



KOMPETENZ IN SACHEN
REGENWASSER
INGENIEURGESELLSCHAFT
PROF. DR. SIEKER MBH



Abschlussbericht

Dezentrale Reinigung von Straßenabflüssen

Projekt im Berliner Umweltentlastungsprogramm UEPII/2

Projekt-Nr.: 11315 UEPII/2

Autoren:

Matthias Barjenbruch¹⁾, Bernd Heinzmann²⁾, Paul Kober¹⁾, Mike Post³⁾, Christian Remy⁴⁾,
Pascale Rouault⁴⁾, Harald Sommer³⁾, Hauke Sonnenberg⁴⁾, Björn Weiß⁵⁾

Berlin, Stand: Januar 2016

Dieses Vorhaben wurde vom Land Berlin und von der Europäischen Union kofinanziert



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung
Investition in Ihre Zukunft



Senatsverwaltung
für Stadtentwicklung
und Umwelt

be-mit Berlin

- 1) Technische Universität Berlin, FG Siedlungswasserwirtschaft, Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin, matthias.barjenbruch@tu-berlin.de, paul.kober@tu-berlin.de
- 2) Berliner Wasserbetriebe, Neue Jüdenstraße 1, 10179 Berlin, b.heinzmann@bwb.de
- 3) Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, Rennbahnallee 109A, 15366 Hoppegarten, h.sommer@sieker.de, m.post@sieker.de
- 4) Kompetenzzentrum Wasser Berlin, Cicerostraße 24, 10709 Berlin, pascale.rouault@kompetenzzentrum.de, hauke.sonnenberg@kompetenz-wasser.de, christian.remy@kompetenz-wasser.de
- 5) Berliner Stadtreinigung, Ringbahnstraße 96, 12103 Berlin, bjoern.weiss@bsr.de

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Möglichkeiten der dezentralen Behandlung von Straßenabflüssen.....	2
2.1 Bedeutung und Konzentration von Straßenabflüssen	3
2.2 Dezentrale Anlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen	6
2.3 Auswahl vorangegangener Untersuchungen.....	9
3 Material und Methoden.....	11
3.1 Auswahl der Untersuchungsgebiete.....	11
3.1.1 Messstrecke Clayallee im Einzugsgebiet Pücklerteich.....	12
3.1.2 Untersuchungsgebiet BSR-Betriebshof Treffurter Straße	15
3.2 Untersuchte dezentrale Anlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen	16
3.2.1 Clayallee	20
3.2.2 BSR-Betriebshof Treffurter Straße.....	22
3.3 Betriebliche Untersuchungen	23
3.3.1 Einweisung	23
3.3.2 Betriebsprotokolle	23
3.4 Messprogramm in situ.....	27
3.4.1 Messtechnik	27
3.4.2 Probenahmeprogramm.....	29
3.4.3 Herausforderung bei der Probenahme.....	29
3.4.4 Analytik.....	30
3.4.5 Berechnungen	31
3.5 Teststand gemäß DIBt-Vorgaben.....	32
3.5.1 Aufbau der Teststände	32
3.5.2 Versuchsablauf.....	34
3.5.3 Analytik.....	38
3.6 Datenmanagement	39
3.7 Schmutzfrachtsimulation	42
3.7.1 Verwendetes Modell – STORM-SEWSYS	42
3.7.2 Eingangsdaten	43
3.7.3 Aufstellung Modell	46
3.7.4 Untersuchte Reinigungsmethoden.....	47
3.8 Ökobilanz.....	49
3.8.1 Definition des Untersuchungsrahmens	50
3.8.2 Sachbilanz.....	54
3.9 Kostenvergleichsrechnung.....	58
4 Ergebnisse und Auswertung	60
4.1 Betriebsverhalten der dezentralen Anlagen.....	60
4.1.1 Clayallee BSR Protokoll.....	60
4.1.2 Treffurter Straße Protokoll	60
4.1.3 Wartungstermine	61

4.1.4	Betriebspunkt bezogene Auswertung von Begehung und Wartung, Beobachtungen	61
4.1.5	Zusammenfassung der Aussagen der betrieblichen Untersuchung	68
4.2	Messprogramm in situ.....	69
4.2.1	Clayallee	69
4.2.2	Treffurter Straße.....	88
4.3	Teststand.....	101
4.3.1	Nassgully ohne Grobstoffeimer.....	101
4.3.2	Nassgully mit Grobstoffeimer.....	103
4.3.3	ACO SSA	105
4.3.4	INNOLET-G.....	107
4.3.5	BUDAVINCI Typ-N	114
4.3.6	Vergleich der Messergebnisse Teststand	118
4.4	Vergleich der Messergebnisse Teststand und in situ	121
4.5	Schmutzfrachtsimulation	122
4.5.1	Ergebnisse: Dezentrale Anlagen in der Messstrecke Clayallee	123
4.5.2	Ergebnisse: Dezentrale und zentrale Anlagen mit Straßenreinigung im EZG Pücklerteich.....	127
4.6	Ökobilanz.....	131
4.6.1	Ergebnisse für direkten Vergleich der Systeme	131
4.6.2	Ergebnisse für EZG Pücklerteich.....	139
4.6.3	Zusammenfassung der Aussagen der Ökobilanz	142
4.7	Kostenvergleichsrechnung.....	144
4.7.1	Kostenvergleich der dezentralen Anlagen	144
4.7.2	Vergleich mit zentralen Varianten	148
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	151
Literaturverzeichnis	160	
Anhang.....	A	

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: anfallende Stoffe auf Verkehrsflächen und deren Quellen nach [RiStWag 2002] (angepasst)	3
Tabelle 2.2: Schwerpunktwerte des Verkehrsabflusses nach [Schmitt et al. 2010]	6
Tabelle 2.3: Übersicht der Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung hinsichtlich ihrer Funktionsweise	7
Tabelle 3.1: Angeschlossene Flächen nach BWB, Datenbank Niederschlagswasserentgelt	12
Tabelle 3.2: Übersicht der untersuchten Anlagen mit ihrer Funktionsweise	17
Tabelle 3.3: Übersicht der untersuchten Anlagen mit Kenndaten	18
Tabelle 3.4: Übersicht der untersuchten Anlagen	19
Tabelle 3.5: Kenndaten der Messtechnik	28
Tabelle 3.6: Probenahmeprogramm Treffurter Straße und Clayallee	29
Tabelle 3.7: Messmethoden der untersuchten Parameter (FG-Labor TU Berlin)	30
Tabelle 3.8: Messmethoden der untersuchten Parameter (externes Umweltlabor)	31
Tabelle 3.9 Prozentuale Verteilung der Dosiermenge der Prüfstoffe (gerundete Werte)	35
Tabelle 3.10: Prüfstoffe: Kenndaten und Dosierung	36
Tabelle 3.11: Messmethoden der untersuchten Parameter (Teststand)	38
Tabelle 3.12: Konzentrationsansatz Regenwasserabfluss Dach und Hof	45
Tabelle 3.13: Kenndaten RBF Halensee und RKB Schlierseestraße (BWB)	45
Tabelle 3.14: Frachtrückhalt RBF Halensee und RKB Schlierseestraße (BWB)	45
Tabelle 3.15: Reinigungsmethoden	47
Tabelle 3.16: Verglichene Maßnahmen in der Ökobilanz	50
Tabelle 3.17 Definition von Regenvolumen und Stofffrachten für die Ökobilanz und Vergleich zu anderen Studien	52
Tabelle 3.18: Umweltindikatoren für die Bewertung in der Ökobilanz	53
Tabelle 3.19: Verwendete Eingabedaten für Ökobilanz	54
Tabelle 3.20: Sachbilanzdaten für Bau der Systeme (Aushub, Material, Lebensdauer)	55
Tabelle 3.21: Sachbilanzdaten für Reinigungsleistung der Maßnahmen (direkter Vergleich)	57
Tabelle 4.1: Reinigungsintervalle BSR Clayallee	60
Tabelle 4.2: Clayallee Niederschlagskenndaten Vergleich Regenschreiber „Wil a“ und Station Dahlem	69
Tabelle 4.3: Station Dahlem: Abgleich der Niederschlagshöhen (Monatsmittelwerte) [DWD 2016]	69
Tabelle 4.4: Clayallee Niederschlagskenndaten Vergleich Gesamtereignisse und beprobte Ereignisse	70
Tabelle 4.5: Anzahl beprobter Ereignisse: gesamt, für Konzentrationsverläufe und für Rückhalt-Auswertung	71
Tabelle 4.6: Vergleich der Zulaufkonzentrationen mit Literaturwerten	74
Tabelle 4.7: Ablaufkonzentrationen Mittelwerte des 60-Minuten-Verlaufs (Min und Max)	76
Tabelle 4.8: Rückhalt [%] Clayallee in situ Untersuchung (Median und Mittelwerte)	84
Tabelle 4.9: Ergebnisse AFS _{org} zu AFS und AFS _{fein} zu AFS der Schlammfänge	86
Tabelle 4.10: Ergebnisse AFS _{org} zu AFS der Grobstoffeimer	87

Tabelle 4.11: Ergebnisse AFS _{org} zu AFS der Summen aus Grobstoffeimer und Schlammraum	87
Tabelle 4.12: Treffurter Straße Niederschlagskenndaten Vergleich Regenschreiber „Hsch“ und Station Berlin Tempelhof	88
Tabelle 4.13: Station Tempelhof: Abgleich der Niederschlagshöhen (Monatsmittelwerte) [DWD 2016]	89
Tabelle 4.14: Treffurter Straße Niederschlagskenndaten Vergleich Gesamt Ereignisse und beprobte Ereignisse	89
Tabelle 4.15: Anzahl beprobter Ereignisse: Gesamtanzahl und Anzahl für Auswertung	90
Tabelle 4.16: Vergleich der Ablaufkonzentration vor INNOLET-Einbau mit Zulaufwerten der Clayallee und Literaturwerten	96
Tabelle 4.17: Rückhalt [%] über Median- und Mittelwerte der c _F -Werte berechnet	99
Tabelle 4.18: Nassgully ohne Grobstoffeimer Untersuchung: Millisil W4	102
Tabelle 4.19: Nassgully ohne Grobstoffeimer Untersuchung: Sand-Kies-Gemisch, PE-, PS-Granulat, Rindenmulch.....	102
Tabelle 4.20: Nassgully mit Grobstoffeimer Untersuchung: Millisil W4.....	104
Tabelle 4.21: Nassgully mit Grobstoffeimer Untersuchung: Sand-Kies-Gemisch, PE-, PS-Granulat, Rindenmulch.....	104
Tabelle 4.22: ACO SSA Untersuchung: Millisil W4, MKW	105
Tabelle 4.23: ACO SSA Untersuchung: Sand-Kies-Gemisch, PE-, PS-Granulat, Rindenmulch.....	106
Tabelle 4.24: INNOLET-G S1 Untersuchung: Millisil W4, MKW	108
Tabelle 4.25: INNOLET-G S1 Untersuchung: Sand-Kies-Gemisch, PE-, PS-Granulat, Rindenmulch	108
Tabelle 4.26: INNOLET-G S2 Untersuchung: Millisil W4, MKW	109
Tabelle 4.27: INNOLET-G S2 Untersuchung: Sand-Kies-Gemisch, PE-, PS-Granulat, Rindenmulch	110
Tabelle 4.28: Untersuchung und Rückhalt von Kupfer und Zink für den INNOLET-G S1	112
Tabelle 4.29: INNOLET-G S1 Untersuchung der Rücklösung von Kupfer und Zink unter Salzeinfluss	113
Tabelle 4.30: BUDAVINCI Untersuchung: Millisil W4, MKW	114
Tabelle 4.31 BUDAVINCI Untersuchung: Sand-Kies-Gemisch, PE-, PS-Granulat, Rindenmulch	115
Tabelle 4.32: Untersuchung und Rückhalt von Kupfer und Zink für den BUDAVINCI.....	116
Tabelle 4.33: BUDAVINCI Untersuchung der Rücklösung von Kupfer und Zink unter Salzeinfluss ..	118
Tabelle 4.34: Vergleich der Rückhalte-Werte der am Teststand untersuchten dezentralen Anlagen	119
Tabelle 4.35: Vergleich der Teststand-Messergebnisse mit Prüfergebnissen anderer Institute.....	120
Tabelle 4.36: Vergleich der AFS-Versuche am Teststand und in der Clayallee	121
Tabelle 4.37: Übersicht Szenarien Straßenablauf (Messstrecke Clayallee)	122
Tabelle 4.38: Übersicht Szenarien Einzugsgebiet Pücklerteich.....	123
Tabelle 4.39: Berlin-spezifische Baukosten aus dem Projekt (Bezugsjahr 2014).....	144
Tabelle 4.40: Betriebspunkte der Anlagentypen, Zulauf nur bei Probefortlauf	145
Tabelle 4.41: Zeitabschätzung für die Wartungsarbeiten auf Grundlage der durchzuführenden Arbeitsschritte	146
Tabelle 4.42: Wartungskosten, einzeln und Summe/Jahr, und pro m ² und Jahr	147
Tabelle 4.43: Wartungskosten einzeln und Summe/Jahr und pro m ² und Jahr für die Typen INNOLET-G Berlin und BUDAVINCI Typ-N	147
Tabelle 4.44: Investitions- und Betriebskosten sowie der Barwert der einzelnen Szenarien	149

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Literaturvergleich: Abflusskonzentrationen verschieden stark belasteter befestigter Flächen nach [Sommer 2007], [Kasting 2002], [Dierkes 2006], [Dierschke 2014], [Barret et al. 1995] n: Anzahl der Messprogramme.....	5
Abbildung 2.2: Broschüre „Dezentrale Behandlung von Straßenabflüssen“ [Sommer et al. 2015]	8
Abbildung 3.1: Einzugsgebiet Pücklerteich kanalisiert und angeschlossen, markierter Abschnitt Clayallee	13
Abbildung 3.2: Ankopplung des Messschachtes zwischen Straßenablauf und Regenwasserkanal in der Clayallee	14
Abbildung 3.3: Messabschnitt Clayallee, westliche Fahrbahn	14
Abbildung 3.4: Luftbild BSR-Hof, Nordstrang & Südstrang (Quelle: Google Maps)	15
Abbildung 3.5: BSR-Hof Treffurter Straße, Einzugsgebiet Nordstrang	16
Abbildung 3.6: Fließwege Nassgully, Nassgully mit Eimer, ACO SSA, INNOLET®-G, BUDAVINCI Typ-N (von links) (Quellen: Eigene Darstellung Sieker & ACO 2015, Funke Gruppe 2015, MEIERGUSS 2015; ergänzt Sieker).....	18
Abbildung 3.7: Messstrecke Clayallee mit Einbauten in den Straßenabläufen.....	20
Abbildung 3.8: Flächenmarkierung zur Sicherung der Zugänglichkeit der Straßenabläufe.....	21
Abbildung 3.9: Messprojekt BSR-Hof Treffurter Straße mit Reinigungsanlagen	22
Abbildung 3.10: Einweisung Betriebspersonal BSR/BWB	23
Abbildung 3.11: Leistungsprotokoll BSR Clayallee	24
Abbildung 3.12: Leistungsprotokoll BSR Treffurter Straße, wöchentlich	24
Abbildung 3.13: Protokoll Clayallee, monatlich	25
Abbildung 3.14: Protokoll BSR-Betriebshof Treffurter Straße, monatlich	26
Abbildung 3.15: Aufbau des Messschachts mit Steckrinne, Radarsonde und Probenehmer.....	28
Abbildung 3.16: Abflussdiagramm mit Probenahmezeitpunkten und definierten Zeitraum	32
Abbildung 3.17: Fließbild Teststand	33
Abbildung 3.18: Fließbild Teststand für die Schwermetalluntersuchungen	34
Abbildung 3.19: Prüfstoffe: Millisil W4, Kies-Sand-Gemisch, PE-Granulat, PS-Granulat, Rindenmulch (von links nach rechts)	36
Abbildung 3.20: Ansicht von Betriebsprotokolldaten im Webbrowser. Hier: INNOLET im Straßenablauf 4 in der Treffurter Str.	40
Abbildung 3.21: Graphische Darstellung gemessener Zeitreihen im Webbrowser. Hier: Wasserstände (in cm) in den Messschächten der Clayallee.....	41
Abbildung 3.22: Konzept von SEWSYS	43
Abbildung 3.23: Lage der Regenschreiber im Südwesten Berlins	44
Abbildung 3.24: STORM-Modell Pücklerteich	46
Abbildung 3.25: Systemgrenzen der Ökobilanz	51
Abbildung 3.26: Eco.RWB, Eingabemaske Basisdaten für die Berechnung	58
Abbildung 3.27: Eco.RWB, Eingabemaske Maßnahmen am Beispiel INNOLET-G Berlin	59
Abbildung 4.1: Chronik der Protokollierung auf dem BSR-Betriebshof in der Treffurter Straße	60
Abbildung 4.2: Eintrag Blätter, Gitterrost.....	62
Abbildung 4.3: Blüteneintrag Gitterrost und Straßenablauf.....	62

Abbildung 4.4: Anströmung und Umfluss am Straßenablauf	63
Abbildung 4.5: Eimer gefüllt mit Laub, groß, klein (links, Mitte), Eintrag Laub Aufhängung INNOLET-G (rechts)	63
Abbildung 4.6: Standardsaugrüssel DN 150 Baggerversaugwagen BSR (links), Reduzierung für Reinigung BUDAVINCA Typ-N auf DN 70 (rechts)	64
Abbildung 4.7: Standardsaugrüssel DN 150 Baggerversaugwagen BSR (links), Reduzierung für Reinigung BUDAVINCA Typ-N auf DN 70 (rechts)	64
Abbildung 4.8: Überläufe bei Separationsstraßenablauf ACO (links), BUDAVINCI Typ-N verdeckt (rechts)	65
Abbildung 4.9: Doppelkegelkappe als Überlauf für INNOLET-G	65
Abbildung 4.10: INNOLET-G Berlin, Filterpatrone und Reinigungsanlage, direkt mit Baggerversaugwagen verbunden.....	66
Abbildung 4.11: BUDAVINCI Typ-N, Filterpatrone gereinigt (links), Zulauf unten verschmutzt (rechts)	67
Abbildung 4.12: BUDAVINCI Typ-N, Reinigungsanlage mit Wasserrückgewinnung auf einen LKW montiert, externer Dienstleister.....	67
Abbildung 4.13: Niederschlagsereignisse „Wil a“ zu beprobten Ereignissen.....	70
Abbildung 4.14: Zulauf Konzentration der ersten Probe (AFS, AFS _{fein} , CSB)	72
Abbildung 4.15: Zulaufkonzentration 60-Minuten-Verlauf (AFS).....	73
Abbildung 4.16: Zulauf, frachtgewichtete Konzentration (c _F -Wert), (AFS, AFS _{fein} , CSB).....	73
Abbildung 4.17: Zulauf, frachtgewichtete Konzentration (c _F -Wert), (P _{ges} , Zink, Kupfer)	74
Abbildung 4.18: Clayallee: Laubeintrag aus angrenzendem Waldstück im Winter 2014/15	75
Abbildung 4.19: Zulauf- und Ablaufkonzentrationen 60-Minuten-Verlauf (MW), (AFS, AFS _{fein} , CSB) n: Anzahl der jeweils zur Verfügung stehenden Proben.....	77
Abbildung 4.20: Leitfähigkeit und pH-Wert aller Proben über den gesamten Messzeitraum	78
Abbildung 4.21: Rückhalt-Betrachtung Ereignis am 10.09.2014.....	80
Abbildung 4.22: AFS-Rückhalt aus c _F -Werten bezogen auf Zulauf	81
Abbildung 4.23: AFS _{fein} -Rückhalt aus c _F -Werten bezogen auf Zulauf	81
Abbildung 4.24: CSB-Rückhalt aus c _F -Werten bezogen auf Zulauf	82
Abbildung 4.25: P _{ges} -Rückhalt aus c _F -Werten bezogen auf Zulauf	82
Abbildung 4.26: Zink-Rückhalt aus c _F -Werten bezogen auf Zulauf	83
Abbildung 4.27: Kupfer-Rückhalt aus c _F -Werten bezogen auf Zulauf.....	84
Abbildung 4.28: Clayallee: Korrelation der Messergebnisse der untersuchten Parameter	85
Abbildung 4.29: Clayallee: Korrelation der Messergebnisse der untersuchten Parameter	86
Abbildung 4.30: Niederschlagsereignisse „Hsch“ zu beprobten Ereignissen	90
Abbildung 4.31: Konzentration der ersten Probe vor INNOLET-Einbau (AFS, AFS _{fein} , CSB)	91
Abbildung 4.32: Konzentration der ersten Probe nach INNOLET-Einbau (AFS, AFS _{fein} , CSB)	91
Abbildung 4.33: Ablaufkonzentration 95-Minuten-Verlauf vor INNOLET-Einbau (linke Abb.) und nach INNOLET-Einbau (rechte Abb.)	93
Abbildung 4.34: frachtgewichtete Konzentration vor INNOLET-Einbau (c _F -Wert), (AFS, AFS _{fein} , CSB)	94
Abbildung 4.35: frachtgewichtete Konzentration nach INNOLET-Einbau (c _F -Wert), (AFS, AFS _{fein} , CSB)	94
Abbildung 4.36: frachtgewichtete Konzentration vor INNOLET-Einbau (c _F -Wert), (P _{ges} , Zink, Kupfer)	95

Abbildung 4.37: frachtgewichtete Konzentration nach INNOLET-Einbau (c _F -Wert), (P _{ges} , Zink, Kupfer)	95
Abbildung 4.38: Streugut-Box, Laub-Sammelstelle, Waschplatz.....	96
Abbildung 4.39: Leitfähigkeit und pH-Wert aller Proben über den gesamten Messzeitraum (Markierung trennt die beiden Messzeiträume vor und nach INNOLET-Einbau)	98
Abbildung 4.40: Treffurter Straße: Korrelation der Messergebnisse der untersuchten Parameter.....	100
Abbildung 4.41: Nassgully ohne Grobstoffeimer Millisil-Ablaufkonzentration	101
Abbildung 4.42: Nassgully mit Grobstoffeimer Millisil-Ablaufkonzentration	103
Abbildung 4.43: ACO SSA Millisil-Ablaufkonzentration.....	105
Abbildung 4.44: INNOLET-G S1 Millisil-Ablaufkonzentration.....	107
Abbildung 4.45: INNOLET-G S2 Millisil-Ablaufkonzentration.....	109
Abbildung 4.46: INNOLET-G S1 Ablaufkonzentrationen für Kupfer (links) und Zink (rechts).....	111
Abbildung 4.47: INNOLET-G S1 Ablaufkonzentrationen für Kupfer und Zink unter Salzeinfluss	113
Abbildung 4.48: BUDAVINCI Millisil-Ablaufkonzentration	114
Abbildung 4.49: BUDAVINCI Ablaufkonzentrationen für Kupfer (links) und Zink (rechts)	116
Abbildung 4.50: BUDAVINCI Ablaufkonzentrationen für Kupfer und Zink unter Salzeinfluss	117
Abbildung 4.51: Vergleich der Rückhalte-Werte der am Teststand untersuchten dezentralen Anlagen	118
Abbildung 4.52: Frachtrückhalt AFS Straßenablauf Clayallee, Markierung Rückhalt Status Quo.....	124
Abbildung 4.53: Frachtrückhalt CSB Straßenablauf Clayallee, Markierung Rückhalt Status Quo	125
Abbildung 4.54: Frachtrückhalt P _{ges} Straßenablauf Clayallee, Markierung Rückhalt Status Quo	125
Abbildung 4.55: Frachtrückhalt Zn Straßenablauf Clayallee, Markierung Rückhalt Status Quo	126
Abbildung 4.56: Frachtrückhalt Cu Straßenablauf Clayallee, Markierung Rückhalt Status Quo	126
Abbildung 4.57: Frachtrückhalt dezentrale Anlagen im EZG Pücklerteich mit Straßenreinigung 1x Woche (StrReinEff. 40 %).....	129
Abbildung 4.58: Rückhalt AFS dezentrale Systeme EZG Pücklerteich, StrReinEff. 10&70 %	129
Abbildung 4.59: Rückhalt AFS zentrale Systeme EZG Pücklerteich, StrReinEff. 10&70 %	130
Abbildung 4.60: Rückhalt P _{ges} dezentrale Systeme Pücklerteich, StrReinEff. 10&70 %	130
Abbildung 4.61: Rückhalt P _{ges} zentrale Systeme Pücklerteich, StrReinEff. 10&70 %	131
Abbildung 4.62: Direkter Vergleich der Maßnahmen für Eutrophierung Süßwasser anhand der verbleibenden P-Fracht ins Gewässer.....	132
Abbildung 4.63: Direkter Vergleich der Maßnahmen für Ökotoxizität Süßwasser anhand der Frachten von Cu und Zn ins Gewässer	133
Abbildung 4.64: Direkter Vergleich der Maßnahmen im kumulierten Energieaufwand (fossil)	134
Abbildung 4.65: Direkter Vergleich der Maßnahmen im kumulierten Energieaufwand (nuklear)	135
Abbildung 4.66: Direkter Vergleich der Maßnahmen im Treibhauseffekt	136
Abbildung 4.67: Normalisierte Umweltbewertung für alle Maßnahmen	137
Abbildung 4.68: Ökoeffizienz der Maßnahmen: Aufwand-zu-Nutzen-Verhältnis (hier: zusätzlicher Treibhauseffekt pro kg vermiedene P-Emission).....	138
Abbildung 4.69: Fallstudie Pücklerteich: verminderte Eutrophierung über P-Emissionen für alle Maßnahmen.....	139
Abbildung 4.70: Fallstudie Pücklerteich: verminderte Ökotoxizität über Cu/Zn-Emissionen für alle Maßnahmen.....	140

Abbildung 4.71: Fallstudie Pücklerteich: kumulierter Energieaufwand (fossil, netto) für alle Maßnahmen.....	140
Abbildung 4.72: Fallstudie Pücklerteich: Treibhauseffekt (netto) für alle Maßnahmen.....	141
Abbildung 4.73: Fallstudie Pücklerteich: Ökoeffizienz als Verhältnis von Aufwand und Nutzen (hier: zusätzlicher Treibhauseffekt pro kg vermiedene P-Emission)	142
Abbildung 4.74: Kostenvergleich dezentraler Anlagen	148
Abbildung 4.75: Kostenvergleich dezentraler und zentraler Anlagen	150

Abkürzungsverzeichnis

$A_{E,k}$	kanalisierte Einzugsgebietsfläche
A_{red}	reduzierte Einzugsgebietsfläche (nach ATV-DVWK-A 128)
A_u	undurchlässige Einzugsgebietsfläche (nach ATV-DVWK-A 128)
AFS	abfiltrierbare Stoffe
AFS_{fein}	abfiltrierbare Stoffe (Feinanteil) < 63µm
c_F	frachtgewichtete Konzentration
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
Cu	Kupfer
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DSWT	„decentralised storm water treatment“ Akronym des Projekts „Dezentrale Reinigung von Straßenabflüssen“
EZG	Einzugsgebiet
LF	Leitfähigkeit
Max	Maximum
MID	Magnetisch-induktiver Durchflussmesser
Min	Minium
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
MW	Mittelwert
N	Niederschlag
PE	Polyethylen
P_{ges}	Summe aller Phosphorverbindungen
PS	Polystyrol
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
RBF	Retentionsbodenfilter
RKB	Regenklärbecken
r_{krit}	kritische Regenspende
RS	Regenschreiber
TP	Teilprüfung
Zn	Zink

Arbeitspakete

Projektleitung und Koordination:	TU Berlin, FG Siedlungswasserwirtschaft
Betriebliche Untersuchungen:	Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, BSR, BWB
Messprogramm in situ:	TU Berlin, FG Siedlungswasserwirtschaft
Messprogramm Teststand:	TU Berlin, FG Siedlungswasserwirtschaft
Datenmanagement:	Kompetenzzentrum Wasser Berlin
Schmutzfrachtsimulation:	Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH
Ökobilanz:	Kompetenzzentrum Wasser Berlin
Kostenvergleichsrechnung:	Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH

1 Einleitung

Um einen guten Gewässerschutz zu gewährleisten und damit die Ziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie umzusetzen, müssen auch die stofflich oft unterschätzten Niederschlagsabflüsse aus dem Trennsystem behandelt werden. Der Gesetzgeber hat im neuen Wasserhaushaltsgesetz § 55 geregelt, dass Niederschlagswasser entweder ohne Vermischung über eine Kanalisation abgeleitet werden soll, ortsnah versickert oder direkt (in Gräben) abgeführt wird. Der Neubau von Mischsystemen ist nicht mehr zugelassen.

Die Belastung der Gewässer durch direkte Einleitung von Niederschlagswasser steigt, da dessen Verschmutzung u.a. durch das steigende Verkehrsaufkommen zunimmt. Vor allem Straßenabflüsse von Kreuzungen und auch Abflüsse von viel genutzten Parkplatzflächen können eine hohe Schadstoffbelastung aufweisen. Seit einigen Jahren wird deshalb in den meisten Bundesländern zwischen „nicht behandlungsbedürftigem“ und „behandlungsbedürftigem“ Niederschlagswasser unterschieden. Behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser stammt überwiegend von Verkehrsflächen, die nach Angaben des Statistischen Bundesamtes annähernd 50 % der versiegelten Flächen in Deutschland ausmachen. Der Schadstoffeintrag von Wohn- oder Gewerbeflächen ist dagegen weitaus geringer. Daher steht die Behandlung von Niederschlagswasser von Verkehrsflächen zunehmend im Fokus.

Anlagen zur Niederschlagswasserbehandlung werden bislang überwiegend „zentral“ am Auslass der Kanalisation angeordnet, die unterschiedlich belastete Flächen gemeinsam entwässern. Als zentrale Niederschlagswasserbehandlung kommen bisher Regenrückhaltebecken (RRB), die vorwiegend hydraulisch wirken, Regenklärbecken (RKB) mit und ohne Dauerstau, Retentionsbodenfilter (RBF) sowie Abscheideanlagen nach RiStWag zum Einsatz. Zur Nachrüstung bestehender Becken kommen Lamellenabscheider und technische Filteranlagen zur Anwendung.

Besonders im dicht besiedelten urbanen Raum ist eine zentrale Behandlung von Straßenabflüssen aus Platzgründen nicht immer möglich. Um dennoch behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser zu reinigen, stellen dezentrale Reinigungsanlagen eine Alternative und Ergänzung dar. Es existieren unterschiedliche Systeme auf dem Markt, welche auf dem Prinzip der Abscheidung durch Sedimentation, Filtration und Adsorption oder auf einer Kombination dieser Verfahren basieren. Als neue Sonderformen stehen Trägermaterialien wie Zeolithe, Zero-valentes Eisen (GEH) z.B. für die Behandlung von Niederschlagswasser, das von Kupferdächern stammt zur Verfügung.

In einigen Projekten wurden dezentrale Reinigungsanlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen bereits untersucht, meistens unter kontrollierten Randbedingungen.

Um an die gewonnenen Ergebnisse anzuknüpfen und weitere Erfahrungen über ihre Leistung in situ und deren Betriebsaufwand zu sammeln, wurde am Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der TU Berlin in enger Kooperation mit der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH (IPS), dem Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB), den Berliner Wasserbetrieben (BWB) und der Berliner Stadtreinigung (BSR) das Projekt „Dezentrale Reinigung von Straßenabflüssen“ bearbeitet.

Die Ziele des Projektes bestanden darin, Aussagen über verschiedene Technologien zur dezentralen Reinigung von Straßenabflüssen hinsichtlich der stofflichen Rückhalteleistung und dem Betriebsverhalten zu treffen. Dafür wurden im öffentlichen Straßenraum in Berlin (Clayallee) sowie auf einem Betriebshof der Berliner Stadtreinigung verschiedene Systeme untersucht. Zusätzlich erfolgte eine Untersuchung der Anlagen unter definierten und reproduzierbaren Bedingungen an einem Teststand. Die Ergebnisse wurden mit den Erkenntnissen der in situ Untersuchung verglichen. Weiterhin wurden abschätzende Modellierungen auf Einzugsgebietsebene, eine Kostenvergleichsrechnung sowie eine Ökobilanz erstellt. Das Projekt lief vom 01.11.2012 bis zum 30.09.2015.

2 Möglichkeiten der dezentralen Behandlung von Straßenabflüssen

Anlagen zur Regenwasserbehandlung werden bislang überwiegend „zentral“ am Auslass der Kanalisation angeordnet, die unterschiedlich belastete Flächen (Straßen, Gewerbeflächen, Wohngebiete, etc.) gemeinsam entwässert. Am Auslass fällt damit „vermischt“ Niederschlagswasser in großer Menge, aber mit nur mäßiger Verschmutzung an. Dieses zu behandeln erfordert große Anlagen, ist teuer und nicht effizient. Zudem fehlt oft, insbesondere in Städten, der dafür notwendige Platz. Alternativ könnte das verschmutzte Straßenabwasser ortsnah vor Einleitung in das Trennsystem gereinigt werden. Dafür können verschiedene Maßnahmen angewendet werden. Zum Einen kann die Behandlung punktuell im Straßenablauf als auch linienförmig über eine Filterrinne erfolgen. Im Straßenablauf ist eine Nachrüstung mit einem Filterelement oder ein Ersatzneubau möglich. Zum Anderen besteht je nach Platzverfügbarkeit die Möglichkeit das Regenwasser über das Bankett durch Mulden bzw. Mulden-Rigolen-Elementen oder verknüpften Elementen zu reinigen. Angeschlossene Flächen >400 m² können durch verknüpfte Systeme oder größere Anlagen behandelt werden. Beispiele vor allem zur punktuellen Behandlung durch technische Anlagen werden im Kapitel 2.2 näher beschrieben.

2.1 Bedeutung und Konzentration von Straßenabflüssen

Straßenabflüsse weisen je nach Einzugsgebiet unterschiedliche Stoff-Zusammensetzungen auf. Die Beschaffenheit des Straßenabflusses wird von Verkehrsaufkommen, Fahrweise, Straßenreinigung, Vegetation, Bautätigkeit und angrenzenden Flächen bzw. der Randbebauung beeinflusst. Zusätzlich können Trockenperioden, verschiedene Niederschlagsintensitäten und Verwehungen von Stoffen auf die Zusammensetzung des Straßenabflusses Einfluss nehmen.

In Tabelle 2.1 werden Stoffe, die verkehrsbedingt auf der Fahrbahn auftreten können nach den jeweiligen Stoffquellen dargestellt.

Tabelle 2.1: anfallende Stoffe auf Verkehrsflächen und deren Quellen nach [RiStWag 2002] (angepasst)

Stoffquelle	Stoffe
Abgase	Stickoxide (NO_x), Kohlenstoffoxide (CO_x), Ruß (Kohlenstoff, Blei, Schwefel, Chlor, Magnesium, Natrium, Kupfer, Zink), Kohlenwasserstoffe (PAK), Phenole, polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD), Dibenzofurane (PCDF)
Abrieb von Fahrbahnbela gen	Silicium, Calcium, Magnesium, Chrom, Nickel, Bitumen
Reifenabrieb	Kohlenwasserstoff, Zink, Schwefel, Chlor, Eisen, Calcium, Silicium, Magnesium, Kupfer, Blei, Cadmium
Abrieb von Bremsbelägen	Kohlenwasserstoff, Eisen, Magnesium, Barium, Silicium, Schwefel, Titan, Chrom, Vanadium, Nickel, Kupfer, Zink
Stoffe von Katalysatoren	Platin, Rhodium, Palladium
Tropfverluste	Öle, Kraftstoffe, Bremsflüssigkeit, Frostschutzmittel, Fette, Unterbodenschutz, Wasch- und Konservierungsstoffe
Verdampfungsverluste	Kohlenwasserstoffe
Korrosionsprodukte	Eisen, Cadmium, Zink, Kupfer
Streumittel	Salze: Natrium-, Calcium-, Magnesiumchlorid; Streusplitt: z.B. Grauwacke

Der Gehalt und die Zusammensetzung der abfiltrierbaren Stoffe (AFS) im Straßenabfluss sind stark von den Randbedingungen des Einzugsgebiets und den Belastungsquellen beeinflusst. AFS bestehen aus anorganischen und organischen Stoffen. Die Feststoffe stammen größtenteils aus Staubbildung, Fahrbahn-, Brems- und Reifenabrieb. Des Weiteren werden Stoffe durch das Streugut im Winter eingetragen sowie Sand, Kies und Split von Baustellen und unversiegelten Flächen. Die organischen Feststoffe setzen sich zum größten Teil aus Laub und Ästen zusammen und fallen meist im Herbst an. Durch einen hohen Vegetationsbestand im unmittelbaren Einzugsgebiet kann es zu erhöhten Nährstoffkonzentrationen und sauerstoffzehrenden Bestandteilen sowie einem erhöhten Organikanteil der abfiltrierbaren Stoffe kommen. Der Eintrag von Straßenabflüssen mit leicht abbaubaren organischen Verbindungen kann im Gewässer zu einem Abfall des Sauerstoffgehaltes führen, da Mikroorganismen die Organik schnell abbauen und dabei den gelösten Sauerstoff nutzen. Zusätzlich können hohe Nährstoffeinträge (Phosphor) zur

Eutrophierung von Gewässern führen. Der in Niederschlagsabflüssen vorkommende Phosphor kann durch Auswaschung von Böden, aus Pflanzenresten sowie Tierexkrementen stammen.

Ein hoher AFS-Gehalt sagt nichts über das Gefahrenpotential der Schadstoffe im Regenwasser aus. Jedoch ist er ein wichtiger Parameter für die Beschreibung der Niederschlagsabflüsse. Der Parameter AFS wird in letzter Zeit immer häufiger in AFS_{gesamt} und AFS_{fein} (< 63 µm) unterteilt. Aufgrund der hohen spezifischen Oberfläche von Partikel mit geringem Durchmesser lagern sich anorganische Stoffe wie Schwermetalle und organische Verbindungen wie PAK und MKW vermehrt an die Feinfaktion an [Schmitt et al. 2010], [Dierschke 2014]. In dem noch unveröffentlichten Arbeitsblatt DWA-A 102 „Anforderungen an Niederschlagsbedingte Siedlungsabflüsse“ wird der Parameter AFS bzw. AFS_{fein} als maßgebliche Bewertungsgröße definiert.

Straßenabflüsse können eine relativ hohe Konzentration von Schwermetallen aufweisen. Hier sind besonders Zink und Kupfer zu nennen. Zink und Kupfer können durch Abrieb von Reifen und Bremsbelägen sowie bei Korrosionsverlusten von Kraftfahrzeugen anfallen. Die verkehrsbedingten Kupferemissionen resultieren zu 99,5 % aus dem Abrieb von Bremsbelägen, während 78 % der Zinkemissionen aus dem Reifenabrieb stammen [UBA 2005]. Die Konzentrationen von Kupfer und Zink sind aufkommensrelevant, d.h. abhängig von der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV). Dabei spielt auch das Brems- und Beschleunigungsverhalten (z.B. an Ampelanlagen, Ein- und Ausfahrten, etc.) eine wesentliche Rolle, da ein höherer Reifen- und Bremsabrieb induziert wird [Huber et al. 2015a]. Weitere Eintragspfade können je nach Material Dach- und Fassadenflächen, Leitplanken und Rohrfosten von Verkehrsschildern darstellen. Das insgesamt auf den versiegelten, urbanen Oberflächen gemittelte Schmutzstoffpotential wird für Kupfer auf 203 g/(ha·a) und für Zink auf 1630 g/(ha·a) quantifiziert [UBA 2010]. Die Gefahr von Schwermetallen liegt, vor allem bei deren Anreicherung, in ihrer toxischen Wirkung auf Lebewesen. Akute Wirkungen von Zink treten in Gewässern für Fische erst bei relativ hohen Konzentrationen von 1-2 mg/L auf. Eine Hemmung tritt bei Phytoplankton und Blaualgen jedoch deutlich früher auf, auf Grund dessen eine ökotoxikologische Relevanz von Zink ab einer Konzentration von 0,5 bis 2 µg/L angenommen wird. Kupfer wirkt ab 100 µg/L toxisch für Bakterien und Algen. Bei Blaualgen findet eine Hemmung ab 0,2 µg/L statt. Man geht in Gewässern von einer ökotoxikologischen Relevanz ab 0,05 µg/L aus. [Schmitt et al. 2010]

Polycyclische Aromatische Kohlenstoffverbindungen (PAK) entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material, stammen aus Abgasen der Motoren, Reifenabrieb und aus Asphaltrückständen. Sie sind größtenteils anthropogenen Ursprungs und ubiquitär nachweisbar. PAK haben ein hohes Anreicherungspotential in aquatischen Organismen. Im Vordergrund steht eine chronische Wirkung. Akut toxische Wirkungen werden in der Literatur für die aquatische Umwelt ab Werten von 200 bis 10.000 µg/L (gelöst) angegeben. [Schmitt et al. 2010]

Bei Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) handelt es sich um unpolare Kohlenwasserstoffe mit einer Kettenlänge von C5 bis C44. Sie gelangen meist über den Tropfverlust von Öl oder Kraftstoff von Fahrzeugen auf die Straße. Die MKW stellen eine Gefahr für das Grundwasser dar. Aufgrund ihrer geringen Löslichkeit verteilen sich die MKW in sehr geringen Konzentrationen auf der Wasseroberfläche und können den Gasaustausch vermindern. Wasserorganismen können durch verkleben der Atmungsorgane geschädigt werden. [Schmitt et al. 2010]

In Abbildung 2.1 sind Boxplots der Stoffe AFS, CSB, P_{ges} , Zink und Kupfer dargestellt. Die Daten stammen von 10 bis 35 verschiedenen Messprogrammen, größtenteils aus Europa und den USA. Zusammengefasst sind die abflussgewichteten Mittelwerte. Der Großteil der Daten stammt von Oberflächen von stark befahrenen Straßen wie Autobahnen, Highways oder großen Innenstadtstraßen. Es sind aber auch Untersuchungen von sehr gering belasteten bis sehr stark belasteten Oberflächen vertreten. Für AFS werden Mittelwerte von 33 mg/L bis 763 mg/L erreicht. Der Median liegt bei 210 mg/L. Für den Parameter CSB reichen die Werte von 49 bis 136 mg/L. Der Median beträgt 107 mg/L. Für den Parameter P_{ges} werden Mittelwerte von 0,3 bis 13 mg/L angegeben. Der Median der 8 Messprogramme beträgt 0,95 mg/L. Bei Zink liegt das Minimum bei 0,32 mg/L, das Maximum bei 0,69 mg/L und der Median bei 0,49 mg/L. Die Spannweite von Kupfer liegt bei 0,02-0,13 mg/L. Der Median beträgt 0,1 mg/L.

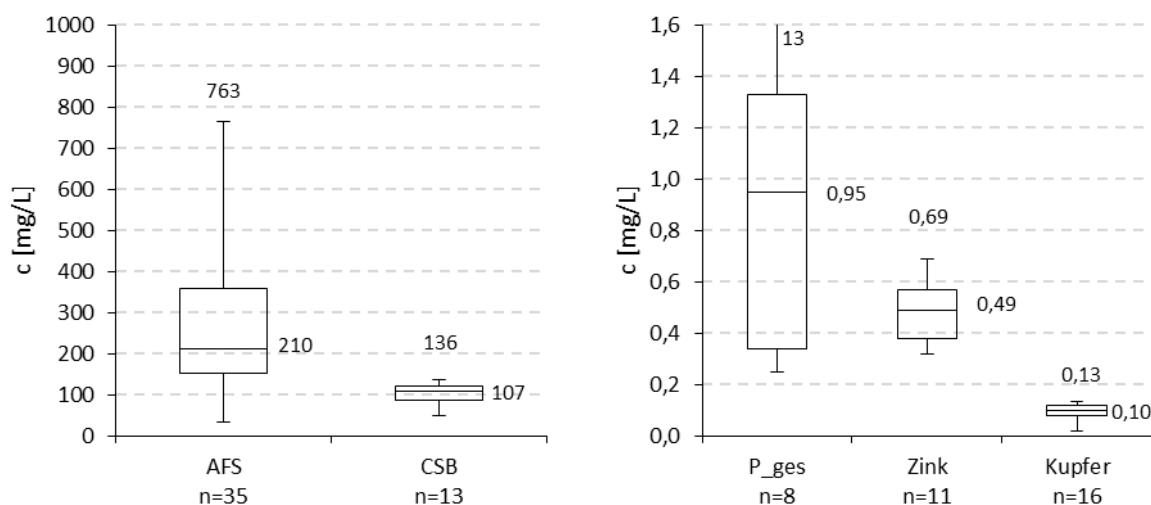


Abbildung 2.1: Literaturvergleich: Abflusskonzentrationen verschieden stark belasteter befestigter Flächen nach [Sommer 2007], [Kasting 2002], [Dierkes 2006], [Dierschke 2014], [Barret et al. 1995] n: Anzahl der Messprogramme

Vergleicht man die Mediane des Literaturvergleichs für AFS, CSB, Pges, Zink und Kupfer mit den definierten Schwerpunktswerten aus Schmitt et al. (2010), bei denen zum Teil die gleichen Studien berücksichtigt wurden, resultieren für den Verkehrsflächenabfluss ähnliche Werte. Dies trifft jedoch nicht auf den Parameter P_{ges} zu, der bei dem Literaturvergleich mit relativ hohen Werten angegeben wird.

Tabelle 2.2: Schwerpunktswerte des Verkehrsabflusses nach [Schmitt et al. 2010]

	AFS [mg/L]	AFS _{fein} [mg/L]	CSB [mg/L]	P _{ges} [mg/L]	Zink [mg/L]	Kupfer [mg/L]	PAK [mg/L]	MKW [mg/L]
Schwerpunkt	200 (60-400)	100	100 (30-150)	0,5 (0,2-1,2)	0,44 (0,2-0,6)	0,08 (0,03-0,25)	2,5 (1,5-7,0)	1,0 (1,0-5,0)

(Vertrauensbereich)

2.2 Dezentrale Anlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen

Dem Gedanken einer ortsnahen Behandlung von stark belastetem Regenwasserabflüssen folgend, wurden in den letzten Jahren Reinigungssysteme für den dezentralen Einsatz, insbesondere für Straßenablaufwasser, entwickelt. Die Bandbreite reicht von Filtern direkt im Straßenablauf (Gully) bis zu Anlagen, die den Abfluss von Flächen bis zu einer Größe von 5.000 m² zusammenfassend reinigen. Eine Anwendung auf privaten Flächen ist grundsätzlich, je nach Reinigungsbedürftigkeit, auch möglich. Nicht berücksichtigt werden bislang Einträge aus Pestiziden und Herbiziden von Dachflächen und Fassaden. Dazu sind allerdings spezielle Maßnahmen der Reinigung, bzw. der Vermeidung der Verwendung dieser Schadstoffe erforderlich, da eine Rückhaltung mit derzeit zur Verfügung stehenden Technologien schwierig oder gar nicht möglich ist. Diese wurden in diesem Projekt nicht berücksichtigt. Vorhandene Messergebnisse zu den genannten Substanzen finden sich im Abschlussbericht des UEP II/2-Projektes OgRe.

