



universität  
wien

# MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Auswirkungen eines Dammschadenereignisses auf  
Sedimentologie und Konnektivität der Kaja,  
Nationalpark Thayatal“

verfasst von / submitted by

Maria Theresia Wurster BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of  
Master of Science (MSc)

Wien, 2017 / Vienna 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt /  
degree programme code as it appears on  
the student record sheet:

A 066 855

Studienrichtung lt. Studienblatt /  
degree programme as it appears on  
the student record sheet:

Master Geographie

Betreut von / Supervisor:

Mag. Dr. Ronald Pöpl BA

## DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei Allen bedanken, die mich in den letzten Jahren begleitet und unterstützt haben.

Mein besonderer Dank geht an Dr. Ronald Pöpl für die Betreuung dieser Masterarbeit und an die Mitarbeiter des „SagSED“-Projekts: Christian Übl (Nationalpark Thayatal), Daniel Trauner (Wassercluster Lunz), Thomas Hein (BOKU), Thomas Hein (Blattfisch), Gabriele Weigelhofer (Wassercluster Lunz) und Christian Scheder (Blattfisch).

Liebe Mama, lieber Papa, danke, dass ihr mir mein Studium ermöglicht und meine Entscheidungen unterstützt habt.

Danke an die Kartierhilfen und Korrekturleser. Danke, Flo, dass Du immer dabei warst: beim Kartieren, Freeze-Cores-Ziehen, im Labor und beim Redigieren.

---

# INHALTSVERZEICHNIS

Danksagung .....	I
Inhaltsverzeichnis .....	II
Verzeichnis der Abbildungen .....	IV
Verzeichnis der Diagramme.....	V
Verzeichnis der Tabellen.....	VI
Kurzfassung.....	VII
Abstract .....	VIII
1. Einleitung.....	1
2. Untersuchungsgebiet – Die Kaja und ihr Einzugsgebiet .....	2
2.1 Allgemeines zum Untersuchungsgebiet .....	2
2.1.1 Lithologie .....	3
2.1.2 Relief .....	4
2.1.3 Klima .....	5
2.1.4 Böden.....	6
2.1.5 Vegetation und Landnutzung .....	7
2.1.6 Der Nationalpark Thayatal .....	7
2.2 Die Kaja und ihr Einzugsgebiet.....	9
2.2.1 Hydrogeographische Kennzahlen .....	9
2.2.2 Abflussganglinie .....	10
2.2.3 Längsprofil .....	11
2.2.4 Verbauung des Kajabaches .....	12
2.3 Die Kaja unterhalb des Sagteiches .....	13
3. (Sediment-)Konnektivität – Theoretischer Hintergrund.....	15
3.1 Arten von Konnektivität.....	17
3.1.1 Longitudinale Konnektivität.....	17
3.1.2 Laterale Konnektivität.....	17
3.1.3 Vertikale Konnektivität .....	18
3.1.4 Temporale Konnektivität .....	18
3.2 Einflüsse auf die Konnektivität .....	18
3.2.1 Barriers .....	18
3.2.2 Buffers .....	20
3.2.3 Blankets .....	21
4. Hintergrund und Fragestellung.....	22
4.1 Zeitliche Abfolge der Ereignisse und Geländephasen.....	22
4.2 Fragestellung .....	25

---

5. Mögliche Auswirkungen des Feinsedimenteintrages auf die (vertikale) Sedimentkonnektivität und das Hyporheische Interstitial .....	26
6. Methodik und Datengrundlage .....	30
6.1 Datengrundlage .....	30
6.2 Geomorphologische Kartierung.....	30
6.3 Sedimentologische Untersuchung .....	31
6.3.1 Verortung der Probestrecken .....	31
6.3.2 Entnahme der Freeze Cores.....	34
6.3.3 Analyse der Korngrößenverteilung .....	36
7. Ergebnisse .....	40
7.1 Ergebnisse der Geomorphologischen Kartierung.....	40
7.2 Ergebnisse der Freeze-Core Analysen.....	44
7.2.1 Probestrecke Kajabach 1 .....	45
7.2.2 Probestrecke Kajabach 2 .....	53
7.2.3 Vergleichsstrecke Merkersdorfer Bach.....	61
7.3 Diskussion der Ergebnisse der Freeze-Core Analyse .....	68
8. Resümee .....	74
9. Literaturverzeichnis .....	75
Erklärung.....	75

---

## VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebietes (Quelle: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) .....	2
Abbildung 2: Geologie des Einzugsgebietes im Überblick (Quelle: Geologische Bundesanstalt) .....	3
Abbildung 3: Geologie des Einzugsgebietes im Detail (Quelle: Geologische Bundesanstalt) .....	4
Abbildung 4: Relief und Hangneigung des Einzugsgebietes (Quelle: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) .....	5
Abbildung 5: Klimawerte des Untersuchungsgebietes (ZAMG) .....	5
Abbildung 6: Bodentypengruppen und Bodenarten im Einzugsgebiet (Quelle: eBOD, Bundesforschungszentrum für Wald (BFW). <a href="http://gis.lebensministerium.at/ebod">http://gis.lebensministerium.at/ebod</a> ) .....	6
Abbildung 7: Landnutzung und Vegetation im Einzugsgebiet (Quelle: CORINE (2000); Umweltbundesamt) .....	7
Abbildung 8: Nationalpark Thayatal, Übersicht (Quelle: np-thayatal.at) .....	8
Abbildung 9: Edelkrebs im Kajabach, Nähe Probestelle K1 .....	8
Abbildung 10: Flussnetz der Kaja (Quelle: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Poepl, 2010) .....	10
Abbildung 11: Abflussgang der Pulkau (Poepl et al. 2015) .....	11
Abbildung 12: Flusslängsprofil der Kaja .....	12
Abbildung 13: Lage der Fischteiche am Kajabach (Quelle: Poepl, 2010, eigene Bearbeitung) .....	13
Abbildung 14: Verortung des Untersuchungsgebietes unterhalb des Sagteiches (Quelle: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Gruppe Wasser) .....	13
Abbildung 15: Längsprofil der Kaja, Unterhalb Sagteich .....	14
Abbildung 16: Die vier Dimensionen von Konnektivität (Verändert nach Ward, 1989, S. 3) .....	17
Abbildung 17: Beispiele für Barriers im Kajabach (Links: Bedrockstep, Rechts: Verkläusung) .....	19
Abbildung 18: Beispiele für Buffers im Kajabach .....	20
Abbildung 19: Beispiele für Blankets im Kajabach .....	21
Abbildung 20: Blick auf den alten Damm (l) und vom Damm bachabwärts (r) (09/2015), C: Übl, 2015 .....	22
Abbildung 21: Sagteich ohne Wasser, Blick vom Damm Richtung Westen (10/2015); erste Erosionserscheinungen (11/2015) (C: Übl, 2015) .....	22
Abbildung 22: Erosionsspuren an der Gewässersohle .....	23
Abbildung 23: Damm nach dem Starkregen .....	23
Abbildung 24: Ablagerungen entlang der Kaja, I .....	23
Abbildung 25: Ablagerungen entlang der Kaja, II .....	23
Abbildung 26: Tiefe der Ablagerungen, Beispiel (C: Übl, 15) .....	23
Abbildung 27: Feinsandakkumulation vor Verkläusung .....	23
Abbildung 28: Unterscheidung der Orte der Ablagerung (Schälchli, 1993, S. 23) .....	26
Abbildung 29: Verortung der Probenahmestellen, Überblick (Quelle: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Gruppe Wasser) .....	31
Abbildung 30: Probestrecke K1 im März (l) und Oktober (r) .....	32
Abbildung 31: Probestrecke K2 im März (l) und Oktober (r) .....	32
Abbildung 32: Probestrecke M im März (l) und Oktober (r) .....	33
Abbildung 33: Skizze des Freeze-Cores (Stocker und Williams, 1972) .....	34
Abbildung 34: I: Einschlagen des Cores .....	35
Abbildung 35: II: Befüllen des Cores mit Stickstoff .....	35
Abbildung 36: III: Durchgefrorener Core .....	35
Abbildung 37: IV: Entnahme des Cores .....	35
Abbildung 38: Entnommener Core .....	36
Abbildung 39: Pipettierung der Proben .....	38
Abbildung 40: Vergleich der Ablagerungen im März und Oktober .....	40
Abbildung 41: Kanalisierung der Kaja unterhalb des Sagteichs .....	41
Abbildung 42: Vergleich des Ablagerungsgebietes und der Nationalpark Grenze .....	41

---

Abbildung 43: Zusammenhang zwischen Verklausungen und Sedimentation .....	42
Abbildung 44: Verortung der Standorte K1A, K1AN, K1B und K1BN .....	45
Abbildung 45: Freeze Core K1A – März .....	45
Abbildung 46: Freeze Core K1AN - Oktober .....	46
Abbildung 47: Freeze Core K1B – März .....	49
Abbildung 48: Freeze Core K1BN – Oktober .....	50
Abbildung 49: Verortung der Standorte K2A, K2AN, K2B und K2BN .....	53
Abbildung 50: Freeze Core K2A – März .....	53
Abbildung 51: Freeze Core K2AN – Oktober .....	55
Abbildung 52: Freeze Core K2B – März .....	57
Abbildung 53: Freeze Core K2BN – Oktober .....	58
Abbildung 54: Verortung der Standorte MA, MAN, MB und MBN .....	61
Abbildung 55: Freeze Core MA – März .....	62
Abbildung 56: Freeze Core MAN – Oktober .....	63
Abbildung 57: Freeze Core MB – März .....	64
Abbildung 58: Freeze Core MBN – Oktober .....	65
Abbildung 59: Veränderung der Feinsedimente im Core - Räumliche Einordnung (Quelle: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Gruppe Wasser).....	68
Abbildung 60: Probestrecken Biogeochemie und Makrozoobenthos (Quelle: austrianmap.at).....	71

## VERZEICHNIS DER DIAGRAMME

Diagramm 1: Gesamtmenge des abgelagerten MAterials im Vergleich .....	41
Diagramm 2: Kornfraktionen in Prozent - K1A .....	46
Diagramm 3: Kornfraktionen in Prozent - K1AN .....	47
Diagramm 4: Prozentualer Anteil von Grob- und Feinmaterial (K1A und K1AN) .....	47
Diagramm 5: Veränderung der Korngrößenverteilung K1A und K1AN .....	48
Diagramm 6: Kornfraktionen in Prozent - K1B .....	49
Diagramm 7: Kornfraktionen in Prozent - K1BN .....	50
Diagramm 8: Prozentualer Anteil von Grob- und Feinmaterial (K1B und K1BN) .....	51
Diagramm 9: Veränderung der Korngrößenverteilung K2A und K2AN .....	51
Diagramm 10: Kornfraktionen in Prozent – K2A .....	54
Diagramm 11: Kornfraktionen in Prozent – K2AN .....	55
Diagramm 12: Prozentualer Anteil von Grob- und Feinmaterial (K2A und K2AN) .....	56
Diagramm 13: Veränderung der Korngrößenverteilung K2A und K2AN .....	56
Diagramm 14: Kornfraktionen in Prozent – K2B.....	58
Diagramm 15: Kornfraktionen in Prozent – K2BN .....	59
Diagramm 16: Prozentualer Anteil von Grob- und Feinmaterial (K2B und K2BN) .....	59
Diagramm 17: Veränderung der Korngrößenverteilung K2B und K2BN.....	60
Diagramm 18: Kornfraktionen in Prozent - MA .....	62
Diagramm 19: Kornfraktionen in Prozent - MAN .....	63
Diagramm 20: Prozentualer Anteil von Grob- und Feinmaterial (MA und MAN).....	64
Diagramm 21: Kornfraktionen in Prozent - MB .....	65
Diagramm 22: Kornfraktionen in Prozent - MBN.....	66
Diagramm 23: Prozentualer Anteil von Grob- und Feinmaterial (MB und MBN) .....	66

---

Diagramm 24: Veränderung der Korngrößenverteilung MB und MBN .....	67
Diagramm 25: Vergleich der Feinsedimentbelastung pro Core in Prozent .....	68

## VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tabelle 1: Hydrogeographische Kennzahlen der Kaja (nach Poepl, 2010) .....	9
Tabelle 2: Klassifikation der Channel-Reach Connectivity (Hooke, 2003, S. 85).....	15
Tabelle 3: Linkages (verändert nach Brierley et al. 2006, S. 168/169) .....	16
Tabelle 4: Zeitliche Abfolge der Ereignisse und Geländephasen .....	24
Tabelle 5: Datengrundlage.....	30
Tabelle 6: Benennung der Freeze-Core Proben.....	33
Tabelle 7: Untergliederung und Kornfraktionen des Grob- und Feinbodens (nach Glaser et al. 2017) .....	37
Tabelle 8: Berechnung des Schluffanteils (Bsp.).....	39
Tabelle 9: Grade der Kolmation (Zitiert nach Schweizer, 2008) .....	44
Tabelle 10: Veränderung der Feinsedimentanteile nach Tiefenschichten .....	69

---

## KURZFASSUNG

Konnektivität lässt sich definieren als Transfer von Material und Energie innerhalb eines Systems und auch über dessen Grenzen hinaus. Sedimentkonnektivität beschreibt das Potential für Sedimenttransfer in einer Landschaft. Dabei finden auch Verteilung und Charakteristik der Ablagerungen Beachtung. Die Konnektivität einer Landschaft kann durch verschiedene Formen unterbrochen werden. Dämme sind eine dieser Formen: sie verringern die Sedimentkonnektivität im Gewässer und stellen temporäre Materialspeicher dar. Das Entfernen von Dämmen remobilisiert das angelagerte Material. Im Dezember 2015 kam es in Folge eines Dammschadenereignisses im Kajabach, Nationalpark Thayatal, zur Freisetzung von mehreren Tonnen Feinmaterial, welches in weiterer Folge in den Bach eingespült wurde. Nachdem ein Teil dieser Feinsedimente bereits durch Baggerarbeiten entfernt worden war, beschlossen die Verantwortlichen des Nationalparks, mittels einer Spülung weiteres Material auszuschwemmen. Im Rahmen dieser Arbeit sollen die Auswirkungen untersucht werden, welche der Eintrag des Feinmaterials auf die Sedimentcharakteristik der abwärts gelegenen Bachabschnitte hat, daneben soll auch die Rolle der Sedimentkonnektivität im Bachbett beleuchtet werden.

Das Untersuchungsobjekt befindet sich im Nationalpark Thayatal, Niederösterreich. Das Klima in der Region ist gemäßigt, mit einer Mitteltemperatur um 8°C und jährlichen Niederschlägen zwischen 500 und 600 mm. Die Morphologie im Quellgebiet des Kajabaches weist nur geringe Reliefenergie auf, da die Landschaft aus weiten Tälern besteht, meist verfüllt mit Lössschichten aus dem Quartär. In den tieferen Lagen, wo die Kaja sich Richtung Thaya tief in die kristallinen Ausgangsgesteine der Böhmisches Masse einschneidet, herrschen steile, enge Täler vor. Damit geht auch eine veränderte Landnutzung einher: Von intensiv landwirtschaftlich genutzten Bereichen im Oberlauf hin zu bewaldeten Ufern im Bereich des Nationalparks.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden zwei Methoden angewandt: Zum einen eine geomorphologische Kartierung entlang der Kaja, dabei wurden alle Feinsedimentbänke, ihre Lage und Größe mittels GPS erfasst, zusätzlich wurden Verklausungen festgehalten. Diese Daten wurden mit ESRI ArcMAP weiterverarbeitet. Die zweite Methode bestand aus der Entnahme von Freeze-Cores aus dem Bachbett und deren granulometrischer Analyse. Dafür wurden im März und Oktober jeweils zwei Cores an je drei Probestrecken entnommen, in 10 cm Abschnitte unterteilt und anschließend deren Korngrößenverteilung ausgewertet. Die Analyse der Korngröße erfolgte auf Grundlage der ÖNORM L 1061-1 2002 02 01: Teil 1: Grobboden und Teil 2: Feinboden. Der Fokus der Analyse lag auf den Korngrößen der Feinmaterial Fraktion: Sand (2 mm – 63 µm), Schluff (63 µm – 2 µm) und Ton (< 2 µm).

Die geomorphologische Kartierung weist eine deutliche Abnahme der Gesamtmenge des abgelagerten Materials aus. Die Sedimentmenge ging von 17,95 m<sup>3</sup> im März auf 6,85 m<sup>3</sup> im Oktober zurück. Das Material wurde flussabwärts verlagert, wodurch in Dammnähe keine Sedimentbänke mehr vorhanden waren, dafür war in diesem Bereich eine dünne Schlammschicht im Bachbett auffällig. Die Analyse der Freeze-Cores zeigt, dass der Anteil der Tonpartikel in vielen Sedimentschichten zugenommen hat, was auf einen vermehrten Tiefeneintrag schließen lässt. Grundsätzlich kann man von einer Verbesserung der Situation im Kajabach sprechen. Die Spülung hat einen großen Teil des Materials ausgeschwemmt, die übrigen Partikel wurden entweder flussabwärts verlagert oder in tiefere Sedimentschichten eingespült. Auswirkungen auf diese longitudinale oder vertikale Verlagerung hatten vor allem Verklausungen oder das geomorphologische Setting (z.B. enge Talschneisen), die lokale Sedimentationsbasen darstellen. Durch die so entstandenen Sedimentschichten aus Ton und Schluff kam es zur Verstopfung der obersten Schichten des Sohlgrundes und die vertikale Konnektivität, die Austauschprozesse zwischen Grund- und Oberflächenwasser, wurden beeinflusst. Alles in allem sind die Auswirkungen der Spülung differenziert zu betrachten, weshalb weiteres Beobachten und Monitoring anzuraten ist.

---

## ABSTRACT

Sediment connectivity describes the potential for sediment transport through catchment systems, further defining locality and characteristics of sedimentation. Dams decrease sediment connectivity and act as temporary sediment sinks. When dams are removed, these sediments are being reworked and released downstream. In December 2015, a dam failure led to the entrainment of several tons of fine-grained reservoir sediments entering and depositing in the downstream channel reaches of the Kajabach, Nationalpark Thayatal. After excavation-works, the National Park Authority decided to initiate a flushing event in April 2016, aiming to remove the remnant deposits. The aim of this study was to investigate the effects of dam failure-induced fine sediment release and reservoir flushing on downstream bed sediment characteristics, further discussing the role of in-channel sediment connectivity.

The study area is within the area of Thayatal Nationalpark in the Bohemian Massif, Lower Austria, with the Kajabach, a mixed-load single-thread perennial wadable stream entering the Thaya River, being centre of investigation. The climate in this region is temperate, with an average temperature around 8°C and 500 – 600 mm average precipitation. In the upper reaches of the Kaja, morphology is mostly a smooth landscape with wide open valleys and an overlay of Quaternary Loess, while in the lower reaches steep valleys made of crystalline rocks are predominant. Therefore, landuse can also be divided between upper and lower reaches, with agriculture at the spring and mixed woodland in the Nationalpark.

Two main methods were used. Geomorphological Mapping was done along the river course, recording all fine sediment bars, its size and volume and log jams. All these features were GPS-tagged; the data was processed further in ESRI ArcMap. The second method consisted on Freeze-Core Sampling and granulometry analysis. At three spots, two cores were taken in March and October respectively and afterwards subdivided in 10 cm layers. Granulometry Analysis was done following ÖNORM L 1061-1 2002 02 01: Teil 1: Grobboden and Teil 2: Feinboden with a focus on the grain sizes sand (2 mm – 63 µm), silt (63 µm – 2 µm) and clay (< 2 µm).

Geomorphological Mapping illustrates the overall decrease of fine sediment regarding size as well as volume. The mass dropped from 17.95 m<sup>3</sup> of sediment in March to 6.85 m<sup>3</sup> in October. The sediment bars were redistributed further downstream, leaving the area near the broken dam and the steeper channel reaches nearly bare of jetted material. Sedimentological Analysis of Freeze Core Samples determined that most bed sediment layers show a higher amount of clay particles. This can be attributed to the flushing event or naturally occurring flood events. The investigation of the effects of dam failure induced fine sediment release showed an overall improvement of the situation, since the flushing removed a major amount of sediment. The remaining particles shifted downstream and fine sediment input into lower soil horizons increased. Due to log jams or geomorphological setting (e.g. narrow valley reaches) affecting longitudinal Connectivity, sediment bars formed upstream. These growing layers of clay and silt decreased Vertical Connectivity and oxygen availability, further inducing oxidation of the upper bed sediment layers. (see Project Report) Overall, the flushing event showed differentiated results, indicating the need for further monitoring and investigation.

## 1. EINLEITUNG

Bäche sind kleine Fließgewässer, welche sich durch einen stark dem Kleinprofil angepassten Verlauf sowie durch geringere Wasserführung von Flüssen unterscheiden. (Leser, 2011) Gemeinsam ist Bächen und Flüssen allerdings der zunehmende Druck, der durch anthropogene Einflüsse wie etwa die übermäßige Entnahme von Grundwasser oder durch Verbauung entsteht. (Karr, 1999) Während des letzten Jahrhunderts hat der Mensch massiv in den natürlichen Verlauf von Fließgewässern eingegriffen und diese dabei stark beeinflusst. Da die Gesellschaft von einem funktionierenden Wasserkreislauf abhängig ist, gräbt sie sich durch die Degradierung von Fließgewässern geradezu „selbst das Wasser ab“. (Karr, 1999) Eine Metapher, welche sich in diesem Kontext durchgesetzt hat, ist die des „gesunden Flusses“ – ein Fließgewässer, das physikalische, chemische, biologische, soziale und ökonomische Aufgaben erfüllen kann, also genauso als Habitat wie auch als Transportweg dienen kann. (Norris & Thoms, 1999) Ein Aspekt, den man zur Bewertung der Gesundheit eines Fließgewässers heranziehen kann, ist der Zustand des hyporheischen Interstitials. Die Bedeutung des Hyporheals, der Bereich der Grundwasseranbindung in der Gewässersohle, steht außer Frage, dennoch konzentrieren sich Restaurierungsmaßnahmen häufig auf Ufer, Vegetation und Überflutungsflächen. (Boulton, 2007) Viele der anthropogenen Einflüsse, wie etwa Eintrag von Sediment, stören in erster Linie die ökologischen Prozesse im Hyporheum. Vor allem flächenhafter Sedimenteintrag führt häufig zur Überdeckung von Strukturen (Kieslücken, Totholz usw.) am Gewässergrund. Auf diese Strukturen ist die Fauna des Hyporheals angewiesen, und so hat diese Überdeckung weitreichende Folgen für die aquatischen Lebensgemeinschaften und damit das gesamte Gewässersystem. (Dickhaut et al., 2007) Obwohl der Einfluss von zusätzlichem Sediment ökologisch äußerst problematisch ist, werden nur schleppend Gegenmaßnahmen ergriffen, was unter anderem mit den vielfältigen Nutzungsinteressen entlang von Gewässern zu erklären ist. Die voranschreitende Belastung der Gewässer mit Feinsediment ist ein Problemfeld, das aufgrund von Interessenskonflikten zwischen Umweltschutz, Landwirtschaft und Gewässerausbau nur langsam aufgearbeitet wird. (Dickhaut et al., 2007)

Kommt es allerdings zu einem hohen Feinsedimenteintrag in sehr kurzer Zeit (etwa durch einen Dambruch), so ist es unumgänglich, rasch Maßnahmen zur Verbesserung der Situation zu ergreifen. Die ökologischen wie auch sozioökonomischen Folgen, welche Dambrüche nach sich ziehen können (Schädigung von Ökosystemen, weiträumige Verunreinigung von Gewässern, Zerstörung von Kulturgut), sind hinreichend erfasst (Niekerk & Viljoen, 2005; Klinger & Bountry, 2004; He et al., 2008; Acker et al., 2008) und zeigen die Wichtigkeit von Restaurationsmaßnahmen nach dem Impact. Auch im Kajabach, Niederösterreich, kam es als Folge eines Dammschadenereignisses zu einem massiven Eintrag von Feinsediment in die dammabwärtigen Gerinneabschnitte. Da die betroffenen Abschnitte des Kajabaches im Gebiet des Nationalpark Thayatal liegen, ist der bestmögliche Erhalt der „Gesundheit“ des Baches von besonderer Bedeutung. Die Nationalpark GmbH ließ daher kurz nach dem Eintrag die Sedimentbänke durch Baggerarbeiten bestmöglich beseitigen. Da eine vollständige Entfernung des Materials allein dadurch nicht erreicht wurde, wurde als weitere Maßnahme eine Spülung – ein künstliches Hochwasserereignis – durchgeführt.

Neben dem Schutz von Ökosystemen ist eine Hauptaufgabe der Nationalparks die Bildung und Information (IUCN, 1999). Aus diesem Grund lag es nahe, dass der Nationalpark Thayatal begleitend zur Spülung eine Studie beauftragte, welche sich mit den Folgen des Schadensereignisses auf den Kajabach und dessen Hyporheal auseinandersetzen sollte. Ziel war ein ganzheitlicher Überblick über die Folgen des Sedimenteintrages, bestehend aus Untersuchungen von Biogeochemie, Makrozoobenthos und Sedimentologie. Zu diesem Zweck arbeiteten Angehörige mehrere Institutionen (Universität Wien, Wassercluster Lunz, BOKU und Blattfisch) zusammen und erhoben in mehreren Geländegängen Daten. Dabei wurden im belasteten Abschnitt des Kajabaches Sedimentproben entnommen, GPS-Daten der Sedimentablagerungen erhoben, die Fauna analysiert, sowie die Biogeochemie der abgelagerten Sedimente ausgewertet.

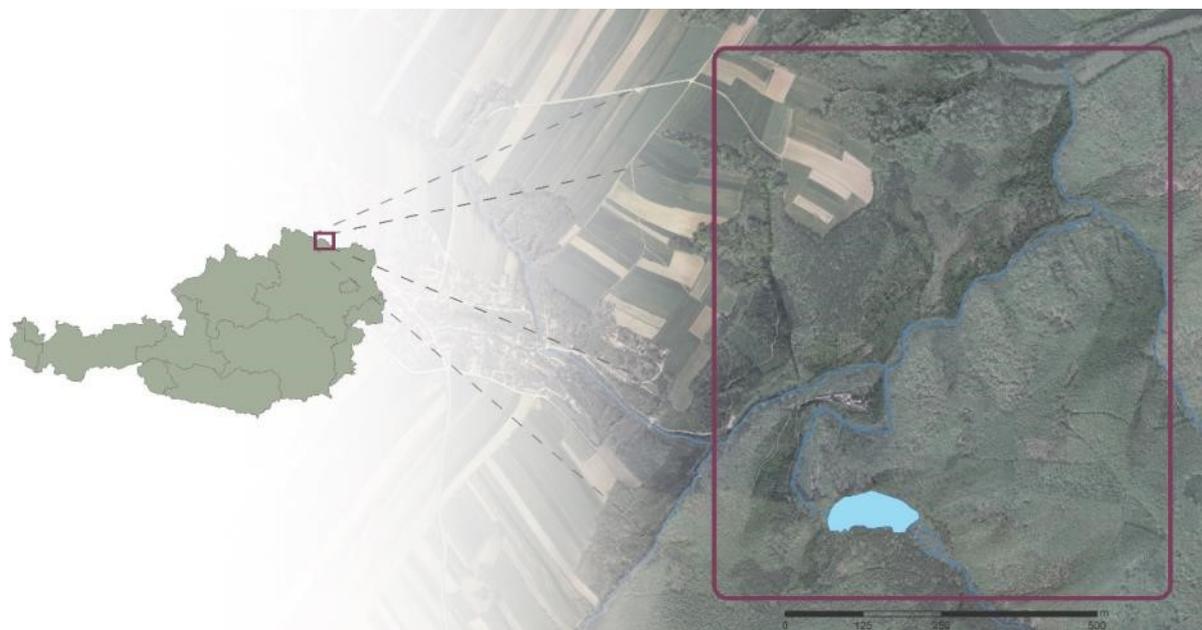
Diese gesammelten Daten können als Grundlage für ein weiteres Vorgehen des Nationalparks dienen und wurden im Projektbericht „Pilotprojekt „SagSED“- Geomorphologische und gewässerökologische Untersuchungen des Kajabaches unterhalb des Sagteiches.“ veröffentlicht. Die vorliegende Arbeit „Auswirkungen eines Dammschadenereignisses auf Sedimentologie und Konnektivität der Kaja, Nationalpark Thayatal“, konzentriert sich dagegen auf die Analyse der Sedimentologie (zusammengesetzt aus Freeze-Core- und Korngrößenanalysen und einer geomorphologischen Kartierung der Ablagerungsflächen) und in weiterer Folge auf die Auswirkungen der veränderten Sedimentologie auf die Konnektivität der Kaja.

## 2. UNTERSUCHUNGSGEBIET – DIE KAJA UND IHR EINZUGSGEBIET

Neben allgemeinen Information zum Untersuchungsgebiet werden im Folgenden Lithologie, Relief, Landnutzung und Vegetation, sowie Klima und Böden besprochen. Im Weiteren folgen Informationen zu den hydrogeographischen Kennzahlen der Kaja und über die Teststrecke im unteren Bachlauf.

### 2.1 ALLGEMEINES ZUM UNTERSUCHUNGSGEBIET

Der Kajabach befindet sich im Nationalpark Thayatal, Niederösterreich, im Grenzgebiet zur Tschechischen Republik. Dieses Gebiet liegt im Randbereich der Böhmisches Masse, einem ausgedehnten Kristallingesteinkomplex aus Metomorphiten und Magmatiten. (Wessely, 2006) Das heutige Grundgebirge hatte während der variszischen und der cadomischen Gebirgsbildung Hochgebirgscharakter. Westliche Ausläufer der Böhmisches Masse befinden sich in Böhmen, Mähren, Bayern und Sachsen, während die kristallinen Gesteine im Süden und Osten unter den Ablagerungen der Molassezone und unter Ablagerungen der Alpen bzw. Karpaten abtauchen. (Roetzel, 2005)



**ABBILDUNG 1: LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES (QUELLE: AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN)**

Das südöstliche Gebiet des Grundgebirges lässt sich in Moldanubikum und Moravikum unterteilen, wobei das Thayatal im Bereich im östlichen, strukturell tiefer gelegenen Moravikum liegt, welches wiederum aus zwei

kuppelförmig gewölbten Strukturen besteht, der Thayakuppel in Österreich und der Svatka-Kuppel auf tschechischem Staatsgebiet. (Roetzel, 2005) Die Thaya bildet hier die Grenze zwischen Tschechien und Österreich, entlang dieser erstreckt sich der Nationalpark Thayatal. Gut ein Drittel des Einzugsgebietes des Kajabaches liegt innerhalb des Nationalparkgebietes.

### 2.1.1 LITHOLOGIE

Das Untersuchungsgebiet ist in erster Linie durch eine Decke aus Löss und Lösslehm geprägt, einem Sediment, das im Pleistozän von Winden verfrachtet und abgelagert wurde. Diese Sedimente stammen teils aus Gebirgsschutt aus dem Alpenraum, vor allem aber aus lokaler Abtragung und Auswehung aus den miozänen Ablagerungen oder dem periglazialen Verwitterungsmaterial der kristallinen Gesteine der Böhmisches Masse. (Roetzel, 2005) Begleitet werden diese Lössablagerungen von Thaya-Batholith, der sich aus Graniten, Granodioriten und Tonaliten zusammensetzt. Eingeschlossen finden sich Quarze, Felspäte, sekundäre Schichtsilikate und Granat. An der Quelle der Kaja besteht die Talfüllung aus Kiesen und Aulehm aus dem Quartär. In den tiefer gelegenen Flussabschnitten Richtung Thaya nimmt eine Mischung aus Glimmerschiefer, Paragneisen, Quarzit und Amphibolit zu, welche der Therasburg- und Pernegg-Gruppe zugeordnet werden können, durchsetzt von Quarzit. In diesem Bereich nimmt die Hangneigung des Geländes deutlich zu, damit auch die Erosionsleistung; dadurch wurden Gesteine sichtbar, die wenig erosionsanfällig sind. Zudem befinden sich im Untersuchungsgebiet Molasseablagerungen der Waschbergzone. (Roetzel, 2005)

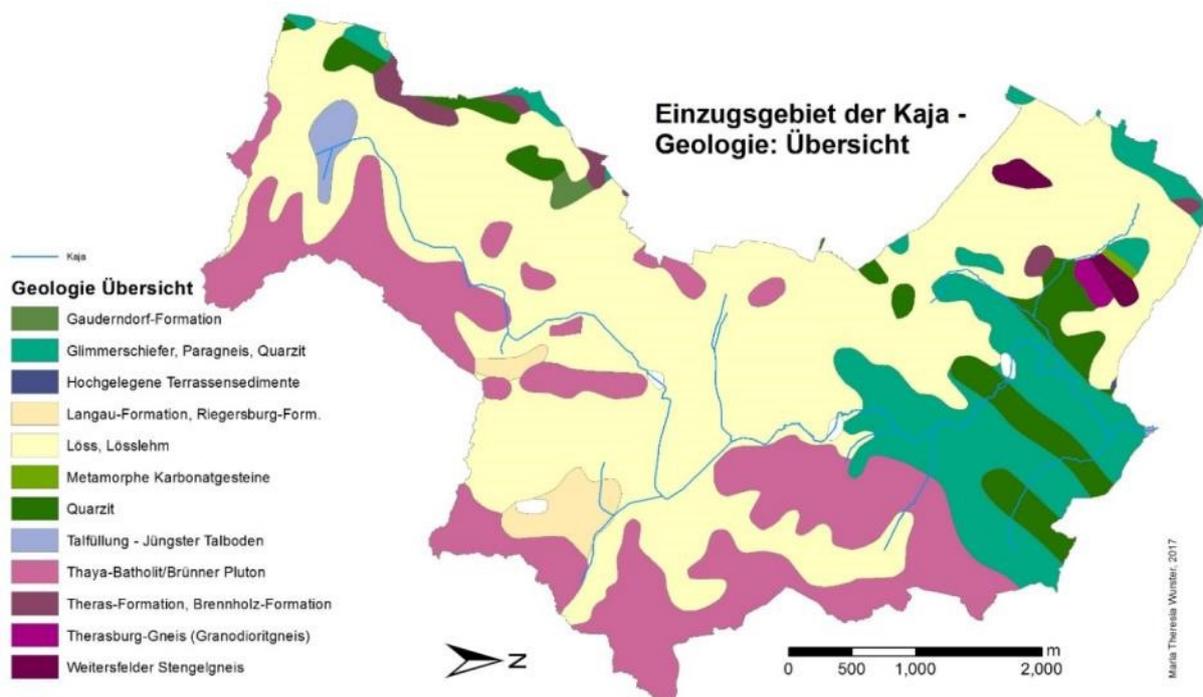
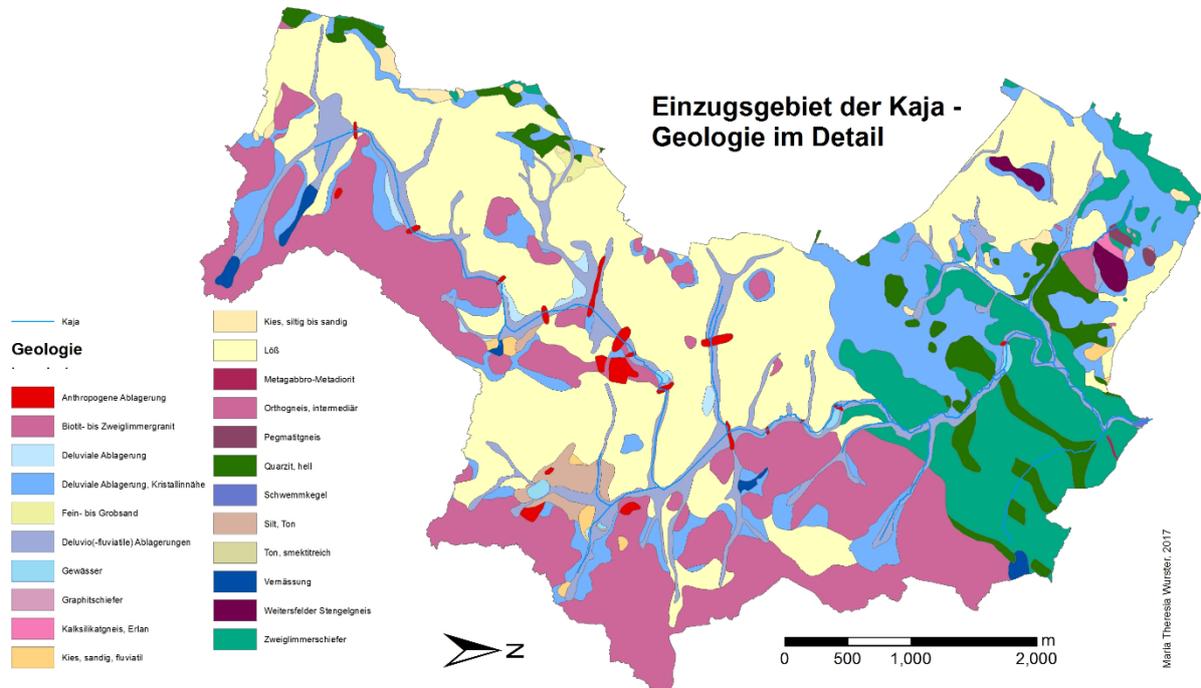


ABBILDUNG 2: GEOLOGIE DES EINZUGSGEBIETES IM ÜBERBLICK (QUELLE: GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT)

In Abbildung 3 ist die Lithologie im Detail dargestellt, wobei auch hier die Dominanz von Löss sichtbar ist. Lokal ist der Löss durchsetzt mit Paläoböden, z.T. finden sich Einheiten von Staublehm, Lößlehm, feinsandigem Silt und Kristallinbruchstücke aus dem Pleistozän. Deutlich erkennbar sind hier die den Flusslauf begleitenden fluviatilen und deluvio-fluviatilen Ablagerungen, welche sich aus Ton, Sand und Kies zusammensetzen, oft lehmig und zum Teil ebenfalls mit Kristallinbruchstücken und –blöcken durchsetzt sind; zeitlich sind diese dem Holozän zuzuordnen. Wie auch in der Übersichtskarte (Abb. 2) lässt sich flussabwärts der Wandel von Löss hin zu Quarz und Glimmerschiefer nachvollziehen, der mit der zunehmenden Steilheit des Geländes einhergeht. Auffällig ist, dass viele Bereiche, die in der Übersicht noch als Löss ausgewiesen sind, eigentlich deluviale

Ablagerung in Kristallinnähe sind, welche in der geologischen Karte als „Ton, Silt, z.T. sandig, Sand, Kristallinbruchstücke, an Thaya mit Kristallinblöcken; Pleistozän-Holozän“ beschrieben werden. In Abbildung 2 fehlt die Klasse „Anthropogene Ablagerung (Halde, Damm, Deponie, etc.)“, welche den Bach im Untersuchungsgebiet regelmäßig beeinflussen – erst im Nationalparkbereich sind solche Ablagerungen nicht mehr zu finden.



**ABBILDUNG 3: GEOLOGIE DES EINZUGSGEBIETES IM DETAIL (QUELLE: GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT)**

Insgesamt handelt es sich beim Einzugsgebiet der Kaja um eine stark differenzierte Anordnung von Gesteinsarten, welche, bedingt durch das Relief, in den oberen Flussabschnitten von leichter erodierbarem Material (Löss, Fluviale Ablagerungen) dominiert wird, während in Mündungsnähe hartes Gestein (Granit, Gneis) vorherrscht.

