
Wirkung von Behandlungs- anlagen der Straßen- entwässerung im Hinblick auf AFS63

Berichte der Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen
Verkehrstechnik Heft V 396

Wirkung von Behandlungs- anlagen der Straßen- entwässerung im Hinblick auf AFS63

von

Johannes Rüter, Dieter Grotehusmann
Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH, Hannover

Benedikt Lambert
Bioplan Landeskulturgesellschaft, Sinsheim-Steinsfurt

Berichte der Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen
Verkehrstechnik Heft V 396

Die Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt) veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der BASt, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG bezogen werden. Seit 2015 stehen sie zusätzlich als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung: <https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 05.0193
Wirkung von Behandlungsanlagen der Straßenentwässerung im Hinblick auf AFS63

Fachbetreuung:
Birgit Kocher, Michael Bürger

Referat:
Klimaschutz, Nachhaltigkeit, Verkehrsstatistik

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion:
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Gestaltungskonzept:
MedienMélange:Kommunikation

Druck, Verlag und Produktsicherheit:
Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 0 | E-Mail: kontakt@schuenemann-verlag.de
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331 | ISBN 978-3-95606-847-8 | <https://doi.org/10.60850/bericht-v396>

Bergisch Gladbach, April 2025

Kurzfassung – Abstract

Wirkung von Behandlungsanlagen der Straßenentwässerung im Hinblick auf AFS63

Ziel des Forschungsvorhaben „Wirkung von Behandlungsanlagen der Straßenentwässerung im Hinblick auf AFS63“ (FE 05.0193/2016/GRB) ist die Ermittlung der AFS63 Jahresfrachten und die AFS63 Rückhalteleistung von Regenwasserbehandlungsanlagen an Bundesfernstraßen.

Die Untersuchung erfolgte mit der Sedimentdepot- Methode, bei der die zurückgehaltenen Sedimentmengen in den einzelnen Anlagenteilen erfasst wurde. Die Bestimmung der AFS63 Fracht in den Sedimentationsanlagen erfolgte über die Sedimentmessung und Beprobung der zurückgehaltene Sedimentmenge in den Absetzanlagen. Die Erfassung der ausgetragenen Sedimente wird durch die Sedimentbeprobung der nachgeschalteten Anlagenstufe (RBF oder Versickerungsanlage) gewährleistet.

Um Abschätzungen von potenziellen Fehlerquellen bei der Sedimentdepot-Methode treffen zu können, wurden Plausibilitätsuntersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Plausibilitätsuntersuchen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Durch die hohe Betriebszeit (2 – 39 Jahre, Median 10a) erlaubt die Depotmethode eine ausreichend sichere Erfassung der AFS63-Fracht.
- Die sehr starke horizontale AFS63-Zonierung auf den Filterflächen kann durch eine Teilflächenbeprobung repräsentativ erfasst werden. Die Teilflächen selbst sind homogen, wie Vergleichsmessungen gezeigt haben.

Von den 115 ausgewerteten Anlagendaten wurden im Zeitraum Mai 2020 und April 2021 insgesamt 37 Anlagen bereist und 20 Anlagen vollständig über die Sedimentdepot- Methode untersucht. Durch die große Zahl an Anlagen konnte eine Spannweite der AFS63-Jahresfrachten ermittelt werden. Der Median der AFS63 Zulauffracht der untersuchten Anlagen liegt bei 437 kg/ha/a, das obere Quartil bei 536 kg/ha/a. Unter Berücksichtigung der auf dem Fließweg zur Behandlungsanlage zurückgehaltene AFS63 Fracht (Bankett-Mulden-Entwässerung) ergeben sich spezifische AFS63 Frachten von 558 kg/ha/a (Median) bzw. 821 kg/ha/a (oberes Quartil).

Die Art der Entwässerung (Bordrinnen-Abläufe-Rohre bzw. Bankett-Böschung-Mulde) übt einen deutlichen Einfluss auf die an einer zentralen Regenwasserbehandlungsanlage ankommenden AFS63 Frachten aus. Werden größere Teile der Straßenflächen über Bankett-Böschung und Mulden entwässert, sinkt die an der zentralen Behandlungsanlage ankommende AFS63 Fracht deutlich. Betonschutzwände führen tendenziell zu einer Erhöhung der AFS63 Frachten, da weniger in den Straßenseitenraum verdriftet wird. Bei allen anderen potenziellen Einflussgrößen konnte kein deutlicher Zusammenhang hergestellt werden. Dies gilt auch für den durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV). Hier überlagern sich die einzelnen Faktoren, oder es sind zufällige nicht näher quantifizierbare Einflüsse, aufgrund derer keine eindeutige Beziehung hergestellt werden kann.

Bei der Muldenentwässerung steht eine sehr hohe potenzielle Behandlungsfläche zur Verfügung über die eine hohe und weitgehend vollständige Behandlung des Straßenabflusses möglich ist. Eine nochmalige Behandlung des Muldenabflusses in einer zentralen Filteranlage ist deshalb nicht notwendig. Zukünftig sollte bei der Dimensionierung von RBF die EZG Flächen der Bankett-Mulden-Entwässerung unberücksichtigt bleiben.

Im Median sind in den Absetzanlagen 142 kg/ha/a AFS63 zurückgehalten worden. Die prozentuale Rückhalteleistung bezogen auf die gesamte gemessene AFS63 Fracht im Anlagenzulauf beträgt im Median 65 %. Wie erwartet zeigt sich eine Abhängigkeit zum spezifischen Volumen. Absetzanlagen mit einem spezifischen Volumen von > 200 m³/ha können AFS63-Rückhaltegrade von bis zu > 90 % erzielen. Bei spezifischen Volumen ≤ 40 m³/ha liegt der AFS63-Wirkungsgrad hingegen größtenteils bei ≤ 40 %.

Efficiency of road drainage treatment plants with regard to PM63

The aim of the research project „Efficiency of road drainage treatment plants with regard to PM63“ (FE 05.0193/2016/GRB) is to determine the PM63 annual loads and the PM63 retention capacity of stormwater treatment plants on federal trunk roads.

The investigation was carried out using the sediment depot method, in which the quantities of sediment retained in the individual plant sections were recorded. The PM63 load in the sedimentation plants was determined by sediment measurement and sampling of the retained sediment in the sedimentation plants. The recording of the discharged sediments is ensured by the sediment sampling of the downstream plant (retention soil filters or infiltration plant).

In order to estimate potential sources of error in the sediment depot method, plausibility studies were carried out. The results of the plausibility studies can be summarised as follows:

- Due to the long operating time (2 – 39 years, median 10a), the depot method allows a sufficiently reliable capture of the PM63 load.
- The very strong horizontal PM63 zoning on the filter surfaces can be recorded representatively by partial surface sampling. The partial areas themselves are homogeneous, as comparative measurements have shown.

Of the 115 evaluated plant data, a total of 37 plants were toured in the period May 2020 and April 2021, and 20 plants were fully investigated using the sediment depot method. Due to the large number of plants, a range of PM63 annual loads could be determined. The median of the PM63 inlet load of the investigated plants is 437 kg/ha/a, the upper quartile is 536 kg/ha/a. Taking into account the PM63 load retained on the flow path to the treatment plant (banquette-swale drainage), specific PM63 loads of 558 kg/ha/a (median) and 821 kg/ha/a (upper quartile) result.

The type of drainage (curbs-gully-sewer or banquette-embankment-swale) has a significant influence on the PM63 loads arriving at a central stormwater treatment plant. If larger parts of the road surfaces are drained via banquettes, embankments and swales, the PM63 load arriving at the central treatment plant decreases significantly. Concrete protective barriers tend to increase the PM63 loads, as less drifts into the roadside area. For all other potential influencing variables, no clear correlation could be established. This also applies to the average daily traffic volume (DTV). Here, the individual factors overlap, or there are random influences that cannot be quantified in more detail, due to which no clear relationship can be established.

With swale drainage, a very large potential treatment area is available, which enables a high and largely complete treatment of the road runoff. A further treatment of the swale runoff in a central filter system is therefore not necessary. In the future, the catchment areas of the banquette and swale drainage should not be taken into account when dimensioning retention soil filters.

On median, 142 kg/ha/a of PM63 was retained in the sedimentation plants. The percentage retention rate in relation to the total measured PM63 load in the plant inlet is 65 % on median. As expected, there is a dependence on the specific volume. Sedimentation plants with a specific volume $> 200 \text{ m}^3/\text{ha}$ can achieve PM63 retention rates of up to $> 90 \%$. With specific volumes $\leq 40 \text{ m}^3/\text{ha}$, however, the PM63 efficiency is mostly $\leq 40 \%$.

Summary

Efficiency of road drainage treatment plants with regard to PM63

1 Introduction

The Federal Highway Research Institution (BAST) has commissioned the research project “Efficiency of road drainage treatment plants with regard to PM63” (FE 05.0193/2016/GRB). PM63 are the fine particles in road runoff to which a large proportion of pollutants are bound and which also contain the largest proportion of tyre wear. The effectiveness of stormwater treatment plants is assessed according to the new regulations using this parameter. In the research project, the PM63 annual load on federal trunk roads is to be investigated for sites with different boundary conditions and the retention effort of sedimentation or settling plants (sedimentation basins, stormwater clarification basins) in relation to PM63.

In DWA-A 102 [1], an PM63 annual load of 760 kg/ha/a is assumed for inner-city roads with high traffic volumes. This leads to high treatment requirements on the emissions side. So far available measurements on roads outside towns tend to indicate lower values. In the case of proven lower loads or with corresponding pre-discharge on the flow path (banquette, swale drainage), adapted solutions for stormwater treatment should be chosen outside towns.

The range of PM63 annual loads is to be determined by investigating a larger number of road drainage treatment plants outside towns with different boundary conditions in order to create a well-founded database for federal trunk roads. It is also to be examined whether the measured annual loads can be predicted by easily ascertainable catchment area indicators and how large the pre-discharge is on the flow path via banquettes, embankments and swales. If necessary, differentiation can be made in future planning and the need for treatment can be adjusted while maintaining the same level of water protection.

2 Material and methodology

2.1 Methodology of the procedure

Sediment depot method

For recording the quantities of the retained sediment in the stormwater treatment plants, the “sediment depot method” is used. This method does without the water volume measurement and automatic sampling of the water phase. The PM63 load is quantified exclusively by recording and sampling the sediments in the sedimentation plants and the downstream infiltration plants or soil filter plants. It is assumed that no further PM63 is discharged from the infiltration and soil filter plants. The sum of the PM63 load in the sedimentation plant and the infiltration soil filter plant corresponds to the total PM63 influent load in the operating period or in the period after any sediment clearance in the sedimentation plant. The longer this period is, the better seasonal load changes (vegetation and de-icing salt influence) are levelled out. At the same time, the inaccuracies in sediment mapping are reduced, as large sediment volumes are easier to measure than very small ones.

Since this type of sampling is far less complex than sampling of the water phase proportional to the outflow volume, more plants can be sampled. In addition, all events are recorded with the sediment depot method, whereas with the sampling of the water phase very small (too low outflow) and very large (outflow volume very large, sample bottles are not sufficient) events cannot be safely sampled.

With the help of the paved connected area ($A_{b,a}$) and the operating time without sediment clearance (for the sedimentation plants), the absolute PM63 quantity can be related to $A_{b,a}$ and year (kg AFS63/(ha $A_{b,a}$ x a)).

At sites where the stormwater runoff is partially or completely routed via swales to the stormwater treatment plants, pre-sedimentation usually already takes place in the banquette, embankment and swale areas. This pre-sedimentation is also recorded by sediment sampling of the areas mentioned and the PM63 load from the pre-sedimentation is to be taken into account for the site-specific PM63 load.

In the laboratory, the sediment samples are divided into the fractions C+M (PM63) and S+G (coarse particles) and subsequently analysed separately for loss on ignition (organic components) and for the aqua regia-soluble elements (heavy metals) and for CaCO₃.

When sampling, the sediment quantities determined (PM and PM63 loads) are based on the longest possible accumulation time. With a long accumulation time (> 2 years), a strict time cut of the annual cycles is no longer necessary. This long-term time sufficiently levels out seasonal load changes (vegetation and de-icing salt influence).

Selection of the plants

In cooperation with the Lower Saxony State Authority for Road Construction and Transport (NLStBV), the State Road Construction Authority NRW (Straßen.NRW), the Thuringia State Office for Construction and Transport (TLBV), the Southern Bavaria Motorway Directorate (ABD SB), the Tübingen Regional Council, the Autobahn GmbH of the federal republic - location West and the DEGES, documents from 115 basin plants were requested and evaluated.

The following criteria must be fulfilled for the investigated sedimentation plants:

- Only sedimentation plants with downstream infiltration plants or retention soil filter systems can be investigated.
- The catchment areas and the way in which the road runoff is delivered to the plants (storm sewer, banquet-swale) must be known or easily determined.
- Sedimentation plants whose catchment area consists of a significant proportion of rest area drainage (predominantly stationary traffic) should not be considered.

After analysing data from 115 plants, in the period May 2020 and April 2021 a total of 37 plants were toured and 20 plants were fully sampled.

2.2 Description of the sampling

Sediment determination sedimentation plant

For recording the sediments in the sedimentation plants (depot settling plant) a sediment mapping and sampling is carried out during running permanent water level operation. The sediment heights are measured using a dipstick. The sediment samples are taken with an Ekman-Birge sediment grabber as a composite sample over the height of the sediment layer.

The steps for determining the load in the settling plant can be summarised as follows:

- measurement of sediment volume via sediment mapping
- determination of the storage density of the sediment from the fresh mass via weight and volume of the sample
- determination of dry matter content of the sediment
- determination of the dry matter
- determination of the C+M content in the composite sample
- determination of the PM63 mass
- determination of the specific PM63 load (with respect to time and $A_{b,a}$ -area)

Sediment determination filtration plant

The filter surfaces are divided into the inlet-close and inlet-far areas and sampled separately. The sampling itself is carried out with a pricking cylinder. The initial PM63 content of the soil filter material or the existing soil of the infiltration plant is subtracted from the measured PM63 content in order to determine the depot that has formed.

The steps for determining the load in the downstream infiltration plant / retention soil filter can be summarised as follows:

- determination of the sediment volume via the volume (vol. pricking cylinder x number of punctures) and the weight of the composite sample
- determination of the storage density via sediment volume and weight of the composite sample
- determination of dry matter content of the composite samples
- determination of the C+M content in the composite samples and in the source material
- determination of the dry matter on the infiltration surface
- determination of the PM63 load
- determination of the specific PM63 load (in relation to time and $A_{b,a}$ -area)

Sediment determination banquette- embankment -swale areas

At a site, where all runoff flows over the banquette, embankment and swales into a central treatment plant, the sediment load retained on the banquette, embankment and swale was sampled in addition to the plant. Sampling is also carried out using the depot method. In order to measure and sample the sediment levels a profile is cut from the edge of the road to the bottom of the swale.

Plausibility test methodology

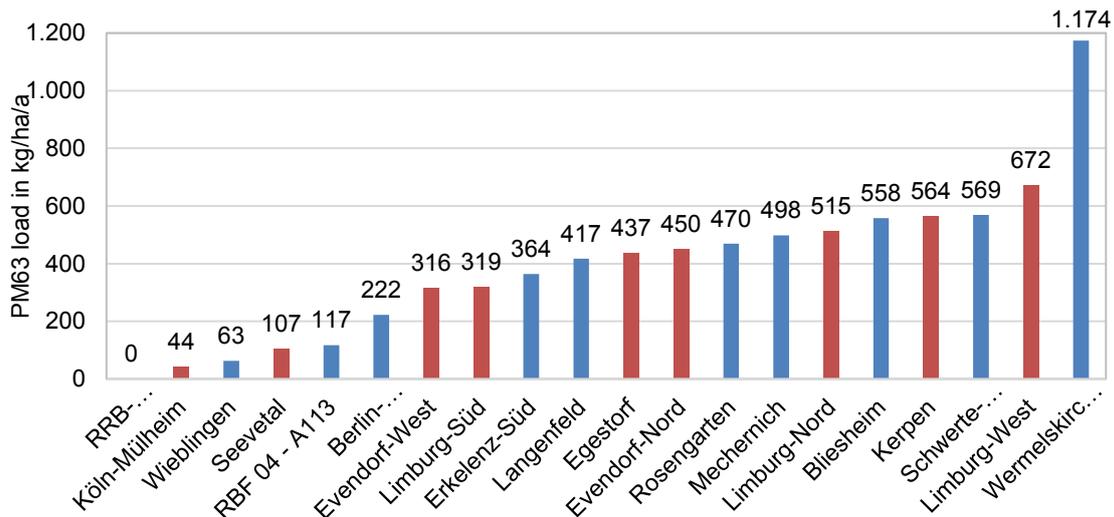
In order to estimate potential sources of error in the sediment depot method, plausibility tests were carried out. The results of the plausibility tests can be summarised as follows:

- Due to the long operating time (2 - 39 years, median 10a), the depot method allows a sufficiently reliable detection of the PM63 load.
- The very strong horizontal PM63-zonation on the filter surfaces can be recorded representatively by partial surface sampling. The partial areas themselves are homogeneous, as comparative measurements have shown.

3 Results

The results of all measured PM63 influent loads of the 20 completely sampled plants are shown in Figure 1, sorted by their specific influent load. At 9 of the 20 plants, the catchment area is partly drained via swales (shown in red). No sampling could take place at the site Mühlhausen due to too low load inputs. The PM63 influent load for this site was therefore set to zero.

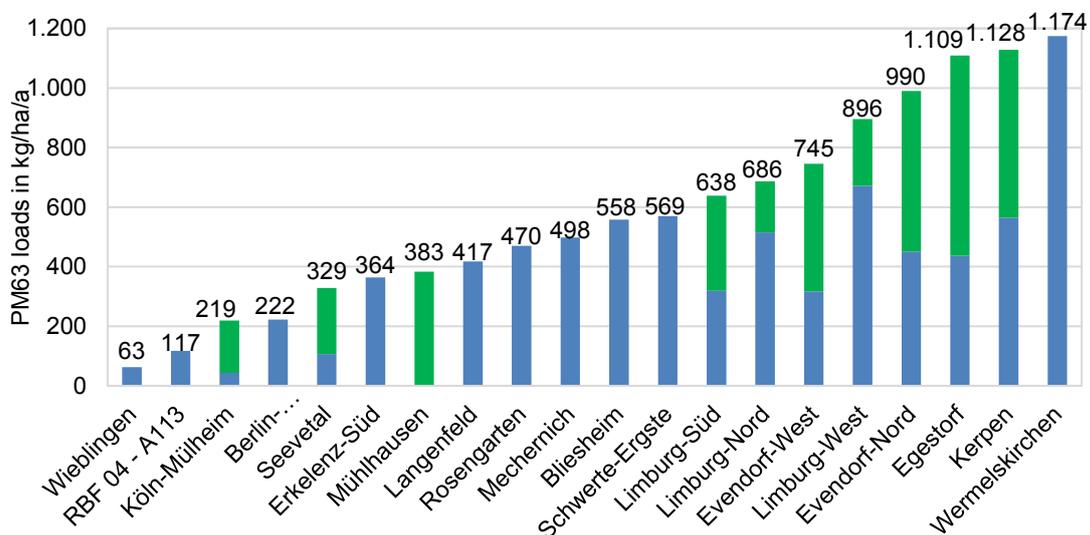
The median of the PM63 influent load of the investigated plants is 437 kg/ha/a, the upper quartile is 536 kg/ha/a.



* Berlin- Halensee, without sediments flow-dividing structure

Figure 1: PM63 inflow loads of all investigated sites in kg/ha/a

The type of drainage has a significant influence on the PM63 load entering the stormwater treatment plants. A basic distinction is made between drainage by curbs/gully/sewer and drainage via banquettes/swales. If the PM63 loads retained on the flow path on banquettes and in swales are added to the loads measured at the plants (Figure 1), the loads removed from the road surfaces are obtained according to Figure 2. The portion shown in blue indicates the specific PM63 load measured at the plants. The area shown in green shows the PM63 fraction that was mathematically retained by a complete retention of the particulate load on the flow path (via the banquette-swale-drainage).



* Berlin- Halensee, without sediments flow-dividing structure

Figure 2: PM63 removal loads in kg/ha/a from the road surfaces

Taking into account the PM63 load retained on the flow path to the treatment plant (banquette-swale-drainage), specific PM63 loads of 558 kg/ha/a (median) and 821 kg/ha/a (upper quartile) are obtained. Compared to the categorisation according to DWA-A 102, the median of 536 kg/ha/a is more located in category II (530 kg/ha/a) than in category III (760 kg/ha/a). In the

draft of the REwS, a specific inflow load of 550 kg/ha/a is used for road runoff from motorways, which was derived from several studies. This value is very close to the median determined here.

Potential influencing factors regarding the specific AFS63 load include a. o.:

- type of drainage
- traffic volume (average daily traffic volume (DTV))
- noise barriers / concrete protective barriers
- forest aisle
- embankment location / box-cut

The type of drainage (curbs-gully-sewer or banquette-embankment-swale) has a significant influence on the PM63 loads arriving at a central stormwater treatment plant. If larger parts of the road surfaces are drained via banquettes, embankments and swales, the PM63 load arriving at the central treatment plant decreases significantly. Concrete protective barriers tend to increase the PM63 loads, as less drifts into the roadside area. For all other potential influencing variables, no clear correlation could be established. This also applies to the average daily traffic volume (DTV). Here, the individual factors overlap, or there are random influences that cannot be quantified in more detail, due to which no clear relationship can be established.

On median, 142 kg/ha/a of PM63 was retained in the sedimentation plants. The percentage retention rate in relation to the total measured PM63 load in the plant inlet is 65 % on average. As expected, there is a dependence on the specific volume. Sedimentation plants with a specific volume of > 200 m³/ha can achieve PM63 retention rates up to > 90 %. With specific volumes ≤ 40 m³/ha the PM63 efficiency is mostly ≤ 40 %.

The measurements have shown that the sediment distribution on the filter surface is strongly dependent on the inlet design. This is particularly evident in the case of a punctual inlet design. On average, the filter surface load of the investigated plants is 2.2 kg/m² for retention soil filters and 1.3 kg/m² for infiltration plants.

4 Conclusion

The results show that a reasonably reliable prediction of the PM63 load is not possible on the basis of catchment area parameters (inner city, forest aisle, embankment location, DTV). Only for extremely low and extremely high PM63 loads their cause could be determined.

Wide-area drainage via banquettes and swales can reduce the PM63 load in the inlet to the treatment plant to zero (example Mühlhausen). The concrete protective wall can significantly increase the PM63 load in the inlet to the treatment plant (example Wermelskirchen).

The present results show that the type of drainage (proportion of drainage via banquettes and swales) has a decisive effect on the amount of inflow load. In the future, the catchment areas of the banquette and swale drainage should not be taken into account when dimensioning retention soil filters.

With swale drainage, a very large potential treatment area is available, which enables a high and largely complete treatment of the road runoff. A further treatment of the swale runoff in a central filter system is therefore not necessary.

Inhalt

1	Einleitung	13
2	Kenntnisstand	13
3	Material und Methodik	16
3.1	Methodik des Vorgehens	17
3.1.1	Anlagenkriterien und -auswahl	18
3.2	Beschreibung der Beprobung	18
3.2.1	Sedimentermittlung Absetzanlage	19
3.2.2	Sedimentermittlung Filtrationsanlage	21
3.2.3	Sedimentermittlung Bankett-Böschung-Muldenbereich	22
3.2.4	Beschreibung der Laboranalyse	23
3.3	Vergleich der angewandten Methodik mit üblichen Beprobungsverfahren	26
3.4	Plausibilitätsuntersuchungen der Methodik	27
3.4.1	Messungenauigkeiten bei der Beprobung der Absetzanlage	28
3.4.2	Messungenauigkeiten bei Beprobung der Filteroberfläche	31
4	Ergebnisse und Diskussion	33
4.1	Anlagenbereisung und Anlagenkenndaten	33
4.2	AFS63-Frachten im Zulauf der Anlagen	38
4.3	Einzugsgebietscharakteristik und AFS63-Fracht	41
4.3.1	Art der Entwässerung	42
4.3.2	weitere Einzugsgebietsmerkmale	43
4.4	Bankett / Böschung / Mulden-Beprobung	46
4.5	Rückhalteleistung der Absetzanlagen	49
4.6	Verteilung der AFS63-Fracht entlang des Fließweges	45
4.7	Filterflächenbelastung der Retentionsbodenfilter und Versickerungsanlagen	51
4.8	Analyseergebnisse der Feststoff und der Wasserphase	56
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	61
6	Ausblick	63

Literatur	64
Bilder	66
Tabellen	67
Anlagen	68
Anlage 1 Beispielauswertung	68
Anlage 2 Anlagenkenndaten	74
Anlage 3 Dokumentation und Auswertung Anlagenbereisung	78
Anlage 4 Analyseergebnisse	107

1 Einleitung

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) hat das Forschungsvorhaben „Wirkung von Behandlungsanlagen der Straßenentwässerung im Hinblick auf AFS63“ (FE 05.0193/2016/GRB) beauftragt. AFS63 sind die feinen Partikel (Korngrößenbereich Schluff und Ton) im Straßenabfluss, an die ein Großteil der Schadstoffe gebunden ist [1] [2]. In bisherigen Untersuchungen wurden vor allem Einzelstoffe untersucht. Unter [1] und [3] sind eine Reihe von Feststoffgehalten in Straßenrandböden und Konzentrationen im Sickerwasser zusammengefasst. Auch ein großer Anteil des Reifenabriebs ist in dieser Größenfraktion enthalten [4]. Die Wirksamkeit von Regenwasserbehandlungsanlagen wird nach den neuen Regelwerken der Straßenentwässerung anhand des Parameters AFS63 beurteilt. Die Hauptziele der Untersuchungen sind zum einen die Ermittlung der Jahresfracht von AFS63 an Bundesfernstraßen für Standorte mit unterschiedlichen Randbedingungen und zum anderen die Bestimmung der Rückhalteleistung von Sedimentations- oder Absetzanlagen (Absetzbecken, Regenklärbecken) in Bezug auf AFS63.

Im DWA-A 102 [5] wird für Innerortsstraßen bei hohen Verkehrsstärken von einer AFS63-Jahresfracht von 760 kg/ha/a ausgegangen. Das führt zu hohen emissionsseitigen Behandlungsanforderungen. Bisher vorliegende Messungen an Außerortsstraßen deuten eher auf niedrigere Werte hin. Bei nachgewiesenen geringeren Frachten bzw. bei entsprechender Vorentfrachtung auf dem Fließweg (Bankette, Muldenentwässerung) sollten hier außerorts angepasste Lösungen zur Regenwasserbehandlung gewählt werden.

Durch die Untersuchung einer größeren Zahl an Behandlungsanlagen der Straßenentwässerung außerorts mit unterschiedlichen Randbedingungen soll die Spannbreite der AFS63-Jahresfrachten ermittelt werden, um für Bundesfernstraßen eine fundierte Datenbasis zu schaffen. Es soll auch geprüft werden, ob die gemessenen Jahresfrachten durch einfach erfassbare Einzugsgebietsindikatoren prognostiziert werden können und wie groß die Vorentfrachtung auf dem Fließweg über Bankette, Böschungen und Mulden ist. Ggf. kann bei zukünftigen Planungen besser differenziert und der Bedarf an Behandlung bei gleichbleibendem Gewässerschutz angepasst werden.

2 Kenntnisstand

Als AFS63 werden die feinstpartikulären Anteile im Niederschlagsabfluss bezeichnet, die aus der Sicht der Bodenkunde der Ton- und Schlufffraktion (T + U) mit Partikelgrößen < 63 µm zuzuordnen sind. Eine genau definierte bzw. genormte Analyseverfahren für diesen Parameter gibt es noch nicht. Im Rahmen dieses Vorhabens wird AFS63 als T+U-Anteil einer nach DIN 18123 ermittelten Korngrößenverteilung der Sedimente im Niederschlagsabfluss verstanden (vgl. Kapitel 3.2.4).

Zu den AFS63-Frachten von Straßenoberflächenwasser von Außerortsstraßen liegen bisher nur wenige Messungen vor, weil der Parameter AFS63 erst seit Kurzem als Leitparameter für die Regenwasserbehandlung festgelegt wurde (vgl. DWA-A 102 [5] und REwS 2021 [6]) und der T+U-Anteil mit den üblichen AFS Bestimmungen (z.B. nach DIN 38409) nicht explizit ausgewiesen wurde. Eine Umrechnung der älteren Messungen von AFS auf AFS63 ist nur möglich, wenn eine Klassierung der Sedimente im Niederschlagsabfluss der ehemaligen Messorte ausreichend sicher bestimmt werden kann.

Die bisher vorliegenden Studien zeigen eine hohe Varianz der AFS63-Fracht innerhalb der Quartale und zwischen den Jahresquartalen [7] [8]. Um repräsentative AFS63-Frachten zu erhalten, ist eine möglichst vollständige Beprobung notwendig, wie sie z.B. für Kleinflächen-

einzugsgebiete ($A_{b,a} \approx 30 \text{ m}^2$) in einer Studie von 3 Autobahnabflüssen erzielt werden konnte [9]. Die möglichen Fehler bei einer lückenhaften Beprobung lassen sich anhand der Messungen an der A100 in Berlin (Bodenfilter Halensee) aufzeigen. Über die Feststoff-sammlerbeprobung (abflussvolumenproportionale Beprobung mit großvolumigen Behältern) wurde eine AFS63-Fracht von 180 kg/ha/a ermittelt, während die Beprobung der Anlagen-sedimente eine AFS63-Fracht von 607 kg/ha/a ergab [10]. Die bisherige lückenhafte Beprobung führt zu starken Fehlern in der Jahresfrachtermittlung.

Auch zwischen den einzelnen Standorten schwanken die AFS63-Jahresfrachten stark. Bisher lassen sich diese starken Jahresfrachtschwankungen zwischen unterschiedlichen Straßen nicht plausibel erklären. Die angefallene Feinpartikelfracht der Autobahnen, die mit der gleichen Methode fast vollständig über den Zeitraum eines Jahres beprobt wurde, lag zwischen 260 und 877 kg/ha/a, ohne dass plausible Gründe dafür benannt werden konnten (siehe Tabelle 2-1). Weder die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) noch die Größe der angeschlossenen befestigten Fläche zeigt eine Korrelation zur gemessenen spezifischen Fracht. Eine höhere Zahl an Messungen an verschiedenen Straßenstandorten ist notwendig, um die Ursachen für die großen Frachtspannen offen zu legen. Voraussetzung für solche Messungen ist allerdings, dass die methodischen Fehler nur gering sind (mehrjährige Messungen ohne Lücken).

Tabelle 2-1: AFS63-Frachten an unterschiedlichen Standorten

Standort	BAB	DTV	A,b,a	AFS	AFS63	Anteil T+U
			ha	kg/ha/a	kg/ha/a	%
Marhäuser Weg ¹⁾	A59	55.000	3,55	629	528	84%
Westhofer Weg ¹⁾	A 4	115.000	7,58	599	503	84%
Steinsfurt ²⁾	A 6	86.000	0,003	825	778	94%
Großburgwedel ²⁾	A 7	66.000	0,003	357	260	74%
Kirchhorst ²⁾	A 37	45.000	0,003	389	327	84%
Berlin Halensee ³⁾	A 100	140.429	22,8	607	549	90%
A81 Pleidelsheim ⁴⁾	A 81	38.462	1,3	873	733	84%
A6 Obereisesheim ⁴⁾	A 6	45.279	2,16	848	712	84%
A8/B10 UlmWest ⁵⁾	A 8 /A 10	40.560	9,9	479	403	84%
Berlin-Späthstraße [11]	A113	106.999	1,3	1.762	877	-
Steinsfurt [11]	A6	86.000	5,24	1.584	885	-
Median der Außerortsstraßen				629	549	84%
Mittelwert der Außerortsstraßen				814	596	85%

1) Lange et al 2003, Annahme 84 % AFS63 (aus Messungen von Grotehusmann et al. 2017)

2) Grotehusmann et al. 2017 (direkte Messungen über Auffangsammler im Bankettbereich)

3) Grotehusmann et al. 2010 (AFS63 aus den Feststoffmessungen und 90 % T+U Anteil abgeleitet)

4) Krauth/Klein 1982, Annahme 84 % AFS63 (aus Messungen von Grotehusmann et al. 2017)

5) Krauth/Klein 1981, Annahme 84 % AFS63 (aus Messungen von Grotehusmann et al. 2017)

Welche AFS63-Fracht im Zulauf zu einer Regenwasserbehandlungsanlage anfällt, ist von der Art der Straßenentwässerung abhängig. Die in Tabelle 2-1 zusammengestellten Messungen weisen recht unterschiedliche Randbedingungen auf, die nicht unbedingt typisch sind für den Großteil der Streckenabschnitte.

Die Autobahnabflüsse der Tabelle 2-1 können alle als Außerortsstraßen kategorisiert werden. Als innerörtlicher Vergleich kann eine Untersuchung an der Landshuter Allee in München herangezogen werden [12]. Die AFS63-Fracht dieses Straßenabflusses liegt bei 574 kg/ha/a.

Im Unterschied zur Muldenentwässerung, bei der am bewachsenen Bankett und in der bewachsenen Mulde eine sehr große Vorsedimentation stattfinden kann [13] [14], ist der feinstpartikuläre Rückhalt bei der gefassten Entwässerung über Bordrinnen, Straßenabläufe und Regenwasserkanälen sehr gering [15] und dementsprechend die AFS63-Zulauffracht entsprechend höher.

In der Regel ist im Straßenabfluss ein Großteil der Schadstoffe an den feinstpartikulären Partikeln im Niederschlagsabfluss gebunden. Der geringe grobpartikuläre Massenanteil enthält dagegen z.B. meist nur sehr geringe Schwermetallgehalte, die im Bereich der geogenen Hintergrundgehalte liegen [16]. Neben der hohen grobpartikulären Fracht an Fe und CaCO₃, die z.B. im Bankettdepot lagert und an dieser Fließwegposition die Binderreserven für gelöste, anorganische Schadstoffe markant erhöht [17], kann jedoch auch nach langem Fließweg im Zulauf zu einer zentralen Regenwasserbehandlungsanlage eine schadstoffrelevante grobpartikuläre Fraktion auftreten. So bewirkt eine hohe Zahl von Straßenbäumen nicht nur eine Erhöhung des GV der feinstpartikulären Kornfraktion, sondern auch eine frachtrelevante grobpartikuläre, vegetationsbürtige Kornfraktion, die aufgrund der geringen Dichte (anfängliche Schwimmstoffe) bis zum Zulauf zentraler Anlagen transportiert wird. Diese Fraktion kann durch die herkömmliche Probenahme nicht erfasst und quantifiziert werden. Erst die Beprobung der Anlagensedimente lässt eine einfache und sichere Quantifizierung zu. Innerhalb der Sedimentoberfläche kann diese holzige Fraktion durch Aufwölbung erkannt und abgegrenzt werden. Diese grobpartikuläre, holzige Fraktion ist ein Zwischenstadium der Zersetzung zu Feinstpartikeln. Insbesondere kurz vor dem Zerfallen zu Feinstpartikeln könnten sehr hohe anorganische und organische Schadstoffgehalte gemessen werden [18] [19]. Die hier angewendete Sedimentdepot-Methode (Kapitel 3) erlaubt eine sichere und quantitative Erfassung der grobpartikulären, organischen Fraktion.

Insbesondere im Mai ist der gelbe Blütenstaub für den Betrachter gut erkennbar. Aufgrund des anfänglichen Schwimmstoffcharakters entzieht sich diese feinstpartikuläre Fraktion der quantitativen Beprobung. Die sehr hohe Neigung des Blütenstaubes zur Klumpenbildung führt zur Eigenschaftsänderung. Der Schwimmstoff wird zum Sinkstoff. Im Unterschied zur konventionellen Probenahme wird diese Fraktion bei der Sedimentbeprobung miterfasst.

Da in der vorliegenden Studie ausschließlich Feststoffe (Depotmethode) zur Ermittlung der Feinstpartikelfrachten untersucht wurden, können keine Aussagen zum Einfluss des Tausalzes auf die Feinstpartikelfracht getroffen werden. Es ist aber davon auszugehen, dass Tausalz eine maßgebliche Größe für die Bildung von Grob- und Feinstpartikeln ist.

Die Bildung von Feinstpartikeln aus dem Fahrbahnbelag durch Tausalz kann auch anhand der Bildung von gelöstem Carbonat ($k_{S4.3}$) ersehen werden. Der Tausalzgehalt des Straßenabflusses steht mit dem $k_{S4.3}$ -Wert in Zusammenhang. Der Zusammenhang zwischen Na und $k_{S4.3}$ ist bei der Derchinger Straße durch den hohen Carbonatgehalt der Fahrbahn von ca. 30 % besonders markant (Tabelle 2-2). Die Zunahme des $k_{S4.3}$ -Wertes in der salzreichen Winterperiode zeigt die Korrosion der Fahrbahndecke an.

Tabelle 2-2: Carbonatlösung als Indikator der salzbedingten Feststofffreisetzung aus der Fahrbahn, Gehalte im Abfluss der Derchinger Straße in Augsburg [20]

Quartale	04/09	01/10	02/10	03/10
Lf in $\mu\text{S}/\text{cm}$	1.551	9.666	161	87
Na in mg/l	286	1.717	12,5	3,6
ks4.3 in mmol/l	1,22	1,70	0,90	0,70

Bei Straßenabflüssen kann der Einfluss des Reifenabriebes auf die Feststoffgehalte nicht separat untersucht werden. Bei der Untersuchung von LKW-Ladebuchten aus Beton [12] konnte der Reifenabrieb hingegen optisch sicher separat beprobt werden (Tabelle 2-3). Die Untersuchungen der Reifenabriebsedimente zeigen, dass Reifenabrieb u.a. den GV und Zn beeinflusst. Der Minimalgehalt der Feinpartikel des GV bei Einzugsgebieten mit geringen Vegetationsresten von ca. 20 % dürfte in relevantem Umfang durch den Reifenabrieb bestimmt werden. Auch der Zinkgehalt der Feinpartikel dürfte in relevantem Umfang durch den Reifenabrieb bestimmt werden. Als Vergleich sind die Mittelwerte aus Untersuchungen nach [11] an BAB aufgeführt.

Tabelle 2-3: Gehalte von Reifenabriebsedimenten,

Parameter	Betriebshof, LKW-Ladebuchten [12]	Vergleichswerte ¹⁾ an BAB nach [11]
GV in %	34,6	24,8
Fe in %	1,89	2,21
Zn in mg/kg	4.766	1.259
Cd in mg/kg	0,37	0,55
Cu in mg/kg	151	380,7
Pb in mg/kg	19,3	50,1

1) Mittelwerte der Standorte Sinsheim und Späthstraße aus [11]

3 Material und Methodik

Die Ermittlung der Jahresfracht und der Rückhalteleistung der Sedimentationsanlagen wird ausschließlich über die Beprobung der Sedimente in den Anlagen durchgeführt (Depotmethode). Dazu wird vorausgesetzt, dass den Absetzanlagen eine Versickerungsanlage oder ein Retentionsbodenfilter (RBF) nachgeschaltet ist, damit die aus den Absetzanlagen ausgetragenen AFS63-Frachten auf der Oberfläche der Versickerungsanlage oder der Oberfläche der Bodenfilteranlage zurückgehalten werden und ebenfalls beprobt werden können.

Durch die Untersuchung von Begleitparametern (GV, CaCO_3 , Fe, Al, S, Na, Ca, Zn, Cd, Cu, Pb) werden die Depotgrößen entlang des Fließweges ermittelt. Die korndifferenzierte Analyse (T+U, S+G) der Sedimente soll klären, an welcher Fließwegposition und bei welchen EZG-Bedingungen auch in der Grobfraktion (S+G) relevante Stoffgehalte auftreten. Diese Kenntnisse dienen dazu, die straßenabflussbürtigen Binderressourcen (Fe, CaCO_3) z.B. bei

der Versickerung über den Straßenseitenbereich (Bankettfiltration) abschätzen zu können und die vegetationsbürtig gebundenen Schadstoffe in der Sedimentationsanlage aus dem Straßenabfluss abtrennen zu können.

Aufgrund der hohen Anzahl der untersuchten Anlagen und Standorte wurde eine deutlich vergrößerte Datenbasis bezüglich der AFS63 Belastung der Bundesfernstraßen erbracht. Die Wirksamkeit von Absetzanlagen in Erd- und Betonbauweise bezogen auf AFS63 wurde durch die über längere Zeiträume integrierende Probenahme gut abgeschätzt. Durch Untersuchung an insgesamt 20 Standorten konnte geprüft werden, ob die Randbedingungen der Einzugsgebiete (DTV, Randvegetation, Fahrbahnbelag, Damm / Einschnitt / Lärmschutzwände etc.), in einem Zusammenhang zur AFS63-Fracht stehen.

Bei einer Anlage mit vollständiger Bankett-Mulden-Entwässerung wurde die Vorentfrachtung auf dem Fließweg (Bankett, Böschung, Mulde) separat quantifiziert und der dadurch verursachte Wirkungsgradabfall (geringe Zulaufkonzentration) ermittelt. Durch diese Messungen sollte geklärt werden, in welchem Umfang bei Neubau die zentrale Anlage kleiner werden kann oder welche Voraussetzung die Muldenentwässerung erfüllen muss, damit bei vollständiger Muldenentwässerung die zentrale Anlage ggf. entfallen kann.

3.1 Methodik des Vorgehens

Für die Erfassung der zurückgehaltenen Sedimentmengen in den Regenwasserbehandlungsanlagen wird die „Sedimentdepot-Methode“ verwendet. Diese Methode verzichtet auf die Wassermengenmessung und die automatische Beprobung der Wasserphase. Die Quantifizierung der AFS63-Fracht erfolgt ausschließlich durch die Erfassung der Sedimente, die kartiert und beprobt werden. Die Ermittlung der Fracht des Anlagenzulaufes und die Ermittlung der Wirksamkeit der Anlage setzen die vollständige Erfassung des Depots hinter der Sedimentationsanlage (Sedimentaustrag) voraus. Die Erfassung der ausgetragenen Sedimente wird durch die Sedimentbeprobung der nachgeschalteten Anlagenstufe (RBF oder Versickerungsanlage) gewährleistet. Anlagen, bei denen der Ablauf unfiltriert direkt ins Gewässer abgeleitet wird (z.B. Regenrückhaltebecken), sind für dieses Beprobungsverfahren nicht geeignet, da ein nicht quantifizierbarer Teil der Fracht ausgetragen werden kann.

Um den AFS63-Rückhalt der Sedimentationsanlage zu bestimmen, wird die in den Anlagen zurückgehaltene Sedimentmenge erfasst und beprobt und anschließend durch Analyse der AFS63-Anteil und die AFS63-Fracht bestimmt (DA = Depot Absetzanlage). Die in den nachgeschalteten Versickerungs- oder Bodenfilteranlagen zurückgehaltene AFS63-Fracht (DF = Depot RBF / Versickerungsanlage) wird über die Beprobung der Sedimente auf der Sicker- bzw. Bodenfilterfläche ermittelt.

Aus dem Depot Absetzanlage (DA) und dem Depot RBF/Versickerungsanlage (DF) wird dann wie folgt die AFS63 Zulauffracht (Z) und der Wirkungsgrad der Sedimentationsanlage (η) ermittelt:

$$Z = DA + DF$$

$$\eta = DA / Z$$

mit: DA: Depot Absetzanlage

DF: Depot RBF oder Versickerungsanlage (Filtration)

Mit Hilfe der befestigten angeschlossenen Fläche ($A_{b,a}$) und der Betriebszeit ohne Sedimenträumung (bei den Absetzanlagen) kann die absolute AFS63-Menge auf $A_{b,a}$ und Jahr bezogen werden ($\text{kg/ha } A_{b,a} / a$).

An Standorten, bei denen der Regenabfluss teilweise oder ganz über Mulden zur Regenwasserbehandlungsanlage geführt wird, findet bereits im Bankett-, Böschungs- und Muldenbereich eine Vorsedimentation statt. Da nach bisherigem Kenntnisstand die Bankett-Mulden-Entwässerung einen weitgehenden quantitativen AFS63-Rückhalt bewirkt, wurde der Anteil in dieser Studie nur am Standort Mühlhausen untersucht, da hier das gesamte Einzugsgebiet über Bankett-Mulden entwässert und keine AFS63 in Anlagenzufluss angetroffen wurden.

Im Labor werden die Sedimentproben in die Fraktionen T+U (AFS63) und S+G (Grobpartikel) aufgeteilt und im Anschluss separat auf Glühverlust (organische Bestandteile), auf die königswasserlöslichen Elemente (Schwermetalle) und auf CaCO_3 analysiert. Der Umfang und die Bestimmungsmethoden der Laboranalysen sind im Kapitel 3.2.4 aufgeführt.

Um einen ausreichenden Erkenntnisgewinn in Bezug auf aktuell gestellte Anforderungen der WRRL zu erlangen wurden stichprobenartig Wasser(misch-)proben der eingestauten Absetzbecken und ggf. des Dränablaufes des RBF genommen, die wie unter Kapitel 3.2.4 beschrieben, analysiert wurden.

3.1.1 Anlagenkriterien und -auswahl

In Zusammenarbeit mit der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr, dem Landesbetrieb Straßenbau NRW, dem Landesamt für Bau und Verkehr Thüringen, der Autobahndirektion Südbayern, dem Regierungspräsidium Tübingen, Die Autobahn GmbH des Bundes - Niederlassung West und der DEGES wurden Unterlagen von 115 Beckenanlagen angefordert und ausgewertet.

Um die Sedimentdepot-Methode anwenden zu können, muss hinter der Absetzanlage ein Retentionsbodenfilter (RBF) oder eine Versickerungsanlagen (VS) angeordnet sein.

Für die zu untersuchenden Absetzanlagen mussten folgende Kriterien eingehalten werden:

- Es können nur Absetzanlagen mit nachgeschalteter Versickerungsanlage bzw. Retentionsbodenfilteranlagen untersucht werden.
- Die Einzugsgebietsflächen und die Art der Zuleitung der Straßenabflüsse zu den Anlagen (Regenwasserkanal, Bankett-Mulde) mussten bekannt oder leicht zu ermitteln sein.
- Absetzanlagen, deren Einzugsgebiet einen nennenswerten Anteil an Rastplatz-entwässerung aufweist (vorwiegend ruhender Verkehr), sollten nicht betrachtet werden.

Die Ergebnisse der Anlagenauswahl sind unter Kapitel 4.1 aufgeführt.

3.2 Beschreibung der Beprobung

Die bei der Angebotserstellung ursprünglich vorgesehene Methodik sah eine zweimalige Beprobung mit anschließender Entleerung und Reinigung der Absetzanlagen durch die Betreiber vor. Diese Methodik wurde in dem 1. Zwischenbericht vom 28.06.2019 beschrieben. Aufgrund der Gespräche mit den Betreibern wurde klar, dass das nicht möglich sein wird. Nur die Anlage am Halensee wurde gereinigt.

Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Beckenräumung von Anlagen zur Beprobung wurde eine Modifizierung der Beprobungsmethodik vorgeschlagen, bei der auf die Räumung verzichtet werden kann. Hauptfokus der modifizierten Methodik ist die Messung der Langzeitakkumulation der Sedimente. Anders als ursprünglich vorgeschlagen, wurde nur eine einmalige Beprobung durchgeführt. Hierbei wurden die Sedimente in den Absetzanlagen ohne Ablassen des Dauerstaubes und ohne Reinigung der Anlage im dauereingestauten Zustand kartiert und beprobt. Aufgrund des geringeren Aufwandes konnten auf diese Weise mehr Anlagen untersucht werden.

Bei der Beprobung basieren die ermittelten Sedimentmengen (AFS- und AFS63-Frachten) auf einer möglichst langen Akkumulationszeit. Bei einer langen Akkumulationszeit (> 2 Jahr) ist ein strikter Zeitschnitt der Jahreszyklen nicht mehr notwendig. Diese langjährige Zeit nivelliert in hinreichendem Umfang jahreszeitliche Frachtänderungen (Vegetations- und Tausalzeinfluss).

3.2.1 Sedimentermittlung Absetzanlage

Zur Erfassung der Sedimente in den Sedimentationsanlagen (Depot Absetzanlage) erfolgt eine Sedimentkartierung und -beprobung im laufenden Dauerstaubetrieb. Hierbei werden die Sedimenthöhen mittels Peilstange, einer leichten Aluminium-Teleskop-Nivellierlatte, (Bild 3-1) aufgemessen. Als Bezugslinie dient bei der Messung der Wasserspiegel in der dauereingestauten Anlage. Je nach Geometrie bzw. Einstautiefe erfolgt die Kartierung mittels Boots, bei schmalen, langgezogenen Absetzanlagen vom Seitenbereich oder bei flach eingestauten Absetzanlagen mittels Wathose.

Bei der Sedimenthöhenmessung wird mit der Peilstange vorsichtig die Sedimentoberkante ertastet und der Wert bis zum Dauerwasserspiegel abgelesen. Anschließend wird die Peilstange kräftig in das Sediment bis zur Beckensohle eingedrückt und wieder der Wert abgelesen. Die Differenz aus beiden Ablesungen entspricht der Sedimenthöhe. Die Beckensohle lässt sich gut ertasten, da die Sohlen i.d.R. befestigt sind. Sollte bei unbefestigten Beckensohlen eine Abgrenzung zwischen Beckensohle und Sediment nicht über die Peilung möglich sein, wird zusätzlich eine Bohrstockbeprobung durchgeführt.

Bei dem Ertasten der Sedimentoberfläche wird methodenbedingt fluides Sediment nicht genau erfasst, da erst über den Eindringwiderstand der Peilstange die Sedimentschicht detektiert wird. Durch den sehr hohen Wassergehalt (> 90 %) des fluiden Sedimentes hat diese Sedimentschicht massenmäßig nur einen geringen Anteil an der gesamten Sedimentmenge und somit sind die Auswirkungen der Messungenauigkeiten zu vernachlässigen. Weiter wird diese Methodik bei allen Becken von der gleichen Person angewendet, so dass die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gegeben ist. Je nach Beckengröße erfolgt die Sedimentmessung in einem oder in mehreren Längs- bzw. Querprofilen, die zuvor durch eine Richtschnur gekennzeichnet werden.

Die Entnahme der Sedimentproben erfolgt mit einem Ekman-Birge Sedimentgreifer (Bild 3-1) als Mischprobe über die Höhe der Sedimentschicht. Anfallendes Überstandswasser im Greifer wird vor Bildung der Mischprobe dekantiert. Bei der Entnahme mit dem Ekman-Birge Sedimentgreifer kann es durch das Schließen der Klappen während der Entnahme nicht zu einer Entmischung der Probe kommen.



Bild 3-1: Ekman-Birge Sedimentgreifer und Peilstange

Bei allen Depots der Absetzanlagen wurde vor Ort geklärt, ob eine Untergliederung in Teilmischproben (zulaufnahe, mittlerer Bereiche und zulaufferne Bereichen) notwendig ist. Mischproben werden nur bei geringer Varianz von Sedimenthöhe und Kornverteilung vorgenommen, um eine geringe Fehlerstreuung der Mittelwerte zu erzielen. Je nach Beckengröße besteht die Sedimentmischprobe aus 2 bis 12 Einzelproben.

Die Lagerungsdichte wird über das Gewicht und das Probenvolumen der Mischproben ermittelt. Die Proben werden für den Transport luftdicht verschlossen und bis zur Trockensubstanzbestimmung und weiteren Analysen im Labor zwischengelagert.

Die Schritte zur Frachtbestimmung in der Absetzanlage lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Vermessung Sedimentvolumen (SV) über Grundfläche, Sedimenthöhe
- Bestimmung der Lagerungsdichte (LD) aus der Frischmasse über Gewicht und Volumen der Probe
- Bestimmung Trockensubstanzgehalt (TS) des Sedimentes
- Bestimmung der Trockenmasse TM

$$TM [kg] = SV[m^3] \times LD \left[\frac{kg}{dm^3} \right] \times TS[\%] \times 1.000$$

- Bestimmung der T+U-Gehalte in der Mischprobe
- Bestimmung der AFS63 Masse

$$AFS63 [kg] = TM[kg] \times T + U [\%]$$

- Bestimmung der spezifischen AFS63-Fracht (Bezug auf Zeit und A_{b,a}-Fläche)

$$AFS63[kg/(ha \times a)] = \frac{TM [kg]}{(AEba[ha] \times Zeitraum[a])}$$

In der Anlage 1 wird anhand eines Beispiels die Berechnung der spezifischen Fracht dargestellt.

3.2.2 Sedimentermittlung Filtrationsanlage

Die sichere Ermittlung der AFS63-Menge im Filtermaterial der nachgeschalteten RBF oder Versickerungsanlagen (Depot Filtrationsanlage) setzt eine Oberflächenfiltration ohne Überläufe voraus.

Die Filteroberflächen werden in die Bereiche zulaufnah und zulauffern aufgeteilt und separat beprobt. Die Beprobung selbst erfolgt mit einem Stechzylinder Ø 5,8 x 10 cm (bei Sedimentdicken bis 10 cm) oder mit einem Stechzylinder Ø 15 x 40 cm (bei Sedimentdicken > 10 cm). In jedem Bereich werden 6 Einstiche bis in eine Tiefe von 10 cm vorgenommen und zu einer Mischprobe zusammengefasst. Um die Lagerungsdichte zu erhalten wird das Volumen der Mischprobe über das Volumen des Stechzylinders und die Anzahl der Einstiche ermittelt. Das Gewicht wird über das Wiegen der Mischprobe bestimmt.

Damit bis zur TS-Bestimmung im Labor keine Wasserverluste entstehen, werden die Mischproben in luftdichten PE-Beutel zwischengelagert.



Ø 5,8 x 10 cm



Ø 15 x 40 cm

Bild 3-2: Stechzylinder

Vom gemessenen AFS63-Gehalt wird der Ausgangs-AFS63-Gehalt des Bodenfiltermaterials bzw. des anstehenden Bodens der Versickerungsanlage abgezogen, um das sich gebildete Depot ermitteln zu können. Der Ausgangsgehalt wurde durch Beprobung unterhalb der Inversionsschicht ermittelt. Diese Beprobung erfolgt über eine Schürfgrube (z.B. 15 – 20 cm, bei Bedarf bis zu 50 cm). Im Profil der Schürfgrube kann augenscheinlich erkannt werden, wo die Inversionsschicht endet und wo der anstehende Boden bzw. das Filtermaterial ansteht.

Die Schritte zur Frachtbestimmung in der nachgeschalteten Versickerungsanlage / RBF lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bestimmung des Sedimentvolumens (SV) über das Volumen (Vol. Stechzylinder x Anzahl Einstiche)
- Ermittlung der Frischmasse (FM) der Mischprobe

- Bestimmung der Lagerungsdichte (LD) mithilfe der Frischmasse (FM) und des Sedimentvolumens (SV)

$$LD \left[\frac{kg}{dm^3} \right] = \frac{FM [kg]}{(1.000 \times SV [m^3])}$$

- Bestimmung Trockensubstanzgehalt (TS) der Mischproben
- Bestimmung der T+U-Gehalte in den Mischproben und im Ausgangsmaterial
- Bestimmung der Trockenmasse (TM) auf der Versickerungsfläche

$$TM [kg] = Fläche_{Filterteil} [m^2] \times Stechtiefe [m] \times LD \left[\frac{kg}{dm^3} \right] \times TS [\%]$$

- Bestimmung der AFS63-Fracht

$$AFS63 [kg] = TM [kg] \times (T + U_{Mischprobe} - T + U_{Ausgang}) [\%]$$

- Bestimmung der spezifischen AFS63-Fracht (Bezug auf Zeit und A_{b,a}-Fläche)

$$AFS63 [kg/(ha \times a)] = \frac{TM [kg]}{(AEba [ha] \times Zeitraum [a])}$$

3.2.3 Sedimentermittlung Bankett-Böschung-Muldenbereich

An einem Standort, bei dem auf dem Fließweg zur zentralen Behandlungsanlage bereits eine Vorentfrachtung durch die Entwässerung über Bankett, Böschung und Mulde erfolgt, wurde zusätzlich zur Anlage die auf Bankett, Böschung und Mulde zurückgehaltene Sedimentfracht beprobt. Die Beprobung erfolgt ebenfalls nach der Depot-Methode. Hierbei wird ein Profil von der Straßenkante bis zum Muldentiefpunkt (Muldensohle) angelegt, um die Sedimenthöhen zu messen und zu beproben. Die Untersuchung vor Ort wird nach den folgenden Schritten durchgeführt:

1. Profil zwischen Straßenkante und Muldensohle stechen
2. Profil in 3 Bereiche aufteilen (zulaufnah, mittig, zulauffern) und separate Beprobung
3. Messen der Sedimenthöhen in jedem Bereich

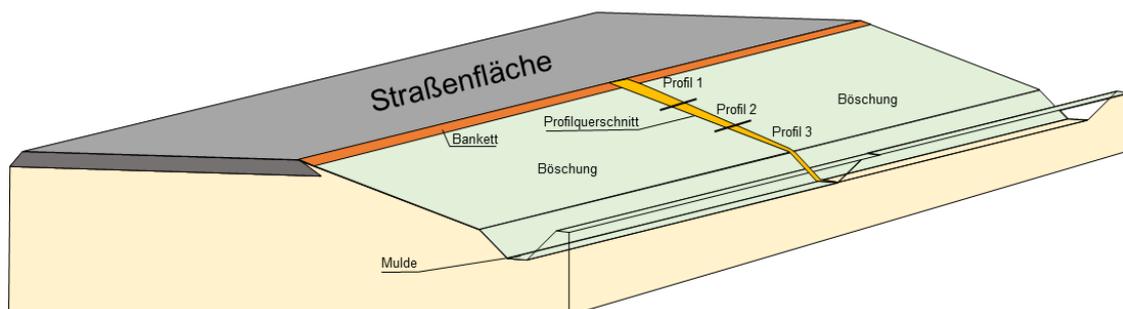


Bild 3-3: Schema Muldenbeprobung

Um aus der Gesamtfracht die spezifische Fracht ermitteln zu können, muss zum einen die exakte Straßenfläche und zum anderen der Zeitraum seit Inbetriebnahme bzw. seit der letzten Bankettschälung bekannt sein.

3.2.4 Beschreibung der Laboranalyse

Die verdunstungssicher gelagerten Mischproben werden im Labor auf die Trockensubstanz durch 110 °C-Trocknung (24 Stunden) untersucht. Hierdurch kann von der Frischmasse auf die Trockenmasse umgerechnet werden. Durch den Volumenbezug kann die absolute Trockenmasse ermittelt werden.

Durch Nasssiebung wird der AFS63-Anteil der Trockenmasse und damit die absolute Menge an AFS63 ermittelt. Die Nasssiebung erfolgt durch vorsichtiges Handreiben auf dem Sieb bis alle Aggregate aufgerieben sind und das ablaufende Waschwasser klar ist. Der Siebrückstand wird mit Hilfe von neuem Waschwasser aus dem Sieb gespült, bei 110°C getrocknet und gewogen. Die Differenz zur Gesamtprobe ist der AFS63-Anteil. Die Ergebnisse sind damit wesentlich genauer als Sammlung und Trocknung von Waschwasser. Durch diese Methode werden Aggregate bzw. Flocken quantitativ zerkleinert. Außerdem können auch Körner (insbesondere organische Substanz wie z.B. getrocknetes Laub) zerkleinert werden. Als Resultat sind AFS63-Ergebnisse auf der sicheren Seite. Durch die gewählte Methode kann es zu geringfügigen Überbefunden an AFS₆₃ kommen. Minderbefunde können durch das Aufreiben von Kornaggregaten in die Primärkörner vermieden werden.

Die Bestimmungsmethoden für die Sedimentanalysen sind in der Tabelle 3-1 aufgeführt.

Tabelle 3-1: Methoden der Sedimentanalyse

Analyse	Methode
Trockenrückstand (TS)	DIN EN 12880
Schüttdichte nach Methodenbuch	DIN EN 1097-3
Korngrößenverteilung	DIN 18123
Glühverlust (GV)	DIN 18128
pH	DIN ISO 10390
CaCO ₃	VDLUFA-Methodenbuch Bd. 1, 5.3.1
Fe	DIN EN ISO 11885:2009-09
Al	DIN EN ISO 11885:2009-09
S	DIN EN ISO 11885:2009-09
Na	DIN EN ISO 11885:2009-09
Zn	DIN EN ISO 11885:2009-09
Cd	DIN EN ISO 11885:2009-09
Cu	DIN EN ISO 11885:2009-09
Pb	DIN EN ISO 11885:2009-09

Die Bestimmungsmethoden für die Wasseranalysen sind in der Tabelle 3-1 aufgeführt.

Tabelle 3-2: Methoden der Wasseranalyse

Analyse	Methode
Lf, Leitfähigkeit	DIN EN 27888
pH	DIN 38404-C5
KS4.3	EN 29963-1-H7
AFS	DIN 38409-H2-3
CSB	Dr. Lange Fertigtest LCK414
NH4-N	DIN 38406-E5
NO2-N	NO3-N Bestimmung ohne Reduktionsreagenz
NO3-N	Diazomethode, LTZ Augustenberg
P _{ges}	DIN EN 1189/6
P _{gel}	DIN EN 1189/3
Fe _{ges}	Aufschluss (DIN 38406 E1), Messung (DIN EN ISO 11885-E22)
Zn _{ges}	Aufschluss (DIN 38406 E16), Messung (DIN EN ISO 11885-E22)
Mn _{ges}	Aufschluss (DIN 38406 E1), Messung (DIN EN ISO 11885-E22)
Al _{ges}	Aufschluss (DIN 38406 E16), Messung (DIN EN ISO 11885-E22)
SO4	DIN EN ISO 10304-1-D19
Ca	DIN EN ISO 11885-E22
Na	DIN EN ISO 11885-E22
PAK	DIN 38407-39(F39):2011-09 Bestimmung nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 D-PL-14201-01-00 akkreditiert

3.3 Vergleich der angewandten Methodik mit üblichen Beprobungsverfahren

Die hier angewandte Sedimentdepot-Methode ist ein bislang eher unübliches Verfahren zur Ermittlung der eingetragenen Sedimente in Absetzanlagen und RBF/Versickerungsanlagen. Dieses Verfahren wurde bislang vor allem in Untersuchungen an Bodenfilteranlagen in Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Bayern angewendet [21].

In der Tabelle 3-3 sind die wesentlichen Merkmale der Sedimentdepot-Methode und der herkömmlichen Beprobung der Wasserphase über einen automatischen Probenehmer gegenübergestellt.

Tabelle 3-3: Merkmale unterschiedlicher Beprobungsarten

Sedimentdepot-Methode	Wasserbeprobung über Probenehmer
geringer einmaliger Messaufwand, keine Messausfälle	hoher Messaufwand (Zuflussmessung, automatischer Probenehmer, Stromversorgung, etc.), mit Messausfällen muss gerechnet werden
Erfassung der <u>gesamten</u> eingetragenen Fracht über einen längeren Zeitraum mehrerer Jahre	Erfassung von kleinen Teilströmen während Ereignisse nur im Messzeitraum (z.B. 1 Jahr)
ausreichend Sediment-Probenmenge vorhanden	geringe Probenmenge
<u>Unsicherheiten</u>	<u>Unsicherheiten</u>
<ul style="list-style-type: none"> Sedimentaufmaß insbes. bei eingestauten Becken Trockenrückstand-Bestimmung (repräsentative Wassergehaltsbestimmung bei gestörter Probe in dauereingestauter Absetzanlage) 	<ul style="list-style-type: none"> Bestimmung von AFS63 mit geringer Probenmenge Extrapolation von wenigen Werten bzw. kurze Messzeitraum auf Gesamtfrachten

An einem Beispiel soll dargestellt werden, welche Vorteile die Sediment-Depotmethode im Vergleich zu weiteren Methoden aufweist.

Für den Vergleich werden folgende Methoden herangezogen:

1. Automatischer Probenehmer: möglichst abflussvolumenproportionale Probenahme der Wasserphase über automatischen Probenehmer. Die Analyse erfolgt über die Wasserphase der Probeflaschen.
2. Feststoffsammler (FSS): Hierbei wird ein 1 m³ großer Behälter abflussvolumenproportional über eine Pumpe beschickt. Nach einer Absetzzeit von mehreren Tagen wird das Überstandswasser abgehebert. Das abgelagerte Sediment im FSS wird geborgen und analysiert.
3. Filtrationssammler (FS): Der FS ist eine Modifikation des FSS. Der rd. 1 m³ große Behälter ist mit einer Filterschicht und einem Dränablauf ausgestattet und wird volumenproportional über eine Pumpe beschickt. Die während eines Ereignisses aufgebrauchte Wassermenge wird filtriert und die Feststoffe bleiben auf der Filteroberfläche zurück. Auf diese Weise werden über einen längeren Zeitraum die

Feststoffe gesammelt. Die Feststoffentnahme erfolgt durch Abtragen der Sedimentschicht auf dem Filtersand. Da keine genaue Abgrenzung zwischen Filtersand und Sedimentschicht möglich ist, gelangt auch ein Teil Filtersand in die Probe. Die AFS63 Menge entspricht dem T+U-Gehalt der Sediment-Filtersand-Probe abzüglich des T+U-Gehaltes des Filtersandes.

Für den Vergleich werden folgende Annahmen getroffen:

- AFS63-Konzentration von 150 mg/l (gilt für alle Methoden)
- 12 Probenehmerflaschen im automatischen Probenehmer á 2 Liter
- Behältervolumen FSS = 1.000 Liter
- Probenmenge FS = 40 m Stapelhöhe

Die Tabelle 3-4 zeigt den Vergleich unterschiedlicher Beprobungsmethoden auf. Der Zeitraum einer Messkampagne (Jahresintegral) und die möglichen Messlücken der ersten 3 Methoden sind aus Erfahrungswerten abgeleitet. Es zeigt sich, dass bei der Sedimentdepot-Methode keinerlei Messlücken auftreten, da bei dieser Methode das gesamte in der Regenwasserbehandlungsanlage angefallene Sediment untersucht wird und hieraus eine ausreichend große Probenmenge genommen werden kann.

Tabelle 3-4: Vergleich von Beprobungsmethoden

Methode	Jahres-integral [a]	mögliche Messlücken [%]	AFS63 Sedimentmasse je Probenahme [g]
1. automatischer Probenehmer	1	bis 50	(12 Fl. x 2 Liter x 150 mg/l AFS63) 3,6 g
2. Feststoffsammler (FSS-Sedimentation)	1	bis 40	(1.000 Liter x 150 mg/l AFS63) 150 g
3. Filtrationssammler (FS-Filtration)	1	bis 20	(40 m x 1.000 Liter x 150 mg/l AFS63) 6.000 g
4. Sedimentdepot-Methode	> 2	0	„unbegrenzt“

3.4 Plausibilitätsuntersuchungen der Methodik

Um Abschätzungen bei den potenziellen Fehlerquellen der Sedimentdepot-Methode treffen zu können, wurden mit vorhandenen und erhobenen Messdaten rechnerische und messtechnische Plausibilitätsuntersuchungen durchgeführt, die im Folgenden näher beschrieben werden.

3.4.1 Messungengenauigkeiten bei der Beprobung der Absetzanlage

Bei der Sedimentdepot-Methode in Absetzanlagen können prinzipiell 2 Fehlerquellen auftauchen:

1. Messungengenauigkeit aufgrund fehlerhafter Erfassung der Sedimenthöhe
2. Zu geringe Anzahl an Messpunkten bzw. nicht ausreichende Messpunkte

Um eine Abschätzung treffen zu können, wie stark sich eine Messungengenauigkeit bei der Kartierung des Sedimentes in einer dauereingestauten Absetzanlage auswirkt, wurde eine Berechnung durchgeführt, bei der die Messungengenauigkeit bei der Erfassung der Sedimentoberfläche bzw. Sedimentstärke 1 cm beträgt und der Messzeitraum bzw. die Dauer des Sedimenteintrags 1 Jahr beträgt.

In einem ersten Schritt wurde die zu erwartende Frischmasse ermittelt. Hierzu wurden Annahmen aus vorangegangenen Messungen [22] herangezogen. Bei einer angenommenen spezifischen Fracht von 760 kg/ha/a und einem AFS63-Frachtanteil von 73,6 % ergibt sich ein Frachtabtrag von 1.033 kg/ha/a (AFS + AFS63). Für die Volumenermittlung wird eine Lagerungsdichte von 1,1 kg/dm³ und ein Wassergehalt von 63% angenommen. Hieraus ergibt sich eine Frachtabtrags-Frischmasse von 2.537 dm³/ha/a. Mit einer Rückhalteleistung von 40 % für Absetzanlagen im Dauerstau und einer mittleren Oberfläche von 90 m²/ha ergibt sich eine Sedimenthöhe von rd. 1,1 cm pro Jahr.

Tabelle 3-5: rechnerische Abschätzung der Messungengenauigkeit in Absetzanlagen

Ansetzanlage	1 Jahr	13 Jahre	Bemerkung / Quelle
spez. Frachtabtrag AFS63	760 kg/ha/a	9.880 kg/ha	Kategorie III
AFS63-Frachtanteil	73,6%		Mittelwert aus BAST "Bemessung von Sedimentationsräumen"
Lagerungsdichte	1,1 kg/dm ³		Mittelwert aus BAST "Bemessung von Sedimentationsräumen"
Wassergehalt	63 %		Mittelwert aus BAST "Bemessung von Sedimentationsräumen"
Oberfläche Absetzanlage	90 m ² /ha		Mittelwert aus BAST "Bemessung von Sedimentationsräumen"
Frachtabtrag AFS>63	273 kg/ha/a	3.544 kg/ha/a	S+G Anteil
Frachtabtrag AFS gesamt	1.033 kg/ha/a	13.424 kg/ha/a	Gesamtmasse aus T+U und S+G
Frachtabtrag AFS gesamt (Trockenmasse)	939 dm ³ /ha/a	12.204 dm ³ /ha	Volumen Feststoff
Wassergehalt	1.598 dm ³ /ha/a	20.779 dm ³ /ha	Wasservolumen
Frachtabtrag AFS gesamt (Frischmasse)	2.537 dm ³ /ha/a	32.983 dm ³ /ha	Gesamtvolumen
mittlerer Wirkungsgrad Absetzanlage	40 %		Rückhalteleistung Absetzanlage
Frachtrückhalt AFS gesamt (Frischmasse)	1.015 dm ³ /ha/a	13.193 dm ³ /ha	Rückhalt Frischmasse in Absetzanlage
Frachtrückhalt AFS gesamt (Frischmasse)	1,1 cm	14,7 cm	Sedimenthöhe in der Absetzanlage
Messungengenauigkeit vor Ort	1 cm		
Messungengenauigkeit vor Ort	89%	7 %	bezogen auf die Volumen und anteilig auch auf Masse

Es zeigt sich, dass eine Messabweichung von 1 cm einer Ungenauigkeit von 89 % bezogen auf die Rückhaltmenge in der Absetzanlage entspricht. Sollte eine Absetzanlage längere Zeit in Betrieb sein (der Mittelwert aller untersuchten Anlagen liegt bei 13 Jahren) erhöht sich die Sedimenthöhe in der Absetzanlage von 1,1 cm auf 14,7 cm und eine Messungenauigkeit von 1 cm entspricht einer Abweichung von lediglich 7 % bezogen auf die Zulauffracht.

Einer ausreichenden Zahl von Messpunkten bei der Sedimentkartierung in Absetzanlagen kommt besondere Bedeutung zu, um das Sedimentvolumen hinreichend genau zu erfassen. Bei dauereingestauten Absetzanlagen ist die Sedimentschicht nicht zu sehen. Hier kann nur während des Aufmaßes bei stark veränderlichen Sedimenthöhen die Messpunktdichte erhöht werden.

Um Auswirkungen der Messdichte bei der Kartierung auf die Ermittlung der Sedimentmasse abschätzen zu können, wurde zunächst die Kartierung von 14 Absetzanlagen der BAST - Untersuchungen „Bemessung von Sedimentationsräumen“ [22] ausgewertet, bei denen zwischen 5 und 26 Messpunkte aufgenommen wurden.

Das Bild 3-4 zeigt die Abweichungen zur tatsächlichen Messung (0%-Linie) auf, wenn nur jeder zweite Messpunkt für die Ermittlung der Frischmasse verwendet wird (rote Säulen). Bei Anlagen, bei denen nur eine geringe Anzahl von Messpunkten aufgenommen wurde (bis 6 Messpunkte), können die Abweichungen im gleichen Maße ausfallen wie bei Anlagen mit einer Vielzahl von Messpunkten. Für den Großteil der Anlagen beträgt die Abweichung unter 20 % und es wird tendenziell mit weniger Messpunkten die Sedimentmasse eher unterschätzt.

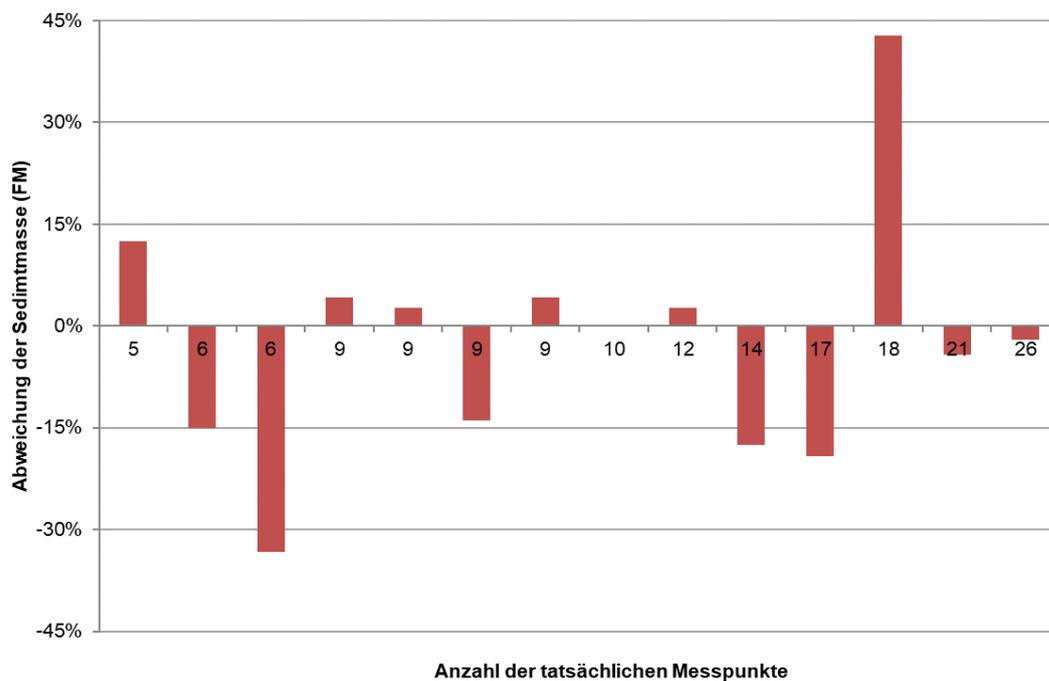


Bild 3-4: Abweichung bei der Anzahl der Kartierungspunkte

Um den Einfluss der Fehler abschätzen zu können, wurde bei einer weiteren Beprobung am RKB Halensee die Bestimmung der Sedimentmasse (Kartierung und Beprobung) zunächst im dauereingestauten Zustand durchgeführt. Im Anschluss, nach Ablassen des Dauerstaus wurde eine wiederholte Bestimmung der Sedimentmasse (Kartierung und Beprobung) durchgeführt.



mit Dauerstau



ohne Dauerstau

Bild 3-5: *Kontrollmessung am RKB Halensee, April 2021*

Das RKB am Halensee ist ein unterirdisches Betonbecken, in dem es nicht möglich war, im gesamten Randbereich im dauereingestauten Zustand die Sedimenthöhen zu messen. Die Sedimenthöhen wurden im zulaufenden und ablaufenden Bereich von einem festen Steg aus gemessen. Nach Ablassen des Dauerstaus konnte an einer Vielzahl von Punkten das Sediment aufgemessen werden (Bild 3-5, ohne Dauerstau).

Es zeigte sich, dass es sowohl bei der Sedimentmessung und Bestimmung der Frischmasse als auch des T+U-Anteils erhebliche Abweichungen gegeben hat (Tabelle 3-6). Hier wichen auch die spezifischen Rückhaltefrachten um rd. 30 % voneinander ab.

Tabelle 3-6: *Ergebnisse der Kontrollmessung, April 2021*

Beprobung	FM	LD	TS	TM	T+U	AFS63	AFS63
	[m³]	[kg/dm³]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[kg/ha/a]
im Dauerstau	4,1	1,02	16,9	717	93	669	127
ohne Dauerstau	5,3	1,08	18,8	1.079	43	462	88

Es wird vermutet, dass durch die Konstruktion der Beckenanlage (sehr stark geneigte Sohlfläche mit Pumpensumpf, Wirbeljets für die automatische Reinigung der Becken, tiefliegender Pumpensumpf) zum einen ein Großteil der fluiden T+U-Sedimentfraktion beim Abpumpen des Dauerstaus durch die stark geneigte Sohle mit abgepumpt wurde. Des Weiteren kann es bei der automatischen Reinigung zur Entmischung der Sedimente kommen, sodass sich ein Teil des Sedimentes im S+G Bereich um den Wirbeljet ablagert. Dieser Teil wurde vermutlich bei der Beprobung ohne Dauerstau überproportional beprobt und führte zu einem wesentlich geringeren T+U-Gehalt.

Daher kann die Vergleichsmessung für eine Überprüfung nicht herangezogen werden.

Zur Plausibilitätsprüfung wurden weitere Messungen mit herangezogen. Bei der eigentlichen Sedimentmessung im Mai 2020 wurde aufgrund von technischen Problemen der Dauerstau nur teilweise (bis zur Höhe des Klarwasserabzuges) abgelassen und im Anschluss mit einer Wathose beprobt. Hierbei konnte an einer Vielzahl von Punkten das Sediment gemessen und

beprobte werden. Vergleicht man die Ergebnisse dieser beiden Messungen und vorangegangener Messungen zeigt sich, dass der spezifische Rückhalt nur leicht voneinander abweicht.

Tabelle 3-7: Vergleich von Sedimentmessungen am Standort Halensee

Untersuchung	Messzeitraum	Dauer [Jahre]	AFS63 [kg/ha/a]
ifs [23]	02/2009 – 07/2010	1,42	125
TU [10]	10/2018 – 03/2019	0,25	140
Messung Mai 2020	05/2020	0,25	142
Kontrollmessung April 2021	04/2021	0,23	127

Aufgrund der beschriebenen Unplausibilitäten kann die Kontrollmessung nicht auf die Sedimentdepotmethodik übertragen werden. Um mögliche Messfehler erfassen und validieren zu können, müsste eine dauereingestaute Absetzanlage mit einer ebenen Sohle untersucht und mithilfe eines Saugwagens so entleert werden, dass das Wasser oberflächennah abgesaugt wird, um keine Sedimente auszutragen.

Die dargestellten rechnerischen und gemessenen Messungenauigkeiten bzw. Fehlerquellen lassen keine Aussage über eine generelle Abweichung bzw. Messungenauigkeit der Sediment-Depot-Methode zu. Auch eine Überlagerung von Fehlerquellen kann nicht eindeutig quantifiziert werden.

3.4.2 Messungenauigkeiten bei Beprobung der Filteroberfläche

Bei der Sedimentdepot-Methode auf der Filteroberfläche werden die Teilproben üblicherweise an 2 Profilen (zulaufnah, zulauffern) mit jeweils 6 Messpunkten mit einem Stechzylinder entnommen. Auch hier ist sicherzustellen, dass eine repräsentative Filterflächenbeprobung durch eine ausreichende Anzahl von Probenahmestellen erfolgt, da gerade bei RBF mit dichtem Schilfbewuchs die Sedimentverteilung schwer einzusehen ist. Um auch hier den möglichen Fehler abzuschätzen, wurde an einem Standort eine Beprobung der Filteroberfläche mit mehreren Profilen durchgeführt. Die Kontrollmessung wurde an der Versickerungsanlage Evendorf-West (85) durchgeführt. In der langgezogenen Versickerungsanlage wurden an 4 Profilen (1 x zulaufnah, 2 x im mittleren Bereich und 1 x im zulauffernen Bereich) die Sedimenthöhen gemessen und die Proben genommen. Die aus den Sedimenthöhen berechneten Frachten sind im Bild 3-6 dargestellt. Hier zeigt sich, wie auch an allen anderen Anlagen festgestellt, dass im zulaufnahen Bereich die höchste Sedimentfracht anzutreffen ist und die Fracht in Richtung zulauffern stark abnimmt. Am zweiten Messprofil wurden 40 % weniger Sedimentfracht als im zulaufnahen Bereich gemessen.

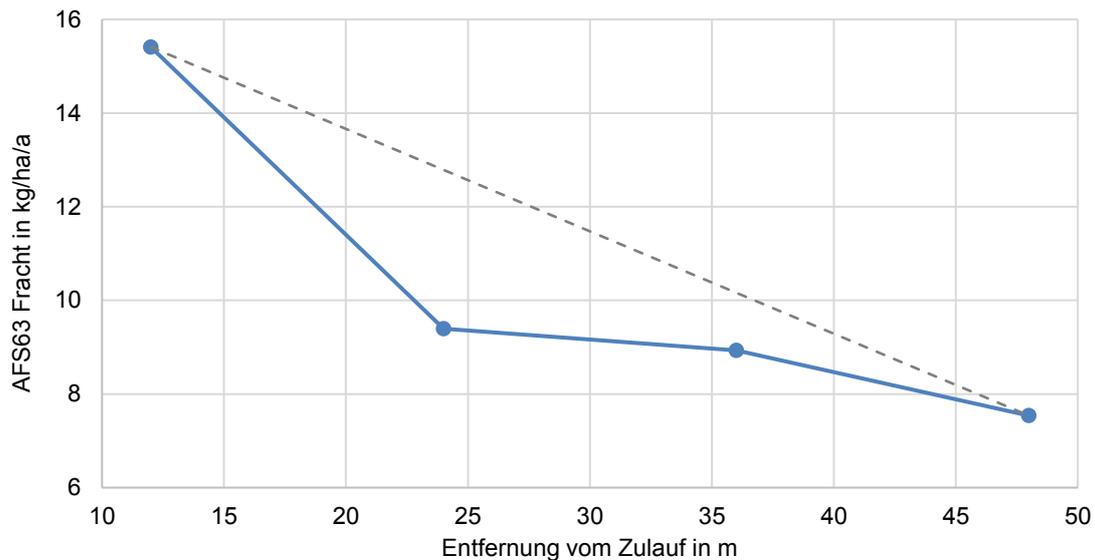


Bild 3-6: Methodenkontrolle am Beispiel VS Evendorf West (ifs-Nr.85)

Die anfängliche Vermutung, dass durch die 2-Profil-Messung (im zulaufnahen und zulauffernen Bereich) eine Unterschätzung der Sedimentfracht auftreten kann, kann durch diese Messung an 4 Profilen widerlegt werden, da die Sedimentverteilung zwischen zulaufnahen Bereich und mittleren Bereich stärker abnimmt als durch die 2-Profil-Messung, bei der von einer linearen Verteilung der Sedimentfracht ausgegangen wird. Dies wird bei langgezogenen Anlagen mit einem ausgeprägten Längen-Breitenverhältnis ($L/B > 3$) deutlicher, da hier die Verteilung der Sedimentfracht ungünstiger ausfällt.

Insgesamt wurde über 2 Profile (Flächenanteil von 220 m^2 / Profil) eine spezifische Fracht von $45,9 \text{ kg/ha/a}$ ermittelt und über die 4 Profile (Flächenanteil von 110 m^2 / Profil) eine spezifische Fracht von $41,3 \text{ kg/ha/a}$ ermittelt. Diese geringe Abweichung von rd. 9 % zeigt eine ausreichende Genauigkeit bei der Bestimmung der AFS63-Fracht auf. Generell kann man davon ausgehen, dass durch die 2-Profil-Messung die Sedimentfracht eher überschätzt wird.

Als Gesamtfazit der Plausibilitätsuntersuchung lassen sich folgende Punkte zusammenfassen:

- Grundsätzlich erlaubt die Depotmethode durch die hohe Betriebszeit (2 – 39 Jahre) eine sichere Erfassung der AFS63-Fracht.
- Bei der rechnerischen Abschätzung der Messungengenauigkeit zeigt sich, dass sich eine Messungengenauigkeit von 1 cm bei Anlagen mit einer geringen Betriebszeit sehr stark auswirken kann. Bei Betriebszeiten von 13 Jahren liegt die rechnerische Abweichung bei 7 %.
- Bei einer geringen Anzahl von Messpunkten können die Abweichungen im gleichen Maße ausfallen wie bei Anlagen mit einer Vielzahl von Messpunkten. Tendenziell wird mit wenigen Messpunkten die Sedimentmenge eher unterschätzt. Um das Sedimentvolumen hinreichend genau zu erfassen, wird die Messpunktdichte bei stark schwankenden Sedimenthöhen erhöht.
- Die sehr stark horizontale AFS63-Schwankung von Depotflächen auf Versickerungsflächen kann durch die 2-Profil-Messung der Teilflächen repräsentativ erfasst werden. Die Sedimentmenge bei langgezogenen Anlagen wird eher unterschätzt.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Anlagenbereisung und Anlagenkenndaten

Die Lage/Standorte aller 115 ausgewerteten Anlagen zeigt Bild 4-1 auf. Vier der 6 in Baden-Württemberg ausgewählten Anlagen liegen an zweistreifig ausgebauten Bundesstraßen. Alle weiteren Anlagen liegen an Bundesautobahnen.

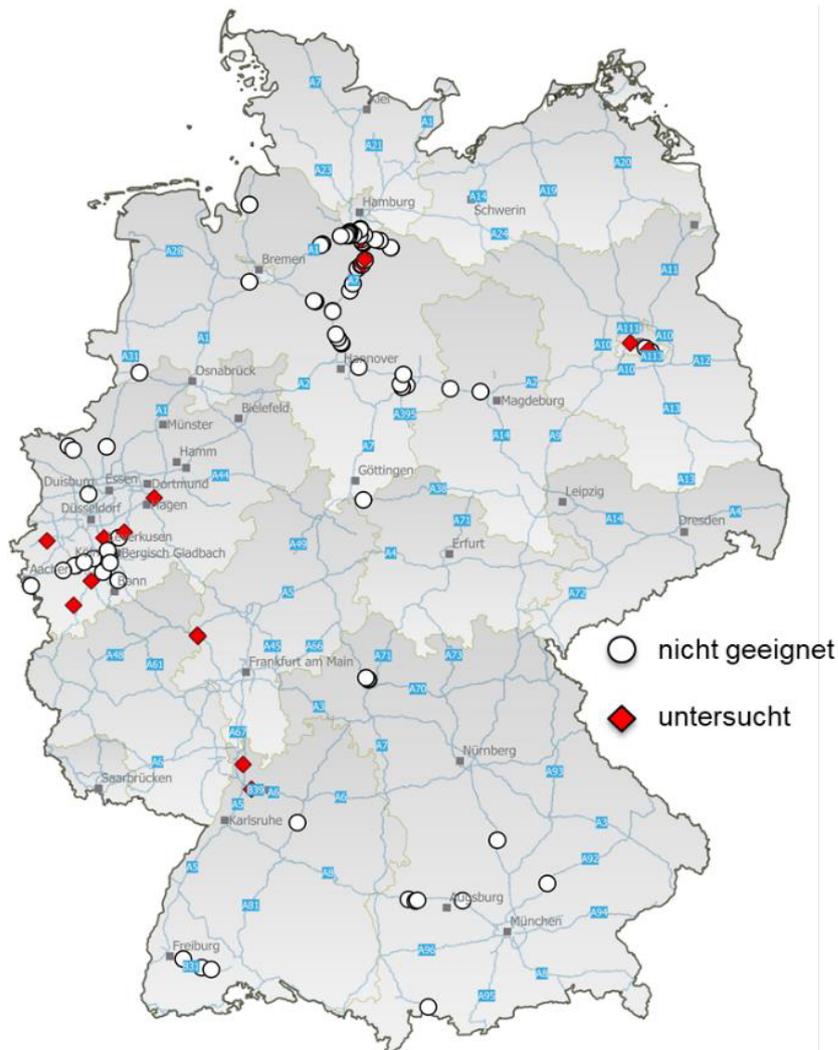


Bild 4-1: Lage der Anlagen mit erhobenen Daten

Aus den vorliegenden Unterlagen und Informationen der Anlagenbetreiber wurden die Kenndaten der einzelnen Anlagen zusammengestellt und ausgewertet. Die potenziell geeigneten Anlagen wurden zur weiteren Untersuchung vorgeschlagen und nach Rücksprache mit dem projektbegleitenden Arbeitskreis bereist und untersucht.

Die Datenerhebung umfasste Unterlagen von insgesamt 115 Anlagen. Auf dieser Grundlage wurden insgesamt 37 Anlagen bereist, die die Kriterien, die unter Kapitel 3.1.1 aufgeführt sind, erfüllt haben. Während der Bereisung zeigte sich, dass eine Vielzahl von Anlagen nicht für die Untersuchung geeignet ist, da z.B. die Absetzanlagen derart zugewachsen waren, dass eine Sedimentkartierung nicht möglich war. Insgesamt wurden 20 Anlagen vollständig untersucht. Die Tabelle 4-1 zeigt, unterteilt nach den Bundesländern, eine Übersicht über die Datenerhebung und Bereisung der Anlagen.

Tabelle 4-1: Übersicht über die Datenerhebung und Anlagenbereisung

Bundesland	Daten- erhebung	bereist	vollständig untersucht
Berlin	5	5	2
Baden-Württemberg	6	4	2
Bayern	13	4	0
Hessen	3	3	3
Niedersachsen	60	12	5
NRW	26	9	8
Sachsen-Anhalt	2	0	0
SUMME	115	37	20

Die untersuchten Anlagen liegen zum Hauptteil in Nordrhein-Westfalen und in Niedersachsen, da aus diesen Bundesländern auch am meisten Anlagen erhoben wurden bzw. die meisten Anlagendaten zur Verfügung standen. Die Lage und der Anlagenname mit ifs-Nummer ist in Bild 4-2 dargestellt.



Bild 4-2: Lage der bereisten und vollständig untersuchten Anlagen

Die Anlagen wurden im Zeitraum Mai 2020 bis April 2021 untersucht. Eine Übersicht der Kenndaten ist in Tabelle 4-2 dargestellt. Die Kenndaten aller untersuchten Anlagen sind in Anlage 2 aufgeführt.

Tabelle 4-2: Kenndaten der untersuchten Anlagen

IFS Nr.	Anlagenname (ifs)	Straße	DTV [Kfz/d]	Anlagentyp*	Zeitraum ASB [a]	Zeitraum RBF/VS [a]	versiegelte Fläche - gesamt [ha]	Anteil Mulden/Bankett Entwässerung [%]	versiegelte Fläche - ohne EZG Bankett/Mulde [ha]	spez. Volumen ASB [m³/ha]	Filterfläche RBF bzw. VS [m²]
1	Berlin-Halensee	A100	140.429	ASB, RBF	0,25	13	22,80	0	22,80	14	2.250
102	RBF 04 - A113	A113	106.999	ASB, RBF	15	15	3,28	0	3,28	175	380
95	Rosengarten	A261	10.000	VS	39	39	0,75	0	0,75	-	780
99	Seevetal	A7	61.636	VS	36	36	3,80	68	1,23	-	550
98	Egestorf	A7	61.636	ASB, VS	21	21	3,30	60	1,30	92	540
108	Langenfeld	A542	12.026	VS	39	39	1,13	0	1,13	-	81
34	Kerpen	A4	96.958	ASB, RBF, VS	10	10	5,47	50	2,74	59	115,5 / 4.390
111	Bliesheim	A553	36.180	ASB, RBF	5	5	8,95	0	8,95	12	1.600
17	Wieblingen	A656	45.130	ASB, RBF	10	10	3,05	0	3,05	33	350 / 1.735
116	Mühlhausen	B39	k.A.	BM	9	9	1,00	100	0,00	-	-
117	Limburg-Süd	A3	106.302	ASB, RBF	2	2	3,30	50	3,30	24	321
118	Limburg-West	A3	106.302	ASB, RBF	2	2	2,43	25	2,43	33	275
13	Limburg-Nord	A3	106.302	ASB, RBF	1,79	4	4,32	25	2,16	19	425
42	Mechernich	B477	6.503	ASB, RBF	8	8	1,27	0	1,27	39	156
37	Erkelenz-Süd / B57	A3	30.969	ASB, VS	4	4	3,42	0	3,42	277	400
6	Köln-Mülheim	A3	174.024	ASB, RBF, VS	3	3	9,42	80	1,88	101	1640 / 1.320
5	Wermelskirchen	A1	81.999	ASB, RBF	10	10	5,55	0	5,55	90	1.400
4	Schwerte-Ergste	A45	89.598	ASB, RBF	5	5	10,95	0	10,84	99	957
77	Evendorf-Nord	A7	61.636	ASB, VS	21	21	2,00	54	0,91	485	420
85	Evendorf-West	A7	61.636	ASB, VS	22	22	3,30	58	1,40	194	440

Abkürzungen

- ASB = Absetzbecken
- RBF = Retentionsbodenfilter
- VS = Versickerungsanlage
- BM = Bankett / Mulde

Folgende unterschiedliche Anlagenkomponenten wurden untersucht:

- Absetzanlagen mit nachgeschalteten RBF 10 Anlagen
- Absetzanlagen mit nachgeschalteten RBF und VS 2 Anlagen
- Absetzanlagen mit nachgeschalteten VS 4 Anlagen
- VS ohne vorgeschaltete Absetzanlagen 3 Anlagen
- Mulden 1 Anlage

Die Spannweite der Kenndaten ist in der Tabelle 4-3 aufgeführt. Hierbei ist die Betriebszeit zur Berechnung für die unter Kapitel 4.2 ermittelten spezifischen Jahresfrachten aufgeführt. Sollte es seit Inbetriebnahme zu einer Reinigung der Anlage gekommen sein, wird dieser Zeitpunkt mit in die Ermittlung der spezifischen Jahresfrachten aufgenommen. Dies war an den Anlagen Berlin Halensee und Limburg-Nord der Fall.

Es zeigt sich, dass die untersuchten Anlagen sowohl in ihrer Größe als auch in ihrer Betriebszeit und der DTV eine sehr große Spannweite abdecken. Herausstechend ist die Anlage Halensee (1) mit einer Einzugsgebietsgröße von 22,8 ha, da diese Anlage nicht ausschließlich Abflüsse von BAB behandelt, sondern auch Abflüsse aus einem Siedlungsgebiet. Der DTV liegt hier mit 140.429 Kfz/d besonders hoch. Der höchste DTV mit 174.024 Kfz/d liegt an der Anlage Köln Mülheim und der geringste DTV mit 6.503 Kfz/d liegt an der Bundesstraße B477 mit der Anlage Mechernich (42). Das kleinste spezifische Volumen der ASB weist die Anlage Bliesheim (111) mit 12 m³/ha auf.

Tabelle 4-3: Spannweite der Kenndaten

	Einheit	Min	Max	Mittel	Median
Dauerstau ASB	m ³	50	1.080	457	325
spez. Vol. ASB	m ³ /ha	12	485	109	75
Fläche RBF	m ²	116	2.250	822	403
spez. Fläche RBF	m ² /ha	21	252	123	114
Fläche VS	m ²	81	4.390	1.066	545
spez. Fläche VS	m ² /ha	72	1.040	339	154
Betriebszeit ASB ¹⁾	Jahre	0,25	39	13	10
Betriebszeit RBF / VS ¹⁾	Jahre	2,0	39	14	10
versiegelte Fläche gesamt A _{b,a}	ha	0,75	22,8	5,0	3,3
DTV	Kfz/d	6.503	174.024	77.015	71.818

¹⁾ Zeitraum seit letzter Reinigung bzw. seit Inbetriebnahme der Anlage

Das Verfahren der Depotmethode setzt u.a. voraus, dass die zu untersuchenden Anlagen eine bestimmte Betriebszeit durchlaufen haben, damit sich ausreichend Sediment in den einzelnen Stufen zurückhalten konnte. Das Bild 4-3 zeigt, dass die untersuchten Anlagen ein sehr weites Spektrum an Betriebszeiten aufweisen. Der Mittelwert aller untersuchten Anlagen liegt bei 14 Jahren. Die Anlagen mit den längsten Betriebszeiten (> 15 Jahre) sind ausschließlich Versickerungsanlagen und keine RBF.

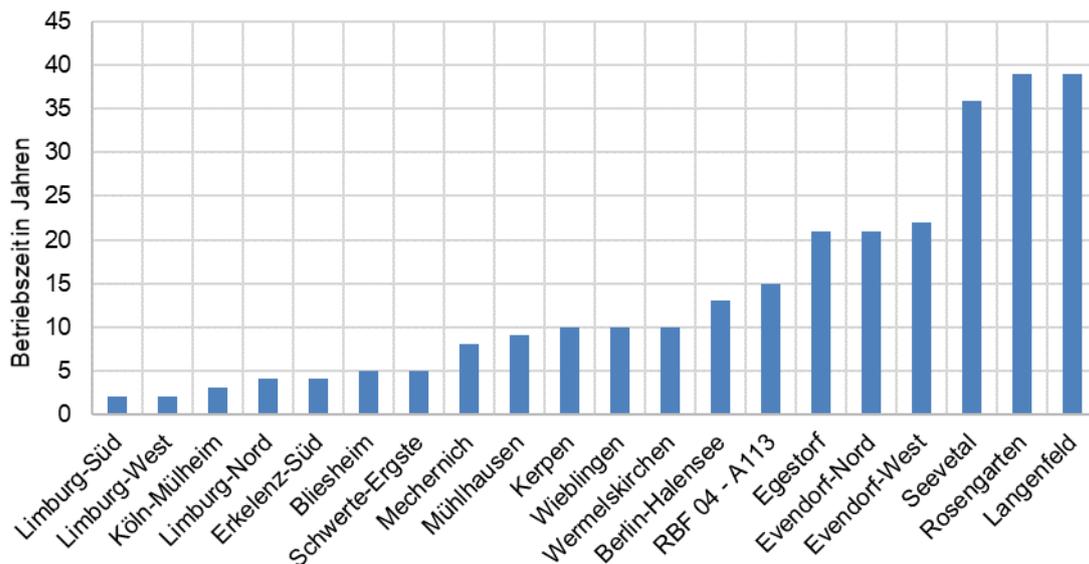


Bild 4-3: Verteilung der Betriebszeit

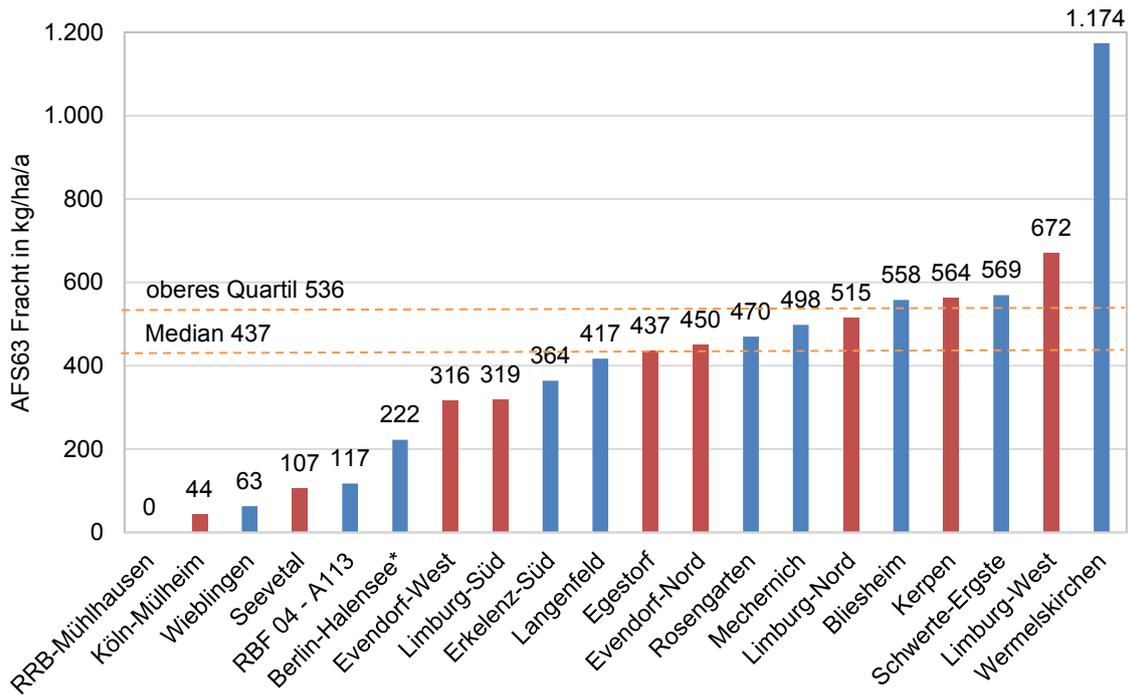
4.2 AFS63-Frachten im Zulauf der Anlagen

Die Ergebnisse aller gemessenen AFS63-Zulauffrachten zu den einzelnen Anlagen sind im Bild 4-4 sortiert nach ihrer spezifischen Zulauffracht dargestellt. Bei 10 der 20 Anlagen wird das Einzugsgebiet vollständig über Bordanlagen/ Abläufe/ Kanäle (blau dargestellt). Bei den weiteren 10 Anlagen wird das Einzugsgebiet vollständig (RRB-Mühlhausen) oder zu einem Teil über Mulden entwässert (rot dargestellt). Am Standort Klön-Mülheim liegt dieser Teil bei rd. 80 %. Bei den weiteren 8 Anlagen liegt der Muldenanteil zwischen 25 % und 68 %. Am Standort Mühlhausen mit vollständiger Muldenentwässerung (Muldenanteil 100 %) konnte am RRB-Zulauf keine Beprobung vorgenommen werden, weil die Mulden einen quantitativen Feinpartikelrückhalt verursacht haben. Auf der Sohle des RRB konnte optisch kein Sediment beobachtet werden. Der Frachteintrag ins RRB wurde deshalb auf null gesetzt. Allerdings wurde das Feinpartikeldepot an den beiden Straßenseitenbereichen des Hochpunktes und des Tiefpunktes (Muldenentwässerung) ermittelt. Für beide Straßenseitenbereiche (0-1 m Breite) konnte eine Feinpartikelfracht von 383 kg/ha/a ermittelt werden (siehe Kapitel 4.4).

Die Bandbreite der in den Anlagen gemessenen AFS63-Zulauffrachten liegt somit zwischen 0 kg/ha/a (Standort Mühlhausen) und 1.174 kg/ha/a (Standort Wermelskirchen).

Anders als die in Tabelle 2-1 dargestellte Fracht von 549 kg/ha/a am Standort Halensee (Kapitel 2), bezieht sich die ermittelte Fracht von 222 kg/ha/a am Standort Halensee ausschließlich auf die Fracht der Absetzanlage und die Fracht des RBF. Die Fracht von 549 kg/ha/a (Tabelle 2-1) bezieht sich zusätzlich auf die Fracht, die im vorgeschalteten Trennbauwerk zurückgehalten wurde, die bei der vorliegenden Messung jedoch nicht erfasst werden konnte. Ein direkter Vergleich ist somit nicht möglich. Ohne die Fracht aus dem Trennbauwerk liegt die Fracht bei 264 kg/ha/a und somit im gleichen Bereich wie die hier ermittelte Fracht von 222 kg/ha/a. Da am Standort Berlin-Halensee ein unbestimmter Frachtanteil im Trennbauwerk nicht erfasst wurde, wird die Anlage bei der Berechnung des Medians und des oberen Quartils nicht berücksichtigt.

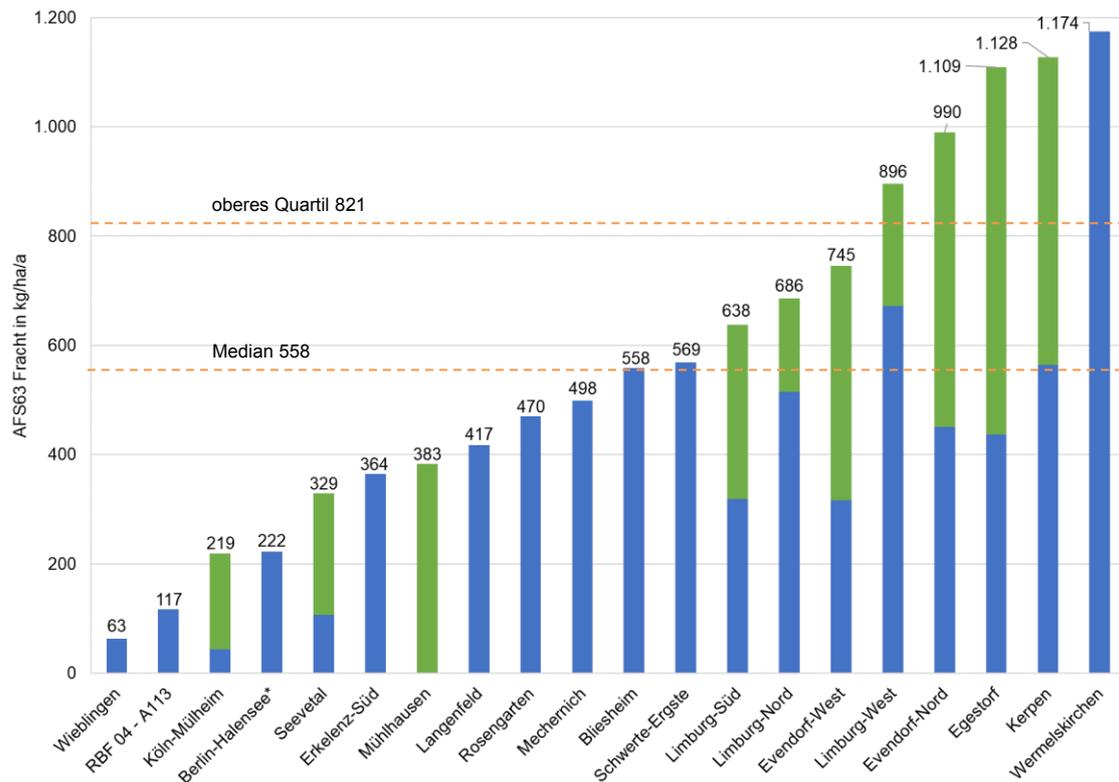
Der Median der AFS63 Zulauffrachten aller Standorte (ausgenommen Berlin-Halensee) beträgt 437 kg/ha/a und das obere Quartil beträgt 536 kg/ha/a.



* Berlin- Halensee, ohne Sedimente Trennbauwerk

Bild 4-4: AFS63 – Zulauffrachten aller untersuchten Standorte in kg/ha/a

Der unter Kapitel 4.4 beschriebene Befund zeigt, dass bei einer Entwässerung über Bankett-Böschung-Mulde ein vollständiger Rückhalt der straßenbürtigen Feststoffe erfolgt. Somit wird davon ausgegangen, dass an Anlagenstandorten mit einem Anteil von Bankett-Böschung-Mulden-Entwässerung dieser Anteil der anfallenden Feststoffe im Bankett-Muldenbereich zurückgehalten wird. Addiert man die auf dem Fließweg im Bankett-Böschung-Mulden zurückgehaltenen rechnerischen AFS63-Frachten auf die an den Anlagen gemessenen Frachten (Bild 4-4) auf, so erhält man die von den Straßenflächen abgetragenen Frachten nach Bild 4-5. In der Tabelle 4-5 sind die gemessenen Frachten und die rechnerischen Frachten zusammengestellt.



* Berlin- Halensee, ohne Sedimente Trennbauwerk

Bild 4-5: AFS63 – Abtragsfrachten der Straßenflächen in kg/ha/a

Der blau dargestellte Anteil der Balken zeigt die spezifische AFS63-Fracht, die in den Anlagen über die Depotmethode gemessen wurde. Der grün dargestellte Bereich zeigt den AFS63 Anteil, der rechnerisch bei einem vollständigen Rückhalt der partikulären Fracht auf dem Fließweg (über die Bankett-Böschung-Mulden-Entwässerung) zurückgehalten wurde (Bild 4-5). Von den insgesamt 20 Standorten ist an 10 Standorten keine Bankett-Böschung-Mulden-Entwässerung vorhanden (durchgängig blau dargestellt). Diese Frachten wurden in den Anlagen nach der Depotmethode gemessen. An 9 Standorten wird ein Teil über Bankett-Böschung-Mulde entwässert. Für diesen Entwässerungsanteil wurde die in den Anlagen gemessene Fracht auf den Bankett-Böschung-Mulde Anteil hochgerechnet (grün dargestellter Anteil). Zusammen mit der gemessenen Fracht aus den Anlagen ergeben sich für diese Standorte neu ermittelte Abtragsfrachten. Am Standort Mühlhausen wurde nur der Bankett-Böschung-Mulden-Bereich beprobt, nicht aber die Behandlungsanlage, da hier keine straßenbürtigen Feststoffe in der Regenwasserbehandlungsanlage festgestellt werden konnten. Die spezifische Fracht von 383 kg/ha/a am Standort Mühlhausen bezieht sich somit auf den direkten Frachtabtrag der Bundesstraße B 39, da sämtliche anfallende Feststoffe im Bankett-Böschung-Mulde-Bereich zurückgehalten wurden. Die für den Standort Mühlhausen ermittelte Feinpartikelfracht der Bundesstraße enthält nicht nur den Frachtabtrag über den Abfluss (tiefer Seitenbereich) sondern auch den Frachtabtrag über Spritzwasser (hoher Seitenbereich).

Der relativ hohe Wert am Standort Wermelskirchen hängt vermutlich mit den Eigenschaften des Einzugsgebietes zusammen. Die Eigenschaften und Auswirkungen werden im Kapitel 4.3 näher beschrieben.

Unter Berücksichtigung der auf dem Fließweg zurückgehaltenen Frachten (über Bankett-Mulde) an den 10 Standorten erhöht sich der Median von 437 kg/ha/a auf 558 kg/ha/a und das obere Quartil von 536 kg/ha/a auf 821 kg/ha/a.

Verglichen mit der Kategorisierung nach DWA-A102 liegt der Median mit 558 kg/ha/a eher in Kategorie II (530 kg/ha/a) als in Kategorie III (760 kg/ha/a). Im Entwurf der REwS [6] wird eine spezifische Zulaufschicht von 550 kg/ha/a für Straßenabflüsse von BAB herangezogen, der aus mehreren Untersuchungen abgeleitet wurde. Dieser Wert kommt dem hier ermittelten Median sehr nahe.

Die 3 untersuchten Anlagen in Limburg weisen trotz gleicher Bauweise und gleichem DTV unterschiedlich hohe AFS63-Frachten auf. Bei weiteren Recherchen der Einzugsgebiete anhand von Planunterlagen hat sich herausgestellt, dass Teile der Einzugsgebiete über Bankett-Mulden entwässern. Der Anteil der kanalisierten angeschlossenen Einzugsgebietsfläche (über Schlitzrinnen, Straßenabläufe etc.) ist in der zweiten Spalte der Tabelle 4-4 aufgeführt.

Tabelle 4-4: Limburg, Korrektur der AFS63-Fracht anhand der Bankett-Mulden-Entwässerung

	Anlagen- zulaufschicht AFS63	kanalisierter Anteil *	Abtragsfracht BAB AFS63	T+U	GV	Zn
	kg/ha/a	%	kg/ha/a	%	%	mg/kg
West	672	75%	896	27,0	10,0	727
Süd	319	50%	638	63,2	25,9	1.889
Nord	515	75%	686	73,1	26,2	2.148

** ermittelt über Planunterlagen und Luftbildaufnahmen*

Das Einzugsgebiet der Anlage Limburg-Nord umfasst die gesamte Lahntalbrücke und einen nördlichen Teil der BAB im Bereich der Anlage, der teilweise über Bankett-Mulden entwässert. Der vergleichsweise geringe Wert an der Anlage Limburg-Süd von 319 kg/ha/a kann mit dem hohen Anteil (50 %) an Bankett-Mulden-Entwässerung im Einzugsgebiet erklärt werden, bei dem die abgetragenen Feststoffe auf dem Fließweg zur Anlage zurückgehalten werden. Wenn dieser Anteil des Einzugsgebietes nicht bei der Berechnung der spezifischen Fracht berücksichtigt wird, nehmen die Frachtdifferenzen deutlich ab. Hierbei ergibt sich eine spezifische Fracht von 638 kg/ha/a für den Standort Limburg-Süd und eine vergleichbare spezifische Fracht von 686 kg/ha/a für die Standorte Limburg-Nord. Am Standort Limburg-West erhöht sich die spezifische Fracht auf 896 kg/ha/a. Dieser hohe Wert an der Anlage Limburg-West kann eventuell durch einen Eintrag von mineralischem Bodenmaterial (z.B. während der Bauphase) erklärt werden, was der deutlich geringere Glühverlust und die geringere Zinkkonzentration nahelegen.

Für alle weiteren Standorte mit einer Bankett-Mulden-Entwässerung sind die Auswertungen unter Kapitel 4.3.1 aufgeführt.

Eine Dokumentation und die Auswertung der Bereisung ist in Anlage 3 aufgeführt.

4.3 Einzugsgebietscharakteristik und AFS63-Fracht

Die Hauptquellen der Feststoffe im Niederschlagsabfluss stammen aus Staubniederschlag, verkehrsbedingtem Abrieb, Abtrag der Fahrbahnoberfläche durch Frost- und Verkehrs-

einwirkungen, Verbrennungsrückständen aus Kfz und Bodenerosion von unbefestigten Flächen. Zu den potenziellen Einflussfaktoren zur Minderung resp. Steigerung des Feststoffaufkommens im Niederschlagsabfluss in Bezug auf Einzugsgebiete an BAB und Bundesfernstraßen zählen u.a.:

- Art der Entwässerung
- Verkehrsaufkommen (durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV))
- Lärmschutzwände / Betonschutzwände
- Waldschneisen
- Dammlage / Einschnitt
- Innerstädtische BAB

Anhand der zur Verfügung stehenden Unterlagen und der Bereisung der Anlagen wurden die Einflussfaktoren / Charakteristika der Einzugsgebiete herausgearbeitet, die potenziell Einfluss auf die Feststoffmenge und Zusammensetzung haben könnten.

4.3.1 Art der Entwässerung

Einen wesentlichen Einfluss auf die AFS63-Fracht, die in die Regenwasserbehandlungsanlagen gelangt, hat die Art der Entwässerung. Hierbei wird grundsätzlich zwischen der Entwässerung mittels Bordanlagen/ Abläufen/ Kanälen und der Entwässerung über Bankett/Mulde unterschieden. Die Bestimmung erfolgte auf Grundlage der vorliegenden Unterlagen, Auswertungen von Luftbildern (open Street Maps) und der Bereisung. Für die drei Standorte in Limburg konnten weitere Planunterlagen zum Einzugsgebiet angefordert und ausgewertet werden. Eine Nachrecherche bei den Betreibern [24] zeigte, dass anders als in den vorliegenden Beckenbüchern beschrieben, an einigen Standorten in Niedersachsen Teile der Entwässerung über Bankett/ Mulden erfolgen.

In Tabelle 4-5 sind zum einen die spezifischen AFS63-Frachten bezogen auf das gesamte Einzugsgebiet dargestellt und zum anderen die spezifischen Frachten, die sich nur auf den Teil des Einzugsgebietes beziehen, bei dem die Entwässerung ausschließlich über Bordrinnen und Regenwasserkanäle stattfindet. Alle Flächen, die über Bankett- Mulden entwässern, werden somit für die Berechnung der spezifischen Frachten nicht berücksichtigt, resp. wird ein 100 % AFS63-Rückhalt auf dem Fließweg im Bankett-Mulden Bereich angenommen. Damit steigt für diese Flächen die spezifische Fracht an (letzte Spalte in Tabelle 4-5). Die so ermittelte spezifische Fracht stellt den Frachtabtrag direkt von der Straße, unabhängig vom Entwässerungssystem dar. Am Standort Köln-Mühlheim lässt sich zum einen die geringe spezifische Fracht durch den hier eingebauten offenporigen Asphalt (OPA) erklären, da die Feinpartikel in dem Porenraum des Asphaltes zurückgehalten werden können und es so zu einem verminderten Abtrag kommt. Weiterhin wird am Standort Köln-Mühlheim der Großteil des Einzugsgebietes über Bankett/ Mulde (80%) entwässert, was zusätzlich zu der sehr geringen spezifischen Fracht von 44 kg/ha/a beiträgt. Eine Verfünffachung der spezifischen Fracht auf 219 kg/ha/a ergibt sich, wenn nur der Teil des Einzugsgebietes berücksichtigt wird, der über Bordanlagen/ Abläufe/ Kanäle entwässert.

Tabelle 4-5: Vergleich der spezifischen Fracht bei unterschiedlicher Entwässerungsart

Anlagenname	versiegelte Fläche	Anteil Entwässerung über Bordrinnen / Kanäle		spezifische AFS63-Fracht	
				bezogen auf gesamtes EZG	bezogen auf Anteil über Bordrinnen/ Kanäle
	[ha]	[ha]	[%]	[kg/ha/a]	
Berlin-Halensee	22,80	22,80	100	222*	
RBF 04 - A113	3,28		100	117	
Rosengarten	0,75		100	470	
Seevetal	3,80	1,23	32	107	329
Egestorf	3,30	1,30	39	437	1.109
Langenfeld	1,13		100	417	
Kerpen	5,47	2,74	50	564	1128
Bliesheim	8,95		100	558	
Wieblingen	3,05		100	63	
Limburg-Süd	3,30	1,65	50	319	638
Limburg-West	2,43	1,82	75	672	896
Limburg-Nord	4,32	3,24	75	515	686
Mechernich	1,27		100	498	
Erkelenz-Süd	3,42		100	364	
Köln-Mülheim	9,42	1,88	20	44	219
Wermelskirchen	5,55		100	1.174	
Schwerte-Ergste	10,95		100	569	
Evendorf-Nord	2,00	0,91	46	450	990
Evendorf-West	3,30	1,40	42	316	745

* Berlin- Halensee, ohne Sedimente Trennbauwerk

Da die AFS63-Fracht maßgebend für die Dimensionierung und Funktion von Regenwasserbehandlungsanlagen ist, sollten zukünftig die EZG-Flächen der Bankett-Mulden-Entwässerung bei der Dimensionierung von Reinigungsanlagen unberücksichtigt bleiben. Hierdurch kann eine Optimierung der Auslastung von Regenwasserbehandlungsanlagen stattfinden und eine Unterlast insbesondere von RBF entgegengewirkt werden.

4.3.2 weitere Einzugsgebietsmerkmale

In der Tabelle 4-6 sind die weiteren Merkmale der Einzugsgebiete aufgeführt. Von den 20 untersuchten Standorten verfügen 17 Einzugsgebiete über eine Asphaltoberfläche, 3 Einzugsgebiete über eine Betonoberfläche und 2 Einzugsgebiete haben eine durchgehende Lärmschutzwand. Betonschutzwände waren an 4 Standorten vorhanden, deren Anteil zwischen 40% und 100% bezogen auf das gesamte Einzugsgebiet beträgt. Im überwiegenden Teil der Einzugsgebiete verlaufen die Straßen in Dammlage. Lediglich das gesamte Einzugsgebiet des Muldenstandortes Mühlhausen ist neben der Mulde als Einschnitt ausgebildet. Am Standort Köln-Mülheim liegt der Anteil des Einschnittes bei rd. 60 % und am Standort Bliesheim liegt

der Anteil bei rd. 20 %. Das BAB Einzugsgebiet Halensee liegt zu 70% im Einschnitt, verfügt aber über einen großen Teil an Siedlungsgebieten, die zusätzlich an der Anlage angeschlossen sind. Die beiden Standorte an Bundesstraßen Mühlhausen (B39) und Mechernich (B477) liegen zu 100 % in einer Waldschneise. Weitere Einzugsgebiete verfügen über Teilabschnitte mit Waldschneisen, deren Anteil zwischen 15 % und 80 % liegt.

Tabelle 4-6: Merkmale der Einzugsgebiete

Merkmale	Anzahl Standorte
Straßenbelag Asphalt / Beton	17 / 3
Lärmschutzwand	2
Betonschutzwand	4 (40% bis 100%)
Dammlage / Einschnitt	16 / 4 (80% / 20%)
Waldschneise	8 (15% bis 100%)
Innerorts	3

In der Tabelle 4-7 sind Merkmale der Einzugsgebiete mit den ermittelten Frachten gegenübergestellt. Hier zeigt sich, dass es keinen sichtbaren Zusammenhang zwischen den aufgeführten Merkmalen und den spezifischen AFS63-Frachten gibt.

Zu vermuten war, dass ein wesentlich höherer organischer Anteil bei Einzugsgebieten in einer Waldschneise auftritt. Der mittlere Glühverlust in der Vorstufe der 3 Anlagen, deren Einzugsgebiet in Waldschneisen liegt, liegt bei 25,6 %. Verglichen mit Anlagen, deren Einzugsgebiet nicht in Waldschneisen liegt (n=8) liegt der mittlere Glühverlust der Absetzanlage bei 29,5 %. Es zeigt sich, dass die Merkmale sowohl bei der AFS63-Fracht als auch bei dem Glühverlust nicht in Korrelation stehen.

Tabelle 4-7: Beispiele für Einzugsgebietsmerkmale und AFS63-Fracht

Einzugsgebietsmerkmale	Anlage	AFS63 in kg/ha/a
Innerorts	Berlin-Halensee	222 **
	Berlin – A113.4	117
	Köln – Mülheim	44
Dammlage	16 der 20 Anlagen	354
Waldschneise	Langenfeld	417
	Kerpen *	564
	Bliesheim *	558
	Mühlhausen	382
	Mechernich *	498

* Glühverlust der Vorstufensedimente: Ø 25,6 %,

** Berlin- Halensee, ohne Sedimente Trennbauwerk

Bei der Spannweite der Frachten in Bezug auf die Einzugsgebietsmerkmale zeigt sich kein Zusammenhang zwischen den aufgeführten Merkmalen. Dies gilt auch für die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV). Einen Zusammenhang zwischen AFS63-Fracht und der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) konnte nicht hergestellt werden (siehe Bild 4-6).

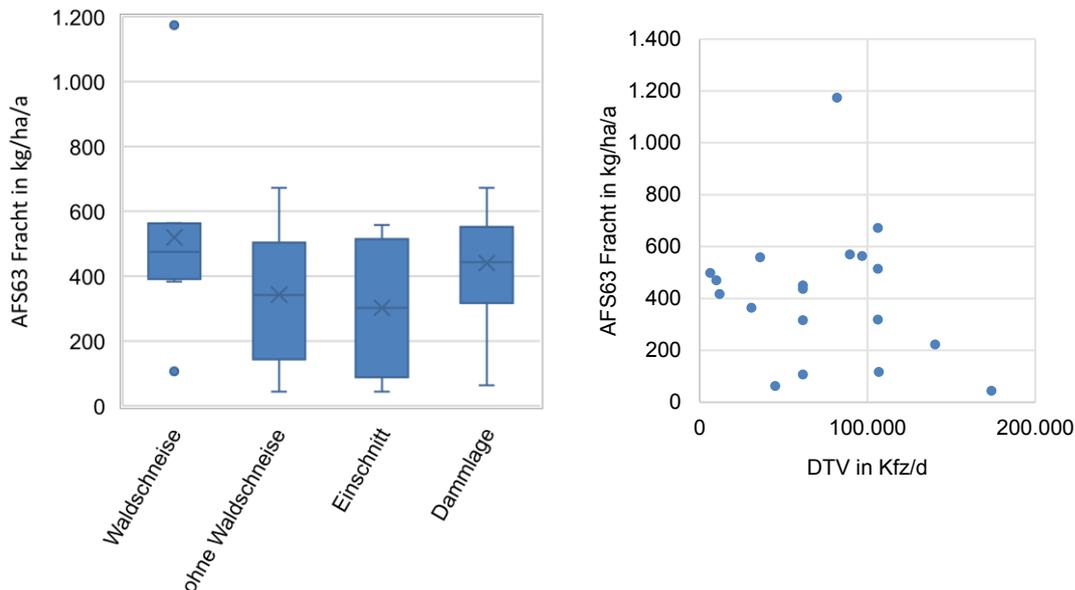


Bild 4-6: Abhängigkeit – spez. AFS63-Fracht zu möglichen Einflussgrößen und zu DTV

Anders als die oben genannten Merkmale der Einzugsgebiete führen Betonschutzwände als Straßenbegrenzung zu einer Erhöhung der AFS63-Frachten. Dies zeigt sich besonders am Standort Wermelskirchen, wo der gesamte Straßenabschnitt mit Betonschutzwänden eingefasst ist. Hier wurde die höchste AFS63-Fracht von 1.174 kg/ha/a gemessen. Dieser Befund wurde auch schon in einem anderen Messvorhaben erkannt, bei dem der Stoffrückhalt von Rückhaltebecken an BAB untersucht wurde [11].

Tabelle 4-8: AFS63-Fracht an Standorten mit Betonschutzwänden

Standort	AFS63 in kg/ha/a
Wermelskirchen, A1	1.174
Steinsfurt, A6 [11]	885
Berlin, A113-Spähstraße [11]	877

An den 3 anderen Standorten Köln-Mülheim, Halensee und RBF 04 - A113 mit Betonschutzwand und Lärmschutzwänden konnte aufgrund anderer Einflussgrößen kein direkter Zusammenhang gefunden werden. Am Standort Köln-Mülheim mit rd. 60 % Lärmschutzwänden und rd. 40 % Betonschutzwänden im Einzugsgebiet dominiert der Einfluss der Bankett-Mulden-Entwässerung mit 80 % des Einzugsgebietes. Vermutlich liegt der Bereich mit Betonschutzwänden und Lärmschutzwänden im Bankett-Mulden-Bereich des Einzugsgebietes. Am Standort Halensee ist ein Zusammenhang aufgrund der Siedlungsgebiets-einflüsse nicht zu erkennen.

Obwohl das Einzugsgebiet am RBF 04 – A113 zu 100 % mit Betonschutzwänden und zu 100 % mit Lärmschutzwänden eingefasst ist, konnten keine Sedimente in der Absetzanlage gemessen werden. Laut Betreiber wurde die Anlage nicht gereinigt bzw. die automatische Reinigung nicht betrieben. Da die auf dem RBF gemessene Fracht von 117 kg/ha/a trotz gleicher Randbedingungen und Einzugsgebietsmerkmalen wesentlich geringer ausfällt als bei den Messungen an der A113 Späthstraße [11] wird vermutet, dass zwischenzeitlich eine Reinigung der Absetzanlage stattgefunden hat.

In Bild 4-7 ist links der Straßenabschnitt am Standort Wermelskirchen dargestellt, der auf beiden Seiten und am Mittelstreifen über Betonschutzwände eingefasst ist. Das rechte Bild zeigt die Betonschutzwand an der A 113 [11]. Hier zeigt sich, dass durch Spritzwasser die Sedimentfracht an die Betonschutzwand gelangt und über nachfolgende Regenereignisse in das Kanalnetz abgespült wird. An Standorten ohne Betonschutzwand wird die Fracht über das Spritzwasser teilweise in den Straßenseitenbereich (außerhalb der Entwässerungsfläche) transportiert und gelangt somit nicht in das Kanalnetz.



Wermelskirchen



Berlin, A113

Bild 4-7: Betonschutzwände

4.4 Bankett / Böschung / Mulden-Beprobung

Bei diesem Vorhaben wurden Standorte untersucht, bei dem Teilflächen über Bankett-Mulden entwässern. Solange der Abfluss nicht in die Muldenschächte gelangt (Muldenüberlauf) sickert dieser durch den Bankett- und Muldenboden in die Sammeldrönage. Bisherige Beobachtungen zeigen, dass selbst bei feinkiesigen Böden ein hoher Feinpartikelrückhalt durch diese Filtration stattfindet. Aus diesem Grund wurde bei der Berechnung der Abtragsfrachten die Annahme getroffen, dass die Straßen, die über Bankett-Mulden entwässert werden, keine AFS63-Frachten zur zentralen Anlage transportieren. Die Entwässerungsflächen mit Bankett-Muldenentwässerung wurden bei der Ermittlung der AFS63-Abtragsfracht nicht berücksichtigt. Durch die rechnerisch verringerte angeschlossene Fläche nimmt die spezifische AFS63-Fracht der restlichen Fläche, die über Bordrinnen entwässert wird, zu (Tabelle 4-9).

Die Annahme, dass die Bankett-Muldenentwässerung zu einem quantitativen Rückhalt der AFS63-Abtragsfrachten führen kann, beruht vorwiegend auf der Untersuchung von horizontalen und vertikalen Gradienten am Bankett, an der Böschung und an der Sohle von Mulden. Der explizite Beleg durch die Quantifizierung des Sedimentes der zentralen Anlage war im Rahmen dieser Untersuchung nur am RRB-Mühlhausen (B39) möglich, da nur dort eine vollständige Entwässerung über den Bankett-Mulden-Bereich erfolgt. Bei den restlichen Standorten wurde nur ein Teil der Flächen über Bankett-Mulden entwässert, wodurch eine sichere Quantifizierung der Bankett-Muldenentwässerung nicht möglich war. Am Standort

Mühlhausen mit vollständiger Bankett-Muldenentwässerung wurden folgende Untersuchungen zur Quantifizierung der Muldenentwässerungen herangezogen:

- a. Bestimmung des Feinpartikeldepots über 0-5 cm Tiefe und 0,0 - 1,0 m Breite von Bankett und Muldenböschung.
- b. Optische Beurteilung der Muldenüberläufe und der RRB-Sohle.
- c. RRB-Zuflussbeprobung aus dem Jahr 2014 [25]

Aufgrund der erst 9-jährigen Sedimentation und der geringen spezifischen AFS63-Fracht (193 kg/ha/a) an der Banketttiefstelle bildete sich das Sediment nur über maximal 5 cm Tiefe und maximal 0,50 m Breite aus. Die tieferen und weiter entfernten Bereiche waren noch nicht durch Sediment schwarz gefärbt. Da bei schmalen Straßen (8 m Gesamtbreite) mit Bankett-Muldenentwässerung nicht sicher zwischen Abfluss und Spritzwasser unterschieden werden kann, wurden die Feinpartikel beider Straßenseiten (Niederbankett mit Abfluss, Hochbankett ohne Abfluss) für die Ermittlung der Feinpartikelfracht aufaddiert (193 + 191 = 384 kg/ha/a). Die Sedimentdepots am Straßenseitenbereich hatten noch einen großen vertikalen Abstand vom Dränrohr (0,50 m) und großen horizontalen Abstand vom Muldenüberlaufschacht (1,00 m). Es ist deshalb zu erwarten, dass keine relevante AFS63-Fracht bis zum RRB transportiert wird. Auch bei größeren AFS63-Frachten ist davon auszugehen, dass die Muldenentwässerung einen hohen Rückhaltegrad verursacht, da die potenzielle Filterfläche der Muldenentwässerung 10-20-fach über der zentraler Filtrationsanlagen liegt.

Tabelle 4-9: Stoffgehalte im Muldenbereich, Mühlhausen

	Mulde mit Straßenabfluss	Mulde ohne Straßenabfluss (nicht entwässernde Seite)
		
Frachtabtrag [kg/ha/a]		
AFS63	193	191
Mittelwerte		
T+U [%]	26,7	24,1
GV [%]	5,20	4,67
Fe [%]	1,23	1,12
Zn [mg/kg]	143	91,4
Zn [mg/kg] über beprobten Querschnitt		
0-20 cm	171	105
20-50 cm	140	95,2
50-100 cm	118	73,9

Am Muldenüberlauf waren keine Fließspuren erkennbar (Bild 4-8, links). Auch im Inneren des Überlaufschachtes konnten keine Fließspuren oder Feststoffe festgestellt werden. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass es während des 9-jährigen Betriebes nicht zu relevanten Muldenüberläufen gekommen ist. Der Zufluss zum zentralen RRB besteht deshalb weitgehend aus dem Dränablauf der Mulde. Dies bestätigt auch das optisch klare RRB-Zulaufwasser (Bild 4-8). Die RRB-Beckensohle wurde aufgrund des optisch nicht erkennbaren Sedimentes nicht beprobt. Die sedimentfreie Beckensohle bestätigt den hohen Feinpartikelrückhalt der Muldenentwässerung.



Muldenüberlauf



feststofffreier Zulauf zur Anlage

Bild 4-8: Muldenentwässerung am Standort Mühlhausen

Im Jahr 2014 wurde bei 3 Regenereignissen das RRB-Zulaufwasser untersucht. Im Mittel konnten folgende Gehalte gefunden werden [25]:

AFS = < 5,0 mg/l

CSB = 14,8 mg/l

Fe_{ges} = 0,14 mg/l

Zn_{ges} = < 10 µg/l

Die geringen Gehalte von AFS, CSB, Fe_{ges} und Zn_{ges} bestätigen den hohen feinpartikulären Rückhalt der Muldenentwässerung Mühlhausen.

Aufgrund des geringen Grobkornanteiles des Bankett- und Muldenbodens Mühlhausen (> 2,0 mm: 28 Mass-%) ist der Tiefentransport der Feinpartikel im Filtermaterial gering (~ 5 cm). Ein Transport der AFS63-Fracht bis ins Dränrohr ist ausgeschlossen. Solange die Bankett- und Muldenböden nur einen geringen Kieskornanteil besitzen, werden die AFS6-Frachten zurückgehalten und gelangen nicht in die zentrale Anlage. Bei einem hohen Grobkornanteil (> 28 Mass-%) gelangen die AFS63-Frachten meist auch nicht über die Muldendränage zur zentralen Anlage. Allerdings dringen die Feinpartikel (AFS63) tief in den Filterboden ein [17]. Im Unterschied zum oberflächennahen, grasbewachsenen Sedimentdepot kann es durch den Tiefentransport der Feinpartikel zur starken Abnahme der hydraulischen Filterleistung kommen, die zur Aktivierung der Muldenüberläufe führt. Über die Muldenüberläufe können dann AFS63-Frachten zur zentralen Anlage gelangen. Die optische Beurteilung der Körnung der Bankett- und Muldenböden lässt erwarten, dass die Muldenentwässerungen dieser Untersuchung zu keinem AFS63-Frachteintrag in die zentralen Anlagen führen.

Es wird empfohlen, zukünftig die Körnung der Böden für die Muldenentwässerung so zu wählen, dass ein vollständiger, oberflächennaher Feinpartikelrückhalt möglich ist und ein Muldenüberlauf weitgehend verhindert werden kann. Für die Straßenflächen mit Bankett-

Muldenentwässerung ist dann auch bei hohen Anforderungen an den Gewässerschutz eine zentrale Behandlung voraussichtlich nicht erforderlich.

4.5 Rückhalteleistung der Absetzanlagen

In der Tabelle 4-10 sind die ermittelten spezifischen AFS63 Rückhaltefrachten der Absetzanlagen und die gesamten Zulauffrachten dargestellt. In den Absetzanlagen wurden zwischen 0 % und 92 % der Zulauffracht zurückgehalten. In der 2. bzw. 3. Stufe wurde entsprechend die Restfracht zurückgehalten (siehe Tabelle 4-10). Am Standort Wieblingen konnte aufgrund der sehr geringen Sedimentmenge von rd. 1 cm in der Absetzanlage keine repräsentative Probe genommen werden. Der Rückhalt für die Absetzanlage wurde daher mit 0 % angesetzt. In der Absetzanlage Bliesheim konnte trotz der 5-jährigen Betriebszeit nur eine sehr geringe Sedimentmenge gemessen werden. Dieser geringe Wert kann mit dem sehr geringen spezifischen Volumen begründet werden. Die mittlere Sedimenthöhe in der Absetzanlage betrug 2 cm.

Tabelle 4-10: AFS63 Rückhalteleistung der Absetzanlagen

Anlagenname	Behandlungsstufen	spez. Vol.	Zulauf	Rückhalt	Wirkungsgrad
		[m ³ /ha]	[kg/ha/a]	[kg/ha/a]	[%]
B. -Halensee	ASB, RBF	14	222	142	64
RBF 04 - A113	ASB, RBF	175	117	-	-
Egestorf	ASB, VS	92	213	170	80
Kerpen	ASB, RBF, VS	59	564	187	33
Bliesheim	ASB, RBF	12	558	5	1
Wieblingen	ASB, RBF	33	63	0	0
Limburg-Süd	ASB, RBF	24	319	83	26
Limburg-West	ASB, RBF	33	672	54	8
Limburg-Nord	ASB, RBF	19	515	99	19
Mechernich	ASB, RBF	39	498	203	41
Erkelenz-Süd	ASB, VS	277	364	279	77
Köln-Mülheim	ASB, RBF, VS	101	44	30	68
Wermelskirchen	ASB, RBF	90	1.174	855	73
Schwerte-Ergste	ASB, RBF	99	569	381	67
Evendorf-Nord	ASB, VS	485	243	224	92
Evendorf-West	ASB, VS	194	158	137	87

Der potenzielle Wirkungsgrad bezogen auf die gesamte gemessene AFS63-Fracht zeigt eine Abhängigkeit zum spezifischen Volumen auf (Bild 4-9). Diese Messungen bestätigen die Ergebnisse bisheriger Untersuchungen an Absetzanlagen [11]. Mit einem spezifischen Volumen von > 200 m³/ha können AFS63-Wirkungsgrade bis zu 90 % erzielt werden. Bei spezifischen Volumen ≤ 40 m³/ha liegt der AFS63-Wirkungsgrad hingegen größtenteils bei ≤ 40 %.

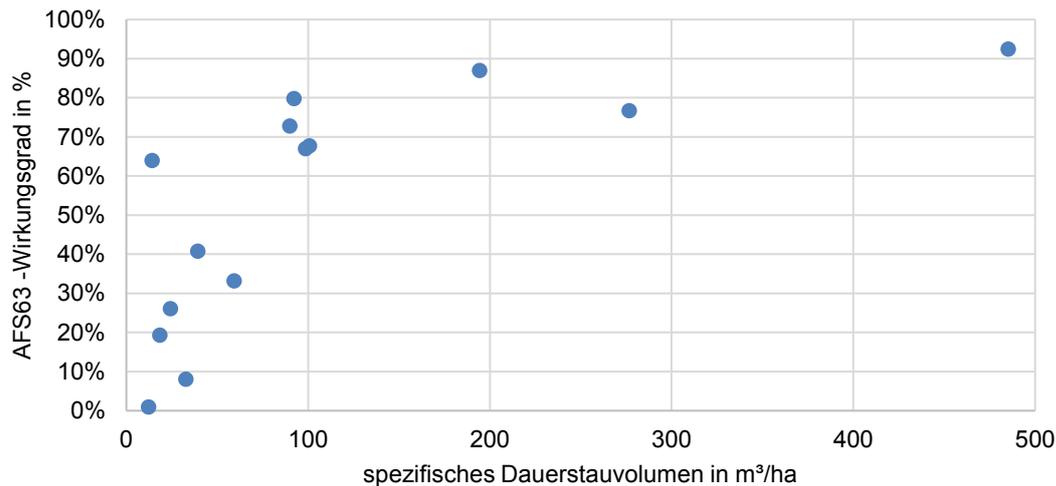


Bild 4-9: Rückhalteleistung der Absetzanlagen in Abhängigkeit des Dauerstauvolumens

Bei dem Vergleich der ermittelten Rückhaltefrachten mit den Messungen an 20 Absetzanlagen aus [22] zeigt sich, dass sich sowohl das Spektrum der spezifischen Volumina der Absetzanlagen als auch das Spektrum der Rückhaltefrachten aus den beiden Untersuchungen sehr gleichen. Die deutlich höheren Mittelwerte des Frachtrückhaltes in [22] bei gleichzeitig geringeren spezifischen Volumina erklären sich durch wesentlich höhere Maximalwerte. Der Median beider Untersuchungen zeigt bei nahezu gleichen spezifischen Volumina gleiche spezifische Rückhaltmengen auf.

Tabelle 4-11: Vergleich der Rückhaltefracht von Absetzanlagen mit Messungen aus [22]

	Bemessung von Sed.- Anlagen [22] (n=20)		ermittelter Rückhalt in dieser Untersuchung (n= 15)	
	spez. Vol.	Rückhalt Absetzanlage	spez. Vol.	Rückhalt Absetzanlage
	[m³/ha]	[kg/ha/a]	[m³/ha]	[kg/ha/a]
Min	8,7	9,0	12,0	0,0
Max	325,0	1322,0	485,0	855,0
Median	67,6	142,0	59,0	142,0
Mittel	82,7	262,3	104,7	189,9
25% Quartil	28,3	63,5	28,5	68,5
75% Quartil	102,4	299,5	100,0	213,5

4.6 Verteilung der AFS63-Fracht entlang des Fließweges

Ausgehend von einem 100 % Wirkungsgrad in Bezug auf AFS63 bei RBF / Versickerungsanlagen (ggf. bei Extremereignisse durch Überlauf entstehende Verluste sind in dieser Zusammenstellung nicht berücksichtigt) wird hier die Frachtverteilung zwischen Bankett-Mulde, Absetzanlage und RBF / Versickerungsanlage aufgezeigt. In der Tabelle 4-12 sind die ermittelten spezifischen AFS63-Rückhaltefrachten in Bezug auf die gesamten Frachten dargestellt. An Standorten ohne vorgeschaltete Absetzanlage entspricht die zurückgehaltene AFS63-Fracht des RBF/VS der AFS63-Zulauffracht.

Tabelle 4-12: Von der Straße abgetragene AFS63-Fracht und AFS63-Frachtrückhalt entlang des Fließweges

Anlage	Behandlungsstufen	Abtragsfrachten ¹⁾	Rückhalt Mulde ²⁾	Rückhalt Absetzanlage ⁴⁾	Rückhalt RBF / VS ⁴⁾
		[kg/ha/a]			
Berlin-Halensee	ASB, RBF	222	0	142	80
RBF 04 - A113	ASB, RBF	117	0	0	117
Rosengarten	VS	470	0	-	470
Seevetal	VS	329	223	-	107
Egestorf	ASB, VS	1.109	672	349	88
Langenfeld	VS	417	0	-	417
Kerpen	ASB, RBF, VS	1.128	564	523	41
Bliesheim	ASB, RBF	558	0	5	553
Wieblingen	ASB, RBF	63	0	0	63
Mühlhausen	Mulden	383	383 ³⁾	0	0
Limburg-Süd	ASB, RBF	638	319	83	236
Limburg-West	ASB, RBF	896	224	54	618
Limburg-Nord	ASB, RBF	686	172	99	415
Mechernich	ASB, RBF	498	0	203	295
Erkelenz-Süd	ASB, VS	364	0	279	85
Köln-Mülheim	ASB, RBF, VS	219	175	30	14
Wermelskirchen	ASB, RBF	1.174	0	855	320
Schwerte-Ergste	ASB, RBF	569	0	381	188
Evendorf-Nord	ASB, VS	990	540	416	34
Evendorf-West	ASB, VS	745	429	275	41

1) Abtragsfrachten unter Berücksichtigung einer vollständigen Rückhaltung im Bankett-Mulden-Bereich (siehe Bild 4-5)

2) Rechnerischer Rückhalt im Bankett-Mulden-Bereich (siehe Kapitel 4.4)

3) Gemessener Rückhalt im Bankett-Mulden-Bereich (siehe Kapitel 4.4)

4) Gemessener Rückhalt in der jeweiligen Absetzanlage, Versickerungsbecken, RBF (siehe Kapitel 4.5)

4.7 Filterflächenbelastung der Retentionsbodenfilter und Versickerungsanlagen

Die Belastung der RBF bzw. Versickerungsanlagen ist in Bild 4-10 als Flächenbelastung dargestellt. Die blau hinterlegten Balken geben die Flächenbelastung der RBF wieder. Hierbei handelt es sich immer um RBF mit einer vorgeschalteten Absetzanlage. Die gelben Balken zeigen die Flächenbelastung der Versickerungsanlagen. Die 3 Versickerungsanlagen Rosengarten, Seevetal und Langenfeld haben keine Absetzanlage vorgeschaltet und werden direkt über den Zulauf beschickt. Die relativ hohe Filterflächenbelastung der Versickerungsanlage

Langenfeld lässt sich aufgrund der relativ geringen spezifischen Versickerungsfläche von 72 m²/ha erklären (die mittlere spezifische Versickerungsfläche der untersuchten Versickerungsanlagen liegt bei 339 m²/ha).

An drei weiteren Standorten (Köln-Mülheim, Wieblingen und Kerpen) ist aufgrund der fehlenden Vorflut eine Versickerungsanlage nach dem RBF geschaltet. An den Standorten Köln-Mülheim und Wieblingen wurden in der Versickerungsanlage (Stufe 3) keine Frachten gemessen. Dieser Befund macht deutlich, dass es zumindest an den beiden RBF (Köln-Mülheim, Wieblingen) zu keinem Frachtaustrag im Ablauf der RBF resp. Überläufen gekommen ist.

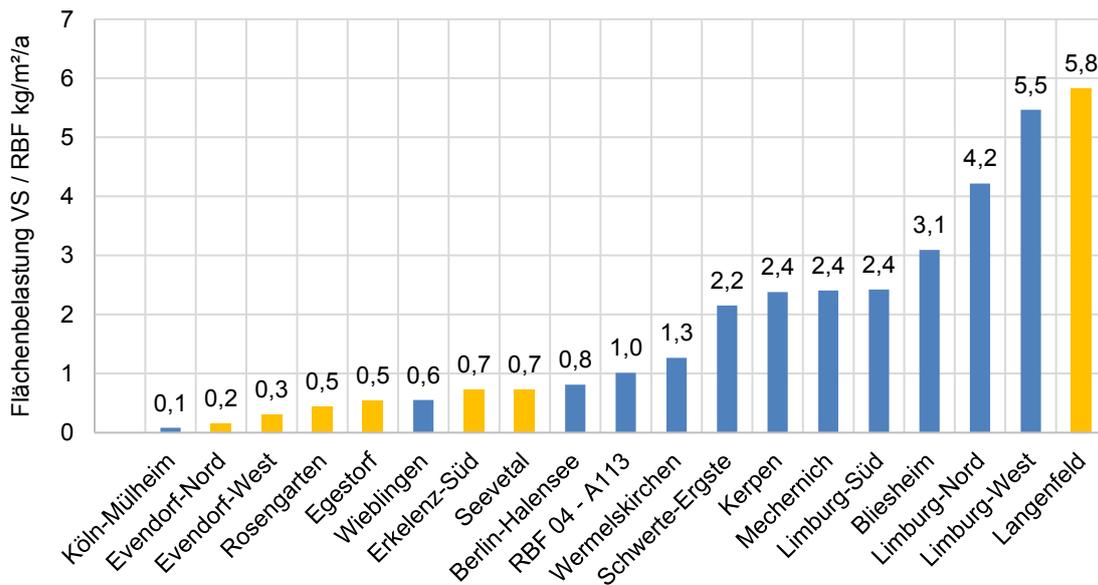


Bild 4-10: Flächenbelastung der RBF / Versickerungsanlagen

In der Anlage Kerpen liegt die Belastung in der 3. Stufe (Versickerungsanlage) bei 1.835 kg/a und auf dem RBF (2. Stufe) bei 266 kg/a. Dies zeigt einen hohen Austrag an AFS63 aus dem RBF. Dieser Befund lässt sich zum einen mit der geringen spezifischen Filterfläche des RBF von 21,1 m²/ha ($A_F = 115,5 \text{ m}^2$; $A_{b,a} = 5,47 \text{ ha}$) erklären. Üblicherweise werden RBF für die Straßenentwässerung mit 100 m² Filterfläche je Hektar Einzugsgebietsfläche bemessen. Zum anderen legen die an der Filteroberfläche offenliegenden Dränrohre Kurzschlussströmungen mit entsprechendem Sedimentaustrag unter Umgehung der Filterpassage direkt ins Dränsystem nahe. Der Retentionsbodenfilter ist nicht (mehr) funktionstüchtig und müsste saniert werden, wenn die nachgeschaltete Versickerungsanlage nicht vorhanden wäre.



Bild 4-11: RBF Kerpen, offenliegende Dränage

Für Retentionsbodenfilter wird nach DWA A178 [26] eine maximale Filterflächenbelastung bezüglich AFS63 von $7 \text{ kg/m}^2/\text{a}$ vorgegeben. Die Flächenbelastung der untersuchten RBF liegt im Mittel bei $2,2 \text{ kg/m}^2/\text{a}$. Bei den Versickerungsanlagen liegt die mittlere Flächenbelastung bei $1,3 \text{ kg/m}^2$. Dieser geringe Wert hängt u.a. damit zusammen, dass an allen RBF eine Absetzanlage vorgeschaltet ist, die einen Teil der AFS63-Fracht zurückhält.

Maßgeblich für die Sedimentverteilung auf der Filteroberfläche ist die Gestaltung des Zulaufes. Am Beispiel Limburg Süd s. Bild 4-12 wird deutlich, dass sich die höchste Sedimentfracht im Bereich des Zulaufes (1) wiederfindet. Dieser Bereich wird bei jedem Regenereignis beschickt, wohingegen der zulaufferne, rinnenferne Bereich (4) nur bei Regenereignissen beschickt wird, bei denen die gesamte Filterfläche bespannt wird. RBF mit einem punktuellen Zulauf zeigen dieses Anreicherungsmuster noch wesentlich deutlicher. Hier findet sich der Großteil der Sedimente im zulaufnahen Bereich als Schwemmkegel wieder.

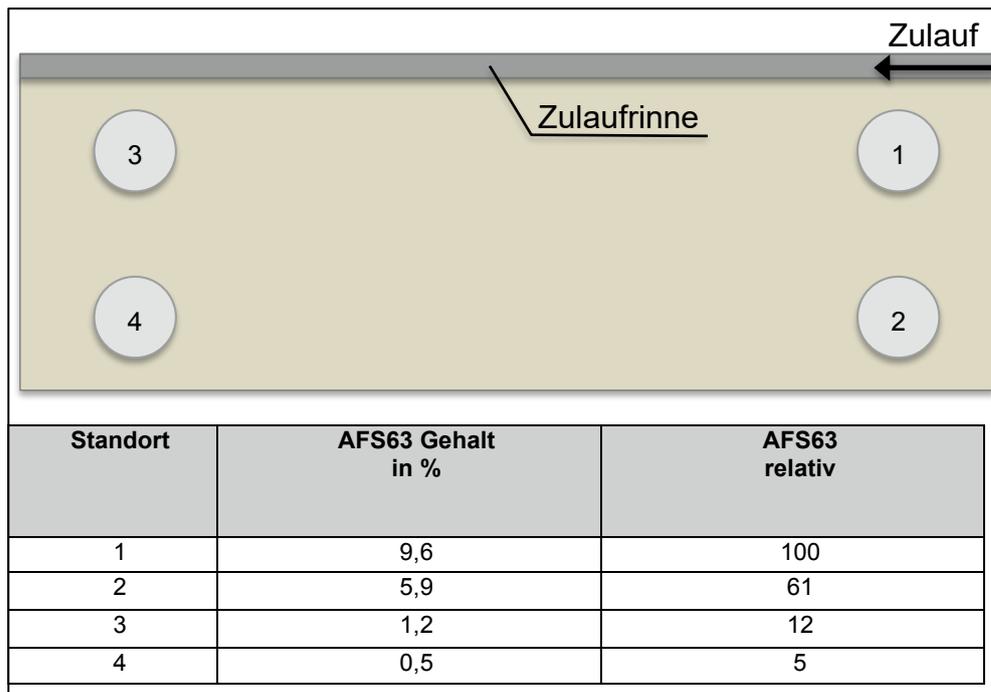


Bild 4-12: Sedimentverteilung am Bsp. RBF Limburg Süd

Bild 4-13 der Versickerungsanlage Evendorf-Nord verdeutlicht die Sedimentverteilung zwischen zulaufnahem und zulauffernem Bereich. Im zulaufnahen Bereich ist eine dunkle bis schwarze rd. 5 cm dicke Sedimentschicht ausgebildet, im zulauffernen Bereich zeigen sich nur vereinzelt schwarze Sedimentablagerungen auf der Oberfläche.



zulaufnah

zulauffern

Bild 4-13: Versickerungsanlage Evendorf-Nord, zulaufnahes und zulauffernes Profil

Den optischen Unterschied zwischen einer mittleren und geringen Stoffbelastung zeigt das Bild 4-14. Das linke Bild zeigt die Oberfläche des RBF Mechernich mit einem AFS63-Anteil in den oberen 10 cm von 17,2 %. Das rechte Bild zeigt den Querschnitt der Versickerungsanlage Kerpen mit einem AFS63-Anteil in den oberen 10 cm von 1 %.



Bild 4-14: optischer Vergleich der AFS63 Anreicherung an 2 Beispielen

4.8 Analyseergebnisse der Feststoff und der Wasserphase

An allen Feststoffproben wurde zum einen die Korngrößenverteilung analysiert, um u.a. die AFS63-Frachten zu ermitteln und zu bilanzieren. Zusätzlich wurden die Proben auf weitere Parameter, wie Schwermetalle untersucht. Die statistischen Kenndaten der Analysen sind in Tabelle 4-13 aufgeführt. Hier zeigt sich eine tendenzielle Abnahme der Schwermetalle entlang des Fließweges eine Anlage. Die höchsten Werte finden sich in den Sedimenten der Absetzanlagen. Hauptgrund für die geringeren Konzentrationen in den RBF bzw. Versickerungsanlagen ist, dass ein Teil der Sedimentproben der RBF bzw. Versickerungsanlagen aus dem Filtermaterial (RBF) bzw. anstehenden Boden (Versickerungsanlage) besteht. Somit ist ein direkter Vergleich der Konzentrationen nicht möglich.

Tabelle 4-13: Feststoffanalyse, statistische Kenndaten

Parameter	GV	pH _{CaCl2}	Zn	Cd	Cu	Pb	Cr	Ni	Mn
Einheit	%	-	mg/kg TS						
Absetzanlage									
Anzahl	13	13	13	12	13	13	13	13	13
Min	10,0	6,4	727	0,23	175	30	73	44	260
25% Quartil	23,6	7,1	1889	0,83	490	98	106	53	346
Median	25,6	7,3	2310	1,13	526	114	117	58	424
75% Quartil	29,7	7,4	2491	1,39	599	162	126	70	535
Max	48,0	7,5	2834	1,97	869	454	183	96	687
Mittel	26,6	7,1	2143	1,10	525	141	120	62	440
Versickerungsanlagen									
Anzahl	8	8	8	7	8	8	8	8	8
Min	0,7	6,2	18	0,10	4	5	10	4	82
25% Quartil	3,9	6,7	197	0,21	38	14	23	10	177
Median	5,2	6,9	515	0,32	137	30	42	16	585
75% Quartil	12,7	7,2	1130	0,49	293	78	77	34	713
Max	14,6	7,7	1660	0,94	371	166	144	77	897
Mittel	7,2	6,9	662	0,39	168	57	57	25	497
Retentionsbodenfilter									
Anzahl	3,0	7	7	4	7	7	7	7	7
Min	3,2	5,4	94	0,12	45	6	30	19	323
25% Quartil	5,5	7,4	239	0,18	68	10	45	30	563
Median	6,2	7,5	605	0,30	127	33	49	44	700
75% Quartil	77,5	7,7	933	0,83	138	90	69	77	847
Max	18,1	7,9	3374	2,10	930	198	173	188	7266
Mittel		7,1	966	0,71	262	61	68	64	1542

Wie unter Kapitel 4.3.2 beschrieben, konnte keine Korrelation zwischen Verkehrsaufkommen (DTV) und spezifischer AFS63-Fracht erkannt werden. Dieser Befund zeigt sich auch bei den

vorliegenden Untersuchungen zwischen den Zinkgehalten der Sedimente der Absetzanlagen im Bezug zum DTV (Bild 4-15).

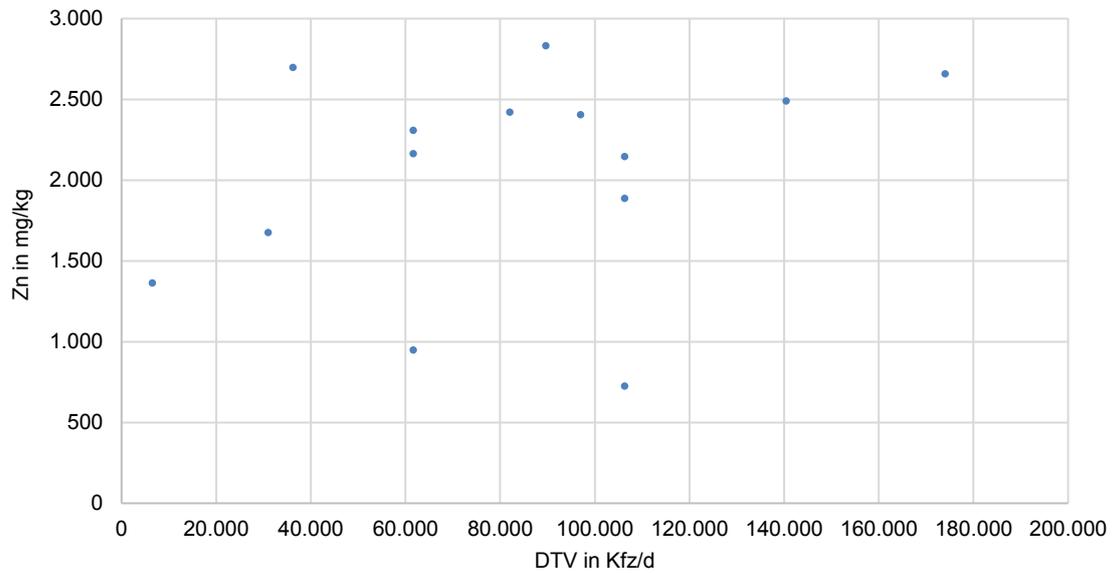


Bild 4-15: Abhängigkeit zwischen DTV – Zinkgehalt im Sediment der Absetzanlage

Eine Übersicht der gesamten Analyseergebnisse ist in der Anlage 4 zusammengestellt.

Im Abstimmungstermin am 01.07.2020 wurde vorgeschlagen, den Parameterumfang um die Parameter PAK zu erweitern, um einen möglichen Erkenntnisgewinn in Bezug auf aktuell gestellte Anforderungen der WRRL zu erlangen. Hierzu wurden sowohl ausgewählte Sedimente beprobt als auch (Misch-) Wasserproben aus dem Überstand der Absetzanlagen und, wenn möglich, auch Wasser(misch-)proben aus dem Dränablauf von RBF.

Die Tabelle 4-14 zeigt die statistischen Kennwerte der Wasserproben aus dem Einstauwasser der dauereigestauten Absetzanlagen.

Tabelle 4-14: *Einstauwasser der Absetzanlagen, statistische Kenndaten der Wasseranalyse*

Parameter	Einheit	Anzahl	Min	25% Quartil	Median	75% Quartil	Max	Mittel
Lf	[µS/cm]	31	111	231	798	1397	5100	1117
pH-Wert	[CaCl ₂]	31	7,2	7,5	7,6	7,9	8,8	7,7
AFS	[mg/l]	8	4,9	7,3	13,1	41,2	91,1	28,4
Ks 4,3	[mmol/l]	31	0,58	1,15	1,30	1,56	4,42	1,56
CSB ges	[mg/l]	30	11,6	21,5	29,9	44,3	91,2	34,8
CSB gel	[mg/l]	4	13,1	13,4	14,5	18,6	27,8	17,5
NH ₄ -N	[mg/l]	28	0,04	0,17	0,35	0,81	3,20	0,65
NO ₃ -N	[mg/l]	30	0,04	0,16	0,69	1,27	2,94	0,76
NO ₂ -N	[mg/l]	27	0,01	0,04	0,07	0,10	0,16	0,07
P ges	[mg/l]	31	0,00	0,04	0,07	0,09	0,56	0,09
PO ₄ -P	[mg/l]	23	0,00	0,01	0,02	0,04	0,19	0,03
Fe ges	[mg/l]	31	0,03	0,33	0,57	1,03	4,51	0,83
Zn ges	[mg/l]	30	0,004	0,048	0,065	0,086	0,353	0,079
Mn ges	[mg/l]	10	0,008	0,027	0,037	0,058	0,155	0,048
Al ges	[mg/l]	22	0,032	0,098	0,181	0,370	1,453	0,317
SO ₄ ges	[mg/l]	16	1,86	5,50	9,57	15,95	56,55	14,75
Ca ges	[mg/l]	3	24,5	25,0	25,5	37,3	49,0	33,0
Na ges	[mg/l]	23	7,3	36,6	170,0	241,0	980,0	219,8
SUMME PAK	[µg/l]	14	0,02	0,02	0,02	0,04	0,10	0,04
Benzo(a)pyren	[µg/l]	14	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

An Standorten, bei denen ein RBF als Reinigungsanlage nachgeschaltet ist und es während der Bereisung einen Dränablauf aus dem RBF gab, wurden Wasserproben des Dränablaufes genommen. Die Kenndaten der Analyse sind in der Tabelle 4-15 aufgeführt.

Tabelle 4-15: Dränablaufwasser der RBF, statistische Kenndaten der Wasseranalyse

Parameter	Einheit	Anzahl	Min	25% Quartil	Median	75% Quartil	Max	Mittel
Lf	[μ S/cm]	24	225	549	740	1972	5150	1352
pH-Wert	[CaCl ₂]	22	7,7	7,7	7,9	8,0	8,4	7,9
AFS	[mg/l]	0	-	-	-	-	-	-
Ks 4,3	[mmol/l]	22	1,46	2,15	3,01	3,79	5,56	3,03
CSB ges	[mg/l]	20	6,1	8,7	10,5	15,1	35,1	13,2
CSB gel	[mg/l]	2	9,3	9,4	9,4	9,5	9,6	9,4
NH ₄ -N	[mg/l]	19	0,01	0,01	0,02	0,03	0,31	0,05
NO ₃ -N	[mg/l]	22	0,12	0,78	1,49	2,04	7,85	1,96
NO ₂ -N	[mg/l]	11	0,00	0,01	0,03	0,04	0,09	0,03
P ges	[mg/l]	23	0,00	0,01	0,03	0,04	0,08	0,03
PO ₄ -P	[mg/l]	15	0,00	0,02	0,02	0,04	0,05	0,03
Fe ges	[mg/l]	20	0,01	0,02	0,07	0,13	0,52	0,11
Zn ges	[mg/l]	22	0,002	0,005	0,009	0,025	0,051	0,017
Mn ges	[mg/l]	6	0,002	0,005	0,075	0,164	0,250	0,096
Al ges	[mg/l]	13	0,010	0,029	0,062	0,124	0,192	0,079
SO ₄ ges	[mg/l]	12	5,03	12,66	15,27	18,46	118,7	27,68
Ca ges	[mg/l]	2	58,5	63,8	69,1	74,4	79,7	69,1
Na ges	[mg/l]	16	19,6	38,1	61,3	294,3	582	171,0
SUMME PAK	[μ g/l]	2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(a)pyren	[μ g/l]	2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Eine Übersicht der gesamten Analyseergebnisse ist in der Anlage 4 zusammengestellt.

Die Mittelwerte aus 30 bzw. 20 Stichproben sind in Tabelle 4-16 aufgeführt. Die Einstauwässer der Absetzanlagen unterlagen einer mehrtägigen Sedimentationszeit. Die Proben waren weitgehend frei von straßenbürtigen Feinpartikel. Die Probenahme in den Absetzanlagen erfolgten 20 cm unterhalb des Dauerwasserspiegels.

Tabelle 4-16: *Mittlere Stoffgehalte der Wasserphase*

	Einstauwasser n = 30	Dränablauf n = 20
CSB _{ges} in mg/l	34,8	13,2
CSB _{gel} in mg/l	17,5	9,4
NH ₄ -N in mg/l	0,65	0,05
NO ₃ -N in mg/l	0,76	1,96
P _{ges} in mg/l	0,09	0,03
Fe _{ges} in mg/l	0,83	0,11
Zn _{ges} in µg/l	79	17
	n = 14	n = 2
PAK ₁₆ in µg/l	0,04	<0,01
Benzo(a)pyren in µg/l	<0,01	<0,01

Ein weitgehend feinstofffreier Straßenabfluss besitzt nur einen geringen CSB-Gehalt. Der CSB_{ges} des Einstauwassers von 34,8 mg/l ist vermutlich noch durch Rücklösung aus dem dauereingestauten Sediment und Algenbildung erhöht. Der CSB_{gel} von 17,5 mg/l zeigt die geringe partikelfreie Belastung des Straßenabflusses an. Diese geringe Konzentration kann durch die RBF-Filtration auf 9,4 mg/l reduziert werden. Die geringen gelösten CSB-Gehalte des Straßenabflusses bestätigen dessen hohe partikuläre Stoffbindung.

Die Mineralstickstoffgehalte (NH₄-N, NO₃-N) des Einstauwassers der Absetzanlagen zeigen keinen Einfluss durch Sedimentrücklösung, da die Probenahme in Nähe der Wasseroberfläche erfolgten. Höhere NH₄-N- und geringere NO₃-N-Gehalte sind nur über dem Sediment zu erwarten. Die Mineralstickstoffgehalte von 0,65 mg NH₄-N/l und 0,76 mg NO₃-N/l entsprechen den originalen Gehalten des Straßenabflusses. Wie die Dränablaufgehalte zeigen, kann ein RBF das NH₄-N quantitativ in NO₃-N überführen. Der hohe NO₃-N-Gehalt des Dränablaufes von 1,96 mg/l zeigt auch, dass Straßenabflüsse ohne O₂-Depression aerob filtriert werden können. Dies bestätigt den geringen gelösten CSB-Gehalt von 17,5 mg/l. Da der Mineralstoffgehalt des Einstauwassers (entspricht Zulauf RBF, 1,41 mg N/l) geringer ist als der Dränablauf (1,96 mg N/l), ist davon auszugehen, dass die N-Differenz durch die Mineralisierung des Filtersedimentes entsteht. Trockenfallende Straßenabflusssedimente mineralisieren hiernach vollständig aerob.

Die Untersuchung bestätigt die bisherige Kenntnis, dass partikelfreie Straßenabflüsse einen P-Gehalt von 0,10 mg/l besitzen. Durch diesen P-Gehalt kann im sommerlichen Einstauwasser der Absetzanlagen eine starke Algenblüte entstehen. Diese Algenblüte konnte durch die Beprobung nicht repräsentativ erfasst werden, wie der geringe CSB-Gehalt von 34,8 mg/l anzeigt.

Die Abnahme der P_{ges}-Gehalte von 0,09 mg/l (RBF-Zulauf) auf 0,03 mg P/l (RBF-Ablauf) weist auf die P-Bindung durch das abflussbürtige Eisen hin.

Die deutlich höheren Fe- und Zn-Gehalte des Einstauwassers der Absetzanlagen gegenüber dem RBF-Dränablauf (Tabelle 4-16) zeigen, dass die dauereingestaute Absetzanlage, trotz großen Volumens, nicht die geringen Ablaufgehalte der Filtration erreichen kann.

Auf dem Abstimmungstermin am 01.07.2020 wurde beschlossen, Einstauwasser der Absetzanlagen und Dränabläufe der RBF auf PAK₁₆ zu untersuchen, um Kenntnisse über die partikelfreien PAK₁₆- bzw. Benzo(a)pyren-Konzentrationen zu sammeln. Diese Untersuchung konnte aber nur mit der Bestimmungsgrenze je Einzelsubstanz von 0,01 µg/l durchgeführt werden. Die verwendete Bestimmungsgrenze lag 59-fach höher als der Grenzwert der Umweltqualitätsnorm (JD-UQN: 0,17 ng Benzo(a)pyren / l).

Aus den PAK-Untersuchungen können folgende Aussagen getroffen werden:

- a. Die Benzo(a)pyren-Gehalte liegen bei allen Untersuchungen der Einstauwässer und Dränabläufe unter der Bestimmungsgrenze von 0,01 µg/l.
- b. Die Summe der PAK (PAK₁₆) ist beim Dränablauf unter der Bestimmungsgrenze von 0,01 µg/l. Beim Einstauwasser beträgt der PAK₁₆-Gehalt im Mittel 0,04 µg/l. Unterstellt man eine Ausgangskonzentration von 3,5 µg PAK₁₆/l entspricht der Einstauwassergehalt von 0,04 µg PAK₁₆/l einer Abnahme durch Sedimentation von 98,8 %. Unterstellt man eine Dränablaufkonzentration von 0,01 µg PAK₁₆/l entspricht dies einer Abnahme durch Filtration von 99,7 %. Die Abtrennung der Feinpartikel aus dem Straßenabfluss führt hiernach zu einem sehr hohen Rückhalt von 99,7 % der PAK₁₆.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Ziel des Forschungsvorhaben „Wirkung von Behandlungsanlagen der Straßenentwässerung im Hinblick auf AFS63“ (FE 05.0193/2016/GRB) ist die Ermittlung der AFS63 Jahresfrachten und der AFS63-Rückhalteleistung von Regenwasserbehandlungsanlagen an Bundesfernstraßen. Es wurde auch untersucht, ob die gemessenen Jahresfrachten durch einfach erfassbare Einzugsgebietsindikatoren prognostiziert werden können und wie groß die Vorentfrachtung auf dem Fließweg über Bankette, Böschungen und Mulden ist.

Die Untersuchung erfolgte mit der Sedimentdepot-Methode, bei der die zurückgehaltenen Sedimentmengen in den einzelnen Anlagenteilen und in unterschiedlichen Zonen der Entwässerungseinrichtungen erfasst wurden. Es wurden nur Anlagen untersucht, die einen vollständigen Feinpartikelrückhalt bewirken. Somit entsprach das ermittelte Anlagensediment der Summe der Anlagensedimente. Die Ermittlung des feinpartikulären Sedimentdepots erfolgte in folgenden Bestimmungsschritten:

- Sedimentvolumen
- Trockenlagerungsdichte
- Sedimenttrockenmasse
- Feinpartikuläre Trockenmasse (AFS63)
- Bezug der Feinpartikel Trockenmasse auf die angeschlossenen befestigte Fläche ($A_{b,a}$) und die Betriebszeit

Um Abschätzungen von potenziellen Fehlerquellen bei der Sedimentdepot-Methode treffen zu können, wurden Plausibilitätsuntersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse der Plausibilitätsuntersuchen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Durch die lange Betriebszeit (2 – 39 Jahre, Median 10 a) erlaubt die Depotmethode eine sichere Integration ohne Messlücken der jahreszeitlichen und jährlichen Frachtschwankungen. Herkömmliche Zulaufuntersuchungen besitzen hingegen Messlücken und eine deutlich kürzere Messzeit.
- Die sehr starke horizontale AFS63-Zonierung auf den Filter- und Versickerungsflächen kann durch eine Teilflächenbeprobung repräsentativ erfasst werden. Die Teilflächen selbst sind ausreichend homogen, wie Vergleichsmessungen gezeigt haben.

Von den 115 im Vorfeld anhand von Plänen und weiteren Daten ausgewerteten Anlagen wurden im Zeitraum Mai 2020 und April 2021 insgesamt 37 Anlagen bereist und 20 Anlagen vollständig über die Sedimentdepot-Methode untersucht. Durch die große Zahl an Anlagen konnte eine Spannweite der AFS63-Jahresfrachten ermittelt werden. Der Median der AFS63-Zulauffracht der untersuchten Anlagen liegt bei 437 kg/ha/a, das obere Quartil bei 536 kg/ha/a. Unter Berücksichtigung der auf dem Fließweg zur Behandlungsanlage zurückgehaltenen AFS63-Fracht (Bankett-Mulden-Entwässerung) ergeben sich spezifische AFS63-Frachten von 558 kg/ha/a (Median) bzw. 821 kg/ha/a (oberes Quartil). Diese Werte sind zu erwarten, wenn kurze Fließwege über Rohrleitungen bestehen. Im Unterschied zum Median konnte an Einzelflächen festgestellt werden, dass die Korrektur der Muldenentwässerung (vollständiger Rückhalt) zu plausibleren Feinpartikelfrachten führt. Bei zwei Autobahnflächen in Limburg, wo aufgrund der gleichen Einzugsgebietsflächen geringe Differenzen der Frachten zu erwarten waren, konnte ohne Muldenkorrektur eine Frachtdifferenz von 196 und mit Muldenkorrektur von nur 48 kg/ha/a ermittelt werden.

Eine klare Zuordnung von Einzugsgebietsparametern (innerorts/außerorts, Dammlage, Waldschneise) zur AFS63-Zulauffracht konnte aus den Ergebnissen nicht abgeleitet werden, sodass anhand von Einzugsgebietsparametern eine einigermaßen zuverlässige Prognose der AFS63-Fracht nicht möglich ist. Eine Korrelation zwischen dem DTV und der AFS Fracht bzw. den Zinkgehalten in den Sedimenten der Absetzanlagen besteht ebenfalls nicht.

Nur für extrem geringe und extrem hohe AFS63-Frachten konnte deren Ursache ermittelt werden. Die Betonschutzwand kann die AFS63-Fracht im Zulauf zur Behandlungsanlage stark erhöhen (Beispiel Wermelskirchen). Hingegen kann die Art der Entwässerung (Anteil der Entwässerung über Bankett und Mulden) die AFS63-Fracht im Zulauf zur Behandlungsanlage bis auf null reduzieren (Beispiel Mühlhausen).

Zukünftig sollten bei der Dimensionierung von RBF die EZG-Flächen der Bankett-Mulden-Entwässerung unberücksichtigt bleiben. Bei der Muldenentwässerung steht eine sehr hohe potenzielle Behandlungsfläche zur Verfügung, über die eine hohe und weitgehend vollständige Behandlung des Straßenabflusses möglich ist. Eine nochmalige Behandlung des Muldenabflusses in einer zentralen Filteranlage ist deshalb nicht notwendig. Durch Optimierung insbesondere des Kornaufbaues von Bankett- und Muldenboden könnte die örtliche Filtration generell der zentralen Filtration (RBF) entsprechen.

Die Ergebnisse zeigen, dass Absetzanlagen mit einem spezifischen Volumen von $> 200 \text{ m}^3/\text{ha}$ AFS63-Rückhaltegrade von $> 90 \%$ erzielen können. Bei spezifischen Volumen $\leq 40 \text{ m}^3/\text{ha}$ liegt der AFS63-Wirkungsgrad hingegen größtenteils bei ≤ 40 . Damit liegen die in den REwS 2021 Tabelle 6 angegebenen Wirkungsgrade auf der sicheren Seite.

Im Mittel liegt die Filterflächenbelastung der untersuchten Anlagen bei 2,2 kg/m² bei RBF und 1,3 kg/m² bei Versickerungsanlagen. Die Messungen haben gezeigt, dass die Sedimentverteilung auf der Filteroberfläche stark von der Zulaufgestaltung abhängig ist. Dies zeigt sich insbesondere bei einer punktuellen Zulaufgestaltung.

6 Ausblick

Die Prognose der Feinpartikelfracht wäre nach den vorgenommenen Untersuchungen bei den Einzugsparametern offener Asphalt (OPA) und Dammlage von Interesse. Hierdurch könnte die Behandlungsbedürftigkeit geklärt bzw. der Bau nicht notwendiger Behandlungsanlagen vermieden werden. Hingegen kann die hohe Fracht bzw. die Behandlungsbedürftigkeit bei Betonschutzwänden auch ohne weitere Untersuchungen als sicher gelten. Um eine sichere Quantifizierung der Einzugsgebietsparameter offener Asphalt und Dammlage auf die Feinpartikelfracht vorzunehmen, könnten vergleichende Depotuntersuchungen vorgenommen werden.

Am Standort Mühlhausen mit vollständiger Muldenentwässerung konnte anhand des Sedimentes am Bankett-Muldenbereich und der Sohle des RRB festgestellt werden, dass die dortige Muldenentwässerung einem quantitativen AFS63-Rückhalt verursacht. Merkmale für diesen vollständigen Rückhalt waren das Ende des Sedimentationskeiles an der Oberkante der zulaufseitigen Muldenböschung und das Fehlen von Sediment auf der RRB-Sohle. Um den AFS63-Rückhalt der Muldenentwässerung auf einer breiten Datenbasis verallgemeinern zu können, wird vorgeschlagen, das AFS63-Depot an Bankett und Mulde an den 9 noch nicht untersuchten Standorten dieses Vorhabens und an weiteren 11 Standorten zu ermitteln. An den 9 Standorten dieses Vorhabens kann das ermittelte Anlagendepot mit dem des Muldenentwässerungsdepots verglichen werden. Dieser Vergleich ist ein zusätzliches Kriterium und ergänzt das Kriterium des frühzeitigen Depotendes vor Muldensohle (horizontales Depotende) und vor Muldendränage (vertikales Depotende). Das frühzeitige Depotende soll als zentrales Kriterium für den quantitativen AFS63-Rückhalt verwendet werden. Neben dem Depotende auf der straßennahen Muldenböschung kann zur Absicherung der Aussage auch die straßenferne Muldenböschung auf straßenabflussbürtige AFS63 untersucht werden. Hierdurch ist eine zusätzliche Absicherung der Messergebnisse möglich.

Die vorgeschlagene Erhebungsuntersuchung von 20 Bankett/Mulden-Standorten soll klären, welcher spezifische Filterflächenbedarf (Prozent von Straßenfläche) und welche Körnung der Bankett- und Muldenböden vorliegen müssen, um einen quantitativen AFS63-Rückhalt zu ermöglichen. Neben der Flächenausdehnung des Sedimentes soll auch die Eindringtiefe der AFS63-Partikel in das Korngerüst der Straßenrandböden als Leistungskriterium verwendet werden. Das frühzeitige horizontale und vertikale Ende der Feinpartikelabtrennung vor der Muldensohle und der Muldendränage zeigt auch die Vergleichbarkeit mit einer zentralen Filtration (RBF) an.

Literatur

- [1] D. Grotehusmann und K. Kornmeyer, „Immisionsbezogene Bewertung der Einleitung von Straßenabflüssen,“ Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr, Hannover, 2018.
- [2] C. Xanthopoulos und H. Hahn, „Pollutans Attached to Particles from Drainage Areas,“ The Science of the Total Environment 93, pp 441-448, Elsevier, Amsterdam, 1990.
- [3] M. Werkenthin, B. Kluge und G. Wessolek, „Metals in European roadside and soil solution,“ Environmental Pollution 189, pp 98-110, Elsevier, Amsterdam, 2014.
- [4] B. Baensch-Baltruschat, B. Kocher, F. Stock und G. Reifferscheid, „Tyre and road wear particles (TRWP) - A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment,“ Science of the Total Environment, Elsevier, Amsterdam, 2020.
- [5] DWA, „Arbeitsblatt DWA-A 102/BWK-A3,“ Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V, 2020.
- [6] FGSV, „ENTWURF, Richtlinien für die Entwässerung von Straßen (REwS),“ 2018.
- [7] A. Nadler und E. Meißner, „Versickerung des Niederschlagswasser von befestigten Flächen,“ Bayrisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2007.
- [8] S. Rommel und B. Helmreich, „Feinpartikuläre Stoffe in Verkehrsflächenabflüssen,“ TU Kaiserslautern, Schriftenreihe Wasser, Band 1, 169-178, 2018.
- [9] D. Grotehusmann, B. Lambert und J. Graf, „Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss,“ Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V295, 2017.
- [10] P.-C. Kahlert, „Bewertung der Effizienz eines RBF in Berlin,“ TU Berlin, Masterarbeit, 2015.
- [11] B. Lambert, J. Rüter und D. Grotehusmann, „Stoffrückhalt in Regenrückhaltebecken,“ Bundesanstalt für Straßenwesen, 2020.
- [12] B. Lambert und C. Huwe, „Untersuchungen zur Optimierung der Rinnenfiltration,“ Bundesforschungsministerium, 2021.
- [13] B. Lambert und J. Scheinbach, „Entwicklung und Erprobung eines neuartigen Straßenbanketts,“ ZIM Vorhaben, 2016.
- [14] B. Lambert, „Lysimeteruntersuchungen zur Anwendung eines neuartigen Straßenbanketts an der BAB-A5 zwischen Offenburg und Riegel,“ RP Freiburg, 2018.
- [15] B. Lambert, J. Rüter und D. Grotehusmann, „Untersuchungen zur Möglichkeiten der stofflichen Entfrachtung des Ruschegrabens,“ Berliner Wasserbetriebe, Berlin, 2010.
- [16] D. Grotehusmann, J. Rüter, B. Lambert und S. Fuchs, „RBF Biesdorf, Phase 3,“ BWB, Berlin, 2011.

- [17] B. Lambert und J. Rüter, „Untersuchungen am Versickerungsbecken - A4, km66,5,“ Straßen NRW, Außenstelle Köln, Köln, 2017.
- [18] S. Fuchs, D. Grotehusmann, J. Rüter und B. Lambert, „Bestimmung des Feststoffanteils und der Kornverteilung im Zulauf der Grobfilteranlage Wallenbergstraße,“ Berliner Wasserbetriebe, Berlin, 2008.
- [19] D. Grotehusmann, J. Rüter und B. Lambert, „Regenwasserbehandlung Pücklerteich, Messprogramm zur Erfassung der Ausgangsbelastung,“ Berliner Wasserbetrieb, Berlin, 2009.
- [20] B. Lambert, „Bodenkundliche Untersuchungen an der Straßenbankettlysimerteranlage in Augsburg,“ LfU Bayern, Augsburg, 2007.
- [21] D. Grotehusmann, B. Lambert, J. Rüter, S. Fuchs, m. Uhl und D. Leutnant, „Betrieboptimierung von Retentionsbodenfilter in Misch- und Trennsystem, Schwerpunkt Sediment und Filteruntersuchung,“ MKULNV, 2016.
- [22] D. Grotehusmann, J. Rüter, M. Hunze und K. Müller, „Bemessung von Sedimentationsräumen,“ Bundesanstalt für Straßenwesen, 2020.
- [23] D. Grotehusmann, B. Lambert und J. Rüter, „RBF Halensee, Inbetriebnahme und Messtechnische Begleitung,“ Berliner Wasserbetriebe (unveröffentlicht), Berlin, 2010.
- [24] U. Kasting, „Überprüfung der Einzugsgebietsgrößen der ausgewählten Becken aus Niedersachsen,“ Hannover, 21.07.2021.
- [25] B. Lambert, „Beprobung des RRB-Muldenzulaufes Mühlhausen,“ unveröffentlicht, Sinsheim-Steinsfurt, 2014.
- [26] DWA, „Arbeitsblatt DWA-A 178, Retentionsbodenfilteranlagen,“ Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V, 2019.