Im Rahmen des EU Interreg North Sea Region IIIb Vorhabens Urban Water Cycle wurde im Jahr 2009 eine Broschüre „Dezentrale Reinigung von Straßenabflüssen“ erarbeitet. Diese bot einen Überblick über zu diesem Zeitpunkt verfügbare Anlagen der dezentralen Reinigung. Im Herbst 2015 wurde die innerhalb des Projektes überarbeitete 3. Auflage veröffentlicht. Darin werden die derzeit auf dem Markt existierenden Systeme zur dezentralen Reinigung von Straßenabflüssen vorgestellt und hinsichtlich Funktionsprinzip, Wirkungsgrad und Kosten verglichen [Sommer et al. 2015].

Tabelle 2.3: Übersicht der Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung hinsichtlich ihrer Funktionsweise

Produkt	Funktionsweise	Retention	auf definierte Jährlichkeit bemessen	Grobsiebung (Maschenweite kleiner 5 mm)	Sedimentation	hydraulische Abscheidung	Leichtflüssigkeits-abscheidung	Filtration	Rückhaltung gelöster Schwermetalle
Versickerungsanlagen	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
INNODRAIN	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
D-Rainclean	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
BIRCOpur	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
DRAINFIX CLEAN	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
MEA Clean/ Vivo Channel	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
Hydroclean/ Hydrosystem/ Eurofiltrator/ Hydro-Filt	⌚			⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
FiltaPex				⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
SediPipe/ SediSubstrator				⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
Certaro HDS Pro mit Certaro Substratfilter				⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
Up-Flo Filter				⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
ViaPlus Substratfilter				⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
Purasorp				⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
Schwermetall- Adsorptionsfilterschacht ESAF				⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
Sickerschachteinlagen								⌚	⌚
BUDAVINCI				⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
CENTRIFOEL/ AQUAFOEL				⌚	⌚	⌚	⌚		
Rigo-clean				⌚	⌚	⌚	⌚		
Separationsstraßenablauf Combi-point (ACO SSA)				⌚	⌚				
INNOLET Filterpatrone				⌚	⌚			⌚	⌚
INNOLET G Filterpatrone				⌚	⌚	⌚	⌚	⌚	⌚
ENVIA-CRC				⌚	⌚	⌚			
GIGANT Filtersack				⌚	⌚			⌚	

Produkt	Funktionsweise	Retention auf definierte Jährligkeit bemessen	Gros siebung (Maschenweite Kleiner 5 mm)	Sedimentation	hydrodynamisch e Abscheidung	Leichtflüssigkeits -abscheidung	Filtration	Rückhaltung gelöster Schwermetalle
Lamellenklärer ViaTub				↓↓		↑↑		
Galaxie ⁽¹⁾ / Oleotop					□	↑↑	█ ⁽¹⁾	

Die Systeme werden in der Broschüre kategorisiert für Nachrüstung im Bestand oder nach Neubaumaßnahmen. Weiterhin werden allgemeine Anmerkungen zum Bau als auch einzelne Betriebskontrollpunkte und Wartungsintervalle ausgearbeitet.

Es werden ebenfalls Zulassungen bzw. Prüfsiegel nach unterschiedlichen Prüfverfahren für die dargestellten Produkte aufgeführt. Danach vergibt das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) eine Bauartzulassung für Anlagen zur Vorreinigung von Niederschlagsabflüssen vor Einleitung in das Grundwasser. Eine der Hauptprüfungen ist die Rückhalteleistung mit dem Prüfmateriel Millisil W4 auf dem Prüfstand. Weiterhin erfolgen Feststellungen der Rückhalteleistungen für Schwermetalle im Labor. Auch die Materialverwendung wird in die Prüfung einbezogen.



Abbildung 2.2: Broschüre „Dezentrale Behandlung von Straßenabflüssen“ [Sommer et al. 2015]

Die aktuelle Broschüre ist auf der Webseite der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH (www.sieker.de) unter der Rubrik „Veröffentlichungen“ erhältlich.

Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) in Nordrhein-Westfalen lässt Produkte von unabhängigen Prüfinstituten untersuchen und erteilt gemäß Trennerlass Zulassungen für Anlagen, die belastetes Niederschlagswasser reinigen und in Oberflächengewässer in Nordrhein-Westfalen einleiten. Dies beinhaltet sowohl eine gegenüber dem DIBt-Verfahren erweiterte Prüfstands- als auch in situ Betriebsuntersuchen. Solche Untersuchungen werden bspw. vom Institut für unterirdische Infrastruktur (IKT) durchgeführt und mit Erteilung einer Prüfplakette dokumentiert.

Unter den folgenden Links werden die untersuchten und positiv bewerteten Produkte gelistet.

https://www.dibt.de/de/zv/NAT_n/zv_referat_II3/SVA_84.htm

<http://www.lanuv.nrw.de/umwelt/wasser/abwasser/niederschlagswasser/dezentrale-systeme/>

<http://www.ikt.de/pruefstelle/regenwasser-behandlung/>

Weiterhin gibt es vielfache Laboruntersuchungen der Hersteller. Einige Anlagen besitzen eine DIBt-Zulassung für die Anwendung vor Versickerung. Allerdings fehlt es bislang auch an einem Prüfverfahren für Anlagen vor Einleitung in ein Oberflächengewässer, da die Prüfkriterien nicht definiert wurden.

Weitere Überblicke aus dem Jahr 2015 sind verfügbar. Zum Einen hat die Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzungen e. V. (fbr) eine Marktübersicht Regenwassernutzung und Regenwasserversickerung erstellt [Huber et al. 2015b]. Darin werden im Kapitel *Dezentrale Regenwasserbehandlungsanlagen* von kleinen dezentralen bis semi-zentrale Systeme aufgelistet. Zum Anderen hat die Technische Universität München eine Broschüre „Einführung in die dezentrale Niederschlagswasserbehandlung für Verkehrsflächen- und Metalldachabflüsse“ veröffentlicht [Huber et al. 2015b].

2.3 Auswahl vorangegangener Untersuchungen

In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Forschungs- und Versuchsprojekte zur dezentralen Regenwasserbehandlung durchgeführt und abgeschlossen. Im Folgenden werden ausgewählte Projekte kurz vorgestellt.

- NRW: Vorhaben des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW (MKUNLV), Projekt: „Dezentrale Niederschlagswasserbehandlung in Trennsystemen- Umsetzung des Trennerlasses“ [Werker et al. 2011]

- NRW: MKUNLV, Projekt: „Untersuchungen Straßenablauffilter INNOLET“, Hagen [Sommer et al. 2010]
- DBU Projekt: „INNOLET-G® (getaucht), Entwicklung und Erprobung der INNOLET-Filterpatrone zur Nachrüstung vorhandener Straßengullys mit Nassschlammfang“ [Sommer et.al. 2011]
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) Projekt: „Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren“ [Schmitt et.al. 2010]
- DBU Projekt: „Entwicklung eines dezentralen Behandlungssystems für hochbelastete Verkehrsflächenabläufe im urbanen Raum“, TU München [Hilliges 2007]

Die Untersuchungen im Projekt „Dezentrale Niederschlagswasserbehandlung in Trennsystemen - Umsetzung des Trennerlasses“ bezogen sich im Wesentlichen auf die betrieblichen Untersuchungen im Einsatz vor Ort. Dort wurden Erfahrungen hinsichtlich Betrieb und Wartung gesammelt. Zusätzlich wurden Untersuchungen an einem Prüfstand zur Leistungsfähigkeit der Anlagen durchgeführt. Hier wurden zum ersten Mal sowohl betriebliche Daten als auch die Leistung auf dem Prüfstand ermittelt und in Zusammenhang gesetzt. [Werker et al. 2011]

Im Vorhaben „Untersuchungen Straßenablauffilter INNOLET“ wurden straßenablaufbezogene, nachrüstbare INNOLET-Filter in eine Straße in Hagen eingebaut, die zusammen mit wenig belasteten Abflüssen von Nebenstraßen und Dachflächen in ein Gewässer einleiten. Hier wurden nur die behandlungsbedürftigen Flächen mit Filtern ausgerüstet. Es fanden 14-tägliche betriebliche Untersuchungen und monatliche stoffliche Beprobungen statt. Durch die Kombination der Untersuchungen konnte ein gutes Bild über die Leistungsfähigkeit (ca. 60 % Rückhalt) und den Betrieb der Anlagen (Anlagen im Bestand mit Laub) erhalten werden. [Sommer 2010]

In einem weiteren Projekt in Hamburg („INNOLET-G® (getaucht), Entwicklung und Erprobung der INNOLET-Filterpatrone zur Nachrüstung vorhandener Straßengullys mit Nassschlammfang“) wurde ein Nachrüstfilter für vorhandene Straßenabläufe mit Nassschlammfang entwickelt. Die Ergebnisse der Versuche zeigen, dass eine gleichzeitige Untersuchung von Filter in situ und auf einem Teststand sinnvoll ist. Zudem konnte die in situ gemessene Leistungsfähigkeit von 65-70% auf dem Teststand bestätigt werden. [Sommer et al. 2011]

Das DBU-Vorhaben „Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren“ zielte auf die Untersuchung der relevanten Parameter hinsichtlich deren zu erwartender Belastung und die Möglichkeit der Entwicklung eines Prüfverfahrens ab, das sämtliche Anlagen unterschiedlicher Größe und Gestaltung abdecken kann. Im Ergebnis kann gesagt werden, dass die Anlagen alle in ihrer Ausführung und Verfahrenskombination so unterschiedlich sind, dass ein einheitliches Prüfverfahren schwer zu finden ist. [Schmitt et al. 2010]

Von der TU München wurden noch weitere Untersuchungen zu Straßenablauf- und Schachtfiltern durchgeführt, die die Bestimmung der Reinigungsleistung und des Verhaltens von Filtermaterialien von Dach- und Straßenablaufwasser zum Ziel hatten. Die Versuche fanden *in situ* zum Einen auf einem Abschnitt des Mittleren Ringes statt. [Hilliges 2007] Zum Anderen wurden in München Untersuchungen zum Schwermetallrückhalt von Kupferdächern auf Privatflächen durchgeführt. [Sommer 2007] Neuere Laboruntersuchungen der TU München zeigen, dass durch Streusalzeintrag im Winter aus Substraten erhöhte Mengen an Schadstoffen ausgetragen werden könnten. Allerdings liegen dazu noch keine abschließenden Untersuchungen, vor allem auch *in situ*, vor, die eine Aussage zu Substraten im täglichen Einsatz ermöglichen. [Huber et al. 2015a]

Die durchgeführten, durchaus unterschiedlichen Untersuchungen haben die Erkenntnisse zur Funktion und Leistungsfähigkeit bewertet. Es erfolgten zum Teil betriebliche Untersuchungen sowie im Einzelfall Handprobenahmen. Eine umfassende und systematische Untersuchung von unterschiedlichen dezentralen Reinigungsanlagen *in situ* mit automatischer Abflussmessung und Probenahme ist aber bislang nicht bekannt.

3 Material und Methoden

3.1 Auswahl der Untersuchungsgebiete

Für die Durchführung des Messprogramms wurden gemeinsam mit allen Projektpartnern geeignete Standorte gesucht und festgelegt. Auswahlkriterien für die Standorte waren vor allem die Belastungsmerkmale, Vergleichbarkeit der einzelnen Straßenablaufeinzugsgebiete und die Zugänglichkeit. Der Fokus wurde auf eine höher belastete Straße mit Laub- und Blütenanfall gelegt. Weiterhin spielten praktische Gesichtspunkte zum Einbau und Betrieb der dezentralen Anlagen sowie zur Durchführung des begleitenden Messprogramms eine Rolle. Dafür wurden zwei unterschiedliche Pilotgebiete gewählt.

Zum Einen wurde eine Fläche im öffentlichen Straßenraum in Berlin (Clayallee) durch das Bezirksamt Steglitz/Zehlendorf zur Verfügung gestellt. Zu dieser lagen weitere Hintergrundinformationen zum Einzugsgebiet vor. Zum Anderen wurde durch den Projektpartner Berliner Stadtreinigung (BSR) die Installation von dezentralen Systemen auf dem Betriebshof Treffurter Straße in Berlin-Lichtenberg ermöglicht.

3.1.1 Messstrecke Clayallee im Einzugsgebiet Pücklerteich

Das Einzugsgebiet Pücklerteich befindet sich im Berliner Stadtbezirk Steglitz-Zehlendorf, am Ostrand des Grünewalds und entwässert im Trennsystem. Der Pücklerteich, Teich am Käuzchensteig und eine nachgeschaltete weitere natürliche Senke als Endpunkt mit Versickerung, gelegen in einer ehemaligen Toteisrinne, dienen dem Rückhalt und der Versickerung der Niederschlagsabflüsse aus dem angrenzenden Siedlungsgebiet mit ca. 141 ha Gesamtfläche. Davon sind nach Auswertung des Flächenanschlusses des Niederschlagswasserentgeltes der Berliner Wasserbetriebe und nach Einschätzung durch Vorortbegehungen ca. 41 ha befestigt und abflusswirksam. Das Gebiet ist vor allem durch großzügige Grundstücksflächen mit Wohnbebauung geprägt. Im Vergleich zu den Dach- und Hofflächen überwiegen die Straßenflächen mit 28,1 ha und besitzen einen Anteil von nahezu 70 % der befestigten Flächen. Die Hauptverkehrsflächen (> 5.000 Kfz/d) betragen immerhin 11,3 ha (28% von A_{E,k}) und verdeutlichen den großen Einfluss der Regenwasserabflüsse von Verkehrsflächen auf den Pücklerteich.

Tabelle 3.1: Angeschlossene Flächen nach BWB, Datenbank Niederschlagswasserentgelt

Flächenart	Flächen [ha]		[%]
Dach	9,3	9,3	22,6 %
Hof	3,6	3,6	8,8 %
Straße 0 - 5.000 Kfz/d	16,8		
Straße 5.000 - 15.000 Kfz/d	6,2	28,1	68,5 %
Straße >15.000 Kfz/d	5,1		
A _{E,k}	41,0	41,0	100 %
Ages	142,7	142,7	

Eingefasst wird das Einzugsgebiet von drei Hauptverkehrsachsen. Am westlichen Rand verläuft die Clayallee mit einer Verkehrsbelastung von rd. 30.000 Kfz/d, im Süden schließt sich die Königin-Luise-Straße mit rd. 7.500 Kfz/d an und östlich grenzt die Pacelliallee mit rd. 13.000 Kfz/d [SenStadtUm 2014]. Der Anteil des LKW-Verkehrs nimmt in der Pacelliallee rd. 2 % und in der Clayallee sowie Königin-Luise-Straße 1,6 bis 1,7 % ein.

Auf Grundlage der Berliner Verordnung über die Straßenreinigungsverzeichnisse und die Einteilung in Reinigungsklassen (Stand 2015) werden alle öffentlichen Straßen und Privatstraßen sowie Plätze des öffentlichen Verkehrs in verschiedene Straßenverzeichnisse und Reinigungsklassen unterteilt. Es lässt sich der manuelle und maschinelle Reinigungsaufwand für Straßen durch die Berliner Stadtreinigung (BSR) entnehmen. Danach wird der Abschnitt der Clayallee in die Reinigungsklasse 3 (RK 3) mit drei Reinigungen pro Woche eingestuft. Selbige Reinigungsklasse besitzt die Pacelliallee. Die Königin-Luise-Straße hingegen weist den größten Umfang mit fünf Reinigungen je Woche auf. Alle anderen Straßen im Gebiet haben die Reinigungsklasse 4 und werden 1-mal je Woche gereinigt.



Abbildung 3.1: Einzugsgebiet Pücklerteich kanalisiert und angeschlossen, markierter Abschnitt Clayallee

Als Untersuchungsstandort für die Messstudie wurde ein Abschnitt der Clayallee zwischen Pücklerstraße und Dohnenstieg gewählt. Dieser Standort repräsentiert ein städtisches Einzugsgebiet mit hoher Belastung durch Laubanfall von Eichen sowie Kiefernadeln und einer mittelstarken Verkehrsbelastung von 29.600 Kfz/d [SenStadtUm 2014]. Die vorherrschenden Belastungsmerkmale der Fahrbahnfläche sind an den einzelnen Straßenabläufen nahezu einheitlich. Der Straßenabschnitt in Asphaltbauweise befindet sich im Bereich des fließenden Verkehrs ohne Haltestellen für Omnibusse und ohne Kreuzungsbereiche, wodurch die Belastungen durch Abrieb und Ölverluste in Anfahrts- sowie Bremsbereichen nicht variieren. Dort hat die Clayallee zwei drei-streifige Fahrbahnen, die durch eine Mittelinse getrennt sind. Der in südlicher Fahrtrichtung rechte Fahrstreifen wird gelegentlich beparkt und ist dadurch wenig frequentiert. Neben dem angrenzenden Radweg befinden sich ein Grünstreifen von ca. 3,4 m Breite und dann ein Gehweg (Breite: 3,5 m). Innerhalb des Grünstreifens wurden sechs Messschächte eingebaut, die die Niederschlagsabflüsse der Straße aus den Straßenabläufen aufnehmen und das Messprogramm auf einem Abschnitt von 200 m Länge zulassen. Die bestehenden Straßenabläufe mit Quadrataufsatzen sind in Berlin allgemein verwendete Straßenabläufe, die nach Regelblatt 400 der Berliner Wasserbetriebe (BWB) als Straßenablauf mit Schlammraum ausgeführt wurden.

Vor Ort weist jeder Straßenablauf eine angeschlossene Fläche von $360 \text{ m}^2 \pm 10 \text{ m}^2$ auf und setzt sich aus ca. 280 m^2 Fahrbahn und 80 m^2 Radweg zusammen. Die Anschlussstiefe der Abläufe liegt bei rd. 1,25 m unter Fahrbahnoberfläche. Aus der ursprünglichen Ausführung mit langem Eimer und Schlammmaut wurde der Eimer aus betrieblichen Gründen vor einigen Jahren entfernt. Für die Versuche wurden die Straßenabläufe für jeden Untersuchungstypen modifiziert. Dies wird im Kapitel 3.2 beschrieben.

Die Messungen wurden in dem jeweils nachgeschalteten Messschacht DN 1500 durchgeführt. Dessen Sohlgerinne wurde auf ca. 2,6 m unter der Geländeoberkante eingebaut, um den Einstieg und die Arbeit im Schacht komfortabel zu ermöglichen. Die Ableitung erfolgt dann in den Regenwasserkanal DN 1300, deren Sohle sich ca. 5,0 m unter dem Radweg befindet.

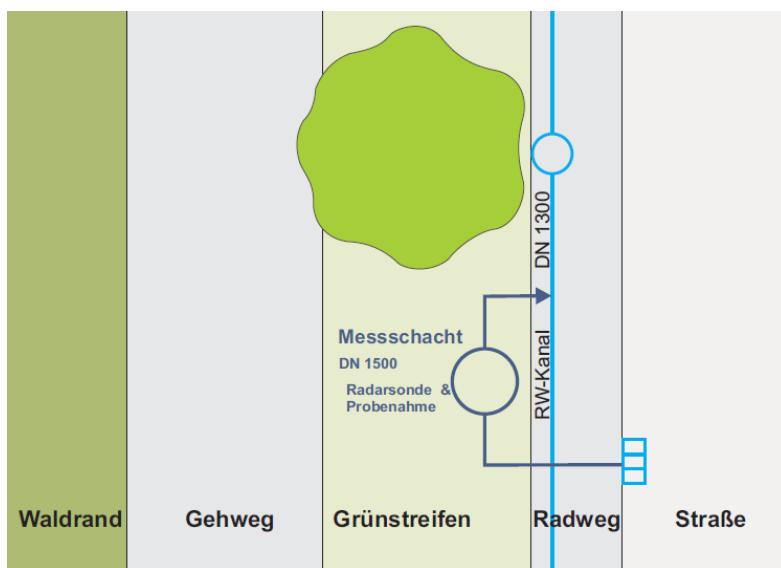


Abbildung 3.2: Ankopplung des Messschachtes zwischen Straßenablauf und Regenwasserkanal in der Clayallee



Abbildung 3.3: Messabschnitt Clayallee, westliche Fahrbahn

3.1.2 Untersuchungsgebiet BSR-Betriebshof Treffurter Straße

Als weiterer Untersuchungsstandort für das Messprojekt dient der BSR-Betriebshof in der Treffurter Straße in Berlin-Lichtenberg, der vor allem als Stützpunkt für Straßenreinigungsfahrzeuge, Umschlaganlage für Straßenreinigungsabfälle und als Streugutlager genutzt wird. Das Gelände ist kein öffentlicher Recyclinghof, dennoch findet darauf ein reger Verkehr durch die Fahrzeugflotte der BSR (Kehrmaschinen, Baggersaugwagen, Radlader, etc.) statt. Im Herbst wird auf dem Betriebshof zusätzlich Laub zwischengelagert, wobei der Hof keinen Baumbestand hat. In der Frostperiode werden Streufahrzeuge mit Streusalz bzw. Splitt beladen. Dazu gibt es Behälter für Streusalz und eine Lagerbox für Splitt.

Die Entwässerung erfolgt im Trennsystem. Das Regenwasserkanalnetz ist auf dem Hof in zwei Stränge geteilt. Der südliche Strang führt gemischte Regenwasserabflüsse von Dach- und Hofflächen ab. An den nördlichen Strang sind ausschließlich Hof- bzw. Fahrflächen angeschlossen. Deren gesamte Regenwasserabflüsse entwässern in ein offenes Regenrückhaltebecken (RRB) mit drei Kammern und Tauchwänden. Darin findet ausschließlich eine Sedimentation statt. Als Vorfluter dient der Marzahn-Hohenschönhauser Grenzgraben, der in die Rummelsburger Bucht einleitet.

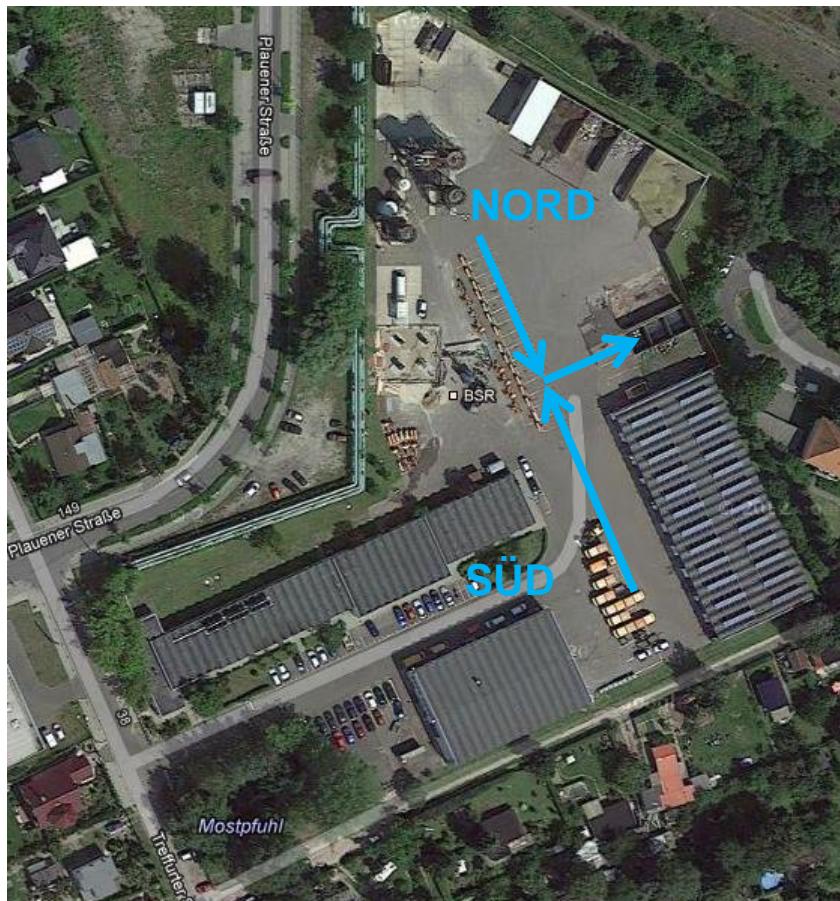


Abbildung 3.4: Luftbild BSR-Hof, Nordstrang & Südstrang (Quelle: Google Maps)

Für das Messprojekt eignet sich der nördliche Strang mit 7 Straßenabläufen, da hier ausschließlich Hof- bzw. Fahrflächen angeschlossen sind und die Abflüsse vollständig durch dezentrale Reinigungssysteme erfasst werden können. Die bestehenden Straßenabläufe waren teilweise baufällig und wurden für das Messprojekt erneuert oder instand gesetzt. Vor Zusammenführung des nördlichen und südlichen Stranges wurde zur Probenahme ein Messschacht DN 1500 eingebaut und mit Messtechnik ausgestattet. Nach Fertigstellung der Bauarbeiten liegen im nördlichen Strang zwei Nass- und fünf Trockengullys vor, deren angeschlossene Fläche am Messschacht rd. 2.700 m² beträgt. Die Abläufe liegen bei den Nassgullys ca. 0,6 m und bei den Trockengullys ca. 0,9 m unter Geländeoberkante.



Abbildung 3.5: BSR-Hof Treffurter Straße, Einzugsgebiet Nordstrang

3.2 Untersuchte dezentrale Anlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen

Auf Grundlage der Broschüre „Dezentrale Behandlung von Straßenabflüssen“ sowie Auswertung von Veröffentlichungen über die Erfahrungen mit dezentralen Systemen zur Reinigung von Straßenabflüssen wurde durch die Projektpartner in Abstimmung mit dem Fördermittelgeber eine Auswahl von Produkten für den Einbau in den Pilotgebieten als auch auf dem Teststand der TU Berlin getroffen. Dabei handelt es sich um strassenablaufbezogene Reinigungsanlagen.

Betriebliche Erfahrungen aus Untersuchungen solcher Systeme liegen in Deutschland vor. Grundsätzlich lag dabei der Fokus auf den Umgang der Systeme durch das Betriebspersonal eines Stadtentsorgungsunternehmens sowie unabhängigen Gutachtern. Stoffliche Untersuchungen liegen zumeist nur aus Labortests (DIBt-Prüfungen o. vgl.) und nur in Ausnahmefällen aus in situ Messungen vor. Dies ist dadurch begründet, dass die geringen Niederschlagsabflüsse schwierig beprobbar sind und der Aufwand relativ hoch ist.

Im Projekt wurden verschiedene Systeme untersucht, die im vorhandenen Straßenablauf nachrüstbar sind oder als Ersatzneubau eines Straßenablaufes zur Anwendung kommen. Die angeschlossene Fläche je Straßenablauf im Straßenraum sollte zur besseren Vergleichbarkeit maximal 400 m² betragen. Ein weiteres Auswahlkriterium bestand darin, unterschiedliche Wirkmechanismen von einfachen Sedimentationsanlagen bis hin zu Filtersystemen bzw. Kombinationen aus einzelnen Wirkmechanismen zu betrachten (Vgl. Tabelle 3.2). Semi-zentrale Systeme, die durch einen Zusammenschluss von Straßenabläufen behandelt werden, wurden in die Untersuchungen nicht einbezogen, da die Systeme nicht miteinander vergleichbar sind.

Die betrachteten dezentralen Reinigungssysteme dienen der Reinigung vor der Einleitung in ein Regenwasserkanal bzw. ein Oberflächengewässer, jedoch nicht vor einer anschließenden Versickerung in das Grundwasser. Dafür wäre eine Bauzulassung des DIBt erforderlich (Vgl. Kapitel 2.2). Die Produkte unterscheiden sich zum Teil erheblich, da die Behandlungsstufen mehrstufig sind. Dabei kann nach folgenden Funktionsweisen unterschieden werden.

Tabelle 3.2: Übersicht der untersuchten Anlagen mit ihrer Funktionsweise

Standort	Anlagen	Funktionsweise	Grobsiebung Maschenweite <5 mm	Sedimentation	Hydrodynamische Abscheidung	Leichtflüssigkeits- abscheidung (Schwimmstoffe)	Filtration	Rückhalt gelöster Schwermetalle
Clayallee	Zulauftrichter ohne Schlammraum (als Referenz)							
	Berliner Straßenablauf mit Schlammraum (Nassgully)							
	Berliner Straßenablauf mit Schlammraum und langem Eimer							
	Separationsstraßenablauf Combipoint (ACO) und langem Eimer							
	INNOLET®-G (Berliner Modell für Quadrataufsatzz, Funke Gruppe)							
	BUDAVINCI Typ-N (MEIERGUSS) und kurzem Eimer							
BSR-Hof	INNOLET®-G (Funke Gruppe)							
	INNOLET® (Berliner Modell, Funke Gruppe)							

Die in Tabelle 3.2 aufgezählten Behandlungsverfahren der Reinigungsanlagen werden anhand von den nachfolgenden Grafiken verdeutlicht. Diese 3D-Modelle veranschaulichen die Fließwege des Regenwassers im Regelbetrieb. Eine detaillierte Beschreibung der Funktion der einzelnen dezentralen Reinigungsanlagen wird in der unter Kapitel 2.2 beschriebenen Broschüre gegeben.

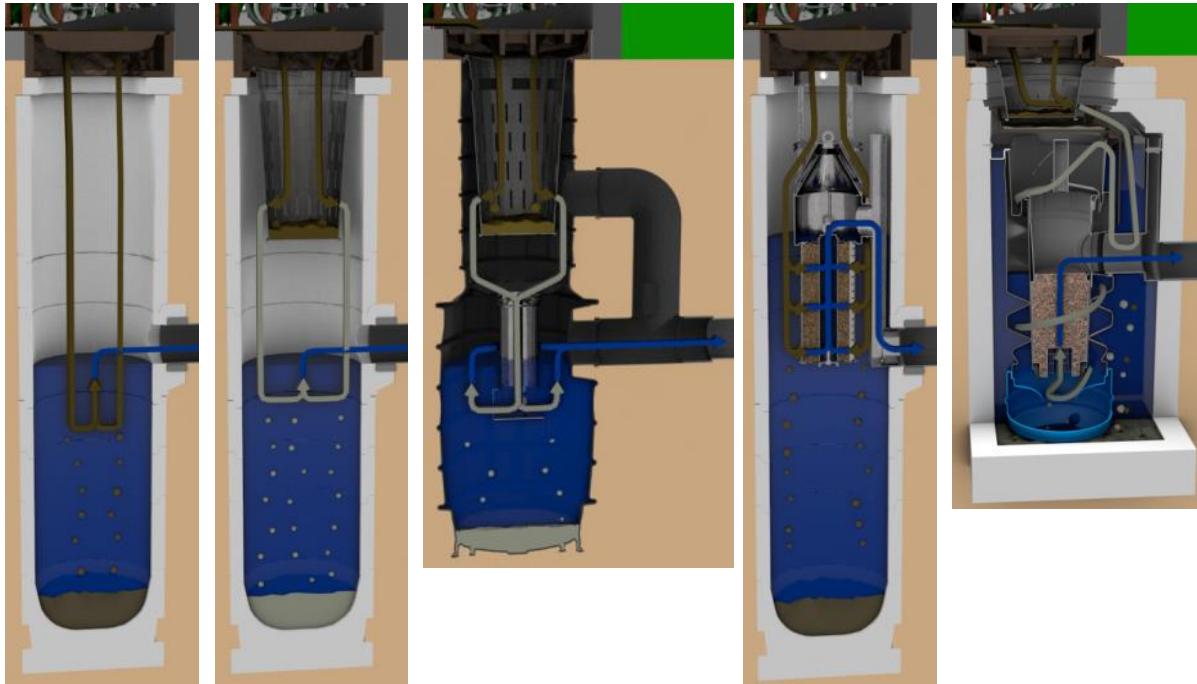


Abbildung 3.6: Fließwege Nassgully, Nassgully mit Eimer, ACO SSA, INNOLET®-G, BUDAVINCI Typ-N (von links) (Quellen: Eigene Darstellung Sieker & ACO 2015, Funke Gruppe 2015, MEIERGUSS 2015; ergänzt Sieker)

Die in den Straßenablauf eingesetzten Produkte sind nicht für die nachgeschaltete Versickerung vorgesehen und erlauben daher einen Überlauf des unbehandelten Regenwassers in die Regenwasserkanalisation oder ein Oberflächengewässer.

Die Tabelle 3.3 gibt einen Überblick über die Basisdaten der untersuchten Systeme bezogen auf das Einzugsgebiet eines Straßenablaufes von ca. 360 m².

Tabelle 3.3: Übersicht der untersuchten Anlagen mit Kenndaten

	Nassgully	Nassgully mit Eimer	ACO SSA	INNOLET-G Berlin	BUDAVINCI Typ-N
Eimer [L]	-	35	35	-	15
Schlammraum [L]	160	160	200	200	200+30
Durchfluss Filter neu [l/s]				2,2	2,5
Filterfläche [m ²]				0,4	0,1

Zu den ausgewählten Anlagen liegen in situ Untersuchungen mit unterschiedlichen Untersuchungsgebieten vor:

- Straßenablauf mit Schlammraum, ohne Eimer: Hamburg
- Straßenablauf mit Schlammraum, mit Eimer: Hannover
- Separationsstraßenablauf Combipoint (ACO SSA): Herne
- INNOLET: Hannover, Hagen
- INNOLET-G: Hamburg
- BUDAVINCI-Typ N: Geislinger Steige

Tabelle 3.4: Übersicht der untersuchten Anlagen

Typ	Jahr	Ort	Angeschlos-sene Fläche	Rückhalt in situ AFS	Quelle
INNOLET 300x500, 500x500	2008-2010	Hagen, Vogelsanger Str. & Eilper Str.	250 m ²	ca. 50 %	Sommer et al. (2010)
INNOLET 300x500	2006-2007	Hamburg, Bergedorfer Straße (B5)	350 m ²	k.A.	Urban Water Cycle Projekt (2004-2007)
INNOLET-G 300x500	2010-2011	Hamburg, Vollhöfner Weiden	ca. 200 m ² bis 650 m ²	ca. 50 %	Sommer, H. et al. (2011)
INNOLET 500x500	2006-2007	Hannover, Fössestraße	400 m ²	ca. 60 %	NORIS Projekt (2004-2007)
BUDAVINCI-Typ E (N=baugleich, gröberes Filtermat.)	Einbau 2013 Untersuchung 2014-2015	Geislingen an der Steige	A _u =750 m ²	k.A.	Dierschke, M. (2015)
ACO SSA	2002-2005	Herne, Von- Waldhausen- Straße	230 m ²	k.A.	Stein, R. (2008)
BUDAVINCI-Typ Z	2015	Aidenried	100 m ² (Einbau auf 640 m Länge)	k.A.	MEIER- GUSS Info (2015)
Straßenablauf mit/ohne Schlammraum	2007	Dissertation Sommer 2007		20-40 %	Sommer, H. (2007)
Straßenablauf mit Schlammraum ohne Eimer	2011	Hamburg, Vollhöfner Weiden	400 m ²	ca. 30 %	Sommer, H. et al. (2011)
Straßenablauf mit Schlammraum ohne Eimer	2007	Hannover, Fössestraße	400 m ²	ca. 30 %	NORIS Projekt (2004-2007)

Die in der Tabelle dargestellten verfügbaren Ergebnisse und Charakteristiken der Untersuchungsgebiete sollen die nachfolgend ermittelten Werte zum Rückhalt einordnen und die bislang zur Verfügung stehenden Untersuchungsergebnisse aufzeigen.

Es zeigt sich, dass die Zahl der in situ Untersuchungen relativ gering ist, aber immerhin einen Anhalt für bisherige Rückhalteleistungen darstellt. Bei den Straßen handelt es sich in der Regel um stark befahrene Straßen mit mehr als 10.000 bis ca. 30.000 Kfz/d.

3.2.1 Clayallee

In der Messstrecke Clayallee wurden die Regenwasserabflüsse von sechs Straßenabläufen untersucht. Ein Straßenablauf wurde mit einem Zulauftrichter ausgestattet und damit der Schlammsammelraum außer Betrieb genommen. Es wurden zwei Anlagen mit Substratfilter (INNOLET-G, Funke Kunststoffe GmbH, BUDAVINCI Typ-N, MEIERGUSS Sales & Logistics GmbH & Co. KG) sowie eine Anlage ohne Filtereinheit (ACO SSA, ACO Tiefbau Vertrieb GmbH) verglichen. Der INNOLET-G wurde für den Berliner Nassgully mit einer verlängerten Filterpatrone (50 cm) angepasst. Zudem wird der Berliner Standard Nassgully (mit Schlammbraum) mit und ohne langen Grobstoffeimer getestet. Die vorhandenen Straßenabläufe wurden mit den o.g. Systemen nachgerüstet. Lediglich für den Separationsstraßenablauf Combipoint (ACO SSA) und den BUDAVINCI Typ-N waren Baumaßnahmen in Form eines Ersatzneubaus erforderlich. Die Abbildung 3.7 zeigt die Anordnung der gewählten Straßenabläufe mit ihren Reinigungssystemen auf der westlichen Fahrbahn.

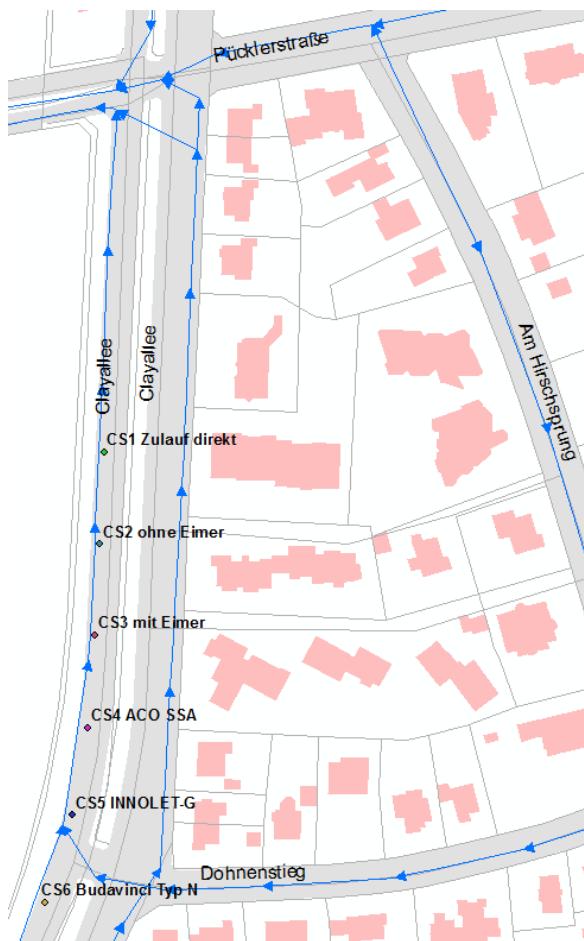


Abbildung 3.7: Messstrecke Clayallee mit Einbauten in den Straßenabläufen

Der Bau der Anlagen in der Clayallee wurde in Zusammenarbeit mit den Berliner Wasserbetrieben geplant, ausgeschrieben und der Einbau überwacht. Durch Verzögerungen in der Abstimmung und durch behördliche Genehmigungen verzögerte sich der Baubeginn bis April 2014. Abgeschlossen wurden der Bau und die Einbauten für die Filter Ende Juni 2014. Damit konnte dann der Betrieb aufgenommen werden. Die erforderlichen Werkzeuge für Einbau und Nachrüstung bzw. Ersatzneubau wurden durch das beauftragte Bauunternehmen bzw. die Hersteller übergeben.

Um eine langfristige Zugänglichkeit der Anlagen in der Untersuchungsphase zu gewährleisten, wurden die Bereiche vor und hinter den Straßeneinläufen mit einer Flächenmarkierung auf einer Gesamtlänge von je ca. 20 m auf der Straße abmarkiert. Dies hat sich als sinnvoll erwiesen, damit die Fahrzeuge der BSR die Anlagen, ohne Behinderung des auf 2 weiteren Streifen fließenden Verkehrs, warten und reinigen konnten.



Abbildung 3.8: Flächenmarkierung zur Sicherung der Zugänglichkeit der Straßenabläufe

3.2.2 BSR-Betriebshof Treffurter Straße

Auf dem BSR-Betriebshof in der Treffurter Straße wurde der Gesamtabfluss von 7 Straßenabläufen analysiert. Es sollten auf Grund der hintereinander durchgeföhrten Messphasen (bautechnisch bedingt) nachrüstbare Systeme mit Filtrationsstufe eingesetzt werden. Dafür wurden zwei Nassgullys mit dem INNOLET-G System und fünf Trockengullys mit dem INNOLET-System ausgestattet.

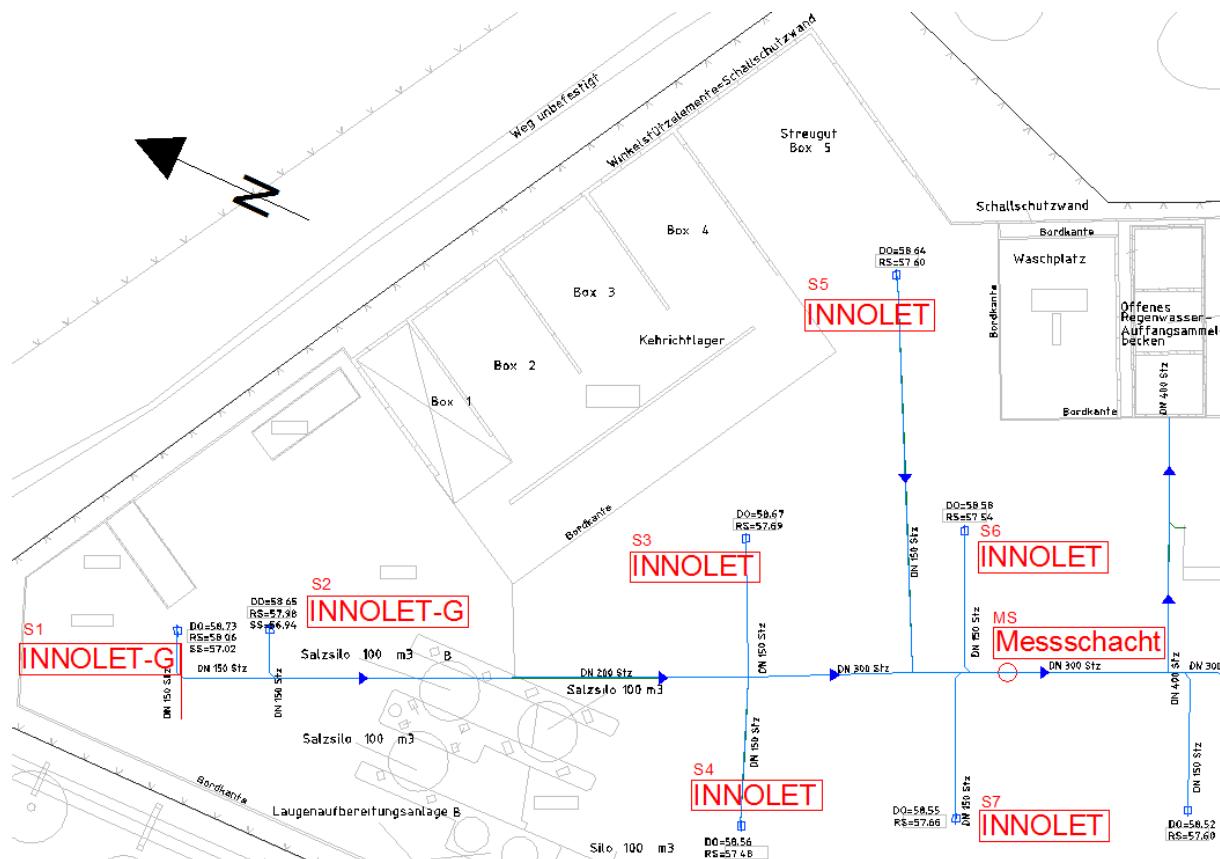


Abbildung 3.9: Messprojekt BSR-Hof Treffurter Straße mit Reinigungsanlagen

Der Einbau der Anlagen auf dem BSR-Betriebshof in der Treffurter Straße erfolgte im Herbst (August/September 2013). Ab Ende Oktober 2013 bis Ende Juli 2014 wurden die Straßenabläufe ohne Filter betrieben und beprobt. Ende Juli 2014 wurden dann die 5 INNOLET Standard und 2 INNOLET-G Filtersysteme eingebaut. Diese wurden bis Mitte August 2015 betrieben und beprobt.

3.3 Betriebliche Untersuchungen

3.3.1 Einweisung

Zu Beginn der Betriebsphasen wurden jeweils Einweisungen für das Betriebspersonal durchgeführt, um die Mitarbeiter für die Aufgaben im Betrieb zu schulen. Dies beinhaltete eine praktische Einweisung in die eingebauten Anlagen vor Ort und die Übergabe jeweils einer Beschreibung in Form einer Bedienungsanleitung (Anhang 20), wie im Normal-, aber auch im Störungsfall mit den Anlagen umgegangen werden soll. Außerdem wurden im Notfall die Ansprechpartner des Forschungsteams festgelegt.



Abbildung 3.10: Einweisung Betriebspersonal BSR/BWB

3.3.2 Betriebsprotokolle

3.3.2.1 Wöchentliche Begehungen

Der Betrieb in der Clayallee und dem BSR-Betriebshof Treffurter Straße wurde regelmäßig durch die Beteiligten BSR, BWB und Büro Sieker protokolliert. Dies ist wichtig um die Umstände des Betriebes und etwaige Unregelmäßigkeiten und außerplanmäßige Arbeiten und Vorkommnisse mit zu protokollieren und die Auswertung einfließen zu lassen.

Clayallee

In der Clayallee wurde durch die zuständige Reinigungsgruppe der BSR ein wöchentliches Protokoll zu Anzahl, Tag und Art der Reinigung erstellt. Es ist hier in Reinigung des rechten Fahrstreifens der Straße mit Großkehrmaschine, Reinigung des Radweges mit der Kleinkehrmaschine und Reinigung des Gehweges mit dem Handbesen zu unterscheiden.

Berliner Stadtreinigungsbetriebe



Erbrachte Leistung der BSR in der Clayallee gegenüber Nr. 36 bis 50 im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhaben: Dezentrale Reinigung von Straßenabflüssen, Projektnummer: 11315UEP II/2

Kalender-woche:

Art der Reinigung	Ort der Reinigung							Bemerkungen
		Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	
KG Großkehrrmaschine	Mittelstreifen							
	Waldseite							
KW Kleinkehrrmaschine	Radweg							
	Gehweg							
Hand-reinigung	Gehweg							
	Rinnstein							
	geparkte Fahrzeuge							

Abbildung 3.11: Leistungsprotokoll BSR Clayallee

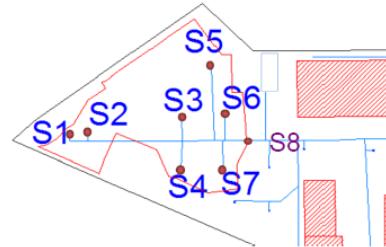
Treffurter Straße

Für die Treffurter Straße wurde ein wöchentliches Protokoll durch die Betriebsmitarbeiter der BSR vor Ort erstellt. Dies erfasst die wichtigsten als reine Sichtkontrolle ohne großen Aufwand zu erfassenden Betriebsauffälligkeiten und dient der Übersicht über kurzfristige Havarien und Probleme.

UEP, Dezentrale Reinigung von Straßenabflüssen

Protokollierung BSR
Besondere Vorkomisse
Betriebshof BSR, Treffurter Str.