### 2.1.2 RELIEF

Wie bereits erwähnt spielen Relief und Hangneigung eine wichtige Rolle bei der Entstehung der Landschaftsformen und hat Auswirkungen auf das Abflussverhalten. Das Untersuchungsgebiet befindet sich in weiten Teilen in einer flachwelligen Rumpfgebirgslandschaft mit geringen Hangneigungen (Poepl, 2010), wobei die Höhen zwischen 216 und 487 m.ü.A. erreichen. Die durch die Gewässer erodierten Täler durchbrechen dieses flachwellige Landschaftsbild. Im Ober- und Mittelauf überwiegt der Hochflächencharakter, wodurch die Kaja nur ein geringes Gefälle hat. Auch die Uferhänge sind kaum geneigt. (Poepl et al., 2015) In den unteren Abschnitten tieft sich die Kaja bis zur Thaya ein. Mit der Tiefenerosion in den unteren Flussabschnitten nimmt die Hangneigung und das Gefälle insgesamt zu, wie auch in Abb. 4 deutlich zu sehen ist. Große Hangneigungen in Ufernähe können über gravitative Prozesse zu einem erhöhten Materialeintrag führen, welcher in weiterer Folge die Konnektivität beeinflussen kann. Die Täler sind meist als V-Täler oder V-Täler mit Schottern ausgeprägt. (Poepl et al., 2015)

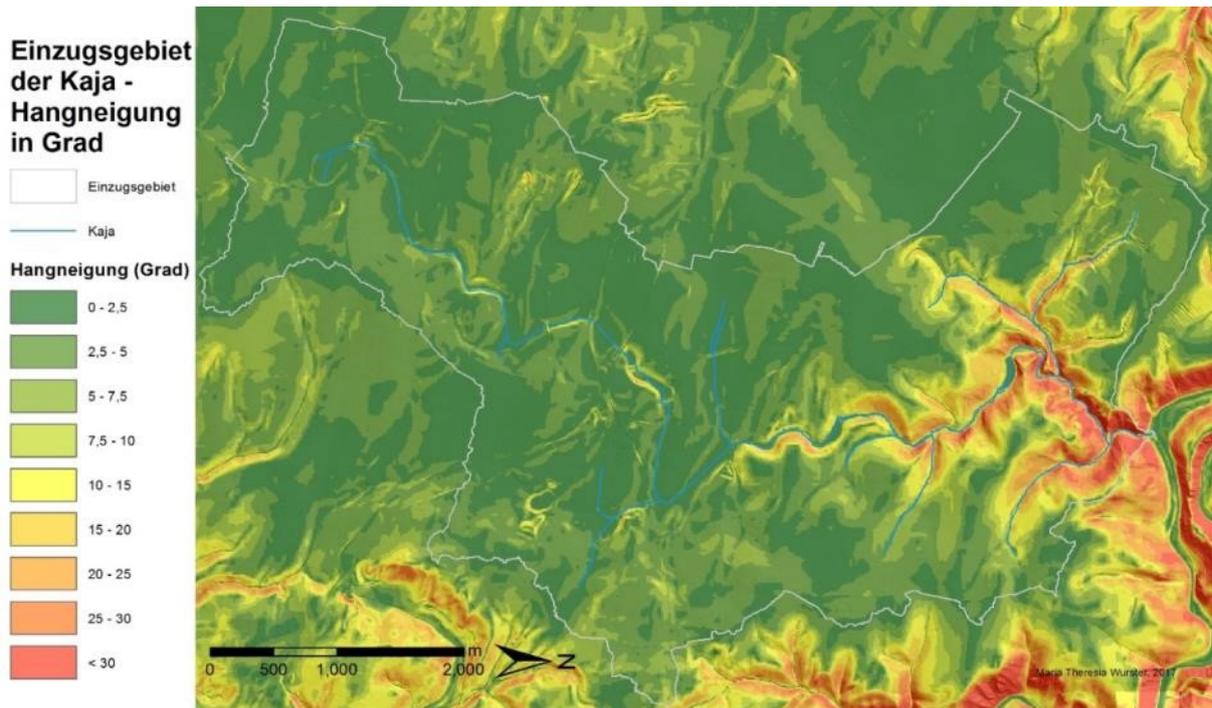


ABBILDUNG 4: RELIEF UND HANGNEIGUNG DES EINZUGSGEBIETES (QUELLE: AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN)

### 2.1.3 KLIMA

Das Klima im Untersuchungsgebiet ist geprägt durch eine Klimascheide – während im Osten kontinentaleres, pannonisches Klima vorherrscht, dominiert im Westen und auf den Hochflächen das feuchtere Atlantische Klima. (Poepl, 2010) Insgesamt kann man von temperiertem Klima sprechen, mit Mittelwerten um die 8°C. (Poepl et al., 2015) Der mittlere jährliche Niederschlag variiert zwischen etwa 500 und 600 mm, wobei die Maxima von April bis September auftreten.

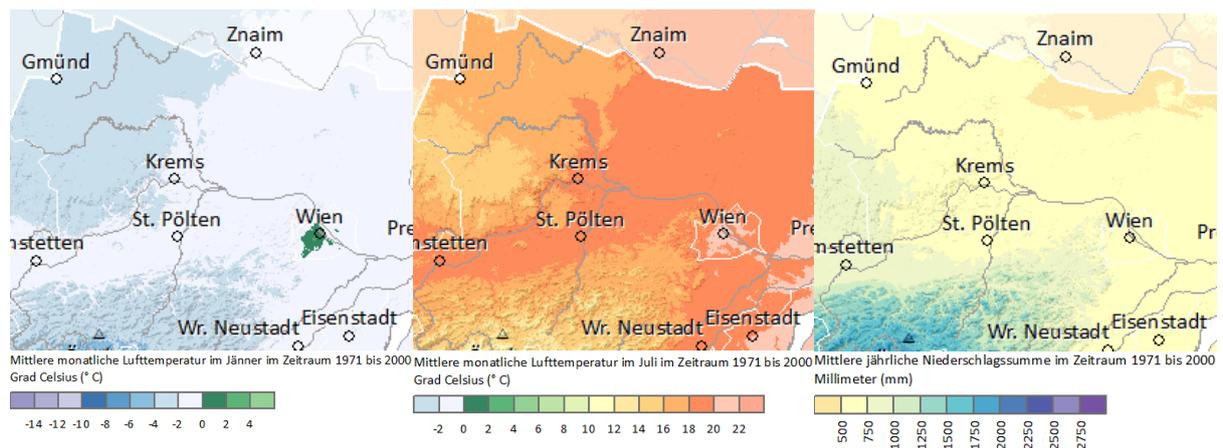


ABBILDUNG 5: KLIMAWERTE DES UNTERSUCHUNGSGBIETES (ZAMG)

### 2.1.4 BÖDEN

Zur Analyse der Bodentypengruppen und der Bodentypen wurde die Web-Gis-Applikation „eBOD“ herangezogen, welche vom Bundesforschungszentrum für Wald als digitale Bodenkarte veröffentlicht wird. Sowohl bei der Bodentypengruppe als auch beim Bodentyp stellen die grellgrünen Flächen Waldgebiete dar, zu denen keine weiteren Informationen über den Boden vorhanden sind.

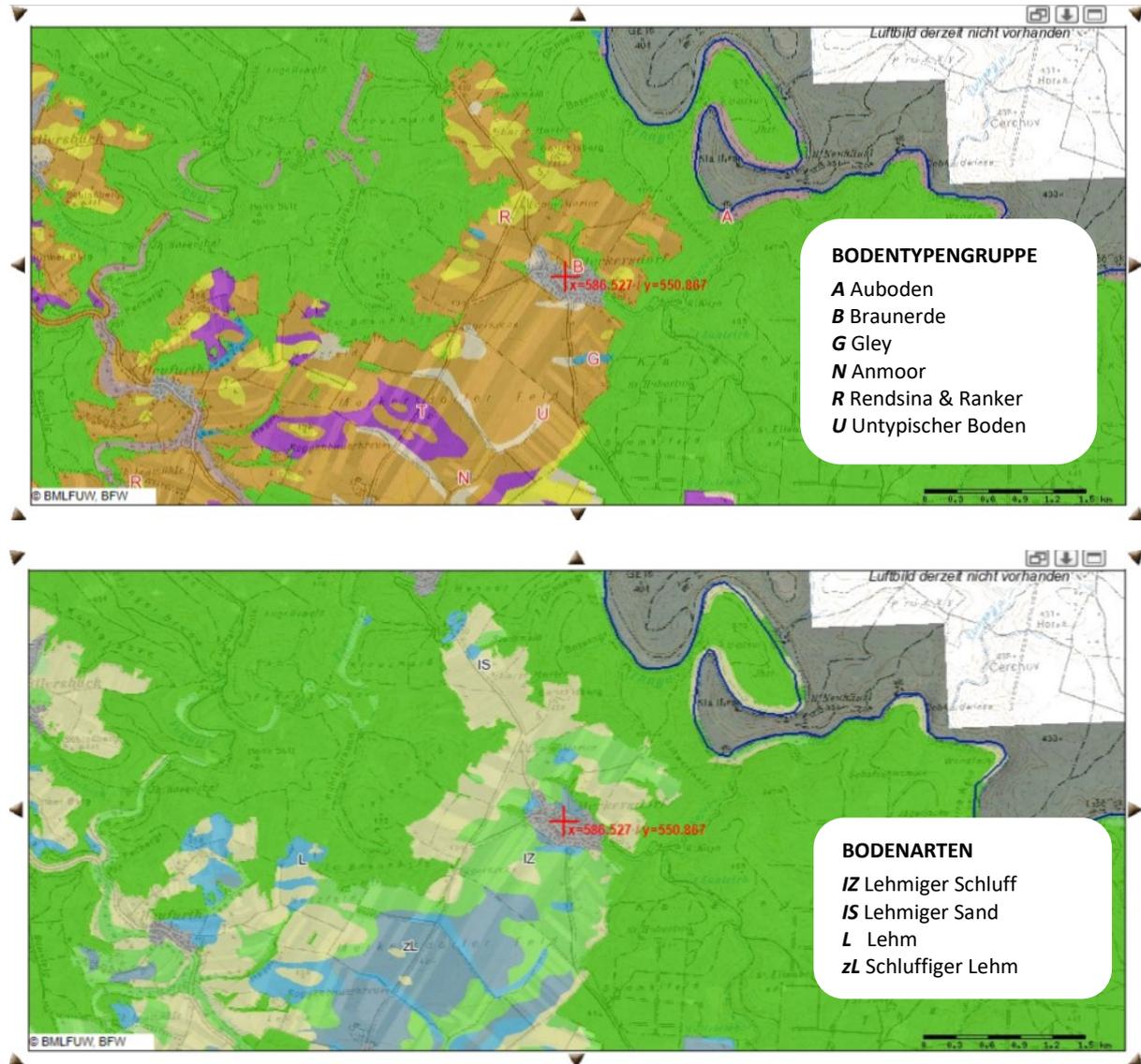


ABBILDUNG 6: BODENTYPENGRUPPEN UND BODENARTEN IM EINZUGSGEBIET (QUELLE: EBOD, BUNDESFORSCHUNGSZENTRUM FÜR WALD (BFW). [HTTP://GIS.LEBENSMINISTERIUM.AT/EBOD](http://gis.lebensministerium.at/ebod))

In den tieferen Lagen des Einzugsgebietes der Kaja, auf welche sich Abbildung 6 konzentriert, dominieren lehmige und/ oder schluffige Bodenarten: Lehmiger Schluff, Lehmiger Sand und Schluffiger Lehm, vereinzelt findet man Lehm. Schluffige und lehmige Böden verfügen, soweit nicht verdichtet, über einen hohen Anteil an Mittelporen, einen hohen Anteil von pflanzenverfügbarem Wasser und Nährstoffen, weshalb sie eine hohe Ertragsfähigkeit haben können. (Blume et al., 2011)

Auf tertiären Sanden und Löss im flachhügeligen Bereich entstanden vor allem (Lockersediment-)Braunerden bzw. Braunlehm Böden. Neben Reliktböden (vor allem auf Löss) haben sich auf kristallinem Ausgangsmaterial vor allem Ranker und Rendsinen ausgebildet. Entlang der Kaja treten Gleye und Hanggleye auf, zum Teil in den Alluvien auch vergleyte Auböden. (Bundesforschungszentrum für Wald, Poepl, 2010)

### 2.1.5 VEGETATION UND LANDNUTZUNG

Da in den Hochlagen des Einzugsgebietes sowohl die geringere Hangneigung als auch die Bodenart intensive Nutzung erlaubt, ist in diesem Bereich vor allem nicht bewässertes Ackerland anzutreffen, welches in erster Linie für die Produktion von Getreide und Raps genutzt wird. (Poepl et al., 2015) Diese landwirtschaftlich genutzten Bereiche sind besonders anfällig für Bodenerosion (Recheis-Kienesberger, 2015), welche neben der Nutzung abhängig von Niederschlägen, Bodenart und Topographie ist. Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass im Untersuchungsgebiet landwirtschaftliche Nutzflächen potentielle Sedimentquellen darstellen. Der Anbau vieler Nutzpflanzenarten lässt große Freiflächen, die eine Angriffsfläche für Bodenerosion darstellen. Bei Grasland oder Waldbedeckung ist die Erodierbarkeit dagegen deutlich geringer. (Poepl et al., 2012) In den tieferen Lagen, wo auch die Steilheit der Hänge zunimmt, findet man vor allem Misch- und Laubwälder (Vgl. Abb 7). Die Vegetation und Bodenbedeckung spielt eine wichtige Rolle für ein System, da sie Oberflächenrauigkeit und Fähigkeit eines Gebietes, Wasser und Sediment zu speichern, beeinflussen. So verringern bewachsene Uferbereiche den Sedimenteintrag signifikant und dienen als Pufferzonen zu landwirtschaftlich genutzten Gebieten. (Poepl et al., 2012)

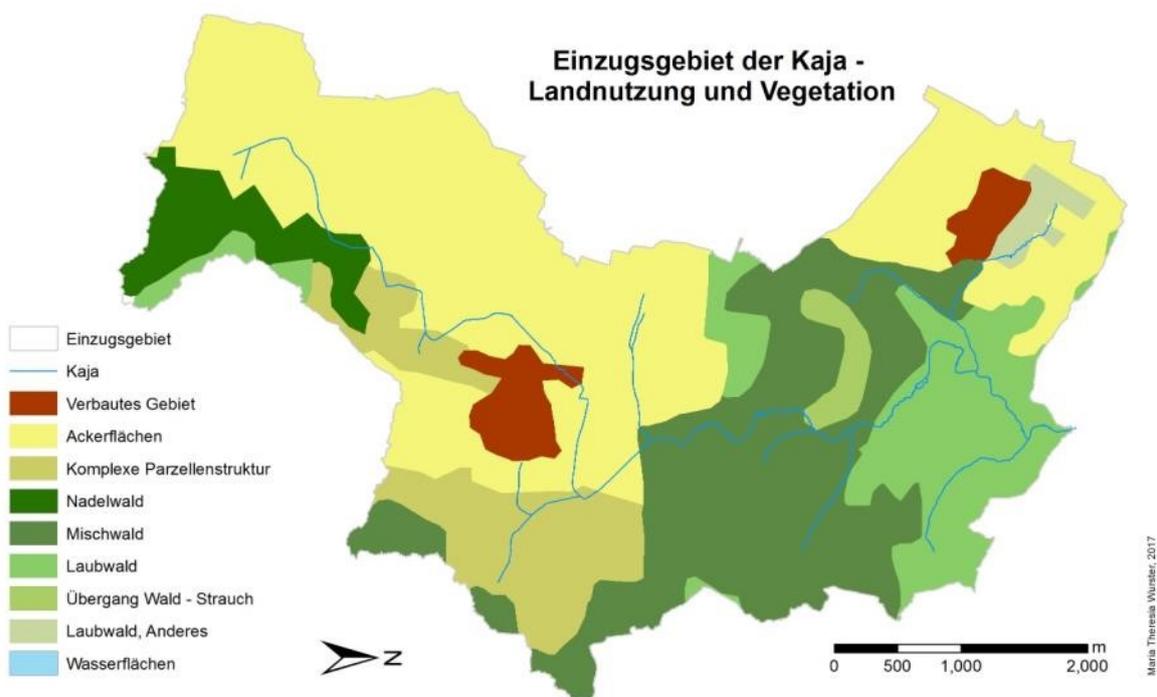


ABBILDUNG 7: LANDNUTZUNG UND VEGETATION IM EINZUGSGEBIET (QUELLE: CORINE (2000); UMWELTBUNDESAMT)

### 2.1.6 DER NATIONALPARK THAYATAL

Da sich ein Teil des Einzugsgebietes und das gesamte Untersuchungsgebiet im Bereich des Nationalparks liegt, soll dieser kurz umrissen werden. Der Nationalpark Thayatal ist mit 13 km<sup>2</sup> der kleinste Nationalpark Österreichs und wurde im Jahr 2000 gegründet. Es handelt sich um einen grenzüberschreitenden Nationalpark mit der Tschechischen Republik und so stehen im Národní Park Podyjí weitere 63 km<sup>2</sup> unter Schutz, wobei die Thaya auf 25 km Länge die gemeinsame Staatsgrenze bildet. Die Umsetzung eines Schutzgebietes in diesem Bereich bietet sich vor allem aus historischen Gründen an: durch den Verlauf des Eisernen Vorhangs entlang der österreichisch-tschechischen Grenze blieb das Gebiet von größeren Veränderungen weitgehend verschont, sodass sich die große Vielfalt von Flora und Fauna im Nationalparkgebiet erhalten konnte. Das Untersuchungsgebiet ist durch eine Klimascheide geprägt, die Vielfalt von Pflanzen und Tieren ist daher auf engem Raum besonders hoch. Vor allem an den Hängen des Thayatales kommt es durch variierende Exposition

und Gesteine zu einer starken Differenzierung der Standortfaktoren und damit auch der Flora und Fauna. (<http://www.np-thayatal.at/de/pages/der-nationalpark-34.aspx>, 14.03.2017)

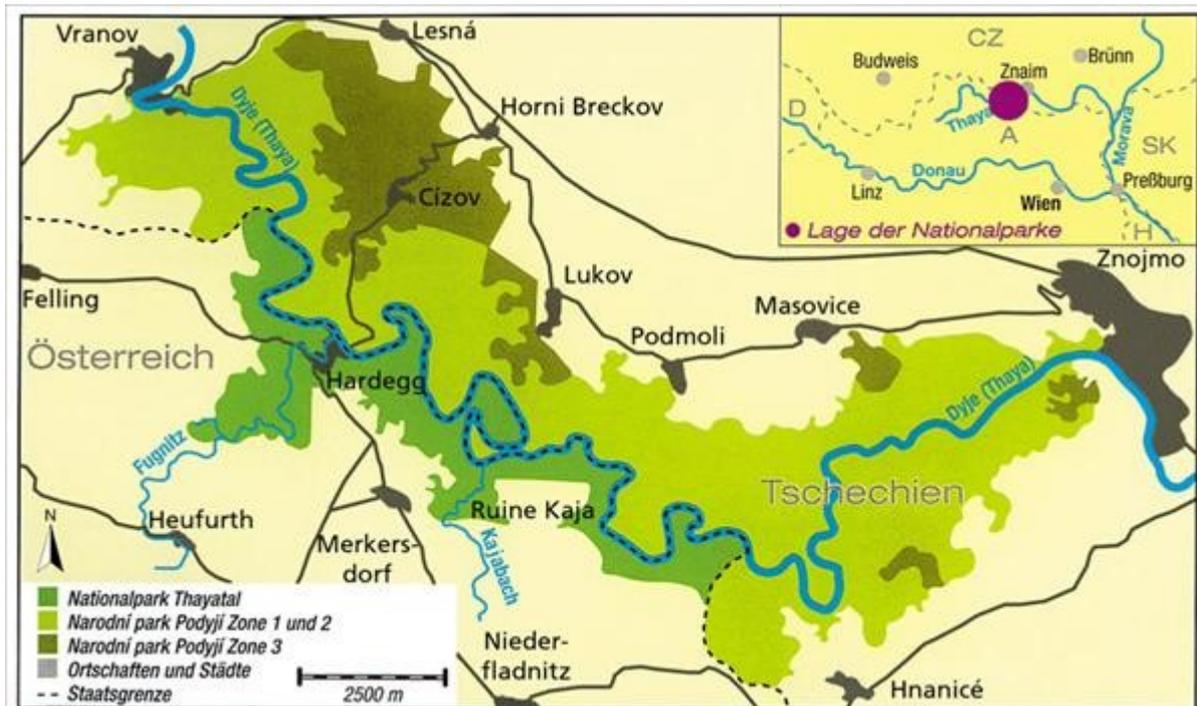


ABBILDUNG 8: NATIONALPARK THAYATAL, ÜBERSICHT (QUELLE: NP-THAYATAL.AT)

Im Kontext der vorliegenden Arbeit ist besonders die Flusskrebspopulation der Kaja von Interesse. Den Edelkrebs *Astacus astacus* konnte man bis vor 130 Jahren in den meisten sommerwarmen Seen und Fließgewässern unter 600 m m.ü.A. finden, wobei sie lehmige und feste Uferböschungen bevorzugten. Heute (Umweltbundesamt, Stand 2009) gilt für den Edelkrebs die Gefährdungskategorie „EN - endangered“. Solche stark gefährdeten Populationen sind Arten mit niedrigen Beständen oder Arten, deren Bestände im nahezu gesamten heimischen Verbreitungsgebiet signifikant zurückgehen oder regional verschwunden sind. (Gepp, 1981) Dieser extreme Rückgang ist neben der Krebspest und der Einschleppung der Fremdart „Signalkrebs“ auf die Verbauung und Verunreinigung von Gewässern zurückzuführen, wodurch nur noch isolierte Vorkommen in Österreich existieren. Der Großteil der Edelkrebsbestände besiedelte abgeschlossene, stehende Gewässer, nur etwa 5% entfallen auf Fließgewässer, wodurch die Population im Kajabach als „außerordentliche Rarität“ (Wurth, 2007) eingeordnet wird und besonders schützenswert gilt. Insgesamt kommt der Edelkrebs nur in sehr geringer Dichte im Kajabach vor, auch wenn Abschnittsweise höhere Vorkommen gibt. Edelkrebse siedeln häufig unterhalb von Seen und Teichen, da diese als Katalysatoren und Puffer wirken (bezüglich Wassertemperatur, Abfluss, Sedimenttransport und organischer Belastung). 2007 wurde die Auflassung des Wolfteiches (ein ehemaliger Fischteich knapp außerhalb der Nationalparkgrenze, dazu mehr in Kapitel 2.3) geplant, der Plan wurde auf Einwirken der Nationalparkverwaltung hin nicht durchgeführt. Die Entfernung des Dammes und damit des Puffers Teich hätte zu einer Abkühlung der unteren Bachabschnitte geführt und damit die Flusskrebspopulation gefährdet. (Wurth, 2007)



ABBILDUNG 9: EDELKREBS IM KAJABACH, NÄHE PROBESTELLE K1

## 2.2 DIE KAJA UND IHR EINZUGSGEBIET

Die Kaja ist ein „mixed-load single-thread perennial wadable stream [...] that enter[s] the Thaya River“, wie Poepl et al. 2015, S. 44 schreiben.

Der „bedload“, also die Geröllfracht, „besteht aus Schottern und wird am Boden des Flussbetts entlang bewegt, teils gerollt, teils geschoben, bei sehr starker Strömung kann die Bewegung in kleinen Sprüngen erfolgen. Der Sand nimmt eine Zwischenstellung zwischen Schwebfracht und Geröllfracht ein.“ (Ahnert, 2015, S. 170) Gemeinsam bilden Schweb-, Lösungs- und Geröllfracht die Flussfracht, also das gesamte von Flüssen und Bächen mitgeführte Material. Bäche mit „Mischlast“, wie die Kaja, führen eine ausgewogene Mischung aus Geschiebe- und Suspensionsfracht mit sich. Trotz relativ niedriger Abflussmengen (vgl. Kap. 2.2.2), ist die Kaja ganzjährig wasserführend, die Wassertiefen im Untersuchungsgebiet variieren kleinräumig.

### 2.2.1 HYDROGEOGRAPHISCHE KENNZAHLEN

Hydrogeographische Kennzahlen geben einen Überblick über das Verhalten eines Flusses und machen es vergleichbar mit anderen Fließgewässern. Tabelle 1 zeigt die wichtigsten Daten zum Kajabach.

**TABELLE 1: HYDROGEOGRAPHISCHE KENNZAHLEN DER KAJA (NACH POEPL, 2010)**

<b>Fläche des Einzugsgebietes</b>	21,3 km <sup>2</sup>
<b>Gewässerlänge (Hauptfluss)</b>	10,7 km
<b>Gewässerlänge (Gewässernetz gesamt)</b>	19,6 km
<b>Anzahl der Zubringer</b>	8
<b>Flussordnungszahl nach Shreve (Mündung)</b>	12
<b>Flussordnungszahl nach Strahler (Mündung)</b>	4
<b>Gewässerdichte</b>	0,92
<b>Höhenunterschied (Quelle – Mündung)</b>	180 m
<b>Mittleres Gefälle Hauptfluss</b>	1,34 %
<b>Mittlerer jährlicher Gebietsniederschlag</b>	400 – 500 mm

Einzugsgebiete haben sich nach Wilhelm, 1993, als besonders geeignete Untersuchungseinheit von hydrologischen Untersuchungen bewährt. Sie sind durch die „gegen den Talweg konvergierenden Gefällslinien des Reliefs gekennzeichnet“. (Wilhelm, 1993, S. 21) Begrenzt werden Einzugsgebiete durch Wasserscheiden, welche die höchsten Punkte der Falllinien verbinden.

Wie auf Abbildung 10 zu sehen, zeigt die Kaja ein baumartig verzweigtes Gewässernetz, eine von Relief und Untergrund unbeeinflusste Zufallsanordnung von Flussstrecken. (Wilhelm, 1993) Bei der Gewässerlänge unterscheidet man zwischen der Länge des Hauptflusses und Länge des gesamten Netzes, wo auch die acht Zubringer miteinbezogen werden, wodurch sich bei der Kaja die Länge knapp verdoppelt. Die Gewässerdichte eines Einzugsgebietes ist abhängig von der Durchlässigkeit des Gesteins und kann in jungem, von gleichem Material unterlagerten Landoberflächen ein Anzeichen auf das Alter des Netzes geben. (Ahnert, 2015) Mit steigender Durchlässigkeit und Aufnahmefähigkeit des Untergrundes sinkt die Gewässerdichte – der versickerte Niederschlag steht nicht mehr als Oberflächenabfluss zur Verfügung und weniger Gewässer bilden sich aus. (Hölting & Coldewey, 2013) Dabei ist die Dichte von mehreren Faktoren abhängig: von Geologie und Pedologie, von der Zunahme der Dichte mit steigenden Niederschlagsmengen bei ähnlichen geologischen Verhältnissen und vom Maßstab der Kartengrundlage. Vergleicht man den Wert der Kaja mit dem eines Karstgebietes (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2003), so lässt sich die Gewässerdichte des Einzugsgebietes der Kaja als durchschnittlich einordnen.

Zur Berechnung der Flussordnungszahl lassen sich zwei Methoden anwenden: Nach der Methode von Strahler ergibt sich für die Kaja eine Flussordnungszahl von 4, da hier Flussabschnitte nur aufgewertet werden, wenn

zwei Flussäste gleicher Ordnung zusammenfließen. (Ahnert, 2015) Die Flussordnungszahl nach Shreve erhöht sich an der Einmündung eines Nebenflusses in den Hauptfluss und summiert deren Wert auf. Während Strahler den Begriff der „Ordnung“ für die Größe der Zuflüsse wählt, arbeitet Shreve mit dem Begriff „Magnitude“.

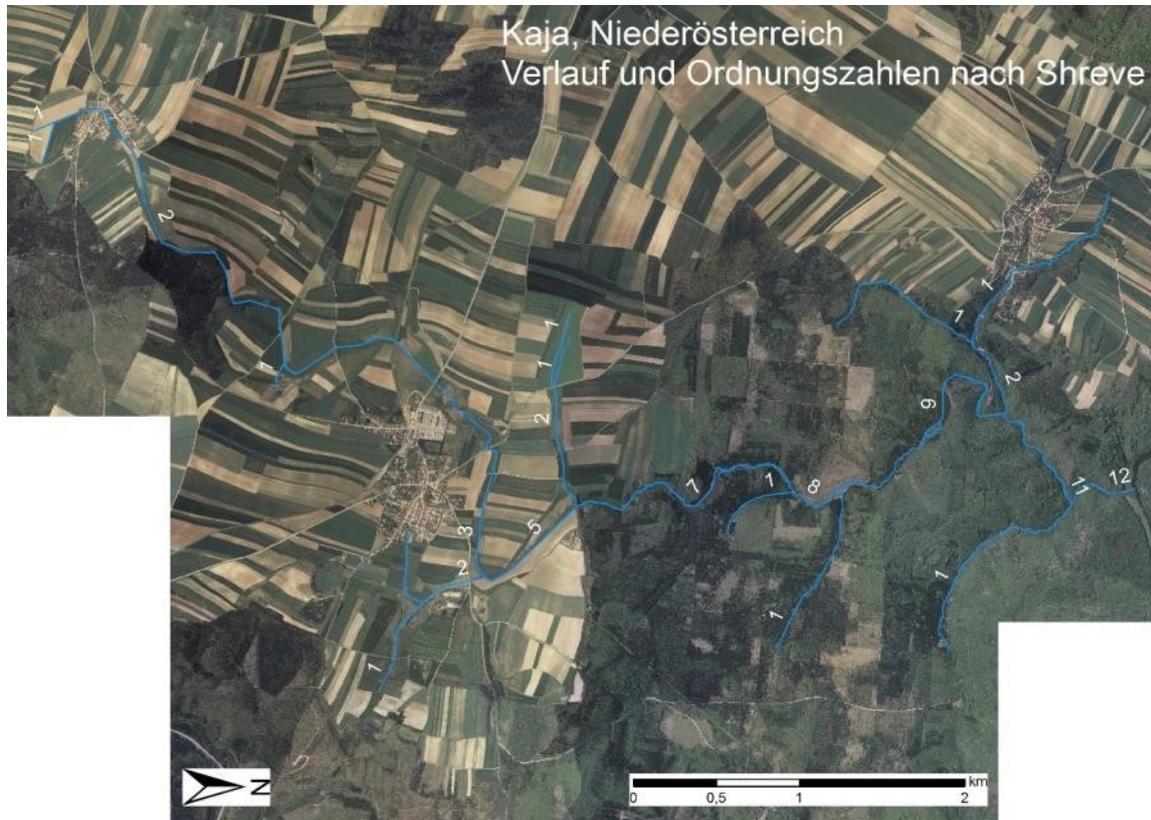


ABBILDUNG 10: FLUSSNETZ DER KAJA (QUELLE: BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN, POEPL, 2010)

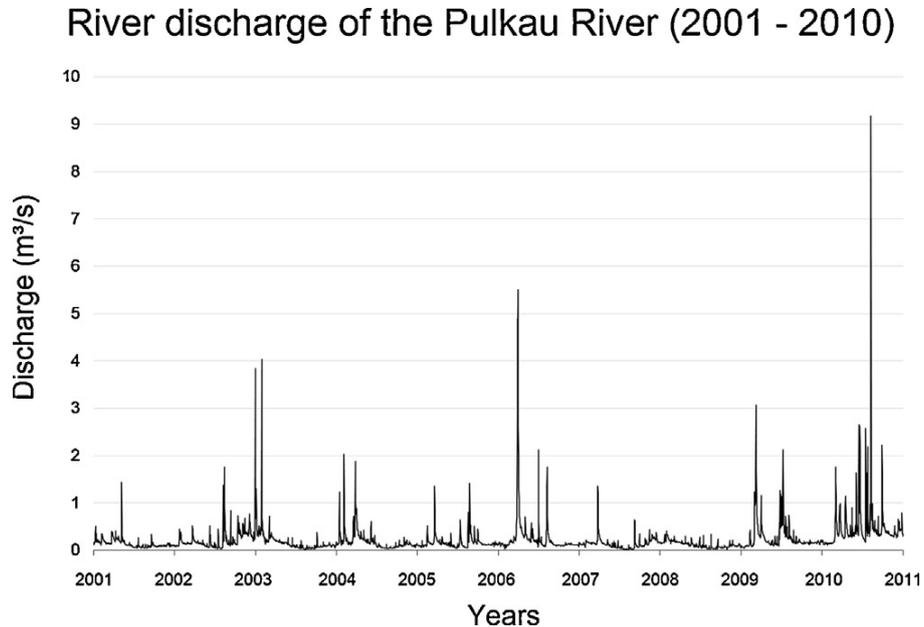
Ahnert beschreibt den Vorteil der Methode nach Shreve folgendermaßen: „Ein Vorteil des Systems ist, dass die Magnitude eines Flusses in höherem Maß von der Größe des Einzugsgebiets abhängt [...]. In einem hydrologisch, geologisch und topographisch einigermaßen einheitlichen Gebiet kann daher die Magnitude, die rasch auf Karten zu bestimmen ist, in Schätzungen als Ersatzvariable für die Einzugsgebietsgröße verwendet werden. In beiden Methoden gehen alle Zuordnungen von der Bestimmung der Flüsse erster Ordnung bzw. erster Magnitude aus; doch selbst auf großmaßstäblichen Karten (1:25000) ist es nicht immer eindeutig, ob alle kleinen Gewässer eingezeichnet sind [...].“ (Ahnert, 2015; S. 238)

### 2.2.2 ABFLUSSGANGLINIE

Die Abflussganglinie ist die „Darstellung von beobachteten oder berechneten Abflüssen für einen Pegelort in der Abfolge ihres zeitlichen Auftretens. Die Ganglinie ist gekennzeichnet durch steil ansteigende, flacher abfallende Spitzenabflusswerte und langsam mit der Zeit abnehmende Abflüsse im Niedrigwasserbereich.“ (Wilhelm, 1993, S. 57) Da für die Kaja keine gesicherten Abflussdaten existieren, vergleichen Poepl et al. den Abflussgang der Pulkau, einem nahen Vorfluter der Thaya (Vgl. Abb. 11). (Poepl et al., 2015)

Flüsse lassen sich nach ihrer Abflussführung in Regime einteilen. Nach Mader et al. hat die Pulkau ein deutlich ausgeprägtes Winterpluviales Regime (Mader et al., 1996). Winterpluviale Regime sind gekennzeichnet durch ein Hauptmaximum in den Wintermonaten, wobei im mittleren Abflussgang weniger der Niederschlag als die Verdunstung die Abflussmenge definiert. Zwar hat die Pulkau (Einzugsgebiet 87,6 km<sup>2</sup> (Poepl et al., 2015))

einen deutlich höheren Abfluss als die Kaja, doch sind die zeitlichen Verläufe vergleichbar. Obwohl es keine erschöpfenden Daten zu Abfluss der Kaja gibt, hat Hager in einem Gutachten zur Bedeutung des Wolfsteiches für die Edelkrebspopulation einige Zahlen festgehalten (Hager, 2007): So beträgt die Wasserführung der Kaja nach dem Wolfsteich (Vgl. Abb. 13, Kapitel 2.2.4) etwa 20 l/s, nach dem Sagteich (Vgl. Abb. 13, Kapitel 2.2.4) etwa 30 l/s. Der Zulauf des Merkersdorfer Baches trägt ca. 10 l/s bei.



**ABBILDUNG 11: ABFLUSSGANG DER PULKAU (POEPPL ET AL. 2015)**

### 2.2.3 LÄNGSPROFIL

Einen sehr guten Einblick in die Morphologie eines Fließgewässers gibt ein sogenanntes Längsprofil. Anderson et al. schreiben, „[that] there has been a call for a better characterization of the important physical and hydrometric properties of stream–catchment systems [...] that can be routinely measured or mapped along greater distances of stream.“ (Anderson et al., 2005)

Weiter heißt es, dass, “geomorphological analysis of river systems should consider landforms associated with river dynamics in complete hydrographic context. In this sense, the simplest morphological expression that contains the greatest amount of information is the longitudinal profile of the river. From a geometric point of view these profiles have the same properties and methods for their construction than topographical profiles [...]“ (Universidad de Alicante, 2016; Abruf am 19.02.2017)

Das Flusslängsprofil zeigt also die Gefällslinie des Wasserspiegels eines Flusses von der Quelle bis zur Mündung. „Es wird dargestellt als Kurve in einem zweidimensionalen rechtwinkligen Koordinatensystem, mit der Entfernung von der Quelle, gemessen längs des Flusslaufs, als Abszisse und der Höhenlage des Wasserspiegels als Ordinate. Das Flusslängsprofil ist meist länger als das Längsprofil des Tales, in dem der Fluss fließt, weil die Mittellinie des Tals entlang der Talachse gemessen wird; eventuelle Windungen des Flusses im Talboden sind nicht berücksichtigt.“ (Ahnert, 2015) Das Flusslängsprofil in Abbildung 12 wurde auf Basis der Datengrundlage, welche in Kapitel 6.1 ausführlich beschrieben wird, in ArcMap berechnet und in Microsoft Excel dargestellt.

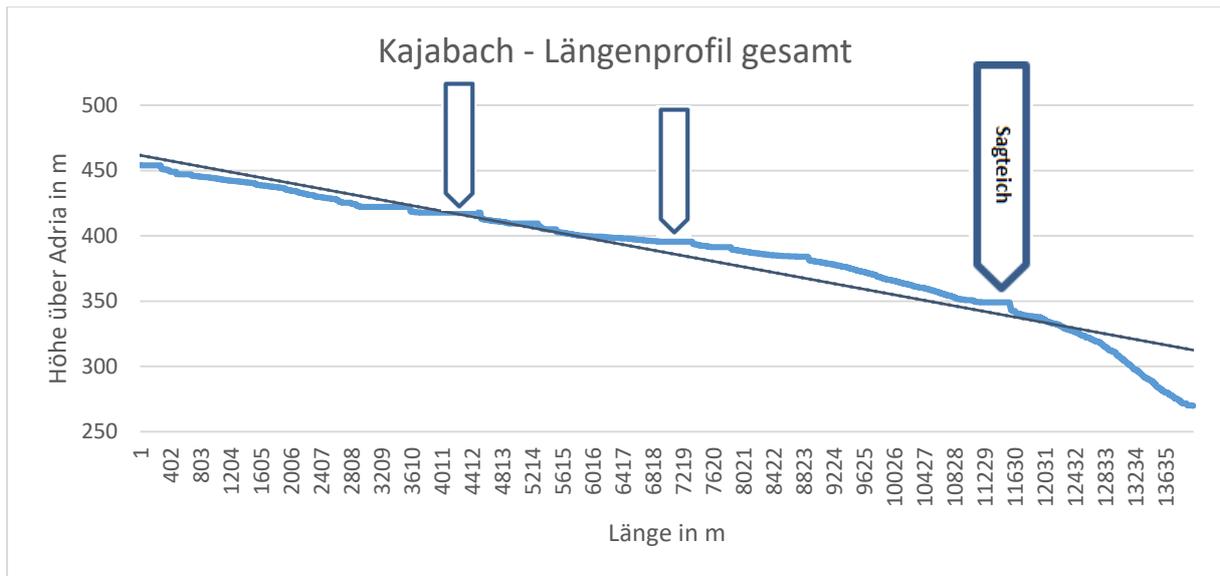


ABBILDUNG 12: FLUSSLÄNGSPROFIL DER KAJA

Das Längsprofil der Kaja ist atypisch für einen Flachlandfluss. (Poepl, 2010) Nach Ahnert ist die ideale Form des Längsprofils eines Flusses, dessen Abfluss kontinuierlich zunimmt, konkav und wird in Ober-, Mittel- und Unterlauf unterteilt. (Ahnert, 2015) Die Kaja hat im Ober- und Mittellauf nur ein geringes Gefälle und schneidet sich erst im Unterlauf tief ins Gelände ein. Dies ist zurückzuführen auf die Morphologie: In Ober- und Mittellauf quert die Kaja mit geringen Abfluss- und Erosionsraten die Hochflächen des Böhmisches Massivs – da sie aber ein Vorfluter der Thaya ist, ist sie im Unterlauf gezwungen, den Höhenunterschied zur Thaya zu überwinden und durchbricht rasch das Grundgestein an Schwächezonen. (Poepl, 2010)

Hilfreich ist das Längsprofil auch zur Identifikation von Knickpunkten, also Stellen, „an denen das Profil infolge lokaler Verstärkungen oder Verminderung des Gefälles von der glatten konkaven Form abweicht“. (Ahnert, 2015, S. 201) Mögliche Gründe für diese Knickpunkte sind Unterschiede im Gestein, lokale tektonische Störungen, Veränderung des Abflusses oder Phasen der Talentwicklung (rückschreitende Erosion). (Ahnert, 2015)

Im Verlauf der Kaja lassen sich drei Knickpunkte identifizieren (Abb. 12). Diese sind sämtlich auf flussbauliche Aktivitäten zurückzuführen und stellen lokale Erosionsbasen dar: flussaufwärts kommt es zu Akkumulations-, flussabwärts zu Erosionsprozessen. Eine Veränderung des Verhältnisses zwischen Abfluss und Sedimentationsfracht führt zu diesen Prozessen. (Poepl, 2010)

#### 2.2.4 VERBAUUNG DES KAJABACHES

In den oberen Abschnitten, wo das Einzugsgebiet des Kaja intensiv landwirtschaftlich genutzt wird, ist der Bach zum Teil stark verbaut, sowohl punktuell durch Brücken als auch streckenweise. Erst im Bereich des Nationalparks geht die anthropogene Beeinflussung zurück, obwohl auch in diesem Gebiet durch vereinzelt Brücken lokale Störungen des natürlichen Verlaufs auftreten.

