

# **Evaluation der Linienzahlanalyse bei ausgewählten alpinen Flüssen in Süddeutschland**

– Bachelorarbeit –

Justus Adrian Gruber

München, 2017

Erstprüfer: Prof.Dr-Ing. A. Malcherek

Zweitprüfer: Dr.-Ing. I. Baselt



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Vorwort . . . . .	1
1.2	Aufgabenstellung und Motivation . . . . .	2
1.2.1	Die Linienzahlanalyse . . . . .	2
1.2.2	Motivation . . . . .	3
1.3	Klassische Bestimmung der Sieblinie . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Die Linienzahlanalyse</b>	<b>6</b>
2.1	Zugrundeliegende Theorie der LZA . . . . .	6
2.1.1	Bestimmung der Oberschicht . . . . .	8
2.1.2	Umrechnung von Ober- auf Unterschicht . . . . .	9
2.1.3	Bemessung des Sediments . . . . .	12
2.2	Linienzahlanalyse in der Praxis . . . . .	13
2.2.1	Die Messstellen . . . . .	13
2.2.2	Die Messungen . . . . .	18
<b>3</b>	<b>Ergebnisse und Auswertungen</b>	<b>20</b>
3.1	Auswertung . . . . .	21
3.1.1	Auswertung der Messstellen der Isar . . . . .	21
3.1.2	Auswertung der Messstellen der Loisach . . . . .	26
3.1.3	Auswertung der Messstellen der Ammer . . . . .	31
3.2	Ergebnisse der Auswertung . . . . .	35
<b>4</b>	<b>Fazit</b>	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>Anhang</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>47</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Vorwort

Der Anfang nahezu jeden Vorhabens im Bauingenieurwesen und der Umwelttechnik beginnt mit der Analyse des Bodens. Die Analyse der Beschaffenheit des Bodens gibt Aufschluss, wie sehr dieser belastet werden kann und wie tragfähig er über lange Zeiträume ist. Dabei müssen einige Eigenschaften des Bodens in der Analyse berücksichtigt werden. Eine, wenn nicht sogar die wichtigste, zu ermittelnde Information ist die Korngrößenverteilung. Die Korngrößenverteilung ist eine meist grafisch dargestellte Summenkurve, welche die Körner des Bodens oder Sediments größenverteilt angibt.

Im Wasserbau kommt der Korngrößenverteilung noch eine weitere Bedeutung hinzu. Durch die Bewegung zweier aneinander liegender Körper entstehen Reibung und Spannung. Dies gilt für alle Arten von Körpern, so auch für Wasser eines Stromes und dessen Sohle. Durch das Fließen des Wassers entsteht die sogenannte Sohlschubspannung ( $\tau_B$ ). Diese kann je nach Herleitung und Bestimmung von sehr unterschiedlichen Komponenten, wie beispielsweise der Wassertiefe oder dem spezifischen Durchfluss, abhängig sein. Erstmals unabhängig von der Sohlschubspannung, also der Spannung die durch das Verhalten des Wassers hervorgerufen wird, ist die kritische Sohlschubspannung ( $\tau_{Cr}$ ). Die kritische Sohlschubspannung ist hauptsächlich von dem durchschnittlichen Korndurchmesser abhängig und beschreibt wie viel Spannung auf das Sediment wirken kann, ohne dass sich das Sediment bewegt. Daraus resultiert, dass in Flüssen Sediment mittransportiert wird, sobald die Sohlschubspannung die kritische Sohlschubspannung übersteigt.

$$\tau_B > \tau_{Cr} \quad \text{Sedimenttransport findet statt} \quad (1.1)$$

$$\tau_B < \tau_{Cr} \quad \text{Kein Sedimenttransport} \quad (1.2)$$

Vereinfacht ausgedrückt heißt dies, dass Flüsse mit verhältnismäßig hohem Durchfluss Sediment mit verhältnismäßig kleinem Korndurchmesser problemlos im Strom mittragen. Dies kann ganz unterschiedliche Konsequenzen haben. Beispielsweise kann über einen langen Zeitraum unabhängig von besonderen Naturereignissen der Fluss auf diese Weise einen Canyon in das Landschaftsbild erodieren. Dies senkt den Grundwasserspiegel rund um das Flussufer. Leben, welches von dem Flussufer seine Lebensgrundlage bezieht, muss weichen oder verenden. Darüber hinaus spielen Wetterverhältnisse eine besondere Rolle. So kommt es beispielsweise bei starken Gewitterstürmen zu einem deutlichen Anstieg des Durchflusses und daraus folgend zu einer deutlichen Erhöhung der Sohlschubspannung.

Der daraus resultierende Sedimenttransport wird möglicherweise das Landschaftsbild sehr beeinträchtigen oder in besonderen Lagen auch den Flusslauf verändern. Solche Veränderungen können tiefgreifende Folgen für Siedlungen im Bereich der Flüsse haben, sei es eine plötzlich auftretende Überschwemmung oder die Trennung vom Fluss.

Eine wichtige Aufgabe im Wasserbau ist daher die Stabilisierung Flusses. Dies kann einerseits durch Bauwerke geschehen, wie durch Betonrampen über einen festgelegten Flussabschnitt, andererseits durch das Einbringen von Sediment mit einem entsprechend großen mittleren Korndurchmesser. Auf letztere Weise lassen sich Flüsse unauffällig stabilisieren und das Landschaftsbild wird nicht zwingend beeinträchtigt.

Um nun aber die kritische Sohlschubspannung zu bestimmen, wird der mittlere Korndurchmesser benötigt, welcher sich aus der Korngrößenverteilung ableitet. Diese muss korrekt bestimmt werden, damit letztendlich dem Flussbett keine falsche kritische Sohlschubspannung und dadurch kein falscher Grenzwert für den Sedimenttransport zugesprochen wird.

## **1.2 Aufgabenstellung und Motivation**

### **1.2.1 Die Linienzahlanalyse**

Die Linienzahlanalyse stellt eine benutzerfreundliche Alternative zur klassischen Bestimmung der Sieblinie dar, welche unter 1.3. näher erläutert wird. Grundidee der Linienzahlanalyse ist, die Durchmesser der Steine der Oberschicht eines Flussbettes zu messen und damit Rückschlüsse auf die Korngrößenverteilung der Ober- und Unterschicht tätigen zu können. Für die praktische Messung wird hierbei auf einem Kiesbett gemessen, welches aufgrund der regelmäßigen Flutung eine vergleichbare Korngrößenverteilung wie das Flussbett inne hat. Dabei wird eine Schnur oder ein Maßband in Fließrichtung des Flusses gespannt und die darunter liegenden Steine gemessen. Die Feianteile werden hierbei mit einer Kornverteilung nach Fuller angenähert (vgl. [5]). Vorteil dieses Verfahrens ist, dass keine Bodenprobe in ein Labor gebracht werden muss. Vor Ort werden Ergebnisse erzielt, mit denen weiter gearbeitet werden kann.

Das Verfahren ist leicht mit zwei oder drei Personen innerhalb von 10 - 15 Minuten durchzuführen und es wird nur wenig Ausrüstung benötigt.

Diese Methode wurde von dem Ingenieur T.C. Muir 1969 erstmals vorgestellt (vgl. [6]) und von dem Schweizer Ingenieur René Fehr im Jahre 1987 in dessen Dissertation weiterentwickelt. Die meisten Formeln und Angaben sowie Methodik in dieser Arbeit werden nach Fehr zitiert (vgl. [3] und [4]).

## 1.2.2 Motivation

Es ist Zielsetzung dieser Bachelorarbeit die Linienzahlanalyse anzuwenden und mit einer Siebung zu vergleichen. Es soll dabei geprüft werden, ob die Linienzahlanalyse für ausgewählte deutsche alpine Flüsse anwendbar ist. Im Zuge dessen wird ebenfalls geprüft, ob die Feinanteile der Korngrößenverteilung mit der Fullerverteilung darstellbar sind, wie dies in der Schweiz umsetzbar ist (vgl. [5]).

Dazu wurden an den Flüssen Isar, Loisach und Ammer an jeweils drei unterschiedlichen Flussufern mit unterschiedlichen Höhenlagen drei Linienzahlanalysen durchgeführt. An allen Messstellen wurden des Weiteren Bodenproben zum einen aus der Oberschicht und zum anderen aus der darunterliegenden Unterschicht entnommen.

Die Auswertung der Linienzahlanalysen und die Ergebnisse der Siebungen gilt es zu vergleichen um feststellen zu können, ob mit der Linienzahlanalyse in Verbund mit der Fullerverteilung auch an den deutschen Flüssen angewendet schlüssige Aussagen über die Sieblinien getätigt werden können.

## 1.3 Klassische Bestimmung der Sieblinie

Die Sieblinie stellt die Korngrößenverteilung eines Bodens dar. Diese Verteilung wird meist grafisch dargestellt, allerdings ist es auch üblich die Verteilung mit Zahlenwerten zu beschreiben. Eine Boden- bzw. eine Sedimentprobe wird dabei in Größenfraktionen aufgeteilt und durch Siebung und Abwiegen ermittelt, wie stark welche Fraktion vertreten ist. Eine übliche Fraktionsaufteilung sieht wie folgt aus:

$$\vec{Fr} = \begin{pmatrix} 90 \\ 60 \\ 31,5 \\ 16 \\ 8 \\ 4 \\ 2 \\ 1 \\ 0,5 \\ 0,25 \\ < 0,25 \end{pmatrix} [mm] \quad (1.3)$$



((a)) Sedimentprobe Isar bei Mittenwald



((b)) Sedimentprobe in seine Fraktionen aufgeteilt

Abbildung 1.1: Sediment von der Probe zu den Fraktionen

Das zu beprobende Sediment wird an den Probepunkten mithilfe eines Eimers und einer Schaufel entnommen (Abbildung 1.1 a). Diese Sedimentprobe wird zuerst bei  $106^{\circ}\text{C}$  getrocknet (Abbildung 1.2 b) und für die Fraktionsaufteilung gewogen. Die Trocknung muss erfolgen, da die Unterteilung in die Fraktionen durch Wiegen geschieht und bei einer ungetrockneten Probe das Wassergewicht die Ergebnisse verfälschen würde. Die getrocknete Probe wird in einen Siebturm (Abbildung 1.2 a) gegeben und für mindestens 10 Minuten gerüttelt. Ein Siebturm besteht aus mehreren Sieben mit quadratischer Maschenweite wie sie der Vektor (1.3) beschreibt.



((a)) Siebturm mit mehreren aufgeschichteten Sieben



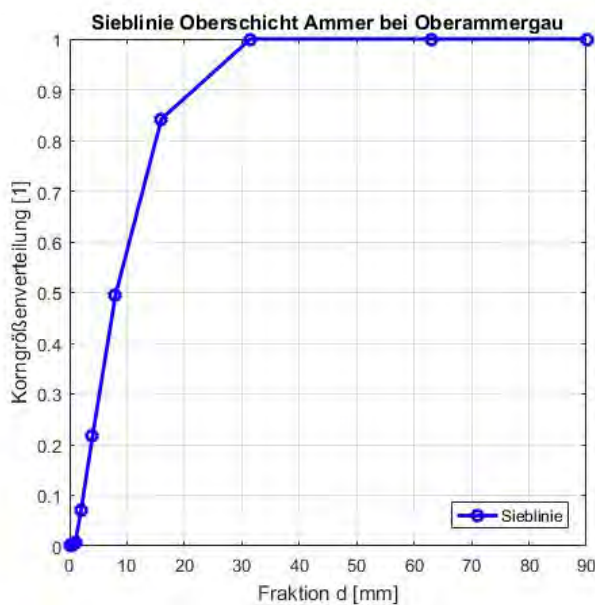
((b)) Trocknungsschrank zum Trocknen der Sedimentproben

Abbildung 1.2: Laborgeräte für die Probenbearbeitung

Durch das Rütteln fällt das Sediment nach und nach durch die Siebe und bleibt in dem Sieb liegen, durch das es aufgrund des eigenen Korndurchmessers nicht mehr hindurchpasst. Auf diese Art und Weise lassen sich die Probenpartikel in die Fraktionen aufteilen. Eine Sedimentprobe in seine einzelnen Fraktionen aufgeteilt wird beispielhaft in Abbildung 1.1 b dargestellt.

Der Siebrückstand jedes Siebs wird separat gewogen und notiert. Die Summe des Gewichtes aller Siebrückstände darf von der ursprünglich gewogenen Gesamtmasse nicht um mehr als 1 % abweichen. Sollte die Abweichung größer als 1 % sein, muss erneut gewogen und gesiebt werden (vgl [2]).

Die Anteile der Fraktionen werden prozentual angegeben. Dies vereinfacht die Anschaulichkeit und es ist möglich unterschiedliche Proben mit unterschiedlichen Probevolumina zu vergleichen. Abschließend wird die Korngrößenverteilung kumulativ dargestellt, um rechenfrei beispielsweise die 90 % oder 100 % Durchgänge zu erkennen. Abbildung 1.3 zeigt zwei mögliche und gängige grafische Darstellungsweisen der Sieblinie. Bei der linearen Darstellung (Abbildung 1.3 a) lassen sich leichter Aussagen über bestimmte Korndurchmesser tätigen. So ist es beispielsweise schnell erkennbar wie viel Siebdurchgang der Fraktion 20 mm erfolgt ist. Der Vorteil der logarithmischen Darstellung (Abbildung 1.3 b) ist, dass die Feianteile deutlicher zu erkennen sind.



((a)) Lineare Darstellung einer Sieblinie



((b)) Logarithmische Darstellung der Sieblinie

Abbildung 1.3: Grafisch dargestellte Sieblinien



# 2 Die Linienzahlanalyse

## 2.1 Zugrundeliegende Theorie der LZA

Ziel der Linienzahlanalyse ist es die Korngrößenverteilung der Ober- und Unterschicht bei alpinen Flüssen zu ermitteln. Wie im vorangegangenen Kapitel bereits angesprochen, wird bei der Linienzahlanalyse an einem Kiesbett eine Schnur oder ein Maßband in Fließrichtung gespannt und mindestens 150 Steine mit einem Korndurchmesser von 1 cm aufwärts unterhalb dieser Schnur gemessen (Siehe Abbildung 2.1). Betrachtet werden die Steine, die die auf die Fläche lotrecht projizierte Schnur schneiden. Die gemessenen Steine müssen sichtbar unter der Schnur liegen. Steine, die sich unter größeren Steinen befinden, werden nicht gemessen. Ebenso wenig Steine, die nach der Entnahme eines Steins in die entstandene Lücke gefallen sind. Die gemessenen Steine sind im Folgenden nicht weiter von Bedeutung und werden zurück oder zur Seite gelegt, damit sie nicht weiter stören. Wichtig ist hierbei keinen Stein zweimal zu messen. Bei der Aufnahme der Steine sollte stets beachtet werden, dass mindestens 30 Steine der mittleren Fraktion aufgenommen werden.



Abbildung 2.1: Eine Schnur wird gespannt und die darunterliegenden Steine werden gemessen.

Die aufgenommenen Steine werden in Korngrößenfraktionen unterteilt. Fehr beschreibt die Grenzen der Fraktionen grob (dies bedeutet auf ganze Zahlen gerundet) mit einer Zahlenreihe (vgl. [3]). Diese lässt sich mathematisch wie folgt deuten:

$$Gr(n) = \sqrt{2}^n \quad \text{mit} \quad n \in \mathbb{N} \quad (2.1)$$

Fehr kommentiert an dieser Stelle, dass sich allerdings eine leichte Abstufung der Zahlenfolge bewährt hat (vgl. [3]). Die in der Praxis genutzte Einteilung der Fraktionen wird im Formular deutlich, welches in der Abbildung 2.2 dargestellt ist.