Datum/ Uhrzeit	
Name des Protokollanten	



!! Anlagen bitte nur in Havariefällen öffnen. Ansonsten nur Beobachtungen eintragen!

Filter Standort Nr.	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	Messschacht
Typ	INNOLET G	INNOLET G	INNOLET	INNOLET	INNOLET	INNOLET	INNOLET		
ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein
Filter gereinigt?									
Filter ausgebaut?									
Gully übergestaut?									
Filter überlaufen?									
Material eingetragen?									
Laub									
Blüten									
Split (Winter)									
Sand									
Sonstiges									
Wurden Probleme gemeldet?									
Bilder vorhanden?									
Bemerkungen									

Abbildung 3.12: Leistungsprotokoll BSR Treffurter Straße, wöchentlich

3.3.2.2 Monatliche Begehungen

Ergänzend zum wöchentlichen Protokoll wurden monatliche gemeinsame Begehungen mit allen Projektbeteiligten durchgeführt, um den Zustand der Anlagen zu dokumentieren. Die Daten zum Zustand der Anlagen wurden in einem Protokoll festgehalten (Abbildung 3.13, Abbildung 3.14). Dies geschah zusätzlich zu den Protokollen des Betriebspersonals, um weitere Informationen zum Stand der Anlagen zu erheben. Folgende Daten wurden erhoben:

- Zustand Straße
- Witterung
- Zustand des Zulaufs
- Füllstand Straßenablauf/Verblockung
- Füllstand Nassschlammfang, soweit möglich

UEP, Dezentrale Reinigung von Straßenabflüssen

Protokollierung

Monatliche betriebliche Kontrolle (IPS)

Clayallee

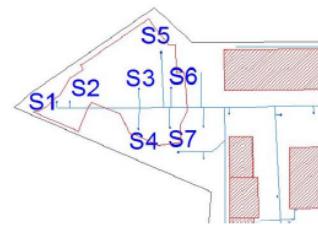
Datum						
Name Protokollant						
Wetter						
Sonne						
bewölkt						
Regen						
Temperatur °C						
Bezeichnung Filter	1 Zulauf direkt	2 Standard, ohne Eimer	3 Standard, mit Eimer/ Filtersack	4 ACO SSA	5 INNOLET G	6 Budavinci
Gitterrost	frei teilweise zu zu					
Füllstand Eimer	leer gering mittel voll gemessen Nullhöhe reale Füllhöhe	cm von DOK cm von DOK cm				
Nassschlammfang: Wasserstand Schlammspiegel	cm von DOK cm von DOK					
Zustand	Reinigungsbedarf Verstopfungen Überstauungen					
Art eingetragenes Material	Laub Blüten Splitt Sand Sonstiges					
Winterbetrieb	Splitt (Streugut) Salz					
Messschacht	Beobachtungen					
Bemerkungen	Allgemeines:					

Abbildung 3.13: Protokoll Clayallee, monatlich

UEP, Dezentrale Straßenabwasserbehandlung

Protokollierung
Monatliche betriebliche Kontrolle
 Betriebshof BSR, Treffurter Str.

Datum	
Name des Protokollanten	
Wetter	
Sonne	
bewölkt	
Regen	
Temperatur °C	



Bezeichnung Filter	1 INNOLET G	2 INNOLET G	3 INNOLET	4 INNOLET	5 INNOLET	6 INNOLET	7 INNOLET	8 Messchacht
Gitterrost	frei							
	zu							
Füllstand Eimer (von DOK)	leer							
	mittel							
	voll							
	übervoll							
	Schlammspiegel							
Wasserstand Straßenablaufumpf (von DOK)	voll							
	teilweise gefüllt							
	leer							
Zustand	Reinigungsbedarf							
	Verstopfungen							
	Überstauungen							
Menge eingetragenes Material	wenig							
	mittel							
	viel							
Art eingetragenes Material	Laub							
	Blüten							
	Split (Winter)							
	Sand							
	Sonstiges							
Winterbetrieb	Split (Streugut)							
	Salz							
	gesamter Hof							
	Bereich							
	Streugutladeplatz							
Sonstiges	Baustelle auf dem Gelände							
Bemerkungen	Allgemeines:							

Abbildung 3.14: Protokoll BSR-Betriebshof Treffurter Straße, monatlich

3.4 Messprogramm in situ

Zur Bewertung der dezentralen Reinigungsanlagen in der Clayallee wurde an jedem Ablauf der installierten Anlagen ein Messschacht mit entsprechender Technik errichtet. Zusätzlich wurde an einem Straßenablauf ohne Schlammschacht eine Probenahmestelle zur Erfassung der Referenzzulaufprobe installiert, diese gilt als Referenz für alle in der Clayallee installierten Anlagen. Die Probenahme erfolgte im Zeitraum vom 01.07.2014 bis 24.07.2015.

Auf dem BSR-Betriebshof in der Treffurter Straße wurde ein Messschacht eingebaut, an dem sieben Straßenabläufe angeschlossen sind. Da eine Messung des Zulaufes an dieser Stelle nicht möglich ist, wurden im Rahmen der Untersuchungen für den Zeitraum vom 01.12.2013 bis zum 31.07.2014 vorerst Niederschlagsereignisse ohne Einbau der INNOLET-Filter für die Erfassung der „Null-Variante“ beprobt. Die weitere Probenahme erfolgte mit eingebauten INNOLET-Filtern vom 31.07.2014 bis zum 18.08.2015. Mit diesem Aufbau können nur orientierende Wirkungsgrade bestimmt werden.

3.4.1 Messtechnik

Die sechs Messschächte der Clayallee und der Messschacht in der Treffurter Straße sind jeweils mit einer Steckrinne (Clayallee: DN 150, Treffurter Str.: DN 300), einer Radarsonde, einem Datenlogger und einem automatischen Probenehmer ausgestattet. Alle Geräte haben eine ATEX-Zulassung.

Durch die Steckrinne in Kombination mit der Radarsonde, die an einen Datenlogger angeschlossen ist, erfolgt die Durchflussmessung über eine definierte h-Q-Beziehung. Bei definierter Anstauhöhe sendet der Datenlogger über Bluetooth ein Signal zum Start der Probenahme an den automatischen Probenehmer. Über ein Modem wird eine SMS zur Information über den Start der Probenahme an einen TU-Mitarbeiter gesendet. Der Probenehmer besitzt einen Siebkorb am Ansaugstutzen (Maschenweite ca. 3 mm) um z.B. nicht durch Laub zu verstopfen. Zum Schutz des Probenehmers durch Ansaugen von Luft wurde vom Hersteller eine Auslösehöhe von mindestens 4 cm empfohlen. Dies entspricht einer Beprobung ab Abflüssen von ca. 0,3 L/s und Regenspenden von 8,3 L/(s·ha) bei einer Anschlussfläche von 360 m².

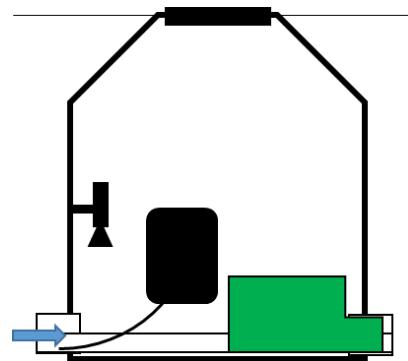


Abbildung 3.15: Aufbau des Messschachts mit Steckrinne, Radarsonde und Probenehmer

In Tabelle 3.5 sind die Kenndaten der Messtechnik dargestellt.

Tabelle 3.5: Kenndaten der Messtechnik

Messtechnik	Bezeichnung	Hersteller	Bemerkung	Herstellerabbildung
Steckrinne	Messchacht-Steckrinne	Badger Meter Europa GmbH	Messprinzip nach Venturi, glasfaser-verstärktes Polyesterharz, DN 150 / DN 300	
Radarsensor	VEGAPULS WL61	VEGA Grieshaber KG	ATEX-Zulassung Messabweichung: ±2 mm	
Datenlogger	Mlog	Ori Abwasser-technik GmbH & Co. KG	ATEX-Zulassung, Bluetooth-verbindung	
Mobiler Probenehmer	BasicEx1 mobil	Ori Abwasser-technik GmbH & Co. KG	ATEX-Zulassung, Schlauchpumpe, Bluetooth-verbindung	
Modem	ORI Ex GSM/GPRS Modem EMGSM2.2	Ori Abwasser-technik GmbH & Co. KG	ATEX-Zulassung	

Die Wartung der Messgeräte mit Tausch der Probenehmer- und Datenlogger-Akkus erfolgte wöchentlich durch die TU Berlin. In regelmäßigen Abständen wurden die Probenahmeprotokolle und die Daten des Datenloggers über eine Bluetooth-Verbindung ausgelesen.

3.4.2 Probenahmeprogramm

Die Probenahme erfolgt zeitproportional ab einer Auslösehöhe von 4 cm in der Clayallee und 4,5 cm in der Treffurter Straße. Das Probenahmeprogramm ist in Tabelle 3.6 abgebildet.

Tabelle 3.6: Probenahmeprogramm Treffurter Straße und Clayallee

Messstelle	Zeitraum	Auslösehöhe [cm]	Probenabstand [min]	Flaschenanzahl/Volumen
Treffurter Straße	01.12.2013-20.03.2015	4,5	19	6xPET: 0,5 L 6xGlas: 0,5 L
	ab 20.03.2015	4,5	14	6xPET: 0,5 L 6xGlas: 0,5 L
Clayallee	01.07.2014-15.12.2014	4,0	20	6xPET: 0,5 L 6xGlas: 0,5 L
	ab 15.12.2014	4,0	10	12xPET: 1,0 L

Die PET- und Glasflaschen sind im Wechsel im Probenehmer angeordnet. Pro Probenahmeintervall wird erst eine PET-Flasche und anschließend nach einem technisch bedingten minimalen Probenabstand von 2 min die Glasflasche direkt mit 0,5 L Wasser befüllt.

Im Laufe des Untersuchungszeitraums wurden die Probenabstände verringert, um eine bessere Auflösung der Probenahme zu erhalten. Außerdem wurde in der Clayallee auf den Wechsel zwischen PET- und Gasflaschen verzichtet, um die Fehleranfälligkeit der Probenahme zu verkleinern und zusätzlich mehr Probevolumen (1 L) pro PET-Flasche zu gewinnen.

3.4.3 Herausforderung bei der Probenahme

Die Beprobung von geringen und schwankenden Abflüssen stellt grundsätzlich eine Herausforderung dar. Bei einer Anschlussfläche von ca. 360 m² pro Messschacht in der Clayallee und einer erforderlichen Auslösehöhe für die Probenahme von ca. 4 cm wird dies besonders deutlich. Zusätzlich werden unterschiedliche Systeme untersucht, die durch verschiedene Einbauten Abflüsse verzögern bzw. abmindern können. Daher kann es zu unterschiedlichen Auslösezeitpunkten der einzelnen Probenehmer kommen oder es werden die Auslösehöhe nicht erreicht, sodass die Probenahme nicht in allen Messschächten ausgelöst werden kann. Außerdem kann es zu Schwankungen der Abflüsse durch die Charakteristik des Niederschlagsereignisses (Pausen) und damit zur Reduzierung des Probenvolumens bis hin zum Ausfall der einzelnen Flaschen-Beprobungen kommen. Bei zu geringem Probevolumen können eventuell nicht alle Parameter analysiert werden. Neben dem Aspekt des geringen Durchflusses können technische Probleme der Messgeräte zu Datenverlusten führen. Dabei können Probenehmer-Protokolle und Dateien der Radarsonde nicht richtig geloggt werden.

Auf Grund der verschiedenen Herausforderungen der Probenahme wurden nicht immer alle Probenehmer gleichzeitig ausgelöst bzw. standen nicht alle notwendigen Daten zur Auswertung des Rückhalts zur Verfügung. Dadurch kommen unterschiedliche Ereigniszahlen für die einzelnen Systeme zu Stande (Siehe Kapitel 4.2.1.4).

3.4.4 Analytik

Die Proben der Niederschlagsereignisse wurden im Labor des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Berlin analysiert. In Tabelle 3.7 sind die Messmethoden und Vertrauensbereiche der Parameter, die im Labor des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft durchgeführt wurden, dargestellt.

Tabelle 3.7: Messmethoden der untersuchten Parameter (FG-Labor TU Berlin)

Parameter	Methode / Messgerät	Bemerkung
CSB	Küvettentest Fa. Hach Lange GmbH (ISO 6060-1989, DIN 38409-H41-H44)	95 %-Vertrauensbereich (nach DIN 38402-51): LCK 014: 2000-10000 mg/L LCK 114: 200 mg/L -1000 mg/L LCK 314: 30-150 mg/L LCK 414: 12-60 mg/L LCK 514: 400-2000 mg/L LCK 614: 60-300 mg/L LCK 714: 100-600 mg/L LCK 914: 12000-60000 mg/L
P _{ges}	Küvettentest Fa. Hach Lange GmbH (EN ISO 6878-1-1986, DIN 38405 D11-4)	95 %-Vertrauensbereich (nach DIN 38402-51): LCK 348: 1-5 mg/L LCK 349: 0,3-1,5 mg/L LCK 350: 4-20 mg/L
Zink	Küvettentest Fa. Hach Lange GmbH; Aufschluss: Crack Set LCW 902 Fa. Hach Lange GmbH	95 %-Vertrauensbereich (nach DIN 38402-51): LCK 360: 1,2-6 mg/L
Kupfer	Küvettentest Fa. Hach Lange GmbH; Aufschluss: Crack Set LCW 902Fa. Hach Lange GmbH	95 %-Vertrauensbereich (nach DIN 38402-51): LCK 329: 1,6-8 mg/L LCK 529: 0,2-1 mg/L
AFS	DIN 38409 (Membranfilter ME 25 Whatman Cellulosemischer Porenweite: 0,45 µm)	
AFS _{fein}	Vorfiltrierung über 63 µm-Edelstahlsieb, weiter nach DIN 38409 (Membranfilter ME 25 Whatman Cellulosemischer Porenweite: 0,45 µm)	
pH-Wert	Sension pH Combi-Gel-Elektrode mit Sension 156 (Fa. Hach Lange GmbH)	Messbereich: 0-14 pH Messfehler: ±0,01 pH
Leitfähigkeit	Sension LF-Elektrode mit Sension 156 (Fa. Hach Lange GmbH)	Messbereich: 0,1 µS/cm bis 200 mS/cm Messfehler: ±0,5 %

Die Analyse einzelne Parameter der Proben ausgewählter Niederschlagsereignisse wurde in einem externen Umweltlabor durchgeführt. Die Messmethoden sind in Tabelle 3.8 dargestellt.

Tabelle 3.8: Messmethoden der untersuchten Parameter (externes Umweltlabor)

Parameter	Methode	Bestimmungsgrenze
MKW (KW-Index)	EN ISO 9377-2 (H53), (C10-C40)	100 µg/L
Zink	DIN EN ISO 11885 (E22)	10 µg/L
Kupfer	DIN EN ISO 11885 (E22)	10 µg/L
PAK	DIN 38 407 - F39	0,01 µg/L

3.4.5 Berechnungen

Die Berechnung des Abflusses wird mit Hilfe der h-Q-Beziehung der Steckrinne und den Höhenmessungen der Radarsonde durchgeführt. Für die beiden unterschiedlichen Steckrinnen (DN 150 und DN 300) ergeben sich folgende Formeln:

$$\text{Abfluss DN 150: } Q = 285,28 * (h - a)^{1,9521}$$

$$\text{Abfluss DN 300: } Q = 435,61 * (h - a)^{1,9504}$$

Q Abfluss [L/s]

h gemessene Höhe der Radarsonde [m]

a Offset der Steckrinne [m]

Jeder Probe wird ein Zeitraum zugeordnet, der in der folgenden Abbildung durch die gestrichelte Linie dargestellt ist. So ergibt sich für jede Konzentration des jeweiligen Parameters über den Abfluss und den definierten Zeitraum ein Volumen.

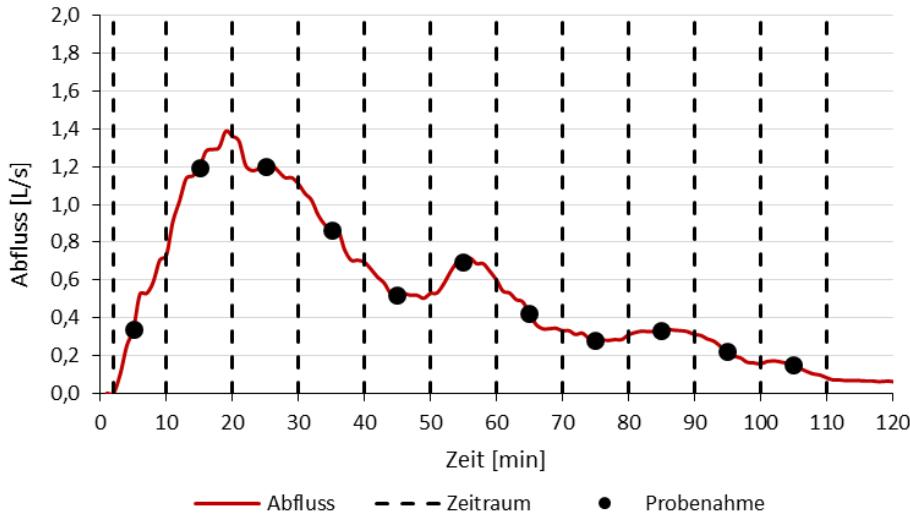


Abbildung 3.16: Abflussdiagramm mit Probenahmezeitpunkten und definierten Zeitraum

Die Berechnung der frachtgewichtete Konzentration (c_F -Wert) erfolgt durch folgende Formel:

$$\text{frachtgewichtete Konzentration: } c_F = \frac{\sum c_n * V_n}{\sum V_n}$$

c_F frachtgewichtete Konzentration [mg/L]

c_n Konzentration der Einzelproben [mg/L]

V_n Volumen des zugeordneten Probenahmezeitfensters [L]

Mit Hilfe der frachtgewichteten Konzentration werden für die Clayallee die Rückhalte-Werte der einzelnen dezentralen Anlagen bezogen auf die Werte des Zulauf-Referenzschachtes ermittelt.

3.5 Teststand gemäß DIBt-Vorgaben

3.5.1 Aufbau der Teststände

Der Teststand zur Untersuchung der im Projekt ausgewählten dezentralen Reinigungsanlagen wurde an der TU Berlin in der Peter-Behrens-Halle in Berlin aufgebaut. Er wird vom Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft betrieben und entspricht im Aufbau den Anforderungen des DIBt. Eine Beschreibung der DIBt „Zulassungsgrundsätze für Niederschlagswasserbehandlungsanlagen Teil 1: Anlagen zum Anschluss von Kfz-Verkehrsflächen bis 2000 m² und Behandlung des Abwassers zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser“ ist im Anhang hinterlegt (Anhang 1).

Der Teststand ist für eine Anschlussfläche von 250 m² bis zu 1.000 m² ausgelegt. Abbildung 3.17 zeigt in Form eines Fließbildes den Aufbau des Teststandes, der für die Feststoff- und MKW-Versuche (Prüfanordnung 1) genutzt wurde.

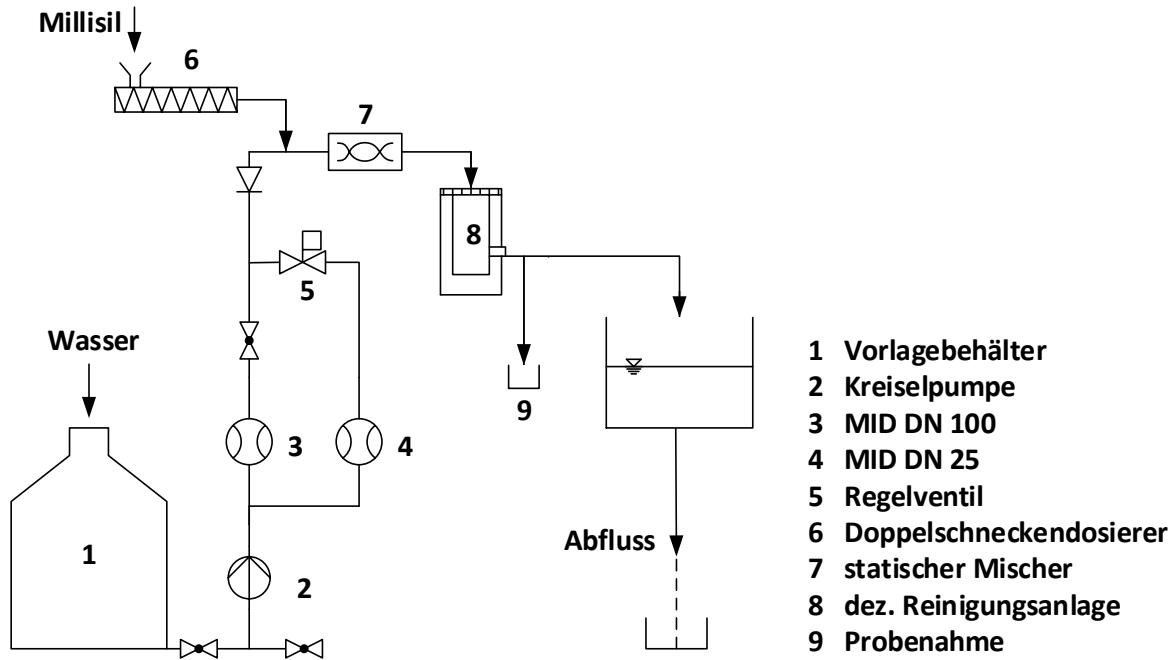


Abbildung 3.17: Fließbild Teststand

Der Teststand besteht aus einem Vorlagebehälter (10 m³), einer Kreiselpumpe, einer Messstrecke mit zwei magnetisch-induktiven Durchflussmessern (MID) und elektrischen Regelventil, einer Dosierstelle (Doppelschneckendosierer), einem statischen Mischer sowie einem Zwischenbehälter für den Ablauf. Der Teststand wird über die Siemens SP7 Software gesteuert. Die Durchflüsse von 3 L/s bis 16 L/s werden über die Hauptleitung DN 100 gefördert. Diese werden über die Motordrehzahl der Pumpe und dem MID geregelt. Die Durchflüsse kleiner 3 L/s werden mithilfe eines Bypasses (DN 25) und eines dort eingebauten elektrischen Reglers in Kombination mit einem zusätzlichen MID bei minimaler Motordrehzahl der Pumpe konstant gefördert. Zur Voreinstellung des Durchflusses wird erst im Kreislauf gefahren. Wenn der erwünschte Durchfluss generiert ist, wird der Kreislauf unterbrochen, das Wasser auf die Reinigungsanlage geleitet und der Test gestartet. Zur Zugabe und Vermischung des Millisils W4 werden ein Doppelschneckendosierer und ein statischer Mischer eingesetzt. Zur Zwischenspeicherung der anfallenden Wassermenge bei hohen Durchflüssen, dient ein Auffangbecken, aus dem das Wasser in den Abfluss geleitet wird.

Für die Schwermetalluntersuchung kam nach Anforderung des DIBt ein Teststand nach Prüfanordnung 2 zum Einsatz. Der Teststand besteht aus einem Vorlagebehälter, einer Impellerpumpe, einem Membran-Ventil, einem MID sowie dem Filterelement (Abbildung 3.18). Die Impellerpumpe (2) ist drehzahlgesteuert und hat einen Förderbereich von 2 L/min bis 8 L/min. Hinter der Pumpe ist zusätzlich ein Absperrhahn zu Entlüftungs- und Reinigungszwecken angebracht. Um die geforderten Volumenströme einhalten zu können, wird ein Teil der geförderten Lösung über eine Rückführleitung (3) in den Vorlagebehälter zurückgeleitet. Dies schafft den vorteiligen Nutzen, dass die Lösung ständig zirkuliert und von einer homogenen Lösung im gesamten Vorlagebehälter auszugehen ist. Der Rückstrom wird manuell über einen Kugelhahn in der Rückführleitung in Kombination mit dem Membranventil (4) in der Hauptleitung gesteuert. Mit Hilfe der Drehzahleinstellung der Pumpe und dem Membranventil lassen sich über das MID (5) manuell die Durchflüsse, mit denen das Filterelement (6) zu beschicken ist, generieren. Das MID verfügt über eine Zählfunktion der durchströmten Lösung, wodurch zu jeder Zeit des Versuchs das Beschickungsvolumen abgelesen werden kann. Vor dem Filterelement weitet sich der Querschnitt der Hauptleitung von DN 15 auf DN 53. Dadurch verkürzt sich die Höhe des zu verwendenden Filterelements auf 10,7 cm, was zum Einen die Konstruktion des Teststandes vereinfacht und zum Anderen die realen Strömungsverhältnisse innerhalb des Filters besser widerspiegelt.

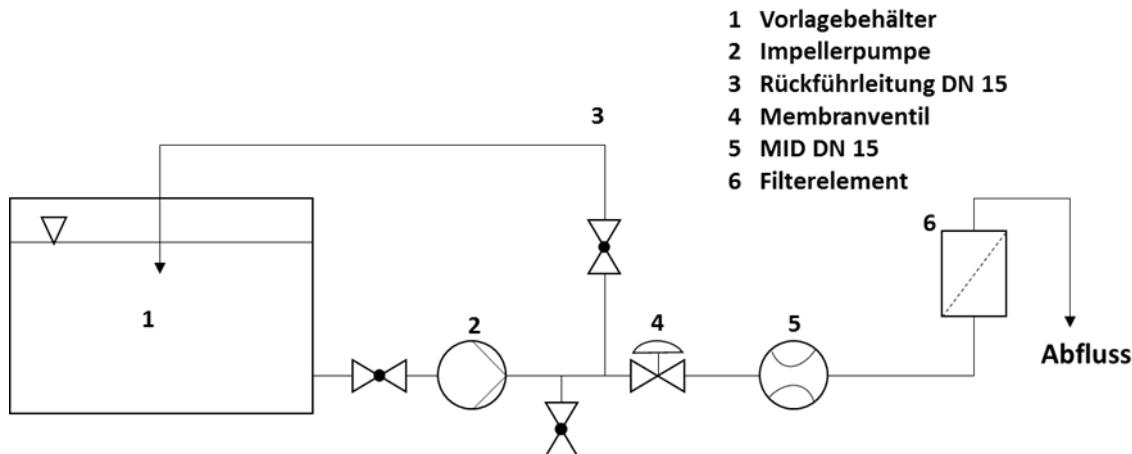


Abbildung 3.18: Fließbild Teststand für die Schwermetalluntersuchungen

3.5.2 Versuchsablauf

3.5.2.1 Untersuchte dezentrale Anlagen

Die in der Clayallee eingebauten Anlagen wurden im Rahmen des Projektes am Teststand untersucht. Es wurde der Stoffrückhalt sowie die hydraulische Leistungsfähigkeit betrachtet. Der INNOLET-G (Berliner Variante, Fa. Funke und Kunststoffe GmbH) sowie der Grobstoffeimer nach DIN 4052-A4 mit einer Breite von ca. 450 mm und einer Höhe von 600 mm wurden in einem Straßenablauf mit Schlammraum (180 L) aus PE-Rohren und Betonfertigteilen nach BWB-Norm Regelblatt 402 eingebaut. Der INNOLET-G wurde mit zwei unterschiedlichen Filtersubstrat-Mischungen (S1 und S2) getestet.

Der Separationsstraßenablauf Combipoint (ACO SSA, Fa. ACO Tiefbau Vertrieb GmbH) sowie der BUDAVINCI Typ-N (Fa. MeierGuss Sales & Logistics GmbH & Co. KG) sind Komplett-Anlagen und wurden vor den Teststand installiert und mit einer Ablaufleitung versehen. Alle Anlagen wurden mit einer Anschlussfläche von 400 m² getestet. Das Filtersubstrat des BUDAVINCIs und des INNOLET-G (S1) wurde zusätzlich auf den Rückhalt von Kupfer und Zink untersucht. Hierfür wurde jeweils ein Verkleinerungsfaktor von 50 gewählt.

3.5.2.2 Prüfstoffe

Die Prüfstoffe Millisil W4 und Heizöl EL wurden nach den Zulassungsgrundsätzen des DIBt [DIBt 2011] in der Art der Dosierung und der Dosiermenge zugegeben. Es wurden die vorgegebenen Prüfdauern und Regenspenden eingehalten. Zusätzlich wurde ein Sand-Kies-Gemisch und als Schwimmstoffe bzw. Schwebstoffe PE-, PS-Granulat und Rindenmulch getestet. Zur Ermittlung der Dosiermengen für die zusätzlichen Prüfstoffe dienten vier Sieblinien von Straßenkehricht, welche von der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH zur Verfügung gestellt wurden. Die Proben für die Sieblinien wurden in Hoppegarten im Oktober 2004 und Juli 2010 entnommen. Es wurde die gemittelte Sieblinie mit einer Verteilung nach DWA Merkblatt M-378 (Stand 2008) an mineralischen und organischen Stoffen inklusive Störstoffen von 90 % zu 10 % kombiniert und den Korngrößen die jeweiligen Prüfstoffe zugeordnet.

Tabelle 3.9 Prozentuale Verteilung der Dosiermenge der Prüfstoffe (gerundete Werte)

Korngröße [mm]	mineralisch		organisch	
< 0,125	Feinmaterial 20 %		Feinmaterial 7 % Rindenmulch 10 %	
0,25				
1		Sand-Kies- Gemisch 62 %		
2			PS-Granualt 1 %	
4			PE-Granualt 1 %	
>4-16	Grobstoffe 8 %		Grobstoffe 1 %	

Mit der prozentualen Verteilung und der abgeschätzten AFS-Fracht von ca. 95 g/(m²·a) werden die Dosiermengen in der Tabelle 3.10 berechnet. Für die zusätzlichen Prüfstoffe wurde der Teilprüfung 3 und 4 angewendet. Bei der Teilprüfung 3 wurde ein Sechstel der Gesamtjahresfracht bezogen auf die Anschlussfläche von 400 m² zudosiert. Das Sand-Kies-Gemisch und das PE- und PS-Granulat wurde zusammen in einem Versuchslauf getestet.

In Tabelle 3.10 sind die Prüfstoffe mit den jeweiligen Kenndaten, den Dosier-Varianten sowie der Dosiermenge dargestellt.

Tabelle 3.10: Prüfstoffe: Kenndaten und Dosierung

Prüfstoff	Dichte [g/cm ³]	Größenbereich [mm]	Dosierung bei Teilprüfung	Art der Dosierung	Zeitraum der Dosierung	Jahresfracht [g/m ²]	Dosiermenge bei 400 m ² Anschlussfläche [g]
Quarzmehl Millisil W4	2,65	0,002-0,4	1,2,3	Dosierschnecke	kontinuierlich	50*	TP 1: 10000 TP 2: 6666,6 TP 3: 3333,3
Sand-Kies-Gemisch	2,65	0,1-4	3	manuell	in gleichmäßigen Abständen langsam zugegeben (alle 10 min)	58,6	TP 3: 3906,42
PE-Granulat	0,951	Ø: 3-4 Höhe: 2	3	manuell	gleichmäßig in den ersten 5 min	1,012	TP3: 68,07
PS-Granulat	1,03	Ø: 2 Höhe: 3	3	manuell		1,021	TP3: 67,48
Rindenmulch	0,3-0,4	0-40	3	manuell		9,46	TP3: 630,4
Heizöl EL DIN 51603	0,86	-	1,2,3	manuell mit Spritze		0,68*	TP 1: 90,67 TP 2: 90,67 TP 3: 90,67
*nach [DIBt 2011]							



Abbildung 3.19: Prüfstoffe: Millisil W4, Kies-Sand-Gemisch, PE-Granulat, PS-Granulat, Rindenmulch (von links nach rechts)

Das Quarzmehl Millisil W4 wurde von der Fa. Quarzwerke GmbH und das Sand-Kies-Gemisch mit dem Produktnamen Testra-Strahlmittel wurde von Fa. M+E Tebbe-Neuenhaus GmbH & Co. KG bezogen. Das PE-Granulat (HOSTALEN GD 4755 PE-HD) und PS-Granulat (STYROLUTION PS 495N) wurde bei der Fa. Albis Plastic GmbH bestellt. Das Rindenmulch (100 % Nadelholzrinde) stammt von der Fa. Terrasan Haus-+Gartenbedarf GmbH. Die Korngrößenverteilung von Millisil W4 und dem verwendeten Sand-Kies-Gemisch sind im Anhang 3 und Anhang 4 hinterlegt.

Für die Schwermetalluntersuchungen (Cu und Zn) wurde mittels flüssiger Standardlösungen die nach DIBt geforderten Konzentrationen von 6,25 mg Zn/L und 0,72 mg Cu/L mit entionisierten Wasser ($LF \leq 50 \mu\text{S}/\text{cm}$) angesetzt und gegebenenfalls geforderte der pH-Wert zwischen 4,5 und 5,2 eingestellt. Allerdings kann im Vorlagebehälter für die Versuche mit dem INNOLET-Substrat S1 für Kupfer nur eine Konzentration von 0,566 mg/L statt der geforderten 0,72 mg/L und für Zink eine Konzentration von 3,94 mg/L statt der geforderten 6,25 mg/L erreicht werden. Damit entsprechen die Zulaufkonzentrationen nur zu 79 % bzw. zu 63 % denen der DIBt-Zulassungsgrundsätze für Kupfer bzw. Zink. Auch bei der Untersuchung des BUDAVINCI-Substrats wurden alle Zugabemengen für das Ansetzen der Schwermetall-Lösung eingehalten. Dennoch entsprechen die Konzentrationen im Vorlagebehälter mit 0,548 mg Kupfer/L bzw. 4,005 mg Zink/L nur zu 76 % bzw. 64 % den geforderten Konzentrationen.

Für die Tausalz-Versuche wurde mit entionisierten Wasser ($LF \leq 50 \mu\text{S}/\text{cm}$) und der berechneten Tausalzmenge eine Lösung mit der geforderten Zulaufkonzentration von 10 g/L eingestellt. Das Tausalz stammt aus einer Salzlagerhalle der Berliner Stadtreinigung (BSR), wird als Auftaumittel zur Glättebekämpfung im Winterdienst auf den Straßen im Großraum Berlin verwendet und ist wie folgt zusammengesetzt:

- 70 % Streusalz (NaCl)
- 30 % Calciumchlorid-Lösung (CaCl_2).

Damit sich das Tausalz besser auflöst, wird es zunächst in einem 10 L-Behälter mit erwärmtem Wasser angesetzt und verrührt, bevor es in den Vorlagebehälter gegeben wird.

Zwischen den Prüfungen des Schwermetallrückhalts und der Rücklösung unter Salzeinfluss wird der Vorlagebehälter mit einem Kärcher gereinigt und anschließend mit entionisiertem Wasser ausgespült, bevor die jeweiligen Lösungen angesetzt werden.

Die Daten der Schwermetall-Untersuchung werden gemäß den Vorgaben des DIBt ausgewertet. Analysen, deren Ergebnisse die Bestimmungsgrenze unterschreiten werden gesondert markiert, bewertet und für die Berechnung der gemittelten Ablaufkonzentration, nach Vorbild der Anlage 5 der GrwV (2010), durch die Hälfte des Wertes der Bestimmungsgrenze ersetzt.

3.5.2.3 Probenahme

Die Probenahme für die Millisil-Versuche erfolgte in den definierten Zeitabständen nach DIBt (2011) am Ablauf der Anlagen. Für die Teilprüfung 1 bis 3 wurde nach Beginn des Testlaufs die Durchlaufzeit für das einfache Anlagenvolumen abgewartet und über die restliche Versuchsdauer gleichmäßig jeweils fünf Probenahmezeitpunkte definiert. Zu jedem Probenahmezeitpunkt erfolgte eine zweifache Beprobung. Bei der Teilprüfung 4 wurden 15 Proben in Abständen von 1 min gezogen.

Für die Probenahme der Heizöl-Versuche wurde ein Probenahmestutzen nach DIN EN 858-1 genutzt. Dabei handelt es sich um eine Vorrichtung, die über den gesamten Querschnitt des Ablauf-Rohres Wasser entnimmt. Bei jeder Teilprüfung wurden zwei Mischproben (Doppelbeprobung) entnommen. Bei Teilprüfung 1 bis 3 setzen sich die zwei Mischproben jeweils aus 10 Proben a 75 mL, die in gleichmäßigen Abständen über die Versuchslaufzeit entnommen wurden, zusammen. Bei der Teilprüfung 4 wurden die zwei Mischproben aus jeweils 4 Proben a 200 mL mit einem Probenahmeabstand von 5 min gebildet.

Die verwendeten Probenahmegeräte und Messzylinder für die Versuche mit Millisil W4 und Heizöl EL sind aus Glas.

Für die Rückhalt-Bestimmung der Versuche mit dem Sand-Kies-Gemisch, PS-Granulat, PE-Granulat und Rindenmulch wurde am Ablauf der Anlagen ein Edelstahlsieb mit einem Durchmesser von 600 mm und einer Maschenweite von 90 µm verwendet.

Die Probenahme der Schwermetallversuche erfolgt am Auslass der Prüfanordnung 2. Der Abfluss wird über einen Trichter in einem 100 mL-Messzylinder aus PE aufgefangen und das Volumen mit Hilfe von PE-Einweg-Pipetten (3,5 mL) auf genau 100 mL (± 1 mL) eingestellt. Aufgrund der besseren Vergleichbarkeit zwischen den Testergebnissen der beiden Filterelemente ist der Durchfluss der bestimmende Faktor zur Probenahme, d.h. die Zeitpunkte für die Probenahme werden anhand des Beschickungsvolumens gewählt, die Uhrzeit dient zur Kontrolle.

3.5.3 Analytik

Die gewonnenen Proben am Teststand wurden für den Parameter AFS im Labor des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft der TU Berlin analysiert. Die Analyse der Parameter MKW, Zink und Kupfer wurde an einem externen Umweltlabor durchgeführt.

Tabelle 3.11: Messmethoden der untersuchten Parameter (Teststand)

Parameter	Prüfstoff	Methode	Bestimmungsgrenze
AFS	Millisil W4	DIN 38409 (Membranfilter ME 25 Whatman Cellulosemischer Porenweite: 0,45 µm)	
AFS	Kies-Sand-Gemisch PE-, PS-Granulat Rindenmulch	Gesamter Ablauf über Edelstahlsieb Porenweite: 90 µm Nach Trocknung: Massenrückrechnung	
MKW (KW-Index)	Heizöl EL nach DIN51603	EN ISO 9377-2 (H53), (C10-C40)	100 µg/L
Zink	Zink-Standard-Lösung	DIN EN ISO 11885 (E22)	10 µg/L
Kupfer	Kupfer-Standard-Lösung	DIN EN ISO 11885 (E22)	10 µg/L

3.6 Datenmanagement

Während des Projekts wurden von den verschiedenen Projektpartnern Mess- und Metadaten erhoben. Neben der Zusammenführung aller Messdaten ist es für die Validierung und Interpretation der Daten wichtig, dass sie im Zusammenhang mit Metadaten, also Daten die für die Interpretation der Messdaten benötigt werden, betrachtet werden.

Zu den von der TU Berlin erhobenen Messdaten gehörten die Wasserstände und Abflüsse in den Messschächten sowie die im Labor ermittelten Stoffkonzentrationen. Wasserstände wurden von den Messgeräten aufgezeichnet und lagen in Form von Textdateien vor. Durchflüsse wurden außerhalb der Messgeräte über eine Wasserstand/Durchfluss-Beziehung berechnet.

Zu den Metadaten gehörten die Ergebnisse der regelmäßig durchgeföhrten betrieblichen Untersuchungen und Wartungen der Reinigungsanlagen. Diese wurden in Betriebs- und Wartungsprotokollen erfasst und darüber hinaus mit Fotos protokolliert. Eine weitere wichtige Metainformation war das Wetter und insbesondere die Niederschlagssituation. Diese wurde zum Einen qualitativ im Betriebsprotokoll erfasst und zum Anderen aus Niederschlagsdaten ermittelt, die von den BWB zur Verfügung gestellt wurden. Zu den Metadaten zählten auch die von den automatischen Probenehmern aufgezeichneten Dateien, in denen die Zeitpunkte der Flaschenbefüllung und aufgetretene Fehler protokolliert wurden.

Zur Verwaltung dieser im Projekt verwendeten Mess- und Metadaten wurde ein Datenmanagement eingerichtet. Ziele des Datenmanagements waren:

- Mess- und Metadaten zentral abzulegen und allen Partnern kontinuierlich (zur Information oder zur Auswertung) über eine einheitliche Plattform bereitzustellen.
- für Datensicherheit zu sorgen,
- die Qualität der Datenerfassung und -bearbeitung sicherzustellen,
- eine effektive Datenauswertung zu unterstützen.

Zur Erfüllung dieser Ziele wurde eine Webanwendung entwickelt, über die Bilder, Messwerte und Metainformationen ausgetauscht werden können. Für die Projektpartner wurden Zugangskonten mit verschiedenen Berechtigungsstufen (Administrator, Lesen und Schreiben, nur Lesen) eingerichtet. Der Austausch von Mess- und Metadaten erfolgt auf zwei Ebenen: der Dateiebene und der Datenbankebene.

Auf der Dateiebene fungiert die Webanwendung als zentraler Dateispeicher für Originaldateien. Dateien können hoch- und runtergeladen werden. Ein einfacher aber bereits sehr wirkungsvoller Bestandteil des Datenmanagements war die Einigung auf eine Nomenklatur für die Vergabe von Dateinamen. Über diese abgestimmte Nomenklatur wurden die Dateien vom System einem Messort, einer Dateiart und einem Zeitpunkt oder Zeitraum zugeordnet.

Das System erlaubt so, bei der Suche nach einer Datei nach verschiedenen Kriterien (Messort, Dateiart, Zeitraum) zu filtern.

Da Mess- und Metadaten in Bezug auf Qualität, Quantität und Datenformate sehr unterschiedlich waren, wurden ausgewählte Daten in eine Datenbank importiert. In dieser sind Daten unterschiedlichen Ursprungs und vor ursprünglich unterschiedlichen Dateiformaten in einer einheitlichen Struktur abgelegt. Die Webanwendung implementiert im Wesentlichen zwei verschiedene Datenbankschemata:

Das eine Schema, das der Speicherung der Messzeitreihen dient, ist das Observations Data Model (ODM), das vom Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science (CUAHSI) entwickelt wurde [Tarboton et al. 2008]. CUAHSI ist eine 2001 gegründete U.S. amerikanische Forschungsorganisation, die mehr als 130 Universitäten der U.S.A und internationale Organisationen im Wassersektor repräsentiert und das Ziel hat, Infrastruktur und Dienste für den Fortschritt der Wasserwissenschaft zu entwickeln.

Für die Speicherung der über die Betriebsprotokolle erfassten Metadaten wurde auf ein Datenmodell zurückgegriffen, das am KWB im Rahmen des Projektes MIA-CSO entwickelt wurde [Sonnenberg et al. 2013]. Dieses diente ursprünglich der Aufnahme von Metadaten über die Wartung von Messgeräten und wurde im Rahmen dieses Projekts verwendet, um die Inhalte der Betriebsprotokolle strukturiert in der Datenbank abzulegen.

Die Inhalte der Datenbank können über die Webanwendung nach verschiedenen Kriterien (Messschacht bzw. Reinigungsanlage, Messgröße bzw. Betriebsprotokollelement, Zeitraum) abgefragt, in der Weboberfläche angezeigt und als CSV-Datei exportiert werden (Abbildung 3.20). Zeitreihen (Wasserstand, Durchfluss, Regen) können darüber hinaus in einer interaktiven graphischen Darstellung angezeigt werden (Abbildung 3.21).

Bilder							Messwerte	Metainformationen	Dateien hochladen	Report
Zeitraum		18.10.2014 00:00	Treffurer Straße	Filter/Innolet (F)	25 Bilder/Seite	Ausführen				
Datum	Standort/Pos.	Gerät	Aktion/Variable	Wert						
30.10.2014 00:00	Treffurer Straße Straßenablauf 4	Filter/Innolet	Bilder vorhanden Vorkommisse	Nein						
30.10.2014 00:00	Treffurer Straße Straßenablauf 4	Filter/Innolet	Meldung über Probleme Vorkommisse	Nein						
30.10.2014 00:00	Treffurer Straße Straßenablauf 4	Filter/Innolet	Überstau Gulli Vorkommisse	Nein						
30.10.2014 00:00	Treffurer Straße Straßenablauf 4	Filter/Innolet	Material Vorkommisse	Sonstiges						
30.10.2014 00:00	Treffurer Straße Straßenablauf 4	Filter/Innolet	Material Vorkommisse	Sand						
30.10.2014 00:00	Treffurer Straße Straßenablauf 4	Filter/Innolet	Material Vorkommisse	Laub						

Abbildung 3.20: Ansicht von Betriebsprotokolldaten im Webbrowser. Hier: INNOLET im Straßenablauf 4 in der Treffurer Str.

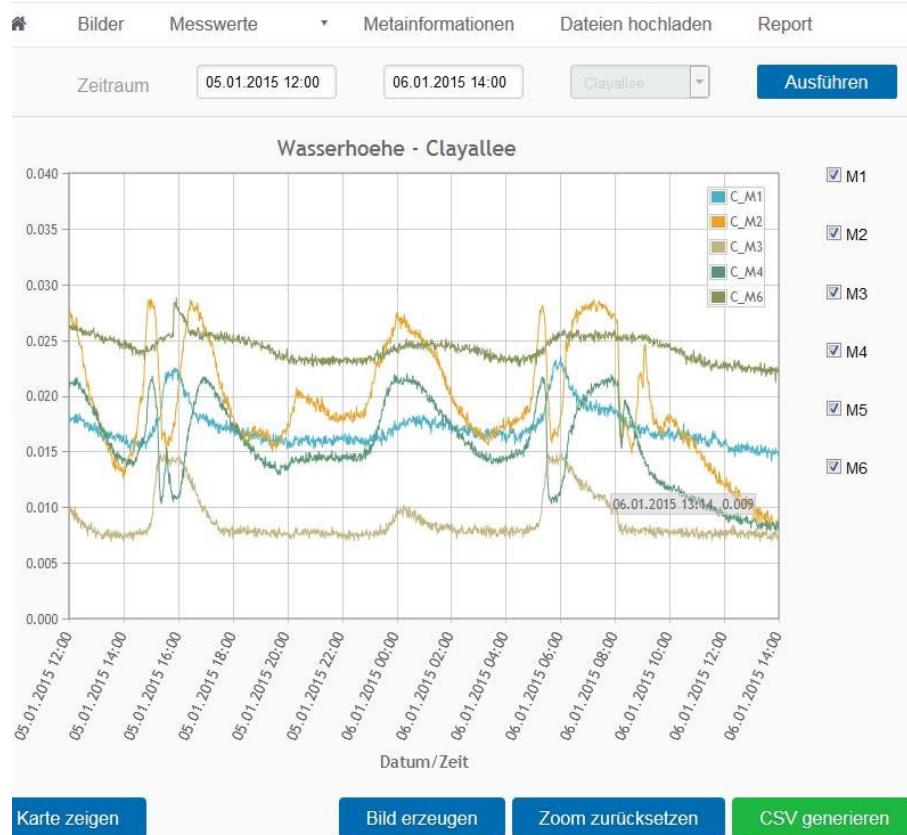


Abbildung 3.21: Graphische Darstellung gemessener Zeitreihen im Webbrowser. Hier: Wasserstände (in cm) in den Messschächten der Clayallee

Für spezielle Auswertungen, die auf Grundlage der Mess- oder Metadaten vom KWB erstellt wurden, wurde ein zusätzlicher Downloadbereich eingerichtet. In diesem wurden zum Beispiel aus den Niederschlagsdaten berechnete Ereignislisten mit Gesamtniederschlag, Niederschlagsintensität und Trockenzeiten vor einem Ereignis für jedes ermittelte Niederschlagsereignis abgelegt.

