

**Korngrössenanalyse von
Starkniederschlagsablagerungen in
holozänen Bergseesedimenten:
Gibt es eine Beziehung zwischen der
Mächtigkeit der Turbiditlage und der
Flutstärke?**

Bachelorarbeit
Sascha Winterberg

Betreuer: Dr. Adrian Gilli
ETH Zürich, Geologisches Institut

Co-Betreuer: Prof. Dr. Flavio Anselmetti
EAWAG Dübendorf, Departement für Oberflächengewässer

Departement Erdwissenschaften, ETH Zürich
Juni 2012

Vorwort

Mit der Bachelorarbeit soll der Student eine wissenschaftliche Arbeit selbstständig ausführen – so steht es in der Wegleitung für den Studiengang. Diese Vorgabe scheint so simpel, dass ich zu Beginn diese Erfahrung der wissenschaftlichen Arbeit unterschätzte. Als ich mit der Arbeit begann, war ich noch voller Zuversicht, dass es möglich sein wird hieb- und stichfest zu beweisen, dass es einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Flutturbiditdicke und Korngrösse gibt. Dies zumal die bekannte Theorie sowie alle Publikationen diese These ebenfalls stützen.

Schon bald zeigte sich aber, was die wissenschaftliche Arbeit so schwer macht: Es sind noch nicht sauber dokumentierte Messmethoden, unbekannte Messfaktoren, die das Messergebnis beeinflussen und nach der Messung die Erkenntnis, dass man besser anders gemessen hätte. Ich erkannte, dass nicht jede Messung das in der Theorie erwartete Ergebnis liefert, dass dieses unerwartete Ergebnis aber noch interessanter sein kann als das Erwartete weil es neue interessante Fragen aufwirft.

Dank

Ein Dank gebührt Adrian Gilli und Flavio Anselmetti für die Betreuung mit Herzblut und die vielen Inputs für die Arbeit. Stefanie Wirth und Lukas Glur, deren Doktorarbeit meine Bachelorarbeit erst möglich machte, danke ich für die Unterstützung und Einführung in die Methoden und für deren logistische Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1. Zusammenfassung | 3 |
| 2. Einleitung | 5 |
| 2.1 Aktueller Forschungsstand | 5 |
| 2.2 Forschungsziele | 6 |
| 2.3 Untersuchte Seen | 7 |
| 3. Methoden | 9 |
| 3.1 Sedimentkernbeprobung | 9 |
| 3.2 Oxidierung der Proben | 10 |
| 3.3 Zentrifugierung und Lösung der Proben | 12 |
| 3.4 Korngrössenmessung | 13 |
| 3.5 Smearslides | 14 |
| 4. Resultate | 15 |
| 4.1 Korngrössenmessung | 15 |
| 4.2 Resultate Smearslideanalyse | 22 |
| 5. Diskussion | 23 |
| 5.1 Auswahl der aussagekräftigen Daten | 23 |
| 5.2 Problemfelder der Korngrössenmessung | 24 |
| 5.3 Zusammenhang Turbiditmächtigkeit und Korngrösse | 25 |
| 5.4 Zeitliche Abhängigkeit | 26 |
| 5.5 Unterschiede der beiden Seen | 27 |
| 6. Schlussfolgerungen | 28 |
| 7. Ausblick | 29 |
| 8. Literaturverzeichnis | 30 |
| 9. Anhang | 31 |
| 9.1 Tabellen zu den Sedimentproben | 31 |
| 9.2 Diatomeengrössen | 38 |

1. Zusammenfassung

Um die Mächtigkeit der Flutturbidite mit der Niederschlagsaktivität zu korrelieren, wurden die maximalen Korngrößen der Flutlagen in alpinen Bergseen gemessen. Die Größen der Körner hängen von der maximalen Strömungsenergie des Zuflusses ab und bieten so ein direktes Mass für die Flutaktivität.

Für die Arbeit wurden Sedimentkerne der Arbeit FloodAlp benutzt. Die Sedimentproben wurden mit Wasserstoffperoxid oxidiert um vor der Messung das organische Material zu entfernen. Gemessen wurden Proben aus zwei Seen: Vom Hinterburgsee im Kanton Bern und vom Lago d'Alasca im Kanton Tessin. Die Seen liegen in verschiedener Geologie und auf verschiedenen Seiten des Alpenhauptkamms.

Flutturbiditdicken hängen von vielen Faktoren ab: Dauer des Niederschlagsereignisses, Klimafaktoren wie Temperatur und Gesamtniederschlagsmenge, vorangegangene Flutereignisse und dadurch verursachte Leerräumung des Einzugsgebietes, Flora im Einzugsgebiet, Geologie, Topographie des Einzugsgebietes und der Bathymetrie des Sees.

Die Ergebnisse vom Lago d'Alasca deuten einen Zusammenhang zwischen Korngrösse und Flutstärke an. Zeitliche Veränderungen lassen sich aus den Daten ableiten. Die Daten des Hinterburgsees sind, aufgrund der die Korngrößen dominierenden Diatomeen, für die Korngrößenanalyse nicht repräsentativ.

Die Daten vom Hinterburgsee zeigen, dass das bloße oxidieren der Proben nicht reicht, wenn die maximale Korngrösse im See klein ist. Weitere Korngrößenanalysen müssten die Korngrösse optisch messen oder die Diatomeen aus den Proben entfernen, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

Das in dieser Arbeit gewählte Vorgehen kann benützt werden, um Seesedimente zu kategorisieren, da das Verhältnis Korngrösse zu Turbiditdicke je nach Entstehungsart (Rutschung, Flutturbidit) unterscheidbar in einem Graph plottet.

1. Abstract

To distinguish the correlation between the thickness of a flood turbidite and the activity of a precipitation event the maximum size of the grains in turbidites of alpine mountain lakes were measured. The grain sizes depend on the maximum flow velocity of the inflow and are therefore a direct proxy for the flood activity.

In this work sediment cores from the FloodAlp project were used. The sediment samples were treated with hydrogen peroxide in order to get rid of the organic matter. The measurements were made on samples of two lakes: On Hinterburgsee in the Canton of Bern and on Lago d'Alzasca in the Canton of Ticino. The lakes are situated in different geological situations and on both sides of the alpine main ridge.

The thickness of flood turbidites depends on many factors: The duration of a precipitation event, climatic conditions such as temperature and total precipitation, past flood events and therefore caused clearing of the catchment, vegetation in the catchment, geology, topography and the bathymetry of the lake.

The results of Lago d'Alzasca could be interpreted as a correlation between turbidite thickness and grain size of the turbidite. A change in grain size over time could be observed. The data from Hinterburgsee is not representative for the grain sizes because diatoms dominate the biggest grains.

The data from Hinterburgsee show, that just oxidation treatment of the samples is not sufficient if the maximum grain size in a lake is small. Further analysis of grain sizes should use optical methods or get rid of the diatoms in the samples in order to get significant results.

The approach chosen in this work may also be used to distinguish lake sediments because the relation between grain size and turbidite thickness depends on the formation (mass movement, flood) and the relation is good visible on a plot.

2. Einleitung

2.1 Aktueller Forschungsstand

Aus den Seesedimenten kann die Limnogeologie wertvolle Informationen gewinnen über Klima, Erdbebenaktivität und Hochwasser der Vergangenheit (z.B. SCHNEIDER et al. 2010). Da die Informationen durch die kontinuierliche Ablagerung zeitlich hochaufgelöst vorliegen sind sie essentieller Bestandteil der Risikoabschätzung solcher Gefahren in der Zukunft. Nebst Frequenzen der Gefahren interessiert besonders die Stärke der Ereignisse.

Die Seen der Schweizer Alpen bieten ein solches Archiv. Die meisten Seen sind nach der letzten Vergletscherung entstanden und werden seither kontinuierlich mit Sedimenten gefüllt, sie decken somit die Sedimentationsgeschichte des gesamten Holozäns ab.

Bei der Analyse von Seesedimenten gehen diverse Publikationen davon aus, dass die Mächtigkeit eines Flutturbidites ein Indikator für die Aktivität des Flutereignisses ist (BROWN et al. 2000, NOREN et al. 2002, MULDER et al. 2003, WILHELM 2011). Im gleichen Atemzug jedoch weisen die Autoren auf Probleme bei dieser Annahme hin, ohne jedoch die Annahme zu verwerfen.

Das Projekt FloodAlp hat an 19 Seen im Alpenraum die Sedimente untersucht und bei jedem See mehrere Sedimentkerne entnommen. Die einzelnen Kerne wurden in einer Mastersection miteinander korreliert um eine kontinuierliche Aufzeichnung aller Messdaten zu erzeugen. An der Mastersection wurden dann die Häufigkeiten von Flutereignissen und Rutschungen gezählt und es wurde ein Altersmodell für die Sedimentkerne erstellt. In dieser Arbeit wurde an diesen Kernen weitergearbeitet.

2.2 Forschungsziele

Die Annahme, dass die Mächtigkeit eines Flutturbidits ein Mass für die Aktivität des Niederschlagsereignisses ist, wirft mehrere Fragen auf: Was ist der Einfluss der Dauer des Niederschlagsereignisses; wird das Einzugsgebiet nach mehreren Starkniederschlagsereignissen an verfügbaren Sedimenten verarmen; und ist dieser Zusammenhang von allgemeinen Gesetzmässigkeiten gesteuert oder weist jeder See ein individuelles Muster auf?

Mit dieser Arbeit sollen die Annahmen überprüft werden indem die vorhandenen Informationen zur Mächtigkeit der Turbidite und deren Alter mit der maximalen Grösse der abgelagerten Körnern in den Turbiditen verknüpft werden. Dadurch könnte eine direktere Angabe zur Stärke eines Niederschlagsereignisses gemacht werden, denn die maximale Korngrösse in einem Flutturbidit ist direkt abhängig von der maximalen Fliessenergie der Zuflüsse und diese ist wiederum der wichtigste Einflussfaktor für die grösste Kornfraktion, die im Bach oder Fluss mitgeführt werden kann.

Forschungsfragen

1. Gibt es einen Zusammenhang zwischen den Dicken der Flutlagen und den darin abgelagerten maximalen Korngrössen?
2. Wie verändern sich diese Abhängigkeiten über einen Zeitraum mit intensiver Flutaktivität?
3. Wie unterscheiden sich diese Beziehungen in verschiedenen Einzugsgebieten? (z.B. Alpennordseite gegen Alpensüdseite, unterschiedliche Geologie des Einzugsgebietes)

2.3 Untersuchte Seen

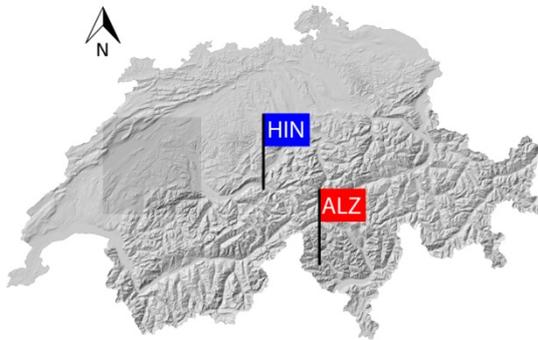


Abb. 1: Lage der Seen auf einer Reliefkarte der Schweiz markiert.
HIN = Hinterburgsee
ALZ = Lago d'Alzasca
(bearbeitet nach SWISSTOPO 2012)

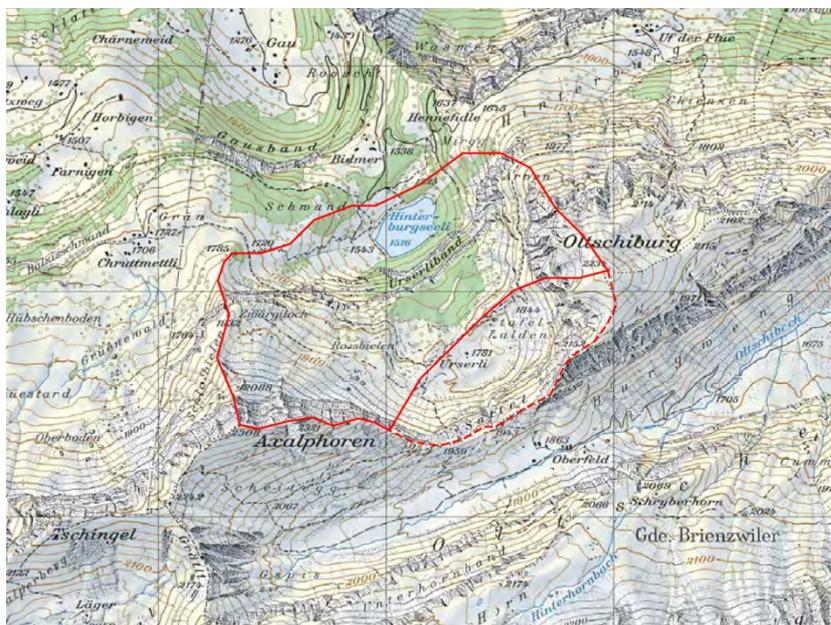


Abb. 2: Lage und Einzugsgebiet des Hinterburgsees (rot umrandete Fläche, die gestrichelt umrandete Fläche fällt bei Extremereignissen ebenfalls ins direkte Einzugsgebiet)
Massstab der Abbildung 1:33'333.
(bearbeitet nach SWISSTOPO 2012)

Um eine generelle Aussage zum Zusammenhang Fluturbiditdicke zu Korngrösse zu machen wurden zwei Seen untersucht, welche möglichst verschiedene Parameter aufweisen.

Hinterburgsee

Der im Berner Oberland südlich des Brienersees gelegene Hinterburgsee befindet sich nördlich des Alpenhauptkammes. Er liegt in Kalksteinformationen des Helvetikums an der Nordflanke des 2300 m hohen Axalphoren. Der See hat eine Oberfläche von 4.5 ha. Das direkte Einzugsgebiet hat eine Fläche von 118 ha, wobei weitere 40 ha bei einem aussergewöhnlich starken Niederschlagsereignis ebenfalls in Betracht gezogen werden müssen (SWISSTOPO 2012).

Lago d'Alzasca

Der westlich des Maggiatals gelegene Lago d'Alzasca befindet sich auf der Alpensüdseite. Er liegt östlich des 2300 m hohen Pizzo Molinera im metamorphen Kristallin des Penninikums. Der Lago d'Alzasca ist mit einer Oberfläche von 10.4 ha etwa doppelt so gross wie der Hinterburgsee. Die beiden Einzugsgebiete sind jedoch etwa gleich gross und betragen 116 ha beim Lago d'Alzasca (SWISSTOPO 2012).

Es kann angenommen werden, dass keiner der Seen durch Gletscheraktivität während des Holozän beeinflusst wurde.



Abb. 3: Lage und Einzugsgebiet des Lago d'Alzasca (rot umrandete Fläche)
 Masstab der Abbildung 1:33'333.
 (bearbeitet nach SWISSTOPO 2012)

Tabelle 1: Vergleich der beiden Seen

| | Lago d'Alzasca | Hinterburgsee |
|----------------|------------------------|-----------------|
| Seekürzel | ALZ | HIN |
| Oberfläche | 10.4 ha | 4.5 ha |
| Einzugsgebiet | 116 ha | 118 ha (+40 ha) |
| Geologie | Metamorph (Kristallin) | Kalkstein |
| Höhe über Meer | 1855 m ü.M. | 1516 m ü.M. |

3. Methoden

3.1 Sedimentkernbeprobung

Als Basis für die Probenauswahl dienten die Flutlagenaufzeichnungen von FloodAlp, der Doktorarbeiten von Stefanie Wirth (ETH) und Lukas Glur (eawag). Die Tabellen mit den Flutturbiditangaben wurden nach der Dicke der Flutlagen sortiert und die Dicksten ausgewählt.

