden die Daten in ein Protokoll eingetragen um die bessere Nachvollziehbarkeit zu gewähren. Bis zur Analyse im Labor wurden die Proben dunkel gelagert. Die Proben wurden anschließend in einem Labor gravimetrisch auf den Gehalt an ab-

filtrierbaren Stoffen untersucht. Mit Hilfe von Vakuumfiltrationsanlagen und Membranfiltern wurden die Wasserproben filtriert.

Das Vorgehen bei der Filterung der Suspensionsfracht erfolgte dabei wie folgt:

Die entnommenen Proben wurden in einem Labor des Chemie-Instituts der Universität Graz gefiltert und gewogen. Nachfolgend wird die genaue Vorgehensweise im Labor beschrieben wobei diese sich an die Vorgaben des „Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes“ des BMLFUW (2008) halten.

- Vorbereitung der Filter: Zum Filtern der Proben wurden hydrophile Membranfilter mit einer Porengröße von $0,45\ \mu\text{m}$ verwendet. Die Filter wurden vor Beginn der Filtrierung am Rand mit einer fortlaufenden Nummer beschriftet um die Rückstände auf den Filtern immer mit der Wasserprobe in Verbindung bringen zu können. Anschließend wurden die Filter auf Objektträgern im Trockenschrank bei 80°C für 75 Minuten getrocknet um die Gewichtskonstanz der Filter zu gewährleisten. Nach diesem Vorgang wurden die Filter sofort mit Hilfe der Präzisionswaage abgewogen und das Gewicht ohne Rückstand notiert.
- Aufbau und Reinigung der Geräte: Vor Beginn der ersten Filtrierung und auch nach jeder Probe wurden sämtliche Behälter mit destilliertem Wasser gereinigt um mögliche Rückstände zu entfernen. Anschließend wurden alle Komponenten wieder zusammengebaut.

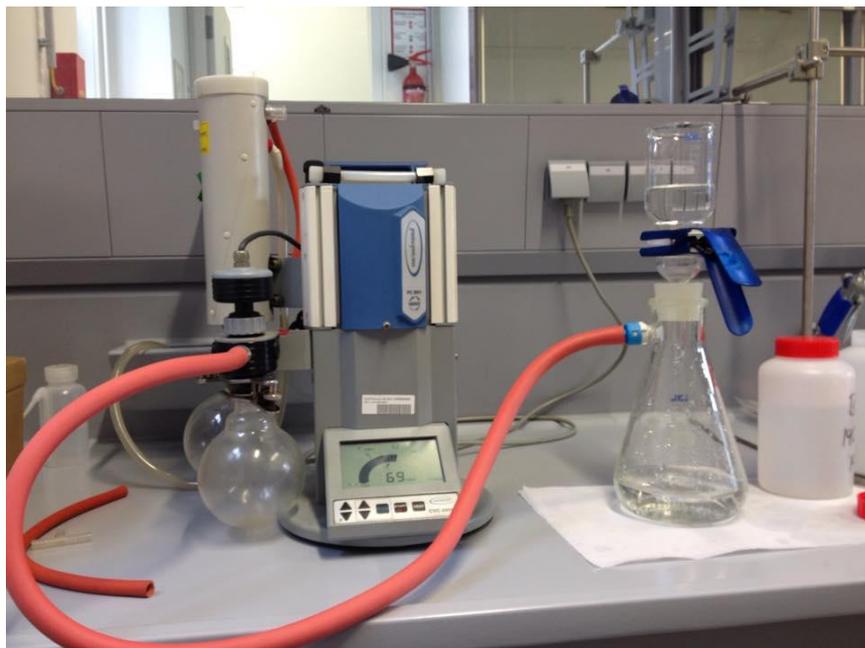


Abb. 7: Vakuumpumpe PC 2001 Vario von Vakuubrand mit Zubehör (Quelle: eigenes Foto).

- Vorbereiten der Proben: Jeweils zwei Proben wurden gleichzeitig vorbereitet, da zwei Vakuumpumpen zur Verfügung standen. Die Probenflaschen wurden ebenfalls mit einer fortlaufenden Nummer versehen und gleichzeitig wurde für jede Weithalsflasche eine zweite Flasche vorbereitet und nummeriert um darin das filtrierte Wasser aufzubewahren. Die leeren Flaschen wurden vor der Befüllung mit dem filtrierten Wasser mit destilliertem Wasser ausgespült. Bei den Proben wurden vor Beginn der Filtrierung noch einmal die Leitfähigkeit und die Temperatur gemessen. Dafür wurde das gleiche Gerät verwendet das auch in den Geländearbeiten zum Einsatz kam (WTW Cond 3310). Die Leitfähigkeit und die Temperatur wurden entsprechend der Nummer notiert.
- Filtrierung: Der Filter mit der passenden Nummer wurde eingelegt und fixiert. Die Probeflasche wurde gut geschüttelt um eine Verteilung der Schwebstoffe zu gewährleisten. Anschließend wurden ca. 400 ml der Wasserprobe eingefüllt und mit Hilfe der Vakuumpumpe durch den Filter gesaugt. Da sich im Laufe des Vorgangs immer wieder kleine Partikel an der Gefäßwand gesammelt haben, wurden diese mit Hilfe einer Spritzflasche und destilliertem Wasser abgespült um diese Partikel auch im Filtrerrückstand zu haben. Die filtrierte Wassermenge wurde anschließend genau abgemessen und die exakte Wassermenge wurde notiert.
- Trocknen der Filter: Der Filter wurde nach dem Vorgang wieder auf den Objektträger gelegt und anschließend getrocknet (80°C mindestens eine Stunde – max. 12 Stunden). Direkt nach dem Trockenvorgang wurden die Filter wieder gewogen und das Gewicht mit Filtrerrückstand notiert. Das Gewicht der Filter ohne Rückstand wird dann von dem Gewicht der Filter mit Rückstand subtrahiert und ergibt dann den Schwebstoffgehalt der Probe (DVWK 1986).
- Reinigung: Alle Behälter wurden mit destilliertem Wasser gereinigt und der Vorgang wurde fortgesetzt bis alle Proben filtriert waren.

3.5 Messung der Lösungsfracht

Die Analyse der Lösungsfracht wurde ebenfalls am Chemie Institut der Universität Graz mit Unterstützung des fachkundigen Personals durchgeführt. Für die Bestimmung der Lösungsfracht wurde das filtrierte Wasser verwendet das noch zur Verfügung stand. Da alle Stoffe, die größer als $0,45\ \mu\text{m}$ bereits im Filter zurückgeblieben sind, stellte das verbliebene Wasser eine gute Möglichkeit dar die Komponenten der Lösungsfracht zu bestimmen. Die Kationen und die Anionen wurden getrennt mit verschiedenen Verfahren analysiert. Für die Kationen wurde das Verfahren der Atomspektroskopie zur Analyse von Spurenmetall mit Hilfe des Gerätes Agilent 7700 Series verwendet, für die Anionen wurde das Verfahren der Chromatographie angewandt. Die Vorgangsweise war folgende:

- Vorbereitung der Proben: Die Wasserproben wurden in kleine Reagenzgläser umgefüllt und diese wurden jeweils mit dem Namen der Probe beschriftet. Die Wasserprobe wurde angesäuert um die Kationen bestimmen zu können. Weiters wurden Referenzlösungen von den benötigten Kationen erstellt.
- Messung: Die Proben sowie die Referenzlösungen wurden anschließend in den automatischen Probenehmer (ASX-500) gestellt und die Messung am Analysegerät wurde gestartet. Die gesamte Messung erfolgte automatisch und bedurfte keinerlei Eingriffe. Nach ca. vier Stunden Messung lagen die Ergebnisse vor.

Derselbe Vorgang wurde für die Messung des Siliziums durchgeführt mit dem Unterschied, dass nochmals Proben abgefüllt wurden und diese aber nicht angesäuert wurden.

Auch die Bestimmung der Anionen erfolgte auf dieselbe Art und Weise, nur mit einem speziell für Anionen geeignetem Analysegerät (ICS-5000+ DC) und das Verfahren war das der Chromatographie. Die Analyse der Anionen dauerte insgesamt 12 Stunden.

4 Ergebnisse

4.1 Abfluss

In Tab. 3 werden die Ergebnisse der Abflussmessung dargestellt. Die Messung erfolgte insgesamt an fünf Geländetagen zwischen Februar und Juni. Bei der Messung am 22.04.2015 gibt es auf Grund eines Messfehlers des Leitfähigkeitsmessgerätes bei der Station ÖS und Ebner keine Ergebnisse. Am 19.02.2015 wurde an der Station ÖS kein Abfluss gemessen. Bei allen nachfolgenden Diagrammen die mit dem Abfluss in Verbindung stehen, wurden diese Stationen nicht berücksichtigt.

Tab. 3: Ergebnisse der Abflussmessung im Zeitraum von Februar 2015 bis Juni 2015

NR	Standort	Datum	Uhrzeit	LF_0 in $\mu S/cm$	Temp. in °C	Q in l/s
030	BB	19.02.2015	13:00	320	2,5	516,91
029	GB	19.02.2015	14:00	323	3,3	580,28
028	SRB	19.02.2015	14:30	325	2,5	713,44
027	Ebner	19.02.2015	15:15	223	2,4	125,92
018	BB	22.04.2015	09:45	236	6,0	628,28
017	GB	22.04.2015	10:15	244	6,0	4186,47
021	SRB	22.04.2015	10:30	246	6,1	3329,39
020	ÖS	22.04.2015	11:00	-	-	-
019	Ebner	22.04.2015	11:30	-	-	-
013	BB	08.05.2015	09:30	201	7,0	3.005,92
012	GB	08.05.2015	10:00	194	7,2	6.242,62
015	SRB	08.05.2015	10:30	194	7,4	3.589,00
014	ÖS	08.05.2015	11:00	182	7,3	1.403,70
016	Ebner	08.05.2015	11:30	141	6,9	1.385,00
003	BB	03.06.2015	14:00	249	12,4	914,83
006	GB	03.06.2015	10:20	260	9,1	1.827,28
004	SRB	03.06.2015	10:45	265	9,3	2.452,63
002	ÖS	03.06.2015	11:15	236	9,2	1.159,72
005	Ebner	03.06.2015	11:45	165	8,9	516,63
024	BB	27.06.2015	10:50	278	9,7	946,78
026	GB	27.06.2015	11:00	281	9,5	1.142,79
023	SRB	27.06.2015	11:35	280	9,0	1.323,84
025	ÖS	27.06.2015	11:50	267	9,0	904,26
022	Ebner	27.06.2015	12:45	187	8,2	265,29

Quelle: eigener Entwurf

LF_0 in $\mu S/cm$ = Ausgangsleitfähigkeit des Wasser zum Zeitpunkt der Probenahme

Abb. 8 zeigt einen Überblick über die Abflusswerte an den verschiedenen Stationen, bezogen auf die unterschiedlichen Messtage. Bis zur Station SRB, teilweise auch bis zur Station GB nehmen die Abflusswerte an den Messpunkten zu, danach ist bis auf den 19.02.2015 überall ein Rückgang des Abflusses bei der Station BB zu verzeichnen.