Die wichtigsten anthropogenen Störungen der Kaja sind auf Fischteiche zurückzuführen. Im Waldviertel wurden ab dem 13. Jahrhundert vermehrt Teiche zur Fischzucht angelegt, um der Nahrungsmittelknappheit vorzubeugen. Vor allem im 17. und 18. Jahrhundert wurden diese Teiche teils wieder aufgelassen, da sie unrentabel wurden. (Bauer, 2014) Drei dieser ehemaligen Fischteiche wurden auch entlang der Kaja errichtet und werden heute nicht mehr zur Karpfenzucht, sondern privat zur Angelfischerei genutzt. (Hager, 2007)

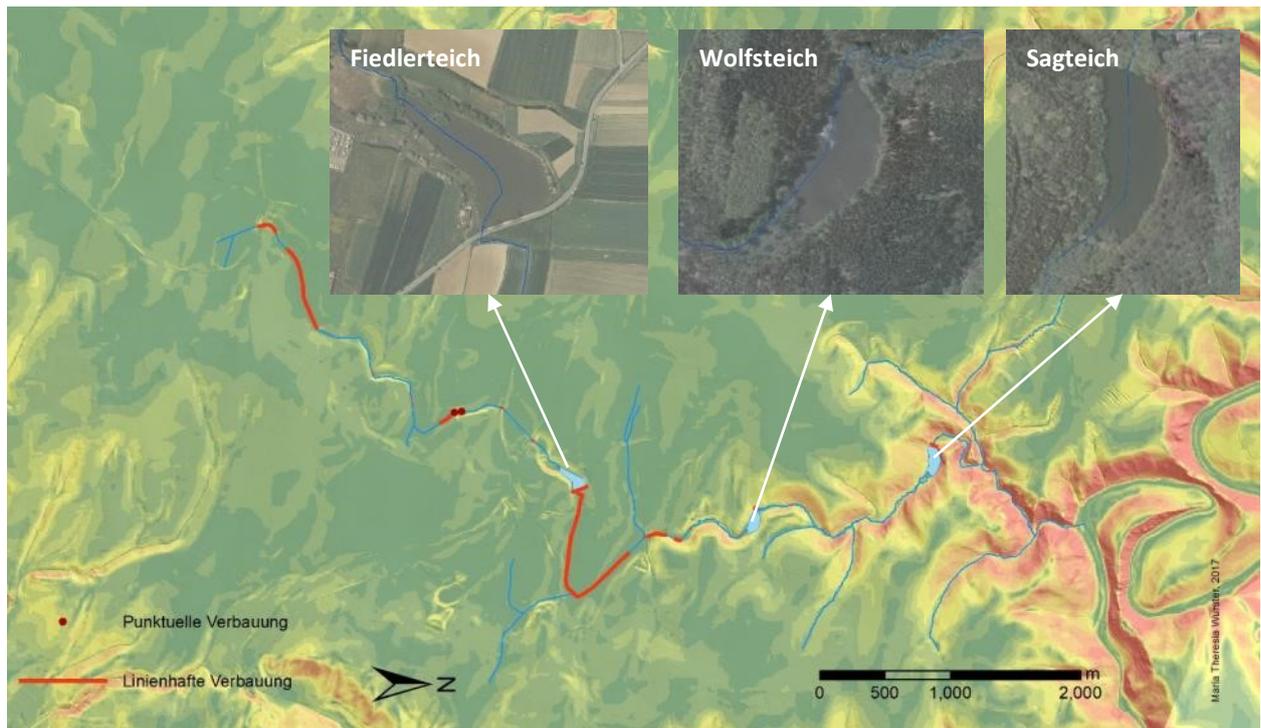


ABBILDUNG 13: LAGE DER FISCHTEICHE AM KAJABACH (QUELLE: POEPL, 2010, EIGENE BEARBEITUNG)

Abbildung 13 zeigt die Intensität der Verbauung, wobei zwischen punktuellen (z.B. Dämme) und linienhaften (z.B. Kanalisierung) Verbauungsmaßnahmen unterschieden wird. Die oben erwähnte Intensität der Verbauung aufgrund landwirtschaftlicher Nutzung ist hier nur teilweise zu erkennen – oberhalb des Fiedlerteiches ist nahezu der gesamte Verlauf anthropogen stark beeinflusst und hat keinen natürlichen Verlauf mehr.

### 2.3 DIE KAJA UNTERHALB DES SAGTEICHES

Knapp unterhalb des Sagteiches befindet sich die Kaja schlussendlich im Nationalparkgebiet, wo ihr natürlicher bzw. naturnaher Charakter gewahrt wurde und die Ufervegetation überwiegend aus Mischwald besteht.

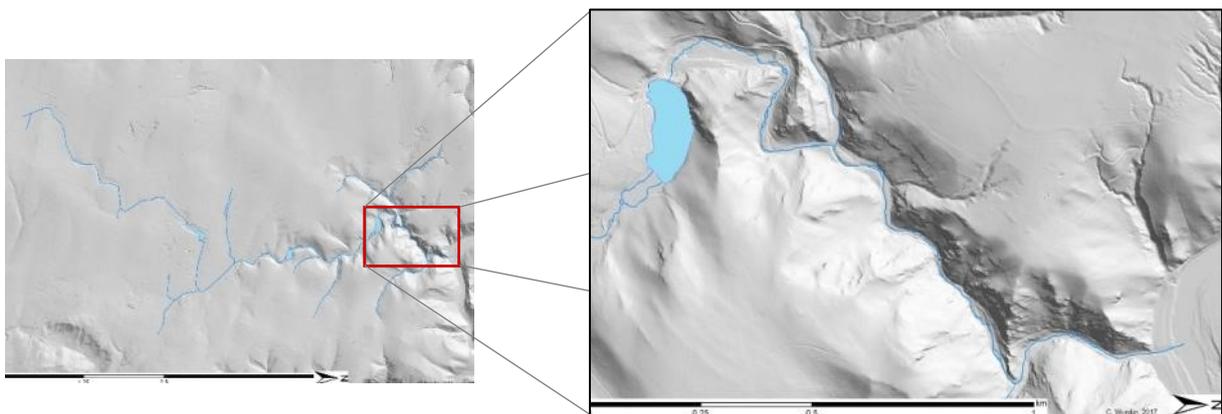


ABBILDUNG 14: VERORTUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES UNTERHALB DES SAGTEICHES (QUELLE: AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, GRUPPE WASSER)

Die Kaja bewegt sich hier im tief eingeschnittenen Bereich des Einzugsgebiets durch Zweiglimmerschiefer und bildet große Mäander aus, etwa rund um die Burgruine Kaja oder nahe der Mündung zur Thaya (Vgl. Abb.14).

Die Kaja ist hier ein „partly confined river mit bedrock-controlled discontinuous floodplains“. „Partly confined valleys“ werden von Fryirs und Brierley folgendermaßen definiert:

„A partly confined river is one along which the contemporary channel abuts the valley margin along 10–90% of its length. They occur along sections of longitudinal profiles that are transitional from fully bedrock confined to fully alluvial rivers.“ (Fryirs & Brierley, 2010, S. 107)

Die Kaja bewegt sich hier in Richtung der Thaya und schneidet sich rasch tief ein, der Verlauf wird von den umliegenden Gesteinen geprägt. Je nach Härte und Erodierbarkeit bildet sie Schleifen aus, zudem bilden sich bei ausreichender Flächenverfügbarkeit zu beiden Seiten des Bachbettes Überflutungsflächen. In diesem Bereich wird die Kaja fast vollständig von einem Wanderweg begleitet.

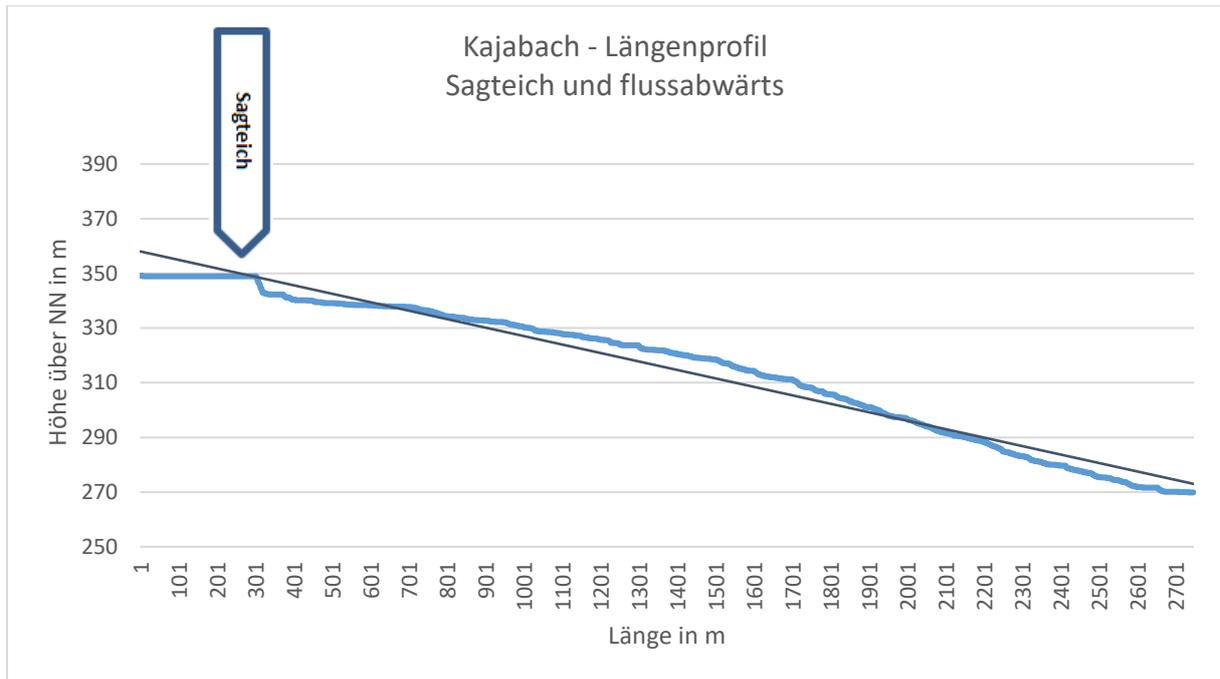


ABBILDUNG 15: LÄNGSPROFIL DER KAJA, UNTERHALB SAGTEICH

Der Knick, den der Sagteich im Längsprofil verursacht, ist bereits auf Abbildung 12 erkennbar, in Abbildung 15 sticht er noch deutlicher heraus. Flussabwärts des Damms fällt die Kaja ein kurzes Stück merklich ab. Die durchschnittliche Neigung der Fließstrecke ist in diesem Abschnitt  $4,9^\circ$ , verglichen mit  $2,8^\circ$  im Durchschnitt der gesamten Kaja. Da in diesem Bereich der größte Teil des Höhenunterschiedes zwischen Quelle und Mündung überwunden wird, ist diese Zunahme der Neigung zu erwarten.

Durch den erhöhten Schutzstatus, den die Kaja im Nationalparkgebiet erhält, ist der Verlauf naturnah bis natürlich. Ein wichtiger Aspekt des Fließverhaltens eines gesunden Gewässers ist der natürliche, nicht vom Menschen beeinflusste Transport von Material, so dass sich das Fließgewässer bei Störungen (Hochwasser o.Ä.) selbstständig regulieren kann. (Karr, 1999) Auch Norris & Thorns sehen Wasserqualität und Sedimenttransport neben der Resilienz als wichtigste Größen für die Bewertung des Zustandes eines Gewässers. (Norris & Thoms, 1999) Hickin betont, dass Sedimenttransport als wichtigen Faktor zum Verständnis der Funktion von Gewässern gesehen werden muss. (Hickin, 1995) Demnach steuert der Sedimenttransport die Prozesse, welche zwischen Bachbett und Wasser wirken. Um die Güte oder ganz grundsätzlich die Art von Sedimenttransport nachvollziehen zu können, eignet sich der Ansatz der Sedimentkonnektivität. (Poepl, 2012)

### 3. (SEDIMENT-)KONNEKTIVITÄT – THEORETISCHER HINTERGRUND

Hooke definiert Konnektivität bestechend einfach: “Connectivity is when particles physically pass through the system [...]” (Hooke, 2003)

Erste Ansätze zu Konnektivität wurden von Brunsden und Thornes im Paper „Landscape Sensivity and Change“ veröffentlicht, wobei sie ihr Konzept nachträglich weiterentwickelten. (Brunsden & Thornes, 1979) Sie unterscheiden drei Arten von Linkages (zitiert nach Poepl, 2012, S. 21):

- Coupled: occurs at a boundary or link at which there is a free transmission of energy, material and messages of an impulse of change (e.g. a river channel directly undercutting a hillslope)
- Not Coupled: a discontinuity between two systems or process domains is present (e.g. a sea cliff cutting back into an ancient plateau surface)
- Decoupled: a temporary inactive linkage due to a barrier that has been imposed (e.g. a river channel becomes decoupled from a hillslope as a result of floodplain growth)

2006 wurde von Brierley, Fryirs und Jain der Begriff der „Landscape connectivity“ geprägt, dessen Wichtigkeit sie folgendermaßen begründen:

“Geographic concerns for spatial relationships lie at the heart of geomorphic applications in environmental management. The way in which landscape compartments fit together in a catchment influences the operation of biophysical fluxes, and hence the ways in which disturbance responses are mediated over time. These relationships reflect the **connectivity of the landscape.**” (Brierley et al., 2006)

Konnektivität ist dabei abhängig vom Aufbau der gesamten Landschaft und deren einzelnen Einheiten, da dieser Aufbau die räumlich wie zeitliche Wirkung geomorphologischer Prozesse steuert und formt. Diese räumlichen Zusammenhänge wiederum definieren das Muster und die Frequenz bzw. die Menge der Materialflüsse. Materialflüsse können dabei Nährstoffe, Wasser oder Sediment transportieren. Extrem großmaßstäbige Forschungsansätze sind zu vermeiden, wichtiger ist die Konzentration auf kleinere Untersuchungsgebiete, welche sich bestenfalls auf Einzugsgebietsgröße beschränken. Nur so ist es möglich, das genaue Verhalten einer spezifischen Landschaft zu begreifen und in weiterer Folge vorherzusagen, wie sie auf gewisse Einflussfaktoren reagieren kann und wird. (Brierley et al., 2006)

Brierley et al. Differenzieren, wie auch Brunsden und Thornes, verschiedene Arten von Landscape Connectivity, wobei auch sie auf die Begriffe coupled (connected) und de-coupled (dis-connected) zurückgreifen.

TABELLE 2: KLASSIFIKATION DER CHANNEL-REACH CONNECTIVITY (HOOKE, 2003, S. 85)

#### Classification of channel reach connectivity

<b>Unconnected</b>	Local sources and stores/sinks. Incompetent reaches between
<b>Partially connected</b>	Transfer only in extreme flood events
<b>Connected</b>	Coarse sediment transfer during ‘normal’ flood events
<b>Potentially connected</b>	Competence to transport but lack of supply
<b>Disconnected</b>	Formerly connected but transfer is now obstructed (e.g. by dams)

In Tabelle 2 wurden die Linkages herausgegriffen, welche im Rahmen dieser Arbeit von besonderem Interesse sind. Im Allgemeinen können Linkages lateral wirken (Hang-Flussbett, Flussbett-Überflutungsfläche), longitudinal (entlang des Flussbettes, Zubringer-Hauptstrom) oder vertikal (Oberfläche-Untergrund, Atmosphäre-Grundwasser). Das Auftreten und die Anbindung dieser Formen können zeitlich variieren – durch Extremereignisse etwa kann ein Damm brechen, das aufgestaute Sediment wird freigesetzt und steht so erneut zum Transport zur Verfügung. Manche Formen nehmen Einfluss auf die Konnektivität, indem sie diese

hemmen oder verstärken. Hemmende Formen sind Buffers, Barriers und Blankets (siehe Kapitel 3.2), während verstärkende Prozesse Boosters genannt werden. (Brierley et al., 2006) Tabelle 3 zeigt eine Klassifikation der Channel-Reach-Connectivity, also die Intensität, in der Ufer und Bett miteinander kommunizieren.

TABELLE 3: LINKAGES (VERÄNDERT NACH BRIERLEY ET AL. 2006, S. 168/169)

Types of Linkages/ Scale	Processes	Measures used to assess strength of linkage	Controls
<i>Within Landscape Compartment</i>			
<b>Surface–subsurface (vertical linkage)</b>	Surface–subsurface exchange of water, sediment and nutrients. Infiltration and filtering. Maintenance of base flow.	Characterize sediment and water exchange between surface waters and ground water compartments. Determine the presence, distribution and role of blankets that impede exchange between surface and subsurface compartments and their potential to be reworked.	Bed material texture. Sediment transport regime of the channel. Recurrence of channel flushing flows. Groundwater mechanisms.
<i>Between Landscape compartments</i>			
<b>Upstream–downstream (longitudinal linkage)</b>	The transfer of flow through a system. The efficiency of supply, transfer and storage of sediments of variable calibre	Appraise the pattern and role of barriers and boosters. How readily can these barriers be reworked? Estimation of the ratio of transport capacity for a given range of events relative to sediment availability (and the character/ accessibility of stores) involves examination of the degree of channel bed aggradation or degradation, the distribution of bedrock steps along the longitudinal profile and the degree of channel and valley confinement.	Base level Sediment transport regime of the system (i.e. sediment supply or sediment transport limited).
<b>Slope–valley floor (lateral linkage)</b>	Slope denudation and erosion via mass movement, creep, wash, etc. Colluvial footslope deposition and reworking. Deposition and reworking of materials on the valley floor. Channel adjustment on the valley floor	Appraise how readily sediments transferred downslope are made available to channels. Are buffers absent/present? What is the position of the channel on the valley floor and the nature of the hillslope–channel interface? Interpret the frequency with which impediments to sediment conveyance off hillslopes may be breached.	Confinement of the valley floor. Channel position on the valley floor. The magnitude of flow events along the valley floor will dictate whether materials will be reworked along the channel network.

Connectivity lässt sich auch anderweitig unterteilen, etwa in Hydrologische Konnektivität und Sedimentkonnektivität, wobei auf letzterer liegt der Fokus dieser Arbeit liegt. “Sediment connectivity is the connected transfer of sediment from a source to a sink in a system via sediment detachment and sediment transport, controlled by how the sediment moves between all geomorphic zones in a landscape.” (Bracken et al., 2015) Sedimentkonnektivität bezeichnet also die Bewegung von (Sediment-)Partikeln innerhalb des Flusssystem, den Transport und Transfer zwischen verschiedenen Zonen der Abtragung und Ablagerung. Dabei sollten sich die Mengen erodierten und sedimentierten Materials die Waage halten. Diese Ablagerungs- oder Erosionsflächen werden als Sources und Sinks bezeichnet, langfristige Sinks als Stores. (Hooke, 2003) Grundsätzlich variiert die Konnektivität sowohl zwischen verschiedenen Landschaftseinheiten wie auch innerhalb des Systems räumlich wie auch zeitlich (Vgl. Abb. 16). (Hooke, 2003)

### 3.1 ARTEN VON KONNEKTIVITÄT

Die räumliche Konnektivität wird in drei „Richtungen“ unterteilt: longitudinal, lateral und vertikal, ergänzt durch die zeitliche Komponente. Ward macht die Zusammenhänge dieser vier Faktoren anschaulich:

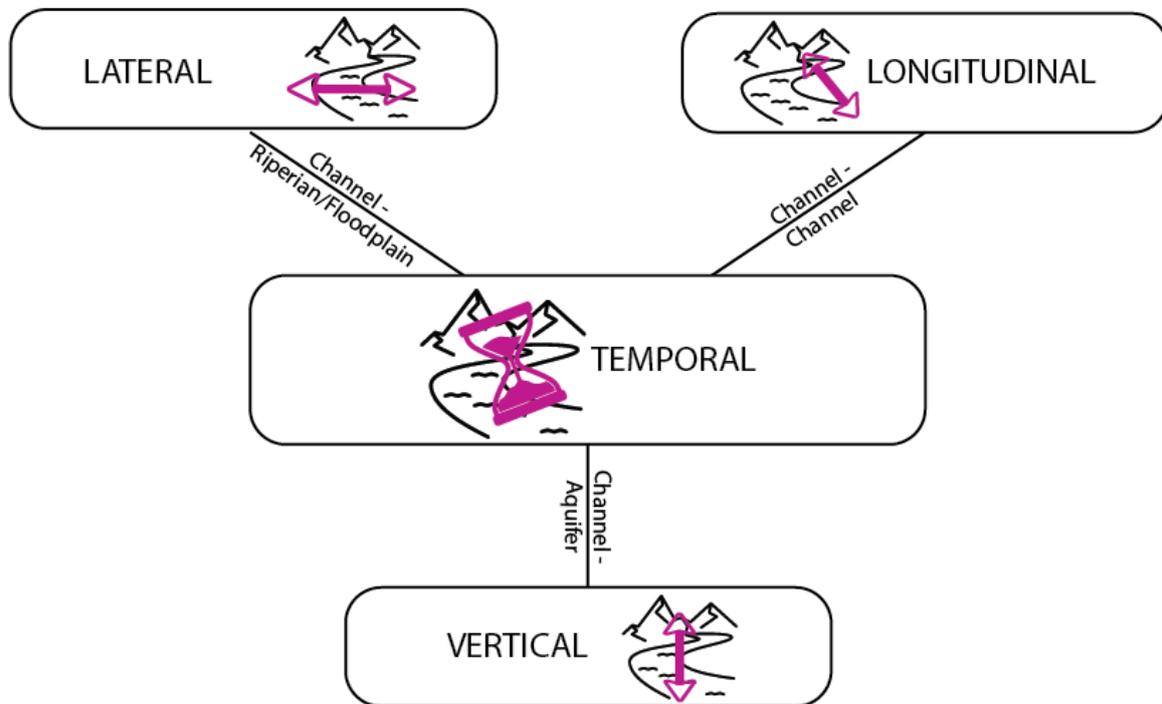


ABBILDUNG 16: DIE VIER DIMENSIONEN VON KONNEKTIVITÄT (VERÄNDERT NACH WARD, 1989, S. 3)

#### 3.1.1 LONGITUDINALE KONNEKTIVITÄT

Grundsätzlich bezieht longitudinale Konnektivität in Flüssen Wasser, Fische und Benthos mit ein, sowie Komponenten wie Sediment oder Nährstoffe. Die longitudinale Sedimentkonnektivität beschreibt, wie gut Sediment entlang eines Gerinnes bzw. zwischen den einzelnen Gerinneabschnitten transportiert werden kann. "Longitudinal linkages, such as upstream–downstream and tributary–trunk stream relationships, drive the transfer of flow through a system and the ability of channels to transfer or accumulate sediments of variable calibre on the valley floor." (Brierley et al., 2006, S. 169) Dabei ist der Grad der Kopplung zwischen den Gerinneabschnitten entscheidend – je ausgeprägter die gekoppelten Linkages sind, desto vollständiger ist die longitudinale Kopplung und desto höher ist die longitudinale Konnektivität innerhalb des Gerinnes. Grundsätzlich nimmt diese mit der Neigung, der Abflussmenge und der Abflussgeschwindigkeit zu, wobei es zu lokalen Abweichungen kommen kann. (Thiel, 2013)

Die longitudinale Konnektivität verbindet also ober- und unterstromige Bereiche bzw. Zubringer mit dem übergeordneten Gerinne, wobei *Barriers* (vgl. Kapitel 3.2.1) diese *Linkages* unterbrechen können. (Thiel, 2013)

#### 3.1.2 LATERALE KONNEKTIVITÄT

"Lateral linkages include slope–channel and channel–floodplain relationships that drive the supply of materials to a channel network." (Brierley et al., 2006, S. 166)

Direkte Erosion des Ufers oder Massenverlagerungsprozesse wie Muren oder Steinschlag sorgen für den Eintrag von Energie, Material oder Organismen vom Ufer her. (Thiel, 2013) Andererseits ist auch die Ablagerung von Material aus dem Gerinne möglich, etwa im Fall von Hochwassern, wodurch sich Überflutungsflächen bilden können. Besonders bei großen Gewässern mit sehr breiten Überflutungsflächen gewinnt die laterale Kopplung an Bedeutung. (Wolff, o.J.)

### 3.1.3 VERTIKALE KONNEKTIVITÄT

Vertikale Konnektivität beschreibt das Ausmaß der Austauschmöglichkeiten zwischen Oberfläche und Untergrund. (Fryirs et al., 2007) „Vertical linkages refer to surface–subsurface interactions of water, sediment and nutrients.“ (Brierley et al., 2006)

Man kann hier von Austauschprozessen zwischen gesättigtem und ungesättigtem Bereich sprechen, welche im Lockergestein vor allem von Bodenart und der Verdichtung des Gerinnebettes abhängig ist, da diese die Wasserwegigkeit des Untergrundes definieren. Im Festgestein dagegen bestimmen tektonische oder lithologische Gegebenheiten die vertikale Konnektivität. (Thiel, 2013) Die vertikale Konnektivität endet zudem nicht an der Wasseroberfläche des Kanals, auch die Atmosphäre steht mit dem Wasserkörper in Beziehung, ebenso wie Interstitial und Gewässersohle.

### 3.1.4 TEMPORALE KONNEKTIVITÄT

Eine vierte Komponente der Konnektivität stellen Veränderungen und Prozesse über die Zeit dar. Dieser zeitliche Faktor bezieht neben der Häufigkeit auch die Magnitude des Sedimenttransports mit ein, sowie Veränderungen in Vegetation, Landnutzung und Management. (Poepl et al., 2012)

Störungen sind dabei keinesfalls als vollkommen negativ zu bewerten: „Die typische Dynamik aus wiederkehrenden Störungen mit teils großen morphologischen Veränderungen, Umlagerungen und Erosions- wie Sedimentationsprozessen und den dazwischenliegenden, stabilen Phasen, ist wesentlich für die Ausbildung vielfältiger Habitats und damit einer arten- und individuenreichen Lebensgemeinschaft sowohl im Gewässer, wie auch im Umland [...]“. (Höfler et al., 2016)

## 3.2 EINFLÜSSE AUF DIE KONNEKTIVITÄT

Die im folgenden vorgestellten Einflussfaktoren auf die Konnektivität fußen auf den Definitionen von Fryirs et al. (Fryirs et al., 2007). So wie zwischen longitudinaler, lateraler und vertikaler Konnektivität unterschieden wird, so unterscheidet man auch bei den Hindernissen für die Konnektivität zwischen den drei Dimensionen. „These blockages are sediment sinks and stores that act to remove sediment from the cascade/conveyor belt for various lengths of time. Therefore they are considered here as primary agents of sediment disconnectivity in catchments. The type and distribution of these forms of disconnectivity dictate the strength of coupling between catchment compartments and the extent to which sediment conveyance is attenuated.“ (Fryirs, 2013)

### 3.2.1 BARRIERS

Die longitudinale Konnektivität, also die Verbindung entlang des Gerinnes, kann nach Brierley et al., durch so genannte Barriers unterbrochen oder zumindest behindert werden. (Brierley et al., 2006) Diese Unterbrechung des Materialtransportes kann sich in vielfältiger Weise auf die Ökologie und den Zustand des Gewässers

auswirken. So wird die Migration von Lebewesen beeinträchtigt, Energie- und Nährstofftransporte unterbrochen, die Abflusseigenschaften verändert und zu guter Letzt auch die flussabwärtige Bewegung von Sedimenten be- oder gänzlich verhindert. (Wolff, o.J.) Fryirs et al., auf die das Konzept der Barriers zurückgeht, definieren folgendermaßen: „Barriers most commonly disrupt longitudinal linkages through their effect on the base level or bed profile of a channel [...]. For example, bedrock steps or woody debris may locally reduce slopes by introducing a local base level control. Sediments are trapped as they backfill areas immediately upstream of the step, inducing local discontinuity in sediment transfer. Similarly, valley constrictions can act as barriers that initiate valley backfilling and sediment storage in floodplains or instream units (e.g. Tooth et al., 2002). Sediment slugs may act as plugs to sediment movement along channels (Happ et al., 1940). Typically, these features are large fluxes of sediment that move through a system over time (Nicholas et al., 1995). However, during low-moderate flow conditions these features may remain stationary in the channel. Indeed, further sediment may be added to their tails during this time, resulting in channel backfilling (Schumm et al., 1984). Only events large enough to rework and move the slug will reinstate connectivity and sediment conveyance (Nicholas et al., 1995; Lisle et al., 2001; Kasai et al., 2004a). Similarly, over-widened channels may not have the competence to carry sediments made available to them, acting as barriers to downstream sediment conveyance. Human modification to rivers may induce considerable barriers to sediment movement, whether advertently or otherwise. For example, dams may trap all but suspended load materials from moving through the system (e.g. Brune, 1953; Williams and Wolman, 1984; Graf, 1999). Barriers tend to be relatively localised features and are frequently reworked or breached. In some instances, sediment stores are transient, residing in the landscape for short periods of time (tens to hundreds of years) ([...] Meade, 1982; Brown, 1987). Elsewhere, barriers such as valley constrictions and dams are more permanent features, and require extreme events to be breached.” (Fryirs et al., 2007)

Wichtig ist also, dass es sich bei den Barriers oft um Formen handelt, welche durch Sediment entstanden sind. In einer Niedrigwasserperiode wurde Sediment abgelagert und, durch die lokale Veränderung des Abflussregimes, eine weitere Ansammlung von Material initiiert. Während ein Extremereignis diese natürlichen Formen verändern und so das Material erneut dem Transport zuführen können – also die longitudinale Konnektivität wiederhergestellt werden kann - sind anthropogene Features meist sehr langlebig. Eine natürliche Form von Barriers, welche die longitudinale Sedimentkonnektivität im Untersuchungsgebiet beeinflusst, sind Verklausungen, welche die gesamte Breite eines Fließgewässers einnehmen können. Durch eine Verklausung entsteht ein Rückstau, infolgedessen sich Fließgeschwindigkeit wie auch die Transportkapazität reduzieren: Ablagerungsflächen entstehen. Diese erhöhen zumindest temporär die Ablagerung von Feinsediment und organischer Substanz, eine längere Verweildauer hat den Nebeneffekt der verstärkten Aufnahme von Nährstoffen. Die gegenseitige Beeinflussung der verschiedenen Formen von Konnektivität wird hier deutlich: mit dem Rückstau an *Barriers*, durch den die Transportkapazität longitudinal verringert wird, erhöht sich die laterale Konnektivität durch vergrößerte Überflutungsbereiche. (Wohl & Beckmann, 2014)



ABBILDUNG 17: BEISPIELE FÜR BARRIERS IM KAJABACH (LINKS: BEDROCKSTEP, RECHTS: VERKLAUSUNG)

### 3.2.2 BUFFERS

Die laterale Kopplung kann durch Buffers, so genannte Pufferzonen, wie etwa Auen oder Schwemmfächer behindert oder unterbrochen werden. Nach Fryiers lassen sich Buffers folgendermaßen beschreiben: “Buffers are landforms that prevent sediment from entering the channel network. Once sediment is in the channel network, barriers can disrupt sediment moving along the channel. [...] Buffers disrupt lateral and longitudinal linkages within catchments. They may include alluvial pockets of floodplain, fans or piedmont zones that occur at breaks in slope along valley margins, disconnecting lateral connectivity in catchments [...]. Other buffers include features such as intact valley fills and floodouts (either terminal or intermediate) that have discontinuous or absent water courses [...] or low slope alluvial floodplains [...]. Elevated floodplain or terraces along trunk streams may block tributary confluences, disconnecting material supply from lower order drainage lines to the primary channel network [...]. Notwithstanding their obstruction of fluvial transport which, by definition, could qualify them as barriers, in this contribution these latter features are referred to as buffers, as these large sediment sinks often have residence times on the order of hundreds to thousands of years and are considered to be external to the channel network.” (Fryirs et al., 2007, S. 51)



**ABBILDUNG 18: BEISPIELE FÜR BUFFERS IM KAJABACH**

Neben den natürlichen Puffern wie Auenlandschaften beeinflusst auch der Mensch die laterale Konnektivität nachhaltig, etwa durch den Bau von Dämmen.

„Flow regulation by dams, often compounded by other modifications such as levee construction, normally results in reduced connectivity and altered successional trajectories in downstream reaches. Flood peaks are typically reduced by river regulation, which reduces the frequency and extent of floodplain inundation. A reduction in channel-forming flows reduces channel migration, an important phenomenon in maintaining high levels of habitat diversity across floodplains. The seasonal timing of floods may be shifted by flow regulation, with major ramifications for aquatic and terrestrial biota. Truncation of sediment transport may result in channel degradation for many kilometres downstream from a dam. Deepening of the channel lowers the water-table, which affects riparian vegetation dynamics and reduces the effective base level of tributaries, which results in rejuvenation and erosion.” (Ward & Stanford, 1995, S. 105)

Zudem dient der Auwald nicht nur als natürlicher Puffer, sondern exportiert im Überflutungsfall zugleich organisches Material in den Fluss, während der Fluss vor allem anorganisches Material im Auwald ablagert. (Ward & Stanford, 1995)

### 3.2.3 BLANKETS

Blankets können als Decken verstanden werden, als Formen, welche verhindern, dass ein Austausch zwischen Untergrund und Gewässer bzw. zwischen Atmosphäre und Gewässer stattfindet. Eine aufliegende Feinsedimentschicht kann die Infiltration von Wasser in den Untergrund verhindern, eine Gerinnebettarmierung die Aufnahme von Sediment durch das Gerinne. (Thiel, 2013) Diese Auflagen verringern die Fähigkeit des Gewässers, das Sediment zu remobilisieren.



ABBILDUNG 19: BEISPIELE FÜR BLANKETS IM KAJABACH

“Blankets disrupt vertical linkages through their effect on surface–subsurface interactions and the entrainment of sediment. They can occur instream or on floodplains and may include features such as floodplain sand sheets or fine grained materials that infill the interstices of gravel bars [...]. Bed armour acts as a blanket which inhibits the reworking of subsurface sediments (e.g. Church et al., 1988) [...]. Blankets are most commonly found along alluvial rivers where instream sediment stores and floodplain sinks are common. Depending on the position of blankets within the system, they can be extensive or localised features that are reworked over variable timeframes [...]. [...] these various forms of (dis)connectivity can be considered within a nested hierarchy at local, zonal and system scales [...]. At the local scale, (dis)connectivity is a within-compartment or within-landform phenomenon. [...]. At the zonal-scale, (dis)connectivity occurs between compartments or landforms. Slopes and channels are connected where landslide materials are contributed to the channel network and buffers are absent [...] or disconnected where floodplains or alluvial valley fills buffer the base of a slope [...]. At the broader system scale, (dis)connectivity relates to the behaviour of whole catchments. The spatial configuration of all forms of (dis)connectivity is assessed to determine linkages along the sediment cascade. [...] These relationships are not only spatially variable in terms of their frequency and relative importance, their operation also varies markedly over different timescales.” (Fryirs et al., 2007)

## 4. HINTERGRUND UND FRAGESTELLUNG

### 4.1 ZEITLICHE ABFOLGE DER EREIGNISSE UND GELÄNDEPHASEN

Im Jahr 2015 wurde der Damm des Sagteiches (Vgl. Abb. 13, S. 13) im Rahmen von Schlägerungs- und Sanierungsarbeiten abgetragen.



ABBILDUNG 20: BLICK AUF DEN ALTEN DAMM (L) UND VOM DAMM BACHABWÄRTS (R) (09/2015), C: ÜBL, 2015

Abbildung 20 zeigt den Zustand des Sagteich-Dammes vor den Sanierungsarbeiten. Der Abfluss, im linken Bild im Wasser zu erkennen, war verstopft, die Abdeckung zerbrochen. Es gab zu diesem Zeitpunkt kein Retentionsbecken, durch das Niederschlagsspitzen abgefangen werden könnten. Rechts sieht man den linken Abfluss des Sagteichs, der durch Reste der Schlägerungsarbeiten verstopft war. Nachdem das Wasser kontrolliert abgelassen worden war, wurden die Fischbestände des Teiches abgefischt. Auf Abbildung 21 ist der Sagteich zu sehen, nachdem das Wasser abgelassen worden war. Im Zuge der Bauarbeiten wurde ein Retentionsbecken gebaut. Dieses Rückhaltebecken sollte verhindern, dass während der Bauarbeiten vermehrt Sediment in den Kajabach eingetragen wird, da das leicht erodierbare Material im Teich offen lag (Vgl. Abb. 21).



ABBILDUNG 21: SAGTEICH OHNE WASSER, BLICK VOM DAMM RICHTUNG WESTEN (10/2015); ERSTE EROSIONSERSCHEINUNGEN (11/2015) (C: ÜBL, 2015)

Anfang Dezember 2015 fand ein Starkregenereignis statt, während der Damm noch immer offen war. Dadurch wurden große Mengen Feinsediment aus dem Sagteich ausgetragen und dammabwärts abgelagert. Das bereits fertig gestellte Rückhaltebecken konnte nur einen kleinen Teil des Sediments abfangen und so gelangten große Mengen an Sediment in die Kaja. Dieses Feinsediment lagerte sich sowohl im Bachbett als auch in den Uferbereichen ab und bildete Bänke mit bis zu 20 cm Höhe aus. Um besonders verschmutzte Bereiche zu reinigen, wurden von der Nationalpark Thayatal GmbH. Baggerarbeiten veranlasst. Diese fanden unmittelbar nach dem Eintrag statt. (Poepl et al, 2016) Die Abbildungen 22 bis 27 zeigen die Folgen des Ereignisses.



ABBILDUNG 22: EROSIONSPUREN AN DER GEWÄSSERSOHL



ABBILDUNG 23: DAMM NACH DEM STARKREGEN



ABBILDUNG 24: ABLAGERUNGEN ENTLANG DER KAJA, I



ABBILDUNG 25: ABLAGERUNGEN ENTLANG DER KAJA, II



ABBILDUNG 26: TIEFE DER ABLAGERUNGEN, BEISPIEL (C: ÜBL, 15)



ABBILDUNG 27: FEINSANDAKKUMULATION VOR VERKLAUSUNG

Da auch durch das Ausbaggern nicht sämtliches Material entfernt werden konnte, wurde im April 2016 vom Nationalpark Thayatal eine Spülung veranlasst. Im Rahmen der Spülung wurde gestautes Wasser kontrolliert aus dem Sagteich abgelassen um ein natürliches Hochwasserereignis zu simulieren, welches im Gerinnebett gespeichertes, potenziell nähr- bzw. schadstoffreiches Feinsediment auswaschen sollte. (Poepl et al., 2016) Um die Auswirkungen dieser Spülung quantifizieren zu können, wurde die erste Geländephase im März 2016 durchgeführt. Wie auch die zweite Phase bestand diese aus vier Einheiten: Biogeochemie, Makrozoobenthos, Sedimentologie und Geomorphologie, wobei der Schwerpunkt dieser Arbeit auf Letzteren liegt. Die zweite Geländephase fand mit etwas zeitlichem Abstand zur Spülung statt. Die entnommenen Sediment-Proben wurden nach Abschluss der gesamten Geländearbeit gesammelt bearbeitet, da die Frische der Proben keinen Einfluss auf die Analyse hatte.

TABELLE 4: ZEITLICHE ABFOLGE DER EREIGNISSE UND GELÄNDEPHASEN

Datum	Ereignis	Verantwortlich
09.09.2015	Baubeginn, Schlägerungsarbeiten	
06.12.2015	<b>Sedimentaustrag aus dem Sagteich</b>	
16.12.2015	Baggerarbeiten	Nationalpark Thayatal GmbH
26.02.2016	Makrozoobenthos I	Pichler-Scheder (Blattfisch.at)
07.03.2016	Sedimentologie I	Wurster (Uni Wien)
08.03.2016	Biogeochemie I	Weigelhofer (WCL)
21.03.2016	Geomorphologie I	Wurster (Uni Wien)
07.04.2016	<b>Spülung</b>	
22.09.2016	Makrozoobenthos II	Pichler-Scheder (Blattfisch.at)
05.10.2016	Sedimentologie II	Wurster (Uni Wien)
06.10.2016	Biogeochemie II	Weigelhofer (WCL)
10.10.2016	Geomorphologie II	Wurster (Uni Wien)
11.11.2015	Analyse Sedimentologie I und II	Wurster (Uni Wien)

Tabelle 4 zeigt die Abfolge der Ereignisse – Baubeginn, Sedimentaustrag, Baggerarbeiten und Spülung, sowie die einzelnen Geländephasen. Sedimentologie und Biogeochemie konnten gleichzeitig abgewickelt werden, während die geomorphologische Kartierung aus Zeitgründen bei der ersten Geländephase erst zwei Wochen später durchgeführt werden konnte. In der zweiten Geländephase wurde sie allerdings zeitgleich mit Sedimentologie und Biogeochemie abgewickelt. Diese Analysen verschiedener Aspekte des Zustands des Kajabaches sollen einen Überblick geben, welche Auswirkungen der Feinsedimenteintrag auf den Kajabach hat und welche Folgen sich ableiten lassen.