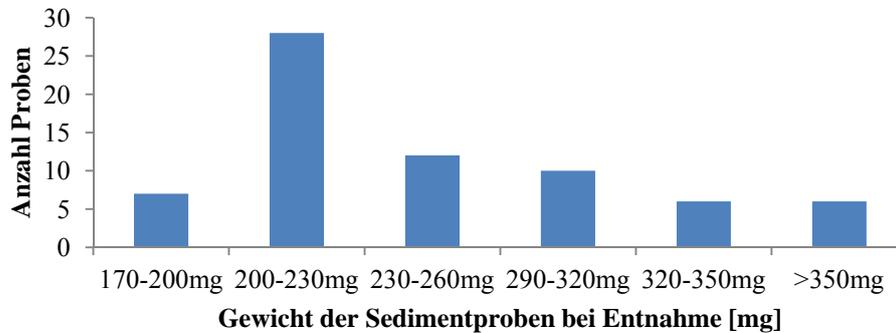
Tabelle 2: Beprobung der Sedimentkerne

| | Lago d'Alzasca | Hinterburgsee |
|----------------------------|--------------------------|--------------------|
| Lagerort der Sedimentkerne | ETH Zürich Limnolabor | EAWAG Dübendorf |
| Anzahl der Proben | 33 | 52 |

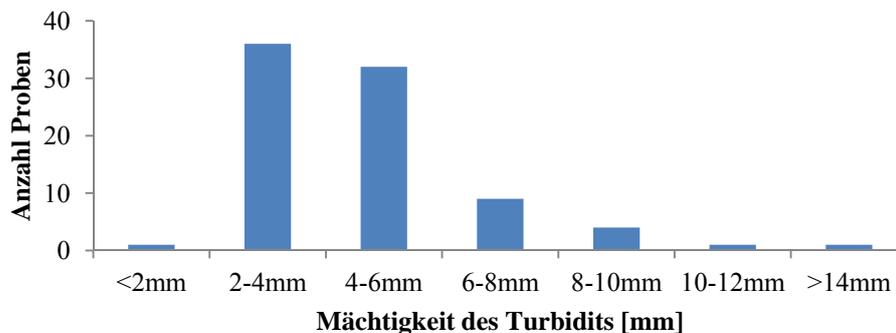
Die Turbiditlagen der Arbeits-Kernhälfte (Work-Core) wurden anhand der Kernfotos, der Tiefenangabe und des optischen Korngrösseneindrucks lokalisiert. Wenn die betreffende Stelle bereits so stark beprobt (oder entfernt) wurde, so dass eine weitere Beprobung ausgeschlossen war, wurde auf die Archiv-Kernhälfte ausgewichen. In einem Fall beim Hinterburgsee musste im Kurzkern (Shortcore), aufgrund des Fehlens des obersten Kernteils in beiden Hälften, auf einen anderen Kurzkern, der nicht in der Mastersection verwendet wurde, ausgewichen werden. Dazu wurden die beiden Archivhälften des zu beprobenden Kerns und des Ausweichkerns nebeneinander gelegt, um sie zu korrelieren.

Im zu beprobenden Turbidit wurde die Lage mit der grössten Kornfraktion gesucht. Diese befindet sich in der Regel zuunterst im Turbidit. Mithilfe eines kleinen Spachtels wurde mindestens 200 mg des Turbidits entnommen und in ein Glasgefäss gegeben. Dabei schwankte das Gewicht der entnommenen Probe zwischen 177 mg bis 389 mg. Die Probe wurde mit einer Probennummer (eingekreiste Ganzzahl) und dem Kernname versehen. Zudem wurde auf der Probe die genaue Tiefenlage der Probe vermerkt. Auf der Messtabelle wurde nebst Probennummer, Kernname und Angaben zum Turbidit (Tiefe und Dicke des Turbidits) auch das Gewicht der Probe bei der Entnahme notiert. Nach der Beprobung der Kerne wurden

diese wieder mit doppelter Frischhaltefolie in Plastikschräuchen verpackt in den Kühlschrank gelegt.



Graph 1:
Gewicht der
Sedimentproben
bei der Entnahme
aus den Kernen.

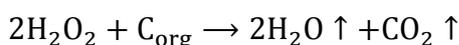


Graph 2: Dicke
der beprobten
Bereiche der
Turbidite.

3.2 Oxidierung der Proben

Damit der Mastersizer (Korngrössenmessgerät) die mineralischen Körner in den Proben messen kann, muss die Probe vor der Messung von den organischen Bestandteilen getrennt werden.

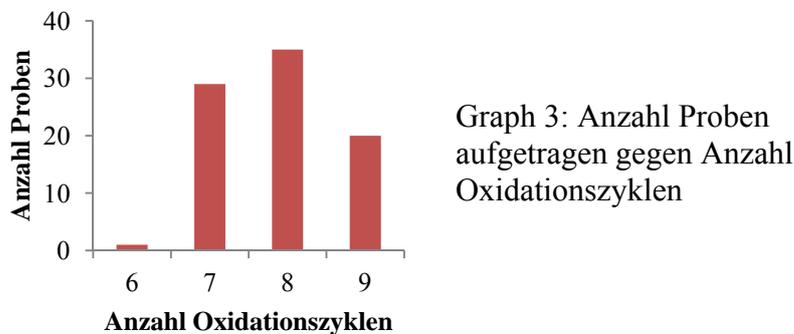
Die Probegläser wurden darum im Palynologielabor in ein Sandbad gestellt, welches sich in einer Abzugskapelle befand. Das Sandbad ist ein heizbarer Sandkasten, der die Wärme gleichmässig zum Probeglas weiterleitet. Als Aufsatz wurde eine Schablone eingesetzt, die die Probegläser genau umfasst und somit ein Umstürzen verhinderte.



Formel 1: Oxidationsreaktion mit Peroxid

Ins Probenglas wurde rund 30 ml 35%ige Wasserstoffperoxidlösung hinzugegeben. Das in der Lösung vorhandene Wasserstoffperoxid reagiert mit den organischen Partikeln im Sediment aufgrund der Wärme schneller und oxidiert sie. Der Kohlenstoff entweicht als CO_2 aus der Probe. Das Wasser verdampft durch die im Sandbad hinzugefügte Wärme.

In der Messtabelle wurden die Anzahl Messzyklen notiert. Ein Messzyklus beginnt mit dem Einfüllen von Peroxid, danach erfolgt mindestens eine zweistündige Reaktionszeit im gewärmten Sandbad. Am Ende des Zyklus ist die Peroxidlösung respektive das Wasser der Reaktion verdampft.



Methodisches Experiment zur Oxidierung im Sandbad

Da selbst nach 6 Oxidationszyklen die Probe immer noch stark reagierte, führten wir ein kleines Experiment durch. Wir wollten wissen, ob die mineralischen Körner auch eine Reaktion katalysieren und dadurch die 35%ige Wasserstoffperoxidlösung auch zum Schäumen bringen.

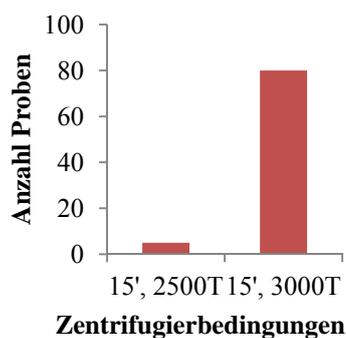
Wir entnahmen dem Sandbad etwas reinen Quarzsand und erwärmten diesen. Dann gossen wir 35%ige Wasserstoffperoxidlösung hinzu. Die Reaktion blieb aber aus.

Gemäss Profossor WINKLER (pers. comm.) ist der Grund für das Schäumen das Vorhandensein von kleinsten organischen Partikeln in den Proben. Da bei dieser Arbeit das Hauptaugenmerk vor allem auf die grössten Körner gelegt wurde, störten diese Mikrokörner die Messung nicht.

3.3 Zentrifugierung und Lösung der Proben

Um die Proben zu reinigen wurden sie mit destilliertem Wasser in Zentrifugierbehälter umgegossen und zentrifugiert. Alle Behälter wurden mit destilliertem Wasser bis auf 25 oder 30 ml gefüllt. Die Zentrifugierzeit betrug 15 Minuten bei 2500 oder 3000 Touren (Umdrehungen pro Minute). Nach dem Zentrifugieren hatte sich das Sediment am Behälterboden abgesetzt und das Wasser war absolut klar. Gleich nach dem Entnehmen aus der Zentrifuge wurde das Wasser aus dem Behälter bis auf etwa 10 ml abgegossen und dann mit Polyphosphatlösung (Konzentration 5 g/l) wieder auf 20 ml aufgefüllt.

Formel 2: Natrim Triphosphat: $\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$



Graph 4: Zentrifugierzeit in Minuten und Tourenzahl aufgetragen gegen zugehörige Anzahl Proben, die so behandelt wurden

Offenes methodisches Experiment zum Zentrifugieren

Ob das Zentrifugieren nötig ist und die Probe reinigt, sollte in einer weitergehenden Arbeit überprüft werden. Da bei der ersten Messung die Proben zentrifugiert wurden, konnte danach nicht mehr darauf verzichtet werden, um einen identischen Messablauf und damit vergleichbare Resultate zu erzielen. Es wäre aber denkbar, dass der Anteil der feinsten Kornfraktion beim Ausgießen nach dem Zentrifugieren verringert wird. Dies hätte in der vorliegenden Arbeit jedoch keinen negativen Einfluss. Es sollte hier aber ebenfalls ein methodisches Experiment gemacht werden um zu untersuchen, ob dieser Effekt tatsächlich stattfindet.

3.4 Korngrössenmessung

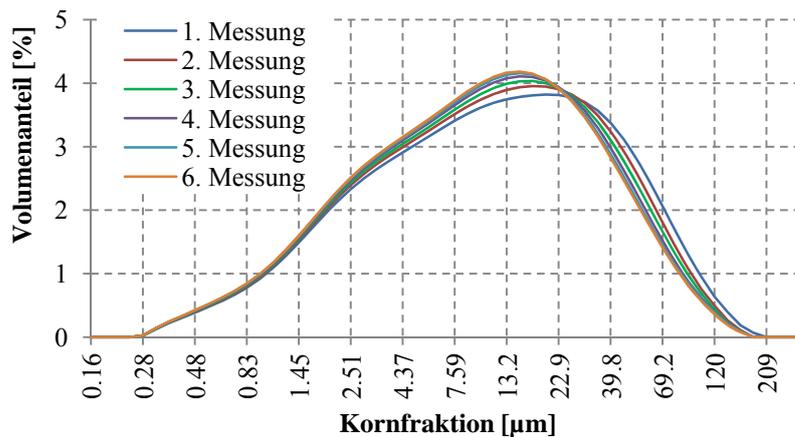
Als Messgerät für die Korngrössenmessung wurde der Mastersizer 2000 von Malvern benutzt. Dieser arbeitet mit der Laserdiffraktionsmethode. Gemessen wird die Intensität des gestreuten Laserstrahls, der durch die in Dispersion gehaltene Probe geht. Dazu werden nacheinander ein roter (632.8 nm) und ein blauer (470 nm) Laserstrahl benützt. Aus dem Streuungsmuster wird anschliessend mit der Mastersizersoftware die Partikelgrösse berechnet (MALVERN 2012).

Tabelle 3: Parameter der Korngrössenmessung

| | |
|--|--------------|
| Anzahl Spühlzyklen zwischen Messungen | 4-5 |
| Wartezeit nach Einfüllen der Probe | 30-40 sec |
| Anzahl Messungen zur Durchschnittsberechnung | 3 |
| Trockengewicht Proben | 200 - 300 mg |

Das Messgerät wurde vor jeder Messkampagne mindestens 10 Mal gespült. Der Ultraschall und das Rührwerk wurden auf halber Maximaleinstellung (1750 Touren, Ultraschall 50) eingestellt. Dann wurde das Hintergrundsignal des Lasers und des Messbereichs gemessen. Nach dem Einfüllen der Probe wurde eine halbe Minute gewartet, damit sich die Probe im Messgerät gut vermischen und verteilen konnte. Dann wurde die Messung ausgelöst. Die Durchschnittsmessung setzte sich aus je drei Rotlicht- und Blaulichtmessungen zusammen. Das Resultat ist eine Verteilungskurve des Volumens. Die maximal gemessene Korngrösse (Herstellerangabe) beträgt 2 mm die kleinste 0.02 μm .

Es gab Proben, die bei der Messung keine zeitlich stabilen Kurven zeigten (siehe Graph 5). Vor allem beim Lago d'Alzasca war dieser Trend zu kleineren Korngrössen feststellbar. Es könnte sich allenfalls um einen Absetzungseffekt handeln oder um einen Zerstörungseffekt der Glimmerplättchen.



Graph 5: Glockenkurve der Korngrößenmessung am Beispiel der Probe 41 (HIN). Man sieht den Trend zu kleineren Korngrößen im Verlauf der Zeit (1. Messung zuerst, 6. Messung zuletzt). Das Volumen ist in jeweils 10 Bins zwischen den Einheitsstrichen der Kornfraktion aufsummiert.

| | Median [µm] | Mean [µm] | Mode [µm] |
|------------|-------------|-----------|-----------|
| 1. Messung | 11.075 | 20.184 | 19.135 |
| 2. Messung | 10.506 | 18.693 | 16.649 |
| 3. Messung | 10.163 | 17.988 | 15.380 |
| 4. Messung | 9.858 | 17.364 | 14.655 |
| 5. Messung | 9.674 | 17.015 | 14.222 |
| 6. Messung | 9.534 | 16.737 | 13.884 |

Tab. 4: Median, Mean und Mode Werte der Probe 41 (HIN) im Verlauf der Messung (1. Messung zuerst) zum Vergleich mit Graph 5.

3.5 Smearslides

Von 6 bereits oxidierten Proben wurde mit einer Pipette ein Teil entnommen und auf ein Objektträgerglas geschmiert. Dann wurde das Sediment auf einer Heizplatte getrocknet. Der so vorbereitete Smearslide wurde dann mit zwei Tropfen Leim der Sorte Norland NOA 61 und einem Deckglas bedeckt und unter UV-Licht gehärtet.

An den Smearslides wurde anhand der Kornform geprüft, ob die Körner im See entstanden sein könnten. Dies ist vor allem in karbonatreicher Geologie eine wichtige Kontrolle.

An den Proben vom Hinterburgsee wurde optisch eine Größenstatistik der Diatomeen gemacht. Als maximale Größe wurde die Länge der Diatomee gemessen.

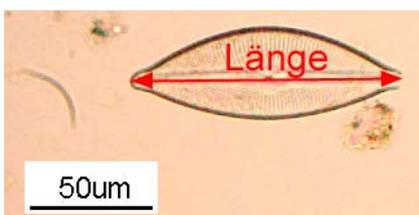


Abb. 4: Gemessene Länge bei Diatomeen.

4. Resultate

4.1 Korngrössenmessung

Die Messungen am Lago d'Alzasca waren schwierig, da die drei Messkurven oft verschieden waren. Vermutlich wurde der Muskovit aufgrund seiner Plättigkeit nicht immer gleich gemessen, da die Plättchen den Laserstrahl je nach ihrer Lage anders streuen. Um ein aussagekräftiges Resultat zu erhalten, wurden bei einigen Proben mehr als drei Messungen zur Berechnung der durchschnittlichen Korngrössenverteilungskurve benutzt. Bei den Proben vom Hinterburgsee waren die Messungen ohne erkennbare Schwierigkeiten abgelaufen.