Steinzählung

Linienzahlanalyse: 3/3 Beobachter: Gruber, Baselt

Ort: ISAR, Lengries

Nr.	Größe [cm]	Nr.	Größe [cm]	Nr.	Größe [cm]	Nr.	Größe [cm]
1	3,1	39	8,7	77	3,4	115	2,2
2	5,2	40	4,2	78	5,4	116	4,9
3	17,5	41	5,3	79	3,2	117	4,0
4	4,3	42	4,8	80	4,4	118	3,9
5	4,9	43	3,7	81	6,1	119	6,7
6	2,6	44	5,6	82	3,7	120	13,3
7	6,7	45	3,9	83	5,1	121	6,7
8	3,4	46	2,3	84	5,6	122	6,6
9	6,6	47	11,4	85	5,1	123	3,2
10	5,0	48	11,4	86	6,6	124	3,6
11	5,7	49	3,8	87	8,2	125	2,9
12	7,8	50	4,7	88	3,7	126	6,3
13	5,6	51	10,7	89	4,3	127	4,2
14	7,0	52	8,7	90	4,5	128	3,1
15	7,1	53	5,3	91	4,6	129	4,3
16	5,8	54	7,5	92	3,8	130	7,9
17	4,2	55	7,5	93	6,7	131	1,4
18	4,2	56	5,6	94	3,8	132	10,7
19	11,8	57	5,1	95	5,2	133	2,1
20	2,2	58	3,7	96	1,3	134	1,6
21	3,3	59	2,4	97	2,2	135	7,7
22	2,2	60	3,6	98	1,6	136	1,3
23	4,1	61	2,7	99	7,4	137	5,6
24	3,8	62	4,2	100	7,0	138	8,3
25	10,9	63	6,2	101	7,0	139	5,5
26	4,5	64	9,2	102	3,9	140	1,6
27	30	65	10,6	103	4,3	141	3,9
28	4,1	66	4,2	104	2,6	142	9,1
29	3,7	67	4,2	105	10,3	143	5,3
30	5,2	68	10,5	106	5,6	144	10,6
31	3,8	69	9,2	107	5,1	145	3,5
32	6,2	70	2,7	108	12,6	146	2,2
33	6,7	71	7,2	109	10,9	147	1,3
34	6,0	72	6,2	110	8,5	148	10,4
35	11,8	73	4,6	111	2,9	149	2,6
36	4,6	74	8,6	112	6,7	150	5,3
37	6,4	75	6,8	113	3,2		
38	4,2	76	8,1	114	8,6		

Linienzahlanalyse

Geschiebeanalyse 3 Datum 12.10.2017

Linienzahlanalyse No 3/3 Beobachter Gruber, Baselt

Standort Isar bei Lengries, 47.65914°N 11.58492°E

Fraktion [cm]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	n	Δ%	Fraktion [cm]	Σ%
< 1											0	0		
1 - 2											7	0,045	2,0	0,045
2 - 3											16	0,100	3,0	0,145
3 - 4											22	0,140	4,0	0,285
4 - 6											47	0,310	6,0	0,600
6 - 8											27	0,170	8,0	0,770
8 - 10											15	0,1	10,0	0,870
10 - 12											12	0,08	12,0	0,950
12 - 15											3	0,02	15,0	0,970
15 - 20											1	0,005	20,0	1,0
20 - 25											0	0		
25 - 30											0	0		
30 - 35											0	0		
35 - 40											0	0		
40 - 50											0	0		
50 - 60											0	0		
60 - 80											0	0		
80 - 100											0	0		
100 - 120											0	0		
120 - 150											0	0		
150 - 200											0	0		
> 200											0	0		
Σ											150	1,0		

$d_{max} = 17,5$  [cm]

((a)) Formular zur Aufnahme von 150 Steinen

((b)) Auswertungsformular einer Linienzahlanalyse

Abbildung 2.2: Formulare zur Bestandsaufnahme der Linienzahlanalyse.

Zu beachten ist, dass das Größtkorn gesondert angegeben sein muss. Die Einteilung der Fraktionen, die Anzahl der dazugehörigen Steine und die Angabe des Größtkorns sind die eigentlich relevanten Daten für die Berechnung der späteren Korngrößenverteilung, wobei es ratsam ist die tatsächlichen Messdaten festzuhalten, um die Richtigkeit des Auswertungsformulars stets überprüfen zu können. In Abbildung 2.2 b sind diese Angaben wie folgt ersichtlich: Die Einteilung der Fraktionen ist links in der Spalte Fraktionen dargestellt. Die Strichliste und rechts daneben die zusammenfassende Spalte  $n$  zeigt die Anzahl der Steine und das Größtkorn ist unten links gesondert angegeben.

### 2.1.1 Bestimmung der Oberschicht

Um von den Fraktionen und den in die Fraktionen eingeteilten Steinen auf eine erste Korngrößenverteilung der Oberschicht zu schließen, können folgende Formeln hergenommen werden:

$$\delta p_o = \sum_{i=1}^k \delta q_i \quad (2.2)$$

mit:

$$\delta q_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (2.3)$$

mit:

$\delta p_o$  - Summenhäufigkeit der Fraktion i der Deckschicht

$\delta q_i$  - Anzahl Steine der Fraktion i / Anzahl Steine der ganzen Probe (Linienzahlanalyse der Deckschicht)

$n_i$  - Anzahl Steine der Fraktion i

$k$  - Anzahl Fraktionen

Fehr beschreibt diese Formeln nicht expliziert, jedoch lässt sich die Gleichung (2.3) aus der später genutzten von Fehr zitierten (vgl. [3]) Gleichung (2.5) entnehmen. Da Korngrößenverteilungen in der Regel kumulativ dargestellt werden, wird die Gleichung (2.2) für die Bestimmung der Korngrößenverteilung hergenommen.

Aufgrund der Tatsache, dass nur Steine mit einem Durchmesser von 1 - 2 cm und größer in die Linienzahlanalyse aufgenommen wurden, ist diese Verteilung eine Verteilung der Grobkomponenten. Die Feinanteile mit Hilfe von Messverfahren im Felde durchzuführen, wäre äußerst zeitaufwendig und schwierig, da die exakte Messung des Durchmessers des Sediments mit einem Korndurchmesser von unter einem Zentimeter sich als schwierig erweist. Des Weiteren ist es bei zu kleinen Körnern schwierig zu prüfen, ob sich diese unter der Linie befinden, oder aufgrund des Blickwinkels des Betrachters nur scheinbar unter der Linie liegen. Zur Bestimmung der Feinanteile sollte daher ein anderer Ansatz gewählt werden. Eine im Schweizer Alpenraum gängige Methode für die Bestimmung der Feinanteile ist die Verteilung nach Fuller (vgl. [5]):

$$p(d) = \sqrt{\frac{d}{d_{Max}}} \quad \text{mit} \quad d \in \mathbf{R}^+ \quad (2.4)$$

Die Fullerverteilung soll nun hergenommen werden, um die fehlenden Feianteile der Korngrößenverteilung durch die Linienzahlanalyse zu ergänzen. Praktisch bedeutet dies, dass die Fullerverteilung die Korngrößenverteilung bis zum ersten Wert der Linienzahlanalyse der Oberschicht beschreibt und ab diesem ersten Wert die Linienzahlanalyse anzusetzen ist.

### 2.1.2 Umrechnung von Ober- auf Unterschicht

Da die meisten hydraulischen Problemstellungen von der Unterschicht ausgehen, muss von der Oberschicht auf die Unterschicht geschlossen werden. Die Unterschicht weist im Wesentlichen kleinere Anteile in der Korngrößenverteilung auf als die Oberschicht. Mit der folgenden Formel stellt Fehr eine erste Umrechnung der Linienzahlanalyse der Oberschicht in eine Korngrößenverteilung der Unterschicht dar [3].

$$\delta p = \frac{\delta q_i \cdot d_{mi}^{0,80}}{\sum_{i=1}^k \delta q_i \cdot d_{mi}^{0,80}} \quad \text{mit} \quad n, i \in \mathbf{N}^+ \quad (2.5)$$

mit:

$\delta p$  - Gewichtung der Fraktion  $i$  / Gewicht der ganzen Probe (Volumengewichtsanalyse der Unterschicht)

$\delta q_i$  - Anzahl der Steine der Fraktion  $i$  / Anzahl Steine der ganzen Probe (Linienzahlanalyse der Deckschicht)

$d_{mi}$  - mittlerer bzw. charakteristischer Korndurchmesser der Fraktion  $i$

$k$  - Anzahl Fraktionen

0,80 - Exponent  $\alpha$  zur Umrechnung von der Ober- zu der Unterschicht einer Linienzahlanalyse

Fehr beschreibt weiterhin, dass durch diese erste Umrechnung die feineren Fraktionen trotz Potenzgesetz unterschätzt werden (vgl. [3]). Dies ist hauptsächlich auf die schwierige Erfassung dieser Komponenten beim Messen zurückzuführen. Es gilt also eine Korrektur der Gleichung 2.5 durchzuführen, um die feineren Komponenten zu berücksichtigen. Für diese Berücksichtigung beschreibt Fehr folgenden Term:

$$p_i c = 0,25 + 0,75 \cdot \sum_{i=1}^i \delta p_i \quad \text{mit} \quad i \in \mathbf{N}^+ \quad (2.6)$$

mit:

$p_i c$  – korrigierte Summenhäufigkeit der Fraktion  $i$  (Unterschicht)

$\delta p$  – Gewichtung der Fraktion  $i$  / Gewicht der ganzen Probe

Dieser Verteilung fehlen lediglich noch die Feianteile, also alle Fraktionen, die kleiner als die kleinste Fraktion der Linienzahlanalyse sind. Fehr setzt hierbei für die Feianteile erneut die Fullerverteilung (Gleichung 2.4) an, um die Korngrößenverteilung vervollständigt darzustellen. Im Gegensatz zur Oberschicht muss bei der umgerechneten Linienzahlanalyse der Unterschicht anders differenziert werden bis zu welchem Punkt die Fullerverteilung gültig und ab wann die korrigierte Summenhäufigkeit anzusetzen ist. Dieser Übergangsbereich wird an der Stelle angesetzt, wo bei linearer grafischer Darstellung der Abszisse die Tangenten der Fullerverteilung und der korrigierten Summenhäufigkeiten näherungsweise gleich sind. Im Folgendem wird von diesem Bereich von der Tangentengleichheit gesprochen. Mathematisch beschrieben setzt die Tangentengleichheit demnach an dem Punkt an, an dem das erste Mal die Ableitungen der korrigierten Summenhäufigkeit (Gleichung (2.6)) und der Fullerverteilung (Gleichung (2.4)) gleich sind.

$$\frac{dp(d)}{dd} = \frac{dp_i c(d)}{dd} \quad \text{mit} \quad d \in \mathbf{R}^+ \quad (2.7)$$

mit:

$p(d)$  – Kornverteilung nach Fuller

$p_i c(d)$  – korrigierte Summenhäufigkeit der Fraktion  $i$  (Unterschicht)

Der beschriebene Bereich sollte allerdings nicht als einzelner Wert interpretiert werden, sondern als Intervall. Die Größe und die Stelle des Bereichs ist immer unterschiedlich und hängt von der jeweiligen Linienzahlanalyse ab. Jede Linienzahlanalyse ist daher individuell zu betrachten. Abbildung 2.3 zeigt für eine Linienzahlanalyse den gewählten Übergangsbereich.

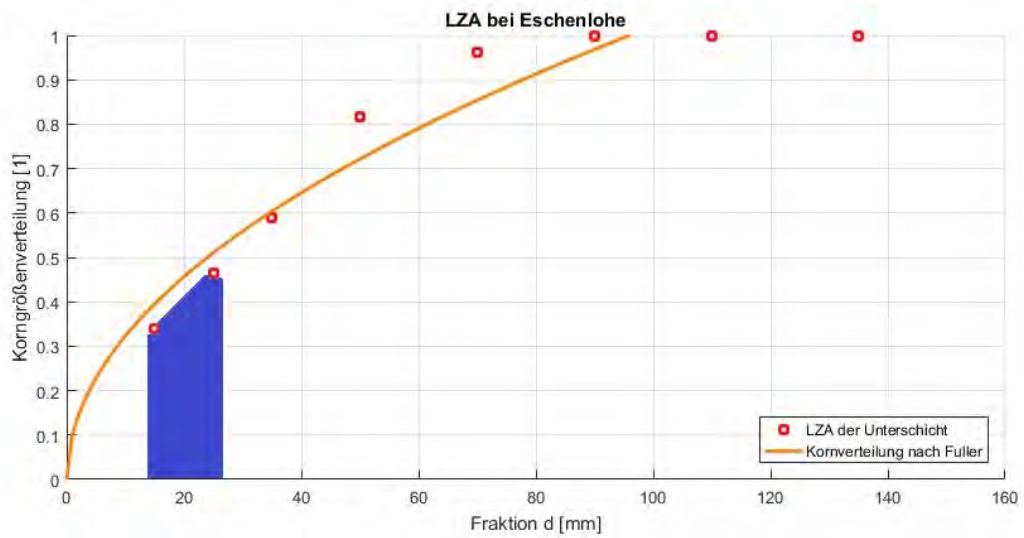


Abbildung 2.3: Grafisch dargestellter Übergangsbereich bzw. Tangentengleichheit

In der Praxis findet eine solche mathematische Bestimmung der Tangentengleichheit keine Anwendung, da diese aufwendig ist und eine Abschätzung des Bereichs hinreichend genaue Ergebnisse liefert.

### 2.1.3 Bemessung des Sediments

Eine Grundlage der Linienzahlanalyse ist neben der Messung der korrekten Steine die korrekte Bemessung dieser Steine. Gemessen wird bei der Linienzahlanalyse die Breite des Steins, welche im Folgendem B-Achse genannt wird. Abstrakt betrachtet würde bei einem Stein, welcher in ein möglichst kleines und passendes Rechteckprisma eingefügt würde (Abbildung 2.4), die mittlere Länge der drei Seitenlängen als B-Achse identifiziert und daher gemessen werden.

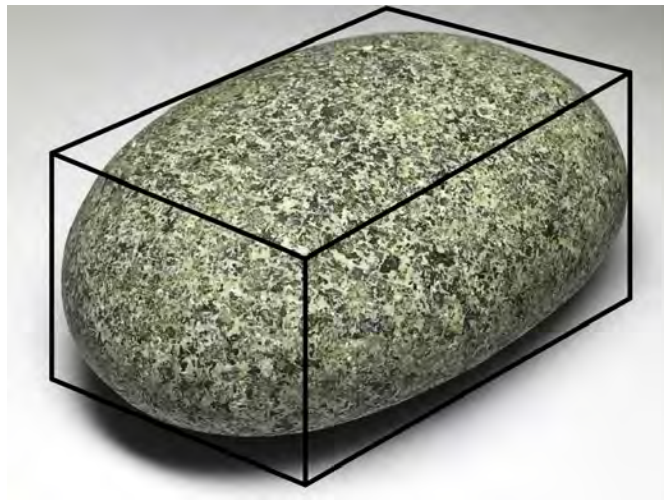
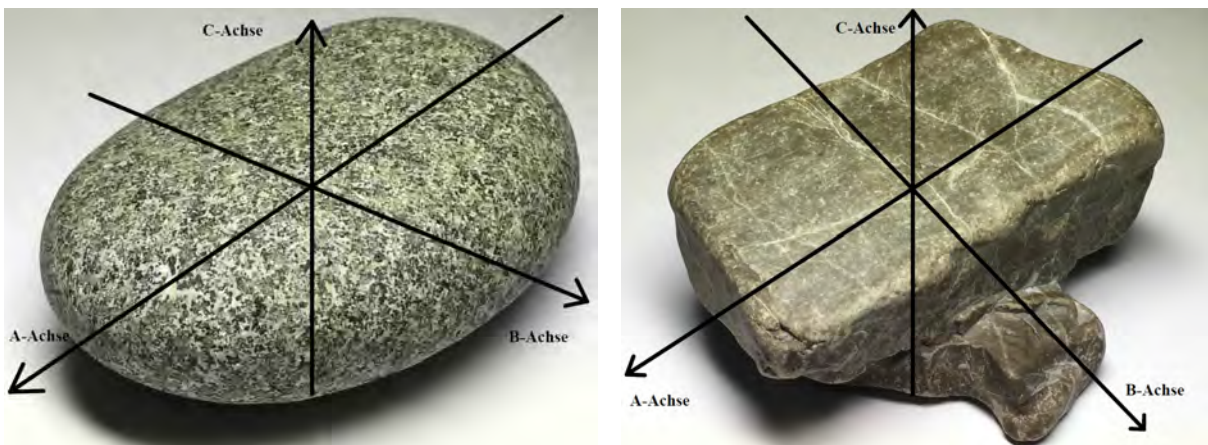


Abbildung 2.4: Probestein mit einem idealisiertem Prisma umhüllt

In der Praxis kann sich die eindeutige Bestimmung der B-Achse oft als schwierig gestalten, da nicht selten die zu untersuchenden Steine stark unregelmäßige Formen aufweisen (Beispiel Abbildung 2.5 b) und die Achseneindeutigkeit nicht gegeben ist, allerdings ist auch der Anteil leicht messbarer Steine wie in Abbildung 2.5 a häufig.