## 4.2 FRAGESTELLUNG

Nun stellt sich die Frage, welche Auswirkungen der Eintrag des Sediments auf die Kaja hatte und welche Rolle die Konnektivität dabei spielt. So soll die Leitfrage der Arbeit folgende sein:

### **Welche Auswirkungen haben Hochwasserereignisse auf die Sedimentologie des Kjabach und dessen vertikale Konnektivität?**

Um dies beantworten zu können, ist es nötig, die Fragestellung weiter zu unterteilen, wobei zwischen den Auswirkungen des Dammschadenereignisses selbst und dem damit verbundenen Sedimenteintrag auf der einen und den Auswirkungen der Spülung auf der anderen Seite zu unterscheiden ist. Die Auswirkungen der beiden Ereignisse können kaum voneinander getrennt betrachtet werden, doch ist nur eine Quantifizierung der Auswirkungen der Spülung möglich, da kaum Daten zum Zustand der Kaja vor dem Dambruchereignis im Dezember 2015 zur Verfügung stehen. Insofern kann man zwei Hypothesen samt unterordneten Annahmen unterscheiden:

#### **I. Auswirkungen des Dammschadenereignisses**

##### **Hypothese 1: Der Eintrag von Feinsediment hat Auswirkungen auf die Sedimentologie der Kaja.**

H1.1: Es gibt räumliche Muster bezüglich der Ablagerung.

H1.2: Es gibt Bereiche im Bach, welche besonders sensibel auf die Ablagerung reagieren.

##### **Hypothese 2: Der Eintrag von Feinsedimenten hat Auswirkungen auf die vertikale Konnektivität der Kaja.**

H2.1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen Sedimentologie und vertikaler Konnektivität.

H2.2: Der Zusammenhang zwischen Sedimentologie und Konnektivität wird durch Feinsedimente beeinflusst.

#### **II. Auswirkungen der Spülung**

##### **Hypothese 3: Ein Hochwasserereignis (die Spülung) hat Auswirkungen auf die Sedimentologie der Kaja.**

H3.1: Gezielte Maßnahmen (Spülung) können die Feinsedimentbelastung mindern.

H3.2: Die Spülung hat einen Einfluss auf die Menge und/ oder die Verteilung des abgelagerten Materials.

H3.3: Es lässt sich eine Veränderung der Korngrößenverteilung beobachten.

##### **Hypothese 4: Ein Hochwasserereignis (die Spülung) hat Auswirkungen auf die (vertikale) Konnektivität der Kaja.**

H4.1: Durch die Spülung kann die Konnektivität der Kaja wiederhergestellt werden.

H4.2: Eine veränderte Korngrößenverteilung wirkt sich auf die vertikale Konnektivität aus.

In Kapitel 5 soll eine Literaturrecherche einen ersten Überblick über die Zusammenhänge zwischen Sediment und Konnektivität und über mögliche Auswirkungen einer Störung dieser Zusammenhänge geben.

## 5. MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN DES FEINSEDIMENTEINTRAGES AUF DIE (VERTIKALE) SEDIMENTKONNEKTIVITÄT UND DAS HYPORHEISCHE INTERSTITIAL

Grundsätzlich ist es schwierig, die Folgen des Feinsedimenteintrages allein auf Sediment oder Konnektivität zu beziehen. Noch schwieriger ist ein Bezug allein auf die vertikale Konnektivität, da sich longitudinale, laterale und vertikale Konnektivität gegenseitig beeinflussen. Erhöhter Materialeintrag vom Ufer etwa kann in weiterer Folge zur Bildung von Sedimentbänken führen, welche den longitudinalen Transport von Material einschränken. (Pusch, 2012) Besonders wichtig ist vertikale Konnektivität im Bereich des gesättigten Sediments, dem hyporheischen Interstitial oder Hyporheal, in dem es zum dynamischen Austausch von Wasser und Material zwischen Grundwasser, wasserführender Schichten und dem Fließgewässer selbst kommt.

„Als Übergangszone zwischen Aquifer und Freiwasser ist das Interstitial durch starke hydraulische, geochemische und biologische Gradienten gekennzeichnet [...]. Es bestimmt als Filtermedium über die Austauschprozesse zwischen den angrenzenden Biotopen [...]. (Thurmann & Zumbroich, 2013)

Das Hyporheal ist in vielerlei Hinsicht gefährdet: sei es durch Schadstoffe, Entnahme von Material, Veränderung des Grundwasserspiegels oder durch Verschlammung, die sogenannte Kolmation. (Boulton, 2000) Schälchli definiert Kolmation als alle Vorgänge, welche zu einer Reduktion des Porenvolumens, einer Verfestigung des Filtermediums und der Abnahme der Durchlässigkeit der Sohle führen können. (Schälchli, 1993) Diese zunehmende Abdichtung führt neben der erschwerten Filtration des Gewässers ins Grundwasser und die sinkende Permeabilität auch zu einer ungünstigen Sauerstoffversorgung des Interstitials. (Höfler et al., 2016) Ausgelöst wird dies durch den Eintrag und die Ablagerung von suspendierten und gelösten Stoffen auf oder im porösen Sohlenkörper. Unterscheiden lässt sich zwischen innerer (Ablagerung in der Sohle) und äußerer (Ablagerung auf der Sohle) Kolmation. Von einer vollständigen Kolmation spricht man sowohl, wenn sich im Sohlinnern Kolmationshorizonte gebildet haben als auch, wenn auf der Sohle äußere Kolmationsschichten abgelagert wurden und sich dadurch die hydraulischen und bodenmechanischen Eigenschaften der Sohle wesentlich verändert haben. Schälchli schreibt, dass „für den Ablauf der Kolmation [...] die Kornverteilungen des Sohlenmaterials und der Schwebstoffe [entscheidend sind]. Die Feinpartikel können entweder erstens ungehindert in den Porenraum eindringen und unter Umständen zum Teil mit der Strömung bis in den Grundwasserträger transportiert werden (Tiefenfiltration), zweitens im oberflächennahen Porenraum abgelagert oder drittens auf der Sohle in Form eines Filterkuchens zurückgehalten werden (Oberflächenfiltration). Welche Prozesse maßgebend sind, hängt vom Verhältnis der Korngrößen des Sohlenmaterials und der Schwebstoffe ab.“ (Schälchli, 1993) Man kann folgende Orte der Ablagerung unterscheiden: die Oberfläche, zwischen Körnern durch Einkeilen in Verengungen, in zu engen Porenkanälen oder in Toträumen (Vgl. Abb. 28).

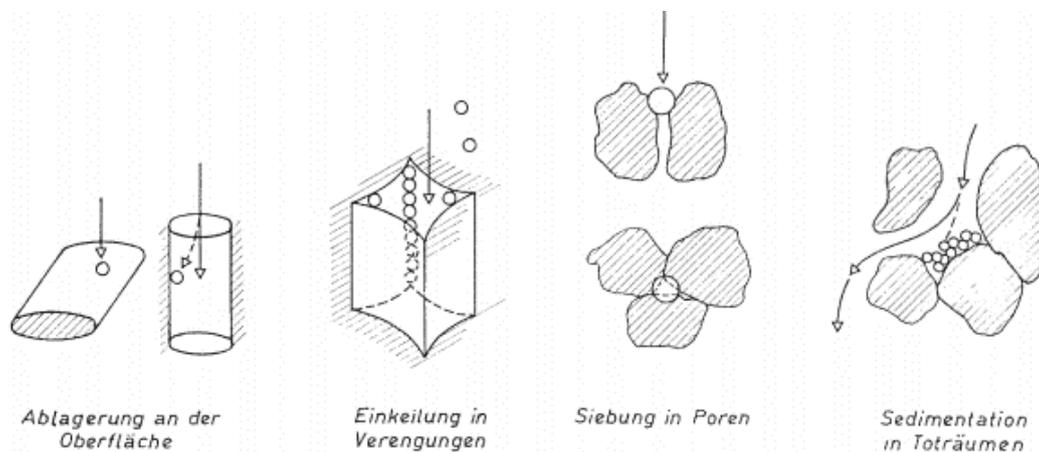


ABBILDUNG 28: UNTERSCHIEDUNG DER ORTE DER ABLAGERUNG (SCHÄLCHLI, 1993, S. 23)

Mit der Kolmation geht ein Verlust der geomorphologischen Komplexität der Gewässersohle einher. Das longitudinale Profil des Bachbetts wird „geglättet“, da durch eine geschlossene Schlammschicht die Rauigkeit abnimmt, wodurch wiederum der hydrologische Austausch zwischen Kanal und Untergrund verringert wird. (Keene et al., 2007) Diese Linkages (vgl. Kapitel 3) wiederherzustellen, ist in vielerlei Hinsicht von Bedeutung: „The key benefit of restoring hydrological connectivity of stream flows with alluvial groundwaters of the floodplain is increased groundwater storage, leading to increased stream base flow in dry seasons and enhanced ecological function of the hyporheic zone [...]. [The Hyporheal, the] zone between surface water and groundwater has fundamental ecological significance for surface ecosystem processes such as stream health and riparian function [...], with a role in the alteration of water chemistry. [... H]yporheic function [... is] significant for an understanding of stream water and groundwater interactions in hydrological and biogeochemical models, particularly associated with changes to channel morphology.“ (Keene et al., 2007, S. 187)

Auch Höfler et al. erklären den Schutz des Interstitials von kleineren und mittleren Fließgewässern vor Feinsediment zum wesentlichen Faktor, da eine zu hohe Sedimentbelastung neben hydromorphologischen Faktoren weltweit am meisten zur Degradation von Fließgewässern beiträgt. Als Feinsediment werden hier Korngrößen unter 2mm definiert, worunter die Fraktionen Sand, Schluff und Ton fallen. Dabei sind besonders Teilchen mit einem Durchmesser unter 0,63 mm problematisch, da diese einen überdurchschnittlichen Anteil und Nähr- wie auch Schadstoffen speichern und transportieren. (Höfler et al., 2016) „Tonige und siltige Partikel verfügen über eine große spezifische Oberfläche, an der sich organische Schadstoffe, Nährstoffe wie Phosphor oder Stickstoffverbindungen und andere Schadstoffe, vor allem Schwermetalle, anlagern können. [...] Beim Transport von Feinsediment kommt es somit zu einem erhöhten partikulären Transport [...] dieser Stoffe und schließlich zur Neuablagerung bzw. Zwischenspeicherung nährstoffreicher Sedimente [...]. Dem Element Phosphor kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu, da dieses ein limitierender Nährstoff bei der Biomasseproduktion ist und es bei Phosphorüberangebot zu Eutrophierungserscheinungen kommt.“ (Thurmann & Zumbroich, 2013)

Auch die Sandfraktion kann degradierend wirken, sie ist verantwortlich für das Phänomen der Versandung, dessen Intensität je nach geologischem Untergrund variiert. Besonders granit- und gneisdominierte Gebiete sind davon betroffen – Gesteine, welche auch im Untersuchungsgebiet häufig anzutreffen sind (vgl. Kapitel 2.1.1). Sandfraktionen bilden sehr mobile Bänke, welche bereits bei kleineren Events remobilisiert werden und die aquatische Fauna beeinflussen können. Im Sinne der vertikalen Konnektivität ist der erhöhte Eintrag von Partikeln aus der Tonfraktion problematischer, da sie die Austauschprozesse im Interstitial unterbinden. Diese Austauschprozesse zwischen Grundwasser, Gewässer und Atmosphäre sind die Grundvoraussetzung vertikaler Konnektivität; werden diese unterbunden, so ist kein Linkage zwischen den Einheiten Grundwasser und Bachbett mehr möglich. Zu erwähnen ist aber, dass der unterbundene Austausch zwischen Grund- und eventuell kontaminiertem Oberflächenwasser durchaus von Vorteil sein und dem Schutz des Grundwassers dienen kann. (Brunke & Gonser, 1997)

Das Interstitial hat eine wichtige Rolle beim Erhalt der Resilienz eines Baches und weist Pufferfunktionen auf. So sind etwa im Jahresverlauf die Temperaturschwankungen im Hyporheal niedriger als im Freiwasser, während die Sauerstoffkonzentration im Interstitial grundsätzlich niedriger ist, da Sauerstoff und organisches Material nur über Sickerprozesse eindringen. Da die Infiltration anhängig von der Korngrößenverteilung und der Fließgeschwindigkeit ist, kann sie durch die Kolmation stark beeinflusst werden und sich auch auf den Sauerstoffgehalt negativ auswirken. (Thurmann & Zumbroich, 2013) Im intakten Interstitial gibt es eine Reihe von Selbstreinigungsmechanismen, die auf die Fähigkeiten der bewohnenden Organismen zurückgeht. Diese sogenannten Biofilme sind in der Lage „Schadstoffe, organisches Material oder Nährstoff zurückzuhalten, umzubauen oder zu speichern. Das Selbstreinigungspotential ist vom Zustand und der Aktivität der Biofilme sowie der Intensität der im Interstitial ablaufenden ökologischen Prozessen abhängig.“ (Thurmann & Zumbroich, 2013) Biofilme benötigen dafür ausreichend Sauerstoff, wird die Zufuhr durch Kolmation

unterbunden, so werden die Organismen inaktiv. Auch die bereits erwähnte Funktion des Feinsediments als Schadstoffsammler (Höfler et al., 2016) kann als Puffer fungieren, sofern ungestört. Sind Interstitial oder Biofilm geschädigt, so werden Schadstoffe schneller in vollem Umfang abtransportiert. (Thurmann & Zumbroich, 2013) Daneben kann Kolmation einen Kaskadeneffekt auslösen, der schwerwiegende Folgen auf das gesamte Ökosystem hat. Durch den Verlust der Porenräume und die Veränderungen der Substratzusammensetzung steht kein Platz zur Brutpflege des Makrozoobenthos zur Verfügung, die Arten- und Individuenzahl nimmt ab. (Brunke & Gonser, 1997) Dabei hat das Makrozoobenthos wichtige Aufgaben im Gefüge: „Many benthic species convert live plant and dead organic material into prey items for larger consumers in complex food webs. In the process of maintaining energy flow, these benthic species simultaneously provide essential ecosystem services, such as nutrient cycling and aeration of sediments. Different species comprise distinct functional groups that provide ecological integrity. In some 124 BioScience Vol. 49 No. 2 cases, these functional groups may be represented by only a few species, so that any loss of species diversity could be detrimental to continued ecosystem functioning. Thus, it is increasingly important to protect the biodiversity of benthic communities to lower the risk of unexpected and unwanted consequences.“ (Covich et al., 1999)

Die Verringerung der Arten und Individuen des Makrozoobenthos zieht sich in die höheren Stufen der Nahrungskette weiter: Fische leiden neben dem Verlust von Laichgründen auch unter einem verringerten Nahrungsangebot. Daneben ist, wie bereits in Kapitel 2.1.6 ausgeführt, in der Kaja eine der letzten österreichischen Edelkrebspopulationen zu finden. Edelkrebse haben hohe Ansprüche an ihren Lebensraum und „bevorzugen strukturreiche stehende oder langsam fließende Gewässer mit hoher Breiten-Tiefenvarianz, geringer Geschiebeführung und Sedimentfracht.“ (Hager, 2007) Aus diesem Grund wurden sie bei den Kartierungsarbeiten in der Kaja 2005 bis 2007 vor allem unterhalb von Seen und Teichen vorgefunden. Schlammige Böden kann der Edelkrebs als Weide- oder Jagdgebiete nutzen, jedoch nicht als Wohnstätte – flach auslaufende, schlammige Ufer meidet er weitgehend. „Er ist erstaunlich unempfindlich gegenüber organischer Belastung, reagiert jedoch empfindlich auf chemische Verschmutzung, speziell niedrige pH-Werte. Der Edelkrebs benötigt eine Temperatur von mindestens 15° C über die Sommermonate. Er verträgt relativ geringe Sauerstoffmengen, Werte von 3 bis 4 mg/l sind jedoch als unterste Grenze anzunehmen.“ (Patzner, 2003) Durch den hohen Anteil landwirtschaftlicher Nutzung im gesamten Einzugsgebiet der Kaja ist mit einem gewissen Eintrag organischer wie chemischer Verschmutzung zu rechnen, welche Einfluss auf die Population nehmen können (Poepl et al., 2016). Zudem ist ein Absinken der Gewässertemperatur denkbar, wenn die Pufferfunktion des Teiches entfällt – wenn auch nur über einen begrenzten Zeitraum. Damit ist der Eintrag von potentiell nähr- bzw. schadstoffreichem Feinsediment ein Faktor, der weiteren Druck auf die unter Artenschutz stehende Art ausübt. Auch kann die „kurzfristige Remobilisierung von über oft Jahrzehnte lang kumulierten Feinsedimenten zu gravierenden Fischsterben und Bestandsverlusten über lange Strecken flussab [...] führen.“ (Schmutz, 2003), ein Faktor, der auch die Bestände des Edelkrebses beeinflussen kann.

Unter Bezug auf die Literatur lassen sich bereits zwei der in Kapitel 4.2 aufgestellten Hypothesen beantworten, welche unter der „Hypothese 2: Der Eintrag von Feinsedimenten hat Auswirkungen auf die vertikale Konnektivität der Kaja“ zusammengefasst wurden.

### **H2.1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen Sedimentologie und vertikaler Konnektivität.**

Die Hypothese ist, beruhend auf obenstehender Erläuterung der Thematik, anzunehmen. Die Verbindungen zwischen Sedimentologie und vertikaler Konnektivität sind mannigfaltig, wenn auch teils nur schwer von anderen Faktoren (z.B. lateraler/ longitudinaler Konnektivität) zu trennen. Ein Beispiel für die enge Wechselwirkung zwischen Sedimentologie und vertikaler Konnektivität sind Reduktionsvorgänge. Wird durch erhöhten Eintrag von Sediment und äußere Kolmation die vertikale Konnektivität gestört und die Austauschprozesse zwischen Hyporheal und Gewässer behindert, sinkt die Sauerstoffsättigung im Bachbett.

**H2.2: Der Zusammenhang zwischen Sedimentologie und Konnektivität wird durch Feinsedimente beeinflusst.**

Auch diese Hypothese ist anzunehmen. Während Keene bzw. Thurmann und Zumbroich sich vor allem auf die Austauschprozesse im Interstitial konzentrieren, zeigt Schälchli die Auswirkungen auf, die ein vermehrter Feinsedimenteintrag auf die Konnektivität hat. (Keene et al., 2007; Schälchli, 1993; Thurmann & Zumbroich, 2013) Dass dieser Zusammenhang grundsätzlich besteht, wird bei allen betont.

## 6. METHODIK UND DATENGRUNDLAGE

Die Methoden, welche zur Untersuchung der Auswirkungen des Dammschadenereignisses angewandt wurden, lassen sich in zwei Schwerpunkte untergliedern: die Geomorphologische Kartierung und die Analyse der Sedimentologie, welche wiederum aus Freeze-Core-Sampling und Korngrößenanalyse bestand. Für die Darstellung der Ergebnisse wurden dabei verschiedene Daten verwendet.

### 6.1 DATENGRUNDLAGE

Als Datengrundlage für die Bearbeitung der Fragestellung mittels GIS-Methoden stand Folgendes zur Verfügung (siehe Tabelle 5):

TABELLE 5: DATENGRUNDLAGE

NAME	AUFLÖSUNG/ MAßSTAB	JAHR	QUELLE
<b>DIGITALES HÖHENMODELL DEM 1</b>	1m x 1m	2006, 2008	Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Gruppe Wasser, Österreich
<b>DIGITALES HÖHENMODELL DEM 10</b>	10m x 10m	2006	Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Gruppe Wasser, Österreich
<b>DIGITALES OBERFLÄCHENMODELL (DTM)</b>	1m x 1m	2006, 2008	Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Gruppe Wasser, Österreich
<b>ORTHOFOTOS</b>	0,25m x 0,25m	2001, 2007	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Österreich
<b>LANDNUTZUNG</b>	1: 100.000	2000	CORINE (2000); Umweltbundesamt, Österreich
<b>BODEN</b>	1km x 1km	2016	Bundesforschungszentrum für Wald (BFW)
<b>GEOLOGISCHE KARTE</b>	1: 50.000	2008	Geologische Bundesanstalt, Österreich

Zusätzlich standen Shapefiles zur Verfügung, welche durch die Bearbeitung des Gebiets durch Poepl entstanden waren, so etwa die linienhafte Darstellung der Kaja und ihrer Zubringer oder das Einzugsgebiet. Alle übrigen Daten wurden im Rahmen der Geländearbeiten erhoben. (Poepl, 2010)

### 6.2 GEOMORPHOLOGISCHE KARTIERUNG

Nach Leser und Stäblein dient eine geomorphologische Kartierung einer Bestandsaufnahme und enthält alle geomorphologischen Sachverhalte und Faktoren, welche für die Interpretation des Reliefs relevant sind. Diese sollen flächendeckend und in einer hinreichend topographischen und sachlichen Differenzierung dargestellt werden. Neben Reliefeigenschaften, -formen, und -elementen, oberflächennahen Untergrund und Prozessbereichen sind in der vorliegenden Kartierung besonders Klein- und Kleinstformen sowie Prozesse von besonderem Interesse. (Leser & Staeblein, 1975)

Zur Vorbereitung der Kartierung wurden mittels der unter 6.1 aufgelisteten Daten Karten angefertigt, die als Orientierungsgrundlage diente. Bei beiden Kartierungen wurde an der Mündung der Kaja in die Thaya begonnen und flussaufwärts vorgegangen. Bei der zweiten Begehung im Oktober erfolgte dies im Verlauf von zwei Tagen, im März an nur einem. Alle Ablagerungen wurden mittels GPS erfasst und nummeriert. Händisch

wurden Breite, Länge und Tiefe der jeweiligen Ablagerung in cm erfasst. Neben den Ablagerungen wurden auch Auffälligkeiten im Bachverlauf erfasst (z.B. Pool and Riffle- Sequenzen) und Formen, welche eine Veränderung in der Sedimentationsdynamik hervorrufen könnten (z. B. Verklausungen). Diesen wurde ebenfalls ein GPS-Punkt zugewiesen. Anschließend wurden die Mitschriften in Excel übertragen, in ArcMap importiert und die Informationen miteinander verschnitten, so dass den Lagedaten auch Informationen zur Ausdehnung der Sedimente zugewiesen wurden. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Kapitel 7.1 zu finden.

## 6.3 SEDIMENTOLOGISCHE UNTERSUCHUNG

### 6.3.1 VERORTUNG DER PROBESTRECKEN

Abbildung 29 zeigt die drei Probestrecken, in deren Umfeld die Proben in März und Oktober entnommen wurden. Eine genauere Verortung der Stellen wird bei den einzelnen Cores gezeigt.

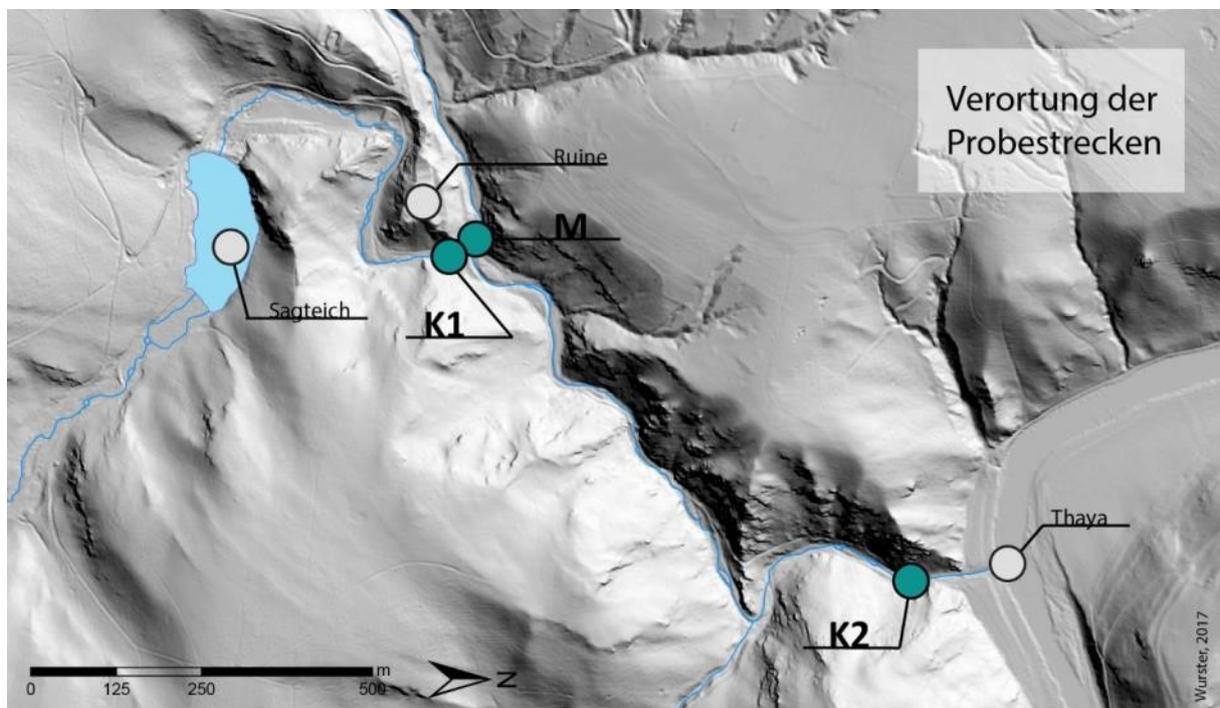


ABBILDUNG 29: VERORTUNG DER PROBENAHMESTELLEN, ÜBERBLICK (QUELLE: AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, GRUPPE WASSER)

**K1** (vgl. Abb. 30, folgende Seite) befindet sich kurz vor der Einmündung des Merkersdorfer Baches in den Kajabach. Das Gefälle ist in diesem Abschnitt sehr gering, das Bachbett weitet sich auf und durch die Einmündung des Merkersdorfer Baches kommt es zu einem leichten Rückstau, wodurch die Fließgeschwindigkeit hier reduziert wird. Die Wassertiefe liegt hier bei etwa 20 – 30 cm. Die Ufer sind mäßig steil und beidseitig mit Sträuchern und Bäumen bewachsen.



ABBILDUNG 30: PROBESTRECKE K1 IM MÄRZ (L) UND OKTOBER (R)

Probestrecke **K2** (Abb. 31) liegt knapp oberhalb der Einmündung der Kaja in die Thaya. Direkt nach der Probestrecke weitet sich das bis dahin von beiden Seiten durch Felsen eingeengte Tal auf. Das Gefälle ist hier relativ hoch, es wechseln sich Pool und Riffle Sequenzen ab, die Strömung ist teils turbulent. In den Riffle-Abschnitten ist die Gewässertiefe gering, in den Pools ist sie mit ca. 30 – 40 cm etwas höher. Die Ufer sind eher flach und stark bewachsen, vor allem mit Bäumen, Sträuchern, im Oktober war die Krautschicht ebenfalls ausgeprägt.

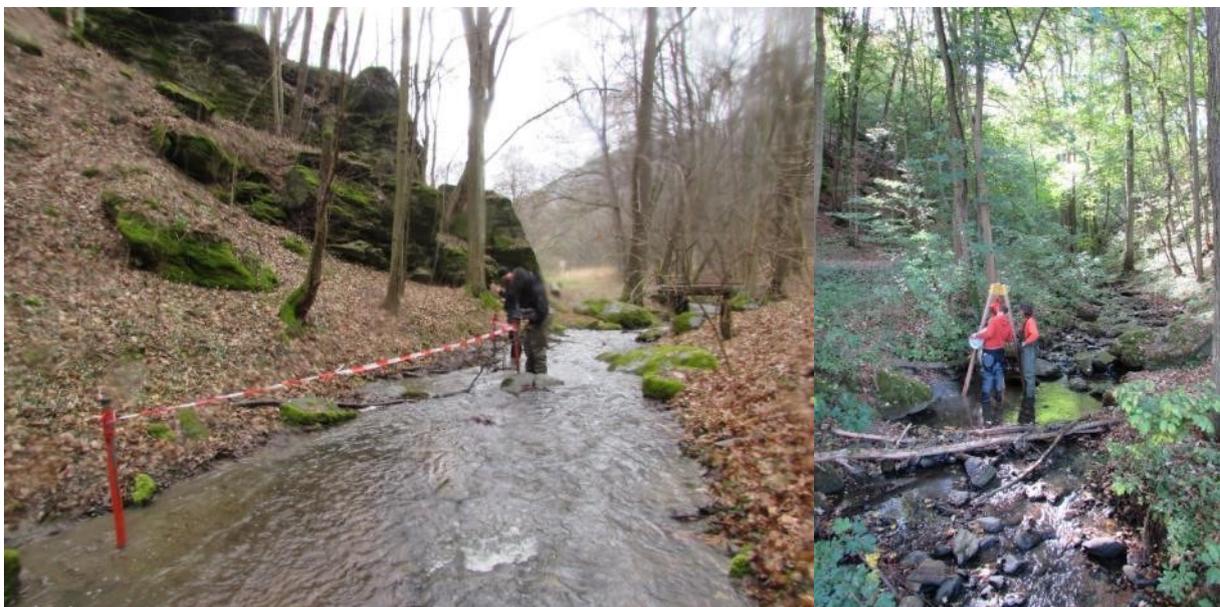


ABBILDUNG 31: PROBESTRECKE K2 IM MÄRZ (L) UND OKTOBER (R)

Die Vergleichsstrecke **M** im Merkersdorfer Bach liegt knapp oberhalb der Mündung des Baches in die Kaja. Das orographisch linke Ufer ist steil und felsig, das rechte Ufer flach und bewachsen (Bäume, Sträucher, Krautschicht). Die Wassertiefe beträgt hier nur etwa 10 cm, wobei der Merkersdorfer Baches kaum mehr als 1,5 m breit ist. Auch hier kann man von Riffle-Pool-Sequenzen sprechen, wobei die Cores jeweils eher in den Pools entnommen wurden, da in diesen weniger Steinblöcke waren, welche das Einschlagen behindern könnten. (vergleiche Kapitel 6.3.1)



ABBILDUNG 32: PROBESTRECKE M IM MÄRZ (L) UND OKTOBER (R)

Die Benennung der Proben erfolgte nach den Bestimmungen in Tabelle 6:

TABELLE 6: BENENNUNG DER FREEZE-CORE PROBEN

Standort	März	Oktober
Kajabach, Mündung, oben	K1A	K1AN
Kajabach, Mündung, unten	K1B	K1BN
Kajabach, Merkersdorfer Bach, oben	K2A	K2AN
Kajabach, Merkersdorfer Bach, unten	K2B	K2BN
Merkersdorfer Bach, oben	MA	MAN
Merkersdorfer Bach, unten	MB	MBN

### 6.3.2 ENTNAHME DER FREEZE CORES

Um die Korngrößenverteilung des Bachbettes in den verschiedenen Schichttiefen festzustellen, mussten Proben entnommen werden. Smith und Elmore beschreiben die Probleme, die sich bei der Entnahme von Sedimentproben aus Fließgewässern ergeben: es handelt sich dabei um loses, oft grobkörniges und wassergesättigtes Material, welches sich nicht mit einem gewöhnlichen Erdbohrstock wie etwa einem Pürckhauer entnehmen lässt. Die zu entnehmenden Sedimente sind dafür oft entweder zu groß (der Innendurchmesser beträgt bei einem Erdbohrstock je nach Modell zwischen 20 und 30 mm) oder auch zu lose (sie würden aus der Öffnung des Entnahmeapparates herausfallen). (Smith & Elmore, 2014) Um diese Probleme zu umgehen, entwickelten Stocker und Williams die Freeze-Core Methode. (Stocker & Williams, 1972) Hier werden die Proben nicht innerhalb des Cores entnommen, sondern durch Gefrierprozesse an der Außenseite eines Stahlrohrs fixiert. Das nach unten geschlossene Stahlrohr hat eine Länge von 170 cm, einen Durchmesser von 10 cm und wird bis zu einer Markierung bei etwa 70 cm in das Bachbett getrieben (Vgl. Abb. 33). Dabei ist zu beachten, dass das Stahlrohr nicht beschädigt wird: dringt Wasser in das Rohr ein, ist nicht mehr nutzbar. Gegen Regen wird das Rohr nach oben hin verschlossen.

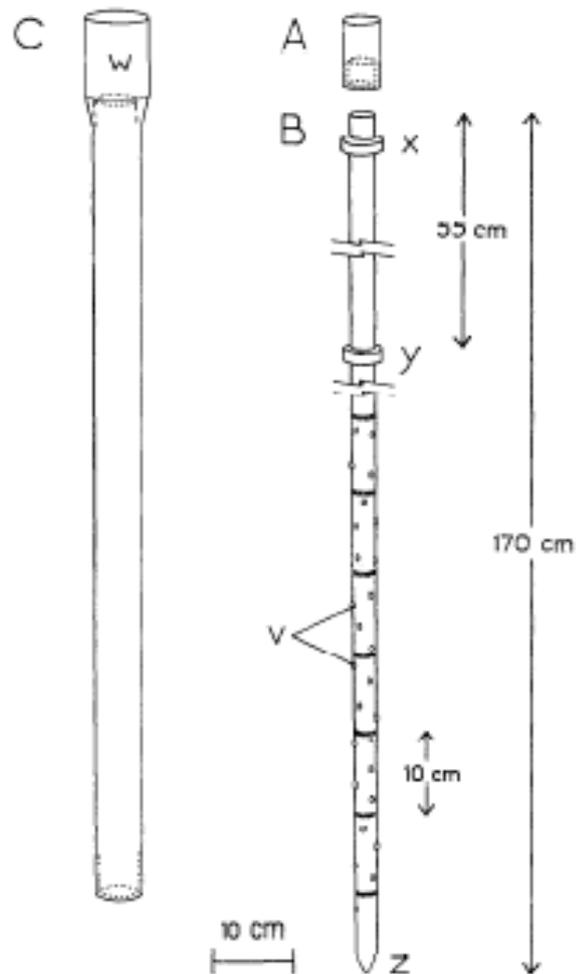


FIG. 1. Diagram of the apparatus.

ABBILDUNG 33: SKIZZE DES FREEZE-CORES (STOCKER UND WILLIAMS, 1972)

Mit Hilfe der Freeze-Core Methode lassen sich verschiedene Fragestellungen klären. Ist das Ziel eine Analyse des Makrozoobenthosbestandes in einem Fließgewässer, so verbleibt der Core über

einen längeren Zeitraum im Bachbett. Dadurch wird sichergestellt, dass sich das Material rund um den Core wieder absetzt und anschließend auch wieder besiedelt wird. (Humpesch & Niederreiter, 1993) Im vorliegenden Fall sollte mittels Freeze-Core nur die Lagerung und Verteilung der Korngrößen analysiert werden, wodurch eine Ruhephase über Nacht ausreichend war, damit sich das umgebende Material wieder absetzt. Nach dieser Zeitspanne wurde flüssiger Stickstoff gleichmäßig in das Rohr gefüllt. Dies geschieht mit Hilfe eines Trichters und des sogenannten „Löffels“. Es handelt sich dabei um einen Stab in Länge des Cores, an dessen Ende eine Platte, im Durchmesser etwas kleiner als das Rohr, verhindert, dass der Stickstoff unkontrolliert nach unten läuft. Ohne diese Vorrichtung wäre es nicht möglich, den Stickstoff gleichmäßig im Rohr zu verteilen und es könnte kein gleichmäßiges Durchfrieren gewährleistet werden. Für ein komplettes Durchfrieren des Cores sind etwa 10l flüssiger Stickstoff notwendig, wobei diese Menge je nach Außentemperatur variiert. Die Menge beeinflusst auch, wie viel Material am Freeze-Core hängen bleibt – je wärmer es ist, desto mehr Stickstoff braucht es für pro Core. Die Proben im März bei ca. 3°C waren deutlich größer und schwerer als die Cores im Herbst bei ca. 20° C. Die Länge der entnommenen Proben variiert und lag bei den entnommenen Proben zwischen 55 cm und 80 cm. Bei den kürzeren Cores blockierten meist Felsen im Untergrund, ein tieferes Einschlagen wäre an diesen Stellen also nicht möglich gewesen. Anschließend wird

der Core mit Hilfe eines Dreibeins und einer Seilwinde entnommen. Die Abbildungen 34 bis 37 zeigen das Vorgehen bei den Probenahmen mittels Freeze-Core.



ABBILDUNG 34: I: EINSCHLAGEN DES CORES



ABBILDUNG 35: II: BEFÜLLEN DES CORES MIT STICKSTOFF



ABBILDUNG 36: III: DURCHGEFRORENER CORE



ABBILDUNG 37: IV: ENTNAHME DES CORES

Nach der Entnahme wurden die Cores vermessen und in 10 cm Abschnitte unterteilt, welche mittels Hammer und Meißel abgeschlagen und getrennt in Probeeimern verwahrt wurden.



**ABBILDUNG 38: ENTNOMMENER CORE**

Dem Namen jeder Probe (vgl. Kapitel 6.3.1) wurde zudem die Entnahmetiefe zugeordnet. Beispielsweise wurde also der Freeze Core, der im Kajabach oberhalb der Einmündung des Merkersdorfer Baches entnommen wurde und sich weiter flussabwärts befand, im März den Namen K1B, der Abschnitt, der in 20 cm Tiefe begann, als K1B 20 -30. Diese Nomenklatur wird im gesamten Verlauf weiterverwendet. Bei der Entnahme wurde bei großen Blöcken in den Cores erfasst, wie viel Prozent des Steins sich innerhalb des Cores befanden.

### 6.3.3 ANALYSE DER KORNGRÖSSENVERTEILUNG

Die Analyse der Korngrößenverteilung wurde von Mitte Oktober bis Mitte November 2016 im Physiogeographischen Labor der Universität durchgeführt. Die Proben wurden bis zu diesem Zeitpunkt luftdicht abgeschlossen im Geländelager aufbewahrt. Da sich sämtliche Analysen auf die getrockneten Proben beziehen, war es nicht erforderlich, die Proben feldfrisch zu behandeln. Die anschließende Analyse der Korngrößenzusammensetzung wurde nach den Vorgaben zweier ÖNORMEN durchgeführt:

- ÖNORM L 1061-1 [2002 02 01: Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens -Teil 1: Grobboden
- ÖNORM L 1061-2 2002 02 01: Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens – Teil 2: Feinboden]

Das Gesamtgewicht der bearbeiteten Proben betrug 242,96 kg, wobei 93,04 kg davon auf die Probenahme im Oktober entfielen – mit 149,92 kg machten die Proben im März ca. 61% des Gesamtvolumens aus. Dies lag unter anderem daran, dass es bei der Probenahme im März recht kalt war und bei der gleichen Menge

Stickstoffs vor allem eine größere Menge von Gesteinsbrocken festfrozen. Bei den gesammelten Proben handelt es sich um Masseproben; Mischproben, bei denen die natürliche Lagerung innerhalb der Probe (10 cm Abschnitte) keine Rolle spielt.

Die Proben wurden auf beschriftete Petrischalen aufgeteilt und über Nacht „atro“ getrocknet. Handelt es sich bei Bodenanalysen um Gehaltsbestimmungen, so sind die Resultate auf die Trockenmasse (atro) der Probe beziehen, so wurde „der Wassergehalt der feldfrischen oder luftgetrockneten Proben durch Trocknung bei 105 °C“ (Blume et al., 2011) im Trockenschrank entzogen. Sämtliche Proben wurden vor und nach der Trocknung ausgewogen, um das Gesamtgewicht zu bestimmen. Nicht im Ofen getrocknet wurden Großblöcke, Blöcke und Steine (Vgl. Tabelle 7). Da Teile des getrockneten Materials sehr tonig waren, verbuk es sich teils zu harten Klumpen, welche nicht gesiebt werden konnten. Daher wurden sämtliche Proben nach dem Trocken mittels Mörser und Stößel in siebbares Material zerstoßen. In den Proben fanden sich häufig Bruchstücke von Glimmerschiefer. Glimmerschiefer zeigt „ebene, unebene oder gewellte Schieferungsflächen, anhand derer das Gestein zu Platten aufgespalten werden kann. [...] Die Spaltbarkeit ist bei Glimmerschiefer umso ausgeprägter, desto mehr Muskovit enthalten ist.“ (Purle, 2015) Diese leichte Spaltbarkeit war im Rahmen der Analysen insofern problematisch, da bereits leichter Druck im Mörser zum Bruch führte. Dies musste allerdings vermieden werden, weil es eine Veränderung der Korngrößenverteilung bedeutet hätte. Daher wurden die Bruchstücke von Glimmerschiefer ebenso wie größere Felsbrocken vor dem mörsern aussortiert und erst anschließend wieder mit den Proben vereinigt.