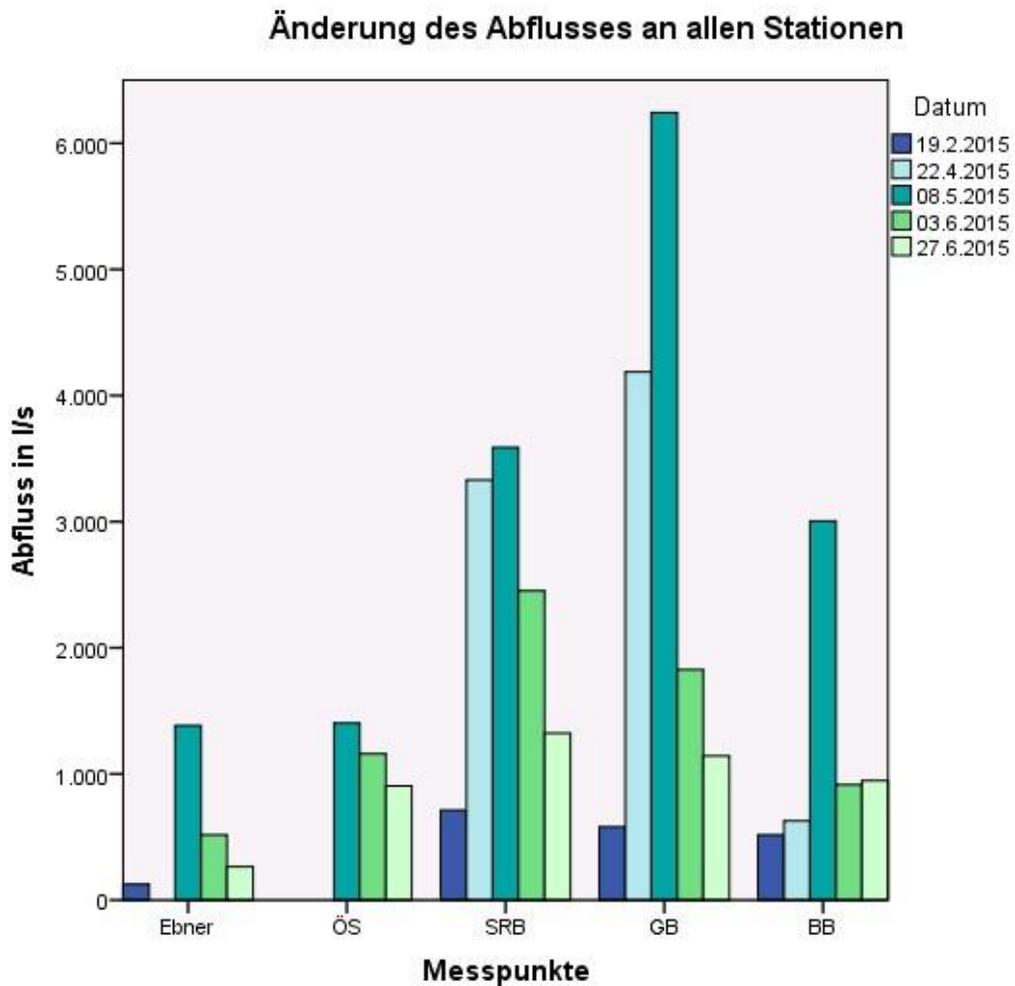


Abb. 8: Änderung des Abflusses an den Stationen an allen Messtagen (Quelle: eigener Entwurf).

Stellt man die Abflusswerte nun getrennt dar, sieht man auf Abb. 9 die unterschiedlichen Werte. Bei der Station Ebner wurde generell der niedrigste Abfluss gemessen. Den höchsten Wert mit 6.242,62 l/s liefert die Station GB am 08.05.2015. Die Station BB weist relativ konstante Abflusswerte auf, bis auf den 08.05.2015 wo auch dort ein Maximum erzielt wurde. Der Verlauf der Schneeschmelze ist vor allem bei den Punkten SRB und GB sehr gut zu erkennen. Im Februar gibt es ein Abflussminimum, während der Schneeschmelze steigt der Abfluss aber deutlich an. Danach sinkt der Abfluss wieder, erreicht aber nicht das Minimum von Februar.

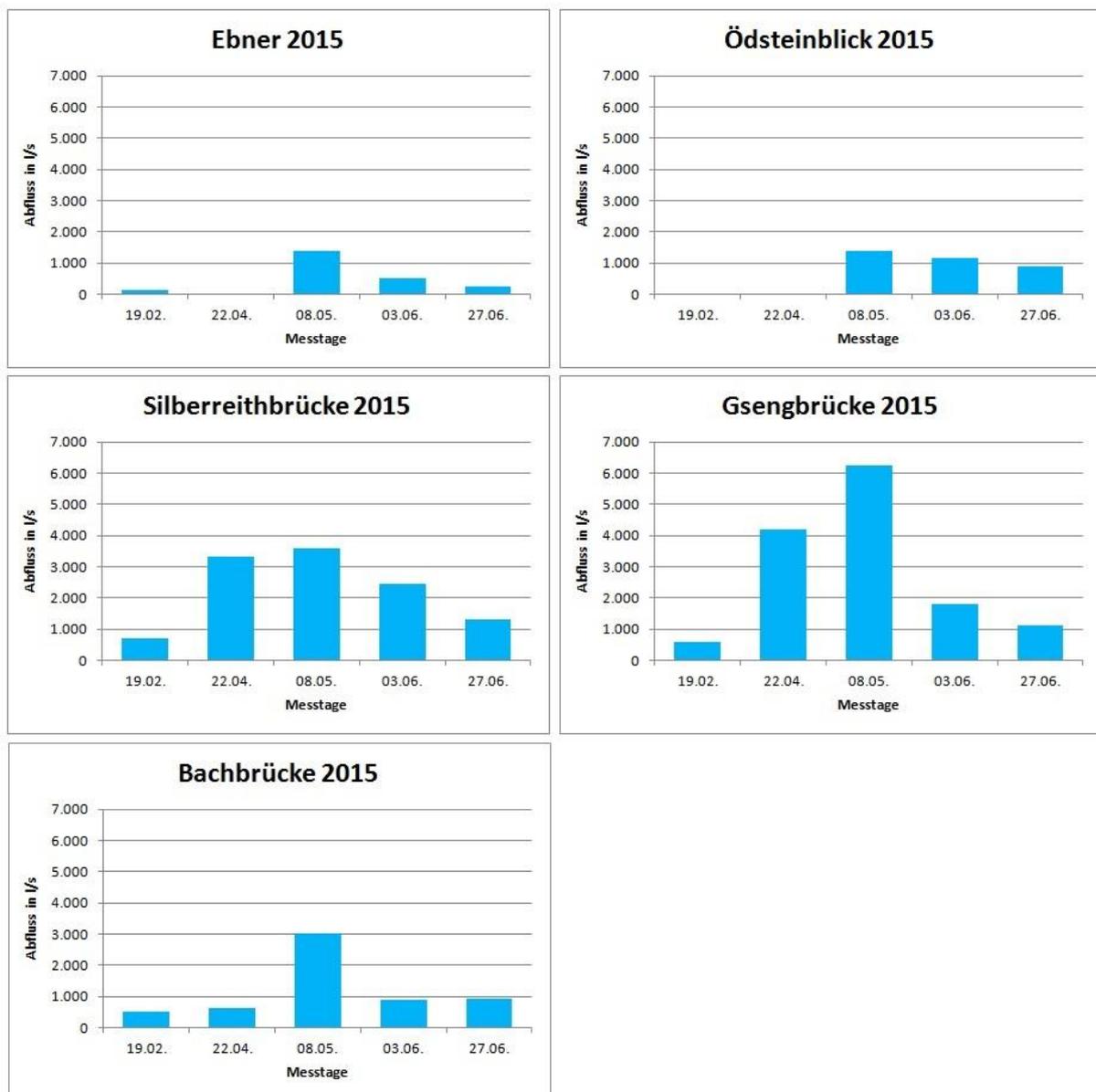


Abb. 9: Abflussveränderung der Stationen im Laufe der Messungen (Quelle: eigener Entwurf).

4.2 Schwebfracht

Für die Analyse der Suspensionsfracht wurde an insgesamt sechs Geländetagen Wasserproben genommen. Bis auf den 16.05.2015 wurden die Proben immer im Vorfeld der Abflussmessungen genommen, am 19.02.2015 erfolgte allerdings an der Messstation ÖS keine Entnahme einer Wasserprobe.

Tab. 4: Ergebnisse der Schwebstoffanalyse der Wasserproben

NR	Standort	Datum	Uhrzeit	LF_1 in $\mu S/cm$	Temp. in °C	S_0 in mg/l
030	BB	19.02.2015	13:00	322	23,8	0,68
029	GB	19.02.2015	14:00	302	23,7	0,93
028	SRB	19.02.2015	14:30	324	24,3	0,46
027	Ebner	19.02.2015	15:15	223	24,2	2,58
018	BB	22.04.2015	09:45	250	24,9	3,95
017	GB	22.04.2015	10:15	245	25,3	2,34
021	SRB	22.04.2015	10:30	245	25,1	0,94
020	ÖS	22.04.2015	11:00	235	25,0	0,49
019	Ebner	22.04.2015	11:30	171	25,1	0,93
013	BB	08.05.2015	09:30	203	25,2	8,12
012	GB	08.05.2015	10:00	202	25	10,43
015	SRB	08.05.2015	10:30	202	24,9	3,27
014	ÖS	08.05.2015	11:00	187	25,1	2,44
016	Ebner	08.05.2015	11:30	143	25,1	14,39
007	BB	16.05.2015	10:00	223	24,8	1,32
011	GB	16.05.2015	10:05	221	24,6	0,71
008	SRB	16.05.2015	10:15	219	24,7	2,27
010	ÖS	16.05.2015	10:25	206	25,0	0,93
009	Ebner	16.05.2015	10:35	153	25	1,39
003	BB	03.06.2015	14:00	259	24,7	0,93
006	GB	03.06.2015	10:20	259	24,7	1,41
004	SRB	03.06.2015	10:45	268	24,5	3,68
002	ÖS	03.06.2015	11:15	238	24,2	10,59
005	Ebner	03.06.2015	11:45	171	24,5	1,35
024	BB	27.06.2015	10:50	281	25	0,96
026	GB	27.06.2015	11:00	286	24,7	1,45
023	SRB	27.06.2015	11:35	274	25,1	0,46
025	ÖS	27.06.2015	11:50	271	24,9	0,47
022	Ebner	27.06.2015	12:45	189	25,3	0,95

Quelle: eigener Entwurf

LF_1 in $\mu S/cm$ = Leitfähigkeit des Wasser zum Zeitpunkt der Filtrierung

S_0 in mg/l = Schwebstoffkonzentration in Milligramm pro Liter

Auf Abb. 10 wird die Schwebfrachtkonzentration an den unterschiedlichen Messpunkten während der Messzeit dargestellt. Der höchste Wert der Schwebfrachtkonzentration wird an der Station Ebner am 08.05.2015 erreicht. Generell weisen die Konzentrationen am 08.05.2015 die höchsten Werte auf. Einen weiteren sehr hohen Wert sieht man am 03.06.2015 an der Station Ödsteinblick. Die Konzentration steigt hier auf über 10 mg/l, die anderen Stationen an diesem Tag weisen jedoch Werte unter 4 mg/l auf. Betrachtet man die Messtage einzeln, so ist die Konzentration der Schwebstoffe an jeder Station unterschiedlich und es lässt sich kein offensichtlicher Trend erkennen. Das Minimum der Schwebstoffe ist im Februar und Ende Juni mit je ca. 0,4 mg/l zu finden.

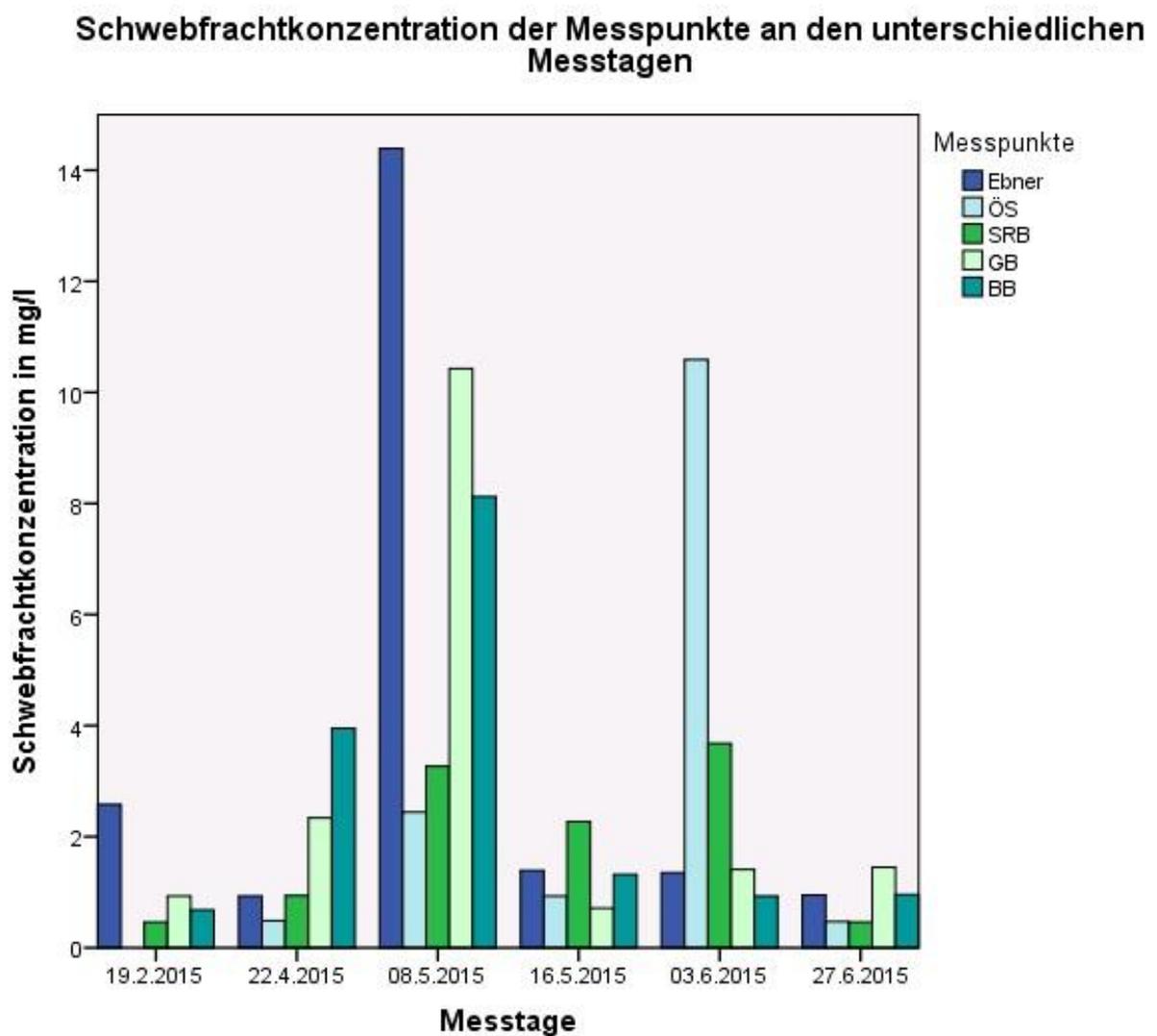


Abb. 10: Schwebfrachtkonzentration der Messpunkte an den unterschiedlichen Messtagen (Quelle: eigener Entwurf).