((a)) Probestein mit leicht bestimmbaren Achsen ((b)) Probestein mit schwer bestimmbaren Achsen

Abbildung 2.5: Probesteine mit zur Veranschaulichung angetragenen Achsen

Ein weiterer Punkt, den man in der Praxis nicht außer Acht lassen sollte, ist die Anhaftung von Feinanteilen an den zu bemessenden Steinen. Wenn bei Flüssen am Flussufer das Sediment trocken ist, so ist es in der Regel nur das oberflächliche Sediment. In die Hand genommene Steine weisen regelmäßig nasse Unterseiten auf. An diesen kleben oft Sand- und andere Kleinpartikel. Diese wiederum können sich im Millimeterbereich auswirken, wenn mit einem Messschieber gemessen wird und die Partikel nicht entfernt wurden (Siehe Abbildung 2.6 b). Daher ist es wichtig, den Stein zumindest an den Stellen von Kleinsediment zu befreien, wo der Messschieber angehalten wird (Abbildung 2.6 a).



((a)) Grob gereinigter Stein beim Messen birgt weniger Potential für Messfehler



((b)) Verunreinigte Steine sorgen regelmäßig für Messungenauigkeiten, wenn diese nicht grob gereinigt werden

Abbildung 2.6: Gesteinsmessung im Felde mit Messschieber

## 2.2 Linienzahlanalyse in der Praxis

Ein großer Vorteil bei der praktischen Anwendung der Linienzahlanalyse gegenüber herkömmlichen Methoden zur Bestimmung der Korngrößenverteilung ist, dass nicht sehr viel Ausrüstung benötigt wird. Schweres Gerät beispielsweise wird gar nicht gebraucht. Neben der Schnur oder einem Maßband wird lediglich ein Messschieber bzw. ein Messwerkzeug und eine Möglichkeit zum Festhalten der Daten benötigt.

### 2.2.1 Die Messstellen

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde an insgesamt drei unterschiedlichen Flüssen gemessen: Isar, Loisach und Ammer. An allen Flüssen wurden an drei unterschiedlichen Flussabschnitten die Linienzahlanalyse dreimal durchgeführt sowie eine Sedimentprobe



der Ober- und Unterschicht entnommen. In der Summe ergibt dies insgesamt 27 durchgeführte Linienzahlanalysen und 18 Sedimentproben. Alle Messstellen lagen im alpinen Raum in unterschiedlichen Höhenlagen. Die Messungen wurden am Kiesbett der Flüsse durchgeführt.

Die Messbedingungen waren an allen Flüssen weitestgehend gleich. Unterschieden haben sich die Flüsse in Hinsicht auf die Durchführbarkeit der Messungen in unwesentlichen Bereichen wie der Begehrbarkeit oder dem Laubanteil auf der Kiesbettaoberfläche.

## Isar

Die Isar entspringt in Tirol im Hinterauertal und fließt rund 292 km in Richtung Nordosten bevor sie in Deggendorf in die Donau mündet. Die Linienzahlanalyse wurde bei Mittenwald, bei Vorderriß und bei Lenggries durchgeführt. Die Messungen an der Isar wurden am 12.10.2017 durchgeführt.

Die Messstelle bei Mittenwald ist am dichtesten vor den Alpen und hat die höchste Höhenlage. Die Koordinaten der Messstelle lauten:  $47.40352^{\circ}$  N  $11.26184^{\circ}$  E.



((a)) Messstelle bei Mittenwald:  $47.40352^{\circ}$  N  
 $11.26184^{\circ}$  E



((b)) Flussabschnitt bei der Messstelle Mittenwald

Abbildung 2.7: Isar bei Mittenwald

Die zweite Messstelle liegt bei Vorderriß. Diese befindet sich etwa 24 km flussabwärts von der Messstelle in Mittenwald. Die Koordinaten der Messstelle lauten:  $47.55325^{\circ}$  N  $11.42566^{\circ}$  E.



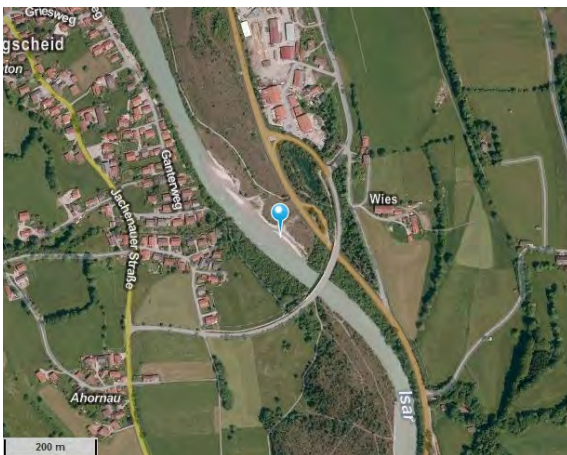
((a)) Messstelle bei Vorderriß:  $47.55325^{\circ}$  N  
 $11.42566^{\circ}$  E



((b)) Flussabschnitt bei der Messstelle Vorderriß

Abbildung 2.8: Isar bei Vorderriß

Rund 21 km flussabwärts von der zweiten Messstelle befindet sich die dritte Messstelle in der Nähe des Ortes Lenggries. Die Koordinaten der dritten Messstelle lauten:  $47.65914^{\circ}$  N  $11.58492^{\circ}$  E.



((a)) Messstelle bei Lenggries:  $47.65914^{\circ}$  N  
 $11.58492^{\circ}$  E



((b)) Flussabschnitt bei der Messstelle Lenggries

Abbildung 2.9: Isar bei Lenggries

## Loisach

Die Loisach entspringt nördlich des Fernpasses in Tirol und mündet nach rund 113 km in die Isar. Die Messstellen für die Linienzahlanalyse befinden sich in der Nähe von den Ortschaften Griesen, Eschenlohe und Penzberg. Die Messungen an der Loisach wurden am 19.10.2017 durchgeführt.

Von den Messstellen an der Loisach ist die südlichste und damit höchste Messstelle in der Nähe des Ortes Griesen. Die Koordinaten dieser ersten Messstelle lauten:  $47.48205^{\circ}\text{N}$   $10.98800^{\circ}\text{E}$ .



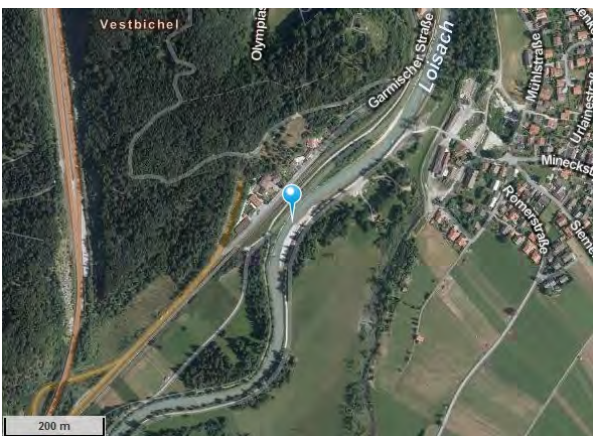
((a)) Messstelle bei Griesen:  $47.48205^{\circ}\text{N}$   $10.98800^{\circ}\text{E}$



((b)) Flussabschnitt bei der Messstelle Griesen

Abbildung 2.10: Loisach bei Griesen

Von dieser Messstelle 22 km flussabwärts liegt die zweite Messstelle nahe der Ortschaft Eschenlohe. Die Koordinaten dieser Messstelle lauten:  $47.59126^{\circ}\text{N}$   $11.18157^{\circ}\text{E}$ .



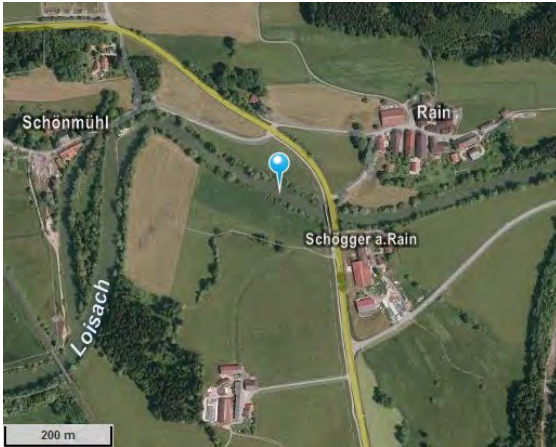
((a)) Messstelle bei Eschenlohe:  $47.59126^{\circ}\text{N}$   $11.18157^{\circ}\text{E}$



((b)) Flussabschnitt bei der Messstelle Eschenlohe

Abbildung 2.11: Loisach bei Eschenlohe

Die dritte der drei Messstellen an der Loisach liegt weitere 40 km stromabwärts in der Nähe von Penzberg. Die Koordinaten der dritten Messstelle lauten:  $47.74035^{\circ}\text{N}$   $11.41289^{\circ}\text{E}$ .



((a)) Messstelle bei Penzberg:  $47.74035^{\circ}$  N  
 $11.41289^{\circ}$  E



((b)) Flussabschnitt bei der Messstelle Penzberg

Abbildung 2.12: Loisach bei Penzberg

## Ammer

Südwestlich von Oberammergau in dem Bereich des Ammergebirges entspringt die gut 185 km lange Ammer, die in die Isar mündet. Die Messstellen dieses Flusses liegen nahe der Ortschaften Oberammergau, Rottenbuch und Oderding. Die Messungen an der Ammer wurden am 26.10.2017 durchgeführt.

Die erste und somit höchste Messstelle bei der Ammer liegt bei Oberammergau. Die Koordinaten dieser Messstelle lauten:  $47.58589^{\circ}$  N  $11.075445^{\circ}$  E.



((a)) Messstelle bei Oberammergau:  $47.58589^{\circ}$  N  
 $11.075445^{\circ}$  E



((b)) Flussabschnitt bei der Messstelle Oberammergau

Abbildung 2.13: Ammer bei Oberammergau

Die zweite Messstelle bei der Ammer liegt nahe des Ortes Rottenbuch. Die Koordinaten

dieser Messstelle lauten:  $47.73379^\circ$  N  $10.97702^\circ$  E.



((a)) Messstelle bei Rottenbuch:  $47.73379^\circ$  N  
 $10.97702^\circ$  E



((b)) Flussabschnitt bei der Messstelle Rottenbuch

Abbildung 2.14: Ammer bei Rottenbuch

Die dritte und damit letzte Messstelle an der Ammer liegt nahe der Ortschaft Oderding. Die Koordinaten dieser letzten Messstelle lauten:  $47.82678^\circ$  N  $11.12218^\circ$  E.



((a)) Messstelle bei Oderding:  $47.82678^\circ$  N  
 $11.12218^\circ$  E



((b)) Flussabschnitt bei der Messstelle Oderding

Abbildung 2.15: Ammer bei Oderding

## 2.2.2 Die Messungen

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, wurde an allen Messstellen eine Schnur in Fließrichtung gespannt und insgesamt 150 Steine gemessen. Zwei Personen haben hierbei die Steine vermessen und eine Person hat die Daten aufgeschrieben. Die messenden Personen haben hierbei von zwei unterschiedlichen Seiten der Schnur angefangen zu mes-

sen, um sich nicht gegenseitig zu behindern. Dies ist zulässig, da es unwesentlich ist von welcher Seite gemessen wird, da das Sediment zufallsverteilt auf der Oberfläche liegt.

Nach der Aufnahme von 150 Steinen, wurde die Schnur parallel um ca. 20 bis 30 cm versetzt, um eine erneute Messung für die Linienzahlanalyse durchzuführen (Siehe Abbildung 2.16). Nach der Aufnahme der drei Messungen für die Linienzahlanalyse wurde eine Bodenprobe der Oberschicht an der gleichen Stelle entnommen und danach eine Probe der darunterliegenden Unterschicht.



Abbildung 2.16: Die roten Linien markieren die Stellen der Messungen

Während der an verschiedenen Tagen vorgenommenen Untersuchungen waren gleiche äußere Einflüsse anzutreffen, sodass die Messungen immer gleich durchgeführt werden konnten. Es gab keinerlei Beeinträchtigung durch Witterungsverhältnisse, da das Wetter zu jeder Messung am Morgen bewölkt und am Nachmittag sonnig war und es weder geregnet noch geschneit hatte.

Eine mögliche Messungenauigkeit ist die personenabhängige Messung des betrachteten Sediments. Durch die teilweise sehr schwierige Bestimmung der B-Achse kann es hierbei zu Fehlern und falsch aufgenommenen Daten kommen. Ein weiteres Problem liegt darin, dass eine messende Person dazu neigen kann, nur "handtaugliche" Steine aufzunehmen und zu messen. Damit sind Steine gemeint, die sich leichter und schneller aufnehmen lassen. Dies sind zumeist Steine mit einem mittleren Korndurchmesser von 3 cm aufwärts. In diesem Falle würden die messbaren kleineren Fraktionen unterschätzt.

# 3 Ergebnisse und Auswertungen

Insgesamt wurden an drei Messstellen je Fluss drei Linienzahlanalysen durchgeführt und zwei Sedimentproben entnommen. Hierbei gilt es nun zwei Vergleiche aufzustellen und zu bewerten. Zum Einen wird die Linienzahlanalyse der Oberschicht im Verbund mit der Fullerverteilung (siehe 2.1.1) mit der Sieblinie der Oberschicht verglichen. Zum Anderen soll die umgerechnete Linienzahlanalyse der Unterschicht im Verbund mit der Fullerverteilung (siehe 2.1.2) mit der Sieblinie der Unterschicht verglichen werden. Dabei wird im Folgenden darauf eingegangen wie sich die Ergebnisse der Fullerverteilung und Linienzahlanalyse von denen der Sieblinien unterscheiden oder gleichen. Die Tangentengleichheit wird in den folgenden Grafiken mit zwei schwarzen Balken dargestellt, allerdings sollte beachtet werden, dass - wie im Kapitel 2.1.2 beschrieben wird - keine Berechnung für die Bestimmung erfolgt. Daher ist es möglich, dass die Bereiche der Tangentengleichheit auch anders gewählt werden können.

Im folgenden Kapitel werden die Feinanteile und danach die Grobkomponenten der Linienzahlanalyse und der Sieblinie miteinander verglichen. Dabei gilt es zu definieren bis zu welchem Punkt die Rede von den Feinanteilen ist und ab wann von den Grobkomponenten gesprochen wird. Diese Differenzierung ist wichtig, da in der rekonstruierten Korngrößenverteilung die Feinanteile durch die Fullerverteilung und die Grobkomponenten durch die Linienzahlanalyse dargestellt werden. Die Betrachtung beginnt immer bei dem Korndurchmesser  $0\text{ mm}$  bzw. beim Siebdurchgang von  $0\%$ . In der Oberschicht gilt die Fullerverteilung und damit die Feinkomponenten bis zum ersten Wert der Linienzahlanalyse der Oberschicht. Bis zu diesem Punkt wird von Feinanteilen gesprochen und ab diesem Punkt von den Grobkomponenten. Bei der Unterschicht gilt die Fullerverteilung bis zur Tangentengleichheit. Diese wird für jede Auswertung individuell angegeben und grafisch in Form der zwei genannten Balken dargestellt. Nach der Tangentengleichheit ist die Linienzahlanalyse der Unterschicht anzusetzen. Bis zu der Tangentengleichheit wird von den Feinanteilen und nach der Tangentengleichheit wird von den Grobkomponenten gesprochen. Da die Tangentengleichheit den Übergangsbereich zwischen Fullerverteilung und Linienzahlanalyse darstellt, muss, wenn nötig, die Sieblinie in diesem Bereich je nach Grenze eher mit der Fullerverteilung oder eher mit der Linienzahlanalyse verglichen werden.

Zunächst werden die drei Linienzahlanalysen an einer Messstelle gemittelt, um pro Messstelle eine gemittelte Linienzahlanalyse für den Gesamtvergleich zu erhalten. Um diese Mittlung als aussagekräftig werten zu können, muss geprüft werden, ob sich die drei Linienzahlanalysen wesentlich oder unwesentlich voneinander unterscheiden. Von einem wesentlichen Unterschied ist hierbei die Rede, wenn die grafischen Verläufe zweier Linienzahlanalysen unterschiedlich erkennbar sind. Ein unwesentlicher Unterschied wären

abweichende Werte in einem vergleichbaren Grafikverlauf. Um dies abwägen zu können, werden bei jeder Messstelle zunächst die drei Linienzahlanalysen der Oberschicht grafisch gegenübergestellt, um etwaige Unterschiede erkennen zu können. Es ist nicht notwendig die Linienzahlanalyse der Unterschicht ebenfalls miteinander zu vergleichen, da diese gänzlich aus der Linienzahlanalyse der Oberschicht bestimmt wird und sich daher nur ein skalarer Unterschied einstellen wird.