3.7 Schmutzfrachtsimulation

Für das Einzugsgebiet Pücklerteich wurde ein hydrologisches Schmutzfrachtmodell erstellt und die Wirkungsweise der in situ getesteten Anlagen auf das Einzugsgebiet übertragen. Dabei wurde insbesondere das Potential der Anlagen zum Rückhalt ausgewählter Nähr- und Schadstoffe auf Einzugsgebietsebene betrachtet. Die Betrachtung erfolgte mittels des numerischen Modells STORM durch eine Langzeit-Schmutzfracht-Simulation mit dem Modul SEWSYS. Außerdem wurde ein Vergleich mit dem Stoffrückhalt durch zentrale Anlagen der Regenwasserbehandlung (Regenklärbecken, Retentionsbodenfilter) durchgeführt.

3.7.1 Verwendetes Modell – STORM-SEWSYS

STORM ist eine Software für die Modellierung wasserwirtschaftlicher Systeme. Als Langzeitkontinuumsmodell wird es zur Niederschlagsabfluss-Simulation (NA) und zur Schmutzfrachtsimulation von Misch- und Trennsystemen genutzt. Es ist hervorragend eignet für die Planung von einzelnen Regenwasserbewirtschaftungsanlagen bis hin zu Generellen Entwässerungsplänen (GEP) für große Einzugsgebiete. Eine Verknüpfung mit Kanalnetzberechnungsprogrammen wie bspw. Hystem-Extran oder Mouse sowie die Anbindung mit Geografischen Informationssystemen (GIS) und CAD-Programmen ist möglich.

Die Schmutzfrachten können anhand von zwei Methoden berechnet werden. Nach dem Konzentrationsansatz können unterschiedliche Konzentrationsparametersätze für verschiedene Schmutzwasserarten (z. B. häusliches Schmutzwasser) bzw. Niederschlagsabflüssen von unterschiedlichen Flächen (Straße, Dach, etc.) definiert und zugeordnet werden. Die Angabe der Konzentration erfolgt bspw. in Einheiten wie mg AFS/L.

Als weitere Komponente steht das Modul SEWSYS zur Verfügung. Es ist ein in STORM implementiertes schwedisches Akkumulations- und Abtragsmodell für die dynamische Schmutzfrachtsimulation von Oberflächen. Dieses Modul wurde im Rahmen des EU-Projektes Daywater entwickelt und im EU-Projekt NORIS (No Rainwater in sewers) weiterentwickelt und angewendet. Damit können aus vorgegebenen Quellen (z.B. Verkehrsbelastungen) die Konzentrationen im Regenabfluss berechnet werden. Anders als bei gängigen Schmutzfrachtmodellen, bei denen in der Regel die Konzentrationen angegeben werden, können mit SEWSYS die Ursachen für die Verschmutzung spezifiziert werden (Abbildung 3.22). Als Eingabedaten dienen zum Einen Informationen aus dem Einzugsgebiet wie bspw. der Anteil metallischer Dächer und zum Anderen „Globaldaten“, wie u. a. der jährliche Reifenabrieb. Letztere Daten zur Akkumulation bzw. Deposition liegen entweder als flächen- oder linienhafte Werte vor (mg/m² a und/oder µg/km gefahren) und sind in einer Datenbank gespeichert, die mit SEWSYS verknüpft ist.

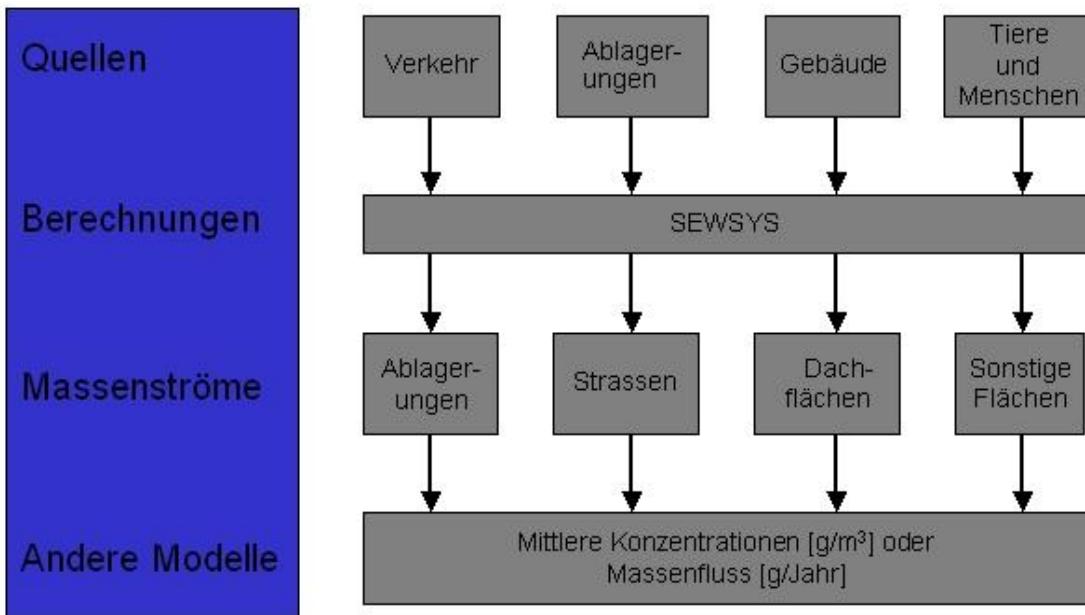


Abbildung 3.22: Konzept von SEWSYS

Weiterhin können in STORM an jeder Stelle des Modells Abflussganglinien in verschiedenen Formaten zur Weiterverarbeitung im NA-Modell (Niederschlagsabfluss-Modell) oder dem Gewässergütemodell der DWA erzeugt werden. Die Ausgabe kann je nach erforderlichem Zeitraum und Zeitschritt erfolgen. Eine Gesamtwasser- bzw. Frachtbilanz ermöglicht einen Überblick über das Gesamtsystem.

3.7.2 Eingangsdaten

Folgende Daten gingen in die Bearbeitung ein:

- Flächen- und Kanaldata zum Einzugsgebiet Pücklersee (BWB)
- Regendaten (BWB)
- Digitales Geländemodell
- Konzentrationsangaben für Dach- und Hofabflüsse
- Akkumulationsangaben für Verkehrsflächen
- Stoffrückhalt dezentraler Anlagen aus in situ Untersuchungen Clayallee
- Stoffrückhalt von Berliner Regenklärbecken und Retentionsbodenfilter (BWB, IFS)

Die Flächendaten mit Anschluss an die Regenkanalisation wurden im GIS als auch mit CAD-Programmen aufbereitet und bilden die Grundlage für die Aufstellung des hydrologischen Schmutzfracht-Modells.

Für die beiden in situ Standorte wurden durch die Berliner Wasserbetriebe Aufzeichnungen von Regenschreibern zur Verfügung gestellt. Diese Daten liegen im 5 Minuten Intervall vor und wurden von dem Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB) validiert.

Für das Einzugsgebiet Pücklersee wurde der Regenschreiber des Pumpwerkes Wilmersdorf (Wil a) verwendet. Dieser repräsentiert die Niederschlagsverhältnisse am besten. Er befindet sich 1,8 km nordwestlich des Projektgebietes und liegt in der Hauptwindrichtung von niederschlagsreichen Tiefdruckgebieten aus Westen.

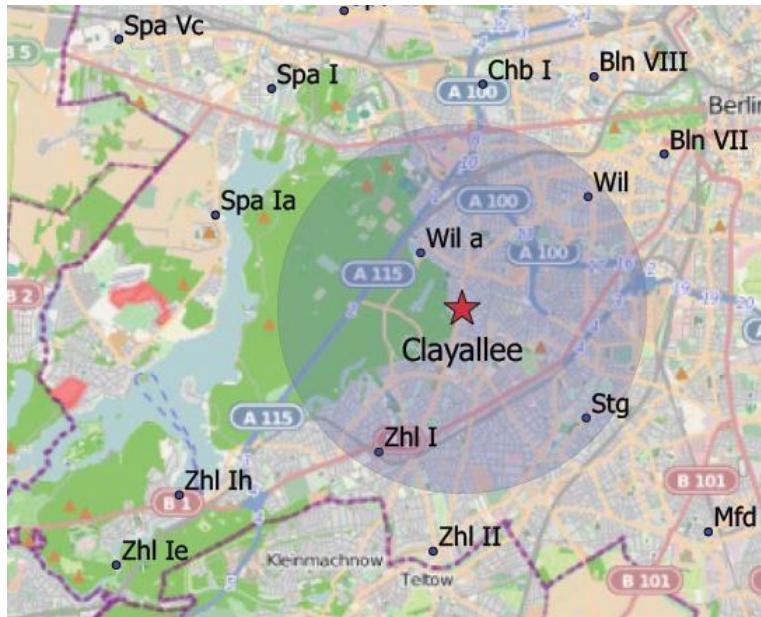


Abbildung 3.23: Lage der Regenschreiber im Südwesten Berlins

Für die Niederschlagsabfluss- und Schmutzfrachtsimulation lagen unterschiedliche Datenquellen über die Konzentrationen im Abfluss als auch über die Akkumulation bzw. Deposition vor. Der Fokus der Schmutzfrachtsimulation lag auf dem Niederschlagsabfluss für die starkbefahrenen Verkehrsflächen. Um die Effekte des „Abwaschens“ von der Straße abzubilden, wurde für Straßen im Einzugsgebiet des Pücklersees das Akkumulations- und Abtragsmodul SEWSYS verwendet. Je nach Straßenverkehrsbelastung (inkl. Schwerlastverkehr) variiert die Akkumulation auf der Fläche stark. Das spiegelt sich in den ausgewerteten Literaturquellen für Verkehrsflächen. Hingegen für Dach- und Hofflächen sind nur vereinzelt Literaturangaben über akkumulierte Stoffe zu finden.

Als Datengrundlage lag ein aus Konzentrationen rückgerechneter schwedischer Datensatz über Akkumulationen und deren Abtrag vor. Ergänzt wurden die Daten durch nationale und internationale Literaturquellen, die u.a. aus zwei Masterarbeiten [Helling 2008], [Himanshu 2013] und einer Diplomarbeit [Jung 2015] stammen und darin benutzt wurden.

Für Verkehrsflächen wurden unterschiedliche Klassen nach DTV-Bereichen gebildet, die maßgeblichen Einfluss auf die Verschmutzung der Straßenabflüsse haben. Zudem lässt sich mit Verwendung des Moduls der Stoffabtrag durch die Straßenreinigung darstellen. Der Umfang der Straßenreinigung ist im Straßenreinigungsgesetz von Berlin festgesetzt und wurde in unterschiedliche Reinigungsklassen aufgeteilt. Aufgrund der wenigen Literaturquellen wurde für Dach- und Hofflächen der Konzentrationsansatz gewählt.

Dabei wurde sich u.a. an aktuellen Werten aus dem BMBF KURAS-Projekt orientiert (Mittelung der Werte durch KWB) und folgende Konzentrationen gewählt.

Tabelle 3.12: Konzentrationsansatz Regenwasserabfluss Dach und Hof

Flächentyp	AFS [mg/L]	CSB [mg/L]	P _{ges} [mg/L]	Cu [mg/L]	Zn [mg/L]
Dach	40	40	0,03	0,1	0,4
Hof	86	70	0,2	0,2	0,3

Als Grundlage des Frachtrückhalts von dezentralen Reinigungsanlagen im Straßenablauf wurden die Ergebnisse der in situ Untersuchungen aus der Clayallee verwendet. Als Rückhalt ging der Median der untersuchten Proben je Reinigungssystem ein (Vgl. Kapitel 4.2.1.4).

Für den Rückhalt zentraler Regenwasserbehandlungsanlagen haben die Berliner Wasserbetriebe Kenndaten zum Retentionsbodenfilter (RBF) Halensee und Regenklärbecken (RKB) Schlierseestraße bereitgestellt. Ergänzt werden diese Daten durch Berichte der Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie Hannover (IFS). Danach besitzt der RBF ein angeschlossenes kanalisiertes Einzugsgebiet ($A_{E,k}$) von 46 ha mit A_{red} von 22,8 ha. Über das Einzugsgebiet des RKB ist nur A_{red} mit 15 ha bekannt. Das kanalisierte Einzugsgebiet wird auf 30 ha geschätzt. Zudem wurde das Regenklärbecken auf eine kritische Regenspende $r_{krit}=15$ L/s ha ausgelegt.

Tabelle 3.13: Kenndaten RBF Halensee und RKB Schlierseestraße (BWB)

Kenndaten	RBF Halensee	RKB Schlierseestraße
$A_{E,k}$ [ha]	46	Annahme: 30
A_{red} [ha]	22,8	15
A_{Filter} [m^2]	2250	-
$V_{Speicher}$ [m^3]	2250	400
V_{spez} [m^3/ha]	98	27
Q _{üb} [%]	2	15

Angaben zum Frachtrückhalt je Anlage sind in der Tabelle 3.14 dargestellt (verwendete Rückhalteleistungen RBF unter Vorbehalt, siehe [IFS 2009]).

Tabelle 3.14: Frachtrückhalt RBF Halensee und RKB Schlierseestraße (BWB)

Rückhalt	P _{ges}	AFS	CSB	Cu	Zn
RBF Halensee	87 %	98 %	80 %	85 %	92 %
RKB Schlierseestraße	38 %	70 %	40 %	65 %	31 %

Die Fahrbahnreinigung ging mit Reinigungsintervallen von 0,5x; 1x und 2x je Woche ein. Die Reinigungseffizienz wurde im Bereich zwischen 10 % bis 70 % gewählt. Die Fahrbahnreinigung findet auf nur einem Fahrstreifen soweit möglich am Rinnstein mit einer Kehrbreite von 2,5 m statt. Unter Annahme der Stoffansammlung von 80 % des Gesamtquerschnittes auf diesem Fahrstreifen wurde für die Straßenreinigung ein Faktor von 0,8 angesetzt.

3.7.3 Aufstellung Modell

Für die Aufstellung des hydrologischen Niederschlagsabfluss- und Schmutzfrachtmodell wurden die unter Kapitel 3.7.2 aufgezählten Daten verwendet. Die Grundlagendaten aus dem GIS und CAD-Plänen wurden aufbereitet und in STORM importiert.

Die ermittelten Rückhalteleistungen der dezentralen Anlagen beziehen sich auf die untersuchten Wasserproben im Untersuchungszeitraum. Daher wurden die Berechnungen ausschließlich für ein Jahr Simulationszeitraum (01.07.2014 bis 30.06.2015) durchgeführt.

Die Schmutzfrachtberechnung wurde zum Einen für einen Straßenablauf mit einer angeschlossenen Fläche von 360 m² und zum Anderen für das Einzugsgebiet des Pücklerteiches durchgeführt. In den Berechnungen für das EZG Pücklerteich gingen verschiedene dezentrale und zentrale Varianten sowie die Straßenreinigung ein, die im nächsten Kapitel beschrieben werden. Als Ergebnis werden die Frachten in Einheiten wie kg/a ausgewertet.



Abbildung 3.24: STORM-Modell Pücklerteich

3.7.4 Untersuchte Reinigungsmethoden

Die untersuchten Reinigungsmethoden setzen sich aus dezentralen Maßnahmen im Straßenablauf, zentralen Maßnahmen am Auslass des Trennsystems zum Pücklerteich und der oberflächigen Straßenreinigung zusammen.

Tabelle 3.15: Reinigungsmethoden

Maßnahme	Beschreibung
Zulauftrichter (Referenz)	Nassgully ohne Schlamtraum, ohne Grobstoffeimer
Dezentrale Systeme in Hauptverkehrsstraßen (im Projekt untersucht)	
Nassgully ohne Eimer	Nassgully mit Schlammfang und ohne Grobstoffeimer
Nassgully mit Eimer	Nassgully mit Schlammfang und langem Grobstoffeimer
ACO SSA mit Eimer	Separationsstraßenablauf (ACO) und langem Grobstoffeimer
INNOLET-G	INNOLET®-G (Berliner Modell für Quadrataufsatz, Funke Gruppe)
BUDAVINCI Typ-N	BUDAVINCI Typ-N (MEIERGUSS) und kurzem Grobstoffeimer
Zentrale Systeme am Auslass der Regenkanalisation	
Regenklärbecken angepasst (RKB)	Regenklärbecken (in Anlehnung an vergleichbare RKB und RKB Schlierseestraße)
Retentionssodenfilter angepasst (RBF)	Retentionssodenfilter ohne vorgesetzten Sedimentationsraum (in Anlehnung an RBF Halensee)
Maßnahme auf den Hauptverkehrsstraßen	
Straßenreinigung	Straßenreinigung 0,5x ; 1x und 2x pro Woche

3.7.4.1 Dezentrale Anlagen in der Messstrecke Clayallee

Um eine Aussage zur Rückhalteleistung jeder dezentralen Reinigungsanlage in der Verkehrsfläche zu treffen, wurde ein Szenario mit einer angeschlossenen Fläche von rd. 360 m² gewählt, wobei auch die Kombination mit der Straßenreinigung betrachtet wurde. Als Rückhalt im Straßenablauf wurden einerseits die individuellen Rückhalteleistungen der beprobten Anlagen als auch drei Stützwerte im diesem Bereich (0 %, 10 %, 60 %; Vgl. ermittelter Rückhalt: Kapitel 4.2.1.4) gewählt. Dadurch lassen sich auch andere dezentrale Anlagen in die Auswertung einordnen. Keine Reinigungsleistung (0 %) im Straßenanlauf entspricht einer Behandlung durch Trockengullys ohne Grobstoffeimer. Diese Variante spiegelt den Einbau des Zulaufrichters wieder und wurde als Referenzszenario gewählt, um die bisher unbekannten Effekte eines klassischen Berliner Straßenablaufs ohne Grobstoffeimer zu ermitteln.

In den Betrachtungen fließen keine Sekundärreinigungswirkungen ein. Aber es fließt der Einfluss der Straßenreinigungsfrequenz auf die Reinigungsleistung ein. Dies betrifft theoretisch auch den Eimer, der hier im Detail betrachtet werden kann.

3.7.4.2 Dezentrale Anlagen und Straßenreinigung im EZG Pücklerteich

Für das Einzugsgebiet Pücklerteich wurden die Auswirkungen auf das Oberflächengewässer ebenfalls durch Szenarien mit dezentralen Anlagen in den Straßenabläufen als auch mit den Effekten der Straßenreinigung berechnet. Die dezentralen Reinigungsanlagen kommen ausschließlich in Hauptverkehrsstraßen mit mehr als 5.000 Kfz/d zum Einsatz. Diese Hauptverkehrsstraßen werden in zwei Verkehrsmengenklassen in „5000 – 15.000 Kfz/d“ und „>15.000 Kfz/d“ unterschieden. Auf eine Ausrüstung der Straßenabläufe mit weniger als 5.000 Kfz/d wird verzichtet, da die kontinuierliche Unterhaltung der Anlagen durch zugeparkte Straßenabläufe vor allem in Anwohnerstraßen kaum sichergestellt werden kann.

3.7.4.3 Zentrale Anlagen und Straßenreinigung im EZG Pücklerteich

Auf Basis der Kenndaten des Retentionsbodenfilters Halensee und Regenklärbeckens Schlierseestraße wurden zwei zentrale Szenarien am Auslass im Pücklerteich theoretisch abgebildet. Die Flächenverfügbarkeit für eine zentrale Reinigungsanlage am Pücklerteich unterscheidet sich gravierend von der Ausgangssituation und den Bedingungen am RBF Halensee, da am Pücklerteich nur sehr begrenzt Platz für eine Anlage zur Verfügung steht. Auf Grundlage einer Konzeption der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH von 10/2015 wurde ein reduzierter Bodenfilter ohne vorgesetzten Sedimentationsraum gewählt. Die Filtergrundfläche beträgt 2.000 m² mit einer Einstautiefe von 0,6 m. Das Überlaufvolumen nimmt aufgrund der kleineren Anlage auf 33 % zu. Bei diesen Varianten gingen individuelle Rückhalteleistungen entsprechend des Kapitels 3.7.2 ein. Diese wurden von den ursprünglichen Einzugsgebieten für den zu behandelnden Abfluss übernommen. Hier reduziert sich lediglich bei der angepassten RBF Variante die Behandlungsmenge, da vermehrt Überläufe auftreten.

Für das Szenario Regenklärbecken wurde in Anlehnung an vergleichbare Auslegungen von Regenklärbecken in Nordrhein-Westfalen und Berlin eine Übertragung des spezifischen Speichervolumens auf das EZG Pücklerteich durchgeführt. Auf dieser Grundlage mit spezifischen Speichervolumina im Bereich von 8 bis 50 m³/ha A_u wurde das Speichervolumen für das angepasste RKB Pücklerteich auf 1.000 m³ angepasst (=24,4 m³/ha A_{E,k}). Die Überlaufmenge von 15 % wird übernommen.

3.8 Ökobilanz

Die verschiedenen Systeme zur Regenwasserbehandlung haben neben den direkten positiven Umwelteffekten durch die Reduktion der stofflichen Emissionen in die Gewässer auch weitere indirekte Umweltwirkungen durch den Aufwand an Material und Hilfsstoffen für Bau und Betrieb/Wartung und die damit verbundenen Emissionen sowie den Ressourcenverbrauch. Um diese direkten und indirekten Umweltwirkungen für verschiedene Maßnahmen zu vergleichen, eignet sich die umfassende Betrachtungsweise der Ökobilanz (ISO 14040/44 2006). Diese Bewertungsmethode erfasst alle direkten und indirekten Umweltwirkungen von technischen Systemen mit einem Stoffstrommodell aller relevanten Prozesse inkl. vor- und nachgelagerter Produktsysteme und bewertet diese Stoffströme mit ausgewählten Indikatoren hinsichtlich bestimmter Umweltproblemfelder.

Die hier verglichenen Maßnahmen greifen dabei auf unterschiedlichen Ebenen der Regenwasserbehandlung ein: Maßnahmen auf der Straßenfläche, dezentrale Reinigungssysteme am Straßenablauf und zentrale Reinigungssysteme am Ablauf der Trennkanalisation in die Gewässer (Tabelle 3.16). Die betrachteten Einzelmaßnahmen in dieser Ökobilanz umfassen wie bei der Schmutzfrachtsimulation neben dem Nassgully mit Schlammfang ohne Eimer als Referenz (Grundzustand) vier verschiedene dezentrale Systeme: den einfachen Einbau des Grobstoffeimers sowie die dezentralen Reinigungssysteme ACO SSA, INNOLET-G und BUDAVINCI Typ-N. Daneben werden noch zwei zentrale Systeme der Regenwasserbehandlung bilanziert (Regenklärbecken (RKB) und Retentionsbodenfilter (RBF)), wobei der Bodenfilter nach Angaben der BWB ohne vorgesetzten Sedimentationsraum zu berechnen ist. Als letzte Maßnahme wird eine intensivere Straßenreinigung durch die BSR bilanziert, bei der die Frequenz der Reinigung des Straßenraums mit Großkehrmaschine von 1-mal pro Woche (Referenz) auf 2-mal pro Woche erhöht wird.

Das Ziel dieser Ökobilanz ist die Erfassung aller Umweltwirkungen für die betrachteten Maßnahmen und deren Bewertung, um so Aufwand und Nutzen aus umwelttechnischer Sicht zu vergleichen. Dabei wird zuerst ein direkter Vergleich der Maßnahmen über die angeschlossene Fläche (Einzugsgebietsfläche kanalisiert: $A_{E,k}$) erstellt, der die Grundlage für die Bilanzierung der einzelnen Maßnahmen bildet. Da der Vorteil der dezentralen Reinigungssysteme vor allem in ihrem gezielten Einsatz für stark verschmutzte Flächen besteht, werden die Maßnahmen nachfolgend anhand von konkreten Umsetzungsstrategien in einem realen Einzugsgebiet in Berlin (Pücklerteich) bewertet, um die unterschiedlichen Ansätze zentraler und dezentraler Systeme unter realistischen Bedingungen zu vergleichen.

Tabelle 3.16: Verglichene Maßnahmen in der Ökobilanz

Maßnahme	Beschreibung
Nassgully (Referenz)	Nassgully mit Schlammfang ohne Grobstoffeimer
Dezentrale Systeme	
Nassgully mit Eimer	Nassgully mit Schlammfang und Grobstoffeimer
ACO SSA	Einbau des Schachts ACO SSA (ACO Tiefbau)
INNOLET-G	Einbau des Einsatzes INNOLET-G (Funke)
BUDAVINCI Typ-N	Einbau des Schachts BUDAVINCI Typ-N (MeierGuss)
Zentrale Systeme	
Regenklärbecken (RKB)	Regenklärbecken (RKB Schlierseestr.)
Retentionssodenfilter (RBF)	Retentionssodenfilter ohne vorgesetzten Sedimentationsraum (in Anlehnung an RBF Halensee)
Maßnahme auf der Fläche	
Intensivere Straßenreinigung	Erhöhung der Frequenz der Straßenreinigung mit Großkehrmaschine (Straßenraum) von 1x pro Woche auf 2x pro Woche

Die Schritte der Ökobilanz sind methodisch nach ISO 14040/44 vorgegeben und werden in dieser Studie angelehnt an die Norm durchgeführt. Nach der genauen Definition des Untersuchungsrahmens der Ökobilanz werden über ein einfaches statisches Stoffstrommodell mit der Software Umberto 5.6 [IFU/IFEU 2009] alle wichtigen Stoffströme für Bau und Betrieb der Systeme erfasst und quantifiziert. Die abschließende Umweltbewertung erfolgt anhand von ausgewählten Indikatoren auf Grundlage wissenschaftlicher Wirkmodelle.

3.8.1 Definition des Untersuchungsrahmens

Die Funktion der betrachteten Systeme ist die Behandlung von Regenwasser im Trennsystem, das über den Straßenablauf abgeleitet wird und letztlich in ein Gewässer eingeleitet wird. Die funktionelle Einheit für den generischen Vergleich wird in Anlehnung an die getesteten dezentralen Systeme an der Clayallee über die angeschlossene kanalisierte Einzugsgebietsfläche ($A_{E,k}$) definiert. Die funktionelle Einheit ist die „jährliche Behandlung von Regenwasser, das auf einer Straßenfläche von $360 \text{ m}^2 A_{E,k}$ pro Jahr anfällt und im Straßenablauf abgeleitet wird [$360 \text{ m}^2 A_{E,k} a^{-1}$]“.

Die Systemgrenzen dieser Ökobilanz umfassen neben der Behandlung des Regenwassers und der Ableitung in die Gewässer alle Aufwendungen für Bau und Betrieb/Wartung der dezentralen und zentralen Systeme und die dafür erforderlichen Materialien und Prozesse wie Baumaterial, Betriebsmittel, Strom und Transporte (Abbildung 3.25). Dazu wird auch die Entsorgung der im Betrieb anfallenden Abfälle (abgetrennter Schlamm) mit abgebildet. Die Kanalbauwerke im Trennsystem sind nicht Bestandteil dieser Ökobilanz, ebenso wird die Entsorgung der Baumaterialien (außer Beton und Plastik) und der Filter vernachlässigt.

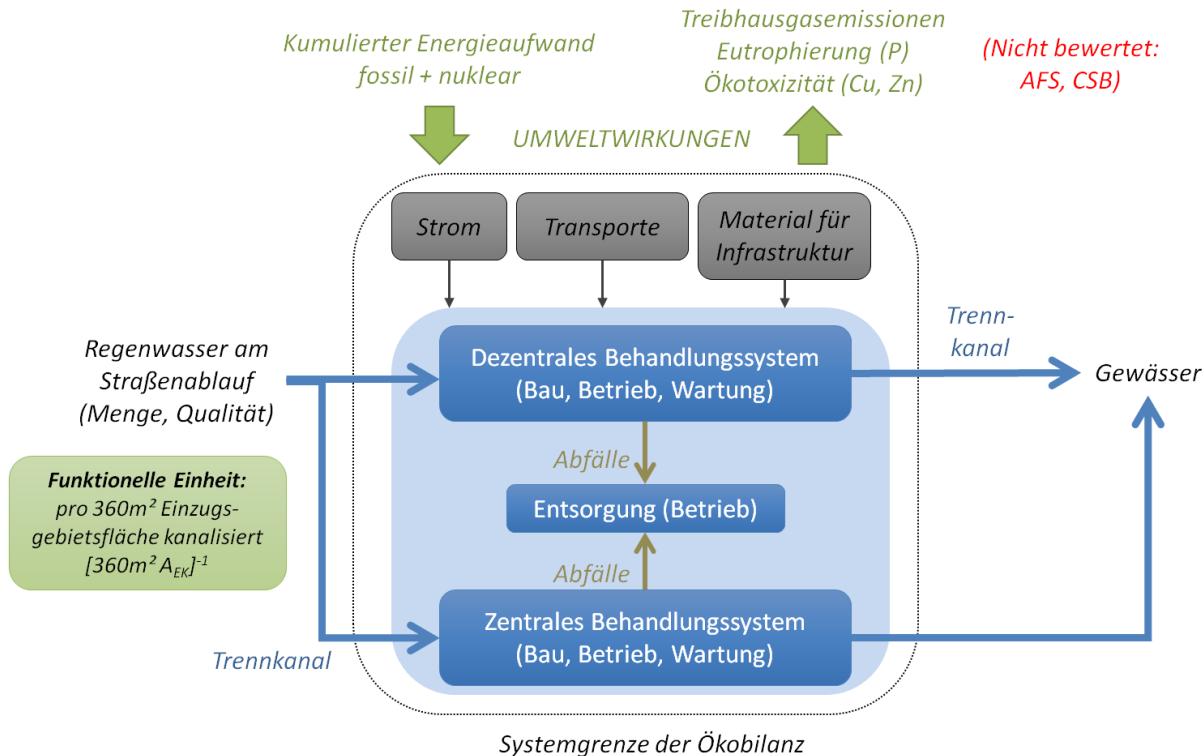


Abbildung 3.25: Systemgrenzen der Ökobilanz

Der Referenzfluss dieser Ökobilanz im direkten Vergleich ist der jährlich anfallende Regen auf der definierten Fläche von $360 \text{ m}^2 A_{E,k}$, der über den Straßenablauf zum Abfluss kommt. Menge und Stofffracht im Regen werden anhand der erhobenen Messwerte im Projekt definiert für die Parameter AFS, CSB, P_{ges} , Cu und Zn (Tabelle 3.17). Von den 427 mm Regen kommen nur 235 mm zum Abfluss. Insgesamt kommt damit auf der angeschlossenen Fläche pro Jahr $84,6 \text{ m}^3$ Regen mit einer Fracht von 15,3 kg AFS, 25,3 kg CSB, 66,8 g P_{ges} , 21,2 g Cu und 52,5 g Zn zum Abfluss. Die ermittelten Konzentrationen liegen im Bereich der Durchschnittswerte der BWB für Regenwasser im Trennsystem und auch im Bereich der Messwerte des UEP-Projekts OgRe für Proben am Straßenablauf. Die Bewertung der Umweltwirkungen der Emissionen ins Gewässer erfolgt in dieser Ökobilanz nur anhand der Parameter P_{ges} und Cu/Zn, daher hat der AFS-Wert hier nur eine Bedeutung als Leitparameter. In den Betrachtungen zum EZG Pücklerteich wird das Volumen und die Stofffracht im Regen direkt durch die Schmutzfrachtsimulation errechnet (Kapitel 3.7).

Tabelle 3.17 Definition von Regenvolumen und Stofffrachten für die Ökobilanz und Vergleich zu anderen Studien

		Ökobilanz DSWT: frachtgewogener Median (n = 15)	Daten BWB ¹ für Berliner Trennsystem	Daten OgRe ² : Ø aller Einzugsgebiete	Daten OgRe ² : Proben am Straßenablauf
A _{E,k}	[m ²]	360	360	450.000	13.000
Volumen	[mm/a]	427 (Abfluss 235)	242,5		
	[m ³ /a]	84,6	87,3		
AFS	[mg/L]	181	160	122	388
AFS _{fein}	[mg/L]	71			
CSB	[mg/L]	299	100	103	244
P _{ges}	[mg/L]	0,79	0,6	0,42	0,84
Cu	[mg/L]	0,25	0,1	0,27	0,19
Zn	[mg/L]	0,62	0,8	0,95	0,58

¹Info von Frau Kummelt, Berliner Wasserbetriebe

² Daten des UEP-Projekts OgRe (11409UEP) zum Monitoring von Regenwasser in Berlin, frachtgewogene Mittelwerte, Datenstand: 29.05.2015

Neben dem direkten Vergleich über die angeschlossene Fläche wird analog zur Schmutzfrachtsimulation und Kostenrechnung auch ein Vergleich für das EZG Pücklerteich vorgenommen. Dabei werden für die Betrachtung des EZG Pücklerteich die Daten aus der Schmutzfrachtsimulation (Kapitel 3.7) direkt übernommen:

- Für die dezentralen Maßnahmen ergibt sich eine erfasste Straßenfläche von 11,3 ha A_{E,k,ges} mit 283 Straßenabläufen (400 m² pro Einlauf), die gleiche Fläche ist auch für die Variante der intensiveren Straßenreinigung relevant.
- Für die zentralen Systeme RKB und RBF wird die gesamte kanalisierte Fläche des EZG Pücklerteich angesetzt (41 ha A_{E,k,ges}), die mit einem RKB von 1.000 m³ bzw. einem RBF mit 2.000 m² Fläche und 0,6 m Einstauhöhe behandelt wird. Damit ist die flächenspezifische Auslegung dieses RBF wesentlich kleiner als z.B. am RBF Halensee, wodurch sich der Ablauf wesentlich erhöht.
- Die Skalierung des Aufwands für den Bau/Betrieb erfolgt für die dezentralen Systeme über die Anzahl der Straßenabläufe, für die zentralen Systeme über das Volumen (RKB) bzw. die Fläche (RBF) und für die intensivere Straßenreinigung über die zu reinigende Straßenfläche. Die jeweiligen Effekte der Varianten auf die Schmutzfrachten in den Pücklerteich wird direkt aus der Schmutzfrachtsimulation (siehe Kapitel 3.7) übernommen.

Für die Bewertung der Umweltwirkungen in der Ökobilanz werden fünf Umweltindikatoren herangezogen (Tabelle 3.18). Die Wirkung auf die Gewässer wird über die Indikatoren zur Eutrophierung (P_{ges}) und zur Ökotoxizität Süßwasser (Cu, Zn) erfasst, während der Aufwand für Bau und Betrieb über den kumulierten Energieaufwand nicht-erneuerbarer Ressourcen (fossil und nuklear) und das eng damit verbundenen Treibhauspotential (Zeithorizont: 100 Jahre) abgebildet wird.

Tabelle 3.18: Umweltindikatoren für die Bewertung in der Ökobilanz

Indikator	Einheit	Bewertete Stoffe und Ressourcen	Faktor für Normalisierung (EU27 2010)	Quelle
Eutrophierung Süßwasser	[kg P-eq]	P-Emissionen in Gewässer und Boden	0,415 ²	ReCiPe ³
Ökotoxizität Süßwasser	[kg DCB-eq]	Cu, Zn	10,93 ²	ReCiPe ³
Kumulierter Energieaufwand fossil	[MJ]	Kohle, Erdöl, Erdgas	111837 ¹	VDI 4600 ⁴
Kumulierter Energieaufwand nuklear	[MJ]	Uran	19765 ¹	VDI 4600 ⁴
Treibhauspotential (100a)	[kg CO ₂ -eq]	CO ₂ (fossil), N ₂ O, CH ₄	11214 ²	ReCiPe ³

¹ BMWi (2010): Energiedaten. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin.

² ReCiPe (2015): Normalisation factors for Europe, excel-file ReCiPe111.xls. www.lcia-recipe.net.

³ ReCiPe: Goedkoop, M. J., Heijungs, R., Huijbregts, M. A. J., De Schryver, A., Struijs, J. and Van Zelm, R. (2009): ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; First edition Report I: Characterization. <http://www.lcia-recipe.net>

⁴ VDI (2012): VDI-Richtlinie 4600: 2012-01: Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Berechnungsmethoden. Beuth Verlag, Berlin.

Eine Einordnung der Ergebnisse der Umweltindikatoren ist über eine Normalisierung der Ergebnisse auf einen Referenzwert möglich. Dazu wird in dieser Studie als Referenzwert die gesamte jährliche Umweltwirkung eines Einwohners (EU 27, Stand 2010) genutzt (Tabelle 3.18). Die normalisierten Indikatorwerte erlauben eine gemeinsame Darstellung aller Indikatoren und zeigen den relativen Beitrag der betrachteten Systeme zu den gesamten Umweltwirkungen der Bevölkerung an.

Die Datenqualität der Eingabedaten für die Ökobilanz kann insgesamt als gut bis sehr gut betrachtet werden (Tabelle 3.19). Während für die Definition des Regenvolumens und der Schadstofffracht sowie für die Reinigungseffizienz der dezentralen Anlagen eigene Messwerte im Projekt DSWT generiert wurden, beruhen die Angaben zu Bau und Betrieb der Systeme auf Herstellerinformationen (dezentrale Systeme) bzw. auf Informationen der Betreiber (BWB, BSR). Die Hintergrundprozesse werden über die Datenbank Ecoinvent v2.2 [Ecoinvent 2010] abgebildet.

Tabelle 3.19: Verwendete Eingabedaten für Ökobilanz

Daten	Quelle	Bemerkungen
Regenvolumen und Stofffrachten	DSWT	Frachtgewogener Median der Messwerte Clayallee (n = 15)
Auslegung der Systeme	DSWT, BWB	Herstellerangaben, reale angeschlossene Fläche für dezentrale Filter in der Clayallee, zentrale Systeme: Auskunft der BWB
Materialaufwendungen	Hersteller, BWB	Angaben der Hersteller zu Materialaufwand und Lebensdauer, Bauunterlagen der BWB
Reinigungseffizienz	DSWT	Mittlere Entfernungsleistungen für AFS, CSB, P, Cu, Zn nach Messwerten für dez. Systeme in der Clayallee, Angaben für zentrale Systeme nach BWB, Abschätzung für Straßenreinigung
Betrieb und Wartung	Hersteller, BWB, BSR, DSWT	Angaben der Hersteller bzw. BWB und BSR, Erfahrungen aus Betrieb/Wartung in der Clayallee
Hintergrundprozesse	Ecoinvent v2.2	Ökobilanz-Datenbank für Strom, Baustoffe, Chemikalien, Hilfsstoffe, Transporte

3.8.2 Sachbilanz

Die Sachbilanzdaten für den Bau der dezentralen und zentralen Systeme wurden anhand der Herstellerangaben und nach Angaben der BWB (RKB) bzw. Grotehusmann (2010) (RBF) ermittelt (Tabelle 3.20). Beim Nassgully mit Eimer wird nur der zusätzliche Grobstoffeimer betrachtet. Für die dezentralen Reinigungssystems sind bei ACO SSA und BUDAVINCI auch der Aushub für den Neubau des Schachts, das Schachtmaterial selber, die spezielle Schachtabdeckung inkl. Auflage und die notwendigen Schachteinbauten berücksichtigt. Beim INNOLET-G wird nur der Filtereinsatz mit Dichtungen bilanziert. Die Filtermaterialien für INNOLET und BUDAVINCI werden anhand ihrer spezifischen Zusammensetzung abgebildet, die auf Wunsch der Hersteller nicht veröffentlicht wird. Die Entsorgung des Filtermaterials wird hier nicht betrachtet.

Für die zentralen Maßnahmen sind hauptsächlich Aushub, Beton und Armierungsstahl relevant, dazu noch Gusseisen für die Pumpen und beim RBF das Material für Bodenabdichtung und Drainagerohre (HDPE/PVC). Die Auslegung der zentralen Maßnahmen erfolgt anhand der betrachteten Fallbeispiele (RBF: Halensee, RKB: Schlierseestr), wobei sich ein Volumen von 98 m³/ha A_{E,k} für den RBF ergibt. Die angeschlossene Fläche A_{E,k} für das RKB wird aus der vorhandenen A_{red} = 15 ha über einen üblichen Faktor auf 30 ha abgeschätzt (= 13 m³/ha A_{E,k}).

Die Lebensdauern werden nach Angaben der Hersteller abgeschätzt, wobei je nach Materialtyp eine bestimmte Lebensdauer für alle Szenarien gleich angesetzt wird (Tabelle 3.20). Durch die korrosive Wirkung des Regenwassers (besonders im Winter mit hoher Salzfracht bei Einsatz von Streusalz) wird die Lebensdauer für den Edelstahl der Schachteinbauten relativ niedrig angesetzt.

Ebenso sind die Dichtungen (EPDM) nach voraussichtlich 10 Jahren abgenutzt. Der Filteraustausch erfolgt im vom Hersteller angegebenen Intervall (einmal pro Jahr für INNOLET-G, alle fünf Jahre für BUDAVINCI).

Für die betrieblichen Aufwendungen der dezentralen Systeme wurden folgende Annahmen getroffen:

- Anfahrt pro Straßenablauf: 667 m (60 Stück pro Tag (8 h), 40 km tägliche Fahrstrecke nach Info der BSR)
- Inspektion und Reinigung: 1,5 Fahrten pro Jahr für Nassgully ohne/mit Eimer, 2 Fahrten pro Jahr für dezentrale Reinigungssysteme
- Anfahrt mit Saugwagen (235 kW, 18 t), Verbrauch von 0,4 L Diesel pro km inkl. Saugvorgang
- Schlammensorgung durch die BSR: Berechnung der Schlammmengen über abgeschiedene AFS-Menge und TR-Gehalt (Schätzung: TR = 5 %), Transport per Saugwagen, dann Trennung über Siebtrommel (2,7 kWh/t Schlam) und Entsorgung über Deponie/Straßenbau (anorganischer Anteil) bzw. mechanisch-biologische Anlage (MBA) und nachfolgend Deponie.

Tabelle 3.20: Sachbilanzdaten für Bau der Systeme (Aushub, Material, Lebensdauer)

		Nassgully mit Eimer	ACO SSA	INNOLET-G ¹	BUDA-VINCI-N	RBF ³ (2250m ²)	RKB ³ (400m ³)
A _{E,k}	[m ²]	360	360	360	360	460000	300000
Aushub	[m ³]		4,2		4,2	6000	2200
Beton	[kg]		44		1130	446810	3086000
Armierungsstahl	[kg]					18200	88200
Kies	[t]					890	
Sand	[t]					2520	
Stahlblech verzinkt	[kg]	8,5	4,5				
Edelstahl	[kg]		3,5	20	2,1		
Gusseisen	[kg]		44		95,5	450	540
HDPE	[kg]		23		20	12000	
PVC	[kg]			0,25		2800	
EPDM	[kg]		0,1	0,2			
Filtermaterial	[kg]			9 ²	9,3 ²		
Lebensdauer	[a]	15		50a (Aushub, Beton, Kies, Sand), 30a (Gusseisen, HDPE), 20a (Edelstahl, PVC), 10a (EPDM), Filteraustausch: 1a (INNOLET) bzw. 5a (BUDAVINCI-N)			

¹ Berliner Bauart mit langer Patrone

² spezifische Zusammensetzung des Filtermaterials

³ Auslegung: RBF Halensee (1m Einstau) mit 98 m³/ha A_{E,k}, RKB Schlierseestr mit 13 m³/ha A_{E,k}

Für den Betrieb der zentralen Systeme gelten folgende Annahmen:

- RBF: Pumpen zur Hebung des Regenwassers aus dem Trennbauwerk (2,5 m Förderhöhe) verbrauchen 12,5 Wh/m³ Regenwasser
- RKB: hier werden nur Schlammpumpen zur Hebung des abgesetzten Schlammes in den Schmutzwasserkanal benötigt (Annahme 60 kWh/a für das gesamte RKB)
- Schlammentsorgung: für RBF nicht relevant (kein Sedimentationsraum), für RKB wird eine vereinfachte Schlammbehandlung inkl. Monoverbrennung und Faulgasgutschrift [Mutz et al. 2015] angerechnet ($\text{oTR} = 44\%$)
- Fahrten zur Inspektion/Reinigung: 2x pro Jahr, 5 km Fahrstrecke

Für den Betrieb der intensiven Straßenreinigung gelten folgende Annahmen:

- Zusätzliche Reinigung mit Großkehrmaschine auf einer Fahrbahn 1x pro Woche (= 52x pro Jahr)
- Für eine Fahrbahn ergibt sich auf einem mehrspurigen Straßenstück von 33 m x 11 m (= 360 m² A_{E,k}) eine Strecke von 33 m. Inklusive Annahme für Anfahrt (pauschal +25 % Fahrstrecke) ergibt sich eine gesamte Fahrstrecke für die einfache Reinigung von 40 m
- Für die jährliche Reinigung ergibt sich daraus eine gesamte Fahrstrecke von 2,08 km (52 x 40 m)
- Die Maschinenleistung wird in Analogie zum Saugwagen für die Reinigung des Straßenablaufs angesetzt (0,4 L Diesel/km)

Damit sind die Bau- und Betriebsaufwendungen für alle Maßnahmen definiert. Daraus errechnen sich im Stoffstrommodell mit den entsprechenden Datensätzen aus der Datenbank die gesamten Umweltwirkungen für Bau und Betrieb.

Für den Vergleich in der Fallstudie Pücklerteich werden die Werte für Bau und Betrieb entsprechend der Skalierung (dezentrale Systeme über Anzahl der Straßenabläufe, zentrale Systeme über Volumen/Fläche von RBF und RKB, intensivere Straßenreinigung über Fahrstrecke) hochgerechnet.

Die Reinigungseffizienz der Maßnahmen ist im direkten Vergleich für die dezentralen Varianten aus den Ergebnissen des Projekts an der Teststrecke Clayallee abgeleitet (Tabelle 3.21). Die angegebenen relativen Entfernungsleistungen der dezentralen Systeme für die Parameter AFS, AFS_{fein}, CSB, P_{ges}, Cu und Zn beziehen sich auf die gesamte Jahresfracht inkl. Überlaufereignissen. Für die zentralen Systeme beruhen die mittleren Entfernungsleistungen auf Angaben der BWB (RKB) bzw. einer separaten Studie des RBF Halensee (RBF). Das Überlaufvolumen Q_{ÜB} pro Jahr liegt beim RKB bei 15 %, beim RBF Halensee ist durch das hohe flächenspezifische Volumen nur ein Q_{ÜB} von 2 % angesetzt. Die Effizienz der Maßnahme Straßenreinigung wird über die Schmutzfrachtsimulation bestimmt (mittlere Effizienz der Großkehrmaschine: 40 % Frachtentfernung pro Reinigungsfahrt).

