

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät *Life Sciences*

**Untersuchung von Prüfverfahren für Sandfänge hinsichtlich Durchführbarkeit
und Reproduzierbarkeit**

Bachelorarbeit
im Studiengang Umwelttechnik

vorgelegt von

Maja Opitz

Matr. Nr. XXXXXXXXXX

Hamburg

am 05. Dezember 2017

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Jörn Einfeldt (HAW Hamburg)

Gutachter: Dipl.-Ing. Frank Laurich (HAW Hamburg)

Die Bachelorarbeit wurde betreut und erstellt auf der Anlage und im Labor von HAMBURG WASSER.

Kurzfassung

Diese Arbeit wurde bei HAMBURG WASSER auf der Kläranlage Köhlbrandhöft durchgeführt. Der Hintergrund der Abschlussarbeit ist ein fehlendes, standardisiertes Prüfverfahren für den Abscheidegrad von Sandfängen. Der DWA-Fachausschuss KA-5 für „Absetzverfahren“ gab die Anregung, dass die vorgeschlagenen Prüfverfahren praktisch durchgeführt werden müssten, um Beurteilungen zu ermöglichen (DWA Fachausschuss KA-5 „Absetzverfahren“, 2008). Die zwei folgenden Varianten standen zur Diskussion: die Prüfung des Abscheidegrads von Sandfängen ist entweder durch die Zugabe eines definierten Prüfsands in den Zulauf des Sandfangs und Entnahme des Sandfangguts nach dem Patentvorschlag von Herrn Dr.-Ing. Botsch oder und durch Probenahme aus dem Zu- und dem Ablauf des Sandfangs ohne die Zugabe von Prüfsand nach der Dissertation von Frau Dr.-Ing. Hirschbeck durchzuführen. Ziel der Arbeit ist es die Varianten an die großtechnische Kläranlage Köhlbrandhöft anzupassen, in der Praxis durchzuführen und auf der Grundlage der Ergebnisse hinsichtlich der Durchführbarkeit und Reproduzierbarkeit zu bewerten. Zur Bewertung der Reproduzierbarkeit wird in beiden Fällen eine vollständige Massenbilanz von allen zu- und abfließenden Sandmassen aufgestellt.

Die Versuche mit der Zugabe von Prüfsand wurden fünfmal bei maximalem Sandfangdurchfluss von $2 \text{ m}^3/\text{s}$ durchgeführt. Zur Vorbereitung der Versuche, musste gewährleistet sein, dass das Sandfanggut aus dem Versuchssandfang komplett entfernt wurde. In den Zulauf des Sandfangs wurde eine definierte Prüfsandmasse zugegeben und aus dem Ablauf und dem Sandfanggut wurden Teilströme mit Tauchpumpen entnommen. Diese wurden in Absetzcontainer geleitet. Die Entnahmedauer des Sandfangguts war verhältnismäßig hoch, da gewährleistet werden musste, dass der abgesetzte Sand aus dem Sandfang von den Räumerpumpen erfasst wurde. Für die Probenahme aus dem Sandfanggut wurden durchflutete Absetzcontainer verwendet. Es wurden einige Änderungen der Durchführung während der Versuchsreihe vorgenommen, um die Durchführbarkeit zu verbessern.

Bei den Versuchen ohne Prüfsandzugabe wurden aus dem Zu- und Ablauf und dem Sandfanggut Teilströme mit Tauchpumpen entnommen. In allen Fällen wurde mit durchfluteten Absetzcontainern gearbeitet. Bilanziert wurden die absoluten Massen der Fraktionen des zugegebenen Sands (Versuche mit Prüfsand) bzw. der Fraktionen des Sands aus dem Zulauf (Versuche ohne Prüfsand) und demgegenüber der Fraktionen der Sandmassen aus den abfließenden Volumenströmen.

Die Ergebnisse der Versuche mit Prüfsand weisen in vier der fünf Versuche hohe Sandmassenverluste auf. Ein Zusammenhang der durchgeführten Änderungen und der resultierenden Ergebnisse ist nicht zu erkennen. Es kam zu häufigen Ausfällen der Entnahmepumpe des Sandfangguts. Die Durchmischung der Probensuspensionen in den Absetzcontainern war schwierig umzusetzen. Die Mischproben an dieser Stelle waren wahrscheinlich nicht repräsentativ. Die Ergebnisse der Versuche ohne Prüfsand zeigen ebenfalls starke Schwankungen und Unstimmigkeiten der Massenbilanzen. Die Schwankungen sind unter anderem auf eine nicht repräsentativ kleine Sandmasse in den Mischproben zurückzuführen. Die Überläufe der Container stellen durch nicht repräsentative Mischproben und zu viel ausgetragenen Sand eine weitere Fehlerquelle dar. Die Sandmassen aus den Proben der Container sind an den Entnahmestellen über die Versuche ähnlich ausgefallen.

Die Verluste bzw. Unstimmigkeiten der Massenbilanzen sind in beiden Fällen durch nicht repräsentative Teilstromentnahmen aus den gesamten Volumenströmen und nicht repräsentative Mischproben aus den Containern und Überläufen der Container zu erklären. Hinzu kommt, dass der Versuch mit Prüfsand durch die Sandzugabe und die Vor- und Nachbereitung (Entleerung des Sandfangguts aus dem Sandfang) schwierig umzusetzen ist. Die hohe Sandkonzentration im Abwasser bei diesen Versuchen entspricht nicht den realen Bedingungen und führt zu Einflüssen auf den Abscheidegrad. Bei den Versuchen ohne Prüfsandzugabe, wie sie hier durchgeführt wurden, ist der Organikanteil der Proben zu hoch und der Sandanteil zu gering. So wurde geschlussfolgert, dass entweder die Versuche in der Durchführung, beispielsweise der Probenahme der Mischproben, modifiziert werden müssen, um Reproduzierbarkeit zu erlangen oder, dass ein neuer Ansatz untersucht werden muss.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Sandfang – Grundlagen	1
1.2	Sand im Abwasser	1
1.3	Sandfangprüfung - Stand des Wissens	2
2	Zielsetzung	3
3	Theoretische Grundlagen	3
3.1	Ansatz nach Hirschbeck.....	3
3.2	Ansatz nach Botsch.....	4
3.3	Bilanzierung der Sandmassen	5
3.4	Fließschemen.....	7
3.4.1	Versuch mit Prüfsandzugabe.....	7
3.4.2	Versuch ohne Prüfsandzugabe.....	7
3.5	Berechnungen der gesuchten Parameter	8
3.5.1	Durchflusszeit Sandfang	8
3.5.2	Versuche mit Prüfsand	8
3.5.2.1	Entnahmedauer am Ablauf des Sandfangs	8
3.5.2.2	Entnahmedauer des Sandfangguts.....	8
3.5.2.3	Förderleistung der Pumpe am Ablauf	9
3.5.2.4	Förderleistung der Pumpe für Sandfanggut.....	9
3.5.2.5	Prüfsandmasse	10
3.5.3	Versuche ohne Prüfsand	10
3.5.3.1	Förderleistung der eingesetzten Pumpen	10
3.5.3.2	Versuchsdauer.....	11
4	Material und Methoden	11
4.1	Auf dem Gelände.....	11
4.1.1	Benutzte Anlagentechnik	11
4.1.2	Materialien	14
4.1.2.1	Prüfsand.....	14
4.1.2.2	Tauchpumpen.....	15
4.1.2.3	Kompressor.....	16
4.1.2.4	Probenahmegefäße	16
4.1.2.4.1	Container	16
4.1.2.4.2	Schöpfgefäß.....	16
4.1.2.4.3	Eimer	17
4.1.2.5	Siebe	17

4.1.3	Methoden.....	17
4.1.3.1	Zulauf Sandfang.....	17
4.1.3.1.1	Versuch mit Prüfsand: Sandzugabe.....	17
4.1.3.1.2	Versuch ohne Prüfsand: Entnahme.....	18
4.1.3.1.3	Entnahme - Ablauf Sandfang.....	18
4.1.3.1.4	Entnahme – Sandfanggut.....	18
4.1.3.2	Probenahme des Überlaufs.....	20
4.1.3.3	Entwässern der Container.....	20
4.1.3.4	Probenahme des Überstandswassers (aus dem Container).....	22
4.1.3.5	Probenahme der Mischproben.....	22
4.1.3.6	Gewinnung des Siebrückstands.....	23
4.1.4	Messmethoden.....	23
4.1.4.1	Durchflussmessung.....	23
4.1.4.2	Auslitern der Pumpen.....	23
4.1.4.3	Bestimmung der Masse der Suspension.....	24
4.2	Labor.....	24
4.2.1	Materialien.....	24
4.2.1.1	Waagen.....	24
4.2.1.2	Siebe.....	25
4.2.1.3	Messbecher.....	25
4.2.1.4	Abdampfschalen.....	25
4.2.1.5	Exsikkatoren.....	25
4.2.1.6	Trockenschrank.....	25
4.2.1.7	Muffelofen.....	25
4.2.1.8	Filter.....	26
4.2.2	Methoden.....	26
4.2.2.1	Verhältnis Probe – Siebrückstand.....	26
4.2.3	Bestimmung des Trockenrückstands – als Maß für den anorganischen Anteil inklusiv des organischen Anteils.....	27
4.2.3.1	Bestimmung des Glührückstands – als Maß für den anorganischen Anteil.....	27
4.2.3.2	Fraktionieren des Glührückstands.....	27
4.2.3.3	Salzgehalt des Sands.....	27
5	Durchführungen, Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	28
5.1	Ermittlung der gesuchten Parameter - Allgemein.....	28
5.1.1	Durchflusszeit Sandfang.....	28
5.1.2	Sandkonzentration im Zulauf des Sandfangs.....	28
5.2	Versuche mit Prüfsandzugabe.....	29

5.2.1	Durchführung - Versuch 1 (09.08.2017)	29
5.2.1.1	Ermittlung der Zugabedauer	29
5.2.1.2	Ermittlung der Entnahmedauer am Ablauf des Sandfangs	29
5.2.1.3	Ermittlung der Entnahmedauer des Sandfangguts	29
5.2.1.4	Ermittlung der Förderleistung der Pumpen am Ablauf.....	30
5.2.1.5	Ermittlung der Förderleistung der Pumpe für Sandfanggut.....	30
5.2.1.6	Ermittlung der Prüfsandmasse	30
5.2.1.7	Vorbereitung	31
5.2.1.8	Auf dem Gelände.....	31
5.2.1.9	Im Labor.....	32
5.2.2	Ergebnis Versuch 1	33
5.2.2.1	Berechnung der zugegebenen Prüfsandmasse	33
5.2.2.2	Berechnung der Sandmasse im Ablauf.....	33
5.2.2.3	Berechnung der Sandmasse im Sandfanggut.....	35
5.2.2.4	Massenbilanz - Versuch 1.....	39
5.2.2.5	Darstellung der Massenanteile der Fraktionen – Versuch 1	39
5.2.3	Schlussfolgerung - Versuch 1.....	40
5.2.4	Versuch 2 (17.08.2017) - Durchführung.....	40
5.2.5	Ergebnis –Versuch 2	41
5.2.5.1	Darstellung der Massenanteile der Fraktionen – Versuch 2	41
5.2.6	Schlussfolgerungen - Versuch 2.....	42
5.2.7	Durchführung - Versuch 3 (23.08.2017).....	43
5.2.8	Ergebnis –Versuch 3	43
5.2.8.1	Darstellung der Massenanteile der Fraktionen – Versuch 3	44
5.2.9	Schlussfolgerungen - Versuch 3.....	44
5.2.10	Durchführung - Versuch 4 (29.08.2017).....	44
5.2.11	Ergebnis –Versuch 4	45
5.2.11.1	Darstellung der Massenanteile der Fraktionen – Versuch 4	45
5.2.12	Schlussfolgerungen - Versuch 4.....	46
5.2.13	Durchführung - Versuch 5 (12.09.2017).....	47
5.2.14	Ergebnis –Versuch 5	47
5.2.14.1	Darstellung der Massenanteile der Fraktionen – Versuch 5	47
5.2.15	Schlussfolgerungen - Versuch 5.....	48
5.2.16	Massenbilanzen - Versuche mit Prüfsand	49
5.2.17	Schlussfolgerungen - Allgemein	50
5.3	Versuche ohne Prüfsandzugabe.....	52

5.3.1	Durchführung - Versuch 6 und 7	52
5.3.1.1	Förderleistung der eingesetzten Pumpen	52
5.3.1.2	Versuchsdauer	52
5.3.1.3	Vorbereitung	53
5.3.1.4	Vor Ort	53
5.3.1.5	Im Labor	54
5.3.2	Durchführung - Versuch 8	54
5.3.3	Ergebnisse – Versuche ohne Prüfsandzugabe	54
5.3.3.1	Massenbilanzen	54
5.3.3.2	Darstellung der Masseanteile der Fraktionen	56
5.3.3.3	Sandmassenfraktionen der einzelnen Proben bezogen auf den gesamten Volumenstrom an der Entnahmestelle	58
5.3.4	Versuche ohne Prüfsand - Schlussfolgerungen	62
6	Vergleich der Versuchsvarianten hinsichtlich Durchführbarkeit und Reproduzierbarkeit	63
7	Fazit und Ausblick	65
	Literaturverzeichnis	XI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorschlag eines Prüfverfahrens für den Abscheidegrad von bestehenden Sandfängen (Hirschbeck, 2010).....	4
Abbildung 2: Fließschema der Untersuchung des Prüfverfahrens mit Zugabe von Prüfsand.....	7
Abbildung 3: Fließschema der Untersuchung des Prüfverfahrens ohne Zugabe von Prüfsand	7
Abbildung 4: Schematischer Überblick über die benutzte Anlagentechnik und die Zugabestelle und Entnahmestellen	12
Abbildung 5: Technische Zeichnung der vier Sandfänge auf Köhlbrandhöft Süd (Bennert Ingenieurbau GmbH, 2013).....	13
Abbildung 6: Massenanteile der Fraktionen des Prüfsands – Mittelwert aus fünf Messungen.....	14
Abbildung 7: Abhängigkeit der Förderleistung der Tauchpumpe Drain-Twister TM 32/7 von der Förderhöhe	15
Abbildung 8: Abhängigkeit der Förderleistung der Tauchpumpe TP65F von der Förderhöhe.....	15
Abbildung 9: Prüfsandzugabe mit Lufteintrag am Zulauf des Sandfangs.....	17
Abbildung 10: Entnahme am Ablauf des Teilstroms hier mit einer Tauchpumpe des Typen Drain-Twister TM 32/7.....	18
Abbildung 11: Entnahme des Sandfangguts aus dem Sandfanggut-Schacht	19
Abbildung 12: Sandfanggut-Schacht von innen.....	19
Abbildung 13: Entwässerungsmethode	20
Abbildung 14: Entwässerungsmethode	21
Abbildung 15: Entwässerungsmethode nach Variante 2.....	21
Abbildung 16: Probenahme der Mischproben mit Durchmischung durch Lufteintrag	22
Abbildung 17: Probenahme der Mischproben mit Durchmischung mit einer Schaufel.....	23
Abbildung 18: Auslitern der Förderleistung der Pumpe im Sandfanggut-Schacht	24
Abbildung 19: Versuch 1 - Massenanteile der einzelnen Fraktionen bezogen auf die Prüfsandmasse.	40
Abbildung 20: Versuch 2 - Massenanteile der einzelnen Fraktionen bezogen auf die Prüfsandmasse.	42
Abbildung 21: Versuch 3 - Massenanteile der einzelnen Fraktionen bezogen auf die Prüfsandmasse.	44
Abbildung 22: Versuch 4 - Massenanteile der einzelnen Fraktionen bezogen auf die Prüfsandmasse.	46
Abbildung 23: Versuch 5 - Massenanteile der einzelnen Fraktionen bezogen auf die Prüfsandmasse.	48
Abbildung 24: Sand-Massenbilanzen der einzelnen Versuche in absoluten Massen.....	49

Abbildung 25: Sand-Massenbilanzen der einzelnen Versuche in Anteilen bezogen auf die Prüfsandmasse	50
Abbildung 26: Vergleich der Massenanteile des gefundenen Sands in Maxima und Minima aller Versuche mit den Anteilen des Prüfsands	51
Abbildung 27: Sandmassen und Sandverluste der Massenbilanzen der Versuche ohne Prüfsandzugabe	55
Abbildung 28: Sandmassenanteile und Anteile der Sandverluste der Massenbilanzen der Versuche ohne Prüfsandzugabe	55
Abbildung 29: Versuch 6 - Sand-Massenanteile der Fraktionen des Zulaufs verglichen mit denen aus dem Ablauf und Sandfanggut bezogen auf die Sandmasse im Zulauf	56
Abbildung 30: Versuch 7 - Sand-Massenanteile der Fraktionen des Zulaufs verglichen mit denen aus dem Ablauf und Sandfanggut bezogen auf die Sandmasse im Zulauf	57
Abbildung 31: Versuch 8 - Sand-Massenanteile der Fraktionen des Zulaufs verglichen mit denen aus dem Ablauf und Sandfanggut bezogen auf die Sandmasse im Zulauf	57
Abbildung 32: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Container am Zulauf	58
Abbildung 33: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Überlauf des Containers am Zulauf	59
Abbildung 34: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Container am Ablauf	59
Abbildung 35: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Überlauf des Containers am Ablauf	60
Abbildung 36: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Container am Sandfanggut-Schacht	60
Abbildung 37: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Überlauf des Containers am Sandfanggut-Schacht	61
Abbildung 38: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Überstandswasser des Sandfangguts	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Containermaße	16
Tabelle 2: Maße Überlaufcontainer	16
Tabelle 3: Sandmassen Versuch 1 – 5	49
Tabelle 4: Ergebnisse der absoluten Sandmassen der Versuche 6,7 und 8	55

1 Einleitung

1.1 Sandfang – Grundlagen

Der Sandfang befindet sich auf kommunalen Kläranlagen üblicherweise nach dem Zulauf an der zweiten Stelle der mechanischen Abwasserreinigung, hinter dem Rechen oder der Siebanlage und vor der Vorklärung. Sandfänge sind Absetzbecken, die den im Abwasser enthaltenen Sand durch Sedimentationsprozesse entfernen sollen. Grundlage hierfür ist der Dichteunterschied des Sands und des umgebenden Abwassers (DWA, 2009). Es gibt verschiedene Sandfangtypen, von denen auf großtechnischen Kläranlagen belüftete Langsandfänge am verbreitetsten sind (DWA, 2009). Durch die Anordnung mehrerer Sandfangstraßen kann auf schwankende Zuflüsse reagiert werden (ATV, 1997).

1.2 Sand im Abwasser

Sand ist einer der vielen, aber nicht unwesentlichen Bestandteile des Abwassers.

Nach DIN EN ISO 14688-1 (2013) ist Sand als mineralisches Korngemisch zwischen 0,063 mm und 2 mm definiert. Ursprung ist meist der Abrieb von Oberflächen, Schmutzstoffe aus dem Straßenverkehr und Sand und Kies aus Baustellen (Hirschbeck, 2010).

Die folgenden Faktoren beeinflussen den Sandanfall und die Kornzusammensetzung im betrachteten Einzugsgebiet (Hirschbeck, 2010):

Größe und Geologie, Vegetation, Anteil bebauter Fläche und Straßen, Siedlungsstruktur, Einwohnerdichte, Sandstreuung im Winter, Klimatische Bedingungen, Abfluss und Abflussschwankungen, Entwässerungssystem, Zustand und Wartung, Kanalgefälle.

Die Sandmengen im Abwasser unterliegen starken Schwankungen. Dies ist vermutlich auf die Vielzahl der unterschiedlichen Einflussfaktoren zurückzuführen (Hirschbeck, 2010).

Nach dem ATV-Handbuch (1997) schwanken die spezifischen Mengen zwischen 0,02 und 0,2 l/m³ Abwasser, was im Durchschnitt einer Menge von $4,0 \frac{\text{Liter}}{\text{Einwohner} \cdot \text{Jahr}}$ entspricht.

Bei Regenwetter und besonders nach langen Trockenwetterperioden ist der zu erwartende Sandanfall am größten. Je nach Rechen bzw. Siebanlage, welche dem Sandfang vorgeschaltet ist, variiert der Durchmesser des Größtkorns (Hirschbeck, 2010).

Bei Trockenwetter schwanken die Sandkonzentrationen zwischen 10 mg/l und 130 mg/l. Bei Regenwetter zwischen 400 mg/l und 500 mg/l (Hirschbeck, 2010).

Durch Sand und dessen mineralische Bestandteile kommt es zur Abnutzung an Pumpen, Räumaggregaten und Rohrleitungen. Ablagerungen im Vorklär-, Nachklärbecken und in Faultürmen verringern das nutzbare Volumen (DWA, 2009). Wesentliche Schäden und Störungen werden auf Kläranlagen durch die Korngrößen größer gleich 0,2 mm verursacht (Hirschbeck, 2010).

1.3 Sandfangprüfung - Stand des Wissens

Nach der DIN-Norm 19569-2 (2002) soll der Abscheidegrad von Sandfängen für Trennkorngrößen $d_T = 0,16 \text{ mm}$, $0,2 \text{ mm}$, $0,25 \text{ mm}$, $0,3 \text{ mm}$ $\eta = 95 \%$ oder 99% betragen (mit: d_T : Teildurchmesser in mm ; η : Abscheidegrad des Sandfangs in $\%$).

Die Überprüfung des Abscheidegrads von Sandfängen wurde in der Vergangenheit an einer Vielzahl unterschiedlicher Anlagen mit unterschiedlichen Varianten getestet. Ein anerkanntes Prüfverfahren für Sandfänge gibt es jedoch bis heute nicht.

Mit Hilfe eines allgemeingültigen, genormten Prüfverfahrens wäre es möglich Maßnahmen zur Optimierung von Sandfängen vorzunehmen und Verschleißerscheinungen in weiteren Anlagenteilen zu vermeiden. In Folge kann dies bei dem Bau und dem Betrieb Kosten minimieren.

Chasik und Burger nahmen 1964 die Messung der Sandkonzentration im Zulauf und Ablauf des Sandfangs vor und konzentrierten die Proben mit Hydrozyklonen oder mit Sedimentationsbecken auf (Hirschbeck, 2010). Neighbor und Cooper wendeten 1965 die Methode von Chasik und Burger auf einer großtechnischen Anlage an und bewerteten diese als ungeeignet, da sie zu zeitaufwendig sei (Hirschbeck, 2010).

Neitzel und Tschech schlugen 2007 die Prüfung des Abscheidegrads durch Bestimmung des mineralischen Anteils im Rohschlamm der Vorklärung vor. Diese Variante ließ jedoch nur qualitative Aussagen über den Abscheidegrad des Sandfangs zu (Hirschbeck, 2010).

Einige Wissenschaftler schlugen vor, den Abscheidegrad durch zusätzliche Sandzugabe zu ermitteln. Hier gab es jedoch große Differenzen bei der Wahl des Prüfsands, was dazu führte, dass diese Verfahren nicht verglichen werden konnten (Hirschbeck, 2010).

Als die jüngsten Vorschläge für Prüfverfahren für Sandfänge können zum einen die Dissertation „Untersuchung zur Leistungsfähigkeit von belüfteten Sandfängen auf Kläranlagen“ von Frau Dr. Hirschbeck und zum anderen die Patentschrift „Verfahren zur Prüfung von Sandfängen in Kläranlagen“ von Herrn Dr. Botsch betrachtet werden.

Das Ziel der Dissertation von Frau Dr. Hirschbeck war unter anderem, einen Vorschlag für ein Prüfverfahren von Kompaktanlagen und großtechnischen Anlagen zu entwickeln (Hirschbeck, 2010). Herr Dr. Botsch spricht sich klar für die Prüfung des Abscheidegrads von Sandfängen mit der Zugabe von Prüfsand aus und beschreibt in seiner Patentschrift einen konkreten Vorschlag für dieses Verfahren.

Vor dem Hintergrund eines fehlenden Standards für Sandfanguntersuchungen, sollen unterschiedliche Vorgehensweisen zur Bestimmung des Sandabscheidegrads von Sandfängen in der Praxis durchgeführt werden. So lautet der Beschluss des DWA-Fachausschusses KA-5 „Absetzverfahren“ auf der 88. Sitzung am 26./27.10.2016 (Born, 2016).

2 Zielsetzung

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es die Variante der Sandfangprüfung ohne die Zugabe von Prüfsand nach Hirschbeck (Hirschbeck, 2010) und die Variante der Sandfangprüfung mit der Zugabe von Prüfsand nach Botsch (Botsch, 2015) hinsichtlich der Durchführbarkeit und der Reproduzierbarkeit zu bewerten. Im Anschluss sollen die beiden Varianten verglichen werden. Für diesen Zweck müssen die vorgeschlagenen Prüfverfahren an die großtechnische Anlage auf der Kläranlage Köhlbrandhöft-Süd angepasst werden und zur Bewertung der Reproduzierbarkeit werden für alle Versuche vollständige Massenbilanzen von allen zu- und abfließenden Sandmassen aufgestellt.

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Ansatz nach Hirschbeck

Frau Dr.-Ing. Christina Hirschbeck kommt in ihrer Dissertation „Untersuchung zur Leistungsfähigkeit von belüfteten Sandfängen auf Kläranlagen“ zu dem Schluss, dass der Abscheidegrad von Sandfängen ohne künstliche Sandzugabe geschehen sollte, solange die Sandkonzentration im Abwasser nicht deutlich unter 100 mg/l liegt (Hirschbeck, 2010). Dies begründet sie damit, dass dadurch positive Einflüsse einer hohen Sandkonzentration im Abwasser auf den Abscheidegrad ausgeschlossen werden könnten (Hirschbeck, 2010). In Abbildung 1 ist der Vorschlag für ein Prüfverfahren nach Hirschbeck dargestellt.

Im Zulauf und Ablauf des Sandfangs sollen, um eine Durchflusszeit versetzt, Proben vorzugsweise mit einer Tauchpumpe mit Freistromrad (freiem Durchgang von größer 10 mm) genom-

men werden. Dies bietet, so Hirschbeck (2010), den Vorteil, dass neben der quantitativen Aussage zum Abscheidegrad des Sandfangs auch eine durchflussabhängige Konzentrationsganglinie des Sands erstellt werden könne. Die Aufkonzentrierung der Proben solle dann mit dem Sedimentationsprozess geschehen, da dieser einfacher und kostengünstiger als die Variante mit Hydrozyklonen sei.

Die Siebung des Glührückstands genüge mit einem Sieb der Maschenweite 0,2 mm, um eine Aussage über den Abscheidegrad für Korngrößen größer gleich 0,2 mm zu treffen (Hirschbeck, 2010). Darüber hinaus hat sich Frau Dr. Hirschbeck auch noch weiter mit dem Thema der Sandfangprüfung beschäftigt.

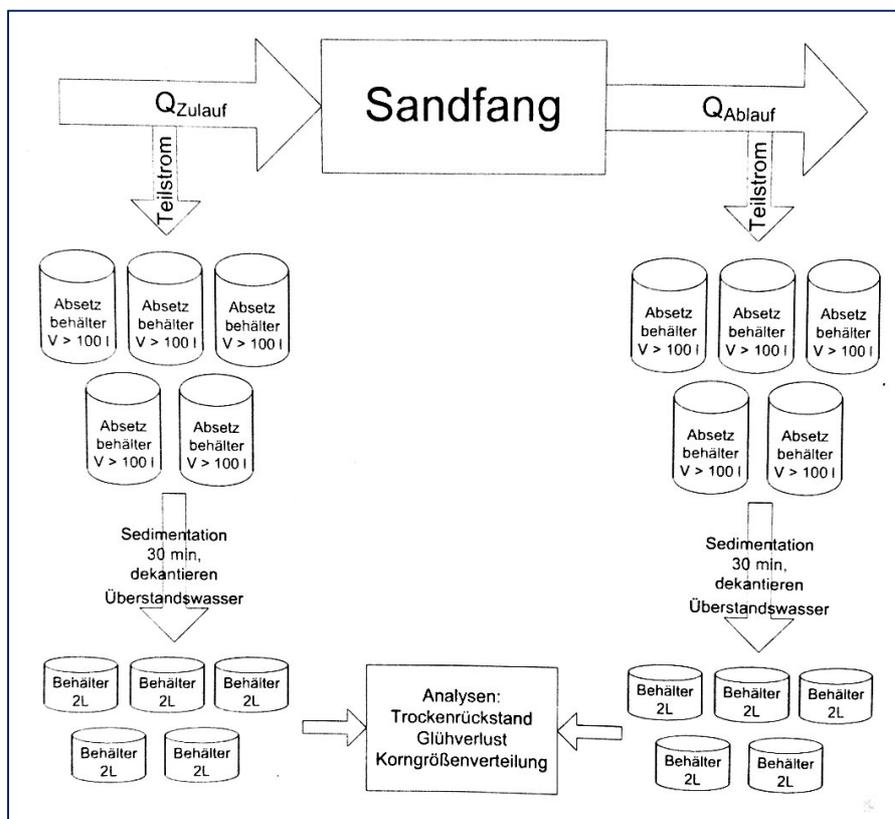


Abbildung 1: Vorschlag eines Prüfverfahrens für den Abscheidegrad von bestehenden Sandfängen (Hirschbeck, 2010).

3.2 Ansatz nach Botsch

Dr.-Ing. Bertram Botsch schlägt in der Patentschrift „Verfahren zur Prüfung von Sandfängen in Kläranlagen“ vor (Botsch, 2015), dem Sandfang im Zulauf eine im Vergleich zur Grundlast (normale Sandkonzentration im Abwasser) 20 bis 50-mal größere Sandprüflast zuzuführen. So können die anlagenspezifisch und ganglinienspezifisch schwankenden Korngrößenanteile der

Grundlast vernachlässigt werden. Das Prüfverfahren sei für jede Sandfanggröße und -bauart geeignet.

Voraussetzung ist, dass der Sandfang mit einem Saugräumer ausgestattet ist, der den Sand im Sand-Wasser-Gemisch aus dem Sandfang fördert. Die folgenden Verfahrensschritte zur Prüfung des Abscheidegrads werden in den Patentansprüchen beschrieben:

1. „die aktuellen Kennwerte Durchfluss Q_N , Sandfangvolumen V , theoretische Aufenthaltszeit $T_{theor.}$ und als Grundlast der jährliche Sandanfall M_S werden ermittelt,
2. ein getrennter Entwässerungscontainer zur Aufnahme des während der Prüfung gepumpten Sand-Wasser-Gemisches ist vorgesehen,
3. der Sandfang wird vor Prüfbeginn ausgeräumt und dessen Sand-Wasser-Gemisch getrennt vom Prüfvorgang entsorgt,
4. eine Probe des Prüfsands wird zur Bestimmung seiner Sieblinie entnommen,
5. in den Zulauf des Sandfangs oder an der Stirnseite des Sandfangs wird Prüfsand als Prüflast eingetragen, wobei die Prüflast ein Vielfaches der Grundlast beträgt,
6. nach Zugabe des Prüfsands wird eine weitere Betriebsdauer in der Länge der theoretischen Aufenthaltszeit zuzüglich einer Nachlaufzeit eingehalten,
7. der abgesetzte Sand wird aus dem Sandfang ausgeräumt, in den Entwässerungscontainer gepumpt und entwässert,
8. die Menge des im Entwässerungscontainer abgesetzten Sandes wird gemessen,
9. Proben von dem im Entwässerungscontainer abgesetzten Sand werden zur Bestimmung ihrer Sieblinien entnommen und
10. die Menge des abgesetzten Sandes wird mit der Prüfsandmenge zur Bestimmung des Wirkungsgrades ins Verhältnis gesetzt.“

(Botsch, 2015)

3.3 Bilanzierung der Sandmassen

Die Berechnung des Abscheidegrads des Sandfangs soll nach Botsch über das Verhältnis von der abgesetzten Sandmasse, also des Sandfangguts, zur zugegebenen Prüfsandmasse geschehen. Demgegenüber wird der Abscheidegrad des Sandfangs nach Hirschbeck aus dem Verhältnis von der Sandkonzentration bzw. -fracht im Ablauf und Zulauf des Sandfangs ermittelt. Die Ermittlung des Abscheidegrads kann jedoch nur auf diese Weise geschehen, wenn es keine Verluste bei der Probenahme gibt und die Ergebnisse reproduzierbar sind. Außerdem ist die

Prüfung von Sandfängen aus Betreibersicht sehr aufwendig. Um die Aussagekraft der Prüfverfahren zu testen und beurteilen zu können wie der Aufwand am geringsten gehalten werden kann, wird für beide Verfahren eine vollständige Massenbilanz aller zu- und abfließenden Sandmassen aufgestellt. Schematisch sind die Versuchsanordnungen in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt.

Massenbilanz für den Versuch mit Prüfsand (bei Vernachlässigung der Grundlast):

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = m_{\text{Sand,SFG}} + m_{\text{Sand,Ablauf}} \quad (3-1)$$

mit:

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebener Prüfsand in kg

$m_{\text{Sand,SFG}}$: Sandmasse im Sandfanggut in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs in kg

Massenbilanz für den Versuch ohne Prüfsand:

$$m_{\text{Sand,Zulauf}} = m_{\text{Sand,SFG}} + m_{\text{Sand,Ablauf}} \quad (3-2)$$

mit:

$m_{\text{Sand,Zulauf}}$: Sandmasse im Zulauf des Sandfangs in kg

$m_{\text{Sand,SFG}}$: Sandmasse im Sandfanggut in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs in kg

3.4 Fließschemen

3.4.1 Versuch mit Prüfsandzugabe

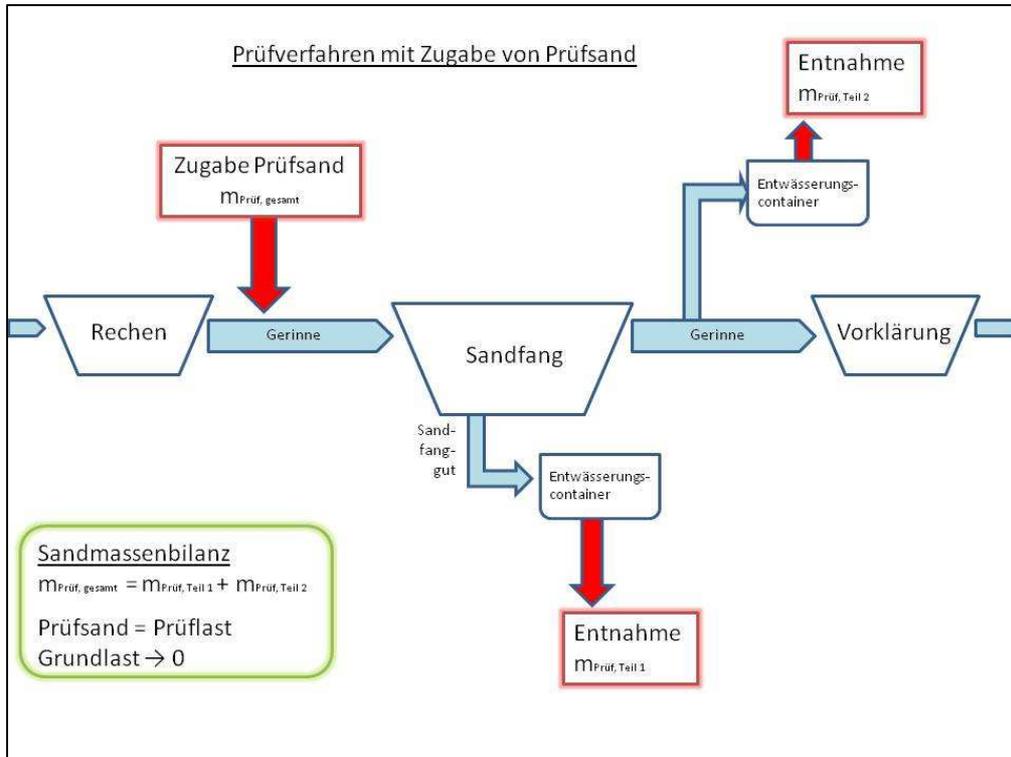


Abbildung 2: Fließschema der Untersuchung des Prüfverfahrens mit Zugabe von Prüfsand

3.4.2 Versuch ohne Prüfsandzugabe

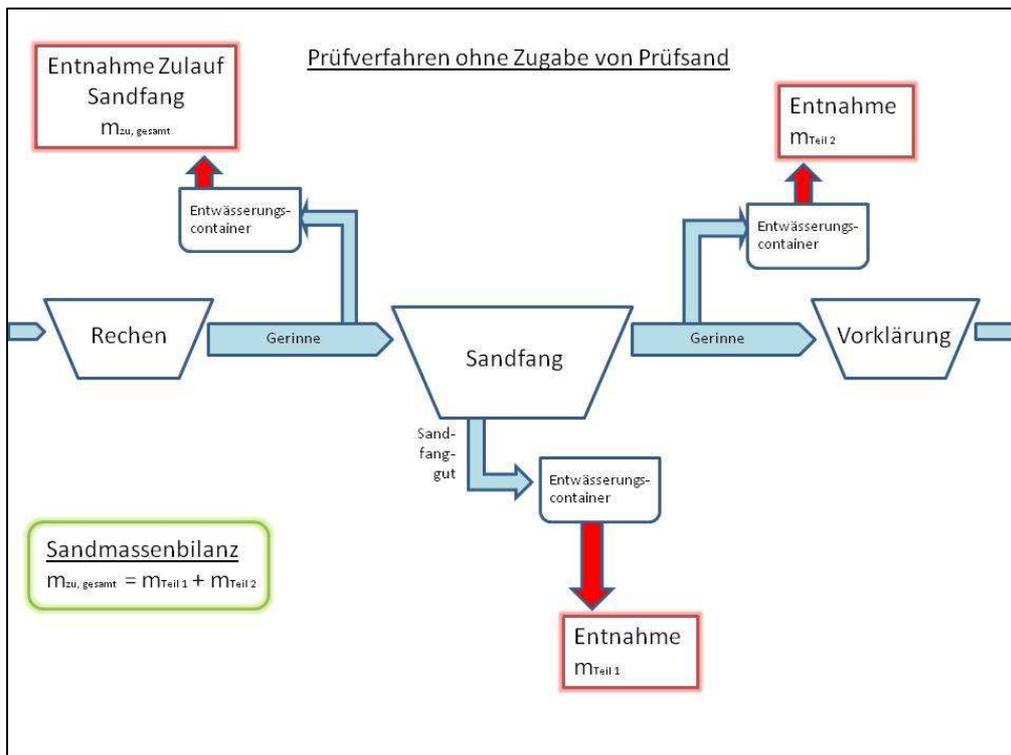


Abbildung 3: Fließschema der Untersuchung des Prüfverfahrens ohne Zugabe von Prüfsand

3.5 Berechnungen der gesuchten Parameter

Vor der Versuchsdurchführung mussten unbekannt Parameter ermittelt werden. Die Grundlage dessen waren Vorgaben der Autoren und Abhängigkeiten von der Anlagentechnik.

3.5.1 Durchflusszeit Sandfang

Die Durchflusszeit eines Sandfangs wird bei maximalem Zulauf berechnet und ist außerdem von dem Volumen der Sandfangstraße abhängig.

$$t_{SF,Durchfluss} = \frac{V_{Sandfang}}{Q_{Sandfang}} \quad (3-3)$$

mit:

$t_{SF,Durchfluss}$: Durchflusszeit des Sandfangs in s

$Q_{Sandfang}$: maximaler Zulauf in $\frac{m^3}{s}$

$V_{Sandfang}$: Volumen Sandfang in m^3

3.5.2 Versuche mit Prüfsand

3.5.2.1 Entnahmedauer am Ablauf des Sandfangs

Die Entnahmezeit am Ablauf des Sandfangs beträgt eine Zugabedauer zuzüglich einer Nachlaufzeit von mindestens einer Durchflussdauer (Botsch, 2015). Die Nachlaufzeit soll gewährleisten, dass der gesamte Sand aufgefangen wird. Der entstehende Fehler durch die Grundlast ist wegen der hohen Prüfsandkonzentration zu vernachlässigen.

$$t_{Entnahme,Ablauf} = t_{Zugabe} + t_{Durchfluss,Sandfang} \quad (3-4)$$

mit:

$t_{Entnahme,Ablauf}$: Entnahmedauer am Ablauf des Sandfangs in s

t_{Zugabe} : Zugabedauer des Prüfsands in s

$t_{Durchfluss,Sandfang}$: Durchflussdauer des Sandfangs in s

3.5.2.2 Entnahmedauer des Sandfangguts

Die Entnahmedauer des Sandfangguts setzt sich aus der Versuchsdauer, der Nachlaufzeit und mindestens zwei Räumdauern (Opitz, 2017), die jeweils etwa eine halbe Stunde betragen, zusammen. Der im Sandfang verbliebene Prüfsand soll von den Räumerpumpen erfasst werden können (Botsch, 2015).

$$t_{\text{Entnahme,Sandfanggut}} = t_{\text{Zugabe}} + t_{\text{Durchfluss,Sandfang}} + x \cdot t_{\text{Räumer}} \quad (3-5)$$

mit $x \geq 2$

und mit:

$t_{\text{Entnahme,Sandfanggut}}$: Entnahmedauer am Sandfanggut – Schacht in s

t_{Zugabe} : Zugabedauer des Prüfsands in s

$t_{\text{Durchfluss,Sandfang}}$: Durchflussdauer des Sandfangs in s

$t_{\text{Räumer}}$: Räumdauer einer Sandfanggutlänge in s

x : Anzahl

3.5.2.3 Förderleistung der Pumpe am Ablauf

Die Förderleistung der Pumpen zur Probenahme am Ablauf ergibt sich aus der Entnahmedauer und dem Volumen des zu befüllenden Containers.

$$\dot{V}_{\text{Pumpen}} = \frac{V_{\text{Container}}}{t_{\text{Entnahme,Ablauf}}} \quad (3-6)$$

mit:

$t_{\text{Entnahme,Ablauf}}$: Entnahmedauer am Ablauf in s

$V_{\text{Container}}$: Volumen des verwendeten Containers in m^3

\dot{V}_{Pumpen} : Förderleistung der Pumpe in $\frac{m^3}{s}$

3.5.2.4 Förderleistung der Pumpe für Sandfanggut

An dieser Stelle wird ein durchfluteter Absetzcontainer eingesetzt, da die Förderleistung der Pumpe sonst zu gering gewählt werden müsste und kleine Pumpen durch die hohe Sandkonzentration zu schnell verstopfen (Opitz, 2017). Nach dem Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt (Hirschbeck, kein Datum) soll ein durchflossener Absetzbehälter eine Oberflächenbeschickung kleiner 3 mm/s aufweisen. Daraus ergibt sich folgende Berechnung für die Förderleistung der eingesetzten Pumpen:

$$q = \frac{\dot{V}_{\text{Pumpe}}}{A_{0,\text{Container}}} \quad (3-7)$$

mit $q < 3 \frac{mm}{s}$ und $A_{0,\text{Container}} = l_{\text{Container}} \cdot b_{\text{Container}} \cdot \frac{2}{3}$

Auf Grund der Containerform eines vierseitigen Prismas wird A_0 noch mit dem Faktor $\frac{2}{3}$ multipliziert.

mit:

q : Oberflächenbeschickung für einen durchflossenen Absetzbehälter in $\frac{mm}{s}$

$A_{0,Container}$: mittlere Oberfläche des Containers in m^2

$l_{Container}$: Länge des Container in m

$b_{Container}$: Breite des Containers in m

\dot{V}_{Pumpe} : Förderleistung der Pumpe in $\frac{m^3}{s}$

3.5.2.5 Prüfsandmasse

Die Prüfsandkonzentration soll nach Botsch das 20- bis 50-fache der normalen Sandkonzentration im Abwasser betragen (Botsch, 2015). Um den Aufwand gering zu halten, wurde hier mit dem 20-fachen der Grundlast gerechnet. Der Zufluss ist maximal. Die Prüfsandmasse ist wesentlich abhängig von der Zugabedauer des Prüfsands und wird wie folgt berechnet (Opitz, 2017):

$$m_{Prüf} = x \cdot \left((t_{Zugabe} + t_{Nachlauf}) \cdot c_s \cdot \dot{V}_{Zulauf,SF} \right) \cdot 10^{-6} \frac{kg}{mg} \quad (3-8)$$

mit:

$m_{Prüf}$: Prüfsandmasse in kg

x : Vielfaches der normalen Sandkonzentration im Abwasser

t_{Zugabe} : Zugabedauer des Prüfsands in s

$t_{Nachlauf}$: Nachlaufzeit – beträgt eine Durchflusszeit in s

c_s : Sandkonzentration im Abwasser in $\frac{mg}{l}$

$\dot{V}_{Zulauf,SF}$: Zufluss Sandfang in $\frac{l}{s}$

3.5.3 Versuche ohne Prüfsand

3.5.3.1 Förderleistung der eingesetzten Pumpen

Es werden durchflutete Absetzcontainer eingesetzt, da sonst entweder die Förderleistung oder die Versuchsdauer zu gering gewählt werden müsste. Wie in den Berechnungsgrundlagen (Kapitel 3.5.2.4) bereits erläutert, ist die Förderleistung von der einzuhaltenden Oberflächenbeschickung abhängig. Die Förderleistung der einzusetzenden Pumpe wird dementsprechend wie in Kapitel 3.5.2.4 nach Formel (3-7) berechnet.

3.5.3.2 Versuchsdauer

Die Versuchsdauer ist unter anderem davon abhängig, wieviel Sand in dem Container aufgefangen werden soll. Die Versuchsdauer wird daraus wie folgt berechnet:

$$t_{\text{Versuch}} = \frac{m_{\text{Sand}}}{c_s \cdot \dot{V}_{\text{Pumpe}}} \quad (3-9)$$

mit:

c_s : Sandkonzentration am Zulauf in $\frac{\text{mg}}{\text{l}}$

m_{Sand} : Sandmasse im Container in mg

t_{Versuch} : Versuchsdauer in s

\dot{V}_{Pumpe} : Förderleistung der eingesetzten Pumpe in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$

4 Material und Methoden

Im folgenden Kapitel werden verwendeten Materialien und Methoden dargestellt und erläutert.

4.1 Auf dem Gelände

4.1.1 Benutzte Anlagentechnik

Auf Köhlbrandhöft-Süd gibt es vier abgedeckte belüftete Langsandfänge (siehe Abbildung 5) mit folgenden Maßen: Länge: 64 m, Breite: 3,5 m, Tiefe: 4,1 m und Volumen von etwa 717 m³ pro Sandfangstraße. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit beträgt 0,06 m/s. Der maximale Gesamtdurchfluss liegt bei etwa 8 m³/s. Die Sandfänge sind mit zwei Brückenräumern ausgestattet, die jeweils mit zwei Kreiselpumpen der Typen TURO TV61-100 der Firma Egger ausgestattet sind. Die Förderleistungen der Räumerpumpen betragen für Sandfang eins 83 m³/h, für Sandfang zwei 57 m³/h, für Sandfang drei 58 m³/h und für Sandfang vier 57 m³/h (Hambarsomian, 2014). Die eingetragene Luftmenge beträgt 350 m³/h im Mittel. Bei den Versuchen wurde ausschließlich mit den Sandfängen 3 und 4 gearbeitet. In Abbildung 4 sind die Sandfänge auf Köhlbrandhöft Süd schematisch dargestellt. Die Zugabe- bzw. Entnahmestellen

der Versuche sind rot gekennzeichnet.

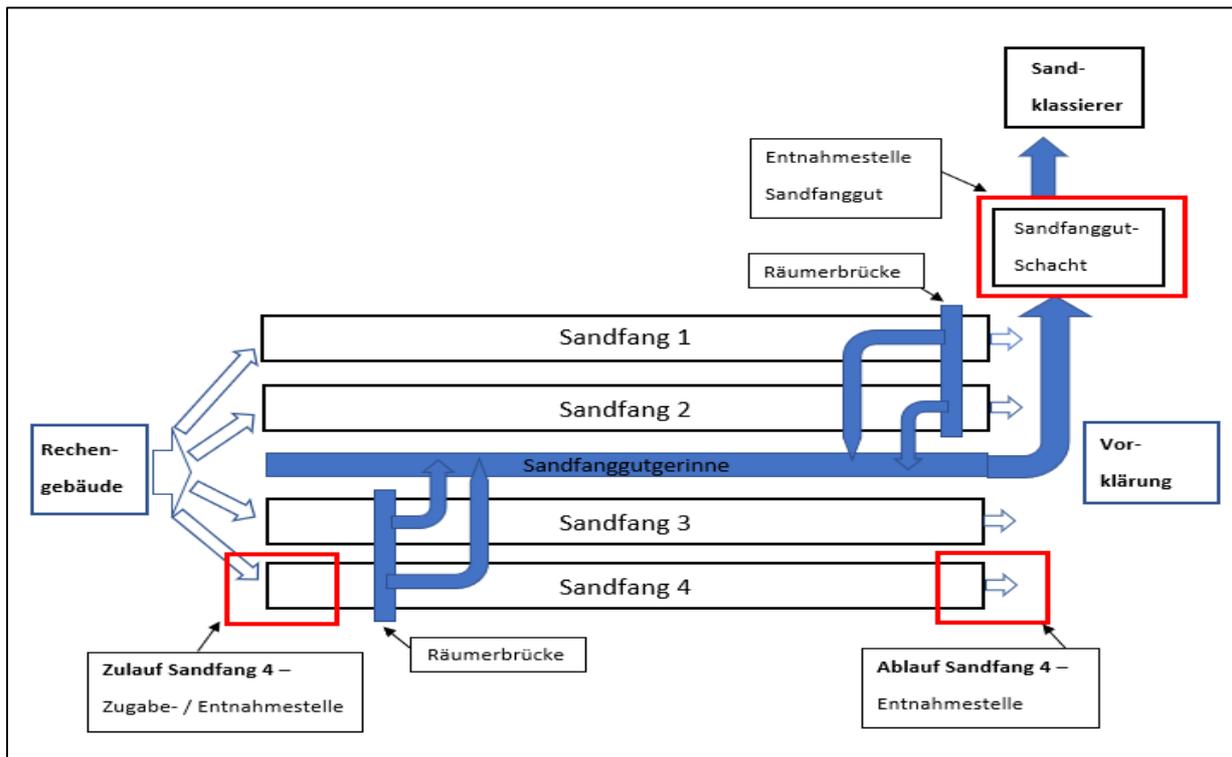


Abbildung 4: Schematischer Überblick über die benutzte Anlagentechnik und die Zugabestelle und Entnahmestellen

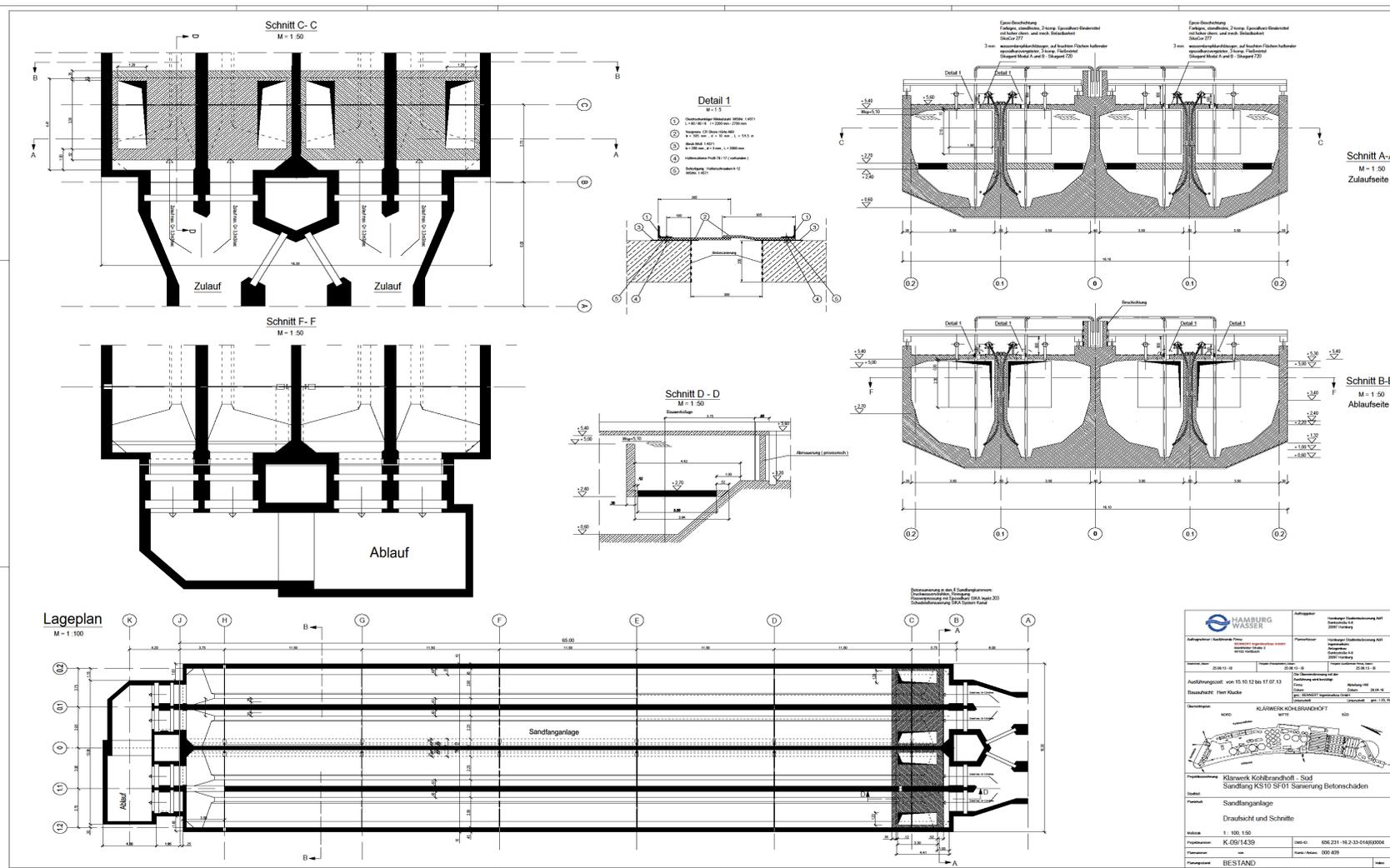


Abbildung 5: Technische Zeichnung der vier Sandfänge auf Köhlbrandhöft Süd (Bennert Ingenieurbau GmbH, 2013)

4.1.2 Materialien

4.1.2.1 Prüfsand

Bei den Versuchen mit Prüfsandzugabe wurde Quarzsand der Art HR81T verwendet. Die Sieblinie (siehe Abbildung 6) wurde durch mehrfache Siebung im Labor ermittelt. Die Daten der Siebungen sind dem Anhang C zu entnehmen. Der gewählte Prüfsand hat eine einheitliche Korngrößenverteilung und weist den meisten Masseanteil bei Fraktionen um 0,2 mm auf. Der Abscheidegrad von Sandfängen (DIN-Norm 19569-2) orientiert sich an diesen Fraktionen, da sie auch unter realen Bedingungen am häufigsten vorkommen. Der Glühverlust des draußen gelagerten Sands beträgt gemittelt 0,22% und wird daher vernachlässigt. Die Schüttdichte des Prüfsands wird auf etwa 1,6 kg/l geschätzt (Firma M+E Neuenhaus GmbH & Co.KG, 2013).

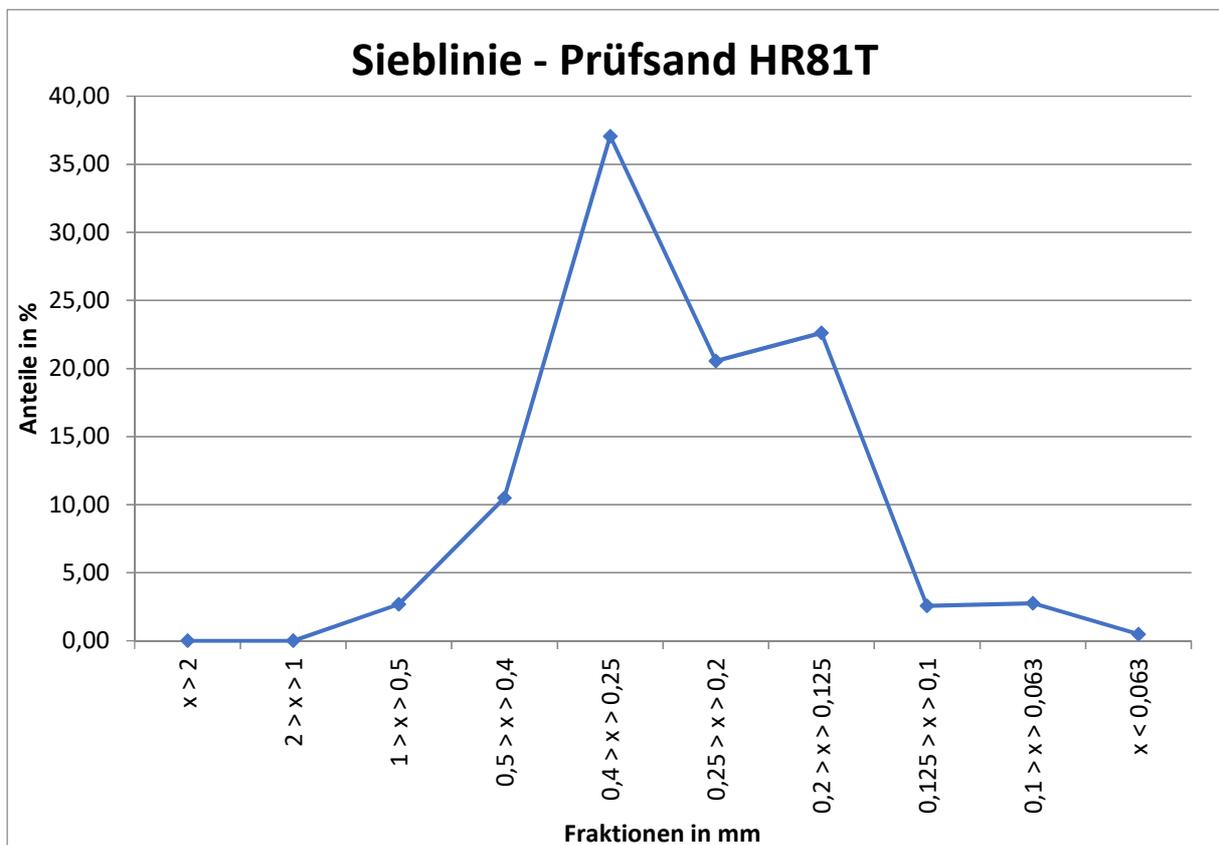


Abbildung 6: Massenanteile der Fraktionen des Prüfsands – Mittelwert aus fünf Messungen

4.1.2.2 Tauchpumpen

Die Probenahme während des Versuchs erfolgte mit Tauchpumpen der folgenden Typen:

Drain-Twister TM 32/7 des Herstellers Wilo mit der aufgeführten, von der Förderhöhe abhängigen Förderleistung.

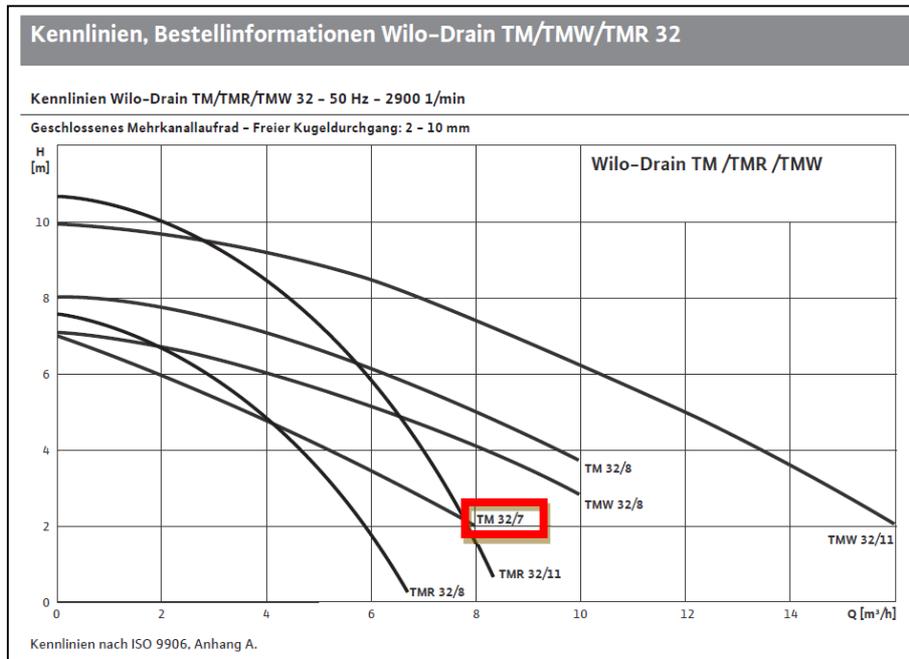


Abbildung 7: Abhängigkeit der Förderleistung der Tauchpumpe Drain-Twister TM 32/7 von der Förderhöhe

Schmutzwasser-Tauchmotorpumpe TP65F der Firma Wilo mit der aufgeführten, von der Förderhöhe abhängigen Förderleistung.

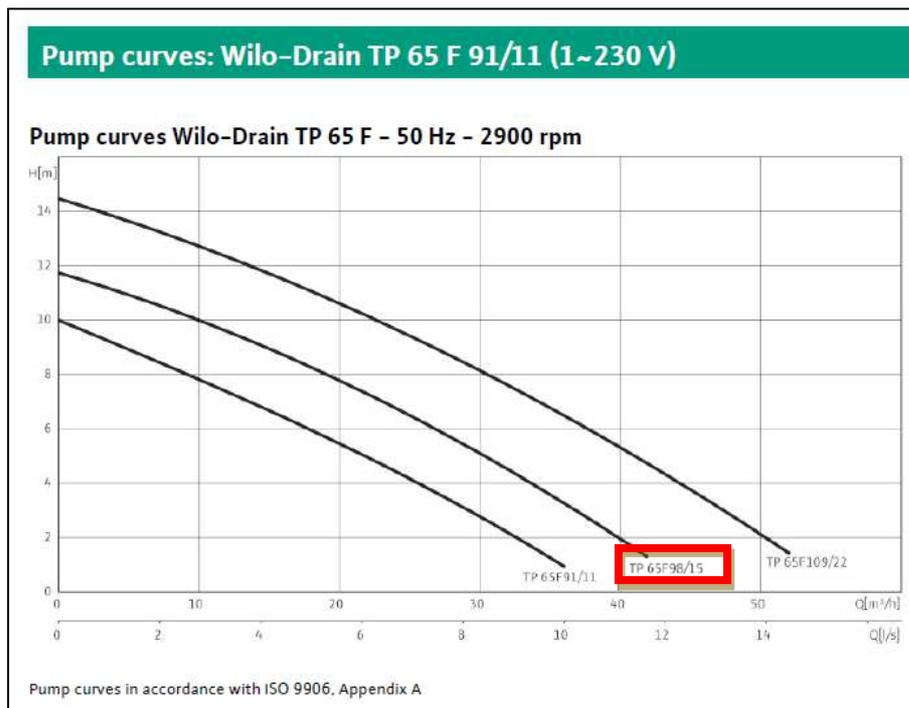


Abbildung 8: Abhängigkeit der Förderleistung der Tauchpumpe TP65F von der Förderhöhe

4.1.2.3 Kompressor

Zum Zweck der Verwirbelung am Zulauf des Sandfangs bei der Prüfsandzugabe wurde mit einem Kompressor der Firma KAESER Kompressoren GmbH des Typen M64.1, mit einem maximalen Betriebsdruck von 10 bar über zwei Lanzen, Luft eingetragen.

4.1.2.4 Probenahmegefäße

4.1.2.4.1 Container

Die Maße der Container in die der Teilvolumenstrom an der jeweiligen Probenahmestelle gefördert wurde sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Containermaße

Bezeichnung	Länge oben	Breite oben	Länge unten	Breite unten	Höhe	Volumen
Maßeinheit	<i>in cm</i>	<i>in m³</i>				
Maß	350,5	170	187,5	158,5	116	5,08

Variante 1: Der Container stand ebenerdig auf dem Untergrund.

Variante 2: Der Container stellte ein durchflutetes Absetzbecken über die Versuchszeit dar und war an einer Breite durch Holzblöcke aufgesetzt. Für diese Variante ergeben sich an den unterschiedlichen Entnahmestellen die folgenden Volumina (siehe Tabelle 2):

Tabelle 2: Maße Überlaufcontainer

Probenahmestelle	Volumen
-	<i>in m³</i>
Zulauf Sandfang	4,157
Ablauf Sandfang	4,429
Sandfanggut - Schacht	4,238

4.1.2.4.2 Schöpfgefäß

Zur Entnahme der Proben an den unterschiedlichen Stellen wurden Schöpfgefäße aus Kunststoff mit einem Volumen von 5 l verwendet.

4.1.2.4.3 Eimer

Die mit den Schöpfgefäßen entnommenen Mischproben wurden in gedeckelten Plastikeimern mit einem Füllvolumen von etwa 20 l ins Labor transportiert.

4.1.2.5 Siebe

Zum Sieben der Suspensionen und Gewinnung des Siebrückstands wurden Siebe der Maschenweite 0,063 mm eines Durchmessers von 400 mm der Firma VWR nach DIN EN 10 204 benutzt.

4.1.3 Methoden

4.1.3.1 Zulauf Sandfang

4.1.3.1.1 Versuch mit Prüfsand: Sandzugabe

Der Prüfsand des Typs HR81T wurde mit Eimern, welche ein Volumen von 15 l aufweisen, über die Versuchszeit in den Sandfang gegeben. Die Sandzugabe ist in Abbildung 9 dargestellt. Über die Prüfsandschüttdichte und, die zuzugebende Prüfsandmasse konnte ermittelt werden, wie viele Eimer über die Zugabezeit in den Zulauf gegeben werden mussten. Für zusätzliche Verwirbelung sorgte die Luftzufuhr an der Zugabestelle durch einen Kompressor mit zwei Luftlanzen. Die Intention der Luftzufuhr ist eine reale Vermischung zu schaffen.



Abbildung 9: Prüfsandzugabe mit Lufteintrag am Zulauf des Sandfangs

4.1.3.1.2 Versuch ohne Prüfsand: Entnahme

Durch eine Tauchpumpe des Typen TP65F, verbunden mit einem C-Schlauch, wurde über die Versuchszeit ein Teilstrom aus dem Zulauf des Sandfangs 4 in einen Überlaufcontainer gefördert. Bei den Versuchen mit Prüfsand wurde der Sand an der Luke des Zulaufs zugegeben (siehe Abbildung 9). An der gleichen Stelle wurde der Teilstrom bei den Versuchen ohne Prüfsandzugabe entnommen.

4.1.3.1.3 Entnahme - Ablauf Sandfang

An dieser Stelle wurde entweder mit der Pumpe des Typen Drain-Twister TM 32/7, verbunden mit einem 1“-Schlauch, oder der Pumpe des Typen TP65F, verbunden mit einem C-Schlauch, ein Teilstrom aus dem Ablauf des Sandfangs, abhängig von der Versuchszeit, in einen ebenerdig stehenden oder aufgesetzten Container (siehe Punkt 4.1.2.4.1 Variante 2) gefördert. Die Entnahme am Ablauf des Sandfangs ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Förderleistung der Pumpe des Typen Drain-Twister TM 32/7 konnte gegebenenfalls durch ein Ventil gedrosselt werden.

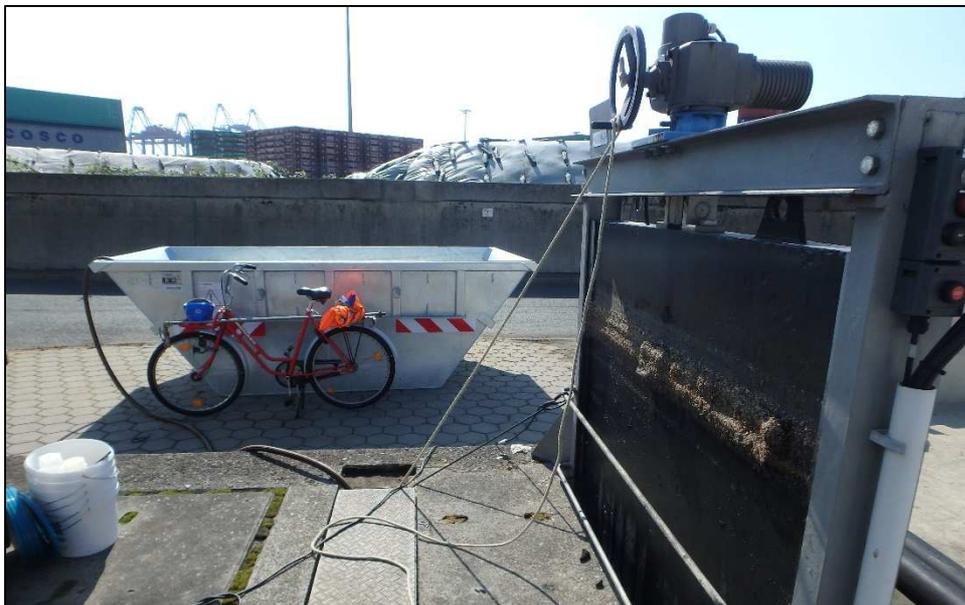


Abbildung 10: Entnahme am Ablauf des Teilstroms hier mit einer Tauchpumpe des Typen Drain-Twister TM 32/7

4.1.3.1.4 Entnahme – Sandfanggut

Ein Teilstrom des Sandfangguts wurde mit der Pumpe des Typen TP65F, verbunden mit einem C-Schlauch, über die Versuchszeit in einen aufgesetzten Container (siehe Punkt 4.1.2.4.1 Variante 2) gefördert. Der Entnahmevorgang ist in den Abbildungen 11 und 12 dargestellt. Der

dargestellte Schacht wird hier als Sandfanggut-Schacht bezeichnet. Die Pumpe wurde vor dem Abfluss des Sandfanggut-Schachts platziert. Der Abfluss ist in Abbildung 12 nicht zu erkennen. Durch den relativ kleinen Querschnitt des Schachts waren die Turbulenzen so hoch, dass angenommen werden konnte, dass das gesamte Sand-Wasser-Gemisch an der Pumpe vorbeifloss.



Abbildung 11: Entnahme des Sandfangguts aus dem Sandfanggut-Schacht



Abbildung 12: Sandfanggut-Schacht von innen

4.1.3.2 Probenahme des Überlaufs

Von dem Überlauf der durchfluteten Absetzcontainer wurden über die Entnahmezeit regelmäßig Proben mit dem 5-Liter-Schöpfgefäß genommen. Das gesamte Probenvolumen umfasste zwischen 12 und 40 l. Diese Mischprobe war relevant für die Berechnung der Sandverluste durch den Überlauf (siehe Kapitel 5.2.2.3, Formel (5-10)).

4.1.3.3 Entwässern der Container

Die Probe im Container nach der Entnahme bestand zum Großteil aus Wasser und zu geringeren Teilen aus Organik und Anorganik. Für die weitere Behandlung der Proben war nur der anorganische Bestandteil von Bedeutung. Um das Überstandswasser weitestgehend aus dem Container zu entfernen, wurde die folgende Methode angewandt.

Nach der Versuchsdurchführung folgte zunächst eine Absetzzeit von 30 bis 60 Minuten. Das Abfördern des Überstandswassers wurde mit der Pumpe des Typen Drain-Twister TM 32/7 durchgeführt, die sich in einem Eimer, der minimal unter dem Wasserspiegel des Containers hing, befand. Zu sehen ist dieser Vorgang in Abbildung 13 und 14. Die Förderleistung konnte gegebenenfalls durch ein Ventil gedrosselt werden.



Abbildung 13: Entwässerungsmethode



Abbildung 14: Entwässerungsmethode

Das Wasser strömte über den Eimerrand in den Eimer und von dort förderte es die Tauchpumpe aus dem Container, ohne dass es zu Verwirbelungen des abgesetzten Sediments im Container kam.

Variante 1: Dieser Vorgang wurde solange durchgeführt, bis das über den Eimerrand strömende Fluid nicht mehr klar war. Das hierbei keine Sandmassenverluste entstanden beweist die Be-
probung des Überstandswassers (beschrieben in Kapitel 4.1.3.4).

Variante 2: Dieser Vorgang wurde solange durchgeführt, bis die Flüssigkeit beinahe komplett aus dem Container entfernt worden war, wie in Abbildung 15 dargestellt.



Abbildung 15: Entwässerungsmethode nach Variante 2

4.1.3.4 Probenahme des Überstandswassers (aus dem Container)

Von dem durch das Entwässern abgepumpten Überstandswasser wurden, über die Entwässerungszeit, regelmäßig Proben genommen. Das Probenvolumen lag zwischen 20 bis 60 l. Diese Mischprobe war relevant für die Berechnung der Sandverluste durch die Entwässerung des Containers (siehe Kapitel 5.2.2.3, Formel (5-12)).

4.1.3.5 Probenahme der Mischproben

Nach dem Entwässern blieb eine aufkonzentrierte Suspension aus Wasser, Organik und Anorganik im Container übrig. Um die genaue Zusammensetzung im Labor zu analysieren, wurden Mischproben aus den Containern entnommen. Dies ist in den Abbildungen 16 und 17 zu sehen. Die Durchmischung erfolgte durch im Container befindliche Personen, die entweder mit Hilfe von Schaufeln und durch Bewegungen, oder durch Lufteintrag mit Hilfe des Kompressors, Turbulenzen erzeugten. Das Mischprobenvolumen betrug 40 bis 60 l und wurde mit 5-Liter-Schöpfgefäßen entnommen. Diese Mischprobe war relevant für die Berechnung des Sandgehalts in dem entsprechenden Container (siehe Kapitel 5.2.2.2, Formel (5-3/5-4) und Kapitel 5.2.2.3, Formel (5-7/5-8)).



Abbildung 16: Probenahme der Mischproben mit Durchmischung durch Lufteintrag



Abbildung 17: Probenahme der Mischproben mit Durchmischung mit einer Schaufel

4.1.3.6 Gewinnung des Siebrückstands

Da die Zusammensetzung der Suspension zu dem Zeitpunkt noch unbekannt war, wurde diese teilweise bereits vor Ort mit einem Sieb der Maschenweite 0,063 mm und einem Durchmesser von 400 mm gesiebt. Dies geschah auf die gleiche Weise wie hinterher die Siebungen im Labor und sollte gewährleisten, dass genug Siebrückstand für die weitere Behandlung im Labor zur Verfügung stand.

4.1.4 Messmethoden

4.1.4.1 Durchflussmessung

Zwischen Sandfang und Vorklärung wird der Durchfluss mit einer Online-Sonde in 10-Sekunden-Abständen gemessen. Diese ist von der Fima Fa.Nivus und besteht aus folgenden Komponenten: Sensor: Typ OLS-V3H3KFE15K0, Auswerteeinheit OCM-Pro LR sowie einer Ultraschallmessung 0,3-6 m NMI0065000000H. Die Werte können aus dem TeBis System entnommen werden. Von allen Werten wurde über die Zeiten die Mittelwerte gebildet.

4.1.4.2 Auslitern der Pumpen

Die Förderleistungen der Pumpen, welche zur Entnahme während der Versuche im Einsatz waren, wurden im Falle der Entnahme mit einem Überlaufcontainer durch regelmäßiges Auslitern mit Hilfe eines 1 m³ Kanisters bestimmt. In Abbildung 18 ist dieser Vorgang dargestellt. Der

Füllstand des Kanisters wurde berechnet und die Zeit des Befüllens wurde in Sekunden gestoppt. Pro Versuch wurden vier bis fünf Messungen vorgenommen. Der Mittelwert der resultierenden Förderleistungen wurde gebildet.

Im Falle der nicht überlaufenden Container wurde die Förderleistung über das befüllte Volumen und die Entnahmezeit ermittelt.



Abbildung 18: Auslitern der Förderleistung der Pumpe im Sandfanggut-Schacht

4.1.4.3 Bestimmung der Masse der Suspension

Zur Bestimmung der Leergewichte der eingesetzten Container, sowie der Container samt jeweiligem Inhalt (Suspensionen), wurde die LKW-Waage HE-SFW18 der Firma HE Wägetechnik benutzt. Der Wägebereich dieser Waage liegt bei 400 bis 50000 kg und ist in 10-kg-Schritten ablesbar. Die Fehlergrenze zwischen 500 und 2000 kg beträgt \pm minimal 1% und maximal 4% der Masse.

4.2 Labor

4.2.1 Materialien

4.2.1.1 Waagen

Es wurden die folgenden elektronischen Waagen benutzt:

Analysewaage QUINTIX3102-1S der Firma Sartorius Lab Instruments GmbH & Co.KG mit einer Höchstlast von maximal = 3100 g und einer Ablesbarkeit von $d = 0,01$ g. Die Unsicherheit des Wägebegrgebnisses wird nach folgender Formel berechnet: $U_{gl}(W) = 0,008 \text{ g} + 1,02 \cdot 10^{-5} \cdot R$ ($R =$ Netto Waagenanzeige). Das ergibt Messunsicherheiten zwischen 0,0268 % ($R = 31,00$ g) und 0,0013 % ($R = 3100,00$ g).

Analysewaage A210P 0D1 der Firma Sartorius Lab Instruments GmbH & Co.KG mit einer Höchstlast von maximal = 212 g und einer Ablesbarkeit von $d = 0,0001$ g im Messbereich von 0...60 g, $d = 0,0002$ im Messbereich von 60 bis 120 g und $d = 0,0005$ g im Messbereich von 120 bis 212 g. Die Unsicherheit des Wäageergebnisses wird nach folgender Formel berechnet: $U_{gl}(W) = 0,00008 \text{ g} + 1,26 \cdot 10^{-5} \cdot R$ ($R = \text{Netto Waagenanzeige}$). Das ergibt Messunsicherheiten zwischen 0,0049% ($R = 2,1200 \text{ g}$) und 0,0012% ($R = 212,0000 \text{ g}$).

4.2.1.2 **Siebe**

Zum Sieben der Suspensionen wurden die Siebe der Maschenweite 0,063 mm und eines Durchmessers von 400 mm der Firma VWR nach DIN EN 10 204 benutzt.

Zum Sieben der Glührückstände wurden die Siebe der Maschenweiten 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,4 mm, 0,25 mm, 0,2 mm, 0,125 mm, 0,1 mm, 0,063 mm mit Durchmessern von 20 cm und 15 cm der Firma Retsch GmbH nach DIN 4188 benutzt.

4.2.1.3 **Messbecher**

Zur Volumenbestimmung wurden transparente Messbecher mit einem Volumen von etwa 5 l und einer Genauigkeit von 100 ml verwendet.

4.2.1.4 **Abdampfschalen**

Zur Verwendung kamen flache Abdampfschalen aus Porzellan mit einem Durchmesser von 200 mm und einem Inhalt von 1100 ml der Firma TH.GEYER nach DIN 12903, Form A.

4.2.1.5 **Exsikkatoren**

Zum Einsatz kamen Exsikkatoren der Firma DURAN nach DN250 und DN300.

4.2.1.6 **Trockenschrank**

Es wurde mit dem Trockenschrank/Multifunktionaler Umluft-Wärmeschrank der Firma Binder des Typen FED53, dessen Soll-Temperatur $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ beträgt, gearbeitet.

4.2.1.7 **Muffelofen**

Zum Einsatz kamen der Muffelofen der Firma HERAEUS des Typen M1100/3 dessen Soll-Temperatur $550^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ beträgt, sowie des Typen K1252A mit der gleichen Soll-Temperatur.

4.2.1.8 Filter

Zur Bestimmung des Salzgehalts wurden Faltenfilter des Typen FT-4-303-240 der Firma Sartorius benutzt. Der Durchmesser der Filter beträgt 240 mm, mit einem Flächengewicht von 65 g/m² und einem Partikelrückhaltevermögen von 6-9 µm.

4.2.2 Methoden

4.2.2.1 Verhältnis Probe – Siebrückstand

Die Nassgewichte bzw. Volumina der Proben (Überlauf, Überstandswasser, Mischproben) wurden im Labor mit Hilfe der Analysewaage QUINTIX3102-1S bzw. 5-Liter-Gefäßen bestimmt. Anschließend wurden die Proben mit einem Sieb der Maschenweite 0,063 mm und einem Durchmesser von 400 mm gesiebt. Die Massen der entstandenen Siebrückstände wurden mit der aufgeführten Waage bestimmt und entweder weiter behandelt, oder bei zu wenig entstandenem Siebrückstand wurde dann mit dem vor Ort gewonnenen Siebrückstand (siehe Punkt 4.1.3.6) weitergearbeitet. Letzteres geschah nur mit Siebrückständen der Mischproben aus den Suspensionen in den Containern.

Das Verhältnis der Gesamtmasse bzw. des Gesamtvolumens der Probe zu dem daraus entstandenen Siebrückstand wurde für jede einzelne Probe bestimmt.

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe},X}}{m_{\text{Siebrückstand},X}} \quad (4-1)$$

$$x_V = \frac{V_{\text{Probe}}}{m_{\text{Siebrückstand},V}} \quad (4-2)$$

mit:

$m_{\text{Mischprobe},X}$: Masse der Mischprobe (aus Containern) in g

$m_{\text{Siebrückstand},X}$: Masse des Siebrückstands (aus Containern) in g

V_{Probe} : Volumen der Probe (Überstand; Überlauf) in g

$m_{\text{Siebrückstand},V}$: Masse des Siebrückstand (Überstand; Überlauf) in g

x_m : Verhältnis der Masse der Mischprobe zur der Masse des daraus entstandenen Siebrückstands in $\frac{g}{g}$

x_V : Verhältnis des Volumens der Mischprobe zu der Masse des daraus entstandenen Siebrückstands in $\frac{l}{g}$

4.2.3 Bestimmung des Trockenrückstands – als Maß für den anorganischen Anteil inklusiv des organischen Anteils

Der Trockenrückstand des entstandenen Siebrückstands wurde nach dem Verfahren DIN 38409-H1-1 (1987) mit Hilfe des aufgeführten Trockenschanks bestimmt. Die Einheit des Trockenrückstands weicht hier allerdings von der DIN-Methode, die diesen in mg/l angibt, ab. Der Trockenrückstand wird hier als Masse in g bzw. kg angegeben.

4.2.3.1 Bestimmung des Glührückstands – als Maß für den anorganischen Anteil

Der Glührückstand der jeweiligen Probe wurde nach dem Verfahren DIN 38409-H1-3 (1987) bestimmt. Die Angabe des Glührückstands wird hier in g bzw. kg gemacht, da diese zur Berechnung der absoluten Massenbilanz benötigt werden.

4.2.3.2 Fraktionieren des Glührückstands

Der entstandene Glührückstand wurde im Anschluss durch eine Siebanalyse nach DIN 66165-1 (2016) fraktioniert. Zur Anwendung kam hier die Trockensiebung mit dem Handsiebverfahren mit Hilfe der in Punkt 4.2.1.2 aufgeführten Siebe. Die Anteile der Fraktionen an der gesiebten Probe wurden bestimmt.

4.2.3.3 Salzgehalt des Sands

Die Salze der Proben wurden gelöst, um „reinen“ Sand zu gewinnen. Der Salzgehalt des Masseanteils der nach DIN EN ISO 14688-1 als Sand definierten Fraktionen (Fraktionen zwischen 2 mm und 0,063 mm Durchmesser) wurde bestimmt. Eine bestimmte Masse dieser Fraktionen wurde in einen Faltenfilter gegeben und mit jeweils etwa 200-500 ml destilliertem Wasser gewaschen. Anschließend wurde der Filter getrocknet und erneut gewogen. Die Massendifferenz beschreibt den Anteil der Salze, die in der Probe vorhanden waren. Mit dieser Angabe konnte dann weiter gerechnet werden. Das entstandene Produkt wird als Sand bezeichnet.

5 Durchführungen, Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Es wurden fünf Versuche mit der Zugabe von Prüfsand und drei Versuche ohne die Zugabe von Prüfsand durchgeführt. Die Durchführungen der Versuche mit Prüfsandzugabe wurden jeweils auf Grundlage der Ergebnisse verändert. Es handelt sich hier um aufeinander aufbauende Versuchsdurchführungen. Dementsprechend wird in diesem Kapitel zunächst die Durchführung mit dem jeweiligen Ergebnis und dann die Schlussfolgerung als Basis für den folgenden Versuch dargelegt. Die Versuche ohne Prüfsand wurden in zeitlicher Reihenfolge nach den Versuchen mit Prüfsand durchgeführt und bedienen sich teilweise derer Erkenntnisse. Hier wurden allerdings keine Änderungen in der Durchführung vorgenommen, da die Auswertung sehr zeitaufwendig war.

5.1 Ermittlung der gesuchten Parameter - Allgemein

Um die Versuche auf Köhlbrandhöft anwenden zu können, mussten zunächst einige Parameter ermittelt bzw. auf die Gegebenheiten angepasst werden. Dabei wurde auf die Grundlagen aus Kapitel 3 Bezug genommen.

5.1.1 Durchflusszeit Sandfang

Die Zulaufmenge des Sandfangs wurde in den Versuchen über das Zulaufpumpwerk geregelt und beträgt auf Köhlbrandhöft-Süd maximal 2000 l/s pro Sandfang. Mit der Formel (3-3) wurde folgende Durchflusszeit berechnet:

$$t_{SF,Durchfluss} = \frac{717 \text{ m}^3}{2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 358,5 \text{ s} = 5,98 \text{ min} \sim 6 \text{ min}$$

mit:

$t_{SF,Durchfluss}$: Durchflusszeit des Sandfangs in s

5.1.2 Sandkonzentration im Zulauf des Sandfangs

Der durchschnittliche Zulauf beträgt 150 Mio. $\frac{\text{m}^3 \text{ Abwasser}}{\text{Jahr}}$ und der durchschnittliche Anfall von Sandfanggut beträgt $1500 \frac{\text{t Sand}}{\text{Jahr}}$ (Laurich, 2017). Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Sandkonzentration von $10 \frac{\text{mg Sand}}{\text{l Abwasser}}$. Dies gilt für die vereinfachte Annahme, dass der Abscheidegrad des Sandfangs etwa 100% beträgt und die Sandanteile der Kläranlage gleichmäßig bzw.

unabhängig von der jeweiligen Abwassermenge zulaufen. Die Erfahrung auf Kläranlagen zeigt jedoch stark schwankende Sandkonzentrationen im Abwasserzulauf.

5.2 Versuche mit Prüfsandzugabe

Beginn der Bachelorarbeit war am 26.09.2017. Auf Grund der Zielformulierung war es nötig mehrere Versuche durchzuführen, um Aussagen bezüglich der Reproduzierbarkeit und Durchführbarkeit treffen und Vergleiche anstellen zu können. Die Versuche konnten nur bei Trockenwetter durchgeführt werden, da bei Regenwetter gegebenenfalls alle Sandfangstraßen für den Betrieb der Anlage zur Verfügung stehen müssen. Außerdem waren die Versuche unter anderem wegen des zeitlichen Faktors sehr aufwendig in der Auswertung. So wurde der Beginn der Versuchsdurchführungen vor den Beginn der Bachelorarbeit auf den 09.08.2017 gelegt.

5.2.1 Durchführung - Versuch 1 (09.08.2017)

5.2.1.1 Ermittlung der Zugabedauer

Die Versuchszeit kann beliebig festgelegt werden. Die Durchlaufzeit des Sandfangs auf Köhlbrandhöft beträgt etwa 6 Minuten. Die Zugabezeit wurde zunächst auf 60 Minuten festgelegt, da dies dem Zehnfachen der Durchflusszeit des Sandfangs entspricht und sich so stabile Verhältnisse eingestellt haben müssten.

5.2.1.2 Ermittlung der Entnahmedauer am Ablauf des Sandfangs

Die Entnahmezeit am Ablauf des Sandfangs kann mit Formel (3-4) ermittelt werden. Für eine Zugabedauer von 60 Minuten und einer Nachlaufzeit, die einer Durchflusszeit entspricht, ergab sich folgende Berechnung:

$$t_{\text{Entnahme,Ablauf}} = 60 \text{ Minuten} + 6 \text{ Minuten} = 66 \text{ Minuten}$$

mit:

$t_{\text{Entnahme,Ablauf}}$: Entnahmedauer am Ablauf des Sandfangs in s

5.2.1.3 Ermittlung der Entnahmedauer des Sandfangguts

In Versuch 1 sollte die Zugabedauer 60 Minuten betragen. Es wurden zwei Räumdauer angesetzt, um das Sandfanggut aus dem Sandfang zu fördern. Nach Formel (3-5) ergab sich daraus folgende Berechnung für die Entnahmedauer des Sandfangguts:

$$t_{\text{Entnahme,Sandfanggut}} = 60 \text{ Minuten} + 6 \text{ Minuten} + 60 \text{ Minuten} = 126 \text{ Minuten}$$

mit:

$t_{\text{Entnahme,Sandfanggut}}$: Entnahmedauer am Sandfanggut – Schacht in s

5.2.1.4 Ermittlung der Förderleistung der Pumpen am Ablauf

Das Volumen der gewählten Container beträgt 5080 l und die Entnahmedauer des Teilstroms am Ablauf des Sandfangs betrug für den ersten Versuch 66 Minuten. Mit der Formel (3-6) ergab sich folgende Rechnung für die maximale Förderleistung der eingesetzten Pumpen an dieser Stelle:

$$\dot{V}_{\text{Pumpen}} = \frac{5080 \text{ l}}{66 \text{ Minuten} \cdot \frac{\text{Sekunden}}{\text{Minute}}} = 1,28 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

mit:

\dot{V}_{Pumpen} : Förderleistung der Pumpe in $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

5.2.1.5 Ermittlung der Förderleistung der Pumpe für Sandfanggut

Basierend auf den Erläuterungen aus Kapitel 3.5.3.4 und der aufgeführten Formel (3-7) wurde die Förderleistung für die Entnahme mit durchfluteten Absatzcontainern wie folgt berechnet:

$$\dot{V}_{\text{Pumpe}} \leq 3,96 \text{ m}^2 \cdot 0,003 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\dot{V}_{\text{Pumpe}} \leq 12 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

mit:

\dot{V}_{Pumpe} : Förderleistung der Pumpe in $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

5.2.1.6 Ermittlung der Prüfsandmasse

Die zuzugebende Prüfsandmasse ist im Wesentlichen von der Zugabedauer abhängig, da die restlichen Parameter durch die Anlage und die Vorgaben der Autoren festgelegt sind. In Versuch 1 betrug die Zugabedauer 60 Minuten. Mit der Formel (3-8) wurde die folgende Prüfsandmasse ermittelt:

$$m_{\text{Prüf}} = 20 \cdot \left((3600 \text{ s} + 360 \text{ s}) \cdot 10 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 2000 \frac{\text{l}}{\text{s}} \right) \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mg}} = 1584 \text{ kg}$$

mit:

$m_{\text{prüf}}$: Prüfsandmasse in kg

5.2.1.7 Vorbereitung

Am Vortag wurden Sandfang 3 und 4 geschlossen, sofern diese in Betrieb waren, und blieben bis zum Versuchsbeginn geschlossen. Drei Stunden vor Versuchsbeginn wurden die Räumerpumpen der Sandfänge 3 und 4 angestellt, um das gesamte Sandfanggut aus den Sandfängen zu fördern. In einem nächsten Schritt wurden die Massen der leeren Container und die Sandmasse vor der Zugabe bestimmt.

Zum Beginn des Versuchs wurden Sandfang 1 und 2 geschlossen und deren Räumerpumpen ausgestellt. Sandfang 4 wurde geöffnet und die Räumerpumpen von Sandfang 3 und 4 wurden betrieben, um an der Entnahmestelle ein hohes Niveau zu schaffen. Je mehr Räumerpumpen in Betrieb sind, desto höher ist das Pegelniveau in dem Sandfanggut-Schacht.

Der Zufluss wurde auf 2 m³/s eingestellt.

5.2.1.8 Auf dem Gelände

Die Sandzugabe begann um 10:16 Uhr und über die gesamte Zugabedauer von 60 Minuten wurden 66 Eimer Sand in den Zulauf des Sandfangs gegeben. Für zusätzliche Turbulenz sorgten zwei Luftlanzen im Zulauf des Sandfangs direkt bei der Zugabestelle.

Die Teilstromentnahme des Sandfangguts erfolgte mit der Schmutzwasser-Tauchmotorpumpe TP65F. Die Tauchpumpe fiel häufig für wenige Sekunden aus. Die Entnahme an dieser Stelle begann um 10:16 Uhr und dauerte bis 12:14 Uhr, was der Zugabedauer und zwei anschließenden Räumdauern entspricht. An dieser Stelle wurde ein Überlaufcontainer eingesetzt. Von dem Überlauf wurde eine Probe von etwa 12 l entnommen.

Die Teilstromentnahme am Ablauf des Sandfangs erfolgte mit der Tauchpumpe des Typen Drain-Twister TM 32/7. Die Entnahmehöhe betrug etwa 1 m über der Beckensohle. Startzeitpunkt der Entnahme war sechs Minuten nach dem Beginn der Sandzugabe um 10:22 Uhr. Die Dauer der Entnahme betrug 66 Minuten, was der Zugabezeit und einer zusätzlichen Durchflusszeit entspricht, bis 11:28 Uhr. Nach der Entnahme an dieser Stelle wurde Sandfang 4 geschlossen und gleichzeitig Sandfang 1 und 2 geöffnet. An den Räumereinstellungen änderte sich nichts. Der Container an dieser Stelle war ebenerdig aufgestellt und lief nicht über.

Im Anschluss an die Entnahmen folgte eine Sedimentationszeit von 60 Minuten. Daraufhin wurden die beiden Container mit der beschriebenen Methode nach Variante 1 entwässert. Dies wurde also vorgenommen bis das über den Eimerrand strömende Wasser nicht mehr klar war. Von dem abgepumpten Überstandswasser wurden in regelmäßigen Abständen Proben entnommen. Als nächstes wurden die Container samt Suspensionsinhalt gewogen.

Die Durchmischung der Suspensionen erfolgte durch zwei Personen mit Schaufeln innerhalb der Container. Aus den durchmischten Suspensionen wurden jeweils etwa 40 l Mischprobe entnommen. Außerdem wurden vor Ort aus jedem Container zwei Liter Siebrückstand gewonnen. Die Proben wurden ins Labor transportiert und der verbliebene Prüfsand wurde gewogen.

5.2.1.9 Im Labor

Im Labor wurden die vor Ort gewonnenen Siebrückstände in Abdampfschalen gefüllt, gewogen und anschließend für zwei Tage in den Trockenschrank gestellt.

Außerdem wurden die Verhältnisse der Nassgewichte bzw. Volumina der Mischproben zu den Massen der daraus entstandenen Siebrückstände bestimmt. Der Siebrückstand des Überlaufs wurde ebenfalls für zwei Tage in den Trockenschrank gestellt.

Nach der Trocknungszeit kühlten die Proben etwa eine Stunde in Exsikkatoren ab und wurden dann erneut gewogen. Daraufhin wurden die Trockenrückstände in den aufgeführten Muffelöfen etwa zwei Stunden geglüht. Es folgte eine erneute Abkühlphase in Exsikkatoren.

Der entstandene Glührückstand wurde zunächst gewogen und dann, je nach dessen Masse, teilweise oder gesamt, mit neun Sieben in die Fraktionen $x > 2 \text{ mm}$, $2 \text{ mm} > x > 1 \text{ mm}$, $1 \text{ mm} > x > 0,5 \text{ mm}$, $0,5 \text{ mm} > x > 0,4 \text{ mm}$, $0,4 \text{ mm} > x > 0,25 \text{ mm}$, $0,25 \text{ mm} > x > 0,2 \text{ mm}$, $0,2 \text{ mm} > x > 0,125 \text{ mm}$, $0,125 \text{ mm} > x > 0,1 \text{ mm}$, $0,1 \text{ mm} > x > 0,063 \text{ mm}$ und $x < 0,063 \text{ mm}$ unterteilt. Die Massen der Fraktionen wurden bestimmt. Da die Fraktionen $x > 2 \text{ mm}$ und $x < 0,063 \text{ mm}$ nicht als Sand definiert sind (DIN EN ISO 14688-1, 2013), wurden diese verworfen. Von den restlichen Fraktionen wurde dann der Anteil der gelösten Anorganik (Salze) bestimmt, indem diese in Faltenfiltern mit etwa 500 ml destilliertem Wasser durchgespült und anschließend über Nacht getrocknet und wieder gewogen wurden.

5.2.2 Ergebnis Versuch 1

Es folgt eine ausführliche Erklärung der Berechnungen der Sandmassen aus denen die Massenbilanz aufgestellt wurde.

5.2.2.1 Berechnung der zugegebenen Prüfsandmasse

Der Prüfsand wurde in Bigbags angeliefert. Vor und nach jedem Versuch wurde das verwendete Bigbag gewogen und so die Masse des zugegebenen Prüfsands bestimmt. Außerdem wurden nur die Anteile des Prüfsands betrachtet, deren Fraktionen zwischen $x < 2 \text{ mm}$ und $x > 0,063 \text{ mm}$ liegen. Das entspricht 98,73% der gesamten Prüfsandmasse.

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = (m_{\text{Sand,vorher}} - m_{\text{Sand,nachher}}) \cdot a \quad (5-1)$$

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = (1540 \text{ kg} - 220 \text{ kg}) \cdot 0,9873 = 1303,24 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,vorher}}$: Masse des Prüfsand – Bigbags vor dem Versuch in kg

$m_{\text{Sand,nachher}}$: Masse des Prüfsand – Bigbags nach dem Versuch in kg

a : Anteil des Prüfsands zwischen den Fraktionen $x < 2 \text{ mm}$ und $x > 0,063 \text{ mm}$

5.2.2.2 Berechnung der Sandmasse im Ablauf

Der Teilstrom aus dem Ablauf des Sandfangs wurde mit einer Tauchpumpe in einen Container gefördert. Nach der Entnahme wurde der Container verlustfrei teilentwässert. Im Anschluss wurde eine Mischprobe aus dem Container entnommen. Um die gesamte Sandmasse aus dem Ablauf des Sandfangs über die Entnahmezeit zu errechnen, musste zunächst bestimmt werden wieviel Siebrückstand aus einer bestimmten Masse Mischprobe gewonnen werden konnte.

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}} \quad (5-2)$$

$$x_m = \frac{55,36 \text{ kg}}{4,10 \text{ kg}} = 13,5$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

Ein Teil des gewonnenen Siebrückstands wurde im Anschluss getrocknet und geglüht. Der Glührückstand wurde gesiebt und die Fraktionen zwischen $x < 2 \text{ mm}$ und $x > 0,063 \text{ mm}$, abzüglich der gelösten Salze, entsprechen der Sandmasse ($m_{\text{Sand,SR}}$). Nun musste ermittelt werden aus wie viel Masse Mischprobe der gefundene Sand gewonnen wurde. Für diese Ermittlung ist der behandelte Siebrückstand entscheidend.

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}} \quad (5-3)$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 13,5 \cdot 1093,58 \text{ g} = 14763,33 \text{ g}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

Nach dem Entwässern des Containers wurde als erstes die Masse des Suspensionsinhalts bestimmt. In der folgenden Rechnung wurde bestimmt wie viel Sand in der Suspension enthalten war.

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}} \quad (5-4)$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{4,16 \text{ g}}{14763,33 \text{ g}} \cdot 280 \text{ kg} = 0,08 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

Über das Verhältnis des Teilvolumenstroms der Tauchpumpe und des gesamten Volumenstroms des Ablaufs wurde dann die Sandmasse im Ablauf des Sandfangs über die Versuchszeit bestimmt.

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Suspension}} \quad (5-5)$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{2070 \text{ l/s}}{0,85 \text{ l/s}} \cdot 0,08 \text{ kg} = 194,82 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} = 194,82 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse in der Suspension im Container in kg

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in l/s

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in l/s

5.2.2.3 Berechnung der Sandmasse im Sandfanggut

Der Teilstrom aus dem Sandfanggut wurde mit einer Tauchpumpe in einen durchfluteten Absetzcontainer gefördert. Der Überlauf des Containers wurde regelmäßig beprobt. Nach der Entnahme wurde der Container entweder nach Variante 1 verlustfrei teilentwässert oder nach Variante 2 weitestgehend entwässert. Das abgepumpte Überstandswasser wurde in allen Fällen beprobt. Im Anschluss an das Entwässern wurde eine Mischprobe aus dem Container entnommen. Um die gesamte Sandmasse aus dem Sandfanggut über die Entnahmezeit zu errechnen, mussten die Sandmasse die im Container zurückgehalten wurde und die Sandmassen in dem Überlauf und gegebenenfalls dem abgepumpten Überstandswasser bestimmt werden. Die Summen dieser Massen werden auf das gesamte Sandfanggut bezogen. Um die Sandmasse im Container zu ermitteln wurde zunächst bestimmt wieviel Siebrückstand aus einer bestimmten Masse der Mischprobe gewonnen werden konnte. Anschließend wurde aus einer bestimmten Masse Siebrückstand durch Trocknen, Glühen, Sieben und Waschen die enthaltene Sandmasse bestimmt. Über die Masse des behandelten Siebrückstands wurde ermittelt wie viel Sand in einer bestimmten Masse der Mischprobe vorhanden ist. Über die Masse der Suspension in dem entsprechenden Container wurde dann die Sandmasse im Container errechnet. Diese Schritte entsprechen der Vorgehensweise der Ermittlung der Sandmasse im Ablauf des Sandfangs.

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}} \quad (5-6)$$

$$x_m = \frac{66,91 \text{ kg}}{45,98 \text{ kg}} = 1,46$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}} \quad (5-7)$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 1,46 \cdot 1367,26 \text{ g} = 1996,2 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}} \quad (5-8)$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{616,96 \text{ g}}{1996,2 \text{ g}} \cdot 740 \text{ kg} = 228,71 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

Als nächstes wird die Sandmasse im Überlauf des Containers berechnet.

Da die Masse des gesamten Überlaufs nicht bestimmt werden konnte, wurde hier mit Volumina gerechnet. Das Volumen des Überlaufcontainers wurde wie folgt berechnet:

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}}) \quad (5-9)$$

$$V_{\text{Überlauf}} = \left(8,757 \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot 7080 \text{ s} \right) - (4900 \text{ l} + 2469,24 \text{ l}) = 54630,32 \text{ l}$$

mit

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

\dot{V}_{Pumpe} : Förderleistung der Pumpe an der Entnahmestelle in l/s

t_{Entnahme} : Entnahmedauer in s

$V_{\text{Überlaufcontainer}}$: Volumen des Überlaufcontainers in l

$V_{\text{Auslitern}}$: Volumen das auf Grund des Ausliterns nicht in den Container gefördert wurde in l

Im Labor wurde das Volumen der gesamten Mischprobe des Überlaufs, sowie die Masse des daraus entstandenen Siebrückstands bestimmt. Ein Teil des Siebrückstands wurde getrocknet, gegläht, fraktioniert und gewaschen, sodass der enthaltene Sandanteil ermittelt werden konnte. Wie bei der Bestimmung des Sandanteils im Container, konnte nun bestimmt werden, wie viel Sand in einem bestimmtem Mischprobenvolumen enthalten ist. Dies wurde dann auf das gesamte Volumen des Überlaufs bezogen.

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}} \quad (5-10)$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,26 \text{ g}}{12,3 \text{ l}} \cdot 54630,32 \text{ l} = 1154,79 \text{ g}$$

mit

$m_{\text{Sand,Überlauf}}$: Sandmasse im Überlauf in kg

$m_{\text{Sand,Probe}}$: Sandmasse in der behandelten Mischprobe in kg

V_{Probe} : Volumen der Mischprobe an der jeweiligen Entnahmestelle (hier Überlauf) in l

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

Die Sandmasse im abgepumpten Überstandswasser wurde ebenfalls über Volumina bestimmt. Da bei der Teilentwässerung keine Verluste aufgetreten sind, wird hier nur die Vorgehensweise für die Entwässerung nach Variante 2 beschrieben. Die Suspension im Container konnte soweit abgepumpt werden, dass die Höhe nur etwa fünf Zentimeter betrug. Das abgepumpte Volumen berechnet sich wie folgt:

$$V_{\text{Überstandswasser}} = V_{\text{Container}} - V_{\text{Rest,Suspension}} \quad (5-11)$$

$$V_{\text{Überstandswasser}} = 4900 \text{ l} - 150 \text{ l} = 4750 \text{ l}$$

mit

$V_{\text{Überstand}}$: Volumen des abgepumpten Überstandswassers in l

$V_{\text{Container}}$: Volumen des Containers in l

$V_{\text{Rest,Suspension}}$: Volumen der Suspension nach dem Entwässern nach Variante 2 in l

Im Labor wurde das Volumen der gesamten Mischprobe des Überstandswassers, sowie die Masse des daraus entstandenen Siebrückstands bestimmt. Ein Teil des Siebrückstands wurde getrocknet, gegläht, fraktioniert und gewaschen, sodass der enthaltene Sandanteil ermittelt werden konnte. Wie bei der Bestimmung des Sandanteils im Container, kann nun bestimmt werden,

wie viel Sand in einem bestimmtem Mischprobenvolumen enthalten ist. Diese Masse wurde dann auf das gesamte Volumen des abgepumten Überstandswassers bezogen.

$$m_{\text{Sand,Überstand}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überstand}} \quad (5-12)$$

$$m_{\text{Sand,Überstand}} = \frac{0 \text{ g}}{38,5 \text{ l}} \cdot 4750 \text{ l} = 0 \text{ g}$$

mit

$m_{\text{Sand,Überstand}}$: Sandmasse im abgepumten Überstandswasser in g

$m_{\text{Sand,Probe}}$: Sandmasse in der behandelten Mischprobe in g

V_{Probe} : Volumen der behandelten Mischprobe in l

$V_{\text{Überstand}}$: Volumen des abgepumten Überstandswassers in l

Um die gesamte Sandmasse, die von der Tauchpumpe aus dem Sandfanggut gefördert wurde, zu ermitteln werden nun alle gefundenen Sandmassen addiert.

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}} + m_{\text{Sand,Überstand}} \quad (5-13)$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 228,71 \text{ kg} + 1,15 \text{ kg} + 0 \text{ kg} = 229,86 \text{ kg}$$

mit:

$m_{\text{Sand,Teil}}$: Sandmasse aus dem Teilstrom in kg

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse aus der Suspension in kg

$m_{\text{Sand,Überlauf}}$: Sandmasse aus dem Überlauf in kg

$m_{\text{Sand,Überstand}}$: Sandmasse aus dem Überstandswasser in kg

Über das Verhältnis des Teilvervolumenstroms der Tauchpumpe und des gesamten Volumenstroms des Sandfangguts wurde dann die Sandmasse im Sandfanggut über die Versuchszeit bestimmt.

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}} \quad (5-14)$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{31,94 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{8,757 \frac{\text{l}}{\text{s}}} \cdot 229,86 \text{ kg} = 838,38 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Sandfanggut}} = 838,38 \text{ kg}$$

mit:

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in l/s

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in l/s

$m_{\text{Sand,Teil}}$: Sandmasse aus dem Teilstrom in kg

5.2.2.4 Massenbilanz - Versuch 1

Aus den oben erklärten Rechnungen kann die folgende Massenbilanz nach Formel (3-1) aufgestellt werden:

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} + m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$$

$$1303,24 \text{ kg} \neq 194,82 \text{ kg} + 838,38 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs über die Entnahmezeit in kg

$m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$: Sandmasse im Sandfanggut über die Entnahmezeit in kg

5.2.2.5 Darstellung der Massenanteile der Fraktionen – Versuch 1

Durch die Siebung konnte ermittelt werden welche Massenanteile die einzelnen Fraktionen aufweisen. Diese Massenanteile wurden auf die gefundenen Sandmassen bezogen. So war dann die absolute Masse der einzelnen Fraktionen der gesamten Sandmasse an der jeweiligen Probenahmestelle bekannt. In einem nächsten Schritt wurden die absoluten Sandmassen der Fraktionen auf die zugegebene Prüfsandmasse bezogen. Durch die Siebung des Prüfsands lag auch hier eine Massenanteilverteilung vor. Diese Massenanteile der Fraktionen können dann verglichen werden. Vergleiche zwischen den Fraktionen des Prüfsands und des gefundenen Sands (entspricht jeweils der Summe aus dem Sand im Ablauf des Sandfangs, im Sandfanggut Container,

im Überlauf des Sandfanggut Containers und ggf. im Überstandswasser des Sandfanggut Containers), sowie zwischen den einzelnen Versuchen sind auf diese Weise möglich. Werte können aus Anhang D6 entnommen werden. In Abbildung 19 sind die Massenanteile der verschiedenen Sandmassen für Versuch 1 zu erkennen.

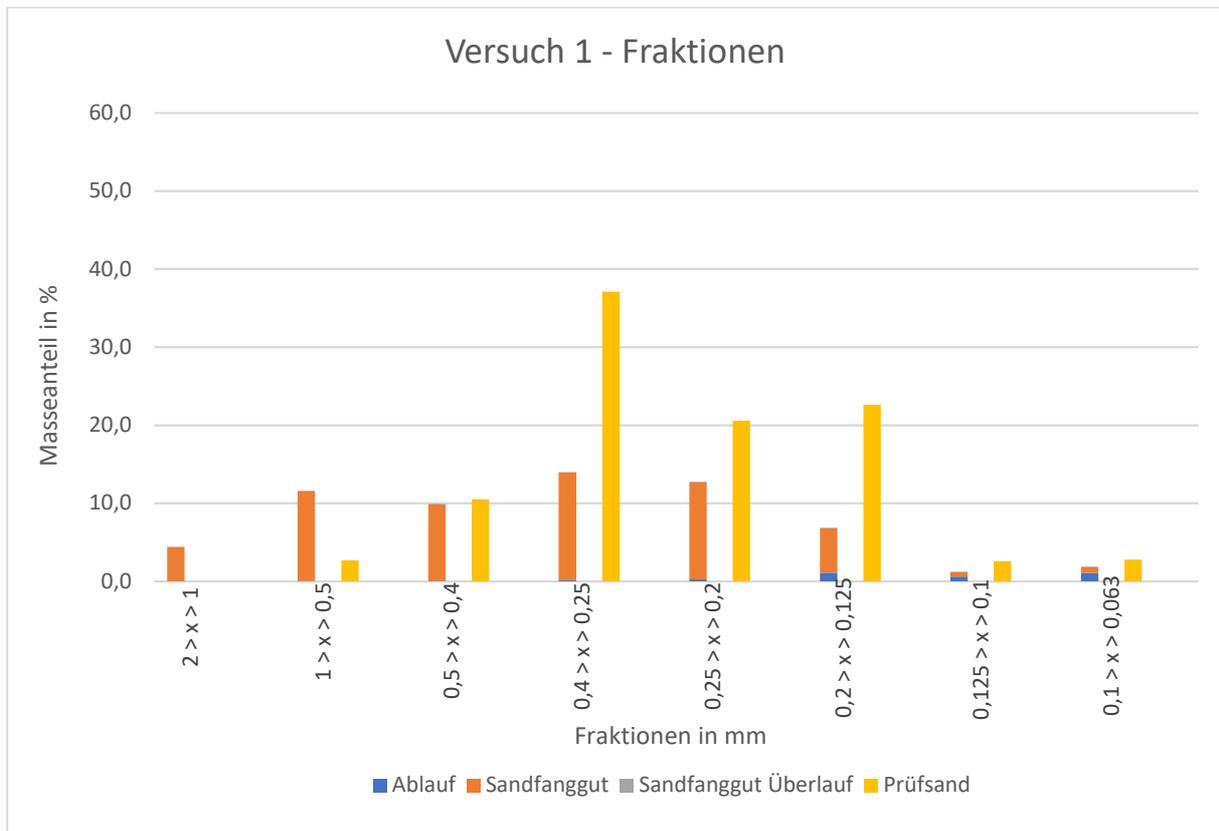


Abbildung 19: Versuch 1 - Massenanteile der einzelnen Fraktionen bezogen auf die Prüfsandmasse

5.2.3 Schlussfolgerung - Versuch 1

Der erste Versuch war hauptsächlich wegen der hohen Zugabedauer und der damit verbundenen hohen Prüfsandmasse sehr aufwendig und daher schlecht durchführbar. Infolge der hohen Prüfsandmasse war auch die Durchmischung der Suspension im Sandfanggut-Container schwer möglich. Die Pumpe im Sandfanggut-Schacht ist mehrfach ausgefallen. Es wurde vermutet, dass die Schwierigkeiten an der Sandfanggut Entnahmestelle den Verlust von 21,5% Prüfsandmasse erklären könnten. Infolge dessen wurde die Zugabedauer auf 30 Minuten reduziert.

5.2.4 Versuch 2 (17.08.2017) - Durchführung

Aufbauend auf der Versuchsdurchführung von Versuch 1 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Die Zugabedauer wurde auf 30 Minuten verringert. Daraus ergab sich eine Entnahmedauer am Ablauf des Sandfangs von 36 Minuten (siehe Formel (3-4)) und des Sandfangguts von 96 Minuten (siehe Formel (3-5)). Die zuzugebende Prüfsandmasse, berechnet mit der Formel (3-8), betrug 864 kg. Die Entnahmedauer des Sandfanggut-Teilstroms betrug 110 Minuten und die des Ablauf-Teilstroms 38 Minuten. Die Pumpe, welche den Teilstrom aus dem Sandfanggut-Schacht entnommen hat, fiel einige Male für wenige Sekunden aus.

5.2.5 Ergebnis – Versuch 2

Wie in Versuch 1 beschrieben, wurden die absoluten Sandmassen bestimmt und bilanziert. Die genauen Daten und die Berechnung mit gerundeten Werten sind dem Anhang E1 zu entnehmen. Die Bilanz der exakten Werte nach Formel (3-1) lautet wie folgt:

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} + m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$$

$$651,62 \text{ kg} \neq 140,45 \text{ kg} + 902,35 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs über die Entnahmezeit in kg

$m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$: Sandmasse im Sandfanggut über die Entnahmezeit in kg

5.2.5.1 Darstellung der Massenanteile der Fraktionen – Versuch 2

Wie in Versuch 1 beschrieben (Kapitel 5.2.2.5) wurden in Abbildung 20 die Massenanteile des Prüfsands und des gefundenen Sands für Versuch 2 dargestellt. (siehe Anhang E6)

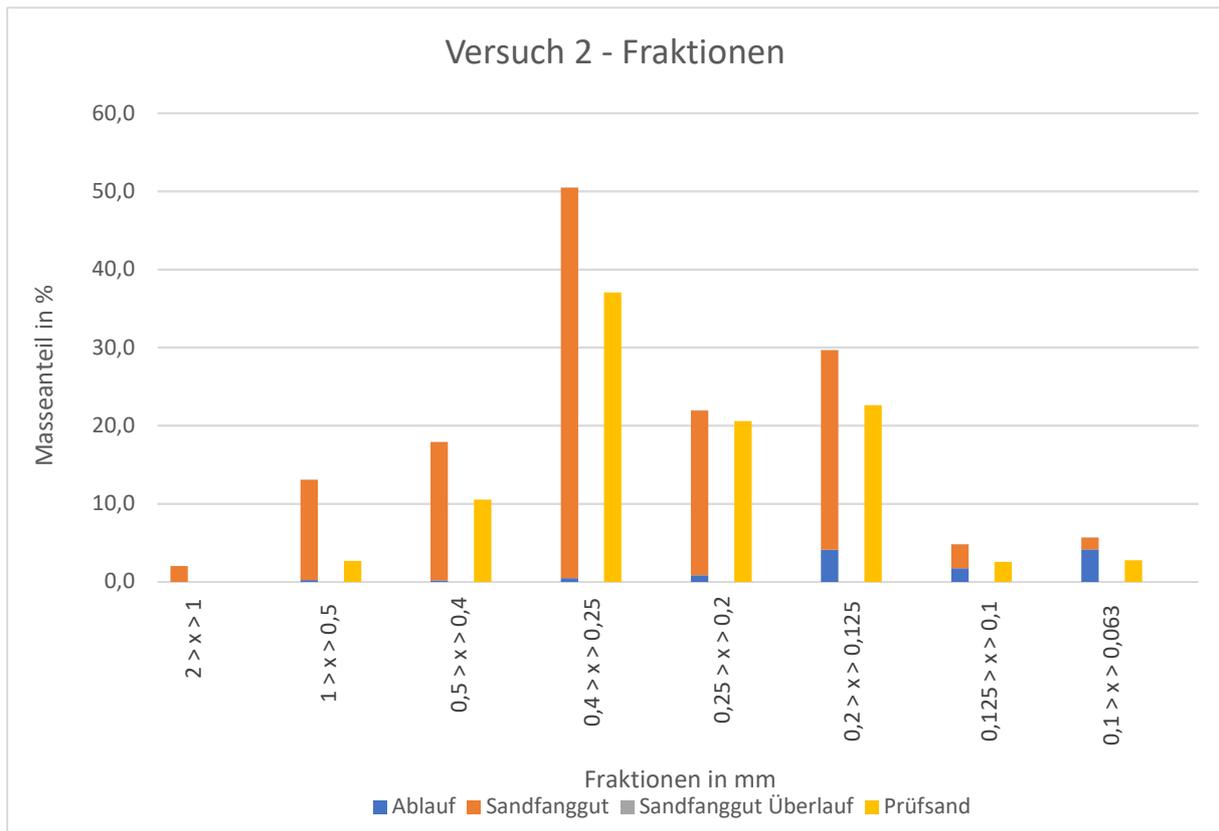


Abbildung 20: Versuch 2 - Massenanteile der einzelnen Fraktionen bezogen auf die Prüfsandmasse

5.2.6 Schlussfolgerungen - Versuch 2

Bei diesem Versuch wurden 60% mehr Sand gefunden, als dem Zulauf des Sandfangs zugegeben wurde. Der gefundene Sandmasseanteil im Sandfanggut beträgt 140% der Prüfsandmasse. Die große Differenz dieses Ergebnisses verglichen zu Versuch 1 weist an der Entnahmestelle des Sandfangguts auf eine wesentliche Fehlerquelle hin.

Hinzu kommt, dass auch der Aufwand der Zugabe über 30 Minuten noch immer sehr hoch ist. Sowohl die Entnahme durch die eingesetzte Pumpe, welche oft ausfiel, als auch die Vermischung der Suspension im Container wurden erneut als ausschlaggebende Fehlerquellen vermutet. Die Mischproben waren an diesen Stellen wahrscheinlich nicht repräsentativ. Aus dieser Annahme folgten die weitere Verringerung der Zugabedauer auf sechs Minuten und somit eine starke Verringerung der Prüfsandmasse. Ein Kompressor mit zwei Luftlanzen sollte außerdem zum Vermischen der Suspension eingesetzt werden. Am Ablauf des Sandfangs sollte eine Tauchpumpe mit höherer Förderleistung verwendet werden, um das Verhältnis von dem gesamten Volumenstrom zu dem entnommenen Teilvolumenstrom zu verringern. Die ersten beiden Versuche zeigten, dass aus den Mischproben im Labor genügend Siebrückstand für eine

weitere Behandlung entstand, sodass auf das Sieben vor Ort, welches eine weitere Fehlerquelle dargestellt haben könnte, verzichtet wurde.

5.2.7 Durchführung - Versuch 3 (23.08.2017)

Aufbauend auf der Versuchsdurchführung von Versuch 1 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Die Zugabedauer wurde auf sechs Minuten verringert. Daraus ergab sich eine Entnahmedauer am Ablauf des Sandfangs von 12 Minuten (siehe Formel (3-4)) und des Sandfangguts von 72 Minuten (siehe Formel (3-5)). Die zuzugebende Prüfsandmasse, berechnet mit der Formel (3-8) betrug 288 kg.

Über die Zugabedauer wurden 12 Eimer mit Prüfsand in den Zulauf des Sandfangs gegeben. An beiden Entnahmestellen wurden Schmutzwasser-Tauchmotorpumpen des Typen TP65F eingesetzt. Die Entnahmedauer des Sandfanggut-Teilstroms betrug 76 Minuten und die des Ablauf-Teilstroms 12 Minuten. Wegen der kurzen Zugabezeit wurde wieder nur an der Sandfanggut-Entnahmestelle ein Überlaufcontainer eingesetzt. Erneut kam es zu etwa fünf Ausfällen der Pumpe am Sandfanggut-Schacht. Es stand eine baugleiche Reservepumpe zur Verfügung, die allerdings nicht eingesetzt wurde, da die Ausfälle nur wenige Sekunden dauerten. Die Durchmischung der Suspensionen in den Containern erfolgte mit Lufteintrag durch den aufgeführten Kompressor und zwei Luftflanzen, die durch eine im Container befindliche Person hin und her bewegt wurden. Der Siebrückstand wurde hier ausschließlich im Labor gewonnen.

5.2.8 Ergebnis – Versuch 3

Wie in Versuch 1 beschrieben, wurden die absoluten Sandmassen bestimmt und bilanziert. Die genauen Daten und die Berechnung mit gerundeten Werten sind dem Anhang F1 zu entnehmen. Die Bilanz der exakten Werte nach Formel (3-1) lautet wie folgt:

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} + m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$$

$$315,94 \text{ kg} \neq 32,19 \text{ kg} + 97,61 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs über die Entnahmezeit in kg

$m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$: Sandmasse im Sandfanggut über die Entnahmezeit in kg

5.2.8.1 Darstellung der Massenanteile der Fraktionen – Versuch 3

Wie in Versuch 1 beschrieben (Kapitel 5.2.2.5), wurden in Abbildung 21 die Massenanteile des Prüfsands und des gefundenen Sands für Versuch 3 dargestellt. (siehe Anhang F6)

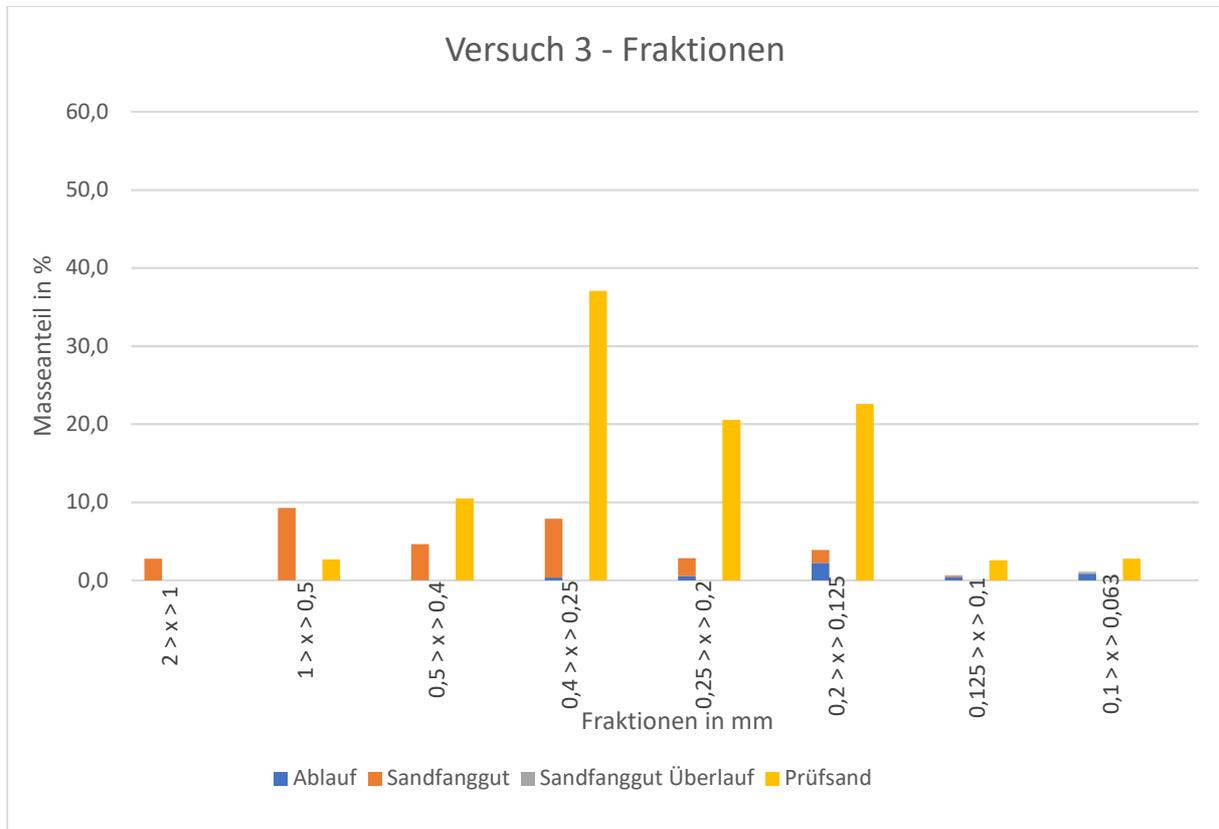


Abbildung 21: Versuch 3 - Massenanteile der einzelnen Fraktionen bezogen auf die Prüfsandmasse

5.2.9 Schlussfolgerungen - Versuch 3

Die Durchführbarkeit wurde in diesem Fall als gut befunden. Trotz geringer Prüfsandmasse kommt es weiterhin zu Ausfällen der Sandfanggut-Pumpe. Als Verbesserung sollte für den nächsten Versuch zu der baugleichen Reservepumpe eine Möglichkeit des Rückspülens der ‚defekten‘ Pumpe geboten werden. Zusätzlich sollte der Sandfang vor dem nächsten Versuch statt drei Stunden die gesamte Nacht vor dem Versuchsbeginn leergeräumt werden.

5.2.10 Durchführung - Versuch 4 (29.08.2017)

Aufbauend auf der Versuchsdurchführung von Versuch 3 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Die Entnahmedauer des Sandfanggut-Teilstroms betrug 52 Minuten und die des Ablauf-Teilstroms 12 Minuten. Die Pumpe im Sandfanggut-Schacht wurde einmal, auf Grund von Ausfällen, durch eine baugleiche Pumpe ausgetauscht, fiel danach jedoch erneut für wenige Sekunden aus. Der Tausch dauerte einige Minuten. Es bestand die Möglichkeit des Rückspülens der „defekten“ mit Hilfe eines Brauchwasserschlauchs. Dies wurde allerdings nicht genutzt, da der Tausch der Pumpen erst zum Ende der Entnahme erfolgte.

5.2.11 Ergebnis – Versuch 4

Wie in Versuch 1 beschrieben, wurden die absoluten Sandmassen bestimmt und bilanziert. Die genauen Daten und die Berechnung mit gerundeten Werten sind dem Anhang G1 zu entnehmen. Die Bilanz der exakten Werte nach Formel (3-1) lautet wie folgt:

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} + m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$$

$$335,69 \text{ kg} \neq 94,62 \text{ kg} + 95,04 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs über die Entnahmezeit in kg

$m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$: Sandmasse im Sandfanggut über die Entnahmezeit in kg

5.2.11.1 Darstellung der Massenanteile der Fraktionen – Versuch 4

Wie in Versuch 1 beschrieben (Kapitel 5.2.2.5), wurden in Abbildung 22 die Massenanteile des Prüfsands und des gefundenen Sands für Versuch 4 dargestellt (siehe Anhang G6).

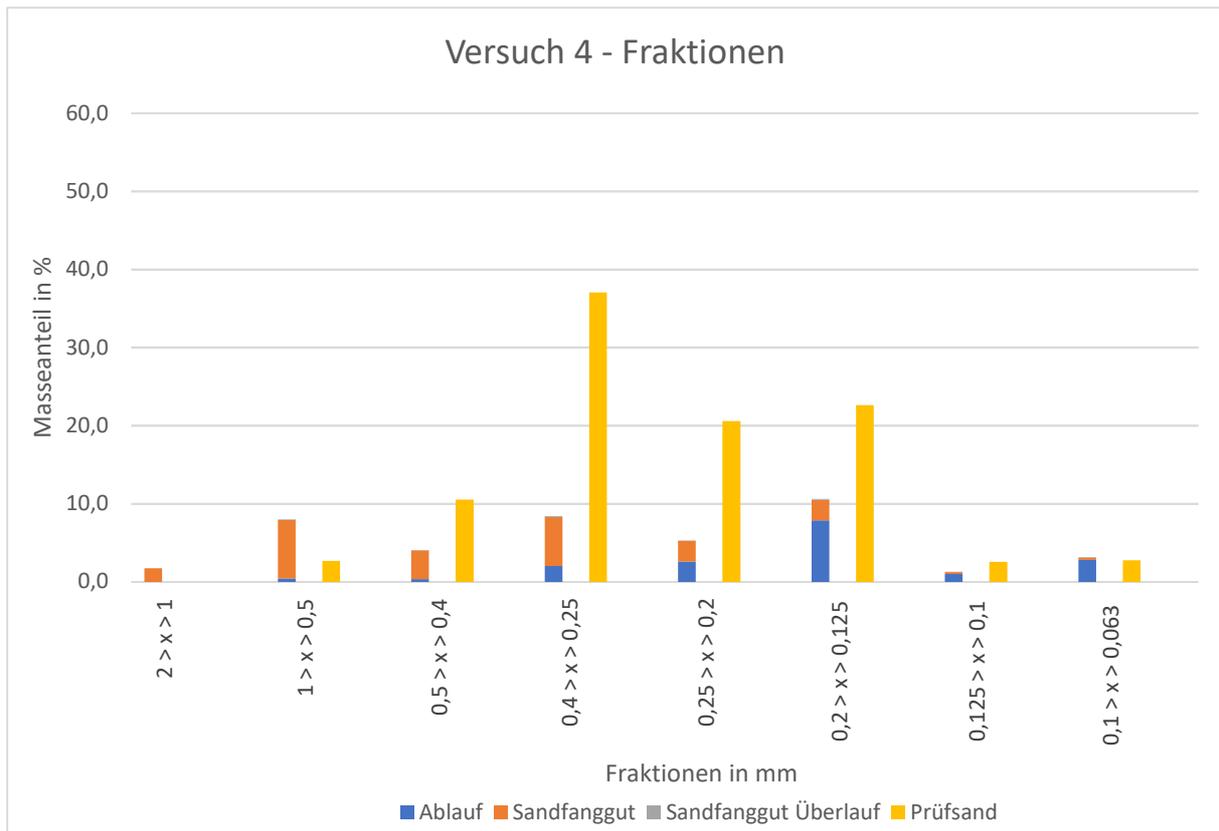


Abbildung 22: Versuch 4 - Massenanteile der einzelnen Fraktionen bezogen auf die Prüfsandmasse

5.2.12 Schlussfolgerungen - Versuch 4

Die gefundene Sandmasse im Ablauf des Sandfangs fiel in Versuch 4 fast dreimal höher aus, als in Versuch 3. Dies ließ keinen Zusammenhang zu der Räumdauer vor dem Versuch erkennen. Andere Änderungen wurden nicht vorgenommen.

Die gefundene Sandmasse im Sandfanggut war verhältnismäßig ähnlich zu der im Versuch 3. Der Verlust der Sandmasse betrug 43,5 %.

Als wesentliches Problem wurden das große Verhältnis des gesamten Volumenstroms des Ablaufs zum entnommenen Teilstrom am Ablauf und die Vermischung der Suspension im Sandfanggut-Container vermutet.

Im nächsten Versuch sollte das Überstandswasser aus dem Container am Sandfanggut-Schacht so weit wie möglich (nach Variante 2) abgepumpt werden. Die daraus resultierende aufkonzentrierte Suspension sollte besser durchmischbar sein. Damit einher gehen Sandverluste im abgepumpten Überstandswasser. Die Probenvolumina des Überstandswassers wurden zur Er-

mittlung der Sandverluste erhöht. Außerdem sollte durch wesentliche Verlängerung der Entnahmezeit des Sandfangguts gewährleistet werden, dass es nicht zu Verlusten durch im Sandfang verbliebenen Sand kommt.

5.2.13 Durchführung - Versuch 5 (12.09.2017)

Aufbauend auf der Versuchsdurchführung von Versuch 4 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Die Entnahmedauer des Sandfanggut-Teilstroms betrug 216 Minuten. Das entspricht zu der Zugabe- und Nachlaufzeit, knapp sieben anschließenden Räumdauern. Die Entnahmedauer des Ablauf-Teilstroms betrug 12 Minuten.

Die Entwässerung des Sandfanggut-Containers wurde in diesem Versuch nach Variante 2 durchgeführt. Es wurde also versucht, das Überstandswasser bis zu dem Sediment abzupumpen. Von dem Überstandswasser wurden etwa 30 l Proben genommen.

5.2.14 Ergebnis – Versuch 5

Wie in Versuch 1 beschrieben, wurden die absoluten Sandmassen bestimmt und bilanziert. Die genauen Daten und die Berechnung mit gerundeten Werten sind dem Anhang H1 zu entnehmen. Die Bilanz der exakten Werte nach Formel (3-1) lautet wie folgt:

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} + m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$$

$$236,95 \text{ kg} = 32,66 \text{ kg} + 110,82 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs über die Entnahmezeit in kg

$m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$: Sandmasse im Sandfanggut über die Entnahmezeit in kg

5.2.14.1 Darstellung der Massenanteile der Fraktionen – Versuch 5

Wie in Versuch 1 beschrieben (Kapitel 5.2.2.5), wurden in Abbildung 23 die Massenanteile des Prüfsands und des gefundenen Sands für Versuch 5 dargestellt (siehe Anhang H6).

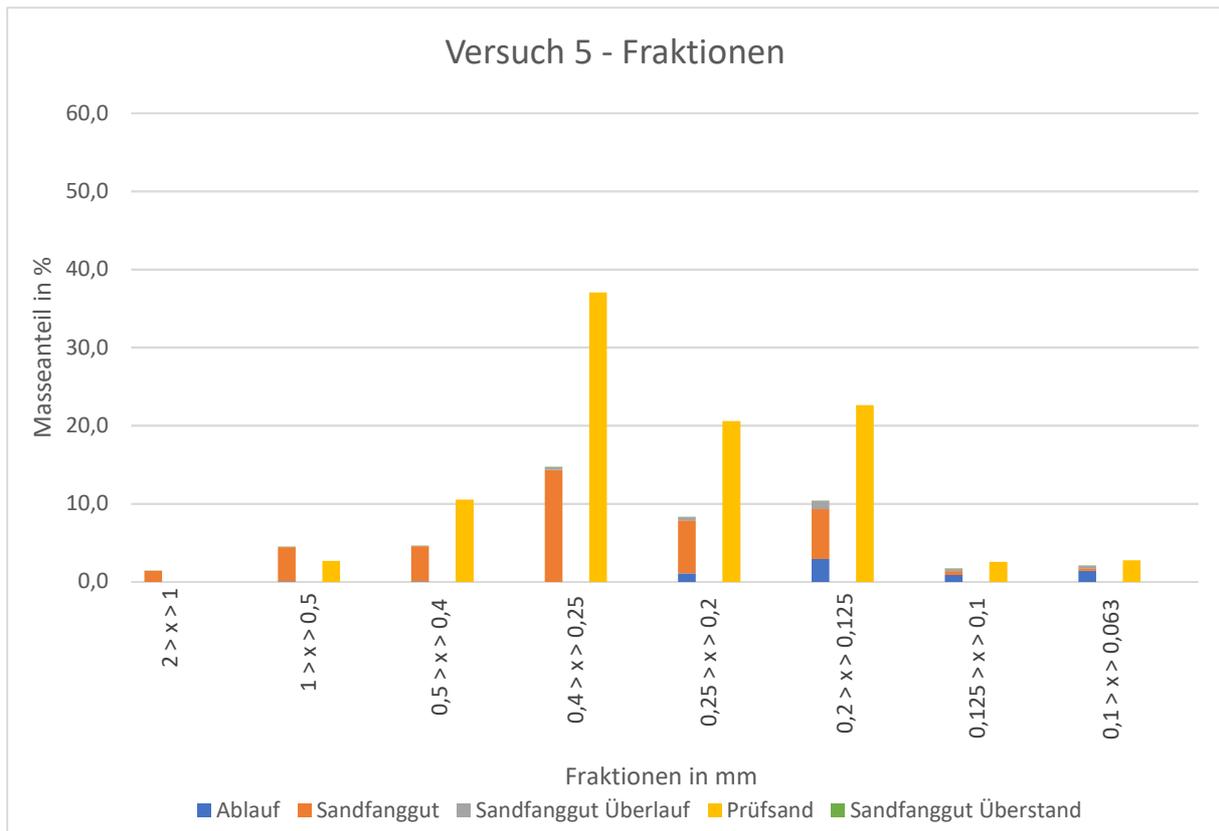


Abbildung 23: Versuch 5 - Massenanteile der einzelnen Fraktionen bezogen auf die Prüfsandmasse

5.2.15 Schlussfolgerungen - Versuch 5

Die Versuchsdurchführung war zufriedenstellend. Auf wenige Ausfälle der Sandfanggut-Pumpe konnte sofort reagiert werden. Trotz gleichbleibender Umstände am Ablauf des Sandfangs wurde bei diesem Versuch an dieser Stelle fast 15% weniger Sand gefunden als bei Versuch 4. Diese Abweichungen lassen den Schluss zu, dass die Mischprobe an dieser Stelle nicht repräsentativ war. Es wurde angenommen, dass diese Ungenauigkeit bei längeren Versuchszeiten der folgenden Versuche ohne Prüfsandzugabe nicht mehr bestehen würden.

Trotz höherer gefundener Sandmasse im Sandfanggut als bei Versuch 4, betrug der gesamte Sandverlust immer noch knapp 40%. Diese Angaben in Prozent sind auf die zugegebene Prüfsandmasse bezogen.

5.2.16 Massenbilanzen - Versuche mit Prüfsand

Die Tabelle 3 zeigt die Sandmassen der Versuche mit Prüfsand und die Verluste der Sandmassen.

Tabelle 3: Sandmassen Versuch 1 – 5

	Masse Sand zugegeben	Masse Sand Ablauf	Masse Sand SFG	Masse Verlust
	in kg	in kg	in kg	in kg
Versuch 1	1303,249	193,008	841,228	269,013
Versuch 2	651,624	140,452	902,353	-391,181
Versuch 3	315,939	32,192	97,606	186,141
Versuch 4	335,685	94,619	95,044	146,022
Versuch 5	236,954	32,664	110,82	93,470

Abbildung 24 und 25 zeigen die Sandmassen und die Sandverluste der Versuche 1 bis 5 mit absoluten Massen und als Massenanteile bezogen auf die Prüfsandmasse.

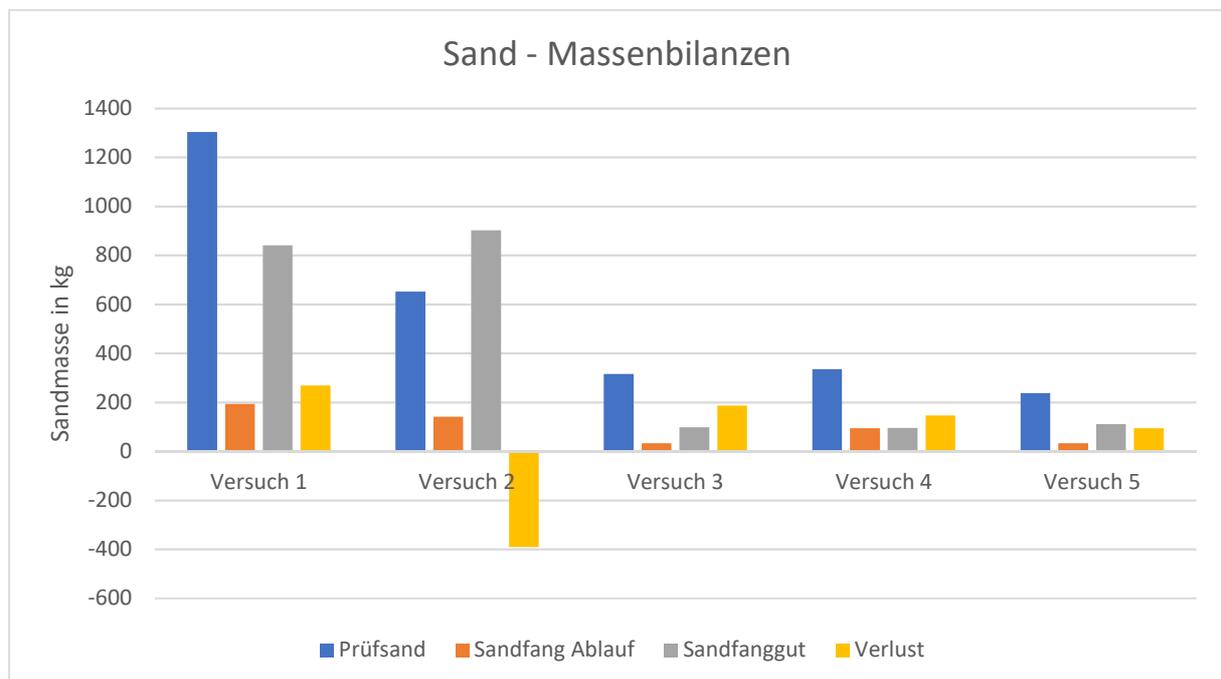


Abbildung 24: Sand-Massenbilanzen der einzelnen Versuche in absoluten Massen

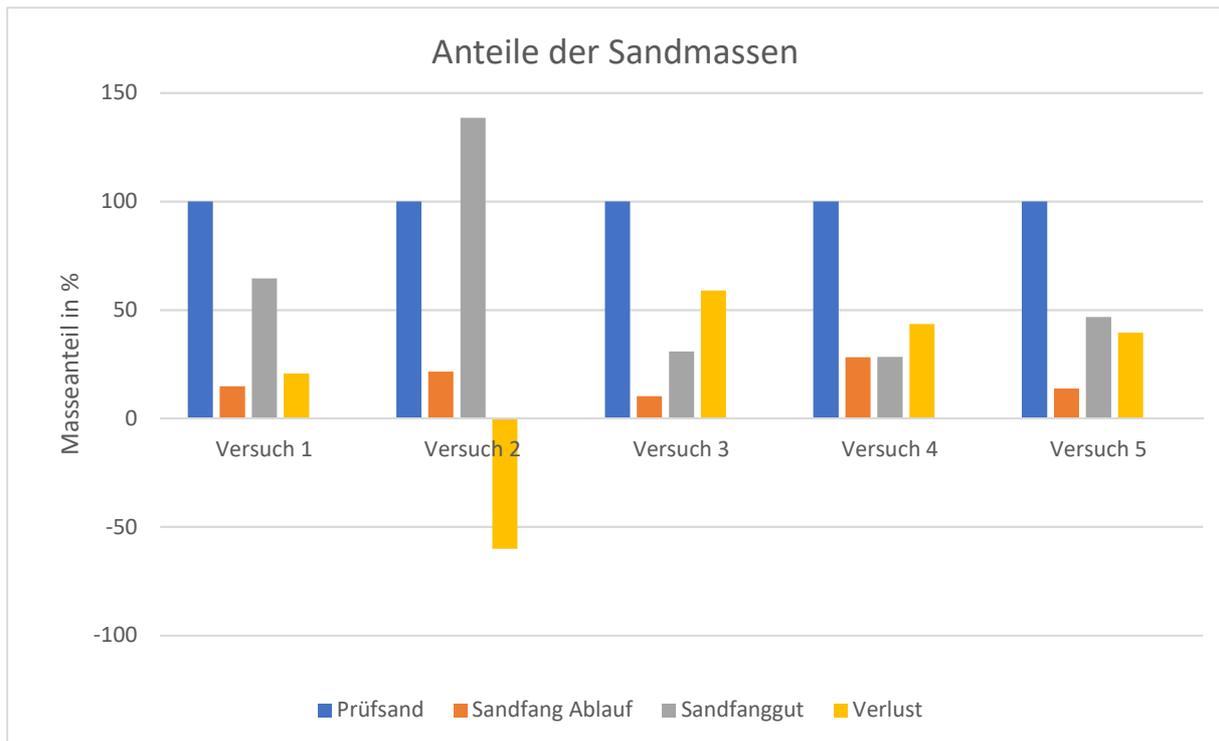


Abbildung 25: Sand-Massenbilanzen der einzelnen Versuche in Anteilen bezogen auf die Prüfsandmasse

5.2.17 Schlussfolgerungen - Allgemein

Das vorgegebene Prüflast-Grundlast-Verhältnis von 20:1 wurde zwar in keinem Fall erfüllt, doch trotzdem kam es in vier von fünf Fällen zu Sandverlusten und nicht zu zusätzlich gefundenem Sand.

Die Abbildungen 19 bis 23 zeigen die Massenanteile der Fraktionen des gefundenen Sands im Ablauf, im Sandfanggut, im Überlauf des Sandfangguts und ggf. im Überstandswasser des Sandfangguts verglichen mit den Massenanteilen der Fraktionen des Prüfsands. Der größte Teil des gefundenen Sands stammt aus dem Sandfanggut. Außerdem besteht die gefundene Sandmasse im Sandfanggut-Container jedes Mal zu einem kleinen Teil aus Fraktionen zwischen 2 mm und 1 mm. Diese sind im Prüfsand nicht vorhanden und könnten vernachlässigt werden. Der Masseanteil dieser Fraktion ist jedoch verglichen zu den anderen Fraktionen im Ablauf sehr gering.

Bei allen Versuchen besteht die im Ablauf gefundene Sandmasse aus kleinen Fraktionen zwischen 0,2 mm und 0,063 mm. Die Sandmassen in den Überläufen der Sandfanggutcontainer sind in den Diagrammen nur minimal erkennbar. Der gefundene Sandmasseanteil im Überstandswasser in Versuch 5 ist in dem Diagramm nicht erkennbar. Das zeigt, dass der Einfluss dieses Masseanteils auf das Ergebnis sehr gering ist.

Mit Ausnahme von Versuch 2 übersteigen die Masseanteile der Fraktionen des Prüfsands die des gefundenen Sands in den Kornbereichen von 0,5 mm bis 0,063 mm.

Das abgepumpte Überstandswasser von beiden Containern wurde in allen Versuchen beprobt. Nur bei dem Sandfanggut-Container in Versuch 5 wurde Sand in diesen Proben gefunden, was bedingt durch die Durchführung zu erwarten war. Die gewählte Entwässerungsmethode wird also als geeignet befunden.

Die Abbildung 26 zeigt grafisch die Ungenauigkeit der durchgeführten Versuche. In der Theorie entspricht der gefundene Sand dem zugegebenen Prüfsand. In der Praxis gab es bei den gefundenen Sandfraktionen große Differenzen zwischen maximal und minimal gefundenen Masseanteilen und im Vergleich zum Prüfsand. Die Fläche zwischen den Kurven beschreibt die Ungenauigkeit der Versuchsergebnisse.

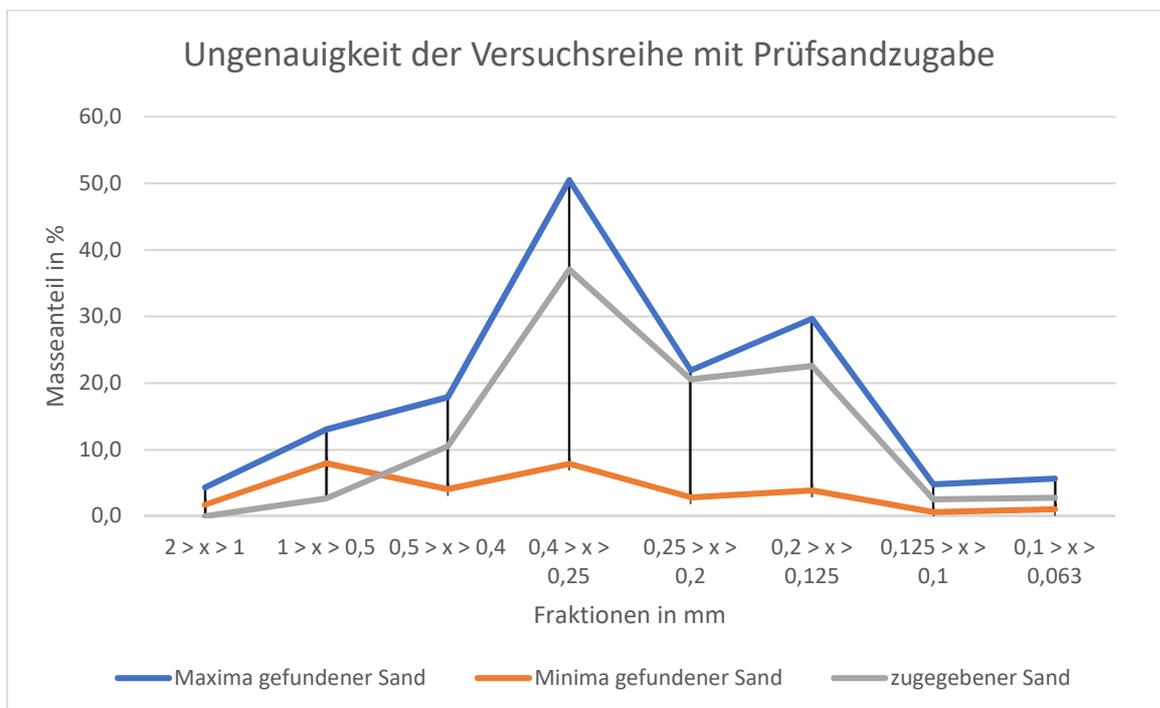


Abbildung 26: Vergleich der Massenanteile des gefundenen Sands in Maxima und Minima aller Versuche mit den Anteilen des Prüfsands

Abweichungen der Massenbilanz können auch durch Messunsicherheiten und Messfehler der verwendeten Messinstrumente entstanden sein. So entstandene Fehler sind allerdings systematisch, da sich die Durchführung der Messungen der einzelnen Versuche nicht unterscheidet. Außerdem sind sie keine Erklärung für die Höhe der Unstimmigkeit der Massenbilanz.

5.3 Versuche ohne Prüfsandzugabe

Diese Versuche wurden dreimal wiederholt. Es wurde nur eine Änderung in Versuch 8 vorgenommen. Zunächst wird die Durchführung aller Versuche beschrieben. Dann folgen die Ergebnisse und abschließende Schlussfolgerungen.

5.3.1 Durchführung - Versuch 6 und 7

5.3.1.1 Förderleistung der eingesetzten Pumpen

Es werden durchflutete Absetzcontainer eingesetzt, da sonst entweder die Förderleistung oder die Versuchsdauer zu gering gewählt werden müsste. Wie in den Berechnungsgrundlagen (siehe Formel (3-7)) bereits erläutert, ist die Förderleistung von der einzuhaltenden Oberflächenbeschickung abhängig. Die Förderleistung der einzusetzenden Pumpen muss auch hier kleiner gleich $12 \frac{l}{s}$ betragen.

5.3.1.2 Versuchsdauer

Die Versuchsdauer ist wesentlich davon abhängig, wieviel Sand in dem Container aufgefangen werden soll. Vor dem Hintergrund, dass der Sandanteil der Mischproben, die aus den Containern entnommen werden, noch genug Sand für die anschließende Siebung aufweisen soll, wurde festgelegt, dass pro Versuch mindestens ein Kilogramm Sand in den Container am Zulauf gefördert werden soll. Die Versuchsdauer wird daraus mit der Formel (3-9) wie folgt berechnet:

$$t_{\text{Versuch}} = \frac{1000000 \text{ mg}}{10 \frac{\text{mg}}{l} \cdot 12 \frac{l}{s}} = 8333,33 \text{ s}$$

mit:

c_s : Sandkonzentration am Zulauf in $\frac{\text{mg}}{l}$

m_{Sand} : Sandmasse im Container in mg

t_{Versuch} : Versuchsdauer in s

\dot{V}_{Pumpe} : Förderleistung der eingesetzten Pumpe in $\frac{l}{s}$

Die Entnahmedauer wird großzügig auf 10800 Sekunden, also 3 Stunden, gerundet. Je länger die Versuchsdauer ist, desto mehr Sand steht für die weitere Behandlung zur Verfügung und desto genauer wird das Ergebnis im Labor.

5.3.1.3 Vorbereitung

Die drei an den Entnahmestellen zum Einsatz kommenden Container wurden vor Versuchsbeginn leer gewogen. Einige Stunden vor der Versuchsdurchführung wurden Sandfang 3 und 4 geöffnet und Sandfang 1 und 2 geschlossen, sofern dies noch nicht der Fall war, sodass sich stabile Verhältnisse einstellen konnten. Unmittelbar vor dem Versuch wurde dann auch Sandfang 3 geschlossen. Ausschließlich die Räumerpumpe des Sandfangs 4 war in Betrieb. Der Zufluss wurde auf 2 m³/s eingestellt.

5.3.1.4 Vor Ort

Zum Startzeitpunkt um 08:33Uhr (Versuch 6) wurden die Entnahmen am Zulauf des Sandfangs begonnen. Sechs Minuten später startete die Entnahme am Ablauf des Sandfangs und am Sandfanggut-Schacht. Die Entnahmedauer betrug an allen drei Stellen 180 Minuten. Zum Einsatz kamen die Schmutzwasser-Tauchmotorpumpen TP65F, sowie drei Überlaufcontainer, die durch die Unterlage von Holzblöcken, unter einer Breite des Containers, aufgestellt waren. Die Entnahmehöhe am Zu- und Ablauf des Sandfangs betrug etwa 1 m über der Beckensohle. Das auf die Straße überlaufende Wasser wurde durch auf der Straße liegende Holzblöcke zu Abflüssen geleitet. Von den Überläufen wurden in regelmäßigen Zeitabständen Proben von insgesamt je etwa 30 l genommen. Die Tauchpumpe an der Stelle des Sandfanggut-Schachts fiel nur bei Versuch 6 öfters für wenige Sekunden aus.

Nach den Entnahmen folgten Sedimentationszeiten von etwa 60 Minuten, teilweise auch bis zum nächsten Morgen. Daraufhin wurde das Überstandswasser aus allen Containern mit der Methode des Entwässerns herausgepumpt. Die Container am Zulauf und Ablauf des Sandfangs wurden nach Variante 1 teilentwässert, da nach der Sedimentationszeit durch vorsichtiges Erasten mit einem langen Gegenstand festgestellt wurde, dass sich kaum „festes“ Sediment in den Containern befand. Der Container am Sandfanggut-Schacht wurde nach Variante 2 bis zum Sediment entwässert. Es wurden etwa 30 l Probe des Überstandswassers an dieser Stelle entnommen.

Nach der Entwässerung folgte die Bestimmung des Gewichts der Container samt Suspensionen. Die Durchmischung der Suspensionen zur Probenahme erfolgte hier mit in den Containern befindlichen Personen mit Schaufeln. Aus den Suspensionen am Zulauf und Ablauf des Sandfangs wurden jeweils etwa 40 l Proben entnommen. Aus der Sandfanggut-Suspension wurde eine Mischprobe des Volumens von etwa 10 l entnommen. Die Proben wurden ins Labor transportiert.

5.3.1.5 Im Labor

Im Labor wurden die Verhältnisse der Nassgewichte bzw. Volumina der Mischproben zu den Massen der daraus entstandenen Siebrückstände bestimmt. Teile der Siebrückstände wurden für etwa zwei Tage im Trockenschrank getrocknet.

Nach der Trocknungszeit kühlten die Proben etwa eine Stunde in Exsikkatoren ab und wurden dann erneut gewogen. Daraufhin wurden die Trockenrückstände in den aufgeführten Muffelöfen etwa zwei Stunden geglüht. Es folgte eine erneute Abkühlphase in Exsikkatoren.

Der entstandene Glührückstand wurde zunächst gewogen und dann je nach dessen Masse teilweise oder gesamt mit neun Sieben in die Fraktionen $x > 2 \text{ mm}$, $2 \text{ mm} > x > 1 \text{ mm}$, $1 \text{ mm} > x > 0,5 \text{ mm}$, $0,5 \text{ mm} > x > 0,4 \text{ mm}$, $0,4 \text{ mm} > x > 0,25 \text{ mm}$, $0,25 \text{ mm} > x > 0,2 \text{ mm}$, $0,2 \text{ mm} > x > 0,125 \text{ mm}$, $0,125 \text{ mm} > x > 0,1 \text{ mm}$, $0,1 \text{ mm} > x > 0,063 \text{ mm}$ und $x < 0,063 \text{ mm}$ unterteilt. Die Massen der Fraktionen wurden bestimmt. Da die Fraktionen $x > 2 \text{ mm}$ und $x < 0,063 \text{ mm}$ nicht als Sand definiert sind (DIN EN ISO 14688-1, 2013), wurden diese verworfen. Von den restlichen Fraktionen wurde dann der Anteil der gelösten Anorganik bestimmt, indem diese in Faltenfiltern mit etwa 500 ml destilliertem Wasser durchgespült und anschließend über Nacht getrocknet und anschließend wieder gewogen wurden.

5.3.2 Durchführung - Versuch 8

Bei diesem Versuch wurde mit den Sandfängen 3 und 4 gearbeitet. Der Zufluss wurde statt auf $2 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $4 \text{ m}^3/\text{s}$ eingestellt, während der gesamten Versuchszeit waren Sandfang 3 und 4 geöffnet und deren Räumerpumpen waren im Einsatz. Es handelt sich hier also nur um eine Verdopplung der Gesamtvolumenströme an den Entnahmestellen. Die Probenahmestellen und die restliche Versuchsdurchführung änderten sich jedoch nicht.

5.3.3 Ergebnisse – Versuche ohne Prüfsandzugabe

5.3.3.1 Massenbilanzen

Die Berechnungen der Sandmassen an den drei Entnahmestellen für die Versuche ohne Prüfsandzugabe erfolgte genau wie die Berechnung der Sandmasse des Sandfangguts die in Versuch 1 beschrieben ist (Kapitel 5.2.2.3). Es handelt sich in beiden Fällen um durchflutete Absatzcontainer. Die genauen Daten und die Berechnung mit gerundeten Werten sind den Anhängen I1, J1 und K1 zu entnehmen. Die absoluten Sandmassen der Versuche 6, 7 und 8, sowie die Verluste sind in Tabelle 4 und den Abbildungen 26 und 27 aufgeführt.

Tabelle 4: Ergebnisse der absoluten Sandmassen der Versuche 6,7 und 8

	Masse Sand Zulauf in kg	Masse Sand Ablauf in kg	Masse Sand SFG in kg	Masse Verlust in kg
Versuch 6	545,08	160,57	208,99	175,52
Versuch 7	97,45	76,29	179,76	-158,61
Versuch 8	383,81	384,99	449,13	-450,31

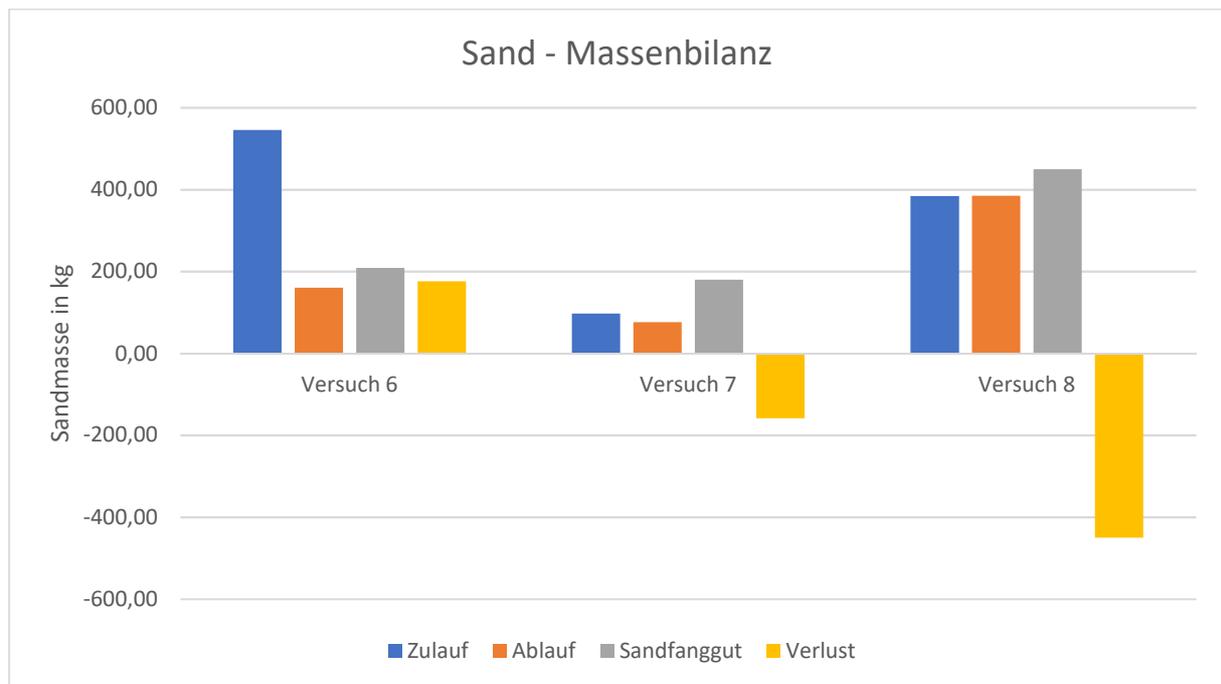


Abbildung 27: Sandmassen und Sandverluste der Massenbilanzen der Versuche ohne Prüfsandzugabe

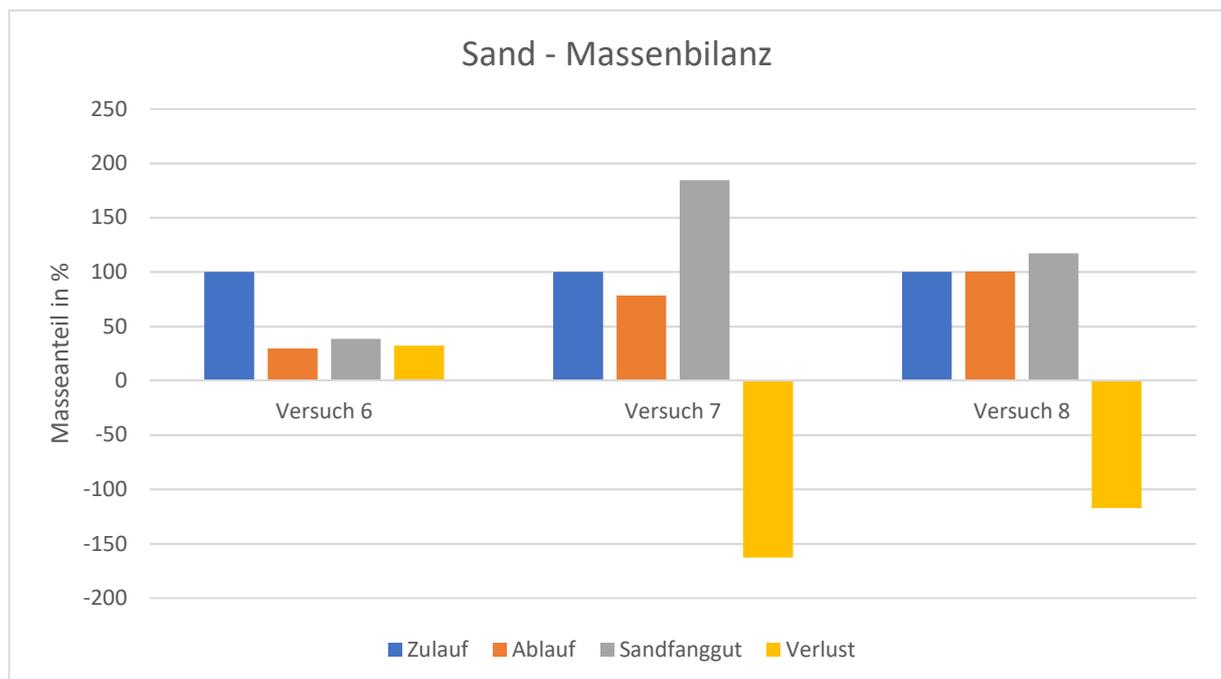


Abbildung 28: Sandmassenanteile und Anteile der Sandverluste der Massenbilanzen der Versuche ohne Prüfsandzugabe

5.3.3.2 Darstellung der Masseanteile der Fraktionen

Durch die Siebung konnte ermittelt werden welche Massenanteile die einzelnen Fraktionen aufweisen. Diese Massenanteile wurden auf die gefundenen Sandmassen an den Entnahmestellen bezogen und anschließend wurden die absoluten Sandmassen der Fraktionen auf die gesamte Sandmasse im Zulauf bezogen. Diese Massenanteile der Fraktionen können dann verglichen werden. Vergleiche zwischen den Fraktionen des Sands im Zulauf und des Sands im Ablauf und im Sandfanggut (abgekürzt mit SFG), sowie zwischen den einzelnen Versuchen sind auf diese Weise möglich. Werte können aus Anhang I6, J6 und K6 entnommen werden. In Abbildung 28, 29 und 30 sind die Massenanteile der einzelnen Fraktionen der Sandmassen dargestellt.

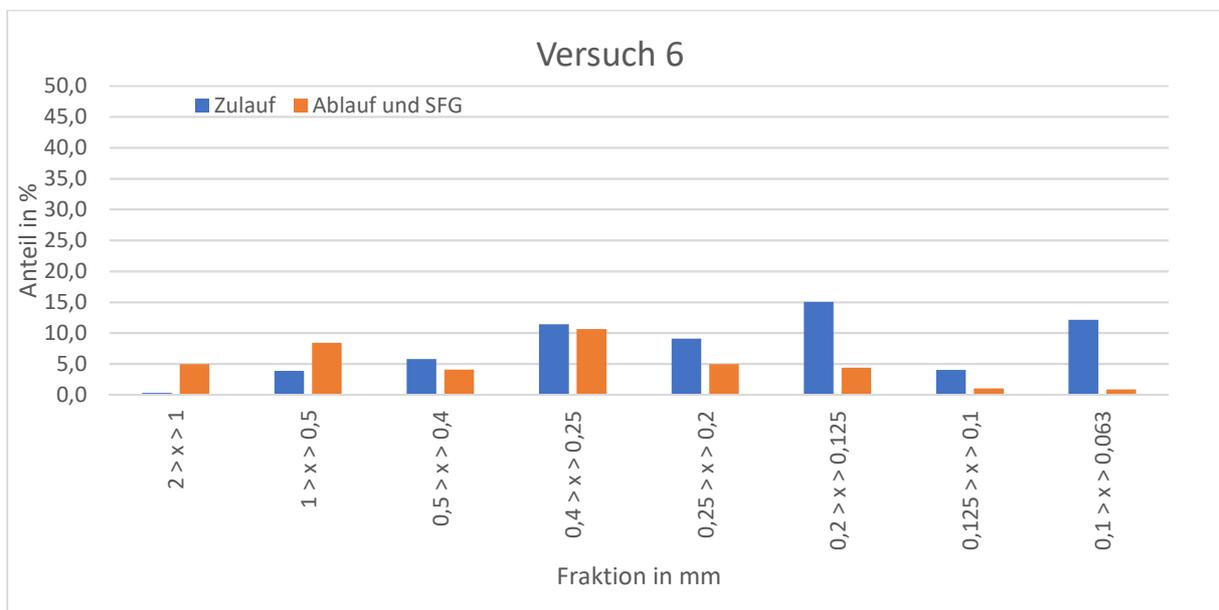


Abbildung 29: Versuch 6 - Sand-Massenanteile der Fraktionen des Zulaufs verglichen mit denen aus dem Ablauf und Sandfanggut bezogen auf die Sandmasse im Zulauf

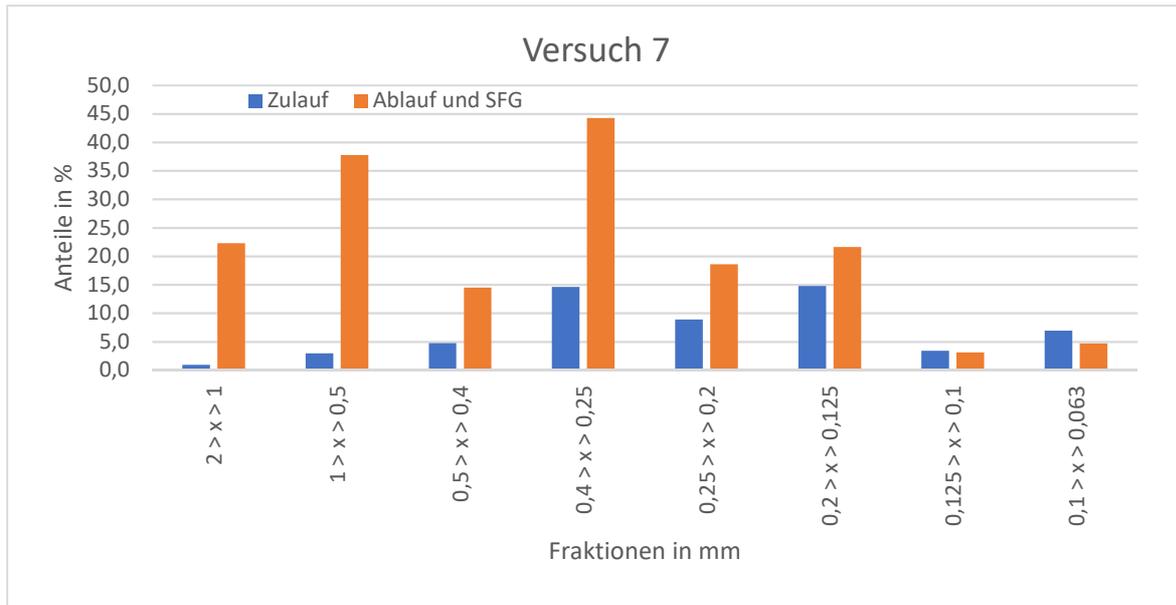


Abbildung 30: Versuch 7 - Sand-Massenanteile der Fraktionen des Zulaufs verglichen mit denen aus dem Ablauf und Sandfanggut bezogen auf die Sandmasse im Zulauf

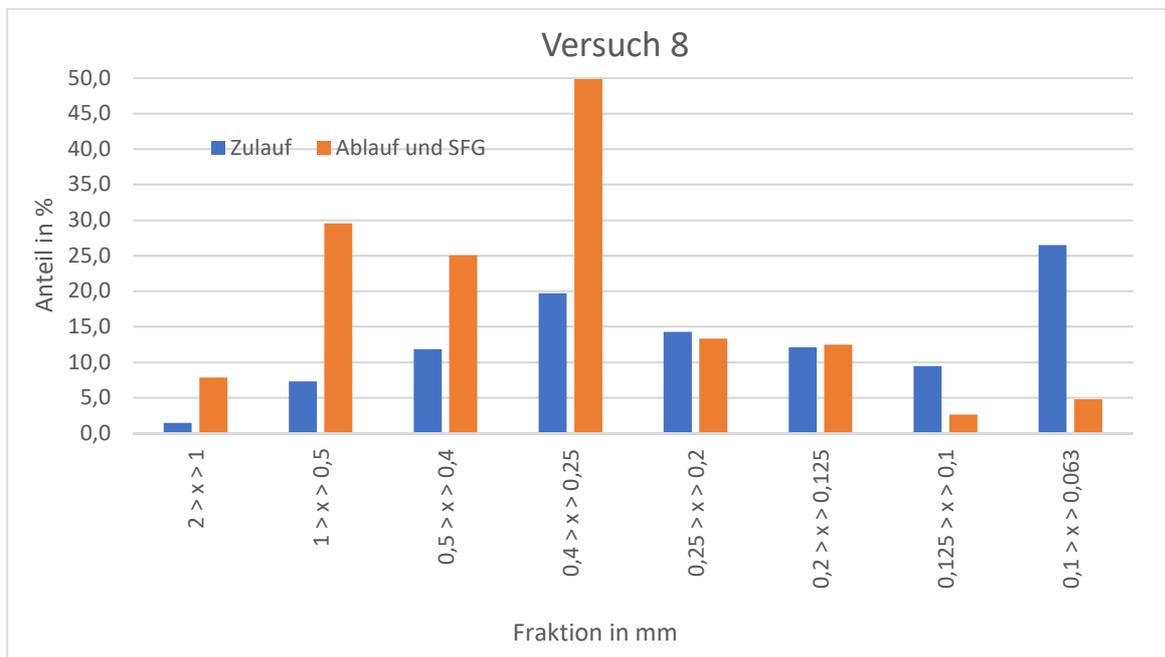


Abbildung 31: Versuch 8 - Sand-Massenanteile der Fraktionen des Zulaufs verglichen mit denen aus dem Ablauf und Sandfanggut bezogen auf die Sandmasse im Zulauf

5.3.3.3 Sandmassenfraktionen der einzelnen Proben bezogen auf den gesamten Volumenstrom an der Entnahmestelle

An den jeweiligen Entnahmestellen wurden unterschiedliche Mischproben entnommen. Vom Zulauf des Sandfangs wurden Mischproben aus dem Container (Zulauf V6/7/8 – V steht für Versuch) und von dem Überlauf des Containers (abgekürzt mit Zulauf V6/7/8 ÜL), vom Ablauf des Sandfangs wurden Mischproben aus dem Container (Ablauf V6/7/8) und von dem Überlauf des Containers (abgekürzt mit Ablauf V6/7/8) und von dem Sandfanggut wurden Mischproben aus dem Container (abgekürzt mit SFG ÜL V6/7/8), dem Überlauf des Containers (abgekürzt mit SFG ÜL V6/7/8) und dem abgepumpten Überstandswasser (abgekürzt mit SFG ÜS V6/7/8) genommen. Die gefundenen Sandmassenanteile in den jeweiligen Mischproben werden hier zu Vergleichszwecken auf die gesamte Sandmasse an der Entnahmestelle bezogen. In den Abbildungen 31 bis 37 sind diese Sandmassen der einzelnen Fraktionen der jeweiligen Mischproben für alle drei Versuche dargestellt. Die Daten können aus den Anhängen I6, J6 und K6 entnommen werden. Entscheidend sind die Angaben in kg.

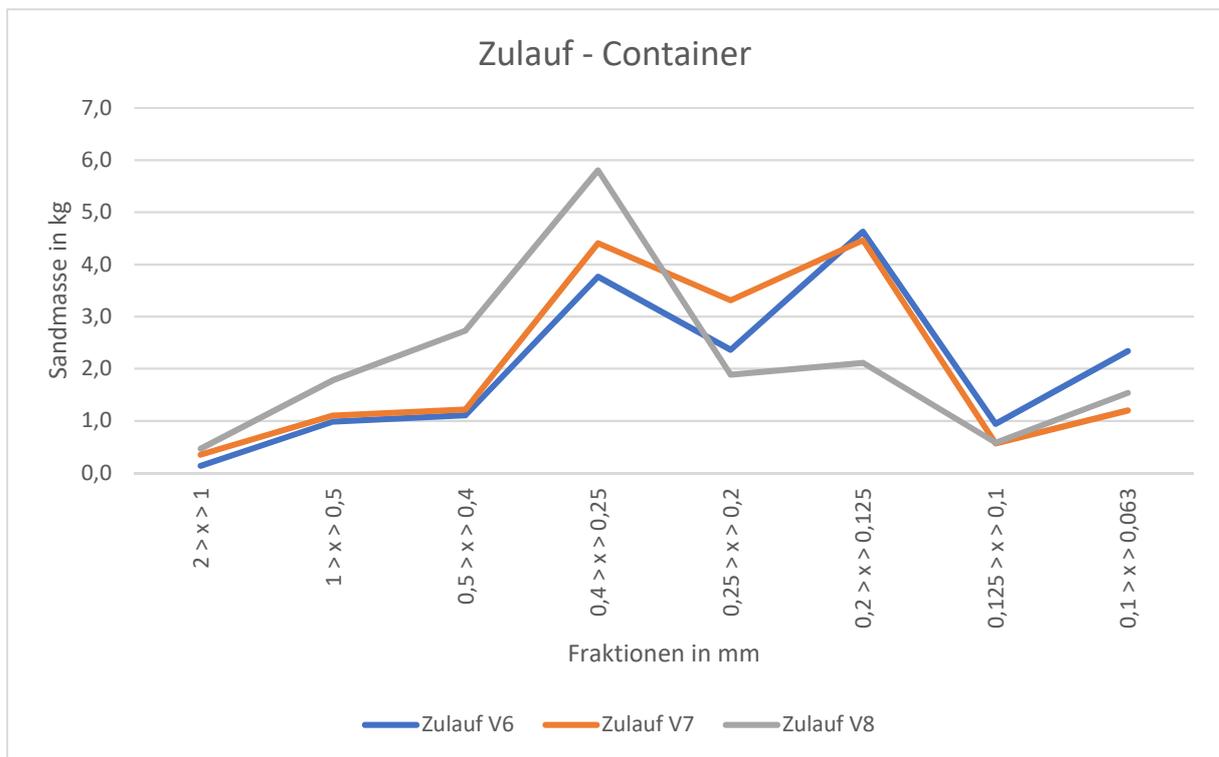


Abbildung 32: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Container am Zulauf

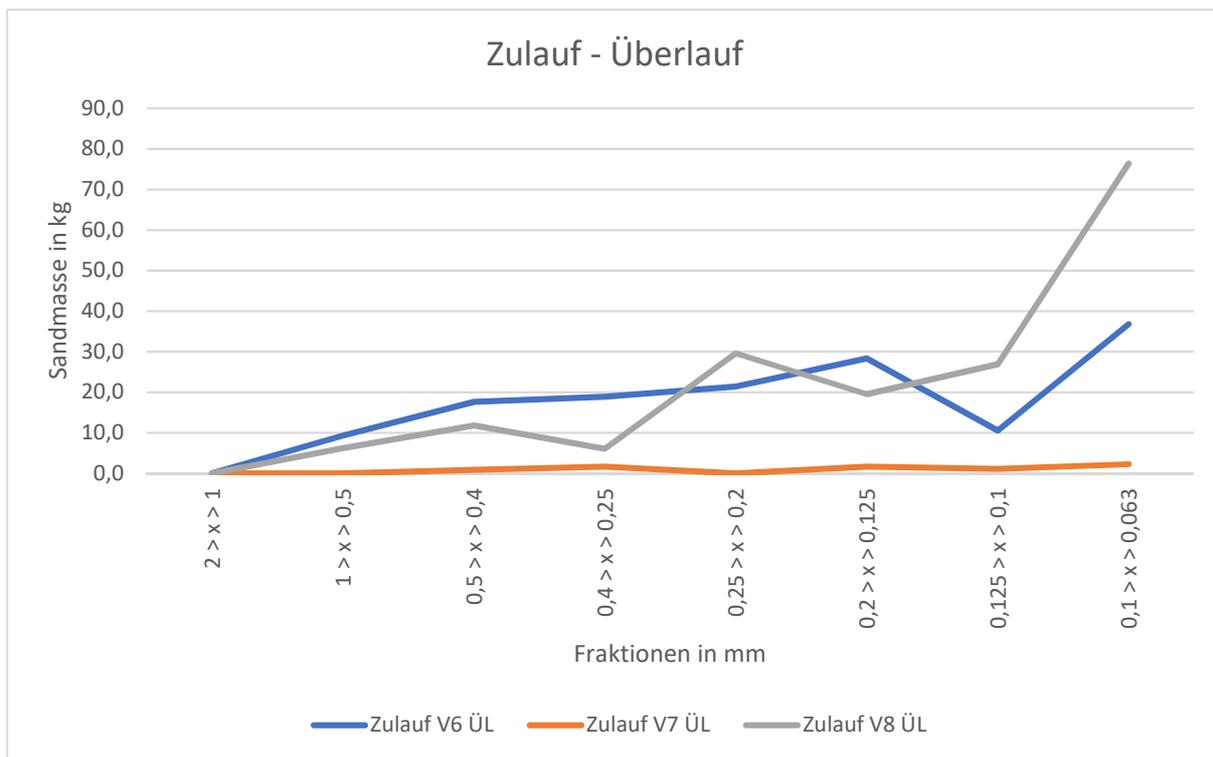


Abbildung 33: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Überlauf des Containers am Zulauf

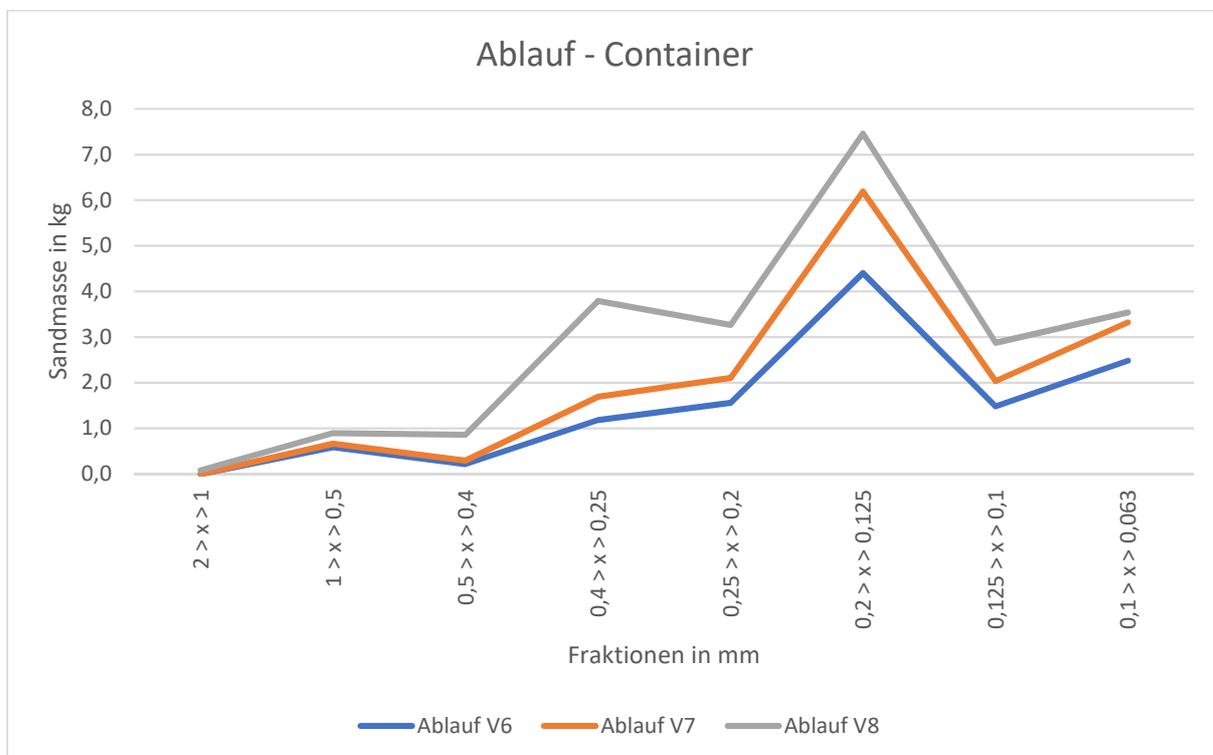


Abbildung 34: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Container am Ablauf

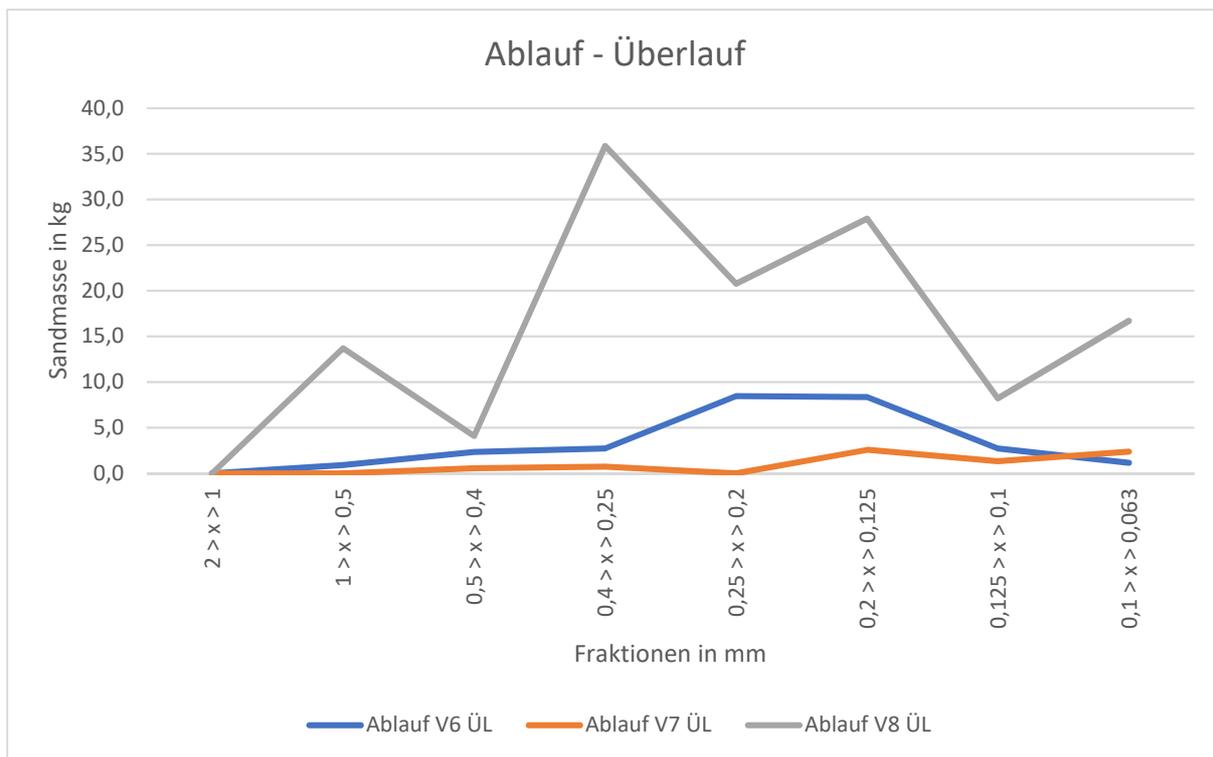


Abbildung 35: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Überlauf des Containers am Ablauf

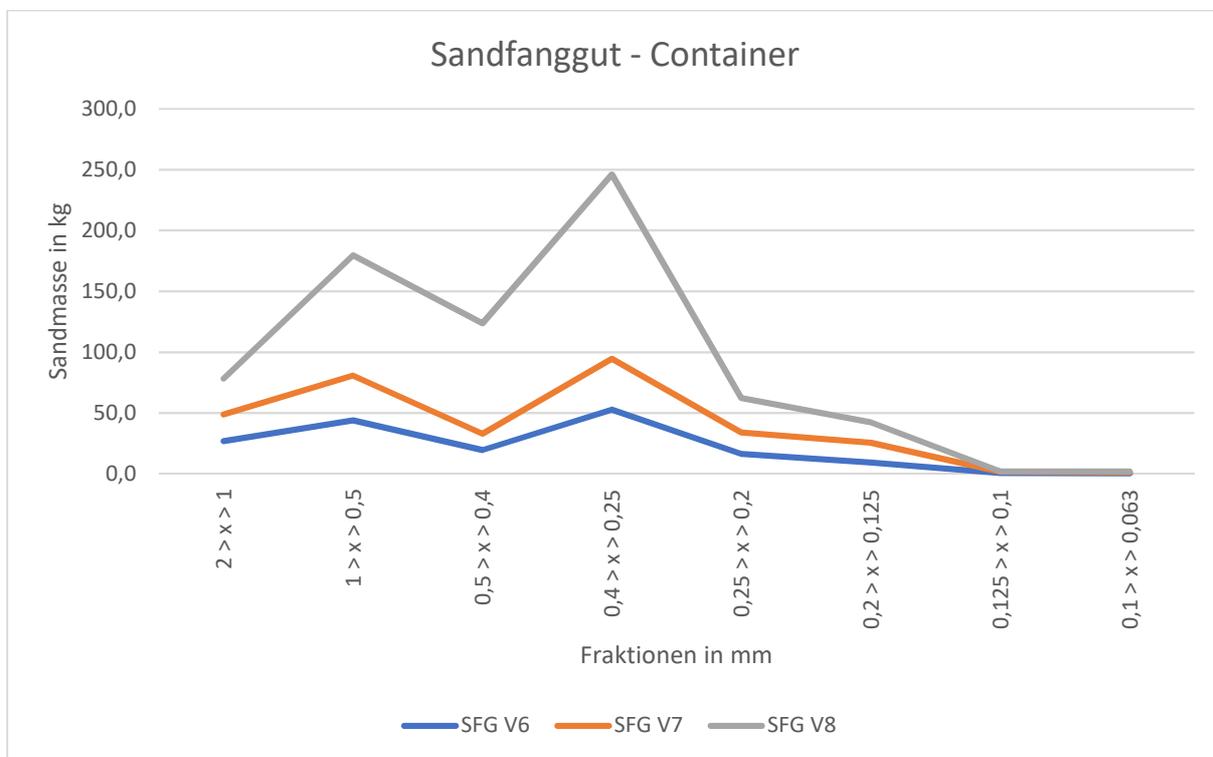


Abbildung 36: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Container am Sandfanggut-Schacht

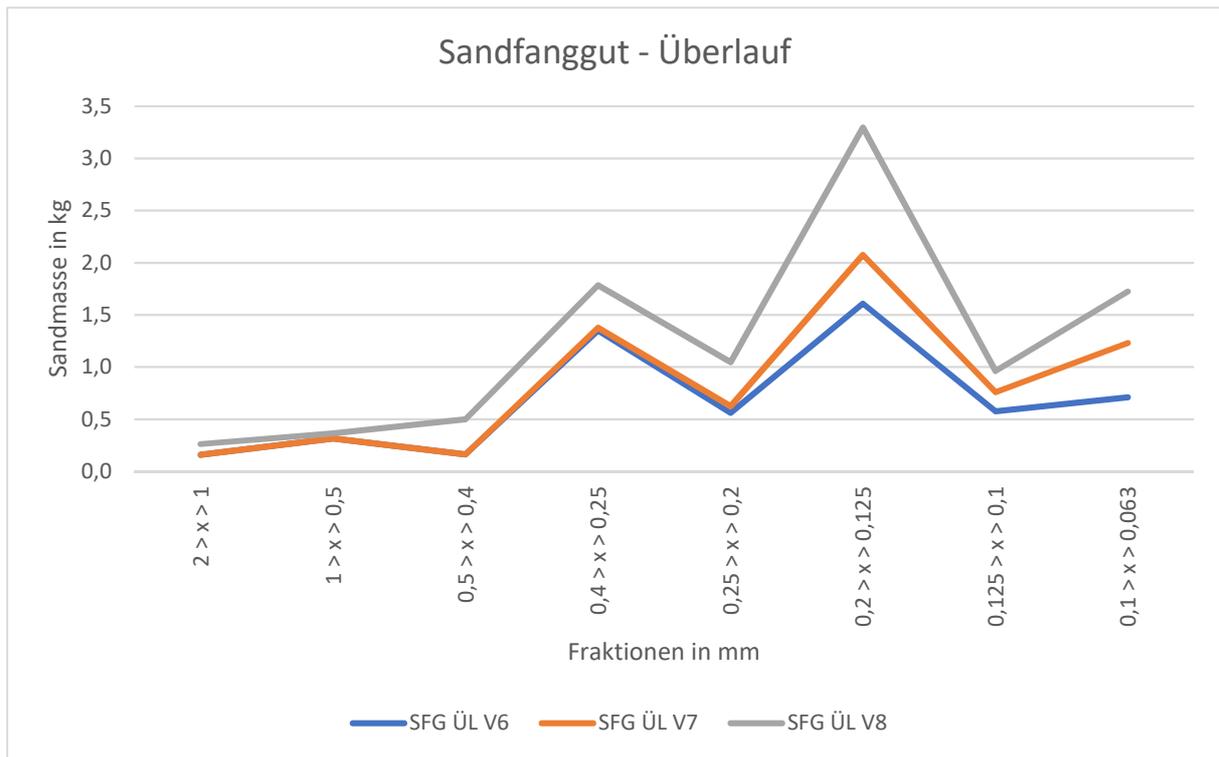


Abbildung 37: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Überlauf des Containers am Sandfanggut-Schacht

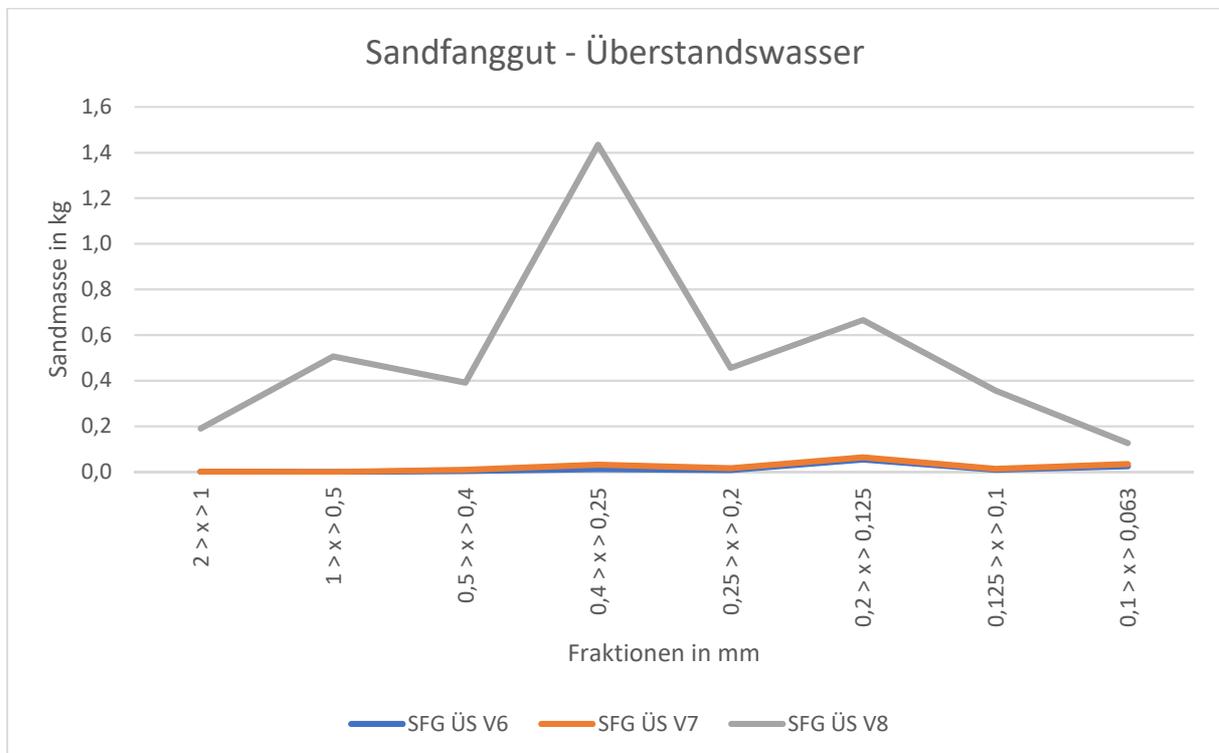


Abbildung 38: Vergleich der Ergebnisse der absoluten Massen der einzelnen Fraktionen der Versuche gefunden im Überstandswasser des Sandfangguts

5.3.4 Versuche ohne Prüfsand - Schlussfolgerungen

Da diese Versuche in zeitlicher Reihenfolge nach den Versuchen mit Prüfsandzugabe erfolgt sind, konnten die dort gewonnen Erkenntnisse teilweise übertragen werden.

Eine Änderung der Versuchsdurchführung gab es nur bei Versuch 8, bei dem der Gesamtdurchfluss der Sandfänge und des Sandfanggutstroms verdoppelt wurden. Dies ging nur als Faktor in das Ergebnis ein. Es wurde die Reproduzierbarkeit der Versuche erprobt.

Die Ergebnisse zeigen an allen drei Stellen starke Schwankungen der gefundenen Sandmassen. Die Schwankungen der gefundenen Sandmassen im Zulauf (in diesem Versuch in absoluten Massen angegeben) entsprechen Sandkonzentrationen von 24,94 mg/l (Versuch 6), 4,61 mg/l (Versuch 7) und 9,11 mg/l (Versuch 8). Wie in der Einleitung beschrieben, sind diese Ergebnisse auf Grund der Vielzahl der Einflussfaktoren auf die Sandkonzentration theoretisch möglich. Die Ergebnisse der Sandmassen aus dem Ablauf des Sandfangs und dem Sandfanggut schwanken extrem. Die Sandmassenverluste bezogen auf die Sandmasse im Zulauf betragen 32,2% (Versuch 6), -162,76% (Versuch 7) und -109,35% (Versuch 8).

Verglichen werden können auch die Zusammensetzungen der Sandmassen bezogen auf die Fraktionen. Die Proben des Zulaufs (vgl. Abbildung 31), welche aus dem Container entnommen wurden, weisen die meiste Sandmasse in dem Bereich der Fraktionen zwischen 0,125 bis 0,4 mm auf. Die Sandmassen, die über den Überlauf (vgl. Abbildung 32) ausgetragen wurden, schwankten von Versuch zu Versuch stark. In Versuch 6 ist die Sandmasse im Überlauf mit 10 bis 35 kg pro Fraktion sehr hoch und erklärt die hohe gefundene Sandmasse im Zulaufvolumenstrom. Da an der Förderhöhe der Pumpe, der Containerstellung oder anderen Einflussfaktoren über die Versuche hinweg nichts geändert wurde, deutet diese große Schwankung in erster Linie auf nicht repräsentative Mischproben des Überlaufs hin.

Die Kornzusammensetzung der Proben aus dem Container am Ablauf (vgl. Abbildung 33) ist sehr ähnlich und weist die größten Massen im Kornbereich von 0,125 bis 0,2 mm auf. Die Zusammensetzung der Fraktionen der Sandmassen im Überlauf des Ablaufs (vgl. Abbildung 34) ist demgegenüber nicht vergleichbar. Die Fraktionen mit dem größten Masseanteil sind bei allen drei Versuchen verschieden und bestehen auch wider Erwarten nicht aus den kleinsten Fraktionen.

Die aus dem Sandfanggut-Container (vgl. Abbildung 35) entnommenen Proben weisen eine ähnliche Zusammensetzung auf. Bei den drei Versuchen war jeweils die Sandfraktion 0,25 bis 0,4 mm am stärksten vertreten. Die kleinen Fraktionen waren fast nicht vorhanden und die

Masse der gefundenen Fraktionen schwankte zwischen etwa 20 bis 160 kg. Ähnlichkeiten sind auch bei den untersuchten Proben der Sandfanggut-Überläufe (vgl. Abbildung 36) festzustellen. Die meiste Sandmasse war in allen Versuchen im Bereich der Fraktion 0,125 bis 0,2 mm mit 1,5 bis 2,5 kg pro Fraktion zu finden. Die Sandzusammensetzung im abgepumpten Überstandswasser (vgl. Abbildung 37) weist starke Schwankungen auf, ist jedoch auf Grund der geringen Masse nicht entscheidend für die Abweichungen der Ergebnisse.

Wie für den Zulauf, kann aus den vorhandenen Ergebnissen geschlussfolgert werden, dass die Überläufe sich als Schwachstelle herausstellen.

Bei den Versuchen konnte nicht überprüft werden, ob die Tauchpumpen repräsentative Mischproben in den Container fördern. Das Verhältnis des gesamten Teilstroms zu dem entnommenen Teilstrom beträgt im Zulauf und Ablauf etwa 200:1.

Die Durchmischung der Suspensionen und Repräsentanz der daraus entnommenen Mischproben ist bei hohen Mengen auch noch immer kritisch zu bewerten. Es wurden zwar ähnliche Fraktionsverteilungen der einzelnen Versuche festgestellt, aber dies sagt noch nichts über die reale Zusammensetzung aus. Die Ähnlichkeit kann theoretisch auch durch die gleiche Wiederholung der Versuchsdurchführung entstanden sein.

Weitere Fehlerquellen liegen bei den Unsicherheiten der verwendeten Instrumente. Da allerdings an allen Probenahmestellen und im Labor für alle drei Versuche die gleichen Methoden angewandt wurden, wäre dieser Fehler systematisch und in den Sandmasseverteilungen der einzelnen Fraktionen erkennbar. Für ein einheitliches Prüfverfahren von Sandfängen sollten diese Fehlerquellen jedoch trotzdem quantifiziert werden.

6 Vergleich der Versuchsvarianten hinsichtlich Durchführbarkeit und Reproduzierbarkeit

Die Versuchsreihen der Versuche mit und ohne Prüfsand haben einige Erkenntnisse hinsichtlich der Durchführbarkeit und Reproduzierbarkeit gebracht, die im Folgenden gegenübergestellt und diskutiert werden.

Es ist von Vorteil für die abschließende Massenbilanz, eine feste Bezugsgröße zu haben. Diese Bezugsgröße ist der Prüfsand mit einer definierten Sieblinie.

Es ist positiv zu bewerten, dass bei den Versuchen mit Prüfsand sehr kurze Versuchszeiten möglich sind, da durch die hohe Sandkonzentration in wenig Zeit genug Sand entnommen werden kann. Der Aufwand der Behandlung der Proben bei Versuchen mit Prüfsand ist geringer als bei den Versuchen ohne Prüfsand, da es weniger Probenahmestellen und somit weniger Probenvolumen gibt.

Für die Sandfanggut-Entnahme der Versuche mit Prüfsand muss der Sandfang „vorbereitet“ und „nachbereitet“ werden. Die Vorbereitung setzt die komplette Entleerung, bezogen auf den Sand im Sandfang, voraus. Die Nachbereitung beschreibt die Entnahme des Sandfangguts, die ebenfalls bis zur kompletten Entleerung, bezogen auf den Sand im Sandfang, erfolgen muss. Ob sich wirklich kein Sand mehr im Sandfang befindet, ist in der Realität nicht überprüfbar und vermindert die Reproduzierbarkeit.

Hinzu kommt, dass bei der Variante mit Prüfsand der Versuchssandfang für die Vor- und Nachbereitungszeit außer Betrieb genommen werden muss. Während der Prüfsandzugabe muss der Zufluss definiert und konstant sein, da von diesem die Masse des Prüfsands abhängt. Diese Faktoren sind nachteilig für den restlichen Betrieb des Klärwerks.

Entscheidend ist, dass die Prüflast, die dem 20- bis 50-fachen der normalen Sandkonzentration im Abwasser entsprechen soll, keine realen Bedingungen darstellt. Trotz Luftzufuhr an der Zugabestelle wird der Prüfsand ein anderes Sinkverhalten haben, als der normal im Abwasser befindliche Sand. Dies begünstigt den Abscheidegrad.

Die Versuche ohne Prüfsand können dem gegenüber jederzeit (ohne Vor- und Nachbereitung) und theoretisch bei beliebigem Durchfluss durchgeführt werden. Allerdings ist die Sandfangprüfung normgerecht bei maximalem Zulauf zu vollziehen. Auch die Schwachstelle durch im Sandfang verbliebenen Prüfsand besteht hier nicht, da nur die zeitliche Übereinstimmung der Entnahmen von Bedeutung ist.

Die Durchführung ohne Prüfsand geschieht unter realen Bedingungen und liefert in der Theorie zusätzlich noch Aussagen über die Sandkonzentration und -beschaffenheit im Zulauf des Sandfangs.

Kritisch zu bewerten sind allerdings die wesentlich geringeren Sandmassen in den entnommenen Mischproben der Versuche ohne Prüfsandzugabe. Diese Sandmassen und deren Fraktionen, die durch Siebungen ermittelt wurden, sind die Basis für die Berechnungen der gesamten Sandmassen an der jeweiligen Entnahmestelle. Die Mischproben aus den Sandfanggut Containern wiesen in allen drei Versuchen je etwa 100 g Sand auf. Die Mischproben der Container des Zu-

und Ablaufs wiesen mit je 5 bis 20 g Sand bereits deutlich weniger und die Mischproben der Überläufe und des Überstandswassers wiesen mit teilweise unter 1 g Sand eine nicht repräsentative Masse auf. Dies ist ein entscheidender Faktor, der die Unstimmigkeiten der Massenbilanzen erklärt und gegen die Reproduzierbarkeit des Prüfverfahrens ohne Sandzugabe, wie sie hier durchgeführt wurde, spricht.

Auch die Überläufe der durchfluteten Absetzcontainer stellten sich als Fehlerquelle heraus, da die gefundene Sandmasse an diesen Stellen viel höher als erwartet war. Die Sandmasse der Überläufe der einzelnen Stellen, sowie die Sandmassenanteile der einzelnen Fraktionen, ließen auch keine Zusammenhänge erkennen. Dies weist auf nicht repräsentative Mischproben an diesen Stellen hin und bestätigt die oben genannte Vermutung, dass die Sandanteile der Mischproben zu gering sind, um repräsentativ zu sein.

Da die Ursache der Sandverluste bzw. Unstimmigkeiten der Sandmassenbilanzen, die in beiden Versuchen aufgetreten sind, nicht geklärt werden konnte, war vermutlich auch die Entnahme des Sandfanggut-Teilstroms nicht repräsentativ. Die Pumpen sind besonders bei den Versuchen mit Prüfsand sehr oft ausgefallen, was auf eine Überlastung der Pumpen hinweist.

Nachteil an beiden Varianten ist, dass die Mischproben auf großtechnischen Anlagen am Zu- und Ablauf als verhältnismäßig kleiner Teilstrom aus dem gesamten Volumenstrom entnommen werden. Die Repräsentanz der Mischproben ist deswegen wenig wahrscheinlich.

7 Fazit und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Vorschläge für Prüfverfahren von Sandfängen von Frau Dr. Hirschbeck und Herrn Dr. Botsch hinsichtlich der Durchführbarkeit und Reproduzierbarkeit zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden zunächst die Varianten des Prüfverfahrens ohne Prüfsand (Hirschbeck) und des Prüfverfahrens mit Prüfsand (Botsch) auf den großtechnischen Sandfang auf Köhlbrandhöft-Süd angepasst. Anschließend wurden die Versuche praktisch durchgeführt und die Massenbilanzen aller zu- und abfließenden Sandmassen und ihrer Fraktionen ermittelt. Der Vergleich der beiden Varianten hat ergeben, dass sowohl die Versuche mit Prüfsand als auch die Versuche ohne Prüfsand nicht zu reproduzierbaren Ergebnissen führten.

Die Variante mit Prüfsandzugabe weist durch die Vor- und Nachbereitung und die nicht realen Verhältnisse der Prüfsandkonzentration im Abwasser erhebliche Fehlerquellen auf. Die hohe Sandkonzentration wirkt sich negativ auf die Reproduzierbarkeit und Durchführbarkeit aus.

Als wesentliche Fehlerquellen des Versuchs ohne Prüfsand wird der hohe Organik- und nur sehr geringe Sandanteil der behandelten Mischproben angesehen. Höhere Versuchszeiten, die den Sandgehalt steigern würden, wären nachteilig für die Durchführbarkeit.

Die verhältnismäßig kleinen Teilströme die aus den Gesamtströmen des Zu- und Ablaufs entnommen wurden, die Auslegung der Überlaufcontainer bzw. die aus den Überläufen entnommenen Mischproben vermindern die Reproduzierbarkeit beider Prüfverfahren folgeschwer.

Abschließend ist festzustellen, dass beide Prüfverfahren, wie sie hier durchgeführt wurden nicht aussagekräftig und so nicht zielführend für die Prüfung des Abscheidegrads von Sandfängen sind. Die Ansätze müssen in der Durchführung noch verändert werden, um Reproduzierbarkeit zu erlangen.

Mögliche Modifikationen könnten wie folgt aussehen: Die Tauchpumpen am Zu- und Ablauf des Sandfangs werden über die Entnahmezeit gleichmäßig über den Querschnitt der Entnahmestelle bewegt, um die Repräsentativität des Teilstroms zu erhöhen. Alternativ wäre denkbar, mehrere Tauchpumpen mit geringerer Förderleistung an unterschiedlichen Stellen am Entnahmequerschnitt anzuordnen. Außerdem sollten, wenn möglich, größere Container (bezogen auf die Oberfläche) gewählt werden, um die Oberflächenbeschickung dieser noch zu verringern. Die Probenvolumina der Überläufe sollten größer gewählt werden. Zusätzlich sollte die Repräsentativität der Mischproben an den unterschiedlichen Stellen überprüft werden. Es gilt ein Mischprobenvolumen zu ermitteln das wiederholbare Zusammensetzungen aufweist. Es muss gewährleistet sein, dass die Mischproben genug Sand für die anschließende Fraktionierung enthalten. Für die Entnahme des Sandfangguts könnten die hinter den Sandfang geschalteten Sandklassierer hinzugezogen werden. Diese trennen den gesamten Sandfanggutstrom in ein Organik-Wasser-Gemisch und Sand. Für Anlagen ohne Sandklassierer müsste nach alternativen Behandlungen des Sandfangguts gesucht werden.

Um die Schwierigkeit des hohen Organikanteils im Abwasser zu eliminieren, wäre es möglich den Abscheidegrad von neu erbauten Sandfängen vor der Inbetriebnahme mit Brauchwasser und der Zugabe von Prüfsand, welcher realen Bedingungen entspricht, zu ermitteln. Dies ist ein Vorschlag der Firma Huber SE (Roediger, M. und Branner, W., kein Datum).

Denkbar wäre auch, einen komplett neuen Ansatz zu wählen. Die Abscheideleistung bezogen auf einzelne Fraktionen könnte getrennt untersucht werden. Dies könnte beispielsweise durch die Markierung geringer Mengen einer bestimmten Sandfraktion geschehen, die dem Zulauf des Sandfangs zugegeben werden und durch Entnahmen an bestimmten Stellen untersucht wird, wo diese markierten Sandkörner wiedergefunden werden.

Sobald die Reproduzierbarkeit eines Prüfverfahrens bewiesen ist, kann daran gearbeitet werden, den Aufwand noch zu minimieren.

Literaturverzeichnis

ATV (1997): *Mechanische Abwasserreinigung*, 4.Auflage, Berlin: Ernst und Sohn.

Bennert Ingenieurbau GmbH (2013): *Technische Zeichnung der vier Sandfänge auf Köhlbrandhöft Süd*, Hamburg.

Born, W. (2016): *Niederschrift über die 88. Sitzung des DWA-Fachausschusses KA-5 „Absetzverfahren“*, unveröffentlichtes Protokoll, Ingolstadt.

Botsch, B. (2015): *Verfahren zur Prüfung von Sandfängen in Kläranlagen*, Patentnr. DE 10 2013 008 698 B4, 2015.

DIN EN ISO 14688-1 (2013): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 1: Benennung und Beschreibung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN 19569-2 (2002): *Baugrundsätze für Bauwerke und technische Ausrüstungen*, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN 38 409 Teil 1 (1987): *Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H) – Bestimmung des Gesamttrockenrückstandes, des Filtrattrockenrückstandes und des Glührückstandes (H1)*, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN 66165-2 (2016): *Patikelgrößenanalyse-Siebanalyse*, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DWA (2009): *Abwasserbehandlung – Gewässerbehandlung, Bemessungsgrundlagen, Mechanische Verfahren, Biologische Verfahren, Reststoffe aus der Abwasserbehandlung, Kleinkläranlagen*, Weimar: Universitätsverlag Weimar.

DWA Fachausschuss KA-5 „Absetzverfahren“ (2008): *Sandfänge – Anforderungen, Systeme und Bemessungen*, unveröffentlicher Arbeitsbericht.

Firma M+E Neuenhaus GmbH&Co.KG (2013): *Produktdatenblatt* [online] https://www.tebbe-neuenhaus.de/fileadmin/pdf/quarz/datenblatt/0_1_-_0_5_mm.pdf [Zugriff am 20.11.2017].

Hambarsomian, D. (2014): *Volumenströme der Sandklassierer- und Sandfangpumpen*, unveröffentlicher Bericht, Hamburg Wasser.

Hirschbeck, C. (2010): *Untersuchung zur Leistungsfähigkeit von belüfteten Sandfängen*, Mitteilungen Heft 104, Dissertation, München: Shaker Verlag.

Hirschbeck, C. (kein Datum): *Stand der Normung von Prüfverfahren für die Sandabscheidung*, unveröffentliche Präsentation, Ingolstadt: Wasserwirtschaftsamt.

Laurich, F. (2017): persönliche Korrespondenz, Hamburg.

Opitz, M. (2017): *Ergebnisse aus dem Praxissemester*, unveröffentliche Berichte und persönliche Korrespondenz, Hamburg Wasser.

Roediger, M. und Branner, W. (kein Datum): *A Test Method for Grid Traps*, Abstract for the 6th EWA/JSWA/WEF Joint Conference on 15th to 18th May 2018.

Einverständniserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäße übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Datum, Ort

Unterschrift

Anhang

Inhalt

- Anhang A (Container- und Sandmassen und Versuchszeiten)
- Anhang B (Containermaße und Voluminaberechnungen)
- Anhang C (Siebung der Prüfsands HR81T)
- Anhang D (Daten Versuch 1)
 - D1 – Bilanzierung
 - D2 – Volumenströme
 - D3 – Massen bzw. Volumina der gesamten Mischproben und Siebrückstände
 - D4 – Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik
 - D5 - Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Anteile der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle
- Anhang E (Daten Versuch 2)
 - E1 – Bilanzierung
 - E2 – Volumenströme
 - E3 – Massen bzw. Volumina der gesamten Mischproben und Siebrückstände
 - E4 – Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik
 - E5 - Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Anteile der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle
- Anhang F (Daten Versuch 3)
 - F1 – Bilanzierung
 - F2 – Volumenströme
 - F3 – Massen bzw. Volumina der gesamten Mischproben und Siebrückstände
 - F4 – Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik
 - F5 - Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Anteile der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle
- Anhang G (Daten Versuch 4)
 - G1 – Bilanzierung
 - G2 – Volumenströme
 - G3 – Massen bzw. Volumina der gesamten Mischproben und Siebrückstände
 - G4 – Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik

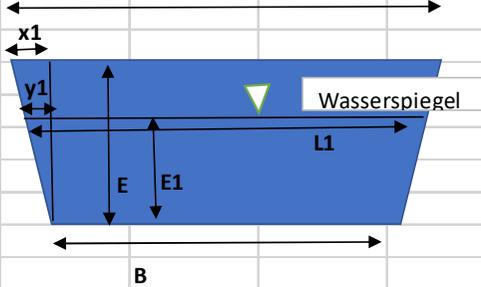
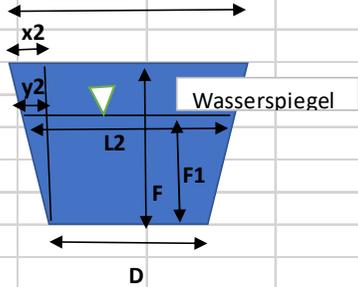
- G5 - Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Anteile der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle
- Anhang H (Daten Versuch 5)
 - H1 – Bilanzierung
 - H2 – Volumenströme
 - H3 – Massen bzw. Volumina der gesamten Mischproben und Siebrückstände
 - H4 – Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik
 - H5 - Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Anteile der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle
- Anhang I (Daten Versuch 6)
 - I1 – Bilanzierung
 - I2 – Volumenströme
 - I3 – Massen bzw. Volumina der gesamten Mischproben und Siebrückstände
 - I4 – Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik
 - I5 - Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Anteile der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle
- Anhang J (Daten Versuch 7)
 - J1 – Bilanzierung
 - J2 – Volumenströme
 - J3 – Massen bzw. Volumina der gesamten Mischproben und Siebrückstände
 - J4 – Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik
 - J5 - Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Anteile der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle
- Anhang K (Daten Versuch 8)
 - K1 – Bilanzierung
 - K2 – Volumenströme
 - K3 – Massen bzw. Volumina der gesamten Mischproben und Siebrückstände
 - K4 – Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik
 - K5 - Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Anteile der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle
- Anhang L (Volumenströme des Sandfangs für Versuch 6, 7 und 8)

Anhang A

Massen - Versuch mit Prüfsand									
	Masse Sand vorher	Masse Sand nachher	Masse Sand zugegeben	Containermasse Ablauf leer	Containermasse Ablauf mit Suspension	Masse Suspension Ablauf	Containermasse SFG leer	Containermasse SFG mit Suspension	Masse Suspension SFG
<i>Einheit</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>
Versuch 1	1540	220	1320	700	980	280	700	1440	740
Versuch 2	1520	860	660	700	1180	480	700	1720	1020
Versuch 3	1540	1220	320	700	1050	350	700	1720	1020
Versuch 4	1220	880	340	700	1200	500	700	2100	1400
Versuch 5	860	620	240	700	1360	660	700	800	100
Massen - Versuch ohne Prüfsand									
	Containermasse Zulauf leer	Containermasse Zulauf mit Suspension	Masse Suspension Zulauf	Containermasse Ablauf leer	Containermasse Ablauf mit Suspension	Masse Suspension Ablauf	Containermasse SFG leer	Containermasse SFG mit Suspension	Masse Suspension SFG
<i>Einheit</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>	<i>[kg]</i>
Versuch 6	720	1480	760	700	1220	520	700	940	240
Versuch 7	720	1750	1030	700	1220	520	700	970	270
Versuch 8	720	1800	1080	700	1400	700	700	960	260

Zeiten									
	Versuchs- datum	Zeitraum Sandzugabe	Dauer	Zeitraum Entnahme Zulauf	Dauer	Zeitraum Entnahme Ablauf	Dauer	Zeitraum Entnahme Sandfanggut	Dauer
<i>Einheit</i>	<i>TT.MM.JJJ</i>		<i>[min]</i>		<i>[min]</i>		<i>[min]</i>		<i>[min]</i>
Versuch 1	09.08.2017	10:16 - 11:16 Uhr	60	-	-	10:22 - 11:28 Uhr	66	10:16 - 12:14 Uhr	118
Versuch 2	17.08.2017	10:06 - 10:36 Uhr	30	-	-	10:12 - 10:40 Uhr	28	10:06 - 11:56 Uhr	110
Versuch 3	23.08.2017	10:39 - 10:45 Uhr	6	-	-	10:45 - 10:57 Uhr	12	10:39 - 11:55 Uhr	76
Versuch 4	29.08.2017	10:19 - 10:25 Uhr	6	-	-	10:25 - 10:37 Uhr	12	10:19 - 11:11 Uhr	52
Versuch 5	12.09.2017	09:40 - 09:46 Uhr	6	-	-	09:46 - 09:58 Uhr	12	10:19 - 13:16 Uhr	216
Versuch 6	19.09.2017	-	-	08:33 - 11:33 Uhr	180	08:39 - 11:39 Uhr	180	08:39 - 11:39 Uhr	180
Versuch 7	26.09.2017	-	-	08:23 - 11:23 Uhr	180	08:29 - 11:29 Uhr	180	08:29 - 08:29 Uhr	180
Versuch 8	04.10.2017	-	-	08:25 - 11:25 Uhr	180	08:31 - 11:31 Uhr	180	08:31 - 11:31 Uhr	180

Anhang B

Container			A			C		
								
Versuch 1			Versuch 2					
Maße			Maße					
gegeben:			gesucht:			gegeben:		
A	in cm	350,5	y1	in cm	59,395	A	in cm	350,5
B	in cm	187,5	y2	in cm	4,107	B	in cm	187,5
C	in cm	170	L1	in cm	306,290	C	in cm	170
D	in cm	158,5	L2	in cm	166,715	D	in cm	158,5
E	in cm	116,14				E	in cm	116,14
F	in cm	141,77				F	in cm	141,77
Höhe	in cm	84,54				Höhe	in cm	56,07
X1	in cm	81,5				X1	in cm	81,5
X2	in cm	5,75				X2	in cm	5,75
E1	in cm	84,64				E1	in cm	56,14
F1	in cm	101,27				F1	in cm	68,77
Volumen:			Volumen:					
$V = (h/3) * (Fu + Fo + (\text{wurzel}(Fu * Fo)))$			$V = (h/3) * (Fu + Fo + (\text{wurzel}(Fu * Fo)))$					
V	in cm ³	3374199,94	V	in cm ³	2045545,57			
V	in m ³	3,37420	V	in m ³	2,04555			

Containervolumen gesamt

Maße

gegeben:

A	in cm	350,5
B	in cm	187,5
C	in cm	170
D	in cm	158,5
E	in cm	116,14
F	in cm	141,77
Höhe	in cm	116
X1	in cm	81,5
X2	in cm	5,75
E1	in cm	116,14
F1	in cm	141,77

gesucht:

y1	in cm	81,500
y2	in cm	5,750
L1	in cm	350,500
L2	in cm	170,000

Volumen:

$$V = (h/3) * (Fu + Fo + (\text{wurzel}(Fu * Fo)))$$

V	in cm ³	5080201,68
V	in m ³	5,080

Überlaufcontainer

ZULAUF

Maße

gegeben:

A	in cm	350,5
B	in cm	187,5
C	in cm	170
D	in cm	158,5
E	in cm	116,14
F	in cm	141,77
Höhe	in cm	99,52
X1	in cm	81,5
X2	in cm	5,75
E1	in cm	99,64
F1	in cm	121,63

gesucht:

y1	in cm	69,921
y2	in cm	4,933
L1	in cm	327,343
L2	in cm	168,366

ABLAUF

Maße

gegeben:

A	in cm	350,5
B	in cm	187,5
C	in cm	170
D	in cm	158,5
E	in cm	116,14
F	in cm	141,77
Höhe	in cm	104,51
X1	in cm	81,5
X2	in cm	5,75
E1	in cm	104,64
F1	in cm	127,733

gesucht:

y1	in cm	73,430
y2	in cm	5,181
L1	in cm	334,360
L2	in cm	168,861

SFG

Maße

gegeben:

A	in cm	350,5
B	in cm	187,5
C	in cm	170
D	in cm	158,5
E	in cm	116,14
F	in cm	141,77
Höhe	in cm	101,02
X1	in cm	81,5
X2	in cm	5,75
E1	in cm	101,14
F1	in cm	123,46

gesucht:

y1	in cm	70,974
y2	in cm	5,007
L1	in cm	329,448
L2	in cm	168,515

Volumen:

$$V = (h/3) * (Fu + Fo + (\text{wurzel}(Fu * Fo)))$$

V	in cm ³	4156725,79
V	in m ³	4,157

Volumen:

$$V = (h/3) * (Fu + Fo + (\text{wurzel}(Fu * Fo)))$$

V	in cm ³	4429197,8
V	in m ³	4,429

Volumen:

$$V = (h/3) * (Fu + Fo + (\text{wurzel}(Fu * Fo)))$$

V	in cm ³	4237937,39
V	in m ³	4,238

Überstandswasser**Maße**

gegeben:

A	<i>in cm</i>	350,5
B	<i>in cm</i>	187,5
C	<i>in cm</i>	170
D	<i>in cm</i>	158,5
E	<i>in cm</i>	116,14
F	<i>in cm</i>	141,77
Höhe	<i>in cm</i>	5
X1	<i>in cm</i>	81,5
X2	<i>in cm</i>	5,75
E1	<i>in cm</i>	5
F1	<i>in cm</i>	6,103

gesucht:

y1	<i>in cm</i>	3,509
y2	<i>in cm</i>	0,248
L1	<i>in cm</i>	194,517
L2	<i>in cm</i>	158,995

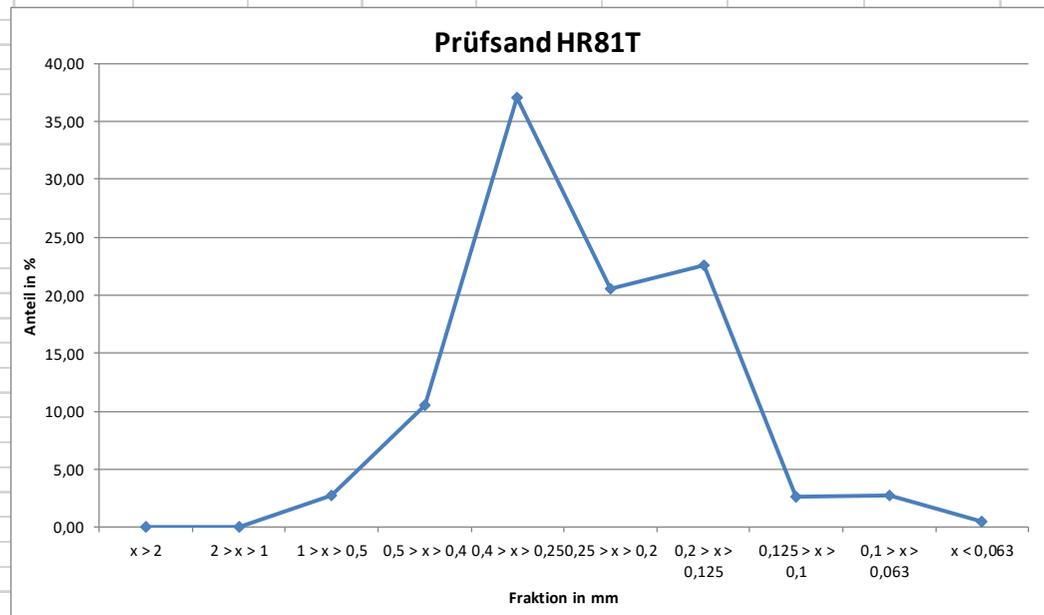
Volumen:

$$V = (h/3) * (Fu + Fo + (\text{wurzel}(Fu * Fo)))$$

V	<i>in cm³</i>	151605,1
V	<i>in m³</i>	0,152

Anhang C

Siebung HR81T													
	m gesamt	x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Siebung 1 in g	49,09	0,00	0,00	1,26	4,77	17,39	9,94	12,06	1,47	1,57	0,28	48,74	0,35
Siebung 1 in %	100,00	0,00	0,00	2,57	9,72	35,42	20,25	24,57	2,99	3,20	0,57	99,29	0,71
Siebung 2 in g	49,73	0,00	0,00	1,23	4,86	17,51	10,71	11,81	1,68	1,41	0,26	49,47	0,26
Siebung 2 in %	100,00	0,00	0,00	2,47	9,77	35,21	21,54	23,75	3,38	2,84	0,52	99,48	0,52
Siebung 3 in g	50,07	0,00	0,00	1,47	5,41	18,37	9,68	11,84	1,11	1,43	0,24	49,55	0,52
Siebung 3 in %	100,00	0,00	0,00	2,94	10,80	36,69	19,33	23,65	2,22	2,86	0,48	98,96	1,04
Siebung 4 in g	50,44	0,00	0,00	1,38	5,91	20,63	10,66	9,32	0,83	1,09	0,17	49,99	0,45
Siebung 4 in %	100,00	0,00	0,00	2,74	11,72	40,90	21,13	18,48	1,65	2,16	0,34	99,11	0,89
Mittel in %	100,00	0,00	0,00	2,68	10,50	37,06	20,56	22,61	2,56	2,76	0,48	99,21	0,79



Anhang D

D1 Bilanzierung – Versuch 1

Die folgenden Rechnungen wurden mit gerundeten Werten zu Anschaulichkeitszwecken durchgeführt. Die exakten Werte wurden in Excel-Dateien berechnet und weichen minimal von den Ergebnissen der gerundeten Werte ab.

Massenbilanz:

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} + m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs über die Entnahmezeit in kg

$m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$: Sandmasse im Sandfanggut über die Entnahmezeit in kg

Sandmasse zugegeben

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = (m_{\text{Sand,vorher}} - m_{\text{Sand,nachher}}) \cdot a$$

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = (1540 \text{ kg} - 220 \text{ kg}) \cdot 0,9873 = 1303,24 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,vorher}}$: Masse des Prüfsand – Bigbags vor dem Versuch in kg – siehe Tabelle Anhang A

$m_{\text{Sand,nachher}}$: Masse des Prüfsand – Bigbags nach dem Versuch in kg – siehe Tabelle Anhang A

a : Anteil des Prüfsands zwischen den Fraktionen $x < 2 \text{ mm}$ und $x > 0,063 \text{ mm}$ – siehe Anhang D6

Ablauf Sandfang

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{55,36 \text{ kg}}{4,10 \text{ kg}} = 13,5$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 13,5 \cdot 1093,58 \text{ g} = 14763,33 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{4,16 \text{ g}}{14763,33 \text{ g}} \cdot 280 \text{ kg} = 0,08 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{2070 \text{ l/s}}{0,85 \text{ l/s}} \cdot 0,08 \text{ kg} = 194,82 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} = 194,82 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g
– siehe Anhang D3 (Summe $m_{\text{Mischprobe}}$)

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g – siehe Anhang D3 (Summe $m_{\text{Siebrückstand}}$))

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g – siehe Anhang D4 (m_{Probe})

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g –
siehe Anhang D5 (Masse Sand)

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg – siehe Anhang A

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ –
siehe Anhang D2 (Volumenstrom Ablauf)

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang D2 (Förderleistung Pumpe)

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

Sandfanggut**Container**

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{66,91 \text{ kg}}{45,98 \text{ kg}} = 1,46$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 1,46 \cdot 1367,26 \text{ g} = 1996,2 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{616,96 \text{ g}}{1996,2 \text{ g}} \cdot 740 \text{ kg} = 228,71 \text{ kg}$$

Überlauf Sandfanggut

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = \left(8,757 \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot 7080 \text{ s} \right) - (4900 \text{ l} + 2469,24 \text{ l}) = 54630,32 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,26 \text{ g}}{12,3 \text{ l}} \cdot 54630,32 \text{ l} = 1154,79 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 228,71 \text{ kg} + 1,15 \text{ kg} = 229,86 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{31,94 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{8,757 \frac{\text{l}}{\text{s}}} \cdot 229,86 \text{ kg} = 838,38 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Sandfanggut}} = 838,38 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g –
siehe Anhang D3 (Summe $m_{\text{Mischprobe}}$)

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g – siehe Anhang D3 (Summe $m_{\text{Siebrückstand}}$)

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g –
siehe Anhang D4 (Masse Probe)

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g –
siehe Anhang D5 (Masse Sand)

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg – siehe Anhang A

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

\dot{V}_{Pumpe} : Förderleistung der Pumpe an der Entnahmestelle in $\frac{l}{s}$ – siehe Anhang D2

t_{Entnahme} : Entnahmedauer in s – siehe Anhang A

$V_{\text{Überlaufcontainer}}$: Volumen des Überlaufcontainers in l – siehe Anhang B

$V_{\text{Auslitern}}$: Volumen das auf Grund des Ausliterns nicht in den Container gefördert wurde in l – siehe Anhang D2 (Summe der befüllten Volumina)

$m_{\text{Sand,Überlauf}}$: Sandmasse im Überlauf in kg

$m_{\text{Sand,Probe}}$: Sandmasse in der behandelten Mischprobe in kg – siehe Anhang D5

V_{Probe} : Volumen der Mischprobe an der jeweiligen Entnahmestelle (hier Überlauf) in l –
siehe Anhang D3 (Summe V_{Probe})

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

$m_{\text{Sand,Teil}}$: Sandmasse aus dem Teilstrom in kg

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in $\frac{l}{s}$ – siehe Anhang D2 (Förderleistung Pumpe)

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in $\frac{l}{s}$ – siehe Anhang D2

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

D2 Volumenströme**Förderleistung Pumpe Sandfanggut-Schacht**

Förderstopp	Füllhöhe	Füllvolumen	Fülldauer	Förderleistung
<i>in min</i>	<i>in cm</i>	<i>in l</i>	<i>in s</i>	<i>in l/s</i>
10:35-10:37 2min	57	617,31	70	8,819
10:55-10:57 2min	57	617,31	70	8,819
11:14-11:16 2min	57	617,31	71	8,695
11:36-11:38 2min	57	617,31	71	8,695
			Durchschnittliche Förderleistung:	8,757

Förderleistung Pumpe Ablauf Sandfang

Befülltes Volumen	<i>in l</i>	3374,2
Entnahmezeit	<i>in s</i>	3960
Förderleistung	<i>in l/s</i>	0,85

Ablaufgerinne 01 Zul.-Vorklärung, KS10VA01VG01MV01XP33

Datum und Zeit	Volumenstrom Ablauf SF	Datum und Zeit	Volumenstrom Ablauf SF
	<i>in m³/s</i>		<i>in m³/s</i>
9.8.2017 10:22:00	2,05		
9.8.2017 10:23:00	2,11	9.8.2017 10:16:00	1,68
9.8.2017 10:24:00	2,11	9.8.2017 10:17:00	1,90
9.8.2017 10:25:00	2,14	9.8.2017 10:18:00	2,23
9.8.2017 10:26:00	2,14	9.8.2017 10:19:00	2,11
9.8.2017 10:27:00	2,11	9.8.2017 10:20:00	1,98
9.8.2017 10:28:00	2,06	9.8.2017 10:21:00	1,99
9.8.2017 10:29:00	2,03	9.8.2017 10:22:00	2,05
9.8.2017 10:30:00	2,05	9.8.2017 10:23:00	2,11
9.8.2017 10:31:00	2,07	9.8.2017 10:24:00	2,11
9.8.2017 10:32:00	2,09	9.8.2017 10:25:00	2,14
9.8.2017 10:33:00	2,02	9.8.2017 10:26:00	2,14
9.8.2017 10:34:00	1,97	9.8.2017 10:27:00	2,11
9.8.2017 10:35:00	2,05	9.8.2017 10:28:00	2,06
9.8.2017 10:36:00	2,16	9.8.2017 10:29:00	2,03
9.8.2017 10:37:00	2,18	9.8.2017 10:30:00	2,05
9.8.2017 10:38:00	2,12	9.8.2017 10:31:00	2,07
9.8.2017 10:39:00	2,10	9.8.2017 10:32:00	2,09
9.8.2017 10:40:00	2,12	9.8.2017 10:33:00	2,02
9.8.2017 10:41:00	2,13	9.8.2017 10:34:00	1,97

9.8.2017 10:42:00	2,11	9.8.2017 10:35:00	2,05
9.8.2017 10:43:00	2,08	9.8.2017 10:36:00	2,16
9.8.2017 10:44:00	2,08	9.8.2017 10:37:00	2,18
9.8.2017 10:45:00	2,11	9.8.2017 10:38:00	2,12
9.8.2017 10:46:00	2,11	9.8.2017 10:39:00	2,10
9.8.2017 10:47:00	2,07	9.8.2017 10:40:00	2,12
9.8.2017 10:48:00	2,04	9.8.2017 10:41:00	2,13
9.8.2017 10:49:00	2,03	9.8.2017 10:42:00	2,11
9.8.2017 10:50:00	2,05	9.8.2017 10:43:00	2,08
9.8.2017 10:51:00	2,07	9.8.2017 10:44:00	2,08
9.8.2017 10:52:00	2,06	9.8.2017 10:45:00	2,11
9.8.2017 10:53:00	2,05	9.8.2017 10:46:00	2,11
9.8.2017 10:54:00	2,06	9.8.2017 10:47:00	2,07
9.8.2017 10:55:00	2,09	9.8.2017 10:48:00	2,04
9.8.2017 10:56:00	2,16	9.8.2017 10:49:00	2,03
9.8.2017 10:57:00	2,17	9.8.2017 10:50:00	2,05
9.8.2017 10:58:00	2,09	9.8.2017 10:51:00	2,07
9.8.2017 10:59:00	2,01	9.8.2017 10:52:00	2,06
9.8.2017 11:00:00	2,04	9.8.2017 10:53:00	2,05
9.8.2017 11:01:00	2,08	9.8.2017 10:54:00	2,06
9.8.2017 11:02:00	2,08	9.8.2017 10:55:00	2,09
9.8.2017 11:03:00	2,07	9.8.2017 10:56:00	2,16
9.8.2017 11:04:00	2,05	9.8.2017 10:57:00	2,17
9.8.2017 11:05:00	2,05	9.8.2017 10:58:00	2,09
9.8.2017 11:06:00	2,08	9.8.2017 10:59:00	2,01
9.8.2017 11:07:00	2,08	9.8.2017 11:00:00	2,04
9.8.2017 11:08:00	2,05	9.8.2017 11:01:00	2,08
9.8.2017 11:09:00	2,04	9.8.2017 11:02:00	2,08
9.8.2017 11:10:00	2,06	9.8.2017 11:03:00	2,07
9.8.2017 11:11:00	2,08	9.8.2017 11:04:00	2,05
9.8.2017 11:12:00	2,07	9.8.2017 11:05:00	2,05
9.8.2017 11:13:00	2,09	9.8.2017 11:06:00	2,08
9.8.2017 11:14:00	2,15	9.8.2017 11:07:00	2,08
9.8.2017 11:15:00	2,17	9.8.2017 11:08:00	2,05
9.8.2017 11:16:00	2,14	9.8.2017 11:09:00	2,04
9.8.2017 11:17:00	2,09	9.8.2017 11:10:00	2,06
9.8.2017 11:18:00	2,08	9.8.2017 11:11:00	2,08
9.8.2017 11:19:00	2,06	9.8.2017 11:12:00	2,07
9.8.2017 11:20:00	2,07	9.8.2017 11:13:00	2,09
9.8.2017 11:21:00	2,18	9.8.2017 11:14:00	2,15
9.8.2017 11:22:00	2,10	9.8.2017 11:15:00	2,17
9.8.2017 11:23:00	1,77	9.8.2017 11:16:00	2,14
9.8.2017 11:24:00	1,63		
9.8.2017 11:25:00	2,00		
9.8.2017 11:26:00	2,39	Mittelwert:	2,07
9.8.2017 11:27:00	2,41		
9.8.2017 11:28:00	2,29		

Mittelwert:	2,08		
--------------------	-------------	--	--

D3 Massen bzw. Volumina der gesamten Mischproben und Siebrückstände

VERSUCH 1

Verhältnisse (Masse Probe - Masse Siebrückstand)

Sandfanggut

m(Topf)= 352,77g

m(Probe)	m(Siebrückstand)
in g	in g
2549,22	1380,08
2666,7	1422,53
2619,59	1906,27
1720,06	2108,09
1906,27	2272,22
2108,09	1637,09
2272,22	2161,75
2271,81	2021,56
2205,89	2280,61
2552,17	2145,49
2595,74	2012,62
2567,45	1348,05
285,61	1954,96
2145,5	2007,25
2012,62	2188,78
2521,18	2084,26
2717,6	558,35
2045,47	2157,07
2128,8	1143,65
2007,22	2389,5
2188,78	2408,61
2084,26	2320,6
558,35	2302,94
2296,73	1772,42
2160,85	
1532,65	
999,56	
2389,5	
2408,61	
2320,6	
2302,94	
1772,42	

Ablauf Sandfang

m(Topf)= 348,05g

m(Probe)	m(Siebrückstand)
in g	in g
2747,19	1034,46
2681,94	1001,39
2660,65	1122,95
2403,63	938,7
2228,6	
1503,71	
2341,88	
2538,58	
2696,42	
2543,57	
2497,72	
1060,67	
2484,08	
2630,35	
2644,93	
2538,39	
2494,09	
1668,39	
2650,41	
2583,15	
2544,12	
2543,91	
2670,78	

Summe	Summe
in g	in g
55357,16	4097,5
in kg	in kg
55,35716	4,0975

Summe	Summe
--------------	--------------

in g	in g
66914,46	45984,75
in kg	in kg
66,91446	45,98475

Überstandswasser**Ablauf**

V (Probe)	m (SR)
in ml	in g
2500	0
2500	
2500	
2500	
2500	
2400	

Sandfanggut

V (Probe)	m (SR)
in ml	in g
2500	0
2500	
2000	
2100	

Sandfanggut Überlauf - Absetzcontainer

Volumen Probe	Masse Siebrückstand
in ml	in g
2500	59,86
2500	
2500	
2500	
2300	

Summe	Summe
in ml	in g
12300	59,86

D4 Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik**TR und GR - Labor**

Datum	Art der Probe	Schalenummer	Leermasse	Masse Probe	Masse TR	Masse GR
TT/MM/JJ	-	-	in g	in g	in g	in g
12.08.2017	Ablauf	1	377,55	567,84	47,15	7,45
12.08.2017	Ablauf	7	375,45	525,74	41,89	6,92
12.08.2017	SFG	6	378,09	682,67	405,93	338,55
12.08.2017	SFG	5	376,13	684,59	421,5	356,57
12.08.2017	Überlauf SFG	M1	198,059	59,86	33,401	0,472

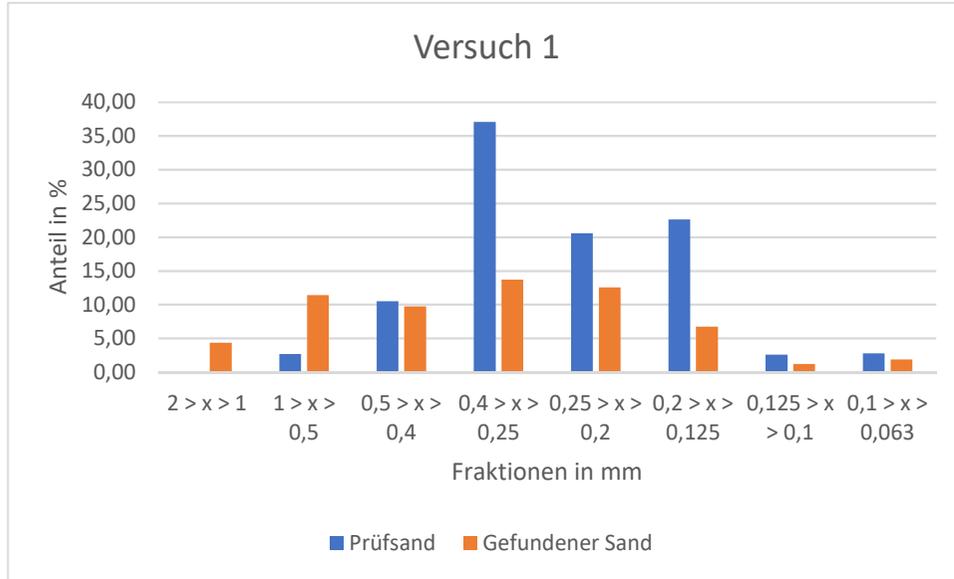
Gelöste Anorganik

Bezeichnung Filter	Masse Filter	Masse Probe	Tiegel Nr.	Massen Tiegel	Masse TR	Masse gelöste Anorganik	Anteil gelöster Anorganik
-	in g	in g	-	in g	in g	in g	in %
SFG	3,0171	10,1540	172	130,6405	12,8383	0,3328	3,2775
AB	2,9773	3,3024	186	130,2630	6,0651	0,2146	6,4983
SFG Überlauf	2,7620	0,2621	170	130,5824	3,0159	0,0082	3,1286

D6 Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Anteile der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle

Prüfsandmasse									
m:		1320	kg						
Fraktionen	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	Summe
in %	0,00	2,68	10,50	37,06	20,56	22,61	2,56	2,76	98,73
in kg	0,000	35,349	138,638	489,138	271,431	298,451	33,776	36,467	1303,249
	1303,249								
Sandmasse im Ablauf									
des Sandfangs:		140,247	kg						
Probennr.		2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063
Ablauf 12.08.17	in g	0	0,0311	0,0905	0,2583	0,3470	1,4787	0,8130	1,4322
Ablauf 12.08.17	in %	0	0,2164	0,6297	1,7972	2,4143	10,2885	5,6567	9,9649
bezogen auf die gesamte Masse	in kg	0	0,303	0,883	2,521	3,386	14,429	7,933	13,975
bezogen auf PS - Masse	in %	0	0,02	0,07	0,19	0,26	1,11	0,61	1,07
Sandmasse in Sandfanggut:									
Sand im gesamten Container:	in kg		229,47	Anteil	<i>in %</i>				99,51
Sandmasse Überlauf:	in kg		1,13	Anteil	<i>in %</i>				0,49
Sand im Container + Überlauf	in kg		230,60	Anteil	<i>in %</i>				100,00
Sandmasse im Sandfanggut:	in kg		841,23	Anteil	<i>in %</i>				100,00
Sandmasse aus Container:	in kg		837,11	Anteil	<i>in %</i>				99,51
Sandmasse aus Überlauf:	in kg		4,12	Anteil	<i>in %</i>				0,49
Sandfanggut									
Probennr.	Einheit	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063
SFG 12.08.17	in g	47,65	124,75	106,18	148,58	134,88	61,66	6,21	7,96
SFG 12.08.17	in %	6,855	17,947	15,275	21,375	19,404	8,870	0,893	1,145
	in kg	57,384	150,233	127,869	178,931	162,432	74,255	7,479	9,586
bezogen auf PS - Masse	in %	4,40	11,53	9,81	13,73	12,46	5,70	0,57	0,74
Sandfanggut Überlauf									
Probennr.	Einheit	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063
SFG 12.08.17	in g	0,0000	0,0804	0,0130	0,0041	0,0215	0,0206	0,0513	0,0733
SFG 12.08.17	in %	0,0000	17,0664	2,7595	0,8703	4,5638	4,3727	10,8894	15,5593
	in kg	0,000	0,702	0,114	0,036	0,188	0,180	0,448	0,640
bezogen auf PS - Masse	in %	0,00	0,05	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	0,05

Versuch 1												
m (Prüfsand):		1303,249 kg										
Fraktionen	x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	
Prüfsand	in %	0,00	0,00	2,68	10,50	37,06	20,56	22,61	2,56	2,76	0,48	99,21
Prüfsand	in kg	0,000	0,000	34,901	136,878	482,931	267,986	294,663	33,347	36,004	6,222	
AB bezogen auf PS - Masse	in %	0,000	0,000	0,023	0,068	0,193	0,260	1,107	0,609	1,072	6,500	
SFG bezogen auf PS - Masse	in %	4,663	4,334	11,346	9,657	13,514	12,268	5,608	0,565	0,724	0,214	
SFG ÜL bezogen auf PS - Masse	in %	0,000	0,000	0,053	0,009	0,003	0,014	0,014	0,034	0,048	0,070	
Summe AB, SFG, SFG ÜL		4,663	4,334	11,423	9,734	13,710	12,542	6,729	1,207	1,845	6,784	72,970
Differenzen		-4,663	-4,334	-8,745	0,769	23,346	8,021	15,881	1,351	0,918	-6,307	26,238



Anhang E

E1 Bilanzierung – Versuch 2

Die folgenden Rechnungen wurden mit gerundeten Werten zu Anschaulichkeitszwecken durchgeführt. Die exakten Werte wurden in Excel-Dateien berechnet und weichen minimal von den Ergebnissen der gerundeten Werte ab.

Massenbilanz:

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} + m_{\text{Sand,Sandfanggut_Schacht}}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs über die Entnahmezeit in kg

$m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$: Sandmasse im Sandfanggut über die Entnahmezeit in kg

Sandmasse zugegeben

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = (m_{\text{Sand,vorher}} - m_{\text{Sand,nachher}}) \cdot a$$

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = (1520 \text{ kg} - 860 \text{ kg}) \cdot 0,9873 = 651,62 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,vorher}}$: Masse des Prüfsand – Bigbags vor dem Versuch in kg – siehe Tabelle Anhang A

$m_{\text{Sand,nachher}}$: Masse des Prüfsand – Bigbags nach dem Versuch in kg – siehe Tabelle Anhang A

a : Anteil des Prüfsands zwischen den Fraktionen $x < 2 \text{ mm}$ und $x > 0,063 \text{ mm}$ – siehe Tabelle E6

Ablauf Sandfang

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{45,94 \text{ kg}}{1,01 \text{ kg}} = 45,49$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 45,49 \cdot 1218,98 \text{ g} = 55451,40 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{8,75 \text{ g}}{55451,40 \text{ g}} \cdot 480 \text{ kg} = 0,08 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{2270 \text{ l/s}}{1,22 \text{ l/s}} \cdot 0,08 \text{ kg} = 148,85 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} = 148,85 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g –
siehe Anhang E3 (Summe $m_{\text{Mischprobe}}$)

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g – siehe Anhang E3 (Summe $m_{\text{Siebrückstand}}$))

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g –
siehe Anhang E4 (Masse Probe)

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g –
siehe Anhang E5 (Masse Sand)

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg – siehe Anhang A

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang E2

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang E2 (Förderleistung Pumpe)

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

Sandfanggut**Container**

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{58,17 \text{ kg}}{26,44 \text{ kg}} = 2,20$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 2,20 \cdot 1324,94 \text{ g} = 2914,87 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{710,17 \text{ g}}{2914,87 \text{ g}} \cdot 1020 \text{ kg} = 248,51 \text{ kg}$$

Überlauf Sandfanggut

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = \left(8,82 \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot 6600 \text{ s} \right) - (4900 \text{ l} + 2469,24 \text{ l}) = 50842,76 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,16 \text{ g}}{12,3 \text{ l}} \cdot 50842,76 \text{ l} = 661,37 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 248,51 \text{ kg} + 0,66 \text{ kg} = 249,17 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{31,94 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{8,82 \frac{\text{l}}{\text{s}}} \cdot 249,17 \text{ kg} = 902,32 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Sandfanggut}} = 902,32 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g –
siehe Anhang E3 (Summe $m_{\text{Mischprobe}}$)

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten

Mischprobe in g – siehe Anhang E3 (Summe $m_{\text{Siebrückstand}}$)

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

*$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g –
siehe Anhang E4 (Masse Probe)*

*$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g –
siehe Anhang E5 (Masse Sand)*

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg – siehe Anhang A

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

\dot{V}_{Pumpe} : Förderleistung der Pumpe an der Entnahmestelle in $\frac{l}{s}$ – siehe Anhang E2

t_{Entnahme} : Entnahmedauer in s – siehe Anhang A

$V_{\text{Überlaufcontainer}}$: Volumen des Überlaufcontainers in l – siehe Anhang B

*$V_{\text{Auslitern}}$: Volumen das auf Grund des Ausliterns nicht in den Container gefördert
wurde in l – siehe Anhang E2 (Summe aller befüllten Volumina)*

$m_{\text{Sand,Überlauf}}$: Sandmasse im Überlauf in kg

*V_{Probe} : Volumen der Mischprobe an der jeweiligen Entnahmestelle (hier Überlauf) in l –
siehe Anhang E3 (Summe V_{Probe})*

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

$m_{\text{Sand,Teil}}$: Sandmasse aus dem Teilstrom in kg

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in $\frac{l}{s}$ – siehe Anhang E2 (Förderleistung Pumpe)

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in $\frac{l}{s}$ – siehe Anhang E2

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

E2 Volumenströme**Versuch 2**

Förderleistung Pumpe Sandfanggut-Schacht

Förderstopp	Füllhöhe	Füllvolumen	Fülldauer	Förderleistung
[min]	[cm]	[l]	[s]	[l/s]
10:32 - 10:34	57	617,31	70	8,82
10:52-10:54	57	617,31	70	8,82
11:12-11:14	57	617,31	70	8,82
11:36-11:38	57	617,31	70	8,82
			Durchschnittliche Förderleistung:	8,82

Förderleistung Pumpe Ablauf Sandfang

Befülltes Volumen	<i>in l</i>	2045,55
Entnahmezeit	<i>in s</i>	1680
Förderleistug	<i>in l/s</i>	1,22

Ablaufgerinne 01 Zul.-Vorklärung		KS10VA01VG01MV01XP33	
Datum und Uhrzeit	Volumenstrom	Datum und Uhrzeit	Volumenstrom
	<i>in m³/s</i>		<i>in m³/s</i>
17.8.2017 10:06:00	2,17		
17.8.2017 10:07:00	2,17		
17.8.2017 10:08:00	2,19	17.8.2017 10:12:00	2,23
17.8.2017 10:09:00	2,20	17.8.2017 10:13:00	2,18
17.8.2017 10:10:00	2,22	17.8.2017 10:14:00	2,17
17.8.2017 10:11:00	2,23	17.8.2017 10:15:00	2,15
17.8.2017 10:12:00	2,23	17.8.2017 10:16:00	2,16
17.8.2017 10:13:00	2,18	17.8.2017 10:17:00	2,15
17.8.2017 10:14:00	2,17	17.8.2017 10:18:00	2,18
17.8.2017 10:15:00	2,15	17.8.2017 10:19:00	2,22
17.8.2017 10:16:00	2,16	17.8.2017 10:20:00	2,27
17.8.2017 10:17:00	2,15	17.8.2017 10:21:00	2,30
17.8.2017 10:18:00	2,18	17.8.2017 10:22:00	2,33
17.8.2017 10:19:00	2,22	17.8.2017 10:23:00	2,29
17.8.2017 10:20:00	2,27	17.8.2017 10:24:00	2,26
17.8.2017 10:21:00	2,30	17.8.2017 10:25:00	2,26
17.8.2017 10:22:00	2,33	17.8.2017 10:26:00	2,30
17.8.2017 10:23:00	2,29	17.8.2017 10:27:00	2,32
17.8.2017 10:24:00	2,26	17.8.2017 10:28:00	2,28

17.8.2017 10:25:00	2,26	17.8.2017 10:29:00	2,21
17.8.2017 10:26:00	2,30	17.8.2017 10:30:00	2,17
17.8.2017 10:27:00	2,32	17.8.2017 10:31:00	2,21
17.8.2017 10:28:00	2,28	17.8.2017 10:32:00	2,26
17.8.2017 10:29:00	2,21	17.8.2017 10:33:00	2,28
17.8.2017 10:30:00	2,17	17.8.2017 10:34:00	2,27
17.8.2017 10:31:00	2,21	17.8.2017 10:35:00	2,31
17.8.2017 10:32:00	2,26	17.8.2017 10:36:00	2,36
17.8.2017 10:33:00	2,28	17.8.2017 10:37:00	2,32
17.8.2017 10:34:00	2,27	17.8.2017 10:38:00	2,34
17.8.2017 10:35:00	2,31	17.8.2017 10:39:00	2,46
17.8.2017 10:36:00	2,36	17.8.2017 10:40:00	2,50
Mittelwert:	2,24	Durchschnittswert:	2,27

E3 Massen bzw. Volumina der gesamten Mischproben und Siebrückstände

VERSUCH 2

Verhältnisse (Masse Probe - Masse Siebrückstand)

Sandfanggut

m(Topf)= 354,27 g

Ablauf Sandfang

m(Topf)= 354,27 g

m(Probe)	m(Siebrückstand)
<i>in g</i>	<i>in g</i>
2567,06	1048,23
2560,22	2376,47
2534,68	2029,44
2376,47	2724,17
2029,44	1506,61
2724,17	2605,22
2619,51	2330,34
2613,8	2366,12
2380,3	797,84
989,3	2671,8
2605,22	922,99
2330,04	380,41
2366,12	2654,29
2708,19	2025,07
2658,71	
2584,62	
1981,64	
2671,8	
923,03	
2527,04	

m(Probe)	m(Siebrückstand)
<i>in g</i>	<i>in g</i>
2579,57	265,18
2657,63	218,24
2630,23	248,42
2542,54	275,02
754,27	
2574,93	
2582,15	
2599,16	
2498,76	
675,06	
2522,28	
2578,39	
2567,33	
2605,44	
1899,59	
2608,23	
2533,51	
2659,97	
2433,19	
1441,29	

2696,57	
2664,49	
1380,54	
2654,29	
2025,07	

Summe	Summe
<i>in g</i>	<i>in g</i>
58172,32	26439

<i>in kg</i>	<i>in kg</i>
58,17232	26,439

Summe	Summe
<i>in g</i>	<i>in g</i>
45943,52	1006,86

<i>in kg</i>	<i>in kg</i>
45,94352	1,00686

Überstandswasser

Probe - Siebrückstand

Ablauf

V (Probe)	m (SR)
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
2500	0
2500	
2500	
2500	
2200	

SFG

V (Probe)	m (SR)
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
2500	0
2500	
2500	
1800	

Überlauf - Absetzcontainer

Volumen Probe	Masse Sieb- rückstand
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
2500	75,831
2500	
2500	
2500	
2300	

Summe	Summe
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
12300	75,831

E4 Massen dergesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik**Versuch 2*****TR und GR - Labor***

Datum	Art der Probe	Schalenummer	Leermasse	Masse Probe	Masse TR	Masse GR
[TT/MM/JJ]	-	-	in g	in g	in g	in g
18.08.2017	Ablauf	8	362,84	610,43	48,13	8,47
18.08.2017	Ablauf	xy	349,18	608,55	46,32	8,16
18.08.2017	SFG	10	386,93	636,85	404,82	350,39
18.08.2017	SFG	3	372,49	688,09	448,87	392,9
18.08.2017	Überlauf SFG	1	198,062	75,83	42,06	0,499

Gelöste Anorganik

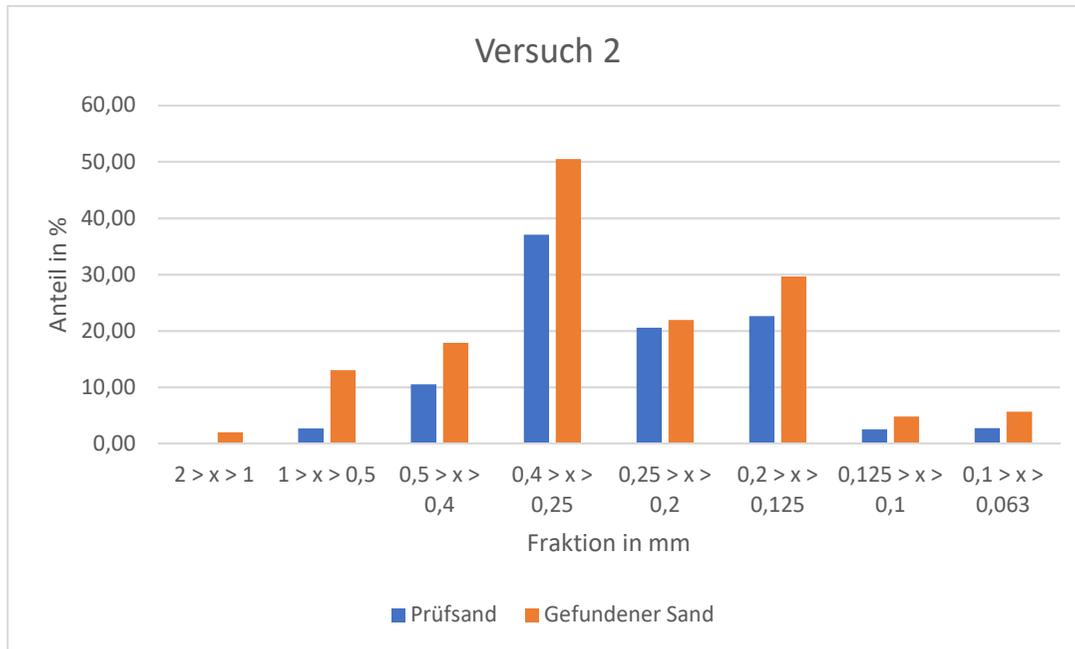
Bezeichnung Filter	Masse Filter	Masse Probe	Tiegel Nr.	Massen Tiegel	Masse TR	Masse gelöste Anorganik	Anteil gelöster Anorganik
-	in g	in g	-	in g	in g	in g	in %
SFG	2,9811	16,2634	186	130,203	16,0530	0,210	1,2937
AB	3,0092	9,0148	172	130,5922	8,7242	0,2906	3,2236
SFG Überlauf	2,763	0,1703	172	130,5823	0,1570	0,0133	7,8097

E5 Fraktionen der Glührückstände und Berechnungen der Sandgehalte der Glührückstände

VERSUCH 2													
<i>Fraktionen GR Ablauf Sandfang</i>													
m (GR_Ablauf) =		16,6281	g										
Probennr.		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Ablauf 22.08.17	in g	0	0,0191	0,1724	0,1299	0,3581	0,6473	3,176	1,3344	3,2003	6,8281	15,8656	0,7625
Ablauf 22.08.17	in %	0,00	0,11	1,04	0,78	2,15	3,89	19,10	8,02	19,25	41,06	95,41	4,59
Masse Sand (plus gelöste AO):		9,0375	g										
Anteil gelöster Anorganik:		3,2236	%										
Masse Sand:		8,7462	g										
<i>Fraktionen GR Sandfanggut</i>													
m (GR_SFG.gesamt)=		743,29	g										
m (GR_Teil_SFG) =		102,8117	g										
Anteil (GR,Teil)=		13,83197675	%										
Probennr.	Einheit	x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
SFG 22.08.17	in g	1,0203	1,4979	9,549	13,1833	37,2190	15,6812	18,9981	2,2796	1,1104	0,9692	101,508	1,3037
SFG 22.08.17	in %	0,99	1,46	9,29	12,82	36,20	15,25	18,48	2,22	1,08	0,94	98,73	1,27
Masse Sand (plus gelösterAO):		99,5185	g										
Anteil gelöster Anorganik:		1,2937	%										
Masse Sand, Teil:		98,2310	g										
Masse Sand, gesamt:		710,1735	g										
<i>Fraktionen Sandfanggut Überlauf</i>													
m GR:		0,499	g										
Probennr.		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
SFG 17.08.2017	in g	0	0	0,0091	0,0103	0,0372	0,0444	0,042	0,0101	0,0226	0,2859	0,4616	0,0374
SFG 17.08.2017	in %	0,00	0,00	1,82	2,06	7,45	8,90	8,42	2,02	4,53	57,29	92,51	7,49
Masse Sand (plus gelösterAO):		0,1757	g										
Anteil gelöster Anorganik:		7,8097	%										
Masse Sand:		0,1620	g										

Versuch 2									
E6 Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle									
Prüfsandmasse									
m:	660 kg								
Fraktionen	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	Summe
in %	0,00	2,68	10,50	37,06	20,56	22,61	2,56	2,76	98,73
in kg	0,000	17,675	69,319	244,569	135,715	149,225	16,888	18,233	651,62
Summe des Sands nach Def.:									
	651,624 kg		98,73						
Sandmasse im Ablauf des SFs:									
	140,452 kg								
Probennr.		2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063
Ablauf 22.08.17	in g	0,0191	0,1724	0,1299	0,3581	0,6473	3,1760	1,3344	3,2003
Ablauf 22.08.17	in %	0,1148658	1,0368	0,7812	2,1536	3,8928	19,1002	8,0250	19,2463
	in kg	0	1,456	1,097	3,025	5,468	26,827	11,271	27,032
bezogen auf PS - Masse	in %	0	0,22	0,17	0,46	0,84	4,12	1,73	4,15
Sandmasse in Sandfanggut:									
Sand im gesamten Container:	in kg	248,484585		Anteil	in %	99,73537281			
Sandmasse Überlauf:	in kg	0,65930246		Anteil	in %	0,264627185			
Sand im Container + Überlauf	in kg	249,143888		Anteil	in %	100			
Sandmasse im Sandfanggut:	in kg	902,352835		Anteil	in %	100			
Sandmasse aus Container:	in kg	899,964964		Anteil	in %	99,73537281			
Sandmasse aus Überlauf:	in kg	2,38787091		Anteil	in %	0,264627185			
SFG									
Probennr.	Einheit	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063
SFG 22.08.17	in g	1,4979	9,549	13,1833	37,219	15,6812	18,9981	2,2796	1,1104
SFG 22.08.17	in %	1,457	9,288	12,823	36,201	15,252	18,479	2,217	1,080
	in kg	13,112	83,587	115,400	325,798	137,266	166,300	19,955	9,720
bezogen auf PS - Masse	in %	2,01	12,83	17,71	50,00	21,07	25,52	3,06	1,49
SFG ÜL									
Probennr.		2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063
SFG 17.08.2017	in g	0,0000	0,0091	0,0103	0,0372	0,0444	0,0420	0,0101	0,0226
SFG 17.08.2017	in %	0,0000	1,8236	2,0641	7,4549	8,8978	8,4168	2,0240	4,5291
	in kg	0,000	0,044	0,049	0,178	0,212	0,201	0,048	0,108
bezogen auf PS - Masse	in %	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0,02

Versuch 2												
m (Prüfsand):		651,624 kg										
Fraktionen	$x > 2$	$2 > x > 1$	$1 > x > 0,5$	$0,5 > x > 0,4$	$0,4 > x > 0,25$	$0,25 > x > 0,2$	$0,2 > x > 0,125$	$0,125 > x > 0,1$	$0,1 > x > 0,063$	$x < 0,063$	Summe	
Prüfsand	in %	0,00	0,00	2,68	10,50	37,06	20,56	22,61	2,56	2,76	0,48	99,21
Prüfsand	in kg	0,000	0,000	17,450	68,439	241,465	133,993	147,332	16,674	18,002	3,111	
Ablauf bezogen auf PS - Masse	in %	0,000	0,000	0,223	0,168	0,464	0,839	4,117	1,730	4,148	8,851	
bezogen auf PS - Masse	in %	1,371	2,012	12,828	17,710	49,998	21,065	25,521	3,062	1,492	1,302	
bezogen auf PS - Masse	in %	0,000	0,000	0,007	0,008	0,027	0,033	0,031	0,007	0,017	0,210	
Summe AB, SFG, SFG ÜL		1,371	2,012	13,058	17,886	50,489	21,937	29,669	4,799	5,657	10,363	157,240
Differenzen		-1,371	-2,012	-10,380	-7,383	-13,433	-1,374	-7,059	-2,241	-2,894	-9,885	-58,031



Anhang F

F1 Bilanzierung – Versuch 3

Die folgenden Rechnungen wurden mit gerundeten Werten zu Anschaulichkeitszwecken durchgeführt. Die exakten Werte wurden in Excel-Dateien berechnet und weichen minimal von den Ergebnissen der gerundeten Werte ab.

Massenbilanz:

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} + m_{\text{Sand,Sandfanggut_Schacht}}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs über die Entnahmezeit in kg

$m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$: Sandmasse im Sandfanggut über die Entnahmezeit in kg

Sandmasse zugegeben

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = (m_{\text{Sand,vorher}} - m_{\text{Sand,nachher}}) \cdot a$$

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = (1540 \text{ kg} - 1220 \text{ kg}) \cdot 0,9873 = 315,94 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,vorher}}$: Masse des Prüfsand – Bigbags vor dem Versuch in kg – siehe Tabelle Anhang A

$m_{\text{Sand,nachher}}$: Masse des Prüfsand – Bigbags nach dem Versuch in kg – siehe Tabelle Anhang A

a : Anteil des Prüfsands zwischen den Fraktionen $x < 2 \text{ mm}$ und $x > 0,063 \text{ mm}$ – siehe Anhang F6

Ablauf Sandfang

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{44,95 \text{ kg}}{2,73 \text{ kg}} = 16,47$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 16,47 \cdot 1212,2 \text{ g} = 19964,93 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{7,90 \text{ g}}{19964,93 \text{ g}} \cdot 350 \text{ kg} = 0,14 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{1890 \text{ l/s}}{8,00 \text{ l/s}} \cdot 0,14 \text{ kg} = 33,08 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} = 33,08 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g –
siehe Anhang F3 (Summe $m_{\text{Mischprobe}}$)

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g – siehe Anhang F3 (Summe $m_{\text{Siebrückstand}}$))

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g –
siehe Anhang F4 (Masse Probe)

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g –
siehe Anhang F5 (Masse Sand)

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg – siehe Anhang A

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang F2

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang F2 (Förderleistung Pumpe)

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

Sandfanggut**Container**

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{51,81 \text{ kg}}{2,37 \text{ kg}} = 21,86$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 21,86 \cdot 1536,75 \text{ g} = 33593,36 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{872,18 \text{ g}}{33593,36 \text{ g}} \cdot 1020 \text{ kg} = 26,48 \text{ kg}$$

Überlauf Sandfanggut

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = \left(8,82 \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot 4560 \text{ s} \right) - (4900 \text{ l} + 1851,93 \text{ l}) = 33467,27 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,20 \text{ g}}{14,1 \text{ l}} \cdot 33467,27 \text{ l} = 474,71 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 26,48 \text{ kg} + 0,47 \text{ kg} = 26,95 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{V_{\text{gesamt}}}{V_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{31,94 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{8,82 \frac{\text{l}}{\text{s}}} \cdot 26,95 \text{ kg} = 97,59 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Sandfanggut}} = 97,59 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g –
siehe Anhang F3 (Summe $m_{\text{Mischprobe}}$)

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g – siehe Anhang F3 (Summe $m_{\text{Siebrückstand}}$))

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g –
siehe Anhang F4 (Masse Probe)

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g –
siehe Anhang F5 (Masse Sand)

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg – siehe Anhang A

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

\dot{V}_{Pumpe} : Förderleistung der Pumpe an der Entnahmestelle in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang F2

t_{Entnahme} : Entnahmedauer in s – siehe Anhang A

$V_{\text{Überlaufcontainer}}$: Volumen des Überlaufcontainers in l – siehe Anhang B

$V_{\text{Auslitern}}$: Volumen das auf Grund des Ausliterns nicht in den Container gefördert wurde in l – siehe Anhang F2 (Summe aller befüllten Volumina)

$m_{\text{Sand,Überlauf}}$: Sandmasse im Überlauf in kg

$m_{\text{Sand,Probe}}$: Sandmasse in der behandelten Mischprobe in kg –
siehe Anhang F5 (Masse Sand)

V_{Probe} : Volumen der Mischprobe an der jeweiligen Entnahmestelle (hier Überlauf) in l –
siehe Anhang F3 (Summe V_{Probe})

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

$m_{\text{Sand,Teil}}$: Sandmasse aus dem Teilstrom in kg

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang F2 (Förderleistung Pumpe)

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang F2

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

F2 Volumenströme**Versuch 3****Förderleistung Pumpe Sandfanggut-Schacht**

Förderstopp [min]	Füllhöhe [cm]	Füllvolumen [l]	Fülldauer [s]	Förderleistung [l/s]
10:54 - 10:56	57	617,31	70	8,82
11:15 - 10:17	57	617,31	70	8,82
11:35 - 11:37	57	617,31	70	8,82

Durchschnittliche
Förderleistung: 8,82

Förderleistung Pumpe Ablauf Sandfang

Befülltes Volumen	<i>in l</i>	5080,02
Zeit	<i>in s</i>	635
Förderleistung	<i>in l/s</i>	8,00

Volumenstrom Sandfang 4

Datum und Uhrzeit	KS10VA01VG01MV01XP33	Schütz SF
	m ³ /s	m ³ /s
	Ablaufgerinne 01 Zul.-Vorklärung	SU41
23.8.2017 10:39:00	1,39	0,00
23.8.2017 10:39:10	1,33	0,08
23.8.2017 10:39:20	1,30	0,16
23.8.2017 10:39:30	1,31	0,24
23.8.2017 10:39:40	1,33	0,32
23.8.2017 10:39:50	1,37	0,41
23.8.2017 10:40:00	1,42	0,51
23.8.2017 10:40:10	1,46	0,61
23.8.2017 10:40:20	1,51	0,72
23.8.2017 10:40:30	1,55	0,84
23.8.2017 10:40:40	1,61	0,97
23.8.2017 10:40:50	1,68	1,11
23.8.2017 10:41:00	1,74	1,25
23.8.2017 10:41:10	1,82	1,41
23.8.2017 10:41:20	1,89	1,58
23.8.2017 10:41:30	1,96	1,76
23.8.2017 10:41:40	2,01	1,93
23.8.2017 10:41:50	2,05	2,08
23.8.2017 10:42:00	2,06	
23.8.2017 10:42:10	2,04	

23.8.2017 10:42:20	1,99	
23.8.2017 10:42:30	1,93	
23.8.2017 10:42:40	1,87	
23.8.2017 10:42:50	1,81	
23.8.2017 10:43:00	1,76	
23.8.2017 10:43:10	1,73	
23.8.2017 10:43:20	1,72	
23.8.2017 10:43:30	1,72	
23.8.2017 10:43:40	1,72	
23.8.2017 10:43:50	1,74	
23.8.2017 10:44:00	1,77	
23.8.2017 10:44:10	1,80	
23.8.2017 10:44:20	1,84	
23.8.2017 10:44:30	1,88	
23.8.2017 10:44:40	1,93	
23.8.2017 10:44:50	1,97	
23.8.2017 10:45:00	2,01	
23.8.2017 10:45:10	2,04	
23.8.2017 10:45:20	2,07	
23.8.2017 10:45:30	2,08	
23.8.2017 10:45:40	2,09	
23.8.2017 10:45:50	2,08	
23.8.2017 10:46:00	2,06	
23.8.2017 10:46:10	2,06	
23.8.2017 10:46:20	2,05	
23.8.2017 10:46:30	2,04	
23.8.2017 10:46:40	2,02	
23.8.2017 10:46:50	2,00	
23.8.2017 10:47:00	1,99	
23.8.2017 10:47:10	1,97	
23.8.2017 10:47:20	1,94	
23.8.2017 10:47:30	1,93	
23.8.2017 10:47:40	1,91	
23.8.2017 10:47:50	1,90	
23.8.2017 10:48:00	1,88	
23.8.2017 10:48:10	1,87	
23.8.2017 10:48:20	1,87	
23.8.2017 10:48:30	1,86	
23.8.2017 10:48:40	1,86	
23.8.2017 10:48:50	1,85	
23.8.2017 10:49:00	1,84	
23.8.2017 10:49:10	1,84	
23.8.2017 10:49:20	1,83	
23.8.2017 10:49:30	1,83	
23.8.2017 10:49:40	1,83	
23.8.2017 10:49:50	1,82	
23.8.2017 10:50:00	1,81	

23.8.2017 10:50:10	1,80	
23.8.2017 10:50:20	1,79	
23.8.2017 10:50:30	1,79	
23.8.2017 10:50:40	1,80	
23.8.2017 10:50:50	1,82	
23.8.2017 10:51:00	1,82	
23.8.2017 10:51:10	1,83	
23.8.2017 10:51:20	1,84	
23.8.2017 10:51:30	1,84	
23.8.2017 10:51:40	1,83	
23.8.2017 10:51:50	1,82	
23.8.2017 10:52:00	1,81	
23.8.2017 10:52:10	1,80	
23.8.2017 10:52:20	1,79	
23.8.2017 10:52:30	1,79	
23.8.2017 10:52:40	1,79	
23.8.2017 10:52:50	1,80	
23.8.2017 10:53:00	1,79	
23.8.2017 10:53:10	1,79	
23.8.2017 10:53:20	1,80	
23.8.2017 10:53:30	1,80	
23.8.2017 10:53:40	1,80	
23.8.2017 10:53:50	1,80	
23.8.2017 10:54:00	1,80	
23.8.2017 10:54:10	1,81	
23.8.2017 10:54:20	1,82	
23.8.2017 10:54:30	1,85	
23.8.2017 10:54:40	1,88	
23.8.2017 10:54:50	1,91	
23.8.2017 10:55:00	1,95	
23.8.2017 10:55:10	1,98	
23.8.2017 10:55:20	2,01	
23.8.2017 10:55:30	2,04	
23.8.2017 10:55:40	2,08	
23.8.2017 10:55:50	2,11	
23.8.2017 10:56:00	2,11	2,11
23.8.2017 10:56:10	2,10	1,98
23.8.2017 10:56:20	2,10	1,85
23.8.2017 10:56:30	2,09	1,72
23.8.2017 10:56:40	2,09	1,60
23.8.2017 10:56:50	2,08	1,47
23.8.2017 10:57:00	2,08	1,34
23.8.2017 10:57:10	2,07	1,22
23.8.2017 10:57:20	2,06	1,09
23.8.2017 10:57:30	2,04	0,96
23.8.2017 10:57:40	2,02	0,83
23.8.2017 10:57:50	1,99	0,70

23.8.2017 10:58:00	1,97	0,58
23.8.2017 10:58:10	1,94	0,46
23.8.2017 10:58:20	1,91	0,34
23.8.2017 10:58:30	1,88	0,22
23.8.2017 10:58:40	1,87	0,11
23.8.2017 10:58:50	1,86	0,00
Mittelwert Zulauf:	Mittelwert für den Ablauf:	
1,61	1,89	

F3 Massen bzw. Volumina der gesamten Mischproben und Siebrückstände

Verhältnisse (Masse / Volumen Probe - Masse Siebrückstand)

Sandfanggut

m(Topf)= 352,97g

m(Probe)	m(Siebrückstand)
<i>in g</i>	<i>in g</i>
2526	544,07
2617,85	518,07
2495,06	434,12
2562,11	873,85
2211,33	
2666,52	
2670,33	
2608,56	
2596,52	
2451,17	
418,78	
2505,73	
2593,59	
2649,49	
2672,8	
1691,74	
1039,4	
2641,75	
2741,41	
2600,94	
2632,09	
1086,83	
1133,76	

Ablauf Sandfang

m(Topf)= 352,97g

m(Probe)	m(Siebrückstand)
<i>in g</i>	<i>in g</i>
2685,48	678,95
2689,39	643,08
2580,48	690,96
2650,75	717,45
963,34	
2730,79	
2704,39	
2663,83	
2526,83	
768,89	
2618,99	
2651,56	
2621,98	
2598,5	
786,99	
2691,36	
2592,63	
2515,85	
2583,09	
328,04	

Summe	Summe
<i>in g</i>	<i>in g</i>
44953,16	2730,44

Summe	Summe
<i>in g</i>	<i>in g</i>
51813,76	2370,11

<i>in kg</i>	<i>in kg</i>
51,81376	2,37011

<i>in kg</i>	<i>in kg</i>
44,95316	2,73044

Überstandswasser**Ablauf**

V (Probe)	m (SR)
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
2500	0
2500	
2500	
2500	
1400	

SFG

V (Probe)	m (SR)
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
2500	0
2500	
2700	
2600	

Überlauf - Absetzcontainer

Volumen Probe	Masse Siebrückstand
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
2500	74,19
2500	
2500	
2500	
2500	
1600	

Summe	Summe
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
14100	74,19

F4 Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik**Versuch 3****TR und GR - Labor**

Datum	Art der Probe	Schalenummer	Leermasse	Masse Probe	Masse TR	Masse GR
TT/MM/JJ	-	-	in g	in g	in g	in g
24.08.2017	Ablauf	7	375,47	624,53	52,03	9,77
24.08.2017	Ablauf	xy	349,23	587,67	48,85	9,22
24.08.2017	SFG	3	372,49	746,14	454,38	465,71
24.08.2017	SFG	8	362,56	790,61	507,76	481,75
24.08.2017	Überlauf SFG	2	198,05	74,19	3,81	0,53

Gelöste Anorganik

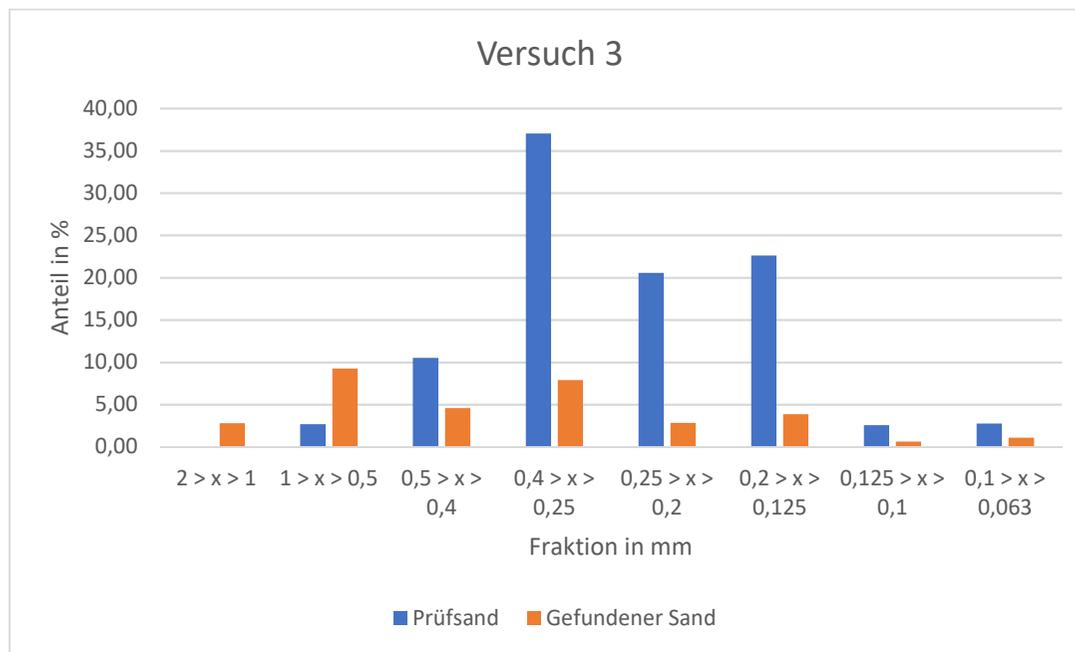
Bezeichnung Filter	Masse Filter	Masse Probe	Tiegel Nr.	Massen Tiegel	Masse TR	Masse gelöste Anorganik	Anteil gelöster Anorganik
-	in g	in g	-	in g	in g	in g	in %
SFG	2,851	10,07	186	130,203	9,947	0,123	1,2214
AB	2,8292	8,181	172	130,5922	7,8998	0,2812	3,4372
SFG Überlauf	2,7702	0,209	172	130,5823	0,1971	0,0119	5,6938

Versuch 3

F6 Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle

Prüfsandmasse										
m:		320	kg							
Fraktionen		2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	Summe
in %		0,00	2,68	10,50	37,06	20,56	22,61	2,56	2,76	98,73
in kg		0,000	8,570	33,609	118,579	65,801	72,352	8,188	8,840	315,94
Summe des Sands nach Def.:										
		315,939	kg							
Sandmasse im Ablauf des SFs: 32,1923601 kg										
Probennr.		2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	
Ablauf 31.08.2017	in g	0	0,0293	0,0095	0,6612	0,9607	4,1430	0,8101	1,5710	
Ablauf 31.08.2017	in %	0	0,1542	0,0500	3,4804	5,0568	21,8076	4,2641	8,2693	
	in kg	0	0,050	0,016	1,120	1,628	7,020	1,373	2,662	
bezogen auf PS - Masse	in %	0	0,02	0,01	0,35	0,52	2,22	0,43	0,84	
Sandmasse in Sandfanggut:										
Sand im gesamten Container:	in kg	26,4806176		Anteil	in %	98,26052085				
Sandmasse Überlauf:	in kg	0,46877914		Anteil	in %	1,739479145				
Sand im Container + Überlauf	in kg	26,9493968		Anteil	in %	100				
Sandmasse im Sandfanggut:	in kg	97,6057041		Anteil	in %	100				
Sandmasse aus Container:	in kg	95,9078732		Anteil	in %	98,26052085				
Sandmasse aus Überlauf:	in kg	1,69783087		Anteil	in %	1,739479145				
SFG										
Probennr.	Einheit	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	
SFG 31.08.17	in g	9,3471	31,0712	15,4263	25,2111	7,7027	5,4849	0,4912	0,3372	
SFG 31.08.17	in %	9,162	30,457	15,121	24,713	7,551	5,377	0,481	0,331	
	in kg	8,787	29,211	14,503	23,702	7,242	5,157	0,462	0,317	
bezogen auf PS - Masse	in %	2,78	9,25	4,59	7,50	2,29	1,63	0,15	0,10	
SFG ÜL										
Probennr.	Einheit	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	
SFG ÜL 31.08.17	in g	0,0000	0,0000	0,0013	0,0225	0,0144	0,0109	0,0361	0,1242	
SFG ÜL 31.08.17	in %	0,0000	0,0000	0,2466	4,2678	2,7314	2,0675	6,8475	23,5584	
	in kg	0,000	0,000	0,004	0,072	0,046	0,035	0,116	0,400	
bezogen auf PS - Masse	in %	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,04	0,13	

Versuch 3												
m (Prüfsand):		315,939 kg										
Fraktionen	x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	
Prüfsand	in %	0,00	0,00	2,68	10,50	37,06	20,56	22,61	2,56	2,76	0,48	99,21
Prüfsand	in kg	0,000	0,000	8,461	33,183	117,074	64,966	71,434	8,084	8,728	1,508	
Ablauf bezogen auf PS - Masse	in %	0,000	0,000	0,016	0,005	0,355	0,515	2,222	0,434	0,843	5,590	
SFG bezogen auf PS - Masse	in %	1,637	2,781	9,246	4,590	7,502	2,292	1,632	0,146	0,100	0,074	
ÜL bezogen auf PS - Masse	in %	0,000	0,000	0,000	0,001	0,023	0,015	0,011	0,037	0,127	0,200	
Summe AB, SFG, SFG ÜL		1,637	2,781	9,261	4,597	7,880	2,822	3,865	0,617	1,070	5,864	40,395
Differenzen		-1,637	-2,781	-6,583	5,906	29,176	17,741	18,745	1,941	1,693	-5,387	58,813



Anhang G

G1 Bilanzierung – Versuch 4

Die folgenden Rechnungen wurden mit gerundeten Werten zu Anschaulichkeitszwecken durchgeführt. Die exakten Werte wurden in Excel-Dateien berechnet und weichen minimal von den Ergebnissen der gerundeten Werte ab.

Massenbilanz:

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} + m_{\text{Sand,Sandfanggut_Schacht}}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs über die Entnahmezeit in kg

$m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$: Sandmasse im Sandfanggut über die Entnahmezeit in kg

Sandmasse zugegeben

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = (m_{\text{Sand,vorher}} - m_{\text{Sand,nachher}}) \cdot a$$

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = (1220 \text{ kg} - 880 \text{ kg}) \cdot 0,9873 = 335,68 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,vorher}}$: Masse des Prüfsand – Bigbags vor dem Versuch in kg – siehe Tabelle Anhang A

$m_{\text{Sand,nachher}}$: Masse des Prüfsand – Bigbags nach dem Versuch in kg – siehe Tabelle Anhang A

a : Anteil des Prüfsands zwischen den Fraktionen $x < 2 \text{ mm}$ und $x > 0,063 \text{ mm}$ – siehe Anhang G6

Ablauf Sandfang

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{43,38 \text{ kg}}{3,26 \text{ kg}} = 13,31$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 13,31 \cdot 1337,68 \text{ g} = 17804,52 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{12,75 \text{ g}}{17804,52 \text{ g}} \cdot 500 \text{ kg} = 0,36 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{2200 \text{ l/s}}{8,21 \text{ l/s}} \cdot 0,36 \text{ kg} = 96,47 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} = 96,47 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g –
siehe Anhang G3 (Summe $m_{\text{Mischprobe}}$)

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g – siehe Anhang G3 (Summe $m_{\text{Siebrückstand}}$))

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g –
siehe Anhang G4 (Masse Probe)

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g –
siehe Anhang G5 (Masse Sand)

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg – siehe Anhang A

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang G2

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang G2 (Förderleistung Pumpe)

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

Sandfanggut**Container**

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{46,93 \text{ kg}}{5,33 \text{ kg}} = 8,80$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 8,80 \cdot 843,39 \text{ g} = 7421,83 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{135,93 \text{ g}}{7421,83 \text{ g}} \cdot 1400 \text{ kg} = 25,64 \text{ kg}$$

Überlauf Sandfanggut

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = \left(9,05 \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot 3120 \text{ s} \right) - (4900 \text{ l} + 3086,55 \text{ l}) = 20249,45 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,56 \text{ g}}{10,9 \text{ l}} \cdot 20249,45 \text{ l} = 1040,34 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 25,64 \text{ kg} + 1,04 \text{ kg} = 26,68 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{31,94 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{8,82 \frac{\text{l}}{\text{s}}} \cdot 26,68 \text{ kg} = 96,62 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Sandfanggut}} = 96,62 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g – siehe Anhang G3 (Summe $m_{\text{Mischprobe}}$)

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g – siehe Anhang G3 (Summe $m_{\text{Siebrückstand}}$))

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g –
siehe Anhang G4 (Masse Probe)

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g –
siehe Anhang G5 (Masse Sand)

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg – siehe Anhang A

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

\dot{V}_{Pumpe} : Förderleistung der Pumpe an der Entnahmestelle in $\frac{l}{s}$ – siehe Anhang G2

t_{Entnahme} : Entnahmedauer in s – siehe Anhang A

$V_{\text{Überlaufcontainer}}$: Volumen des Überlaufcontainers in l – siehe Anhang B

$V_{\text{Auslitern}}$: Volumen das auf Grund des Ausliterns nicht in den Container gefördert
wurde in l – siehe Anhang G2 (Summe aller befüllten Volumina)

$m_{\text{Sand,Überlauf}}$: Sandmasse im Überlauf in kg

$m_{\text{Sand,Probe}}$: Sandmasse in der behandelten Mischprobe in kg –
siehe Anhang G5 (Masse Sand)

V_{Probe} : Volumen der Mischprobe an der jeweiligen Entnahmestelle (hier Überlauf) in l –
siehe Anhang G3 (Summe V_{Probe})

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

$m_{\text{Sand,Teil}}$: Sandmasse aus dem Teilstrom in kg

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in $\frac{l}{s}$ – siehe Anhang G2 (Förderleistung Pumpe)

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in $\frac{l}{s}$ – siehe Anhang G2

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

G2 Volumenströme**Versuch 4****Förderleistung Pumpe Sandfanggut-Schacht**

Förderstopp <i>in min</i>	Füllhöhe <i>in cm</i>	Füllvolumen <i>in l</i>	Fülldauer <i>in s</i>	Förderleistung <i>in l/s</i>
10:25 - 10:27	57	617,31	70	8,82
10:37 - 10:39	57	617,31	68	9,08
10:49 - 10:51	57	617,31	67	9,21
11:05 - 11:07	57	617,31	68	9,08

Durchschnittliche
Förderleistung: 9,05

Förderleistung Pumpe Ablauf Sandfang

Befülltes Volumen	<i>in l</i>	5080,02
Zeit	<i>in s</i>	619
Förderleistung	<i>in l/s</i>	8,21

Volumenstrom Sandfang 4

Uhrzeit	KS10VA01VG01MV01XP33 m^3/s	Schütz SF m^3/s
	Ablaufgerinne 01 Zul.-Vorklärung	SU41
10:19:10	2,06	0,00
10:19:20	2,04	0,12
10:19:30	2,03	0,24
10:19:40	2,02	0,36
10:19:50	2,00	0,47
10:20:00	1,99	0,58
10:20:10	1,97	0,70
10:20:20	1,96	0,81
10:20:30	1,94	0,91
10:20:40	1,92	1,02
10:20:50	1,90	1,12
10:21:00	1,87	1,21
10:21:10	1,84	1,30
10:21:20	1,82	1,39
10:21:30	1,85	1,53
10:21:40	1,90	1,67
10:21:50	1,92	1,81
10:22:00	1,92	1,92
10:22:10	1,92	
10:22:20	1,92	

10:22:30	1,92	
10:22:40	1,91	
10:22:50	1,91	
10:23:00	1,92	
10:23:10	1,93	
10:23:20	1,94	
10:23:30	1,96	
10:23:40	1,98	
10:23:50	1,99	
10:24:00	1,99	
10:24:10	1,98	
10:24:20	1,98	
10:24:30	1,98	
10:24:40	1,99	
10:24:50	2,01	
10:25:00	2,03	
10:25:10	2,04	
10:25:20	2,05	
10:25:30	2,07	
10:25:40	2,08	
10:25:50	2,09	
10:26:00	2,10	
10:26:10	2,10	
10:26:20	2,10	
10:26:30	2,10	
10:26:40	2,10	
10:26:50	2,10	
10:27:00	2,09	
10:27:10	2,08	
10:27:20	2,07	
10:27:30	2,05	
10:27:40	2,04	
10:27:50	2,05	
10:28:00	2,05	
10:28:10	2,06	
10:28:20	2,06	
10:28:30	2,06	
10:28:40	2,06	
10:28:50	2,07	
10:29:00	2,08	
10:29:10	2,10	
10:29:20	2,12	
10:29:30	2,14	
10:29:40	2,15	
10:29:50	2,17	
10:30:00	2,19	
10:30:10	2,20	

10:30:20	2,20	
10:30:30	2,20	
10:30:40	2,20	
10:30:50	2,21	
10:31:00	2,22	
10:31:10	2,23	
10:31:20	2,25	
10:31:30	2,27	
10:31:40	2,28	
10:31:50	2,30	
10:32:00	2,32	
10:32:10	2,35	
10:32:20	2,39	
10:32:30	2,42	
10:32:40	2,45	
10:32:50	2,48	
10:33:00	2,51	
10:33:10	2,53	
10:33:20	2,50	
10:33:30	2,47	
10:33:40	2,45	
10:33:50	2,44	
10:34:00	2,43	
10:34:10	2,41	
10:34:20	2,38	
10:34:30	2,35	
10:34:40	2,32	
10:34:50	2,28	
10:35:00	2,24	
10:35:10	2,20	
10:35:20	2,17	
10:35:30	2,15	
10:35:40	2,11	
10:35:50	2,09	
10:36:00	2,10	
10:36:10	2,11	
10:36:20	2,11	
10:36:30	2,10	
10:36:40	2,10	
10:36:50	2,09	
10:37:00	2,09	2,09
10:37:10	2,08	1,96
10:37:20	2,07	1,83
10:37:30	2,06	1,70
10:37:40	2,05	1,57
10:37:50	2,03	1,44
10:38:00	2,02	1,31

10:38:10	2,01	1,18
10:38:20	2,02	1,07
10:38:30	2,02	0,95
10:38:40	2,00	0,83
10:38:50	1,99	0,70
10:39:00	2,00	0,59
10:39:10	2,01	0,47
10:39:20	2,02	0,36
10:39:30	2,03	0,24
10:39:40	2,04	0,12
10:39:50	2,05	0,00
Mittelwert Zulauf:	Mittelwert Ablauf:	
1,82	2,20	

G3 Massen bzw. Volumina der Mischproben und Siebrückstände

Verhältnisse (Masse Probe - Masse Siebrückstand)

Sandfanggut

m(Topf)= 350,29 g

m(Probe) <i>in g</i>	m(Siebrückstand) <i>in g</i>
2586,43	1108,64
2502,81	1340,23
2529,08	1858,02
2459,57	1026,26
2128,03	
2486,61	
2585,61	
2648,46	
2579,1	
2073,52	
2530,07	
2595,52	
2647,47	
2719,83	
697,74	
2668,93	
2566,32	
2641,25	
2469,47	
812,76	

Ablauf Sandfang

m(Topf)= 350,29 g

m(Probe) <i>in g</i>	m(Siebrückstand) <i>in g</i>
2587,14	870,2
2561,71	698,89
2566,05	872,97
2313,06	819,38
1255,36	
2656,86	
2526,81	
2569,66	
2237,76	
2728,57	
2418,25	
2622,45	
2514,38	
751,64	
2526,42	
2474,86	
2597,32	
2224,75	
1242,77	

Summe	Summe
<i>in g</i>	<i>in g</i>
46928,58	5333,15

<i>in kg</i>	<i>in kg</i>
46,92858	5,33315

Summe	Summe
<i>in g</i>	<i>in g</i>
43375,82	3261,44

<i>in kg</i>	<i>in kg</i>
43,37582	3,26144

Überstandswasser**Ablauf**

V (Probe)	m (SR)
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
2500	0
2500	
2500	
2000	

SFG

V (Probe)	m (SR)
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
2500	0
2500	
2500	
1700	

Überlauf - Absetzcontainer

Volumen Probe	Masse Siebrückstand
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
2500	132,39
2500	
2500	
2500	
900	

Summe	Summe
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
10900	132,39

G4 Massen der Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik**Versuch 4****TR und GR - Labor**

Datum	Art der Probe	Schalenummer	Leermasse	Masse Probe	Masse TR	Masse GR
TT/MM/JJ	-	-	in g	in g	in g	in g
30.08.2017	Ablauf	5	376,15	685,66	58,45	11,03
30.08.2017	Ablauf	1	377,6	652,02	54,43	10,611
30.08.2017	SFG	8	362,86	843,39	239,42	149,69
30.08.2017	Überlauf SFG	4	85,179	132,39	8,831	1,792

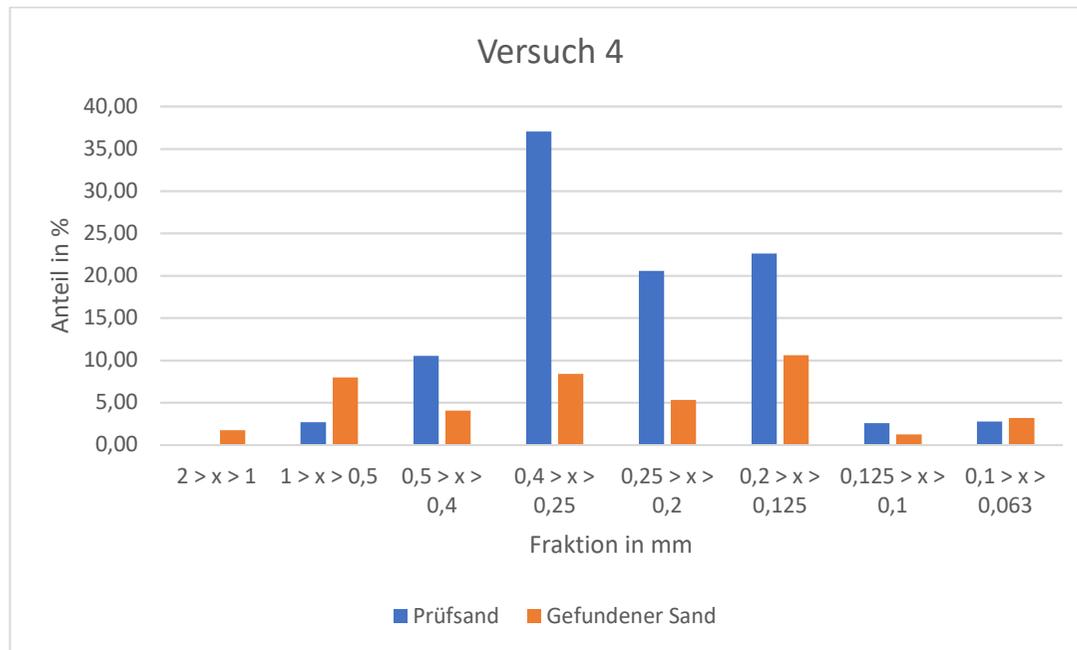
Gelöste Anorganik

Bezeichnung Filter	Masse Filter	Masse Probe	Tiegel Nr.	Massen Tiegel	Masse TR	Masse gelöste Anorganik	Anteil gelöster Anorganik
-	in g	in g	-	in g	in g	in g	in %
SFG	2,756	12,4634	172	130,5922	12,2119	0,2515	2,0179
AB	2,694	11,1565	186	130,203	10,8955	0,261	2,3394
SFG Überlauf	2,754	0,5881	172	130,5922	0,5556	0,0325	5,5263

Versuch 4 **G6 Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle**

Prüfsandmasse									
m:	340 kg								
Fraktionen	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	Summe
in %	0,00	2,68	10,50	37,06	20,56	22,61	2,56	2,76	98,73
in kg	0,000	9,105	35,710	125,990	69,914	76,874	8,700	9,393	335,69
Summe des Sands nach Def.:	335,685 kg								
Sandmasse im Ablauf des SFs:	94,619 kg								
Probenr.	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	
Ablauf 04.09.2017	in g	0	0,3090	0,2724	1,5367	2,0008	6,0301	0,7522	2,1531
Ablauf 04.09.2017	in %	0	1,4278	1,2587	7,1009	9,2454	27,8642	3,4758	9,9492
	in kg	0	1,351	1,191	6,719	8,748	26,365	3,289	9,414
bezogen auf PS - Masse	in %	0	0,40	0,35	2,00	2,61	7,85	0,98	2,80
Sandmasse in Sandfanggut:									
Sand im gesamten Container:	in kg	25,643		Anteil	in %	95,23155197			
Sandmasse Überlauf:	in kg	1,284		Anteil	in %	4,768448026			
Sand im Container + Überlauf	in kg	26,927		Anteil	in %	100			
Sandmasse im Sandfanggut:	in kg	95,044		Anteil	in %	100			
Sandmasse aus Container:	in kg	90,5118763		Anteil	in %	95,23155197			
Sandmasse aus Überlauf:	in kg	4,53212374		Anteil	in %	4,768448026			
SFG									
Probenr.	Einheit	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063
SFG 04.09.2017	in g	3,1724	13,6165	6,6632	11,4324	4,8002	4,7889	0,4511	0,526
SFG 04.09.2017	in %	6,469	27,765	13,587	23,312	9,788	9,765	0,920	1,073
	in kg	5,855	25,131	12,298	21,100	8,859	8,839	0,833	0,971
bezogen auf PS - Masse	in %	1,74	7,49	3,66	6,29	2,64	2,63	0,25	0,29
SFG ÜL									
Probenr.	Einheit	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063
SFG ÜL 04.09.2017	in g	0,0000	0,1002	0,0532	0,1184	0,0772	0,1448	0,0132	0,0819
SFG ÜL 04.09.2017	in %	0,0000	5,5921	2,9691	6,6079	4,3085	8,0813	0,7367	4,5708
	in kg	0,000	0,253	0,135	0,299	0,195	0,366	0,033	0,207
bezogen auf PS - Masse	in %	0,00	0,08	0,04	0,09	0,06	0,11	0,01	0,06

VERSUCH 4												
m (Prüfsand):		335,685 kg										
Fraktionen	x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	
Prüfsand	in %	0,00	0,00	2,68	10,50	37,06	20,56	22,61	2,76	0,48	99,21	
Prüfsand	in kg	0,000	0,000	8,990	35,257	124,391	69,027	75,898	8,589	9,274	1,603	
Ablauf bezogen auf PS - Masse	in %	0,000	0,000	0,402	0,355	2,002	2,606	7,854	0,980	2,804	10,802	
SFG bezogen auf PS - Masse	in %	0,770	1,744	7,486	3,663	6,286	2,639	2,633	0,248	0,289	0,926	
ÜL bezogen auf PS - Masse	in %	0,000	0,000	0,076	0,040	0,089	0,058	0,109	0,010	0,062	0,827	
Summe AB, SFG, SFG ÜL		0,770	1,744	7,964	4,058	8,376	5,303	10,596	1,238	3,155	12,555	55,761
Differenzen		-0,770	-1,744	-5,286	6,444	28,680	15,260	12,014	1,321	-0,393	-12,078	43,447



Anhang H

H1 Bilanzierung – Versuch 5

Die folgenden Rechnungen wurden mit gerundeten Werten zu Anschaulichkeitszwecken durchgeführt. Die exakten Werte wurden in Excel-Dateien berechnet und weichen minimal von den Ergebnissen der gerundeten Werte ab.

Massenbilanz:

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} + m_{\text{Sand,Sandfanggut_Schacht}}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs über die Entnahmezeit in kg

$m_{\text{Sand,Sandfanggut}}$: Sandmasse im Sandfanggut über die Entnahmezeit in kg

Sandmasse zugegeben

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = (m_{\text{Sand,vorher}} - m_{\text{Sand,nachher}}) \cdot a$$

$$m_{\text{Sand,zugegeben}} = (860 \text{ kg} - 620 \text{ kg}) \cdot 0,9873 = 236,95 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Sand,zugegeben}}$: in den Zulauf des Sandfangs zugegebene Prüfsandmasse in kg

$m_{\text{Sand,vorher}}$: Masse des Prüfsand – Bigbags vor dem Versuch in kg – siehe Tabelle Anhang A

$m_{\text{Sand,nachher}}$: Masse des Prüfsand – Bigbags nach dem Versuch in kg – siehe Tabelle Anhang A

a : Anteil des Prüfsands zwischen den Fraktionen $x < 2 \text{ mm}$ und $x > 0,063 \text{ mm}$ – siehe Anhang H6

Ablauf Sandfang

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{43981,75 \text{ g}}{1751,94 \text{ g}} = 25,1$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 25,1 \cdot 1298,97 \text{ g} = 32610,12 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{7,92 \text{ g}}{32610,12 \text{ g}} \cdot 660 \text{ kg} = 0,16 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{1740 \text{ l/s}}{8,33 \text{ l/s}} \cdot 0,16 \text{ kg} = 33,42 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Ablauf_Sandfang}} = 33,42 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g –
siehe Anhang H3 (Summe $m_{\text{Mischprobe}}$)

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g – siehe Anhang H3 (Summe $m_{\text{Siebrückstand}}$))

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g –
siehe Anhang H4 (Masse Probe)

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g –
siehe Anhang H5 (Masse Sand)

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg – siehe Anhang A

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang H2

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang H2 (Förderleistung Pumpe)

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

Sandfanggut**Container**

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{15295,01 \text{ g}}{4973,18 \text{ g}} = 3,075$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 3,075 \cdot 1838,88 \text{ g} = 5654,56 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{1521,84 \text{ g}}{5654,56 \text{ g}} \cdot 100 \text{ kg} = 26,91 \text{ kg}$$

Überlauf Sandfanggut

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = (8,95 \cdot 12960 \text{ s}) - (4237,94 \text{ l} + 3086,55 \text{ l}) = 108667,51 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,97 \text{ g}}{26,1 \text{ l}} \cdot 108667,51 \text{ l} = 4038,6 \text{ g}$$

Überstandswasser

$$V_{\text{Überstandswasser}} = V_{\text{Überlaufcontainer}} - V_{\text{Rest,Suspension}}$$

$$V_{\text{Überstandswasser}} = 4900 \text{ l} - 150 \text{ l} = 4750 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überstand}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überstand}}$$

$$m_{\text{Sand,Überstand}} = \frac{0,87 \text{ g}}{38,5 \text{ l}} \cdot 4750 \text{ l} = 107,34 \text{ g}$$

Gesamt

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}} + m_{\text{Sand,Überstand}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 26,91 \text{ kg} + 4,04 \text{ kg} + 0,11 \text{ kg} = 31,06 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{31,94 \text{ l/s}}{8,95 \text{ l/s}} \cdot 31,06 \text{ kg} = 110,84 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Sandfanggut}} = 110,84 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g –
siehe Anhang H3 (Summe $m_{\text{Mischprobe}}$)

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g – siehe Anhang H3 (Summe $m_{\text{Siebrückstand}}$)

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g –
siehe Anhang H4 (Masse Probe)

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg – siehe Anhang A

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

\dot{V}_{Pumpe} : Förderleistung der Pumpe an der Entnahmestelle in $\frac{l}{s}$ – siehe Anhang H2

t_{Entnahme} : Entnahmedauer in s – siehe Anhang A

$V_{\text{Überlaufcontainer}}$: Volumen des Überlaufcontainers in l – siehe Anhang B

$V_{\text{Auslitern}}$: Volumen das auf Grund des Ausliterns nicht in den Container gefördert wurde in l – siehe Anhang H2 (Summe aller befüllten Volumina)

$m_{\text{Sand,Überlauf}}$: Sandmasse im Überlauf in kg

$m_{\text{Sand,Probe}}$: Sandmasse in der behandelten Mischprobe in kg –
siehe Anhang H5 (Masse Sand)

V_{Probe} : Volumen der Mischprobe an der jeweiligen Entnahmestelle (hier Überlauf) in l –
siehe Anhang H3 (Summe V_{Probe})

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

$V_{\text{Überstand}}$: Volumen des abgepumpten Überstandswassers in l

$V_{\text{Rest,Suspension}}$: Volumen der Suspension nach dem Entwässern nach Variante 2 in l –
siehe Anhang B

$m_{\text{Sand,Überstand}}$: Sandmasse im abgepumpten Überstandswasser in g

$V_{\text{Überstand}}$: Volumen des abgepumpten Überstandswassers in l

$m_{\text{Sand,Teil}}$: Sandmasse aus dem Teilstrom in kg

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang H2 (Förderleistung Pumpe)

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang H2

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

H2 Volumenströme

Versuch 5

Förderleistung Pumpe Sandfanggut-Schacht

Förderstopp	Füllhöhe	Füllvolumen	Fülldauer	Förderleistung
in min	in cm	in l	in s	in l/s
10:11 - 10:13	57	617,31	70	8,82
10:40-10:42	57	617,31	68	9,08
11:13-11:15	57	617,31	69	8,95
11:45-11:47	57	617,31	70	8,82
12:13-12:15	57	617,31	70	8,82
Durchschnittliche Förderleistung				8,95

Förderleistung Pumpe Ablauf Sandfang

Befülltes Volumen	<i>in l</i>	5080,02
Zeit	<i>in s</i>	610
Förderleistung	<i>in l/s</i>	8,33

Volumenstrom Sandfang 4

1	Uhrzeit	2	KS10VA01VG01MV01XP33	3	Schütz SF
4		5	m ³ /s	6	m ³ /s
7		8	Ablaufgerinne 01 Zul.-Vor- klärung	9	SU41
10	09:40:00	11	1,97	12	0,00
13	09:40:10	14	1,99	15	0,12
16	09:40:20	17	2,01	18	0,24
19	09:40:30	20	2,03	21	0,36
22	09:40:40	23	2,04	24	0,48
25	09:40:50	26	2,07	27	0,61
28	09:41:00	29	2,09	30	0,74
31	09:41:10	32	2,11	33	0,87
34	09:41:20	35	2,11	36	0,99

37	09:41:30	38	2,12	39	1,12
40	09:41:40	41	2,11	42	1,24
43	09:41:50	44	2,10	45	1,36
46	09:42:00	47	2,09	48	1,47
49	09:42:10	50	2,06	51	1,57
52	09:42:20	53	2,02	54	1,66
55	09:42:30	56	1,98	57	1,75
58	09:42:40	59	1,94	60	1,83
61	09:42:50	62	1,92	63	1,92
64	09:43:00	65	1,90	66	
67	09:43:10	68	1,89	69	
70	09:43:20	71	1,89	72	
73	09:43:30	74	1,88	75	
76	09:43:40	77	1,86	78	
79	09:43:50	80	1,84	81	
82	09:44:00	83	1,83	84	
85	09:44:10	86	1,83	87	
88	09:44:20	89	1,84	90	
91	09:44:30	92	1,86	93	
94	09:44:40	95	1,89	96	
97	09:44:50	98	1,92	99	
100	09:45:00	101	1,96	102	
103	09:45:10	104	2,00	105	
106	09:45:20	107	2,02	108	
109	09:45:30	110	2,05	111	
112	09:45:40	113	2,07	114	
115	09:45:50	116	2,07	117	
118	09:46:00	119	2,07	120	
121	09:46:10	122	2,06	123	
124	09:46:20	125	2,06	126	
127	09:46:30	128	2,05	129	
130	09:46:40	131	2,04	132	
133	09:46:50	134	2,03	135	
136	09:47:00	137	2,02	138	
139	09:47:10	140	2,01	141	
142	09:47:20	143	2,00	144	
145	09:47:30	146	1,99	147	
148	09:47:40	149	1,99	150	
151	09:47:50	152	1,99	153	
154	09:48:00	155	2,00	156	
157	09:48:10	158	2,00	159	
160	09:48:20	161	1,99	162	
163	09:48:30	164	1,99	165	
166	09:48:40	167	1,99	168	
169	09:48:50	170	1,99	171	
172	09:49:00	173	2,00	174	
175	09:49:10	176	2,00	177	
178	09:49:20	179	2,01	180	

181	09:49:30	182	2,01	183
184	09:49:40	185	2,01	186
187	09:49:50	188	2,02	189
190	09:50:00	191	2,02	192
193	09:50:10	194	2,02	195
196	09:50:20	197	2,01	198
199	09:50:30	200	2,00	201
202	09:50:40	203	1,98	204
205	09:50:50	206	1,97	207
208	09:51:00	209	1,95	210
211	09:51:10	212	1,94	213
214	09:51:20	215	1,94	216
217	09:51:30	218	1,93	219
220	09:51:40	221	1,92	222
223	09:51:50	224	1,90	225
226	09:52:00	227	1,90	228
229	09:52:10	230	1,89	231
232	09:52:20	233	1,88	234
235	09:52:30	236	1,87	237
238	09:52:40	239	1,87	240
241	09:52:50	242	1,87	243
244	09:53:00	245	1,87	246
247	09:53:10	248	1,88	249
250	09:53:20	251	1,88	252
253	09:53:30	254	1,89	255
256	09:53:40	257	1,91	258
259	09:53:50	260	1,92	261
262	09:54:00	263	1,93	264
265	09:54:10	266	1,94	267
268	09:54:20	269	1,95	270
271	09:54:30	272	1,97	273
274	09:54:40	275	1,98	276
277	09:54:50	278	2,00	279
280	09:55:00	281	2,01	282 2,01
283	09:55:10	284	2,02	285 1,90
286	09:55:20	287	2,03	288 1,79
289	09:55:30	290	2,03	291 1,67
292	09:55:40	293	2,04	294 1,56
295	09:55:50	296	2,07	297 1,46
298	09:56:00	299	2,09	300 1,35
301	09:56:10	302	2,12	303 1,25
304	09:56:20	305	2,16	306 1,14
307	09:56:30	308	2,19	309 1,03
310	09:56:40	311	2,23	312 0,92
313	09:56:50	314	2,27	315 0,80
316	09:57:00	317	2,30	318 0,68
319	09:57:10	320	2,31	321 0,54
322	09:57:20	323	2,33	324 0,41

43,98175	1,75194	15295,01	4973,18
----------	---------	----------	---------

<i>in kg</i>	<i>in kg</i>
15,29501	4,97318

Überstandswasser**Ablauf**

V (Probe)	m (SR)
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
2500	0
2500	
2500	
2500	
2300	

SFG

V (Probe)	m (SR)
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
2500	1659,34
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
1000	

Summe	Summe
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
38500	1659,34

Überlauf - Absetzcontainer

Volume Probe	Masse Siebrückstand
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
2500	297,56
2500	
2500	
2500	
2500	
700	
2500	
2500	
2500	
2500	
2500	
400	

Summe	Summe
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
26100	297,56

H4 Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik**Versuch 5****TR und GR - Labor**

Datum	Art der Probe	Schalenummer	Leermasse	Masse Probe	Masse TR	Masse GR
[TT/MM/JJ]	[-]	[-]	[g]	[g]	[g]	[g]
13.09.2017	Ablauf	xy	349,19	632,69	42,17	7,3
13.09.2017	Ablauf	5	376,19	666,28	42,68	10,2
13.09.2017	Abpump SFG	12	198,06	312,83	19,73	3,75
13.09.2017	SFG Überlauf	186	130,262	297,56	12,938	2,33

Datum	Art der Probe	Schalenummer	Leermasse	Masse Probe	Masse TR	Masse TR neu	Masse GR	Masse GR ge- samt
[TT/MM/JJ]	[-]	[-]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	in g
13.09.2017	SFG	12	391,78	911,19	650,36	225,61	198,87	1620,93
13.09.2017	SFG	13	381,26	927,69	665,28			

Gelöste Anorganik

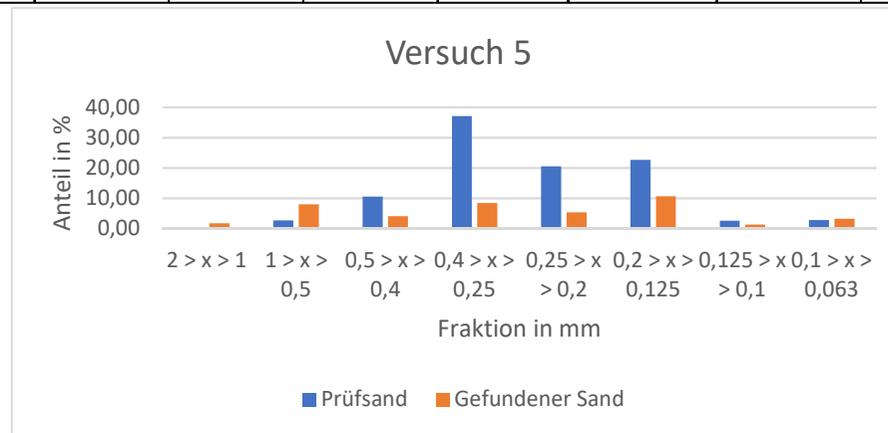
Bezeichnung Filter	Masse Filter	Masse Probe	Tiegel Nr.	Massen Tiegel	Masse TR	Masse gelöste Anorganik	Anteil gelöster Anorganik
[-]	[g]	[g]	[-]	[g]	[g]	[g]	[%]
SFG	2,457	4,203	172	130,5922	4,1488	0,0542	1,2896
AB	2,9322	5,4474	186	130,203	5,3543	0,0931	1,7091
SFG Überlauf	2,758	0,9801	10	52,124	0,95	0,0301	3,0711
Abpump SFG	2,6521	0,9128	180	122,2112	0,8747	0,0381	4,1740

Abpump Sandfang													
m GR:		3,751 g											
Probennr.		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
SFG Abp 04.09.2017	in g	0	0	0,002	0,0802	0,101	0,0788	0,2639	0,2281	0,159	2,0553	2,9683	0,7827
SFG Abp 04.09.2017	in %	0,00	0,00	0,05	2,14	2,69	2,10	7,04	6,08	4,24	54,79	79,13	20,87
Masse Sand (plus gelöste AO):	0,9130 g												
Anteil gelöste Anorganik:	4,1740 %												
Masse Sand:	0,8749 g												

Versuch 5		H6 Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle								
Prüfsandmasse										
m:		240 kg								
Fraktionen		2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	Summe
in %		0,00	2,68	10,50	37,06	20,56	22,61	2,56	2,76	98,73
in kg		0,000	6,427	25,207	88,934	49,351	54,264	6,141	6,630	236,95
Summe des Sands nach Def.:										
		236,954 kg								
Sandmasse im Ablauf des SFs:										
		32,664 kg								
Probennr.		2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	
Ablauf 04.09.2017	in g	0	0,0681	0,0801	0,0000	1,3622	3,6990	1,0834	1,7639	
Ablauf 04.09.2017	in %	0	0,3891	0,4577	0,0000	7,7835	21,1357	6,1904	10,0787	
	in kg	0	0,127	0,149	0,000	2,542	6,904	2,022	3,292	
bezogen auf PS - Masse	in %	0	0,05	0,06	0,00	1,07	2,91	0,85	1,39	
Sandmasse in Sandfanggut:										
Sand im gesamten Container:	in kg	26,909		Anteil	in %	86,66623724				
Sandmasse Überlauf:	in kg	4,028		Anteil	in %	12,97304261				
Sandmasse in Überstand	in kg	0,112		Anteil	in %	0,360720152				
Sand im Container + Überlauf	in kg	31,049		Anteil	in %	100				
Sandmasse im Sandfanggut:	in kg	110,82		Anteil	in %	100				
Sandmasse aus Container:	in kg	96,0435241		Anteil	in %	86,66623724				
Sandmasse aus Überlauf:	in kg	14,3767258		Anteil	in %	12,97304261				
Sandmasse in Überstand	in kg	0,39975007		Anteil	in %	0,360720152				
SFG										
Probennr.	Einheit	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	
SFG 04.09.2017	in g	0,8701	2,7246	2,7879	8,9001	4,22	3,9571	0,3201	0,209	
SFG 04.09.2017	in %	3,450	10,803	11,054	35,288	16,732	15,689	1,269	0,829	
	in kg	3,313	10,375	10,616	33,892	16,070	15,069	1,219	0,796	
bezogen auf PS - Masse	in %	1,40	4,38	4,48	14,30	6,78	6,36	0,51	0,34	
SFG ÜL										
Probennr.		2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	
SFG ÜL 04.09.2017	in g	0,0062	0,0080	0,0137	0,1413	0,1562	0,4184	0,1241	0,1302	
SFG ÜL 04.09.2017	in %	0,2661	0,3434	0,5881	6,0652	6,7047	17,9594	5,3269	5,5887	
	in kg	0,038	0,049	0,085	0,872	0,964	2,582	0,766	0,803	
bezogen auf PS - Masse	in %	0,02	0,02	0,04	0,37	0,41	1,09	0,32	0,34	

SFG ÜLBERSTAND									
Probennr.		$2 > x > 1$	$1 > x > 0,5$	$0,5 > x > 0,4$	$0,4 > x > 0,25$	$0,25 > x > 0,2$	$0,2 > x > 0,125$	$0,125 > x > 0,1$	$0,1 > x > 0,063$
SFG Abp 04.09.2017	in g	0,0000	0,0020	0,0802	0,1010	0,0788	0,2639	0,2281	0,1590
SFG Abp 04.09.2017	in %	0,0000	0,0533	2,1381	2,6926	2,1008	7,0355	6,0810	4,2389
	in kg	0,000	0,000	0,009	0,011	0,008	0,028	0,024	0,017
bezogen auf PS - Masse	in %	0,0000	0,0001	0,0036	0,0045	0,0035	0,0119	0,0103	0,0072

VERSUCH 5												
m (Prüfsand):		236,954 kg										
	Fraktionen	$x > 2$	$2 > x > 1$	$1 > x > 0,5$	$0,5 > x > 0,4$	$0,4 > x > 0,25$	$0,25 > x > 0,2$	$0,2 > x > 0,125$	$0,125 > x > 0,1$	$0,1 > x > 0,063$	$x < 0,063$	Summe
Prüfsand	in %	0,00	0,00	2,68	10,50	37,06	20,56	22,61	2,56	2,76	0,48	99,21
Prüfsand	in kg	0,000	0,000	6,346	24,887	87,806	48,725	53,575	6,063	6,546	1,131	
Ablauf bezogen auf PS - Masse	in %	0,000	0,000	0,402	0,355	2,002	2,606	7,854	0,980	2,804	10,802	
SFG bezogen auf PS - Masse	in %	0,770	1,744	7,486	3,663	6,286	2,639	2,633	0,248	0,289	0,926	
ÜL bezogen auf PS - Masse	in %	0,000	0,000	0,076	0,040	0,089	0,058	0,109	0,010	0,062	0,827	
Abp bezogen auf PS - Masse	in %	0,000	0,000	0,000	0,004	0,005	0,004	0,012	0,010	0,007	0,092	
Summe AB, SFG, SFG ÜL		0,770	1,744	7,965	4,062	8,381	5,307	10,608	1,248	3,162	12,648	55,895
Differenzen		-0,770	-1,744	-5,287	6,441	28,675	15,256	12,002	1,311	-0,400	-12,170	43,314



Anhang I

I1 Bilanzierung – Versuch 6

Die folgenden Rechnungen wurden mit gerundeten Werten zu Anschaulichkeitszwecken durchgeführt. Die exakten Werte wurden in Excel-Dateien berechnet und weichen minimal von den Ergebnissen der gerundeten Werte ab.

Massenbilanz

$$m_{\text{Sand,Zulauf}} = m_{\text{Sand,SFG}} + m_{\text{Sand,Ablauf}}$$

mit:

$m_{\text{Sand,Zulauf}}$: Sandmasse im Zulauf des Sandfangs in kg

$m_{\text{Sand,SFG}}$: Sandmasse im Sandfanggut in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs in kg

Zulauf

Container

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{45,73 \text{ kg}}{1,55 \text{ kg}} = 29,50$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 29,50 \cdot 1103,95 \text{ g} = 32566,52 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{9,16 \text{ g}}{32566,52 \text{ g}} \cdot 760 \text{ kg} = 0,21 \text{ kg}$$

Überlauf Zulauf

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = (8,71 \cdot 10800 \text{ s}) - (4157 \text{ l} + 3086,55 \text{ l}) = 86824,45 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,95 \text{ g}}{38,5 \text{ l}} \cdot 86824,45 \text{ l} = 2142,42 \text{ g}$$

Gesamt

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 0,21 \text{ kg} + 2,14 \text{ kg} = 2,35 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{2023,83 \text{ l/s}}{8,71 \text{ l/s}} \cdot 2,35 \text{ kg} = 546,04 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Zulauf}} = 546,04 \text{ kg}$$

Ablauf

Container

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{40,92 \text{ kg}}{2,45 \text{ kg}} = 16,70$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 16,70 \cdot 1104,37 \text{ g} = 18442,98 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{4,73 \text{ g}}{18442,98 \text{ g}} \cdot 520 \text{ kg} = 0,13 \text{ kg}$$

Überlauf Ablauf

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = (8,83 \cdot 10800 \text{ s}) - (4429 \text{ l} + 3086,55 \text{ l}) = 87848,45 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,26 \text{ g}}{40,5 \text{ l}} \cdot 87848,45 \text{ l} = 563,97 \text{ g}$$

Gesamt

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 0,13 \text{ kg} + 0,56 \text{ kg} = 0,69 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{2010 \text{ l/s}}{8,83 \text{ l/s}} \cdot 0,69 \text{ kg} = 157,07 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Ablauf}} = 157,07 \text{ kg}$$

Sandfanggut**Container**

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{16,76 \text{ g}}{14,51 \text{ g}} = 1,16$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 1,16 \cdot 696,69 \text{ g} = 808,16 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{367,96 \text{ g}}{808,16 \text{ g}} \cdot 240 \text{ kg} = 109,27 \text{ kg}$$

Überlauf Sandfanggut

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = (8,76 \cdot 10800 \text{ s}) - (4238 \text{ l} + 3086,55 \text{ l}) = 87283,45 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{2,71 \text{ g}}{41,6 \text{ l}} \cdot 87283,45 \text{ l} = 5686,01 \text{ g}$$

Überstandswasser

$$V_{\text{Überstandswasser}} = V_{\text{Überlaufcontainer}} - V_{\text{Rest,Suspension}}$$

$$V_{\text{Überstandswasser}} = 4238 \text{ l} - 150 \text{ l} = 4088 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überstand}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überstand}}$$

$$m_{\text{Sand,Überstand}} = \frac{1,23 \text{ g}}{38,0 \text{ l}} \cdot 4088 \text{ l} = 132,32 \text{ g}$$

Gesamt

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}} + m_{\text{Sand,Überstand}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 109,27 \text{ kg} + 5,69 \text{ kg} + 0,13 \text{ kg} = 115,09 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{15,83 \text{ l/s}}{8,76 \text{ l/s}} \cdot 115,09 \text{ kg} = 207,98 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,SFG}} = 207,98 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g –
siehe Anhang I3 (Summe $m_{\text{Mischprobe}}$)

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g – siehe Anhang I3 (Summe $m_{\text{Siebrückstand}}$))

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g –
siehe Anhang I4 (Masse Probe)

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g –
siehe Anhang I5 (Masse Sand)

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg – siehe Anhang A

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

\dot{V}_{Pumpe} : Förderleistung der Pumpe an der Entnahmestelle in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang I2

t_{Entnahme} : Entnahmedauer in s – siehe Anhang A

$V_{\text{Überlaufcontainer}}$: Volumen des Überlaufcontainers in l – siehe Anhang B

$V_{\text{Auslitern}}$: Volumen das auf Grund des Ausliterns nicht in den Container gefördert wurde in l – siehe Anhang I2 (Summe aller befüllten Volumina)

$m_{\text{Sand,Überlauf}}$: Sandmasse im Überlauf in kg

$m_{\text{Sand,Probe}}$: Sandmasse in der behandelten Mischprobe in kg – siehe Anhang I5 (Masse Sand)

V_{Probe} : Volumen der Mischprobe an der jeweiligen Entnahmestelle (hier Überlauf) in l – siehe Anhang I3 (Summe V_{Probe})

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

$V_{\text{Überstand}}$: Volumen des abgepumpten Überstandswassers in l

$V_{\text{Rest,Suspension}}$: Volumen der Suspension nach dem Entwässern nach Variante 2 in l – siehe Anhang B

$m_{\text{Sand,Überstand}}$: Sandmasse im abgepumpten Überstandswasser in g

$m_{\text{Sand,Teil}}$: Sandmasse aus dem Teilstrom in kg

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in $\frac{l}{s}$ – siehe Anhang I2 (Förderleistung Pumpe)

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in $\frac{l}{s}$ – siehe Anhang L

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

12 Volumenströme – Pumpen**Versuch 6**

Förderleistung Pumpen

Zulauf

Förderstopp	Füllhöhe	Füllvolumen	Fülldauer	Förderleistung
[min]	[cm]	[l]	[s]	[l/s]
08:55 - 08:57	57	617,31	74	8,34
09:36 - 09:38	57	617,31	68	9,08
10:15 - 10:17	57	617,31	76	8,12
11:00 - 11:02	57	617,31	69	8,95
11:20-11:22	57	617,31	70	8,82

Mittelwert: 8,71 l/s

Ablauf

Förderstopp	Füllhöhe	Füllvolumen	Fülldauer	Förderleistung
[min]	[cm]	[l]	[s]	[l/s]
08:50 - 08:52	57	617,31	68	9,08
09:22 - 09:24	57	617,31	72	8,57
10:10 - 10:12	57	617,31	73	8,46
10:40 - 10:42	57	617,31	72	8,57
11:10 - 11:12	57	617,31	71	8,69

Mittelwert: 8,83 l/s

Sandfanggut

Förderstopp	Füllhöhe	Füllvolumen	Fülldauer	Förderleistung
[min]	[cm]	[l]	[s]	[l/s]
08:45 - 08:52	57	617,31	71	8,69
09:18 - 09:20	57	617,31	70	8,82
09:50 - 09:52	57	617,31	162	3,81
10:20 - 10:22	57	617,31	71	8,69
11:15 - 11:17	57	617,31	68	9,08

Mittelwert: 8,76 l/s

13 Massen bzw. Volumina der gesamten Mischproben und Siebrückstände

VERSUCH 6									
Zulauf				Ablauf				SFG	
m(Topf)=	350,29 g			m(Topf)=	350,29 g			m(Topf)= 350,29	
m(Probe) in g	m(Siebrückstand) in g			m(Probe) in g	m(Siebrückstand) in g			m(Probe) in g	m(Siebrückstand) in g
2426,45	1549,4			2581,17	2449,03			2588,14	840,22
2472,32				2520,98				1591,91	1096,07
2425				2543,08				2340,83	2340,83
2509,7				2530,54				2187,5	2187,5
1708,29				1322,78				2385,53	2385,53
2468,78				2533,48				2432,91	2432,91
2446,87				2504,12				2297,59	2297,59
2473,71				2487,7				931,97	931,97
2543,87				2474,18					
1040,3				1262,2					
2499,25				2485,53					
2385,37				2519,16					
2457,53				2549,32					
2536,14				2585,15					
1545,99				403,97					
2501,68				2555,98					
2480,82				2532,62					
2517,04				2526,2					
2453,25									
1841,84									
				Summe	Summe				
				in g	in g				
				40918,16	2449,03				
Summe	Summe			in kg	in kg			Summe	Summe
in g	in g			in g	in g			in g	in g
45734,2	1549,4			40,91816	2,44903			16756,38	14512,62
in kg	in kg			in kg	in kg			in kg	in kg
45,7342	1,5494							16,75638	14,51262

2500	
2500	
2400	
Summe	Summe
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
38000	274,53
<i>in l</i>	<i>in kg</i>
38	0,27453

I4 Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik

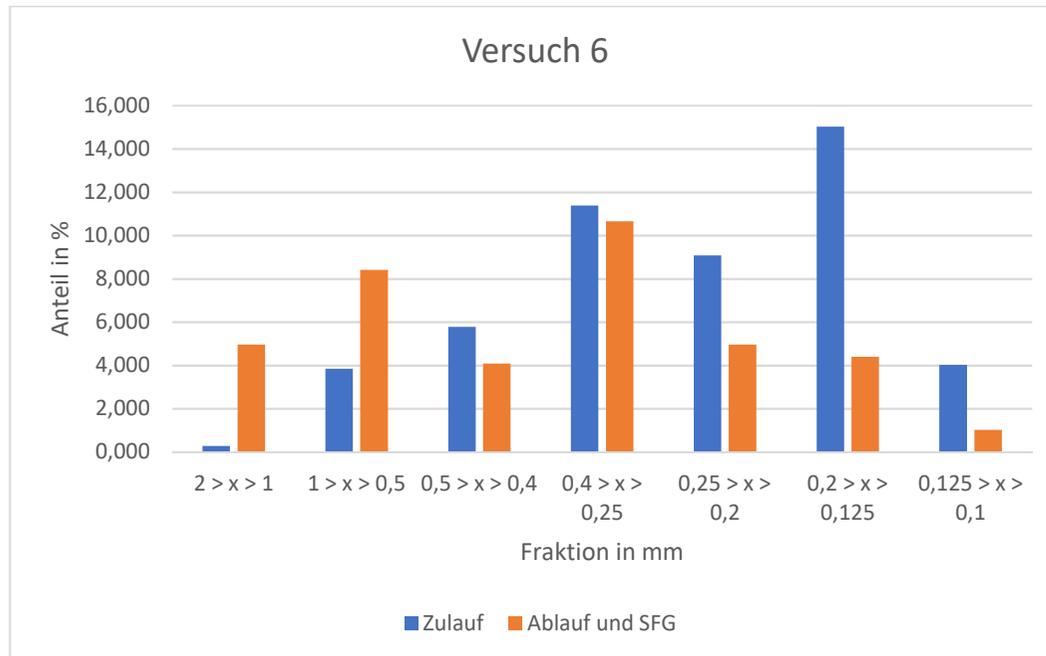
VERSUCH 6											
TR und GR - Labor											
Datum	Art der Probe	Schalenummer	Leermasse	Masse Probe	Masse TR	Tiegel neu	Leermasse neu	Masse TR neu	Anteil TR neu	Masse GR	Masse GR für Gesamtprobe
[TT/MM/JJ]	[-]	[-]	[g]	[g]	[g]	[-]	[g]	[g]	[%]	[g]	[g]
20.09.2017	SFG	8	362,89	696,68	491,27	5	376,08	119,12	24,24735889	105,76	436,171
Datum	Art der Probe	Schalenummer	Leermasse	Masse Probe	Masse TR	Masse GR					
[TT/MM/JJ]	[-]	[-]	[g]	[g]	[g]	[g]					
20.09.2017	Zulauf	16	377,21	572,79	46,22	15,02					
20.09.2017	Zulauf	xy	349,19	531,16	42,47	13,69					
20.09.2017	SFG ÜL	186	130,26	174,98	14,01	2,65					
20.09.2017	AB ÜL	172	130,6	194,85	9,51	1,17					
20.09.2017	ZL ÜL	18	198,08	223,58	9,9	1,24					
20.09.2017	Ablauf	14	380,59	556,59	33,41	6,06					
20.09.2017	Ablauf	12	391,78	547,78	32,61	6,45					
20.09.2017	Abpump SFG	17	377,95	274,53	16,37	3,15					
Gelöste Anorganik											
Art der Probe	Filternummer	Masse Filter	Masse Probe	Masse TR	Masse Differenz	Anteil Verlust					
	[-]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]					
ÜL AB	1	2,9402	0,181	3,1162	0,005	2,762					
SFG	2	2,9642	11,193	13,9508	0,2064	1,844					
ÜL ZL	3	3,1268	0,2822	3,4001	0,0089	3,154					
ZL	4	2,9205	9,164	11,8522	0,2323	2,535					
Abpump SFG	5	2,968	1,2615	4,1889	0,0406	3,218					
AB	6	3,0372	4,5582	7,421	0,1744	3,826					
ÜL SFG	7	3,1306	1,4001	4,4865	0,0442	3,157					

16 Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle

VERSUCH 6													
Zulauf													
Sand in Container	in kg	0,214		Anteil	in %	9,12							
Sand im Überlauf	in kg	2,132		Anteil	in %	90,88							
Summe	in kg	2,346		Anteil	in %	100,00							
bezogen auf ges. Volumenstrom													
Sand gesamt	in kg	545,081		Anteil	in %	100,00							
Sand in Container	in kg	49,722		Anteil	in %	9,12							
Sand im Überlauf	in kg	495,359		Anteil	in %	90,88							
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Zulauf	in g	0	0,08	0,5678	0,6411	2,1742	1,3647	2,6723	0,5444	1,3512	18,988	28,3837	0,3254
Zulauf	in %	0,000	0,279	1,978	2,233	7,573	4,754	9,308	1,896	4,707	66,139	98,867	1,133
	in kg	0,000	0,139	0,983	1,110	3,766	2,364	4,628	0,943	2,340	32,886	49,158	0,564
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Überlauf Zulauf	in g	0	0	0,0232	0,044	0,0472	0,0536	0,0709	0,0264	0,092	0,8472	1,2045	0,0345
Anteil	in %	0,000	0,000	1,872	3,551	3,810	4,326	5,722	2,131	7,425	68,378	97,215	2,785
	in kg	0,000	0,000	9,275	17,591	18,871	21,430	28,346	10,555	36,782	338,715	481,566	13,793
Ablauf													
Sand in Container	in kg	0,133		Anteil	in %	18,87							
Sand im Überlauf	in kg	0,572		Anteil	in %	81,13							
Summe	in kg	0,705		Anteil	in %	100,00							
bezogen auf ges. Volumenstrom													
Sand gesamt	in kg	160,570		Anteil	in %	100,00							
Sand in Container	in kg	30,292		Anteil	in %	18,87							
Sand in Überlauf	in kg	130,278		Anteil	in %	81,13							
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Ablauf	g	0	0	0,2422	0,089	0,488	0,6437	1,8186	0,6134	1,0262	7,4681	12,3892	0,1188
Anteil	%	0,000	0,000	1,936	0,712	3,902	5,146	14,539	4,904	8,204	59,707	99,050	0,950
	in kg	0,000	0,000	0,587	0,216	1,182	1,559	4,404	1,486	2,485	18,086	30,004	0,288
AB bezogen auf ZL	in %	0,000	0,000	0,108	0,040	0,217	0,286	0,808	0,273	0,456	3,318	5,505	0,053
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Überlauf Ablauf	in g	0	0	0,008	0,0211	0,0243	0,0758	0,0748	0,0244	0,0104	0,8466	1,0854	0,0821
Anteil	in %	0,000	0,000	0,685	1,807	2,081	6,493	6,407	2,090	0,891	72,514	92,968	7,032
	in kg	0,000	0,000	0,893	2,354	2,712	8,458	8,347	2,723	1,161	94,470	121,117	9,161
ÜL AB bezogen auf ZL	in %	0,000	0,000	0,164	0,432	0,497	1,552	1,531	0,500	0,213	17,331	22,220	1,681

Sandfanggut													
Sand in Container	in kg	109,786		Anteil	in %	94,95							
Sand im Überlauf	in kg	5,682		Anteil	in %	4,91							
Sand in Überstandswasser	in kg	0,16		Anteil	in %	0,14							
Summe	in kg	115,628		Anteil	in %	100,00							
bezogen auf ges. Volumenstrom													
Sand gesamt	in kg	208,993		Anteil	in %	100,00							
Sand in Container	in kg	198,434		Anteil	in %	94,95							
Sand im Überlauf	in kg	10,270		Anteil	in %	4,91							
Sand im Überstandswasser	in kg	0,289		Anteil	in %	0,14							
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
SFG	in g	3,121	3,681	6,029	2,674	7,226	2,255	1,303	0,105	0,057	0,156	26,606	0,537
Anteil	in %	11,500	13,560	22,211	9,852	26,622	8,307	4,799	0,387	0,209	0,575	98,022	1,978
	in kg	22,819	26,907	44,075	19,550	52,827	16,483	9,523	0,768	0,415	1,141	194,508	3,926
SFG bezogen auf ZL	in %	4,186	4,936	8,086	3,587	9,692	3,024	1,747	0,141	0,076	0,209	35,684	0,720
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Überlauf SFG	in g	0,038	0,0409	0,0811	0,0416	0,3483	0,1444	0,4155	0,1489	0,1835	0,9722	2,4144	0,2378
Anteil	in %	1,4328	1,5421	3,0578	1,5685	13,1325	5,4445	15,6662	5,6142	6,9188	36,6564	91,0339	8,9661
	in kg	0,1471	0,1584	0,3140	0,1611	1,3487	0,5592	1,6089	0,5766	0,7106	3,7646	9,3492	0,9208
ÜL SFG bezogen auf ZL	in %	0,027	0,029	0,058	0,030	0,247	0,103	0,295	0,106	0,130	0,691	1,715	0,169
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Abpump SFG	in g	0	0,0101	0	0,0487	0,1421	0,091	0,599	0,1072	0,2745	1,6879	2,9605	0,1883
Anteil	in %	0	0,3208	0,0000	1,5466	4,5128	2,8900	19,0231	3,4045	8,7176	53,6045	94,0199	5,9801
	in kg	0	0,0009	0,0000	0,0045	0,0131	0,0084	0,0550	0,0098	0,0252	0,1550	0,2719	0,0173
ABP SFG bezogen auf SFG	in %	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,010	0,002	0,005	0,028	0,050	0,003

VERSUCH 6												
Probe		$x > 2$	$2 > x > 1$	$1 > x > 0,5$	$0,5 > x > 0,4$	$0,4 > x > 0,25$	$0,25 > x > 0,2$	$0,2 > x > 0,125$	$0,125 > x > 0,1$	$0,1 > x > 0,063$	$x < 0,063$	Summe
Zulauf	in %	0,000	0,279	1,978	2,233	7,573	4,754	9,308	1,896	4,707	66,139	
ÜL Zulauf	in %	0,000	0,000	1,872	3,551	3,810	4,326	5,722	2,131	7,425	68,378	
SUMME	in %	0,000	0,279	3,850	5,784	11,383	9,080	15,031	4,027	12,132	134,517	196,082
AB bezogen auf ZL	in %	0,000	0,000	0,108	0,040	0,217	0,286	0,808	0,273	0,456	3,318	
ÜL AB bezogen auf ZL	in %	0,000	0,000	0,164	0,432	0,497	1,552	1,531	0,500	0,213	17,331	
SFG bezogen auf ZL	in %	4,186	4,936	8,086	3,587	9,692	3,024	1,747	0,141	0,076	0,209	
ÜL SFG bezogen auf ZL	in %	0,027	0,029	0,058	0,030	0,247	0,103	0,295	0,106	0,130	0,691	
ABP SFG bezogen auf SFG	in %	0,0000	0,0002	0,0000	0,0008	0,0024	0,0015	0,0101	0,0018	0,0046	0,0284	
SUMME	in %	4,213	4,966	8,415	4,089	10,656	4,966	4,392	1,021	0,880	21,578	65,174
Differenzen	in %	-4,213	-4,687	-4,565	1,696	0,727	4,114	10,639	3,006	11,252	112,939	130,908



Anhang J

J1 Bilanzierung – Versuch 7

Die folgenden Rechnungen wurden mit gerundeten Werten zu Anschaulichkeitszwecken durchgeführt. Die exakten Werte wurden in Excel-Dateien berechnet und weichen minimal von den Ergebnissen der gerundeten Werte ab.

Massenbilanz

$$m_{\text{Sand,Zulauf}} = m_{\text{Sand,SFG}} + m_{\text{Sand,Ablauf}}$$

mit:

$m_{\text{Sand,Zulauf}}$: Sandmasse im Zulauf des Sandfangs in kg

$m_{\text{Sand,SFG}}$: Sandmasse im Sandfanggut in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs in kg

Zulauf

Container

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{31,34 \text{ kg}}{1,05 \text{ kg}} = 29,85$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 29,85 \cdot 1047,62 \text{ g} = 31271,46 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{5,03 \text{ g}}{31271,46 \text{ g}} \cdot 1030 \text{ kg} = 0,17 \text{ kg}$$

Überlauf Zulauf

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = (8,70 \cdot 10800 \text{ s}) - (4157 \text{ l} + 3086,55 \text{ l}) = 86716,45 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,09 \text{ g}}{30,5 \text{ l}} \cdot 86716,45 \text{ l} = 255,88 \text{ g}$$

Gesamt

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 0,17 \text{ kg} + 0,26 \text{ kg} = 0,43 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{1955,83 \text{ l/s}}{8,70 \text{ l/s}} \cdot 0,43 \text{ kg} = 96,67 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Zulauf}} = 96,67 \text{ kg}$$

Ablauf**Container**

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{31,72 \text{ kg}}{1,45 \text{ kg}} = 21,88$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 21,88 \cdot 1450,58 \text{ g} = 31738,69 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{3,91 \text{ g}}{31738,69 \text{ g}} \cdot 520 \text{ kg} = 0,06 \text{ kg}$$

Überlauf Ablauf

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = (8,57 \cdot 10800 \text{ s}) - (4429 \text{ l} + 3086,55 \text{ l}) = 85040,45 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,12 \text{ g}}{39,1 \text{ l}} \cdot 85040,45 \text{ l} = 260,99 \text{ g}$$

Gesamt

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 0,06 \text{ kg} + 0,26 \text{ kg} = 0,32 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{1960 \text{ l/s}}{8,57 \text{ l/s}} \cdot 0,32 \text{ kg} = 73,19 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Ablauf}} = 73,19 \text{ kg}$$

Sandfanggut**Container**

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{14,66 \text{ g}}{10,02 \text{ g}} = 1,46$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 1,46 \cdot 519,21 \text{ g} = 758,05 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{228,59 \text{ g}}{758,05 \text{ g}} \cdot 270 \text{ kg} = 81,42 \text{ kg}$$

Überlauf Sandfanggut

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = (7,32 \cdot 10800 \text{ s}) - (4238 \text{ l} + 3086,55 \text{ l}) = 71731,45 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,86 \text{ g}}{37,8 \text{ l}} \cdot 71731,45 \text{ l} = 1645,04 \text{ g}$$

Überstandswasser

$$V_{\text{Überstandswasser}} = V_{\text{Überlaufcontainer}} - V_{\text{Rest,Suspension}}$$

$$V_{\text{Überstandswasser}} = 4238 \text{ l} - 150 \text{ l} = 4088 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überstand}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überstand}}$$

$$m_{\text{Sand,Überstand}} = \frac{1,29 \text{ g}}{33,1 \text{ l}} \cdot 4088 \text{ l} = 159,32 \text{ g}$$

Gesamt

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}} + m_{\text{Sand,Überstand}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 81,42 \text{ kg} + 1,65 \text{ kg} + 0,16 \text{ kg} = 83,23 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{15,83 \text{ l/s}}{7,32 \text{ l/s}} \cdot 83,23 \text{ kg} = 179,99 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,SFG}} = 179,99 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g –
siehe Anhang J3 (Summe $m_{\text{Mischprobe}}$)

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g – siehe Anhang J3 (Summe $m_{\text{Siebrückstand}}$))

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g –
siehe Anhang J4 (Masse Probe)

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g –
siehe Anhang J5 (Masse Sand)

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg – siehe Anhang A

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

\dot{V}_{Pumpe} : Förderleistung der Pumpe an der Entnahmestelle in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang J2

t_{Entnahme} : Entnahmedauer in s – siehe Anhang A

$V_{\text{Überlaufcontainer}}$: Volumen des Überlaufcontainers in l – siehe Anhang B

$V_{\text{Auslitern}}$: Volumen das auf Grund des Ausliterns nicht in den Container gefördert wurde in l – siehe Anhang J2 (Summe aller befüllten Volumina)

$m_{\text{Sand,Überlauf}}$: Sandmasse im Überlauf in kg

$m_{\text{Sand,Probe}}$: Sandmasse in der behandelten Mischprobe in kg – siehe Anhang J5 (Masse Sand)

V_{Probe} : Volumen der Mischprobe an der jeweiligen Entnahmestelle (hier Überlauf) in l – siehe Anhang J3 (Summe V_{Probe})

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

$V_{\text{Überstand}}$: Volumen des abgepumpten Überstandswassers in l

$V_{\text{Rest,Suspension}}$: Volumen der Suspension nach dem Entwässern nach Variante 2 in l – siehe Anhang B

$m_{\text{Sand,Überstand}}$: Sandmasse im abgepumpten Überstandswasser in g

$m_{\text{Sand,Teil}}$: Sandmasse aus dem Teilstrom in kg

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang J2 (Förderleistung Pumpe)

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang L

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

J2 Volumenströme - Pumpen**Versuch 7**

Förderleistung Pumpen

Zulauf

Förderstopp	Füllhöhe	Füllvolumen	Fülldauer	Förderleistung
[min]	[cm]	[l]	[s]	[l/s]
08:34 - 08:36	57	617,31	72	8,57
09:04 - 09:06	57	617,31	70	8,82
09:35 - 09:37	57	617,31	72	8,57
10:46 - 10:48	57	617,31	72	8,57
11:05-11:07	57	617,31	72	8,57

Mittelwert: 8,70 l/s

Ablauf

Förderstopp	Füllhöhe	Füllvolumen	Fülldauer	Förderleistung
[min]	[cm]	[l]	[s]	[l/s]
08:53 - 08:55	57	617,31	72	8,57
09:23 - 09:25	57	617,31	72	8,57
09:53 - 09:55	57	617,31	72	8,57
10:40 - 10:42	57	617,31	71	8,69
11:10 - 11:12	57	617,31	71	8,69

Mittelwert: 8,57 l/s

Sandfanggut

Förderstopp	Füllhöhe	Füllvolumen	Fülldauer	Förderleistung
[min]	[cm]	[l]	[s]	[l/s]
08:43 - 08:45	57	617,31	71	8,69
09:13 - 09:15	57	617,31	104	5,94
09:44 - 09:46	57	617,31	93	6,64
10:30 - 10:32	57	617,31	80	7,72
11:15 - 11:17	57	617,31	74	8,34

Mittelwert: 7,32 l/s

VERSUCH 7							
Zulauf Überlauf		Ablauf Überlauf		Sandfanggut Überlauf			
m(Topf)= 350,29 g		m(Topf)= 350,29 g		m(Topf)= 350,29 g			
V(Probe)	m(Siebrückstand)	V(Probe)	m(Siebrückstand)	V(Probe)	m(Siebrückstand)		
in ml	in g	in ml	in g	in ml	in g		
2500	173,06	2400	233,29	2500	316,71		
2500		2500		2500			
2500		2500		2500			
2500		2400		2500			
800		2500		2400			
2500		600		900			
2500		2500		2500			
2500		2500		2500			
1700		2500		2500			
2400		2500		2500			
2400		2500		2500			
2500		400		2000			
2500		2500		2300			
700		2500		2500			
		2500		2500			
		2500		2500			
		2500		2700			
		2500					
		800					
Summe	Summe	Summe	Summe	Summe	Summe		
<i>in ml</i>	<i>in g</i>	<i>in ml</i>	<i>in g</i>	<i>in ml</i>	<i>in g</i>		
30500	173,06	39100	233,29	37800	316,71		
<i>in l</i>	<i>in kg</i>	<i>in l</i>	<i>in kg</i>	<i>in l</i>	<i>in kg</i>		
30,5	0,17306	39,1	0,23329	37,8	0,31671		

Überstands- wasser SFG

m(Topf)= 350,29

V(Probe)	m(Siebrückstand)
[ml]	[g]
2500	622,3
2500	
2500	
2500	
1700	
2500	
2500	
2500	
2000	
2500	
2500	
2500	
1900	

Summe	Summe
<i>in ml</i>	<i>in g</i>
33100	622,3

<i>in l</i>	<i>in kg</i>
33,1	0,6223

J4 Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik

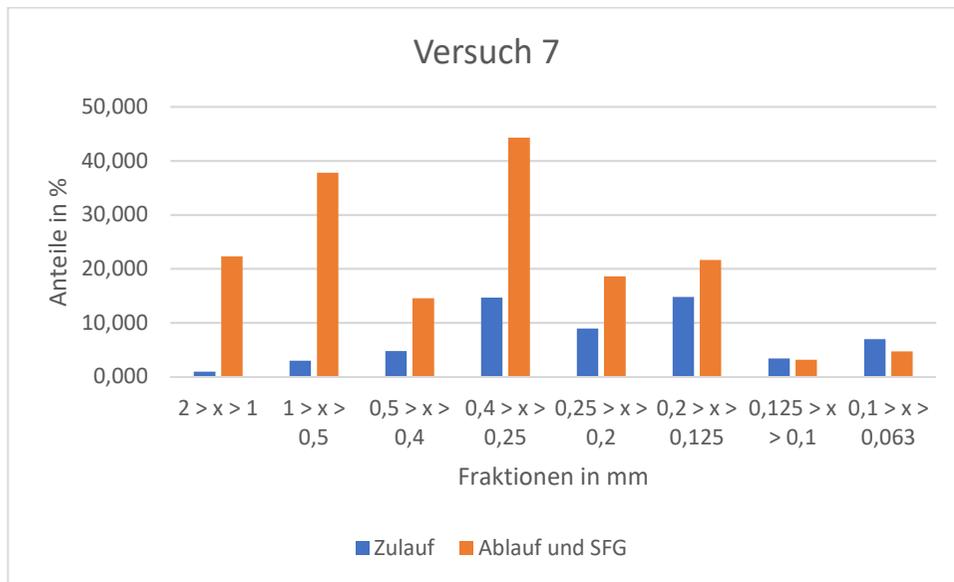
Versuch 7							
TR und GR							
Art der Probe	Schalenummer	Leermasse	Masse Probe	Masse TR	Masse TR neu	Leermasse neu	Masse GR
[-]	[-]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g] - 8	[g]
SFG	16	467,42	519,21	340,68	112,12	363,58	90,43
Art der Probe	Schalenummer	Leermasse	Masse Probe	Masse TR	Masse GR		
[-]	[-]	[g]	[g]	[g]	[g]		
Zulauf	23	384,49	495,52	27,56	4,43		
Zulauf	24	374,9	552,1	33,28	7,24		
SFG ÜL	18	198,11	289,62	17,61	2,62		
AB ÜL	172	130,6	205,01	8,82	1,01		
ZL ÜL	186	130,29	164,68	7,66	0,76		
Abpump SFG	xy	349,27	622,3	69,41	9,58		
Ablauf	15	377,43	744,1	44,82	7		
Ablauf	20	382,22	706,48	41,03	6,39		
Gelöste Anorganik							
Art der Probe	Filternummer	Masse Filter	Masse Probe	Masse TR	Masse Differenz	Anteil Verlust	
	[-]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	
ZL	1	2,9406	1,4457	4,3311	0,0552	3,8182	
AB	2	2,8762	3,779	6,5606	0,0946	2,5033	
ÜL ZL	3	3,0379	0,0911	3,125	0,004	4,3908	
ÜL SFG	4	2,9501	0,8944	3,8113	0,0332	3,7120	
ÜL AB	5	3,0574	0,12	3,173	0,0044	3,6667	
SFG	6	2,9093	8,373	11,1	0,1823	2,1772	
ABP SFG	7	2,8802	1,308	4,1522	0,036	2,7523	

J6 Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Fraktionen auf die errechneten Sandmassen an den Entnahmestellen

VERSUCH 7													
Zulauf													
Sand in Container	in kg	0,165		Anteil	in %	38,11							
Sand im Überlauf	in kg	0,268		Anteil	in %	61,89							
Summe	in kg	0,433		Anteil	in %	100,00							
bezogen auf ges. Volumenstrom													
Sand gesamt	in kg	97,447		Anteil	in %	100,00							
Sand in Container	in kg	37,133		Anteil	in %	38,11							
Sand im Überlauf	in kg	60,314		Anteil	in %	61,89							
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Zulauf	in g	0	0,1101	0,3466	0,3822	1,3861	1,041	1,4034	0,1789	0,3768	5,3414	10,5665	1,1056
Zulauf	in %	0,000	0,943	2,969	3,274	11,875	8,919	12,024	1,533	3,228	45,762	90,528	9,472
Zulauf	in kg	0,000	0,350	1,103	1,216	4,410	3,312	4,465	0,569	1,199	16,993	33,616	3,517
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Überlauf Zulauf	in g	0	0	0	0,0111	0,0209	0	0,021	0,0142	0,0281	0,5462	0,6415	0,1155
Überlauf Zulauf	in %	0,000	0,000	0,000	1,466	2,761	0,000	2,774	1,876	3,712	72,153	84,742	15,258
Überlauf Zulauf	in kg	0,000	0,000	0,000	0,884	1,665	0,000	1,673	1,131	2,239	43,518	51,111	9,202
Ablauf													
Sand in Container	in kg	0,0641		Anteil	in %	19,21							
Sand im Überlauf	in kg	0,2695		Anteil	in %	80,79							
Summe	in kg	0,3336		Anteil	in %	100,00							
bezogen auf ges. Volumenstrom													
Sand gesamt	in kg	76,292		Anteil	in %	100,00							
Sand in Container	in kg	14,659		Anteil	in %	19,21							
Sand in Überlauf	in kg	61,633		Anteil	in %	80,79							
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Ablauf	in g	0	0	0,069	0,07	0,4682	0,5007	1,6324	0,5045	0,7681	8,6621	12,675	0,7147
Ablauf	in %	0,000	0,000	0,515	0,523	3,497	3,739	12,191	3,768	5,736	64,692	94,662	5,338
Ablauf	in kg	0,000	0,000	0,076	0,077	0,513	0,548	1,787	0,552	0,841	9,483	13,877	0,782
AB bezogen auf ZL	in %	0,000	0,000	0,078	0,079	0,526	0,563	1,834	0,567	0,863	9,732	14,240	0,803
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Überlauf Ablauf	in g	0	0	0	0,009	0,0121	0	0,0422	0,0219	0,0389	0,7688	0,8929	0,1172
Überlauf Ablauf	in %	0,000	0,000	0,000	0,891	1,198	0,000	4,178	2,168	3,851	76,111	88,397	11,603
Überlauf Ablauf	in kg	0,000	0,000	0,000	0,549	0,738	0,000	2,575	1,336	2,374	46,909	54,482	7,151
ÜL AB bezogen auf ZL	in %	0,000	0,000	0,000	0,564	0,758	0,000	2,642	1,371	2,436	48,138	55,909	7,338

Sandfanggut													
Sand in Container	in kg	81,205											
Sand im Überlauf	in kg	1,709											
Sand in Überstandswasser	in kg	0,192											
Summe	in kg	83,106											
bezogen auf ges. Volumenstrom													
Sand gesamt	in kg	179,760											
Sand in Container	in kg	175,648											
Sand im Überlauf	in kg	3,697											
Sand im Überstandswasser	in kg	0,415											
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
SFG	in g	2,664	3,149	5,320	1,957	6,061	2,536	2,353	0,140	0,121	0,491	24,793	0,651
SFG	in %	10,471	12,377	20,910	7,692	23,822	9,967	9,246	0,552	0,475	1,930	97,443	2,557
	in kg	18,392	21,739	36,729	13,510	41,844	17,507	16,241	0,969	0,835	3,390	171,156	4,492
SFG bezogen auf ZL	in %	18,873	22,309	37,691	13,864	42,940	17,966	16,667	0,995	0,857	3,479	175,640	4,610
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Überlauf SFG	in g	0	0	0	0	0,0213	0,0469	0,3313	0,1297	0,3676	1,5249	2,4217	0,1975
Überlauf SFG	in %	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8132	1,7906	12,6489	4,9519	14,0348	58,2201	92,4595	7,5405
	in kg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0301	0,0662	0,4676	0,1831	0,5188	2,1522	3,4179	0,2787
ÜL SFG bezogen auf ZL	in %	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031	0,068	0,480	0,188	0,532	2,209	3,507	0,286
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Abpump SFG	in g	0	0	0,019	0,1113	0,4471	0,1826	0,211	0,1132	0,2377	6,7442	8,0661	1,5118
Abpump SFG	in %	0	0,0000	0,1984	1,1621	4,6680	1,9065	2,2030	1,1819	2,4818	70,4142	84,2157	15,7843
	in kg	0	0,0000	0,0008	0,0048	0,0194	0,0079	0,0091	0,0049	0,0103	0,2924	0,3497	0,0656
ABP SFG bezogen auf SFG	in %	0,000	0,000	0,001	0,005	0,020	0,008	0,009	0,005	0,011	0,300	0,359	0,067

VERSUCH 7												
Probe		$x > 2$	$2 > x > 1$	$1 > x > 0,5$	$0,5 > x > 0,4$	$0,4 > x > 0,25$	$0,25 > x > 0,2$	$0,2 > x > 0,125$	$0,125 > x > 0,1$	$0,1 > x > 0,063$	$x < 0,063$	Summe
Zulauf	in %	0,000	0,943	2,969	3,274	11,875	8,919	12,024	1,533	3,228	45,762	
Überlauf Zulauf	in %	0,000	0,000	0,000	1,466	2,761	0,000	2,774	1,876	3,712	72,153	
SUMME	in %	0,000	0,943	2,969	4,741	14,636	8,919	14,798	3,409	6,940	117,915	175,270
AB bezogen auf ZL	in %	0,000	0,000	0,078	0,079	0,526	0,563	1,834	0,567	0,863	9,732	
ÜL AB bezogen auf ZL	in %	0,000	0,000	0,000	0,564	0,758	0,000	2,642	1,371	2,436	48,138	
SFG bezogen auf ZL	in %	18,873	22,309	37,691	13,864	42,940	17,966	16,667	0,995	0,857	3,479	
ÜL SFG bezogen auf ZL	in %	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031	0,068	0,480	0,188	0,532	2,209	
ABP SFG bezogen auf SFG	in %	0,0000	0,0000	0,0008	0,0050	0,0199	0,0081	0,0094	0,0050	0,0106	0,3001	
SUMME	in %	18,873	22,309	37,769	14,511	44,274	18,605	21,632	3,126	4,698	63,858	249,656
Differenzen	in %	-18,873	-21,365	-34,800	-9,770	-29,638	-9,686	-6,835	0,283	2,242	54,057	-74,385



Anhang K

K1 Bilanzierung – Versuch 8

Die folgenden Rechnungen wurden mit gerundeten Werten zu Anschaulichkeitszwecken durchgeführt. Die exakten Werte wurden in Excel-Dateien berechnet und weichen minimal von den Ergebnissen der gerundeten Werte ab.

Massenbilanz

$$m_{\text{Sand,Zulauf}} = m_{\text{Sand,SFG}} + m_{\text{Sand,Ablauf}}$$

mit:

$m_{\text{Sand,Zulauf}}$: Sandmasse im Zulauf des Sandfangs in kg

$m_{\text{Sand,SFG}}$: Sandmasse im Sandfanggut in kg

$m_{\text{Sand,Ablauf}}$: Sandmasse im Ablauf des Sandfangs in kg

Zulauf

Container

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{29,59 \text{ kg}}{0,66 \text{ kg}} = 44,83$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 44,83 \cdot 664,04 \text{ g} = 29768,91 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{1,93 \text{ g}}{29768,91 \text{ g}} \cdot 1080 \text{ kg} = 0,07 \text{ kg}$$

Überlauf Zulauf

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = (8,69 \cdot 10800 \text{ s}) - (4157 \text{ l} + 3086,55 \text{ l}) = 86608,45 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,28 \text{ g}}{32,1 \text{ l}} \cdot 86608,45 \text{ l} = 755,46 \text{ g}$$

Gesamt

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 0,07 \text{ kg} + 0,76 \text{ kg} = 0,83 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{2051,94 \text{ l/s}}{8,69 \text{ l/s}} \cdot 0,83 \text{ kg} = 195,99 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Zulauf}} = 195,99 \text{ kg}$$

Ablauf**Container**

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{29,56 \text{ kg}}{1,26 \text{ kg}} = 23,46$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 23,46 \cdot 1256,26 \text{ g} = 29471,86 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{3,14 \text{ g}}{29471,86 \text{ g}} \cdot 700 \text{ kg} = 0,07 \text{ kg}$$

Überlauf Ablauf

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = (8,70 \cdot 10800 \text{ s}) - (4429 \text{ l} + 3086,55 \text{ l}) = 86444,45 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,27 \text{ g}}{31,2 \text{ l}} \cdot 86444,45 \text{ l} = 748,08 \text{ g}$$

Gesamt

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 0,07 \text{ kg} + 0,75 \text{ kg} = 0,82 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{2040 \text{ l/s}}{8,70 \text{ l/s}} \cdot 0,82 \text{ kg} = 192,28 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,Ablauf}} = 192,28 \text{ kg}$$

Sandfanggut

Container

$$x_m = \frac{m_{\text{Mischprobe,gesamt}}}{m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}}$$

$$x_m = \frac{11,48 \text{ g}}{9,07 \text{ g}} = 1,27$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = x_m \cdot m_{\text{Siebrückstand}}$$

$$m_{\text{Mischprobe}} = 1,27 \cdot 519,21 \text{ g} = 659,40 \text{ g}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{m_{\text{Sand,SR}}}{m_{\text{Mischprobe}}} \cdot m_{\text{Suspension}}$$

$$m_{\text{Sand,Suspension}} = \frac{312,29 \text{ g}}{659,40 \text{ g}} \cdot 260 \text{ kg} = 123,14 \text{ kg}$$

Überlauf Sandfanggut

$$V_{\text{Überlauf}} = (\dot{V}_{\text{Pumpe}} \cdot t_{\text{Entnahme}}) - (V_{\text{Überlaufcontainer}} + V_{\text{Auslitern}})$$

$$V_{\text{Überlauf}} = (9,01 \cdot 10800 \text{ s}) - (4238 \text{ l} + 3086,55 \text{ l}) = 89983,45 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überlauf}}$$

$$m_{\text{Sand,Überlauf}} = \frac{0,64 \text{ g}}{31,5 \text{ l}} \cdot 89983,45 \text{ l} = 1828,24 \text{ g}$$

Überstandswasser

$$V_{\text{Überstandswasser}} = V_{\text{Überlaufcontainer}} - V_{\text{Rest,Suspension}}$$

$$V_{\text{Überstandswasser}} = 4238 \text{ l} - 150 \text{ l} = 4088 \text{ l}$$

$$m_{\text{Sand,Überstand}} = \frac{m_{\text{Sand,Probe}}}{V_{\text{Probe}}} \cdot V_{\text{Überstand}}$$

$$m_{\text{Sand,Überstand}} = \frac{9,49 \text{ g}}{29,2 \text{ l}} \cdot 4088 \text{ l} = 1328,6 \text{ g}$$

Gesamt

$$m_{\text{Sand,Teil}} = m_{\text{Sand,Suspension}} + m_{\text{Sand,Überlauf}} + m_{\text{Sand,Überstand}}$$

$$m_{\text{Sand,Teil}} = 123,14 \text{ kg} + 1,83 \text{ kg} + 1,33 \text{ kg} = 126,30 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{\dot{V}_{\text{gesamt}}}{\dot{V}_{\text{Teil}}} \cdot m_{\text{Sand,Teil}}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = \frac{31,94 \text{ l/s}}{9,01 \text{ l/s}} \cdot 126,30 \text{ kg} = 447,73 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Sand,absolut}} = m_{\text{Sand,SFG}} = 447,73 \text{ kg}$$

mit

$m_{\text{Mischprobe,gesamt}}$: Masse der gesamten Mischprobe in g –
siehe Anhang K3 (Summe $m_{\text{Mischprobe}}$)

$m_{\text{Siebrückstand,gesamt}}$: Masse des gesamten Siebrückstands (entstanden aus der gesamten Mischprobe in g – siehe Anhang K3 (Summe $m_{\text{Siebrückstand}}$))

x_m : Massenverhältnis von Mischprobe und Siebrückstand

$m_{\text{Mischprobe}}$: Masse der Mischprobe aus der der behandelte Siebrückstand entstanden ist in g

$m_{\text{Siebrückstand}}$: Masse des behandelten Siebrückstands in g –
siehe Anhang K4 (Masse Probe)

$m_{\text{Sand,SR}}$: Sandmasse entstanden aus dem behandelten Siebrückstand in g –
siehe Anhang K5 (Masse Sand)

$m_{\text{Suspension}}$: Masse der Suspension im Container in kg – siehe Anhang A

$m_{\text{Sand,Suspension}}$: Sandmasse enthalten in der Suspension im Container in kg

\dot{V}_{Pumpe} : Förderleistung der Pumpe an der Entnahmestelle in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang K2

t_{Entnahme} : Entnahmedauer in s – siehe Anhang A

$V_{\text{Überlaufcontainer}}$: Volumen des Überlaufcontainers in l – siehe Anhang B

$V_{\text{Auslitern}}$: Volumen das auf Grund des Ausliterns nicht in den Container gefördert wurde in l – siehe Anhang K2 (Summe aller befüllten Volumina)

$m_{\text{Sand,Überlauf}}$: Sandmasse im Überlauf in kg

$m_{\text{Sand,Probe}}$: Sandmasse in der behandelten Mischprobe in kg –
siehe Anhang K5 (Masse Sand)

V_{Probe} : Volumen der Mischprobe an der jeweiligen Entnahmestelle (hier Überlauf) in l –
siehe Anhang K3 (Summe V_{Probe})

$V_{\text{Überlauf}}$: Volumen des Überlaufs in l

$V_{\text{Überstand}}$: Volumen des abgepumpten Überstandswassers in l

$V_{\text{Rest,Suspension}}$: Volumen der Suspension nach dem Entwässern nach Variante 2 in l –
siehe Anhang B

$m_{\text{Sand,Überstand}}$: Sandmasse im abgepumpten Überstandswasser in g

$V_{\text{Überstand}}$: Volumen des abgepumpten Überstandswassers in l

$m_{\text{Sand,Teil}}$: Sandmasse aus dem Teilstrom in kg

\dot{V}_{Teil} : Teilvolumenstrom in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang K2 (Förderleistung Pumpen)

\dot{V}_{gesamt} : gesamter Volumenstrom an der Entnahmestelle in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$ – siehe Anhang L

$m_{\text{Sand,absolut}}$: Sandmasse im gesamten Volumenstrom über die Zeit in kg

K2 Volumenströme - Pumpen**Versuch 8**

Förderleistung Pumpen

Zulauf

Förderstopp	Füllhöhe	Füllvolumen	Fülldauer	Förderleistung
[min]	[cm]	[l]	[s]	[l/s]
08:34 - 08:36	57	617,31	71	8,69
09:04 - 09:06	57	617,31	71	8,69
09:35 - 09:37	57	617,31	70	8,82
10:46 - 10:48	57	617,31	70	8,82
11:05-11:07	57	617,31	71	8,69

Mittelwert: 8,69 l/s

Ablauf

Förderstopp	Füllhöhe	Füllvolumen	Fülldauer	Förderleistung
[min]	[cm]	[l]	[s]	[l/s]
08:53 - 08:55	57	617,31	72	8,57
09:23 - 09:25	57	617,31	70	8,82
09:53 - 09:55	57	617,31	70	8,82
10:40 - 10:42	57	617,31	71	8,69
11:10 - 11:12	57	617,31	71	8,69

Mittelwert: 8,70 l/s

Sandfanggut

Förderstopp	Füllhöhe	Füllvolumen	Fülldauer	Förderleistung
[min]	[cm]	[l]	[s]	[l/s]
08:43 - 08:45	57	617,31	68	9,08
09:13 - 09:15	57	617,31	69	8,95
09:44 - 09:46	57	617,31	68	9,08
10:30 - 10:32	57	617,31	69	8,95
11:15 - 11:17	57	617,31	69	8,95

Mittelwert: 9,01 l/s

K3 Massen bzw. Volumina der gesamten Mischproben und Siebrückstände

VERSUCH 8					
Zulauf		Ablauf		SFG	
m(Topf)=	350,29 g	m(Topf)=	350,29 g	m(Topf)=	350,29 g
m(Probe)	m(Siebrückstand)	m(Probe)	m(Siebrückstand)	m(Probe)	m(Siebrückstand)
<i>in g</i>	<i>in g</i>	<i>in g</i>	<i>in g</i>	<i>in g</i>	<i>in g</i>
2439,67	664,04	2589,35	673,49	2411,11	2606,72
2490,55		2582,82	582,77	2606,72	2651,02
2462,17		2448,53		2651,02	2732,25
2233,57		1808,75		2732,25	1075,02
2571,66		2577,35		1075,02	
2555,15		2497,87			
2570,95		2560,06			
2477,94		2286,43			
2570,43		2552,53			
2530,26		2497,08			
2566,85		2512,77			
2117,34		2649,96			
		Summe	Summe		
		<i>in g</i>	<i>in g</i>		
		29563,5	1256,26		
Summe	Summe			Summe	Summe
<i>in g</i>	<i>in g</i>	<i>in kg</i>	<i>in kg</i>	<i>in g</i>	<i>in g</i>
29586,54	664,04	29,5635	1,25626	11476,12	9065,01
in kg	in kg			in kg	in kg
29,58654	0,66404			11,47612	9,06501

VERSUCH 8					
Zulauf Überlauf		Ablauf Überlauf		Sandfanggut Überlauf	
m(Topf)=	350,29 g	m(Topf)=	350,29 g	m(Topf)=	350,29 g
V(Probe)	m(Siebrückstand)	V(Probe)	m(Siebrückstand)	V(Probe)	m(Siebrückstand)
<i>in ml</i>	<i>in g</i>	<i>in ml</i>	<i>in g</i>	<i>in ml</i>	<i>in g</i>
2500	160,65	2500	136,3	2500	163,9
2600		2500		2500	
2500		2500		2500	
2600		2600		2600	
2500		600		600	
2500		2500		2500	
2400		2400		2500	
2600		2500		2500	
1000		2600		2500	
2500		600		1000	
2500		2400		2500	
2400		2400		2400	
2400		2500		2500	
1100		2600		2400	
Summe	Summe	Summe	Summe	Summe	Summe
<i>in ml</i>	<i>in g</i>	<i>in ml</i>	<i>in g</i>	<i>in ml</i>	<i>in g</i>
32100	160,65	31200	136,3	31500	163,9
in l	in kg	in l	in kg	in l	in kg
32,1	0,16065	31,2	0,1363	31,5	0,1639

Abpump SFG

m(Topf)= 350,29

V(Probe)	m(Siebrückstand)
in ml	in g
2500	785,26
2500	842,12
2400	728,4
2400	
2500	
2600	
2400	
2500	
2700	
2600	
2700	
1400	

Summe	Summe
in ml	in g
29200	2355,78

in l	in kg
29,2	2,35578

K4 Massen der gesamten Trockenrückstände, Glührückstände und Anteile der gelösten Anorganik

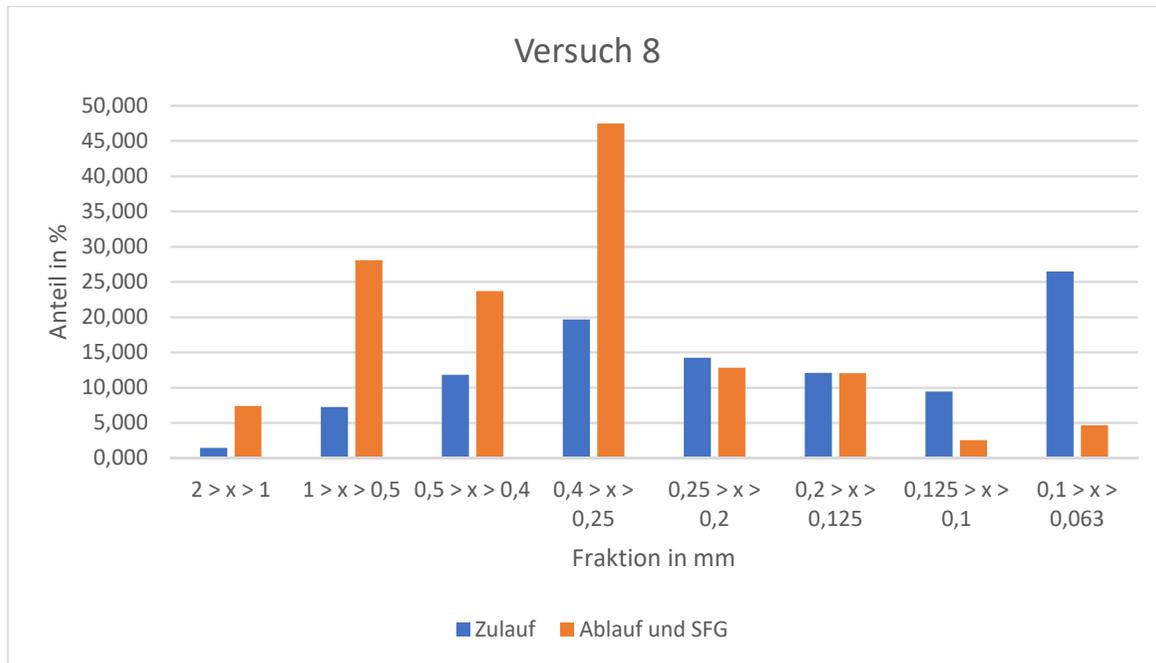
VERSUCH 8						
TR und GR - Labor						
Datum	Art der Probe	Schalenummer	Leermasse	Masse Probe	Masse TR	Masse GR
[TT/MM/JJ]	[-]	[-]	[g]	[g]	[g]	[g]
04.10.2017	Ablauf	22	375,21	673,49	35,42	3,81
04.10.2017	Ablauf	12	382,22	582,77	44,98	13,32
04.10.2017	SFG	16	377,31	519,21	366,32	336,09
04.10.2017	Abpump SFG	5	376,16	785,26	71,29	14,34
04.10.2017	Zulauf	xy	349,27	664,04	34,07	3,96
04.10.2017	SFG ÜL	14	380,61	163,9	7,49	1,36
04.10.2017	AB ÜL	17	377,58	136,3	6,46	0,77
04.10.2017	ZL ÜL	21	372,88	160,65	7,51	0,58
Gelöste Anorganik						
Art der Probe	Filternummer	Masse Filter	Masse Probe	Masse TR	Masse Differ	Anteil Verlust
	[-]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]
ÜL AB	1	2,9633	0,2752	3,1421	0,0964	3,25
ÜL ZL	2	2,8692	0,16	2,9252	0,104	3,62
ÜL SFG	3	2,8908	0,6582	3,4509	0,0981	3,39
SFG	4	2,977	7,111	10,01	0,078	2,62
AB	5	2,9715	3,304	6,1241	0,1514	5,10
ZL	6	3,082	1,9001	4,826	0,1561	5,06
ABP SFG	7	2,8659	8,972	11,6906	0,1473	5,14

K6 Daten für die grafische Darstellung – Bezug der Fraktionen auf die errechnete Sandmasse an der Entnahmestelle

VERSUCH 8													
Zulauf													
Sand in Container	in kg	0,072		Anteil	in %	8,42							
Sand im Überlauf	in kg	0,783		Anteil	in %	91,58							
Summe	in kg	0,855		Anteil	in %	100,00							
bezogen auf ges. Volumenstrom													
Sand gesamt	in kg	201,782		Anteil	in %	100,00							
Sand in Container	in kg	16,992		Anteil	in %	8,42							
Sand im Überlauf	in kg	184,790		Anteil	in %	91,58							
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Zulauf	in g	0,0712	0,0569	0,2182	0,3341	0,711	0,2309	0,2586	0,0715	0,188	1,7213	3,8617	0,0971
Zulauf	in %	1,799	1,437	5,512	8,439	17,960	5,833	6,532	1,806	4,749	43,480	97,547	2,453
	in kg	0,306	0,244	0,937	1,434	3,052	0,991	1,110	0,307	0,807	7,388	16,575	0,417
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Überlauf Zulauf	g	0	0	0,0102	0,0195	0,01	0,0487	0,0322	0,0443	0,1258	0,1214	0,4121	0,1669
Anteil	%	0,000	0,000	1,762	3,368	1,727	8,411	5,561	7,651	21,727	20,967	71,174	28,826
	in kg	0,000	0,000	3,255	6,223	3,192	15,543	10,277	14,138	40,150	38,745	131,523	53,267
Ablauf													
Sand in Container	in kg	0,074		Anteil	in %	8,72							
Sand im Überlauf	in kg	0,775		Anteil	in %	91,28							
Summe	in kg	0,849		Anteil	in %	100,00							
bezogen auf ges. Volumenstrom													
Sand gesamt	in kg	199,235		Anteil	in %	100,00							
Sand in Container	in kg	17,366		Anteil	in %	8,72							
Sand in Überlauf	in kg	181,869		Anteil	in %	91,28							
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Ablauf	g	0,0213	0,0419	0,1209	0,291	1,0717	0,5936	0,6482	0,4288	0,1093	12,151	15,4777	1,6493
Anteil	%	0,124	0,245	0,706	1,699	6,257	3,466	3,785	2,504	0,638	70,946	90,370	9,630
	in kg	0,022	0,042	0,123	0,295	1,087	0,602	0,657	0,435	0,111	12,320	15,693	1,672
AB bezogen auf ZL	in %	0,011	0,021	0,061	0,146	0,539	0,298	0,326	0,215	0,055	6,106	7,777	0,829
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Überlauf Ablauf	g	0	0	0,0301	0,009	0,0787	0,0456	0,0612	0,018	0,0367	0,4088	0,6881	0,0828
Anteil	%	0,000	0,000	3,905	1,167	10,209	5,915	7,939	2,335	4,761	53,029	89,259	10,741
	in kg	0,000	0,000	7,101	2,123	18,567	10,758	14,438	4,247	8,658	96,443	162,335	19,534
ÜL AB bezogen auf ZL	in %	0,000	0,000	3,519	1,052	9,201	5,331	7,155	2,105	4,291	47,796	80,451	9,681

Sandfanggut													
Sand in Container	in kg	123,527											
Sand im Überlauf	in kg	1,885											
Sand in Überstandswasser	in kg	1,603											
Summe	in kg	127,015											
bezogen auf ges. Volumenstrom													
Sand gesamt	in kg	223,203											
Sand in Container	in kg	217,074											
Sand im Überlauf	in kg	3,313											
Sand im Überstandswasser	in kg	2,817											
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
SFG	in g	1,184	2,311	7,709	7,070	11,811	2,206	1,304	0,034	0,057	0,030	33,715	0,346
Anteil	in %	3,477	6,785	22,633	20,756	34,676	6,475	3,829	0,099	0,166	0,088	98,984	1,016
	in kg	7,547	14,727	49,130	45,056	75,272	14,056	8,312	0,214	0,361	0,191	214,867	2,206
SFG bezogen auf ZL	in %	3,740	7,299	24,348	22,329	37,304	6,966	4,119	0,106	0,179	0,095	106,485	1,093
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Überlauf SFG	g	0	0,021	0,0105	0,0691	0,0826	0,086	0,2492	0,0409	0,101	0,5995	1,2598	0,1024
Anteil	%	0,0000	1,5416	0,7708	5,0727	6,0637	6,3133	18,2939	3,0025	7,4145	44,0097	92,4827	7,5173
	in kg	0,0000	0,0511	0,0255	0,1680	0,2009	0,2091	0,6060	0,0995	0,2456	1,4578	3,0635	0,2490
ÜL SFG bezogen auf ZL	in %	0,000	0,025	0,013	0,083	0,100	0,104	0,300	0,049	0,122	0,722	1,518	0,123
Probe		x > 2	2 > x > 1	1 > x > 0,5	0,5 > x > 0,4	0,4 > x > 0,25	0,25 > x > 0,2	0,2 > x > 0,125	0,125 > x > 0,1	0,1 > x > 0,063	x < 0,063	Summe	Verlust
Abpump SFG	g	0,544	0,4808	1,2783	0,9694	3,5458	1,114	1,5221	0,8642	0,2308	1,9769	12,5263	1,8099
Anteil	%	3,794589919	3,3537	8,9166	6,7619	24,7332	7,7705	10,6172	6,0281	1,6099	13,7896	87,3753	12,6247
	in kg	0,106891553	0,0945	0,2512	0,1905	0,6967	0,2189	0,2991	0,1698	0,0454	0,3884	2,4613	0,3556
ABP SFG bezogen auf SFG	in %	0,053	0,047	0,124	0,094	0,345	0,108	0,148	0,084	0,022	0,193	1,220	0,176

VERSUCH 8												
Probe		$x > 2$	$2 > x > 1$	$1 > x > 0,5$	$0,5 > x > 0,4$	$0,4 > x > 0,25$	$0,25 > x > 0,2$	$0,2 > x > 0,125$	$0,125 > x > 0,1$	$0,1 > x > 0,063$	$x < 0,063$	Summe
Zulauf	in %	1,799	1,437	5,512	8,439	17,960	5,833	6,532	1,806	4,749	43,480	
Anteil	%	0,000	0,000	1,762	3,368	1,727	8,411	5,561	7,651	21,727	20,967	
SUMME	in %	1,799	1,437	7,273	11,807	19,687	14,244	12,094	9,457	26,476	64,448	168,722
AB bezogen auf ZL	in %	0,011	0,021	0,061	0,146	0,539	0,298	0,326	0,215	0,055	6,106	
ÜL AB bezogen auf ZL	in %	0,000	0,000	3,519	1,052	9,201	5,331	7,155	2,105	4,291	47,796	
SFG bezogen auf ZL	in %	3,740	7,299	24,348	22,329	37,304	6,966	4,119	0,106	0,179	0,095	
ÜL SFG bezogen auf ZL	in %	0,000	0,025	0,013	0,083	0,100	0,104	0,300	0,049	0,122	0,722	
ABP SFG bezogen auf SFG	in %	0,0530	0,0468	0,1245	0,0944	0,3453	0,1085	0,1482	0,0842	0,0225	0,1925	
SUMME	in %	3,804	7,392	28,065	23,705	47,488	12,808	12,049	2,560	4,669	54,911	197,451
Differenzen	in %	-2,005	-5,955	-20,792	-11,898	-27,801	1,436	0,045	6,898	21,807	9,536	-28,729



Anhang L

KS10VA01VG0 1MV01XP33 -		Ablaufgerinne 01 Zul.-Vorklärung					
19.09.2017 Volumenstrom Sandfang		26.09.2017 Volumenstrom Sandfang		04.10.2017 Volumenstrom Sandfang			
Versuch 6 in m³/s		Versuch 7 in m³/s		Versuch 8 in m³/s			
Uhrzeit		Uhrzeit		Uhrzeit			
08:33:00	2,01	08:23:00	0,84	08:25:00			2,78
08:34:00	1,98	08:24:00	0,96	08:26:00			2,87
08:35:00	1,99	08:25:00	1,15	08:27:00			2,99
08:36:00	2,01	08:26:00	1,37	08:28:00			3,04
08:37:00	2,01	08:27:00	1,53	08:29:00			3,03
08:38:00	1,98	08:28:00	1,65	08:30:00			3,01
08:39:00	1,93	08:29:00	1,72	08:31:00			2,98
08:40:00	1,91	08:30:00	1,73	08:32:00			2,86
08:41:00	1,95	08:31:00	1,78	08:33:00			2,72
08:42:00	1,98	08:32:00	1,85	08:34:00			2,67
08:43:00	2,00	08:33:00	1,93	08:35:00			2,77
08:44:00	1,98	08:34:00	1,97	08:36:00			2,91
08:45:00	2,00	08:35:00	1,97	08:37:00			3,01
08:46:00	1,99	08:36:00	1,94	08:38:00			3,10
08:47:00	1,98	08:37:00	1,96	08:39:00			3,13
08:48:00	1,95	08:38:00	1,98	08:40:00			3,09
08:49:00	1,95	08:39:00	2,02	08:41:00			3,05
08:50:00	2,02	08:40:00	1,99	08:42:00			3,01
08:51:00	2,18	08:41:00	1,98	08:43:00			2,99
08:52:00	2,23	08:42:00	1,92	08:44:00			3,07
08:53:00	2,12	08:43:00	1,91	08:45:00			3,23
08:54:00	2,02	08:44:00	1,88	08:46:00			3,44
08:55:00	2,01	08:45:00	1,94	08:47:00			3,61
08:56:00	2,03	08:46:00	2,01	08:48:00			3,75
08:57:00	2,03	08:47:00	2,04	08:49:00			3,76
08:58:00	2,03	08:48:00	2,04	08:50:00			3,70
08:59:00	2,01	08:49:00	2,08	08:51:00			3,65
09:00:00	1,98	08:50:00	2,11	08:52:00			3,67
09:01:00	2,01	08:51:00	2,10	08:53:00			3,74
09:02:00	2,04	08:52:00	2,04	08:54:00			3,92
09:03:00	2,02	08:53:00	1,96	08:55:00			4,03
09:04:00	2,04	08:54:00	1,87	08:56:00			4,07
09:05:00	2,06	08:55:00	1,81	08:57:00			4,13
09:06:00	2,06	08:56:00	1,83	08:58:00			4,20
09:07:00	2,03	08:57:00	1,95	08:59:00			4,27
09:08:00	2,00	08:58:00	2,00	09:00:00			4,24
09:09:00	1,96	08:59:00	1,96	09:01:00			4,28
09:10:00	1,98	09:00:00	1,91	09:02:00			4,30
09:11:00	2,02	09:01:00	1,90	09:03:00			4,32
09:12:00	2,05	09:02:00	1,89	09:04:00			4,30
09:13:00	2,03	09:03:00	1,87	09:05:00			4,32
09:14:00	2,02	09:04:00	1,87	09:06:00			4,44
09:15:00	1,96	09:05:00	1,89	09:07:00			4,50
09:16:00	1,95	09:06:00	1,92	09:08:00			4,40
09:17:00	1,96	09:07:00	1,94	09:09:00			4,17
09:18:00	2,00	09:08:00	1,96	09:10:00			4,02
09:19:00	2,01	09:09:00	1,99	09:11:00			4,08
09:20:00	2,05	09:10:00	2,07	09:12:00			4,18
09:21:00	2,06	09:11:00	2,00	09:13:00			4,22
09:22:00	2,04	09:12:00	1,97	09:14:00			4,22
09:23:00	2,04	09:13:00	1,93	09:15:00			4,26
09:24:00	2,03	09:14:00	1,88	09:16:00			4,30
09:25:00	2,05	09:15:00	1,78	09:17:00			4,25
09:26:00	2,00	09:16:00	1,81	09:18:00			4,25
09:27:00	2,01	09:17:00	1,99	09:19:00			4,23
09:28:00	1,99	09:18:00	2,07	09:20:00			4,18
09:29:00	2,01	09:19:00	2,06	09:21:00			4,18
09:30:00	2,03	09:20:00	1,95	09:22:00			4,27

09:31:00	2,08	09:21:00	1,90	09:23:00	4,31
09:32:00	2,08	09:22:00	1,84	09:24:00	4,23
09:33:00	2,04	09:23:00	1,82	09:25:00	4,24
09:34:00	2,05	09:24:00	1,84	09:26:00	4,34
09:35:00	2,09	09:25:00	1,92	09:27:00	4,37
09:36:00	2,11	09:26:00	1,98	09:28:00	4,28
09:37:00	2,01	09:27:00	1,99	09:29:00	4,14
09:38:00	1,94	09:28:00	1,99	09:30:00	4,13
09:39:00	1,90	09:29:00	2,08	09:31:00	4,19
09:40:00	1,89	09:30:00	2,12	09:32:00	4,15
09:41:00	1,92	09:31:00	2,08	09:33:00	4,16
09:42:00	1,97	09:32:00	2,02	09:34:00	4,21
09:43:00	1,99	09:33:00	1,97	09:35:00	4,24
09:44:00	1,99	09:34:00	1,89	09:36:00	4,17
09:45:00	1,97	09:35:00	1,82	09:37:00	4,12
09:46:00	1,99	09:36:00	1,93	09:38:00	4,21
09:47:00	2,00	09:37:00	2,05	09:39:00	4,24
09:48:00	2,02	09:38:00	2,08	09:40:00	4,19
09:49:00	1,97	09:39:00	2,02	09:41:00	4,16
09:50:00	1,92	09:40:00	2,02	09:42:00	4,20
09:51:00	1,87	09:41:00	1,94	09:43:00	4,25
09:52:00	1,92	09:42:00	1,87	09:44:00	4,25
09:53:00	1,93	09:43:00	1,82	09:45:00	4,16
09:54:00	1,89	09:44:00	1,81	09:46:00	4,14
09:55:00	1,85	09:45:00	1,85	09:47:00	4,16
09:56:00	1,90	09:46:00	2,00	09:48:00	4,21
09:57:00	1,95	09:47:00	2,11	09:49:00	4,17
09:58:00	2,05	09:48:00	2,08	09:50:00	4,07
09:59:00	2,12	09:49:00	1,99	09:51:00	4,02
10:00:00	2,17	09:50:00	1,97	09:52:00	4,14
10:01:00	2,12	09:51:00	2,00	09:53:00	4,16
10:02:00	2,04	09:52:00	2,03	09:54:00	4,06
10:03:00	1,99	09:53:00	2,01	09:55:00	4,07
10:04:00	1,97	09:54:00	1,94	09:56:00	4,22
10:05:00	2,00	09:55:00	1,91	09:57:00	4,30
10:06:00	2,01	09:56:00	1,90	09:58:00	4,26
10:07:00	1,99	09:57:00	1,95	09:59:00	4,17
10:08:00	1,97	09:58:00	2,03	10:00:00	4,13
10:09:00	2,00	09:59:00	2,09	10:01:00	4,07
10:10:00	2,07	10:00:00	2,06	10:02:00	4,06
10:11:00	2,09	10:01:00	2,05	10:03:00	4,15
10:12:00	2,08	10:02:00	2,04	10:04:00	4,16
10:13:00	2,10	10:03:00	1,99	10:05:00	4,12
10:14:00	2,11	10:04:00	1,96	10:06:00	4,14
10:15:00	2,07	10:05:00	1,95	10:07:00	4,19
10:16:00	2,00	10:06:00	1,92	10:08:00	4,19
10:17:00	2,02	10:07:00	1,87	10:09:00	4,11
10:18:00	2,02	10:08:00	1,87	10:10:00	4,12
10:19:00	2,01	10:09:00	1,87	10:11:00	4,19
10:20:00	1,98	10:10:00	1,88	10:12:00	4,20
10:21:00	2,02	10:11:00	1,92	10:13:00	4,14
10:22:00	2,05	10:12:00	2,04	10:14:00	4,10
10:23:00	2,05	10:13:00	2,15	10:15:00	4,10
10:24:00	1,99	10:14:00	2,17	10:16:00	4,15
10:25:00	1,97	10:15:00	2,13	10:17:00	4,12
10:26:00	1,98	10:16:00	2,10	10:18:00	4,08
10:27:00	2,01	10:17:00	2,11	10:19:00	4,04
10:28:00	2,03	10:18:00	2,08	10:20:00	4,17
10:29:00	2,06	10:19:00	2,01	10:21:00	4,22
10:30:00	2,03	10:20:00	1,94	10:22:00	4,21

10:31:00	2,02	10:21:00	1,85	10:23:00	4,13
10:32:00	2,05	10:22:00	1,80	10:24:00	4,19
10:33:00	2,08	10:23:00	1,78	10:25:00	4,20
10:34:00	2,09	10:24:00	1,82	10:26:00	4,22
10:35:00	2,04	10:25:00	1,82	10:27:00	4,26
10:36:00	2,01	10:26:00	1,82	10:28:00	4,28
10:37:00	1,99	10:27:00	1,86	10:29:00	4,25
10:38:00	1,98	10:28:00	1,94	10:30:00	4,16
10:39:00	2,00	10:29:00	1,95	10:31:00	4,09
10:40:00	2,00	10:30:00	1,94	10:32:00	4,09
10:41:00	2,01	10:31:00	1,88	10:33:00	4,16
10:42:00	1,99	10:32:00	1,84	10:34:00	4,29
10:43:00	1,98	10:33:00	1,84	10:35:00	4,36
10:44:00	1,98	10:34:00	1,93	10:36:00	4,38
10:45:00	2,01	10:35:00	1,95	10:37:00	4,25
10:46:00	2,04	10:36:00	1,89	10:38:00	4,09
10:47:00	2,00	10:37:00	1,85	10:39:00	4,02
10:48:00	1,96	10:38:00	1,93	10:40:00	4,09
10:49:00	1,97	10:39:00	2,03	10:41:00	4,19
10:50:00	2,02	10:40:00	1,97	10:42:00	4,17
10:51:00	2,01	10:41:00	1,88	10:43:00	4,08
10:52:00	2,00	10:42:00	1,86	10:44:00	4,07
10:53:00	2,03	10:43:00	1,89	10:45:00	4,15
10:54:00	2,04	10:44:00	1,92	10:46:00	4,21
10:55:00	1,96	10:45:00	1,96	10:47:00	4,18
10:56:00	1,92	10:46:00	2,03	10:48:00	4,16
10:57:00	1,91	10:47:00	2,06	10:49:00	4,20
10:58:00	2,02	10:48:00	2,03	10:50:00	4,27
10:59:00	2,07	10:49:00	2,01	10:51:00	4,26
11:00:00	2,06	10:50:00	1,99	10:52:00	4,26
11:01:00	1,98	10:51:00	1,99	10:53:00	4,33
11:02:00	1,95	10:52:00	1,99	10:54:00	4,30
11:03:00	1,94	10:53:00	2,03	10:55:00	4,23
11:04:00	1,97	10:54:00	2,10	10:56:00	4,21
11:05:00	2,00	10:55:00	2,12	10:57:00	4,28
11:06:00	2,02	10:56:00	2,03	10:58:00	4,27
11:07:00	1,99	10:57:00	1,93	10:59:00	4,17
11:08:00	2,00	10:58:00	1,89	11:00:00	4,19
11:09:00	1,96	10:59:00	1,93	11:01:00	4,27
11:10:00	1,94	11:00:00	1,97	11:02:00	4,28
11:11:00	1,95	11:01:00	2,03	11:03:00	4,26
11:12:00	1,97	11:02:00	2,04	11:04:00	4,27
11:13:00	1,99	11:03:00	2,02	11:05:00	4,32
11:14:00	1,97	11:04:00	1,99	11:06:00	4,20
11:15:00	1,96	11:05:00	1,99	11:07:00	4,12
11:16:00	1,96	11:06:00	2,00	11:08:00	4,17
11:17:00	2,02	11:07:00	1,99	11:09:00	4,23
11:18:00	2,07	11:08:00	1,93	11:10:00	4,18
11:19:00	2,06	11:09:00	1,91	11:11:00	4,16
11:20:00	2,04	11:10:00	1,91	11:12:00	4,29
11:21:00	2,04	11:11:00	1,94	11:13:00	4,33
11:22:00	2,05	11:12:00	1,95	11:14:00	4,29
11:23:00	2,04	11:13:00	1,98	11:15:00	4,27
11:24:00	1,98	11:14:00	2,02	11:16:00	4,21
11:25:00	1,96	11:15:00	2,01	11:17:00	4,10
11:26:00	2,00	11:16:00	2,02	11:18:00	4,09
11:27:00	2,02	11:17:00	2,04	11:19:00	4,16
11:28:00	2,03	11:18:00	2,05	11:20:00	4,25
11:29:00	2,00	11:19:00	1,98	11:21:00	4,31
11:30:00	1,99	11:20:00	1,98	11:22:00	4,30
11:31:00	2,03	11:21:00	1,98	11:23:00	4,27
11:32:00	2,06	11:22:00	2,01	11:24:00	4,33
11:33:00	2,07	11:23:00	2,02	11:25:00	4,31
11:34:00	2,00	11:24:00	2,03	11:26:00	4,25
11:35:00	1,92	11:25:00	2,01	11:27:00	4,07
11:36:00	1,87	11:26:00	2,02	11:28:00	4,05
11:37:00	1,87	11:27:00	2,02	11:29:00	4,14
11:38:00	1,96	11:28:00	2,04	11:30:00	4,26
11:39:00	2,01	11:29:00	2,02	11:31:00	4,26
Mittelwert ZL:	2,01	Mittelwert ZL:	1,94	Mittelwert ZL:	4,03
Mittelwert AB:	2,01	Mittelwert AB:	1,96	Mittelwert AB:	4,07