Im Folgenden wird diese grafische Gegenüberstellung "Innerer Vergleich" genannt.

## 3.1 Auswertung

### 3.1.1 Auswertung der Messstellen der Isar

#### Mittenwald

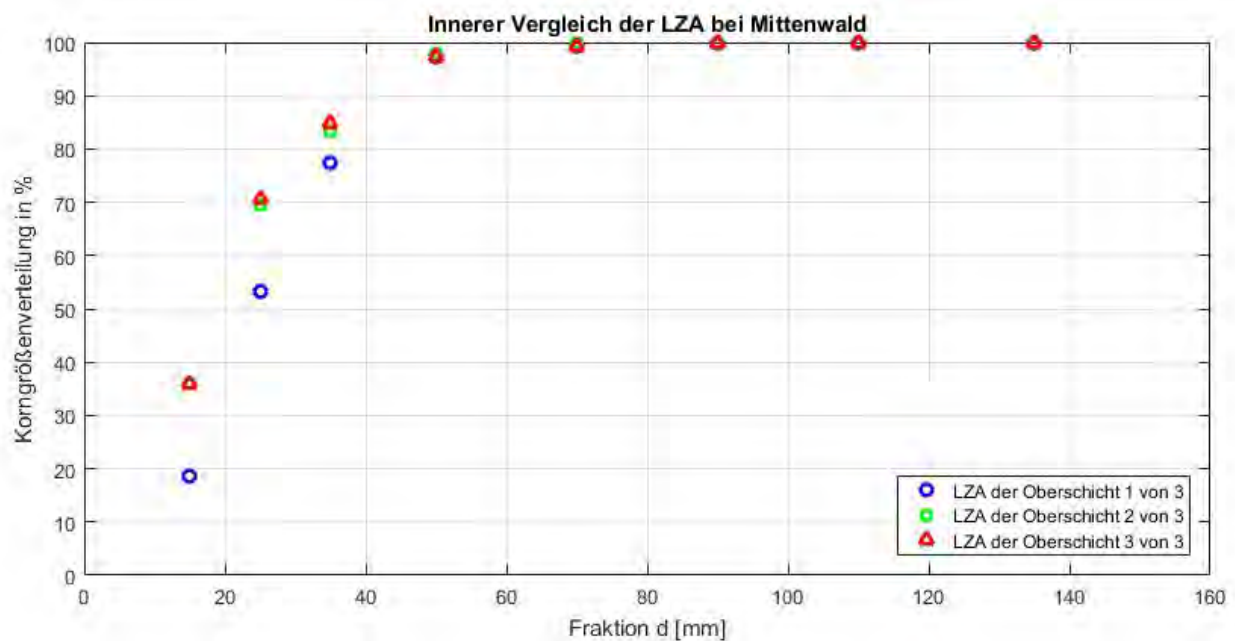


Abbildung 3.1: Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht

Der innere Vergleich der Linienzahlanalyse bei Mittenwald ergibt geringe Abweichungen bei der ersten Linienzahlanalyse im Vergleich zu den zwei Anderen. Da der Verlauf bei allen drei Linienzahlanalysen sehr gleich ist, kann eine Mittlung erfolgen.



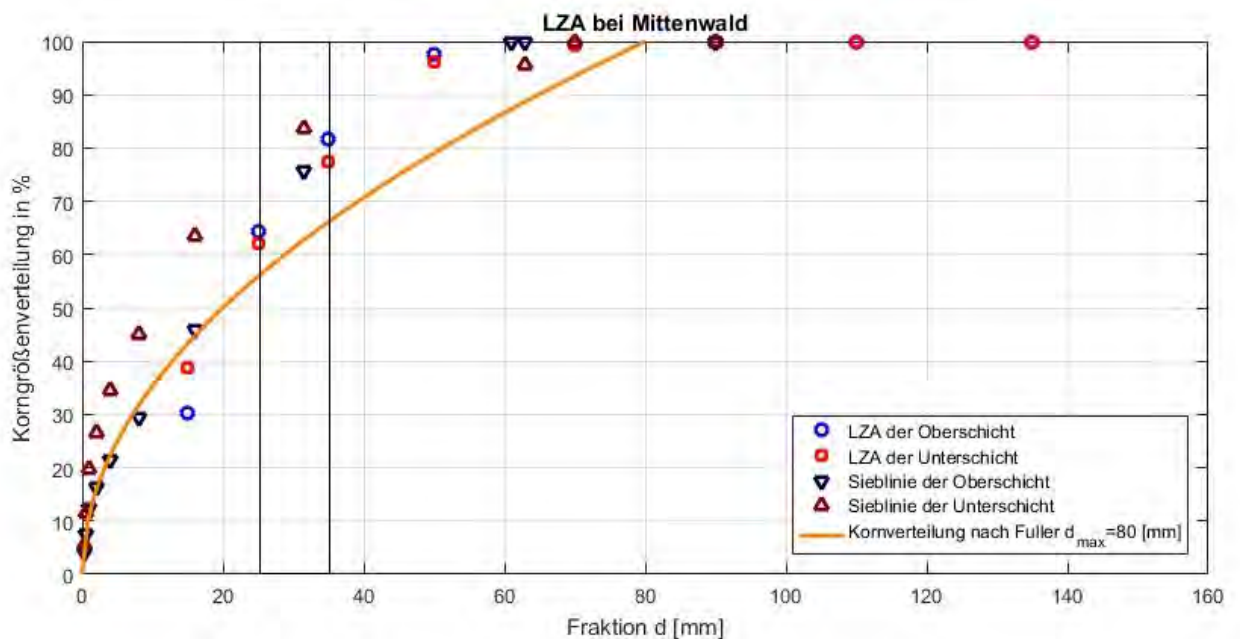


Abbildung 3.2: Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich

**Oberschichtvergleich:** Die Feinanteile nach Fuller stimmen mit denen der Sieblinie überein. Die Feinanteile wurden daher treffend rekonstruiert. Auch die größeren Fraktionen stimmen in Linienzahlanalyse und Sieblinie überein. Es sind kleinere Abweichung vorhanden, die aber nicht weiter ins Gewicht fallen.

**Unterschichtvergleich:** In der Unterschicht beschreibt die Kornverteilung nach Fuller die ersten 20 % sehr ähnlich wie der Verlauf der Sieblinie in den Feinanteilen. Ab der Korngröße von 8 mm aufwärts bis zur Tangentengleichheit ist erkennbar, dass die Sieblinie feiner als die Fullerverteilung ist. Die Tangentengleichheit liegt im Bereich von 25 mm bis 35 mm. Nach der Tangentengleichheit treten bei den größeren Fraktionen ebenfalls Unterschiede auf. Die Sieblinie beschreibt eine feinere Korngrößenverteilung als die Linienzahlanalyse im Bereich kleiner 40 mm.

## Vorderriß

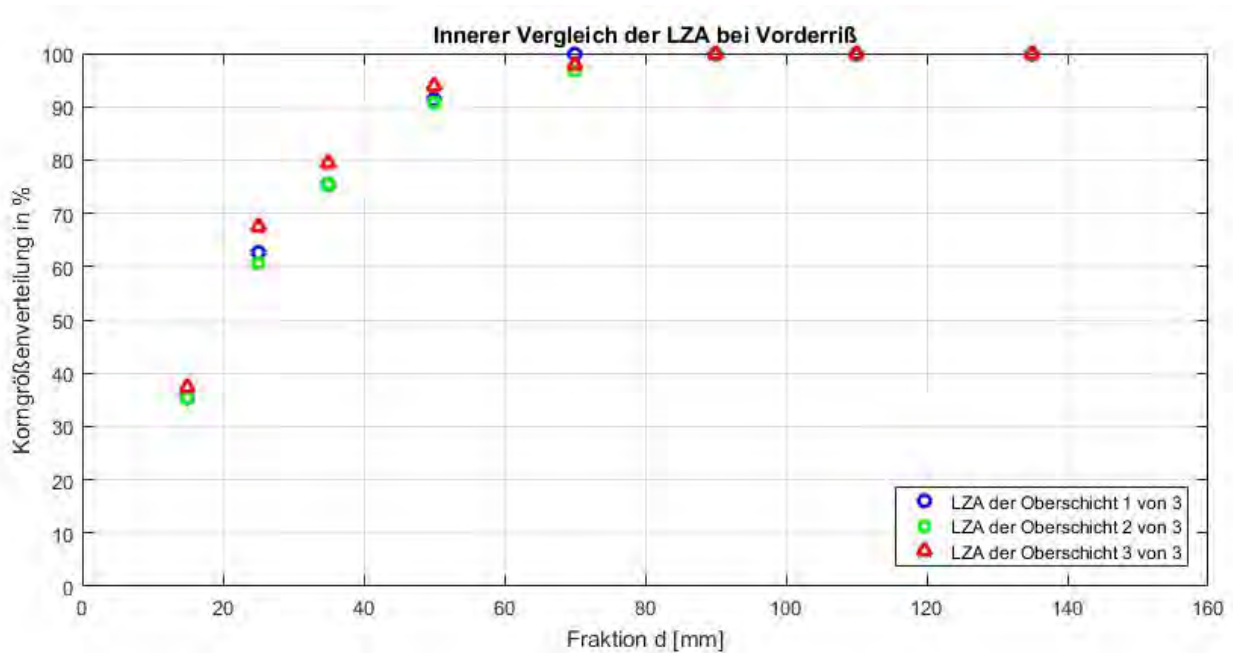


Abbildung 3.3: Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht

Auch bei Vorderriß ähneln sich die drei Linienzahlanalysen im inneren Vergleich genug, um eine Mittlung rechtfertigen zu können. Die Abweichungen sind gering und daher nicht von größerer Bedeutung.

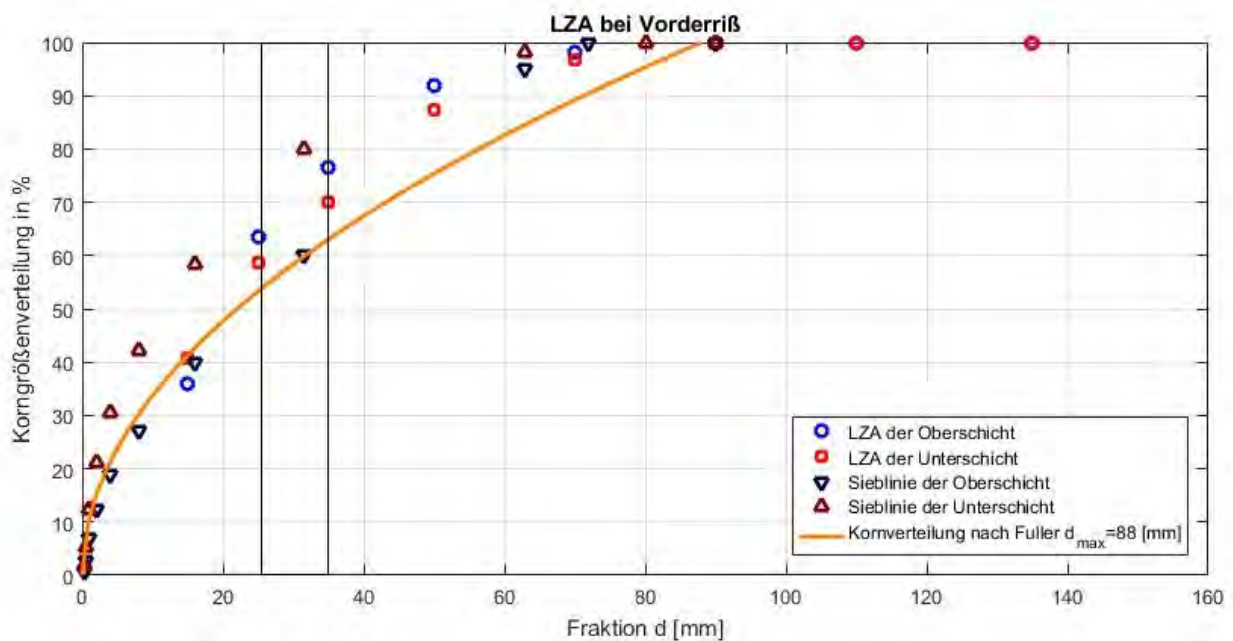


Abbildung 3.4: Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich

**Oberschichtvergleich:** Die Fullerverteilung und die Sieblinie der Oberschicht stimmen weitestgehend in den Feianteilen überein. Im Grobkomponentenbereich ist erkennbar, dass die Sieblinie etwas gröber als die Linienzahlanalyse vertreten ist.

**Unterschichtvergleich:** Wie in der Oberschicht, stellt auch in der Unterschicht die Fullerverteilung eine Korngrößenverteilung der Feianteile dar, allerdings nur bis 20 %. Bis zur Tangentengleichheit bei 25 mm ist die Sieblinie feiner vertreten. Die Tangentengleichheit liegt im Bereich von 25 mm bis 35 mm. Bei den gröberen Anteilen ist auch ähnlich wie bei der Oberschicht die Sieblinie mit feineren Anteilen vertreten als die Linienzahlanalyse.

## Lenggries

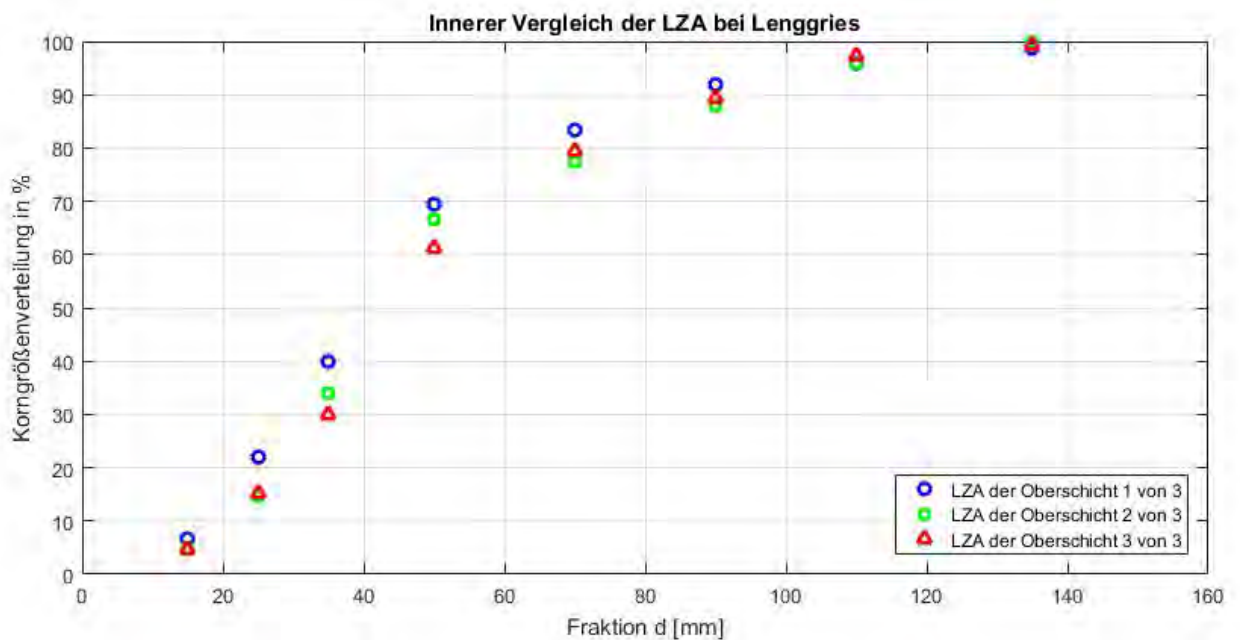


Abbildung 3.5: Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht

Im inneren Vergleich ist erkennbar, dass die Linienzahlanalysen zwar einen anderen grafischen Verlauf als die in den Abbildungen 3.1 und 3.3 annehmen, aber da die eigenen Verläufe sich sehr ähneln, ist nach wie vor die Mittlung vertretbar.