Bilder

- Bild 3-1: Ekman-Birge Sedimentgreifer und Peilstange
- Bild 3-2: Stechzylinder
- Bild 3-3: Schema Muldenbeprobung
- Bild 3-4: Abweichung bei der Anzahl der Kartierungspunkte
- Bild 3-5: Kontrollmessung am RKB Halensee, April 2021
- Bild 3-6: Methodenkontrolle am Beispiel VS Evendorf West (ifs-Nr.85)
- Bild 4-1: Lage der Anlagen mit erhobenen Daten
- Bild 4-2: Lage der bereisten und vollständig untersuchten Anlagen
- Bild 4-3: Verteilung der Betriebszeit
- Bild 4-4: AFS63 – Zulauffrachten aller untersuchten Standorte in kg/ha/a
- Bild 4-5: AFS63 – Abtragsfrachten der Straßenflächen in kg/ha/a
- Bild 4-6: Abhängigkeit – spez. AFS63-Fracht zu möglichen Einflussgrößen und zu DTV
- Bild 4-7: Betonschutzwände
- Bild 4-8: Muldenentwässerung am Standort Mühlhausen
- Bild 4-9: Rückhalteleistung der Absetzanlagen in Abhängigkeit des Dauerstauvolumens
- Bild 4-10: Flächenbelastung der RBF / Versickerungsanlagen
- Bild 4-11: RBF Kerpen, offenliegende Dränage
- Bild 4-12: Sedimentverteilung am Bsp. RBF Limburg Süd
- Bild 4-13: Versickerungsanlage Evendorf-Nord, zulaufnahes und zulauffernes Profil
- Bild 4-14: optischer Vergleich der AFS63 Anreicherung an 2 Beispielen
- Bild 4-15: Abhängigkeit zwischen DTV – Zinkgehalt im Sediment der Absetzanlage

Tabellen

- Tabelle 2-1: AFS63-Frachten an unterschiedlichen Standorten
- Tabelle 2-2: Carbonatlösung als Indikator der salzbedingten Feststofffreisetzung aus der Fahrbahn, Gehalte im Abfluss der Derchinger Straße in Augsburg [20]
- Tabelle 2-3: Gehalte von Reifenabriebsedimenten
- Tabelle 3-1: Methoden der Sedimentanalyse
- Tabelle 3-2: Methoden der Wasseranalyse
- Tabelle 3-3: Merkmale unterschiedlicher Beprobungsarten
- Tabelle 3-4: Vergleich von Beprobungsmethoden
- Tabelle 3-5: rechnerische Abschätzung der Messungenauigkeit in Absetzanlagen
- Tabelle 3-6: Ergebnisse der Kontrollmessung, April 2021
- Tabelle 3-7: Vergleich von Sedimentmessungen am Standort Halensee
- Tabelle 4-1: Übersicht über die Datenerhebung und Anlagenbereisung
- Tabelle 4-2: Kenndaten der untersuchten Anlagen
- Tabelle 4-3: Spannbreite der Kenndaten
- Tabelle 4-4: Limburg, Korrektur der AFS63-Fracht anhand der Bankett-Mulden-Entwässerung
- Tabelle 4-5: Vergleich der spezifischen Fracht bei unterschiedlicher Entwässerungsart
- Tabelle 4-6: Merkmale der Einzugsgebiete
- Tabelle 4-7: Beispiele für Einzugsgebietsmerkmale und AFS63-Fracht
- Tabelle 4-8: AFS63-Fracht an Standorten mit Betonschutzwänden
- Tabelle 4-9: Stoffgehalte im Muldenbereich, Mühlhausen
- Tabelle 4-10: AFS63 Rückhalteleistung der Absetzanlagen
- Tabelle 4-11: Vergleich der Rückhaltefracht von Absetzanlagen mit Messungen aus [22]
- Tabelle 4-12: Von der Straße abgetragene AFS63-Fracht und AFS63-Frachtrückhalt entlang des Fließweges
- Tabelle 4-13: Feststoffanalyse, statistische Kenndaten
- Tabelle 4-14: Einstauwasser der Absetzanlagen, statistische Kenndaten der Wasseranalyse
- Tabelle 4-15: Dränablaufwasser der RBF, statistische Kenndaten der Wasseranalyse
- Tabelle 4-16: Mittlere Stoffgehalte der Wasserphase

Anlage 1

Beispielauswertung

Beispielauswertungen

Die Vorgehensweise der Beprobung ist im Schlussbericht unter Kapitel 3.2 genau beschrieben. Die hier aufgeführte Auswertung soll an einem Beispiel die einzelnen Schritte zur Ermittlung der spezifischen Fracht darstellen. Für die Beispielberechnung wird die Anlage Limburg-Nord (ifs Nr. 13) betrachtet, die am 29.03.2021 beprobt wurde. In der Anlage 3 sind für alle untersuchten Anlagen die Berechnungen aufgeführt.

Folgende Kenndaten sind für die Ermittlung der spezifischen Fracht erforderlich:

- Einzugsgebietsgröße ($A_{b,a}$) 4,30 ha
- Fläche ASB 35 m²
- Messzeitraum (t_{ASB}) 1,8 Jahre (letzte Räumung 14.06.2019)
- Fläche RBF (A_F) 425 m²
- Messzeitraum (t_{RBF}) 4 Jahre (Inbetriebnahme 2017)

Bestimmung AFS63 im Absetzbecken (ASB)

Schritt 1: Bestimmung des Sedimentvolumens SV mithilfe der Peilstange in dem ASB

Messung vor Ort			Rechenwerte		
P1	P2	P3	mittlere Sedimenthöhe	Flächenanteil ASB	Sedimentvolumen (SV)
[cm]	[cm]	[cm]	[m]	[m ²]	[m ³]
3	3	2	0,03	5	0,13
3	-	4	0,04	5	0,17
4	-	4	0,04	5	0,2
6	-	5	0,06	5	0,27
9	-	8	0,09	5	0,42
10	-	11	0,11	5	0,52
23	30	30	0,28	5	1,38
Summe SV					3,1 m³

Schritt 2: Entnahme der Mischprobe

An mehreren Stellen in dem ASB erfolgt mithilfe des Sedimentgreifers die Entnahme der Mischprobe. Im linken Bild ist der Sedimentgreifer mit Überstandswasser dargestellt. Im rechten Bild ist das Überstandswasser weitgehend abgehoben.



Bild: Sedimentgreifer

Schritt 3: Laboranalyse

Die Mischprobe wird im Anschluss in einem luftdichten Behälter für den Transport in das Labor gelagert. Im Labor werden für die Ermittlung der spezifischen Fracht folgende Parameter bestimmt:

- Lagerungsdichte (LD von SV) 1,14 kg/dm³
- Trockensubstanz (TS) 29,8 %
- T+U-Gehalt (AFS63) 73,1 %

Schritt 4: Berechnung der Gesamtfracht:

Die Trockenmasse wird wie folgt bestimmt:

$$TM [kg] = SV \times [m^3] \times LD \left[\frac{kg}{dm^3} \right] \times TS[\%] \times 10 = \mathbf{1.053 kg}$$

Schritt 5: Berechnung der spezifischen AFS63 Fracht:

Zusammen mit der Einzugsgebietsfläche ($A_{b,a}$) und dem Zeitraum bis zur letzten Räumung (t_{RKB}) errechnet sich die spezifische AFS63 Fracht für das ASB wie folgt:

$$AFS63 = \frac{TM [kg] \times T+U [\%]}{(AEba \times \text{Zeitraum})} = \mathbf{99 kg/ha/a}$$

Damit beträgt die spezifische AFS63 Fracht für das ASB 99 kg/ha/a.

Bestimmung AFS63 in dem nachgeschalteten RBF bzw. Versickerungsbecken

Schritt 1: Bestimmung des Ausgangsgehaltes

Über eine Schürfgrube wird das Ausgangsmaterial unterhalb der Inversionsschicht beprobt. Die Probe wird auf ihre Korngrößenverteilung untersucht um den T+U Gehalt (resp. AFS63 Gehalt) zu erfassen.

Schritt 2: Beprobung der Versickerungsfläche

Die Versickerungsfläche wird mithilfe des Stechzylinders in 6 Bereichen im zulaufnahen Bereich und in 6 Bereichen im zulauffernen Bereich beprobt. Für beide Bereich wird jeweils eine Mischprobe gebildet.

Schritt 3: Bestimmung des Sedimentvolumens in m³ für die einzelnen Proben

Das Sedimentvolumen wird über die Stechfläche der einzelnen Stiche und der Stechtiefe bestimmt.

$$SV [m^3] = Stechfläche [m^2] \times Stechtiefe[m]$$

Probe	Stechfläche der Stechzylinder (6 Stiche) [m ²]	Stechtiefe [m]	SV [m ³]
1, zulaufnah	0,016	0,10	0,0016
2, zulauffern	0,016	0,10	0,0016

Schritt 4: Laboranalyse

Die Mischproben werden im Anschluss in einem luftdichten Behälter für den Transport in das Labor gelagert. Im Labor wurden für die Ermittlung der spezifischen Fracht folgende Parameter bestimmt:

Parameter	Einheit	Probe 1, zulaufnah	Probe 2, zulauffern
Probengewicht (von SV)	kg	2,060	2,100
Trockensubstanz (TS)	%	82,1	86,8
T+U-Ausgangsgehalt (AFS63)	%	10,1	
T+U-Probengehalt (AFS63)	%	28,7	22,1

Schritt 5: Bestimmung Lagerungsdichte des SV in der Probe

Die Lagerungsdichte (LD) wird mithilfe des Probengewichtes (Bestimmung im Labor) und des Sedimentvolumens (SV) wie folgt bestimmt:

$$LD \left[\frac{kg}{dm^3} \right] = \frac{\text{Probengewicht [kg]}}{(1.000 \times SV [m^3])}$$

Probe	Probengewicht [kg]	SV [m ³]	LD [kg/dm ³]
1, zulaufnah	2,060	0,0016	1,30
2, zulauffern	2,100	0,0016	1,32

Schritt 6: Bestimmung der Frischmasse auf dem RBF / Versickerungsfläche

Die Berechnung der gesamten Frischmasse (FM) erfolgt über den Flächenanteil des RBF / Versickerungsfläche, der Stechtiefe des Stechzylinders und der ermittelten Lagerungsdichte.

$$FM [kg] = \text{Stechtiefe [m]} \times \text{Flächenanteil [m}^2] \times LD \left[\frac{kg}{dm^3} \right]$$

Probe	Stechtiefe [m]	RBF Fläche [m ²]	LD [t/m ³]	FM [kg]
1, zulaufnah	0,1	212,5	1,30	27.673
2, zulauffern	0,1	212,5	1,32	28.150

Schritt 7: Bestimmung der Trockenmasse (TM)

Die Trockenmasse wird wie folgt bestimmt:

$$TM [kg] = \frac{FM [kg] \times TS [\%]}{100}$$

Probe	FM [kg]	TS [%]	TM [kg]
1, zulaufnah	27.673	82,1	22.673
2, zulauffern	28.150	86,8	24.445

Schritt 8: Bestimmung der gesamten AFS63 Fracht

Die Bestimmung der AFS63 Fracht wird wie folgt berechnet:

$$AFS63 [kg] = \frac{TM [kg] \times (T + U_{Probe} - T + U_{Ausgang})[\%]}{100}$$

Probe	TM [kg]	T+U Probe [%]	T+U Ausgang [%]	$\Delta T+U$ [%]	T+U (AFS63) [kg]
1, zulaufnah	22.673	28,7	10,1	18,6	4.217
2, zulauffern	24.445	22,2	10,1	12,1	2.958

1) $\Delta T+U = T+U_{Probe} - T+U_{Ausgang}$

Schritt 9: Bestimmung der spezifischen AFS63 Fracht

Zusammen mit der Einzugsgebietsfläche ($A_{b,a}$) und dem Zeitraum bis zur letzten Räumung (t_{RBF}) errechnet sich die spezifische AFS63 Fracht für den RBF wie folgt:

$$AFS63 = \frac{\sum T+U [kg]}{(A_{Eba} \times \text{Zeitraum})} = 415 \text{ kg/ha/a}$$

Zusammen mit der spezifischen AFS63 Fracht der ASB von 99 kg/ha/a und der spezifischen AFS63 Fracht des RBF von 415 kg/ha/a ergibt sich für den Standort Limburg-Nord eine spezifische Gesamtfracht von **515 kg/ha/a**.

Anlage 2

Anlagenkenndaten

ifs Nr	Einheit	1	102	95	99	98	108	34
Anlagenname (ifs)		Berlin-Halensee	RBF 04 - A113	Rosengarten	Seevetal	Egestorf	Langenfeld	Kerpen
Datum Bereisung	[]	12.05.2020	13.05.2020	14.07.2020	14.07.2020	15.07.2020	11.08.2020	12.08.2020
Chronologie Bereisung	[]	1	2	3	4	5	6	7
Anlagentyp	[]	ASB, RBF	ASB, RBF	VS	VS	ASB, VS	VS	ASB, RBF, VS
Bundesland	[]	B	B	NI	NI	NI	NW	NW
Strabe	[]	A100	A113	A261	A7	A7	A542	A4
Betriebszeit / Baujahr / Planfeststellung	[]	2007	2005	1981	1984	1999	1981	2010
versiegelte Fläche: AE, b.a	[ha]	22,80	3,28	0,75	3,80	3,30	1,13	5,47
Fläche ohne Bankett/Mulde	[ha]	22,80	3,28	0,75	1,23	1,30	1,13	2,74
Dauerstautiefe	[m]	2,2	2,1	0,0		0,5	2,0	2,0
Oberfläche Abscheideraum	[m²]	151,0	80,0			750,0		75 / 160
vorr. Dauerstauvolumen	[m³]	325,0	575,4			304,5		325,0
spez. Volumen	[m³/ha]	14	175			92		59
Beckenausführung 1-Stufe	[]	B-Recht	B-Recht	nur VS-Becken	nur VS-Becken		ohne	B-Recht
2 Stufe (RBF, VS)	[]	RBF	RBF	VS	VS	VS	VS	RBF
Beckenausführung 2-Stufe	[]	B-Recht	B-Recht	Erd	Erd	Erd	Erd	Erd
RBF bzw. VS	[m²]	2.250	380					116
VS	[m²]			780	550	540	81	4.390
über Kanal	[%]	100	100	100	32	40	100	50
offener Graben / Mulde	[%]	0	0	0	68	60	0	50
Asphalt	[%]	90	100	100	100	0	100	100
Beton	[%]	10	0	0	0	100	0	0
Dammlage	[%]	30	100	100	100	100	100	100
Einschnitt	[%]	70	0	0	0	0	0	0
Lärmschutzwand	[%]	0	100	0	0	0	0	0
Betonschutzwand	[%]	60	100	0	0	0	0	0
Walschneise	[%]	0	0	0	80	0	50	50
Beschleunigung	[%]	ja	ja	ja	ja	ja	nein	ja
DTV	[Kfz/d]	140.429	106.999	~10000	61.636	61.636	12.026	96.958
Unterlagen aus	[]	Monitoring		Beckenbuch A261-7,300-FRHH-030	Beckenbuch A7-21,700-FRH-020	Beckenbuch A7-39,200-FRHH-120	Unterlagen Schmitz	Bast_Bemessung Sed.-Räume / Beckenbuch
Ansprechpartner	[]	erliner Wasserbetriebe	Herr Lück	Herr Kasting	Herr Kasting	Herr Kasting	Herr Schmitz	Frau Kolks / Herr Dahmen
BauwerksNr.	[]			262.501.500	262.600.400	282.600.800	4.807.904	5.106.722
Nächst gelegener Ort	[]	Berlin	Berlin	21224 Rosengarten	Seevetal (Ramelsloh)	21272 Egestorf	Langenfeld	Kerpen

Abkürzungen

- ASB = Absetzbecken
- RBF = Retentionsbodenfilter
- VS = Versickerungsanlage
- Erd = Erdbecken
- B-Pfl = Betonpflaster gebösch
- B-Recht = Rechteckbecken Beton
- B-gebösch = Betonbecken gebösch

untersuchte Anlagen

ifs Nr	Einheit	111	17	116	117	118	113	42
Anlagenname (ifs)		Bliesheim	Wieblingen	Mühlhausen	Limburg-Süd	Limburg-West	Limburg-Nord	Mechnernich
Datum Bereisung	[-]	12.08.2020	13.08.2020	13.08.2020	29.03.2021	29.03.2021	29.03.2021	29.03.2021
Chronologie Bereisung	[-]	8	9	10	11	12	13	14
Anlagentyp	[-]	ASB, RBF	ASB, RBF	Mulden	ASB, RBF	ASB, RBF	ASB, RBF	ASB, RBF
Bundesland	[-]	NW	BW	BW	HE	HE	HE	NW
Straße	[-]	A553	A656	B39	A3	A3	A3	B477
Betriebszeit / Baujahr / Planfeststellung	[-]	2015	2010	2012	2018	2018	017 / Räumung 14.06.2019	vermutlich 2013
versiegelte Fläche: AE, b, a	[ha]	8,95	3,05	1,00	3,30	2,43	4,32	1,27
Fläche ohne Bankett/Mulde	[ha]	8,95	3,05	0,00	1,65	1,82	3,24	1,27
Dauerstautiefe	[m]	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Oberfläche Abscheideraum	[m²]	54,0	49,2	40,0	40,0	40,0	34,8	25,0
vorr. Dauerstauvolumen	[m³]	110,0	100,0	80,0	80,0	80,0	80,0	50,0
spez. Volumen	[m³/ha]	12	33	24	33	33	19	39
Beckenausführung 1-Stufe	[-]	B-Recht	B-Recht		B-Recht	B-Recht	B-Recht	B-Recht
2 Stufe (RBF, VS)	[-]	RBF	RBF, VS		RBF	RBF	RBF	RBF
Beckenausführung 2-Stufe	[-]	Erd	Erd		Erd	Erd	Erd	Erd
RBF bzw. VS	[m²]	1.600	350		321	275	425	156
VS	[m²]		1.735					
über Kanal	[%]	100	100	0	50	75	75	100
offener Graben / Mulde	[%]	0	0	100	50	25	25	0
Asphalt	[%]	100	100	100	100	100	100	100
Beton	[%]	0	0	0	0	0	0	0
Dammlage	[%]	80	100	0	100	100	100	100
Einschnitt	[%]	20	0	100	0	0	0	0
Lärmschutzwand	[%]	0	0	0	0	0	0	0
Betonschutzwand	[%]	0	0	0	0	0	0	0
Walsschneise	[%]	90	0	100	0	0	0	100
Beschleunigung	[%]	nein	nein	nein	ja	nein	ja	nein
DTV	[Kfz/d]	36.180	45.130	k.A.	106.302	106.302	106.302	6.503
Unterlagen aus	[-]	Beckenbuch	über Bioplan	über Bioplan	Hessen Mobil	Hessen Mobil	Bast_AFSFein Fracht	Bast_AFSFein Fracht
Ansprechpartner	[-]	Herr Schmitz		Herr Hein	Herr Hein /Herr Schmidt	Herr Hein /Herr Schmidt	Herr Hein	Kolks / Herr Dahmen
BauwerksNr.	[-]	5.207.621					(19858 - HessenID)	5405 613
Nächst gelegener Ort	[-]	Bliesheim	Heidelberg		Limburg	Limburg	Limburg an der Lahn	ch, Kreis Euskirchen

Abkürzungen

- ASB = Absetzbecken
- RBF = Retentionsbodenfilter
- VS = Versickerungsanlage
- Erd = Erdbecken
- B-Pfl = Betonsteinpflaster gebösch
- B-Recht = Rechteckbecken Beton
- B-gebösch = Betonbecken gebösch

untersuchte Anlagen

ifs Nr	Einheit	37	6	5	4	77	85
Anlagenname (ifs)		Erkelenz-Süd	Köln-Mülheim	Wermelskirchen	Schwerte-Ergste	Evendorf-Nord	Evendorf-West
Datum Bereisung	[-]	30.03.2021	30.03.2021	30.03.2021	31.03.2021	09.04.2021	09.04.2021
Chronologie Bereisung	[-]	15	16	17	18	19	20
Anlagentyp	[-]	ASB, VS	ASB, RBF, VS	ASB, RBF	ASB, RBF	ASB, VS	ASB, VS
Bundesland	[-]	NW	NW	NW	NW	NI	NI
Straße	[-]	A46 / B57	A3	A1	A45	A7	A7
Betriebszeit / Baujahr / Planfeststellung	[-]	1979	2010	2011	2016	1999	1999
versiegelte Fläche: AE, b, a	[ha]	3,42	9,42	5,55	10,95	2,00	3,30
Fläche ohne Bankett/Mulde	[ha]	3,42	1,88	5,55	10,84	0,91	1,40
Dauerstautiefe	[m]	1,9	2,5	2,2	2,0	1,3	0,7
Oberfläche Abscheideraum	[m²]	645,0	380,0	318,0	480,0	970,0	1.070,0
vorr. Dauerstauvolumen	[m³]	945,0	950,0	699,6	1.080,0	970,5	641,6
spez. Volumen	[m³/ha]	277	101	90	99	485	194
Beckenausführung 1-Stufe	[-]	B-gebösch	B-Recht	B-Recht	B-Recht	Erd	Erd
2 Stufe (RBF, VS)	[-]	VS	RBF, VS	RBF	RBF	VS	VS
Beckenausführung 2-Stufe	[-]	Erd	Erd	Erd	B-Recht	Erd	Erd
RBF bzw. VS	[m²]		1.640	1.400	957		
VS	[m²]	400	1.320			420	440
über Kanal	[%]	100	20	100	99	46	42
offener Graben / Mulde	[%]	0	80	0	1	54	58
Asphalt	[%]	100	100	100	100	0	0
Beton	[%]	0	0	0	0	100	100
Dammlage	[%]	100	40	100	100	100	100
Einschnitt	[%]	0	60	0	0	0	0
Lärmschutzwand	[%]	0	60	0	0	0	0
Betonschutzwand	[%]	0	40	100	0	0	0
Walsschneise	[%]	0	0	15	0	20	0
Beschleunigung	[%]	ja	ja	nein	ja	ja	nein
DTV	[Kfz/d]	30.969	174.024	81.999	89.598	61.636	61.636
Unterlagen aus	[-]	Bast_AFSFein Fracht	Bast_Bemessung Sed-Räume	Bast_Bemessung Sed-Räume	ifs Planung	Beckenbuch A7-43,100-FRH-140	Beckenbuch A7-44,000-FRH-150
Ansprechpartner	[-]	Kolks / Herr Dahmen	Frau Kolks / Herr Dahmen	Frau Kolks / Herr Dahmen	ilks / Herr Dahmen	Herr Kasting	Herr Kasting
BauwerksNr.	[-]	10.990	5.008.948	4.809.505		282.600.700	282.600.500
Nächst gelegener Ort	[-]	Erkelenz	Köln, Stadtteil Mülheim	irchen, OT Bollinghausen	Schwerte	21388 Soderstorf	21388 Soderstorf

Abkürzungen

- ASB = Absetzbecken
- RBF = Retentionsbodenfilter
- VS = Versickerungsanlage
- Erd = Erdbecken
- B-Pfl = Betonsteinpflaster gebösch
- B-Recht = Rechteckbecken Beton
- B-gebösch = Betonbecken gebösch

Anlage 3

Dokumentation und Auswertung Anlagenbereisung

ifs Nr.	ifs Nr.	Zeitraum_a	EZG_ha	Stufe	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m²]	LD ⁽¹⁾ [kg/dm³]	Filterflächenanteil [m²]	FM[kg]	TS ⁽¹⁾ [%]	T+U ⁽¹⁾ [%]	TS [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
1	1	0,25	22,8	SUMME Stufe 1	27	27	ASB	Mischprobe	4,1	1,08	151	4.414	19,7	92,1	868	800	142
	1	13	22,8	SUMME Stufe 2	0	0	RBF	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	2.250	381.181	0,0	0,0	317.292	23.726	80
	102	15	3,3	SUMME Stufe 2	0	0	RBF	Summe	0,0	0,00	380	385.966	0,0	0,0	318.160	24.526	222
	95	39	0,75	SUMME Stufe 2	0	0	VS	Summe	468,0	0,00	2.340	44.620	0,0	0,0	39.857	5.763	117
99	99	36	3,8	SUMME Stufe 1	0	0	VS	Summe	224,4	0,00	550	594.672	0,0	0,0	207.027	21.355	470
	98	21	3,3	SUMME Stufe 1	0	0	ASB	SUMME Stufe 1	0,0	0,00	750	284.407	0,0	0,0	85.904	39.131	107
	98	21	3,3	SUMME Stufe 2	0	0	VS	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	540	223.843	0,0	0,0	35.931	24.157	349
	98	21	3,3	SUMME gesamt	0	0	VS	SUMME Stufe 1 SUMME Stufe 2	271.724	0,00	1.290	47.861	0,0	0,0	121.835	30.288	437
108	108	39	1,1	SUMME Stufe 1	0	0	VS	Summe	36,5	2,55	81	65.743	161,1	68,1	52.259	18.432	417
	34	10	5,47	Stufe 1	11	56	osbecken	Tosbecken	14,3	1,10	75	15.675	29,7	69,3	4.659	3.229	59
	34	10	5,47	Stufe 1	12	57	ASB	ASB	22,7	1,10	160	24.992	30,3	92,5	7.576	7.008	128
	34	10	5,47	SUMME Stufe 2	0	0	RBF	Summe	0,0	0,00	116	12.988	0,0	0,0	10.741	2.264	41
34	34	10	5,47	SUMME Stufe 3	0	0	VS	Summe	43,9	-0,01	4.390	48.281	-3,3	3,1	27.885	18.347	335
	34	10	5,47	SUMME gesamt	13	60	ASB	Sediment aus ASB	1,1	1,10	54	101.935	24,7	81,8	50.861	30.847	564
	111	5	8,95	Stufe 1	0	0	RBF	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	800	1.188	0,0	0,0	209.120	24.741	563
	111	5	8,95	SUMME gesamt	0	0	RBF	SUMME Stufe 1 SUMME Stufe 2	1,1	0,00	854	103.123	24,7	81,8	51.045	31.588	567
17	17	10	3,05	Stufe 1	0	0	ASB	Sediment aus ASB	1,0	0,00	49	0	0,0	0,0	0	0	0
	17	10	3,05	SUMME Stufe 2	0	0	RBF	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	350	280.028	0,0	0,0	34.417	1.930	63
	17	10	3,05	SUMME Stufe 3	0	0	VS	SUMME Stufe 3	0,0	0,00	1.735	0	0,0	0,0	209.863	0	0
	17	10	3,05	SUMME gesamt	0	0	VS	SUMME Stufe 1 SUMME Stufe 2 SUMME Stufe 3	0,0	0,00	2.484	280.028	0,0	0,0	244.280	1.930	63
116	116	9	0,0008	SUMME Stufe 1	0	0	Mulde	Stufe 1	0,0	0,00	0	0	0,0	0,0	22	3	383
	117	2	3,3	Stufe 1	1	98	ASB	Sediment aus ASB	2,0	1,12	40	2.240	38,7	63,2	868	548	83
	117	2	3,3	SUMME Stufe 2	0	0	RBF	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	321	41.106	0,0	0,0	36.939	1.557	236
	117	2	3,3	SUMME gesamt	0	0	RBF	SUMME Stufe 1 SUMME Stufe 2	0,0	0,00	441	43.346	0,0	0,0	37.807	2.105	319
118	118	2	2,43	Stufe 1	2	99	ASB	Sediment aus ASB	1,6	1,22	40	1.952	49,6	27,0	968	261	54
	118	2	2,43	SUMME Stufe 2	0	0	RBF	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	275	32.960	0,0	0,0	27.769	3.003	618
	118	2	2,43	SUMME gesamt	0	0	RBF	SUMME Stufe 1 SUMME Stufe 2	0,0	0,00	415	34.912	0,0	0,0	28.737	3.265	672
	13	1,8	4,321	Stufe 1	3	100	ASB	Sediment aus ASB	3,1	1,14	35	3.533	29,8	73,1	1.053	770	99
13	13	1,8	4,321	SUMME Stufe 2	0	0	RBF	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	425	55.764	0,0	0,0	47.118	7.175	415
	13	1,8	4,321	SUMME gesamt	0	0	RBF	SUMME Stufe 1 SUMME Stufe 2	0,0	0,00	460	59.297	0,0	0,0	48.171	7.945	515
	42	8	1,272	Stufe 1	4	101	ASB	Sediment aus ASB	7,8	1,07	25	8.382	32,8	75,3	2.748	2.070	203
	42	8	1,272	SUMME Stufe 2	0	0	RBF	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	156	23.027	0,0	0,0	18.697	3.002	295
42	42	8	1,272	SUMME gesamt	0	0	RBF	SUMME Stufe 1 SUMME Stufe 2	0,0	0,00	181	31.409	0,0	0,0	21.445	5.071	488
	37	4	3,415	Stufe 1	0	105	ASB	kein Sediment	12,9	1,15	645	14.835	32,4	79,3	4.812	3.816	270
	37	4	3,415	SUMME Stufe 2	0	0	VS	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	400	60.000	0,0	0,0	30.270	1.159	85
	37	4	3,415	SUMME gesamt	0	0	VS	SUMME Stufe 1 SUMME Stufe 2	0,0	0,00	1.045	74.835	0,0	0,0	35.082	4.975	364
6	6	3	9,42	Stufe 1	1	102	ASB	Sediment aus ASB	15,2	1,00	380	15.200	10,8	51,1	1.642	839	30
	6	3	9,42	SUMME Stufe 2	0	0	RBF	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	1.640	251.910	0,0	0,0	232.429	1.467	14
	6	3	9,42	SUMME gesamt	0	0	RBF	SUMME Stufe 1 SUMME Stufe 2	0,0	0,00	2.020	267.110	0,0	0,0	234.071	2.306	44
	5	10	5,545	Stufe 1	2	103	ASB	Sediment aus ASB	143,6	1,10	318	157.669	35,0	85,8	55.228	47.386	855
5	5	10	5,545	SUMME Stufe 2	0	0	RBF	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	1.400	179.572	0,0	0,0	141.835	17.721	320
	5	10	5,545	SUMME gesamt	0	0	RBF	SUMME Stufe 1 SUMME Stufe 2	0,0	0,00	337.242	337.242	0,0	0,0	197.063	65.107	1.174
	4	5	10,95	Stufe 1	1	104	ASB	Sediment aus ASB	80,1	1,20	480	96.069	25,5	85,1	24.538	20.881	381
	4	5	10,95	SUMME Stufe 2	0	0	RBF	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	957	152.895	0,0	0,0	141.946	10.293	188
77	77	21	2	Stufe 1	1	106	ASB	Sediment aus ASB	113,2	1,05	970	118.825	20,3	72,4	24.156	17.489	416
	77	21	2	SUMME Stufe 2	0	0	VS	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	420	61.211	0,0	0,0	51.016	1.429	34
	77	21	2	SUMME gesamt	0	0	ASB	SUMME Stufe 1 SUMME Stufe 2	0,0	0,00	1.390	180.036	0,0	0,0	75.173	18.919	450
	85	22	3,3	Stufe 1	2	107	ASB	Sediment aus ASB	117,5	1,08	1.070	126.923	17,7	89,0	22.427	19.960	275
85	85	22	3,3	SUMME Stufe 2	0	0	VS	SUMME Stufe 2	0,0	0,00	440	57.820	0,0	0,0	50.597	2.997	41
	85	22	3,3	SUMME gesamt	0	0	VS	SUMME Stufe 1 SUMME Stufe 2	0,0	0,00	1.510	184.744	0,0	0,0	73.023	22.956	316

RBF Halensee	ifs-Nr. 1	Datum: 12.05.2020	Messtrupp: Lambert, Rüter
Kenndaten			
A _{E,3a} 22,8	ha	12.04.2021	

Stufe	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]	
Stufe 1	ASB	0,25	151	12.02.2020
Stufe 2	RBF	13	2250	
Stufe 1	ASB	0,23	151	18.01.2021

Probenahme

Stufe	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ³]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Filterflächenanteil [m ²]	FM [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha _{ha}]
SUMME Stufe 1	27	27	ASB	Mischprobe	4,074	1,084	151	4.414	19,67	92,1	868	800	142,2
Stufe 1	2	97	ASB	ohne Dauerstau, Vergleich	5,324	1,08	151	5.750	18,77	42,8	1.079	462	88,0
Stufe 1	1	96	ASB	mit Dauerstau, Vergleich	4,153	1,02	151	4.236	16,92	93,3	717	669	127,4
Stufe 2	1a	8	RBF 1	zulaufnah, Schiff		0,95	281,3	46.235	81,8	13,9	37.807	5.273	17,8
Stufe 2	1b	9	RBF 1	zulaufnah, Brant		1,30	281,3	51.248	85,8	9,5	43.853	4.158	14,0
Stufe 2	2	10	RBF 1	zulauffern, Brant		1,15	562,5	67.354	93,9	3,4	63.246	2.120	7,2
Stufe 2	3	11	RBF 2	zulaufnah, Brant		1,03	562,5	131.462	75,1	9,5	98.710	9.419	31,8
Stufe 2	4	12	RBF 2	zulauffern, Brant		1,46	562,5	84.883	86,8	3,7	73.676	2.755	9,3
SUMME Stufe 2			RBF	Summe Stufe 2			2.250	381.181			317.292	23.726	80,0

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben
²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

T+U verringert um Ausgangsgehalt von 4 %

Stufe 1

Maßkette [m]	5				5				Mittelwert [cm]	FM [m ³]	
	Zulauf				Zulauf						
Profil 1	1,70	3,5	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,56	0,436
	2,70	2,0	3,0	4,0	1,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,69	0,726
	2,70	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0	2,69	0,726
	2,70	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,75	0,743
	2,70	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,75	0,743
	2,60	Pumpensumpf 2,8				Pumpensumpf 2,6				2,700	0,702
		Ablauf									
										SUMME FM [m ³]:	4,074

Stufe 1 12.04.2021 Testmessung mit und ohne Dauerstau

Messung ohne Dauerstau

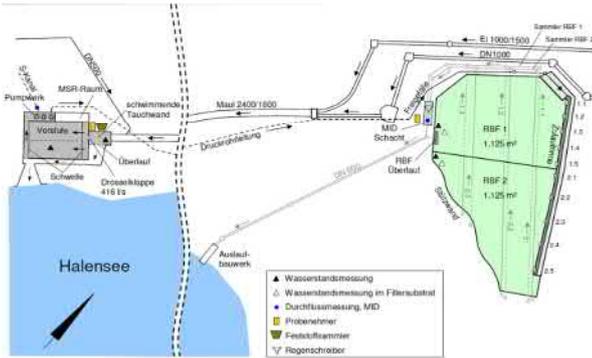
Maßkette [m]	5				5				Mittelwert [cm]	FM [m ³]	
	Zulauf				Zulauf						
Profil 1	1,70	9,0	9,0	10,0	9,0	6,0	9,0	10,0	10,0	9,00	1,530
	2,70	3,0	4,0	8,0	3,0	3,0	8,0	6,0	6,0	5,13	1,384
	2,70	2,0	2,0	3,5	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,31	0,624
	2,70	2,0	2,0	3,5	2,0	1,0	4,0	2,0	3,0	2,44	0,658
	2,70	1,0	2,0	8,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,25	0,608
	2,60	Pumpensumpf 2				Pumpensumpf 2				2,00	0,520
		Ablauf									
										SUMME FM [m ³]:	5,324

Messung im Dauerstau über Teleskopstange

	Sedimenthöhe	Fläche	
Zulauf	4	75,5	3,020
Ablauf	1,5	75,5	1,133
			SUMME FM [m ³]: 4,153

Stufe 2

Proben Nr.	Messpunkte (innen / außen)					Stechfläche ∅ 15 cm [m ²]	Stechvolumen [dm ³]	Gewicht Eimer	Gewicht mit Eimer	Waage [kg]	Gewicht Probe	Lagerungsdichte [kg/dm ³]
	1	2	3	4	5							
1b	35,0	37,0	32,5	35,5		0,071	12,19					
	19,0	18,0	17,0	17,0								
	16,0	19,0	15,5	16,5								
1a	31,0	34,5				0,035	4,95					
	17,0	20,5										
	14,0	14,0										
2	33,0	36,5	33,5	38,0	38,0	0,088	9,19	0,64	11,22			
	23,5	30,0	27,5	20,0	26,0							
	9,5	6,5	6,0	16,0	12,0							
3	37,0	34,0	36,5	39,0		0,071	15,99	0,74	17,26			
	16,0	15,0	14,0	11,0								
	21,0	19,0	22,5	28,0								
4	38,5	34,0	32,0			0,053	5,48	0,64	8,64			
	34,0	19,5	20,0									
	4,5	14,5	12,0									



Kenndaten

A_{E,0,a} 3,28 ha

	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	ASB	15	84
Stufe 2	RBF	15	380
Stufe 3	-		

Probenahme

Sediment	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ³]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Filterflächenanteil [m ²]	FM[kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1	kein Sediment	keine Probe	ASB	keine Probe							0	0	0,0
Stufe 2	1	25	RBF 1	Stechzylinder 20cm		1,20	190,0	12.848	87,7	20,7	11.267	2.332	47,4
Stufe 2	2	26	RBF 2	Stechzylinder 20cm		1,35	190,0	31.772	90,0	12,0	28.590	3.431	69,7
SUMME Stufe 2			RBF	Summe			380	44.620			39.857	5.763	117,1

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

Stufe 1

Stufe 2

Proben Nr.	Messpunkte (innen / außen)					Stechfläche ∅ 15 cm [m ²]	Stech- volumen [dm ³]	Waage			Lagerungs- dichte [kg/dm ³]
	1	2	3 [cm]	4	5			Gewicht Eimer	Gewicht mit Eimer [kg]	Gewicht Probe	
1	29,0	27,0	32,0	30,5							
	21,0	23,0	25,0	27,0							
	8,0	4,0	7,0	3,5		0,071	4,0	0,64	5,42	4,78	1,20
2	36,0	37,0	32,5	32,5							
	25,0	23,0	20,0	20,5							
	11,0	14,0	12,5	12,0		0,071	8,7	0,74	12,56	11,82	1,35