Tabelle 3.21: Sachbilanzdaten für Reinigungsleistung der Maßnahmen (direkter Vergleich)

		Nass-gully	Nass-gully mit Eimer	ACO SSA	INNO-LET-G	BUDA VINCI-N	RBF (2250 m ²)	RKB (400 m ³)	Intensivere Straßenreinigung
Mittlere hydraulische Leistungsfähigkeit	[L/s]	>16	>16	>16	0,5-0,7	1-2	200	225	-
Überlaufvolumen QÜB (Ø pro Jahr)	[%]	0	0	0	20	10	2	15	-
AFS	[%]	39	57	48	48	35	94	70	11-13
AFS _{fein}	[%]	33	46	56	49	36			
CSB	[%]	13	16	17	30	23	80	40	
P _{ges}	[%]	4	36	29	42	34	87	38	11-15
Cu	[%]	37	34	18	29	43	85	65	12
Zn	[%]	36	32	15	29	46	92	31	12
Angabe der mittleren Entfernungsleistung zur Berechnung der Jahresfrachten, Schwankungsbreite liegt bei ±20 % des relativen Werts									
<ul style="list-style-type: none"> - Für dezentrale Systeme ist die Wirkung des Überlaufs schon eingerechnet (Kapitel 4.2.1.4) - Für zentrale Systeme: Angaben der BWB (RKB) bzw. Grotehusmann 2010 (RBF) - Für intensivere Straßenreinigung: Daten aus Schmutzfrachtsimulation mit mittlerer Straßenreinigungseffizienz von 40 % 									

Für die Betrachtung der Fallstudie Pücklerteich werden die Reinigungseffizienzen der verschiedenen Maßnahmen aus der Schmutzfrachtsimulation (Kapitel 4.5) übernommen, indem direkt die verbleibenden Schmutzfrachten in den Pücklerteich für P_{ges}, Cu und Zn angesetzt werden. Dabei wird im Referenzzustand die übliche Frequenz der Straßenreinigung (1x pro Woche) mit berücksichtigt. Durch die wesentlich kleinere Auslegung des RBF am Pücklerteich (26 m³/ha A_{E,k}) ergibt sich ein höheres Überlaufvolumen (33 %) und entsprechend eine geringere Frachtentfernung für diese Maßnahmen als im direkten Vergleich (RBF Halensee: 98 m³/ha A_{E,k}, 2 % QÜB). Das RKB am Pücklerteich wird analog dem Fallbeispiel mit 27 m³/A_{red} ausgelegt (15 % Überlaufvolumen). Für die intensivere Straßenreinigung wird ebenfalls eine mittlere Effizienz von 40 % Frachtentfernung angenommen bei einer zu reinigenden Straßenfläche inkl. Radwegen von 28.500 m².

3.9 Kostenvergleichsrechnung

Mit Hilfe der Kostenvergleichsrechnung werden die Kosten der Anlagen hinsichtlich Bau- und Betrieb verglichen. Dies geschieht nach den Vorgaben der Kostenvergleichsrechnung nach LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser und Abwasser, Stand 2005). Mit der Kostenvergleichsrechnung besteht die Möglichkeit verschiedene Szenarien hinsichtlich der Investitions- und der Betriebskosten über einen definierten Betrachtungszeitraum zu vergleichen. Dazu werden die ermittelten Kosten für den Bau der Anlagen aus dem Projekt herangezogen. Gleichzeitig werden die im Versuchsbetrieb anfallenden Arbeiten ausgewertet und die Personal und Materialkosten pro Anlage und Jahr kalkuliert. Ferner werden Verzinsung und Preissteigerungen mit kalkuliert. Diese Methode dient einem weitgehend vereinheitlichten Verfahren der Kostenvergleichsbetrachtung.

Die Kostenvergleichsrechnung wird mit dem Programm Eco.RWB durchgeführt. Dieses wurde von der Ingenieurgesellschaft Prof. Sieker mbH für die Emschergenossenschaft entwickelt.

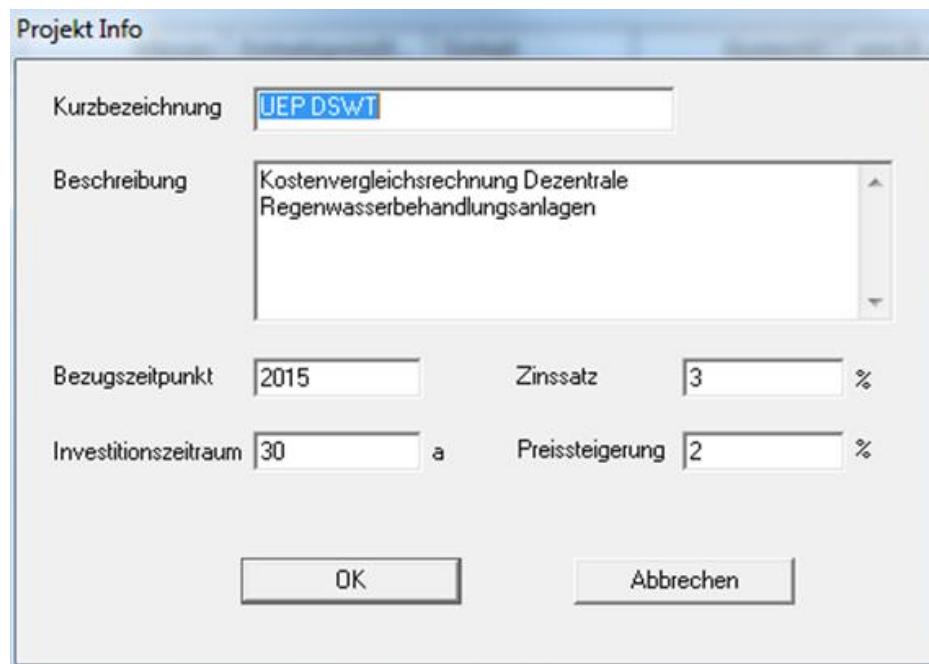


Abbildung 3.26: Eco.RWB, Eingabemaske Basisdaten für die Berechnung

Hierbei wird eine Vergleichsrechnung für einen definierten Zeitraum unter Einbeziehung von Investitions- und Betriebskosten durchgeführt. Der Bezugszeitpunkt ist 2015. Der Kapitalzinssatz wird mit 3 % angenommen. Die Preissteigerung wird über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren mit 2 % angesetzt. Prinzipiell ist es auch möglich Gebühren oder Investitionszulagen bzw. Fördermittel in die Berechnung mit einfließen zu lassen.

Die Investitionskosten, Betriebs- und Reinvestitionskosten werden im Dialog der Maßnahmen als Basisdaten in das Programm eingebunden. [Eco.RWB, 2015]

Die Investitionskosten und Betriebskosten werden dabei bezogen auf angeschlossene Fläche, Baufläche, Volumen oder Länge angegeben. Im Programm Eco.RWB stehen für etliche Maßnahmen vorgefertigte Elemente zur Verfügung. Eigene Elemente können angelegt werden.

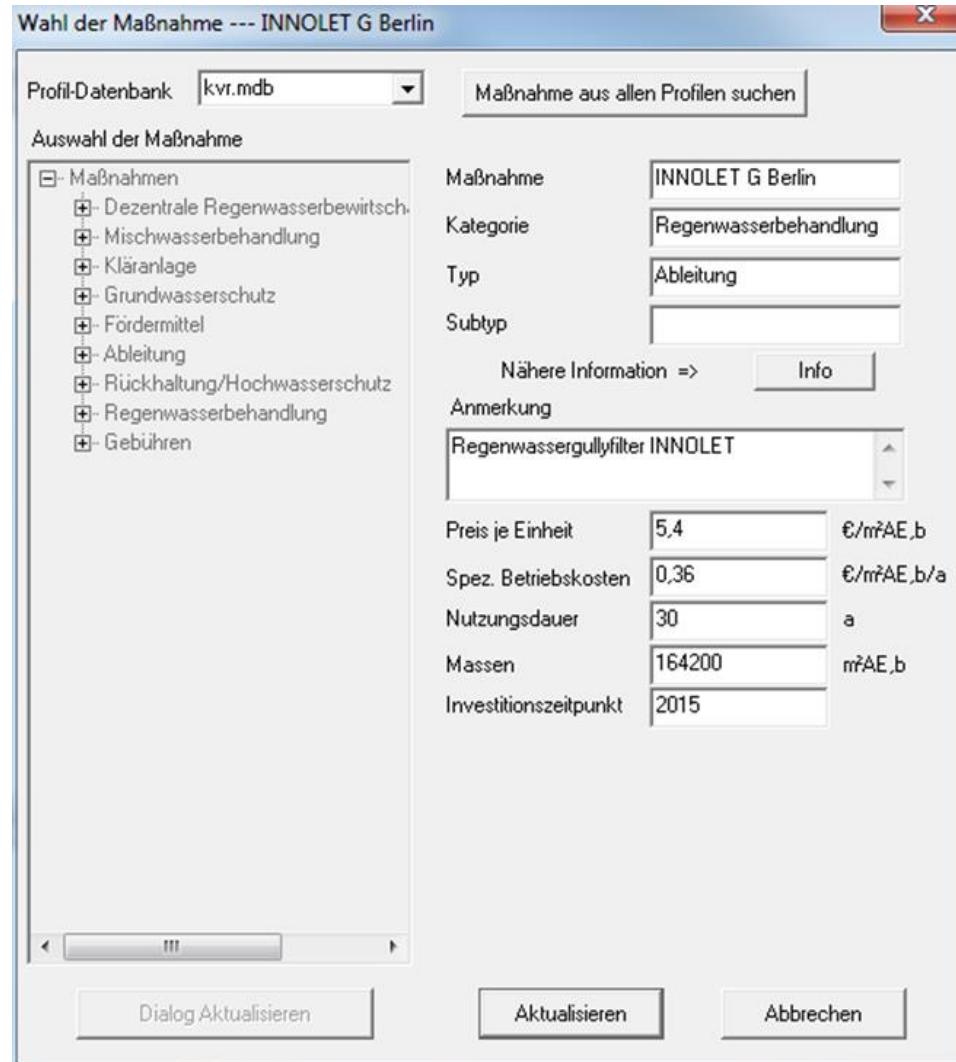


Abbildung 3.27: Eco.RWB, Eingabemaske Maßnahmen am Beispiel INNOLET-G Berlin

Im Rahmen der Kostenvergleichsrechnung mit dem Programm Eco.RWB mussten die Grunddaten ermittelt werden. Hierzu wurden die Daten aus den Betrieblichen Begehungen zusammen mit BSR und BWB zusammengetragen und mit Zahlen hinterlegt. Eingangsdaten sind die Fahrzeugkosten, die Personalkosten und die abgeschätzten weiteren Materialkosten.

Ergebnis der Kostenvergleichsrechnung sind die Gesamtaufwendungen für Investitionen und die akkumulierten Betriebskosten, in denen die Verzinsung und die Preissteigerung über den Zeitraum enthalten sind. Die Gesamtsumme über den Zeitraum wird als Projektkostenbarwert bezeichnet. Damit wird es möglich die Gesamtkostenkosten von Maßnahmen und Maßnahmenszenarien über einen längeren Zeitraum zu vergleichen.

4 Ergebnisse und Auswertung

4.1 Betriebsverhalten der dezentralen Anlagen

4.1.1 Clayallee BSR Protokoll

Die Auswertung der Leistungsprotokolle der Straßenreinigung ergab folgende Reinigungsintervalle:

Tabelle 4.1: Reinigungsintervalle BSR Clayallee

Reinigung	KW	Großkehrmaschine		Kleinkehrmaschine		Handreinigung		
		Linke Spur	Rinnstein	Radweg	Gehweg	Gehweg	Radweg	Rinnstein
Anzahl	56	5	57	41	51	78	58	20
Reinigung pro Woche	5,5		1,1		1,6		2,8	

Daraus folgt, dass im Mittel die Straße 1,1-mal/Woche, der Radweg 1,6-mal/Woche und der Gehweg 2,8-mal/Woche gereinigt wird.

Von den Betriebsmitarbeitern der BWB erfolgte eine wöchentliche, nicht eigens protokolierte, Sichtkontrolle zur Feststellung von Überstau bzw. Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit. In dem Untersuchungszeitraum fand kein Überstau aus den Straßenabläufen statt.

4.1.2 Treffurter Straße Protokoll

Für die Treffurter Straße wurde das neben dem monatlichen auch das wöchentliche Protokoll, zur Auswertung herangezogen. Die Intervalle sind nachfolgend dargestellt.

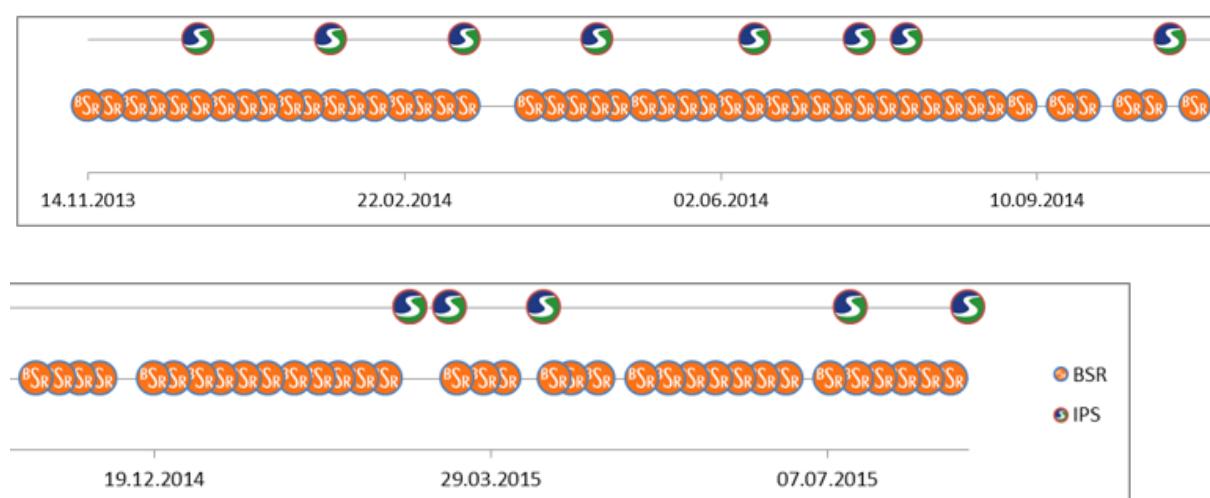


Abbildung 4.1: Chronik der Protokollierung auf dem BSR-Betriebshof in der Treffurter Straße

Aus dem Resultat der Protokolle konnte festgestellt werden, dass Standort Nr. 5 vor dem Streugutlager extrem mit Material beaufschlagt war und öfter vom Betriebspersonal gereinigt wurde um einen Überstau auf der Fläche zu vermeiden. Außerdem ist dem Protokoll die Dauer des Winterdienstes zu entnehmen.

4.1.3 Wartungstermine

Um den Betrieb und den Zustand der Anlagen zu dokumentieren, wurden halbjährliche Wartungstermine mit Ausbau und Reinigung der Anlagenteile durchgeführt.

BSR Betriebshof 5 Wartungstermine:

- Ohne Filter: März 2013, August 2014
- Mit Filter: November 2014, März 2015, Juli 2015

Clayallee 3 Wartungstermine:

- November 2014, April 2015, Juli 2015

Bei den Wartungsterminen wurden die Protokolle um zusätzliche Beobachtungen ergänzt. Dabei handelte es sich um:

- Füllstand des Eimers (falls vorhanden)
- Wasserstand in allen Teilspeichern der Anlagen
- Schlammspiegel
- Gewicht der Filter

Weiterhin wurden die Eimer entleert, die Schlammräume ausgesaugt und die Filter gewartet.

4.1.4 Betriebspunkt bezogene Auswertung von Begehung und Wartung, Beobachtungen

Im Laufe des Projektes wurden bei den monatlichen Begehungen und Protokollierungen verschiedene generelle Betriebspunkte lokalisiert, denen das besondere Augenmerk galt. Dazu kommen bei einzelnen Anlagen spezielle Besonderheiten, die im Folgenden dargestellt werden.

4.1.4.1 Straßenablauf/Gitterrost

Der Gitterrost neigt bei starken Laubanfall zum Aufstau des Niederschlags. Dies führte aber im Versuchszeitraum bei keinem Ablauf zur vollständigen Verstopfung. Das Laub bleibt auf dem Gitterrost liegen und es besteht zumindest die Gefahr, dass der Gitterrost sich bei weiterem Laubeintrag oberflächig zusetzen kann.

Hierbei spielt auch der Abstand der Stäbe und die Gittergeometrie eine Rolle, schmale Zwischenräume bei modernen Gitterrosten setzen sich schneller zu als bei dem Standard Gitterrost.



Abbildung 4.2: Eintrag Blätter, Gitterrost

Zusätzlich bleiben im Bereich der Gitterstäbe insbesondere Blüten und Pollen hängen, die eine dichte Barriere für zulaufendes Wasser bilden. Dies führt dazu, dass die Abflüsse nicht zum Bord zulaufen, sondern vom Bord mehr Richtung Fahrbahnmitte abgelenkt werden. Im Extremfall kann es auch sein, dass das Wasser zum Teil am Straßenablauf vorbeifließt. Dies ist, wie in Abbildung 4.3 (rechtes Foto) zu sehen ist, der Fall, da der Gussrahmen etwas aus dem umliegenden Bitumen hervorsteht.



Abbildung 4.3: Blüteneintrag Gitterrost und Straßenablauf

Zusätzlich zum Einfluss der Gitterstäbe auf den Zulauf zeigte sich auch, dass der bauliche Zustand des Straßeneinlaufs und der darum befindliche Straßenbelag eine Rolle für das Zulaufgeschehen bilden.



Abbildung 4.4: Anströmung und Umfluss am Straßenablauf

4.1.4.2 Grobstoffeimer

Der Gitterroststababstand hat auch Einfluss auf die Füllung der eingebauten Eimer. Je schmäler der Abstand, besonders bei modernen Gitterrosten mit geringem Stababstand, desto geringer sind die Blatteinträge durch die Stäbe in den Eimer oder andere darunter liegende Bereiche. Allerdings erhöht sich auch die Gefahr der Verringerung des Zulaufs bis zum Zusetzen bei hohem Laubanfall.

Die Verwendung des großen Eimers bietet mehr Volumen und vermindert die Gefahr der Verstopfung und Überlastung durch eingetragenes Material, insbesondere Organik (Laub, Blüten). Der kleine Eimer beim BUDAVINCI Typ-N ist schnell gefüllt und für den Laubanfall vor Ort zu klein.



Abbildung 4.5: Eimer gefüllt mit Laub, groß, klein (links, Mitte), Eintrag Laub Aufhängung INNOLET-G (rechts)

Beim INNOLET-G, bei dem kein Eimer vorhanden ist, lagerten sich Blätter im Bereich oberhalb der Aufhängung ab. Dies führte aber nicht zum Verstopfen des Zulaufbereiches, sodass die Funktionsfähigkeit des Zulaufs aufrecht erhalten blieb.

4.1.4.3 Schlammsammelraum

Eine gute Zugänglichkeit für die Standardausrüstung des Betreibers ist empfehlenswert, da ansonsten Spezialausrüstung erforderlich wird, die zusätzlich zu der vorhandenen Ausrüstung mitgeführt und evtl. zusätzlich ammontiert werden muss.



Abbildung 4.6: Standardsaugrüssel DN 150 Baggersaugwagen BSR (links), Reduzierung für Reinigung BUDAVINCA Typ-N auf DN 70 (rechts)



Abbildung 4.7: Standardsaugrüssel DN 150 Baggersaugwagen BSR (links), Reduzierung für Reinigung BUDAVINCA Typ-N auf DN 70 (rechts)

Wichtig ist auch die Zugänglichkeit des gesamten Ablagerungsraumes, damit bei der Reinigung weitgehend alle Feststoffe ausgesaugt werden können. Ansonsten besteht die Gefahr, dass nicht zugängliche Bereiche, die auch nicht durch Hochdruckstrahlgeräte erreicht werden, zu einem kontinuierlichen Zusetzen des Speichers führen können.

Auffällig war, dass der Schlammspiegel in dem Straßenablauf mit Eimer deutlich niedriger war als im Straßenablauf ohne Eimer.

4.1.4.4 Überläufe

Die Überläufe dienen dazu bei Verstopfungen und Kolmationen der Filter und etwaiger primärer Fließwege den Rückstau von Wasser auf die Straße zu verhindern. Dazu müssen diese ausreichend dimensioniert und für Reinigungszwecke frei zugänglich sein. Letzteres ist beim BUDAVINCI Typ-N nur schwer der Fall. Im Projekt konnten die Überlaufereignisse nicht gemessen werden, da noch keine geeignete Messmethode zur Verfügung stand. Daher ist unbekannt, wie oft und wie lange der Überlauf angesprungen ist.



Abbildung 4.8: Überläufe bei Separationsstraßenablauf ACO (links), BUDAVINCI Typ-N verdeckt (rechts)



Abbildung 4.9: Doppelkegelkappe als Überlauf für INNOLET-G

4.1.4.5 Filter und Reinigung

Die Filter wurden, nach Herstellervorgaben, halbjährlich gewartet. Dies ist notwendig um die Belegung beim Filter INNOLET der Filteroberfläche bzw. beim BUDAVINCI die Verschmutzungen auf dem Filtereintritt und die innere Kolmation zu lösen.

INNOLET-G

Bei der 1. Filterwartung bei INNOLET und INNOLET-G handelte es sich um eine Reinigung der Filteroberfläche. Dabei kam auch eine dafür entwickelte „Spülmaschine“ zum Testeinsatz. Bei der Hauptwartung wurde das Filtermaterial komplett ausgetauscht.

Beim Filter INNOLET bzw. INNOLET-G genügte es die Oberfläche bei der halbjährlichen Wartung zu reinigen. Dies kann mit der in Abbildung 4.10 (links) dargestellten, eigens dafür entwickelten „Spülmaschine“ auch vor Ort geschehen. Dabei wird das Abwasser über den Saugrüssel des Baggersaugfahrzeuges abgesaugt.



Abbildung 4.10: INNOLET-G Berlin, Filterpatrone und Reinigungsanlage, direkt mit Baggersaugwagen verbunden

Bei der jährlichen Wartung wurde das Filtermaterial komplett vor Ort ausgetauscht. Im Regelbetrieb kann bei Voll-Wartung mit Filteraustausch die Reinigung vor Ort entfallen. Der Filter kann gegen einen neu bestückten, frischen Filter ausgetauscht werden. Die Reinigung und Neubestückung des Filters kann auf dem Betriebshof erfolgen. Eventuell kann dafür eine zweite dafür zur Verfügung stehende Filterpatrone verwendet werden.

BUDAVINCI Typ-N

Der Filter des BUDAVINCI Typ-N in der Clayallee zeigte bei den ersten beiden Wartungen eine gute Durchgängigkeit, war aber trotz der hohen Durchgängigkeit des kugelförmigen Filtermaterials ($D=0,5$ cm), nach ca. 10 Monaten verstopft.



Abbildung 4.11: BUDAVINCI Typ-N, Filterpatrone gereinigt (links), Zulauf unten verschmutzt (rechts)



Abbildung 4.12: BUDAVINCI Typ-N, Reinigungsanlage mit Wasserrückgewinnung auf einen LKW montiert, externer Dienstleister

Die Reinigung des Filters durch Rückspülung, welche nach einer Laufzeit von ca. 12 Monaten von einer beauftragten Drittfirm, die auf die Reinigung dieses Filtertyps spezialisiert ist, dauerte ca. 30 min. Dies geschah so lange, bis keine Feststoffe mehr aus dem gereinigten Filter wieder austreten. Dabei wird das verwendete Wasser auf dem Fahrzeug durch Filtration wieder so aufbereitet, dass es im Kreislauf fortlaufend für die Filterspülung verwendet werden kann. Damit können auch mehrere Filter auf diese Art und Weise gereinigt werden. Es zeigte sich im Nachgang, dass die Patrone trotz der intensiven Wartung durch die Fachfirma nach ca. 4 Monaten wieder komplett verstopft war.

4.1.5 Zusammenfassung der Aussagen der betrieblichen Untersuchung

- In der Wartung der Anlagen zeigte sich, dass nicht nur die Anlagen an sich einen Einfluss auf das Ablaufgeschehen haben, sondern auch alle Komponenten der Anlage inkl. Straße und Gitterrost.
- Die Straßenreinigung hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Einträge und vor allem die Menge an organischem Material (Laub, Blüten) auf den Straßenablauf.
- Die Eimer sind bei hohem Laub und Blütenanfall schnell gefüllt. Hier empfiehlt sich ein großer Eimer.
- Der Eimer hält einen großen Teil der Feststoffeinträge, die ansonsten im Schlammfang zu finden sind, zurück.
- Das im Eimer zurückgehaltene Material kann sich in Feinstoffe zersetzen bzw. Feinstoffe können herausgelöst werden und in den Schlammfang und Abfluss weitergetragen werden. Dabei handelt es sich vermutlich hauptsächlich um organisches Material.
- Eine halbjährliche Wartung ist bei allen Anlagen erforderlich.
- Die Filter müssen 1-mal pro Jahr ausgetauscht werden.
- Für die Wartung ist darauf zu achten, dass die Anlagen möglichst mit dem vorhandenen Fahrzeugpark und Geräten des Betreibers zu warten und zu reinigen sind.

4.2 Messprogramm in situ

4.2.1 Clayallee

4.2.1.1 Niederschlagskenndaten und Anzahl der beprobten Ereignisse

Im Untersuchungszeitraum vom 01.07.2014 bis zum 24.07.2015 wurden für den Bereich der Clayallee mit Hilfe des BWB-Regenschreibers „Wil a“ (ca. 1,8 km entfernt) 195 Niederschlagsereignisse (Trennkriterium: 4 h) mit einer Niederschlagshöhe von 495 mm (464 mm/a) aufgezeichnet. Verglichen mit dem langjährigen Jahresmittelwert (1981-2010) für die Messstation Berlin Dahlem mit 591 mm [DWD 2016] liegt die Niederschlagshöhe des Untersuchungszeitraums 127 mm (21 %) unter dem langjährigen Jahresmittelwert (Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: Clayallee Niederschlagskenndaten Vergleich Regenschreiber „Wil a“ und Station Dahlem

Untersuchungs-zeitraum	Zeitraum [d]	Anzahl der N-Ereignisse (RS Wil a) (Trennkrit.: 4h)	ΣN (RS Wil a) [mm/a]	MW ΣN (1981-2010) (Station Dahlem ID: 403) [mm]
01.07.2014-24.07.2015	389	195	464	591

In Tabelle 4.3 sind die mittleren monatlichen Niederschlagshöhen im langjährigen Vergleich (1981-2010) zu den Niederschlagshöhen der Monate des Untersuchungszeitraums (Station Dahlem) dargestellt. Es kam vor allem im November 2014, Februar, Mai und August 2015 (während des Messzeitraums) zu großen Abweichungen im Vergleich zu den mittleren monatlichen Niederschlagshöhen der Langzeitbetrachtung.

Tabelle 4.3: Station Dahlem: Abgleich der Niederschlagshöhen (Monatsmittelwerte) [DWD 2016]

Station Dahlem ID: 403	1981-2010 [mm]	2014 [mm]	2014 zu 1981-2010	2015 [mm]	2014 zu 1981-2010
Summe/a	591	476,5	81 %	497,5	84 %
Januar	48	29,8	62 %	74,4	155 %
Februar	39	8,8	23 %	5,2	13 %
März	44	18,7	43 %	38,8	88 %
April	33	29,2	88 %	21,2	64 %
Mai	57	85,2	149 %	15,8	28 %
Juni	60	62,5	104 %	40,4	67 %
Juli	62	60,2	97 %	72,2	116 %
August	64	33,8	53 %	26,2	41 %
September	46	43,8	95 %	42,6	93 %
Oktober	38	44,9	118 %	62,3	164 %
November	47	7,1	15 %	73,5	156 %
Dezember	52	52,5	101 %	24,9	48 %

In Tabelle 4.4 sind die Kenndaten der im Untersuchungszeitraum aufgezeichneten 195 Niederschlagsereignisse im Vergleich zu den Kenndaten der beprobten Ereignisse (32) und der Ereignisse für die Rückhaltberechnung dargestellt.

Tabelle 4.4: Clayallee Niederschlagskenndaten Vergleich Gesamtereignisse und beprobte Ereignisse

		$\sum N$ Ereignis- bezogen [mm]	Dauer [h]	MW N Ereignis- bezogen [mm/5min]	Max N Ereignis- bezogen [mm/5min]	Trocken- zeit zwischen Ereig. [h]
Gesamt Ereignisse (RS Wil a) n=195	MW (Min-Max)	2,56 (0,1-38,8)	2,7 (0,08-25,7)	0,12 (0,008-1,35)	0,5 (0,01-7,9)	44 (4-380)
Beprobte Ereignisse n=32	MW (Min-Max)	7,35 (0,3-38,8)	5,9 (0,17-25,7)	0,16 (0,017-1,07)	1,3 (0,2-7,9)	47 (4-284)
Ereignisse für Rückhalt- berechnung n=12	MW (Min-Max)	7,8 (1,5-18,2)	6,7 (0,92-25,7)	0,21 (0,04-1,07)	1,2 (0,5-2,4)	27 (4-86)

Es konnten Ereignisse ab einer Niederschlagshöhe von 0,3 mm und einem mittleren 5 mm-Wert von 0,017 mm/5min beprobzt werden. Im Vergleich zu den Kennwerten der gesamten Ereignisse fällt auf, dass bedingt durch die Messtechnik vermehrt intensivere Ereignisse beprobzt werden konnten. Eine Zusammenstellung der beprobten Niederschlagsereignisse ist dem Anhang 7 zu entnehmen.

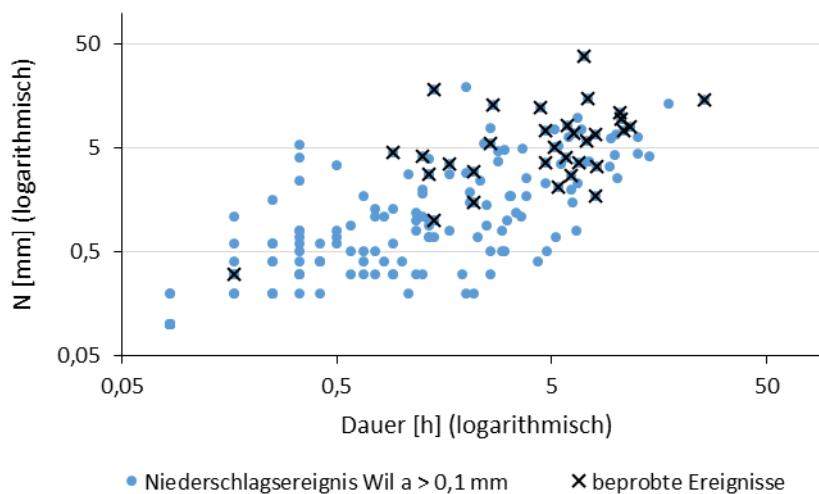


Abbildung 4.13: Niederschlagsereignisse „Wil a“ zu beprobten Ereignissen

Von den 195 Ereignissen führen nach Berechnung mit dem Programm STORM 111 zum Abfluss (ab 0,01 L/s), dies entspricht 57 %.

Ab einem Abfluss von ca. 0,3 L/s kann die Probenahme mittels automatischen Probenehmer durch die notwendige Anstauhöhe von ca. 4 cm ausgelöst werden, daher können nur Ereignisse mit einem Abfluss $\geq 0,3$ L/s beprobt werden. Dies entspricht bei einer Anschlussfläche von 360 m² 8,3 L/(s·ha). Von den 111 Ereignissen, die zu einem Abfluss führen, erreichen ca. 50 Ereignisse einen Abfluss von $\geq 0,3$ L/s.

Da sich der Regenschreiber „Wil a“ nicht unmittelbar an dem Messstandort in der Clayallee befindet und es lokal zu unterschiedlichen Niederschlagsintensitäten oder Betriebsstörungen kommen kann, sind acht von den 32 beprobenen Ereignissen nicht bei den 50 Ereignissen $\geq 0,3$ L/s über STORM berechneten berücksichtigt. Somit konnten 24 beprobte Ereignisse von 50 potentiell beprobbaren Ereignissen (48 %) bzw. 32 von 58 (55 %) erfasst werden. Im Zeitraum vom 24.07.2014 bis zum 24.07.2015 wurden mittels der Steckrinne und der Radarsonde 117 Abfluss-Ereignisse ermittelt. Es wurde an einem Messschacht (an 360 m² Anschlussfläche) ein Gesamtabfluss von 119,33 m³ gemessen.

In Tabelle 4.5 sind die Anzahl der Ereignisse für die Auswertungen der Konzentrationsverläufe sowie des Rückhalts dargestellt.

Tabelle 4.5: Anzahl beprobter Ereignisse: gesamt, für Konzentrationsverläufe und für Rückhalt-Auswertung

Clayallee 01.07.2014-24.07.2015	Anzahl beprobter Ereignisse	Anzahl für Konzentrationsverläufe	Anzahl für Rückhalt- Auswertung
insgesamt	32		
Zulauf		19	12
Nassgully ohne Eimer		18	3
Nassgully mit Eimer		22	5
ACO SSA		21	5
INNOLET-G		16	7
BUDAVINCI Typ-N		16	4

Auf Grund der verschiedenen Herausforderungen der Probenahme wurden nicht immer alle Probenehmer zeitgleich ausgelöst bzw. standen nicht alle notwendigen Daten zur Auswertung des Rückhalts zur Verfügung. Dadurch kommen die unterschiedlichen Ereigniszahlen für die einzelnen Systeme zu Stande.

4.2.1.2 Zulaufkonzentrationen

Die Konzentration des Straßenabflusses in der Clayallee wurde als Referenz für die Zulaufwerte am Straßenablauf 1, der mit einem Trichter für die Sammlung des direkten Abflusses zum Messschacht ausgestattet ist, bestimmt. Die so erhaltenen Zulaufkonzentrationen im Messzeitraumes (01.07.2014 bis 24.07.2015) werden im Folgenden dargestellt und ausgewertet.

Zur zeitlichen Einordnung der 19 beprobten Zulauf-Ereignisse sind in Abbildung 4.14 die Konzentration der jeweils ersten Probe des Zulaufs dargestellt.

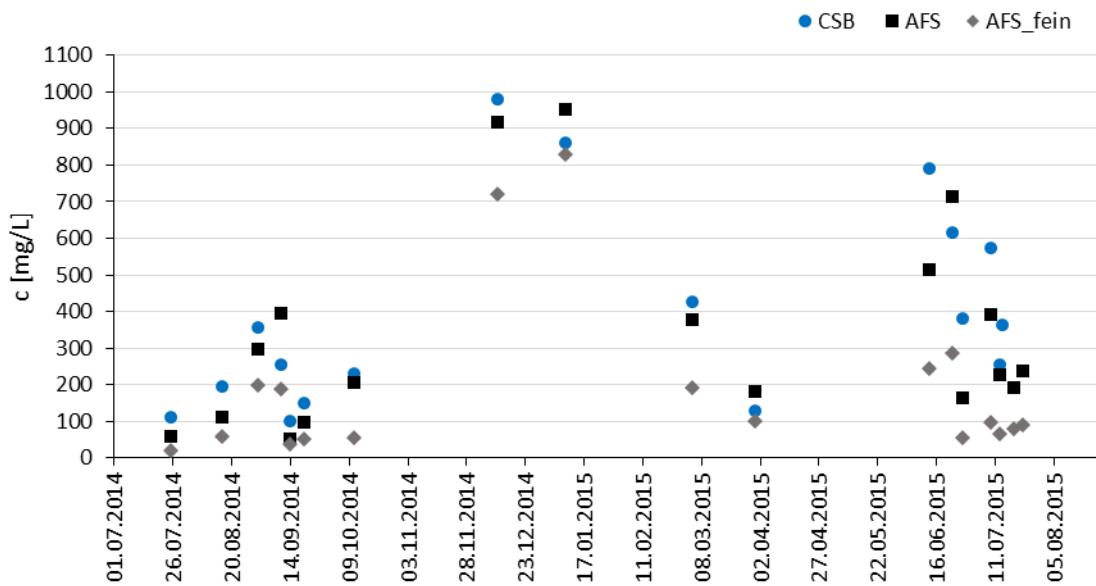


Abbildung 4.14: Zulauf Konzentration der ersten Probe (AFS, AFS_{fein}, CSB)

Die Zeiträume im November 2014, Februar, April und Mai 2015 weisen Lücken in der Beprobung des Zulaufs auf, was hauptsächlich damit zu erklären ist, dass in diesen Monaten nur sehr wenige Niederschlagsereignisse vorlagen, die einen ausreichend hohen Abfluss zur Beprobung ($\geq 0,3 \text{ L/s}$) aufwiesen. Die hohen AFS-Konzentrationen von über 400 mg/L bis 952 mg/L stammen von Ereignissen mit einer hohen Niederschlagsintensität (mittlere Niederschlagshöhe von 0,46 mm/5min bei einer maximalen Niederschlagshöhe von 7,9 mm/5min).

Bei der Betrachtung des AFS-Konzentrationsverlaufs über 60 min fällt in Abbildung 4.15 die relativ hohe Bandbreite der Zulaufkonzentrationen innerhalb der jeweiligen Probenahmezeitpunkte auf. Dies hängt von unterschiedlichen Regenintensitäten und Dauern sowie von unterschiedlichen Flächenbelastungen bedingt durch verschiedene Trockenzeiten und Straßenreinigungsintervallen ab.

Sehr gut ist die Abnahme der Konzentrationen über den zeitlichen Verlauf bis zur vierzigsten Minute zu erkennen (AFS-Median von 233 mg/L bis 37 mg/L). Ab der vierzigsten Minute sind die AFS-Medianwerte nahezu konstant. Dies gilt auch weitestgehend für die Parameter AFS_{fein}, CSB, P_{ges}, Zink und Kupfer, wie im Anhang 5 und Anhang 6 zusammengestellt ist. Somit kann angenommen werden, dass bis zu vierzigsten Minute der Hauptteil der Verschmutzung von der Straße abgespült ist.

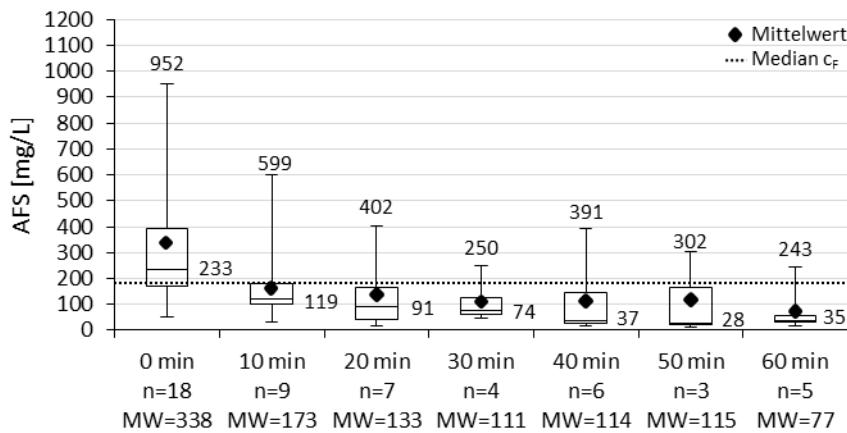


Abbildung 4.15: Zulaufkonzentration 60-Minuten-Verlauf (AFS)

Der eingezeichnete Median der frachtgewichteten AFS-Konzentration liegt bei 181 mg/L und bezieht sich auf 15 Ereignisse. Die c_F -Werte der weiteren Parameter sind in Abbildung 4.16 und Abbildung 4.17 dargestellt. Der Anteil AFS_{fein} zu AFS liegt für die Medianwerte bei 39 % und für die Mittelwerte bei 56 %. Die Ursachen für die relativ hohen CSB-Werte (Median) von 299 mg/L werden im Unterkapitel Literaturvergleich erläutert.

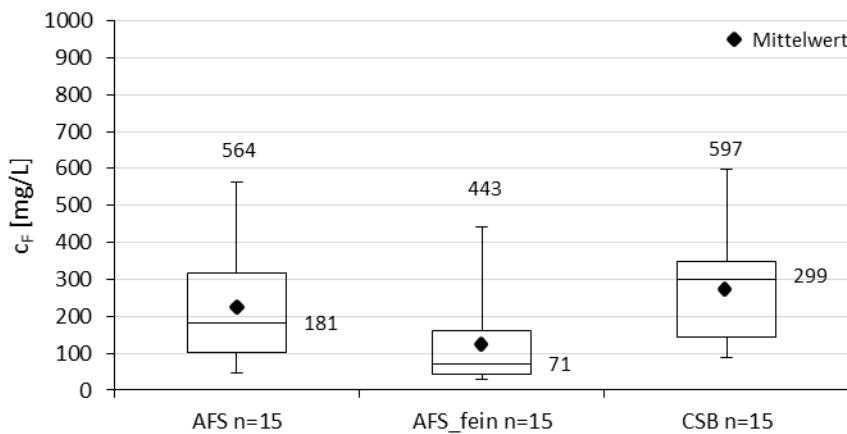


Abbildung 4.16: Zulauf, frachtgewichtete Konzentration (c_F -Wert), (AFS, AFS_{fein}, CSB)

Die Mediane der frachtgewichteten Konzentrationen für die Parameter P_{ges}, Zink und Kupfer liegen bei 0,79 mg/L, 0,62 mg/L und 0,25 mg/L.

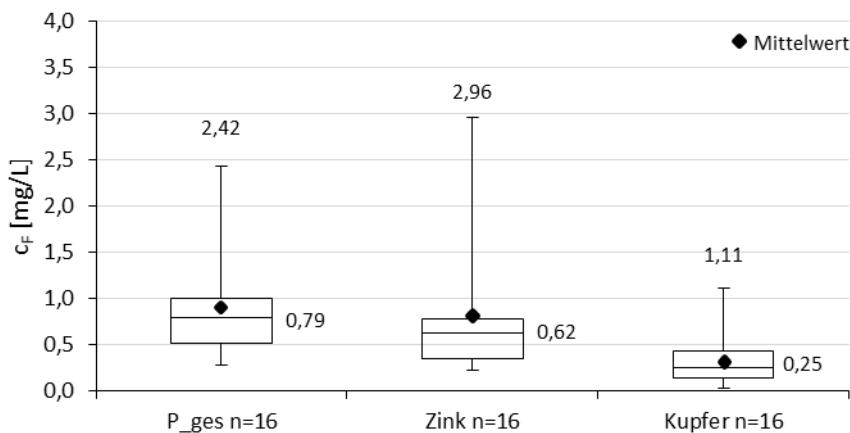


Abbildung 4.17: Zulauf, frachtgewichtete Konzentration (c_F-Wert), (P_{ges}, Zink, Kupfer)

Literaturvergleich

Die Zulaufkonzentrationen wurden mit den repräsentativen Zusammenstellung der Verkehrsabflussdaten von Schmitt et al. (2010) verglichen (Tabelle 4.6). Der Vergleich zeigt, dass sich nahezu alle Parameter im Vertrauensbereich befinden. Die in Tabelle 4.6 dargestellten Mittelwerte des 60 Minuten-Verlaufs wurden aus den Mittelwerten der einzelnen Probenahmezeitpunkte (0 min-60 min) gebildet.

Tabelle 4.6: Vergleich der Zulaufkonzentrationen mit Literaturwerten

	AFS [mg/L]	AFS _{fein} [mg/L]	CSB [mg/L]	P _{ges} [mg/L]	Zink [mg/L]	Kupfer [mg/L]
Verkehrsabfluss Schwerpunktwert (Vertrauensbereich) [Schmitt et al. 2010]	200 (60 – 400)	100	100 (30 – 150)	0,5 (0,2-1,2)	0,44 (0,2-0,6)	0,08 (0,03-0,25)
Zulauf Clayallee MW 60 min	151	93	195	0,62	0,58	0,24
Zulauf Clayallee (c _F -MW) n=15, Probenanzahl: 43; 62 (AFS)	223	125	267	0,92	0,81	0,31
Zulauf Clayallee (c _F - Median) n=15, Probenanzahl: 43; 62 (AFS)	181	71	299	0,79	0,62	0,25

Die AFS- und AFS_{fein}-Konzentrationen liegen mit einem c_F-Medianwert von 181 mg/L bzw. 71 mg/L im nahen Bereich der Schwerpunktwerthe. Die hohen CSB-Werte mit einem c_F-Medianwert von 299 mg/L überschreiten das Maximum des Vertrauensbereiches nach Schmitt et al. (2010) deutlich.

Eine mögliche Ursache ist der ganzjährige Laubeintrag, der durch Verwehungen aus dem auf westlicher Seite der Clayallee angrenzenden Waldstück verursacht wird. Zusätzlich führen durch den Verkehr zerriebene Eicheln und Blütenstauden zu hohen CSB- und P_{ges}-Werte.



Abbildung 4.18: Clayallee: Laubeintrag aus angrenzendem Waldstück im Winter 2014/15

Der Einfluss von Hundekot spielt durch den Fahrradweg zwischen Straße und Grünstreifen eine untergeordnete Rolle. Die Zink und Kupfer-Konzentrationen liegen vermutlich auf Grund des hohen Verkehrsaufkommens im Jahr 2014 mit 29.600 Kfz/d (davon 470 LKW/d) [SenStadtUm 2014] zum Teil über dem Maximum des Vertrauensbereichs.

4.2.1.3 Ablaufkonzentrationen

Im Folgenden werden die Ablaufkonzentrationen über den 60-Minuten-Verlauf betrachtet. Dabei werden alle Ablaufproben der einzelnen Anlagen nach Probenahmezeiten geordnet im 60 Minuten-Verlauf abgebildet, da teilweise die Probenahme der einzelnen Anlagen an unterschiedlichen Niederschlags-Ereignissen oder zeitversetzt ausgelöst wurden, können die Ablaufkonzentrationen nicht direkt untereinander verglichen werden. Die in Tabelle 4.7 dargestellten Mittelwerte wurden aus den Mittelwerten der einzelnen jeweils zur Verfügung stehenden Proben der Zeitpunkte (0 min-60 min) gebildet.

Tabelle 4.7: Ablaufkonzentrationen Mittelwerte des 60-Minuten-Verlaufs (Min und Max)

60-Minuten-Verlauf		AFS [mg/L]	AFS _{fein} [mg/L]	CSB [mg/L]	P _{ges} [mg/L]	Zink [mg/L]	Kupfer [mg/L]
Zulauf	MW (Min-Max)	151 (14-952)	93 (1-828)	195 (26-980)	0,62 (0,12-3,37)	0,58 (0,05-3,08)	0,24 (0,02-1,58)
Nassgully Ablauf	MW (Min-Max)	84 (12-352)	58 (5-220)	118 (28-447)	0,36 (0,10-1,48)	0,71 (0,04-2,77)	0,10 (0,01-0,53)
Nassgully mit Eimer Ablauf	MW (Min-Max)	91 (3-2003)	58 (2-1522)	142 (19-1957)	0,35 (0,07-4,91)	0,57 (0,07-3,98)	0,13 (0,01-1,53)
ACO SSA Ablauf	MW (Min-Max)	91 (16-2410)	54 (1-1839)	238 (31-2523)	0,69 (0,13-7,18)	0,64 (0,03-5,45)	0,22 (0,02-3,22)
INNOLET- G Ablauf	MW (Min-Max)	54 (3-538)	38 (3-487)	99 (10-1268)	0,43 (0,05-2,21)	0,20 (0,02-3,08)	0,10 (0,02-0,60)
BUDAVIN- CI Ablauf	MW (Min-Max)	66 (9-1065)	52 (2-939)	139 (25-906)	0,33 (0,08-3,22)	0,38 (0,02-2,83)	0,13 (0,02-1,01)

Der Einfluss der zeitversetzten Probenahme durch einen unterschiedlichen Start der Probenahme bzw. die Beprobung von zum Teil unterschiedlichen Niederschlagsereignissen ist an den Maximal-Werten zu erkennen. Die Maximal-Werte zeigen die Höchstbelastung der ersten Probe aller beprobten Ereignisse. In Abbildung 4.19 sind die 60-Minuten-Verläufe (Mittelwerte der Probenahmezeitpunkte) der einzelnen Anlagen für die Parameter AFS, AFS_{fein} und CSB dargestellt.