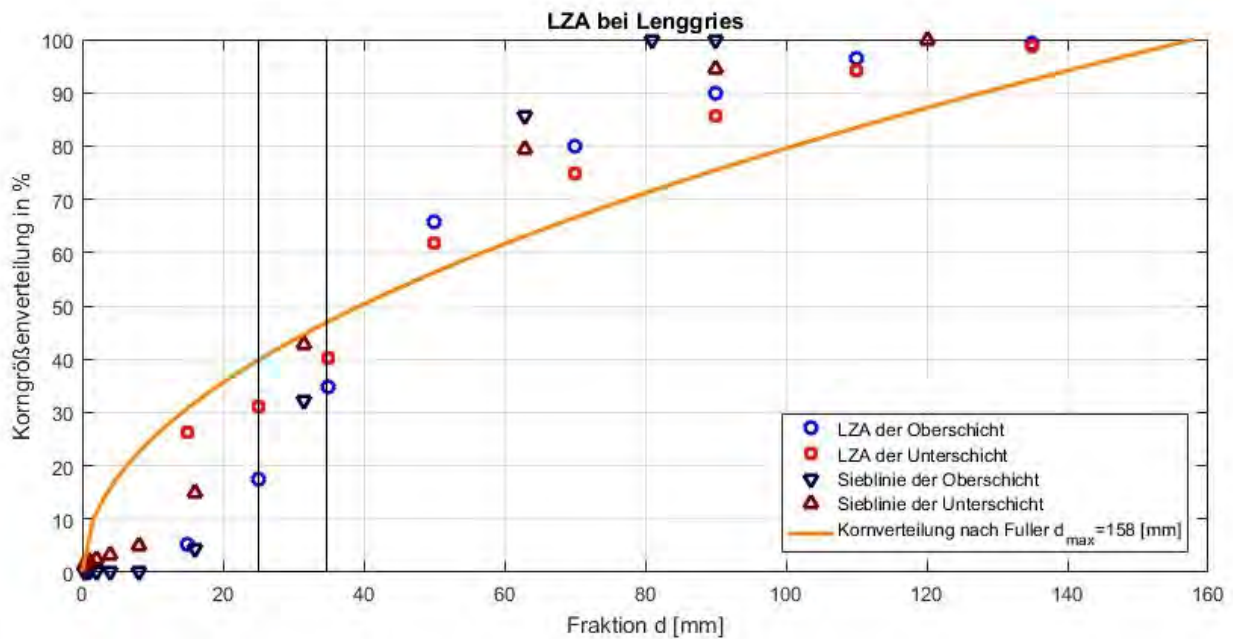


Abbildung 3.6: Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich

**Oberschichtvergleich:** Die Feinanteile nach Fuller und die Feinanteile der Sieblinie stimmen nicht überein. Da die Fullerverteilung bis zum ersten Wert der Linienzahlanalyse gültig sein soll, würde man im Vergleich mit der Siebung die Feinanteile stark überschätzen. Auch aufgrund der Tatsache, dass kein geeigneter Übergang von Fullerverteilung und Linienzahlanalyse ersichtlich ist, bleibt die Frage offen, ob die Kornverteilung nach Fuller für die Feinanteile hier ratsam ist. Der Vergleich der Grobkomponenten der Sieblinie mit denen der Linienzahlanalyse liegt näher beieinander, auch wenn die Sieblinie früher die 100 % Marke erreicht und damit feiner als die Linienzahlanalyse vertreten ist.

**Unterschichtvergleich:** Die Bewertung der Feinanteile der Unterschicht gestaltet sich ähnlich wie bei der Oberschicht. Die Kornverteilung nach Fuller überschätzt die Feinanteile stark. Die Tangentengleichheit liegt im Bereich von 25 mm bis 35 mm. Bei den größeren Fraktionen sind mehr Übereinstimmungen ersichtlich, allerdings unterscheiden sich die Linienzahlanalyse der Unterschicht und die Sieblinie in ihrem jeweiligen Verlauf. So erreicht die Siebung im Gegensatz zu der Linienzahlanalyse früher ihr Maximum, doch zeigt sich dafür im Bereich von 30 mm bis 60 mm eine gewisse Gleichheit.

Von den drei Auswertungen der Isar waren zwei Linienzahlanalysen sehr vergleichbar mit den dazugehörigen Siebungen. Die Abweichungen der Auswertung der Messstelle bei Lenggries waren nicht unwesentlich genug, um diese als Zufall oder unwichtig zu bezeichnen. An dieser Stelle lässt sich vermuten, dass die Messstelle bei Lenggries bereits zu weit von dem Alpenraum entfernt war, um eine Linienzahlanalyse zum Vergleich heranziehen zu können.

### 3.1.2 Auswertung der Messstellen der Loisach

#### Griesen

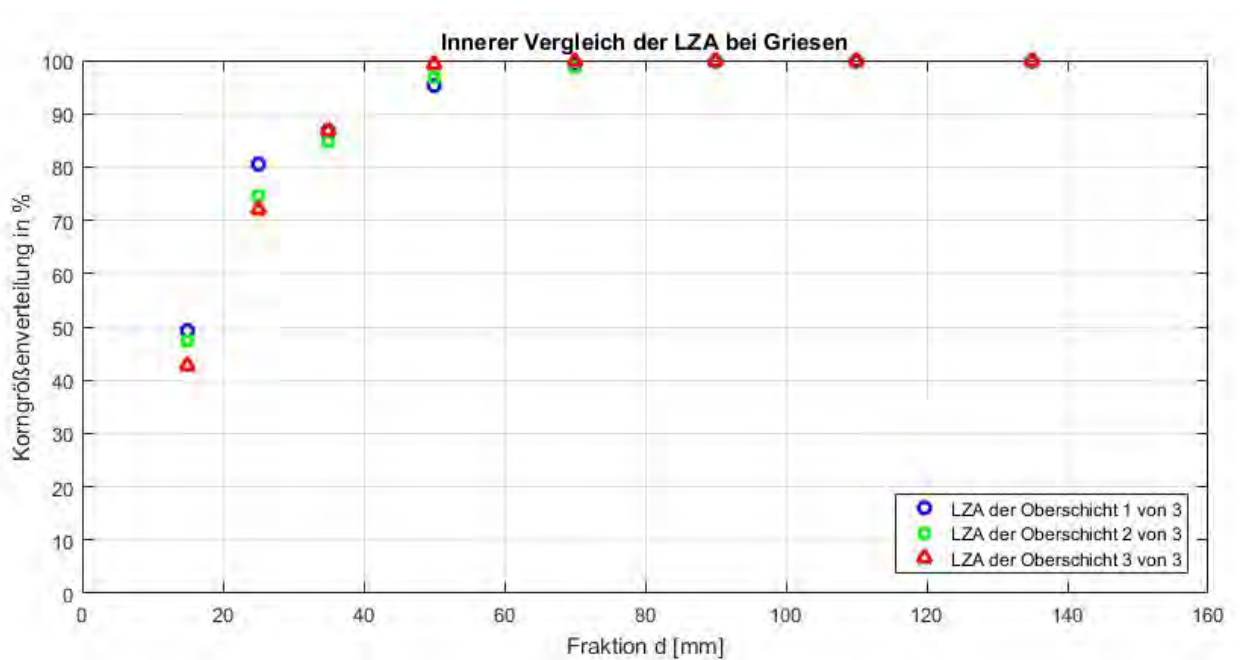


Abbildung 3.7: Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht

Im inneren Vergleich wird ersichtlich, dass nur geringe Abweichungen gegeben sind. Die Verläufe ähneln sich stark und eine Mittlung ist daher gerechtfertigt.

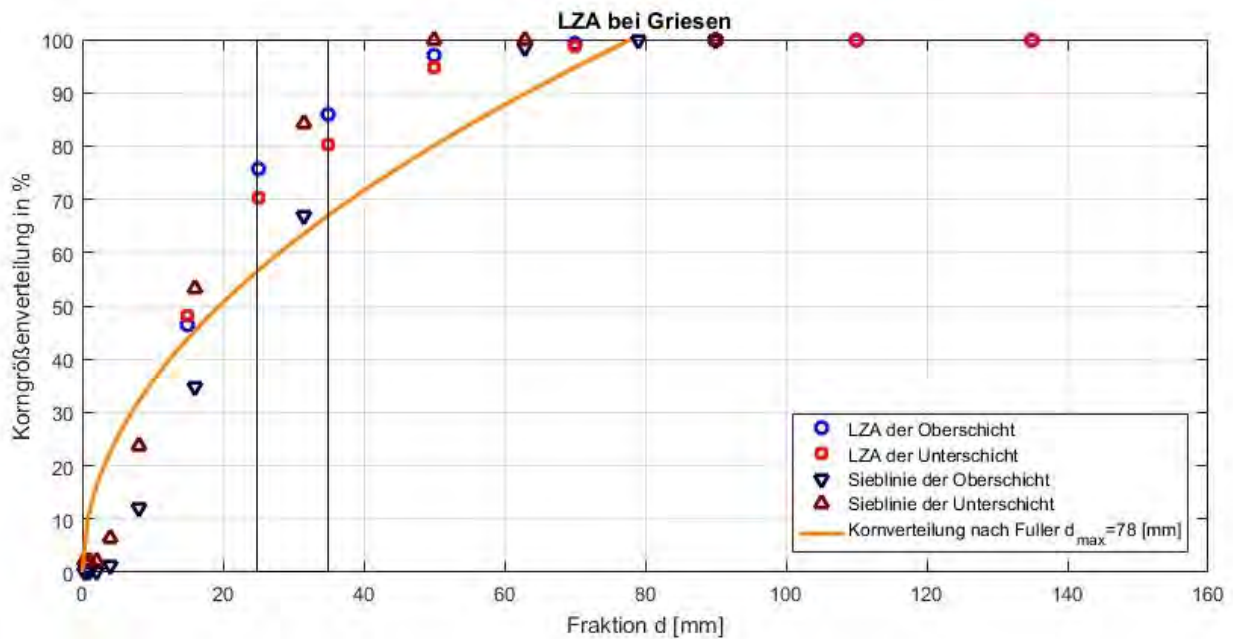


Abbildung 3.8: Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich

**Oberschichtvergleich:** Bei den Feinanteilen der Oberschicht ist eine Überschätzung durch die Verteilung von Fuller gegenüber den Feinanteilen der Sieblinie erkennbar. Die größeren Komponenten der Linienzahlanalyse sind ebenfalls feiner als die Grobkomponenten der Siebung.

**Unterschichtvergleich:** Auch die Feinanteile der Unterschicht werden durch die Fuller-Verteilung überschätzt im Vergleich zu der Siebung der Unterschicht. Allerdings ist die Abweichung geringer als bei der Oberschicht. Die Tangentengleichheit liegt im Bereich von  $25\text{ mm}$  bis  $35\text{ mm}$ . Bei den größeren Komponenten ist zwar eine Abweichung im Verlauf von Linienzahlanalyse der Unterschicht und Sieblinie der Unterschicht erkennbar, aber diese Abweichung ist nicht sonderlich groß und daher nicht als wesentlich abweichend zu betrachten.

## Eschenlohe

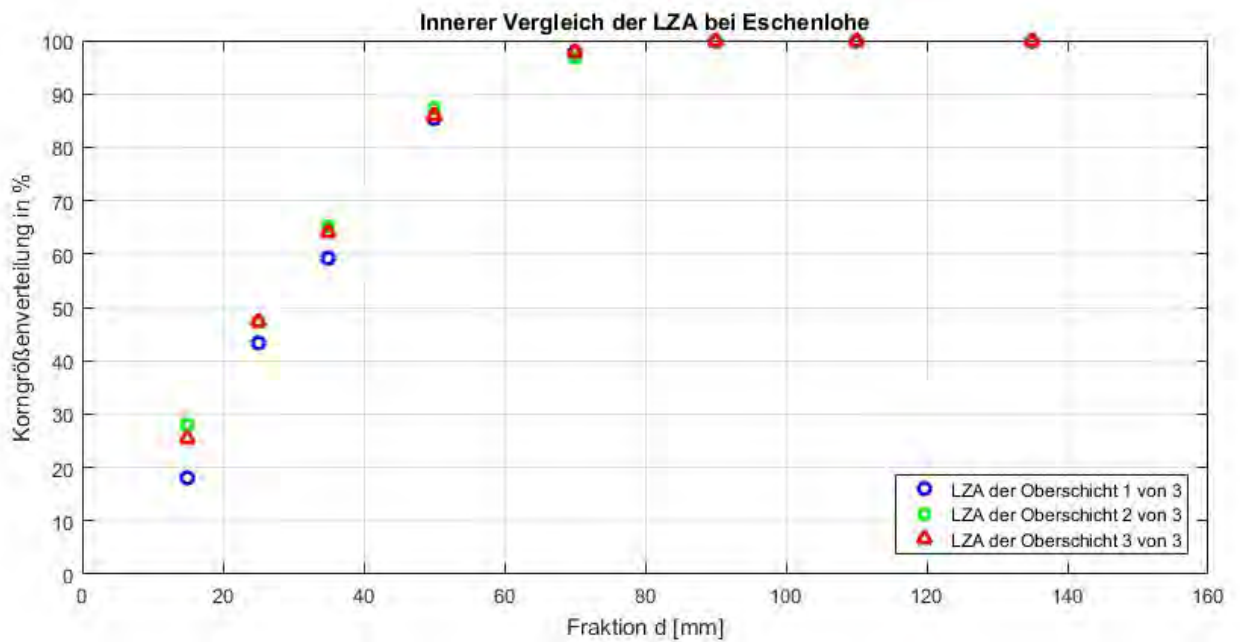


Abbildung 3.9: Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht

Der innere Vergleich der Linienzahlanalysen von Eschenlohe zeigt, dass die drei unterschiedlichen Linienzahlanalysen sich sehr gleichen in Werten und Verlauf, sodass eine Mittlung zur weiteren Berechnung hergenommen werden kann.

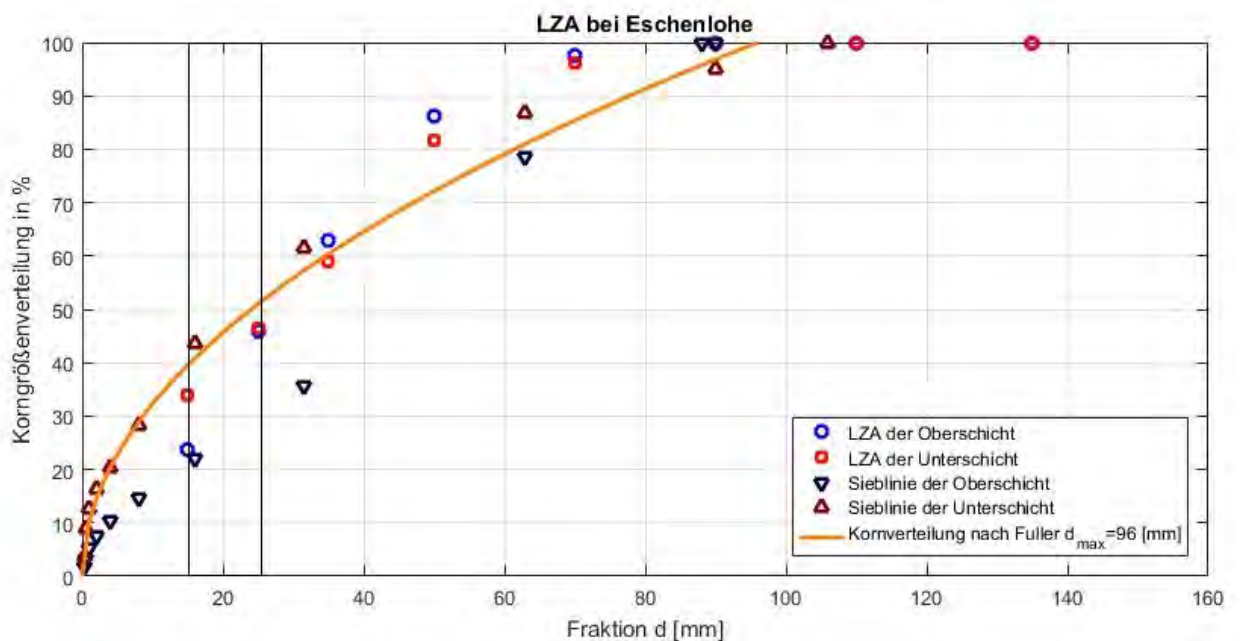


Abbildung 3.10: Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich

**Oberschichtvergleich:** Die Feinanteile der Sieblinie und die durch die Fullerverteilung

gleichen sich in den ersten 10 % sehr. Danach bleiben die durch die Fuller bestimmten Anteile feiner als die der Sieblinie. Bei den Grobkomponenten ist ersichtlich, dass die Fraktionen der Linienzahlanalyse gegenüber den gleichen Fraktionen der Sieblinie stets um rund 10% - 15% überschätzt werden.