Betrachtet man nun die Abflusswerte gemeinsam mit den Schwebstoffkonzentrationen (Abb. 11), so ist zu erkennen, dass es bei der Station GB einen recht starken positiven Zusammenhang der Variablen gibt ($R^2 = 0,9074$). Die anderen Stationen weisen diesen Zusammenhang nicht so deutlich auf, jedoch zeigt die Trendlinie an allen Stationen an, dass die Schwebstoffkonzentration bei steigendem Abfluss zunimmt. Bei der Station ÖS ist der Zusammenhang am schwächsten, hier wurde allerdings nur an 3 Tagen gemessen und durch diese geringe Anzahl an Ergebnissen kann keine eindeutige Aussage bezüglich des Trends gemacht werden.

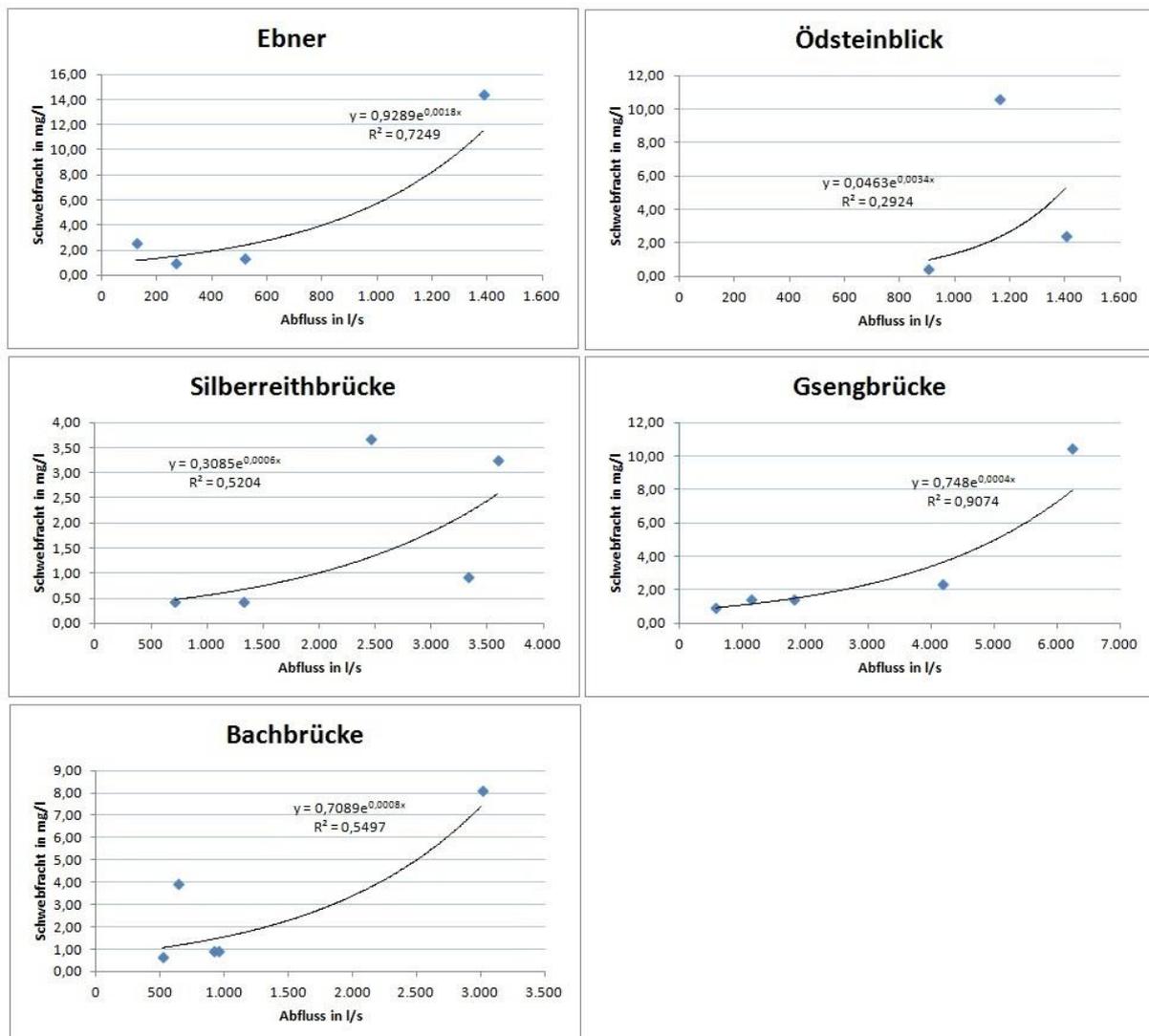


Abb. 11: Verhalten von Abfluss und Schwebfrachtkonzentration von Februar bis Juni an allen Messpunkten mit Abflusswerten (Quelle: eigener Entwurf).

4.3 Lösungsfracht

Die Proben wurden auf ihre Zusammensetzung hin untersucht. Hauptaugenmerk lag hier auf den Kationen und Anionen. Die Ergebnisse werden in Anhang dargestellt um eine gute Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Es wurden wieder 29 Proben der Geländearbeit analysiert. Bei zwei Proben am 08.05.2015 gab es bei dem Messpunkt GB und BB Probleme bei der Analyse der Ionen und die Werte sind nicht plausibel. Da es sich hierbei um einen Messfehler handelt, sind die Werte zwar in den Resultaten im Anhang gelistet, in den folgenden Berechnungen und Diagrammen wurden die Zahlen aber durch die jeweiligen Mittelwerte ausgetauscht da die Ergebnisse sonst nicht repräsentativ wären.

Die am häufigsten vorkommenden, analysierten Ionen sind auf Abb. 12 zu sehen. Den höchsten Anteil hat hier das Calcium mit 52,33%. Dieser hohe Wert ist auf das Karbonatge-

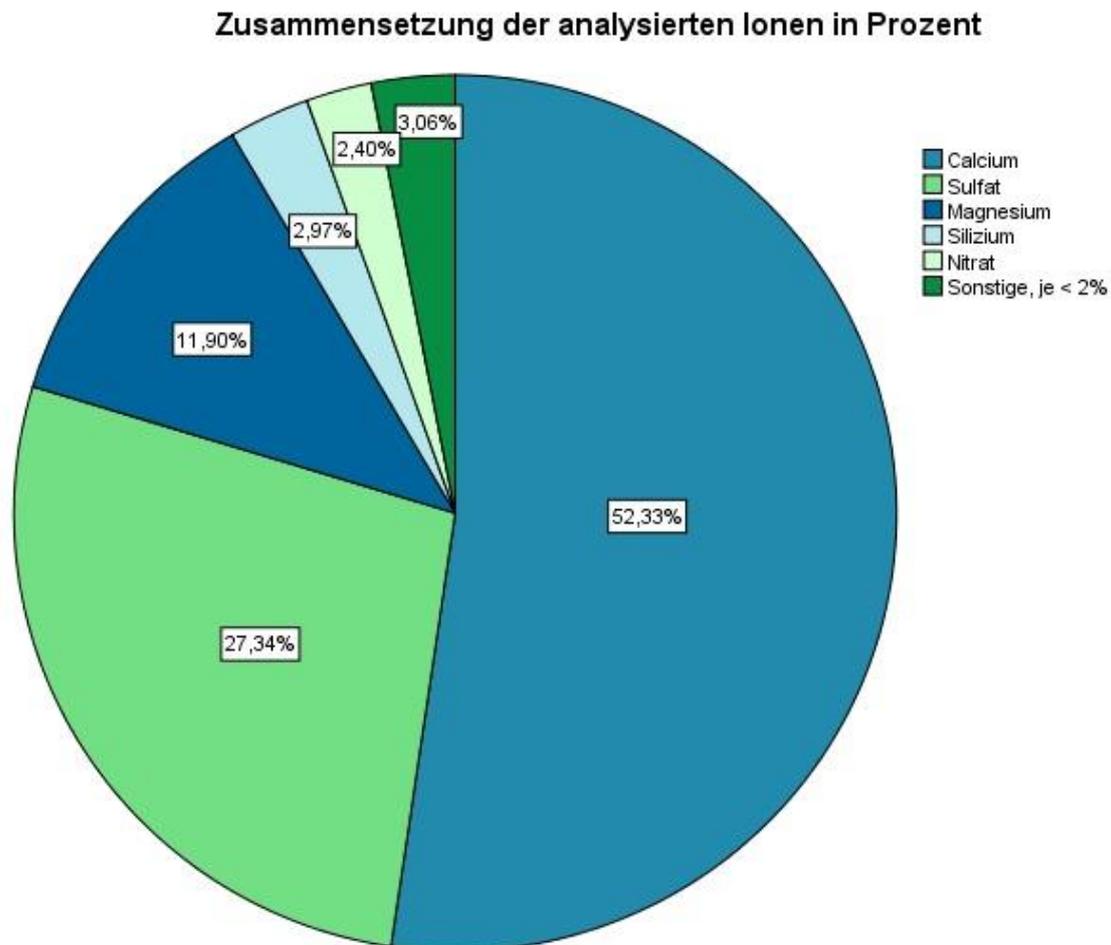


Abb. 12: Zusammensetzung der analysierten Ionen in Prozent (Quelle: eigener Entwurf).

stein im Einzugsgebiet zurückzuführen, welches aus Calcium und Magnesium besteht. Etwas mehr als ein Viertel der Ionen besteht aus Sulfat, welches zu den Hauptbestandteilen

von Süßwasser zählt. Das letzte Viertel setzt sich aus Magnesium, Silizium, Nitrat sowie einer gemeinsamen Gruppe zusammen. Alle Ionen die einen geringeren Anteil als 2,0% aufweisen, wurden gruppiert (Rubidium, Strontium, Cäsium, Barium, Chlorid, Natrium und Kalium) dargestellt. Da die Anteile von Rubidium, Strontium, Cäsium und Barium zwischen 0,0004% und 0,2% liegen und diese Werte sich nur minimal verändern, wurden diese Ionen bei den weiteren Darstellungen nicht mehr berücksichtigt um sich auf die Hauptbestandteile konzentrieren zu können.

Auf Abb. 13 zeigen die gestapelten Balken die Ionenkonzentration der Hauptinhaltsstoffe der Messpunkte im Zeitraum von April-Juni. Die Punktsignatur stellt den Mittelwert der Leitfähigkeit an den Stationen dar.