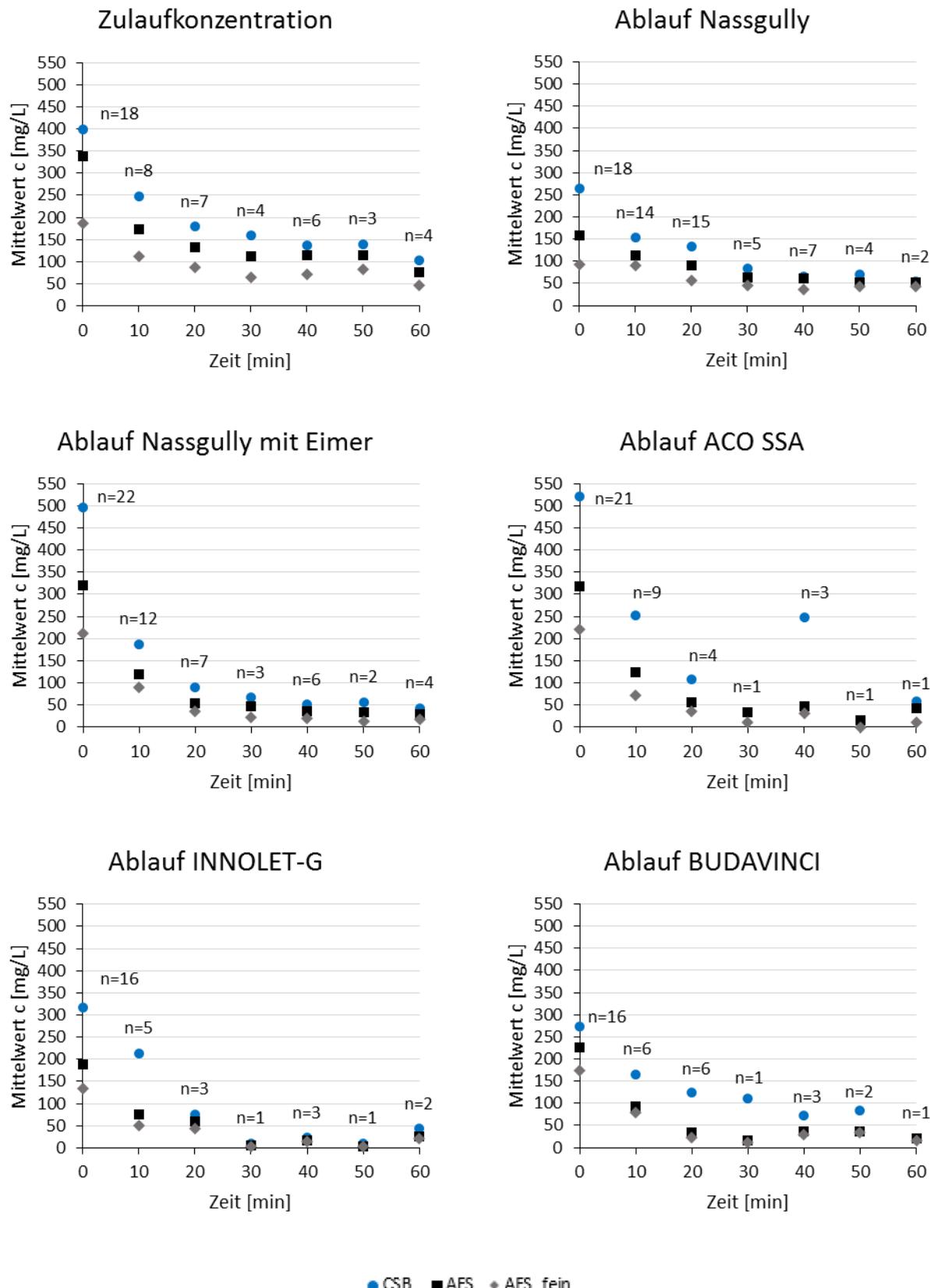


Abbildung 4.19: Zulauf- und Ablaufkonzentrationen 60-Minuten-Verlauf (MW), (AFS, AFS_{fein}, CSB)
n: Anzahl der jeweils zur Verfügung stehenden Proben

Sowohl für den Zulauf als auch für die Abläufe zeigen die Diagramme sehr gut die Abnahme der Konzentrationen über die ersten 60 min von verschiedenen Niederschlagsereignissen. Bis zur 20 bzw. 30 min nehmen die Konzentrationen deutlich ab und anschließend stellt sich ein konstant niedriger Verlauf ein. Das gilt vor allem für die AFS-Werte. Für die Filtersysteme INNOLET-G und BUDAVINCI werden ab der Minute 30 maximale Ablaufwerte von 36 mg/L erreicht. Ab der Minute 20 bis 30 scheint der Abtrag der angeschlossenen Flächen und der Einfluss von Ablagerungen in den Rohrleitungen somit weitestgehend abgeschlossen zu sein. Im Anhang 5 und Anhang 6 sind zusätzlich die Mittelwerte der 60-Minuten-Verläufe der Parameter P_{ges} , Zink und Kupfer sowie die Median-Werte der 60-Minuten-Verläufe der Parameter AFS, AFS_{fein} und CSB dargestellt, die ähnliche Ablaufkurven aufweisen. Für den Parameter Zink sind die Ablaufkurven teilweise nicht ganz so einheitlich, was durch die unterschiedlich beprobten Niederschlagsereignisse begründet werden kann.

Weitere betrachtete Parameter

In Abbildung 4.20 sind alle pH-Werte und die Leitfähigkeit aller Proben über den zeitlichen Verlauf des Untersuchungszeitraumes in der Clayallee dargestellt. Der pH-Wert liegt im Mittel bei 6,4 (Median: 6,5; Min: 5,2; Max: 7,9) und damit entsprechend Regenwasser im leicht sauren Bereich. Der Mittelwert der Leitfähigkeit aller Proben beträgt 168,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Median: 100,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Min: 8,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Max: 4110,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Der Maximalwert wurde im Winter erreicht und ist auf die Straßenstreuung zurückzuführen.

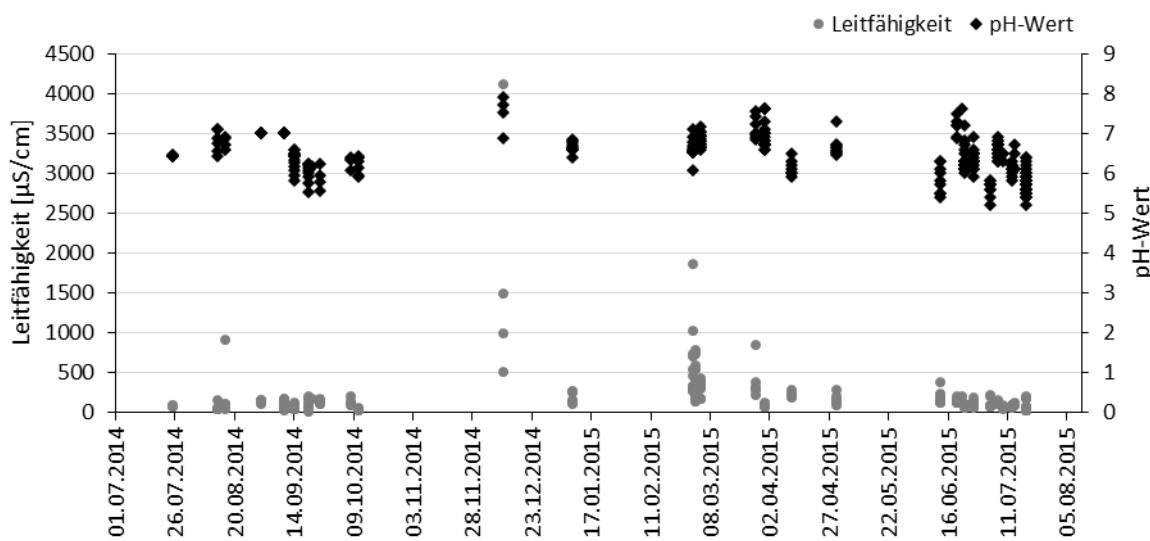


Abbildung 4.20: Leitfähigkeit und pH-Wert aller Proben über den gesamten Messzeitraum

Der Parameter MKW (Mineralölkohlenwasserstoffe) wurde in der Clayallee an einem beprobten Niederschlagsereignis (14.09.2014) über den KW-Index nach EN ISO 9377-2 (H53) untersucht. Für den Zulauf ergab sich eine mittlere Konzentration von 150 $\mu\text{g}/\text{L}$. Die Ablaufkonzentrationen aller anderen Anlagen lagen unter der Bestimmungsgrenze von 100 $\mu\text{g}/\text{L}$.

Außerdem wurde dieses Ereignis hinsichtlich des Summenparameters der 16 definierten polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (EPA-PAK) nach DIN 38 407-F39 analysiert. Der Summenparameter EPA-PAK lag für alle Systeme im gleichen Bereich mit einem Mittelwert von 0,16 µg/L (Min: 0,14 µg/L; Max: 0,17 µg/L). Da die Mehrzahl der 16 PAKs unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,01 µg/L lagen, setzt sich die Summe nur aus den Konzentrationen von Naphthalin, Phenanthren, Fluoranthen, Pyren, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen zusammen, wobei Phenanthren die höchsten Konzentration (0,045 bis 0,061 µg/L) aufweist. Phenanthren gelangt unter anderem durch den Autoverkehr in die Umwelt. Es ist relativ persistent und wirkt toxisch auf Wasserorganismen [Umweltprobenbank 2015].

4.2.1.4 Rückhalt der untersuchten dezentralen Anlagen

Die Betrachtung des Rückhalts der einzelnen dezentralen Anlagen bezieht sich auf die Zulaufproben der jeweiligen beprobten Niederschlagsereignisse. Zur Berechnung werden die frachtgewichteten Konzentrationen (c_F -Werte) bei gleichem Probenahmestart und gleicher Probenanzahl (1 bis 6) verwendet. Aus Gründen der bedingten Auslösehöhe von 4 cm, die teilweise nicht immer oder nicht gleichzeitig bei einem Niederschlagsereignis für alle Anlagen erreicht wurde, wurde nicht immer bei allen Anlagen die Probenahme ausgelöst. Teilweise führen die Anlagen zu einem verzögerten oder abgeminderten Abfluss, sodass die Auslösehöhe für die Probenahme nicht erreicht oder aber zeitlich versetzt erreicht wurde. Weitere technische Schwierigkeiten die zu Ausfällen der Messtechnik führen können, sind im Kapitel 3.4.3 bereits beschrieben. Im Anhang 9 ist eine Liste über die verwendeten Ereignisse für die Rückhaltberechnung mit der jeweiligen Probenanzahl hinterlegt.

Das folgende beprobte Ereignis (Abbildung 4.21) führte bezogen auf den Zulauf zu sehr guten Ergebnissen. Die Probenahme für den Nassgully ohne Grobstoffeimer startete zu früh und wird daher nicht in den Vergleich einbezogen. Die für die Berechnung des Rückhalts betrachteten Konzentrationen liegen für den Zulauf für CSB mit 255 mg/L im Bereich der mittleren Zulaufwerte der Clayallee. Die Zulaufwerte für die weiteren Parameter liegen für dieses Ereignis über den mittleren Zulaufwerten der Clayallee. (AFS: 394 mg/L; AFS_{fein}: 187 mg/L; P_{ges}: 0,92 mg/L; Zink: 0,95 mg/L; Kupfer: 0,48 mg/L)

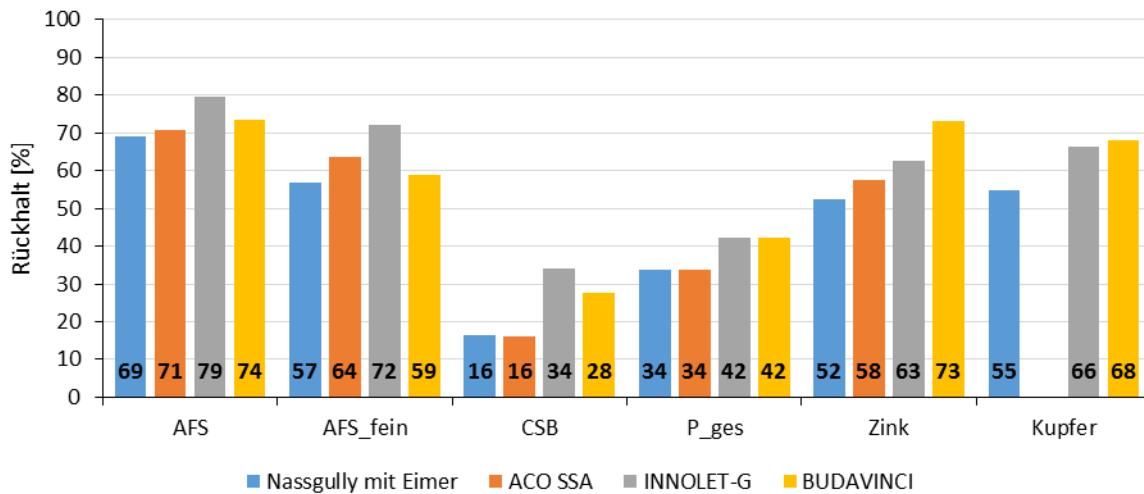


Abbildung 4.21: Rückhalt-Betrachtung Ereignis am 10.09.2014

Besonders für partikuläre oder zum Teil partikulär-gebundene Stoffe zeigen sich sehr hohe Rückhaltewerte wie für den Parameter AFS, AFS_{fein}, Zink und Kupfer von 52 bis 79 %. Die Filtersysteme INNOLET-G und BUDAVINCI können an diesem Ereignis einen P_{ges}-Rückhalt von 42 % und einen CSB-Rückhalt von 34 bzw. 28 % erreichen. Der Nassgully mit Grobstoffeimer sowie der ACO SSA erreichen einen P_{ges}-Rückhalt von 34 % und einen CSB-Rückhalt von 16 %. Insgesamt erscheinen die Rückhaltewerte der einzelnen Anlagen sehr plausibel. Für nahezu alle Parameter besonders für die partikulären oder partikulär-gebundenen Stoffe erhöht sich der Rückhalt von Nassgully mit Grobstoffeimer (Grobstoffeimer und Schlammraum) über ACO SSA (Grobstoffeimer, Turbulenzminderer und Schlammraum) bis hin zu den Filtersystemen.

Um einen Gesamtüberblick aller Ereignisse, die für die Bestimmung des Rückhalts herangezogen werden konnten, zu geben, werden die Ergebnisse in den folgenden Diagrammen nach den betrachteten Parametern zusammengefasst. Dabei muss berücksichtigt werden, dass für die einzelnen Anlagen teilweise unterschiedliche Ereignisse und damit unterschiedliche Ereignisanzahlen für die Berechnung des Rückhalts herangezogen wurden, dadurch sind die Anlagen nicht direkt untereinander vergleichbar. Jedoch stellen die Ergebnisse einen guten Überblick der an den beprobteten Ereignissen erzielten Rückhaltewerte dar. Die Diagramme zeigen Box-Plots mit Angabe der Minimal- und Maximalwerte sowie den Medianwert als mittleren Strich des Box-Plots dargestellt. Zusätzlich ist der arithmetische Mittelwert als Punkt eingezeichnet.

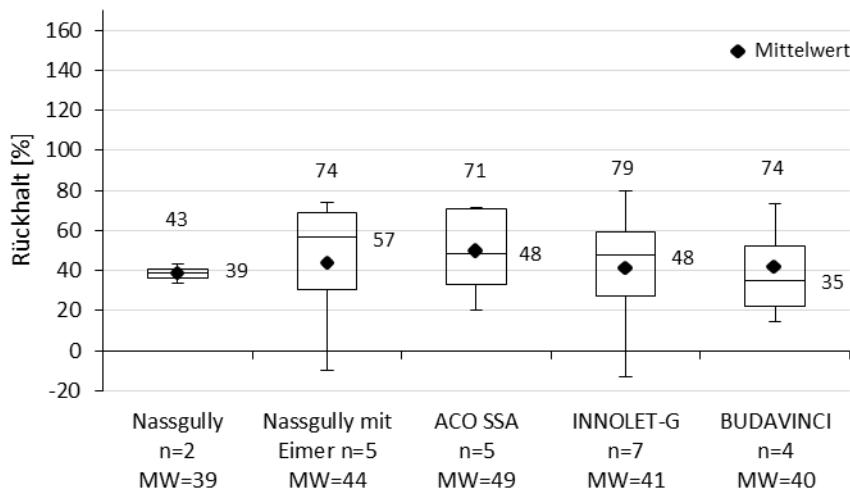


Abbildung 4.22: AFS-Rückhalt aus c_F -Werten bezogen auf Zulauf

Der AFS-Rückhalt (Median-Werte) liegt je nach Anlage im Bereich von 35 bis 57 %. Die Betrachtung der Mittelwerte zeigt durch die teilweise negativen Werte relativ ähnliche Rückhaltewerte aller Anlagen im Bereich von 39 bis 49 %. Die Maximalwerte liegen bei 43 bis 79 %. Für den Nassgully mit Grobstoffeimer und den INNOLET-G wurden teilweise negative Werte festgestellt, die durch Ausspülung des Grobstoffeimers und des Schlammraumes bzw. Ansprung des Notüberlaufs zu erklären sind. Durch Einbau des Grobstoffeimers im Vergleich zum Nassgully ohne Grobstoffeimer und Nassgully mit Grobstoffeimer kann der AFS-Rückhalt erhöht werden.

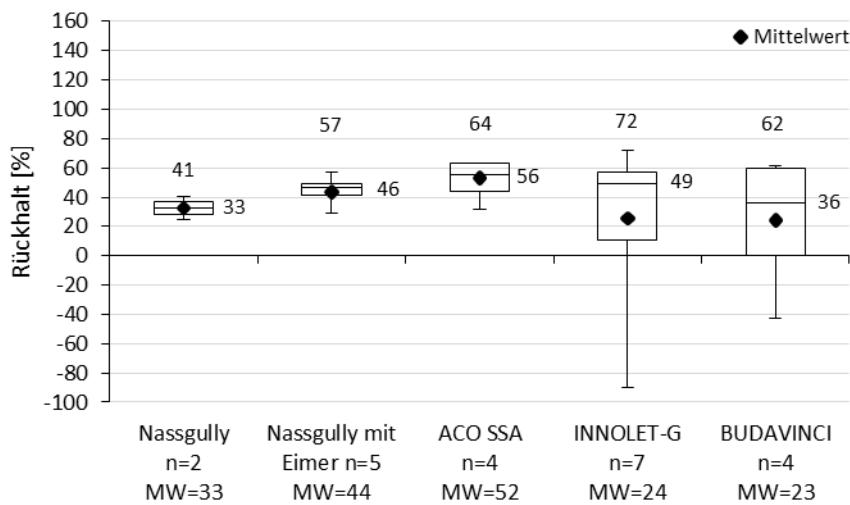


Abbildung 4.23: AFS_{fein}-Rückhalt aus c_F -Werten bezogen auf Zulauf

Der AFS_{fein}-Rückhalt (Median-Werte) beträgt je nach Anlage 33 bis 56 %. Der Nassgully ohne Grobstoffeimer zeigt den geringsten Rückhalt. Der INNOLET-G zeigt den höchsten Maximalwert mit 72 %, jedoch auf Grund eines Notüberlaufs auch negative Werte.

Bei den vier Ereignissen für den ACO SSA kann der höchste Mittelwert und Median von 52 % bzw. 56 % erreicht werden. Insgesamt ist festzustellen, dass mit Einbau (Grobstofffeimer bzw. Filterelement) in den Nassgully ein erhöhter AFS_{fein}-Rückhalt zu beobachten ist.

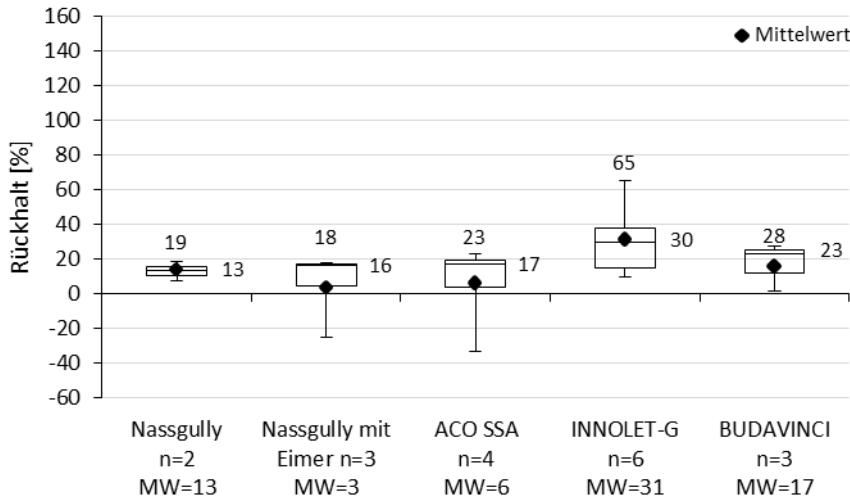


Abbildung 4.24: CSB-Rückhalt aus c_F-Werten bezogen auf Zulauf

Der CSB-Rückhalt (Median-Werte) variiert je nach Anlage von 13 bis 30 %. Die Systeme mit Grobstofffeimer und Schlammraum (Nassgully mit Grobstofffeimer und ACO SSA) können geringfügig höhere Rückhaltewerte bezogen auf den Parameter CSB im Vergleich zum normalen Nassgully erzielen. Die Filtersysteme (INNOLET-G und BUDAVINCI) können im Vergleich den höchsten Rückhalt mit Maximalwerten bis zu 65 % bzw. 28 % erreichen. Die negativen Werte bei den Systemen Nassgully mit Grobstofffeimer und ACO SSA lassen auf Ausspülungen der Grobstofffeimer bzw. Schlammräume schließen und führen so zu einem Wiederaustrag der zwischengespeicherten Stoffe.

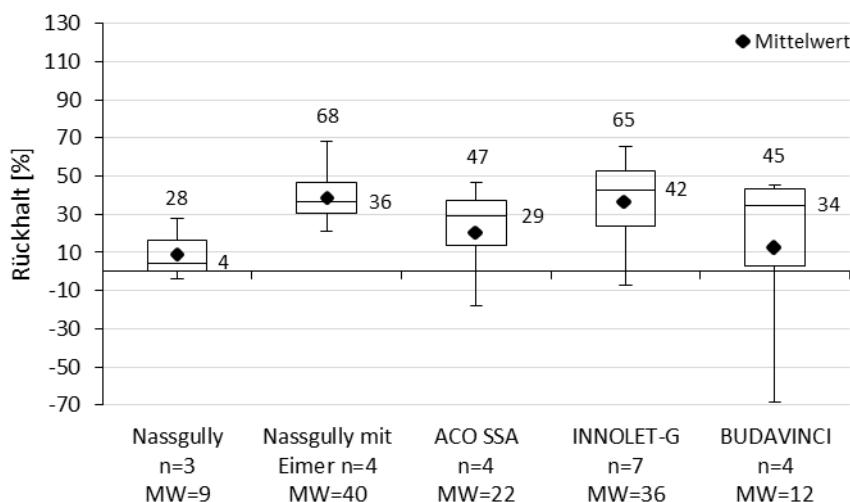


Abbildung 4.25: P_{ges}-Rückhalt aus c_F-Werten bezogen auf Zulauf

Der P_{ges} -Rückhalt (Median-Werte) variiert je nach Anlage von 4 bis 42 %. Der geringste Rückhalt wird von dem Nassgully ohne Grobstoffeimer erzielt. Das Filtersystem INNOLET-G zeigt die höchste Reinigungsleistung mit 42 %. Auch hier zeigt sich, dass P_{ges} nicht immer zurückgehalten werden kann. Durch Ausspülungen über den Notüberlauf kann es auch bei den Filtersystemen zu Austrägen kommen.

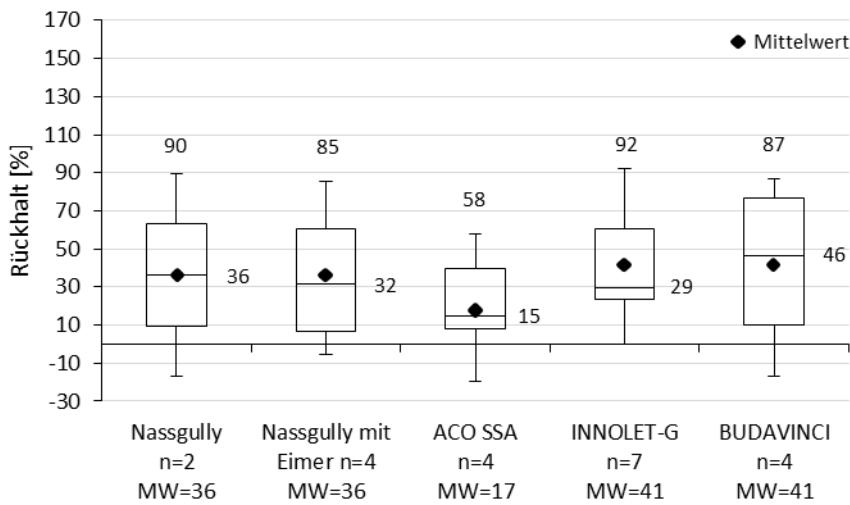
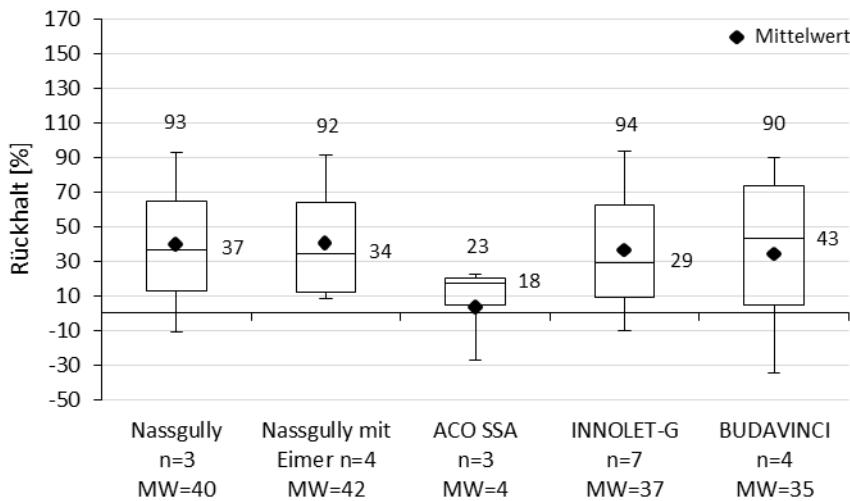


Abbildung 4.26: Zink-Rückhalt aus c_F -Werten bezogen auf Zulauf

Die Zink- und Kupfer-Rückhalte sind für die jeweiligen Anlagen nahezu identisch. Der größte Rückhalt wird bei den betrachteten Ereignissen von dem BUDAVINCI mit 46 % (Zn) bzw. 43 % (Cu) erreicht. Der geringste Rückhalt wird bei den zur Auswertung nutzbaren Ereignissen für den ACO SSA mit 15 % (Zn) bzw. 18 % (Cu) erzielt. Die Systeme Nassgully und Nassgully mit Grobstoffeimer zeigen mit bis zu 37 % relativ gute Rückhaltewerte. Aufgrund der Datenlage lässt sich vermuten, dass Zink und Kupfer durch reine Sedimentation gut abgeschieden werden kann und somit bei diesen Ereignissen größtenteils partikulär vorlagen.

**Abbildung 4.27: Kupfer-Rückhalt aus c_F -Werten bezogen auf Zulauf**

In Tabelle 4.8 sind die Rückhaltewerte zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 4.8: Rückhalt [%] Clayallee in situ Untersuchung (Median und Mittelwerte)

Rückhalt [%] Für beprobte Abflüsse $> 0,3 \text{ L/s}$		Nassgully ohne Eimer	Nassgully mit Eimer	ACO SSA	INNOLET- G	BUDAVINCI Typ-N
AFS	Median MW	39 39	57 44	48 49	48 41	35 40
AFS _{fein}	Median MW	33 33	46 44	56 52	49 24	36 23
CSB	Median MW	13 13	16 3	17 6	30 31	23 17
P _{ges}	Median MW	4 9	36 40	29 22	42 36	34 12
Zink	Median MW	36 36	32 36	15 17	29 41	46 41
Kupfer	Median MW	37 40	34 42	18 4	29 37	43 35

Insgesamt dürfen die Rückhaltewerte nur unter der Einschränkung der für die Berechnung zur Verfügung stehenden Daten von unterschiedlichen Ereignissen betrachtet werden. Daher ist ein direkter Vergleich zwischen den Anlagen nur unter Vorbehalt möglich. Zudem ist der Einfluss des Einzugsgebietes zu beachten, hier spielen vor allem der große Baumbestand und der nahezu ganzjährliche Laubeintrag aus dem angrenzenden Waldstück eine wichtige Rolle. Dies führt zu vergleichsweise hohen CSB-Zulaufwerten und kann außerdem einen erhöhten organischen Anteil der abfiltrierbaren Stoffe hervorrufen. Durch die geringere Dichte des organischen Anteils sedimentieren vermutlich weniger Feinpartikel. Die folgende Betrachtung der Zulaufwerte von acht Ereignissen mit einer Gesamtprobenanzahl von n=21 bei denen CSB_{filtriert} bestimmt wurde, bestätigt diese Vermutung. Bei diesen Ereignissen liegt der Anteil von CSB_{partikular} zu CSB_{ges} bei 79 % (Min:16 %, Max: 96 %). Der Anteil von CSB_{partikular} zu AFS

beträgt 77 % (Min: 39 %, Max: 98 %). (Ereignisse aus August, September, Oktober, Dezember 2014 und Januar, März, Juli 2015)

4.2.1.5 Korrelationen der betrachteten Parameter

In Abbildung 4.28 und Abbildung 4.29 sind die Korrelationen zwischen den betrachteten Parametern aller Proben dargestellt. Die Korrelation zwischen AFS_{fein} und AFS ist plausibel. Der Korrelationskoeffizient R^2 liegt mit 0,95 relativ hoch. Der Korrelationskoeffizient bei der Betrachtung von CSB zu AFS wird durch einzelne sehr hohe CSB-Konzentrationen abgemindert ($R^2=0,7$). Insgesamt lässt der Korrelationskoeffizient von 0,7 auf einen relativ hohen partikulären Anteil der CSB-Konzentrationen schließen. Die Konzentrationen von Zink und Kupfer zeigen teilweise keinen eindeutigen Zusammenhang zu den AFS-Konzentrationen. Hier könnte ein hoher gelöster Anteil der Schwermetalle oder ein hoher organische Anteil an AFS einen Einfluss haben.

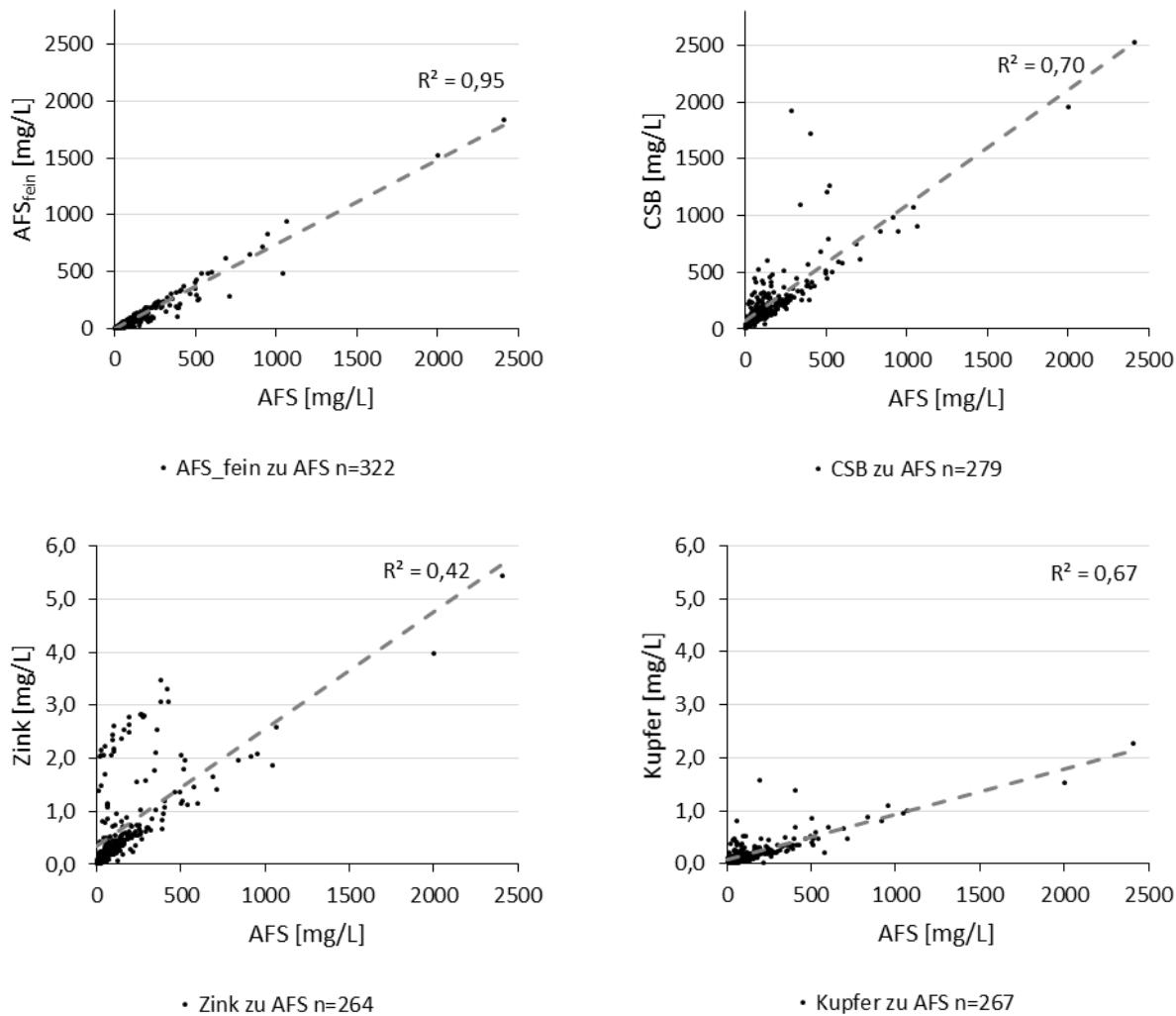


Abbildung 4.28: Clayallee: Korrelation der Messergebnisse der untersuchten Parameter

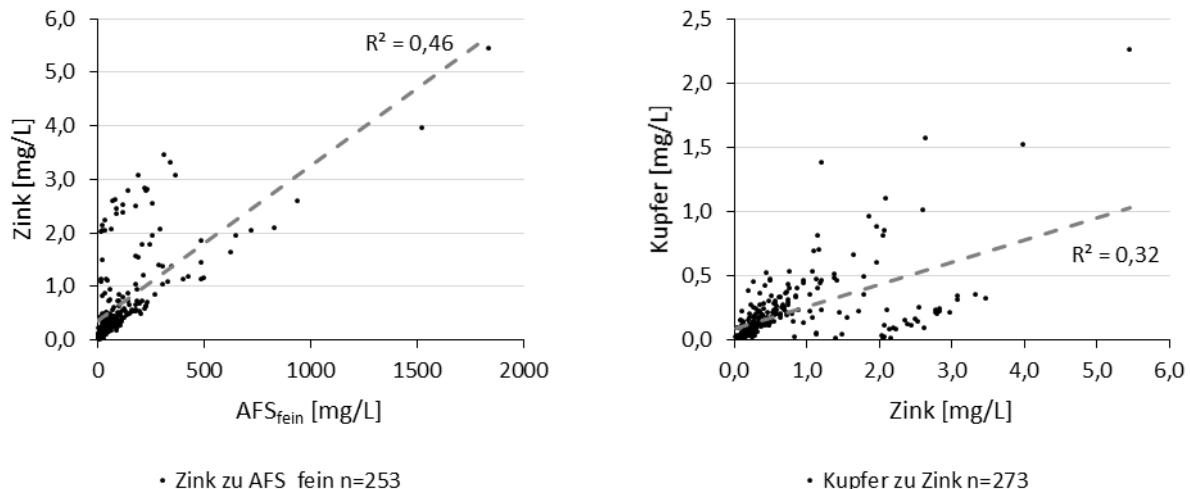


Abbildung 4.29: Clayallee: Korrelation der Messergebnisse der untersuchten Parameter

4.2.1.6 Rückhalt durch Grobstoffeimer und Schlammraum

Zusätzlich zu den Beprobungen des Ablaufs wurden während der Wartungen Proben aus den Eimern und dem Schlammraum genommen. Hier sind die Ergebnisse für die Verhältnisse AFS_{org} zu AFS und AFS_{fein} zu AFS dargestellt, da die Ergebnisse einige Aussagen zu der Zusammensetzung der eingetragenen Partikel zulassen. Dargestellt werden die Trockenmassen.

Tabelle 4.9: Ergebnisse AFS_{org} zu AFS und AFS_{fein} zu AFS der Schlammfäange

	AFS [g]	AFS _{org} [g]	AFS _{org} /AFS [%]	AFS _{fein} [g]	AFS _{fein} /AFS [%]
Nassgully	625,5	355,3	57 %	167,7	27 %
Nassgully mit Eimer	581,3	255,4	44 %	223,4	38 %
ACO SSA	528,7	312,3	59 %	232,9	44 %
INNOLET-G	483,7	229,1	47 %	242,8	50 %
BUDAVINCI Typ-N	399,1	174,3	44 %	193,9	49 %

Im Schlammfang liegen die Anteile AFS_{org} zu AFS bei 44-57 %. Dies lässt darauf schließen, dass die eingetragenen Feststoffe zur Hälfte aus Organik bestehen. Der Anteil an AFS_{fein} beträgt 27-50 % und ist geringer als erwartet. Für den Straßenablauf mit INNOLET-G können die geringeren im Schlammraum zurückgehaltenen Mengen und der hohe Organikanteil mit der Zulaufsituation erklärt werden, da hier vermutlich mehr Sandpartikeln an der Oberfläche vor dem Einlauf in Straßenvertiefungen liegen bleiben, die regelmäßig von der Großkehrmaschine abgereinigt wurden.

Tabelle 4.10: Ergebnisse AFS_{org} zu AFS der Grobstoffeimer

	AFS [g]	AFS_{org} [g]	AFS_{org}/AFS [%]
Nassgully			
Nassgully mit Eimer	7705,8	4281,6	56 %
ACO SSA	5134,70	2447,46	48 %
INNOLET-G			
BUDAVINCI Typ-N	1951,89	898,36	46 %

Die durch den Grobstoffeimer zurückgehaltenen Mengen sind relevant für den Gesamteintrag. Dabei spielt die Größe eine entscheidende Rolle. Der große Eimer ist wesentlich aufnahmefähiger. Der Anteil an organischer Masse beträgt 46-56 %.

Tabelle 4.11: Ergebnisse AFS_{org} zu AFS der Summen aus Grobstoffeimer und Schlammraum

	AFS [g]	AFS_{org} [g]	AFS_{org}/AFS [%]
Nassgully	625,5	355,3	57 %
Nassgully mit Eimer	8287,1	4537,0	55 %
ACO SSA	5663,4	2759,8	49 %
INNOLET-G	483,7	229,1	47 %
BUDAVINCI Typ-N	2351,0	1072,6	46 %

Der Anteil AFS_{org} zu AFS beträgt insgesamt 46-57 %, wenn man den Inhalt von sowohl Schlammraum als auch Eimer betrachtet.

Ein Vergleich mit den Ablaufmengen an AFS und AFS_{fein} ist nur bedingt möglich, da bei den Ablaufuntersuchungen nur der Anteil an AFS beprobt werden kann, der die Anlagen passiert. Unberücksichtigt bleiben dabei Blätter und andere große organische Partikel, die im Eimer hängen bleiben, im Sedimentationsraum zurückbleiben oder durch die Ansaugpumpe des Probennehmers nicht angesaugt werden können.

4.2.2 Treffurter Straße

4.2.2.1 Niederschlagskenndaten und Anzahl der beprobteten Ereignisse

Im Untersuchungszeitraum vom 01.12.2013 bis zum 18.08.2015 (626 Tage) wurden für den Bereich der Treffurter Straße mit Hilfe des BWB-Regenschreibers „Hsch“ (ca. 1,4 km entfernt) 286 Niederschlagsereignisse (Trennkriterium: 4 h) mit einer Niederschlagshöhe von 595 mm aufgezeichnet. Auf ein Jahr gerechnet ergeben sich 347 mm. Verglichen mit dem langjährigen Jahresmittelwert (1981-2010) für die Messstation Berlin Tempelhof mit 576 mm [DWD 2016] liegt die Niederschlagshöhe des Untersuchungszeitraums 229 mm (40 %) unter dem langjährigen Jahresmittelwert.

Im ersten Untersuchungszeitraum vor dem INNOLET-Einbau (01.12.2013-31.07.2014) waren es 111 Niederschlagsereignisse mit 268 mm (403 mm/a) und im zweiten Untersuchungszeitraum nach INNOLET-Einbau (31.07.2014-18.08.2015) 175 Ereignisse mit 327 mm (312 mm/a).

Tabelle 4.12: Treffurter Straße Niederschlagskenndaten Vergleich Regenschreiber „Hsch“ und Station Berlin Tempelhof

Untersuchungs-zeitraum	Zeitraum [d]	Anzahl der N-Ereignisse (RS Hsch) (Trennkrit.: 4h)	$\sum N$ (RS Hsch) [mm/a]	MW $\sum N$ (1981-2010) (Station B-Tempelhof ID: 433) [mm]
vor INNOLET-Einbau 01.12.2013- 31.07.2014	243	111	403	576
nach INNOLET-Einbau 31.07.2014- 18.08.2015	383	175	312	

In Tabelle 4.13 sind die mittleren monatlichen Niederschlagshöhen im langjährigen Vergleich (1981-2010) zu den Niederschlagshöhen der Monate des Untersuchungszeitraums dargestellt. Es kam vor allem im Februar und November 2014 sowie im Februar, Mai und August 2015 zu großen Abweichungen im Vergleich zu den mittleren monatlichen Niederschlagshöhen der Langzeitbetrachtung.

Tabelle 4.13: Station Tempelhof: Abgleich der Niederschlagshöhen (Monatsmittelwerte) [DWD 2016]

Station Tempelhof ID: 433	1981-2010 [mm]	2013 [mm]	2013 zu 1981-2010	2014 [mm]	2014 zu 1981-2010	2015 [mm]	2015 zu 1981-2010
Summe/a	576	592,7	103 %	420,1	73 %	507,7	88 %
Januar	47	56,2	118 %	29,5	62 %	77,7	164 %
Februar	38	29,7	79 %	9,0	24 %	6,7	18 %
März	43	18,4	42 %	17,5	40 %	45,1	104 %
April	33	21,0	63 %	20,6	62 %	27,9	84 %
Mai	56	79,4	142 %	85,8	154 %	16,4	29 %
Juni	60	65,0	108 %	40,0	66 %	50,2	83 %
Juli	60	35,6	60 %	61,1	103 %	67,1	113 %
August	59	51,2	87 %	32,4	55 %	26,2	45 %
September	47	74,9	159 %	27,4	58 %	31,7	67 %
Oktober	38	64,1	168 %	38,1	100 %	60,2	158 %
November	45	54,0	119 %	5,7	13 %	74,5	165 %
Dezember	50	43,2	87 %	53,0	106 %	24	48 %

In Tabelle 4.14 sind die Kenndaten der im Untersuchungszeitraum aufgezeichneten Niederschlagsereignisse im Vergleich zu den Kenndaten der beprobten Ereignisse dargestellt.

Tabelle 4.14: Treffurter Straße Niederschlagskenndaten Vergleich Gesamttereignisse und beprobte Ereignisse

		Σ N Ereignis- bezogen [mm]	Dauer [h]	MW N Ereignis- bezogen [mm/5min]	Max N Ereignis- bezogen [mm/5min]	Trocken- zeit zwischen Ereig. [h]
Gesamt Ereignisse (RS Hsch) n=286	MW (Min-Max)	2,08 (0,1-22,9)	3,02 (0,08-33,3)	0,09 (0,01-0,9)	0,39 (0,01-9,3)	55 (4,5-354)
Beprobte Ereignisse vor INNOLET- Einbau	MW (Min-Max)	6,02 (0,4-21,3)	5,36 (0,25-33,3)	0,11 (0,02-0,35)	1,24 (0,1-9,3)	64 (8-249)
Beprobte Ereignisse nach INNOLET- Einbau	MW (Min-Max)	3,63 (0,1-11,0)	3,54 (0,08-9,3)	0,13 (0,02-0,61)	0,78 (0,1-3,5)	42 (6,5-125)

Es konnten Ereignisse ab einer Niederschlagshöhe von 0,1 mm und einem mittleren 5 mm-Wert von 0,11 mm/5min beprobzt werden. Im Vergleich zu den Kennwerten der gesamten Ereignisse fällt auf, dass bedingt durch die Messtechnik vermehrt intensivere Ereignisse beprobzt wurden. Im Untersuchungszeitraum vor dem INNOLET-Einbau wurde ein Abflussvolumen von ca. 565,97 m³ gemessen. Im Untersuchungszeitraum nach dem INNOLET-Einbau konnte ein Abflussvolumen von ca. 585,96 m³ ermittelt werden.

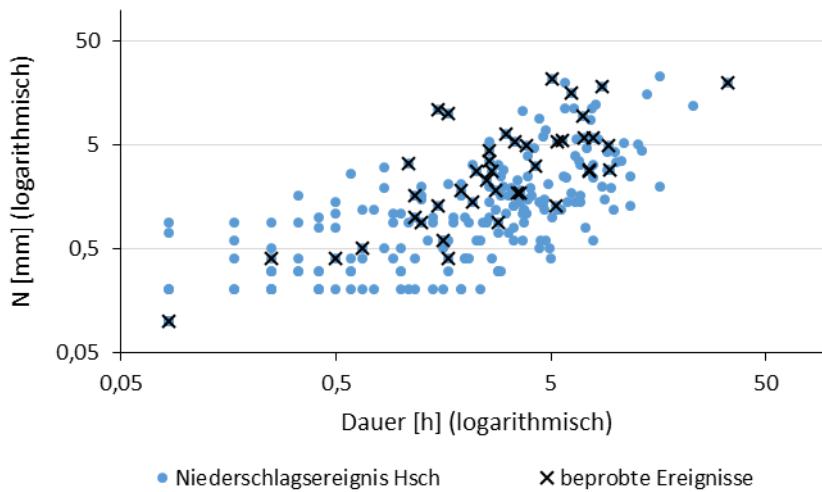


Abbildung 4.30: Niederschlagsereignisse „Hsch“ zu beprobten Ereignissen

In Tabelle 4.15 sind die Anzahl der beprobten Ereignisse sowie die Anzahl der Ereignisse, welche für die Auswertungen genutzt wurden, dargestellt.