**Unterschichtvergleich:** Bei der Unterschicht stimmen bei den Feianteilen die Kornverteilung nach Fuller mit der der Siebung nahezu überein. Etwaige Abweichungen sind klein und vernachlässigbar. Die Tangentengleichheit liegt im Bereich von 15 mm bis 25 mm. Bei den Grobkomponenten sind keine wesentlichen Abweichungen von der Linienzahlanalyse und der Siebung ersichtlich und können daher als übereinstimmend betrachtet werden.

## Penzberg

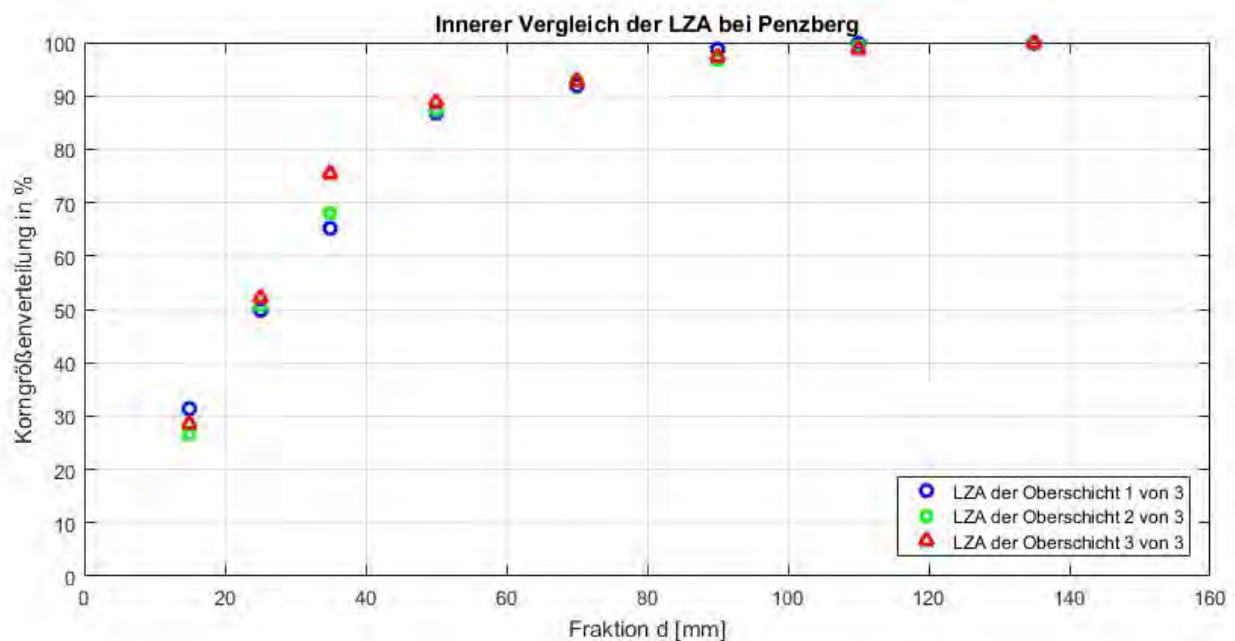


Abbildung 3.11: Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht

Eine Mittlung der Linienzahlanalyse ist erneut annehmbar, da Abweichungen in den einzelnen Linienzahlanalysen sehr gering sind und die Verläufe sich sehr gleichen.



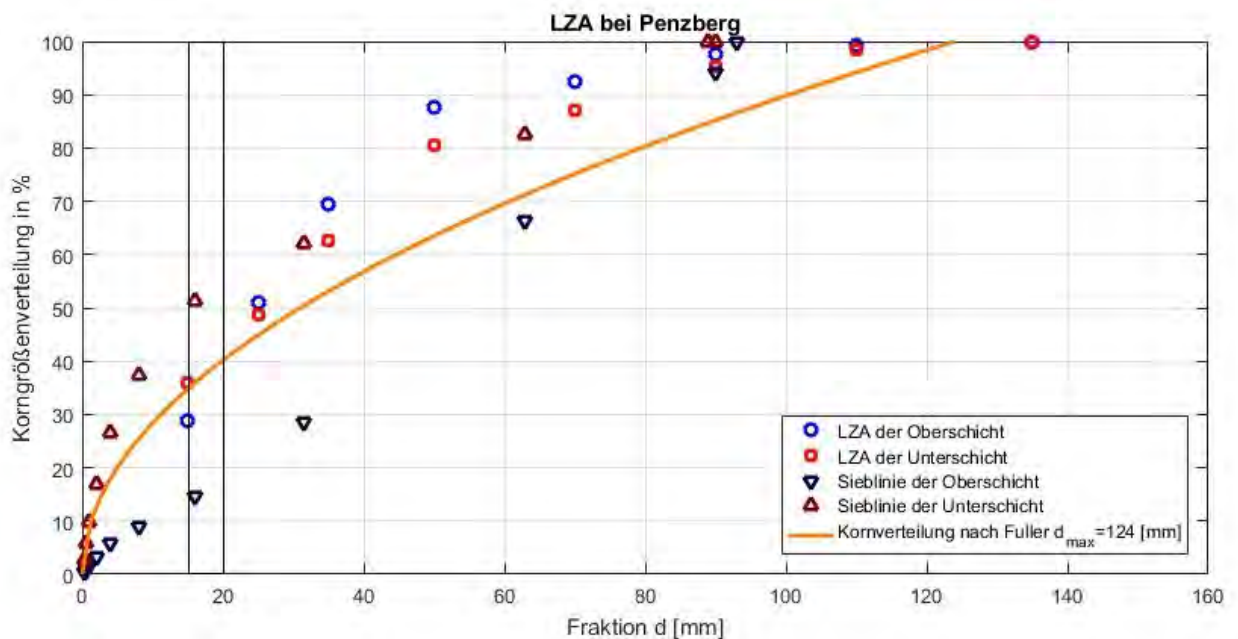


Abbildung 3.12: Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich

**Oberschichtvergleich:** Die Feianteile nach Fuller bestimmt und die Feianteile der Sieblinie sind nur in den Fraktionen von 1 mm und kleiner annähernd gleich. Danach überschätzt die Kornverteilung nach Fuller die Feianteile im Gegensatz zur Sieblinie wesentlich bis zu ungefähr 20 %. Bei den Grobkomponenten findet ebenfalls eine wesentliche Abweichung zwischen der Sieblinie und der Linienzahlanalyse statt. Hierbei überschätzt die Linienzahlanalyse die feineren Fraktionen im Vergleich zur Sieblinie.

**Unterschichtvergleich:** Bei der Unterschicht gleichen sich Kornverteilung nach Fuller und Sieblinie der Unterschicht die ersten 20 % weitestgehend. Danach wird die Sieblinie im Vergleich zur Linienzahlanalyse feiner vertreten, als die Fullerverteilung. Die Tangentengleichheit liegt im Bereich von 15 mm bis 20 mm. Die Linienzahlanalyse der Unterschicht gleicht der Sieblinie der Unterschicht fast vollständig.

Die Auswertungen der Messstellen Loisach zeigen wie schon bei der Isar das Bild von meist gleichen Sieblinien und Linienzahlanalysen. Abweichungen sind stets vorhanden, doch können solche Abweichungen auch entstehen, wenn man zwei unterschiedliche Siebungen eines Messortes miteinander vergleicht. Wieder haben sich die wesentlichen Unterschiede bei der letzten Messstelle und damit bei der Messstelle, die am weitesten vom Alpengebiet entfernt ist, gezeigt. Die Vermutung, dass hierbei der Vergleich Linienzahlanalyse mit Siebung nicht mehr annehmbar sein kann, bestätigt sich an dieser Stelle noch nicht, da die wesentlichen Abweichungen nur in der Oberschicht auftraten und die Linienzahlanalyse der Unterschicht eine sehr vergleichbare Korngrößenverteilung geliefert hat.

### 3.1.3 Auswertung der Messtellen der Ammer

#### Oberammergau

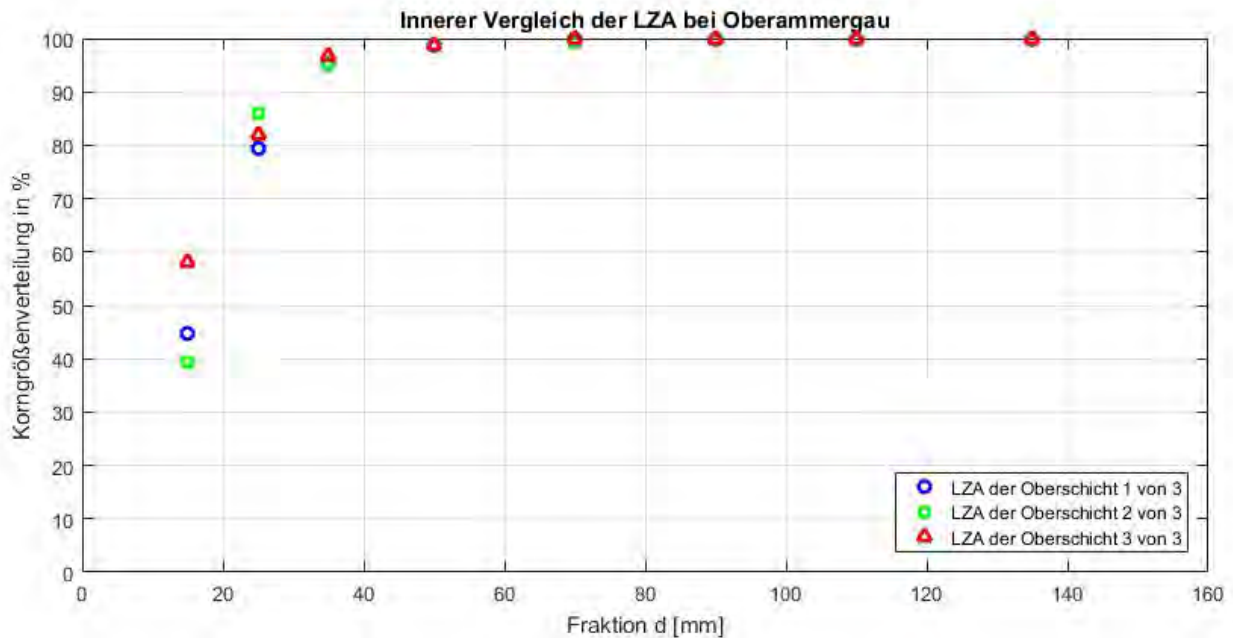


Abbildung 3.13: Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht

Der innere Vergleich von Oberammergau zeigt, dass Abweichungen in den Linienzahlanalysen in der 15 mm Fraktion gegeben sind, aber die Verläufe wiederum sich sehr ähneln. Eine Mittelung ist daher zulässig.

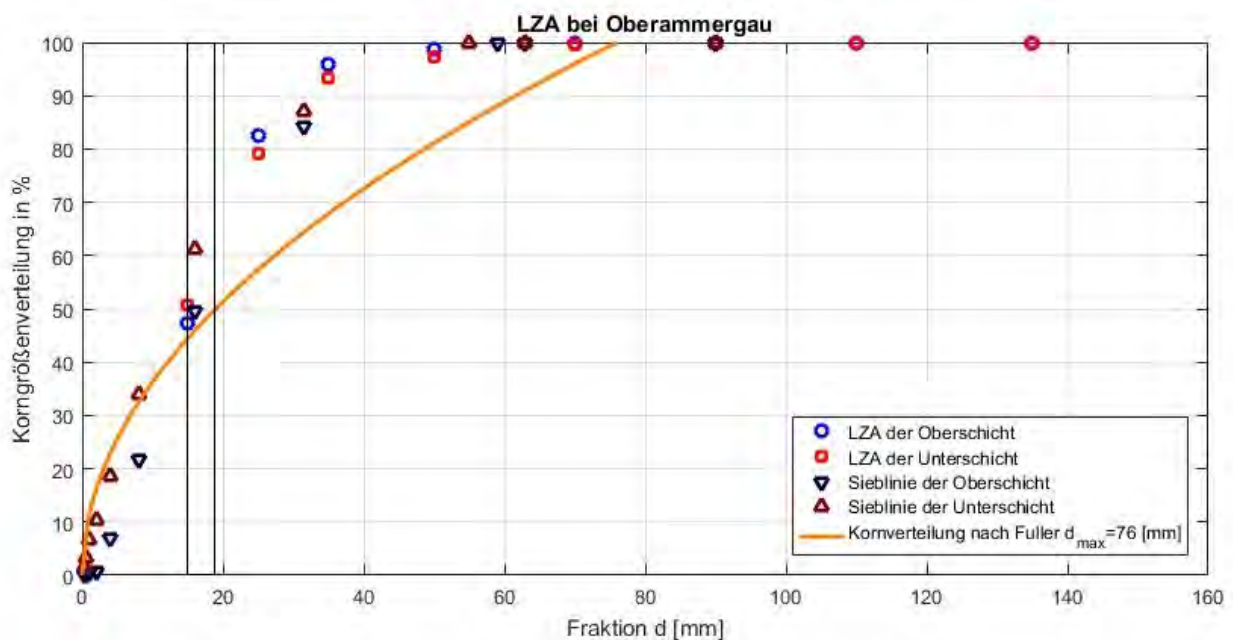


Abbildung 3.14: Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich

**Oberschichtvergleich:** Die Feianteile werden in der Kornverteilung nach Fuller im Gegensatz zur Sieblinie um ca. 10 % überschätzt. Bei den Grobkomponenten fallen die Abweichungen geringer aus und es kann von einem annähernd gleichen Verlauf zwischen Sieblinie und Linienzahlanalyse gesprochen werden.

**Unterschichtvergleich:** Bei der Unterschicht gleichen sich die Feianteilkomponenten der Fullerverteilung und die der Sieblinie sehr. Kleinere Abweichungen sind kaum vorhanden und daher vernachlässigbar. Die Tangentengleichheit liegt im Bereich von 15 mm bis 18 mm. Auch bei den gröberen Fraktionen stimmen die Werte der Linienzahlanalyse und die der Siebung weitestgehend überein.

## Rottenbuch

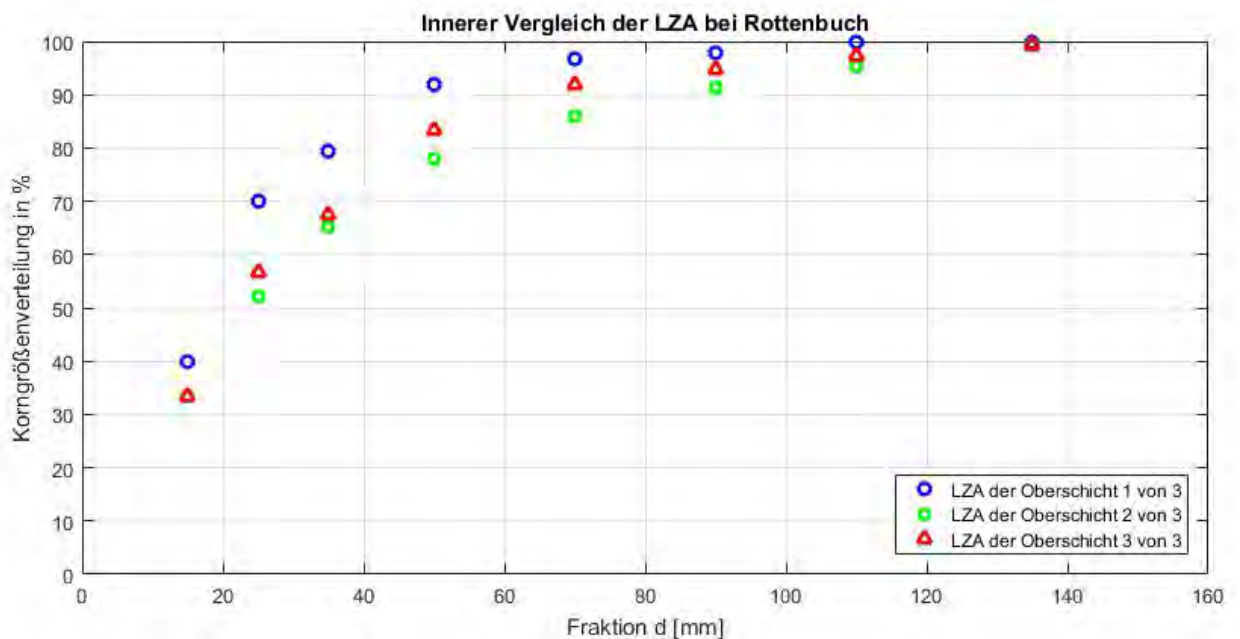


Abbildung 3.15: Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht

Die drei Linienzahlanalysen bei Rottenbuch gehen zwar auseinander, allerdings gleichmäßig. Die Verläufe unterscheiden sich nur unwesentlich und daher kann durch Mittelung vereinfacht werden.