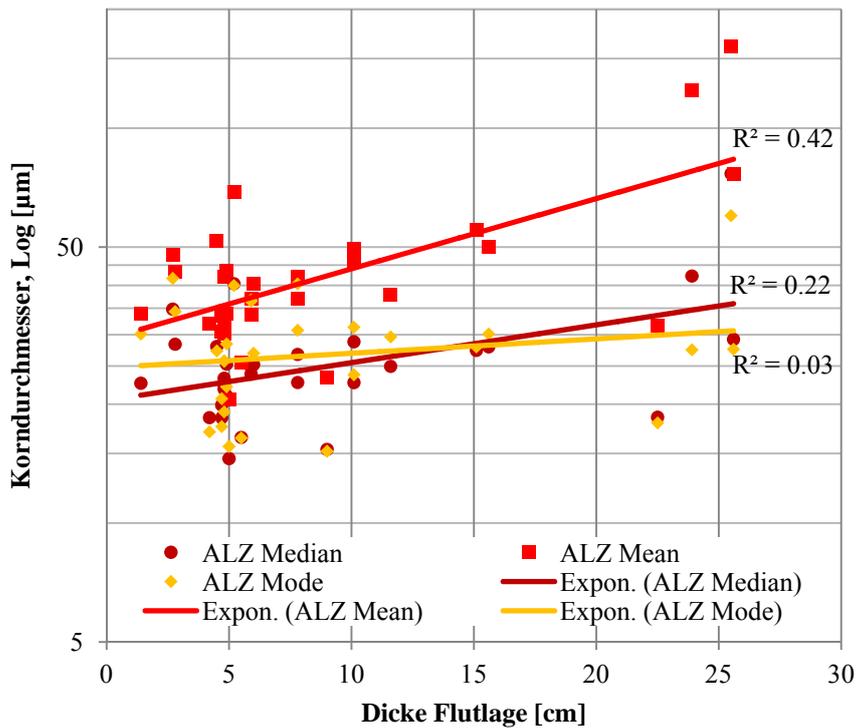
Aufgetragen sind die Korngrössen in logarithmischer Skala, da die Transportfähigkeit des Wassers in den Zuflüssen dem Potenzgesetz (power law) gehorcht (MULDER et al. 2003). Um einen möglichen exponentiellen Zusammenhang zwischen Korngrösse und Turbiditdicke zu zeigen, sind bei den Messungen jeweils die exponentiellen Regressionsgeraden und deren Bestimmtheitsmasse dargestellt.

Der Median beschreibt den Korndurchmesser, bei dem es genau gleich viel Volumen (respektive Fläche der Glockenkurve) kleinere Körner wie grössere Körner hat. Mean bezeichnet den arithmetischen Mittelwert (Durchschnitt) der Messungen. Der Mode ist die Maximalstelle der Dichtefunktion der Glockenkurve der Messung. Das Quantil bezeichnet den angegebenen Prozentsatz der Fläche der Dichtefunktion von Null her gemessen. Das $d(0.95)$ oder 95 Prozent Quantil gibt also an, welches der kleinste Korndurchmesser der grössten fünf Volumenprozent Körner ist.

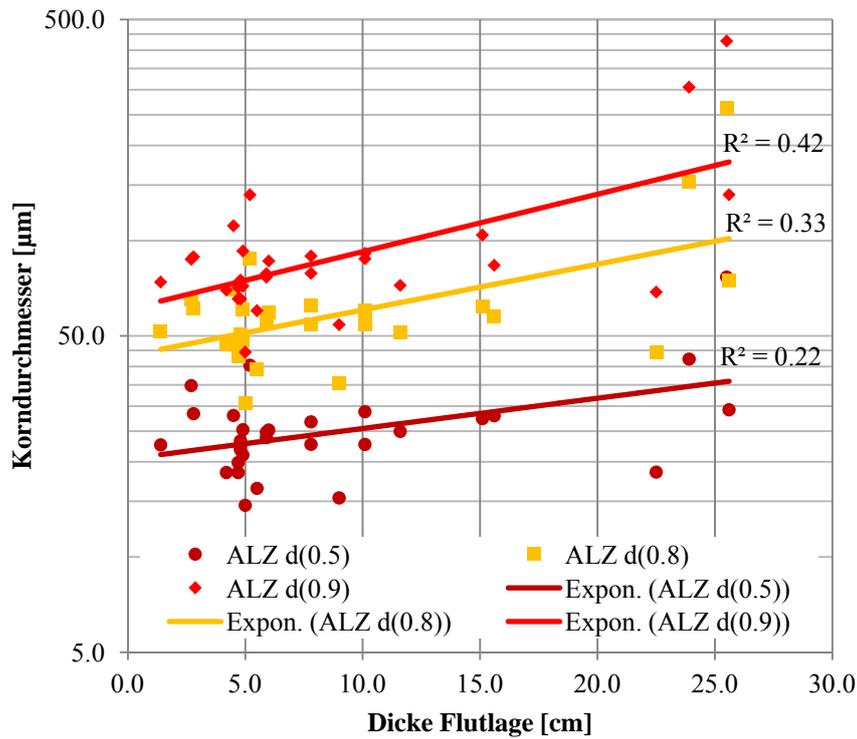
Flutturbidite Lago d'Alzasca

Im Lago d'Alzasca konnten die 33 gemessenen Stellen klar als die dicksten Kornfraktionen eruiert werden. Aussergewöhnliche Messungen wie eine Sandlinse (Probe 16) oder eine Sandlage (Probe 18) sowie Probe 17 wurden bei der Diskussion nicht verwendet.

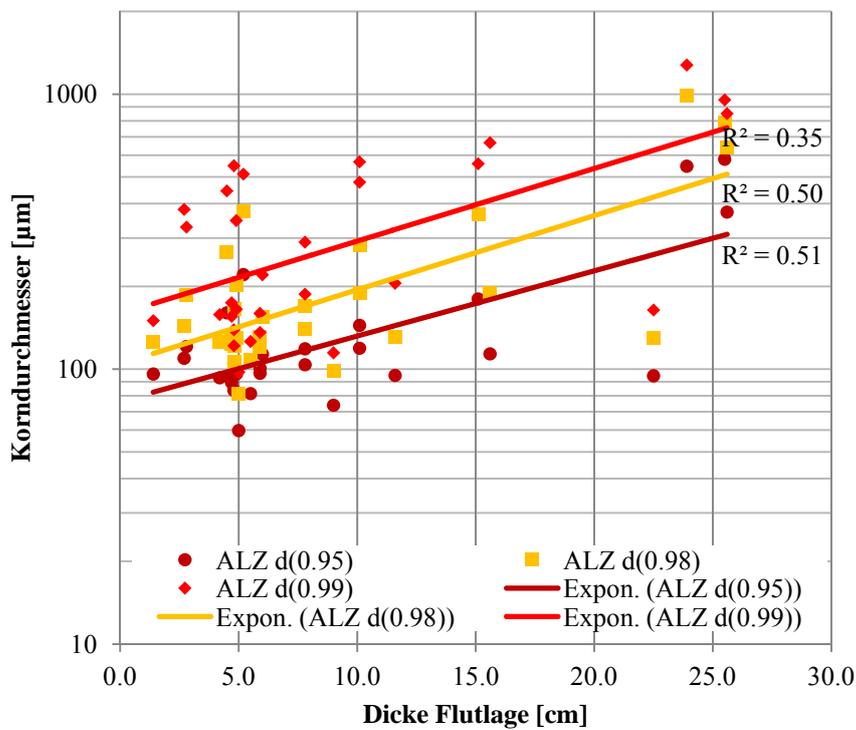
Zwischen 7140 und ca. 8080 Jahren (cal yr.) ist das Sediment aufgrund einer vermuteten Massenbewegung gestört. Darum wurden in diesem Bereich keine Proben genommen. Dies führte zu einer Messlücke in den Daten.



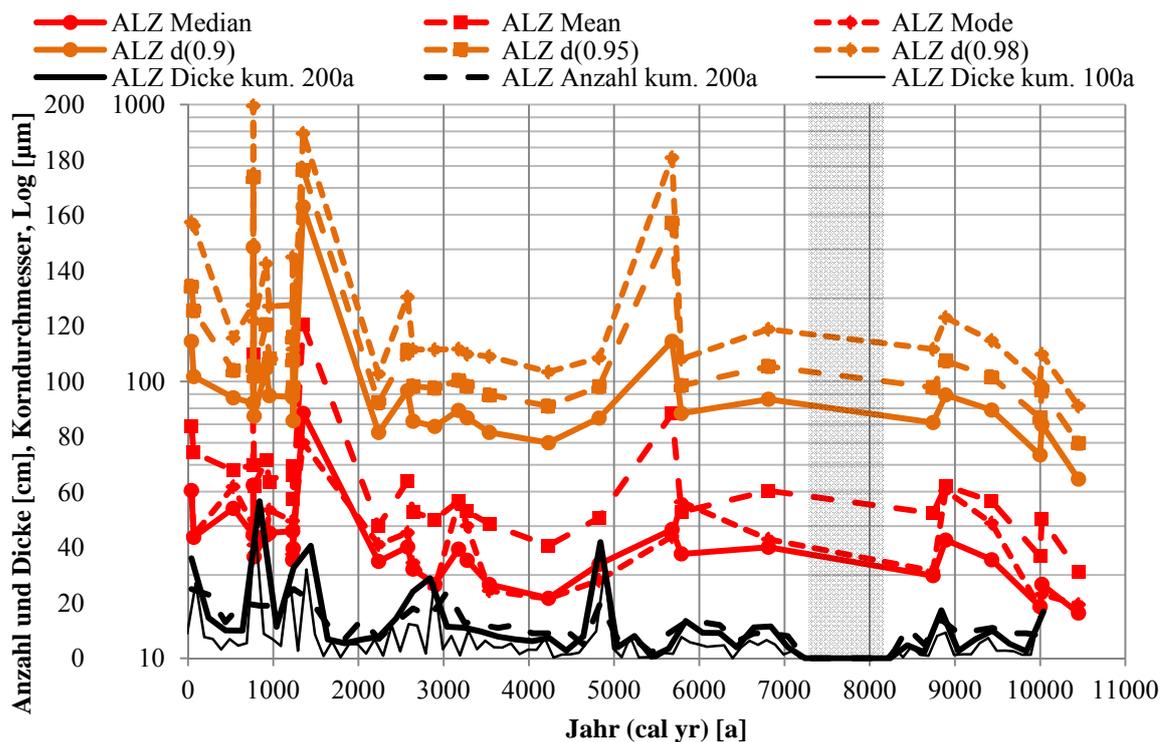
Graph 6: Median, Mean und Mode des Durchmessers gegen Turbiditmächtigkeit aufgetragen. Die Linien sind exponentielle Regressionsgeraden der Messpunkte.



Graph 7:
0.5 Quantil, 0.8
Quantil und 0.9
Quantil des
Durchmessers
gegen
Turbiditmächtigkeit
aufgetragen. Das
0.5 Quantil
entspricht dem
Median.
Die Linien sind
exponentielle
Regressionsgeraden
der Messpunkte.



Graph 8:
0.95 Quantil, 0.98
Quantil und 0.99
Quantil des
Durchmessers gegen
Turbiditmächtigkeit
aufgetragen. Die
Linien sind
exponentielle
Regressionsgeraden
der Messpunkte.



Graph 9: Median, Mean, Mode (rot) sowie 0.95, 0.98 und 0.99 Quantil (orange) des Durchmesser gegen Turbiditablagerungsjahr aufgetragen. Darunter in schwarz die kumulierten Mächtigkeiten der Turbidite während 100 respektive 200 Jahren und die Anzahl der Turbidite während einem Intervall von 200 Jahren. In grau ist die Messlücke dargestellt.

Die besten Aussagen zu einer Regression ergeben sich bei den 0.95 und 0.98 Quantilen mit einem Bestimmtheitsmass von etwa 0.5. Beim 0.9 Quantil und beim Durchschnittswert (Mean) hat die Regression ein Bestimmtheitsmass von etwa 0.4. Zudem kann bei allen Quantilen eine etwa gleich steile quadratische Regressionsgerade festgestellt werden.

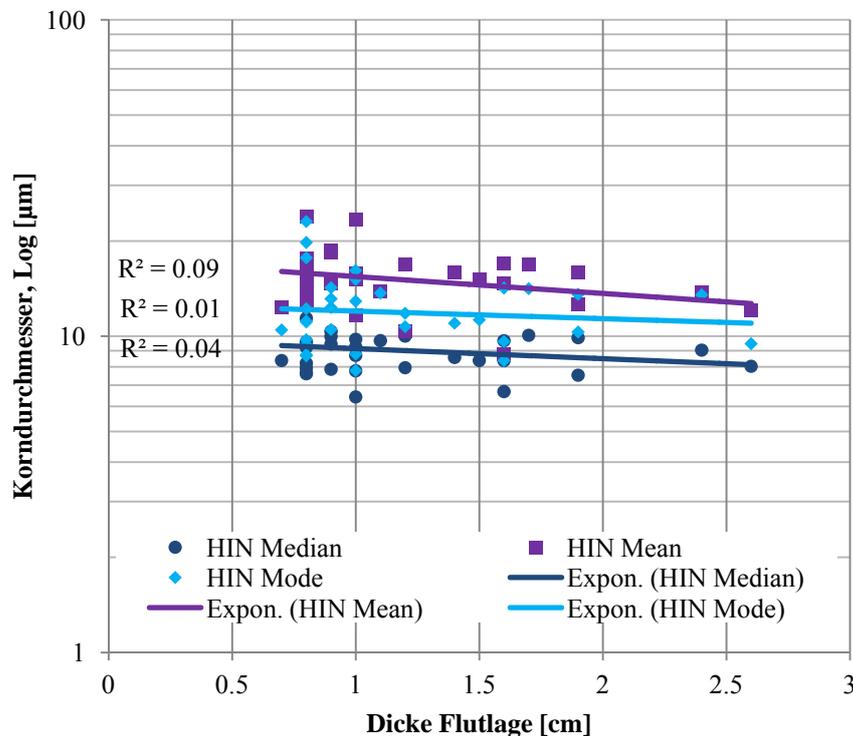
Auch in der zeitlichen Analyse verhalten sich die verschiedenen Quantile ähnlich. Die Korngrößen haben auffällige Spitzenwerte um die Jahre 1350 und 5789. Und ein ganz kurzes Spitzenereignis um 766. Die Spitzen in den Jahren 766 und 1350 decken sich mit den Spitzen der kumuliert aufgetragenen Turbidite. Auffällig ist aber, dass die 4840 Spitze bei den kumuliert aufgetragenen Turbiditen bei den Korngrößen nicht zu sehen ist und umgekehrt die 5789 Spitze der Korngrößen nicht bei den kumulierten Turbiditen.