Beckenbereisung

FE 05.0193/2016/GRB „Wirkung von Behandlungsanlagen der Straßenentwässerung im Hinblick auf AFS63“

Messstelle:	Buchholzer Dreieck	ifs_lfd.Nr. 70	Datum:	15.07.2020	Messtrupp:	Lambert, Rüter
-------------	--------------------	----------------	--------	------------	------------	----------------

Flächenbeprobung Versickerungsbecken

Proben Nr.	Bemerkung
1	Einstauwasser Vorstufe
-	Sediment konnte nicht eindeutig bestimmt werden, da Absetzanlage zu stark bewachsen
	keine Beprobung



Übersicht



Ablaufbauwerk Absetzanlage



Versickerungsbecken



Absetzanlage



Kenndaten

$A_{E,b,a}$ 0,75 ha

Stufe	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	VS	39	780
Zulauf	Zulaufkanal	39	5
	-		

abgeschätzt

Probenahme

	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ³]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Flächen-anteil [m ²]	FM [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Zulaufkanal	-	28	Zulaufkanal	Sonderprobe			5		44,68	58,60	0	0	0,0
Stufe 1	2	29	VS	Profilgrube 0-10 cm	78	1,20	780	93.600	91,3	9,4	85.476	8.035	275
Stufe 1	3	30	VS	Profilgrube 10-30 cm	156	1,28	780	199.212	95,5	5,0	190.280	9.514	325
Stufe 1	4	31	VS	Profilgrube 30-60cm, (Ausgang)	234	1,29	780	301.860	97,0	1,3	292.804	3.806	130
SUMME Stufe 2			VS	Summe	468		2.340	594.672			568.560	21.355	470

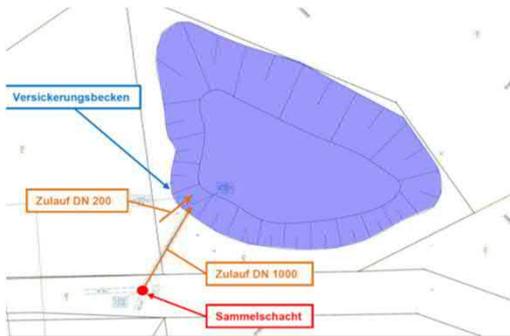
¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

T+U verringert um Ausgangsgehalt

Stufe 1

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche \varnothing 5,8 cm [m ²]	Stech-volumen [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungs-dichte [kg/dm ³]	FM [kg]
2	0-10 cm						
	10,00						
3	10-30 cm						
	20,00						
4	30-60 cm						
	30,00						
SUMME Stufe 1							



Seevetal	ifs-Nr. 99	Datum: 14.07.2020	Messtrupp: Lambert, Rüter
----------	------------	-------------------	---------------------------

Kenndaten

AE,b,a 3,8 ha AE,k,b 1,23 ha

	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m²]
Stufe 1	VS	36	550
Stufe 2	-		
Stufe 3	-		

Probenahme

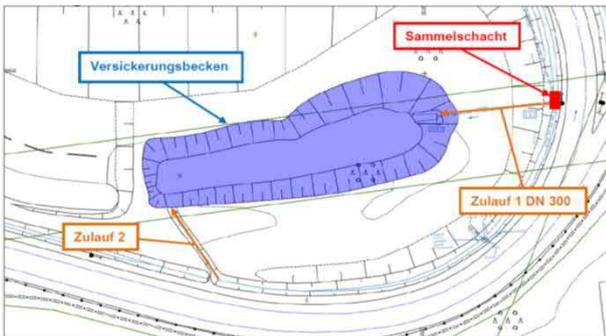
	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m³]	LD ²⁾ [kg/dm³]	Flächen-anteil [m²]	FM [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
-	-										0	0	0,0
Stufe 1	6	33	VS	Stecher, Sed Höhe 23cm	42,2	1,20	183,3	50.391	68,5	22,1	34.520	7.629	56
Stufe 1	7	34	VS	Stecher, Sed Höhe 9 cm	16,5	1,24	183,3	20.503	80,0	17,7	16.411	2.905	21
Stufe 1	8	35	VS	Stecher, Sed Höhe 13 cm	23,8	1,28	183,3	30.462	81,3	16,3	24.759	4.036	30
Stufe 1	9	36	VS	0-10 Profigrube Sed.	71,0	1,29	550	91.526	69,1	15,9	63.210	10.050	73
Stufe 1	10	37	VS	10-20 Profigrube Sed.	71,0	1,29	550	91.526	74,4	21,3	68.127	14.511	106
Stufe 1	11	38	VS	0-10 Profigrube Sand			550		91,2	1,7			
Stufe 1	12	39	VS	10-30 Profigrube Sand			550		87,6	2,3			
Stufe 1	13	40	VS	30-60 Profigrube Sand			550		94,0	1,1			
SUMME Stufe 1			VS	Summe	224		550	284.407			207.027	39.131	107

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

Stufe 1

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche ∅ 5,8 cm [m²]	Stech-volumen ∅ 5,8 cm [dm³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungs-dichte [kg/dm³]	FM [kg]
6	23,00						
	23,00						
	23,00	6,0	0,016	1,59	1894,4	1,20	50.391
7	10,00						
	8,00						
	9,00	6,0	0,016	1,59	1969,9	1,24	20.503
8	11,00						
	15,00						
	13,00	6,0	0,016	1,59	2026,1	1,28	30.462
Profigrube							
9	10,00		550		1240,8	1,29	71
Profigrube							
10	10,00		550		907,1	1,29	71



Kenndaten

A_{C,ba} 1,42 ha

Stufe	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	VS	39	2150
Stufe 2	-		
Stufe 3	-		

keine weitergehende Auswertung!

Probenahme

Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ²]	LD ²⁾ [kg/dm ²]	Flächen-anteil [m ²]	FM [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
-	5	32	Zulaufkanal	vermutlich Schluff von Ackerflächen						0	0	0,0
SUMME Stufe 1												

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte



Egestorf	ifs-Nr. 98	Datum: 15.07.2020	Messtrupp: Lambert, Rüter
----------	------------	-------------------	---------------------------

Kenndaten

A_{E,D,B} 3,3 ha AE,k,b 1,3 ha

	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	ASB	21	750
Stufe 2	VS	21	540
Stufe 3			

Probenahme

	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ²]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Flächen-anteil [m ²]	FM [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1	14	41	ASB	Zulaufbereich	129	1,30	375	167.143	40,8	28,7	68.124	19.551	282
Stufe 1	15	42	ASB	Ablaufbereich	68	0,84	375	56.700	31,4	25,9	17.781	4.605	66
SUMME Stufe 1			ASB	Summe Stufe 1	0		750	223.843			85.904	24.157	349
Stufe 2	16	43	VS	Steher		1,23	180	19.553	81,3	16,3	15.892	2.590	37,4
Stufe 2	17	44	VS	Steher		1,48	180	19.501	69,1	15,9	13.468	2.141	30,9
Stufe 2	18	45	VS	Steher		1,49	180	8.827	74,4	21,3	6.571	1.400	20,2
SUMME Stufe 2			VS	Summe Stufe 2	0		540	47.881			35.931	6.131	88

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

Stufe 1

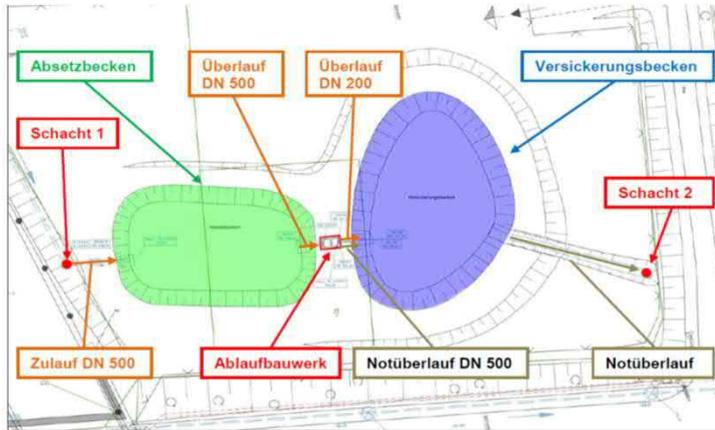
Maßkette [m]	Wsp.- Sediment [cm]	Wsp.-Sohle [cm]	Sedimentdicke [cm]	Fläche [m ²]	FM [m ²]	Proben Nr.	Bohrstock Anzahl Stiche
4,00	0,0	60,0	60,0	107	64		
6,00	25,0	35,0	10,0	107	11		
10,00	20,0	40,0	20,0	107	21		
14,00	15,0	45,0	30,0	107	32	14	6
18,00	15,0	45,0	30,0	107	32		
22,00	0,0	16,0	16,0	107	17		
26,00	0	17	17,0	107	18	15	6

Bohrstock Ablaufbereich

- 1 Stich = 8cm
- 2 Stich = 7cm
- 3 Stich = 9cm
- 4 Stich = 10cm
- 5 Stich = 10cm
- 6 Stich = 9cm

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche Ø 5,8 cm [m ²]	Stech-volumen Ø 5,8 cm [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungsdichte [kg/dm ³]	FM [kg]
16	8,80	6,0	0,016	1,59	1956,82	1,23	19.553
17	7,30	6,0	0,016	1,59	2352,64	1,48	19.501
18	3,30	6,0	0,016	1,59	2355,84	1,49	8.827
SUMME							



Kenndaten

A_{E,S,a} 1,13 ha

Stufe	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	VS	39	81
Stufe 2	-		
Stufe 3	-		

Probenahme

Probenahme	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ³]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Filterflächenanteil [m ²]	FM [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
-	-										0	0	0,0
Stufe 1	1	46	VS	zulaufnah 0-10, Sedimentdicke 46 cm	19	1,47	41	27.411	87,1	19,9	23.875	4.751	108
Stufe 1	2	47	VS	zulauffern, Grube 0-10, Sedimentdicke 44 cm	18	1,08	41	38.331	74,0	48,2	28.384	13.681	310
Grube													
Stufe 1	3	48	VS	zulauffern, Grube Sed., 10-30 cm	16	1,08	81	17.423	89,2	56,0	15.541	8.703	197
Stufe 1	4	49	VS	zulauffern, Grube Sed., 30-46 cm	13	1,08	81	13.939	76,9	60,3	10.717	6.462	146
Stufe 1	5	50	VS	zulauffern, Grube Ausgang, 46-60 cm					85,6	44,7			
Stufe 1	6	51	VS	zulauffern, Grube Ausgang, 60-80 cm					87,3	30,2			
SUMME Stufe 1			VS	Summe	36	3	81	65.743	161	68	52.259	18.432	417

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

Stufe 1

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche Ø 5,8 cm [m ²]	Stech-volumen Ø 5,8 cm [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungsdichte [kg/dm ³]	FM
	0-10 cm						0-10 cm
1	46,00	6,0	0,016	1,59	2332,5	1,47	27.411
2	44,00	6,0	0,016	1,59	1705,0	1,08	38.331
3	20,00						
4	16,00						
5	14,00						
6	20,00						
SUMME Stufe 1							



Übersicht



Profilgrube

Kerpen	ifs-Nr. 34	Datum: 11.08.2020	Messtrupp: Lambert, Rüter
--------	------------	-------------------	---------------------------

Kenndaten

A_{E,b,a} 5,47 ha

	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	Tosbecken + ASB	10	75/160
Stufe 2	RBF	10	115,5
Stufe 3	VS	10	4390

Probenahme

	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ²]	LD ²⁾ [kg/dm ²]	Flächen-anteil [m ²]	FM ges [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1	11	56	Tosbecken	Tosbecken	14,250	1,1	75,0	15.675	29,7	69,3	4.659	3.229	59
Stufe 1	12	57	ASB	ASB	22.720	1,1	160,0	24.992	30,3	92,5	7.576	7.008	128
Stufe 2	13	58	RBF	zulaufnah RBF		1,27	58	7.353	74,1	26,4	5.447	1.438	26
Stufe 2	14	59	RBF	zulauffern RBF		1,22	58	5.635	93,9	15,6	5.294	826	15
SUMME Stufe 2			RBF	Summe	0		116	12.988			10.741	2.264	41
Stufe 3	7	52	VS	Stechzylinder, Zulauf VS, 17 m breiter Zulaufbereich		1,24	4390	542.414	81,4	4,6	441.409	20.104	368
Grube													
Stufe 3	8	53	VS	Profil 0-10 VS	439,000	1,23	4390	541.723	91,4	14,6	495.267	72.309	1.322
Stufe 3	9	54	VS	Profil 16-25 VS	395,100	1,25	4390	493.442	94,7	11,5	467.382	53.962	987
Stufe 3	10	55	VS	Profil 40-50 VS	439,000	1,27	4390	556.031	96,8	4,7	538.288	25.192	461
SUMME Stufe 3			VS	Summe	44	0	0	48.281	-3	3	27.885	18.347	335

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

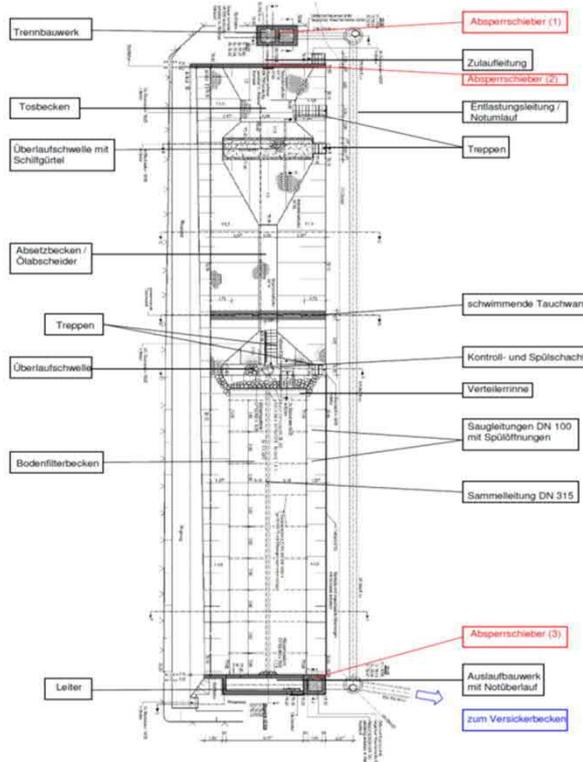
T+U verringert um Ausgangsgehalt

Stufe 1

Maßkette [m]	Wsp.- Sediment [m]	Wsp.- Sohle [m]	Sedimentdicke [m]	Fläche [m ²]	FM [m ²]
Tosbecken					
2m von mitte	0,48	0,7	0,22	15,0	3,30
1m von mittig	0,78	0,81	0,03	15,0	0,45
mittig	0	0	0,00	15,0	0,00
1m von mittig	1	1,3	0,30	15,0	4,50
2m von mitte	0,6	1	0,40	15,0	6,00
ASB					
21,5	1,85	2,05	0,20	32,0	6,40
19	1,85	1,99	0,14	32,0	4,48
16,5	1,75	1,87	0,12	32,0	3,84
14	1,7	1,7	0,00	32,0	0,00
23	1,75	2	0,25	32,0	8,00

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche Ø 5,8 cm [m ²]	Stech-volumen Ø 5,8 cm [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungs-dichte [kg/dm ³]	FM [kg]
13	10,00	6	0,016	1,59	2018,5	1,27	7.353
14	8,00	6	0,016	1,27	1546,7	1,22	5.635
7	10,00	6	0,016	1,27		1,24	542.414
SUMME Stufe 1							



Kenndaten

A_{E,b,a} 8,95 ha

	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	ASB	5	54
Stufe 2	RBF 1	5	800
Stufe 2	RBF 2	5	800

Probenahme

	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ³]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Flächen-anteil [m ²]	FM ges [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1	13	60	ASB	Sediment aus ASB	1,080	1,10	54,0	1.188	24,7	81,8	293	240	5
Stufe 2	14	61	RBF 1	Stecher, Sed. Höhe 10 cm		1,37	800,0	109.599	88,1	13,5	96.541	13.033	291
Stufe 2	15	62	RBF 2	Stecher, Sed. Höhe 10 cm		1,60	800,0	127.923	88,0	10,4	112.579	11.708	262
Stufe 2			RBF	SUMME Stufe 2			800				209.120	24.741	553

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

Stufe 1

Maßkette [m]	Wsp.-Sediment [m]	Wsp.-Sohle [m]	Sedimentdicke [m]	Fläche [m ²]	FM [m ³]
1	2,15	2,3	0,15	5,40	0,81
2	2,1	2,13	0,03	5,40	0,162
3	2,1	2,11	0,01	5,40	0,054
4	2,1	2,1	0	5,40	0
5	2,1	2,1	0	5,40	0
1	2,18	2,18	0	5,40	0
2	2,18	2,18	0,01	5,40	0,054
3	2,1	2,1	0	5,40	0
4	2,1	2,1	0	5,40	0
5	2,01	2,01	0	5,40	0

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche Ø 5,8 cm [m ²]	Stech-volumen Ø 5,8 cm [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungs-dichte [kg/dm ³]	FM [kg]
1	10,00	6,0	0,016	1,59	2171,8	1,37	109.599
2	10,00	6,0	0,016	1,59	2534,9	1,60	127.923
SUMME Stufe 1							



Übersicht Absetzanlage

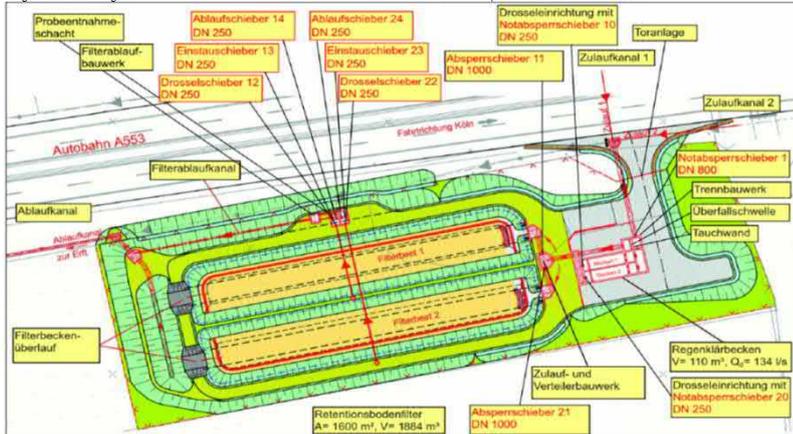


Übersicht RBF



eingestaute Absetzanlage

Dränablauf, nach Öffnen des Ablaufschiebers



RBF Wieblingen (Ra	ifs-Nr.	17	Datum:	13.08.2020	Messtrupp:	Lambert, Rüter
--------------------	---------	----	--------	------------	------------	----------------

Kenndaten

A_{E,b,a} 3,05 ha

	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m²]
Stufe 1	ASB	10	49,2
Stufe 2	RBF	10	350
Stufe 3	VS	10	1735

Probenahme

	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m³]	LD ²⁾ [kg/dm³]	Flächen-anteil [m²]	FM ges [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1		keine Probe	ASB	Sediment aus ASB	0,984		49,2	0			0	0	0
Stufe 2	16	63	RBF	Stecher, zulaufnah, 10cm tief, 1,5cm Sed.		1,50	175	30.188	23,8	4,5	7.185	323	11
Stufe 2	17	64	RBF	Stecher, zulauffern		1,50	175	249.840	10,9	5,9	27.233	1.607	53
SUMME Stufe 2			RBF	SUMME Stufe 2			350	280.028			34.417	1.930	63
Stufe 3	18	65	VS	Stecher, zulaufnah		1,50	694	104.100	84,6	83,8	88.044	73.781	
Stufe 3	19	66	VS	Stecher, Zulauf Überlauf, 8 cm tief		1,50	347	41.640	84,1	78,7	35.034	27.572	
Stufe 3	20	67	VS	Stecher, zulauffern		1,50	694	104.100	83,4	86,0	86.785	74.635	
SUMME Stufe 3			VS	SUMME Stufe 3			1.735				209.863		0

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

Stufe 1

Maßkette [m]	Wsp.- Sediment [m]	Wsp.- Sohle [m]	Sedimentdicke [m]	Fläche [m²]	FM [m³]
1	2,15	2,3	0,15	4,920	0,738
2	2,1	2,13	0,03	4,920	0,1476
3	2,1	2,11	0,01	4,920	0,0492
4	2,1	2,1	0	4,920	0
5	2,1	2,1	0	4,920	0
1	2,18	2,18	0	4,920	0
2	2,18	2,19	0,01	4,920	0,0492
3	2,1	2,1	0	4,920	0
4	2,1	2,1	0	4,920	0
5	2,01	2,01	0	4,920	0

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche Ø 5,8 cm [m²]	Stech-volumen Ø 5,8 cm [dm³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungs-dichte [kg/dm³]	über Stechfläche FM [kg]
16	1,50	6	0,016	1,59		1,50	3.938
17	10,00	6	0,016	1,59		1,50	26.250
18	10,00	6	0,016	1,59		1,50	104.100
19	8,00	6	0,016	1,27		1,50	41.640
20	10,00	6	0,016	1,59		1,50	104.100



Übersicht Absetzanlage



Absetzanlage, Zulauf RBF mit Überlauf VS



RBF



RBF Zulauf



Zulauf Versickerungsbecken



Versickerungsbecken

Kenndaten

A_{E,b,a} 0,0008 ha

Stufe	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	Mulde	9	8
Stufe 2	ASB		
Stufe 3	VS		

Straßenbreite 8 m

Probenahme

Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [kg]	LD ²⁾ [kg/dm ²]	Flächen-anteil [m ²]	FM ges [kg/m]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1 21	68	Mulde	FR-Heidelber, 0-20 cm, 2 cm Sed	6,0	1,5	1	6,0	100,0	12,6	6,0	0,756	105
Stufe 1 22	69	Mulde	FR-Heidelber, 20-50 cm, 1 cm Sed	4,5	1,5	1	4,5	100,0	14,0	4,5	0,630	88
Stufe 1 23	70	Mulde	FR-Heidelber, 50-100 cm, 0 cm Sed	0,0	1,5	1	0,0	100,0		0,0	0,000	0
Stufe 1 24	71	Mulde	FR Sinsheim, 0-20 cm, 1,5 cm Sed	4,5	1,5	1	4,5	100,0	12,9	4,5	0,581	81
Stufe 1 25	72	Mulde	FR Sinsheim, 20-50 cm, 1,5 cm Sed	6,8	1,5	1	6,8	100,0	11,7	6,8	0,790	110
Stufe 1 26	73	Mulde	FR Sinsheim, 50-100 cm, 0 cm Sed	0,0	1,5	1	0	100,0		0	0	0
SUMME Stufe 1		Mulde	Stufe 1							22	3	383

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

Stufe 1

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Fläche [m ²]	Volumen FM [m ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungsdichte [kg/dm ²]	FM [kg/m]
21	2,00		0,200	0,0040		1,50	6,0
22	1,00		0,300	0,0030		1,50	4,5
23	0,00		0,500	0,0000		1,50	0,0
24	1,50		0,200	0,0030		1,50	4,5
25	1,50		0,300	0,0045		1,50	6,8
26	0,00		0,500	0,0000		1,50	0,0



Kenndaten

A_{E,b,a} 3,3 ha

	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	ASB	2	40
Stufe 2	RBF	2	321
Stufe 3	-		

Probenahme

Proben Nr.	vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ³]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Flächen-anteil [m ²]	FM ges [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1	1	98	ASB	Sediment aus ASB	2.000	1,12	40,0	2.240	38,7	63,2	868	548	83
Stufe 2	1	108	RBF 1	Stecher, zulaufnah		1,25	80,3	10.023	87,0	9,6	8.721	837	127
Stufe 2	2	109	RBF 1	Stecher, zulauffern		1,31	80,3	10.530	89,8	5,9	9.452	558	84
Stufe 2	3	110	RBF 1	Stecher, Rinnennah		1,32	80,3	10.631	91,4	1,2	9.722	117	18
Stufe 2	4	111	RBF 1	Stecher, zulauffern		1,24	80,3	9.922	91,2	0,5	9.045	45	7
Stufe 2	5	112	RBF 1	zulaufnah, 10-20cm	32,1		321			12,3			
Stufe 2	6	113	RBF 1	zulaufnah, 20-30cm	32,1		321			10,1			
SUMME Stufe 2			RBF	SUMME Stufe 2	0		321	41.106			36.939	1.557	236

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

T+U verringert um Ausgangsgehalt

Stufe 1

Maßkette [m]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Fläche [m ²]	FM [m ³]
10	10	10	10	6,7	0,67
5	-	-	7	6,7	0,40
3	-	-	5	6,7	0,27
3	-	-	5	6,7	0,27
0	7	7	5	6,7	0,27
1	0	0	5	6,7	0,13

17,2
56%
34%
7%
3%

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche Ø 5,8 cm [m ²]	Stech-volumen Ø 5,8 cm [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungs-dichte [kg/dm ³]	FM [kg]
1	10,00	6,0	0,016	1,59	1980,0	1,25	10.023
2	10,00	6,0	0,016	1,59	2080,0	1,31	10.530
3	10,00	6,0	0,016	1,59	2100,0	1,32	10.631
4	10,00	6,0	0,016	1,59	1960,0	1,24	9.922



Limburg West	ifs-Nr. 118	Datum: 29.03.2021	Messtrupp: Lambert, Rüter
--------------	-------------	-------------------	---------------------------

Kenndaten

$A_{E,b,a}$ 2,43 ha

Stufe	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	ASB	2	40
Stufe 2	RBF	2	275
Stufe 3	-		

Probenahme

Stufe	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ²]	LD ²⁾ [kg/dm ²]	Flächenanteil [m ²]	FM ges [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1	2	99	ASB	Sediment aus ASB	1,600	1,22	40,0	1.952	49,6	27,0	968	261	54
Stufe 2	7	114	RBF 1	Stecher		1,27	137,5	17.521	80,8	14,2	14.149	2.009	413
Stufe 2	8	115	RBF 1	Stecher		1,12	137,5	15.439	88,2	7,3	13.619	994	205
SUMME Stufe 2			RBF	SUMME Stufe 2	0		275	32.960			27.769	3.003	618

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

T+U verringert um Ausgangsgehalt

Stufe 1

Maßkette [m]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Fläche [m ²]	FM [m ²]
10	10		7	6,7	0,60
5			4	6,7	0,30
4			4	6,7	0,27
2			3	6,7	0,17
2			2	6,7	0,13
2	2	2	2	6,7	0,13

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche \varnothing 5,8 cm [m ²]	Stech-volumen \varnothing 5,8 cm [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungsdichte [kg/dm ³]	FM [kg]
7	10,00	6,0	0,016	1,59	2020,0	1,27	17.521
8	10,00	6,0	0,016	1,59	1780,0	1,12	15.439



Kenndaten

A_{CE,ba} 4,321 ha

Stufe	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	ASB	1,8	34,8
Stufe 2	RBF	4,0	425
Stufe 3	-		

letzte Räumung ASB
14.06.2019

Probenahme

Stufe	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ³]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Flächen-anteil [m ²]	FM ges [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1	3	100	ASB	Sediment aus ASB	3,10	1,14	34,8	3.533	29,8	73,1	1.053	770	99
Stufe 2	9	116	RBF 1	Stecher, 4 cm Sed.		1,30	212,5	27.614	82,1	18,6	22.673	4.217	244
Stufe 2	10	117	RBF 1	Stecher, 3cm Sed.		1,32	212,5	28.150	86,8	12,1	24.445	2.958	171
SUMME Stufe 2			RBF	SUMME Stufe 2	0		425	55.764			47.118	7.175	415

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

T+U verringert um Ausgangsgehalt

Stufe 1

Maßkette [m]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Fläche [m ²]	FM [m ³]
Ablauf	3	3	2	5,0	0,13
	3		4	5,0	0,17
	4		4	5,0	0,20
	6		5	5,0	0,27
	9		8	5,0	0,42
	10		11	5,0	0,52
Zulauf	23	30	30	5,0	1,38

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche Ø 5,8 cm [m ²]	Stech-volumen Ø 5,8 cm [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungsdichte [kg/dm ³]	FM [kg]
9	10,00	6,0	0,016	1,59	2060,0	1,30	27.614
10	10,00	6,0	0,016	1,59	2100,0	1,32	28.150



Kenndaten

$A_{E,b,a}$ 1,272 ha

	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	ASB	8,0	25
Stufe 2	RBF	8,0	156

Probenahme

	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ³]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Flächen-anteil [m ²]	FM ges [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1	4	101	ASB	Sediment aus ASB	7,8	1,07	25,0	8.382	32,8	75,3	2.748	2.070	203
Stufe 2	11	118	RBF 1	Stecher, zulaufnah		1,53	78,0	11.907	81,8	15,0	9.743	1.461	144
Stufe 2	12	119	RBF 1	Stecher, zulauffern		1,43	78,0	11.120	80,5	17,2	8.954	1.540	151
Stufe 2	13	120	RBF 1	obere Filterschicht, hell 6-10cm, Ausgangszustand					fehlt	2,2			
SUMME Stufe 2			RBF	SUMME Stufe 2	0		156	23.027			18.697	3.002	295

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

T+U verringert um Ausgangsgehalt

Stufe 1

Maßkette [m] [m]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Fläche [m ²]	FM [m ³]
	60	100		4,2	3,33
	5	43		4,2	1,00
	5	16		4,2	0,44
	3	36		4,2	0,81
	15	32		4,2	0,98
	35	26		4,2	1,27

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche Ø 5,8 cm [m ²]	Stech-volumen Ø 5,8 cm [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungs-dichte [kg/dm ³]	FM [kg]
11	10,00	6,0	0,01585	1,59	2420,0	1,53	11.907
12	10,00	6,0	0,016	1,59	2260,0	1,43	11.120



Erkelenz-Süd	ifs-Nr.	37	Datum:	30.03.2021	Messtrupp:	Lambert, Rüter
--------------	---------	----	--------	------------	------------	----------------

Kenndaten 07.04.2021

$A_{E,b,a}$ 3,415 ha

	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	ASB	4	645
Stufe 2	VS	4	400
Stufe 3	-		

wir gehen von gleichem Zeitraum aus, wie Umbau ASB

Probenahme

	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ²]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Flächen-anteil [m ²]	FM ges [kg]	TS ¹⁾ / <2mm [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1		105	ASB	kein Sediment	12,9	1,15	645,0	14.835	32,4	79,3	4.812	3.816	279
Stufe 2	1	121	VS	zulaufnah, 0-10 cm		1,50	200,0	30.000	48,9	6,2	14.670	910	67
Stufe 2	2	122	VS	Ausgangsmaterial		1,50	200,0			1,2			
Stufe 2	3	123	VS	zulauffern 0-10 cm		1,50	200,0	30.000	52,0	1,6	15.600	250	18
Stufe 2	4	124	VS	Ausgangsmaterial		1,50	200,0			0,7			
SUMME Stufe 2			VS	SUMME Stufe 2	0		400	60.000			30.270	1.159	85

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

nur Bereich < 2mm, TS Gehalt wird ignoriert

T+U verringert um Ausgangsgehalt

Stufe 1

Maßkette [m]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Fläche [m ²]	FM [m ³]
Sedimenthöhe mit 2 cm angenommen					

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche [m ²]	Stech-volumen [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungs-dichte [kg/dm ³]	FM [kg]
1	10,00		200	20000		1,50	30.000
3	10,00		200	20000		1,50	30.000



Köln-Mühlheim	ifs-Nr.	6	Datum:	30.03.2021	Messtrupp:	Lambert, Rüter
---------------	---------	---	--------	------------	------------	----------------

Kenndaten

$A_{E,b,a}$ 9,42 ha

	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	ASB	3,0	380
Stufe 2	RBF	11,0	1640
Stufe 3	VS	11,0	1320

Probenahme

	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ³]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Flächen-anteil [m ²]	FM ges [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1	1	102	ASB	Sediment aus ASB	15,2	1,00	380,0	15.200	10,8	51,1	1.642	839	30
Stufe 2	5	125	RBF links	zulaufnah 0-10 cm		1,45	410,0	59.486	91,4	2,7	54.349	1.467	14
Stufe 2	6	126	RBF links	zulauffern 0-10 cm		1,68	410,0	68.797	93,6	0,0	64.384	0	0
Stufe 2	7	127	RBF rechts	zulaufnah 0-10 cm		1,46	410,0	60.003	90,9	0,0	54.556	0	0
Stufe 2	8	128	RBF rechts	zulauffern 0-10 cm		1,55	410,0	63.624	93,0	0,0	59.141	0	0
Stufe 2	9	129	RBF	Augangsmaterial						12,4			
SUMME Stufe 2			RBF	SUMME Stufe 2	0		1.640	251.910			232.429	1.467	14

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

T+U verringert um Ausgangsgehalt

Stufe 1

Maßkette [m]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Fläche [m ²]	FM [m ³]		
	5	8		95,0	6,18		
	8	7		95,0	7,13		
	1	1		95,0	0,95		
	1	1		95,0	0,95		

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche Ø 5,8 cm [m ²]	Stech-volumen Ø 5,8 cm [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungsdichte [kg/dm ³]	FM [kg]
5	10,00	6,0	0,016	1,59	2300,0	1,45	59.486
6	10,00	6,0	0,016	1,59	2660,0	1,68	68.797
7	10,00	6,0	0,016	1,59	2320,0	1,46	60.003
8	10,00	6,0	0,016	1,59	2460,0	1,55	63.624



Kenndaten

A_{C,ba} 5,545 ha

	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m²]
Stufe 1	ASB	10,0	318
Stufe 2	RBF	10,0	1400

Probenahme

Probenahme	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m³]	LD ²⁾ [kg/dm³]	Flächen-anteil [m²]	FM ges [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1	2	103	ASB	Sediment aus ASB	143,6	1,10	318,0	157.669	35,0	85,8	55.228	47.386	855
Stufe 2	10	130	RBF	zulaufnah		0,95	466,7	44.157	53,7	71,5	23.703	16.947	306
Stufe 2	11	131	RBF	zulauffern		1,48	466,7	68.885	86,3	1,3	59.475	773	14
Stufe 2	12	132	RBF	nördlich Zulaufnrinne		1,43	466,7	66.530	88,2	0,0	58.657	0	0
Stufe 2	13	133	RBF	Ausgangsmaterial		0,00				15,3	0	0	0
SUMME Stufe 2			RBF	SUMME Stufe 2	0		1.400	179.572			141.835	17.721	320

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben
²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

T+U verringert um Ausgangsgehalt

Stufe 1

Maßkette [m]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Fläche [m²]	FM [m³]
15	19	20	10			
18	18	12	2			
23	22	14	9			
37	30	11	21			
46	35	20	19			
62	40	25	37			
105	105	40	34			
190	190	108	108			
Fläche [m²]	79,5	79,5	79,5	79,5		
FM [m³]	49,29	45,613125	24,84375	23,85		143,60

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche ∅ 5,8 cm [m²]	Stech-volumen ∅ 5,8 cm [dm³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungs-dichte [kg/dm³]	FM [kg]
10	10,00	6,0	0,016	1,59	1500,0	0,95	44.157
11	10,00	6,0	0,016	1,59	2340,0	1,48	68.885
12	10,00	6,0	0,016	1,59	2260,0	1,43	66.530



Schwerte-Ergste	ifs-Nr.	4	Datum:	31.03.2021	Messtrupp:	Lambert, Rüter
-----------------	---------	---	--------	------------	------------	----------------

Kenndaten

$A_{E,b,a}$ 10,95 ha

	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	ASB	5,0	480
Stufe 2	RBF	5,0	957

Probenahme

	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ³]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Flächen-anteil [m ²]	FM ges [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%i]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1	1	104	ASB	Sediment aus ASB	80,1	1,2	480,0	96.069	25,5	85,1	24.538	20.881	381
Stufe 2	1	134	RBF	zulaufnah		1,51	478,5	72.362	89,3	11,5	64.631	7.433	136
Stufe 2	2	135	RBF	zulauffern		1,68	478,5	80.532	96,0	3,7	77.315	2.861	52
Stufe 2		136	RBF	Augangsmaterial						1,5			
SUMME Stufe 2			RBF	SUMME Stufe 2	0		957	152.895			141.946	10.293	188