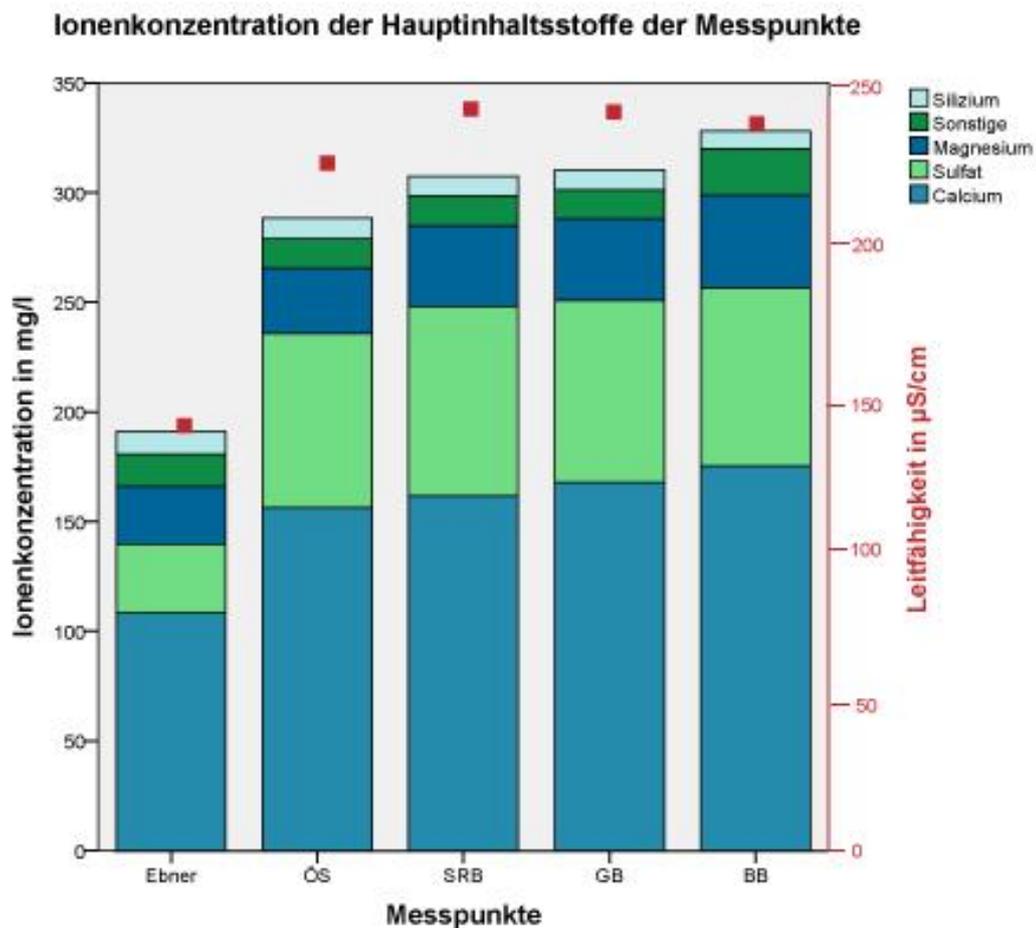


Abb. 13: Ionenkonzentration der Hauptinhaltsstoffe der Messpunkte von April-Juni (Quelle: eigener Entwurf).

Die Messung im Februar wurde nicht berücksichtigt, da hier keine Probe an der Station ÖS genommen wurde und die Daten somit nicht vergleichbar wären. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Anteil an Calcium an allen Messpunkten (mit ca. 50%) am höchsten ist. Weiters

kann man feststellen, dass die Gesamtkonzentration der Ionen im Verlauf des Baches bis zur Mündung in die Enns stetig steigt. Der größte Sprung ist hier zwischen der Station Ebner und ÖS, danach ist der Anstieg nur mehr gering. Vergleicht man nun die Gesamtanzahl der analysierten Ionen mit der gemittelten elektrischen Leitfähigkeit der Stationen, sieht man deutlich, dass hier ein Zusammenhang besteht. Je geringer die Anzahl der Ionen in einer Station sind, desto niedriger die elektrische Leitfähigkeit. So misst die elektrische Leitfähigkeit bei der Station Ebner bei etwas unter 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, bei den anderen Stationen an denen auch die Gesamtionenanzahl höher liegt, ist die Leitfähigkeit auch deutlich höher.

In Abb. 14 wird die Verteilung der Calciumkonzentration bezogen auf die einzelnen Messpunkte und in Verbindung mit den Messtagen veranschaulicht.

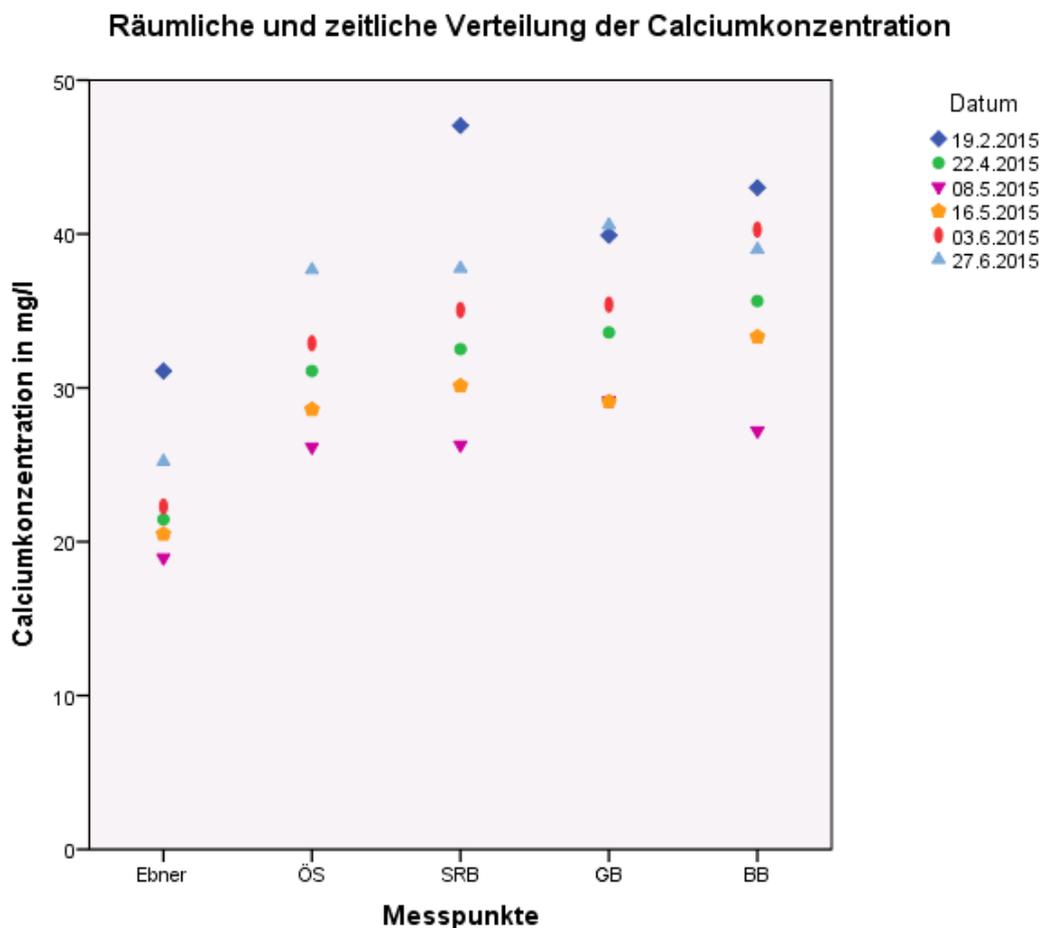


Abb. 14: Räumliche und zeitliche Verteilung der Calciumkonzentration (Quelle: eigener Entwurf)

Die geringsten Werte der Calciumkonzentration wurden an der Station EB gemessen, am 08.05.2015 mit unter 20 mg/l der gesamt geringste Wert. Mit 43,10 mg/l wurde am 19.02.2015 bei der Station SB der höchste Wert gemessen. Allgemein liegen die Ergebnisse am 19.02.2015 sehr hoch, wobei hier die Station ÖS nicht beprobt wurde. Von der Station

EB bis hin zur BB ist generell ein Anstieg der Konzentration zu erkennen. Bei dem Messpunkt SRB liegen die Werte von 08.05.2015 (29,17 mg/l) und vom 16.05.2015 (29,11 mg/l) ziemlich genau übereinander.

Abb. 15 zeigt den Zusammenhang zwischen Abfluss und der Lösungsfrachtkonzentration von allen Geländetagen mit Abflussmessung. Man erkennt hier deutlich, dass bei allen Stationen ein Zusammenhang zwischen Abfluss und Lösungsfracht besteht. Einzige Ausnahme ist die Station BB ($R^2 = 0,3008$) bei der es keinen deutlichen Zusammenhang der Variablen gibt. Die Trendlinien veranschaulichen den Zusammenhang bei den anderen Stationen zusätzlich. Es ist allgemein feststellbar, dass die Konzentration der gelösten Stoffe mit zunehmendem Abfluss sinkt. Bei dem Messpunkt ÖS wurden nur 3 Proben analysiert, hier weist das Ergebnis einen deutlichen Zusammenhang der Variablen auf, auch wenn nur wenige Fälle zur Berechnung herangezogen wurden.

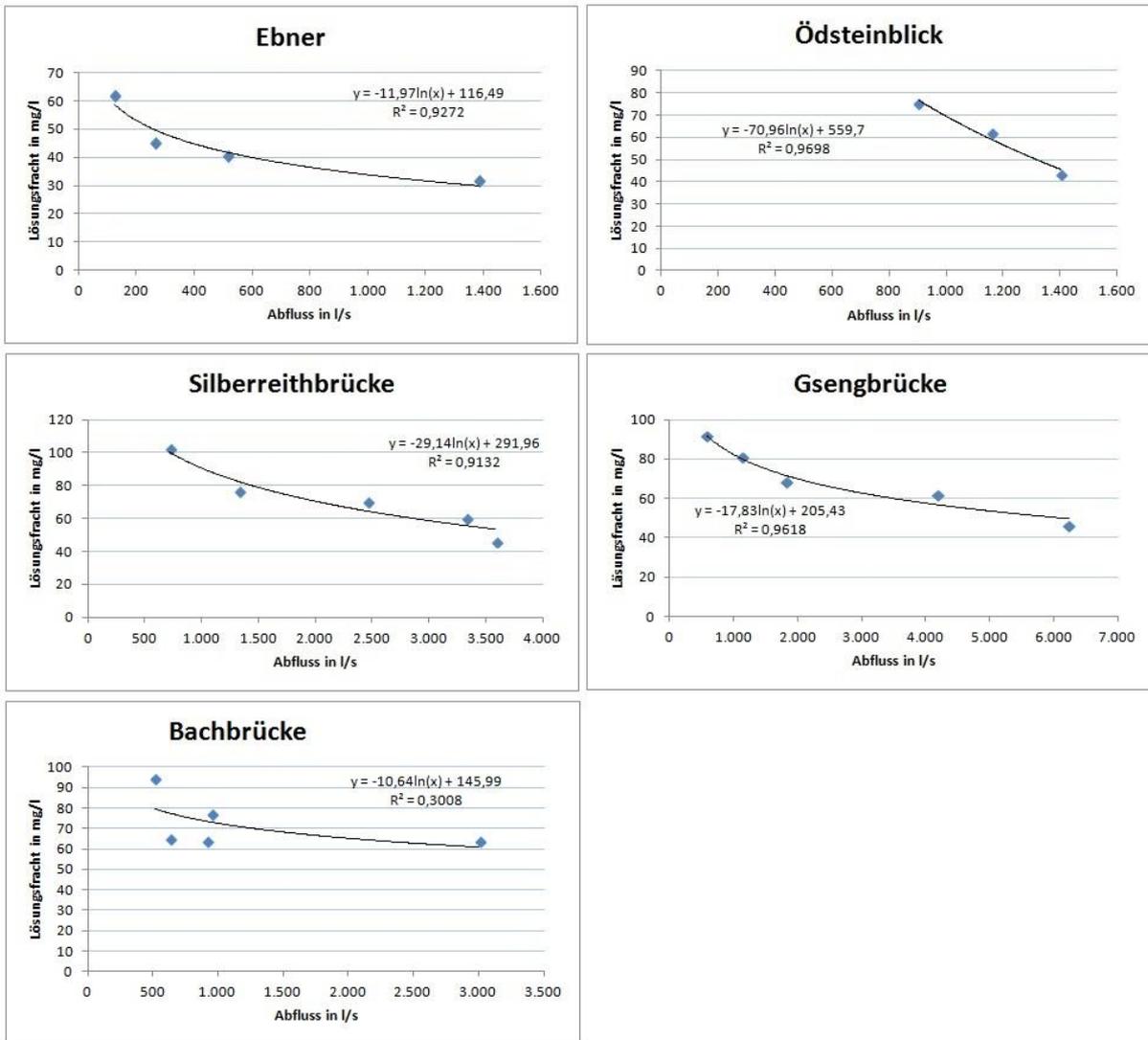


Abb. 15: Verhalten von Abfluss und Lösungsfrachtkonzentration von allen Messpunkten mit Abflusswerten (Quelle: eigener Entwurf).