Tabelle 4.15: Anzahl beprobter Ereignisse: Gesamtanzahl und Anzahl für Auswertung

Variante (Zeitraum)	Anzahl beprobter Ereignisse	Ereignisanzahl für Auswertung
Treffurter Str. vor INNOLET-Einbau 01.12.2013-31.07.2014	19	17
Treffurter Str. nach INNOLET-Einbau 31.07.2014-18.08.2015	25	21

Im Messzeitraum vor INNOLET-Einbau wurden 111 Niederschlagsereignisse mit dem Regenschreiber „Hsch“ aufgezeichnet. Somit konnten 17 % der Ereignisse beprobt werden. Im Messzeitraum nach INNOLET-Einbau konnten 14 % der 175 Niederschlagsereignisse erfasst werden.

4.2.2.2 Ablaufkonzentrationen

Im Folgenden werden die Ablaufkonzentrationen der beiden Messzeiträume vor INNOLET-Einbau (01.12.2013-31.07.2014) und nach INNOLET-Einbau (31.07.2014-18.08.2015) in der Treffurter Straße dargestellt. Zur Darstellung der einzelnen Probenahme-Ereignisse werden die Konzentrationen der jeweils ersten Probe über den zeitlichen Verlauf der beiden Messzeiträume abgebildet.

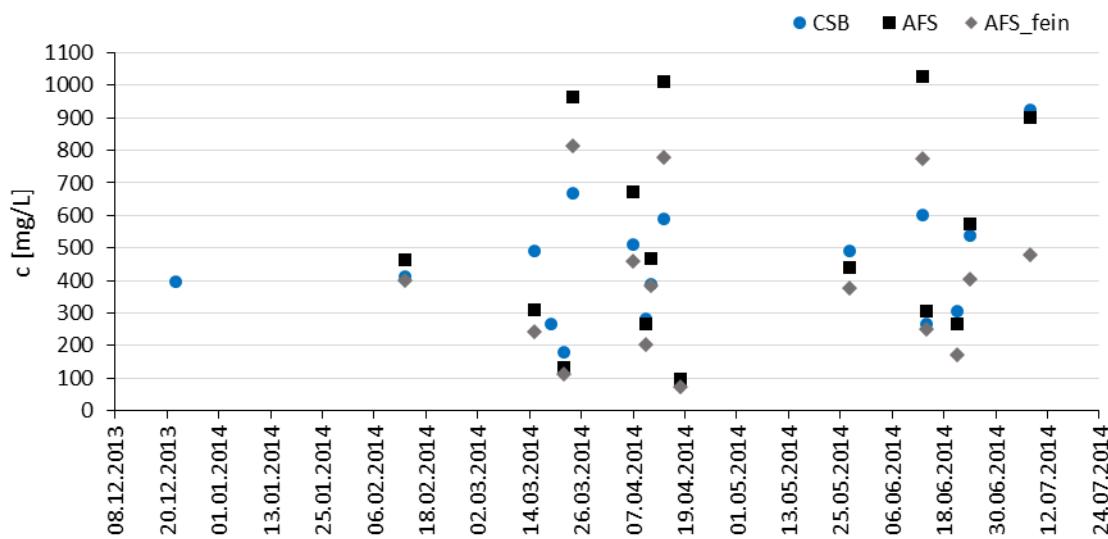


Abbildung 4.31: Konzentration der ersten Probe vor INNOLET-Einbau (AFS, AFS_{fein}, CSB)

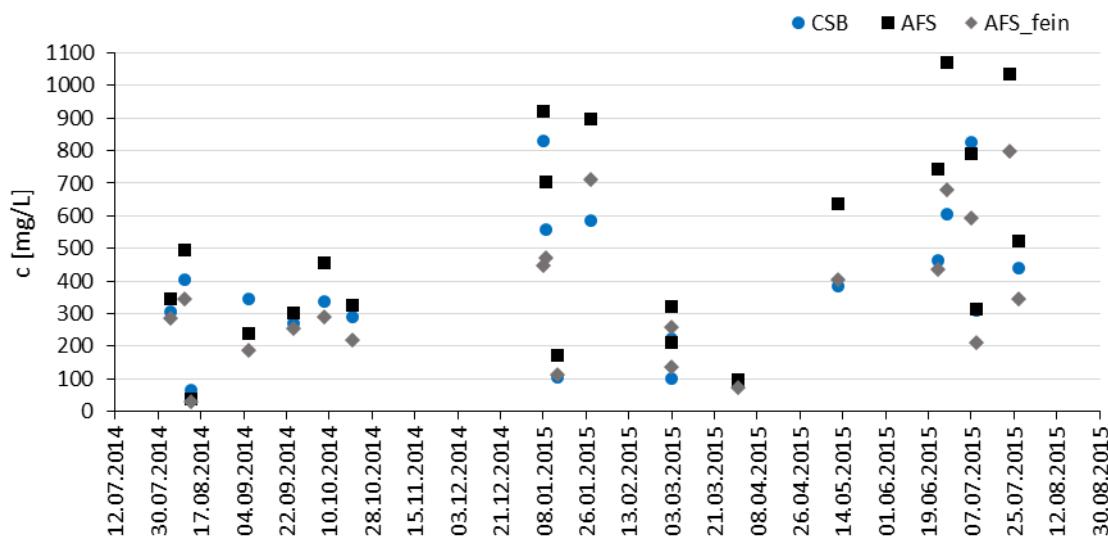


Abbildung 4.32: Konzentration der ersten Probe nach INNOLET-Einbau (AFS, AFS_{fein}, CSB)

Bei der Betrachtung der Konzentrationen der ersten Proben über den zeitlichen Verlauf fallen die zum Teil sehr hohen Konzentrationen mit Maximalwerten von 1.070 mg/L AFS auf.

Die hohen Konzentrationen ab ca. 400 mg/L treten vor allem an intensiven Niederschlagsereignissen mit maximalen 5 Minuten-Werten ab ca. 0,3 mm/5min auf. Auffallend sind auch die zum Teil deutlich reduzierten Ablaufkonzentrationen bei kurz hintereinander beprobten Niederschlagsereignissen. Anders als in der Clayallee liegen hier größtenteils die AFS-Werte über den CSB-Werten. Die Konzentrationen der ersten Probe über den zeitlichen Verlauf der Messzeiträume für die Parameter P_{ges} , Kupfer und Zink sind im Anhang 11 dargestellt. Hier fallen vor allem die sehr hohen Zink-Konzentrationen mit einem Maximalwert von 8,37 mg/L auf. Die relativ hohen Konzentrationen der ersten Probe werden vermutlich vor allem durch die Aufwirbelung der im Kanal abgesetzten Sedimente verursacht.

In Abbildung 4.33 sind die gemittelten Konzentrationen aller Proben nach den Probenahmezeitpunkten über 95 Minuten abgebildet. Der 95-Minuten-Verlauf der beiden Messzeiträume zeigt für die erste Probe zur Minute 0 die zuvor erläuterten relativ hohen Konzentrationen. Mit zunehmender Abflussdauer nehmen die Konzentrationen größtenteils kontinuierlich ab. Von der Minute 19 zur Minute 38 erhöhen sich die Werte bei dem Verlauf des Messzeitraumes vor INNOLET-Einbau leicht. Dies ist durch ein Ereignis mit relativ hohen Werten bei der dritten Probe zu begründen. Dieser Einfluss relativiert sich bei der Median-Darstellung im Anhang. Grundsätzlich erkennt man, dass die Ablaufwerte ab der Minute 40 bei dem Messzeitraum nach INNOLET-Einbau unter den Ablaufwerten des Messzeitraums vor INNOLET-Einbau liegen (außer für den Parameter Zink). Vermutlich spielt auch hier der Einfluss der abgesetzten Sedimente im Kanal eine entscheidende Rolle. Dieser Einfluss scheint nach ausreichendem Abfluss bis zur Minute 40 abzunehmen.

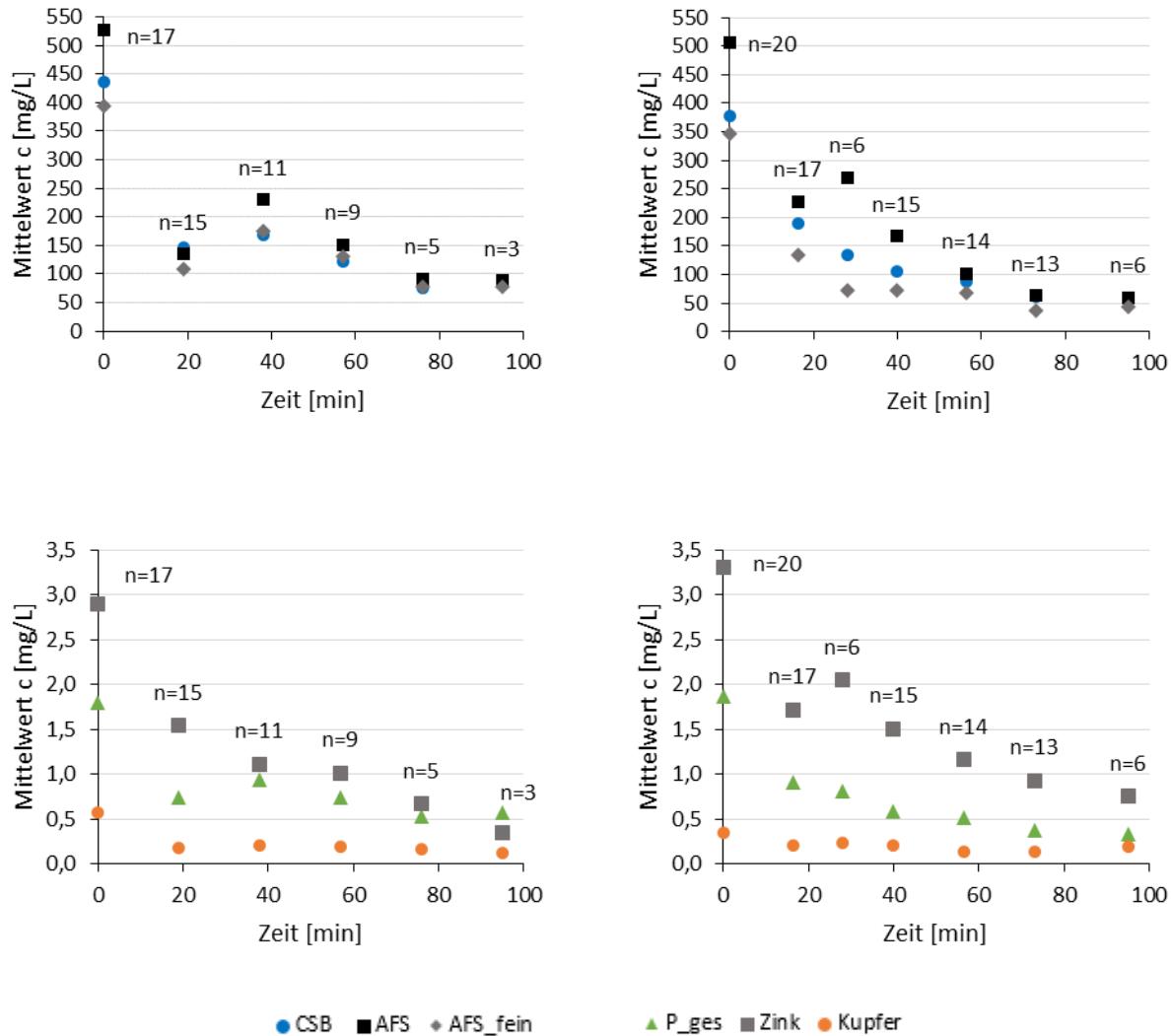


Abbildung 4.33: Ablaufkonzentration 95-Minuten-Verlauf vor INNOLET-Einbau (linke Abb.) und nach INNOLET-Einbau (rechte Abb.).

In Abbildung 4.34 und Abbildung 4.35 sind die frachtgewichteten Konzentrationen (c_F -Werte) der Messzeiträume vor und nach INNOLET-Einbau dargestellt. Die Diagramme zeigen Box-Plots mit Angabe der Minimal- und Maximalwerte sowie den Medianwert als mittleren Strich des Box-Plots dargestellt. Zusätzlich ist der arithmetische Mittelwert als Punkt eingezeichnet. Deutlich zu erkennen sind die großen Bandbreiten der c_F -Werte. Die hohen Maximalwerte werden von kurzen intensiven Niederschlagsereignissen verursacht, bei denen meist nur eine Probe in die c_F -Wert-Berechnung einfließen konnte.

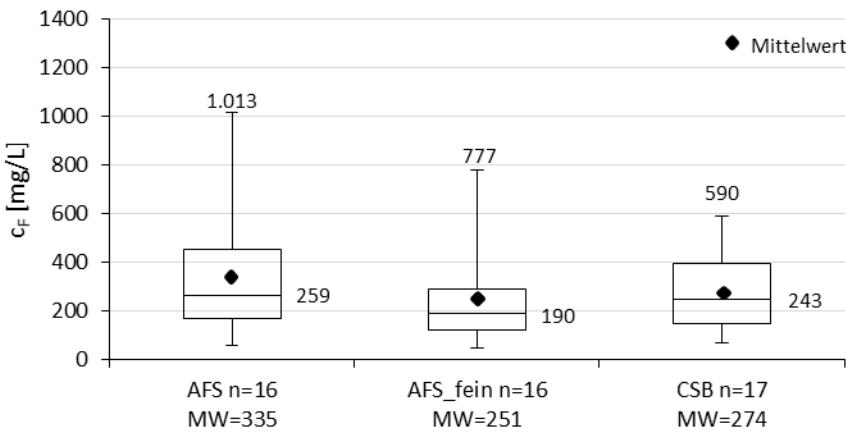


Abbildung 4.34: frachtgewichtete Konzentration vor INNOLET-Einbau (c_F -Wert), (AFS, AFS_{fein}, CSB)

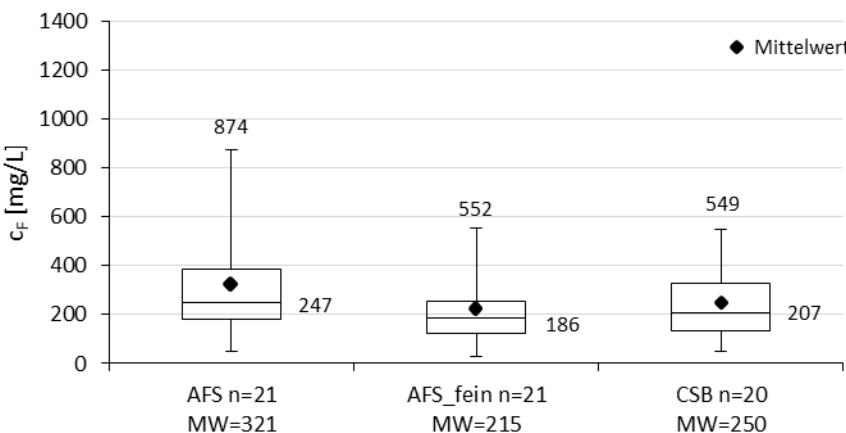


Abbildung 4.35: frachtgewichtete Konzentration nach INNOLET-Einbau (c_F -Wert), (AFS, AFS_{fein}, CSB)

Bei dem Vergleich der Parameter AFS, AFS_{fein} und CSB der beiden Messzeiträume ist zu erkennen, dass sich die Werte in ähnlichen Bereichen befinden. Die AFS-Median-Werte liegen bei 259 bzw. 247 mg/L; die CSB-Median-Werte bei 243 bzw. 207 mg/L. Die Ablaufwerte nach INNOLET-Einbau liegen etwas unter den Werten des ersten Messzeitraumes. Dies betrifft die Maximal-, Median- und Mittelwerte.

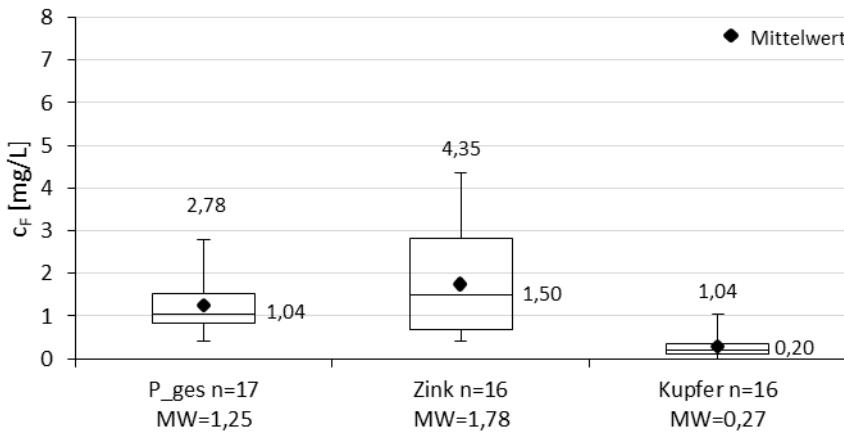


Abbildung 4.36: frachtgewichtete Konzentration vor INNOLET-Einbau (c_F-Wert), (P_{ges}, Zink, Kupfer)

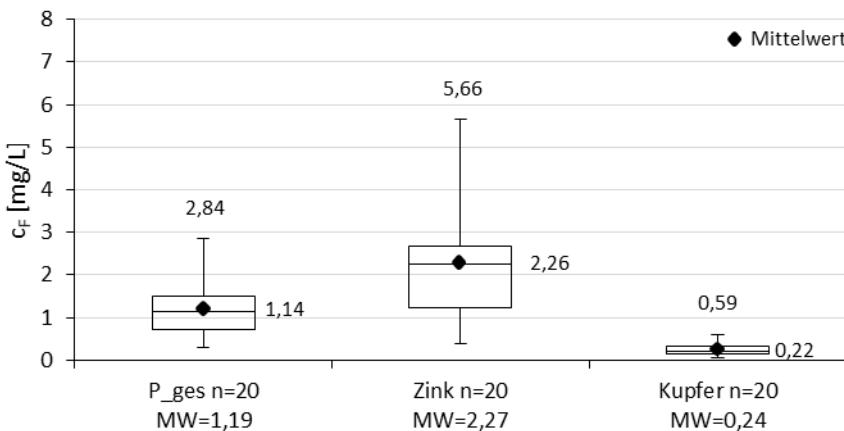


Abbildung 4.37: frachtgewichtete Konzentration nach INNOLET-Einbau (c_F-Wert), (P_{ges}, Zink, Kupfer)

Die Parameter P_{ges} und Kupfer liegen in beiden Messzeiträumen in nahezu identischen Bereichen (P_{ges}: 1,04 bzw. 1,14 mg/L; Kupfer: 0,2 bzw. 0,22 mg/L). Die Mittelwerte der Parameter P_{ges} und Kupfer sind etwas niedriger für den Messzeitraum nach INNOLET-Einbau. Auffallend sind die hohen Zink-Werte für den Messzeitraum nach INNOLET-Einbau mit 2,26 mg/L im Vergleich zu 1,5 mg/L im Messzeitraum vor INNOLET-Einbau. Die Ursache hierfür könnte auch nach Rückfragen mit den Mitarbeitern des Betriebshofes leider nicht geklärt werden. Während des Betriebsablaufs kam es zu keinen Änderungen oder Unregelmäßigkeiten.

Literaturvergleich

In Tabelle 4.16 werden die Konzentrationen des Messzeitraums vor INNOLET-Einbau mit Literaturangaben sowie mit den Zulaufwerten der Clayallee verglichen.

Tabelle 4.16: Vergleich der Ablaufkonzentration vor INNOLET-Einbau mit Zulaufwerten der Clayallee und Literaturwerten

	AFS [mg/L]	AFS _{fein} [mg/L]	CSB [mg/L]	P _{ges} [mg/L]	Zink [mg/L]	Kupfer [mg/L]
Verkehrsabfluss Schwerpunktwert (Vertrauensbereich) [Schmitt et al. 2010]	200 (60 – 400)	100	100 (30 – 150)	0,5 (0,2-1,2)	0,44 (0,2-0,6)	0,08 (0,03-0,25)
Zulauf Clayallee (c _F -Median) n=15	181	71	299	0,79	0,62	0,25
Ablaufwerte (c _F -MW) vor INNOLET-Einbau [mg/L]	335	251	274	1,25	1,78	0,27
Ablaufwerte (c _F -Median) vor INNOLET-Einbau [mg/L]	259	190	243	1,04	1,50	0,20

Die Konzentration des Parameter AFS liegt im Messzeitraum vor INNOLET-Einbau mit 259 mg/L (Median) oberhalb des Schwerpunktswertes von 200 mg/L nach Schmitt et al. (2010) und zeigt die starke Verschmutzung des Betriebshofes an. Auch die AFS_{fein}-Konzentration ist im Vergleich zu dem Schwerpunktswert mit 190 mg/L zu 100 mg/L erhöht. Der CSB-Wert befindet sich mit 243 mg/L (Median) deutlich oberhalb der oberen Grenze des Vertrauensbereiches von 150 mg/L. Die P_{ges}- und Kupfer-Werte liegen an der oberen Grenze des Vertrauensbereiches. Mit 1,5 mg/L befindet sich der Zink-Medianwert deutlich über der oberen Grenze des Vertrauensbereichs.

Die Zulaufkonzentration der Clayallee weist aus bereits erläuterten Gründen höhere CSB-Werte als die Ergebnisse der Treffurter Straße auf. Ansonsten befinden sich die Werte der anderen Parameter zum Teil deutlich unterhalb der Treffurter Straße. Die Werte für Kupfer befinden sich in einem ähnlich hohen Bereich bei 0,2 bzw. 0,25 mg/L.



Abbildung 4.38: Streugut-Box, Laub-Sammelstelle, Waschplatz

Die hohe AFS-Belastung lässt sich mit dem Streugut-Lager auf dem Betriebshof erklären. Bei Niederschlagsereignissen führt der Ablauf der Streugut-Box in einen Straßenablauf, der an den Regenwasserkanal angeschlossen ist und zum Messschacht führt. Die hohen CSB und P_{ges} -Konzentrationen des Betriebshofs in der Treffurter Straße stammen vermutlich aus Laub-Verwehungen aus den Boxen zur Zwischenlagerung. Durch die hohe Fahrzeug-Frequenz auf dem Betriebshof kann das Laub zerkleinert und bei dem nächsten Niederschlagsereignis in die Straßenabläufe des Regenwasserkanals eingetragen werden. Eine weitere Möglichkeit stellt der Schlamm vom Waschplatz dar, auf dem die Behälter der Kleinkehrmaschinen ausgespült werden. Der Waschplatz ist an den Schmutzwasserkanal angeschlossen, jedoch kann es durch die Reifenprofile der Fahrzeuge zu einer Verlagerung des Schlammes auf die an den Regenwasserkanal angeschlossenen Flächen des Betriebshofes kommen. Die hohe Zink-Konzentration kann zum Teil mit der hohen Fahrzeug-Frequenz begründet werden. Zusätzlich könnte der Abfluss eines Schrottsammel-Containers zu der hohen Zink-Konzentration führen.

Weitere betrachtete Parameter

In Abbildung 4.39 sind alle pH-Werte und die Leitfähigkeit aller Proben über den zeitlichen Verlauf des Untersuchungszeitraumes in der Treffurter Straße dargestellt (Markierung trennt die beiden Messzeiträume vor und nach INNOLET-Einbau). Der pH-Wert liegt im Messzeitraum vor dem INNOLET-Einbau im Mittel bei 7,3 (Median: 7,3; Min: 5,9; Max: 8,2). Der Mittelwert der Leitfähigkeit aller Proben im Messzeitraum vor dem INNOLET-Einbau beträgt 909 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Median: 663 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Min: 237 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Max: 5270 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Im Messzeitraum nach dem INNOLET-Einbau beträgt der mittlere pH-Wert 7,0 (Median: 7,0; Min: 6,0; Max: 8,0) und der Mittelwert der Leitfähigkeit 930 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Median: 697 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Min: 159 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Max: 4200 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Die jeweiligen Maximalwerte wurden im Winter erreicht und sind auf die Streuung des Betriebshofes bzw. auf die Testläufe der Streufahrzeuge, die vor Ort beladen werden, zurückzuführen.

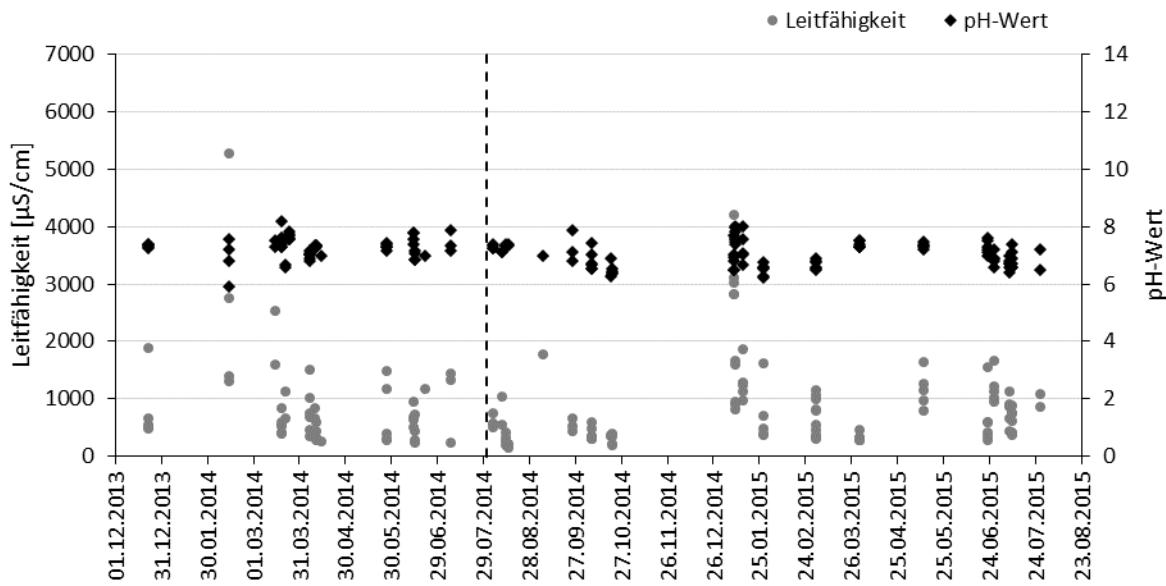


Abbildung 4.39: Leitfähigkeit und pH-Wert aller Proben über den gesamten Messzeitraum (Markierung trennt die beiden Messzeiträume vor und nach INNOLET-Einbau)

Der Parameter MKW wurde in der Treffurter Straße an zwei Niederschlagsereignissen (Herbst 2014 und Sommer 2015) über den KW-Index nach EN ISO 9377-2 (H53) untersucht. Für die Herbstprobe wurde eine mittlere MKW-Konzentration von 160 $\mu\text{g}/\text{L}$ und für die Sommerprobe 3.100 $\mu\text{g}/\text{L}$ ermittelt. Zusätzlich wurden diese Ereignisse hinsichtlich des Summenparameters der 16 definierten polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (EPA-PAK) nach DIN 38 407-F39 analysiert. Der Summenparameter EPA-PAK lag bei der Herbstprobe bei 0,66 $\mu\text{g}/\text{L}$ und bei der Sommerprobe bei 0,19 $\mu\text{g}/\text{L}$. Bei der Herbstprobe setzt sich die Summe des EPA-PAK-Summenparameters aus 14 PAKs zusammen (nur bei Acenaphthylen und Acenaphthen lag die Konzentration unter der Bestimmungsgrenze von 0,01 $\mu\text{g}/\text{L}$). Fluoranthen zeigt die höchste Konzentration mit 0,15 $\mu\text{g}/\text{L}$. Bei der Sommerprobe liegen die folgenden PAKs über der Bestimmungsgrenze: Naphthalin, Phenanthren, Fluoranthen, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthan. Auch hier zeigt der Stoff Fluoranthen die höchste Konzentration mit 0,058 $\mu\text{g}/\text{L}$. Fluoranthen ist in fossilen Brennstoffen nachweisbar und ein Produkt der unvollständigen Verbrennung organischen Materials, zusätzlich kann es auch natürlich in Pflanzen gebildet werden [Umweltdatenbank 2015].

4.2.2.3 Rückhalt

Bei der Rückhalt-Betrachtung muss generell berücksichtigt werden, dass es sich um zwei unterschiedlichen Messzeiträume handelt. Aus bautechnischen Gründen des bestehenden Regenwasserkanals konnte keine Referenzfläche für die Generierung von Zulaufwerten parallel beprobt werden. Die unterschiedlich langen Messzeiträume weisen, wie bereits erläutert, unterschiedliche Niederschlagskenndaten auf. Im ersten Zeitraum könnte kein Spätsommer bzw. Herbst mit in der Regel intensiven Niederschlagsereignissen beprobt werden. Daher ist ein direkter Vergleich der in den jeweiligen Messzeiträumen gewonnen Ergebnissen der frachtgewichteten Konzentration nur unter großen Vorbehalt möglich. Zur Berechnung des Rückhalts werden die frachtgewichteten Konzentrationen des Messzeitraumes nach INNOLET-Einbau als Mittelwert und Median auf die frachtgewichteten Konzentrationen des Messzeitraum vor INNOLET-Einbau bezogen.

Tabelle 4.17: Rückhalt [%] über Median- und Mittelwerte der c_F -Werte berechnet

Treffurter Straße	AFS	AFS _{fein}	CSB	P _{ges}	Zink	Kupfer
Ablaufwerte (c_F -MW) vor INNOLET-Einbau [mg/L]	335	251	274	1,25	1,78	0,27
Ablaufwerte (c_F -Median) vor INNOLET-Einbau [mg/L]	259	190	243	1,04	1,50	0,20
Ablaufwerte (c_F -MW) nach INNOLET-Einbau [mg/L]	321	215	250	1,19	2,27	0,24
Ablaufwerte (c_F -Median) Nach INNOLET-Einbau [mg/L]	245	186	207	1,14	2,26	0,22
Rückhalt aus c_F -MW [%]	4	14	9	5	-27	9
Rückhalt aus c_F -Median [%]	5	2	15	-10	-51	-7

Aufgrund der ähnlichen Ablaufkonzentrationen der beiden Messzeiträume ist der berechnete Rückhalt sehr gering. Der Rückhalt (Mittelwert-berechnet) beträgt für AFS: 4 %, AFS_{fein}: 14 %, CSB: 9 %, P_{ges}: 5 %, Zink:-27 % und für Kupfer: 9 %. Der Rückhalt über den Median berechnet liegt teilweise deutlich unter den Mittelwert-berechneten Rückhalte-Werten. Nur für den Parameter CSB erhöht sich der Rückhalt auffallend von 9 auf 15 %.

4.2.2.4 Korrelationen der betrachteten Parameter

In Abbildung 4.40 sind die Korrelationen zwischen den betrachteten Parametern dargestellt. Die Korrelation zwischen AFS_{fein} und AFS scheint plausibel. Der Korrelationskoeffizient R² liegt mit 0,88 nicht ganz so hoch wie bei den Ergebnissen der Clayallee. Der Korrelationskoeffizient bei der Betrachtung von CSB zu AFS von 0,82 lässt auf einen relativ hohen partikulären Anteil der CSB-Konzentrationen schließen. Die Konzentrationen von Zink und Kupfer zeigen teilweise keinen eindeutigen Zusammenhang zu den AFS-Konzentrationen. Hier könnte ein hoher gelöster Anteil der Schwermetalle oder ein hoher organische Anteil an AFS einen Einfluss haben.

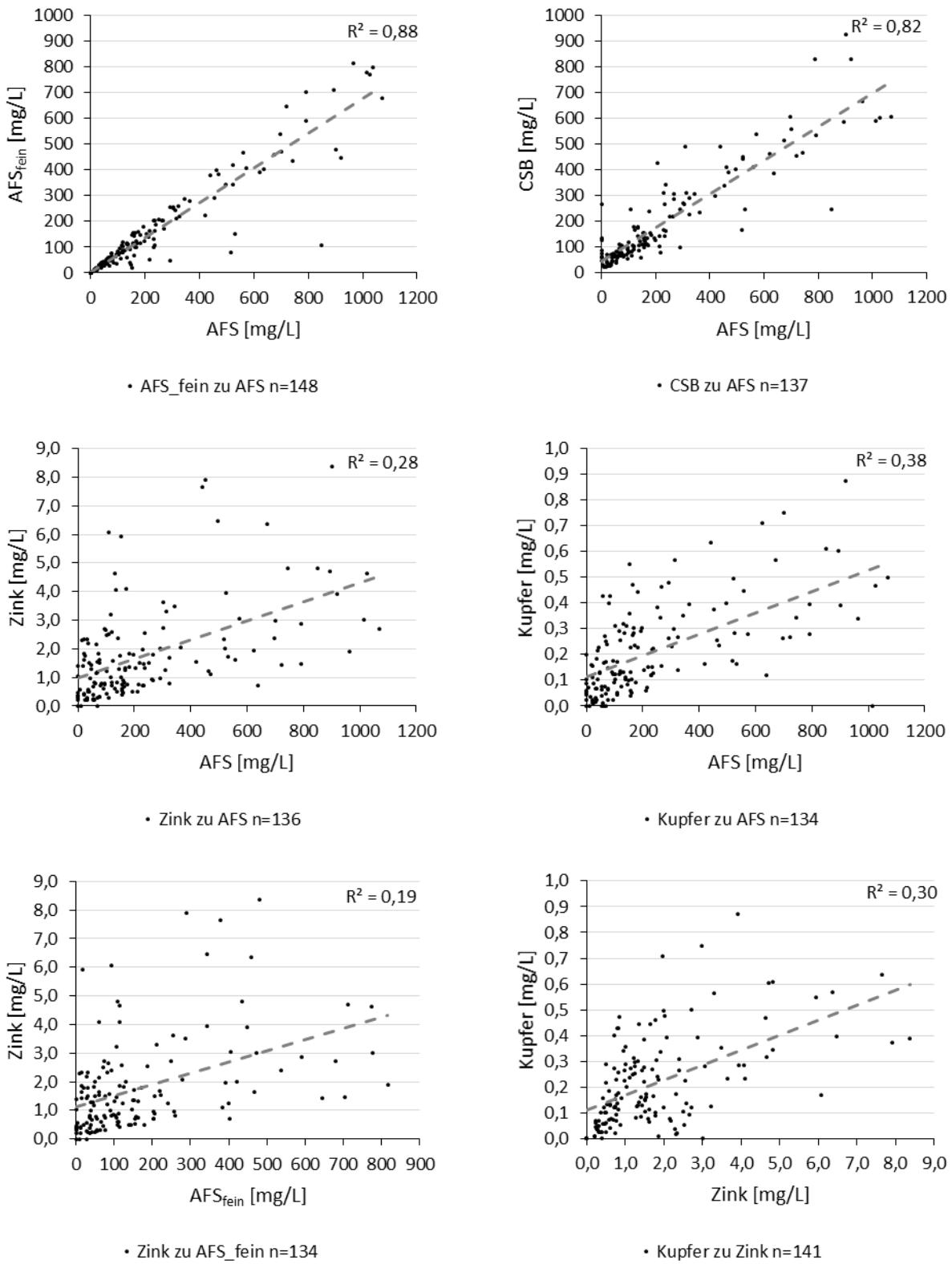


Abbildung 4.40: Treffurter Straße: Korrelation der Messergebnisse der untersuchten Parameter

4.3 Teststand

An dem Teststand in der Peter-Behrens-Halle des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft wurden im Rahmen des Projektes unterschiedliche Testläufe an den Anlagen Nassgully mit und ohne Grobstofffeimer, ACO SSA, INNOLET-G und BUDAVINCI Typ-N durchgeführt. Ziel der im Folgenden dargestellten Versuche ist die Beurteilung der untersuchten Anlagen unter vergleichbaren Bedingungen. Die folgenden Untersuchungen wurden durchgeführt:

- Untersuchungen der hydraulischen Leistungsfähigkeit
- Untersuchungen des Rückhalts von mineralischen Partikeln (Quarzmehl Millisil W4 und Sand-Kies-Gemisch)
- Untersuchungen des Rückhalts von organischen Schwimm bzw. Schwebstoffen (PE- und PS-Granulat, Rindenmulch)
- Untersuchungen des Rückhalts von Mineralölkohlenwasserstoffen (Heizöl EL)
- Untersuchungen des Rückhalts von Schwermetallen (Zink und Kupfer)

4.3.1 Nassgully ohne Grobstofffeimer

Um den Rückhalt des Nassgullys mit Schlammraum ohne Grobstofffeimer am Teststand zu untersuchen, wurde ein Straßenablauf mit Schlammraum (180 L) aus PE-Rohren und Betonfertigteilen nach BWB-Norm Regelblatt 402 verwendet. Auf die Prüfung von Mineralölkohlenwasserstoffen wurde aus Gründen der nicht vorhandenen Einbauten für einen MKW-Rückhalt abgesehen. In Abbildung 4.41 sind die Millisil-Ablaufkonzentrationen der vier Teilprüfungen dargestellt.

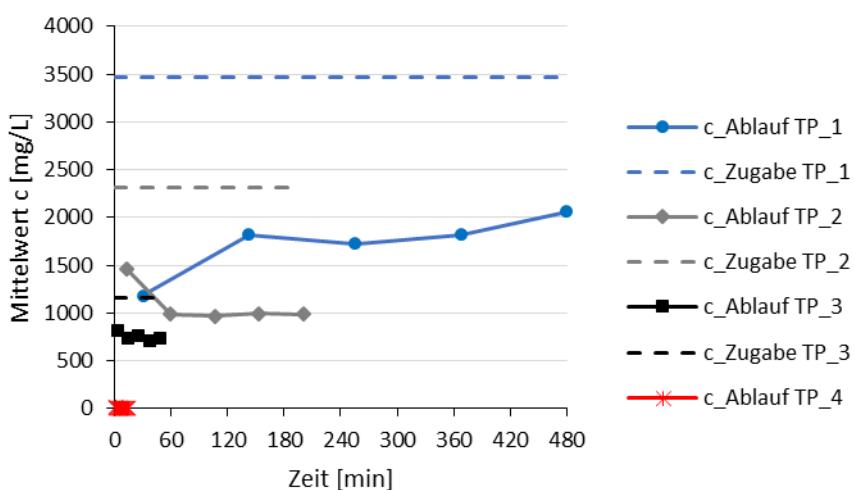


Abbildung 4.41: Nassgully ohne Grobstofffeimer Millisil-Ablaufkonzentration

Bei der Teilprüfung 1 werden kontinuierlich 3,472 g/L Millisil zugegeben. Die Ablaufkonzentration erhöht sich über die Versuchslaufzeit von 1,186 g/L auf 2,062 g/L. Die Teilprüfung 2 erfolgt mit einer Millisil-Dosierung von 2,315 g/L. Der Verlauf der Teilprüfung 2 beginnt mit 1,465 g/L bei der ersten Probenahme und bleibt dann relativ konstant bei 0,985 g/L. Bei der Teilprüfung 3 mit einer Millisil-Dosierung von 1,157 g/L liegt die mittlere Ablaufkonzentration bei 0,752 g/L. Bei dem Ausspülversuch der Teilprüfung 4 mit einem Durchfluss von 4 L/s kommt es ohne Zudosierung nur geringfügig zu einem Austrag von Millisil. Die mittlere Ablaufkonzentration beträgt 2,17 mg/L.

Tabelle 4.18: Nassgully ohne Grobstofffeimer Untersuchung: Millisil W4

Nassgully ohne Grobstofffeimer	Millisil W4			
Teilprüfung	1	2	3	4
Anschlussfläche [m ²]	400	400	400	400
Regenspende [L/(s·ha)]	2,5	6	25	100
Versuchsdauer [min]	480	200	48	15
Durchfluss [L/s]	0,1	0,24	1	4
Wasservolumen Soll [L]	2880	2880	2880	3600
Wasservolumen Ist [L]	2880,5	2879,8	2879,0	3530,7
Dosiermenge [g]	10000	6666,66	3333,33	-
Austrag [g]	4964,0	3114,0	2163,9	7,7
Rückhalt Teilprüfung [%]	50,4	53,3	35,1	-
Rückhalt Gesamt * [%]	48,8			

* Berechnet nach DIBt-Verfahren

Bei den einzelnen Teilprüfungen ergeben sich verschiedene Rückhalte-Werte von 50,4 %, 53,3 % bis 35,1 %. Der Gesamtrückhalt beträgt nach Berechnung durch die Vorgabe des DIBt 48,8 %. Die Anforderungen der Zulassungsgrundsätze des DIBt können daher nicht eingehalten werden (Teilanforderung: Millisil-Gesamtrückhalt \geq 92 %).

Tabelle 4.19: Nassgully ohne Grobstofffeimer Untersuchung: Sand-Kies-Gemisch, PE-, PS-Granulat, Rindenmulch

Nassgully ohne Grobstofffeimer	Sand-Kies-Gemisch		PE-Granulat		PS-Granulat		Rindenmulch	
Regenspende [L/(s·ha)]	25	100	25	100	25	100	25	100
Versuchsdauer [min]	48	15	48	15	48	15	48	15
Durchfluss [L/s]	1	4	1	4	1	4	1	4
Wasservolumen Soll [L]	2880	3600	2880	3600	2880	3600	2880	3600
Wasservolumen Ist [L]	2879,7	3572,2	2879,7	3572,2	2879,7	3572,2	2879,2	3570,3
Dosiermenge [g]	3906,42	-	68,07	-	67,48	-	630,4	-
Austrag [g]	136	12	68,07	0	24,62	1	575	31
Rückhalt Teilpr. [%]	96,5		0		63,5		8,8	
Rückhalt Gesamt [%]	96,2		0		62,0		3,9	

Die Untersuchung mit dem Sand-Kies-Gemisch ergibt einen Gesamtrückhalt von 96,2 %. Das PE- und PS-Granulat kann zu 0 % bzw. 62 % zurückgehalten werden. Der Rückhalt von Rindenmulch beträgt 3,9 %.

Dies zeigt, dass die Schwimmstoffe (PE und Rindenmulch) direkt aus dem Nassgully ausgespült werden. Das PS-Granulat sedimentiert teilweise im Teilversuch mit 1 L/s und wird auch durch den Ausspülversuch mit 4 L/s nicht mobilisiert.

4.3.2 Nassgully mit Grobstoffeimer

Der Grobstoffeimer nach DIN 4052-A4 mit einer Höhe von 600 mm wurde in einem Straßenablauf mit Schlammraum (180 L) aus PE-Rohren und Betonfertigteilen nach BWB-Norm Regelblatt 402 eingesetzt und am Teststand untersucht. Auf die Prüfung von Mineralölkohlenwasserstoffen wurde aus Gründen der nicht vorhandenen Einbauten für einen MKW-Rückhalt abgesehen. In Abbildung 4.42 sind die Millisil-Ablaufkonzentrationen der vier Teilprüfungen dargestellt.

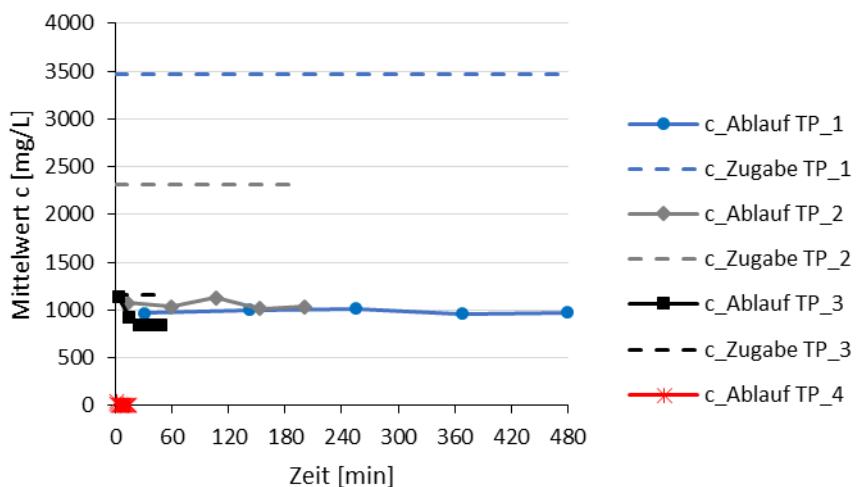


Abbildung 4.42: Nassgully mit Grobstoffeimer Millisil-Ablaufkonzentration

Es fällt auf, dass die Ablaufkonzentrationen bei den Teilprüfungen 1 bis 3 relativ konstant verlaufen. Außerdem stellt sich unabhängig von der Konzentration der Zudosierung und dem Durchfluss ein ähnliches Niveau zwischen den gemittelten Ablaufkonzentrationen der drei Teilprüfungen (TP1: 985,8 mg/L, TP2: 1.059,3 mg/L, TP3: 916,8 mg/L) ein. Bei Teilprüfung 3 ist am Anfang ein Austrag aus dem Eimer bzw. Schlammraum zu erkennen. Die gemittelte Ablaufkonzentration der Teilprüfung 4 liegt ohne weitere Millisil-Dosierung bei 11,3 mg/L.

Tabelle 4.20: Nassgully mit Grobstofffeimer Untersuchung: Millisil W4

Nassgully mit Grobstofffeimer	Millisil W4			
Teilprüfung	1	2	3	4
Anschlussfläche [m ²]	400	400	400	400
Regenspende [L/(s·ha)]	2,5	6	25	100
Versuchsdauer [min]	480	200	48	15
Durchfluss [L/s]	0,1	0,24	1	4
Wasservolumen Soll [L]	2880	2880	2880	3600
Wasservolumen Ist [L]	2880,5	2879,5	2879,9	3537,2
Dosiermenge [g]	10000	6666,66	3333,33	-
Austrag [g]	2839,6	3050,3	2640,4	40,1
Rückhalt Teilprüfung [%]	71,6	54,2	20,8	-
Rückhalt Gesamt * [%]			57,2	

* Berechnet nach DIBt-Verfahren

Bei unterschiedlichen Konzentrationen der Zudosierung der einzelnen Teilprüfungen jedoch ähnlichen Ablaufkonzentrationen ergeben sich verschiedene Rückhalte-Werte von 71,6 %, 54,2 % bis 20,8 %. Der Gesamtrückhalt beträgt nach Berechnung durch die Vorgabe des DIBt 57,2 %. Die Anforderungen der Zulassungsgrundsätze des DIBt können daher nicht eingehalten werden (Teilanforderung: Millisil-Gesamtrückhalt \geq 92 %).