Da das Korngrößenspektrum stark variieren kann, ist eine vollständige Analyse nur durch eine Kombination mehrerer Methoden möglich. Die unterschiedliche Formung und variierenden Durchmesser der Körner verkomplizieren die Analyse, weshalb man sich zumeist mit indirekten Methoden der Analyse begnügt, wie etwas das Absieben oder Abschlämmen. (Blume et al., 2011) Die getrockneten und zerstoßenen Proben wurden mittels Siebung (Maschenweite: 2 mm) in Fein- und Grobsediment unterteilt. Tabelle 7 zeigt die Untergliederung der Kornfraktionen nach Glaser, wobei unter „Analyse“ aufgeschlüsselt wurde, welche Kornfraktionen für die vorliegende Arbeit analysiert wurden und wie sie im weiteren Verlauf benannt werden. (Glaser et al., 2017)

**TABELLE 7: UNTERGLIEDERUNG UND KORNFRAKTIONEN DES GROB- UND FEINBODENS (NACH GLASER ET AL., 2017)**

Größe (mm)	Untergruppe	Gruppe	Hauptgruppe		Analyse
> 630	Großblöcke	Blöcke	Grobboden	> 630	Blöcke
630 - 200	Blöcke			630 - 200	
200 - 63	Steine	Steine		200 - 32	Grobboden
63 - 20	Grobkies	Kies		32 - 16	
20 - 6,3	Mittelkies			16 - 8	
6,3 - 2	Feinkies			8 - 4	
				4 - 2	
2 - 0,63	Grobsand	Sand	Feinboden	2 - 0,63	Grobsand
0,63 - 0,2	Mittelsand			0,63 - 0,2	Mittelsand
0,2 - 0,063	Feinsand			0,2 - 0,063	Feinsand
0,063 - 0,02	Grobschluff	Schluff		0,063 - 0,02	Schluff
0,02 - 0,0063	Mittelschluff			0,02 - 0,0063	
0,0063 - 0,002	Feinschluff			0,0063 - 0,002	
0,002 - 0,00063	Grobton	Ton		0,002 - 0,00063	Ton
0,00063 - 0,0002	Mittelton			0,00063 - 0,0002	
< 0,0002	Feinton			< 0,0002	

Grob- und Feinboden wurden ausgewogen, der Grobboden anschließend wieder in den gereinigten Probeneimern gewässert, um es von eventuellen Rest von Feinsediment zu befreien. Danach wurden die Proben den Grobbodens erneut atro getrocknet und mittels Siebserie in Korngrößen unterteilt. Verwendet

wurden dabei eine Siebserie mit den Maschenweiten 2mm, 4mm, 8mm, 16mm und 32 mm. Dies unterscheidet sich von der Untergliederung nach Blume, entspricht aber der genormten Ausrüstung des Physiogeographischen Labors. (Blume et al., 2011) Die bereits zuvor aussortierten Fragmente, welche deutlich größer als die eben erwähnten Durchmesser waren, wurden gesondert gewogen und vermessen.

Zur Ermittlung von Sand, Schluff und Ton wurden 30 g Mischprobe von jeder Probe entnommen. Die ÖNORM schlägt hier 10 g Mischprobe vor, doch nach dem Test mehrerer Proben musste festgestellt werden, dass dies keine ausreichende Tonmenge für die Bestimmung ergibt. Die 30 g Feinboden wurden in Schraubgläser gefüllt, ergänzt mit 25 ml 0,1 m Natriumpyrophosphat ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) und mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Diese Mischung ruhte für mindestens sechs Stunden, meist über Nacht, um anschließend wiederum sechs Stunden im Überkopfschüttler gleichmäßig durchmischt zu werden. Das Substrat wurde verlustfrei in ein Sieb, Maschenweite 63  $\mu\text{m}$ , überführt und mit entionisiertem Wasser in einem Standzylinder mit einem Fassungsvermögen von 1 l gesiebt. Im Sieb bleibt so nur die Korngrößenfraktion Sand zurück, welche verlustfrei in Schälchen überführt, über Nacht atro getrocknet und anschließend ausgewogen wurde.

Im Standzylinder (Abb. 39) befinden sich damit die Korngrößenfraktionen Schluff und Ton. Der Zylinder wird auf 1 l aufgefüllt und über Nacht in einem Raum mit möglichst konstanter Temperatur (die Maximalschwankung betrug 19,7°C auf 21,3°C) aufbewahrt, um eine möglichst gleichmäßige Absinkrate der Partikel zu gewährleisten. Die Methode beruht auf der Annahme, dass „der Fall kleiner Teilchen in einer Flüssigkeit gleichförmig (Reibung hebt nach kurzer Zeit die Beschleunigung auf, für Wasser gilt 0,06 mm Korndurchmesser als obere Grenze) und ihre Geschwindigkeit eine Funktion der Masse, bei gegebener Dichte also der Größe ist.“ (Blume et al., 2011, S. 83) Da Dichte und Viskosität temperaturabhängige Größen sind, errechnet sich für Tonpartikel mit einem Durchmesser von < 0,002 mm bei einer Temperatur von ca. 20°C und bei einer Fallstrecke von 10 cm im genormten Zylinder eine Absinkdauer von 7 Stunden 43 Minuten. Nach dieser Zeit sind alle Partikel, die größer sind als das Spektrum der Tonpartikel, abgesunken und es befinden sich nur noch Tonpartikel in Suspension. Dieses Prinzip wird bei der Pipettierung genutzt. Die über Nacht temperierten Stehzyylinder wurden



ABBILDUNG 39: PIPETTIERUNG DER PROBEN

morgens aufgemischt und nach genau 7 Stunden und 43 Minuten beprobt. Dafür werden mittels einer genormten Pipette 10 ml Suspension entnommen, verlustfrei in ein Schälchen überführt und im Ofen getrocknet. Das Wasser verdunstet und es bleibt nur der Ton übrig. Dabei ist wichtig, dass das Schälchen zuvor sauber in der Präzisionswaage gewogen wird, da es sich um Mengen im Mikrogramm-Bereich handelt. Die trockenen Gewichtsanteile können anschließend hochgerechnet werden (zuerst auf die Menge des Tons im Zylinder, dann anteilig an der 20 g Einwaage). Anhand dieses Wertes und des Gewichts des zuvor ausgesiebten Sandes lässt sich der Anteil der Schluff-Fraktion ermitteln. Tabelle 8 zeigt beispielhaft das Vorgehen: Die Schälchen werden bei Sand und Ton jeweils leer gewogen und erneut nach Trocknung. Aus der Gewichts Differenz ergibt sich das Gewicht der Probe. Dabei ist zu beachten, dass der Tonanteil nur 1/100 des Gesamttons der Probe ausmacht – es wurden 10 ml aus einer Lösung im 1000 ml entnommen – der Wert muss

als mit 100 multipliziert werden. Danach werden Ton- und Sandgewicht von der Einwaage abgezogen, die Differenz ergibt den Anteil des Schluffs. Ein Beispiel für die Berechnung findet sich in Tabelle 8.

**TABELLE 8: BERECHNUNG DES SCHLUFFANTEILS (BSP.)**

Temperatur	Zeit	Einwaage (g)	Ton (g)	Sand (g)	Schluff (g)	
<b>Vorher</b>	19,9°C	07:30:00		68,7555	44,5583	
<b>Nachher</b>	20,1°C	15:13:00		68,7859	61,7795	
				0,0304		
			30	3,04	17,2212	2,7484

Während bei Ton und Schluff auf eine weitere Unterteilung verzichtet wurde, wurde der Sandanteil in Grob-, Mittel- und Feinsand unterteilt. Dies geschah erneut durch Sieben der atro-getrockneten Proben. Dafür wurden die Sandproben aus der Pipettierung genutzt, durch eine Siebserie (Maschenweiten 0,63mm, 0,2 mm und 0,063 mm) gesiebt und ausgewogen.

Sämtliche Ergebnisse wurden tabellarisch erfasst und anschließend ausgewertet. Dafür wurden die prozentualen Anteile der ausgewogenen und errechneten Gewichtsanteile an der Gesamtprobe berechnet, um die Vergleichbarkeit zwischen den Proben zu gewährleisten. Da die Gewichtsanteile der Blöcke und Steine zwischen den Proben stark variierten, wurden zudem zwei weitere Prozentanteile berechnet. Zum einen wurden sämtliche Bodenanteile mit Durchmesser größer 32mm herausgerechnet und die prozentuale Verteilung der übrigen Korngrößen errechnet, zum anderen wurden nur die Feinbodenanteile prozentual verglichen, da auf diesen der Interessensschwerpunkt liegt. Beim Dambruch wurde in erste Linie Feinsediment eingeschwemmt, eine Verlagerung sehr großer Blöcke erscheint aufgrund der Abflussmenge ausgeschlossen, insofern ist es sinnvoll, sich auf die Veränderung innerhalb der Feinsediment-Korngrößen zu konzentrieren. Die Ergebnisse der Auswertung der Korngrößen finden sich ab Kapitel 7.2.

## 7. ERGEBNISSE

Da die Methodik zur Erhebung der Daten aus zwei Teilen bestand, der geomorphologischen Kartierung sowie der Entnahme von Freeze-Cores und deren sedimentologischen Untersuchung, ist auch die Auswertung der Ergebnisse in zwei Teilen erfolgt. Eine Zusammenführung erfolgt in der Diskussion.

### 7.1 ERGEBNISSE DER GEOMORPHOLOGISCHEN KARTIERUNG

Auf Abbildung 40 zeigt sich deutlich, dass eine grundsätzliche Abnahme der Sedimentmenge in der Kaja stattgefunden hat, dazu eine Verlagerung der größeren Sedimentbänke flussabwärts. Was aus den folgenden Grafiken nur schwer herauszulesen ist, ist die Veränderung der Art der Ablagerungen. Während es sich im März in erster Linie um Sedimentbänke handelte, waren in Ablagerungen im Oktober deutlich flächenhafter. Anstelle von punktuellen Ansammlungen im Uferbereich oder vor und nach Barrieren, war das Bett der Kaja im Herbst streckenweise mit einer dünnen Sedimentschicht bedeckt, welche maximal eine Dicke von 1 cm hatte und quantitativ nur schwer zu erfassen war.

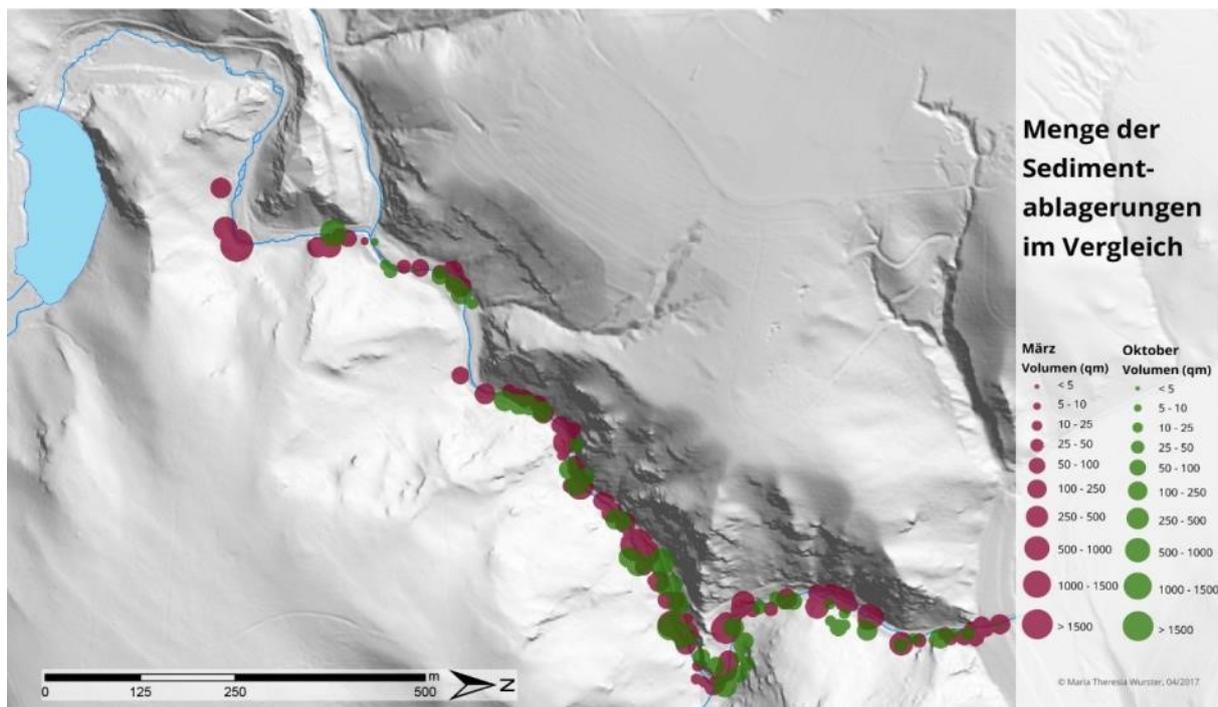


ABBILDUNG 40: VERGLEICH DER ABLAGERUNGEN IM MÄRZ UND OKTOBER

Besonders auffällig waren diese flächenhaften Ablagerungen im Bereich kurz unterhalb des Sagteiches bis zur Mündung des Merkersdorfer Baches. Im März war in diesem Bereich die Verunreinigung des Baches nur punktuell festzustellen. In diesem Bereich ist der Zustand der Kaja noch nicht natürlich, sondern durch die Teichanlage anthropogen geprägt, das Bachbett zum Teil begradigt und mit Pflastersteinen ausgelegt (Abb. 41). Dadurch sinkt die Rauigkeit der Fließstrecke, die Abflussgeschwindigkeit steigt und die Sedimenttransportkapazität innerhalb des verbauten Bereiches ist höher als in den anschließenden Bereichen, welche bereits im Gebiet des Nationalparks liegen. (Strahler et al., 2009)



ABBILDUNG 41: KANALISIERUNG DER KAJA UNTERHALB DES SAGTEICHS

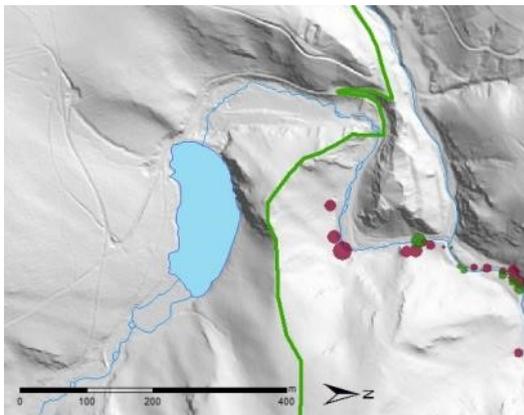


ABBILDUNG 42: VERGLEICH DES ABLAGERUNGSGEBIETES UND DER NATIONALPARK GRENZE

Tatsächlich beginnen die Ablagerungen erst kurz hinter der Grenze zum Nationalpark (Abb. 42; grüne Linie), also erst in einem Bereich, in dem der Bach einen natürlichen Verlauf nimmt.

Die Sedimentbänke nehmen im weiteren Verlauf bis zur Hälfte der Fließstrecke zwischen Thaya und Sagteich beständig an Anzahl wie Größe zu. Es gibt einen kurzen Bachabschnitt, in dem keine nennenswerten Ablagerungsflächen festgestellt wurden. Die Neigung ist in diesem Bereich nicht wesentlich höher als flussab- oder -aufwärts, weshalb an dieser Stelle ohne weitere Analysen für dieses Phänomen keine zufriedenstellende Erklärung gegeben werden kann. Danach bleiben die Bänke bis zur

Thaya häufig, wobei im Oktober insgesamt weniger und auch kleinere Ablagerungsflächen vorgefunden wurden. Die Gesamtmenge an im Bachbett befindlichen Materials betrug im März 17,96 m<sup>3</sup>, im Oktober 6,90 m<sup>3</sup>, was einer Veränderung von 61,58 % entspricht.

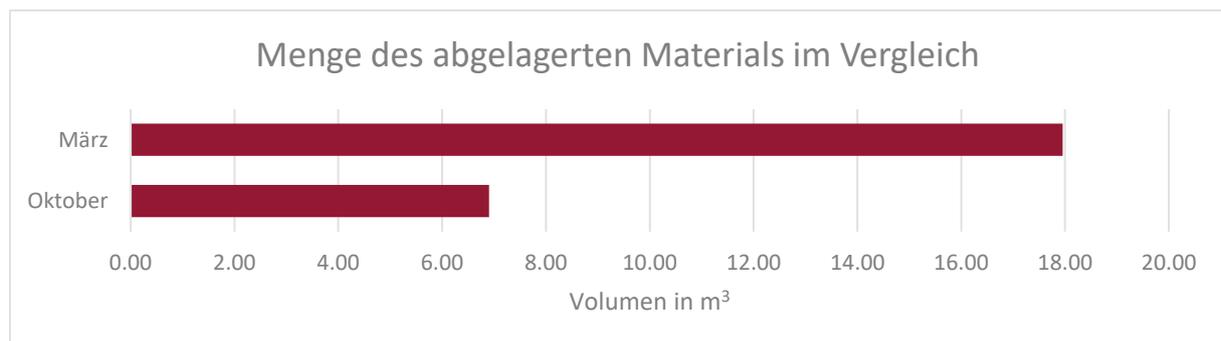


DIAGRAMM 1: GESAMTMENGE DES ABGELAGERTEN MATERIALS IM VERGLEICH

Interessant ist der Zusammenhang zwischen Verklausungen und Sedimentablagerung (Abb. 43). Während im oberen Bereich der Kaja, wo keine Verklausungen erfasst wurden, die Sedimentbänke im Oktober Großteils ausgeschwemmt waren, scheinen die Verklausungen im unteren Bereich den Sedimenttransport behindert zu haben. Abhängig von ihrer Ausdehnung können Verklausungen die Hydraulik, Morphologie und den Sedimenttransport im Bachbett verändern und Gewässer sogar völlig aufstauen und damit Sediment und organisches Material für die Lebensdauer der Verklausung speichern. (Morche & Poepl, 2015) Nach Rickli und Bucher gibt es folgende Einflussfaktoren von Totholz auf die Sedimentologie im Gerinne, welche vor allem auf

die erhöhte Rauigkeit des morphologischen Gestaltungselementes „Totholz“ zurückzuführen sind (Rickli & Bucher, 2006):

- Bildung kleinerer und größerer Stufen mit Geschiebeablagerungen
- Holz im Gerinne als "natürliche Verbauung" => Erhöhte Stabilität der Gerinnesohle
- Verringerung der Transportkapazität
- langsamerer Abfluss
- Größere Wasserretention und vermehrte Stillwasserbereiche

All diese Faktoren führen zu einem erhöhten Sedimentrückhalt, wodurch sich besonders flussaufwärts der Verklausungen erhöhte Mengen an Feinsediment ablagern. Dieser erhöhte Sedimentrückhalt, sowohl in Form von Bänken als auch als dünner Film, konnten während der Kartierung auch festgehalten werden. Die Verklausungen, welche in Abb. 43 zu sehen sind, konnten jeweils im März und Oktober erfasst werden.

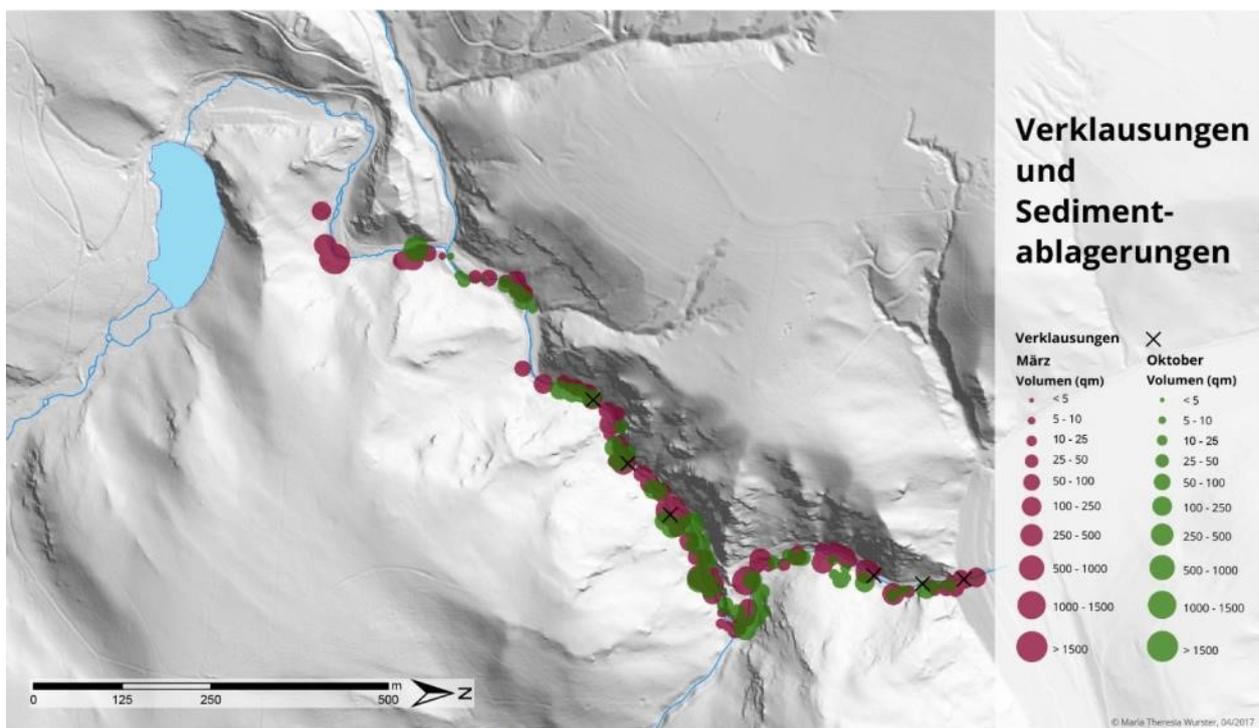


ABBILDUNG 43: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN VERKLAUSUNGEN UND SEDIMENTATION

Verklausungen verringern als Barriers die longitudinale Konnektivität und blockieren den flussabwärtigen Transport des Materials. Dabei sind sie je nach Größe einer ständigen Veränderung unterworfen; das Anschwemmen von weiterem Totholz kann die Struktur verstärken, ein Hochwasserevent kann die Verklausung durchbrechen und dadurch das flussaufwärts akkumulierte Material wieder freisetzen. Insofern ist es wahrscheinlich, dass größere Hochwassereignisse, welche die Kraft haben, die Verklausungen zu lösen, auch eine weitere Verlagerung des Materials Richtung Thaya bewirken. Vorausgesetzt ist hier aber, dass das Event nicht zugleich zu einem erneuten Eintrag aus dem Sagteich führt.

Durch die geomorphologische Kartierung lassen sich weitere der in Kapitel 4.2 aufgeführten Hypothesen beantworten, vor allem unter Bezug auf die möglichen Auswirkungen, welche in Kapitel 5 ausgeführt wurden.

**H1.1: Es gibt räumliche Muster bezüglich der Ablagerung.**

Die Dichte der Ablagerungen nimmt mit der Entfernung vom Sagteich zu, wobei besonders in Abschnitten mit gestörter longitudinaler Konnektivität (Barriers, z.B. Verkläusungen) besonders viele bzw. große Sedimentbänke erfasst wurden. Sedimentbänke waren vor allem im Uferbereich abgelagert. War die Gewässersohle selbst belastet, so handelte es sich um eine dünne Schicht, welche im Allgemeinen feinkörniger erschien als die Bänke. Ein Erklärungsansatz ist die Schleppkraft: die Menge und Korngröße, welche vom Gewässer mitgeführt wird, variiert je nach Abfluss und Wasserstand. (Strahler et al., 2009) Nach einem Dammbrech wird Wasser plötzlich freigesetzt und kann hohe Fließgeschwindigkeiten erreichen, wobei diese mit Entfernung zum Damm auch wieder abnimmt. (Paquier & Goutal, 2016) Durch den erhöhten Durchfluss konnte die Kaja also direkt unterhalb des Sagteiches mehr Sediment transportieren, mit der Entfernung zum Damm nimmt die Schleppkraft ab (verstärkt durch die grundsätzliche Abnahme der Transportkapazität Richtung Mündung) und das Material wird nach und nach abgelagert.

**H1.2: Es gibt Bereiche im Bach, welche besonders sensibel auf die Ablagerung reagieren.**

Das Interstitial ist besonders sensibel gegenüber jedweden Veränderungen, da es hier zum dynamischen Austausch von Wasser und Material zwischen Grundwasser, wasserführender Schichten und dem Fließgewässer selbst kommt. Dieser Austausch, den die vertikale Konnektivität definiert, ist von der Durchlässigkeit der Gewässersohle abhängig, welche wiederum vom verfügbaren Porenraum abhängt. Des Weiteren ist das Interstitial ein sowohl ein zentraler Puffer, welcher den Nährstoffgehalt regulieren kann, als auch wichtiger Lebensraum für Makrozoobenthos, Fische und andere aquatische Lebewesen.

**H3.2: Die Spülung hat einen Einfluss auf die Menge und/ oder die Verteilung des abgelagerten Materials.**

Die Spülung hatte sowohl in Hinblick auf Menge als auch Verteilung des Materials einen Einfluss auf die Kaja. Die Gesamtmenge des abgelagerten Materials wurde durch die Spülung um mehr als 60% verringert. Unklar ist hier allerdings der Anteil, den natürliche Abflussschwankungen haben. Abbildung 11 auf Seite 11 zeigt, dass es in einem ähnlichen Gewässer durchaus zu natürlichen Schwankungen im Abflussverhalten kommt, welche ebenfalls einen Einfluss auf die Verlagerung und Ausspülungen von Material haben könnten. Die Verteilung des Materials ist vor und nach der Spülung ähnlich, es lässt sich also auch hier die Theorie der abnehmenden Transportkapazität anwenden, welche direkt am „Ursprung“, dem Sagteich, höher ist, weshalb dort mehr Material ausgespült und weitertransportiert werden konnte.

## 7.2 ERGEBNISSE DER FREEZE-CORE ANALYSEN

Der folgende Abschnitt zeigt die entnommenen Freeze-Cores, sowie deren Korngrößenverteilung, wobei hier alle Korngrößen miteinbezogen wurden. Der genaue Entnahmestandort vom März konnte im Oktober nicht wiederholt werden, da die Entnahme der Cores Löcher hinterlassen hat, welche auch im Oktober noch deutlich erkennbar waren. Eine Entnahme an derselben Stelle hätte daher eine starke Verzerrung der Ergebnisse bedeutet.

Wie bereits in Kapitel 6.3.2 erwähnt, unterschieden sich die Freeze-Cores stark in Gewicht und auch im Anteil von Grobmaterial. Dabei fielen besonders die Steinblöcke wortwörtlich ins Gewicht. Trotz der Angabe in Prozent ist der Vergleich zum Teil schwierig, da in manchen Cores sehr viel Material mit einem Durchmesser von mehr als 630 mm zu finden war, wodurch prozentual der Anteil des kleineren Materials sinkt. Aus diesem Grund wurden die für die Analyse der vertikalen Konnektivität besonders bedeutsamen Korngrößen Sand (< 2 mm) Schluff (< 0,63 mm) und Ton (< 0,002 mm) in einem gesonderten Diagramm pro Freeze-Core-Sequenz herausgegriffen. Eine Tendenz, die in allen Cores zu sehen ist, ist eine prozentuale Abnahme des Gewichts der Fraktionen mit der Größe – je größer der Durchmesser einer Fraktion, desto mehr Gewicht der Gesamtprobe nimmt sie in Anspruch. Daneben ist in vielen Cores zu beobachten, dass der Anteil an Feinsediment in der Tiefe abnimmt – eine Erkenntnis, zu der auch frühere Untersuchungen kommen. (z. B. Evans & Wilcox, 2014)

Um den Grad der Feinsedimentbelastung der Freeze-Cores und damit Gewässerabschnitte mit Ton- und Schluffablagerungen besser einordnen zu können, wurde eine Bewertung der Kolmation vorgenommen. Der Kolmationsgrad ist nach Schälchli ein Indikator für morphologische und hydraulische Variabilität (Schälchli, 2002), einen naturnahen Geschiebehaushalt und natürlich für die Bewertung der vertikalen Konnektivität. (Schweizer, 2008) Unterschieden wird dabei zwischen fünf Klassen der inneren Kolmation (Vgl. Tabelle 9):

TABELLE 9: GRADE DER KOLMATION (ZITIERT NACH SCHWEIZER, 2008)

Klasse	Substrat (Unter Deckschicht)	Lückenraum
<b>Keine Kolmation</b>	sehr locker und grobkörnig (Steine, Kies, wenig Sand)	grobporig
<b>Schwache Kolmation</b>	locker und breit abgestuft (Steine, Kies, Sand)	grob- bis feinporig
<b>Mittlere Kolmation</b>	locker und breit abgestuft (Steine, Kies, Sand)	feinporig, örtlich verstopft (keine Poren sichtbar)
<b>Starke Kolmation</b>	deutlich verfestigt, Sand und kohäsive Ablagerungen	feinporig bis vollständig verstopft
<b>Vollständige Kolmation</b>	stark verfestigt, praktisch flächendeckend kohäsive Ablagerungen	vollständig verstopft (keine Feinporen sichtbar)

## 7.2.1 PROBESTRECKE KAJABACH 1

### 7.2.1.1 PROBESTRECKE KAJABACH 1A

Die Probestrecke K1 liegt im Rückstaubereich des Zuflusses des Merkersdorfer Baches; die geringere Fließgeschwindigkeit prädestiniert diesen Bereich für die Ablagerung von Sediment (Vgl. Abb. 44).

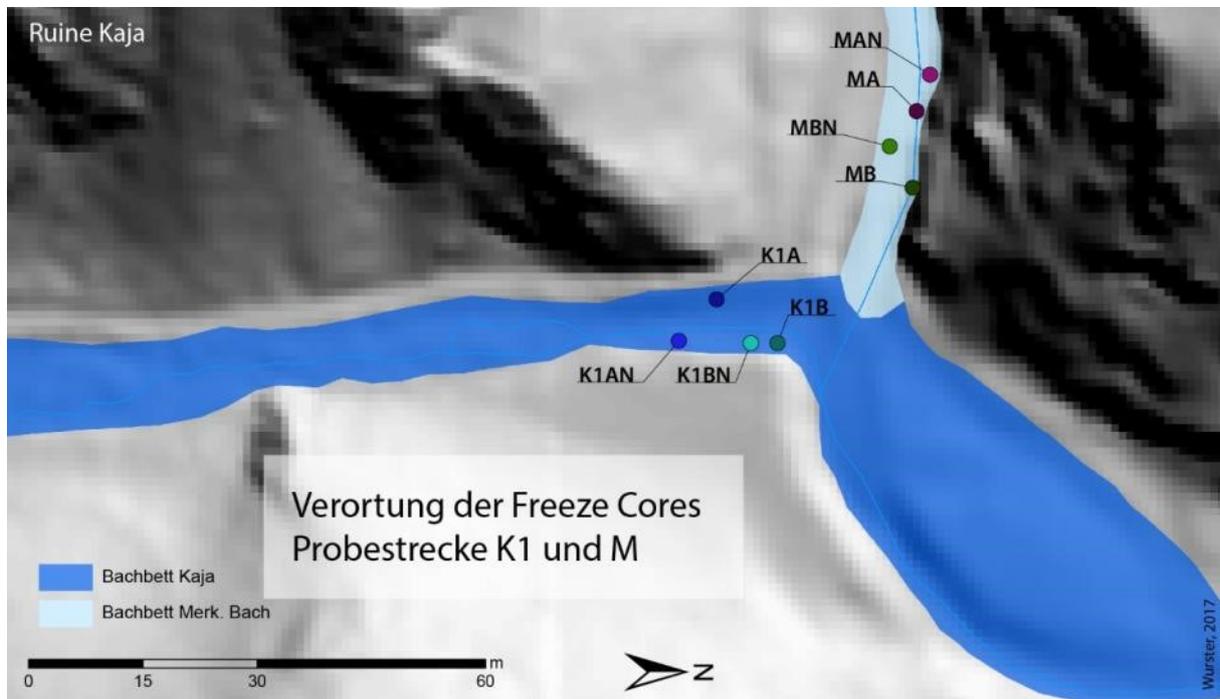


ABBILDUNG 44: VERORTUNG DER STANDORTE K1A, K1AN, K1B UND K1BN

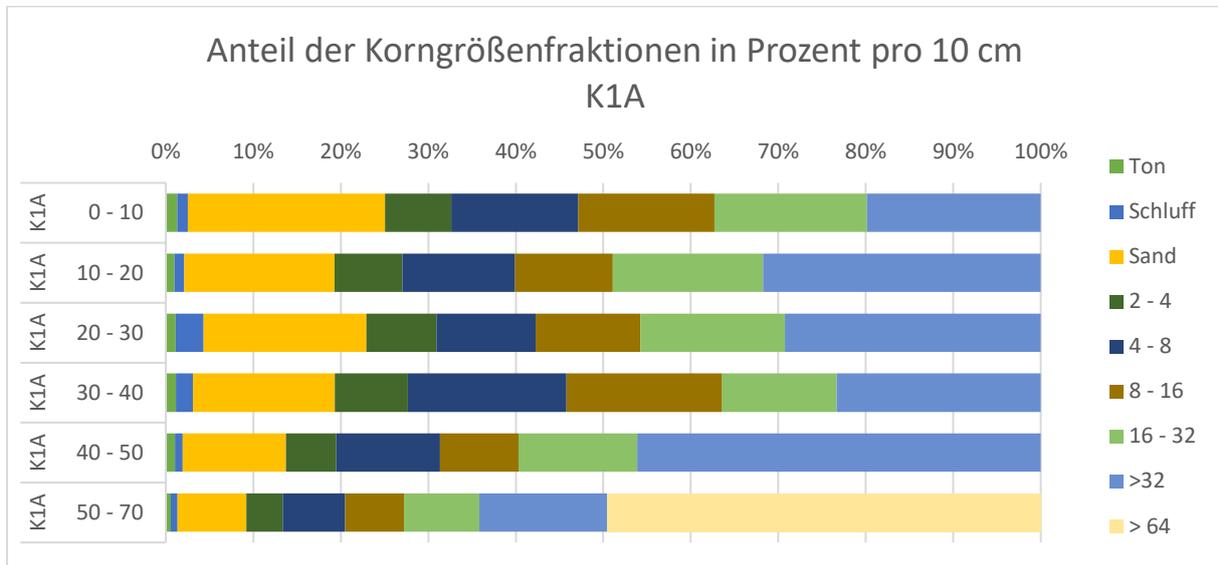
Abb. 45 zeigt den Core K1A, der im März in der Probestrecke K1, direkt oberhalb der Mündung des Merkersdorfer Baches, im orographisch linken Uferbereich entnommen wurde.



ABBILDUNG 45: FREEZE CORE K1A – MÄRZ

K1A ist im Vergleich zu anderen Cores sehr ungleichmäßig verteilt, ein Großteil des Gesamtgewichtes in den untersten 30 cm angelagert. In diesem Bereich sind vor allem Korngrößen im Bereich  $> 32$  mm zu finden, deren Anteil auch in den oberen Abschnitten recht hoch ist. Im Bereich 10 – 50 cm sind die Korngrößen in den

einzelnen Abschnitten gleichmäßig verteilt, wobei der Ton- und der Sandanteil nach unten hin tendenziell abnehmen (Ton: 1,28% auf 0,57%, Sand: 22,53% auf 7,88%), während der Schluffanteil in einer Tiefe von 20 – 40 cm sein Maximum erreicht. Die Korngrößen 4 – 32 bewegen sich zwischen rund 10% und ca. 20%, mit einem eher niedrigen Anteil der kleineren Korngrößen in den unteren Sektionen. Das Gefüge ist locker und breit abgestuft und es sind Poren zu erkennen, daher ist in diesem Core höchstens von schwacher Kolmation auszugehen.



**DIAGRAMM 2: KORNFRAKTIONEN IN PROZENT - K1A**

Der Vergleichs-Core zu K1A ist K1AN, der im Oktober ebenfalls nahe dem Uferbereich entnommen wurde, allerdings am orographisch rechten Ufer. Obwohl die Oberfläche der Entnahmeabschnitte große Ähnlichkeit – abgesehen von der intensiveren Schlammbelastung – aufwies, unterscheiden sich die Cores in ihrem Aufbau stark. Diese Differenz lässt auf eine kleinräumige Veränderung der Morphologie des Bachbettes schließen, für einen Beweis dessen fehlen allerdings weiterführende Analysen.



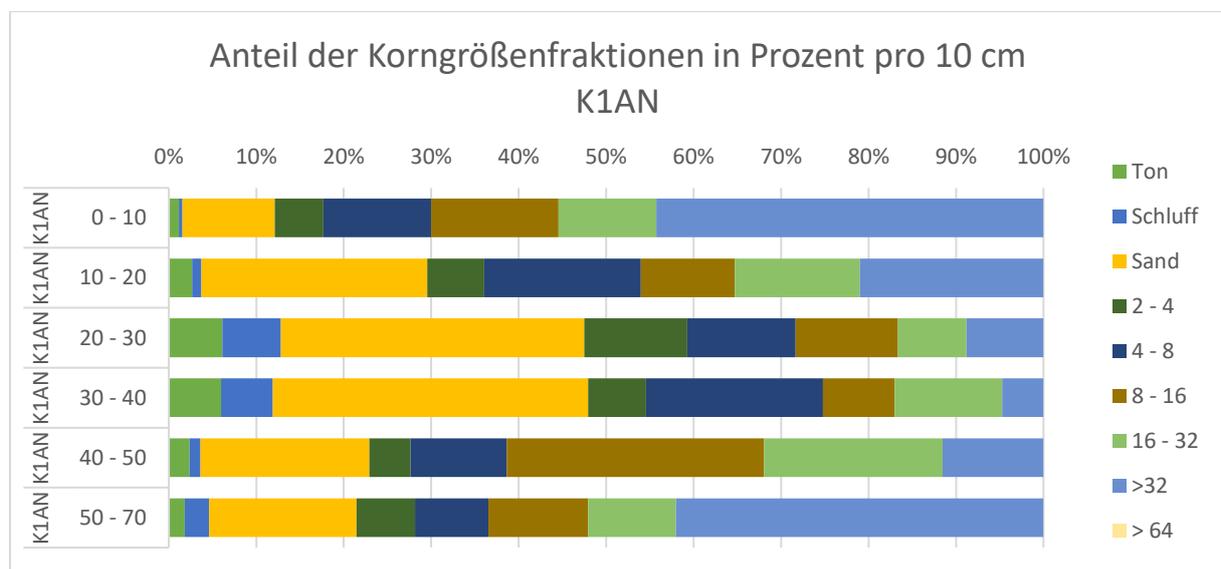
**ABBILDUNG 46: FREEZE CORE K1AN - OKTOBER**

K1AN ist ebenfalls im unteren Bereich dicker als im oberen Bereich, was auch hier an einem Stein liegt, der in den untersten 20 cm festgefroren ist.

Während in K1A hohe Anteile größerer Kornfraktionen enthalten waren, welche aus unterschiedlichem Material bestanden, war es bei K1AN nur ein sehr geringer Anteil von Material größer 32 mm, welches zudem

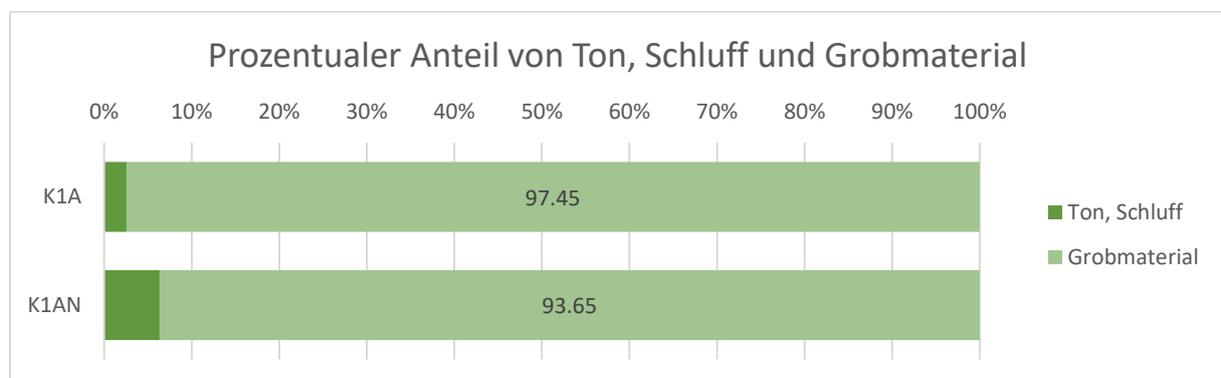
nur aus Glimmerschiefer bestand. Der Anteil der Fraktion > 32 mm ist in den obersten 10 und den untersten 20 cm am höchsten und hat sein Minimum zwischen 30 und 40 cm, während in diesem Bereich vor allem der Sandanteil rund 30 % beträgt, ebenso wie im Abschnitt 20 – 30. In diesem Bereich ist der Feinsedimentanteil grundsätzlich hoch, auch Ton und Schluff sind hier deutlich intensiver abgelagert als in den anderen Sektionen des Cores. K1AN weist die gleichmäßige Zunahme des Grobmaterials in der Tiefe nicht auf, die bei K1A zu beobachten war. Trotz der optischen Homogenität variiert die Verteilung der Fraktionen stark. Da die Bewertung der Kolmation eine rein optische ist, kann man hier von starker Kolmation ausgehen, wofür auch der hohe Sandanteil spricht. Das Material wirkt verfestigt und man kann kaum Feinporen erkennen.