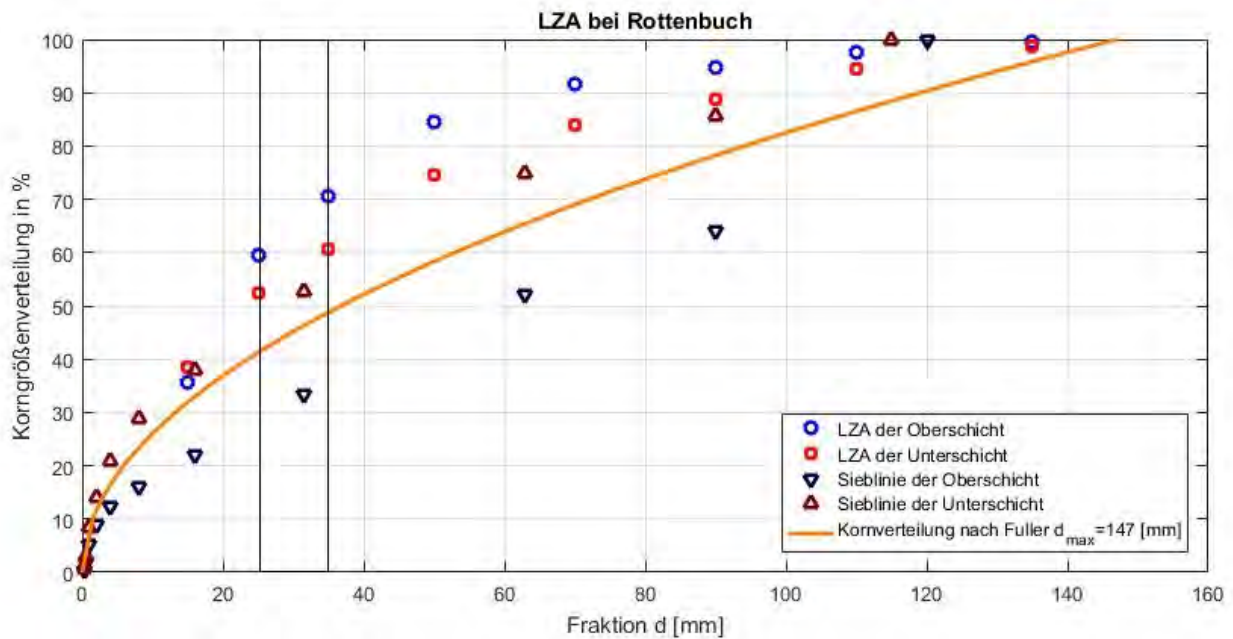


Abbildung 3.16: Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich

**Oberschichtvergleich:** Die Feinanteile der Fullerverteilung stimmen ungefähr für die ersten 15% mit den Feinanteilen der Siebung überein. Bis zum Übergang zur Linienzahlanalyse beschreibt die Fullerverteilung eine feinere Kornverteilung als die Sieblinie. Bei den Grobkomponenten ist eine starke Abweichung der Werte von der Linienzahlanalyse der Oberschicht und der Sieblinie der Oberschicht ersichtlich. Die Linienzahlanalyse beschreibt hierbei einen feineren Verlauf der Kornverteilung als die Sieblinie.

**Unterschichtvergleich:** Die Korngrößenverteilung der Feinanteile nach Fuller beschreibt einen sehr gleichen Verteilungsverlauf wie die Korngrößenverteilung der Sieblinie. Die Tangentengleichheit liegt im Bereich von 25 mm bis 35 mm. Auch bei den Grobkomponenten ähneln sich die Verläufe der Linienzahlanalyse und die der Sieblinie sehr. Allerdings ist erkennbar, dass die Linienzahlanalyse einen etwas feineren Verlauf als die Sieblinie beschreibt.

## Oderding

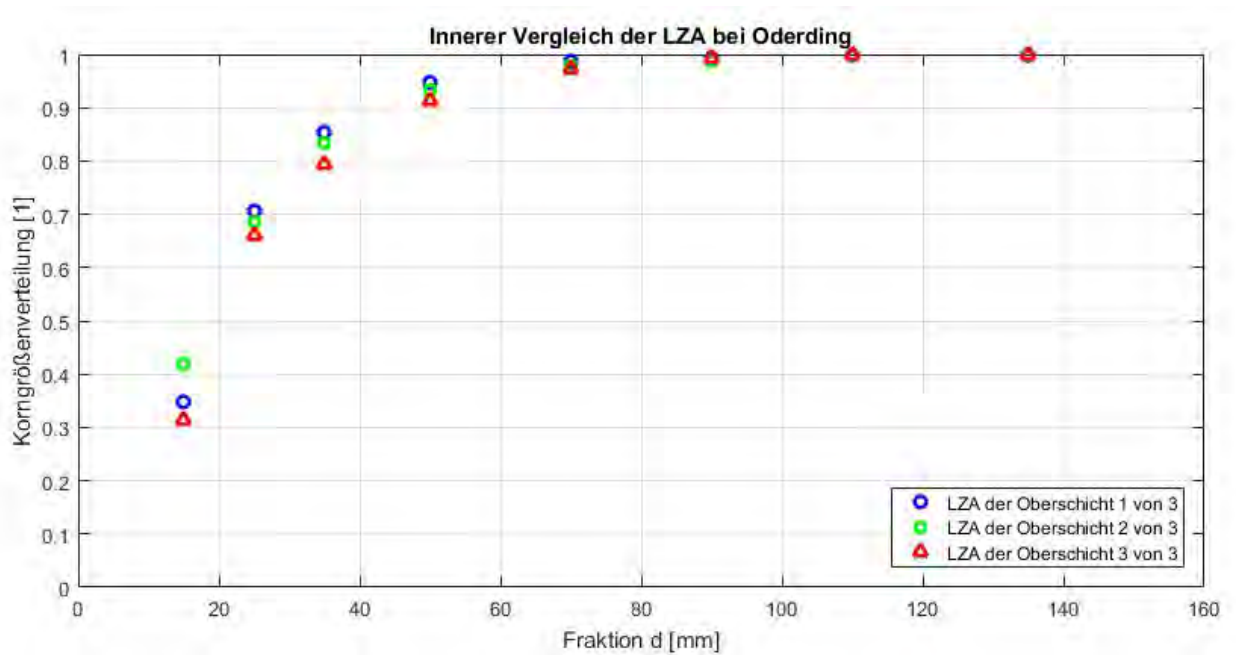


Abbildung 3.17: Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht

Auch bei den Linienzahlanalysen von der Messstelle bei Oderding kommen im inneren Vergleich nur sehr geringe Streuungen heraus. Daher kann wie bei den anderen Auswertungen eine Mittelung für die Auswertung genutzt werden.

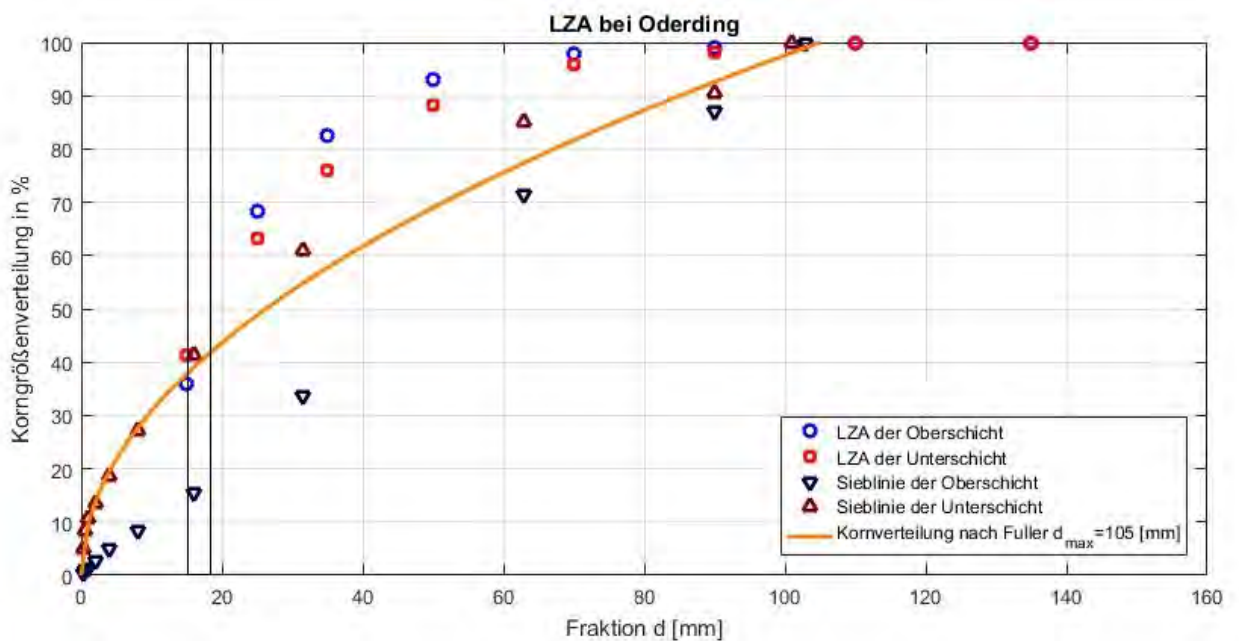


Abbildung 3.18: Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich

**Oberschichtvergleich:** Die Feinanteile werden hier von der Fullerverteilung im Vergleich

zur Sieblinie der Oberschicht stark überschätzt. Am letzten von der Fullerverteilung beschriebenen Wert beträgt der Unterschied zwischen Fullerverteilung und Sieblinie rund 20% was nicht unwesentlich ist. Auch bei den Grobkomponenten beschreibt die Linienzahlanalyse eine deutlich feinere Korngrößenverteilung als die Sieblinie. Die Unterschiede sind wesentlich und daher kann nicht mal von einer annähernd gleichen Korngrößenverteilung gesprochen werden.

**Unterschichtvergleich:** Im Gegensatz zur Oberschicht sind die Feianteile der Fullerverteilung mit denen der Sieblinie der Unterschicht annähernd gleich. Abweichungen sind minimal und daher vernachlässigbar. Die Tangentengleichheit liegt im Bereich von 15 *mm* bis 18 *mm*. Bei den größeren Komponenten beschreibt die Linienzahlanalyse eine feinere Korngrößenverteilung als die Sieblinie. Die Unterschiede hierbei liegen ungefähr zwischen 5 % und 10 %.

Bei der Auswertung der Messergebnisse der Ammer wurde deutlich, dass die Linienzahlanalyse der Oberschicht weniger vergleichbar mit der Sieblinie der Oberschicht ist als die Linienzahlanalyse der Unterschicht mit der Sieblinie der Unterschicht. Die anfängliche Vermutung, dass die Vergleichbarkeit der Linienzahlanalyse mit der Sieblinie mit steigender Distanz zu alpinen Bereichen abnimmt, bestätigt sich nicht direkt. Die Linienzahlanalyse der Oberschicht weicht mehr von der Sieblinie der Oberschicht ab, allerdings liefert die Linienzahlanalyse der Unterschicht weiterhin vergleichbare Korngrößenverteilungen.

## 3.2 Ergebnisse der Auswertung

Zielsetzung dieser Arbeit war es, die Linienzahlanalyse mit der Sieblinie zu vergleichen. Dabei wurden einerseits die Linienzahlanalyse der Oberschicht mit der Sieblinie der Oberschicht und andererseits die Linienzahlanalyse der Unterschicht mit der Sieblinie der Unterschicht verglichen. Beim Vergleich wurde geprüft, wie sehr sich die Linienzahlanalyse von der Siebung unterscheidet oder gleicht. Um die Ergebnisse gegenüberzustellen und bewerten zu können, bedarf es einer Auswertung. Eine Form der Auswertung ist eine subjektive Betrachtung. Hierbei werden die Aussagen aus dem Kapitel 3.1 hergenommen, um die Vergleichbarkeit zu beurteilen. Die folgende Tabelle zeigt eine mögliche subjektive Auswertung:

Fluss	Messstelle	Oberschicht	Unterschicht
Isar	Mittenwald	5	3
	Vorderriß	4	3
	Lenggries	1	2
Loisach	Griesen	2	3
	Eschenlohe	1	4
	Penzberg	1	3
Ammer	Oberammergau	4	5
	Rottenbuch	1	4
	Oderding	1	4

Abbildung 3.19: Auswertungstabelle mit subjektiver Auswertung

mit:

- 5 – Sehr hohe Übereinstimmung - Gleichsetzung zulässig
- 4 – Hohe Übereinstimmung - Gleichsetzung naheliegend
- 3 – Gute Übereinstimmung - Gleichsetzung annehmbar
- 2 – Schlechte Übereinstimmung - Gleichsetzung fehlerhaft
- 1 – Keine Übereinstimmung - Gleichsetzung unzulässig

Die Zuordnung zu den Rängen 5 - 1 ist subjektiv erfolgt. Dabei wurden die Auswertungsgrafiken und Beschreibungen aus Kapitel 3.1 hergenommen, um die Abweichungen der Linienzahlanalyse von der Sieblinie zu beurteilen und demnach einem Rang zuzuordnen. Diese Einteilung kann anders gewählt werden.

Die Tabelle 3.19 zeigt, dass die Linienzahlanalyse der Oberschicht in weniger als 50% der Fälle mit der Sieblinie der Oberschicht vergleichbar ist (Rang 3 oder höher). Daher scheint die Linienzahlanalyse der Oberschicht kein aussagekräftiges Verfahren zur Bestimmung der Kornverteilung zu sein. Allerdings ist die Vergleichbarkeit in hohen Höhenlagen durchaus gegeben (Ausnahme bei der höchsten Messstelle der Loisach bei Griesen) und daher scheint eine Kornverteilung durch die Linienzahlanalyse der Oberschicht im Gebirge aussagekräftig.

Die Kornverteilung durch die umgerechnete Linienzahlanalyse der Unterschicht erzielte stets hohe Übereinstimmungen mit der Kornverteilung der Sieblinie der Unterschicht. Das Verfahren der Linienzahlanalyse stellt damit eine sichere Methode dar, um die Kornverteilung der Unterschicht zu bestimmen. Diese Aussagekraft bleibt - wie die Ergebnisse zeigen - auch bei weiterer Distanz zum alpinen Bereich erhalten, doch sollte behutsam damit umgegangen werden, da in dieser Arbeit die Fragestellung inwieweit vom alpinen Raum entfernt die Linienzahlanalyse gültig ist, nicht betrachtet wurde.

Diese Form der Auswertung kann je nach Situation ausreichend sein. Allerdings ist diese schwer bis nicht nachprüfbar und somit als subjektiv und gegebenenfalls willkürlich anzusehen. Eine weitere Möglichkeit die Ergebnisse auszuwerten wäre eine Auswertung mit numerischem Ansatz.

Für die zweite Auswertung wurden die Differenzen zwischen Sieblinie und Linienzahlanalyse ermittelt und aufsummiert. Diese Summen werden in der nachfolgenden Tabelle als "Wert OS" für den Wert der Oberschicht und "Wert US" für den Wert der Unterschicht dargestellt. Dafür müssen zunächst vergleichbare Werte zwischen Sieblinie und Linienzahlanalyse ermittelt werden, da die Kornfraktionen der Sieblinien und der Linienzahlanalysen unterschiedliche Grenzen aufweisen. Dieser Vorgang ist bei der Ober- und Unterschicht weitestgehend gleich. Um die Werte der Feianteile zu erhalten, wird die Fullerverteilung (Gleichung (2.4)) mit den Durchmessern  $0\text{ mm}$ ,  $0,25\text{ mm}$ ,  $0,5\text{ mm}$ ,  $1\text{ mm}$ ,  $2\text{ mm}$ ,  $4\text{ mm}$ ,  $8\text{ mm}$ ,  $16\text{ mm}$  und gegebenenfalls höher berechnet. Für die Grobkomponenten wird linear interpoliert (vgl. [1]). Dabei muss bei der Unterschicht auf den Übergangsbereich geachtet werden, da gegebenenfalls die Werte der Fullerverteilung länger angesetzt werden. Die nun vergleichbaren Werte der Linienzahlanalyse und der Sieblinie werden fraktionsweise voneinander abgezogen und die Differenzen betragsweise aufsummiert. Dies kann mathematisch wie folgt dargestellt werden:

$$W = \sum_{i=1}^k |S_i - L_i| \quad (3.1)$$

mit:

$W$  - Vergleichswert

$S_i$  - Summenhäufigkeit der Fraktion  $i$  der Sieblinie

$L_i$  - Summenhäufigkeit der Fraktion  $i$  der Linienzahlanalyse

$k$  - Anzahl Fraktionen

Auf diese Art erhält man für jede Messstelle einen einzelnen Wert, der mit den Werten der anderen Messstellen vergleichbar ist.