Abb. 16 zeigt den Zusammenhang zwischen den analysierten Gesamtionen und der elektrischen Leitfähigkeit. Mit Hilfe einer Korrelationsanalyse wurde ein Korrelationskoeffizient von $R^2 = 0,9485$ errechnet, welcher einen stark positiven, linearen Zusammenhang beider Variablen bedeutet. Es erweist sich, dass bei höherer Ionenkonzentration im Wasser gleichzeitig die elektrische Leitfähigkeit höher ist.

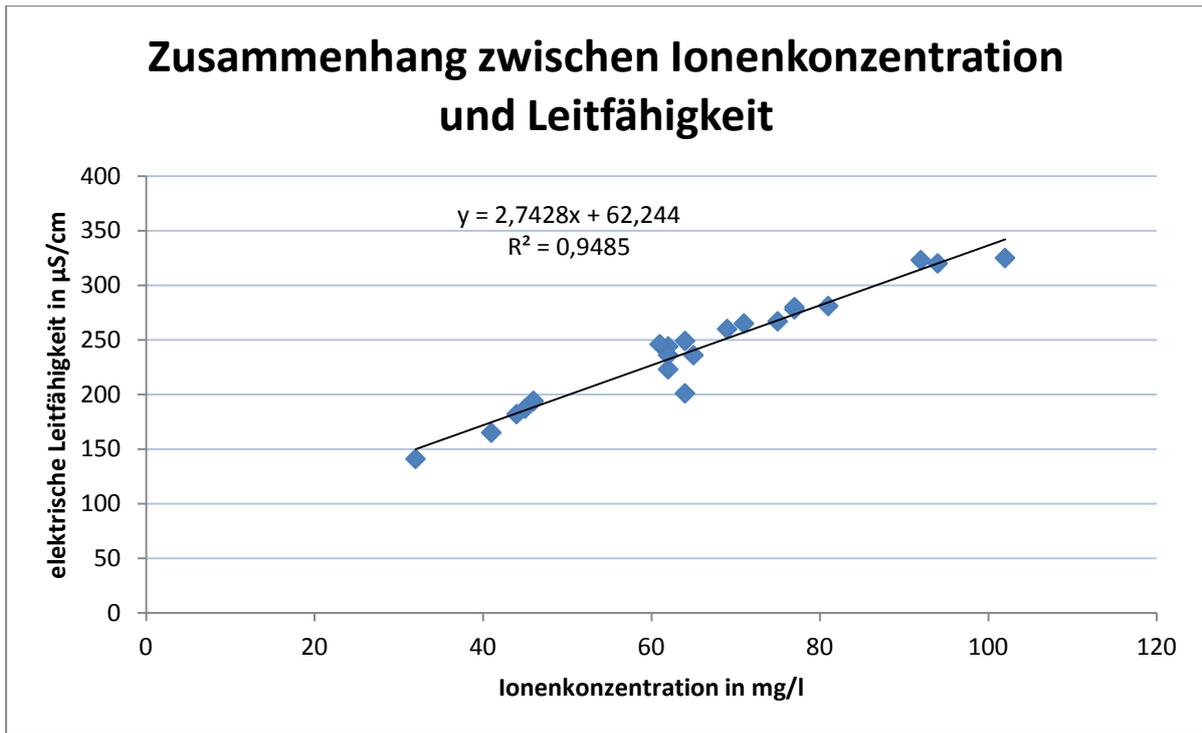


Abb. 16: Zusammenhang zwischen Ionenkonzentration und elektrischer Leitfähigkeit (Quelle: eigener Entwurf).

Auf der Abb. 17 ist die Summe der Lösungs- und Schwebfrachtkonzentrationen während der gesamten Messdauer dargestellt. Die Konzentrationen der Lösungsfracht liegen deutlich höher als die gemessenen Schwebfrachtkonzentrationen.

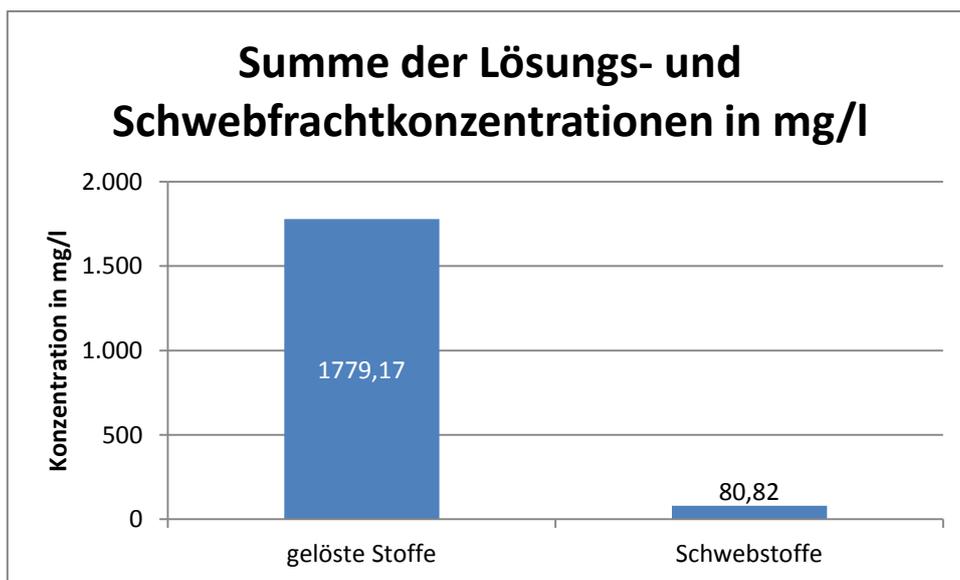


Abb. 17: Summe der Lösungs- und Schwebfrachtkonzentrationen in mg/l während der gesamten Messdauer (Quelle: eigener Entwurf).

5 Diskussion und Interpretation

Die in Kapitel 4 dargestellten Ergebnisse werden im folgenden Teil interpretiert und mit ähnlichen Ergebnissen aus entsprechender Literatur verglichen.

Die in Tab. 3 aufgelisteten Werte geben die Abflusssituation des Johnsbaches an verschiedenen Tagen wieder. An den Messtagen war es immer niederschlagsfrei, am 27.06.2015 war es bedeckt mit zeitweise sehr leichtem Nieselregen, der sich aber nicht unmittelbar auf den Abfluss auswirkte.

Vergleicht man die Werte der Station BB mit denen Haseke (2006) erhobenen Werten im Bereich der Mündung in die Enns (Tab. 1) stellt man fest, dass seine Angaben des niedrigsten Tagesmittelabfluss (NNQ_T) bei 250 l/s liegen. Der am 19.02.2015 gemessene Abflusswert von 516,91 l/s, der in der aktuellen Messung der niedrigste Wert ist, stellt dabei etwas mehr als eine Verdopplung des von Haseke (2006) gemessenen Wertes dar. Daraus könnte man schließen, dass bereits ein wenig, von dem im Februar noch reichlich vorhandene Schnee, geschmolzen ist. Betrachtet man die Temperaturen in dem Zeitraum vom 16.02.2015 – 19.02.2015, so ergeben die Werte der Wetterstation beim Weidendom (NATIONALPARK GESÄUSE GMBH 2015) welcher sich in unmittelbarer Nähe der Messtation befindet, bereits Maximalwerte über 9,5 °C. Man kann davon ausgehen, dass bei diesen Temperaturen Schnee bereits zu schmelzen beginnt und der gemessene Wert von 516,91 l/s bei tieferen Temperaturen unterschritten werden kann. Der von Haseke (2006) gemessene Mittelwasserabfluss (MQ) liegt bei 2.100 l/s und stellt den durchschnittlichen Abfluss eines Normaljahres dar. Verglichen mit den gemessenen Daten, liegt der Abfluss am 08.05.2015 über dem MQ. Dies ist wiederum auf die Schneeschmelze zurückzuführen. Da es sich bei dem MQ um einen Durchschnittswert handelt, ist dieser schwer mit den erhobenen Werten zu vergleichen. Mit den gemessenen Daten kann kein vergleichbarer Durchschnittswert errechnet werden, da ganzjährige, regelmäßige Messung notwendig gewesen wäre.

Der generell niedrigste Abflusswert ergab sich am 19.02.2015 bei der Station Ebner (Abb. 8). Dieser Trockenwetterabfluss ergibt sich daraus, dass zu diesem Zeitpunkt der Niederschlag nur in Form von Schnee fällt und dieser auch in der Schneedecke gespeichert wird und sich somit nicht direkt auf den Abfluss auswirkt. Der Verlauf der Schneeschmelze lässt sich in dieser Abbildung besonders bei der Station SRB und GB ablesen. Der gemessene Abflusswert von Februar steigt ab April stetig an, bis er ca. Ende Mai sein Maximum erreicht. Ab Juni gehen die Abflusswerte wieder zurück, erreichen aber nie das Minimum von Februar, da Niederschlag nur mehr in Form von Regen fällt. Haseke (2006) gibt auch das Fehlen von

Gletschern im Einzugsgebiet als Grund an, weshalb der Abfluss in den Sommermonaten Juli und August relativ gering ist. Da das Schmelzwasser von Gletschern fehlt, erreicht der Johnsbach im Mai sein Maximum mit der allgemeinen Schneeschmelze.

Bezogen auf die Abb. 9 lässt sich sagen, dass der Abfluss vom Oberlauf des Baches bis hin zur Station SRB und teilweise sogar bis zur GB an den gemessenen Tagen stetig steigt. Grund dafür könnten die Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet des Johnsbaches sein, die bis zu diesen Stellen in den Bach münden. Erstaunlich ist, dass das Wasservolumen ab der Station GB bis zur Station BB an fast allen Tagen deutlich abfällt. In einer unpublizierten Arbeit von Schäffer (2013) geht der Autor davon aus, dass es sich in dem Gebiet des Karbonatgesteins um ein unterirdisches Karstsystem handeln könnte, welches mit dem Karstgrundwasser interagiert. Er stellt in seiner Arbeit einen deutlichen Wasserverlust bereits schon etwas vor der Station SRB fest. Bei den aktuellen Messungen gibt es aber an dieser Station noch immer einen Anstieg des Abflusses. Bis auf die Messtage am 19.02.2015 und 27.06.2015 (an den Tagen wurden generell die niedrigsten Werte gemessen), verliert der Johnsbach ab der Station GB deutlich an Wassermenge. Dies lässt, wie auch Schäffer (2013) in seiner Arbeit festgestellt hat, eventuell auf ein Karstsystem schließen, welches erst bei hoher Schüttung aktiviert wird und eine gewisse Wassermenge unterirdisch führt.

Betrachtet man nun die gewählte Methode der Salzverdünnung, so hat sich diese für diese Arbeit als zielführend erwiesen. Nach Becht & Wetzel. (1994) ist dieses Vorgehen vor allem für kleine und mittlere Abflüsse geeignet. Als Obergrenze für dieses Verfahren werden 50.000 l/s angegeben. Der größte Abflusswert während der Messdauer lag bei 6.242,62 l/s und ist somit weit unter dem Grenzwert. Zusätzlich zu der Salzverdünnung wäre es möglich gewesen, mit Hilfe eines hydrometrischen Flügels zu messen um Vergleichswerte zu bekommen. Dies hätte aber zusätzlichen technischen sowie zeitlichen Aufwand erfordert. Weiters kommt es bei einem Vergleich der beiden Methoden nur zu geringen Unterschieden in den Ergebnissen (Becht & Wetzel 1994), sodass bei dieser Arbeit nur eine Methode zur Anwendung kam. Die verschiedenen indirekten Abflussmessverfahren wurden ausgeschlossen, da sie mit einem hohen Kostenaufwand verbunden sind sowie regelmäßigen technischen Überprüfungen und Wartungen. Sollte dieses Projekt allerdings weiterhin durchgeführt werden, könnte eine indirekte Messung an allen Messpunkten regelmäßige Daten liefern und die relativ zeit- und personalaufwändige, direkte Messung ersetzen.

Nun folgt ein Blick auf die Resultate der Schwebstoffmessungen: Die in Tab. 4 dargestellten Schwebfrachtkonzentrationen reichen von 0,46 mg/l bis 14,39 mg. Das Minimum wurde im Februar gemessen, das Maximum im Mai zur Zeit der Schneeschmelze. Um diese Ergebnisse zu vergleichen, wurde das Untersuchungsgebiet der Partnach, einem Wildbach im Reintal (Bayrische Kalkalpen) herangezogen, in den Morche et al. (2008) den fluvialen Sedimenttransport untersucht haben. Das Einzugsgebiet der Partnach besteht aus Karbonatgestein welches der Umgebung des Johnsbaches sehr ähnlich ist. Auch der MQ mit 2.500 l/s ist mit dem des Johnsbaches zu vergleichen (2.100 l/s). Morche et al. (2008) stellten in diesem Gebiet während der Untersuchungen im Jahr 2000 eine maximale Schwebstoffkonzentration von 83 mg/l fest. 2001 reduzierte sich der Wert auf 7 mg/l während er 2002 jedoch 706 mg/l erreichte. 2003 folgte dann ein Minimum mit maximal 3 mg/l und 2004 dann ein enormes Maximum mit 5.357 mg/l (Hochwassersituation). Folglich ist die Schwebstoffkonzentration in diesem Gebiet sehr unterschiedlich. Im Untersuchungsgebiet Johnsbach liegen die Werte, verglichen mit jenen von Morche et al. (2008), im unteren Bereich. Zu beachten ist aber, dass die aktuellen Messungen kein Hochwasserereignis enthalten. Bley & Schmidt (1994) untersuchten ebenfalls einen Wildbach (Lainbach in Oberbayern) und stellten hier mit Hilfe von Trübungssensoren Werte zwischen wenigen mg/l bis hin zu 34,1 g/l fest. Weiters gibt es in Österreich ein Messnetz des hydrographischen Dienstes und des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft welches bestimmte Gewässer hinsichtlich Schwebstoffe untersucht. In folgender Tab. 5 sind drei Stationen mit den Minimal- und Maximalwerten der Schwebstoffkonzentration gelistet.

Tab. 5: Schwebstoffkonzentrationen verschiedener Österreichischer Gewässer im Jahr 2008.

Gewässer	Ort	S ₀ Min. in mg/l	Monat	S ₀ Max. in mg/l	Monat
Inn	Innsbruck	1,05	März	6.381	Mai
Enns	Admont	0,79	November	11.675	Juli
Donau	Hainburg	6,90	November	355	Juni

Quelle: BMLFUW (2010), eigener Entwurf

Allgemein lässt sich festhalten, dass die gemessenen Schwebstoffkonzentrationen im Johnsbach eher gering sind. Es ist aber nicht auszuschließen, dass bei Hochwasserereignissen größere Konzentrationen erreicht werden können, da auch das vergleichbare Gerinne der Partnach sehr hohe Werte bei einer Hochwassersituation aufgewiesen hat (Morche et al. 2008).

Auch die Darstellung der Schwebfrachtkonzentration an verschiedenen Messtagen bringt interessante Sichtweisen mit sich (Abb. 10). Die insgesamt niedrigsten Werte werden am 27.06.2015 erreicht. Laut dem BMLFUW (2010) sind die niedrigsten Schwebstoffkonzentrationen von November – März zu beobachten. Erwartungsgemäß wäre bei diesen Messungen das Minimum am 19.02.2015 gewesen, allerdings wurden an der Station Ebner Konzentrationen von über 2 mg/l gemessen. Eine mögliche Erklärung für diese Abweichung wäre, dass wie beschrieben, an den Tagen vor dem 19.02.2015 bereits Temperaturen über 9,0 °C geherrscht haben. Durch die leicht einsetzende Schneeschmelze könnten bereits kleinste Partikel aus der Bodenoberfläche auftauen und in den Bach gespült werden. Erstaunlich ist, dass diese Konzentration bis zum nächsten Messpunkt abnimmt. Als Begründung könnte hierfür die Wehranlage sein, die sich etwas unterhalb der Station Ebner befindet. Hier wird das Wasser des Baches gestaut und somit wird die Energie des Wassers vermindert. Die in Schwebelage gehaltenen Teilchen könnten absinken und vorübergehend nicht mehr weiter transportiert werden. Der Trend, dass sich die Schwebfracht zwischen dem Messpunkt Ebner und dem Punkt ÖS reduziert, ist bis auf den 03.06.2015 an allen Stationen zu beobachten. Ganz stark beobachtet man diese starke Reduzierung am 08.05.2015. Generell ist zu erkennen, dass es keine kontinuierliche Zunahme der Schwebstoffe bis hin zur Station BB gibt. Die Konzentrationen an dem Messpunkt BB nahe der Mündung zur Enns weisen oftmals niedrigere Werte auf als im Oberlauf des Baches. Erklärbar wäre dieses Verhalten dadurch, dass es im Flussverlauf immer wieder etwas breitere Abschnitte gibt in denen sich das Wasser sehr gut aufteilt und es sehr seicht ist. Durch die verminderte Energie könnten auch hier Teilchen der Schwebfracht wieder vorübergehend abgesetzt werden und dadurch im Unterlauf zu geringerer Konzentration führen.

Um nun die Schwebfracht mit dem Abfluss in Verbindung zu bringen, wurden die einzelnen Messstationen auf Abb. 11 dargestellt. Wolman & Miller (1960) sowie Ahnert (2003) geben an, dass mit steigendem Abfluss sowohl die Schwebfrachtkonzentration als auch die Größe der suspendierten Körner ansteigt. Betrachtet man die Diagramme unter diesen Überlegungen, stellt man fest, dass bei diesen Daten auch ein Trend diesbezüglich erkennbar ist. Am stärksten zeigt sich ein Zusammenhang beider Variablen bei der Station GB mit $R^2 = 0,9074$. Bei den anderen Messpunkten ist dieser Zusammenhang nicht so stark, eine Tendenz ist aber überall sichtbar. Da die errechneten Korrelationen außer bei der Station GB unter 0,75 liegen, dürften sich auch noch andere Faktoren auf die Variablen auswirken. Ein Argument diesbezüglich liefert Schmidt (1992) im Zuge seiner Untersuchungen im Lainbachgebiet: Er stellt fest, dass die Dynamik des Schwebstofftransports nicht nur abflussbedingt ist. Vielmehr sieht er diesen Prozess nicht als kapazitätslimitierten sondern als angebotslimitierten Prozess. Die Ergebnisse des Messpunktes Ebner würden mit dieser Aussage gut erklärbar sein.

Hier finden sich bei relativ niedrigen Abflüssen vergleichsweise hohe Schwebstoffkonzentrationen die dadurch erklärbar sind, dass in dieser Umgebung in der die Grauwackenzone dominant ist und hauptsächlich Phyllite, die die Eigenschaft haben, wenig widerstandsfähig gegenüber Verwitterung und Abtragung zu sein, vorkommen (Lieb & Premm 2008). Auch die hohe Schwebfrachtkonzentration an dem Messpunkt ÖS am 03.06.2015 wäre dadurch erklärbar, da diese sich ebenfalls in der Grauwackenzone befindet und so das Material aus der Umgebung leicht erodierbar wäre. Der hohe Wert der Schwebfrachtkonzentration am 08.05.2015 an der Station GB wäre durch diese Theorie nicht erklärbar, da es sich hier schon um Karbonatgestein handelt, welches zwar leicht löslich ist, aber nur mäßig abtragbar ist. Da hier bei hoher Schwebfrachtkonzentration aber der Abflusswert mit über 6.000 l/s auch sehr hoch ist, wäre dieser Umstand mit den Aussagen von Wolman & Miller (1960) sowie Ahnert (2003) belegbar.

Für die Ermittlung Schwebstoffkonzentration wurde mit der Methode der Einpunktmessung gearbeitet. Diese hatte den Vorteil, dass sie rasch, kostengünstig und mit relativ wenig technischen und personellen Aufwand durchführbar ist. Alternativ wäre eine indirekte Messung über Trübesensoren möglich gewesen. Diese hätte allerdings nicht so exakte Ergebnisse wie die manuelle Probenahme geliefert (DVWK 1986). Da die Schwebfracht in dem Gebiet so unterschiedlich ist, wäre es notwendig gewesen an jeder Stelle einen Sensor anzubringen. Dies hätte neben den hohen Kosten auch vermehrten Aufwand im Bereich der Wartung zur Folge gehabt. Bei weiteren Messungen wäre es empfehlenswert anstelle der 1 L Probeflaschen Entnahmegeräte zu verwenden, die in der Lage sind isokenetisch zu sammeln. Dies würde gewährleisten, dass die Einfließgeschwindigkeit in den Behälter die gleiche ist wie in der Umgebung (BMLFUW 2008). Weiters könnte man anstatt nur eine Probe zu nehmen, an unterschiedlichen Stellen des Flussquerschnitts Proben gewinnen. Arbeiten zeigen, dass die Konzentration der Schwebstoff auch innerhalb des Flussquerschnitts sehr unterschiedlich sein kann (BMLFUW 2008). Eine weitere vorstellbare Optimierung könnte erzielt werden, wenn man die Proben so schnell wie möglich kühl und dunkel lagert. Optimal wäre hier ein Kühlschrank. Durch die rasche Analyse der Proben (3-4 Wochen nach der Probenahme), könnte ein weiterer, möglicherweise beeinflussender, Faktor ausgeschlossen werden (DVWK 1986). Insgesamt hat sich die Methode als gut durchführbar erwiesen, die anschließende Analyse im Labor war allerdings mit Aufwand verbunden, da einiges an Laborgeräten notwendig ist um die gravimetrische Bestimmung des Schwebstoffgehalts durchführen zu können.

Die Analyse der Lösungsfracht stellte einen weiteren wichtigen Punkt im Verlauf der Arbeit dar. In der Abb. 12 sieht man die Zusammensetzung der Wasserproben von allen Stationen an allen Tagen. Laut der IHD-WHO Working Group (1978) spiegeln die Komponenten der Lösungsfracht die chemischen Vorgänge im Einzugsgebiet wider. Da das Einzugsgebiet des Johnsbaches hauptsächlich aus Kalk und Dolomit besteht, stellten die Kationen Calcium und Magnesium, die auch zu den Hauptinhaltsstoffen von natürlichem Wasser zählen, wichtige Komponenten der Wasseranalyse dar. Wie nicht anders zu erwarten, war der Wert von Calcium und Magnesium in den Wasserproben sehr hoch. Calcium erreichte hier über 50%, Magnesium etwas über 11%. Die IHD-WHO Working Group (1978) gibt an, dass Calcium und Magnesium immer in natürlichem Wasser vorkommen, wobei der Magnesiumgehalt immer geringer als der Calciumgehalt ist. Auch diese Aussage stimmt mit den Ergebnissen der Arbeit überein. Erstaunlich ist der hohe Anteil an Sulfat im Wasser. Auch Sulfat gehört zu den Hauptinhaltsstoffen von natürlichem Wasser. Laut der Richtlinie 98/83/EG vom Rat der europäischen Union (1998) gilt für Sulfat ein Grenzwert von 250 mg/l bei Trinkwasser. Als Höchstwert wurde bei dem Messpunkt SRB am 19.02.2015 ein Wert von 37 mg/l gemessen der somit weit unter dem Grenzwert liegt. Das Vorkommen von Silizium lässt sich auf das silikatische Gestein im Bereich des Oberlaufes des Flusses zurückführen. Auch Nitrat ist im natürlichen Wasser vorhanden und hat in der gesamten Zusammensetzung einen kleineren Anteil. Der Anteil der zusammengefassten Gruppe ist jeweils unter 2% und daher nicht weiter im Verlauf der Arbeit beschrieben.

Sieht man sich nun die Ionenkonzentration der verschiedenen Messpunkte an (Abb. 13) ist deutlich erkennbar, dass die Konzentration bis zur Mündung in die Enns stetig zunimmt. Ahnert (2003) gibt an, dass gelöste Stoffe so lange transportiert werden, solange das Wasser fließt. Im Gegensatz zur Schwebfracht werden die gelösten Stoffe bei geringerer Fließgeschwindigkeit nicht abgelagert. Demnach ist die Konzentration, die im Flussverlauf steigt, gut nachzuvollziehen. In dieser Abbildung sind weiters auch die Werte der elektrischen Leitfähigkeit abgebildet. Da die elektrische Leitfähigkeit von der Ionenkonzentration abhängig ist, müsste sie auch mit erhöhter Konzentration steigen IHD-WHO Working Group (1978). Mit dieser Aussage kann auch das aktuelle Ergebnis interpretiert werden. Betrachtet man die Zusammensetzung der einzelnen Stationen wird deutlich, dass der Anteil an Calcium auch hier immer ca. 50% beträgt. Da sich die Messpunkte Ebner und ÖS nicht in unmittelbarer Nähe von Karbonatgestein befinden, muss dieser Wert genauer beleuchtet werden. Ein Blick auf die geologische Übersichtskarte (Abb. 2.) zeigt, dass im Bereich der Station ÖS erzführende Kalke vorzufinden sind. Dadurch könnte sich dieser Wert erklären. Der Wert am Messpunkt Ebner könnte sich dadurch begründen, dass sich im nördlichen Einzugsgebiets Karbonatgestein befindet welches gelöst werden könnte und bis ins Gerinne transportiert

werden kann. Zu bemerken ist hier aber, dass die Konzentrationen an dieser Station niedriger sind als an den weiteren Messpunkten und der Einfluss des Einzugsgebiets hier einen geringeren Bedeutung hat als an den anderen Punkten. Auch die Abb. 14 zeigt die Calciumkonzentration an den unterschiedlichen Messpunkten zusätzlich aber mit der Information des Messzeitpunktes. Die höchsten Konzentrationen wurden hier im Februar gemessen. Ahnert (2003) gibt an, dass es je nach Phase des Abflussganges Unterschiede in der Lösungsfrachtkonzentration geben kann. So wird z.B. bei Trockenwetterabfluss der Fluss durch das Grundwasser gespeist. Ist das anstehende Gestein sehr löslich, kann dieses Grundwasser einen sehr hohen Teil zur Lösungsfracht beitragen. Unter dieser Betrachtung erscheinen die hohen Werte am 19.02.2015 plausibel, da zu diesem Zeitpunkt der Trockenwetterabfluss dominant war und man davon ausgehen kann, dass das anstehende Gestein zum größten Teil aus Karbonaten besteht. Zusammenfassend ergibt sich, dass sich die hohe Calciumkonzentration durch die Gesteinszusammensetzung des Einzugsgebiets erklären lässt.