In den obersten 10 cm sind vereinzelt Bruchstücke von Ziegeln zu erkennen, ansonsten besteht der Core größtenteils aus Glimmerschiefern. Durch den hohen Anteil an Feinmaterial erinnert der Core alles in allem mehr an ein Profil aus einem grundwasserbeeinflussten Boden. In den obersten 20 cm sind zudem erste Hinweise auf Reduktionshorizonte zu sehen, da in diesem Bereich bereits eine Schwarzfärbung des Sediments zu beobachten ist.



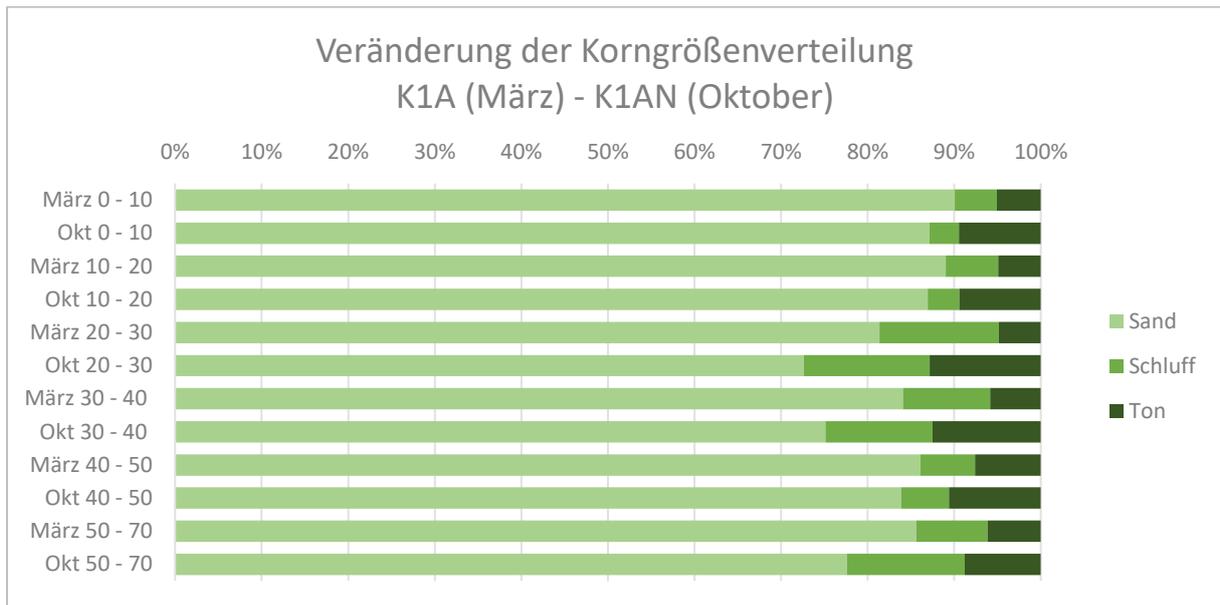
**DIAGRAMM 3: KORNFRAKTIONEN IN PROZENT - K1AN**

Vergleicht man die Gesamtmengen des eingeschwemmten Materials, das in erster Linie aus Ton und Schluff besteht und dem übrigen Material, so hat das Feinmaterial im Oktober gegenüber März deutlich zugenommen – von 2,55% auf 6,35%.



**DIAGRAMM 4: PROZENTUALER ANTEIL VON GROB- UND FEINMATERIAL (K1A UND K1AN)**

Genauer differenzieren lässt sich weiter, welche Feinsedimentanteile besonders zunehmen, wobei hier die Sandfraktion als Vergleichswert gelten soll.



**DIAGRAMM 5: VERÄNDERUNG DER KORNGRÖSSENVERTEILUNG K1A UND K1AN**

In allen Tiefen des Cores ist im Oktober ein deutlich höherer Anteil an Tonpartikeln zu verzeichnen, während der Sandanteil zurückgegangen ist. In den meisten Sektionen ist der Tonanteil zumindest um auf das Doppelte angestiegen, zum Teil ist er im Oktober sogar um rund 70% höher (20 – 30 cm). Darunter schwächt die Zunahme der Tonpartikel etwas ab. Der Anteil an Schluff hat in den obersten 20 cm abgenommen, in den Lagen darunter hat er jedoch zugenommen.

### 7.2.1.2 PROBESTRECKE KAJABACH 1B

Ebenfalls im Staubereich des Merkersdorfer Baches, aber ein Stück weiter flussabwärts, wurden die Cores K1B und K1BN entnommen.

Core K1B zeigt eine deutliche Schichtung mit Abschnitten in ca. 10 cm Schritten. Diese natürliche Schichtung beweist, dass die zuvor festgelegte Unterteilung in 10 cm Abschnitte dem natürlichen Gefüge nahe liegt.



ABBILDUNG 47: FREEZE CORE K1B – MÄRZ

In K1B wurden nur in den untersten 30 cm Korngrößen > 64 mm festgestellt werden, in diesem Bereich und in den obersten 20 cm wurde zudem der größte Anteil von Grobkies (32 – 64 mm) gefunden. In den Abschnitten 0-10 und 10-20 ist der Anteil der Feinsedimente verschwindend gering, während in den mittleren Schichten besonders viel Sand (bis zu ca. 50%) abgelagert war. Dieser hohe Sand- und Feinmaterialanteil geht vor allem auf Kosten des Anteils von Material mit einer Korngröße von 8 – 32 mm, was der grundsätzlich in anderen Cores zu beobachteten Zunahme des Grobmaterials in der Tiefe nicht entspricht. Das eher lockere, breitabgestufte Substrat und die sichtbaren Porenräume sprechen für eine nur schwache bis nicht vorhandene Kolmation.

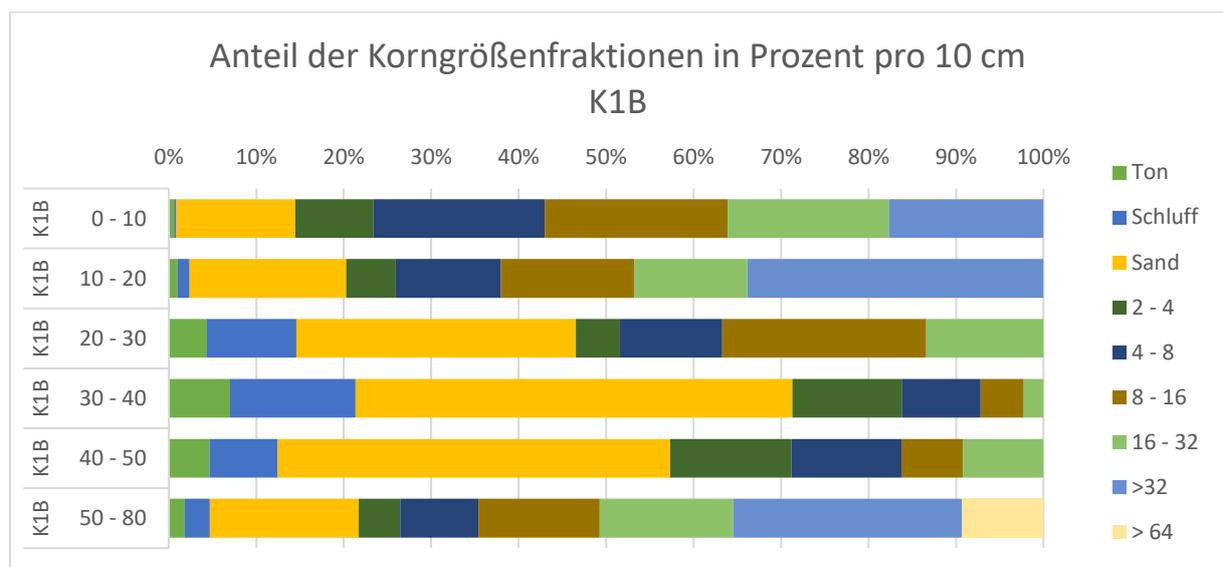


DIAGRAMM 6: KORNFRAKTIONEN IN PROZENT - K1B

Auch in diesem Core sind Rückstände anthropogener Ablagerungen wie Ziegeln zu sehen, wobei diese hier tiefer liegen als z.B. in K1AN. Auch in diesem Core herrscht Glimmerschiefer vor, wobei die oberen Bereiche das Material heterogener ist.

K1BN zeigt ebenfalls eine Schichtung, welche allerdings nicht so deutlich sichtbar ist wie in K1B, was unter anderem am deutlichen Reduktionshorizont in den obersten 30 cm liegt, welche auf Sauerstoffmangel zurückzuführen ist.



ABBILDUNG 48: FREEZE CORE K1BN – OKTOBER

Unter diesem Bereich der vollständigen Reduktion sind nochmals etwa 20 cm als Übergangsbereich der Reduktion zu definieren. Dies spricht, wie auch der optische Eindruck, der von der Probestrecke K1 gewonnen wurde, dafür, dass das Material, das durch den Dammbbruch in das Gerinne eingeschwemmt wurde, sich durch die ungünstigen Bedingungen am Standort (Staubereich Merkersdorfer Bach, verringerte Fließgeschwindigkeit, Aufweitung des Bachbettes) in diesem Bereich abgelagert hat und auch durch die Spülung nicht entfernt werden konnte.

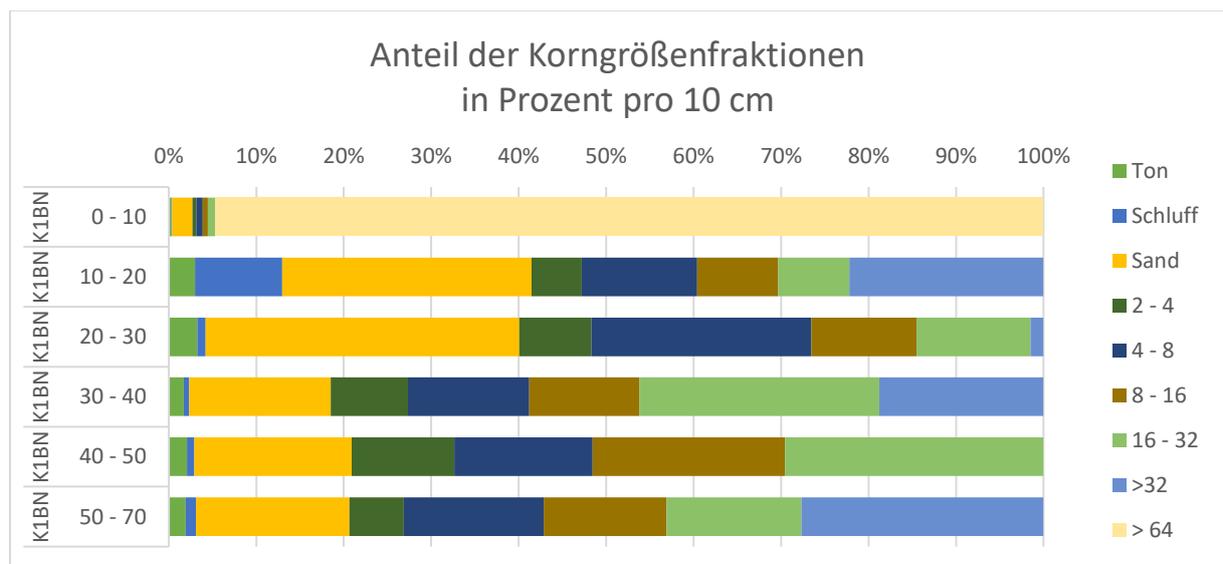
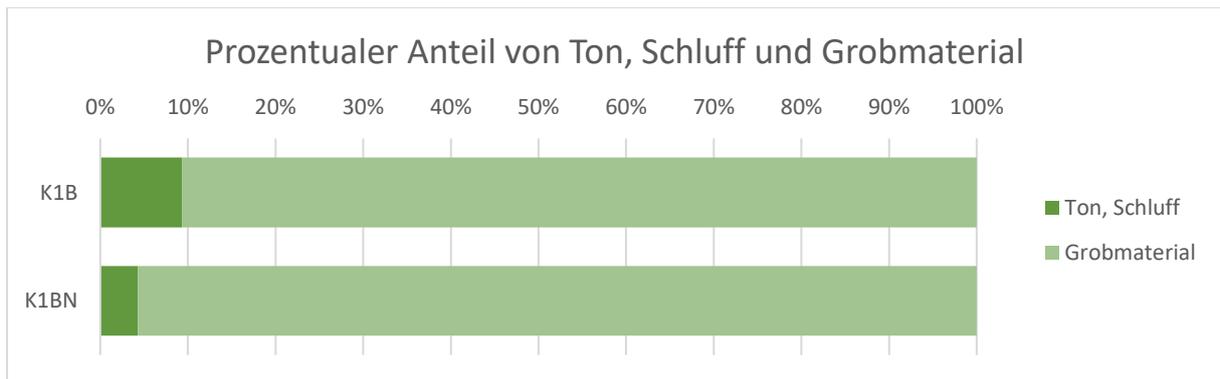


DIAGRAMM 7: KORNFRAKTIONEN IN PROZENT - K1BN

In den obersten 10 cm ist ein Block enthalten, welcher die Gewichtsanteile dieses Abschnittes verzerrt – auch, weil der übrige Core kaum Material über einer Korngröße von mehr als 32 mm enthält. Rechnet man diese

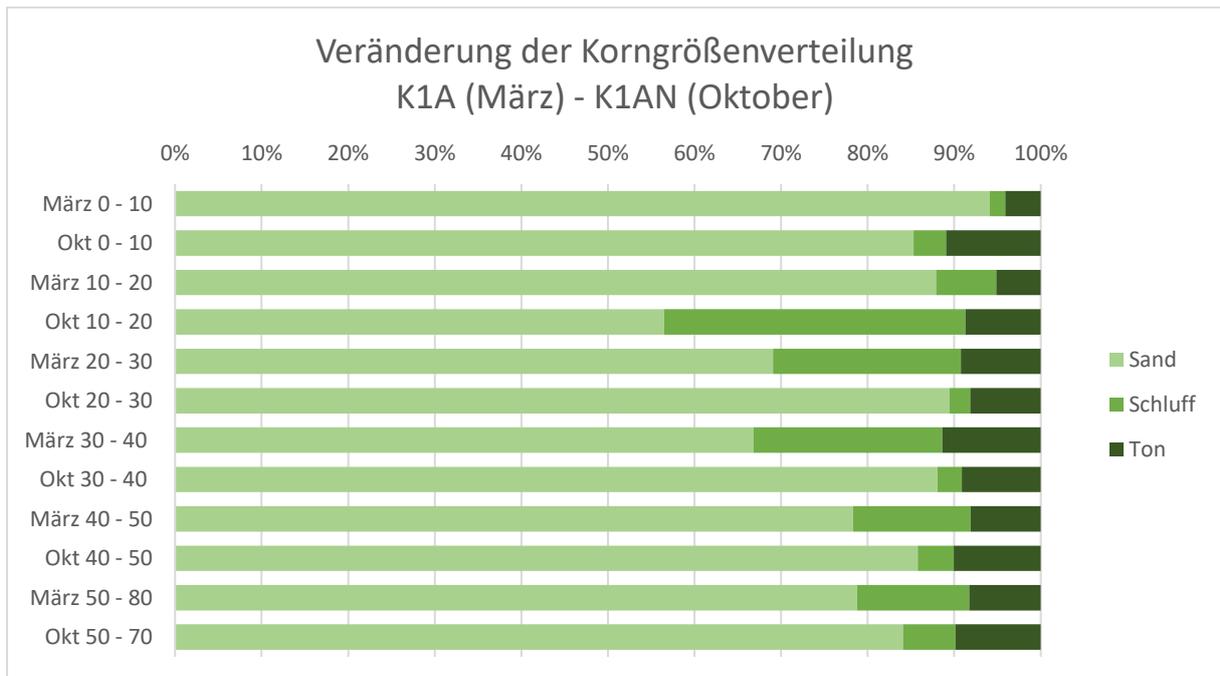
Verzerrung heraus, so ergeben sich sehr hohe Ton- und Sandanteile (rund 20%). Wieder ist die Zunahme des Grobmaterialanteils in der Tiefe nachzuvollziehen und auch in diesem Core ist Glimmerschiefer das wichtigste Ausgangsgestein, ist aber bis in tiefere Lagen mit kristallinem Gestein durchmischt. Das Substrat wirkt verfestigt, der hohe Sandanteil und Fehlen von Grob- wie auch Feinporen lässt auf eine starke Kolmation schließen.

Der Stein in den obersten 10 cm hatte einen besonders großen Anteil am Gewicht des gesamten Cores, während im restlichen Core kleinere Korngrößen dominierten. Vergleicht man daher die Gesamtverteilung von Grob- und Feinmaterial in März und Oktober, hat es durch das Gewicht des Felsens in sogar den Anschein, als wäre die Feinsedimentbelastung zurückgegangen, wie Diagramm 8 zeigt. Ist der Feinsedimentanteil im März 9,37%, sind es im Oktober nur mehr 4,31%.



**DIAGRAMM 8: PROZENTUALER ANTEIL VON GROB- UND FEINMATERIAL (K1B UND K1BN)**

Dem widerspricht allerdings die dezidierte Auswertung des Feinmaterials. Hier wird deutlich, dass über den gesamten Core gerechnet der Sandanteil von 79,16 % auf 81,54 % und der Tonanteil von 7,70 % auf 9,47% gestiegen ist, der Schluffanteil dagegen hat von 13,13% auf 8,99 % abgenommen. Insgesamt ergibt sich daraus eine leichte Zunahme der Kornfraktionen kleiner 2 mm.



**DIAGRAMM 9: VERÄNDERUNG DER KORNGRÖSSENVERTEILUNG K2A UND K2AN**

Stark verändert sich die Schlufffraktion, wobei sie dabei keinem Trend folgt, sondern je nach Tiefe anteilmäßig ab- oder zunimmt. Besonders bei 10 – 20 cm steigt der Anteil von Schluff von knapp 7 auf über 30 %, während er in 20 – 30 cm von 22 % auf gerade einmal 3 % abnimmt. Eine Regelmäßigkeit in diesen Veränderungen kann nicht gefunden werden. Die Schluffzunahme erfolgt in diesem Core immer auf Kosten des Sandanteils, während der Tonanteil nur in geringem Maße schwankt. Insgesamt war der Anteil an Feinmaterial am Core mit 38,6 % sehr hoch, keiner der übrigen Cores weist einen so hohen Wert auf: bei den übrigen Proben bewegt sich der Feinmaterialanteil rund um 20%, mit der Ausnahme von K2A mit knapp 28%. Vergleicht man diese Erkenntnis mit der geomorphologischen Kartierung, so wurden im Bereich der Probestrecke K1 im März starke Ablagerungen festgehalten, sowohl in Form von Sedimentbänken als auch als Schlammschicht innerhalb des Bachbettes. Zwar hat die Menge des abgelagerten Materials im Volumen abgenommen, wurde jedoch, wie die Verlagerung der Schluff- und Tonfraktion aus den oberen Schichten (ca. 0 – 20 cm) in die tieferen Schichten zeigt, tiefer in das Bachbett eingespült. Anstelle der intensiven Feinsandablagerung, welche im März zu beobachten war, wurde im Oktober eine dicke Schlammschicht vorgefunden. Die Uferbereiche waren sowohl im Frühjahr als auch im Herbst schlammig.

## 7.2.2 PROBESTRECKE KAJABACH 2

### 7.2.2.1 PROBESTRECKE KAJABACH 2A

Die Probestrecke Kajabach 2 (K2) ist weiter vom Sagteich entfernt und liegt kurz vor der Mündung der Kaja in die Thaya (Abb. 49).

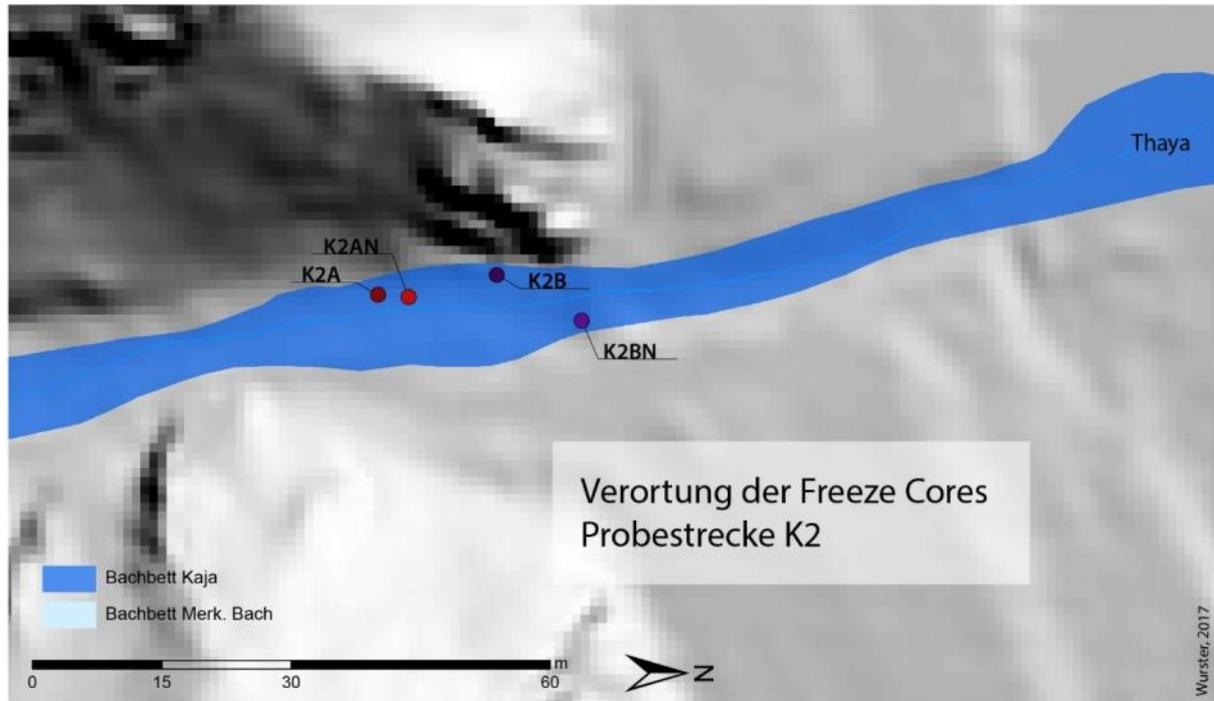


ABBILDUNG 49: VERORTUNG DER STANDORTE K2A, K2AN, K2B UND K2BN

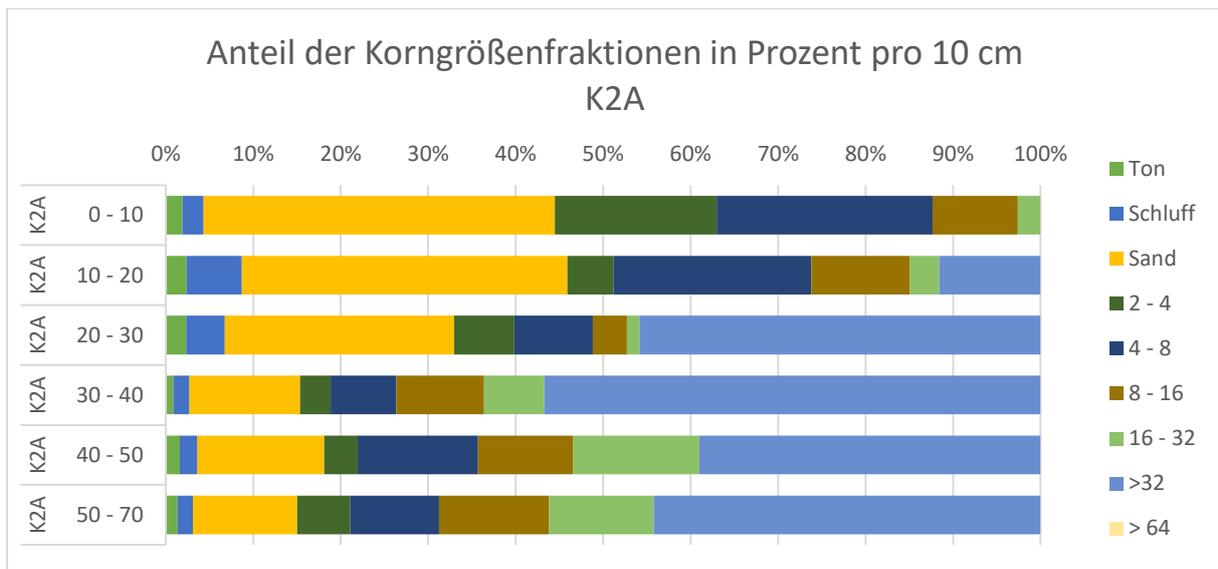
Wie in den anderen Probestrecken wurden in K2 die meisten Cores im Uferbereich entnommen. Wie im Methodenkapitel beschrieben, war es schwierig, Samplingpoints zu finden, welche zum einen eine möglichst hohe Ähnlichkeit aufweisen, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, zum anderen wurde das Einschlagen der Cores oft durch Gestein im Untergrund erschwert. Es war bei mehreren Cores nötig, die bereits halb eingeschlagenen Rohre wieder entnehmen und an anderer Stelle erneut zu platzieren, um die nötige Tiefe erreichen zu können. Oft war es nur in Nähe der Ufer möglich, die Cores einzuschlagen, da dies in der Mitte des Bachbettes durch besonders viele und große Steine verhindert wurde.



ABBILDUNG 50: FREEZE CORE K2A – MÄRZ

K2A ist optisch zweigeteilt; die obere Hälfte ist dunkel, fast schwarz, und enthält viel Wurzelmaterial, welches nicht in der prozentuellen Auswertung aufscheint. Die Wurzeln stammen zum Teil von Bäumen im Uferbereich und wurden teils während der Beprobung beschädigt, zum Teil waren sie bereits abgestorben. Im unteren Teil des Cores ist das Material weniger homogen als oben und ist von einem dunklen Grau.

Am auffälligsten an K2A ist der überdurchschnittlich hohe Anteil der Sandfraktion in allen Tiefenlagen und die hohen Anteile von Material 32-64 mm in den unteren 50 cm. Diese Entwicklungen scheinen zusammenzuhängen, da mit abnehmendem Sandanteil die Korngröße 32- 64 mm zunimmt. Grundsätzlich sieht man eine Zunahme der Korngröße mit der Tiefe, wobei diese nicht so ausgeprägt ist wie in anderen Samples. Ton und Schluff sind in diesem Core ebenfalls stärker vorhanden als in anderen. Es ist naheliegend, dass bei solch hohen Anteilen Feinstmaterial nur wenig Porenraum vorhanden ist, das Substrat ist kohäsiv und stark verfestigt – man muss von starker bis vollständiger Kolmation ausgehen.



**DIAGRAMM 10: KORNFRAKTIONEN IN PROZENT – K2A**

Der Farbwechsel, der diese Probe kennzeichnet, lässt sich auch bei anderen Cores verfolgen, ist aber nur bei K2A so deutlich ausgeprägt. In Verbindung mit den hohen Anteilen an Wurzelmasse, sowie dem Fehlen der Kiesschicht, die die meisten Cores in den obersten 10 cm aufweisen, ist es wahrscheinlich, dass dieser Core zu nahe am Ufer entnommen wurde, so dass die Schichtabfolge nicht dem der Gewässersohle im Rest des Baches entspricht. Durch die Entnahme von Core K2A an einer wohl ungeeigneten Stelle ist der Vergleich mit Core K2AN schwierig.



ABBILDUNG 51: FREEZE CORE K2AN – OKTOBER

K2AN enthält durchgängig einen hohen Anteil von Grobmaterial, der Sandanteil ist, vor allem verglichen mit K2A, gering. In fast allen Schichten sind Steine vorhanden, also Material, dass größer als 32 mm ist - auch enthält keine andere Probe einen solch hohen Anteil an Grobmaterial wie K2AN. Optisch wirkt das Sediment im gesamten Core recht locker, eher grobporig und gut durchmischt, was für eine maximal schwache Kolmation spricht.

Auffällig ist bei dieser Probe der geringe Schluffanteil, der in 20 cm Tiefe sogar gegen 0% fällt und auch in den übrigen Schichten geringer ausfällt als in den übrigen Cores.

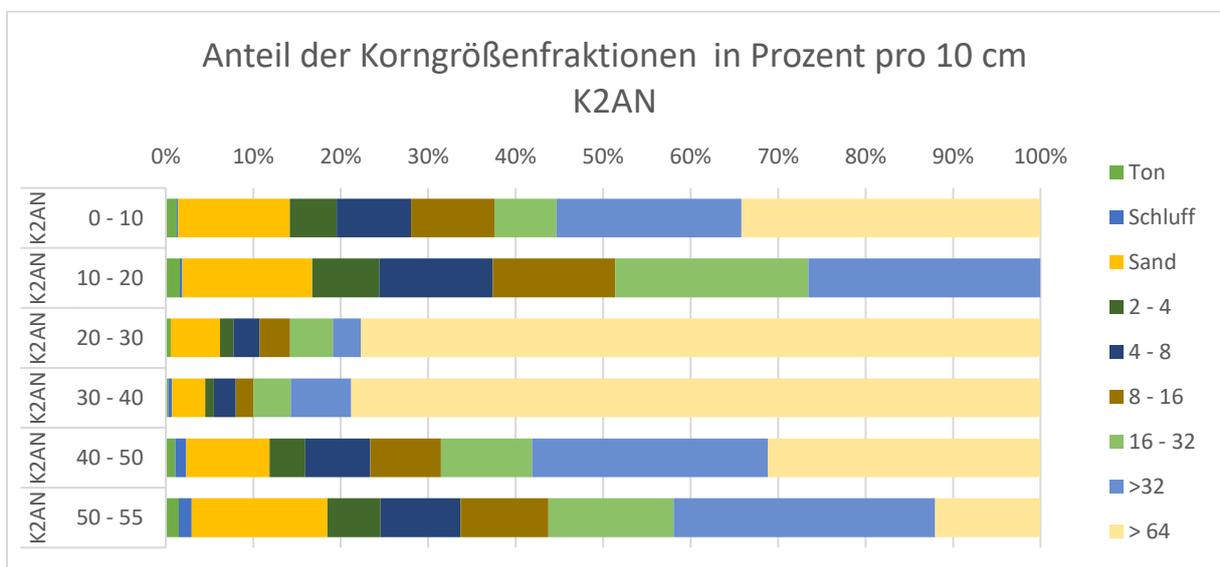
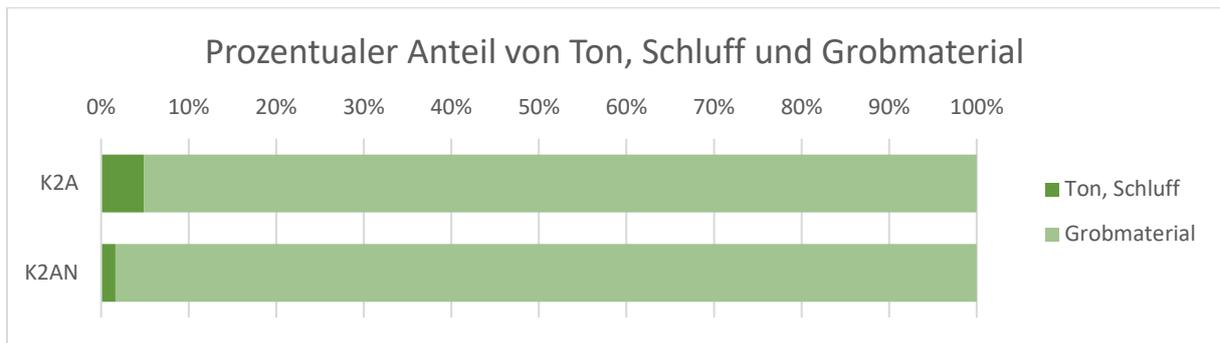


DIAGRAMM 11: KORNFRAKTIONEN IN PROZENT – K2AN

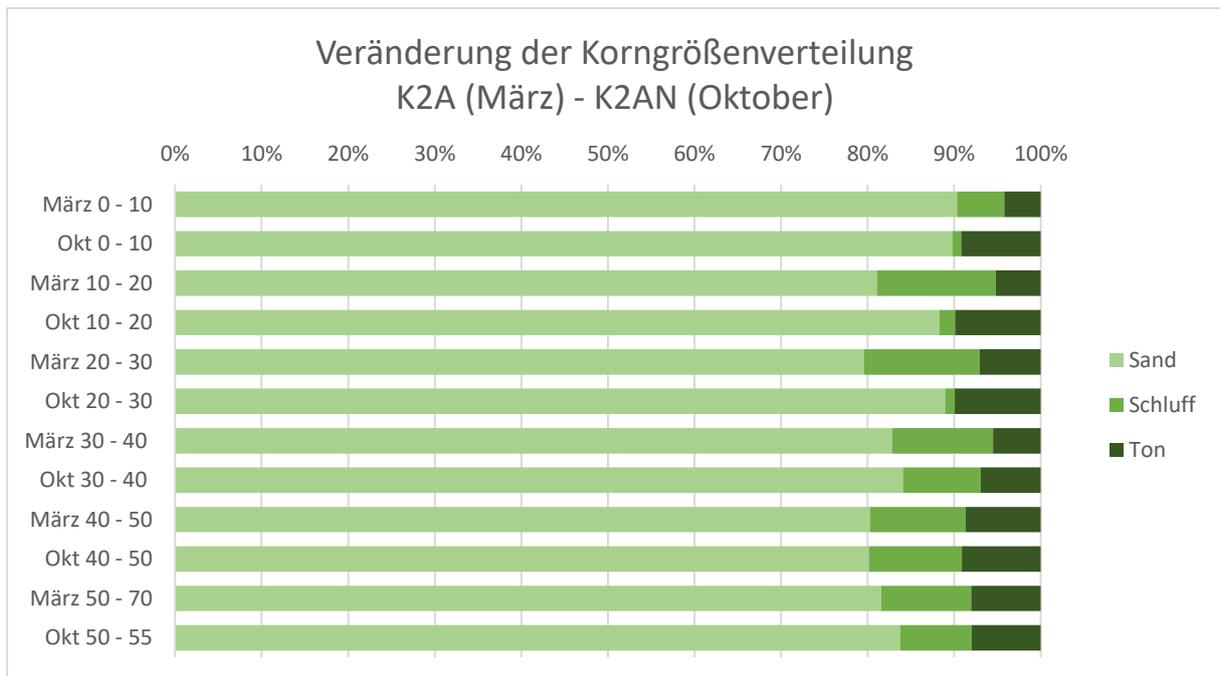
Der hohe Anteil an Grobmaterial zeigt sich auch in Diagramm 12:



**DIAGRAMM 12: PROZENTUALER ANTEIL VON GROB- UND FEINMATERIAL (K2A UND K2AN)**

Rein rechnerisch hat die Feinsedimentbelastung an den Samplingspoints von K2A also abgenommen, allerdings ergibt sich hier dasselbe Problem wie auch bei K1B: Während die Märzprobe eine recht gleichmäßige Sedimentverteilung aufweist, enthält die Oktoberprobe überdurchschnittlich viel Grobmaterial, wodurch sich die Auswertung der gesamten Sedimentverteilung und die Auswertung des Feinmaterials deutlich unterscheiden.

In Diagramm 13 zeigt sich, dass der Tonanteil in K2AN in allen Schichten zugenommen hat; während er sich in den oberen 20 cm verdoppelt hat, ist die Zunahme in tieferen Lagen weniger ausgeprägt. Mit der Zunahme der Tonpartikel geht im oberen Bereich des Cores eine Abnahme der Schlufffraktion einher, welche zum Teil sehr deutlich ist (cm 20 – 30: 13,37 % auf 1,01 %). Diese Veränderung ist auch in anderen Cores zu beobachten.



**DIAGRAMM 13: VERÄNDERUNG DER KORNGRÖSSENVERTEILUNG K2A UND K2AN**

### 7.2.2.2 PROBESTRECKE KAJABACH 2B

Entlang der Probestrecke K2 wurden zwei weitere Cores entnommen, K2B und K2BN. Abbildung 52 zeigt den März-Core, K2B, der durch ein starkes Ungleichgewicht der Sedimentverteilung gekennzeichnet ist.



ABBILDUNG 52: FREEZE CORE K2B – MÄRZ

K2B wurde im Uferbereich der Probestrecke K2 entnommen, unterhalb eines eher steilen Abschnitts, wo die Gewässersohle viele große Steinblöcke enthielt, was die Auswahl der Samplingpoints erschwerte. Daher musste eine Stelle beprobt werden, die sich in direkter Nachbarschaft zu einem großen Block befand. Dieser fror am Core fest und behinderte die Entnahme. Durch die Ungleichverteilung des Gewichts konnte der Core nur unter großer Kraftanstrengung entnommen werden, zudem war das Herauslösen sehr zeitaufwändig. Je länger die Entnahme dauert und je mehr der Core dabei bewegt wird, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass Material verloren geht. Genau das geschah bei K2B, weshalb zwischen 35 und 50 cm Teile des Rohrs freiliegen. Da der angefrorene Block sich über zwei Abschnitte erstreckte (20 – 30 und 30 – 40) wurde das Gewicht auf diese beiden Abschnitte aufgeteilt. Das Substrat im Core ist locker und grobkörnig mit großporigem Lückenraum.

Die prozentuale Verteilung der Kornfraktionen im Core ist sehr gleichmäßig, mit einem hohen Anteil an Grobmaterial vor allem in den tieferen Lagen und einem recht hohen Sandanteil in den obersten 10 cm. Obwohl der Core optisch durch das fehlende Material und den großen Block heraussticht, zeigt die Verteilung der Fraktionen keine besonders auffälligen „Ausreißer“. Während das Gestein im oberen Bereich durchmischt ist, findet sich tiefer vor allem Glimmerschiefer.