Turbidite Hinterburgsee

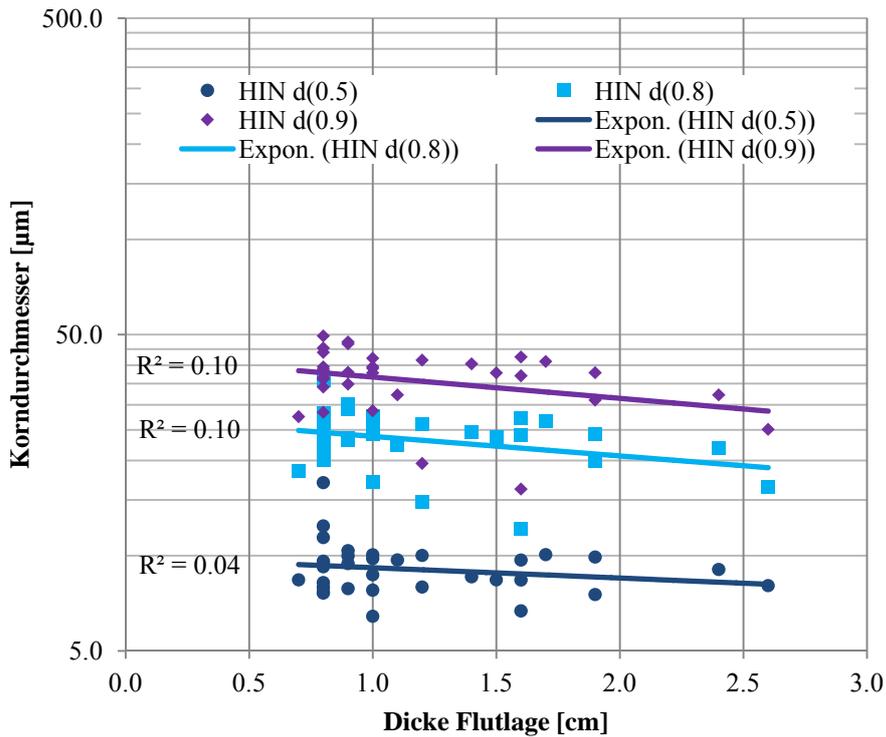
Von den 52 Messungen des Hinterburgsees sind 19 Rutschungen und 33 Turbidite. Die Unterscheidung wurde von der Fluttabelle von Lukas Glur übernommen. Alle Proben wurden im unteren Bereich der Turbidit- respektive Rutschungslage entnommen. Aufgrund der kleineren Korngrößen in den Flutsedimenten konnte bei der Sedimentbeprobung die Sedimentgradierung von Auge nur schwer erkannt werden.

Die Resultate der Rutschungsprobe werden separat diskutiert. In den Graphen in diesem Kapitel sind nur Messungen von Flutturbiditen aufgetragen.

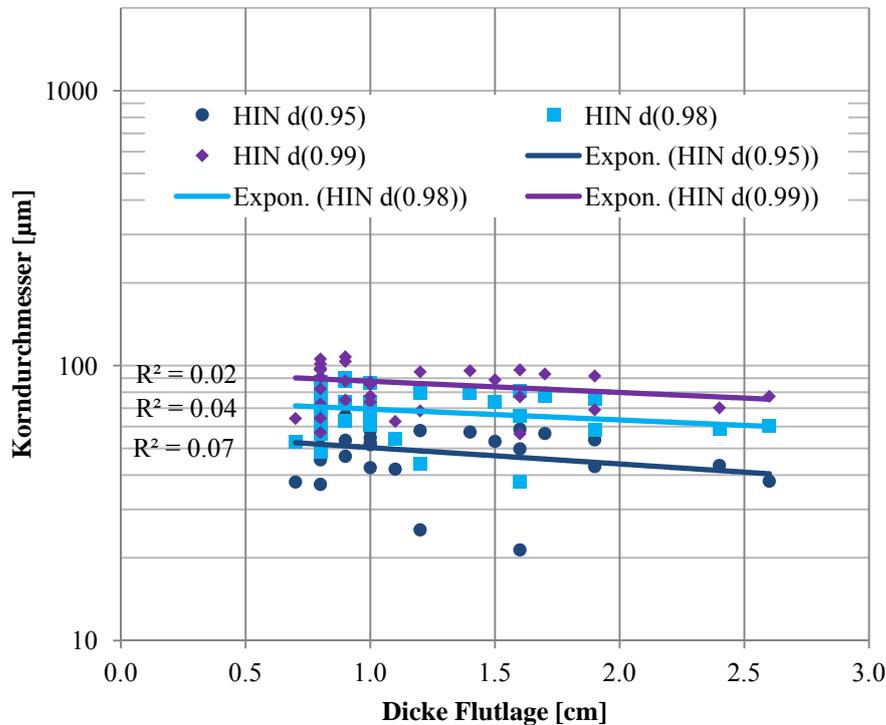
Wie beim Lago d'Alasca gibt es auch im Hinterburgsee eine Lücke in den Flutaufzeichnungen, die von ca. 3350 bis ca. 4520 Jahre (cal yr.) dauert. Diese führte zu einer Nichtbeprobung und somit zu einer Messlücke in dieser Zeitspanne.



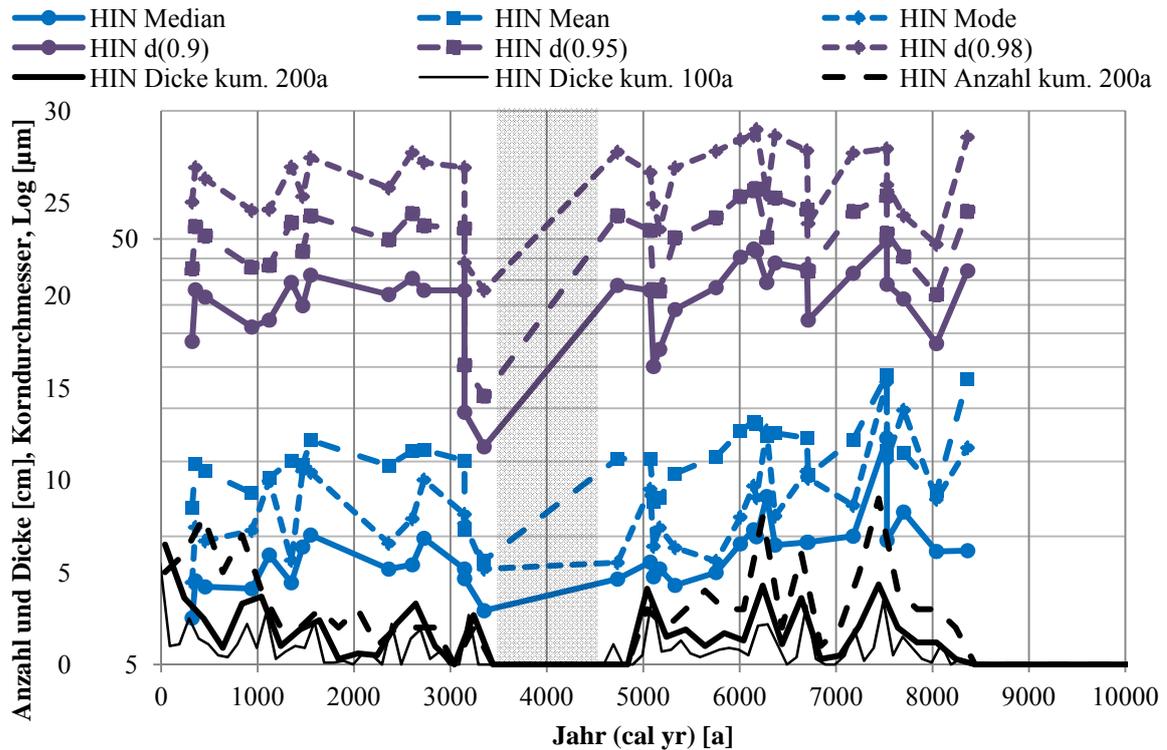
Graph 10: Median, Mean und Mode des Durchmessers gegen Turbiditmächtigkeit aufgetragen. Die Linien sind exponentielle Regressionsgeraden.



Graph 11:
0.5 Quantil, 0.8
Quantil und 0.9
Quantil des
Durchmessers gegen
Turbiditmächtigkeit
aufgetragen. Das 0.5
Quantil entspricht
dem Median. Die
Linien sind
exponentielle
Regressionsgeraden.



Graph 12:
0.95 Quantil, 0.98
Quantil und 0.99
Quantil des
Durchmessers gegen
Turbiditmächtigkeit
aufgetragen. Die
Linien sind
exponentielle
Regressionsgeraden.



Graph 13: Median, Mean, Mode (blau) sowie 0.95, 0.98 und 0.99 (violett) Quantil des Durchmesser gegen Turbiditablagerungsjahr aufgetragen. Darunter in schwarz die kumulierten Mächtigkeiten der Turbidite während 100 respektive 200 Jahren und die Anzahl der Turbidite während einem Intervall von 200 Jahren. In grau ist die Messlücke dargestellt.

Die Daten des Hinterburgsees lassen kaum eine quadratische Regression zu. Das beste erreichte Bestimmtheitsmass ist mit 0.1 zu tief, um Aussagen zu machen. Die Regression hat bei allen Quantilen eine negative Steigung.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der zeitlichen Analyse. Die Korngrößen bewegen sich bis auf wenige Ausnahmen in konstanten Bereichen. Interessant sind die Ausreisser nach unten bei 3349 und 5106, da sie jeweils von einem zweiten Punkt gestützt werden. Da die kleinste Korngrößenmessung von 3349 genau auf das Ende der Messlücke fällt, muss die Diskussion zu diesem Punkt mit Vorsicht betrachtet werden.

4.2 Resultate Smearslideanalyse

Überprüfung der Kornform

Für die Überprüfung wurde das Augenmerk auf die grössten Körner gelegt, da diese für die Flutstärkenanalyse vor allem von Interesse sind. Die Körner zeigen gerundete Formen, was einen Transport belegt und eine authigene Entstehung ausschliesst. Im See ausgefällte, neu entstandene Karbonatkörner hätten eine idiomorphe Kristallform. Im See umgelagerte Kristalle wären ebenfalls nicht gerundet. Gerundete Körner müssen im Zufluss gerundet worden sein und sind somit ein Beleg, dass diese Körner ein Mass für die Strömungsstärke sind.

Grössenmessungen der Diatomeen im Hinterburgsee

Insgesamt wurde an 42 Diatomeen die Grösse gemessen. Alle Proben stammen aus dem Hinterburgsee und wurden vor der Grössenmessung mit Wasserstoffperoxid oxidiert. Sie sind also identisch behandelt worden wie die Proben im Mastersizer. Die Grössen wurden unter dem Mikroskop, auf 10 µm gerundet, gemessen. Die optische Grösse bezeichnet die grösste gemessene Diatomee der Probe wobei anzumerken ist, dass die Diatomeen alle etwa gleich gross waren. Aus diesem Grund ist die maximale Grösse sehr repräsentativ.

Häufigkeit der Diatomeen im Hinterburgsee

Die Häufigkeit der Diatomeen wurde nicht systematisch erfasst. Allerdings enthielten alle zufällig ausgewählten Proben Diatomeen. Die Anzahl pro Smearslide hat aber Hundert nicht überstiegen.

Tabelle 5: Resultate der Diatomeen-Grössenmessung

| Probe Nr. | Maximale optische Grösse [µm] | Anzahl optische Messungen | 0.99 Quantil Mastersizer [µm] |
|-----------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 47 | 150 | 17 | 73 |
| 56 | 130 | 5 | 74 |
| 67 | 130 | 6 | 69 |
| 68 | 130 | 6 | 87 |
| 72 | 140 | 8 | 76 |

5. Diskussion

5.1 Auswahl der aussagekräftigen Daten

Lago d'Alasca

Die Daten beim Lago d'Alasca entsprechen in der Qualität etwa den Resultaten, die nach der Messung und den dort aufgetauchten Messschwierigkeiten erwartet wurden. Besonders die Form der Körner stellt im Lago d'Alasca eine Schwierigkeit dar. Der Lago d'Alasca ist in metamorph kristalliner Geologie, es gibt viele Glimmer (vor allem Muskovit), die mit den Zuflüssen eingebracht werden. Die Glimmer behalten ihre plättige Form bei der Ablagerung im Turbidit. Nach der Oxidierung des organischen Materials und der Zugabe von Polyphosphatlösung konnten im Probenbehälter schöne optische Glitzereffekte beobachtet werden. Diese deuten stark darauf hin, dass die plättige Form auch während der Messung noch vorhanden war. Auch die etwas schwierigere Messung wegen Mehrfachmessungen, aufgrund Doppelpeaks bei den grössten Volumenanteilen der Glockenkurve, deuten auf die nicht runde Kornform.

Hinterburgsee

Die Messungen am Hinterburgsee sind weniger eindeutig zu interpretieren. Die Grössenmessungen an Diatomeen ergaben etwas grössere Grössen als die maximale Korngrösse gemessen mit dem Mastersizer. Da die Diatomeen aber längs gemessen wurden und der Mastersizer kaum eine Diatomee genau in dieser Lage gemessen hat, könnten sich die etwas kleineren Grössenmessungen erklären lassen. Dies würde aber wiederum bedeuten, dass die grössten gemessenen Körner beim Hinterburgsee immer Diatomeen waren und keine mineralischen Körner. Da die Diatomeen im See gewachsen sind, können sie nicht als Flutindikator dienen. Die kleineren Korngrössen bei der zeitlichen Analyse können entweder Zeiten sein, in denen es gar keine oder keine grossen Diatomeen hatte, so dass die Korngrössenmessung entweder die kleineren Diatomeen gemessen hat oder eine tatsächliche Korngrösse. Da von diesen Proben keine Smearslides erstellt wurden, kann keine der Thesen erhärtet werden.

Wahl des Quantils

Um die maximale Korngrösse und die Mächtigkeit des Turbidits auf eine Korrelation zu prüfen musste zuerst eruiert werden welches Quantil eine statistische Aussage ergibt. Ein statistisch gutes Bestimmtheitsmass wäre nahe bei 1, die besten Resultate haben ein Mass von 0.5. Da der Hinterburgsee aufgrund der Diatomeenmessung für die Wahl des Quantils nicht in Betracht gezogen werden kann, wird diese ganz auf die Messresultate beim Lago d'Alasca abgestützt. Dort haben das 0.95 und das 0.98 Quantil die besten Bestimmtheitsmasse. Diese beiden Quantile definieren auch die grössten in den See eingetragenen Körner gut und sind daher für die Analyse der Flutstärke gut geeignet.

Für die Diskussion wird auf das 0.95 und 0.98 Quantil abgestützt.

5.2 Problemfelder der Korngrössenmessung

Wichtig ist festzustellen, dass man nicht pauschal alle Körner für eine Korngrössenmessung verwenden kann. Die in dieser Arbeit gemachten Messungen am Hinterburgsee ergaben stets etwa gleiche maximale Korngrössen, weil in allen Proben authigen entstandene Diatomeen enthalten waren. Die Bestimmung einer Stärke eines Flutereignisses mittels Korngrössenmessung funktioniert aber nur wenn es möglich ist, nur die durch die Zuflüsse in den See gespülten Körner zu messen. Dazu müsste man entweder die Diatomeen durch Auflösen des amorphen Silikates entfernen oder man müsste optisch die mineralischen Körner von den Diatomeen separieren. Die separierten Körner könnten dann entweder in Smearslides oder Dünnschliffen direkt gemessen werden oder, falls die Diatomeen aus der Probe entfernt werden können direkt mit dem Mastersizer gemessen werden.

5.3 Zusammenhang Turbiditmächtigkeit und Korngrösse

Die Messungen zeigen, dass die Mächtigkeiten und die Korngrössen durch Gesetzmässigkeiten in Zusammenhang stehen. Das Bestimmtheitsmass zeigt aber auch, dass es weitere Faktoren gibt, die für ein generelles Gesetz herangezogen werden müssen.

Tab. 6: Gemessener Zusammenhang Korngrösse und Turbiditmächtigkeit im Lago d'Alzasca.

| Quantil | Regression | R ² |
|---------|-------------------------|----------------|
| d(0.95) | $y = 76.414e^{0.0546x}$ | 0.51 |
| d(0.98) | $y = 104.47e^{0.0621x}$ | 0.50 |

Man müsste insbesondere folgende Faktoren in einem Gesetz berücksichtigen:

1. **Geologie des Einzugsgebietes:** Hat Einfluss auf Korngrössen und auf Kornform (zum Beispiel Glimmer). Die Kornform hat wiederum Einfluss auf den Transport im Wasser. Zudem haben die Dichten der verschiedenen Mineralien Einfluss auf den Transport.

Tab. 7: Dichten der Minerale

| | |
|----------|-------------------------------|
| Quarz | 2650 kg/m ³ |
| Calcit | 2600 – 2800 kg/m ³ |
| Muskovit | 2770 – 2880 kg/m ³ |

2. **Topographie und Bathymetrie:** Diese beiden Faktoren machen jeden See einzigartig. Sie schliessen praktisch von Anfang an aus, dass zwei Seen einen identischen Zusammenhang zwischen Korngrössen und Turbiditmächtigkeit haben. Die Topographie hat durch das Gefälle im Einzugsgebiet, die Bereitstellung von Rutschungs- und Bergsturzmaterial entscheidenden Einfluss auf die Korngrössen und -mengen, die in den See eingeschwemmt werden. Die Bathymetrie bestimmt die Fläche des Beckens und hat - weil das eingetragene Volumen gegeben ist - entscheidenden Einfluss auf die Mächtigkeit der Turbidite. Ein Gesetz müsste also sicher den Faktor Beckengrösse enthalten.
3. **Grösse des Einzugsgebietes:** Die Grösse des Einzugsgebietes wirkt sich auf das Volumen und somit die Mächtigkeit des Turbidits aus.

4. **Vegetation und Bewirtschaftung des Einzugsgebietes:** Diese wirken auf die Erosionsaktivität, was die Menge an potentiell turbiditmaterial steuert und damit Einfluss auf die Mächtigkeiten hat.

Aufgrund der Tatsache, dass nur die Messungen eines Sees Daten geliefert haben, die für eine Bestimmung des Zusammenhangs zwischen abgelagerter Korngrösse und Mächtigkeit des Flutturbidits brauchbar sind, kann in dieser Arbeit keine abschliessende Aussage gemacht werden welche Bedeutung die Korngrösse auf die Stärke des Niederschlagsereignisses hat.

5.4 Zeitliche Abhängigkeit

Zur Abhängigkeit von der Zeit sind nur schwache Aussagen möglich. Dies vor allem darum, weil nur die 33 grössten Flutturbidite beprobt wurden. Der Vergleich mit den kumulierten Turbiditdicken und den kumulierten Turbiditereignissen zeigt, dass grosse Korngrössen in der Regel auch in Zeiten mit vielen Turbiditen fallen. Die kumulierte Dicke korreliert auch. Das ist aber keine Überraschung – wurden doch nur die dicksten Flutturbidite für die Messungen ausgewählt.

Festzuhalten im Zusammenhang mit zeitlichen Abhängigkeiten ist, dass das Klima auch Zyklen hat, die das System beeinflussen indem sie durch höhere Temperaturen und mehr Feuchtigkeit zu mehr Regen und damit zu mehr Erosion führen. Dieser Effekt könnte zu den Spitzenwerten bei 6000 Jahren geführt oder beigetragen haben.

In der Arbeit nicht geklärt werden konnten folgende Punkte:

1. **Einfluss des Ausräumungseffekts im Einzugsgebiet:** Tritt im gleichen Jahr mehrmals ein grosses Flutereignis ein oder folgt auf ein grosses Ereignis ein weiteres kann es sein, dass das zur Verfügung stehende Sediment bereits grösstenteils wegtransportiert wurde. Die grösste Korngrösse bliebe konstant, aber die Mächtigkeit wäre beim zweiten Flutereignis verringert. Zudem gibt es je nach Jahreszeiten ein unterschiedliches Erosionsverhalten.

2. **Dauer der Niederschlagsereignisse:** Ein langandauernder Niederschlag kann zu einem sehr mächtigen Turbidit führen. Dessen maximale Korngrösse ist aber nur ein Mass für den Spitzenabfluss. Dies führt zu einer falschen Korrelation Korngrösse zu Turbiditmächtigkeit, da der Turbidit viel mächtiger ist als erwartet.

Da die grösste Kornfraktion meist zuunterst im Turbidit zu finden war, kann von gewitterartigen Regenereignissen ausgegangen werden, die die Bäche schnell stark anschwellen liessen und dann langsam abebbten.

5.5 Unterschiede der beiden Seen

Mineralogie

Die unterschiedliche Geologie des Einzugsgebietes widerspiegelt sich im Turbiditsediment. Im Hinterburgsee ist eine homogene Karbonatkornmischung vorhanden. Der Lago d'Alasca hat verschiedene Minerale wie Quarz und Muskovit, die ein sehr heterogenes Bild ergeben und sich aufgrund verschiedener Kornformen im Transport auch verschieden verhalten.

Maximale Korngrössen

Markant sind die Unterschiede bei den Korngrössen. Die grössten Körner im Lago d'Alasca haben einen Durchmesser von bis zu einem Millimeter. Im Hinterburgsee haben die grössten gemessenen Körner (Diatomeen) nur eine Grösse von rund 0.1 Millimeter. Die authigenen, nicht im See entstandenen mineralischen Körner, sind noch einmal eine Grössenordnung kleiner.

Das heisst, die maximale Korngrösse ist um Grössenordnungen verschieden zwischen dem Lago d'Alasca und dem Hinterburgsee.

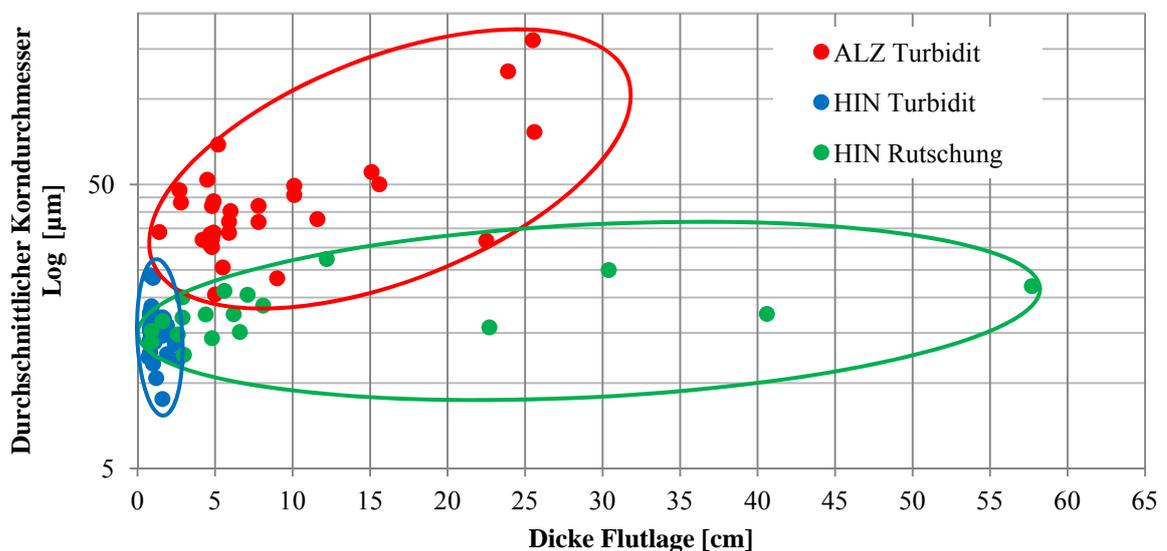
6. Schlussfolgerungen

Diese Arbeit zeigt auf, wie erfolgreiche Korngrößenanalysen an Flutturbiditen gemacht werden könnten um Aussagen daraus abzuleiten: Die Probe muss von organischem Material befreit werden und es muss sichergestellt werden, dass keine Diatomeen oder sonstige authigene Mineralkörner in den Proben vorhanden sind.

Eine über alle Seen gültige Formel über den Zusammenhang der Flutturbiditdicke und der maximalen Korngrösse darin ist nicht zu erwarten, da topografische und bathymetrische Einflüsse die Dicke des Turbidites stark beeinflussen.

Von einer Betrachtung der Korngrößen im Verlauf der Zeit ist mehr zu erwarten, da sie besser über mehrere Seen verglichen werden können. Zeitliche Effekte (Klima, Starkniederschläge, Erdbeben als Sedimentquellen) sind eher über grössere Räume gleichzeitig.

Eine Messung, wie sie in dieser Arbeit gemacht wurde, kann Aufschluss zur Zuordnung der Sedimente zu einem Rutschungsereignis oder einem Flutturbidit geben. Dazu werden die Korndurchmesser gegen die Turbiditdicke geplottet, was eine optische Zuordnung ermöglicht.



Graph 14: Verschiedene Streuung der Turbidite im Graph als Indikator für deren Entstehung. Die verschiedenen Punktgruppen des Flutturbidits Lago d'Alzasca (rot), des Flutturbidits Hinterburgsee (blau) und der Rutschung Hinterburgsee (grün) plotten in unterscheidbaren Bereichen (mit Ellipsen hervorgehoben).

7. Ausblick

Anderer Ansatz um Korngrößen von Flutlagen zu messen

Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass es möglich ist, von der maximalen Korngrösse in einem Flutturbidit Rückschlüsse auf die Aktivität eines Niederschlagsereignisses zu ziehen. Um die maximale Korngrösse zu eruieren, sollte man bei einer nächsten Untersuchung jedoch unbedingt darauf achten, dass nur Korngrößen gemessen werden, die effektiv auch durch Gewässer in den See transportiert wurden. Das heisst, es müssen die biogenen Partikel und Diatomeen ignoriert oder entfernt werden. Dies ist wohl am besten mit einer optischen Methode wie zum Beispiel einer Grössenmessung an Smearslides möglich.

Korngrössenmessung in zeitlich begrenztem Fenster

Um festzustellen wie stark die zeitliche Variabilität in Bezug auf die Ausräumung des Einzugsgebietes vom Sediment ist, müsste eine Messkampagne gezielt ein Zeitfenster auswählen und darin alle Turbidite beproben. Dadurch könnten allfällige Zyklen entdeckt werden. Zudem müsste unbedingt die interne Struktur der Turbidite beachtet werden, denn die Informationen über den Verlauf des Niederschlagsereignisses stecken in den unterschiedlichen Gradierungen (gröbste Körnung an der Basis oder gröbste Körnung in der Mitte des Turbidits).

Korngrössenmessungen zur Einteilung der Sedimentkerne in Domänen

Korngrössenmessungen der gröbsten Fraktion in einer lithologischen Einheit eines Sedimentkerns könnten ein Kriterium sein, um diese einer Entstehungsart zuzuweisen (Flutturbidit, Rutschungsturbidit) und als Ergänzung zu den bisherigen Verfahren dienen.

8. Literaturverzeichnis

- BROWN S. L., BIERMAN P. R., LINI A. und SOUTHON J. 2000, **10 000 yr record of extreme hydrologic events** *Geology* **28**(4): 335-338.
- MALVERN 2012 (26.06.2012), **Mastersizer 2000**
malvern.com/labeng/products/mastersizer/ms2000/mastersizer2000.htm.
- MULDER T., SYVITSKI J. P. M., MIGEON S., FAUGERES J. C. und SAVOYE B. 2003, **Marine hyperpycnal flows: initiation, behavior and related deposits. A review** *Marine and Petroleum Geology* **20**(6-8): 861-882.
- NOREN A. J., BIERMAN P. R., STEIG E. J., LINI A. und SOUTHON J. 2002, **Millennial-scale storminess variability in the northeastern United States during the Holocene epoch** *Nature* **419**(6909): 821-824.
- SCHNEIDER H., HOEFER D., IRMLER R., DAUT G. und MAEUSBACHER R. 2010, **Correlation between climate, man and debris flow events - A palynological approach** *Geomorphology* **120**(1-2): 48-55.
- SWISSTOPO 2012 (06.06.2012), **Landeskarte der Schweiz** *map.geo.admin.ch*.
- WILHELM B., ARNAUD, F., ENTERS, D., ALLIGNOL, F., LEGAZ, A., MAGAND, O., REVILLON, S., GIGUET-COVEX, C., MALET, E. 2011, **Does global warming favour the occurrence of extreme floods in European Alps?** 10.1007/S10584-011-0376-2.
- WINKLER W. pers. comm., *Departement Erdwissenschaften, ETH Zürich*.

9. Anhang

9.1 Tabellen zu den Sedimentproben

Lago d'Alasca (verwendete Proben)

| Probe Nr. | See und Entnahmehjahr | Kern Nr. | Top Flutlage [cm] | Dicke Flutlage [cm] | Top Probe [cm] | Bottom Probe [cm] | Abw. Bottom [mm] | Gew. Probe [mg] | Anzahl Oxidationszyklen mit O ₂ H ₂ | Einst. Zentrifuge [Minuten, Touren] | Alter (cal yr. -62=2012) | Bemerkung |
|-----------|-----------------------|----------|-------------------|---------------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------|---|-------------------------------------|--------------------------|-----------|
| 7 | ALZ 10 | 04-SC | 20.5 | 5.2 | 24.9 | 25.3 | < 0 | 220 | 9 | 15',3000T | 40.1 | |
| 6 | ALZ 10 | 04-SC | 29.2 | 15.1 | 44.0 | 44.4 | 1 | 208 | 9 | 15',3000T | 66.7 | |
| 2 | ALZ 10 | 18-A1 | 49.2 | 2.7 | 52.1 | 52.4 | 5 | 245 | 8 | 15',2500T | 531.3 | |
| 8 | ALZ 10 | 18-A1 | 70.3 | 15.6 | 81.9 | 82.5 | < 0 | 217 | 9 | 15',3000T | 764.1 | |
| 9 | ALZ 10 | 18-A2 | 3.2 | 23.9 | 23.5 | 24.4 | < 0 | 280 | 9 | 15',3000T | 766.0 | 1 |
| 13 | ALZ 10 | 18-A2 | 27.4 | 4.8 | 31.9 | 32.3 | 1 | 219 | 9 | 15',3000T | 776.1 | |
| 14 | ALZ 10 | 18-A2 | 42.3 | 4.5 | 47.0 | 47.4 | 6 | 236 | 9 | 15',3000T | 916.8 | |
| 3 | ALZ 10 | 18-A2 | 50.8 | 2.8 | 53.3 | 53.6 | 0 | 260 | 8 | 15',2500T | 954.3 | |
| 11 | ALZ 10 | 18-A2 | 74.3 | 10.1 | 79.4 | 79.8 | < 0 | 212 | 9 | 15',3000T | 1227.7 | 2 |
| 12 | ALZ 10 | 18-A2 | 74.3 | 10.1 | 85.4 | 85.8 | 14 | 194 | 9 | 15',3000T | 1227.7 | |
| 10 | ALZ 10 | 18-A2 | 85.2 | 11.6 | 94.4 | 94.7 | < 0 | 223 | 9 | 15',3000T | 1232.8 | |
| 1 | ALZ 10 | 18-A3 | 10.0 | 25.5 | 25.3 | 25.7 | < 0 | 820 | 8 | 15',2500T | 1350.1 | 3 |
| 25 | ALZ 10 | 19-A2 | 27.6 | 4.8 | 31.7 | 32.0 | < 0 | 199 | 9 | 15',3000T | 2236.7 | |
| 23 | ALZ 10 | 19-A2 | 58.2 | 4.9 | 62.5 | 62.8 | < 0 | 311 | 9 | 15',3000T | 2577.2 | |
| 24 | ALZ 10 | 19-A2 | 67.3 | 4.9 | 70.8 | 71.1 | < 0 | 193 | 9 | 15',3000T | 2640.9 | |
| 15 | ALZ 10 | 18-B1 | 22.9 | 22.5 | 44.1 | 44.4 | < 0 | 276 | 9 | 15',3000T | 2895.9 | |
| 5 | ALZ 10 | 18-B2 | 64.7 | 5.9 | 69.9 | 70.2 | < 0 | 209 | 8 | 15',2500T | 3175.0 | |
| 4 | ALZ 10 | 18-B1 | 77.2 | 1.4 | 77.2 | 77.9 | < 0 | 350 | 8 | 15',2500T | 3275.3 | |
| 21 | ALZ 10 | 18-B2 | 0.8 | 4.7 | 4.9 | 5.3 | < 0 | 229 | 9 | 15',3000T | 3535.8 | |
| 19 | ALZ 10 | 18-B2 | 43.3 | 5.5 | 47.5 | 47.9 | < 0 | 209 | 9 | 15',3000T | 4230.1 | |
| 20 | ALZ 10 | 18-B2 | 78.3 | 4.8 | 83.2 | 83.6 | 5 | 201 | 9 | 15',3000T | 4823.7 | |
| 22 | ALZ 10 | 18-B3 | 51.0 | 25.6 | 74.9 | 75.9 | < 0 | 277 | 9 | 15',3000T | 5680.0 | 1 |
| 26 | ALZ 10 | 19-B2 | 21.2 | 5.9 | 24.2 | 24.8 | < 0 | 177 | 8 | 15',3000T | 5789.1 | 4 |
| 27 | ALZ 10 | 18-C1 | 44.6 | 6.0 | 49.1 | 49.5 | < 0 | 196 | 8 | 15',3000T | 6811.4 | |
| 30 | ALZ 10 | 20-A2 | 46.2 | 4.7 | 50.7 | 51.2 | 3 | 231 | 8 | 15',3000T | 8742.5 | |
| 28 | ALZ 10 | 20-A2 | 56.9 | 7.8 | 64.0 | 64.3 | < 0 | 224 | 8 | 15',3000T | 8890.7 | |
| 29 | ALZ 10 | 20-A2 | 88.0 | 7.8 | 93.4 | 93.8 | < 0 | 219 | 8 | 15',3000T | 9430.8 | |
| 31 | ALZ 10 | 20-A3 | 19.5 | 9.0 | 27.7 | 28.3 | < 0 | 215 | 8 | 15',3000T | 9998.6 | |
| 33 | ALZ 10 | 20-A3 | 28.8 | 4.2 | 33.0 | 33.3 | 3 | 198 | 8 | 15',3000T | 10020.1 | |
| 32 | ALZ 10 | 20-A3 | 43.8 | 5.0 | 48.0 | 49.4 | 6 | 209 | 8 | 15',3000T | 10449.2 | |

Hinterburgsee (verwendet)

| Probe Nr. | See und Entnahmejahr | Kern Nr. | Top Flutlage [cm] | Dicke Flutlage [cm] | Top Probe [cm] | Bottom Probe [cm] | Abw. Bottom [mm] | Gewicht Probe [mg] | Anzahl Oxidationszyklen mit O ₂ H ₂ | Einstellungen Zentrifuge [Minuten, Touren] | Alter (cal yr. -62=2012) | Bemerkung |
|-----------|----------------------|----------|-------------------|---------------------|----------------|-------------------|------------------|--------------------|---|--|--------------------------|-----------|
| 56 | HIN 10 | 51a | 17.3 | 1.0 | 17.8 | 18.2 | < 0 | 317 | 7 | 15',3000T | 321.4 | |
| 57 | HIN 10 | 51a | 20.0 | 0.9 | 20.1 | 20.6 | < 0 | 278 | 7 | 15',3000T | 355.0 | |
| 58 | HIN 10 | 51a | 34.5 | 0.8 | 34.5 | 35.0 | < 0 | 336 | 7 | 15',3000T | 456.4 | |
| 67 | HIN 10 | 51b | 8.5 | 1.9 | 9.8 | 10.3 | < 0 | 266 | 7 | 15',3000T | 939.4 | |
| 66 | HIN 10 | 51b | 22.0 | 2.4 | 23.5 | 24.0 | < 0 | 318 | 7 | 15',3000T | 1121.1 | |
| 68 | HIN 10 | 51b | 74.0 | 1.0 | 74.5 | 75.0 | < 0 | 228 | 7 | 15',3000T | 1349.5 | |
| 75 | HIN 10 | 61a | 4.8 | 0.9 | 5.2 | 5.6 | < 0 | 223 | 7 | 15',3000T | 1467.2 | |
| 82 | HIN 10 | 61a | 6.9 | 1.7 | 8.2 | 8.6 | < 0 | 263 | 7 | 15',3000T | 1550.2 | |
| 73 | HIN 10 | 61a | 31.0 | 1.6 | 31.9 | 32.3 | < 0 | 227 | 7 | 15',3000T | 2360.0 | |
| 74 | HIN 10 | 61a | 41.9 | 1.4 | 42.6 | 43.1 | < 0 | 222 | 7 | 15',3000T | 2605.4 | |
| 69 | HIN 10 | 51c | 38.0 | 1.9 | 39.3 | 39.8 | < 0 | 239 | 7 | 15',3000T | 2725.8 | |
| 70 | HIN 10 | 51c | 63.3 | 1.5 | 64.1 | 64.6 | < 0 | 224 | 7 | 15',3000T | 3145.6 | |
| 71 | HIN 10 | 51c | 64.8 | 1.2 | 65.5 | 66.0 | < 0 | 213 | 7 | 15',3000T | 3146.3 | |
| 38 | HIN 10 | 61b | 5.2 | 1.6 | 6.3 | 6.7 | < 0 | 360 | 8 | 15',3000T | 3349.3 | |
| 40 | HIN 10 | 61b | 57.8 | 0.8 | 58.0 | 58.5 | < 0 | 258 | 8 | 15',3000T | 4732.9 | |
| 39 | HIN 10 | 61b | 65.0 | 1.0 | 65.5 | 65.9 | < 0 | | 8 | 15',3000T | 5071.6 | |
| 37 | HIN 10 | 61b | 66.6 | 2.6 | 68.3 | 69.0 | < 0 | 271 | 8 | 15',3000T | 5106.0 | |
| 36 | HIN 10 | 52a | 11.0 | 0.7 | 11.3 | 11.7 | < 0 | | 8 | 15',3000T | 5169.2 | |
| 34 | HIN 10 | 52a | 32.8 | 0.8 | 33.2 | 33.6 | < 0 | 236 | 8 | 15',3000T | 5329.9 | |
| 35 | HIN 10 | 52a | 51.0 | 0.8 | 51.4 | 51.8 | < 0 | 206 | 8 | 15',3000T | 5754.6 | |
| 50 | HIN 10 | 61c | 21.6 | 0.8 | 21.9 | 22.4 | < 0 | 270 | 8 | 15',3000T | 6007.2 | |
| 46 | HIN 10 | 61c | 25.3 | 0.9 | 25.6 | 26.1 | < 0 | 295 | 8 | 15',3000T | 6144.9 | |
| 45 | HIN 10 | 61c | 26.7 | 0.9 | 27.0 | 27.5 | < 0 | 305 | 8 | 15',3000T | 6173.6 | |
| 47 | HIN 10 | 61c | 30.9 | 0.8 | 31.3 | 31.7 | < 0 | 241 | 8 | 15',3000T | 6280.2 | 5 |
| 48 | HIN 10 | 61c | 33.3 | 0.8 | 33.6 | 34.1 | < 0 | 293 | 8 | 15',3000T | 6367.5 | |
| 41 | HIN 10 | 61c | 49.8 | 1.6 | 51.0 | 51.4 | < 0 | 320 | 8 | 15',3000T | 6698.0 | |
| 43 | HIN 10 | 61c | 51.6 | 1.1 | 52.3 | 52.7 | < 0 | 338 | 8 | 15',3000T | 6710.5 | |
| 42 | HIN 10 | 61c | 64.0 | 1.2 | 64.3 | 64.7 | < 0 | 227 | 8 | 15',3000T | 7176.8 | |
| 51 | HIN 10 | 61c | 72.3 | 0.8 | 72.8 | 73.2 | 1 | 238 | 8 | 15',3000T | 7525.0 | |
| 44 | HIN 10 | 61c | 73.9 | 1.0 | 74.5 | 75.0 | 1 | 340 | 8 | 15',3000T | 7527.7 | |
| 52 | HIN 10 | 61c | 78.8 | 0.8 | 78.8 | 79.6 | < 0 | 260 | 8 | 15',3000T | 7699.8 | |
| 49 | HIN 10 | 61c | 89.0 | 0.8 | 89.0 | 89.3 | < 0 | 203 | 8 | 15',3000T | 8041.1 | |
| 80 | HIN 10 | 52b | 44.0 | 1.0 | 44.4 | 44.8 | < 0 | 233 | 7 | 15',3000T | 8364.0 | |

Proben, die keine Flutereignisse sind

| Probe Nr. | See und Entnahmejahr | Kern Nr. | Top Flutlage [cm] | Dicke Flutlage [cm] | Top Probe [cm] | Bottom Probe [cm] | Abw. Bottom [mm] | Gewicht Probe [mg] | Anzahl Oxidationszyklen mit O2H2 | Einstellungen Zentrifuge [Minuten, Touren] | Alter (cal yr. -62=2012) | Bemerkung |
|-----------|----------------------|----------|-------------------|---------------------|----------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------------------------|--|--------------------------|-----------|
| 16 | ALZ 10 | 18-B1 | | | 48.0 | 48.4 | | 216 | 9 | 15',3000T | 2910.0 | 6 |
| 18 | ALZ 10 | 18-B2 | 53.4 | 0.4 | 53.7 | 54.0 | 2 | 184 | 9 | 15',3000T | 4393.3 | 7 |
| 17 | ALZ 10 | 18-B2 | 85.4 | 10.6 | 98.4 | 90.0 | < 0 | 295 | 9 | 15',3000T | 4881.1 | 8 |
| 76 | HIN 10 | 8sc | 0.8 | 4.4 | 4.6 | 5.2 | < 0 | 359 | 7 | 15',3000T | -56.3 | 9 |
| 77 | HIN 10 | 8sc | 7.9 | 0.9 | 8.6 | 9.2 | 4 | 238 | 7 | 15',3000T | -40.9 | 9 |
| 79 | HIN 10 | 8sc | 17.5 | 3.0 | 19.6 | 20.2 | < 0 | 208 | 7 | 15',3000T | 135.0 | 9 |
| 78 | HIN 10 | 8sc | 25.5 | 0.9 | 25.8 | 26.1 | < 0 | 207 | 6 | 15',3000T | 238.9 | 9 |
| 59 | HIN 10 | 51a | 48.7 | 8.1 | 55.5 | 56.0 | < 0 | 294 | 7 | 15',3000T | 639.6 | 9 |
| 61 | HIN 10 | 51a | 60.4 | 2.6 | 61.7 | 62.3 | < 0 | 389 | 7 | 15',3000T | 737.4 | 9 |
| 60 | HIN 10 | 51a | 70.6 | 5.6 | 73.5 | 74.0 | < 0 | 316 | 7 | 15',3000T | 847.2 | 9 |
| 62 | HIN 10 | 51b | 0.0 | 12.2 | 6.8 | 7.6 | < 0 | 371 | 7 | 15',3000T | 936.1 | 9 |
| 65 | HIN 10 | 51b | 15.9 | 4.8 | 19.0 | 19.5 | < 0 | 215 | 7 | 15',3000T | 1090.8 | 9 |
| 63 | HIN 10 | 51b | 30.3 | 30.4 | 58.8 | 59.6 | < 0 | 321 | 7 | 15',3000T | 1220.5 | 9 |
| 64 | HIN 10 | 51b | 65.6 | 7.1 | 70.2 | 70.8 | < 0 | 280 | 7 | 15',3000T | 1306.7 | 9 |
| 85 | HIN 10 | 61a | 18.2 | 22.7 | 21.0 | 21.6 | < 0 | | 7 | 15',3000T | 2020.9 | 9 |
| 84 | HIN 10 | 61a | 36.4 | 40.6 | 37.7 | 38.3 | < 0 | | 7 | 15',3000T | 2560.6 | 9 |
| 83 | HIN 10 | 61a | 45.4 | 57.7 | 56.4 | 56.8 | < 0 | | 7 | 15',3000T | 2677.6 | 9 |
| 53 | HIN 10 | 61c | 39.0 | 6.6 | 44.6 | 44.6 | < 0 | 244 | 8 | 15',3000T | 6629.4 | 9 |
| 54 | HIN 10 | 61c | 46.1 | 2.9 | 48.0 | 48.9 | < 0 | 236 | 8 | 15',3000T | 6660.6 | 9 |
| 55 | HIN 10 | 61c | 82.9 | 2.9 | 83.4 | 83.7 | < 0 | 294 | 8 | 15',3000T | 7850.0 | 9 |
| 81 | HIN 10 | 52b | 38.3 | 1.6 | 38.4 | 39.0 | < 0 | 335 | 7 | 15',3000T | 8205.0 | 9 |
| 72 | HIN 11 | 51c | 42.3 | 6.2 | 48.0 | 48.5 | < 0 | 211 | 7 | 15',3000T | 2798.1 | 9 |

Legende Bemerkungen:

- 1 Andere Messung verwenden
- 2 Größtes Material nicht zuunterst
- 3 Größtes Material von allen Kernen
- 4 Unklar wo die maximale Korngrösse ist
- 5 Eventuell Record 80 benutzen
- 6 Spezielle Sandlinse
- 7 Dünne Sandlage
- 8 Schlechte Probe (nicht verwendet)
- 9 Keine Flutlage

Mastersizermessungen

| Probe Nr. | See und Entnahmejahr | Kern Nr. | Top Flutlage [cm] | Messdatei Laserfraktion (.mea) | Record Nr. | Median [µm] | Mean [µm] | Mode [µm] | Span (10,90) | Skewness | d(0.1) [µm] | d(0.2) [µm] | d(0.5) [µm] | d(0.8) [µm] | d(0.9) [µm] | d(0.250) [µm] | d(0.750) [µm] | d(0.840) [µm] | d(0.160) [µm] | d(0.950) [µm] | d(0.050) [µm] | d(0.980) [µm] | d(0.990) [µm] |
|-----------|----------------------|----------|-------------------|--------------------------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 7 | ALZ 10 | 04-SC | 20.5 | ALZ_20120328 | 29 | 40.4 | 69.1 | 39.9 | 3.2 | 6.2 | 11.5 | 18.7 | 40.4 | 88 | 140 | 22.0 | 74 | 102 | 16.0 | 221 | 6.9 | 376 | 513 |
| 6 | ALZ 10 | 04-SC | 29.2 | ALZ_20120329 | 75 | 27.4 | 55.3 | 27.9 | 3.6 | 7.4 | 6.5 | 11.8 | 27.4 | 62 | 104 | 14.2 | 52 | 73 | 9.8 | 180 | 3.5 | 365 | 559 |
| 2 | ALZ 10 | 18-A1 | 49.2 | ALZ_20120312 | 34 | 34.8 | 47.7 | 41.6 | 2.3 | 8.1 | 8.5 | 15.5 | 34.8 | 65 | 87 | 18.7 | 58 | 72 | 12.8 | 110 | 4.4 | 143 | 381 |
| 8 | ALZ 10 | 18-A1 | 70.3 | ALZ_20120329 | 12 | 27.9 | 50.0 | 30.1 | 2.7 | 8.4 | 7.1 | 12.4 | 27.9 | 58 | 84 | 14.8 | 50 | 66 | 10.4 | 114 | 3.9 | 188 | 666 |
| 9 | ALZ 10 | 18-A2 | 3.2 | ALZ_20120329 | 32 | 42.2 | 125.0 | 27.5 | 7.0 | 3.9 | 10.3 | 16.6 | 42.2 | 153 | 306 | 19.7 | 118 | 195 | 14.2 | 547 | 6.1 | 990 | 1278 |
| 13 | ALZ 10 | 18-A2 | 27.4 | ALZ_20120328 | 97 | 23.3 | 41.9 | 25.7 | 3.0 | 8.2 | 5.0 | 9.6 | 23.3 | 50 | 75 | 11.7 | 43 | 58 | 7.9 | 105 | 2.6 | 165 | 550 |
| 14 | ALZ 10 | 18-A2 | 42.3 | ALZ_20120328 | 20 | 28.0 | 51.9 | 27.3 | 3.8 | 6.1 | 6.3 | 11.1 | 28.0 | 70 | 111 | 13.5 | 58 | 83 | 9.2 | 160 | 3.4 | 266 | 445 |
| 3 | ALZ 10 | 18-A2 | 50.8 | ALZ_20120312 | 21 | 28.4 | 43.2 | 34.3 | 2.9 | 4.6 | 6.0 | 11.1 | 28.4 | 61 | 89 | 13.6 | 53 | 70 | 9.1 | 121 | 3.1 | 187 | 329 |
| 11 | ALZ 10 | 18-A2 | 74.3 | ALZ_20120329 | 8 | 28.8 | 49.5 | 31.3 | 2.8 | 8.8 | 6.9 | 12.4 | 28.8 | 60 | 88 | 15.0 | 52 | 69 | 10.4 | 119 | 3.7 | 189 | 568 |
| 12 | ALZ 10 | 18-A2 | 74.3 | ALZ_20120328 | 73 | 22.7 | 45.9 | 23.7 | 3.8 | 7.2 | 4.5 | 8.8 | 22.7 | 54 | 91 | 10.9 | 45 | 65 | 7.1 | 144 | 2.4 | 282 | 479 |
| 10 | ALZ 10 | 18-A2 | 85.2 | ALZ_20120328 | 37 | 24.9 | 37.7 | 29.6 | 2.7 | 8.0 | 5.3 | 10.2 | 24.9 | 51 | 72 | 12.5 | 45 | 58 | 8.3 | 95 | 2.8 | 131 | 205 |
| 1 | ALZ 10 | 18-A3 | 10.0 | ALZ_20120312 | 4 | 76.7 | 160.9 | 60.0 | 5.3 | 2.6 | 19.2 | 30.8 | 76.7 | 263 | 428 | 36.8 | 205 | 318 | 26.2 | 580 | 12.5 | 787 | 954 |
| 25 | ALZ 10 | 19-A2 | 27.6 | ALZ_20120329 | 58 | 22.4 | 30.1 | 25.8 | 2.7 | 1.7 | 5.5 | 9.6 | 22.4 | 47 | 65 | 11.5 | 41 | 53 | 8.1 | 84 | 2.9 | 106 | 122 |
| 23 | ALZ 10 | 19-A2 | 58.2 | ALZ_20120328 | 77 | 25.2 | 43.6 | 28.4 | 3.5 | 6.0 | 5.2 | 9.6 | 25.2 | 61 | 93 | 11.8 | 51 | 71 | 7.9 | 130 | 2.8 | 202 | 347 |
| 24 | ALZ 10 | 19-A2 | 67.3 | ALZ_20120328 | 49 | 21.0 | 33.8 | 22.1 | 3.2 | 7.3 | 4.5 | 8.4 | 21.0 | 49 | 72 | 10.2 | 41 | 56 | 6.9 | 96 | 2.4 | 130 | 165 |
| 15 | ALZ 10 | 18-B1 | 22.9 | ALZ_20120329 | 20 | 18.5 | 31.7 | 17.9 | 3.5 | 7.6 | 4.3 | 7.7 | 18.5 | 44 | 69 | 9.3 | 37 | 52 | 6.4 | 95 | 2.5 | 130 | 164 |
| 5 | ALZ 10 | 18-B2 | 64.7 | ALZ_20120312 | 46 | 24.8 | 37.0 | 36.5 | 3.0 | 6.3 | 4.6 | 8.8 | 24.8 | 56 | 79 | 11.0 | 48 | 63 | 7.2 | 101 | 2.4 | 131 | 160 |
| 4 | ALZ 10 | 18-B1 | 77.2 | ALZ_20120312 | 38 | 22.6 | 34.0 | 30.1 | 3.1 | 6.5 | 3.9 | 8.0 | 22.6 | 52 | 74 | 10.1 | 45 | 59 | 6.3 | 96 | 2.0 | 125 | 150 |
| 21 | ALZ 10 | 18-B2 | 0.8 | ALZ_20120329 | 66 | 18.5 | 30.6 | 17.5 | 3.3 | 7.3 | 4.5 | 8.0 | 18.5 | 43 | 65 | 9.5 | 36 | 50 | 6.7 | 89 | 2.5 | 123 | 156 |
| 19 | ALZ 10 | 18-B2 | 43.3 | ALZ_20120328 | 53 | 16.5 | 25.5 | 16.4 | 3.4 | 2.1 | 3.6 | 6.7 | 16.5 | 39 | 60 | 8.1 | 33 | 46 | 5.5 | 82 | 2.0 | 108 | 126 |
| 20 | ALZ 10 | 18-B2 | 78.3 | ALZ_20120329 | 48 | 21.8 | 32.1 | 19.1 | 3.1 | 1.8 | 5.8 | 9.6 | 21.8 | 51 | 74 | 11.4 | 43 | 58 | 8.2 | 96 | 3.2 | 122 | 139 |

Mastersizermessungen (fortsetzung)

| Probe Nr. | See und Entnahmejahr | Kern Nr. | Top Flutlage [cm] | Messdatei Laserdfraktion (.mea) | Record Nr. | Median [μm] | Mean [μm] | Mode [μm] | Span (10,90) | Skewness | d(0.1) [μm] | d(0.2) [μm] | d(0.5) [μm] | d(0.8) [μm] | d(0.9) [μm] | d(0.250) [μm] | d(0.750) [μm] | d(0.840) [μm] | d(0.160) [μm] | d(0.950) [μm] | d(0.050) [μm] | d(0.980) [μm] | d(0.990) [μm] |
|-----------|----------------------|----------|-------------------|---------------------------------|------------|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 22 | ALZ 10 | 18-B3 | 51.0 | ALZ_20120328 | 93 | 29.2 | 76.5 | 27.5 | 4.6 | 5.0 | 6.8 | 11.6 | 29.2 | 75 | 140 | 14.0 | 62 | 90 | 9.8 | 373 | 3.7 | 643 | 851 |
| 26 | ALZ 10 | 19-B2 | 21.2 | ALZ_20120329 | 44 | 23.8 | 33.8 | 36.7 | 3.0 | 1.5 | 5.7 | 9.5 | 23.8 | 55 | 77 | 11.3 | 48 | 62 | 8.0 | 97 | 3.1 | 120 | 136 |
| 27 | ALZ 10 | 18-C1 | 44.6 | ALZ_20120328 | 33 | 25.2 | 40.3 | 26.9 | 3.2 | 5.7 | 6.0 | 10.2 | 25.2 | 59 | 86 | 12.2 | 51 | 68 | 8.6 | 113 | 3.3 | 154 | 220 |
| 30 | ALZ 10 | 20-A2 | 46.2 | ALZ_20120328 | 69 | 19.9 | 33.4 | 20.7 | 3.4 | 7.2 | 4.2 | 7.7 | 19.9 | 48 | 71 | 9.4 | 41 | 55 | 6.3 | 95 | 2.3 | 131 | 174 |
| 28 | ALZ 10 | 20-A2 | 56.9 | ALZ_20120329 | 24 | 26.7 | 42.0 | 40.3 | 3.1 | 5.1 | 5.4 | 9.7 | 26.7 | 62 | 89 | 11.9 | 54 | 71 | 8.1 | 119 | 2.8 | 170 | 290 |
| 29 | ALZ 10 | 20-A2 | 88.0 | ALZ_20120328 | 61 | 22.7 | 36.9 | 30.8 | 3.3 | 6.5 | 4.8 | 8.6 | 22.7 | 54 | 79 | 10.5 | 47 | 62 | 7.2 | 104 | 2.6 | 141 | 188 |
| 31 | ALZ 10 | 20-A3 | 19.5 | ALZ_20120328 | 45 | 15.4 | 23.4 | 15.2 | 3.3 | 2.1 | 3.5 | 6.4 | 15.4 | 35 | 54 | 7.8 | 30 | 41 | 5.3 | 74 | 2.0 | 98 | 115 |
| 33 | ALZ 10 | 20-A3 | 28.8 | ALZ_20120328 | 57 | 18.5 | 31.9 | 17.0 | 3.6 | 7.1 | 3.9 | 7.0 | 18.5 | 47 | 70 | 8.5 | 40 | 54 | 5.8 | 93 | 2.2 | 125 | 158 |
| 32 | ALZ 10 | 20-A3 | 43.8 | ALZ_20120328 | 12 | 14.6 | 20.5 | 15.6 | 2.8 | 2.3 | 3.7 | 6.4 | 14.6 | 31 | 44 | 7.7 | 26 | 35 | 5.4 | 60 | 2.1 | 81 | 98 |
| 56 | HIN 10 | 51a | 17.3 | HIN_20120510 | 140 | 6.4 | 11.7 | 7.8 | 4.3 | 2.7 | 1.3 | 2.2 | 6.4 | 17 | 29 | 2.7 | 14 | 21 | 1.8 | 43 | 0.8 | 61 | 74 |
| 57 | HIN 10 | 51a | 20.0 | HIN_20120510 | 152 | 7.9 | 14.8 | 10.5 | 4.7 | 2.4 | 1.3 | 2.3 | 7.9 | 23 | 38 | 3.0 | 19 | 28 | 1.9 | 54 | 0.8 | 74 | 88 |
| 58 | HIN 10 | 51a | 34.5 | HIN_20120510 | 108 | 7.6 | 14.2 | 9.8 | 4.6 | 2.3 | 1.3 | 2.3 | 7.6 | 23 | 37 | 2.9 | 19 | 27 | 1.9 | 51 | 0.8 | 69 | 82 |
| 67 | HIN 10 | 51b | 8.5 | HIN_20120510 | 104 | 7.5 | 12.6 | 10.3 | 4.0 | 2.3 | 1.2 | 2.3 | 7.5 | 20 | 31 | 3.0 | 17 | 23 | 1.9 | 43 | 0.8 | 58 | 69 |
| 66 | HIN 10 | 51b | 22.0 | HIN_20120510 | 68 | 9.0 | 13.7 | 13.5 | 3.4 | 2.2 | 1.5 | 2.6 | 9.0 | 22 | 32 | 3.3 | 19 | 25 | 2.1 | 43 | 1.0 | 59 | 70 |
| 68 | HIN 10 | 51b | 74.0 | HIN_20120510 | 20 | 7.8 | 15.1 | 8.8 | 4.9 | 2.2 | 1.4 | 2.4 | 7.8 | 24 | 40 | 3.0 | 20 | 29 | 2.0 | 55 | 0.9 | 74 | 87 |
| 75 | HIN 10 | 61a | 4.8 | HIN_20120510 | 4 | 9.4 | 14.7 | 14.3 | 3.5 | 2.2 | 1.6 | 2.9 | 9.4 | 23 | 35 | 3.6 | 20 | 27 | 2.3 | 47 | 1.0 | 63 | 75 |
| 82 | HIN 10 | 61a | 6.9 | HIN_20120510 | 40 | 10.1 | 16.8 | 14.2 | 3.9 | 2.4 | 1.6 | 2.9 | 10.1 | 27 | 41 | 3.8 | 22 | 31 | 2.4 | 57 | 1.0 | 78 | 93 |
| 73 | HIN 10 | 61a | 31.0 | HIN_20120510 | 48 | 8.4 | 14.7 | 9.6 | 4.2 | 2.1 | 1.5 | 2.7 | 8.4 | 24 | 37 | 3.3 | 20 | 28 | 2.2 | 50 | 1.0 | 66 | 77 |
| 74 | HIN 10 | 61a | 41.9 | HIN_20120510 | 100 | 8.6 | 15.9 | 11.0 | 4.5 | 2.5 | 1.5 | 2.6 | 8.6 | 25 | 40 | 3.3 | 20 | 29 | 2.1 | 57 | 0.9 | 80 | 96 |
| 69 | HIN 10 | 51c | 38.0 | HIN_20120510 | 132 | 9.9 | 16.0 | 13.6 | 3.7 | 2.5 | 1.6 | 3.0 | 9.9 | 24 | 38 | 3.8 | 20 | 28 | 2.4 | 54 | 1.0 | 76 | 92 |
| 70 | HIN 10 | 51c | 63.3 | HIN_20120510 | 8 | 8.4 | 15.1 | 11.3 | 4.3 | 2.5 | 1.4 | 2.5 | 8.4 | 24 | 38 | 3.2 | 20 | 28 | 2.0 | 53 | 0.9 | 74 | 89 |

Mastersizermessungen (fortsetzung)

| Probe Nr. | See und Entnahmejahr | Kern Nr. | Top Flutlage [cm] | Messdatei Laserdiffraktion | Record Nr. | Median [μm] | Mean [μm] | Mode [μm] | Span (10,90) | Skewness | d(0.1) [μm] | d(0.2) [μm] | d(0.5) [μm] | d(0.8) [μm] | d(0.9) [μm] | d(0.250) [μm] | d(0.750) [μm] | d(0.840) [μm] | d(0.160) [μm] | d(0.950) [μm] | d(0.050) [μm] | d(0.980) [μm] | d(0.990) [μm] |
|-----------|----------------------|----------|-------------------|----------------------------|------------|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 71 | HIN 10 | 51c | 64.8 | HIN_20120510 | 56 | 8.0 | 10.4 | 10.7 | 2.3 | 4.3 | 1.7 | 2.9 | 8.0 | 15 | 20 | 3.6 | 13 | 16 | 2.4 | 25 | 1.1 | 44 | 68 |
| 38 | HIN 10 | 61b | 5.2 | HIN_20120514 | 92 | 6.7 | 8.8 | 8.4 | 2.2 | 4.3 | 1.6 | 2.8 | 6.7 | 12 | 16 | 3.4 | 11 | 13 | 2.3 | 21 | 1.0 | 38 | 56 |
| 40 | HIN 10 | 61b | 57.8 | HIN_20120514 | 52 | 7.9 | 15.2 | 8.7 | 4.7 | 2.6 | 1.6 | 2.7 | 7.9 | 23 | 39 | 3.4 | 18 | 28 | 2.2 | 57 | 1.0 | 80 | 96 |
| 39 | HIN 10 | 61b | 65.0 | HIN_20120514 | 72 | 8.7 | 15.2 | 12.9 | 4.2 | 2.3 | 1.5 | 2.6 | 8.7 | 24 | 38 | 3.3 | 20 | 28 | 2.1 | 52 | 0.9 | 72 | 85 |
| 37 | HIN 10 | 61b | 66.6 | HIN_20120514 | 56 | 8.0 | 12.1 | 9.5 | 2.9 | 3.4 | 1.8 | 3.2 | 8.0 | 17 | 25 | 3.9 | 14 | 19 | 2.6 | 38 | 1.1 | 61 | 77 |
| 36 | HIN 10 | 52a | 11.0 | HIN_20120514 | 104 | 8.4 | 12.3 | 10.5 | 3.1 | 2.5 | 1.7 | 3.0 | 8.4 | 19 | 28 | 3.8 | 16 | 21 | 2.5 | 38 | 1.0 | 53 | 64 |
| 34 | HIN 10 | 52a | 32.8 | HIN_20120514 | 64 | 7.7 | 14.0 | 9.4 | 4.3 | 2.9 | 1.5 | 2.6 | 7.7 | 21 | 34 | 3.2 | 17 | 25 | 2.1 | 50 | 1.0 | 74 | 91 |
| 35 | HIN 10 | 52a | 51.0 | HIN_20120514 | 28 | 8.2 | 15.4 | 8.7 | 4.5 | 2.7 | 1.6 | 2.8 | 8.2 | 23 | 38 | 3.5 | 19 | 28 | 2.3 | 56 | 1.0 | 80 | 98 |
| 50 | HIN 10 | 61c | 21.6 | HIN_20120514 | 24 | 9.6 | 17.7 | 11.1 | 4.6 | 2.3 | 1.6 | 2.8 | 9.6 | 28 | 45 | 3.6 | 23 | 34 | 2.3 | 63 | 1.0 | 86 | 101 |
| 46 | HIN 10 | 61c | 25.3 | HIN_20120514 | 20 | 10.4 | 18.6 | 13.1 | 4.4 | 2.2 | 1.6 | 3.0 | 10.4 | 30 | 47 | 3.8 | 25 | 36 | 2.4 | 65 | 1.0 | 88 | 104 |
| 45 | HIN 10 | 61c | 26.7 | HIN_20120514 | 48 | 10.0 | 18.3 | 12.3 | 4.5 | 2.4 | 1.6 | 2.9 | 10.0 | 29 | 47 | 3.7 | 24 | 34 | 2.3 | 66 | 1.0 | 90 | 108 |
| 47 | HIN 10 | 61c | 30.9 | HIN_20120514 | 76 | 12.4 | 17.3 | 17.7 | 3.0 | 1.6 | 2.0 | 4.0 | 12.4 | 28 | 40 | 5.2 | 24 | 32 | 3.2 | 50 | 1.2 | 64 | 73 |
| 48 | HIN 10 | 61c | 33.3 | HIN_20120514 | 44 | 9.5 | 17.5 | 11.2 | 4.4 | 2.5 | 1.7 | 3.0 | 9.5 | 27 | 44 | 3.8 | 22 | 32 | 2.4 | 62 | 1.1 | 87 | 106 |
| 41 | HIN 10 | 61c | 49.8 | HIN_20120514 | 112 | 9.7 | 17.0 | 14.2 | 4.2 | 2.3 | 1.6 | 2.8 | 9.7 | 27 | 42 | 3.6 | 23 | 32 | 2.3 | 59 | 1.0 | 81 | 97 |
| 43 | HIN 10 | 61c | 51.6 | HIN_20120514 | 100 | 9.7 | 13.9 | 13.7 | 3.2 | 1.7 | 1.6 | 3.1 | 9.7 | 22 | 32 | 4.0 | 19 | 26 | 2.5 | 42 | 0.9 | 54 | 63 |
| 42 | HIN 10 | 61c | 64.0 | HIN_20120514 | 40 | 10.0 | 16.9 | 11.8 | 4.0 | 2.4 | 1.7 | 3.2 | 10.0 | 26 | 42 | 4.1 | 22 | 31 | 2.6 | 58 | 1.1 | 80 | 95 |
| 51 | HIN 10 | 61c | 72.3 | HIN_20120510 | 185 | 17.0 | 23.9 | 23.1 | 2.8 | 9.4 | 2.7 | 5.8 | 17.0 | 36 | 50 | 7.6 | 31 | 40 | 4.5 | 63 | 1.4 | 81 | 97 |
| 44 | HIN 10 | 61c | 73.9 | HIN_20120514 | 36 | 9.8 | 15.9 | 15.1 | 3.8 | 1.9 | 1.5 | 2.9 | 9.8 | 26 | 39 | 3.7 | 22 | 30 | 2.3 | 52 | 0.9 | 67 | 78 |
| 52 | HIN 10 | 61c | 78.8 | HIN_20120510 | 181 | 11.4 | 15.8 | 19.8 | 3.0 | 1.4 | 1.8 | 3.3 | 11.4 | 26 | 36 | 4.3 | 23 | 30 | 2.7 | 45 | 1.1 | 57 | 64 |
| 49 | HIN 10 | 61c | 89.0 | HIN_20120514 | 88 | 9.2 | 12.8 | 12.2 | 2.9 | 1.9 | 1.9 | 3.3 | 9.2 | 20 | 28 | 4.2 | 17 | 23 | 2.7 | 37 | 1.2 | 49 | 57 |
| 80 | HIN 10 | 52b | 44.0 | HIN_20120510 | 92 | 9.3 | 23.4 | 16.2 | 4.0 | 9.5 | 1.6 | 3.0 | 10.1 | 28 | 42 | 3.8 | 23 | 32 | 2.4 | 58 | 1.0 | 87 | 410 |

Mastersizermessungen (fortsetzung)

| Probe Nr. | See und Entnahmehjahr | Kern Nr. | Top Flutlage [cm] | Messdatei Laserdiffraktion | Record Nr. | Median [μm] | Mean [μm] | Mode [μm] | Span (10,90) | Skewness | d(0.1) [μm] | d(0.2) [μm] | d(0.5) [μm] | d(0.8) [μm] | d(0.9) [μm] | d(0.250) [μm] | d(0.750) [μm] | d(0.840) [μm] | d(0.160) [μm] | d(0.950) [μm] | d(0.050) [μm] | d(0.980) [μm] | d(0.990) [μm] |
|-----------|-----------------------|----------|-------------------|----------------------------|------------|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 16 | ALZ 10 | 18-B1 | | ALZ_20120329 | 4 | 33.4 | 84.3 | 28.0 | 4.5 | 5.5 | 8.1 | 14.0 | 33.4 | 90 | 157 | 16.8 | 73 | 108 | 11.8 | 295 | 4.2 | 747 | 1115 |
| 18 | ALZ 10 | 18-B2 | 53.4 | ALZ_20120329 | 79 | 39.3 | 89.6 | 39.6 | 4.4 | 4.9 | 8.9 | 15.6 | 39.3 | 98 | 181 | 18.8 | 81 | 117 | 13.0 | 381 | 5.1 | 669 | 911 |
| 17 | ALZ 10 | 18-B2 | 85.4 | ALZ_20120328 | 4 | 25.1 | 42.5 | 25.3 | 3.5 | 5.0 | 5.5 | 9.9 | 25.1 | 62 | 94 | 12.0 | 52 | 72 | 8.2 | 130 | 2.9 | 191 | 273 |
| 76 | HIN 10 | 8sc | 0.8 | HIN_20120510 | 96 | 11.5 | 17.4 | 18.5 | 3.5 | 1.7 | 1.8 | 3.4 | 11.5 | 29 | 42 | 4.3 | 25 | 33 | 2.7 | 54 | 1.1 | 70 | 80 |
| 77 | HIN 10 | 8sc | 7.9 | HIN_20120510 | 32 | 8.1 | 14.0 | 10.5 | 4.2 | 2.0 | 1.4 | 2.5 | 8.1 | 23 | 35 | 3.2 | 19 | 27 | 2.1 | 47 | 0.9 | 62 | 72 |
| 79 | HIN 10 | 8sc | 17.5 | HIN_20120510 | 24 | 7.5 | 12.6 | 9.9 | 3.8 | 2.4 | 1.4 | 2.5 | 7.5 | 19 | 30 | 3.1 | 16 | 23 | 2.0 | 43 | 0.9 | 60 | 72 |
| 78 | HIN 10 | 8sc | 25.5 | HIN_20120510 | 60 | 8.2 | 15.2 | 9.1 | 4.6 | 2.4 | 1.6 | 2.7 | 8.2 | 23 | 39 | 3.4 | 19 | 28 | 2.2 | 56 | 1.0 | 77 | 92 |
| 59 | HIN 10 | 51a | 48.7 | HIN_20120510 | 144 | 12.3 | 18.7 | 15.9 | 3.5 | 2.0 | 1.9 | 3.8 | 12.3 | 30 | 44 | 5.0 | 26 | 35 | 3.0 | 59 | 1.1 | 78 | 92 |
| 61 | HIN 10 | 51a | 60.4 | HIN_20120510 | 148 | 9.0 | 14.8 | 12.0 | 3.8 | 2.4 | 1.4 | 2.7 | 9.0 | 23 | 36 | 3.4 | 19 | 27 | 2.1 | 50 | 0.9 | 70 | 84 |
| 60 | HIN 10 | 51a | 70.6 | HIN_20120510 | 136 | 14.8 | 21.1 | 24.6 | 3.2 | 1.6 | 2.1 | 4.3 | 14.8 | 35 | 49 | 5.6 | 30 | 40 | 3.3 | 63 | 1.2 | 80 | 92 |
| 62 | HIN 10 | 51b | 0.0 | HIN_20120510 | 169 | 16.8 | 27.3 | 22.8 | 2.8 | 7.5 | 2.6 | 5.6 | 16.8 | 36 | 50 | 7.4 | 31 | 40 | 4.3 | 66 | 1.4 | 95 | 338 |
| 65 | HIN 10 | 51b | 15.9 | HIN_20120510 | 124 | 9.3 | 14.4 | 11.8 | 3.5 | 2.2 | 1.7 | 3.1 | 9.3 | 22 | 34 | 4.0 | 19 | 26 | 2.5 | 47 | 1.1 | 63 | 74 |
| 63 | HIN 10 | 51b | 30.3 | HIN_20120510 | 156 | 20.1 | 25.0 | 25.9 | 2.4 | 1.4 | 3.8 | 8.0 | 20.1 | 39 | 52 | 10.0 | 35 | 44 | 6.3 | 65 | 1.8 | 81 | 92 |
| 64 | HIN 10 | 51b | 65.6 | HIN_20120510 | 128 | 14.8 | 20.4 | 21.2 | 3.0 | 1.6 | 2.3 | 4.6 | 14.8 | 33 | 47 | 6.1 | 29 | 38 | 3.6 | 60 | 1.3 | 76 | 87 |
| 85 | HIN 10 | 61a | 18.2 | HIN_20120510 | 12 | 10.8 | 15.7 | 15.1 | 3.2 | 1.9 | 1.8 | 3.4 | 10.8 | 25 | 36 | 4.3 | 22 | 29 | 2.7 | 48 | 1.1 | 62 | 72 |
| 84 | HIN 10 | 61a | 36.4 | HIN_20120510 | 76 | 11.4 | 17.5 | 16.4 | 3.5 | 1.9 | 1.8 | 3.3 | 11.4 | 29 | 42 | 4.3 | 24 | 33 | 2.6 | 55 | 1.1 | 72 | 84 |
| 83 | HIN 10 | 61a | 45.4 | HIN_20120510 | 72 | 16.6 | 21.9 | 23.5 | 2.8 | 1.4 | 2.7 | 5.7 | 16.6 | 35 | 49 | 7.3 | 31 | 40 | 4.5 | 61 | 1.4 | 76 | 86 |
| 53 | HIN 10 | 61c | 39.0 | HIN_20120510 | 177 | 9.8 | 15.1 | 13.7 | 3.5 | 1.9 | 1.7 | 3.1 | 9.8 | 24 | 36 | 3.9 | 21 | 28 | 2.5 | 48 | 1.0 | 62 | 73 |
| 54 | HIN 10 | 61c | 46.1 | HIN_20120510 | 120 | 14.7 | 20.0 | 21.2 | 2.9 | 1.4 | 2.3 | 4.8 | 14.7 | 33 | 45 | 6.3 | 28 | 37 | 3.7 | 57 | 1.3 | 71 | 81 |
| 55 | HIN 10 | 61c | 82.9 | HIN_20120510 | 16 | 9.5 | 17.0 | 19.1 | 4.4 | 2.0 | 1.4 | 2.4 | 9.5 | 29 | 43 | 3.0 | 24 | 33 | 2.0 | 58 | 0.9 | 77 | 91 |
| 81 | HIN 10 | 52b | 38.3 | HIN_20120510 | 44 | 9.2 | 16.5 | 14.9 | 4.4 | 2.2 | 1.5 | 2.6 | 9.2 | 27 | 42 | 3.3 | 22 | 32 | 2.1 | 57 | 0.9 | 77 | 91 |
| 72 | HIN 11 | 51c | 42.3 | HIN_20120510 | 36 | 12.2 | 17.4 | 15.2 | 3.1 | 1.7 | 2.1 | 4.0 | 12.2 | 28 | 40 | 5.2 | 24 | 32 | 3.1 | 52 | 1.2 | 67 | 76 |

9.2 Diatomeengrößen

| | Nr. | Grösse [μm] |
|----------------------------|-----|--------------------------|
| Grösstes Korn aller Proben | | 150 |
| Grösstes Korn | 47 | 150 |
| Grösstes Korn | 56 | 130 |
| Grösstes Korn | 67 | 130 |
| Grösstes Korn | 68 | 130 |
| Grösstes Korn | 72 | 140 |

| See | Nr. | Foto | Grösse [μm] |
|-----|-----|------|--------------------------|
| HIN | 47 | 1 | 120 |
| HIN | 47 | 2 | 130 |
| HIN | 47 | 3 | 140 |
| HIN | 47 | 4 | 130 |
| HIN | 47 | 4 | 130 |
| HIN | 47 | 4 | 110 |
| HIN | 47 | 5 | 130 |
| HIN | 47 | 6 | 120 |
| HIN | 47 | 6 | 110 |
| HIN | 47 | 6 | 130 |
| HIN | 47 | 7 | 140 |
| HIN | 47 | 8 | 130 |
| HIN | 47 | 8 | 140 |
| HIN | 47 | 9 | 145 |
| HIN | 47 | 9 | 130 |
| HIN | 47 | 10 | 150 |
| HIN | 47 | 10 | 110 |
| HIN | 56 | 1 | 110 |
| HIN | 56 | 2 | 130 |
| HIN | 56 | 3 | 120 |
| HIN | 56 | 4 | 110 |
| HIN | 56 | 5 | 120 |
| HIN | 67 | 1 | 100 |
| HIN | 67 | 2 | 130 |
| HIN | 67 | 3 | 105 |
| HIN | 67 | 4 | 130 |
| HIN | 67 | 5 | 110 |
| HIN | 67 | 5 | 115 |
| HIN | 68 | 3 | 100 |
| HIN | 68 | 4 | 110 |
| HIN | 68 | 5 | 110 |
| HIN | 68 | 6 | 130 |
| HIN | 68 | 7 | 110 |
| HIN | 68 | 8 | 90 |
| HIN | 72 | 1 | 140 |
| HIN | 72 | 1 | 120 |
| HIN | 72 | 2 | 105 |
| HIN | 72 | 3 | 130 |
| HIN | 72 | 3 | 110 |
| HIN | 72 | 4 | 120 |
| HIN | 72 | 4 | 120 |
| HIN | 72 | 5 | 110 |