Fluss	Messstelle	Wert OS	Rang OS	Wert US	Rang US
Isar	Mittenwald	0,2892	5	1,0656	2
	Vorderriß	0,4563	4	0,7702	3
	Lenggries	1,0169	2	0,7995	3
Loisach	Griesen	1,2165	2	0,9356	3
	Eschenlohe	1,041	3	0,5178	4
	Penzberg	1,4846	1	0,7325	3
Ammer	Oberammergau	0,7608	3	0,6578	4
	Rottenbuch	1,5366	1	0,5436	4
	Oderding	1,784	1	0,4502	4

Abbildung 3.20: Auswertungstabelle mit numerischer Auswertung

mit:

- 5 – Wertebereich: 0 - 0,3333 Sehr hohe Übereinstimmung. Gleichsetzung zulässig
- 4 – Wertebereich: 0,3334 - 0,6666 Hohe Übereinstimmung. Gleichsetzung naheliegend
- 3 – Wertebereich: 0,6667 - 1,0000 Gute Übereinstimmung. Gleichsetzung annehmbar
- 2 – Wertebereich: 1,0001 - 1,3333 Schlechte Übereinstimmung. Gleichsetzung fehlerhaft
- 1 – Wertebereich: größer 1,3333 Keine Übereinstimmung. Gleichsetzung unzulässig

Die Einteilung des Wertebereichs ist subjektiv erfolgt. Dabei wurde wie folgt vorgegangen. Zunächst wurden fünf Ränge erstellt, denen ein Wertebereich zugeordnet wurde. Diese Einteilung erfolgt in 0,3333 Schritten. Den ausgerechneten Vergleichswerten wurde danach der jeweilige Rang zugeordnet. Diese Einteilung kann auch anders gewählt werden.

Die Tabelle 3.20 zeigt ähnliche Ergebnisse wie die Tabelle 3.19. Bei der Oberschicht ist die Mehrzahl der Vergleiche fehlerhaft oder unzulässig. Wieder lässt sich allerdings beobachten, dass bei der Oberschicht höhere Übereinstimmungen bei hohen Höhenlagen vorkommen. Im Gebirge scheint daher die Linienzahlanalyse der Oberschicht ein zuverlässiges Verfahren zu Rekonstruktion einer Korngrößenverteilung von Flüssen zu sein.

Auch bei der Unterschicht spiegelt sich ein ähnliches Ergebnis wie bei der ersten Auswertung wieder. Weitestgehend sind die Korngrößenverteilungen der umgerechneten Linienzahlanalysen der Unterschicht mit denen der Sieblinien vergleichbar. Dies scheint auch unabhängig von der Höhenlage zu sein. Damit stellt die umgerechnete Linienzahlanalyse der Unterschicht eine zuverlässige Methode zur Bestimmung der Korngrößenverteilung von alpinen Flüssen dar, wobei immer individuell entschieden werden sollte wie viel Abweichung zur Sieblinie zu Gunsten eines einfacheren Verfahrens zulässig sein sollte.

Diese Form des Auswertens bietet eine objektivere Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Da

aber die gebildeten Differenzen keine Gewichtung erhalten, können Ausreißer überschätzt werden und dadurch einen starken Einfluss auf das Ergebnis ausüben. Beispielsweise können sichtbar gut vergleichbare Ergebnisse mit Ausreißern dadurch eine schlechtere Wertung erhalten als sie ansonsten vermuten ließen.

## 4 Fazit

Thema und Zielsetzung dieser Bachelorarbeit war die Linienzahlanalyse an drei deutschen Flüssen anzuwenden und die berechnete Korngrößenverteilung mit der Korngrößenverteilung der Sieblinie zu vergleichen. Dabei wurde zwischen Ober- und Unterschicht differenziert. Die Linienzahlanalyse der Unterschicht ließ sich aus der Linienzahlanalyse der Oberschicht bestimmen. Dazu wurden an allen Messstellen Proben der Ober- und der Unterschicht genommen, um die Sieblinien zu erhalten.

Vor der Auswertung wurde die Theorie hinter der Linienzahlanalyse beschrieben und erklärt, um diese in der Auswertung anwenden zu können. Neben der Theorie wurde auch die praktische Vorgehensweise im Felde erläutert und die einzelnen Messstellen dargestellt.

Die Auswertung hat gezeigt, dass die Korngrößenverteilung durch die Linienzahlanalyse der Oberschicht mit der Sieblinie der Oberschicht nahe der alpinen Region gut vergleichbar ist, aber mit steigender Distanz zum Gebirge an Aussagekraft verliert. Die Korngrößenverteilung der umgerechneten Linienzahlanalyse der Unterschicht bleibt auch bei weiterer Distanz sehr gut mit der Korngrößenverteilung der Sieblinie der Unterschicht vergleichbar. Allerdings wurde nicht untersucht, von welchem Punkt an die umgerechnete Linienzahlanalyse der Unterschicht nicht mehr vergleichbar ist, weshalb das Verfahren mit steigender Distanz zu alpinen Bereichen unter Vorbehalt und unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen genutzt werden sollte.

Die Betrachtungsweise dieser Arbeit hat die Korngrößenverteilung der Sieblinie als Maß genommen, dabei sollte beachtet werden, dass eine punktuelle Probenahme an einem Kiesbett nicht zwingend repräsentativ für den gesamten Flussabschnitt sein muss. Es ist ebenfalls möglich, dass die Ergebnisse der Linienzahlanalyse ein repräsentativeres Ergebnis der Korngrößenverteilung eines Flusses beschreiben als eine Siebung. Allerdings wurde gezeigt, dass beide Verfahren unter Beachtung des Anwendungsbereiches miteinander vergleichbar sind und daher für weitere Anwendungen und Berechnungen hergenommen werden können.

# 5 Anhang

Beigefügt ist eine CD mit den Anhängen der Arbeit. Im Detail sind dies:

**Bachelorarbeit:** Die Bachelorarbeit als PDF-Datei ist beigefügt.

**Bilder:** Alle Bilder dieser Bachelorarbeit als Bilddateien. Diese stehen dem Labor für Hydromechanik und Wasserbau der Bundeswehruniversität München zur freien Verfügung.

**Exceldateien:** Die Exceldateien mit den Messdaten der Flüsse. Einmal in sortiert für die weitere Bearbeitung und einmal unsortiert im Original.

**Matlabdateien:** In den jeweiligen Ordnern der Flüsse befinden sich die Matlabfunktionen LZA\_Auswertefunktion\_OS, LZA\_Auswertefunktion\_US, LZA\_Komplett und LZA\_Vergleich. Diese wurden von den Matlabskripten benötigt, die sich im jeweils gleichen Ordner befinden, um die Ergebnisse dieser Bachelorarbeit zu berechnen. Die LZA\_Auswertefunktionen beschreiben zwei Funktionen, mit denen die Werte in der Tabelle 3.20 berechnet wurden. LZA\_Komplett ist eine Funktion mit denen die Plots erstellt wurden, die im Kapitel 3.1 mit den Bildunterschriften "Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich" näher analysiert wurden. LZA\_Vergleich stellt eine Funktion dar mit der die Plots der inneren Vergleiche im Kapitel 3.1 erstellt wurden. Alle weiteren Matlabdateien sind Skripte, die auf die jeweiligen eben genannten Funktionen zugreifen.

**Original Daten:** In den Ordnern der jeweiligen Flüssen sind PDF-Dateien beigefügt mit den eingescannten Originaldaten aus den Messungen. Dies sind die Gesteinsmessungen der drei Flüsse und die Siebungen aus dem Labor.

**Plots:** In diesem Ordner sind die Plots mit allen Linienzahlanalysen und Sieblinien aufgelistet.

**Quellen:** Quellen sind in PDF-Form beigefügt.

# 6 Tabellenverzeichnis

**Tabelle 3.19:** Auswertungstabelle mit verbaler Auswertung (Quelle: Eigene Erstellung durch Latex) Seite 36

**Tabelle 3.20:** Auswertungstabelle mit numerischer Auswertung (Quelle: Eigene Erstellung durch Latex) Seite 38

# 7 Abbildungsverzeichnis

**Abbildung 1.1 a:** Sedimentprobe Isar bei Mittenwald (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 4

**Abbildung 1.1 b:** Sedimentprobe in seine Fraktionen aufgeteilt (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 4

**Abbildung 1.2 a:** Siebturm (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 4

**Abbildung 1.2 b:** Trocknungsschrank (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 4

**Abbildung 1.3 a:** Lineare Darstellung einer Sieblinie (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 5

**Abbildung 1.3 b:** Logarithmische Darstellung der Sieblinie (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 5

**Abbildung 2.1:** Eine Schnur wird gespannt und die darunterliegenden Steine werden gemessen. (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 6

**Abbildung 2.2 a:** Formular zur Aufnahme von 150 Steinen (Quelle: Eigene Erstellung durch Excel) Seite 7

**Abbildung 2.2 b:** Auswertungsformular einer Linienzahlanalyse(Quelle: Durch Excel erstellt nach Vorlage von Fehr [3]) Seite 7

**Abbildung 2.3:** Grafisch dargestellter Übergangsbereich bzw. Tangentengleichheit (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 11

**Abbildung 2.4:** Probestein mit einem idealisiertem Prisma umhüllt (Quelle: Bearbeitete eigene Aufnahme) Seite 12

**Abbildung 2.5 a:** Probestein mit leicht bestimmbar Achsen (Quelle: Bearbeitete eigene Aufnahme) Seite 12

**Abbildung 2.5 b:** Probestein mit schwer bestimmbar Achsen (Quelle: Bearbeitete eigene Aufnahme) Seite 12

**Abbildung 2.6 a:** Grob gereinigter Stein beim Messen (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 13

**Abbildung 2.6 b:** Verunreinigter Stein mit Messungenauigkeiten (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 13

**Abbildung 2.7 a:** Messstelle bei Mittenwald:  $47.40352^\circ$  N  $11.26184^\circ$  E (Quelle: Bayernatlas) <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&bgLayer=atkis&lang=de&catalogNodes=11,122> Seite 14

**Abbildung 2.7 b:** Flussabschnitt bei der Messstelle Mittenwald (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 14

**Abbildung 2.8 a:** Messstelle bei Vorderriß: 47.55325° N 11.42566° E (Quelle: Bayernatlas) <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&bgLayer=atkis&lang=de&catalogNodes=11,122> Seite 15

**Abbildung 2.8 b:** Flussabschnitt bei der Messstelle Vorderriß (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 15

**Abbildung 2.9 a:** Messstelle bei Lenggries: 47.65914° N 11.58492° E (Quelle: Bayernatlas) <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&bgLayer=atkis&lang=de&catalogNodes=11,122> Seite 15

**Abbildung 2.9 b:** Flussabschnitt bei der Messstelle Lenggries (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 15

**Abbildung 2.10 a:** Messstelle bei Griesen: 47.48205° N 10.98800° E (Quelle: Bayernatlas) <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&bgLayer=atkis&lang=de&catalogNodes=11,122> Seite 16

**Abbildung 2.10 b:** Flussabschnitt bei der Messstelle Griesen (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 16

**Abbildung 2.11 a:** Messstelle bei Eschenlohe: 47.59126° N 11.18157° E (Quelle: Bayernatlas) <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&bgLayer=atkis&lang=de&catalogNodes=11,122> Seite 16

**Abbildung 2.11 b:** Flussabschnitt bei der Messstelle Eschenlohe (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 16

**Abbildung 2.12 a:** Messstelle bei Penzberg: 47.74035° N 11.41289° E (Quelle: Bayernatlas) <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&bgLayer=atkis&lang=de&catalogNodes=11,122> Seite 17

**Abbildung 2.12 b:** Flussabschnitt bei der Messstelle Penzberg (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 17

**Abbildung 2.13 a:** Messstelle bei Oberammergau: 47.58589° N 11.075445° E (Quelle: Bayernatlas) <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&bgLayer=atkis&lang=de&catalogNodes=11,122> Seite 17

**Abbildung 2.13 b:** Flussabschnitt bei der Messstelle Oberammergau (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 17

**Abbildung 2.14 a:** Messstelle bei Rottenbuch: 47.73379° N 10.97702° E (Quelle: Bayernatlas) <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&bgLayer=atkis&lang=de&catalogNodes=11,122> Seite 18

**Abbildung 2.14 b:** Flussabschnitt bei der Messstelle Rottenbuch (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 18

**Abbildung 2.15 a:** Messstelle bei Oderding: 47.82678° N 11.12218° E (Quelle: Bayernatlas) <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&bgLayer=atkis&lang=de&catalogNodes=11,122> Seite 18

**Abbildung 2.15 b:** Flussabschnitt bei der Messstelle Oderding (Quelle: Eigene Aufnahme) Seite 18

**Abbildung 2.16:** Die roten Linien markieren die Stellen der Messungen (Quelle: Bearbeitete eigene Aufnahme) Seite 19

**Abbildung 3.1:** Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 21

**Abbildung 3.2:** Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 22

**Abbildung 3.3:** Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 23

**Abbildung 3.4:** Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 23

**Abbildung 3.5:** Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 24

**Abbildung 3.6:** Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 25

**Abbildung 3.7:** Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 26

**Abbildung 3.8:** Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 27

**Abbildung 3.9:** Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 28

**Abbildung 3.10:** Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 28



**Abbildung 3.11:** Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 29

**Abbildung 3.12:** Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 30

**Abbildung 3.13:** Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 31

**Abbildung 3.14:** Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 31

**Abbildung 3.15:** Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 32

**Abbildung 3.16:** Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 33

**Abbildung 3.17:** Vergleich der drei Linienzahlanalysen der Oberschicht (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 34

**Abbildung 3.18:** Linienzahlanalysen und Sieblinien im Vergleich (Quelle: Eigene Erstellung durch Matlab) Seite 34

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Bollhöfer, M., Mehrmann, V.: "Numerische Mathematik - Eine projektorientierte Einführung für Ingenieure, Mathematiker und Naturwissenschaftler", herausgegeben von Vieweg+Teubner Verlag, 1. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, November 2004.
- [2] DIN 66165-1, *Partikelgrößenanalyse - Siebanalyse - Teil 1: Grundlagen*, Stand August 2016
- [3] Fehr, R.: "Einfache Bestimmung der Korngrößenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse". Schweizer Ingenieur und Architekt, Band(Jahr) 105(1987), Heft 38.
- [4] Fehr, R.: "Geschiebeanalysen in Gebirgsflüssen - Umrechnung und Vergleich von verschiedenen Analyseverfahren". Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr.92, 1987.
- [5] Meyer-Peter, E., Müller, R.: "Eine Formel zur Berechnung des Geschiebebetriebs". Mitteilungen aus der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH Zürich, Nr.16, 1949.
- [6] Muir, T.C.: "Sampling and Analysis of Coarse Riverbed Sediments". Proceedings, Mississippi Water Resources Conference, Water Research Institute, Mississippi State University, State College, Miss., 1969.

## Danksagung

Ich möchte gerne meinem Betreuer Dr.-Ing Ivo Baselt für die freundliche Betreuung und die vielen Tipps und Anmerkungen danken. Diese haben sehr geholfen die Materie noch besser zu verstehen und zu Papier zu bringen. Ich bedanke mich für die aufgebrauchte Geduld, die eingesetzte Zeit, den regen E-Mailverkehr und eine stets offene Bürotür. Vielen Dank!

Ich danke meinem betreuenden Professor Prof.Dr.-Ing Andreas Malcherek. Die sofortige und freundliche Annahme dieses Bachelorthemas weiß ich sehr zu schätzen. Herzlichen Dank!

Ich möchte mich bei den Mitarbeitern des Wasserlabors Frank Haubold, Klaus Becker und Alajdin Tafili für die praktische Unterstützung bei den Messungen bedanken. Ohne diese Unterstützung hätte ich für die Ermittlung aller Daten im Gebirge und im Labor übernachten müssen um rechtzeitig fertig zu werden. Danke!

Für Diskussionen, Gespräche und Anmerkungen danke ich Stephan Tassilo Gruber, Annette Reitz-Gruber, Lukas Burkert und Eric Rademacher. Für das Korrekturlesen und Diskutieren vieler Punkte bin ich euch sehr dankbar. Habt vielen Dank!