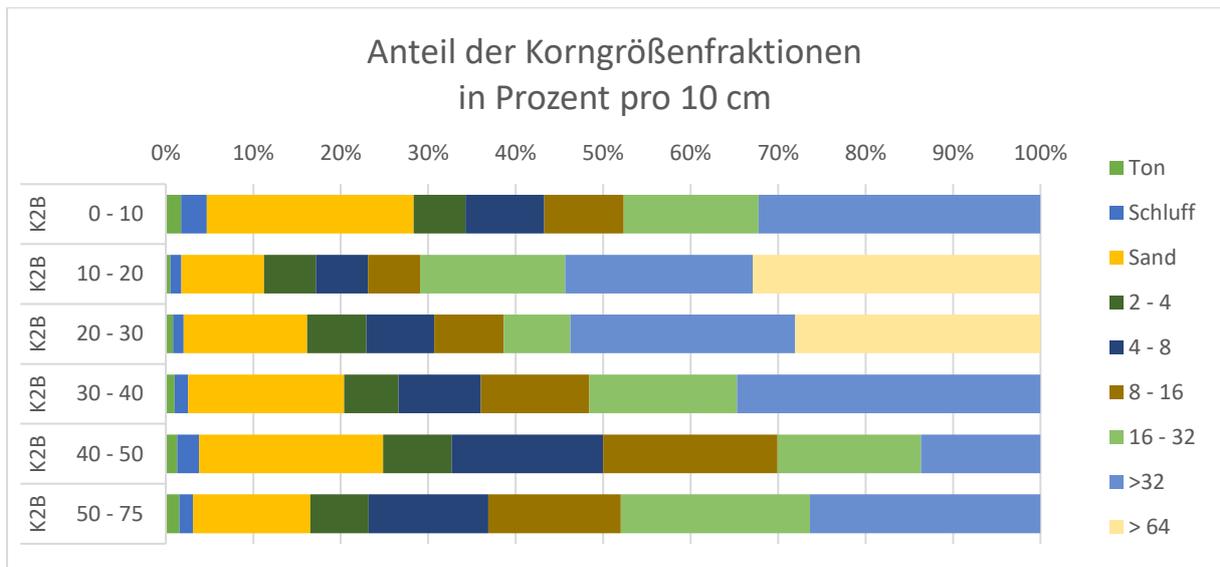


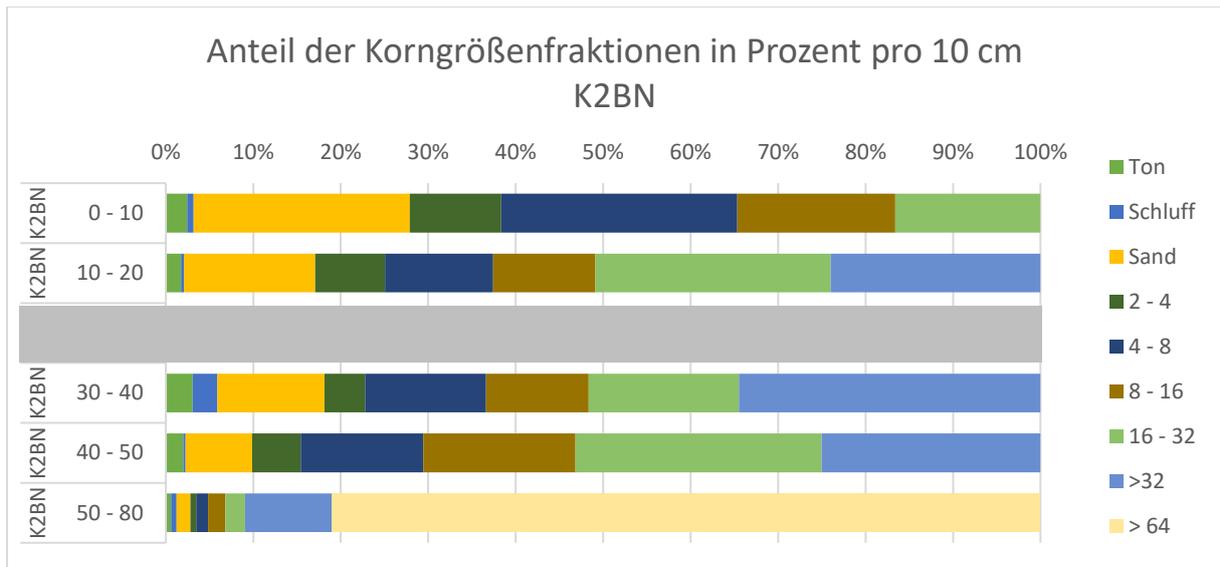
DIAGRAMM 14: KORNFRAKTIONEN IN PROZENT – K2B



ABBILDUNG 53: FREEZE CORE K2BN – OKTOBER

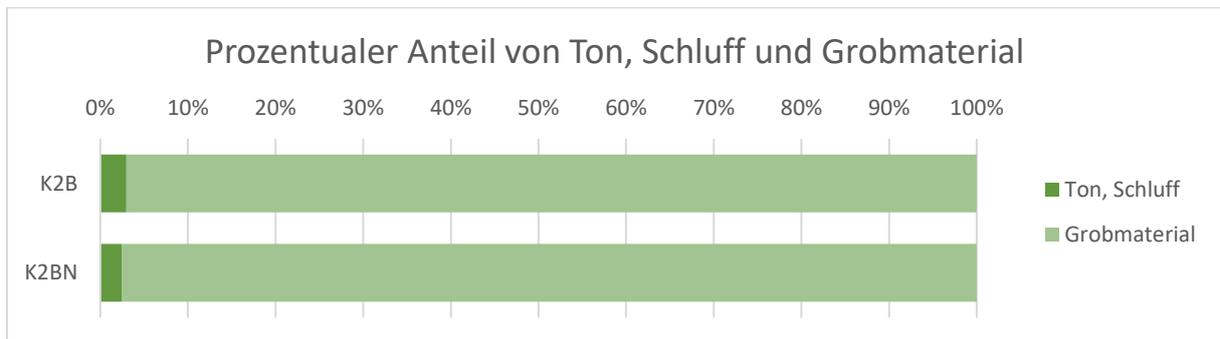
Anders verhält es sich mit dem Vergleichscore K2BN, der schräg gegenüber von K2B ebenfalls im Uferbereich entnommen wurde. Hier vorweg muss erwähnt werden, dass von der Probe K2BN 20 – 30 durch einen Beschriftungsfehler keine Analyse des Feinsedimentanteils existiert. Da allerdings alle Proben vor der Aufteilung in Fein- und Grobmaterial ausgewogen wurden, ist es möglich, die Veränderung des gesamten Materials zu zeigen.

K2BN ist, wie einige andere Cores auch, geprägt durch einige große Blöcke in den untersten 30 cm. Mit 80 cm ist K2BN der längste der Cores. Im oberen Bereich ging bei der Entnahme eine geringe Menge Material verloren, was wieder auf Schwierigkeiten bei Entnahme zurückzuführen ist und durch die warme Witterung an den Probetagen verstärkt wurde. Im oberen Bereich ist nur sehr wenig Material am Rohr festgefroren, dieses wirkt zudem eher verfestigt und weist kaum Feinporen auf. Dies weist zumindest im oberen Bereich auf eine mittlere bis starke Kolmation hin. Auch die hohen Ton- und Schluffgehalte in den oberen Sektionen lassen diesen Schluss zu, nach unten hin nehmen diese ebenso wie der Sandanteil ab, während der Anteil des Grobmaterials steigt – vor allem im untersten Abschnitt, wo mehrere Blöcke (vor allem aus Glimmerschiefer) zu finden waren.



**DIAGRAMM 15: KORNFRAKTIONEN IN PROZENT – K2BN**

Da sowohl bei K2B wie auch bei K2BN ein ähnlicher Anteil aus Blöcken besteht und die Standorte sich sehr ähnelten, sind die Cores gut vergleichbar. Es ergibt sich ein Bild, welches sich auch beim Vergleich der Cores K1B und K2A ergeben hat: Während der Vergleich von Ton und Schluff mit dem Grobmaterial auf eine leichte Entschärfung der Feinsedimentbelastung hinweist (Diagramm 16), ist die Analyse der Veränderungen innerhalb der Fraktionen < 2mm differenzierter (Diagramm 17, S. 60).



**DIAGRAMM 16: PROZENTUALER ANTEIL VON GROB- UND FEINMATERIAL (K2B UND K2BN)**

Demnach hat der Anteil der Tonfraktion in allen Tiefenlagen deutlich zugenommen und erreicht im unteren halben Meter über 20%, einen Anteil, der in keinem anderen Core zu finden ist. Auch der Anteil des Schluffs ist hoch. Allerdings gibt es wieder keine Regelmäßigkeit in der Zu- oder Abnahme des Schluff, der Anteil schwankt im März zwischen 7 – 10 %, im Oktober zwischen 2 – 20 %. Interessant ist auch, dass hier vor allem in den tieferen Lagen eine Zunahme der Feinsedimente stattfand, während in den anderen Cores eher die oberen Cores mehr Ton und Schluffanteile verzeichneten.

Alles in allem sind die Unterschiede in der Verteilung der Feinsedimentanteile in kaum einem Core so deutlich wie in K2BN.

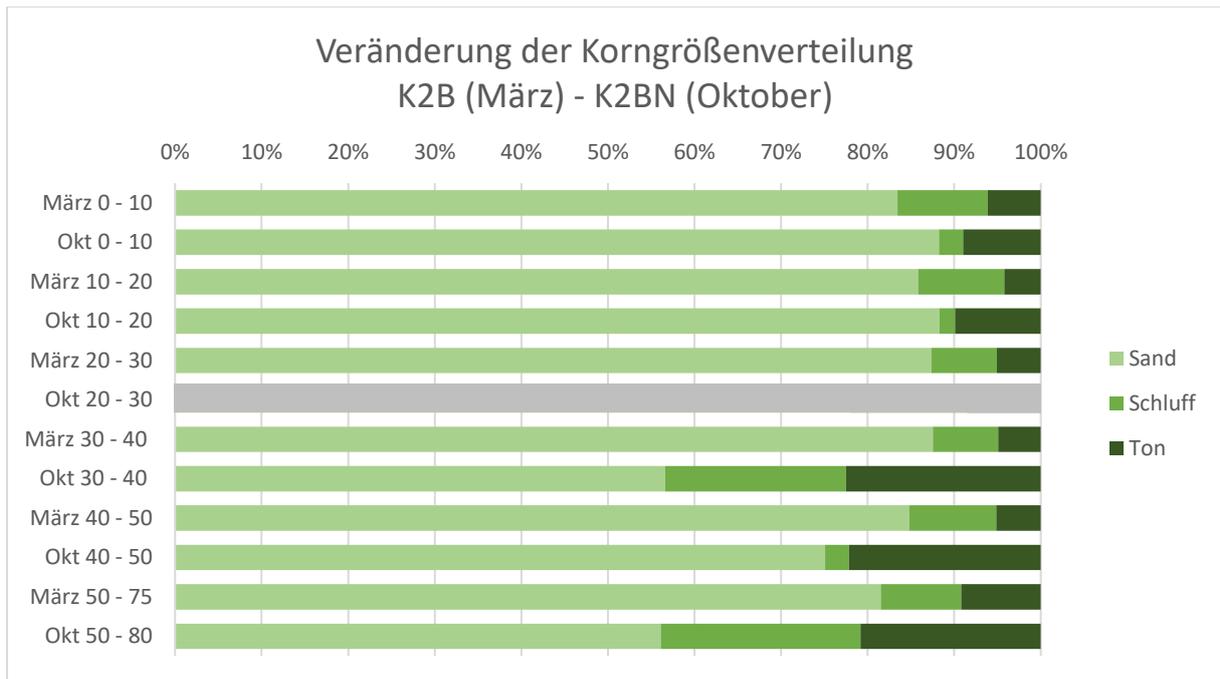


DIAGRAMM 17: VERÄNDERUNG DER KORNGRÖSSENVERTEILUNG K2B UND K2BN

### 7.2.3 VERGLEICHSTRECKE MERKERSDORFER BACH

Zusätzlich zu den Probestrecken im Kajabach wurden im Merkersdorfer Bach vier Cores entnommen, zwei im März, zwei im Oktober, welche als Referenz dienen sollten, um eventuelle saisonale Tendenzen in der Verteilung der Kornfraktionen ausschließen zu können und um zu sehen, wie die Korngrößenverteilung in einem vom Feinsedimenteintrag unbeeinflussten Gewässer aussieht.

#### 7.2.3.1 VERGLEICHSTRECKE MERKERSDORFER BACH A

Die Referenzstrecke liegt sehr nahe bei der Probestrecke K1, kurz oberhalb der Mündung des Merkersdorfer Baches in die Kaja.

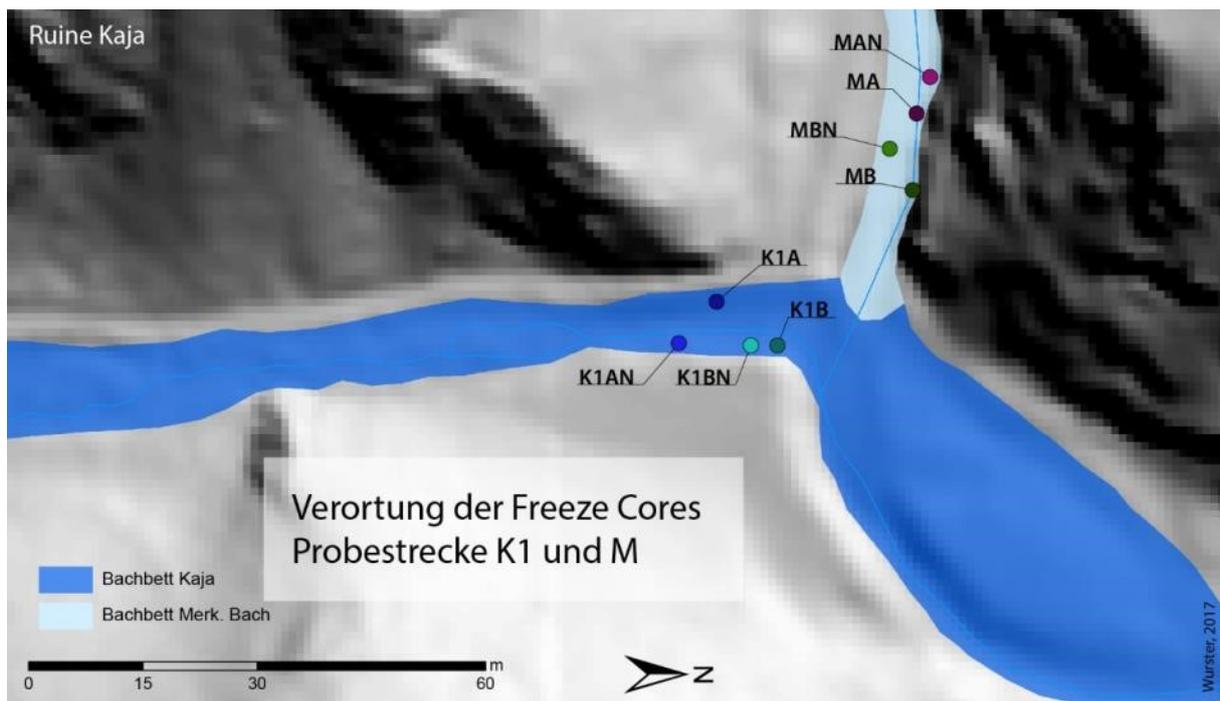


ABBILDUNG 54: VERORTUNG DER STANDORTE MA, MAN, MB UND MBN

Core MA wurde am orographisch linken Ufer entnommen, unterhalb eines Felsvorsprungs, und zeigt eine Schichtung, die der von K1B ähnelt. Im oberen Bereich ist das Substrat locker, mit einer gleichmäßigen Durchmischung der Korngrößen, der Lückenraum ist grob- bis feinporig und es gibt keine Hinweise auf Kolmationsvorgänge. Ab ca. 20 – 30 cm Tiefe geht die Farbe in ein dunkles Grau über, optisch wirkt der Core dann deutlich stärker verfestigt, der Porenraum ist kaum mehr sichtbar.



ABBILDUNG 55: FREEZE CORE MA – MÄRZ

Diese optische Einschätzung deckt sich grundsätzlich mit der Analyse der Kornfraktionen. Während in den obersten 30 cm die kumulierten Anteile von Ton, Schluff und Sand rund 20 % betragen, steigen sie danach auf über 30% an (Ausnahme: 40 – 50, wobei dies vor allem auf den erhöhten Anteil von Material der Größe 32 – 64 mm zurückzuführen ist). Ansonsten ist die Verteilung der Kornfraktionen recht gleichmäßig.

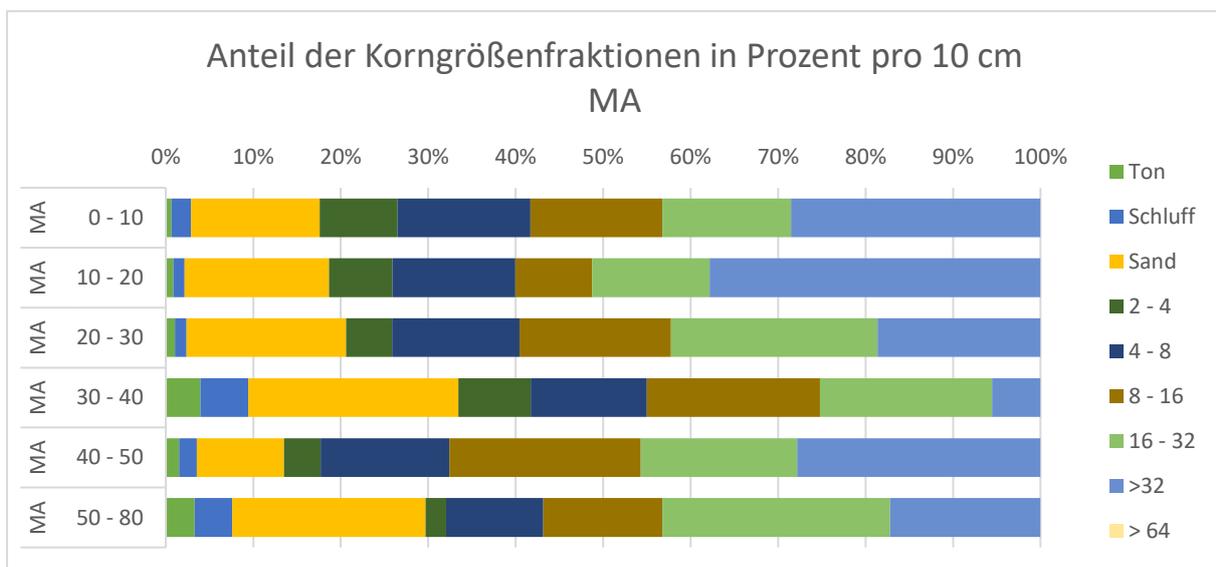


DIAGRAMM 18: KORNFRAKTIONEN IN PROZENT - MA

MAN wurde sehr nahe dem Standort MA entnommen, ein kleines Stück bachaufwärts. Trotz dieser räumlichen Nähe, unterscheiden sich die beiden Cores deutlich. MAN weist keinerlei Schichtung auf, sondern besteht in erster Linie aus Schlamm. In den obersten 20 cm ist zum Teil Wurzelmaterial vorhanden, ansonsten ist der Core sehr homogen. Das Substrat wirkt stark verfestigt, Porenraum ist kaum vorhanden oder vollständig verstopft. Man könnte dies auf eine vollständige Kolmation interpretieren, doch es ist anzunehmen, dass es sich hier um eine fehlerhafte Probe handelt. Leider kann vor der Entnahme der Cores nicht festgestellt werden, ob sich der Untergrund kleinräumig verändert, was hier wohl der Fall ist. Beim Heben des Cores konnte man dies allerdings bereits erwarten, da das Dreibein, mit dem die Cores herausgezogen wurden, immer wieder einsank. Es scheint hier also einen Bereich zu geben, in dem – aus bis dato unbekanntem

Gründen– sehr viel Feinmaterial abgelagert wurde. Da der Merkersdorfer Bach nicht vom Dambruch beeinflusst wurde, muss dieses Material aus anderen Quellen stammen. Woher es stammt und über welchen Zeitraum das Feinsediment in diesem Bereich abgelagert wurde, ist nicht bekannt. Wahrscheinlich ist aber ein Einfluss der Landwirtschaft im Einzugsgebiet der Kaja, wo vor allem Löss die Auflagehorizonte bildet. In Kombination mit bestimmten Kulturpflanzen (z.B. Mais) und Anbaumethoden ist Löss sehr erosionsanfällig und das ausgewaschene Sediment findet seinen Weg in nahegelegene Gewässer.



ABBILDUNG 56: FREEZE CORE MAN – OKTOBER

Beim Core MAN ergaben sich zudem bei der Analyse einige Probleme. Zum einen wurde durch falsche Beschriftung eine weitere Probe unbrauchbar: MAN 50 – 70, mit dieser Probe wurde wie bei Probe K2BN 20 – 30 verfahren. Zum anderen – am Bild nur schwer erkennbar – war durch Verlust bei der Entnahme im Abschnitt 30 – 40 cm zu wenig Material für die Analyse vorhanden.

Aus all diesen Gründen (Probenverlust und falscher Standort) ist es schwierig, MAN zum Vergleich heranzuziehen, wie auch die genaue Analyse der Korngrößen zeigt. Bei den auswertbaren Abschnitten der Probe ist mindestens  $\frac{1}{4}$  des Cores Sand, zum Teil fast die Hälfte. Auch der Tonanteil ist überdurchschnittlich hoch, ebenso verhält es sich beim Schluff.

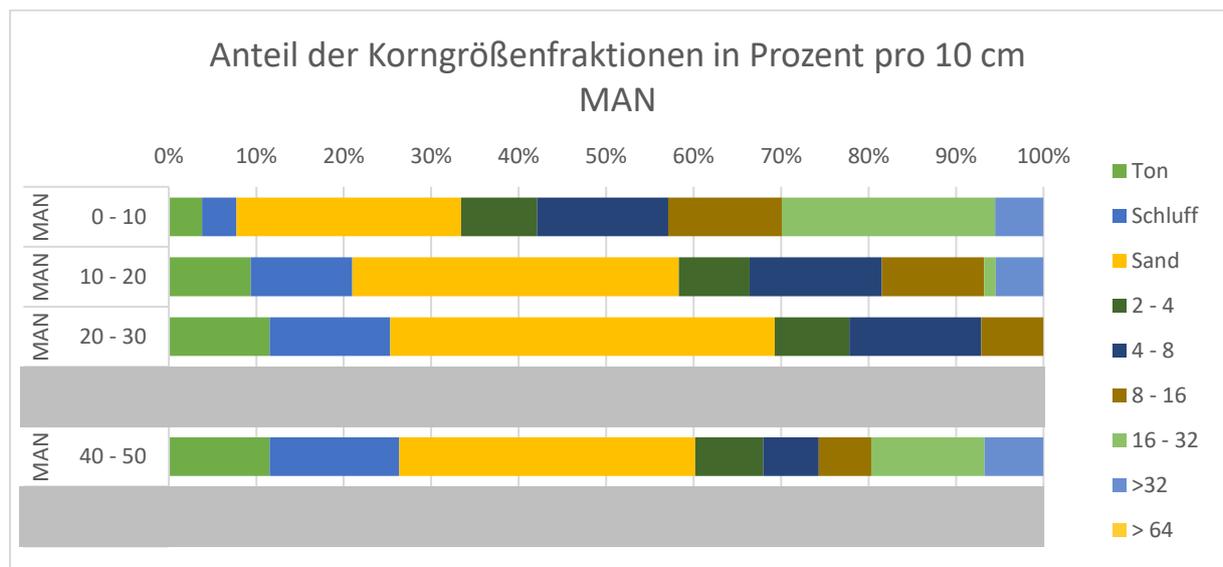
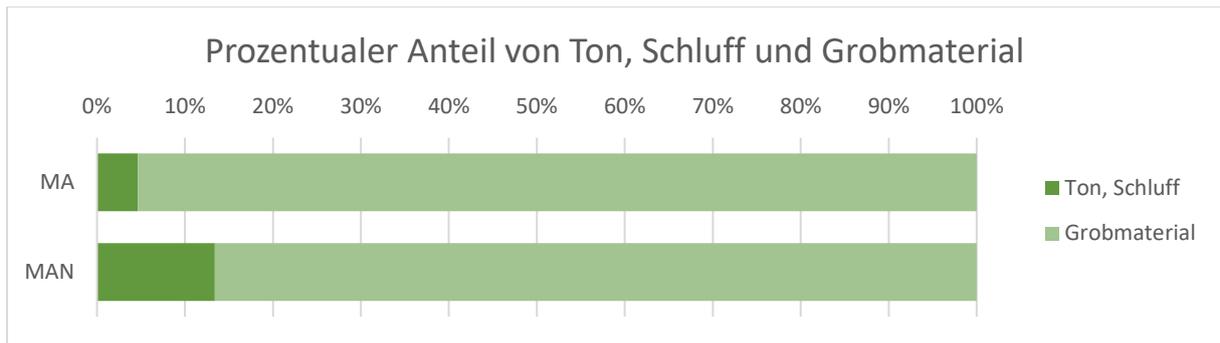


DIAGRAMM 19: KORNFRAKTIONEN IN PROZENT - MAN

Der Vollständigkeit halber sei auch bei den Cores MA und MAN ein Vergleich der Gesamtmenge angeführt:



**DIAGRAMM 20: PROZENTUALER ANTEIL VON GROB- UND FEINMATERIAL (MA UND MAN)**

Wie nach den vorangegangenen Ausführungen nicht anders zu erwarten, hat der Anteil des Feinsediments deutlich zugenommen, von 4,66% auf 13,4%. Diese Zunahme ist in keinsten Weise mit dem Schadensereignis am Sagteich in Verbindung zu bringen, sondern muss auf die Auswahl des Standortes zurückgeführt werden. Aus diesem Grund wird auf einen weiterführenden Vergleich der Kornfraktionen Sand, Schluff und Ton verzichtet und die Cores MA und MAN aus der weiteren Analyse ausgeschlossen.

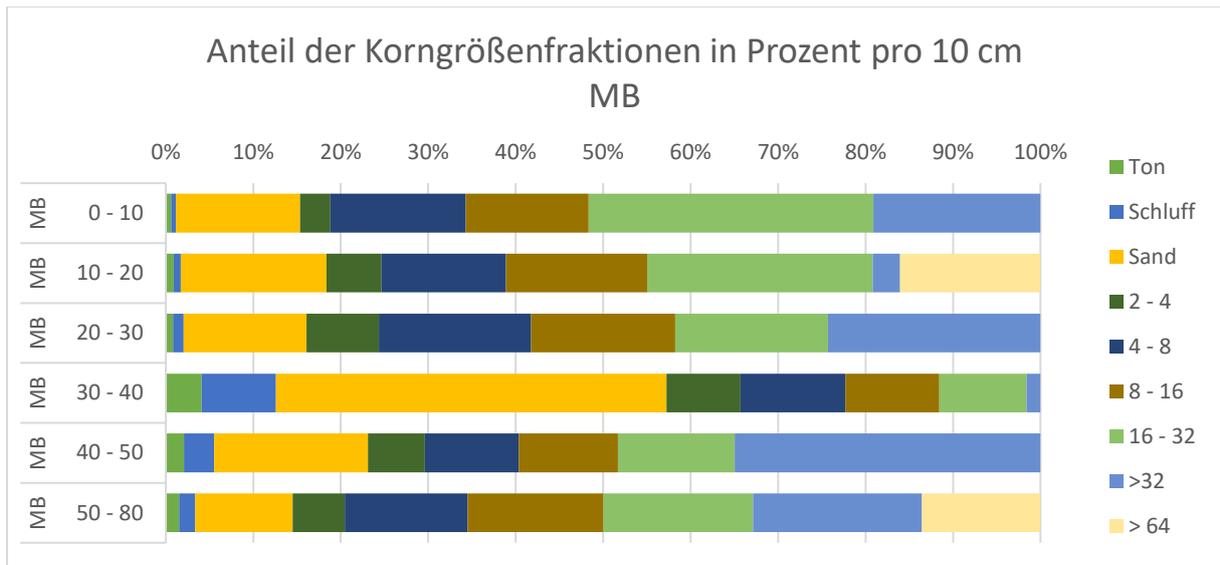
#### 7.2.3.2 VERGLEICHSTRECKE MERKERSDORFER BACH B

Da für MA und MAN keine Vergleichbarkeit gegeben ist, ist die Analyse von MB und MBN für die Referenz von besonderer Bedeutung. MB wurde flussabwärts der übrigen Cores am linken Ufer entnommen. Die Schichtung ähnelt der von MA, mit einem gut durchmischten und lockeren oberen Abschnitt und einem grauschwarzen, stärker verfestigten unteren Abschnitt; der Porenraum nimmt von oben nach unten ab, während der Glimmerschieferanteil und damit die Korngröße nach unten hin höher wird.



**ABBILDUNG 57: FREEZE CORE MB – MÄRZ**

Größere Steine finden sich nur in zwei Abschnitten: 10 – 20 und 50 – 80, ansonsten nimmt der Anteil des Grobmaterials nach unten hin kontinuierlich zu. Interessant ist der hohe Sandanteil in 30 – 40 cm Tiefe, diese Lage ist auch in Abb. 57 deutlich als bräunliche Schicht zu erkennen. In diesem Bereich erreichen auch Ton und Schluff hohe Anteile. Wäre nicht dieser Ausreißer, so würde der Sandgehalt nach unten hin gleichmäßig abnehmen, während in tieferen Lagen tendenziell mehr Ton und Schluff vorhanden ist.



**DIAGRAMM 21: KORNFRAKTIONEN IN PROZENT - MB**

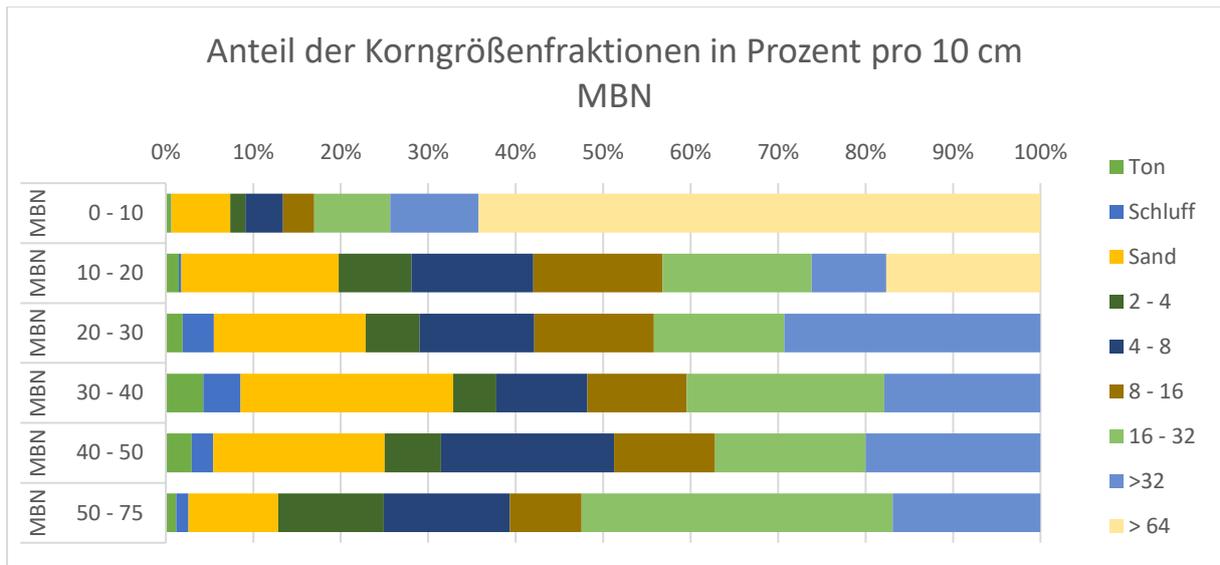
Core MBN weist eine ähnliche Schichtung wie MB auf; diese Cores lassen sich also ohne weiteres vergleichen und können als Referenz für die Sedimentdynamik in der Kaja dienen.



**ABBILDUNG 58: FREEZE CORE MBN – OKTOBER**

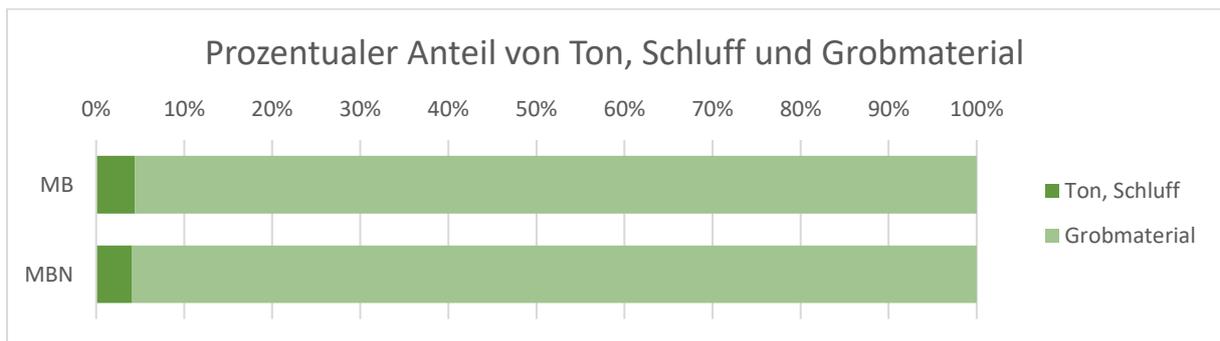
Obwohl MBN in den obersten 20 cm viele Steine enthält, nimmt nach unten hin der Anteil des Grobmaterials zu; Sand-, Schluff- und Tonanteil erreichen, wie auch bei MA und MB, in einer Tiefe von 30 – 40 cm ihr Maximum. Obwohl Core MAN ansonsten nicht sinnvoll analysierbar war, konnte man auch dort dieses Feinsediment-Maximum erkennen.

Optisch wirkt der Core recht homogen; abgesehen von den Steinblöcken wirkt das Substrat in allen Lagen gleichmäßig durchmischt, es sind weder Bereiche zu erkennen, welche stark verfestigt sind, noch sind verstopfte Porenräume sichtbar.



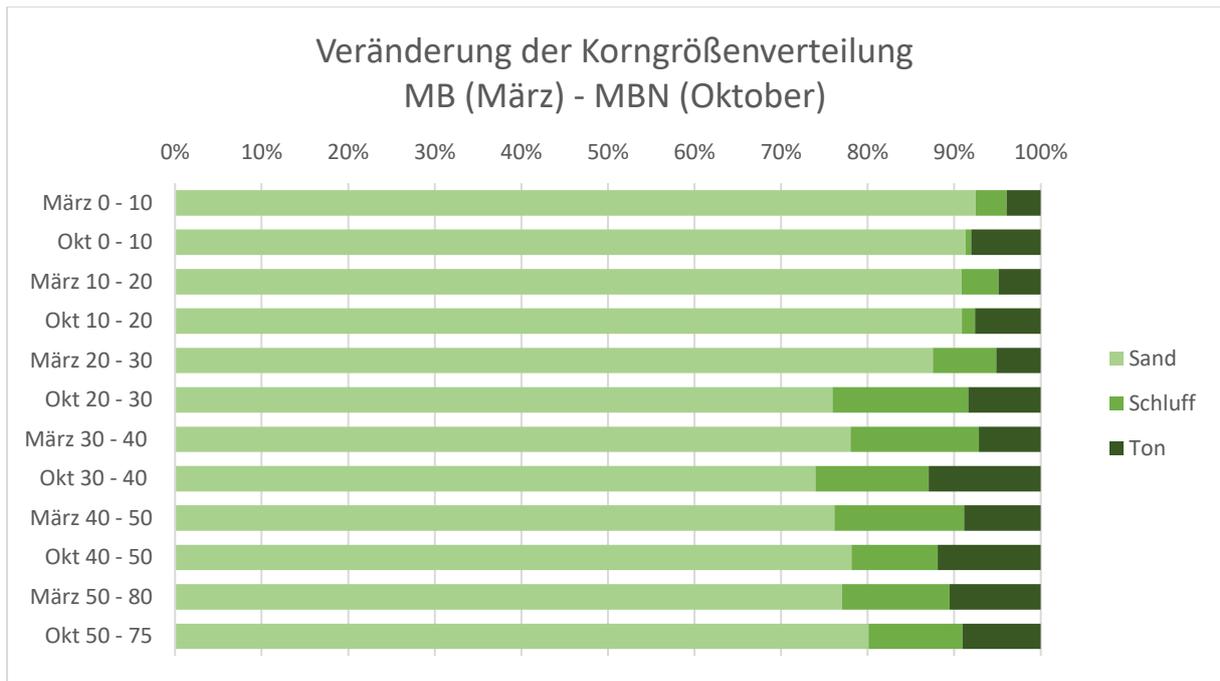
**DIAGRAMM 22: KORNFRAKTIONEN IN PROZENT - MBN**

Vergleicht man den Grobmaterialanteil mit dem Anteil von Ton und Schluff im März und Oktober, so ist keine signifikante Veränderung zu erkennen. Im März beträgt der Feinstsedimentanteil 4,39%, im Oktober ist er mit 4,09% unwesentlich geringer.



**DIAGRAMM 23: PROZENTUALER ANTEIL VON GROB- UND FEINMATERIAL (MB UND MBN)**

Auch die Differenzierung von Ton, Schluff und Sand zeigt nur minimale Veränderungen zwischen MB und MBN. Die Veränderungen schwanken im Bereich von wenigen Prozent, wenn man Ton und Schluff mit dem Sandanteil vergleicht. Bezieht man sich nur auf den Ton, so ist dieser im Oktober in den oberen 50 cm höher, zum Teil nur wenig, zum Teil aber um rund 3% (20 – 30) bzw. 6% (30 - 40). Insgesamt nimmt der Tonanteil in beiden Proben nach unten hin kontinuierlich zu, der Verlauf der Kurven ist im März und Oktober sehr ähnlich, weshalb diese Unterschiede wohl mehr auf Standortfaktoren zurückzuführen sind, weniger auf äußere Einflüsse.

**DIAGRAMM 24: VERÄNDERUNG DER KORNGRÖSSENVERTEILUNG MB UND MBN**

### 7.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE DER FREEZE-CORE ANALYSE

Bei der Auswertung der Freeze-Cores ergaben sich zwei Szenarien: eine Zunahme des Feinsedimentanteils im Core K1A(N) und eine Abnahme in den Cores K1B(N), K2A(N), K2B(N) und MB(N). Eine starke Zunahme des Feinsedimentanteils erfolgte auch im Core MA(N), dieser wird aber aus der folgenden Analyse ausgeschlossen, da diese überproportionale Zunahme nur durch einen Samplingfehler erklärt werden kann (siehe Kapitel 7.3.3.2).

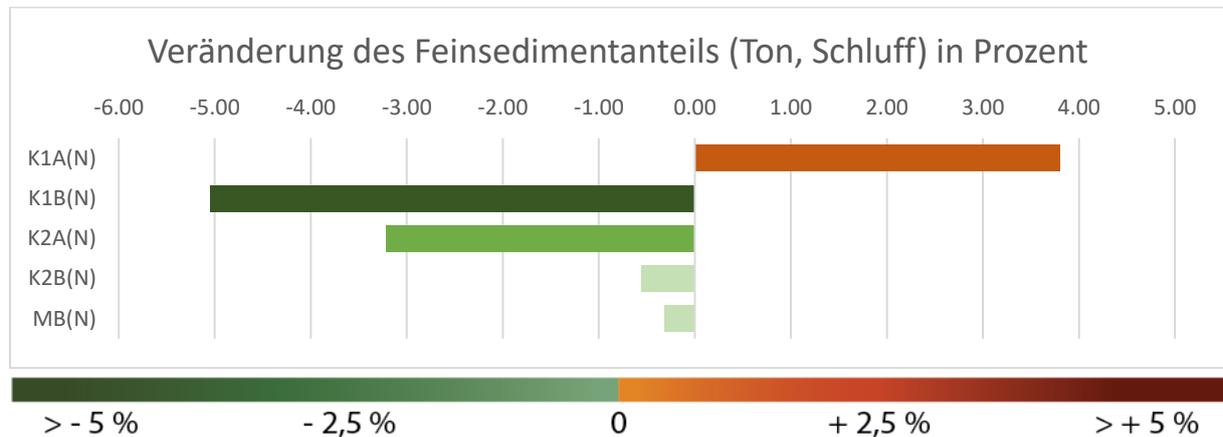


DIAGRAMM 25: VERGLEICH DER FEINSEDIMENTBELASTUNG PRO CORE IN PROZENT

Bei vier der fünf auswertbaren Cores hat der Feinsedimentanteil also abgenommen, bzw. ist annähernd gleichgeblieben, wie bei MB(N). Vergleicht man die Standorte der Cores mit der geomorphologischen Kartierung, fällt auf, dass mit der Entfernung vom Sagteich die Abnahme des Feinsedimentanteils geringer ausfällt, wobei K1AN eine Ausnahme darstellt.