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

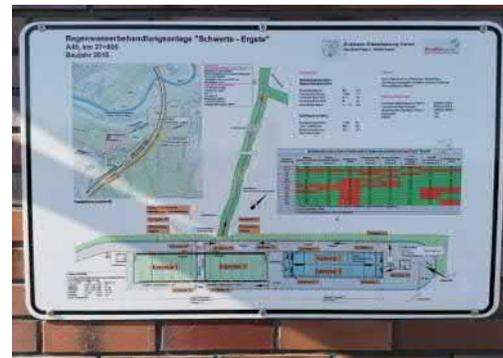
T+U verringert um Ausgangsgehalt

Stufe 1

Maßkette [m]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Sedimentdicke [cm]	Fläche [m ²]	FM [m ³]
	15,0	22,0	8,0	2,0		
	25,0	20,0	3,0	3,0		
	11,0	17,0	3,0	2,0		
	16,0	16,0	3,0	3,0		
	23,0	23,0	2,0	2,0		
	24,0	24,0	3,0	2,0		
	16,0	24,0	3,0	2,0		
	19,0	26,0	4,0	3,0		
	34,0	25,0	4,0	4,0		
	18,0	29,0	5,0	2,0		
	29,0	31,0	5,0	2,0		
	32,0	44,0	3,0	1,0		
	64,0	47,0	4,0	1,0		
	104,0	69,0	4,0	4,0		
Fläche [m ²]	120	120	120	120		
FM [m ³]	36,86	35,74	4,63	2,83		80,06

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche \varnothing 5,8 cm [m ²]	Stech-volumen \varnothing 5,8 cm [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungs-dichte [kg/dm ³]	FM [kg]
10	10,00	6,0	0,016	1,64	2480,0	1,51	72.362
11	10,00	6,0	0,016	1,64	2760,0	1,68	80.532



Evendorf-Nord	ifs-Nr. 77	Datum: 09.04.2021	Messtrupp: Lambert, Rüter
Kenndaten		14.07.2020	
A _{CE,ba} 2 ha		A _{E,k,b} 0,91 ha	

Stufe	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	ASB	21	970
Stufe 2	VS	21	420
Stufe 3	-		

Probenahme	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ³]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Flächen-anteil [m ²]	FM ges [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1	1	106	ASB	Sediment aus ASB	113,167	1,05	970,0	118.825	20,3	72,4	24.156	17.489	416
Stufe 2	1	137	VS	Stecker		1,48	210,0	30.989	74,4	6,2	23.052	1.429	34
Stufe 2	2	138	VS	Stecker		1,44	210,0	30.221	92,5	0,0	27.964	0	0
Stufe 2	3	139	VS	Ausgangsmaterial 10-15 cm						19,1		0	0
SUMME Stufe 2			VS	SUMME Stufe 2	0		420	61.211			51.016	1.429	34

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

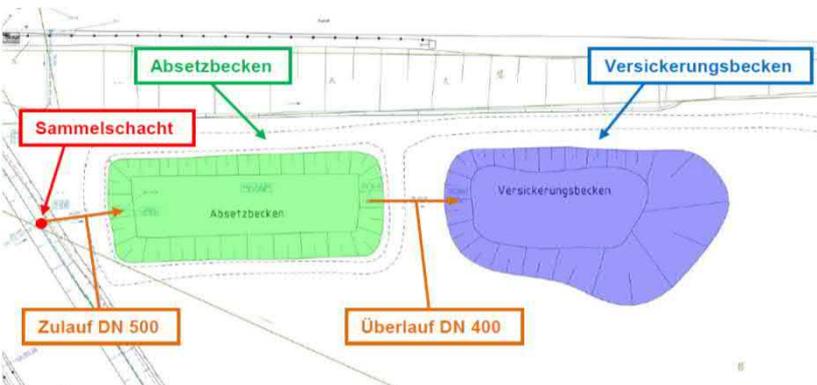
T+U verringert um Ausgangsgehalt

Stufe 1

Maßkette [m]	Profil 1 bis Sed. [m]	Profil 1 bis Sohle [m]	Profil 1 Sediment [m]	Profil 2 bis Sed. [m]	Profil 2 bis Sohle [m]	Profil 2 Sediment [m]	Profil 3 bis Sed. [m]	Profil 3 bis Sohle [m]	Profil 3 Sediment [m]	mittlere Sed. Höhe [m]	FM [m ²]
5	1,15	1,4	0,25	1,05	1,270	0,220	1,05	1,3	0,230	0,23	28
10	1,15	1,35	0,2	1,15	1,300	0,15	1,15	1,2	0,09	0,15	18
15	1,17	1,25	0,08	1,15	1,250	0,1	1,15	1,3	0,1	0,09	11
20	1,2	1,3	0,1	1,2	1,280	0,08	1,2	1,4	0,18	0,12	15
25	1,2	1,32	0,12	1,18	1,220	0,04	1,15	1,3	0,1	0,09	11
30	1,15	1,28	0,13	1,14	1,2	0,06	1,15	1,3	0,15	0,11	14
35	1,1	1,22	0,12	1,15	1,220	0,07	1,17	1,2	0,05	0,08	10
40	1,22	1,28	0,06	1,22	1,270	0,05	1,18	1,3	0,07	0,06	7

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche Ø 5,8 cm [m ²]	Stech-volumen Ø 5,8 cm [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungs-dichte [kg/dm ³]	FM [kg]
1	10,00	6,0	0,016	1,64	2420,0	1,48	30.989
2	10,00	6,0	0,016	1,64	2360,0	1,44	30.221



Evendorf-West	ifs-Nr.	85	Datum:	09.04.2021	Messtrupp:	Lambert, Rüter
---------------	---------	----	--------	------------	------------	----------------

Kenndaten

A_{E,b,a} 3,3 ha AE,k,b 1,4 ha

Stufe	Art	Zeitraum [a]	Fläche Stufe [m ²]
Stufe 1	ASB	22,0	1070
Stufe 2	VS	22,0	440
Stufe 3	-		

Probenahme

Stufe	Proben Nr. vor Ort	Labor Nr.	Standort	Bemerkung	FM [m ²]	LD ²⁾ [kg/dm ³]	Flächen-anteil [m ²]	FM ges [kg]	TS ¹⁾ [%]	T+U ¹⁾ [%]	TM [kg]	AFS63 [kg]	AFS63 [kg/ha/a]
Stufe 1	2	107	ASB	Sediment aus ASB	117,5	1,08	1070,0	126.923	17,7	89,0	22.427	19.960	275
Stufe 2	4	140	VS	P1, Zulauf, 15cm		1,26	110,0	13.818	81,8	9,9	11.302	1.119	15,4
Stufe 2	5	141	VS	P2, zulaufnah, 5cm		1,27	110,0	13.952	87,3	5,6	12.182	682	9,4
Stufe 2	6	142	VS	P3, mitte, 4cm		1,29	110,0	14.220	89,4	5,1	12.711	648	8,9
Stufe 2	7	143	VS	P4, zulauffern, 4cm		1,44	110,0	15.830	91,0	3,8	14.402	547	7,5
Stufe 2	8	144	VS	15-20cm		1,29				9,2			
Stufe 2	9	145	VS	15-20cm		1,29				0,9			
Stufe 2	10	146	VS	15-20cm		1,29				1,0			
Stufe 2	11	147	VS	15-20cm		1,29				2,3			
SUMME Stufe 2			VS	SUMME Stufe 2	0		440	57.820			50.597	2.997	41,3

¹⁾ Laborwerte, rot markiert = Mittelwert vergleichbarer Proben

²⁾ bei ASB Laborwerte, bei RBF und VS errechnete Werte

T+U verringert um Ausgangsgehalt

Stufe 1

Maßkette [m]	Wsp [cm]	Sohle [cm]	Sedimentdicke [cm]	Wsp [cm]	Sohle [cm]	Sedimentdicke [cm]	Wsp [cm]	Sohle [cm]	Sedimentdicke [cm]	mittl. Sedimentdicke [cm]	Fläche [m ²]	FM [m ²]
5	0,96	1,16	0,2	0,92	1,09	0,17	Schilf			0,12	107,0	13,20
10	Schilf			0,9	1,11	0,21	Schilf			0,11	107,0	11,24
15	1,03	1,16	0,13	1	1,11	0,11	1,01	1,2	0,19	0,14	107,0	15,34
20	1,05	1,2	0,15	1,02	1,16	0,14	1,01	1,3	0,25	0,18	107,0	19,26
25	1	1,2	0,2	1,02	1,18	0,16	1,04	1,2	0,15	0,17	107,0	18,19
30	1,13	1,19	0,06	1,05	1,14	0,09	1,05	1,16	0,11	0,09	107,0	9,27
35	1,08	1,19	0,11	1,08	1,16	0,08	1,05	1,11	0,06	0,08	107,0	8,92
40	1,08	1,14	0,06	1,07	1,13	0,06	1,03	1,08	0,05	0,06	107,0	6,06
45	1,14	1,24	0,1	1,11	1,28	0,17	1,09	1,1	0,01	0,09	107,0	9,99
50	1,18	1,26	0,08	1,11	1,19	0,08	1,09	1,1	0,01	0,06	107,0	6,06
55	Ende											

Stufe 2

Proben Nr.	Sedimenthöhe [cm]	Anzahl Stiche	Stechfläche Ø 5,8 cm [m ²]	Stech-volumen Ø 5,8 cm [dm ³]	Gewicht Probe ¹⁾ [g]	Lagerungsdichte [kg/dm ³]	FM [kg]
4	10,00	6,0	0,016	1,64	2060,0	1,26	13.818
5	10,00	6,0	0,016	1,64	2080,0	1,27	13.952
6	10,00	6,0	0,016	1,64	2120,0	1,29	14.220
7	10,00	6,0	0,016	1,64	2360,0	1,44	15.830



Anlage 4

Analyseergebnisse

BASt-Vorhaben Feinpartikel, Rohdaten Feststoffe

Labor-Nr.	ifs_Nr	Probenahmezeitraum	Probenbezeichnung	TS [%PS]	FM gesamt [g]	LD [kg FM/t]	Kongrößenverteilung				Güthverlust gesamt [%]	CaCO ₃ gesamt [%]	pH _{CaCl2}	Königswasserlösliche Gehalte											Fe ₆₀ oxidiert [mg/g]	P ₆₀ [mg/g]						
							<0,063 T+U	0,063-0,20 RS	0,20-0,63 ms	0,63-2,0 gs				2,04-6,3 rg	6,3-20,0 mg	>20,0	Fe	Al	P	S	Ca	Mg	K	Na			Zn	Cd	Cu	Pb	Cr	Ni
125	6	30.03.2021	Köln-Mühlheim, A3, Nr. 6	91,4	2300		15,1	6,6	12,7	19,6	46,0	0,0	0,0	7,9	36,2	34,8	1,62	0,38	70,9	37,0	17,6	12,9	93,5	<0,1	51,9	6,27	44,0	44,4	773			
126	6	30.03.2021	Linke Fillerbeet, zulaufarm, 0 - 10 cm, 6 SZ	93,6	2660		11,8	4,2	8,9	17,8	56,1	1,2	0,0	8,2	35,2	36,3	1,62	0,23	84,9	44,6	19,7	13,7	50,9	<0,1	40,2	1,00	36,6	48,9	748			
127	6	30.03.2021	Rechties Fillerbeet, zulaufarm, 0 - 10 cm, 6 SZ	90,9	2320		11,7	5,0	10,0	22,1	50,8	0,4	0,0	8,0	39,1	40,0	1,81	0,26	53,0	36,3	22,0	15,3	91,7	<0,1	54,0	2,88	42,1	53,3	810			
128	6	30.03.2021	Rechties Fillerbeet, zulaufarm, 0 - 10 cm, 6 SZ	93,0	2460		12,2	4,5	9,1	18,5	55,7	0,0	0,0	8,1	36,3	36,2	1,71	0,20	82,2	39,4	21,5	14,9	56,9	<0,1	41,6	0,63	36,3	52,0	735			
129	6	30.03.2021	FIM 10 - 20 cm, unter FOK, ohne SZ				12,4	8,6	19,3	34,4	24,8	0,5	0,0	8,1	44,5	45,2	2,06	0,35	47,5	33,0	23,5	18,0	50,5	<0,1	47,2	<2	42,1	51,5	653			
130	5	30.03.2021	RAF-Normalkörnen, A1, Nr. 5	53,7	1500		86,8	1,3	4,0	4,6	3,3	0,0	0,0	6,3	56,7	27,7	1,66	2,52	10,3	12,0	5,14	3,82	33,74	2,10	93,0	196	173	188	7266			
131	5	30.03.2021	Zulaufarm, Bereich Rinne, 0 - 10 cm, 6 SZ	86,3	2340		16,6	9,9	18,1	30,2	24,9	0,3	0,0	7,2	43,2	39,4	1,87	0,31	34,0	32,3	22,6	15,8	30,5	0,17	102	10,8	60,5	73,5	1081			
132	5	30.03.2021	Probe, < 2 mm	86,2	2260		12,4	10,4	21,2	30,5	25,3	0,2	0,0	7,4	42,0	40,8	1,87	0,19	28,8	30,3	23,9	17,6	72,8	<0,1	48,2	<2	39,1	62,4	772			
133	5	30.03.2021	Nördlichen Zulaufarme, 0 - 10 cm, 6 SZ				15,3	10,2	20,2	31,3	22,8	0,2	0,0	8,3	38,1	39,0	1,83	0,12	33,3	32,8	23,6	15,8	59,1	<0,1	41,4	<2	36,0	61,9	716			
134	4	31.03.2021	FIM-Probier, RAF-Schwarte	89,3	2480		13,0	1,9	20,0	9,0	27,7	28,4	0,0	5,72	19,4	8,86	0,48	0,62	32,9	6,12	2,51	1,40	683	0,32	212	39,0	88,7	36,9	662			
135	4	31.03.2021	Zulaufarm, 0 - 10 cm, 6 SZ	96,0	2760		5,2	2,9	34,6	14,7	18,2	24,4	0,0	1,25	7,12	3,78	0,16	0,14	18,2	1,72	0,75	0,24	210	0,12	46,3	20,7	28,1	15,7	220			
136	4	31.03.2021	Probe, < 2 mm				1,5	3,9	55,1	20,4	9,2	9,9	0,0	0,38	4,27	2,47	0,09	0,04	24,6	1,07	0,50	0,12	30,3	<0,1	7,59	31,4	21,1	10,7	96,7			
137	77	09.04.2021	0 - 10 cm, zulaufarm, 6 SZ	74,4	2420		25,3	26,4	39,4	6,6	1,9	0,4	0,0	6,8	9,09	5,16	0,33	0,29	2,46	1,16	0,85	0,67	245	0,17	47,3	16,7	22,4	9,77	897			
138	77	09.04.2021	Probe, < 2 mm	92,5	2360		6,7	9,2	76,2	7,1	0,8	0,0	0,0	0,85	2,59	1,44	0,09	0,04	0,59	0,34	0,33	0,11	18,0	<0,1	4,56	2,77	10,2	3,77	82,1			
139	77	09.04.2021	Filmmaterial/Sohle 10 - 15 cm	19,1			19,1	41,4	31,7	6,4	1,4	0,0	0,0	1,42	5,47	3,58	0,20	0,11	1,05	0,72	0,61	0,40	71,8	0,10	16,5	10,5	13,9	5,47	236			
140	85	09.04.2021	Versickerungsanlage Eventdorf-Nord, Nr. 77	81,8	2060		10,9	46,2	36,8	5,2	0,7	0,2	0,0	4,65	8,22	5,82	0,39	0,34	1,64	0,99	0,79	0,53	348	0,24	62,1	21,1	23,6	9,02	665			
141	85	09.04.2021	Probe, < 2 mm	87,3	2060		6,6	33,4	53,6	5,6	0,4	0,4	0,0	3,04	5,12	3,89	0,25	0,21	1,23	0,66	0,57	0,26	199	0,12	32,8	12,9	16,3	6,29	333			
142	85	09.04.2021	FIM Probe, P1, 0 - 10 cm, 6 SZ	89,4	2120		6,1	41,6	46,7	4,7	0,9	0,0	0,0	2,27	3,69	3,42	0,23	0,14	0,97	0,52	0,54	0,22	92,3	<0,1	14,9	7,63	12,6	4,49	167			
143	85	09.04.2021	Probe, < 2 mm	91,0	2360		4,8	18,9	61,5	13,8	1,0	0,0	0,0	1,35	6,4	2,56	2,37	0,15	0,08	0,56	0,36	0,37	0,16	43,6	<0,1	7,27	5,68	13,5	4,32	95,9		
144	85	09.04.2021	FIM Probe, P1, 15 - 20 cm				9,2	76,1	14,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,56	6,6	2,56	2,61	0,13	0,05	0,35	0,35	0,51	0,20	33,7	<0,1	7,98	2,81	10,2	2,83	60,6		
145	85	09.04.2021	FIM Probe, P2, 15 - 20 cm				0,9	38,0	60,3	0,8	0,0	0,0	0,0	0,25	6,8	1,27	1,19	0,05	0,03	0,24	0,16	0,23	0,06	17,2	<0,1	3,03	1,67	7,42	2,26	37,2		
146	85	09.04.2021	FIM Probe, P3, 15 - 20 cm				1,0	30,0	65,1	3,8	0,1	0,0	0,0	0,27	6,8	1,42	1,09	0,05	0,02	0,23	0,16	0,22	0,06	7,16	<0,1	1,81	1,52	8,51	2,63	37,4		
147	85	09.04.2021	FIM Probe, P4, 15 - 20 cm				2,3	9,7	38,5	32,2	10,7	6,6	0,0	0,26	6,8	2,03	1,72	0,07	0,02	0,37	0,39	0,34	0,07	13,3	<0,1	2,71	1,62	21,5	6,63	29,9		

BASt-Vorhaben		Feinpartikel, Rohdaten Wasser																				
Labor-Nr.	Datum	Bezeichnung	Lf	pH-Wert	AFS	GV _{MS}	Ks 4.3	CSB	CSB	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	P	PO ₄ -P	Fe	Zn	Mn	Al	SO ₄	K	Ca	Na
			[µS/cm]	[CaO2]	[mg/l]	[%]	[mmol/l]	[mg/l]	gesamt	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	gesamt	gesamt	[mg/l]	gesamt	[mg/l]	gesamt	[mg/l]	[mg/l]
35	12.08.2020	Einstauwasser, Vorstufe unter geschlossener Wasserfinsendecke	111	7,3		0,74		31,4		1,58	0,05	0,06	0,205	0,127	0,44	0,073		0,202	5,49			7,26
36	12.08.2020	Dranablauf vor Öffnen Dränablaufschieber, Filtereinbau ~5-10 cm über FOK	284	8,0		2,82		25,0		0,03	0,11	<0,01	0,083	0,025	0,18	0,004		0,062	3,15			36,9
37	12.08.2020	Dranablauf nach Öffnen Schieber, 10 min nach vollständiger Schieberöffnung	368	8,0		3,96		23,3		0,02	0,12	<0,01	0,078	0,020	0,30	0,002		0,062	5,03			44,4
		Anlage Nr.17, RBF Wieblingen nur PAK																				
38	13.08.2020	Einstauwasser Vorstufe, nach Regen 8:17 Uhr	x	x				x		x	x	x	x	x	x	x		x				
39	13.08.2020	Dranablauf RBF (fließender Ablauf)	x	x				x		x	x	x	x	x	x	x		x				
		Anlage Nr.116, RRB Mühlhausen nur PAK																				
40	13.08.2020	Ablauf RRB	x	x				x		x	x	x	x	x	x	x		x				
45	02.11.2020	RBF-Mundelsheim	190	7,2		1,68		50,3		0,62	0,66	0,16	0,556	0,192	0,63	0,061		0,482				
46	02.11.2020	Einstauwasser Ablaufkammer, Vorstufe	249	7,8		2,08		6,12		0,02	1,27	0,04	0,032	0,021	0,02	0,011		0,010				
47	08.02.2021	RBF-Mundelsheim A81	1561	7,9		3,08		13,3		0,01	7,85	0,03	0,042	0,034	0,04	0,02		0,124				275
48	10.02.2021	Einstauwasser, Vorstufe, 9:00 Uhr	753	7,8		1,54		14,0		0,21	1,28	0,07	0,075	0,029	1,01	0,06		1,126				140
49	10.02.2021	Dranablauf, 9:05 Uhr	2960	8,0		2,36		8,90		0,02	3,07	0,04	0,038	0,024	0,19	0,04		0,192				520
50	27.03.2021	RBF-Mundelsheim A81	1193	7,6		1,30		21,5		0,72	1,10	0,15	0,035	0,086	0,76	0,17		0,030	0,547			
51	27.03.2021	Einstauwasser, Oberfläche Vorbecken	2380	7,7		1,84		47,6		0,60	0,79	0,08	0,003	0,041	0,65	0,16		0,068	0,292			
52	27.03.2021	Einstauwasser, Filterbeet, Zulaufrohr	1922	7,8		1,90		24,6		0,41	0,77	0,06	0,005	0,041	0,29	0,12		0,065	0,239			
53	27.03.2021	Dranablauf, 10 Minuten nach Öffnung	4340	7,8		4,02		22,2		0,26	1,26	0,05	0,038	0,053	0,03	0,04		0,141				
		RBF-Limbürg, südöst																				
54	29.03.2021	Vorbecken, IIS-Nr.117	1376	7,7		1,26		27,4		0,18	0,39	0,05	0,026		0,44	0,106						238
55	29.03.2021	Vorbecken, IIS-Nr.118	1362	7,5		1,14		35,7		0,37	0,53	0,11	0,066		0,83	0,156						244
56	29.03.2021	Vorbecken, IIS-Nr.13	1417	7,6	37	1,44		39,6		0,34	2,94	0,12	0,090		1,43	0,169						234
57	29.03.2021	TVV-Abfluss, Zulaufkanal, IIS-Nr.13	1625	7,9		1,96		26,2		0,09	6,68	0,03	0,053		0,63	0,095						243
58	29.03.2021	Dranablauf, IIS-Nr.13	2010	8,0		1,84		14,9		<0,01	4,19	0,00	0,014		0,05	0,051						319
		RBF-Mechernich																				
59	29.03.2021	Einstauwasser, IIS-Nr.42	1628	8,0	53	1,50		21,6		0,06	1,53	0,03	0,080		1,26	0,076						277
60	29.03.2021	Einstauwasser, Verteilerrinne	2830	8,0		1,90		20,4		0,09	1,20	0,04	0,048		0,64	0,042						497
61	29.03.2021	Dranablauf	3390	8,1		2,12		8,75		<0,01	1,76	<0,01	0,039		0,08	0,011						582
		RBF-Mühlheim																				
62	30.03.2021	Vorstufe, IIS-Nr.6	1056	8,8	13	1,20		45,9		0,04	0,81	0,06	0,071		0,16	0,057						193
		RBF-Wermelskirchen																				
63	30.03.2021	Vorstufe, IIS-Nr.5	801	7,6	5	0,58		12,3		0,42	1,24	0,06	0,017		0,20	0,079						147
		RBF-Schwerte																				
64	31.03.2021	TVV-Zulauf, IIS-Nr.4	2104	8,0		2,22		7,01		0,06	1,94	<0,01	0,007		0,05	0,028						234
65	31.03.2021	Einstauwasser, Vorbecken	1122	7,7	13	1,04		23,8		0,33	1,03	0,09	0,025		0,49	0,088						170
66	31.03.2021	Dranablauf, nördliches Beet	1970	8,1		1,80		8,53		0,01	2,00	<0,01	0,005		<0,01	0,008						288
67	31.03.2021	Dranablauf, südliches Beet	1976	8,0		2,24		8,92		<0,01	1,64	<0,01	0,005		<0,01	0,013						293
		RBF-Mundelsheim A81																				
68	03.04.2021	Einstauwasser, Vorbecken	1494	7,6		1,58		19,8		0,79	1,46	0,15	0,067		0,46	0,11		0,040	0,237			
69	03.04.2021	Dranablauf, sehr gering	8160	8,4		5,56		15,7		0,02	4,76	0,02	0,054		0,02	0,05		<0,001	0,021			
		Versickerungsbecken Erkelenz																				
70	07.04.2021	Ablauf Vorbecken	5100	7,9	91	1,64		76,4		27,8	1,10	0,77	0,07	0,169	0,013	4,51	0,353		1,453			980
		Versickerungsbecken Evendorf																				
71	09.04.2021	Wasserprobe	4130	8,0	7	1,28		20,0		13,5	0,10	0,04	0,043	0,009	0,39	0,063		0,156				798
		Versickerungsanlage IIS-Nr.85																				
72	09.04.2021	Wasserprobe	3510	8,0	7	1,24		15,7		13,1	0,05	0,18	0,020	0,030	0,005	0,36	0,065		0,159			673

BAST-Vorhaben Feinpartikel, Rohdaten Was

Labor-Nr.	Datum	Bezeichnung	SUMME PAK nach EPA [$\mu\text{g/l}$]	Naphthalen [$\mu\text{g/l}$]	Acenaphthylen [$\mu\text{g/l}$]	Acenaphthen [$\mu\text{g/l}$]	Fluoren [$\mu\text{g/l}$]	Phenanthren [$\mu\text{g/l}$]	Anthracen [$\mu\text{g/l}$]	Fluoranthren [$\mu\text{g/l}$]	Pyren [$\mu\text{g/l}$]	Benzo(a)anthracen [$\mu\text{g/l}$]	Chrysen [$\mu\text{g/l}$]	Benzo(b)fluoranthren [$\mu\text{g/l}$]	Benzo(k)fluoranthren [$\mu\text{g/l}$]	Benzo(e)pyren [$\mu\text{g/l}$]	Indeno(1,2,3-c,d)pyren [$\mu\text{g/l}$]	Dibenz(a,h)anthracen [$\mu\text{g/l}$]	Benzo(g,h,i)perylene [$\mu\text{g/l}$]
		Schwemmelbach, Vorbecken																	
1	27.04.2020	Schwemmelbach 1																	
2	27.04.2020	Schwemmelbach 2																	
3	27.04.2020	Schwemmelbach 3																	
		RBF A656, Rauschen																	
4	06.05.2020	Einstauwasser, Vorbecken																	
5	06.05.2020	Dranablauf, Pumpensumpf																	
		RBF Hopfensee																	
6	07.05.2020	Vorbecken, Zulaufbereich																	
7	07.05.2020	Dranablauf Beet 2, Einstauwasser																	
8	07.05.2020	Dranablauf Beet 1, Einstauwasser																	
9	07.05.2020	Hopfenachen																	
		RBF A113.02																	
10	11.05.2020	Vorbecken																	
11	11.05.2020	Ablauf auf Niveau FOK																	
12	11.05.2020	Dranablauf																	
		RBF A113.01																	
13	11.05.2020	Einstauwasser																	
14	11.05.2020	Dranablauf Beet 1																	
15	11.05.2020	Dranablauf Beet 2																	
		RBF A113.06																	
16	11.05.2020	Vorstufe																	
17	11.05.2020	Dranablauf Beet 1																	
18	11.05.2020	Dranablauf Beet 2																	
		RBF A113.04																	
19	13.05.2020	Vorstufe																	
20	13.05.2020	Dranablauf Beet 1																	
21	13.05.2020	Dranablauf Beet 2																	
		RBF Mundelsheim																	
1	25.05.2016	Dranablauf, 16:00 Uhr																	
2	05.06.2016	Dranablauf, 15:50 Uhr																	
3	24.06.2020	Vorstufe, zulaufnah, Oberfläche																	
4	24.06.2020	Vorstufe, zulauffern, Oberfläche																	
		Einstauwasser Vorbecken, Nr.70, A.261, 9.9, FR Hamburg	0,10	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,04	0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
23	15.07.2020	Einstauwasser, zulaufnah, Becken 1, Nr.98	0,03	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
24	15.07.2020	Ablauf Becken 1, Nr.98	n.b.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
25	15.07.2020	Einstauwasser Vorbecken, Nr.77																	
		RBF B31 Tilssee-Neustadt																	
26	27.07.2020	Guach, oberhalb Anlage																	
27	27.07.2020	Guach, unterhalb Anlage																	
28	27.07.2020	Dauerinstaurstufe RRB																	
29	27.07.2020	Einstauwasser RRB																	
30	27.07.2020	Dranablauf RBF																	
		Anlage Nr.099, Tilsit, A3, 130.3																	
31	11.08.2020	Vorgeschaltete See-Anlage	n.b.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
		Anlage Nr.34, A4, FR Köln																	
32	12.08.2020	Zulauf Versickerungsbecken 8:40 Uhr																	
33	12.08.2020	Ablauf Absperbecken	n.b.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
34	12.08.2020	Ablauf RBF																	
		Anlage Nr.111, Billesheim, A563 km 1.0																	

BASt-Vorhaben Feinpartikel, Rohdaten Was

Labor-Nr.	Datum	Bezeichnung	SUMME PAK nach EPA [µg/l]	Naphthalen [µg/l]	Acenaphthylen [µg/l]	Acenaphthen [µg/l]	Fluoren [µg/l]	Phenanthren [µg/l]	Anthracen [µg/l]	Fluoranthren [µg/l]	Pyren [µg/l]	Benzo(a)anthracen [µg/l]	Chrysen [µg/l]	Benzo(b)fluoranthren [µg/l]	Benzo(k)fluoranthren [µg/l]	Benzo(e)pyren [µg/l]	Indeno(1,2,3-c,d)pyren [µg/l]	Dibenz(a,h)anthracen [µg/l]	Benzo(g,h,i)perylene [µg/l]
35	12.08.2020	Einstauwasser, Vorstufe unter geschlossener Wasserinsendecke																	
36	12.08.2020	Dränablauf vor Öffnen Dränablaufschieber, Filtereinbau ~5-10 cm über FOK																	
37	12.08.2020	Dränablauf nach Öffnen Schieber, 10 min nach vollständiger Schieberöffnung																	
		Anlage Nr.17, RBF Wieblingen																	
38	13.08.2020	Einstauwasser Vorstufe,	0,02	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
39	13.08.2020	nach Regen 8:17 Uhr	n.b.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
40	13.08.2020	Dränablauf RRB (fließender Ablauf)																	
41	13.08.2020	Anlage Nr.116, RRB Mülhhausen																	
42	13.08.2020	Ablauf RRB																	
43	13.08.2020	RRB-Mündelsheim																	
44	02.11.2020	Einstauwasser Ablaufkammer, Vorstufe																	
45	02.11.2020	Dränablauf																	
46	02.11.2020	Dränablauf																	
47	08.02.2021	RRB Mündelsheim A81																	
48	10.02.2021	Dränablauf, 15:25 Uhr																	
49	10.02.2021	RRB Mündelsheim A81																	
50	27.03.2021	Einstauwasser, Vorstufe, 9:00 Uhr																	
51	27.03.2021	Dränablauf, 9:05 Uhr																	
52	27.03.2021	RRB Mündelsheim A81																	
53	27.03.2021	Einstauwasser, Oberfläche Vorbecken																	
54	27.03.2021	Einstauwasser, Filterbeet, zulaufnah																	
55	27.03.2021	Einstauwasser, Filterbeet, zulauffern																	
56	27.03.2021	Dränablauf, 10 Minuten nach Öffnung																	
57	29.03.2021	RRB-Umburg, südost																	
58	29.03.2021	Vorbecken, IFS-Nr.117																	
59	29.03.2021	Vorbecken, IFS-Nr.118																	
60	29.03.2021	Vorbecken, IFS-Nr.13	n.b.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
61	29.03.2021	TW-Abfluss, Zulaufkanal, IFS-Nr.13																	
62	30.03.2021	Dränablauf, IFS-Nr.13																	
63	30.03.2021	RRB-Mechernich	0,02	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
64	31.03.2021	Einstauwasser, IFS-Nr.42																	
65	31.03.2021	Einstauwasser, Verteilerrinne																	
66	31.03.2021	Dränablauf																	
67	31.03.2021	RRB-Mülheim	n.b.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
68	31.03.2021	Vorstufe, IFS-Nr.6																	
69	31.03.2021	RRB-Wermelskirchen	n.b.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
70	31.03.2021	Vorstufe, IFS-Nr.5																	
71	31.03.2021	RRB-Schwerte	n.b.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
72	31.03.2021	TW-Zulauf, IFS-Nr.4																	
73	03.04.2021	Einstauwasser, Vorbecken	n.b.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
74	03.04.2021	Dränablauf, nördliches Beet																	
75	03.04.2021	Dränablauf, südliches Beet																	
76	03.04.2021	RRB Mündelsheim A81																	
77	03.04.2021	Einstauwasser, Vorbecken																	
78	03.04.2021	Dränablauf, sehr gering																	
79	03.04.2021	Versickerungsbecken/Erkelenz																	
80	07.04.2021	Ablauf Vorbecken	n.b.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
81	09.04.2021	Versickerungsbecken/ Everdorf	0,02	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
82	09.04.2021	Wasserprobe	n.b.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
83	09.04.2021	Versickerungsanlage IFS-Nr.85																	
84	09.04.2021	Wasserprobe	n.b.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen Unterreihe „Verkehrstechnik“

2023

V 374: Kriterien für die Beurteilung des Gefährdungspotenzials für Motorradfahrer durch scharfkantige Konstruktionsteile in Fahrzeug-Rückhaltesystemen

Kathmann, von Heel, Schimmelpfennig, Reglitz, Kammel, Goergen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 375: Virtuelle Anprallprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen mit der Finite-Elemente-Simulation

Fröhlich, Schwedhelm, Kübler, Balzer-Hebborn, Yu

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 376: Innovative Datenerfassung und -nutzung im Straßenbetriebsdienst

Hess, Best, Lohmeier, Temme

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2024

V 377: Verfahren für die Bewertung des Verkehrsablaufs auf Autobahnen als Ganzjahresanalyse für unterschiedliche Randbedingungen

Geistefeldt, Hohmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 378: Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit an Arbeitsstellen auf Autobahnen unter unterschiedlichen Randbedingungen

Geistefeldt, von der Heiden, Oeser, Kemper, Diner, Baier, Klemps-Kohnen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 379: Nachhaltige Förderung des Radverkehrs im Winter durch optimierten Winterdienst (WinRad)

Holldorb, Riel, Wiesler, Cypra, März

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 380: Maßnahmen zum Umgang mit japanischem Staudenknocherich

Molder, Gaar, Münch, Alberternst

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 381: Akustische Wirksamkeit abknickender und gekrümmter Lärmschirme

Lindner, Ruhnau, Schulze

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 382: Potenziale für Photovoltaik an Bundesfernstraßen

Ludwig, Tegeler, Schmedes, Tomhave, Hensel, Forster, Kleinhans, Heinrich, John, Schill

€ 19,50

V 383: Analyse und Entwicklung leistungsfähiger Einfahrtstypen ohne Fahrstreifenaddition für Autobahnen

Geistefeldt, Brandenburg, Sauer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 384: Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen – Methoden zur Untersuchung und Metaanalyse

Maier, Leonhardt, Ehm

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 385: HBS-konforme Simulation des Verkehrsablaufs auf einbahnigen Landstraßen

Geistefeldt, Hohmann, Finkbeiner, Sauer, Vortisch, Buck, Weyland, Weiser, Giuliani

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2025

V 386: Pilothafte Anwendung des Bridge-WIM Verfahrens zur Ergänzung des Achslastmessstellennetzes

Firus, Petschacher

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 387: Akustische Wirksamkeit von Vegetation

Lindner, Schulze

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 388: Hochaufgelöste multisensorielle Verkehrsdaten in der Streckenbeeinflussung

Schwietering, Löbbbering, Weinreis, Maier, Feldges

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 389: Lärmwetter in der Praxis – Erprobung und Weiterentwicklung der Methodik zur Anwendung meteorologischer Korrekturen auf die Schallausbreitung

Skowronek, Liepert, Müller, Schady, Elsen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 390: Wirkung von Fahrstreifenbegrenzungen an Einfahrten von Autobahnen auf das Fahrverhalten und auf die Verkehrssicherheit

Geistefeldt, Sauer, Brandenburg

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 391: Erprobung psychoakustischer Parameter für innovative Lärminderungsstrategien

Oehme, Böhm, Horn, Pourpart, Schweidler, Weinzierl, Fiebig, Schuck

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 392: Evaluierung der Wirksamkeit bestehender Überflughilfen für Fledermäuse an Straßen

Albrecht, Reers, Scharf, Grimm, Radford, Namyslo, Günther, Martin, Behr

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 393: Optimierung der Abstände von Anzeigequerschnitten und Messquerschnitten in Streckenbeeinflussungsanlagen

Schwietering, Löbbbering, Abarghooie, Geistefeldt, Marnach

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 394: Optimierte Steuerungsstrategien für Lichtsignalanlagen durch die Berücksichtigung der Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation (C2X)

Schendzielorz, Schneider, Künzelmann, Sautter, Höger

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 395: Empfehlungen zur Breite von hochfrequentierten Radverkehrsanlagen unter Berücksichtigung der Verkehrsqualität

Geistefeldt, Brandenburg, Vortisch, Buck, Zeidler, Baier

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 396: Wirkung von Behandlungsanlagen der Straßenentwässerung im Hinblick auf AFS63

Rüter, Grotehusmann, Lambert

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG

Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen

Telefon (04 21) 3 69 03 - 0 · E-Mail: kontakt@schuenemann-verlag.de

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.



ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-847-8
<https://doi.org/10.60850/bericht-v396>

www.bast.de