Als nächster Punkt wird der Zusammenhang zwischen Abfluss und Lösungsfrachtkonzentration besprochen. Abb. 15 zeigt die Lösungsfrachtkonzentration der Messpunkte in Verbindung mit den Abflusswerten. Bis auf den Messpunkt BB weisen alle Stationen ein ähnliches Bild auf: die Konzentration der Lösungsfracht nimmt mit steigendem Abfluss ab. Die hier errechneten Korrelationen ergeben einen Wert von über 0.9 für R^2 . Wolman & Miller (1960) geben an, dass ein großer Teil der Lösungsfracht vom Grundwasser bereitgestellt wird und bei steigendem Abfluss durch Niederschlag oder Schneeschmelze die Konzentration der gelösten Stoffe vermindert wird, da nur wenig gelöste Stoffe Niederschlagswasser enthalten sind. Auch Kasper et al. (1994) erkennen einen Zusammenhang zwischen Ionenkonzentration und Abfluss. Hingegen stellt Gerold et al. (1994) fest, dass sich nur bei geogenen Ionen eine Verdünnung bei größeren Abflüssen einstellt, bei biogen-anthropogenen Ionen wie Sulfat, Chlorid oder Nitrat kommt es eher zu einer Anreicherung. Auf Abb. 15 sind alle analysierten Ionen einbezogen worden. Um die Aussage von Gerold et al. (1994) zu überprüfen, wurde für den Messpunkt GB ein Diagramm erstellt welches die Beziehung zwischen Abfluss und Konzentration von Sulfat, Chlorid und Nitrat darstellt (Abb. 18). Gemäß Abbildung 18 nimmt die Konzentration dieser Stoffe ebenfalls mit dem Abfluss ab. Die Korrelation ist mit 0,9345 sogar sehr hoch. Die Aussage von Gerold et al. (1994) kann somit für diese Station nicht übernommen werden. Grund dafür könnte sein, dass im Untersuchungsgebiet diese Stoffe durch anthropogene Eingriffe nicht bzw. nur gering ins Gerinne gelangen. Bei z.B. starker Düngung entlang des Flusslaufs könnte sich der Nitratwert durch permanente Ausspülung des Bodens erhöhen. Im Gebiet des Johnsbaches ist das aber nicht der Fall.

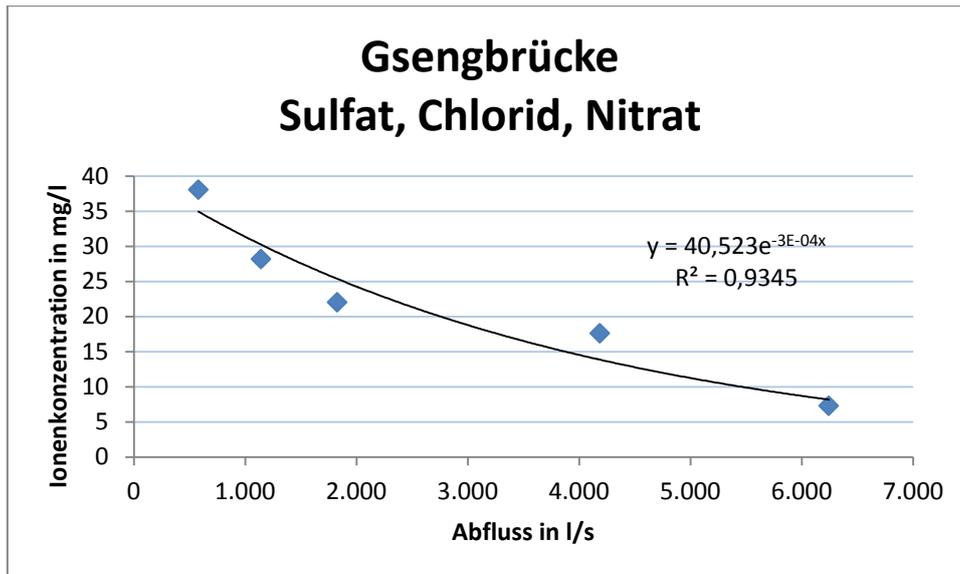


Abb. 18: Ionenkonzentration von Sulfat, Chlorid und Nitrat am Messpunkt Gsengrücke an allen Messtagen (Quelle: eigener Entwurf).

Betrachtet man weiters den Zusammenhang zwischen elektrischer Leitfähigkeit und der Ionenkonzentration, so stellt man fest, dass es hier einen positiven, linearen Zusammenhang gibt (Abb. 16). Der errechnete Korrelationswert beider Variablen ergibt 0,9485 und gibt einen starken Zusammenhang an. Zu bemerken ist hier, dass die elektrische Leitfähigkeit die abhängige Variable darstellt. Je höher die Ionenkonzentration im Wasser ist, desto höher wird auch der Wert der elektrischen Leitfähigkeit sein (IHD-WHO Working Group 1978). Insgesamt bewegen sich die Werte der elektrischen Leitfähigkeit im Johnsbach zwischen 140-325 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die höchsten Werte wurden im Februar gemessen. Grund hierfür ist die hohe Ionenkonzentration zu dieser Jahreszeit. Auch Schütt (1994) stellt in seiner Arbeit einen starken Zusammenhang beider Variablen fest. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Theorie ohne Anpassungen auch auf die Situation vom Johnsbach übertragen werden kann.

Die Abb. 17 stellt zusammenfassend die Gesamtkonzentrationen der gelösten Stoffe sowie der Schwebstoffe dar. Hier ist deutlich zu erkennen, dass die Konzentration der Lösungsfracht mit 1.779,17 mg/l viel höher ist, als die Konzentration der Schwebstoffe mit 80,82 mg/l. Aus diesen Ergebnissen könnte man schließen, dass die gelösten Stoffe im Johnsbach eine größere Rolle spielen als die Schwebstoffe. Ähnliche Ergebnisse entstanden auch bei der Forschung von Morche et al. (2008) im Gebiet der Partnach. Dort wurde ebenfalls festgestellt, dass in diesem vergleichbaren Wildbach die gelösten Stoffe dominanter sind als die Schwebstoffe. Ein vollständiger Vergleich dieser Werte ist jedoch nicht möglich, da die Messungen im Johnsbach nicht über einen längeren Zeitraum durchgeführt worden sind, und

keine extremen Ereignisse mit in die Berechnung eingeflossen sind. Um allerdings das Verhältnis zwischen den beiden Komponenten abschätzen zu können, bieten die Daten eine gute Grundlage.

Um die Konzentrationen der gelösten Stoffe zu ermitteln, war die Methode der einzelnen Probenahmen eine gute Grundlage. Verbesserungsmöglichkeiten ergeben sich hinsichtlich der Probengefäße und der Lagerungsdauer. Von der IHD-WHO Working Group (1978) wird empfohlen spezielle Glasflaschen für die Entnahme der Wasserproben zu verwenden. Weiters wäre eventuell eine getrennte Probenahme zwischen Lösungs- und Schwebstoffen sinnvoll gewesen. Hinsichtlich der Lagerungsdauer gilt, je kürzer, desto besser. Eine Analyse vor Ort wäre ideal, aufgrund von fehlendem technischen Equipment und Kostengründen aber nicht durchführbar. Die Analyseverfahren am Chemieinstitut erwiesen sich als sehr gut, wenn auch zeitaufwendig (12 Stunden für die Analyse von Silikat). Da genau bekannt war, nach welchen Ionen gesucht werden sollte, gab es keine weiteren Probleme bei der Analyse.

6 Schlussfolgerung

Die während des gesamten Untersuchungszeitraumes gewonnenen Daten sollen einen Einblick über die transportierten Stoffe des Johnsbaches geben. Es ist gut gelungen, an unterschiedlichen Tagen mit unterschiedlicher Abflusssituation die Messungen durchzuführen um vielfältige Ergebnisse zu bekommen. Die Resultate zeigen, dass die Lösungsfracht im Verlauf des Baches kontinuierlich zunimmt, während die Schwebfracht sehr unterschiedliche Werte aufweist und kein eindeutiger Trend zu erkennen ist. Bezüglich der Auswirkung der Geologie auf die Messgrößen ist festzustellen, dass die Gesteinszusammensetzung im Einzugsgebiet einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Lösungsfracht hat. Vorwiegend finden sich Calcium, Sulfat und Magnesium in der Hauptzusammensetzung des Wassers, wobei Calcium und Magnesium ein eindeutiges Indiz für Karbonatgestein sind. Bei der Schwebfrachtkonzentration ist dieser Zusammenhang weniger deutlich. Die höchste Schwebstoffkonzentration der gesamten Messdauer wurde an der Station Ebner gemessen die im Bereich der Grauwackenzone liegt in der generell am meisten Schwebfracht zu erwarten wäre. Dieser Wert zieht sich aber nicht kontinuierlich durch die Resultate. Aus den Ergebnissen würde sich ableiten lassen, dass die Geologie des Einzugsgebietes auf die Lösungsfrachtkonzentration mehr Einfluss hat als auf die Schwebfrachtkonzentration.

Die Frage, ob sich Lösungsfracht und Schwebfracht mit dem Abfluss ändern, lässt sich an Hand der Daten gut beantworten. Bei der Schwebfracht ist der leichte Trend feststellbar, dass die Konzentration mit steigendem Abfluss zunimmt. Hingegen ist bei der Lösungsfracht der Trend genau umgekehrt – bei höherem Abfluss werden die gelösten Stoffe im Wasser verdünnt und die Konzentration nimmt dadurch ab. Mit Hilfe der gemessenen Daten kann diese Aussage gut belegt werden, jedoch hätten eine größere Anzahl von Wasserproben und Abflussmessungen diese Ergebnisse noch unterstreichen können.

Die Menge der gelösten Stoffe unterliegt eher geringen Schwankungen innerhalb der Messpunkte. Auch zwischen den unterschiedlichen Messtagen sind keine signifikanten Änderungen oder Ausreißer zu erkennen. Die Menge der Schwebstoffe hingegen ist sehr unterschiedlich. Sie variieren zwischen den Stationen, sowie auch zwischen den einzelnen Messtagen. Der Grund hierfür ist am ehesten im Abflussverhalten des Baches zu suchen. Die Ergebnisse liegen im Bereich zwischen 0,46 mg/l und 14,39 mg/l wobei dieser Wert bei Hochwasserereignissen wahrscheinlich noch deutlich überschritten werden kann.

Die Beantwortung der Frage nach dem Einfluss der Schwebfracht auf den gesamten Sedimenttransport ist schwierig. Vergleicht man die Daten innerhalb des Messzeitraumes stellt die Schwebfracht definitiv eine untergeordnete Rolle da. Dieses Erkenntnis darf aber nicht

verallgemeinert werden. Da vor allem bei Hochwasserereignissen enorme Mengen an Schwebfracht transportiert werden können (BMLFUW 2010) sollten diese bei solchen Prognosen mit einbezogen werden. Während der Feldmessungen wurde kein Hochwasserereignis beobachtet und somit ist keine diesbezügliche Aussage möglich. Bei normalen Abflussverhalten des Gerinnes ist aber damit zu rechnen, dass die Schwebstoffkonzentration einen relativ geringen Teil an dem gesamten Sedimenttransport ausmacht. Einen im Vergleich erstaunlich hohen Wert liefert in diesem Untersuchungsgebiet die Lösungsfrachtkonzentration. Bei weiteren Untersuchungen darf dieser Parameter nicht außer Acht gelassen werden.