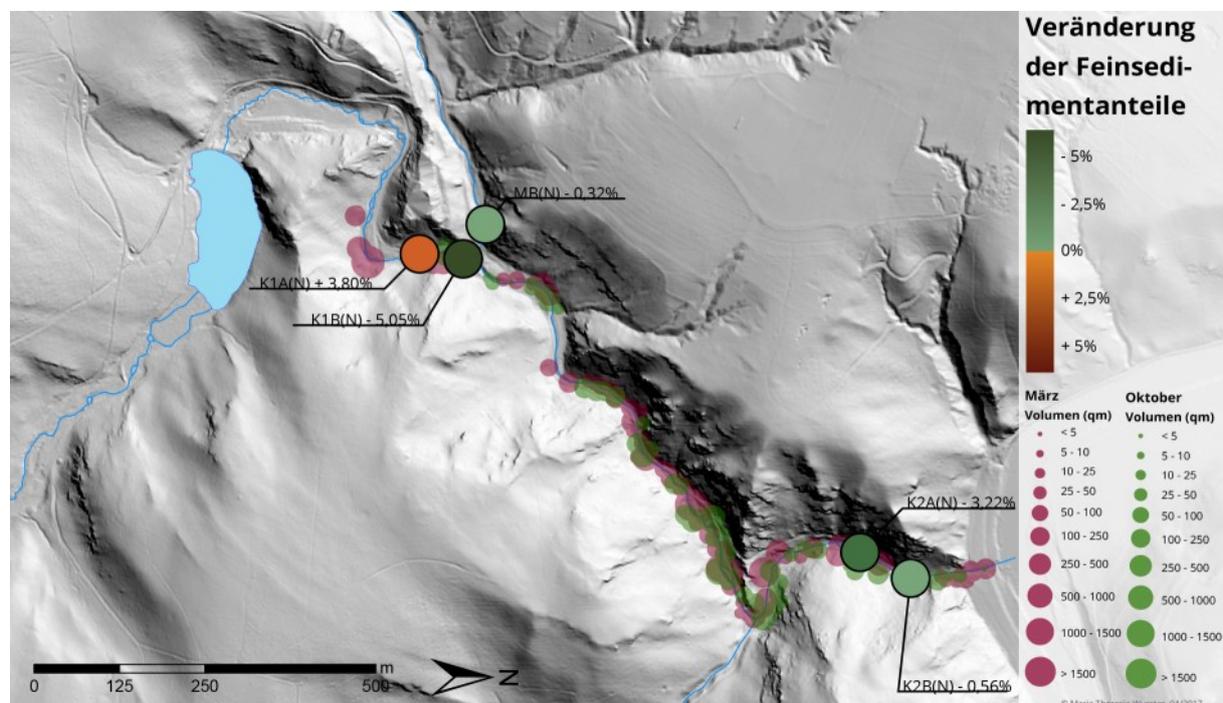


ABBILDUNG 59: VERÄNDERUNG DER FEINSEDIMENTE IM CORE - RÄUMLICHE EINORDNUNG (QUELLE: AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, GRUPPE WASSER)

Denkt man zurück an die Ergebnisse der geomorphologischen Kartierung, wo sich die Spülung besonders direkt unterhalb des Sagteiches als effektiv erwies (größere Sedimentbänke wurden ausgespült, nur dünne Schichten im Bachbett blieben zurück), ist das Ergebnis bei den Freeze-Cores differenzierter. Sowohl K1A, der einzige Core mit einer Zunahme an Feinmaterial (+3,80 %), als auch K1B, der Core mit der höchsten Feinsedimentabnahme (-5,05 %), liegen in unmittelbarer Nähe zum Sagteich. Flussabwärts ist die Veränderung des Feinsedimentanteils in den Cores deutlich geringer (K2A: -3,22%) bzw. bei den Cores K2B (-0,56%) und MB (-0,32%) so gering, dass man auch natürliche Schwankungen zur Begründung in Betracht ziehen kann. Auch die Dichte der Ablagerungen ist im Bereich von Probestrecke K2 geringer als in den flussaufwärtigen Abschnitten. Es ist also möglich, dass nach der Flutwelle die Transportkapazität (Vgl. Kap. 7.1) sowohl beim Dambruchereignis wie auch bei der Spülung abgeflacht ist, so dass ein Großteil des mitgeschleppten Materials in beiden Fällen im mittleren Abschnitt des Untersuchungsgebietes abgelagert wurde. In den tieferen Lagen ist daher weniger Material in Fracht: je weniger Material das Gewässer bereits transportiert, desto höher ist die Erosion wiederum, womit sich die Abnahme des Feinsedimentanteils in K2A erklären lässt. Die vier Cores K1A, K1AN, K1B und K1BN schließlich wurden alle im Uferbereich der Probestrecke entnommen, vor allem K1A, K1B und K1BN liegen sehr nahe beieinander. Vergleicht man die Bilder der Cores (Kap. 7.3.1), so unterscheidet sich K1AN dennoch stark von den Übrigen, er erinnert eher an Core MAN, welcher als Samplingfehler ausgeschlossen wurde. Der Anteil der Kornfraktionen > 4 mm deutlich geringer, was zu einem erhöhten Anteil von Feinmaterial führt, auch zu verringertem Porenraum. Im oberen Bereich ist allerdings viel gröberes Material vorhanden, weshalb bei der Entnahme nicht damit zu rechnen war, dass der Untergrund sich so kleinräumig von den übrigen Cores unterscheidet. Auch wenn ein Samplingfehler bei K1A(N) nicht vollkommen ausgeschlossen werden kann, soll der Core zum Vergleich herangezogen werden. Herausgegriffen werden soll hier noch Core K1B(N). Der Oktobercore enthielt in den obersten 10 cm einen großen Steinblock, so dass hier die Auswertung schwierig ist. Rechnet man den Steinblock heraus, so ist der Anteil an Feinsediment auch in obersten 10 cm höher als im März.

Da nicht nur die gesamten Cores, sondern auch die einzelnen Tiefenschichten untersucht wurden, lassen sich auch diese hinsichtlich der Veränderung des Feinsedimentanteils vergleichen, wie man auf Tabelle 10 sieht.

**TABELLE 10: VERÄNDERUNG DER FEINSEDIMENTANTEILE NACH TIEFENSCHICHTEN**

	K1A(N)	K1B(N)	K2A(N)	K2B(N)	MB(N)
0 – 10	-0,98	-0,47	-2,92	-1,5	-0,52
10 – 20	1,59	10,59	-6,78	0,29	0,08
20 – 30	8,49	-10,35	-6,19	-2,05	3,47
30 – 40	8,78	-19,01	-1,97	3,32	-4,03
40 – 50	1,68	-9,51	-1,3	-1,53	-0,14
50 – x	3,26	-1,57	-0,14	-1,87	-0,75

> - 5 %      - 2,5 %      0      + 2,5 %      > + 5 %

Auch bei den Cores, bei denen insgesamt der Anteil an Feinsediment abgenommen hat, gibt es Tiefenschichten, in denen nach der Spülung mehr Feinmaterial vorhanden war. Zum Teil ist diese Zunahme sehr deutlich, etwa in K1B(N) 10 – 20 oder in K1A(N) 20 – 40, wo die Zunahme deutlich über 5% liegt. Eine Abnahme, die ähnlich deutlich ist, lässt sich nur in K2A(N) 10 – 30 beobachten. Ein Muster, das sich bei allen Core bis auf K2A(N) abzeichnet, ist eine Zunahme eher in den tieferen Schichten. Während in den obersten 10 cm nach der Spülung stets weniger Feinmaterial vorhanden ist, nimmt es in den Schichten 10 – 30 zu, um darunter wiederum leicht abzunehmen. Es scheint, als hätte die Spülung, während sie einen Großteil des Materials entfernt hat, das Feinmaterial aus den obersten 10 cm in tiefere Schichten eingetragen. Dies ist möglich, da in den März-Cores der größte Teil des Sediments aus Grobmaterial besteht, also viel Porenraum vorhanden ist, in den das feinkörnigere Material eindringen kann. Genau dieses Problem – das Verstopfen der Porenräume durch Feinsediment – wurde bereits in Kapitel 5 angesprochen und auch die möglichen Folgen

wurden ausgeführt (vgl. S. 26). Dazu zählen neben einem Verlust von Lebensräumen für Makrozoobenthos, eine daraus folgende Nahrungsknappheit bei höheren Tierarten, einer Glättung des Gewässerprofils auch der Verlust vertikaler Konnektivität, da die Verbindung zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer gestört wird. Wie bereits in Kapitel 5 erwähnt, haben Verklausungen, die im ganzen Untersuchungsgebiet zu finden sind, Auswirkungen auf die Konnektivität des Baches: sie wirken als Barriers (vgl. Kap. 3.2.1) und stauen das Wasser, verlangsamen die Fließgeschwindigkeit und sorgen für eine intensive Ablagerung flussaufwärts. Diese Ablagerungen wiederum können zu einer Kolmation der Oberfläche führen und damit als Blankets (vgl. Kap. 3.2.3) wirken, welche die vertikale Konnektivität einschränken. Die erfassten Verklausungen wurden durch die Spülung allerdings nicht durchbrochen, sondern waren im Oktober teils größer als im März. Dies spricht dafür, dass die Intensität der Spülung nicht gereicht hat, um die Verklausungen zu brechen, die Sedimentspeicher oberhalb dieser Barrieren also nicht remobilisiert wurden, sondern eher weiteres Material festgehalten wurde. Ähnlich verhält es sich wohl auch am Standort K1A(N), wo nicht eine Verklausung, sondern der Zufluss des Merkersdorfer Baches als Barriere wirkte und so die Spülung nicht mit voller Kraft wirksam werden konnte.

Auf Grundlage dieser Rückschlüsse und nach der Auswertung der Freeze-Core Analyse ist es möglich, auch die verbleibenden Fragen zu beantworten, welche in Kapitel 4.2 gestellt wurden:

### **H3.1: Gezielte Maßnahmen (Spülung) können die Feinsedimentbelastung mindern.**

Nach der Spülung konnte in den allen Cores ein um durchschnittlich 5,35% geringerer Anteil an Feinsediment (< 0,63 mm) im Vergleich zu vor der Spülung festgestellt werden. Die gezielte Maßnahme der Spülung zeigt also Wirkung. Ein Problem, das sich allerdings ergibt, ist das Einschwemmen der Feinsedimente in tiefere Schichten, worauf auch Schälchli hinweist: Zwar haben Hochwasserereignisse eine dekolmatierende Wirkung, doch wirkt diese vor allem bei äußerer Kolmation, weniger bei der inneren Kolmation. Zugleich kann es zu einer raschen Neuablagerung des Feinsediments kommen, welches während des Hochwasserereignisses mobilisiert wurde, vor allem nach dem Hochwasserscheitel. (Schälchli, 1993)

### **H3.3: Es lässt sich eine Veränderung der Korngrößenverteilung beobachten.**

Die Verteilung der Korngrößen folgt sowohl in den März- als auch in den Oktober-Cores einem Trend, der auch bei anderen Freeze-Core Analysen so vorgefunden wurde (Evans & Wilcox, 2014). Der Anteil des Grobsediments nimmt mit der Tiefe zu, das Feinsediment tendenziell eher ab. Durch die zwei Hochwasserereignisse (Dammbruch und Spülung), wurde Feinmaterial eingetragen und teils wieder ausgewaschen, doch die Anteile der Korngrößen in den tieferen Schichten der Cores scheinen (abgesehen von den zuvor erwähnten Spülungseffekten) vor allem von kleinräumigen geomorphologischen Gegebenheiten abhängig zu sein. In der Probestrecke K1 ist zu beobachten, dass durch die Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit besonders viel Material abgelagert wurde, weshalb sich in den obersten 10 cm die Korngrößenverteilung zu einem erhöhten Anteil von Feinsediment verändert.

### **H4.1: Durch die Spülung kann die Konnektivität der Kaja wiederhergestellt werden.**

Grundsätzlich haben Hochwässer eine dekolmatierende Wirkung, wie Schälchli festhält, allerdings ist diese abhängig von der Intensität der Kolmation wie auch der des Hochwassers. (Schälchli, 2002) Die Sedimentologie und damit die Konnektivität der Kaja wurde durch das Dammbruchereignis mehrfach verändert. Nach der tonnenweisen Ablagerung des Feinsediments und der anschließenden Entfernung wurde das restliche Material ausgespült. Die Spülung hat zu einer Verbesserung der Situation geführt, zumindest im Vergleich zum Zustand kurz nach der Spülung: insofern wurde die vertikale Konnektivität der Kaja durchaus erhöht. Nicht der Fall ist dies wiederum in der Probestrecke K1A, wo das eingebrachte Material die Sauerstoffzufuhr hemmte und es dadurch zu Reduktionserscheinungen kam. Das Problem hat sich an dieser Stelle also von der reinen Sedimentbelastung zu einer Unterversorgung des Interstitials gewandelt. Da zum Zustand vor dem Dammbruch keine Daten vorliegen, ist kein Vergleich mit dem unveränderten Stand möglich.

#### H4.2: Eine veränderte Korngrößenverteilung wirkt sich auf die vertikale Konnektivität aus.

Den Zusammenhang zwischen Feinsedimentanteil und vertikaler Konnektivität belegen unter anderem Brunke und Gonser: Kolmation der oberen Schichten von Bachbett und Uferbereich durch Feinsediment kann den Austausch zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser be- oder verhindern. (Brunke & Gonser, 1997) Davon ist nicht nur die Sediment- oder die hydrologische Konnektivität betroffen, auch die Bewegung von Kleinstlebewesen wird behindert. Vadher et al. etwa fanden heraus, dass ab einem Feinsedimentanteil (< 2mm) von 20% keine Invertebraten mehr im Sediment vorhanden waren. (Vadher, Stubbington, & Wood, 2015) Während bei einem Feinsedimentanteil von 0% noch 93% der Individuen in tiefere Schichten vordringen, waren es bei 10% nur mehr 73%, Tendenz weiter abnehmend. Auch Nährstoffe können nur an hydrologisch stark angebundnen Stellen in das Lückenraumsystem des Bachbettes eindringen. (Waringer & Waringer, 2014) Insofern ist die physikalische Verstopfung des Lückenraumes für ein Nachlassen der Permeabilität und damit der Konnektivität verantwortlich zu machen. (Hartwig & Borchardt, 2015) Mit der Verkleinerung des Porenraumes sinkt auch der Sauerstoffgehalt, weshalb es im besonders belasteten Bereich von K1 deutliche Reduktionserscheinungen bei den Cores K1AN und K1BN aufgetreten sind.

Im Rahmen der Bewertung des Kajabaches, wurde auch eine Analyse des Makrozoobenthos und der Biogeochemie durchgeführt, welche ebenfalls differenzierte Ergebnisse des Zustandes vor und nach der Spülung lieferte. Für die Untersuchung des Makrozoobenthos wurden eigene Probestrecken definiert, während die Biogeochemie an die Standorte der Freeze-Core-Proben angepasst wurde. Abbildung 60 zeigt die Probestrecken für das Makrozoobenthos im Vergleich zu denen der Freeze-Cores.

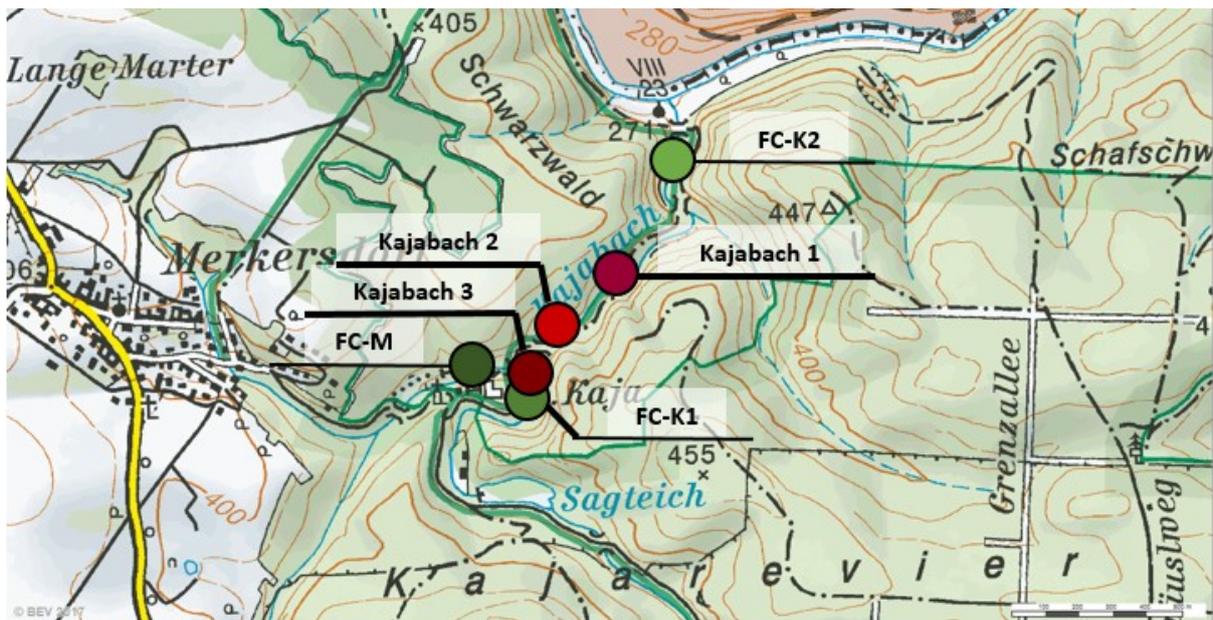


ABBILDUNG 60: PROBESTRECKEN BIOGEOCHEMIE UND MAKROZOOBENTHOS (QUELLE: AUSTRIANMAP.AT)

Während es im oberen, dem Sagteich am nächsten gelegenen Abschnitt zu einer Verschlechterung kam, verbesserten sich die Ergebnisse der Beprobung in den tiefer gelegenen Bereichen:

„Es zeigte sich, dass hier [Probestrecke Kajabach 3] bei weitem keine Entschärfung des Feinsediment-Problems stattgefunden hat, sondern es nur zu einer Verschiebung von einer Feinsand-Beeinträchtigung im Frühjahr zu einer ausgeprägten Schlammbelastung im Herbst gekommen ist. Das Bachbett war auf seiner gesamten Breite von einer dicken Schlammschicht überzogen, die auch die angrenzenden Uferbereiche betraf. Aus dem Schlamm stiegen während der Beprobung nach Schwefel riechende Gärgase auf. Kurze Teilabschnitte mit grobkörnigerem Substrat waren nur im Bereich der wenigen flach überströmten Furten zu erkennen. In diesen kurzen nicht verschlammten Abschnitten war im Zuge der Probenahme makroskopisch eine Besiedelung mit

standorttypischen Makrozoobenthosorganismen zu erkennen, während die flächenmäßig bei weitem überwiegenden schlammigen Bereiche entweder nicht oder nur von Oligochaeten und Chironomiden besiedelt waren.“ (Poepl et al., 2016, S. 23)

In den Probestrecken Kajabach 1 und Kajabach 2 ergibt sich folgendes Bild:

Kajabach 1: „Im Herbst nach der Spülung waren die großen Schlammflächen am linken Ufer [von Probestrecke 1] nicht mehr vorhanden, hier waren die deutlichsten Erfolge des Spülvorgangs zu erkennen. Wo im Frühjahr die gesamte Bachsohle und das angrenzende Ufer von einer massiven Schlammschicht überlagert war, war nun wieder das natürliche Substrat zu erkennen [...]. Im Rückstau der Felsrippen und Totholzablagerungen sowie in den seichten Buchten war hingegen nach wie vor eine deutliche Belastung mit Feinsedimenten festzustellen. Auch im Interstitial waren noch immer große Mengen an Schlamm zu dokumentieren, die im Zuge des Aufwühlens während der Probenahme in Form langanhaltender dunkler Trübefahren an die Oberfläche traten.“ (Poepl et al., 2016, S. 17)

Kajabach 2: „Probestrecke „Kajabach 2“ befindet sich unmittelbar flussab der Einmündung des Merkersdorfer Baches und zeichnet sich gegenüber den beiden anderen Strecken durch ein deutlich höheres Gefälle, ein schmaleres Bachbett und ein durchgehend turbulentes Strömungsbild aus (Abb. 9). Dementsprechend hoch waren hier die Anteile grober Sedimente (Tab. 5), sandige und schlammige Fraktionen beschränkten sich an beiden Terminen auf Kehrwasserbereiche und kleinere strömungsberuhigte Buchten. Trotz der sehr günstigen Habitatausstattung – mit zusätzlichen organischen Choriotopen wie Wassermoosen, Totholzansammlungen und Falllaub – war die Feinsedimentbelastung sowohl bei der Frühjahrs- als auch bei der Herbstbeprobung evident: Beim Umwühlen des Substrats waren beide Male Trübefahren festzustellen, die aus dem Interstitial aufstiegen.“ (Poepl et al., 2016, S. 18)

Zusammengefasst ergibt die Untersuchung des Makrozoobenthos ein ähnliches Bild wie die Analyse von Freeze-Cores und Kartierung, eine räumliche Differenzierung der Ergebnisse ist evident: „Während in den beiden flussabwärts liegenden Probestrecken jeweils eine Verbesserung der Multimetrischen Indices festzustellen war und der Saprobienindex unverändert blieb oder sich verschlechtert hat, war in der quellnächsten Strecke genau das Gegenteil festzustellen.“ (Poepl et al., 2016, S. 46)

Auch die Analyse der Biogeochemie stützt die Ergebnisse: „[...] im Kajabach [wurde] an beiden Stellen (K1 und K2) ein um mehr als das Doppelte höherer Gehalt an anorganischem Phosphor bzw. Gesamtphosphor als in der Referenzstelle im Merkersdorfer Bach (M) in den oberen Sedimentschichten gemessen. Vor allem an der oberen Stelle K1 waren die Konzentrationen des anorganischen Phosphors deutlich erhöht [...]. Bei der zweiten Probenahme im Herbst fallen die signifikant höheren Konzentrationen an organischem Phosphor an der Stelle K1 im Vergleich zu K2 oder der Referenzstelle M auf. Die hohe Ansammlung an feinem, organisch reichem, sichtbar anoxischem Material war nicht nur in den oberflächennahen Schichten von K1, sondern auch in den tieferen Schichten der Sedimentcores deutlich zu sehen. Eine solche Verlagerung des Feinsediments in tiefere Schichten der Gewässersohle kann durch viele Faktoren beeinflusst werden, u.a. durch natürliche oder künstlich erzeugte Wasserstandsschwankungen (z.B. durch Ablassen eines Teiches). Die Stickstoffkonzentrationen in den oberen Sedimentschichten weisen an allen Stellen, also auch an der Referenzstelle im Merkersdorfer Bach, eine deutliche Belastung durch die Landwirtschaft im Einzugsgebiet auf. [...] Diese Werte lassen den Schluss zu, dass die Spülung (bzw. Hochwässer im Allgemeinen) eine Auswaschung von nährstoffreichem, anoxischem Feinsediment mit einem hohen Anteil an organischem Material in den oberen Bereich des Kajabaches zur Folge hatten, was sich auch an der oben angesprochenen Akkumulation von organischem Phosphor widerspiegelt. Die Effekte der Spülung sind im unteren Teil des Kajabaches nicht mehr zu beobachten, was möglicherweise auch auf den erhöhten Durchfluss nach dem Zufluss des Merkersdorfer Baches zurückzuführen ist.“ (Poepl et al., 2016, S. 35)

Im Hinblick auf die gute Übereinstimmung der Ergebnisse der Untersuchung von Sedimentologie, Geomorphologie, Makrozoobenthos und Biogeochemie ist eine kritische Betrachtung der in dieser Arbeit angewandten Methoden abschließend sinnvoll. Die geomorphologische Kartierung ist für den vorliegenden Zweck sehr geeignet. mit relativ geringem Aufwand (ein Tag pro Begehung) ist es möglich, einen umfassenden Überblick über die Materialmenge zu bekommen. Zudem ist nur wenig Ausrüstung nötig – GPS-Gerät, Schreibgerät und Kamera. Die anschließende Integration der Daten in ArcGIS lässt eine schnelle, übersichtliche Auswertung zu,

Soll dagegen mittels Freeze-Core Analyse ein zeitlicher Vergleich gezogen werden, so ergibt sich ein grundsätzliches Problem: Die Freeze-Core Methode ist destruktiv, bei der Entnahme wird der Untergrund an der Samplingstelle nachhaltig gestört. Eine weitere Entnahme an genau dieser Stelle ist also nicht möglich, zumindest nicht innerhalb des kurzen Zeitraumes, der im Rahmen dieser Untersuchung zur Verfügung stand. Bei fast allen Proben waren die Entnahmestellen im Oktober noch deutlich nachvollziehbar. Zwar besteht die Möglichkeit, den Vergleichscore direkt neben dem ersten Core einzuschlagen, allerdings wurde dies in den meisten Fällen durch Gesteinsbrocken im Untergrund unmöglich gemacht. Je weiter man nun vom ursprünglichen Samplingpoint abweicht, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass man wegen kleinräumiger Veränderungen eine andere Zusammensetzung des Bettes antrifft. Dieses Problem muss beim Vergleichen der Cores grundsätzlich bedacht werden. Es bleibt allerdings die Frage, ob eine andere Methode dieses Problem umgehen könnte. Auch bei einer Entnahme von Material mittels Schaufel wird Material entnommen, welches anschließend fehlt. Zum anderen ist durch diese Methode weder eine besonders tiefe, noch eine ungestörte Entnahme von Sedimenten möglich. Eine Unterscheidung nach Tiefenlage scheidet hier als ebenfalls aus. Insofern ist die Analyse mittels Freeze-Cores bei der vorliegenden Forschungsfrage die wohl Methode, die die meisten Erkenntnisse hervorbringt. Wichtig wäre, bereits bei Entnahme der ersten Cores geeignete Standorte für die Vergleichscores festzulegen, um die bestmögliche Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Die Analyse der Korngrößen im Labor erfolgte ohne Schwierigkeiten. Da bei manchen Cores Material verloren gegangen war, war teils die Menge kritisch, reichte schlussendlich aber für alle Analysen aus. Für die Fragestellung wäre eine weitere Unterteilung des Grobmaterials in einzelne Fraktionen nicht mehr notwendig gewesen, es ergibt sich dennoch ein Mehrwert für den Vergleich der Cores.

## 8. RESÜMEE

Nachdem es Ende 2015 am Sagteich im Nationalpark Thayatal zu einem Dambruchereignis gekommen war, wurden mehrere Tonnen Feinmaterial in den Kajabach eingetragen. Da auch nach einer Ausbaggerung noch erhebliche Mengen Feinsediment vorhanden waren, sollten diese Rückstände mittels einer Spülung, einem künstlichen Hochwasserereignis, entfernt werden. Um die Auswirkungen des Sedimenteintrags auf die Konnektivität der Kaja bewerten zu können, wurden vor und nach der Spülung Freeze-Cores entnommen, auf die Verteilung der Korngrößen des Materials untersucht und zusätzlich Sedimentbänke kartiert.

Die Ergebnisse aller angewandten Methoden zeigten eine Verringerung des Materials nach der Spülung. Die Sedimentbänke hatten sich grundsätzlich flussabwärts verlagert und die Menge hatte deutlich abgenommen. Die Cores zeigten, abgesehen von einer fehlerhaften Probe und Core K1A(N), eine Umverteilung des Feinsediments in tiefere Schichten. Um Fehler ausschließen zu können, wäre allerdings eine Entnahme von deutlich mehr Cores nötig gewesen, was aus Zeit- und Kostengründen nicht möglich war.

Es ist festzuhalten, dass der optische Eindruck, den man bei der Begehung nach der Spülung vom Bach gewinnen konnte, ein anderes Bild hätte erwarten lassen. Zwar waren deutlich weniger Sedimentbänke vorhanden, der Bach war stellenweise aber mit einer dünnen Schicht Feinsediment bedeckt. Diese Entwicklung war im März, bei der ersten Feldbegehung nicht absehbar, daher lag mit K1 nur eine der Probestrecken in einem solchermaßen belasteten Abschnitt. K1 war mit einer ca. 10 cm dicken Schlammschicht bedeckt, welche allerdings in Core K1BN statistisch kaum sichtbar ist, da ein Block in diesem Bereich liegt. Die deutliche Reduktion der obersten 30 cm spricht dennoch dafür, dass die Feinsedimentbelastung in diesem Bereich kaum nachgelassen hat bzw. das Problem des Sauerstoffmangels durch die längere Lagerung verstärkt wurde. Dass der Zustand von Probestrecke K1 nach der Spülung nicht unbedenklich war, bestätigt auch die Analyse des Makrozoobenthos und der Biogeochemie, welche im Rahmen der Bewertung des Zustands des Kajabaches ebenfalls durchgeführt wurde.

Die erhöhte Ablagerung von Feinsediment im Interstitial und die damit verbundene Abnahme der vertikalen Konnektivität ist als Schadfaktor für das Gewässer zu bewerten, sei es bezüglich Sedimentologie, Biogeochemie oder Benthosökologie. Insofern ist es verständlich, dass zahlreiche Renaturierungsmaßnahmen auf die Reduktion des Feinsedimenteintrags und die Beseitigung von Sedimentquellen abzielen. (Thurmann & Zumbroich, 2013) Bei der Kaja ist, neben den Fischteichen, die Landwirtschaft im Einzugsgebiet eine mögliche Sedimentquelle – von dort stammt auch das Material, welches sich im Sagteich abgelagert hatte. Da ein Ende der landwirtschaftlichen Nutzung nicht absehbar ist, ist ein weiterer Eintrag in die bereits belastete Kaja durchaus möglich, auch ohne das Eintreten eines Extremereignisses wie dem Dambruch. Ob die dekolmatierende Wirkung des durchschnittlichen Durchflusses und natürlich auftretender Hochwässer ausreicht, um eine weitere Abnahme der Belastung zu bewirken, kann ohne weiterführende Untersuchungen und dauerhaftes Monitoring nicht festgestellt werden.

## 9. LITERATURVERZEICHNIS

- Ahnert, F. (2015). *Einführung in die Geomorphologie*. Stuttgart: Eugen Ulmer KG.
- Acker, S., Beechie, T., Shafroth, P. (2008). Effects of a Natural Dam-Break Flood on Geomorphology and Vegetation on the Elwha River, Washington, U.S.A. *Northwest Science Association*, 82. 210–223.
- Anderson, J. K., Wondzell, S. M., Gooseff, M. N., & Haggerty, R. (2005). Patterns in stream longitudinal profiles and implications for hyporheic exchange flow at the H.J. Andrews Experimental Forest, Oregon, USA. *Hydrological Processes*, 19(15), 2931–2949.
- Bauer, C. (2014). *Waldviertler Teiche*. Linz: Biologiezentrum Linz, Austria, [http://www.zobodat.at/pdf/DENISIA\\_0033\\_0157-0166.pdf](http://www.zobodat.at/pdf/DENISIA_0033_0157-0166.pdf).
- Blume, H.-P., Stahr, K., & Leinweber, P. (2011). *Bodenkundliches Praktikum: Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler* (3., neubearbeitete Auflage). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Boulton, A. (2000). River Ecosystem Health Down Under. Assessing Ecological Condition in Riverine Groundwater Zones in Australia. *Ecosystem Health*, 6(2), 108–118.
- Boulton, A. (2007). Hyporheic rehabilitation in rivers: Restoring vertical connectivity. *Freshwater Biology*, 52(4), 632–650. Retrieved March 01, 2017.
- Bracken, L., Turnbull, L., Wainwright, J., & Bogaart, P. (2015). Sediment connectivity: A framework for understanding sediment transfer at multiple scales. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40.
- Brierley, G., Fryirs, K., & Jain, V. (2006). Landscape connectivity: The geographic basis of geomorphic applications. *Area*, 38(2), 165–174.
- Brunke, M., & Gonser, T. (1997). The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology*, 37.
- Brunsdon, D., & Thornes, J. B. (1979). Landscape Sensitivity and Change. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 4(4), 463.
- Bundesforschungszentrum für Wald. eBOD: Bundesforschungszentrum für Wald.
- Dickhaut, W., Schwark, A., Buhmann, P. (2007). Sedimenteintrag in Fließgewässer – Quellen und Maßnahmen am Beispiel von kleinen Fließgewässern im Einzugsgebiet der Hamme. Erläuterungsbericht. <https://tinyurl.com/Sedimenteintrag-wuemme>
- Evans, E., & Wilcox, A. C. (2014). Fine Sediment Infiltration Dynamics in a gravel-bed River following a Sediment Pulse. *River Research and Applications*, 30(3), 372–384. Retrieved February 28, 2017.
- Fryirs, K. (2013). (Dis)Connectivity in catchment sediment cascades: A fresh look at the sediment delivery problem. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(1), 30–46.
- Fryirs, K., & Brierley, G. (2010). Antecedent controls on river character and behaviour in partly confined valley settings: Upper Hunter catchment, NSW, Australia. *Geomorphology*, 117(1-2), 106–120.
- Fryirs, K., Brierley, G., Preston, N., & Kasai, M. (2007). Buffers, barriers and blankets: The (dis)connectivity of catchment-scale sediment cascades. *CATENA*, 70(1), 49–67.
- Gepp, J. (1981). *Definition der Gefährdungskategorien*. Graz: Institut für Umweltwissenschaften und Naturschutz der österreichischen Akademie der Wissenschaften, [www.zobodat.at/pdf/MONO-NATURSCH\\_MN6\\_0033-0036.pdf](http://www.zobodat.at/pdf/MONO-NATURSCH_MN6_0033-0036.pdf).
- Hager, J. (2007). *Gutachten über die Bedeutung des Wolfsteiches für die Edelkrebspopulation (Astacus Astacus L.) im Kajibach, Nationalpark Thayatal*. Nationalpark Thayatal, <http://tinyurl.com/parcs-Edelkrebspopulation-wolf>

- Hartwig, M., & Borchardt, D. (2015). Alteration of key hyporheic functions through biological and physical clogging along a nutrient and fine-sediment gradient. *Ecohydrology*, 8(5), 961–975, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eco.1571/full>.
- He, X., Sun, D., Huang, J. (2008): Assessment on social and environmental impacts of dam break. Chinese Journal of Geotechnical Engineering. (11). 201-212.
- Höfler, S., Gumpinger, C., & Hauer, C. (2016). Ökologische Maßnahmen an kleinen und mittelgroßen Fließgewässern. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 68(11-12), 519–533.
- Höltling, B., & Coldewey, W. (2013). *Hydrogeologie: Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie* (8. Aufl.). Berlin u.a.: Springer Spektrum.
- Hooke, J. (2003). Coarse sediment connectivity in river channel systems: A conceptual framework and methodology. *Geomorphology*, 56(1-2), 79–94. Retrieved March 01, 2017.
- Humpesch, U. H., & Niederreiter, R. (1993). Freeze-core method for sampling the vertical distribution of the macrozoobenthos in the main channel of a large deep river, the River Danube at river kilometre 1889. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 101, 9(1), 87–90.
- IUCN (Ed.) (1999): Annual report 1998 : IUCN - The World Conservation Union.
- Karr, J. (1999). Defining and measuring river health. *Freshwater Biology*, 41, 221-234.
- Keene, A., Bush, R., & Erskine, W. (2007). Connectivity of stream water and alluvial groundwater around restoration works in an incised sand-bed stream. In A. Wilson, R. Dehaan, R. Watts, K. Page, K. Bowmer, & A. Curtis (Eds.), *Proceedings of the 5th Australian Stream* (pp. 187–192).
- Klinger, R., & Bountry, J. (2004). The effect of Teton Dam and its failure on the geomorphology of the Teton River; 25 years later. *Geological Society of America, Rocky Mountain Section, 56th annual Meeting*. 36(4).
- Leser, H. (Ed.) (2011). *Diercke Wörterbuch Geographie: Raum - Wirtschaft und Gesellschaft - Umwelt* (15., völlig überarb. Aufl.). Braunschweig: Westermann.
- Leser, H., & Staeblein, G. (Eds.) (1975). *Geomorphologische Kartierung: Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Karten 1:25 000*. Berlin.
- Mader, H., Steifl, T., & Wimmer, R. (1996). *Abflussregime Österreichischer Fließgewässer: Beitrag zu einer bundesweiten Fließgewässertypologie*, <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M082.pdf>.
- Morche, D., & Poepl, R. (2015). *Large Wood Effects on instream Sediment COnnectivity in small upland Rivers (National Park Thayatal, Lower Austria)*. <http://connecteur.info/wp-content/uploads/2015/08/STSM-scientific-report-DM.pdf>.
- Niekerk, H., & Viljoen, M. (2005). Causes and Consequences of the Merriespruit and other tailings-dam failures. *Land Degradation & Development*. (16). 201-212.
- Norris, R., & Thoms, M. (1999). What is river health? *Freshwater Biology*, 41(41), 197–209.
- Paquier, A., & Goutal, N. (2016). Dam and levee failures: An overview of flood wave propagation modeling. *La Houille Blanche*. (1), 5–12.
- Patzner, R. (2003). *Flusskrebse und Großmuscheln im Bundesland Salzburg*. Universität Salzburg, <http://tinyurl.com/muscheln-krebse-pdf>.
- Poepl, R. (2010). *Die Fluvialmorphologie der Fugnitz und des Kajabaches - Eine vergleichende Analyse ausgewählter Flussabschnitte unter besonderer Berücksichtigung anthropogener Effekte*.
- Poepl, R. (2012). *Investigating the role of humans as (dis)connecting agents in fluvial systems - new concepts and applications for fluvial geomorphology and landscape research*. Dissertation, Universität Wien, Wien.
- Poepl, R., Keesstra, S., & Hein, T. (2015). The geomorphic legacy of small dams—An Austrian study. *Anthropocene*, 10, 43–55.

- Poeppl, R., Keiler, M., Elverfeldt, K. v., Zweilmüller, I., & Glade, T. (2012). The Influence of Riparian Vegetation Cover on Diffuse Lateral Sediment Connectivity and Biogeomorphic Processes in a Medium-Sized Agricultural Catchment, Austria. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 94(4), 511–529.
- Poeppl, R., Pichler-Scheder, C., Wurster, M., & Weigelhofer, G. (2016). *Pilotprojekt „SagSED“: Geomorphologische und gewässerökologische Untersuchungen des Kajabaches unterhalb des Sagteiches*.
- Purle, T. (2015). *Glimmerschiefer - Eigenschaften, Entstehung und Verwendung*. Retrieved June 07, 2017, <http://www.steine-und-minerale.de/atlas.php?f=3&l=G&name=Glimmerschiefer>.
- Pusch, M. (2012). *Horizontale und vertikale Konnektivität in Fließgewässern und Seen - Ökologische Funktionen und anthropogene Überformung*. Habilitation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Recheis-Kienesberger, J. (2015, May 22). Erosionsschutz beim Mais: Erfahrungen und Versuchsergebnisse. *Der Bauer*, 21–22.
- Rickli, C., & Bucher, H. (2006). *Einfluss ufernaher Bestockungen auf das Schwemmholzvorkommen in Wildbächen*. Retrieved March 31, 2017.
- Roetzel, R. (2005). *Geologie im Fluss: Erläuterungen zur Geologischen Karte der Nationalparks Thayatal und Podyjí*. Wien: Geologische Bundesanstalt. Retrieved February 28, 2017.
- Schälchli, U. (1993). *Kolmation von Fliessgewässersohlen, Prozesse und Berechnungsgrundlagen*. Dissertation.
- Schälchli, U. (2002). *Kolmation. Methoden zur Erkennung und Bewertung*, [http://www.fischnetz.ch/content\\_d/publ/Publications/TPs/Schlussbericht\\_Kolmation.pdf](http://www.fischnetz.ch/content_d/publ/Publications/TPs/Schlussbericht_Kolmation.pdf).
- Schmutz, S. (2003). *Einfluss erhöhter Schwebstoffkonzentration und Trübe auf Fische*. Wien: Niederösterreichischer Landesfischereiverband.
- Schweizer, S. (2008). *Nr. 34: Sohle: innere Kolmation der Gewässersohle: Integrales Gewässermanagement: Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur Projekt*. EAWAG, [http://www.rivermanagement.ch/erfolgskontr/docs/anhang\\_1/34%20Innere%20Kolmation%20der%20Gewässersohle.pdf](http://www.rivermanagement.ch/erfolgskontr/docs/anhang_1/34%20Innere%20Kolmation%20der%20Gewässersohle.pdf).
- Smith, D., & Elmore, A. C. (2014). A modification of freeze-core technology for collecting granular fluvial sediment samples. *Environmental Earth Sciences*, 71(9), 4149–4156.
- Stocker, Z., & Williams, D. (1972). A Freeze Core Method for describing the vertical distribution of Sediments in a Streambed. *Limnology and Oceanography*, 17(1), 136–138.
- Strahler, A., Strahler, A., & Ahnert, F. (2009). *Physische Geographie* (4., vollst. überarb. Aufl.). *UTB: Vol. 8159*. Stuttgart: Ulmer [u.a.].
- Thiel, M. (2013). *Quantifizierung der Konnektivität von Sedimentkaskaden in alpinen Geosystemen*. Dissertation, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Eichstätt.
- Thurmann, C., & Zumbroich, T. (2013). *Resilienzvermögen von Interstitialräumen verschiedener Gewässertypen bezüglich Kolmation*. Umweltbundesamt, <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/resilienzvermoegen-von-interstitialraeumen>.
- Umweltbundesamt. *Rote Liste Flusskrebse*, [http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/naturschutz/Excel/Rote\\_Liste\\_Flusskrebs\\_e\\_2009.xlsx](http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/naturschutz/Excel/Rote_Liste_Flusskrebs_e_2009.xlsx).
- Universidad de Alicante (2016). *Geomorphology, Practice 4: Longitudinal profiles of river*.
- Vadher, A., Stubbington, R., & Wood, P. (2015). Fine sediment reduces vertical migrations of *Gammarus pulex* (Crustacea Amphipoda) in response to surface water loss. *Hydrobiologia*, 753(1), 61–71.
- Ward, J. V. (1989). The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 8(1), 2–8.
- Ward, J. V., & Stanford, J. A. (1995). Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regulated Rivers: Research & Management*, 11(1), 105–119.

- Waringer, J., & Waringer, A. (2014). *Ökologie der Wienerwaldbäche* (Denisia 0033: 175-216.), [http://www.zobodat.at/pdf/DENISIA\\_0033\\_0175-0216.pdf](http://www.zobodat.at/pdf/DENISIA_0033_0175-0216.pdf).
- Wessely, G. (2006). *Niederösterreich. Geologie der österreichischen Bundesländer*. Wien: Verlag der Geologischen Bundesanstalt.
- Wilhelm, F. (1993). *Hydrogeographie: Grundlagen der allgemeinen Hydrogeographie* (2., verbesserte Auflage). *Das Geographische Seminar*. Braunschweig: Westermann Schulbuchverlag.
- Wolff, J. (o.J.). *Healthy Rivers - A water course*, <http://files.dnr.state.mn.us/assistance/backyard/healthyivers/course/home.htm>.
- Wurth, C. (2007). *Flusskrebs-Erhebung im Nationalpark Thayatal*. Nationalpark Thayatal. Retrieved February 28, 2017, [www.np-thayatal.at/downloads\\_file/de/37/Flusskrebse.pdf](http://www.np-thayatal.at/downloads_file/de/37/Flusskrebse.pdf).

---

## ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich,

- dass die ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien,