



Schlussbericht

Verbundprojekt OEMP **Optimierte Materialien und Verfahren zur Entfernung** **von Mikroplastik aus dem Wasserkreislauf**

Teilprojekt
Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

Zuwendungsempfänger:
Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH

Förderkennzeichen: 03XP0045C

Fördermaßnahme:	MachWas - Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft
Verbundprojekt:	OEMP: Optimierte Materialien und Verfahren zur Entfernung von Mikroplastik aus dem Wasserkreislauf
Teilprojekt:	Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH
Laufzeit:	01.04.2016 bis 31.03.2018, kostenneutral verlängert bis 30.09.2018
Selbstkosten:	68.328 € (Nachkalkulation)
Zuwendung:	54.663 € (80% Förderquote)
Kontakt:	Kompetenzzentrum Wasser Berlin Cicerostr. 24, 10709 Berlin Dr. Ulf Miehe Tel.: +49 30 53653 806 E-Mail: ulf.miehe@kompetenz-wasser.de www.kompetenz-wasser.de
Autoren dieses Berichtes:	Andreas Matzinger Jeannette Jährig Ulf Miehe

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Wichtiger rechtlicher Hinweis

Haftungsausschluss: Die in dieser Publikation bereitgestellte Information wurde zum Zeitpunkt der Erstellung im Konsens mit den bei Entwicklung und Anfertigung des Dokumentes beteiligten Personen als technisch einwandfrei befunden. KWB schließt vollumfänglich die Haftung für jegliche Personen-, Sach- oder sonstige Schäden aus, ungeachtet ob diese speziell, indirekt, nachfolgend oder kompensatorisch, mittelbar oder unmittelbar sind oder direkt oder indirekt von dieser Publikation, einer Anwendung oder dem Vertrauen in dieses Dokument herrühren. KWB übernimmt keine Garantie und macht keine Zusicherungen ausdrücklicher oder stillschweigender Art bezüglich der Richtigkeit oder Vollständigkeit jeglicher Information herein. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die in der Publikation gegebenen Informationen und Ergebnisse aufgrund nachfolgender Änderungen nicht mehr aktuell sein können. Weiterhin lehnt KWB die Haftung ab und übernimmt keine Garantie, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen der Erfüllung Ihrer besonderen Zwecke oder Ansprüche dienlich sind. Mit der vorliegenden Haftungsausschlussklausel wird weder bezweckt, die Haftung der KWB entgegen den einschlägigen nationalen Rechtsvorschriften einzuschränken noch sie in Fällen auszuschließen, in denen ein Ausschluss nach diesen Rechtsvorschriften nicht möglich ist.

INHALTSVERZEICHNIS

I.	Kurze Darstellung	4
I.1	Aufgabenstellung	4
I.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	5
I.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	5
I.4	Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand	6
I.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	6
II.	Eingehende Darstellung	7
II.1	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	7
II.2	Verwendung der Zuwendung	7
II.3	Resultate der Forschungsvorhabens.....	7
II.4	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	22
II.5	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	22
II.6	Darstellung des voraussichtlichen Nutzens.....	22
II.7	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	24
II.8	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	24
III.	Literatur.....	25
IV.	Anhang.....	26
IV.1	Übersicht Probenahmen	26
IV.2	Messergebnisse.....	27

I. KURZE DARSTELLUNG

I.1 Aufgabenstellung

Seit der industriellen Großproduktion von synthetischen Polymeren Mitte des letzten Jahrhunderts steigt die Produktion von Plastik jährlich um etwa 8,4% an, 1950 waren es noch weltweit zwei Millionen Tonnen, im Jahr 2015 waren es bereits 380 Millionen Tonnen. (Geyer et al. 2017a; Geyer et al. 2017b; PlasticsEurope 2017). Durch die vielseitigen Materialeigenschaften, der einfachen und flexiblen Formgebung bei gleichzeitig geringen Materialkosten sind Kunststoffe in allen Bereichen der Materialanwendung präsent.

Seit rund 70 Jahren wurden so etwa 8,3 Milliarden Tonnen produziert, bis zum Jahr 2015 fielen dadurch weltweit etwa 6,3 Milliarden Tonnen Plastikmüll an, davon wurden nur 9% wiederverwertet, 12% verbrannt und 79% deponiert oder gelangten in die Umwelt. Zukünftig werden sogar noch weitere Steigerungen erwartet (Geyer et al. 2017a).

Kunststoffe in der Umwelt, werden nach ihrer Größe in Makro-, Meso- und Mikroplastik klassiert, wobei diese Klassen übergangslos miteinander verbunden sind. Makroplastik wird durch mechanische, physiko-chemische oder biologische Prozesse auf lange Sicht zu Meso- und dann zu Mikroplastik fragmentieren. Bei Mikroplastik handelt es sich um kleine Kunststoffpartikel, die mittlerweile in allen Umweltmedien und verschiedenen Biota nachgewiesen wurden (Browne et al. 2008; Carpenter et al. 1972; Moore 2008; Rillig 2012). Es wurde auch bereits über Funde in Lebensmitteln (Liebezeit & Liebezeit 2013) und selbst im menschlichen Stuhl (Schwabl et al. 2018) berichtet.

Hier setzte das Projekt „Optimierte Materialien und Verfahren zur Entnahme von Mikroplastik aus dem Wasserkreislauf“ an. Innerhalb des Projektes erfolgte die (Weiter)Entwicklung neuer Materialien und Verfahrenstechnik, um den Rückhalt von unterschiedlichen Mikroplastikpartikeln (Größe, Form, Material) aus verschiedenen Eintragspfaden der Siedlungswasserwirtschaft zu gewährleisten und damit eine nachhaltige Wasserwirtschaft umzusetzen. Dazu war eine Qualitätssicherung notwendig, mit der die verschiedenen technischen und natürlichen Systeme hinsichtlich ihrer Rückhaltung untersucht werden konnten. Entscheidender Bestandteil ist dabei eine quantitativ auswertbare Untersuchungsmethodik, die zum Projektstart noch nicht vorlag (Hidalgo-Ruz et al. 2012).

Da Mikroplastik (MP) derzeit noch nicht mit Verfahren nach dem Stand der Technik gezielt aus Abwasser entfernt wird, bestand die Herausforderung darin, Lösungen aufzuzeigen um Kunststoffpartikel unterschiedlichster Art, Form und Dichte aus dem Wasserkreislauf zu separieren. In diesem Projekt wurden bestehende Filtermaterialien aus dem Bereich der Abwasserreinigung gezielt für den Rückhalt von Mikroplastik weiterentwickelt.

Ziel

Ziel des Projektes war die Entwicklung innovativer Materialien und Verfahren zur Separation von Mikroplastik aus Kläranlagenabläufen, Mischwasserüberläufen und Straßenabflusswasser. Praktische Versuche sollten Handhabbarkeit und Leistungsgrenzen bestimmen und beschreiben, hierzu wurden Untersuchungen an einem Teststand und in situ Versuche auf einer Berliner Kläranlage und an Straßenabflüssen durchgeführt. Die hierfür benötigten Untersuchungsmethodik, sowie Bewertungsansätze zur Beurteilung der Reinigungsverfahren wurden ebenfalls innerhalb des Projektes entwickelt.

Arbeitsschwerpunkte

Im Rahmen des Projektes wurden untersucht, welchen Anteil Mikroplastikpartikel in den verschiedenen Abwasserströmen ausmachen. Außerdem wurden geeignete Materialien (weiter)entwickelt um eben diese zurückzuhalten. Folgende Eintragspfade wurden untersucht:

- I. Straßenregenwasserabläufe
- II. Mischwasserüberläufe
- III. Kläranlagenabläufe

Das Kompetenzzentrum Wasser Berlin verfolgte dabei die folgenden Ziele:

Schwerpunkt Arbeitspaket 3.2

- die Durchführung von Pilotversuchen mit den (weiter)entwickelten Materialien zur Ermittlung des Mikroplastikrückhalts
- der Vergleich des Rückhalts von Mikroplastik mit dem Rückhalt anderen abwasserchemischer Parameter, um Betreibern eine einfache Überwachung zu ermöglichen
- die Optimierung des Rückhalts durch Anpassung der Betriebseinstellungen
- der Vergleich von Filtermaterialien für den Rückhalt von Mikroplastik aus Kläranlagenabläufen

Schwerpunkt Arbeitspaket 6

- die Erstellung einer Stoffstrombilanz (aufbauend auf den Ergebnissen der anderen Arbeitspakete), um die Mikroplastik-Einträge aus Kläranlagenabläufen, Regenwasser und Mischwasser miteinander zu vergleichen

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben OEMP wurde im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – MachWas“ durchgeführt, welches die Erforschung und Entwicklung von Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft unterstützt.

Im Bereich der Umweltverschmutzung durch Mikroplastik besteht noch ein sehr großer Forschungsbedarf. Die Probenahme, Probenvorbereitung, Probenanalyse sowie die Auswertung der Laboranalysen waren bis zum Start dieses Projektes nicht standardisiert, somit waren ermittelte Daten nur schwer untereinander und mit anderen Studien vergleichbar. Außerdem sind das Ausmaß der Verunreinigung, die Eintragspfade, sowie die Auswirkungen auf Mensch und Natur durch die Mikroplastikverschmutzungen noch nicht ausreichend untersucht.

Das vorliegende Projekt OEMP sollte das Wissen in folgenden Punkten erweitern:

- Standardisierung der Probenahme, Probenvorbereitung, Probenanalyse sowie die Auswertung der Laboranalysen
- Schaffung einer vergleichbaren Analytik
- Untersuchung und Bewertung der Eintragspfade aus der Siedlungswasserwirtschaft
- (Weiter)entwicklung von Materialien und Technologien zur Entfernung von Mikroplastik aus den Strömen der Siedlungswasserwirtschaft (insbesondere aus Kläranlagenabläufen, Mischwasserüberläufen und Straßenabflusswasser)
- Bewertung der Materialien und Technologien

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

OEMP startete am 01.04.2016, die Auftaktveranstaltung zum Projekt fand am 28.04.2016 in Berlin statt. Die Durchführung des Forschungsvorhabens folgte den im Projektantrag beschriebenen Arbeitspaketen. Die Bearbeitung der einzelnen Arbeitspakete wurde in den Zwischenberichten dokumentiert. Eine Übersicht der Veranstaltungen des Projektes ist in Tabelle 1 zusammengestellt. Zusätzlich zu den Projekttreffen mit allen Projektpartnern wurden kleinere Arbeitstreffen zwischen einzelnen Partnern durchgeführt, um z.B. den konkreten Ablauf der Probenahme oder Versuchsdurchführung zu besprechen oder Daten auszutauschen.

Die Arbeiten am KWB starteten mit Arbeitspaket 3.2. Es wurden zur Validierung und Demonstration des Rückhalts von Mikroplastik durch die in AP 2 entwickelten bzw. angepassten Filtermaterialien für insgesamt 17 Monate Pilotversuche unter realen Bedingungen auf der Kläranlage Ruhleben durchgeführt. Ziel des Arbeitspaketes war es, den Rückhalt von Mikroplastik im Pilotmaßstab zu quantifizieren, den Einfluss von Betriebsbedingungen auf den MP-Rückhalt zu ermitteln und eine Optimierung des Betriebs durchzuführen.

Im ersten Projekthalbjahr wurden dazu vorbereitende Arbeiten wie Ortsplanung, Planung der verfahrenstechnische Einbindung, elektrische Versorgung und Planung der Schlauch- und Rohrleitungen durchgeführt. Die Inbetriebnahme der Mecana-Anlage erfolgte am 27.10.2016.

Im zweiten Projekthalbjahr erfolgte der Aufbau und die Inbetriebnahme der Invent-Anlage am 14./15.12.2016. Danach folgten Vorversuche zur Probenahme (für allgemeine Wasserparameter und Partikel), wie auch Vorversuche zu den Messungen selbst. Anschließend starteten die ersten Probenahmen für beide Anlagen (jeweils erstes zu untersuchendes Filtermaterial) mit Messungen zu allgemeinen Wasserparametern und Partikel, sowie Auswertung dieser Daten. Durch das UBA wurde am 16.02.2017 eine „Demonstration der Probenahme für Mikroplastik“ durchgeführt.

In diesem Zeitraum wurde festgestellt, dass für die Optimierung der Verfahren und Materialien das Probenahmekonzept für Fraktionen < 50 µm weiterentwickelt werden muss, um die optimierten Materialien hinreichend bewerten zu können. Zusätzlich wurde durch anlagentechnische Betriebsstörungen den Probetrieb verzögert. Aus den genannten Gründen wurde eine Projektverlängerung von 6 Monaten notwendig, um die Projektziele zu erreichen. Da dem KWB aufgrund anderer FE-Vorhaben ab Mai 2017 keine personellen Kapazitäten mehr zur Verfügung standen, um den Betrieb der Filteranlagen zu

gewährleisten, wurde zwischen TUB und KWB haben daher vereinbart, die Betreuung der Anlagen an der Messstelle Ruheleben an den Projektpartner TUB abzugeben. Das KWB war nur noch unterstützend tätig. Der Anlagenbetrieb wurde am 09.05.2017 vom KWB an die TUB übergeben.

Die Arbeiten des Arbeitspaketes 6 bauen auf den Ergebnissen der anderen Arbeitspakete auf. Diese starteten, auch auf Grund der Projektverlängerung, im dritten Projekthalbjahr mit der Erstellung eines erster Ansatzes für ein Bilanzmodell Mikroplastik.

Im vierten Projekthalbjahr erfolgte dann eine erste Anwendung des Bilanzmodells Mikroplastik für Berlin. Hierfür wurden erste validierte Messdaten für Mikroplastik, gemessen von der BAM im Rahmen von OEMP, verwendet.

Tabelle 1: Veranstaltungen des Projektes OEMP

Datum	Ort	Kategorie	Bezeichnung
28.04.2016	Berlin	Arbeitstreffen	OEMP Projekt Kick-Off
08.11.2016	Berlin	Arbeitstreffen	OEMP 2. Projekttreffen
28.03.2017	Berlin	Arbeitstreffen	OEMP 3. Projekttreffen
27.09.2017	Berlin	Arbeitstreffen	OEMP 4. Projekttreffen
21.02.2018	Düren	Arbeitstreffen	OEMP 5. Projekttreffen
20.06.2018	Berlin	Arbeitstreffen	OEMP 6. Projekttreffen
18.09.2018	Berlin	Arbeitstreffen	OEMP Abschlusstreffen

I.4 Anknüpfung an den wissenschaftlichen und technischen Stand

Verfahrensvergleiche:

- Vergleich von Zweischichtfilter, Mikrosieb und Membranfiltration zur Phosphorentfernung und Feststoffrückhalt mittels klassischer Parameter wie Suspendierte Stoffe und Trübung und innovative Messverfahren wie Partikelzählung (1-100 µm) und Nanopartikelmessung (Projekt OXERAM, (Langer et al. 2011; Schulz et al. 2012)),
- Viele dieser Arbeiten fanden auf der Kläranlage Ruheleben statt, die auch für dieses Projekt ausgewählt wurde. Dies erleichtert die Arbeiten vor Ort und auch den Vergleich u.a. des Feststoffrückhalts mit bereits in anderen Projekten untersuchten Verfahren.

Stoffstrommodellierung:

- Mikroplastikbilanz auf Basis eines vereinfachten Emissionsmodells für den Bilanzraum Berlin, Eintragspfade Klärwerksablauf, Mischwasserüberläufe und Niederschlagswasser (Regenwasser) (Matzinger et al. submitted; Matzinger et al. 2015; Wicke et al. 2017)
- Rückhalt von Mikroplastik im Klärwerk aufgrund internationaler Literatur (Mason et al. 2016; Murphy et al. 2016; Talvitie et al. 2017)
- Einordnung der Ergebnisse mit geschätzten Brutto-Emissionen (Bertling et al. 2018) und Transferraten in die Gewässer (Jambeck et al. 2015; Lassen et al. 2015)

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während des Pilotbetriebes auf dem Klärwerk Ruheleben erfolgte eine enge Zusammenarbeit und Absprachen zu Betrieb und Versuchsplanung mit den Herstellern der Pilotanlagen und Filtermedien (Verbundpartner GKD und Invent und assoziierter Partner Mecana).

Die Entwicklung der Probenahme-Strategien erfolgte gemeinsam mit den Verbundpartnern TUB, BAM und UBA. Die Probenaufbereitung und Analyse des MP-Gehalts wurden von BAM und UBA durchgeführt.

Für die Stoffstrombilanz wurden alle Messdaten aus AP3.1-3.3 gemeinsam mit allen Forschungspartnern diskutiert. Als Ergebnis dieser Diskussion wurden zwei Bilanzansätze für den Regenwasserabfluss angewendet (siehe II.1 unten).

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

II.2 Verwendung der Zuwendung

Die Zuwendungen wurden am KWB insbesondere für Personalmittel verwendet:

- Etwa 70% für die Arbeiten im Arbeitspaket 3.2
- Etwa 30% für die Arbeiten im Arbeitspaket 6

Sachkosten fielen für Verbrauchsmaterial sowie für Reisen an.

II.3 Resultate der Forschungsvorhabens

Das wissenschaftliche Ziel des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundforschungsprojektes OEMP (Optimierte Materialien und Verfahren zur Entfernung von Mikroplastik aus dem Wasserkreislauf) war die Entwicklung innovativer Materialien und Verfahren zur Separation von Mikroplastik aus Kläranlagenabläufen, Mischwasserüberläufen und Straßenabflusswasser.

Hierzu wurde im einem ersten Schritt die Harmonisierung der Probenahme, der Probenvorbereitung, der Probenanalyse sowie die Auswertung der Laboranalysen durchgeführt. Dies ermöglichte dann quantitative Aussagen zu Gehalten von Mikroplastik in verschiedenen Umweltmedien (Wasser, Feststoffe) und eine Beurteilung der (weiter)entwickelten Reinigungsverfahren.

Gleichzeitig wurden für den Bereich des Mischwasserüberlaufs, des Kläranlagenablaufs sowie des Niederschlagswassers aus der Trennkanalisation neuartige, auf den Rückhalt von Mikroplastik ausgelegte, Hochleistungstressengewebe des Partners GKD entwickelt. Die neuen Filtermaterialien wurden in ein speziell für dieses Forschungsvorhaben modifiziertes Scheibenfilterkonzept der Firma Invent eingebaut. Für den Eintragspfad der Straßenregenwasserabläufe wurden zwei verschiedene dezentrale Reinigungssysteme der Firmen MeierGuss und Funke weiterentwickelt. Die entsprechenden Filtermaterialien wurden neu konfektioniert.

Im folgenden Schritt wurden die neuen Hochleistungstressengewebe für Kläranlagenablauf im Klärwerk Ruhleben getestet. Zusätzlich wurde ein speziell auf den Rückhalt von Mikroplastik angepasstes Filtertuch der Firma Mecana zum Vergleich, als bewährtes Verfahren der Tuchfiltration gegenüber gestellt. Die Systeme wurden danach ebenfalls für den Mischwasserüberlauf getestet.

Die Reinigungssysteme für Straßenregenwasserabläufe wurden unter Zugabe von definierte Mengen an Mikroplastik zunächst an einem speziell darauf ausgelegten Teststand der TU Berlin getestet, später unter realen Bedingungen auch im Feld.

Die in OEMP entwickelten Methoden der Probenahme und Analytik sind für weitere Untersuchungen und für den Vergleich von gewonnenen Messwerten untereinander sehr gut geeignet.

Um eine integrierte Gesamtsystembetrachtung zu ermöglichen, wurde in diesem Projekt ein vorhandenes Stoffstrommodell auf Mikroplastik angepasst und auf die gewonnen Daten angewendet. So konnte der Beitrag verschiedener Eintragspfade auf die Umwelt abgeschätzt werden.

In den folgenden Abschnitten werden die Resultate des Forschungsvorhabens mit KWB-Beteiligung, nach Arbeitspaketen sortiert, vorgestellt.

Arbeitspaket 3.2

Auf dem Klärwerk Ruhleben wurden zwei Filteranlagen betrieben. Beide Anlagen wurden unabhängig voneinander durch Tauchmotorpumpen beschickt, die im Ablaufschacht der KA eingehängt sind. Hierdurch können beide Anlagen unabhängig voneinander betrieben werden. Ein Teilstrom verlässt als Filtrat die Anlagen, ein kleinerer Teil wird zur Reinigung benötigt.

In Abbildung 1 ist ein Grundfließbild der Pilotanlagen mit den jeweiligen Probenahmestellen dargestellt. Abbildung 2 zeigt die Aufstellung der Anlagen in der Versuchshalle Ruhleben.

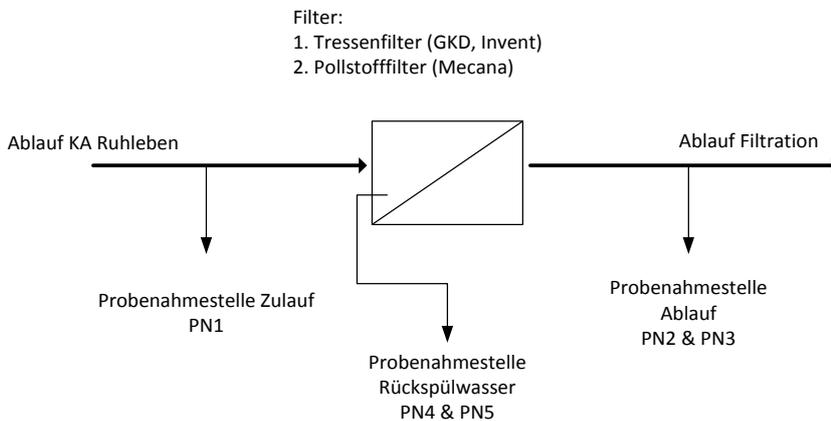


Abbildung 1: Grundfließbild Pilotanlagen



Abbildung 2: Aufstellung Pilotanlagen Mecana (links in dunkelblau) und Invent (rechts in silber) in der Versuchshalle Ruhleben

Beide Versuchsanlagen wurden für unterschiedliche Durchsätze konzipiert. Die Tabelle 2 fasst die Kenndaten der beiden Pilotanlagen zusammen.

Tabelle 2: Betriebsparameter Pilotanlagen OEMP

	Mecana	Invent UV AG
Bauart	Trommelfilter	Scheibenfilter
Filterfläche	1,17 m ²	2,9 m ²
Filtermaterial	Pollstofffilter PA, PES; eigene Fertigung	Edelstaltressenfilter Gefertigt von GKD
Maximaler Durchsatz	10 m ³ /h	150 m ³ /h
Durchsatz im Versuchszeitraum	10 m ³ /h	50 bzw. 60 m ³ /h

Während des gesamten Pilotbetriebes wurden die Betriebsparameter regelmäßig teils manuell und teils automatisch erfasst. Für die Mecana-Anlage wurden automatisch die Durchflüsse und Mengen für Zulauf und Spülwasser erfasst sowie die Anzahl der durchgeführten Spülungen. Für die Invent-Anlage wurden ebenfalls automatisch die Durchflüsse und Mengen für Zulauf und Spülwasser aufgezeichnet, zusätzlich auch der Druck des Spülwassers und der Wasserstand im Behälter.

Trommelfilter Mecana

Das Filtertuch der Mecana-Anlage ist auf einer gelochten Trommel montiert. Das Abwasser wird mittels Tauchpumpe dem Filterbehälter zugeführt. Das zu behandelnde Wasser fließt ohne weiteren Energiebedarf durch das Filtertuch in den Filtratbehälter, die Feststoffe werden vom Filtertuch zurückgehalten.

Zur Reinigung werden die abgelagerten Feststoffe über eine Absaugvorrichtung entfernt (Staubsaugerprinzip). Hierzu sind der Trommelantrieb und die Filterabsaugpumpe gleichzeitig für die Dauer einer Trommeldrehung (ca. 25 s) in Betrieb. Die Filtration wird bei der Reinigung nicht unterbrochen. In Abbildung 3 ist der Aufbau dieser Filterart dargestellt.

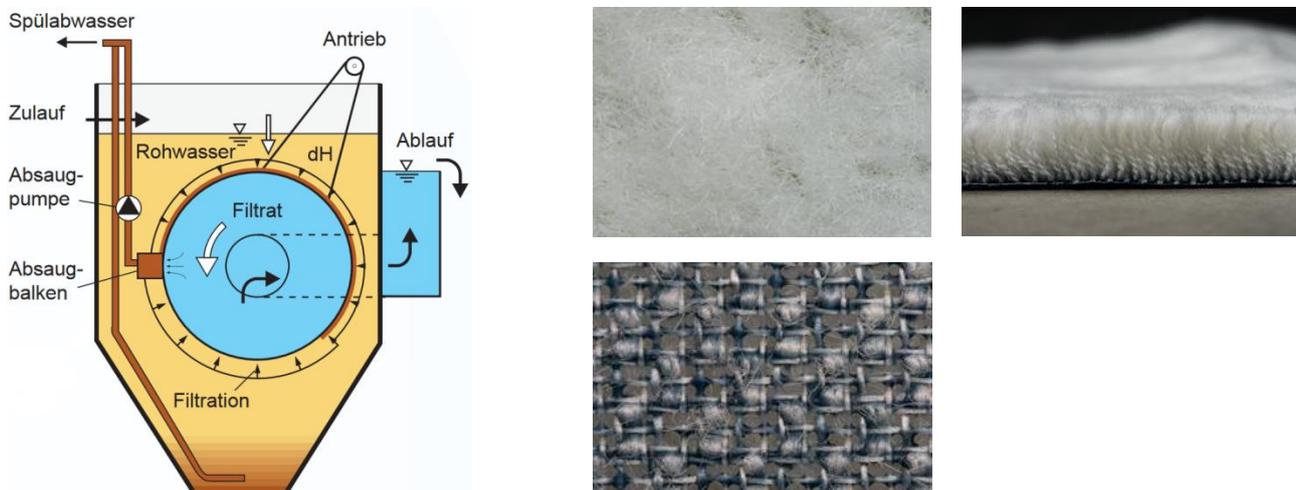


Abbildung 3: Schematischer Aufbau eines Trommelfilters (links) und Filtertuch Standard Polstofffilter PA (mitte und rechts)

Scheibenfilter Invent AG UV

Das Abwasser wird mittels Tauchpumpe in das Innere der Filterscheibe gepumpt. Das Hochleistungstressengewebe der Firma GKD ist auf dieser ständig rotierenden Filterscheibe montiert. Das zu behandelnde Wasser fließt ohne weiteren Energiebedarf durch das Tressengewebe in die Filtratwanne. Feststoffe werden vom Gewebe zurückgehalten.

Zur Reinigung wird Filtrat mittels einer Pumpe über Düsen entgegen der Filtrationsrichtung gespült, wobei die Feststoffe über die Spülwasserleitung ausgetragen werden. Die Filtration wird bei der Reinigung nicht unterbrochen. In Abbildung 4 ist der Aufbau dieses Filters dargestellt.

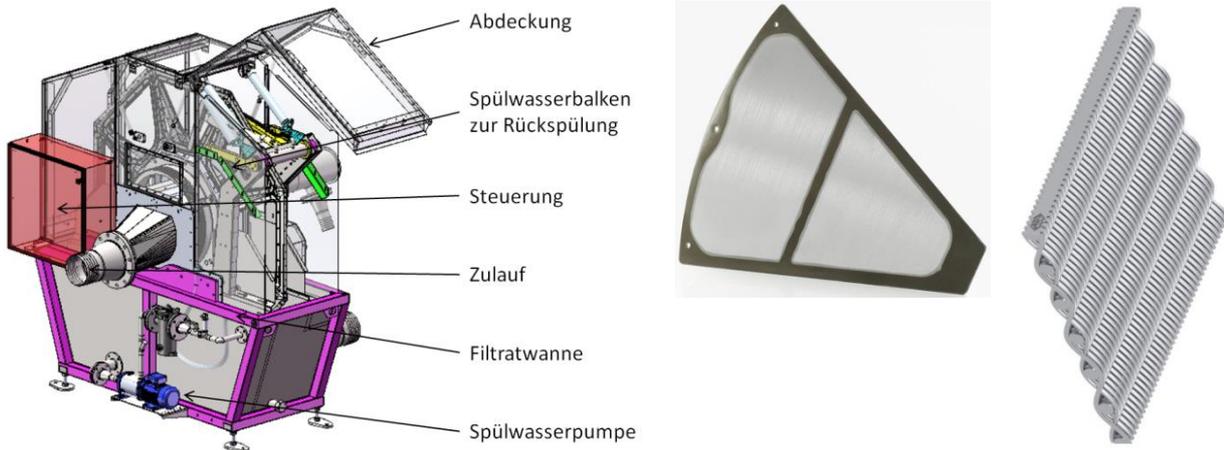


Abbildung 4: Schematischer Aufbau eines Scheibenfilters (links) und Hochleistungstressengewebe (mitte und rechts)

Im Versuchszeitraum bis Mai 2017 wurden Ergebnisse in Bezug auf das Rückhaltevermögen von Trübung, abfiltrierbaren Stoffen, CSB und Partikeln der Größe 1 – 100 µm durch das jeweils erste Filtermaterial erarbeitet. Für die Mecana-Anlage wurde zuerst ein Standardpolstofffilter PA getestet und für die Invent-Anlage ein GKD Tressengewebe 20 µm. Versuche mit weiteren Filtermaterialien wurden anschließend durch die TUB durchgeführt.

Hierfür wurden 24h-Mischproben mit einem automatischen Probenehmer gesammelt und analysiert. Zusätzlich wurden erste Tagesgänge aufgenommen. Hierfür wurde ebenfalls mittels automatischen Probenehmers 12-mal eine 2h-Mischprobe entnommen und analysiert.

Eine Übersicht aller Probenahmen und der daraus gewonnenen Daten ist im Anhang IV.1 in Tabelle 6 und Tabelle 7 aufgelistet.

Betriebsdaten

Der Volumenstrom der Mecana-Anlage liegt zwischen 8,9 und 10,4 m³/h, dies entspricht einer Filtergeschwindigkeit (Flächenbelastung) von 7,6 – 8,9 m³/(m²*h). Es werden etwa 0,3 – 1,6 % des Zulaufs für die regelmäßige Abreinigung verbraucht (siehe Abbildung 5).

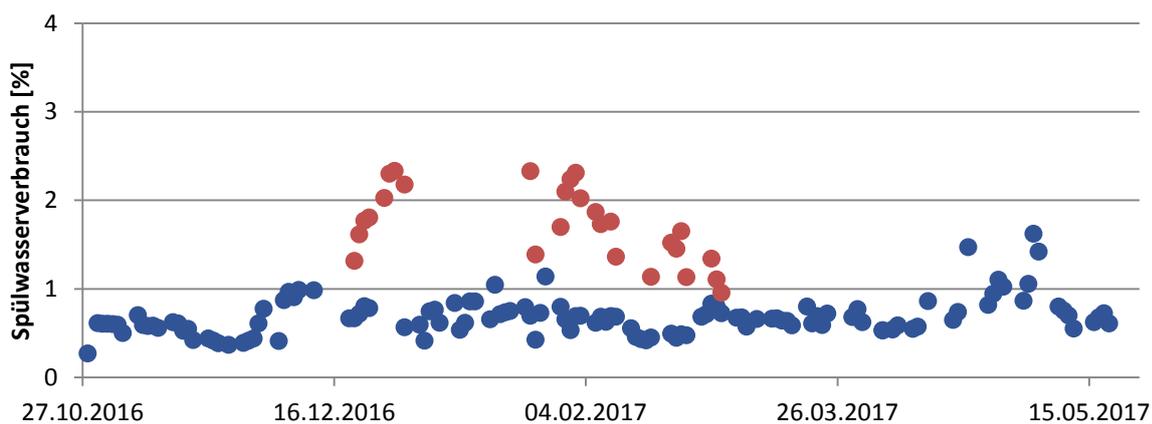


Abbildung 5: Spülwasserverbrauch [%] beider Anlagen (● – Mecana; ● - Invent)

Der Volumenstrom der Invent-Anlage betrug bei Inbetriebnahme etwa 38 m³/h und wurde wie vorgesehen zum Start der Probenahme erhöht. Er lag dann zwischen 60 und 63 m³/h. Dies entspricht einer Filtergeschwindigkeit (Flächenbelastung) von 21 – 22 m³/(m²*h). Durch ein Zusetzen des Filtermaterials musste jedoch der Volumenstrom ab März 2017 deutlich verringert werden und betrug dann zwischen 7 und

48 m³/h (3 – 17 m³/(m²*h)). Die Reinigungsversuche mit Zitronensäure und Natriumhypochlorit brachten keine ausreichenden Verbesserungen, so dass der Volumenstrom nicht wieder auf 60 m³/h eingestellt werden konnte. Der Spülwasserverbrauch betrug bis Ende März 1,0 – 2,3 % (siehe Abbildung 5). Weitere Messdaten sind im Anhang IV.2, Abbildung 18 dargestellt.

Trübung

Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse der manuellen Trübungsmessungen aller 24 h-Mischprobenahmen für beide Anlagen, jeweils Zu- und Ablauf. In dieser Zeit wurden Trübungswerte für den Zulauf der Anlagen zwischen 2,7 und 4,2 NTU gemessen.

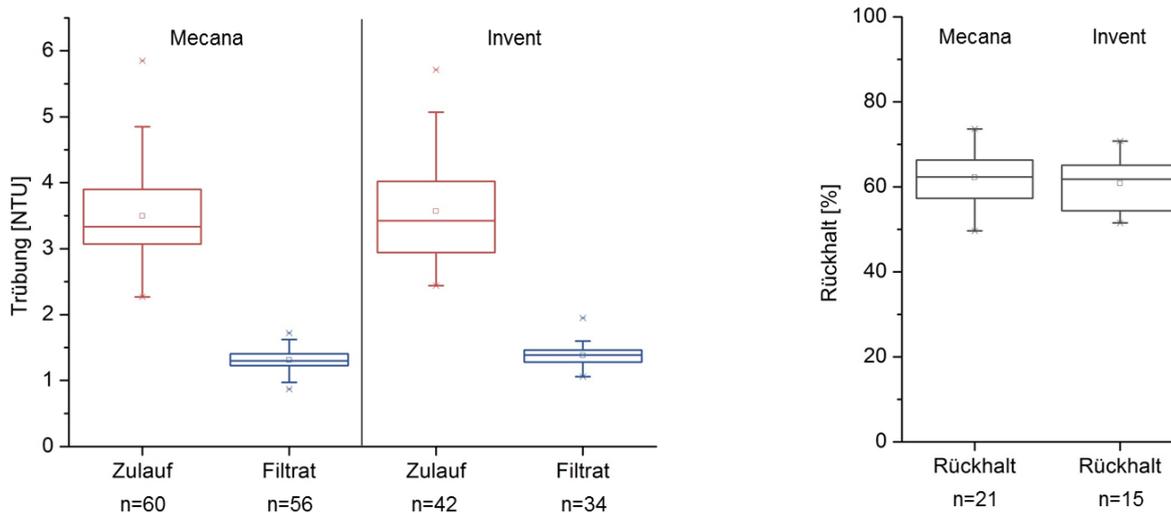


Abbildung 6: links: Trübung [NTU] für beide Anlagen (● – Zulauf; ● – Ablauf); rechts: Rückhalt der Trübung [%] für beide Anlagen

Im Filtrat beider Anlagen konnte unabhängig vom Zulaufwert eine Trübung von $\leq 1,5$ NTU erzielt werden (Mecana-Anlage: 0,9 – 1,5 NTU; Invent-Anlage 1,1 – 1,5 NTU).

Der Rückhalt an Trübung, der mit dem Filtermaterial der Mecana-Anlage erreicht werden konnte, beträgt im Mittel $62 \pm 6\%$; das Filtermaterial der Invent-Anlage konnte im Mittel $61 \pm 6\%$ zurückhalten (siehe Anhang IV.2, Abbildung 20), für beide Anlagen konnte also etwa der selbe Rückhalt für Trübung beobachtet werden.

In Abbildung 21 (siehe Anhang IV.2) ist ein Tagesgang der Mecana-Anlage dargestellt, dafür wurde jeweils eine 2 h-Mischprobe entnommen und analysiert. Deutlich erkennbar ist im Zulauf die Spitze in den Trübungswerten am Morgen, sowie noch einmal weniger stark ausgeprägt am Abend. Die Mecana-Anlage produziert davon unabhängig eine weitgehend gleichbleibende Filtratqualität. Weitere Messdaten zur Trübung sind im Anhang IV.2, in Abbildung 19 und Abbildung 20 zu sehen.

Abfiltrierbare Stoffe

Bei den Messungen im Ablauf der Kläranlage lag der Wert für abfiltrierbare Stoffe (AfS) zwischen 4,2 und 7,9 mg/L. Dies ist gleichzeitig der Zulaufwert der Anlagen. In Abbildung 7 sind die Zulauf- und Ablaufwerte sowie der Rückhalt an AfS für beide Anlagen dargestellt.

Die Mecana-Anlage konnte diese Stoffe um $68 \pm 3,6\%$ zurückhalten. Es wurden Ablaufwerte von 1,7 bis 2,9 mg/L im Filtrat erreicht.

Bei der Invent-Anlage konnte eine mittlere Entfernung dieser Stoffe von $58 \pm 14,3\%$ beobachtet werden. Die Ablaufwerte lagen hier auch etwa im selben Bereich von 1,8 bis 2,8 mg/L.

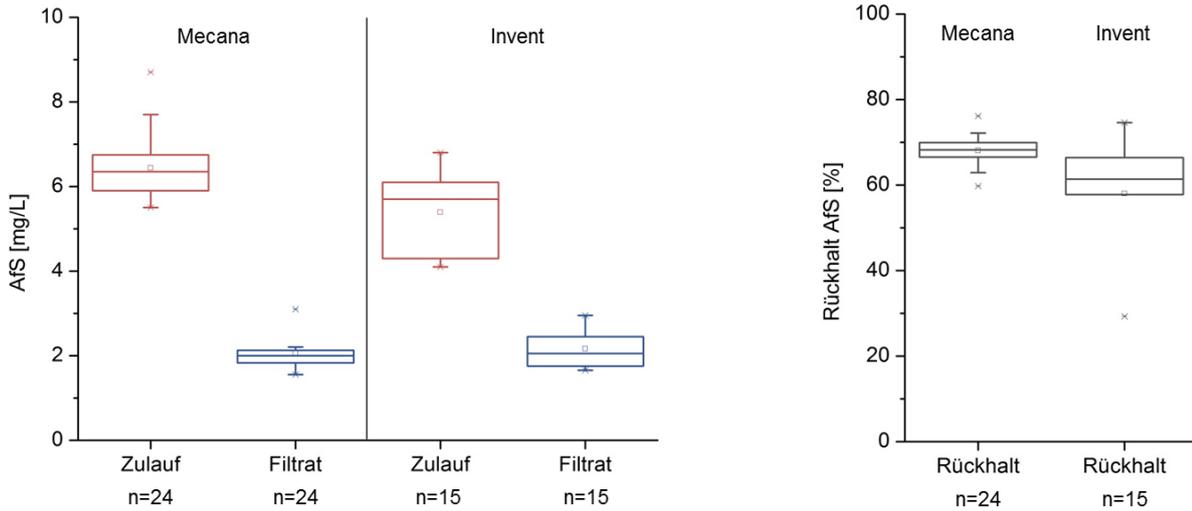


Abbildung 7: links: AFS [mg/L] für beide Anlagen (● - Zulauf; ● - Ablauf); rechts: Rückhalt des AFS [%] für beide Anlagen

In Abbildung 24 ist ein Tagesgang der Mecana-Anlage dargestellt. Wie bei dem Parameter Trübung sind auch bei den abfiltrierbaren Stoffen die Spitzen im Zulauf am Morgen, sowie noch einmal weniger stark am Abend erkennbar. Auch hinsichtlich der abfiltrierbaren Stoffe wird eine gleichbleibende Filtratqualität unabhängig von der Zulaufqualität erreicht. Für weitere Messdaten zu Afs siehe Anhang IV.2, Abbildung 22 und Abbildung 23.

CSB

In Abbildung 8 bis Abbildung 10 sind die Ergebnisse der CSB-Messungen dargestellt. Es wurden CSB-Werte des Kläranlagenablaufs zwischen 32,6 und 47,4 mg O₂/L unfiltriert und 29,8 bis 37,4 mg O₂/L filtriert gemessen. Daraus errechnet sich ein partikulärer CSB von 1,5 bis 6,4 mg O₂/L.

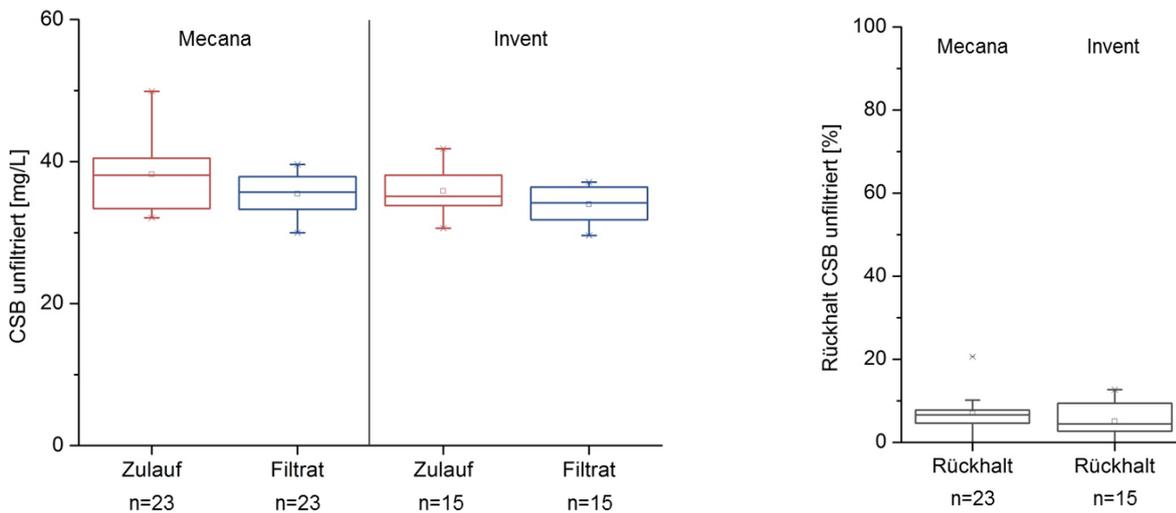


Abbildung 8: links: CSB unfiltriert [mg/L] für beide Anlagen (● - Zulauf; ● - Ablauf); rechts: Rückhalt des CSB unfiltriert [%] für beide Anlagen

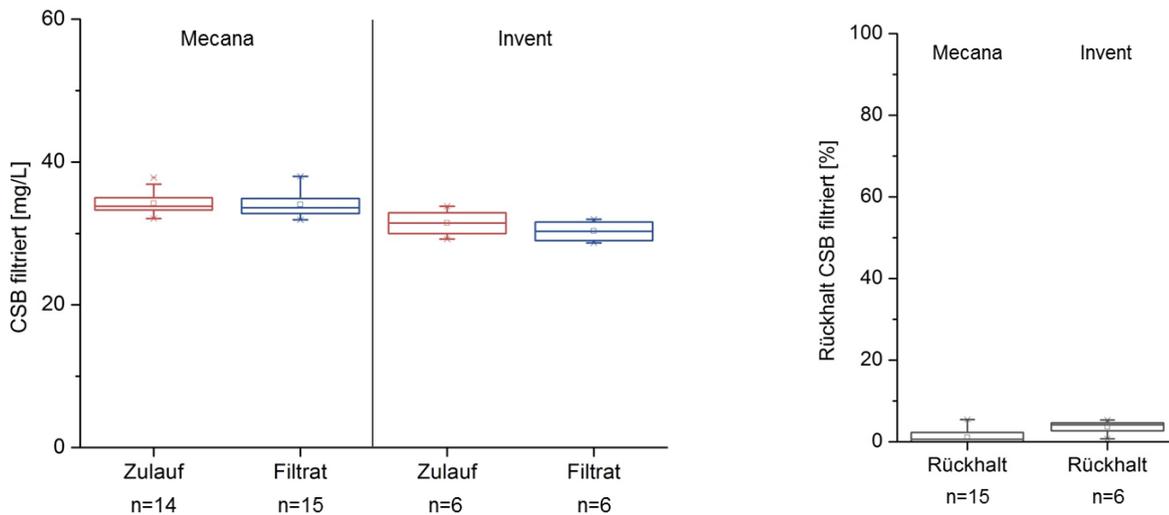


Abbildung 9: links: CSB filtriert [mg/L] für beide Anlagen (● – Zulauf; ● - Ablauf); rechts: Rückhalt des CSB filtriert [%] für beide Anlagen

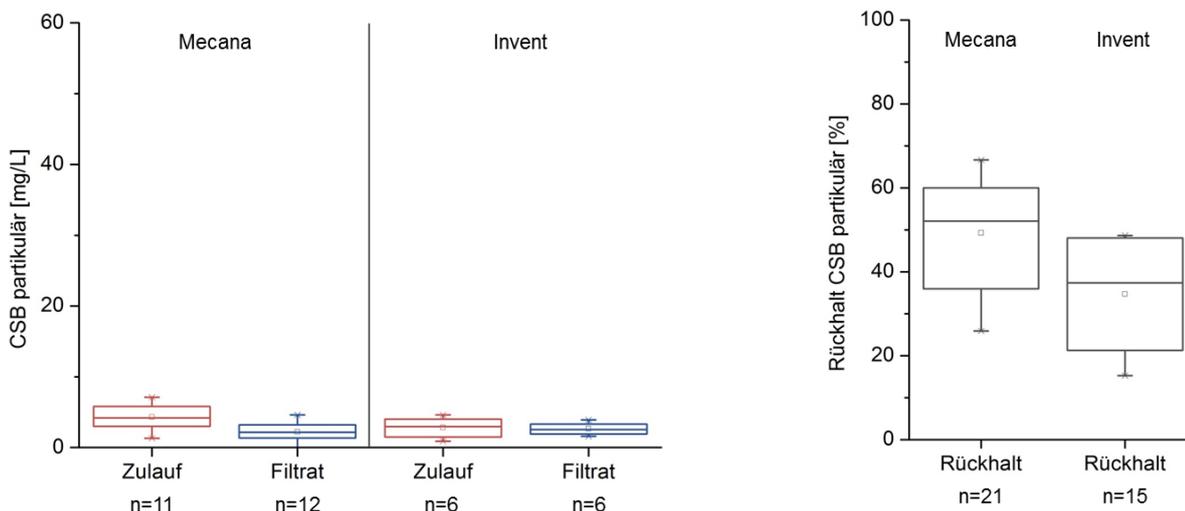


Abbildung 10: links: CSB partikulär [mg/L] für beide Anlagen (● – Zulauf; ● - Ablauf); rechts: Rückhalt des CSB partikulär [%] für beide Anlagen

Für die Anlagen wurden mittlere Entfernungen von $7 \pm 4,8\%$ (Mecana) und $5 \pm 4,1\%$ (Invent) CSB unfiltriert ermittelt. Wie zu erwarten ist hierbei der größte Anteil am partikulären CSB entfernt worden, wobei der CSB filtriert nahezu unverändert blieb. Weitere Diagramme zu CSB sind im Anhang IV.2, in Abbildung 25 und Abbildung 26 zu finden.

Partikel

Mikroplastik liegt auch partikulär vor, daher lassen die Ergebnisse der Partikelmessung sehr gut auf das Rückhaltevermögen der Anlagen für Mikroplastik schließen.

In Abbildung 11 sind Beispiele der Ergebnisse der Partikelmessungen für die Mecana-Anlage dargestellt und in Abbildung 12 für die Invent-Anlage. Die Entfernung von Partikeln $> 25 \mu\text{m}$ liegt bei der Mecana-Anlage zwischen 65 – 96 % und bei der Invent-Anlage zwischen 85 – 98 %.

Kleinere Partikel werden mit der Mecana-Anlage deutlich schlechter zurückgehalten: in der Größenklasse $10\text{-}25 \mu\text{m}$ etwa 42-60 %, Partikel $< 10 \mu\text{m}$: 0 – 36 %.

Bei der Invent-Anlage werden in der Größenklasse $10\text{-}25 \mu\text{m}$ ebenfalls nur etwa 26 – 74 % zurückgehalten. Bei noch kleineren Partikeln wird sogar eine negative Entfernung beobachtet. Dies kann vermutlich auf die

Zerkleinerung von größeren Partikeln während der Rückspülung mit hohem Rückspüldruck und der generell höherer mechanischer Beanspruchung der Partikel durch die Invent-Anlage zurückgeführt werden. Hier kann jedoch davon ausgegangen werden, dass es sich bei den zerkleinerten Partikeln um organisches Material handelt. Für Mikroplastik wird keine Zerkleinerung durch die mechanische Beanspruchung durch die Invent-Anlage erwartet. Daher wird hier ein besserer Rückhalt für Mikroplastik erwartet.

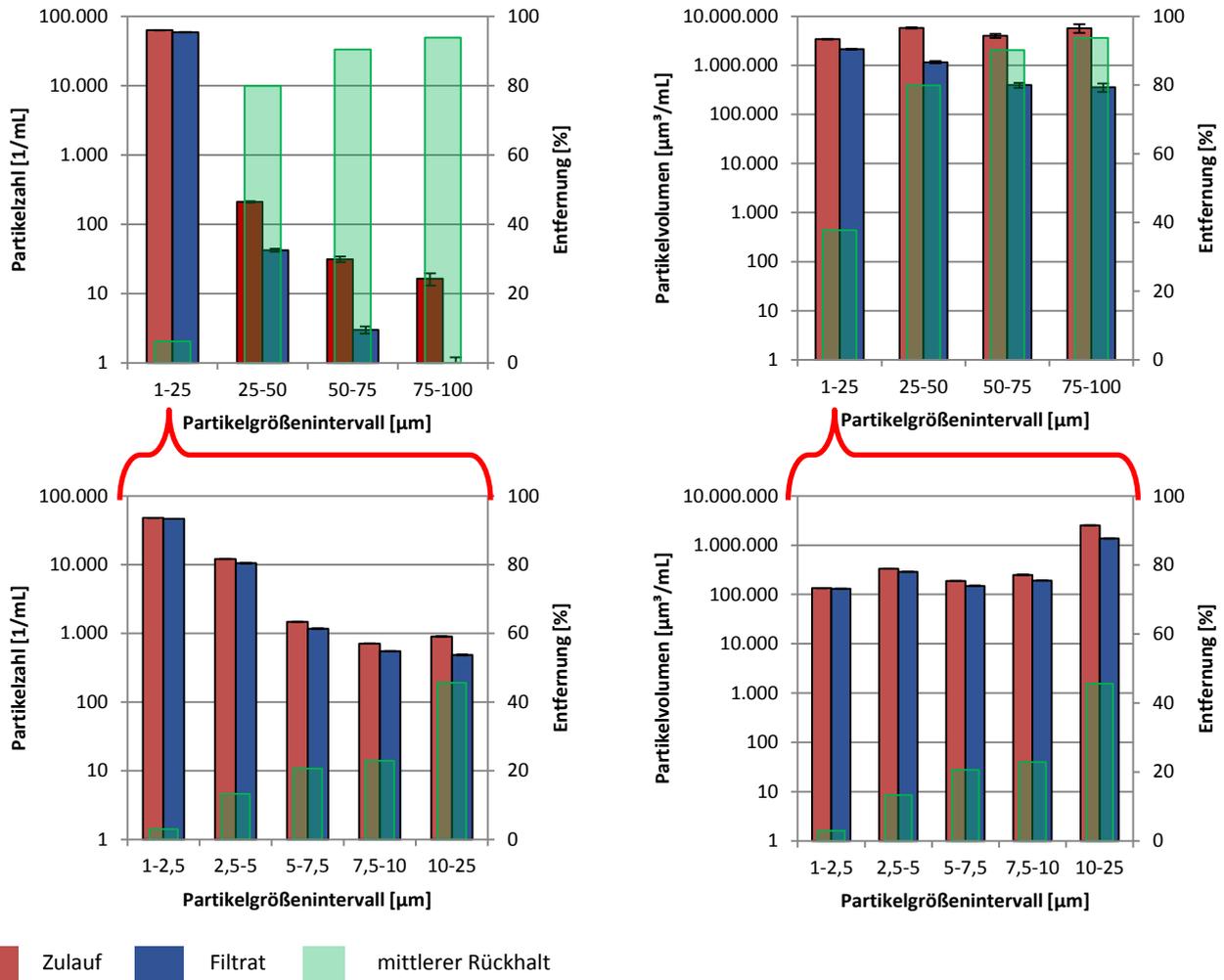


Abbildung 11: 24h Mischproben – Mecana, Beispiel 13./14.02.2017; links: Partikelzahl, rechts: Partikelvolumen

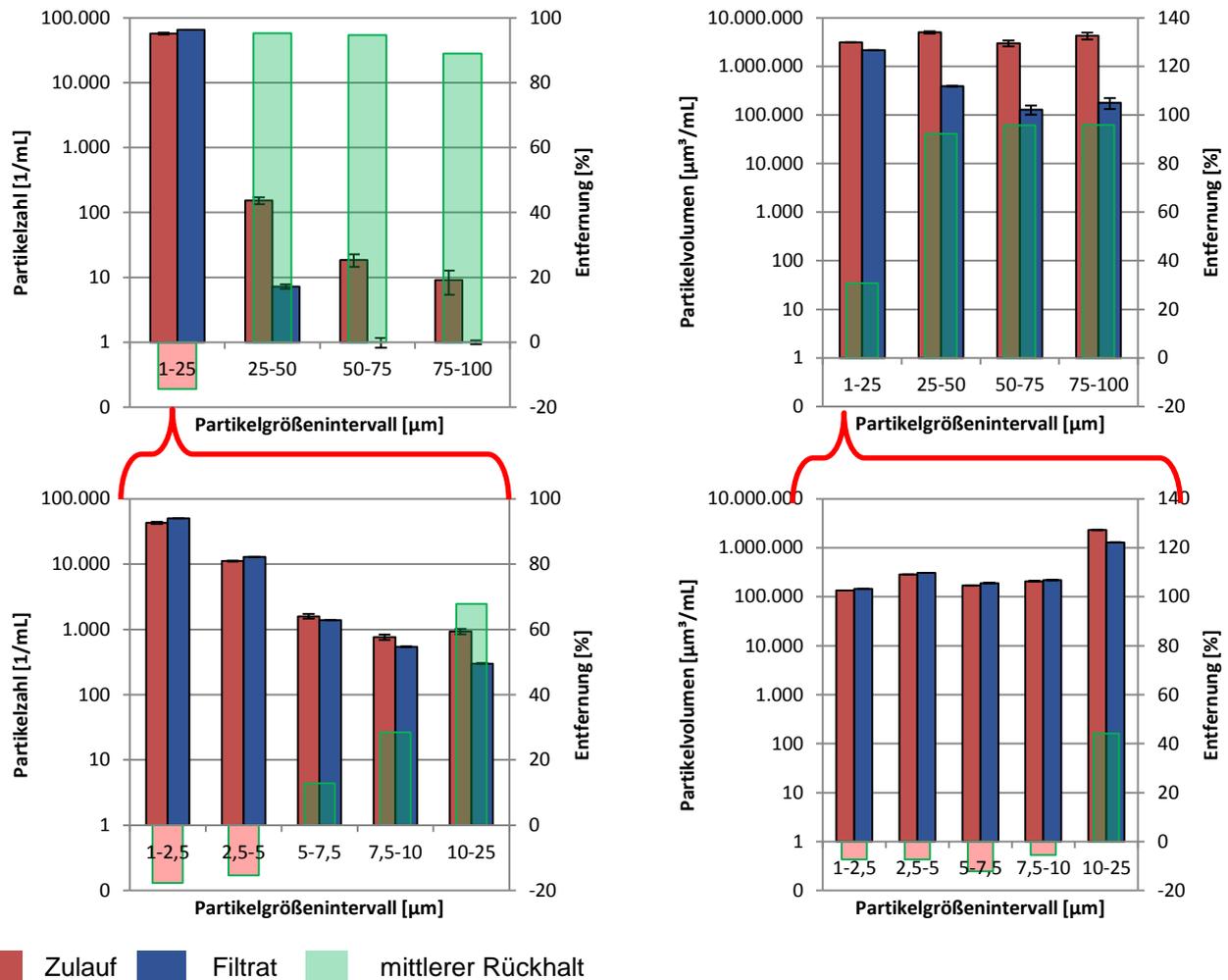


Abbildung 12: – 24h Mischproben – Invent, Beispiel 21.02./22.02.2017; links: Partikelzahl, rechts: Partikelvolumen

Die rechten Diagramme zeigen beispielhaft die Auswertung der Partikelvolumen. Hier kann man sehr gut den Einfluss der größeren Partikel auf das entfernte Partikelvolumen erkennen. Während kleine Partikel anzahlmäßig einen sehr großen Einfluss zeigen, verteilt sich das Volumen insgesamt recht gleichmäßig auf die Größenfraktionen.

Der gute Rückhalt von Partikeln > 25 μm wurde auch auf Grund der Eigenschaften der verwendeten Filtermaterialien so erwartet.

Die Darstellung weiterer Ergebnisse der Partikelmessung als Diagramme sind im Anhang IV.2 (Abbildung 27 bis Abbildung 32) zu finden.

Arbeitspaket 6

Modellaufbau

Ein existierendes Stoffstrommodell für Spurenstoffe nach Wicke et al. (2015) wurde für die Verwendung für MP angepasst. Abbildung 13 zeigt das angestrebte Ergebnis des Modells. Die Anpassungen für MP betreffen vor allem eine Vereinfachung des Modells aufgrund der geringen zu erwartenden Datenlage:

- Bilanzraum Gesamt Berlin, keine Aufspaltung in kleinere Gewässereinheiten
- unbekannte Werte (Zulaufkonzentrationen Kläranlage) werden aus Literatur- und Plausibilitätsüberlegungen (z.B. Rückrechnung aus MW-Überlauf und Rückhalt) gefüllt

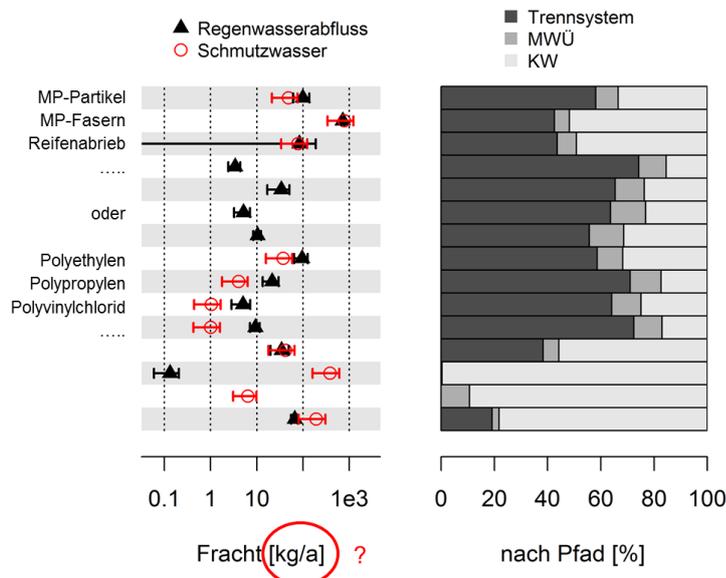


Abbildung 13: Wo wollen wir hin? Die angezeigten Werte sind beispielhaft und basieren nicht auf MP-Messungen.

Dabei wurden zum einen die Quellen Regenwasserabfluss und (häusliches) Schmutzwasser unterschieden, zum zweiten die Gesamtfrachten in die Gewässer auf die drei Pfade Kläranlagenablauf, Regenwasserabfluss im Trenngebiet und Mischwasserüberläufe aufgeteilt. Als minimale Eingangsdaten werden die folgenden Daten benötigt (siehe auch bunte Punkte in Abbildung 14): zeigt die Volumina der beiden Quellen und die relative Aufteilung auf die drei Pfade, summiert für alle Berliner Gewässer.

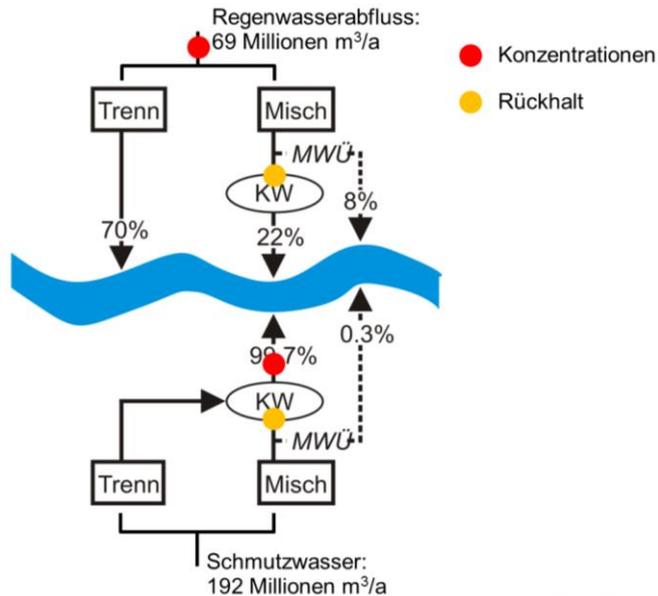


Abbildung 14: Eingangsdaten für Frachtberechnung

Eingangsdaten

Als minimale Eingangsdaten werden die folgenden Daten benötigt (siehe auch bunte Punkte in Abbildung 14):

- Mikroplastik-Konzentration im Kläranlagen-Ablauf
- Mikroplastik-Konzentration im Regenwasserabfluss
- Reinigungsleistung der Kläranlage

Die Konzentrationen im Rohabwasser (für den Pfad Mischwasserüberlauf) können in der minimalen Variante über a und c berechnet werden.

In OEMP lagen nun erste validierte Messungen für a) und b) durch die OEMP-Partner vor (Tabelle 3). Dabei lagen Ergebnisse für die drei Kunststoff-Polymere Polyethylen (PE), Polystyrol (PS) und Polypropylen (PP) vor, jeweils für unterschiedliche Partikelgrößen. Da für den Regenwasserabfluss eine Fraktionierung erst ab 50 µm vorlag, wurde auch das Bilanzmodell nur für drei Fraktionen aufgebaut. Zu Vergleichszwecken lagen zusätzlich Messungen des Polymers "Styrol-Butadien-Kautschuk" vor, die an OEMP-Proben im Rahmen eines anderen BMBF-Projektes (miwa) durchgeführt wurden.

Tabelle 3: Überblick über die verwendeten OEMP-Ergebnisse (hier für Gesamt-Mikroplastik ≥ 50 µm dargestellt)

Fraktion ≥ 50µm	Einheit	Probenanzahl	Polymer		
			Polyethylen - PE	Polypropylen - PP	Polystyrol - PS
<i>Kläranlagenablauf (24h-Beprobung)</i>					
Massenanteil, Mittelwert	mg/g	4	20.8	0.045	0.013
Massenanteil, Standardabweichung	%		107	127	200
Gehalt im Wasser, Mittelwert	mg/m³		72.7	0.156	0.039
Gehalt im Wasser, Standardabweichung	%		115	137	200
<i>Straßenabfluss Clayallee, Referenzschacht (1 Probe pro Regenereignis)</i>					
Massenanteil, Mittelwert	mg/g	7	1.98	0.37	0.84
Massenanteil, Standardabweichung	%		94	68	132
Gehalt im Wasser, Mittelwert	mg/m³		627	235	311
Gehalt im Wasser, Standardabweichung	%		122	199	150

Die Ergebnisse in Tabelle 3 zeigen, dass der Kläranlagenablauf für PE höhere Mikroplastikanteile pro Trockensubstanz aufweist als der Straßenabfluss, während dieser für PP und PS deutlich höhere

Massenanteile aufweist. Aufgrund der hohen Gehalte an abfiltrierbaren Stoffen (AFS) im Straßenabfluss sind die Mikroplastikkonzentrationen in diesem deutlich höher als im Klarwasser der Kläranlage.

Die Standardabweichungen sind mit Werten zwischen 70 und 200% im Mittel und im Maximum etwas höher als bei Spurenstoffen (Wicke et al. 2015), was sich durch höhere Variabilitäten im Auftreten und höhere Unsicherheiten bei der Probenahme erklärt.

Die Reinigungsleistung des Klärwerks wurde in OEMP nicht direkt erfasst. Entsprechend wurde auf den Mittelwert $\approx 98,8\%$ aus Literaturwerten (Murphy et al. 2016; Talvitie et al. 2017) zurückgegriffen.

Modellannahmen

Die Messungen am Kläranlagenablauf Tabelle 3 und der Rückhalt am Klärwerk wurden direkt im Bilanzmodell verwendet. Für die Übertragung der Messung im Regenwasserabfluss der vielbefahrenen Clayallee auf den gesamten Regenwasserabfluss von versiegelten Flächen Berlins wurden zwei Varianten unterschieden:

1. Annahme: die im Probevolumen gemessene Konzentration (Tabelle 3) ist repräsentativ für alle Straßenflächen Berlins. Dies entspricht ca. 1/3 des gesamten Regenwasserabflusses Berlins. Die Konzentration im Abfluss von anderen versiegelten Flächen (Dachflächen, Hofflächen) wird auf Null gesetzt.
2. Annahme: der im Straßenabfluss der Clayallee gemessene Mikroplastik-Anteil [mg/g] an den gesamten abfiltrierbaren Stoffen (AFS) (Tabelle 3) ist für alle versiegelten Flächen konstant. Dadurch kann der direkt gemessene Mikroplastik-Anteil auf eine existierende AFS-Datenbank des Projektes OgRe für unterschiedliche Berliner Stadtstrukturen angewendet werden (Abbildung 15). Dieser Ansatz hat die folgenden Vorteile:
 - Direkte Verwendung der Messung ohne Hochrechnung auf Probevolumen
 - AFS bildet einen guten „Proxy“ für Straßenabfluss
 - Bereits etabliertes Modell für AFS, gestützt auf breiter Datenbasis

Allerdings unterscheidet das existierende AFS-Modell nicht unterschiedliche Fraktionen. Entsprechend wurde für Variante 2 angenommen, dass AFS wie bei den sieben in OEMP analysierten Proben fraktioniert ist.

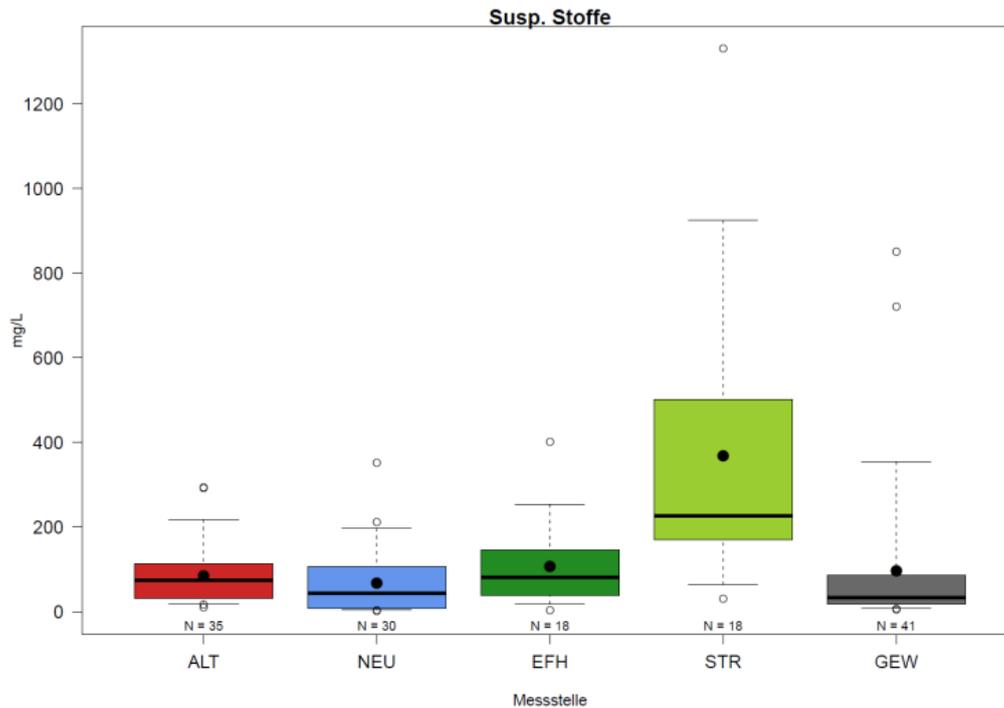


Abbildung 15: Ereignismittelwerte für abfiltrierbare Stoffe im Regenwasserabfluss Berlins für die Stadtstrukturen "Altbau", "Neubau", "Einfamilienhäuser", "Straßen > 7500 Kfz/Tag" und "Gewerbe". Außer der Stadtstruktur STR enthalten alle Stadtstrukturtypen Straßenraum < 7500 Kfz/Tag. N zeigt die Anzahl berücksichtigter Regenereignisse pro Stadtstrukturtyp.
Quelle: OgRe-Abschlussbericht, 2017, KWB (Wicke et al. 2015)

Ergebnisse

Die Ergebnisse für die Gesamtfrachten aller Partikelgrößen ($\geq 50 \mu\text{m}$) in Abbildung 16 zeigen zunächst, dass die beiden Ansätze 1) und 2) (bzw. Abbildung 16a und b) nur geringfügige Unterschiede aufweisen. Da beide Ansätze das Ziel verfolgten, die Frachten von Straßen möglichst gut abzubilden, dabei aber einmal von den direkten Mikroplastik-Massengehalten und einmal von den hochgerechneten Mikroplastik-"Konzentrationen" ausgingen, stellt die gute Übereinstimmung auch eine teilweise indirekte Datenvalidierung dar.

Bezüglich Quellen von PE spielen (häusliches) Schmutzwasser und Regenwasserabfluss (der Straßen) eine wichtige Rolle; hingegen bei PS und PP dominiert klar der Regenwasserabfluss als Quelle, was auf die hohe Reinigungsleistung der Kläranlagen zurückzuführen ist.

Entsprechend sind bei PE auch alle drei Pfade ins Gewässer gleich wichtig, während es bei PP und PS eine klare Abstufung "Regenwasser im Trenngebiet" > Mischwasserüberläufe > Klärwerke gibt.

Dasselbe Bild wie für PP und PS zeigt sich noch deutlicher für den Vergleichsparameter SBR. Dieser ist typischerweise mit Reifenabbrieb assoziiert.

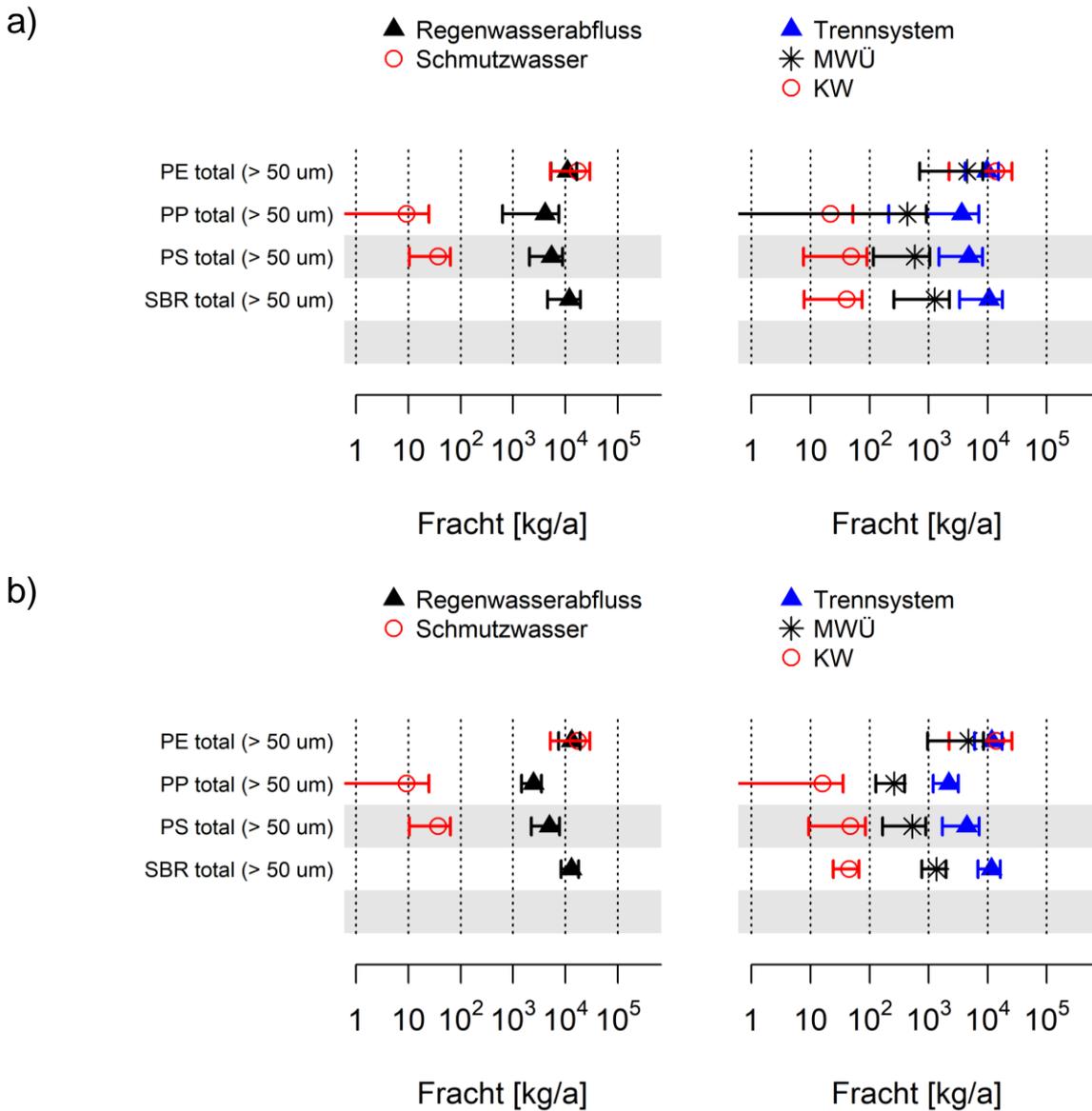


Abbildung 16: Ergebnisse Gesamtfrachten über alle betrachteten Partikelfractionen. a) Variante 1: Konstante Mikroplastik-Konzentration im Straßenabfluss. b) Variante 2: konstanter Mikroplastik-Anteil am AFS [mg/g]. Fehlerbalken zeigen propagierte Standardabweichungen. Die SBR-Messungen sind im Rahmen von miwa an den OEMP-Proben erfolgt.

Durch die Fraktionierung der Proben lässt sich auch die Massenbilanz pro Fraktion erstellen (Abbildung 17). Für die Polymere PS und PP, sowie den Vergleichsparameter SBR, zeigen sich kaum Unterschiede in der Aufteilung der Pfade zwischen den Fraktionen, was auf den generell geringen Einfluss von Schmutzwasser zurückzuführen ist. Bezüglich Mengen zeigt sich aber, dass bei allen drei Polymeren die mittlere Fraktion (100 – 500 µm) die größten Mengen beiträgt.

Ein anderes Bild ergibt wiederum die Bilanz für PE. Während die beiden Quellen für die größeren Fraktionen gleich wichtig sind, dominiert bei der kleinsten Fraktion (50 – 100 µm) das Schmutzwasser und entsprechend bei den Pfaden die Kläranlage. Bezüglich Mengen sind bei PE die Gesamtfrachten aller drei Fraktionen in einem ähnlichen Bereich.

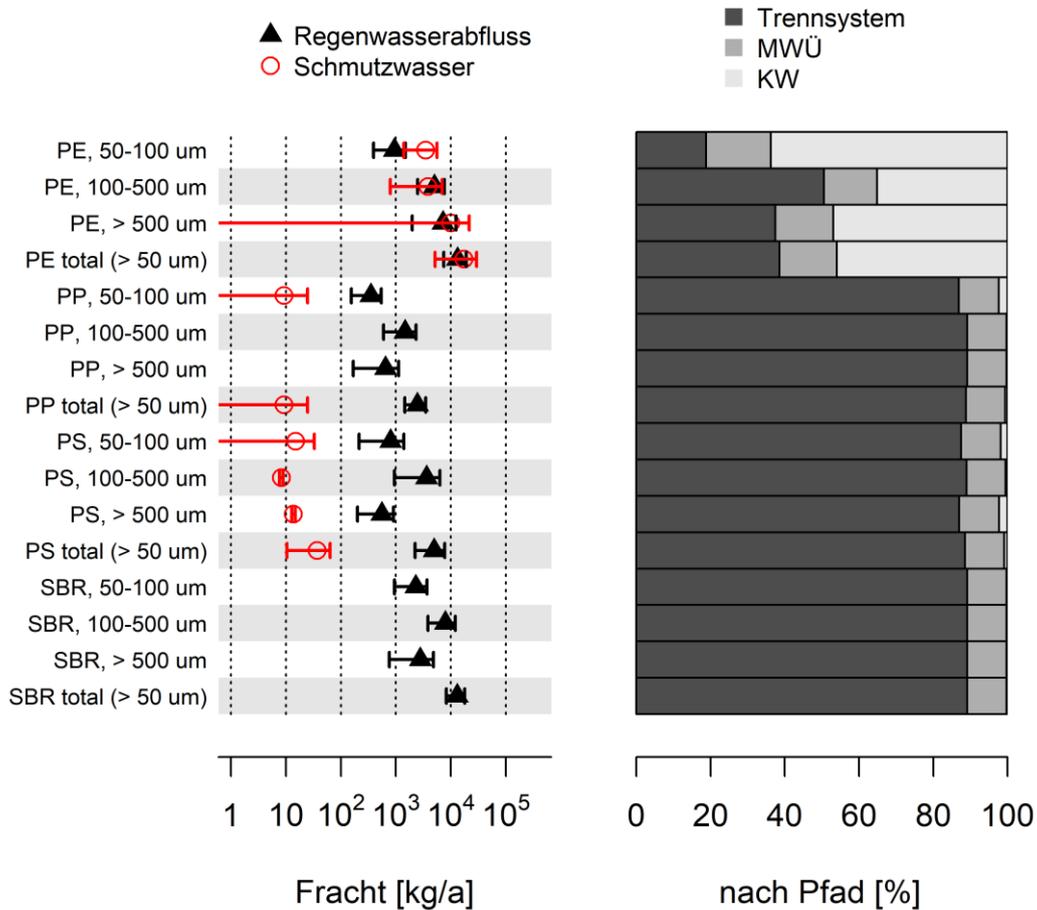


Abbildung 17: Ergebnisse der Variante 2, aufgeteilt nach Partikelfractionen. Fehlerbalken zeigen propagierte Standardabweichungen, Balken stellen Mittelwerte dar. Die SBR-Messungen sind im Rahmen von miwa an den OEMP-Proben erfolgt.

Vergleich mit Literatur

Bisher gibt es in der Literatur keine uns bekannte Mikroplastik-Bilanzierung für städtische Wasserkreisläufe. Allerdings haben Bertling et al. (2018) Bruttoemissionen in Deutschland pro Einwohner für unterschiedliche Quellen abgeschätzt. Weiter haben Lassen et al. (2015) Transferraten dieser Bruttoemissionen in die Gewässer für Dänemark ausgewiesen und schätzen einen Transfer von 2% für Mikroplastik in häuslichem Schmutzwasser und von 21% für Mikroplastik im Regenwasserabfluss.

Schmutzwasser: Bertling et al. (2018) schätzen Bruttoemissionen von Quellen die wir Schmutzwasser zuordnen (Faserabrieb bei der Textilwäsche, Flockungsmittel in der Siedlungswasserwirtschaft, Inhalt Mikroplastik in Kosmetik, Inhaltsstoff von Wasch-, Pflege und Reinigungsmitteln privater Haushalte, Zusatz Medikamente) auf 145 g/cap/a, was für Berlin 519 t/a ergibt. Unsere Bilanz (vgl. Abbildung 15) ergibt für alle Polymere eine Nettofracht von $17,3 \pm 8,6$ t/a. Vergleicht man brutto mit netto, ergibt sich eine mittlere Transferrate von 3%, was sehr gut mit den 2% von Lassen et al. (2015) übereinstimmt.

Regenwasserabfluss: Wir unterscheiden hier die laut Bertling et al. (2018) größte Einzelquelle Reifenabrieb, von weiteren mit Straßenablauf assoziierten Quellen (Abrieb Schuhsohlen, Abrieb Fahrbahnmarkierungen, Abrieb Besen (privater Bereich und Stadtreinigungen), Kehrmaschinen Stadtreinigung). Für die weiteren Quellen führen die Schätzungen von Bertling et al. (2018) zu Bruttoemissionen für Berlin von 818 t/a die einer Nettoemission aus unserer Bilanz (Summe Fracht für PE, PP und PS) von $20,5 \pm 4,9$ t/a gegenübersteht. Für Reifenabrieb setzen Bertling et al. (2018) einen hohen Wert an, der für Berlin eine Bruttoemission von 4392 t/a ergibt. Laut Eisentraut et al. (2018) lässt sich der Reifenabrieb aus SBR durch einen Faktor 8.9 hochrechnen. Dadurch ergibt sich aus der SBR-Bilanzierung eine geschätzte Nettoemission für Berlin von 110 ± 39 t/a. Aus dem Vergleich von brutto und netto ergibt sich für weitere Quellen und für Reifenabrieb jeweils ein Wert von 2,5%, also deutlich unter der Schätzung von Lassen et al. (2015). Die Abweichung kann viele Ursache haben: eine Überschätzung der Bruttomengen (die Literaturwerte streuen

hier sehr stark), eine Fehleinschätzung der Transferraten, eine inkomplette Messung der relevanten Polymere oder die geringe Anzahl Messstandorte. Im Vergleich halten wir aber die Schätzung aus OEMP für zuverlässiger (bei aller Unsicherheit der Hochrechnung), da diese (zum ersten Mal) auf tatsächlichen Messungen beruht.

Schlussfolgerungen

- Die quantitative Mikroplastikmessung von Proben der Siedlungswasserwirtschaft erlauben eine erste Abschätzung der Größenordnung von Mikroplastik-Frachten in die Gewässer Berlins.
- Die beiden Hochrechnungsansätze für den Straßenablauf (konstanter Mikroplastik-Anteil an AFS und konstanter Mikroplastik-Gehalt im Straßenabfluss) führen zum selben Ergebnis, was auf die Konsistenz der Daten hinweist.
- Erhebliche Streuungen in Messungen führt zu großen Unsicherheitsbanden in Frachten die aber im Bereich der Erwartung für Niederschlagsabfluss liegen.
- Während PE zu ähnlichen Teilen aus Schmutzwasser und Regenwasserabfluss stammt, dominiert Regenwasser als Quelle die Polymere PS, PP und SBR (und damit Reifenabrieb)
- Bezüglich Pfaden dominiert (außer bei PE) deutlich der Regenwasserabfluss im Trennsystem
- Ein Vergleich mit errechneten Brutto-Emissionswerten der UMSICHT-Studie weist auf deutlich geringere Transferraten vom Straßenland hin als bisher erwartet (oder zu hohe Werte in der Studie); bei Schmutzwasser findet sich eine ähnliche Größenordnung.

II.4 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die folgende Tabelle zeigt eine Zusammenfassung des zahlenmäßigen Nachweises für das KWB.

Tabelle 4: Zahlenmäßigen Nachweises KWB

Position	Gesamtvorkalkulation [€]	Gesamtnachkalkulation [€]
0813 Material	5.200 €	6.828,96 €
0837 Personalkosten	63.784 €	61.330,42 €
0838 Reisekosten	603 €	168,85 €
0881 gesamte Selbstkosten des Vorhabens	69.587 €	68.328,23 €
0882 Eigenmittel des Antragstellers	13.917 €	13.665,65 €
0884 Zuwendung (Förderquote 80%)	55.670 €	54.662,58 €

II.5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die finanziellen Mittel und die Arbeiten wurden entsprechend den Arbeitspaketen und an die im Verlauf des Projektes erhaltenen Ergebnisse ausgerichtet.

II.6 Darstellung des voraussichtlichen Nutzens

Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Erfolge

Aus wissenschaftlicher Sicht bieten die Erfahrungen aus dem Projekt grundlegende Erkenntnisse für eine zuverlässige und reproduzierbare Analytik von Mikroplastik aus einer Mischprobe. Es wurde die Harmonisierung der Probenahme, der Probenvorbereitung, der Probenanalyse sowie die Auswertung der Laboranalysen erarbeitet, welche zukünftig sowohl die quantitative als auch die qualitative Bestimmung von Mikroplastik verbessern und die Ergebnisse nachfolgender Probenahmen und Analysen untereinander und mit anderen Projekten vergleichbarer macht. Die Erkenntnisse stehen ab sofort für Folgeprojekte zur Verfügung.

Die Ergebnisse aller Versuche des Projektes OEMP wurden den Projektpartnern, insbesondere den Unternehmen, zur Verfügung gestellt und dienen der kontinuierlichen Verbesserung der neuen Materialien und Technologien sowie als Referenz bei Kunden.

Die Ergebnisse können ebenso die erste Grundlage für Entscheidungen zur Erweiterung von zentralen oder dezentralen Reinigungssystemen, um in Zukunft den Eintrag an Mikroplastik in die aquatische Umwelt zu minimieren.

Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Als Forschungsinstitution konnte das KWB seine Kompetenz im Bereich Wasserressourcenschutz und im Bereich Stoffstrommodellierung um den Bereich Mikroplastik erweitern. Diese erweiterte Kompetenz konnte auch durch Vorträge und Publikationen (siehe Tabelle 5) dem Fachpublikum präsentiert werden.

Durch das erweiterte Know-How ist das KWB sehr gut aufgestellt, um sich im Bereich Rückhalt von Mikroplastik sowie im Bereich Stoffstrommodellierung auf weitere Projekte privater oder öffentlicher Förderung zu bewerben. Ein besonderer Bedarf wird in der konkreten Anwendung des weiterentwickelten Stoffstrommodells gesehen, aber auch in der erarbeiteten Harmonisierung der Probenahme, Probenvorbereitung, Analyse sowie Auswertung der Daten.

Angesichts des großen öffentlichen Interesses und des gestiegenen Bewusstseins zur Umweltverschmutzung durch Mikroplastik kann von verschiedenen Ausschreibungen ausgegangen werden, in denen Aspekte aus OEMP eingebracht werden können.

Ökologische Aspekte

Das wesentliche Ziel war es durch die innovative Materialentwicklung im Bereich der Abwasserreinigung Möglichkeiten aufzuzeigen um die Gewässerqualität, sowohl in Deutschland als auch weltweit, nachhaltig zu verbessern. Im Sinne der europäischen Wasserrahmenrichtlinie, soll in jedem Fall aber eine Verschlechterung der Gewässerqualität verhindert werden. Um im Hinblick auf den Eintrag der verschiedenen Abwasserstrome sowohl die ökologischen Auswirkungen von Mikroplastikpartikeln bewerten, als auch eine Risikoanalyse anfertigen zu können, wurde auf Grundlage der erhobenen Messwerte eine Stoffstrombilanz in die Gewässer angefertigt. Dadurch konnten erstmalig die siedlungswasserwirtschaftlich besonders relevanten Eintragspfade Regenwasser, Mischwasserüberläufe und Kläranlagenablauf bewertet und bilanziert werden. Die Ergebnisse können erste Grundlage für eine Diskussion über die Erweiterung von zentralen oder dezentralen Reinigungssystemen sein, um in Zukunft den Eintrag an Mikroplastik in die aquatische Umwelt zu minimieren.

Öffentlichkeitsarbeit und Unterstützung des Begleitprojekts

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes wurden auf den Statusseminaren und auf Messen und Veranstaltungen einer breiten Öffentlichkeit präsentiert. Das Begleitprojekt wurde durch Präsentationen zum Stand des Projektes und die Bereitstellung von Informationsmaterial unterstützt

II.7 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Laufzeit des Projektes wurden keine Fortschritte auf den vom KWB erarbeiteten Gebieten durch andere Stellen erzielt, die den bisher erzielten Ergebnissen widersprechen bzw. weitergehende Aussagen zulassen.

II.8 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Die folgende Tabelle zeigt die im Rahmen von OEMP erfolgten Veröffentlichungen.

Tabelle 5: Veröffentlichungen

Venghaus, D., Jährig, J.: <i>Optimierte Materialien und Verfahren zur Entfernung von Mikroplastik aus dem Wasserkreislauf – OEMP</i> , 1. Statusseminar "MachWas: Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft", Frankfurt am Main, 25.-26.04.2017	2017
Goedecke, C., Altmann, K., Bannick, C.G., Braun, U., Obermaier, N.: <i>Optimierte Materialien und Verfahren zur Entfernung von Mikroplastik aus dem Wasserkreislauf – OEMP</i> , 1. Statusseminar "MachWas: Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft", Frankfurt am Main, 25.-26.04.2017	2017
Dietrich, G.: <i>Untersuchung einer möglichen Korrelation zwischen den Parametern Trübung, abfiltrierbare Stoffe und Partikelzahl am Beispiel zweier Abwasserfiltrationsanlagen im Berliner Klärwerk Ruhleben</i> , Beuth Hochschule für Technik Berlin: Berlin, Fachbereich VIII – Maschinenbau, Veranstaltungstechnik, Verfahrenstechnik, Bachelorarbeit, 2017.	2017
Filmbeitrag " <i>Unterwegs mit Plastikjägern</i> " von Maren Schibilsky; rbb; 21.10.2017	2017
<i>OEMP: Optimierte Materialien und Verfahren zur Entfernung von Mikroplastik aus dem Wasserkreislauf</i> , MachWas Newsletter 01/2018	2018
Venghaus, D., Lau, P., Barjenbruch, M., Barthel, A.-K., Ricking, M., Bannick, C.G., Jährig, J., Goedecke, C., Braun, U., Grabbe, U., Knäfel, M., Reber, S., Schmitt, T.: <i>Optimized materials and processes for the separation of microplastic from the water cycle – OEMP</i> , FILTECH, Köln, 13.-15.03.2018	2018
Matzinger, A., Goedecke, C., Braun, U., Barthel, A.-K., Bannick, C.G., Lau, P., Venghaus, D., Barjenbruch, M., Miehe, U., Jaehrig J.: <i>Mikroplastik - Herausforderungen bei der Erstellung von Stoff- und Massenstrombilanzen für das Berliner Regenwasser- und Abwassersystem</i> , 45. Berliner Wasserwerkstatt, Berlin, 13.9.2018	2018
Publikation zu den Ergebnissen der Stoffstrombilanz	geplant 2019

III. LITERATUR

- Bertling, B., Bertling, R. & Hamann, L. (2018) Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik - Kurzfassung der Konsortialstudie. Fraunhofer UMSICHT
- Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M. & Thompson, R. C. (2008) Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environ. Sci. Technol.* 42 5026
- Carpenter, E. J., Anderson, S. J., Harvey, G. R., Miklas, H. P. & Peck, B. B. (1972) Polystyrene Spherules in Coastal Waters. *Science* 178 (4062): 749-750
- Eisentraut, P., Dümichen, E., Ruhl, A. S., Jekel, M., Albrecht, M., Gehde, M. & Braun, U. (2018) Two Birds with One Stone - Fast and Simultaneous Analysis of Microplastics: Microparticles Derived from Thermoplastics and Tire Wear. *Environmental Science and Technology Letters* 5 (10): 608-613
- Geyer, R., Jambeck, J. R. & Law, K. L. (2017a) Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances* 3 (7): e1700782
- Geyer, R., Jambeck, J. R. & Law, K. L. (2017b) Supplementary Materials for Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances* 3 (7): e1700782
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C. & Thiel, M. (2012) Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environ Sci Technol* 46 (6): 3060-3075
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. & Law, K. L. (2015) Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347 (6223): 768-771
- Langer, M., Miehe, U., Väänänen, J., Stüber, J., Bourdon, C. & Lesjean, B. (2011) Advanced phosphorus removal with microsieves in tertiary treatment: An alternative to membrane filtration?, p. 9. IWA International Conference on Water Reclamation & Reuse
- Lassen, C., Hansen, S. F., Magnusson, K., Norén, F., Hartmann, N. I. B., Jensen, P. R., Nielsen, T. G. & Brinch, A. (2015) Microplastics -Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark. The Danish Environmental Protection Agency
- Liebezeit, G. & Liebezeit, E. (2013) Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 30 (12): 2136-2140
- Mason, S. A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimos, D. & Rogers, D. L. (2016) Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental Pollution* 218 1045-1054
- Matzinger, A., Wicke, D., Eichler, C. M. A., Caradot, N., Sonnenberg, H., Heinzmann, B., Seggern, D. v. & Rouault, P. (submitted) City-wide loads of heavy metals and trace organics in stormwater runoff can equal loads from point sources.
- Matzinger, A., Wicke, D., Sonnenberg, H., Schubert, R.-L., Quilitzki, J., Caradot, N., Heinzmann, B., Dünnbier, U., von Seggern, D. & Rouault, P. (2015) Micropollutants in stormwater runoff – Load estimation at city scale. p. 5. 17th IWA Conference on Diffuse Pollution (DIPCON).
- Moore, C. J. (2008) Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research* 108 (2): 131-139
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F. & Quinn, B. (2016) Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environmental Science and Technology* 50 (11): 5800-5808
- PlasticsEurope (2017) Plastics – the Facts 2017, An analysis of European plastics production, demand and waste data. PlasticsEurope
- Rillig, M. C. (2012) Microplastic in Terrestrial Ecosystems and the Soil? *Environmental Science & Technology* 46 (12): 6453-6454
- Schulz, M., Godehardt, M., Boulestreau, M., Ernst, M., Miehe, U., Lesjean, B. & Jekel, M. (2012) On-line submicron particle analysis for the assessment of fouling potential in tertiary membrane filtration. IWA Specialist Conference on Particle Separation. .
- Schwabl, P., Liebmann, B., Sebastian Köppel, P. K., Bucsics, T., Trauner, M. & Reiberger, T. (2018) Assessment of microplastic concentrations in human stool – Preliminary results of a prospective study, *In UEG Week 2018*. Wien
- Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M. & Koistinen, A. (2017) How well is microlitter purified from wastewater? – A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water Research* 109 164-172
- Wicke, D., Matzinger, A. & Rouault, P. (2015) Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins - Abschlussbericht. KWB
- Wicke, D., Matzinger, A., Sonnenberg, H., Caradot, N., Schubert, R.-L., Rouault, P., Heinzmann, B., Dünnbier, U. & von Seggern, D. (2017) Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins. *KA - Abwasser, Abfall* 5 394-404

IV. ANHANG

IV.1 Übersicht Probenahmen

Tabelle 6: Übersicht der Probenahmen: Mecana (Filtermaterial 1: Standardpolstofffilter PA)

Datum	Probenahme	AfS	CSB	CSB filtr.	Trübung	Partikel
20./21.12.16	24h Mischprobe mit autom. PN	x	x	-	-	x
16./17.01.17	24h Mischprobe mit autom. PN	x	x	-	-	x
18./19.01.17	24h Mischprobe mit autom. PN	x	(x)	x	x	x
24./25.01.17	24h Mischprobe mit autom. PN	x	x	-	x	x
01./02.02.17	24h Mischprobe mit autom. PN	x	x	-	x	x
07./08.02.17	24h Mischprobe mit autom. PN	x	x	x	x	x
13./14.02.17	24h Mischprobe mit autom. PN	x	x	x	x	x
28.02./01.03.17	24h Mischprobe mit autom. PN	x	x	x	x	x
13./14.03.17	2h Einzelproben mit autom. PN über 24h	x	-	-	x	(x)
29./30.03.17	24h Mischprobe mit autom. PN	x	x	x	x	(x)

x Daten vorhanden
 - Messung nicht vorgesehen
 (x) Daten nur eingeschränkt verwendbar

Tabelle 7: Übersicht der Probenahmen: Invent (Filtermaterial 1: GKD Tressengewebe 20 µm)

Datum	Probenahme	AfS	CSB	CSB filtr.	Trübung	Partikel
25./26.01.17	24h Mischprobe mit autom. PN	x	x	-	(x)	x
30./31.01.17	24h Mischprobe mit autom. PN	x	x	-	(x)	x
31.01./01.02.17	24h Mischprobe mit autom. PN	x	x	-	x	x
06./07.02.17	24h Mischprobe mit autom. PN	x	x	x	x	x
21./22.02.17	24h Mischprobe mit autom. PN	x	x	x	x	x

x Daten vorhanden
 - Messung nicht vorgesehen
 (x) Daten nur eingeschränkt verwendbar

IV.2 Messergebnisse

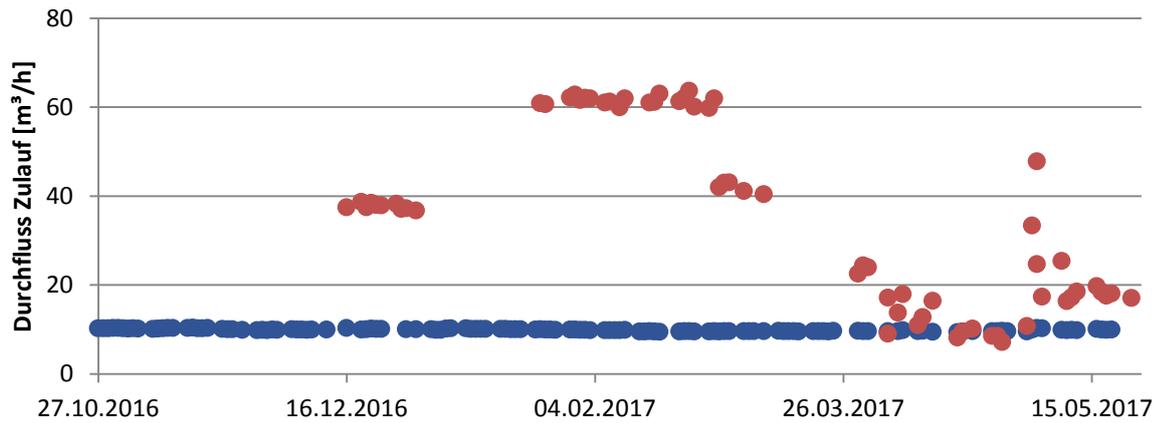


Abbildung 18: Durchfluss [m³/h] beider Anlagen (● – Mecana; ● - Invent)

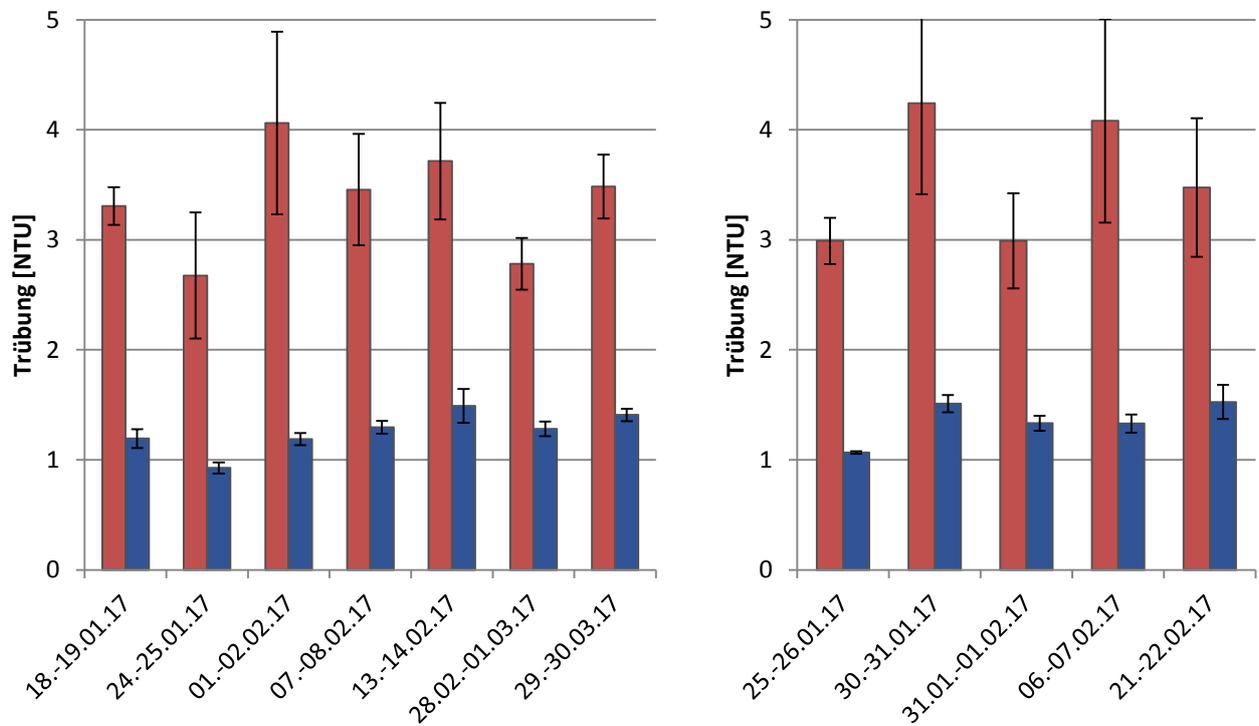


Abbildung 19: links: Trübung [NTU] Mecana-Anlage; rechts: Trübung [NTU] Invent-Anlagen; Mittelwert aus 3 Stichproben mit jeweils 3 Messungen, mit Standardabweichung (● – Zulauf; ● - Ablauf)

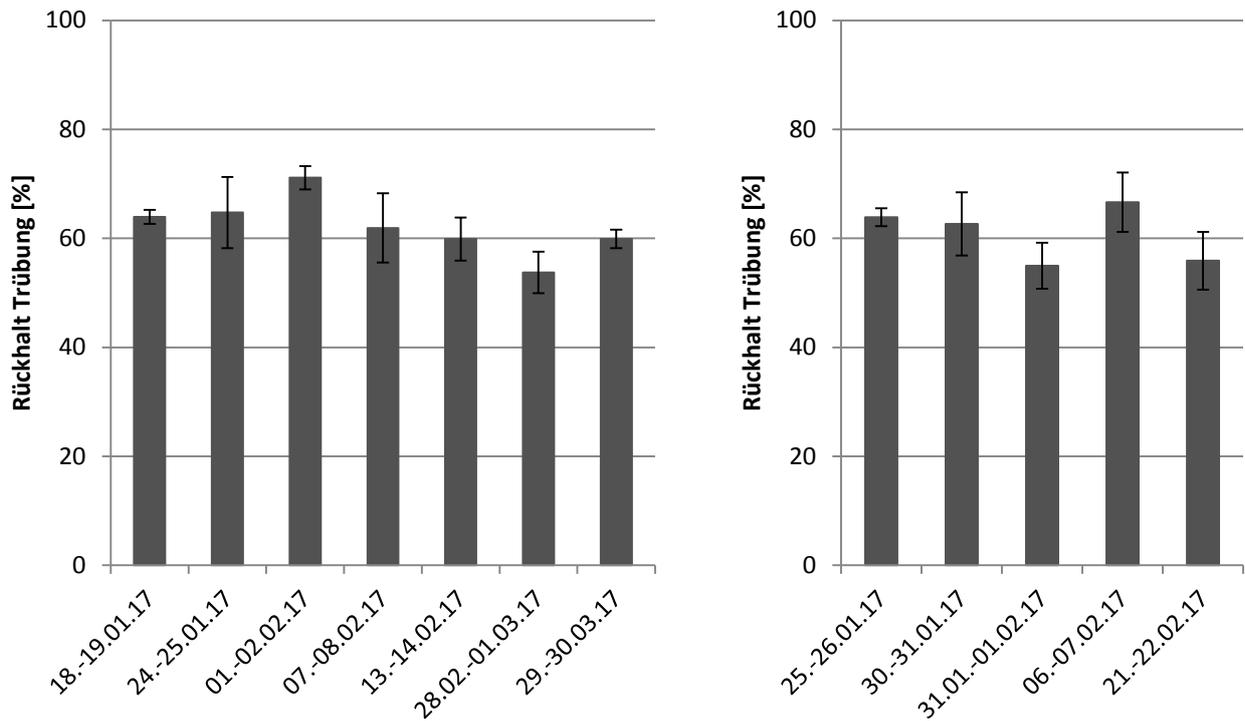


Abbildung 20: links: Rückhalt Trübung [%] Mecana-Anlage; rechts: Rückhalt Trübung [%] Invent-Anlagen; berechneter Mittelwert aus 3 Stichproben mit jeweils 3 Messungen, jeweils mit Standardabweichung

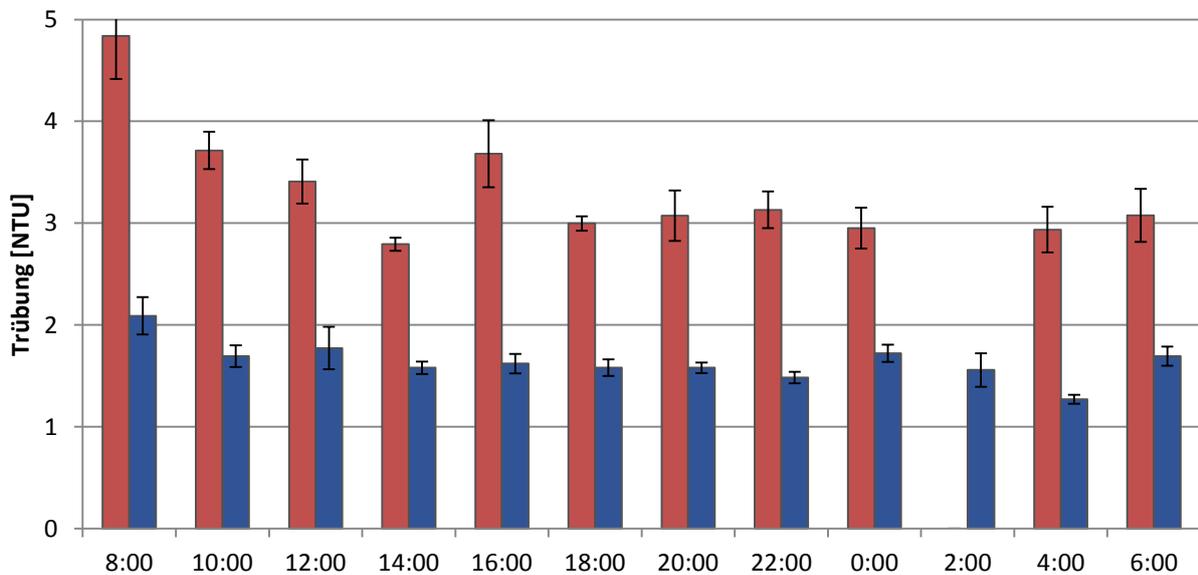


Abbildung 21: Tagesgang Trübung [NTU] und Standardabweichung Mecana-Anlage (●– Zulauf; ● - Ablauf)

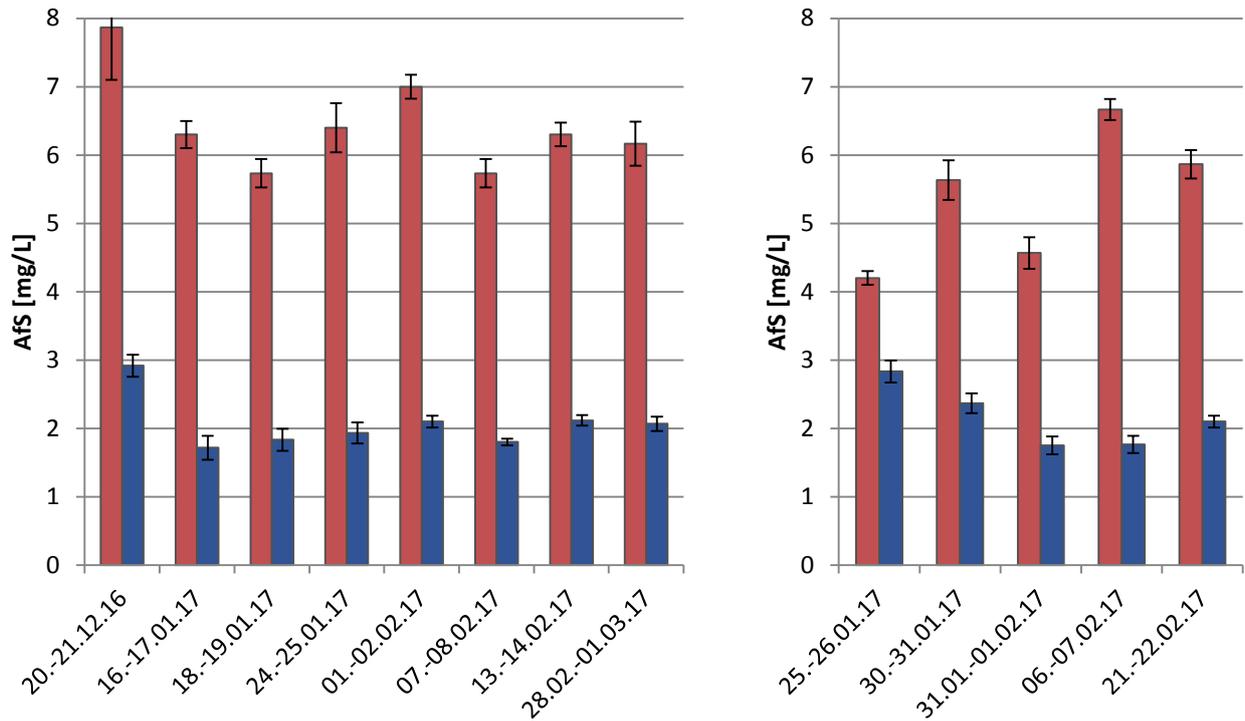


Abbildung 22: links: AfS [mg/L] und Standardabweichung Mecana-Anlage; rechts: AfS [mg/L] und Standardabweichung Invent-Anlage (● - Zulauf; ● - Ablauf); Mittelwert aus 3 Stichproben

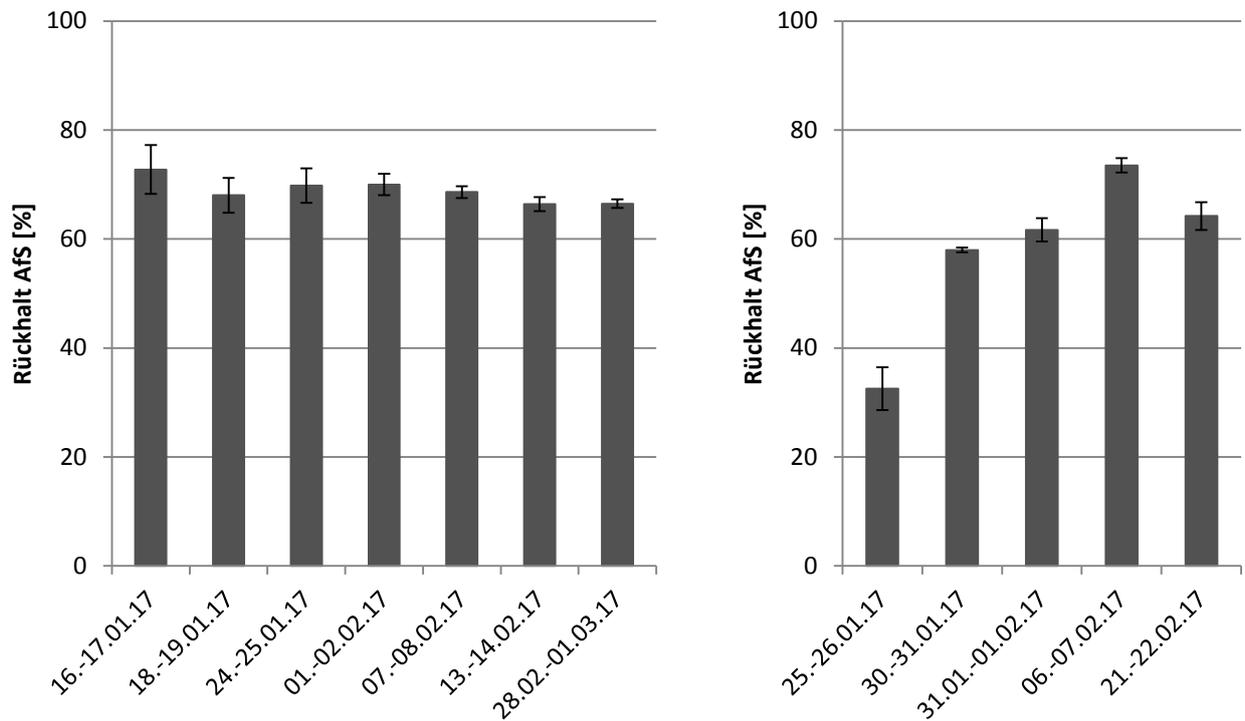


Abbildung 23: links: Rückhalt AfS [%] Mecana-Anlage; rechts: Rückhalt AfS [%] Invent-Anlagen, jeweils mit Standardabweichung; Mittelwert aus 3 Stichproben

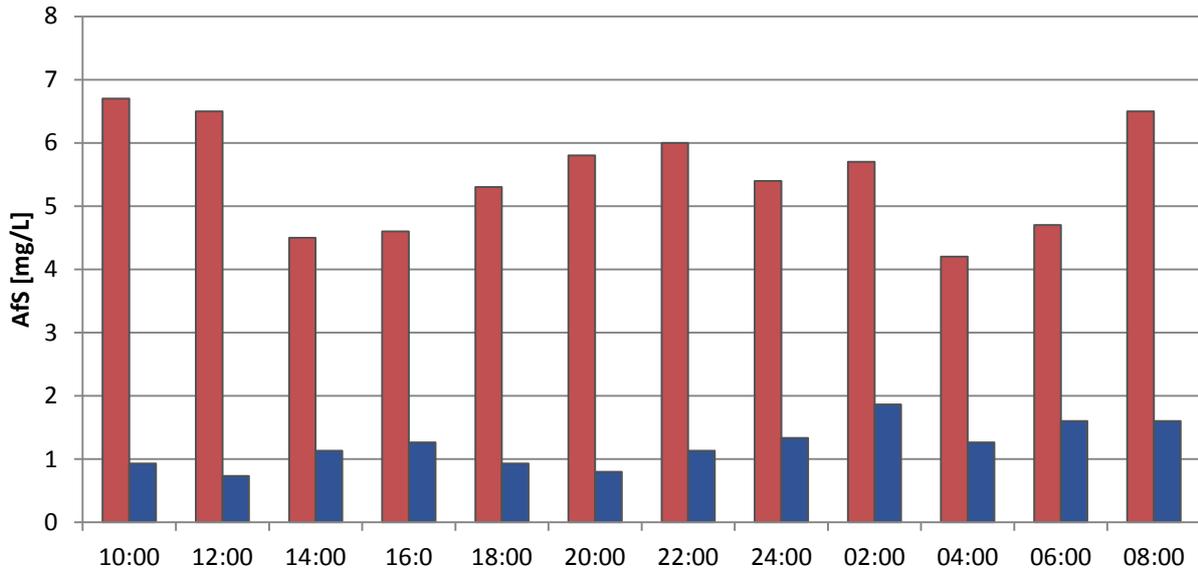
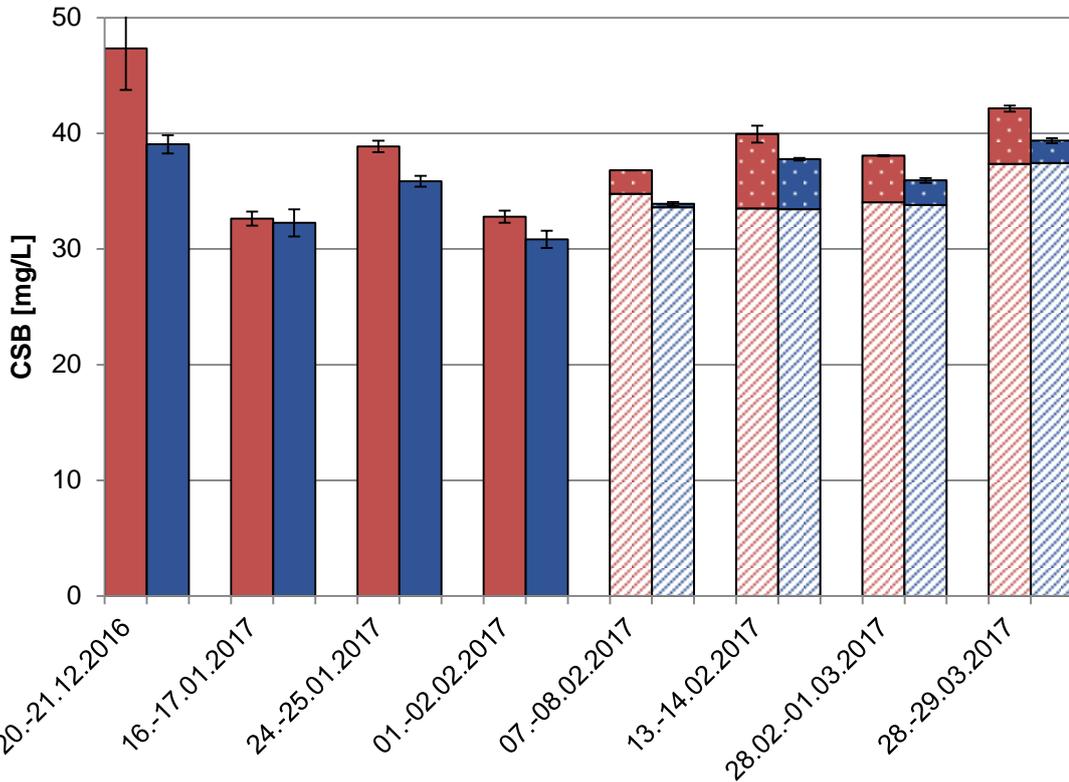


Abbildung 24: Tagesgang AfS [mg/L] Mecana-Anlage (● - Zulauf; ● - Ablauf)



Entfernung CSB gesamt	18 %*	1 %	8 %	6 %	8 %	5 %	6 %	7 %
Entfernung CSB gelöst					3 %	0 %	1 %	0 %
Entfernung CSB partikulär					85 %	33 %	47 %	60 %
CSB Zulauf	unfiltriert (gesamt)	filtriert (gelöst)	partikulär (berechnet)					
CSB Ablauf								

* Messfehler/ Messungengenauigkeit

Abbildung 25: CSB [mg/L] und Standardabweichung Mecana-Anlage; Mittelwert aus 3 Stichproben

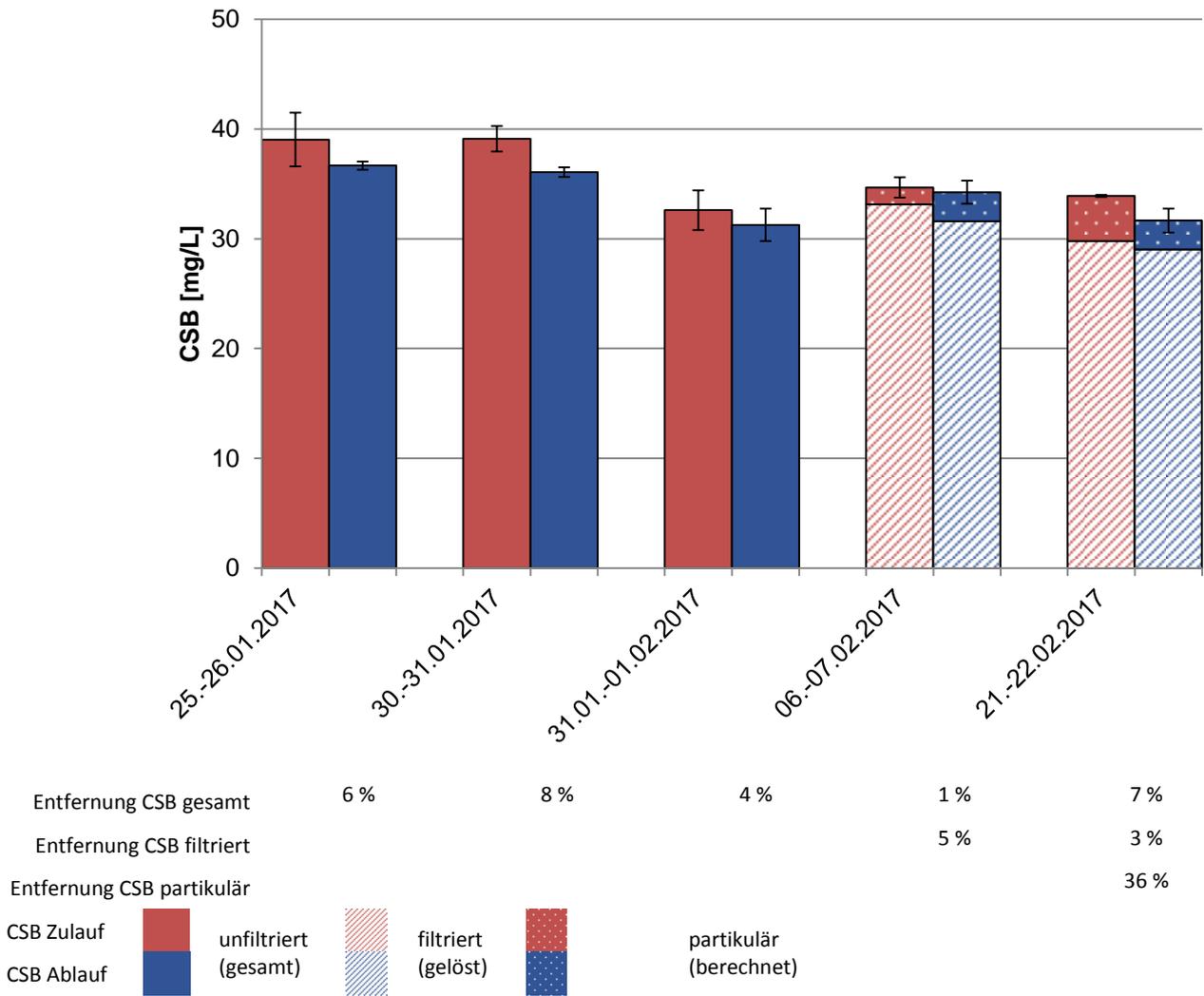


Abbildung 26: CSB [mg/L] und Standardabweichung Invent-Anlage; Mittelwert aus 3 Stichproben

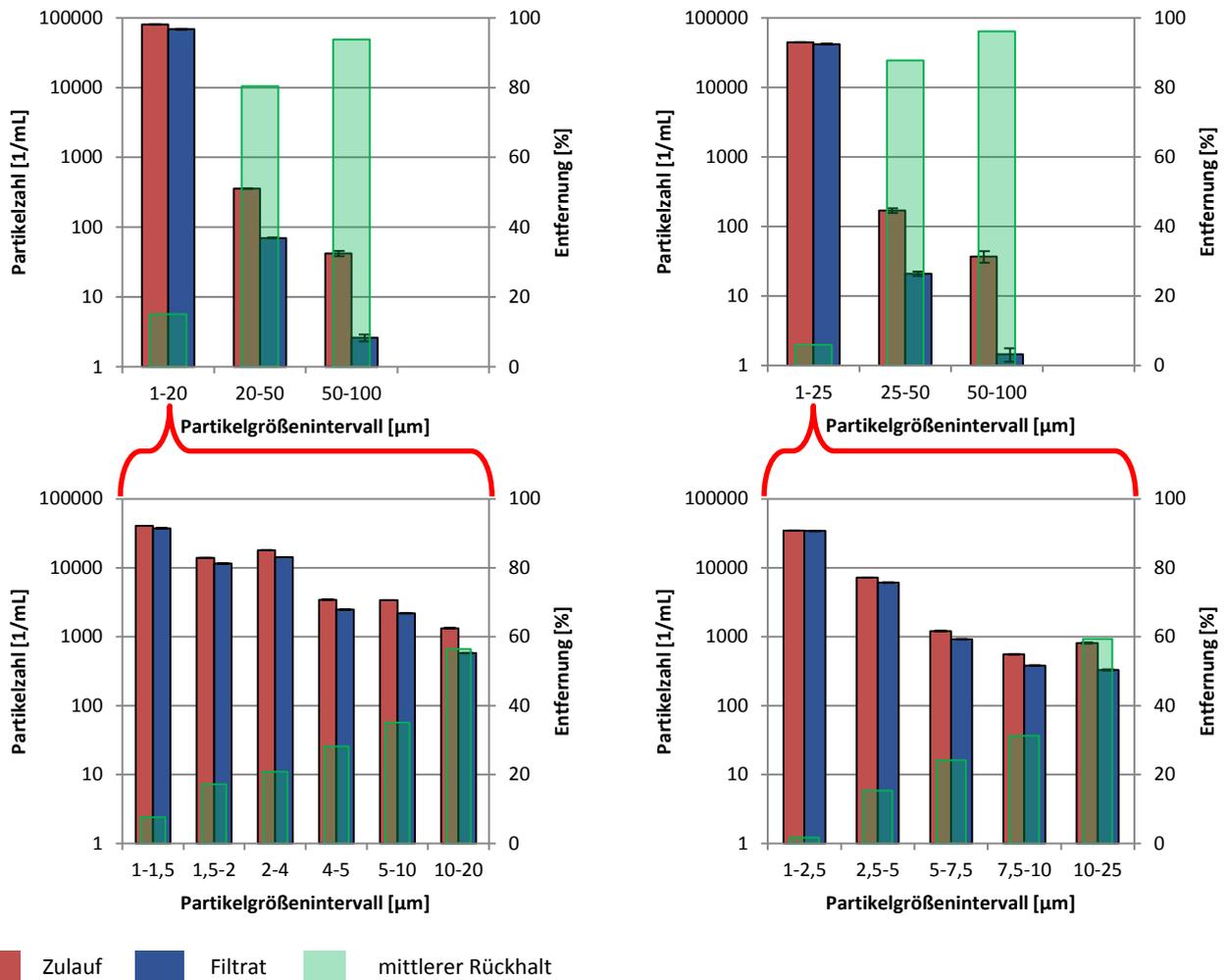


Abbildung 27: Partikelzahl – 24h Mischproben – Mecana-Anlage; links: 20./21.12.2016, rechts: 16./17.01.2017

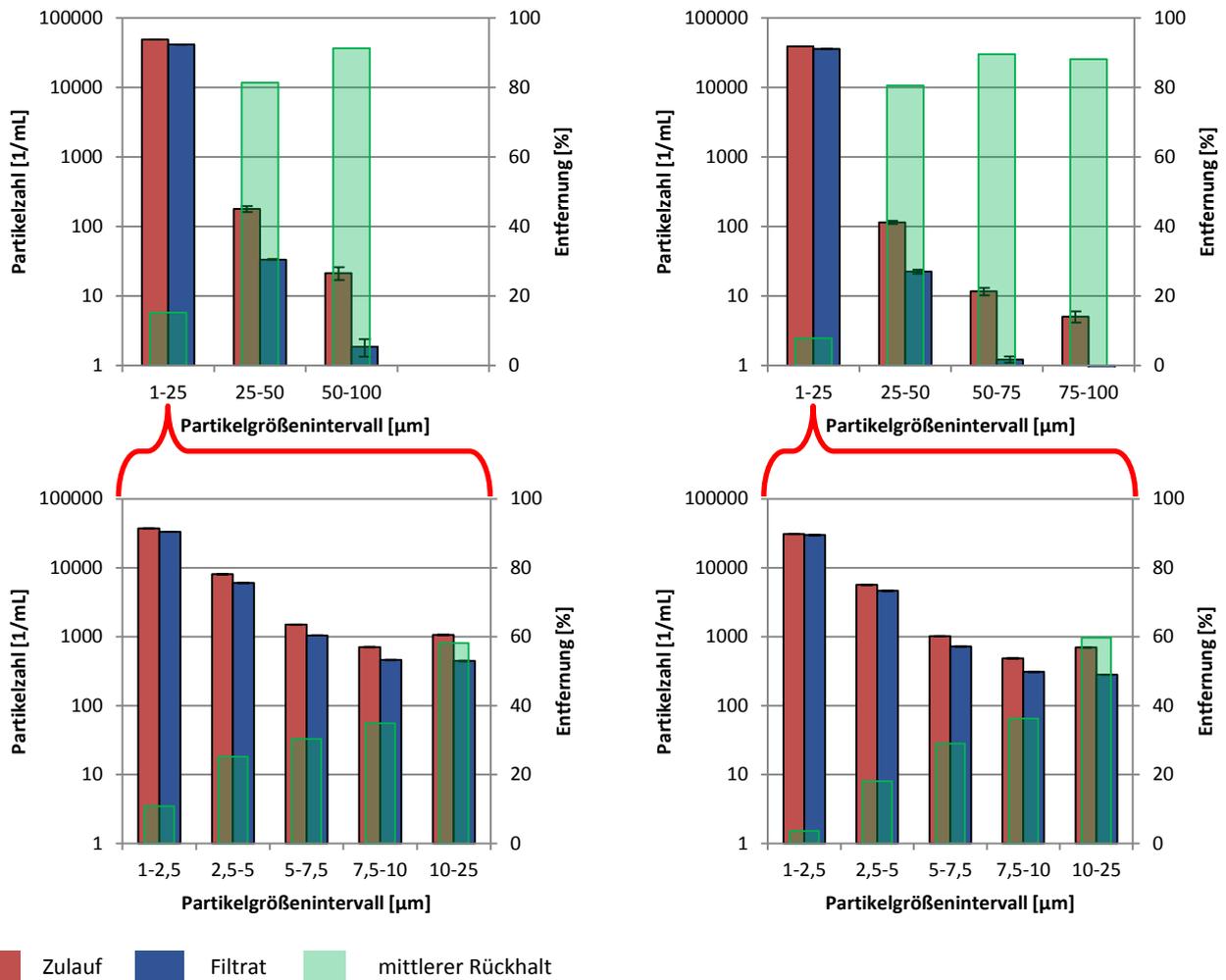


Abbildung 28: Partikelzahl – 24h Mischproben – Mecana; links: 18./19.01.2017, rechts: 24./25.01.2017

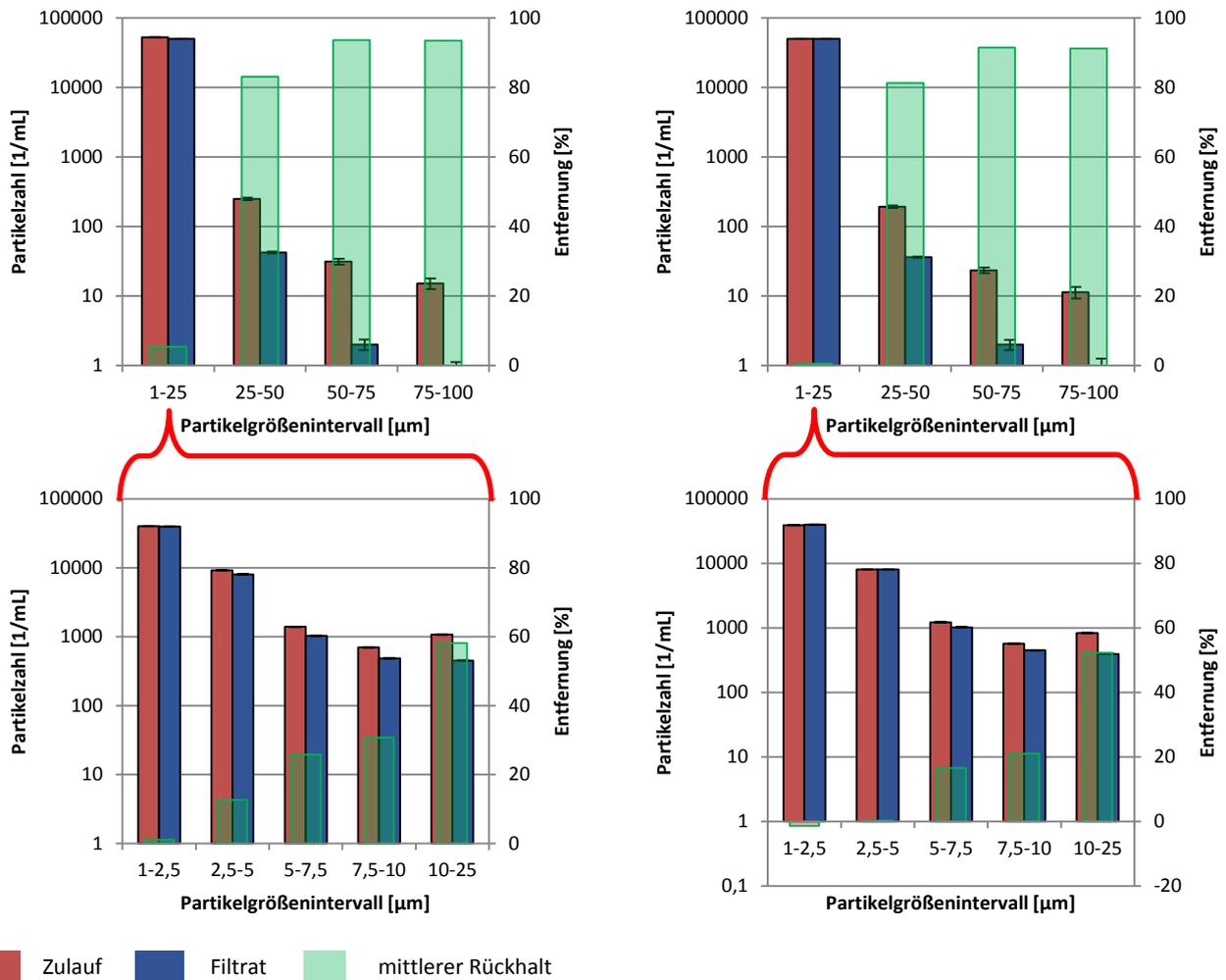
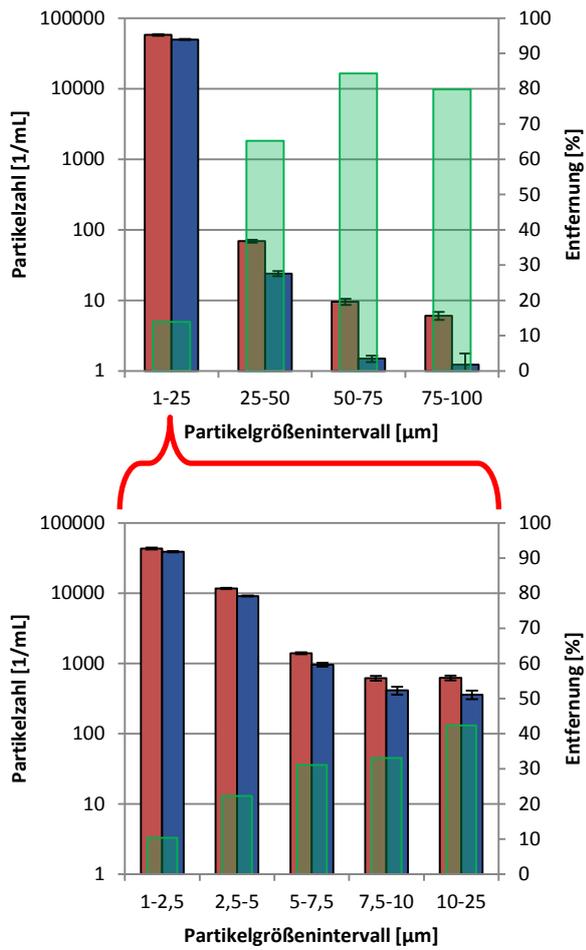


Abbildung 29: Partikelzahl – 24h Mischproben – Mecana; links: 01./02.02.2017, rechts: 07./08.02.2017



Zulauf Filtrat mittlerer Rückhalt

Abbildung 30: Partikelzahl – 24h Mischproben – Mecana; links: 28.02./01.03.2017

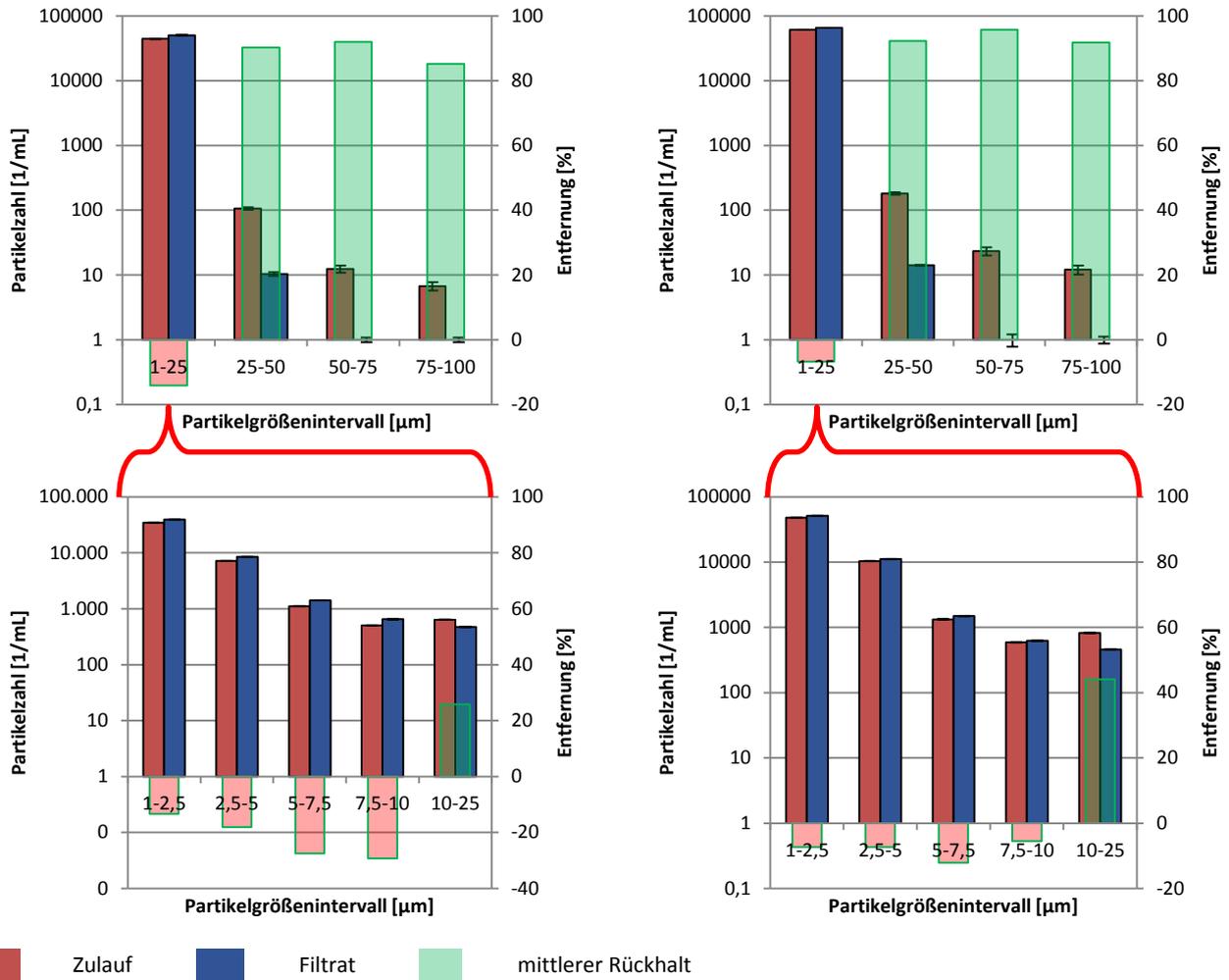


Abbildung 31: Partikelzahl – 24h Mischproben – Invent; links: 25./26.01.2017, rechts: 30./31.01.2017

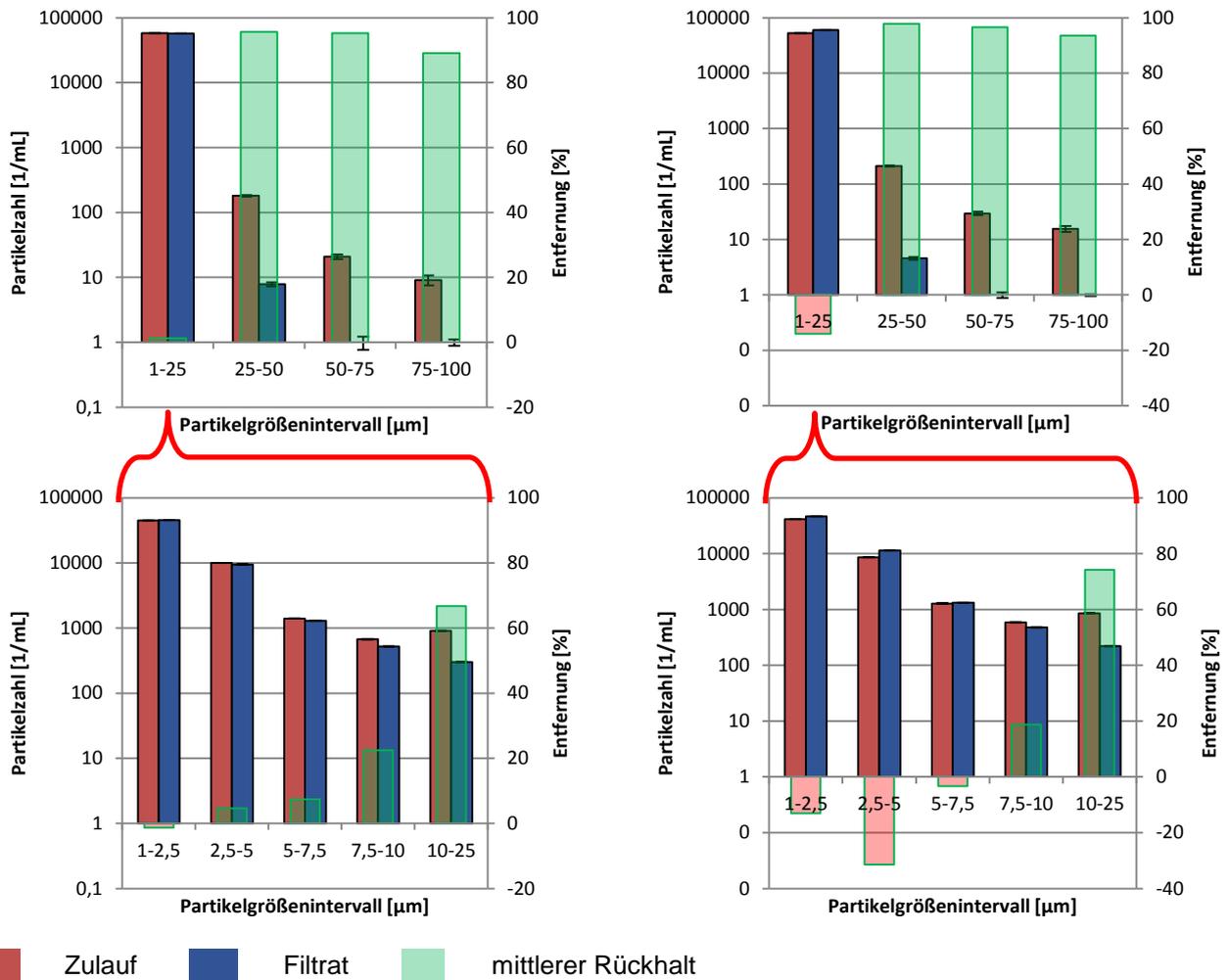


Abbildung 32: Partikelzahl – 24h Mischproben – Invent; links: 31.01./01.02.2017, rechts: 06./07.02.2017