Hinsichtlich zukünftiger Forschungsaufgaben wäre ein interessanter Schwerpunkt die Bestimmung der Schwebstoffkonzentration bei Niederschlagsereignissen und Hochwassersituationen. Die minimalen Schwebstoffkonzentrationen bei normalen Abflusssituationen und Erhöhung dieser während der Schneeschmelze sind nun bekannt. Eine Fokussierung auf Maximalwerte würde eine sinnvolle Ergänzung zu den aktuellen Erhebungen darstellen. Weiters könnte der Vergleich mit den Daten der BOKU über die Geschiebefracht neue Erkenntnisse über den gesamten Feststofftransport des Baches bringen.

Ein weiteres interessantes Thema in diesem Zusammenhang wäre die Analyse der unterschiedlichen Korngrößen der Schwebfracht. Dabei wäre speziell die Betrachtung gemeinsam mit dem Abfluss notwendig, eventuell müssten hier Anpassungen bei der Methode der Abflussmessung und der Schwebfrachtmessung gemacht werden (siehe Kapitel 2.2) um zielorientiert arbeiten zu können. Generell gilt, dass die Aussagekraft der Ergebnisse erhöht werden könnte, wenn man regelmäßiger und über längere Zeiträume hinweg Proben nehmen würde und Abflussmessungen durchführen würde.

7 Literatur

- AHNERT, F. (2003): Einführung in die Geomorphologie. 26 Tabellen. 3. Aufl. Stuttgart: Ulmer.
- AMPFERER, O. (1935): Geologischer Führer für die Gesäuseberge. Wien: Geologische Bundesanstalt.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (Hg.) (2013): Landesgesetzblatt 2013, Graz.
- ANDERSON, R. & ANDERSON, S. (2010): Geomorphology: the mechanics and chemistry of landscapes. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- BECHT, M. & WETZEL K.-F. (1994): Abfluss- und Niederschlagsmessung eines Wildbachsystems. In: Barsch, D., Mäusbacher, R., Pörtge, K.-H., Schmidt, K.-H. (Hg): Messungen in fluvialen Systemen. Berlin: Springer Verlag.
- BLEY, D. & SCHMIDT, K.-H. (1994): Schwebstofffassung über die Trübungsmessung in einem Wildbach. In: Barsch, D., Mäusbacher, R., Pörtge, K.-H., Schmidt, K.-H. (Hg): Messungen in fluvialen Systemen. Berlin: Springer Verlag.
- BMLFUW Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hg.) (2008): Schwebstoffe im Fließgewässer. Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransports. Wien: BMLFUW.
- BMLFUW Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hg.) (2010): Hydrographisches Jahrbuch von Österreich. Wien: BMLFUW.
- DIGITALE GEWÄSSERKARTEI STEIERMARK (2015). Hg. v. Wildbach und Lawinenverbauung. Online verfügbar unter https://wis.stmk.gv.at/wisonline/wbo_dgk_search.aspx, zuletzt geprüft am 15.01.2015.
- DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1986): Schwebstoffmessungen. Hamburg, Berlin: Verlag Paul Parey.
- DYCK, S. & PESCHKE, G. (1989): Grundlagen der Hydrologie. 2. Aufl. Berlin: Verl. für Bauwesen.
- GEROLD, G., MOLDE, P., PÖRTGE, K.-H. (1994): Bodenfeuchte, Oberflächenabfluss und Stoffaustrag. In: Barsch, D., Mäusbacher, R., Pörtge, K.-H., Schmidt, K.-H. (Hg): Messungen in fluvialen Systemen. Berlin: Springer Verlag.
- GOUDIE, A. (Hg) (1995): The changing earth. Rates of geomorphological processes. Cambridge: Blackwell Publishers.
- FÜRST, J. (2012): Gewässerkunde und Hydrometrie. Boku Wien (unpubliziert).
- HASEKE, H. (2006): Managementplan. Revitalisierungsprojekt Johnsbach-Zwischenmäuer. Nationalpark Gesäuse. Weng im Gesäuse.

- HASITSCHKA, J. (2010): Johnsbach im Gesäuse. Innsbruck: Österr. Alpenverein (Alpingschichte kurz und bündig).
- HELLMANN, H. (1999): Allgemeine Hydrologie. In: LIEBSCHER, H.-J. (Hg.): Lehrbuch der Hydrologie. Berlin: Borntraeger, S. 24.
- IHD-WHO WORKING GROUP ON THE QUALITY OF WATER (1978): Water quality surveys. In: Studies an reports in hydrology, Nr. 23.
- KASPER, E., JORDAN, U., BAUER, M. (1994): Bilanzierung der Erosionsleistung am Beispiel eines jungen Mittelgebirgsflusses. In: Barsch, D., Mäusbacher, R., Pörtge, K.-H., Schmidt, K.-H. (Hg): Messungen in fluvialen Systemen. Berlin: Springer Verlag.
- LIEB, G. UND PREMM, M. (2008). In: KREINER, D. & ZECHNER, L. (HG.): Der Johnsbach. Weng: Nationalpark Gesäuse (Schriften des Nationalparks Gesäuse).
- LIENIG, D. (1983): Wasserinhaltsstoffe. Bedeutung und Erfassung. 2. Aufl. Berlin: Akad.-Verlag.
- MORCHE, D., WITZSCHE, M., SCHMIDT, K. (2008): Hydrogeomorphological characteristics and fluvial sediment transport of a high mountain river (Reintal Valley, Bavarian Alps. In: Zeitschrift für Geomorphologie, 2008, Volume 52, Supplement 1, S. 51-77.
- NATIONALPARK GESÄUSE GMBH (2015): Online verfügbar unter www.natioalpark.co.at, zuletzt geprüft am 09.08.2015.
- PRESS, F. UND SIEVER R. (1995): Allgemeine Geologie. Eine Einführung. In: SCHWEIZER, V. (Hg.). Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum, Akad. Verl. (Spektrum-Lehrbuch).
- RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (1998): Richtlinie 98/83/EG über die Qualität von Wasser für den Menschlichen Gebrauch.
- REDLICH, K. (1923): Die Erzvorkommen der Umgebung von Neuberg bis Gollrad. In: Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien; 10/11; 1923.
- SCHÄFFER, J. (2013): Oberflächenabfluss in alpinen Karstgebieten am Beispiel des Johnsbachtals (unpubliziert). Bachelorarbeit, Universität Graz.
- SCHMIDT, K. (1992): Feststofftransport und Flussbettdynamik in Wildbachsystemen. Das Beispiel des Lainbachs in Oberbayern. In: Die Erde, 123.
- SCHÜTT, B. (1994): Ermittlung des Stoffhaushaltes. In: Barsch, D., Mäusbacher, R., Pörtge, K.-H., Schmidt, K.-H. (Hg): Messungen in fluvialen Systemen. Berlin: Springer Verlag.
- SIGG, L. & STUMM, W. (Hg.) (1996): Aquatische Chemie. Zürich: vdf Hochschulverlag.
- SMART, G.; JAEGLI, M. (1983): Sedimenttransport in steilen Gerinnen ; Vischer, D. (Hg.). Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Nr. Nr. 64. Zürich.

THONHAUSER, H. (2007): Gewässerstruktur und Verbauungsgeschichte im Einzugsgebiet des Johnsbaches. Diplomarbeit. Karl-Franzens-Universität, Graz. Institut für Geographie und Raumforschung.

WOLMAN, M. & MILLER, J. (1960): Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. In: The Journal of Geology, 1960, Vol. 68, issue 1, S. 54-77.

ZEPP, H. (2013): Geomorphologie. Eine Einführung. In: HEINEBERG, H. (Hg.): Grundriss Allgemeine Geographie. 6. Aufl. PADERBORN: Schöningh UTB.

Anhang

Ergebnisse der Lösungsfrachtanalyse

		Natrium	Magnesium	Kalium	Calcium	Rubidium	Strontium	Cäsium	Barium	Silicium	Chlorid	Sulfat	Nitrat
Name	Datum	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
BB	19.02.2015	1,20	10,32	0,42	43,01	0,0006	0,22	0,00026	0,03	1,54	0,37	35,83	1,29
Ebner	19.02.2015	1,30	8,56	0,47	31,10	0,0007	0,16	0,00025	0,02	2,35	0,22	16,23	1,58
GB	19.02.2015	1,17	10,16	0,43	39,91	0,0007	0,22	0,00025	0,03	1,68	0,34	36,43	1,29
SRB	19.02.2015	1,26	10,56	0,47	47,05	0,0006	0,23	0,00028	0,04	1,74	1,82	37,00	2,15
BB	22.04.2015	1,37	8,64	0,38	35,64	0,0006	0,13	0,00025	0,03	1,51	0,35	15,44	1,36
Ebner	22.04.2015	0,92	5,29	0,29	21,45	0,0006	0,09	0,00025	0,02	2,05	0,18	6,82	1,52
GB	22.04.2015	0,94	7,56	0,34	33,60	0,0007	0,13	0,00026	0,03	1,68	0,29	15,94	1,38
ÖS	22.04.2015	0,87	5,86	0,31	31,10	0,0006	0,12	0,00025	0,02	1,77	0,33	15,42	1,46
SRB	22.04.2015	0,92	7,49	0,27	32,52	0,0005	0,13	0,00024	0,03	1,65	0,29	16,17	1,18
BB	08.05.2015	0,90	6,64	0,33	27,21	0,0005	0,10	0,00023	0,03	1,55	11,34	20,14	6,53
Ebner	08.05.2015	0,97	4,09	0,32	18,95	0,0016	0,07	0,00026	0,02	1,95	0,24	3,84	1,47
GB	08.05.2015	55,71	6,47	0,51	29,17	0,0007	0,10	0,00026	0,03	1,63	61,74	6,74	0,25
ÖS	08.05.2015	0,89	4,65	0,29	26,15	0,0006	0,09	0,00026	0,02	1,80	0,22	8,64	0,91
SRB	08.05.2015	0,86	6,08	0,26	26,29	0,0006	0,09	0,00023	0,03	1,67	0,21	9,09	1,52
BB	16.05.2015	1,05	8,02	0,45	33,32	0,0006	0,12	0,00025	0,03	1,62	0,35	12,49	1,43
Ebner	16.05.2015	0,95	4,76	0,27	20,50	0,0007	0,08	0,00027	0,02	1,99	0,16	4,91	1,60
GB	16.05.2015	0,95	6,53	0,30	29,11	0,0007	0,11	0,00026	0,03	1,90	0,28	12,61	1,31
ÖS	16.05.2015	0,93	5,47	0,29	28,60	0,0007	0,11	0,00028	0,02	1,86	0,22	12,02	1,10
SRB	16.05.2015	0,99	6,67	0,29	30,13	0,0006	0,11	0,00026	0,03	1,78	0,25	12,75	1,07

		Natrium	Magnesium	Kalium	Calcium	Rubidium	Strontium	Cäsium	Barium	Silicium	Chlorid	Sulfat	Nitrat
Name	Datum	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
BB	03.06.2015	1,15	9,83	0,50	40,28	0,0007	0,17	0,00024	0,03	1,65	0,23	8,71	1,45
Ebner	03.06.2015	1,04	5,80	0,31	22,29	0,0005	0,10	0,00026	0,02	2,21	0,26	7,19	1,32
GB	03.06.2015	1,05	7,86	0,34	35,41	0,0007	0,15	0,00029	0,03	1,90	0,30	21,04	0,70
ÖS	03.06.2015	0,97	6,49	0,29	32,90	0,0006	0,14	0,00024	0,02	1,96	0,22	18,03	1,16
SRB	03.06.2015	1,06	7,86	0,30	35,06	0,0006	0,15	0,00025	0,03	1,88	0,32	22,74	1,16
BB	27.06.2015	1,07	9,26	0,41	38,99	0,0006	0,17	0,00024	0,03	1,70	0,34	24,07	1,36
Ebner	27.06.2015	1,00	6,48	0,34	25,21	0,0006	0,11	0,00025	0,02	2,20	0,17	8,45	1,46
GB	27.06.2015	1,10	8,65	0,39	40,58	0,0007	0,18	0,00025	0,03	1,88	0,31	26,69	1,19
ÖS	27.06.2015	1,02	7,26	0,33	37,67	0,0006	0,17	0,00024	0,03	1,92	0,23	25,32	1,32
SRB	27.06.2015	1,06	8,45	0,31	37,76	0,0007	0,18	0,00025	0,03	1,86	0,27	25,69	1,18