Tabelle 4.21: Nassgully mit Grobstofffeimer Untersuchung: Sand-Kies-Gemisch, PE-, PS-Granulat, Rindenmulch

Nassgully mit Grobstofffeimer	Sand-Kies-Gemisch		PE-Granulat		PS-Granulat		Rindenmulch	
Regenspende [L/(s·ha)]	25	100	25	100	25	100	25	100
Versuchsdauer [min]	48	15	48	15	48	15	48	15
Durchfluss [L/s]	1	4	1	4	1	4	1	4
Wasservolumen Soll [L]	2880	3600	2880	3600	2880	3600	2880	3600
Wasservolumen Ist [L]	2879,5	3527,3	2879,5	3527,3	2879,5	3527,3	2878,8	3531,4
Dosiermenge [g]	3906,42	-	68,07	-	67,48	-	630,4	-
Austrag [g]	102	187	67,96	0,1	21,32	0,5	254	233
Rückhalt Teilpr. [%]	97,4		0,16		68,4		59,7	
Rückhalt Gesamt [%]	92,6		0,01		67,7		22,7	

Die Untersuchung mit dem Sand-Kies-Gemisch ergibt einen Gesamtrückhalt von 92,6 %. Das PE- und PS-Granulat kann zu 0,01 % bzw. 67,7 % zurückgehalten werden. Der Rückhalt von Rindenmulch beträgt im ersten Teilversuch 59,7 %. Dieser wird durch den zweiten Versuch mit einem Durchfluss von 4 L/s und den damit einhergehenden Austrag auf einen Gesamtrückhalt von 22,7 % verringert.

4.3.3 ACO SSA

Der ACO SSA ist ein Kompaktschachtsystem mit Grobstoffeimer nach DIN 4052-A4, einem Turbulenzminderer mit Prallplatte und einem Schlammraum. Die Anlage ist mit einem Notüberlauf ausgestattet. Die hydraulische Leistungsfähigkeit vor Ansprung des Notüberlaufs liegt bei über 16 L/s.

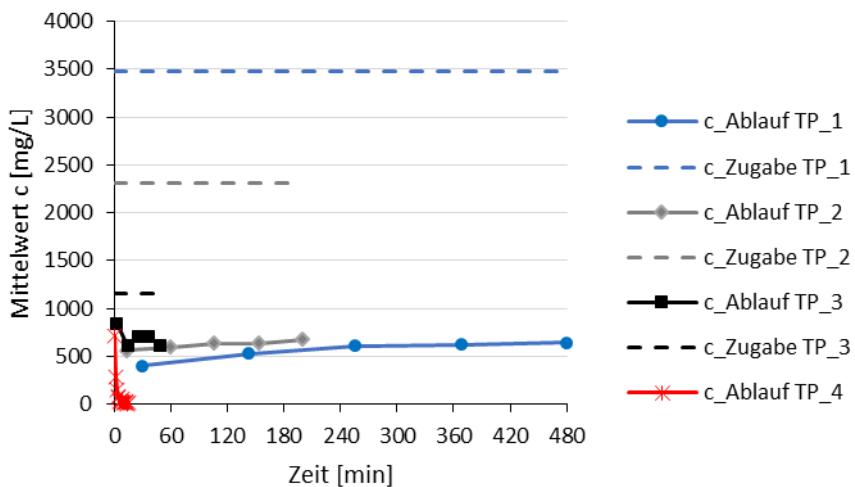


Abbildung 4.43: ACO SSA Millisil-Ablaufkonzentration

Die Teilprüfungen 1 und 2 zeigen leicht stetig zunehmende Ablaufkonzentrationen über die Versuchslaufzeit auf. (Abbildung 4.43) Teilprüfungen 3 und 4 weisen am Anfang auf kurze Ausspülungsphasen hin. Diese werden durch ein Freispülen des Eimers und des Schlammraums verursacht. Die mittleren Ablaufkonzentrationen liegen für die einzelnen Teilprüfungen bei TP1: 558,9 mg/L, TP2: 627,3 mg/L, TP3: 694,5 mg/L und bei TP4: 100,6 mg/L.

Tabelle 4.22: ACO SSA Untersuchung: Millisil W4, MKW

ACO SSA	Millisil W4				MKW			
Teilprüfung	1	2	3	4	1	2	3	4
Anschlussfläche [m ²]	400	400	400	400	400	400	400	400
Regenspende [L/(s·ha)]	2,5	6	25	100	2,5	6	25	100
Versuchsdauer [min]	480	200	48	15	200	80	20	15
Durchfluss [L/s]	0,1	0,24	1	4	0,1	0,24	1	4
Wasservolumen Soll [L]	2880	2880	2880	3600	1200	1152	1200	3600
Wasservolumen Ist [L]	2880,1	2879,9	2879,5	3522,9	1200,2	1151,8	1199,4	3542,1
Dosiermenge [g]	10000	6666,66	3333,33	-	90,66	90,66	90,66	-
Austrag [g]	1609,7	1806,6	1999,8	354,5	13,62	6,85	3,54	0,58
Rückhalt Teilpr. [%]	83,9	72,9	40,0		85,0	92,4	96,1	
Rückhalt Gesamt * [%]	72,0				(91,06)			

Der Rückhalt von Millisil nimmt über die einzelnen Teilprüfungen von 83,9 % über 72,9 % auf 40 % ab. Der Gesamtrückhalt liegt für Millisil bei 72 %. Die Anforderungen der Zulassungsgrundsätze des DIBt können daher nicht eingehalten werden (Teilanforderung: Millisil-Gesamtrückhalt $\geq 92\%$). Der hohe MKW-Gesamtrückhalt von 91 % könnte zum Teil durch die Bauform des Turbulenzminderers begründet werden. In dem Rohr des Turbulenzminderers könnte sich das Heizöl sammeln, sodass dieses nur geringfügig zum Ablauf kommt. Jedoch ist naheliegender, dass durch die kurze Verweilzeit der Hauptanteil des Heizöls vor der ersten Probenahme zum Austrag aus der Anlage kommt. Diese Annahme wird durch den geringen Rückhalt des Schimmstoffes PE bestätigt. Daher ist der hohe MKW-Rückhalt nur unter Vorbehalt in Klammern angegeben.

Tabelle 4.23: ACO SSA Untersuchung: Sand-Kies-Gemisch, PE-, PS-Granulat, Rindenmulch

ACO SSA	Sand-Kies-Gemisch		PE-Granulat		PS-Granulat		Rindenmulch	
Regenspende [L/(s·ha)]	25	100	25	100	25	100	25	100
Versuchsdauer [min]	48	15	48	15	48	15	48	15
Durchfluss [L/s]	1	4	1	4	1	4	1	4
Wasservolumen Soll [L]	2880	3600	2880	3600	2880	3600	2880	3600
Wasservolumen Ist [L]	2879,4	3547,1	2879,4	3547,1	2879,4	3547,1	2878,9	3527,9
Dosiermenge [g]	3906,42	-	68,07	-	67,48	-	630,4	-
Austrag [g]	4	332	67,64	0,23	30,84	8,94	195	248
Rückhalt Teilpr. [%]	99,9		0,6		54,3		69,1	
Rückhalt Gesamt [%]	91,4		0,29		41,0		29,7	

Die Untersuchung mit dem Sand-Kies-Gemisch ergibt einen Gesamtrückhalt von 91,4 %. Das PE- und PS-Granulat kann zu 0,29 % bzw. 41 % zurückgehalten werden. Der Rückhalt von Rindenmulch beträgt im ersten Teilversuch 69 %. Dieser wird durch den zweiten Versuch mit einem Durchfluss von 4 L/s und den damit einhergehenden Austrag auf einen Gesamtrückhalt von 29,7 % verringert.

4.3.4 INNOLET-G

Der INNOLET-G mit verlängerter Filterkartusche (Berliner Variante, 50 cm) wurde in einem Straßenablauf mit Schlammraum aus PE-Rohren und Betonfertigteilen nach BWB-Norm Regelblatt 402 eingebaut und am Teststand mit zwei unterschiedlichen, mit Trinkwasser vorgespülten Filtersubstraten untersucht. Die hydraulische Leistungsfähigkeit vor Ansprung des Notüberlaufs liegt für den INNOLET-G mit dem Substrat 1 (S1) bei 2,2 L/s und für das Substrat 2 (S2) bei 2,1 L/s. In Abbildung 4.44 sind die Millisil-Ablaufkonzentrationen der vier Teilprüfungen der Untersuchung des INNOLET-G mit dem Substrat 1 dargestellt.

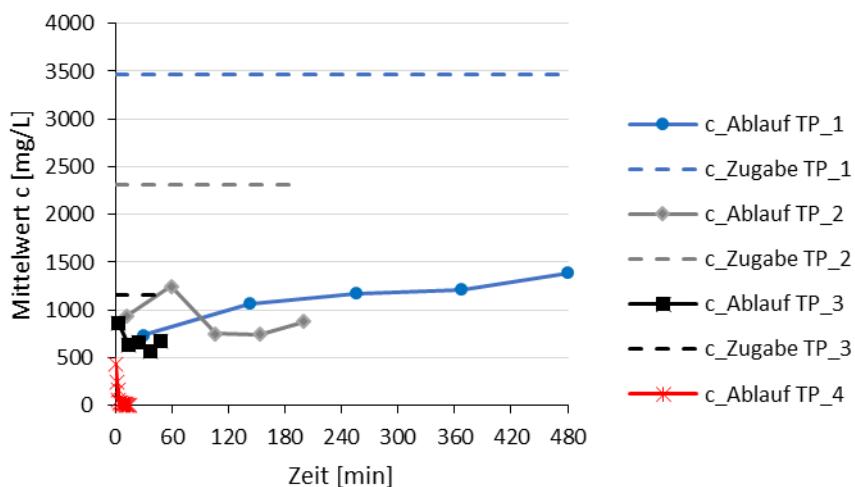


Abbildung 4.44: INNOLET-G S1 Millisil-Ablaufkonzentration

Die Teilprüfung 1 zeigt eine stetig zunehmende Ablaufkonzentration über die Versuchslaufzeit auf. Bei der Teilprüfung 2 ist eine zwischenzeitliche Erhöhung der Ablaufkonzentration bei der zweiten Probenahme zu erkennen. Teilprüfungen 3 und 4 weisen am Anfang auf kurze Ausspülungsphasen des Schlammraumes hin. Die mittleren Ablaufkonzentrationen liegen für die einzelnen Teilprüfungen bei TP1: 1116,1 mg/L, TP2: 912,3 mg/L, TP3: 656,4 mg/L und bei TP4: 70,2 mg/L (Ablaufkonzentration TP4 letzte Probenahme bei Minute 15: 4,6 mg/L). Bei der Teilprüfung 4 (4 L/s) ist durchgängig der Notüberlauf angesprungen.

Tabelle 4.24: INNOLET-G S1 Untersuchung: Millisil W4, MKW

INNOLET-G S1	Millisil W4				MKW			
Teilprüfung	1	2	3	4	1	2	3	4
Anschlussfläche [m ²]	400	400	400	400	400	400	400	400
Regenspende [L/(s·ha)]	2,5	6	25	100	2,5	6	25	100
Versuchsdauer [min]	480	200	48	15	200	80	20	15
Durchfluss [L/s]	0,1	0,24	1	4	0,1	0,24	1	4
Wasservolumen Soll [L]	2880	2880	2880	3600	1200	1152	1200	3600
Wasservolumen Ist [L]	2880,2	2879,9	2879,2	3529,8	1200,5	1152	1199,7	3539,1
Dosiermenge [g]	10000	6666,66	3333,33	-	90,66	90,66	90,66	-
Austrag [g]	3214,6	2627,4	1890,1	247,8	9,96	18,43	21,59	70,78
Rückhalt Teilpr. [%]	67,9	60,6	43,3		89,0	79,7	76,2	
Rückhalt Gesamt * [%]			60,7				68,6	

* Berechnet nach DIBt-Verfahren

Der Rückhalt von Millisil nimmt über die einzelnen Teilprüfungen von 67,9 % über 60,6 % auf 43,3 % ab. Der Gesamtrückhalt liegt für Millisil bei 60,7 %. Die Anforderungen der Zulassungsgrundsätze des DIBt können daher nicht eingehalten werden (Teilanforderung: Millisil-Gesamtrückhalt $\geq 92\%$). Auch nach Vorspülung des Filters, sind während der Versuche Feinanteile des Filtersubstrats ausgespült worden.

Der Rückhalt von MKW nimmt über die einzelnen Teilprüfungen von 89,0 % über 79,7 % auf 76,2 % ab. Der MKW-Gesamtrückhalt beträgt 68,6 % und kann somit den Anforderungen der Zulassungsgrundsätze des DIBt nicht genügen (Teilanforderung: MKW-Gesamtrückhalt $\geq 80\%$).

Tabelle 4.25: INNOLET-G S1 Untersuchung: Sand-Kies-Gemisch, PE-, PS-Granulat, Rindenmulch

INNOLET-G S1	Sand-Kies-Gemisch		PE-Granulat		PS-Granulat		Rindenmulch	
Regenspende [L/(s·ha)]	25	100	25	100	25	100	25	100
Versuchsdauer [min]	48	15	48	15	48	15	48	15
Durchfluss [L/s]	1	4	1	4	1	4	1	4
Wasservolumen Soll [L]	2880	3600	2880	3600	2880	3600	2880	3600
Wasservolumen Ist [L]	2879,6	3512,5	2879,7	3551,9	2879,7	3523,3	2879,4	3538,4
Dosiermenge [g]	2031	-	151,66	-	160,26	-	981	-
Austrag [g]	13,1	16	0	77,2	0	2,6	22	156
Rückhalt Teilpr. [%]	99,4		100		100		97,8	
Rückhalt Gesamt [%]	98,6		49,1		98,4		81,9	

Die Untersuchung mit dem Sand-Kies-Gemisch ergibt einen Gesamtrückhalt von 98,6 %. Das PE- und PS-Granulat kann zu 49,1 % bzw. 98,4 % zurückgehalten werden. Der vollständige Rückhalt der Schwimm- und Schwebstoffe (PE und PS) im ersten Teilversuch verdeutlicht, dass der Notüberlauf bei 1 L/s nicht angesprungen ist. Der Rückhalt von Rindenmulch beträgt im ersten Teilversuch 97,7 %.

Dieser wird durch den zweiten Versuch mit einem Durchfluss von 4 L/s und den damit einhergehenden Austrag auf einen Gesamtrückhalt von 81,9 % verringert. Im ersten Teilversuch sind nur Feinanteile des Rindenmulches durch den Filter gespült worden.

In Abbildung 4.45 sind die Millisil-Ablaufkonzentrationen der vier Teilprüfungen der Untersuchung des INNOLET-G mit dem Substrat 2 dargestellt.

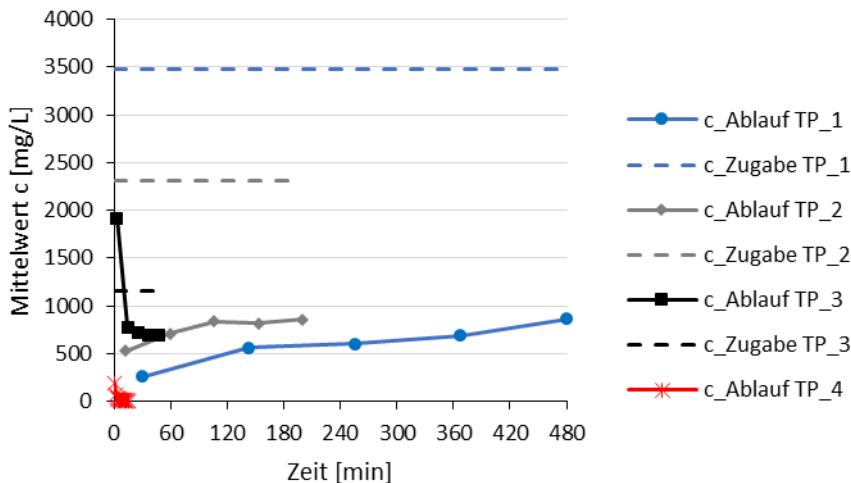


Abbildung 4.45: INNOLET-G S2 Millisil-Ablaufkonzentration

Die Teilprüfungen 1 und 2 zeigen leicht stetig zunehmende Ablaufkonzentrationen über die Versuchslaufzeit auf. Teilprüfungen 3 und 4 weisen am Anfang auf kurze Ausspülungsphasen hin. Bei der Teilprüfung 3 wird der hohe Wert der ersten Probe durch die Doppelbestimmung bestätigt. Die mittleren Ablaufkonzentrationen liegen für die einzelnen Teilprüfungen bei TP1: 595,4 mg/L, TP2: 751,1 mg/L, TP3: 960 mg/L (ohne Probe 1 bei 720,1 mg/L) und bei TP4: 31,9 mg/L (Ablaufkonzentration TP4 letzte Probenahme bei Minute 15: 5,5 mg/L). Bei der Teilprüfung 4 (4 L/s) ist durchgängig der Notüberlauf angesprungen.

Tabelle 4.26: INNOLET-G S2 Untersuchung: Millisil W4, MKW

INNOLET-G S2	Millisil W4				MKW			
Teilprüfung	1	2	3	4	1	2	3	4
Anschlussfläche [m ²]	400	400	400	400	400	400	400	400
Regenspende [L/(s·ha)]	2,5	6	25	100	2,5	6	25	100
Versuchsdauer [min]	480	200	48	15	200	80	20	15
Durchfluss [L/s]	0,1	0,24	1	4	0,1	0,24	1	4
Wasservolumen Soll [L]	2880	2880	2880	3600	1200	1152	1200	3600
Wasservolumen Ist [L]	2880,6	2879,8	2879,3	3536,6	1200,3	1151,4	1199,7	3530,7
Dosiermenge [g]	10000	6666,66	3333,33	-	90,66	90,66	90,66	-
Austrag [g]	1715,1	2163	2764,1	112,7	0,89	3,28	17,4	54,73
Rückhalt Teilpr. [%]	82,8	67,6	17,1		99,0	96,4	80,8	
Rückhalt Gesamt * [%]	66,5				82,0			

Der Rückhalt von Millisil nimmt über die einzelnen Teilprüfungen von 82,8 % über 67,6 % auf 17,1 % ab. Der Gesamtrückhalt liegt für Millisil bei 66,5 %. Die Anforderungen der Zulassungsgrundsätze des DIBt können daher nicht eingehalten werden (Teilanforderung: Millisil-Gesamtrückhalt \geq 92 %).

Der Rückhalt von MKW nimmt über die einzelnen Teilprüfungen von 99 % über 96,4 % auf 80,8 % ab. Der MKW-Gesamtrückhalt beträgt 82 %. Für den MKW-Versuch mit dem Substrat 2 werden somit alle Anforderungen der Zulassungsgrundsätze des DIBt eingehalten. Dies betrifft auch die jeweilige Ablaufracht der einzelnen Mischproben bezogen auf die Gesamtdosiermenge von 272 g (0,68 g/m² * 400 m²).

Tabelle 4.27: INNOLET-G S2 Untersuchung: Sand-Kies-Gemisch, PE-, PS-Granulat, Rindenmulch

INNOLET-G S2	Sand-Kies-Gemisch		PE-Granulat		PS-Granulat		Rindenmulch	
Regenspende [L/(s·ha)]	25	100	25	100	25	100	25	100
Versuchsdauer [min]	48	15	48	15	48	15	48	15
Durchfluss [L/s]	1	4	1	4	1	4	1	4
Wasservolumen Soll [L]	2880	3600	2880	3600	2880	3600	2880	3600
Wasservolumen Ist [L]	2879,5	3529,8	2879,5	3529,8	2879,5	3529,8	2879,0	3541,9
Dosiermenge [g]	3906,42	-	68,07	-	67,48	-	630,4	-
Austrag [g]	3	11	0	47,98	0	0,31	6	186
Rückhalt Teilpr. [%]	99,9		100		100		99,0	
Rückhalt Gesamt [%]	99,6		29,5		99,5		69,5	

Die Untersuchung mit dem Sand-Kies-Gemisch ergibt einen Gesamtrückhalt von 99,6 %. Das PE- und PS-Granulat kann zu 29,5 % bzw. 99,5 % zurückgehalten werden. Der vollständige Rückhalt der Schwimm- und Schwebstoffe (PE und PS) im ersten Teilversuch verdeutlicht, dass der Notüberlauf bei 1 L/s nicht angesprungen ist. Der Rückhalt von Rindenmulch beträgt im ersten Teilversuch 99,0 %. Dieser wird durch den zweiten Versuch mit einem Durchfluss von 4 L/s und den damit einhergehenden Austrag auf einen Gesamtrückhalt von 69,5 % verringert. Im ersten Teilversuch sind nur Feinanteile des Rindenmulches durch den Filter gespült worden.

Durch den eingesetzten Edelstahl-Ablaufschacht des INNOLET-G entsteht eine Art Totraum zwischen Edelstahl-Ablaufschacht und Schachtwand. In diesem können sich die Schwimmstoffe (PE-Granulat und Rindenmulch) sehr gut anreichern und werden somit bei dem Teilversuch 4 mit 4 L/s und Ansprung des Notüberlaufs nicht erfasst. Zusätzlich verkantet sich das Granulat in dem Gitter der Filterkartusche. Dadurch ist die Höhe des PE- und Rindenmulch-Rückhalts eher zufällig bedingt.

Bei der Schwermetall-Untersuchung des INNOLET-G S1 wurden alle Zugabemengen für das Ansetzen der Schwermetall-Lösung eingehalten. Allerdings kann im Vorlagebehälter für Kupfer nur eine Konzentration von 0,566 mg/L statt der geforderten 0,72 mg/L und für Zink eine Konzentration von 3,94 mg/L statt der geforderten 6,25 mg/L erreicht werden.

Damit entsprechen die Zulaufkonzentrationen nur zu 79 % bzw. zu 63 % denen der DIBt-Zulassungsgrundsätze für Kupfer bzw. Zink. Die Lösung wird für die gesamte Prüfung des Schwermetallrückhaltes genutzt, sodass die Zulaufkonzentrationen für die drei Teilprüfungen konstant anzunehmen sind. Bei der Betrachtung der Messergebnisse sind die Schwankungsbereiche zwischen den Doppelbestimmungen von insgesamt zwei Probenahmen auffällig hoch und weichen bis zu 47 % voneinander ab. Die Konzentrationsunterschiede bei den Probenahmen 2 (17 Minuten nach Beginn) und 3 (32 Minuten nach Beginn) der TP 3 sind auf keine bekannten Messfehler zurückzuführen. Da sich die Güte und Repräsentativität der Messwerte nur schwer beurteilen lassen, finden die Messergebnisse der beiden Probenahmen keinen Eingang in die Bewertung. Das bedeutet, dass die TP 3 nur anhand von 2 Probenahmen beurteilt wird und damit nur wenig repräsentativ ist. In Abbildung 4.46 sind die bereinigten Ablaufkonzentrationen für Kupfer (links) und Zink (rechts) dargestellt.

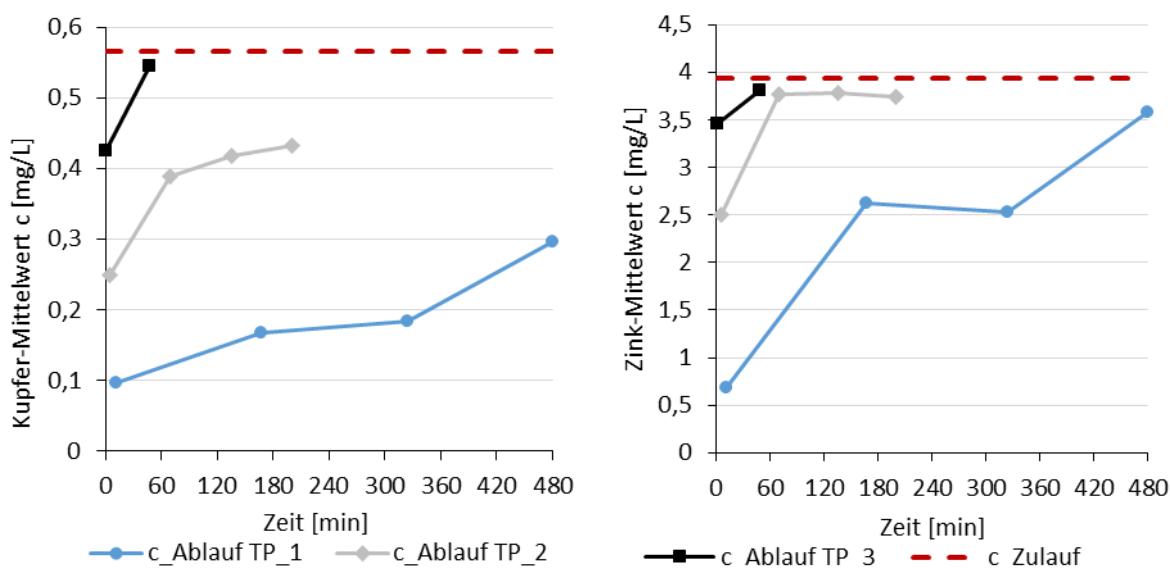


Abbildung 4.46: INNOLET-G S1 Ablaufkonzentrationen für Kupfer (links) und Zink (rechts)

Die Abbildung verdeutlicht, dass die Kupfer-Ablaufkonzentrationen während der einzelnen Teilprüfungen stetig zunehmen und auch über die gesamte Versuchslaufzeit betrachtet stetig größer werden. Bei den Zink-Ablaufkonzentrationen ist auffällig, dass zum Anfang jeder Teilprüfung die geringsten Zink-Konzentrationen gemessen werden und sich am Ende immer Werte im Bereich > 3,5 mg/L einstellen. Der Vergleich beider Diagramme zeigt, dass Zink schneller und in höheren Konzentrationen ausgetragen wird. Tabelle 4.28 gibt eine Zusammenfassung der Schwermetalluntersuchung und die ermittelten Rückhalte gemäß DIBt für den INNOLET-G an.

Tabelle 4.28: Untersuchung und Rückhalt von Kupfer und Zink für den INNOLET-G S1

INNOLET-G S1	Kupfer			Zink		
	1	2	3	1	2	3
Teilprüfung	1	2	3	1	2	3
Regenspende [L/(s·ha)]	2,5	6	25	2,5	6	25
Versuchsdauer [min]	480	200	48	480	200	48
Durchfluss [L/h]	7,2	17,3	72	7,2	17,3	72
Beschickungsvolumen [L]	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6
Dosiermenge Soll [mg]	41,5	41,5	41,5	360	360	360
Dosiermenge Ist [mg]	32,6	32,6	32,6	226,9	226,9	226,9
Austrag [mg]	10,7	21,4	27,9*	135,8	198,7	209,4*
Rückhalt TP [%]	67,3	34,4	14,3*	40,2	12,4	7,7*
Rückhalt Gesamt [%]		38,6			20,1	

* auf Grundlage von 4 Einzelproben

Die Rückhaltewerte beider Schwermetalle nehmen im Verlauf der Prüfung ab. Der Rückhalt beim Kupfer beträgt bei der ersten TP 67,3 %, fällt bei der zweiten TP auf 34,4 % ab und verringert sich bei der dritten TP auf 14,3 %, was einen Gesamtrückhalt von 38,6 % ergibt. Während die Rückhaltewerte des Zinks von 40,2 %, über 12,4 % auf 7,7 % fallen und einen Gesamtrückhalt von 20,1 % ergeben. Damit werden, ungeachtet der abweichenden Zulaufkonzentrationen, die Anforderungen der DIBt-Zulassungsgrundsätze für Kupfer (mindestens 80 % Rückhalt) und für Zink (mindestens 70 %) nicht eingehalten.

Vor Beginn der Prüfung „Kupfer- und Zinkrückhalt unter Salzeinfluss“ wurde das Filterelement mit insgesamt 13,25 L entionisiertem Wasser ($LF = 3,62 \mu\text{S}/\text{cm}$) gespült, bis sich im Abfluss eine konstante LF von $17 \mu\text{S}/\text{cm}$ einstellte. Anschließend wurde die Tausalzlösung angesetzt.

Der pH-Wert der Tausalzlösung beträgt 5,86 bei einer Temperatur von $17,7^\circ\text{C}$ und einer Leitfähigkeit von $16,1 \text{ mS}/\text{cm}$. Der Gehalt an Kupfer im Vorlagebehälter (VB) liegt bei $12 \mu\text{g}/\text{L}$ und bei Zink unterhalb der Bestimmungsgrenze, infolge dessen ein Messwert von $5 \mu\text{g}/\text{L}$ festgesetzt wird. Die Verläufe der Ablaufkonzentrationen der Schwermetalle sind in Abbildung 4.47 dargestellt.

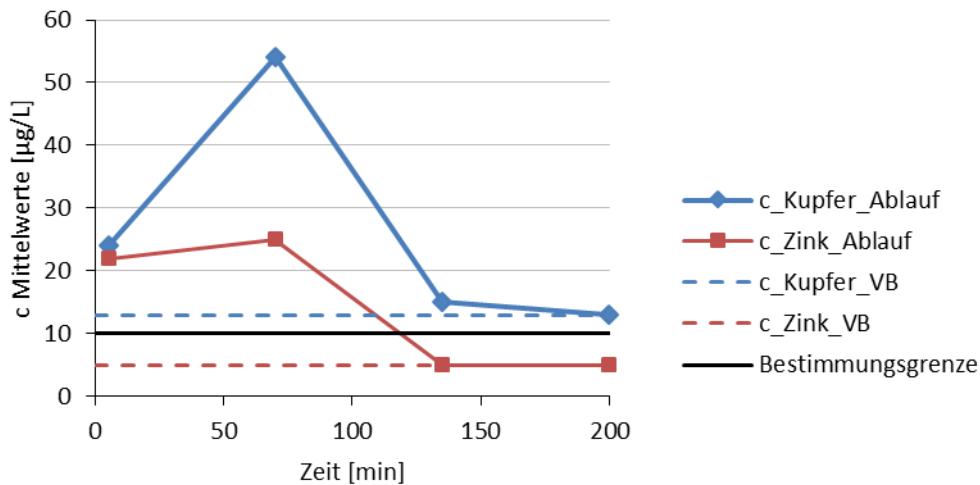


Abbildung 4.47: INNOLET-G S1 Ablaufkonzentrationen für Kupfer und Zink unter Salzeinfluss

Während die Ablaufkonzentrationen von Kupfer und Zink anfangs mit 24 µg/L bzw. 22 µg/L noch fast identisch sind, werden anschließend die Spitzenwerte beim Kupfer von 54 µg/L und beim Zink von 25 µg/L erreicht, bevor im weiteren Verlauf die Schwermetallkonzentrationen abfallen und sich der Zulaufkonzentration aus dem Vorlagebehälter annähern. Die gemittelte Gesamtkonzentration der 8 Einzelproben ergibt für Kupfer einen Wert von 26 µg/L. Bei dem Parameter Zink wird eine mittlere Gesamtkonzentration von 14 µg/L erreicht, wobei die Messwerte der letzten vier Probenahmen unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen und der Mittelwert, sowie die anschließenden Berechnungen für die Dosier- und Austragmengen in Tabelle 4.29 sehr unzuverlässig sind. Dennoch werden die zulässigen Ablaufkonzentrationen für Kupfer (50+ 13 µg/L) und für Zink (500+ 5 µg/L) eingehalten und die Anforderungen gemäß DIBt erfüllt.

Tabelle 4.29: INNOLET-G S1 Untersuchung der Rücklösung von Kupfer und Zink unter Salzeinfluss

INNOLET-G S1	Kupfer	Zink
Regenspende [L/(s·ha)]	6	6
Versuchsdauer [min]	200	200
Durchfluss [L/h]	17,3	17,3
Beschickungsvolumen [L]	57,6	57,6
Zulaufkonzentration [µg/L]	13	<10
Mittelwert Ablau-konzentration [µg/L]	26	14*
Dosiermenge aus VB [mg]	0,748	0,288
Austrag gesamt [mg]	1,498	0,806
Rücklösung [mg]	0,75	0,518

*4 von 8 Messwerte unterhalb BG (5µg/L angenommen)

4.3.5 BUDAVINCI Typ-N

Der BUDAVINCI Typ-N ist ein Komplettschachtsystem mit Grobstoffeimer nach DIN 4052-B1 (Höhe: 250 mm), Umlenkplatte, äußeren Schlammraum, PE-Einbauschacht mit Schlammraum und Filterkartusche. Die hydraulische Leistungsfähigkeit vor Ansprung des Notüberlaufs liegt bei 2,55 L/s. In Abbildung 4.48 sind die Millisil-Ablaufkonzentrationen der vier TP dargestellt.

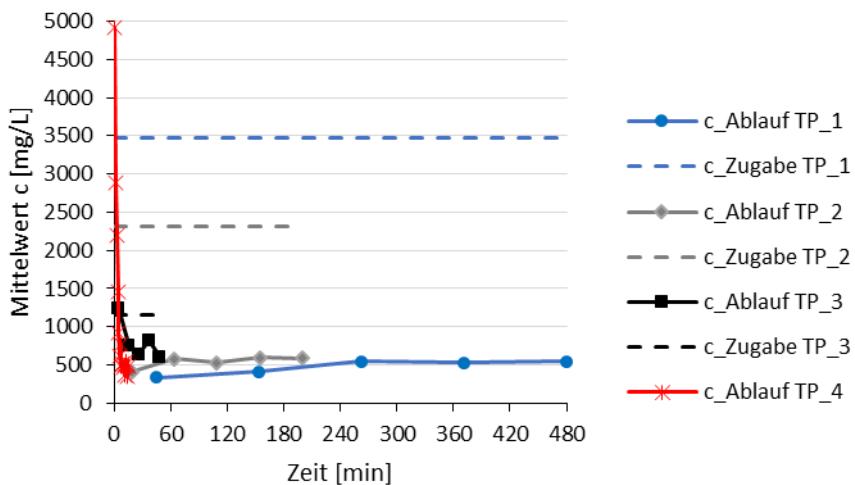


Abbildung 4.48: BUDAVINCI Millisil-Ablaufkonzentration

Die Teilprüfungen 1 und 2 zeigen leicht stetig zunehmende Ablaufkonzentrationen über die Versuchslaufzeit auf. Teilprüfungen 3 und 4 weisen am Anfang auf Ausspülungsphasen hin. Der Ansprung des Notüberlaufs bei der Teilprüfung 4 erzeugt sehr hohe Ablaufkonzentrationen. Vermutlich werden diese durch das auf der Prallplatte und direkt vor dem Notüberlauf zuvor abgesetzte Millisil verursacht. Die mittleren Ablaufkonzentrationen liegen für die einzelnen Teilprüfungen bei TP1: 476,4 mg/L, TP2: 542,2 mg/L, TP3: 821,4 mg/L (ohne Probe 1 bei 713,9 mg/L), TP4: 1162,9 mg/L. Ab der Minute 8 bleibt die Ablaufkonzentration der TP4 relativ konstant bei ca. 462 mg/L.

Tabelle 4.30: BUDAVINCI Untersuchung: Millisil W4, MKW

BUDAVINCI		Millisil W4				MKW			
Teilprüfung	1	2	3	4	1	2	3	4	
Anschlussfläche [m ²]	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Regenspende [L/(s·ha)]	2,5	6	25	100	2,5	6	25	100	
Versuchsdauer [min]	480	200	48	15	200	80	20	15	
Durchfluss [L/s]	0,1	0,24	1	4	0,1	0,24	1	4	
Wasservolumen Soll [L]	2880	2880	2880	3600	1200	1152	1200	3600	
Wasservolumen Ist [L]	2880,8	2879,7	2879,8	3583,8	1199,2	1151,6	1199,3	3556,5	
Dosiermenge [g]	10000	6666,66	3333,33	-	90,66	90,66	90,66		-
Austrag [g]	1372,07	1561,35	2365,46	4167,67	1,98	7,14	8,16	8,18	
Rückhalt Teilpr. [%]	86,3	76,6	29,0		97,8	92,1	91,0		
Rückhalt Gesamt * [%]	63,1				92,2				

Der Rückhalt von Millisil nimmt über die einzelnen Teilprüfungen von 86,3 % über 76,6 % auf 29,0 % ab. Der Gesamtrückhalt liegt für Millisil durch den Ansprung des Notüberlaufs bei 63,1 %. Die Anforderungen der Zulassungsgrundsätze des DIBt können daher nicht eingehalten werden (Teilanforderung: Millisil-Gesamtrückhalt $\geq 92\%$).

Der Rückhalt von MKW nimmt über die einzelnen Teilprüfungen von 97,8 % über 92,1 % auf 91,0 % ab. Der MKW-Gesamtrückhalt beträgt 92,2 %. Für den MKW-Versuch werden somit alle Anforderungen der Zulassungsgrundsätze des DIBt eingehalten. Dies betrifft auch die jeweilige Ablauffracht der einzelnen Mischproben bezogen auf die Gesamtdosiermenge von 272 g ($0,68 \text{ g/m}^2 * 400 \text{ m}^2$).

Tabelle 4.31 BUDAVINCI Untersuchung: Sand-Kies-Gemisch, PE-, PS-Granulat, Rindenmulch

BUDAVINCI Typ-N	Sand-Kies-Gemisch		PE-Granulat		PS-Granulat		Rindenmulch	
Regenspende [L/(s·ha)]	25	100	25	100	25	100	25	100
Versuchsdauer [min]	48	15	48	15	48	15	48	15
Durchfluss [L/s]	1	4	1	4	1	4	1	4
Wasservolumen Soll [L]	2880	3600	2880	3600	2880	3600	2880	3600
Wasservolumen Ist [L]	2879,9	3543,9	2879,9	3543,9	2879,9	3543,9	2879,1	3534,1
Dosiermenge [g]	3906,42	-	68,07	-	67,48	-	630,4	-
Austrag [g]	8	49	0	41,82	0	3,55	11	72
Rückhalt Teilpr. [%]	99,8		100		100		98,3	
Rückhalt Gesamt [%]	98,5		38,6		94,7		86,8	

Die Untersuchung mit dem Sand-Kies-Gemisch ergibt einen Gesamtrückhalt von 98,5 %. Das PE- und PS-Granulat kann zu 38,6 % bzw. 94,7 % zurückgehalten werden. Der vollständige Rückhalt der Schwimm- und Schwebstoffe (PE und PS) im ersten Teilversuch verdeutlicht, dass der Notüberlauf bei 1 L/s nicht angesprungen ist. Im Teilversuch 4 wird der Rückhalt des PE-Granulats mit Ansprung des Notüberlaufs deutlich verringert. Der Rückhalt von Rindenmulch beträgt insgesamt 86,8 %.

Bei der Prüfung des Schwermetallrückhalts des BUDAVINCI-Substrats wurden alle Zugabemengen für das Ansetzen der Schwermetall-Lösung eingehalten. Dennoch entsprechen die Konzentrationen im Vorlagebehälter mit 0,548 mg Cu/L bzw. 4,005 mg Zn/L nur zu 76 % bzw. 64 % den geforderten Konzentrationen. Zudem wurde der pH-Wert nach der TP 2 mit Hilfe von Salpetersäure neu reguliert, da zuvor ein erhöhter pH-Wert von 5,4 festgestellt wurde. Bei der kritischen Betrachtung der Messergebnisse kann ein Ausreißer bei der zweiten Probenahme (70 Minuten nach Beginn) bei TP 2 identifiziert und gestrichen werden, sodass nur ein Wert der Probenahme in die Bewertung mit eingeht. Zudem werden die Probenahme 4 (480 Minuten nach Beginn) der TP 1 und Probenahme 3 (135 Minuten nach Beginn) der TP 2 bei der Bewertung nicht berücksichtigt, da die Konzentrationsunterschiede zwischen den Messwerten der Doppelbestimmung zu hoch sind. Die bereinigten Ablaufkonzentrationen der einzelnen TP sind in Abbildung 4.49 dargestellt.

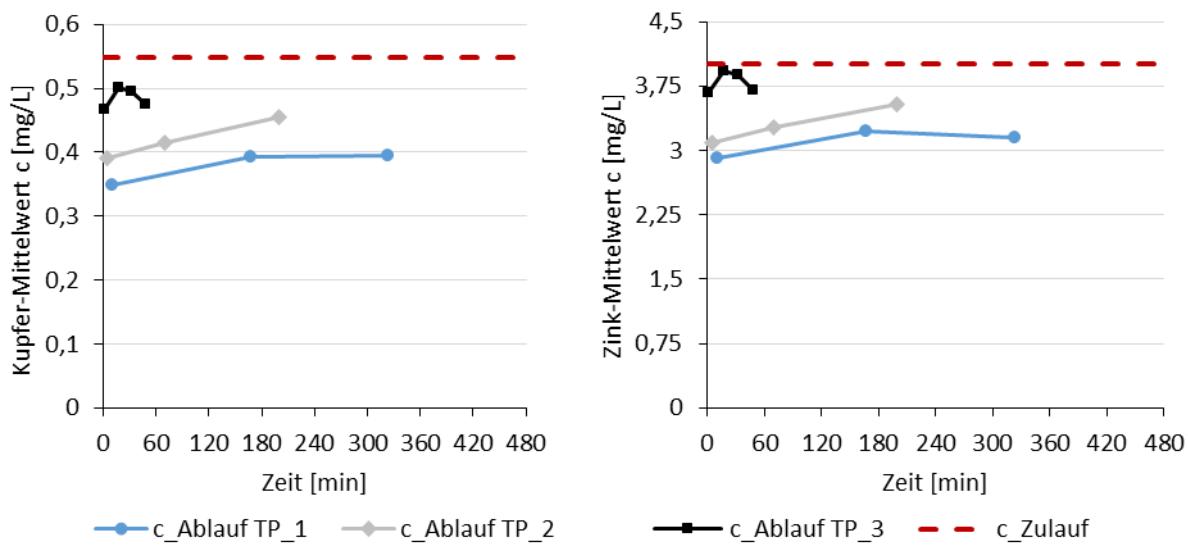


Abbildung 4.49: BUDAVINCI Ablaufkonzentrationen für Kupfer (links) und Zink (rechts)

Aus den Diagrammen wird deutlich, dass die Verläufe beider Schwermetallkonzentrationen nahezu identisch sind und über die einzelnen Teilprüfungen hinweg ansteigen. Während die hohen Anfangskonzentrationen bei der ersten und zweiten TP leicht stetig mit der Zeit zunehmen, fallen die Messwerte bei TP 3 im weiteren Verlauf leicht ab. Somit ergeben sich relativ konstante Rückhalte für die einzelnen TP, die in Tabelle 4.32 zusammengefasst sind.

Tabelle 4.32: Untersuchung und Rückhalt von Kupfer und Zink für den BUDAVINCI

BUDAVINCI Typ-N	Kupfer			Zink		
	1	2	3	1	2	3
Teilprüfung	1	2	3	1	2	3
Regenspende [L/(s·ha)]	2,5	6	25	2,5	6	25
Versuchsdauer [min]	480	200	48	480	200	48
Durchfluss [L/h]	7,2	17,3	72	7,2	17,3	72
Beschickungsvolumen [L]	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6
Dosiermenge Soll [mg]	41,5	41,5	41,5	360	360	360
Dosiermenge Ist [mg]	31,6	31,6	31,6	230,7	230,7	230,7
Austrag [mg]	21,8*	24,2**	27,9	178*	190**	219
Rückhalt TP [%]	31*	23,2**	11,5	22,7*	17,5**	5,2
Rückhalt Gesamt [%]	21,9			15,1		

* auf Grundlage von 6 Einzelproben

** auf Grundlage von 5 Einzelproben

Das Filterelement wurde vor Beginn der Tausalz-Prüfung mit insgesamt 6,3 L entionisiertem Wasser gespült, bis sich eine konstante LF von 10 µS/cm im Ablauf einstellte. Danach wurde die Tausalz-Lösung angesetzt.

Die Tausalz-Lösung hat einen pH-Wert von 5,44 bei einer Temperatur von 20,5°C und eine LF von 13,85 mS/cm. Der Gehalt an Kupfer bzw. Zink im Vorlagebehälter (VB) beträgt 27 µg/L bzw. 32 µg/L. Die Ablaufkonzentrationen der Schwermetalle während der Prüfung sind in Abbildung 4.50 dargestellt.

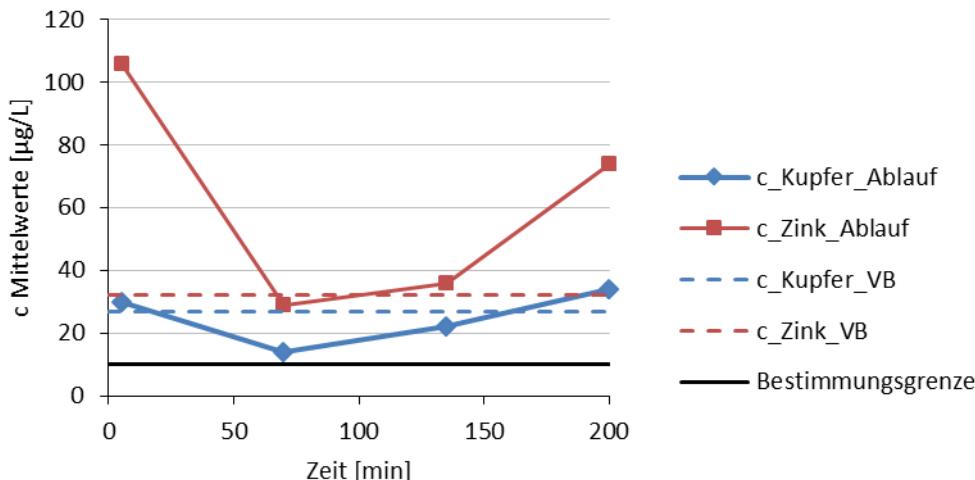


Abbildung 4.50: BUDAVINCI Ablaufkonzentrationen für Kupfer und Zink unter Salzeinfluss

Die Verläufe der Ablaufkonzentrationen sind für beide Schwermetalle unregelmäßig. Während die Konzentrationen zunächst abfallen, nehmen sie im weiteren Verlauf wieder zu. Dabei ist zu erkennen, dass deutlich mehr Zink ausgetragen wird, während die Kupfer-Ablaufkonzentrationen knapp über bzw. unterhalb der Zulaufkonzentration liegen. Die gemittelte Ablaufkonzentration der 8 Einzelmessungen beträgt für Kupfer 25 µg/L und liegt damit unterhalb der Zulaufkonzentration, wobei sich ein Wert unterhalb der Bestimmungsgrenze befindet und mit 5 µg/L in die Berechnung eingeht. Das bedeutet, dass entgegen der Erwartungen Kupferionen aus dem Zulauf im Filter gebunden werden. Beim Zink beträgt die mittlere Ablaufkonzentration 61 µg/L, bei der allerdings zwei Werte mit 5 µg/L angenommen werden, was die Zuverlässigkeit der Ergebnisse in Frage stellt, da dadurch die Werte der Doppelbestimmung bis zu 92 % voneinander abweichen. Insgesamt werden die mittleren Ablaufkonzentrationen geringfügig höher eingeschätzt. Nichtsdestotrotz werden die zulässigen Ablaufkonzentrationen gemäß der DIBt-Zulassungsgrundsätze für Kupfer (<50+27 µg/L) und Zink (<500+32 µg/L) eingehalten. In Tabelle 4.33 ist die Prüfungsdurchführung zusammengefasst und die Rücklösung von Kupfer und Zink unter Salzeinfluss berechnet.

Tabelle 4.33: BUDAVINCI Untersuchung der Rücklösung von Kupfer und Zink unter Salzeinfluss

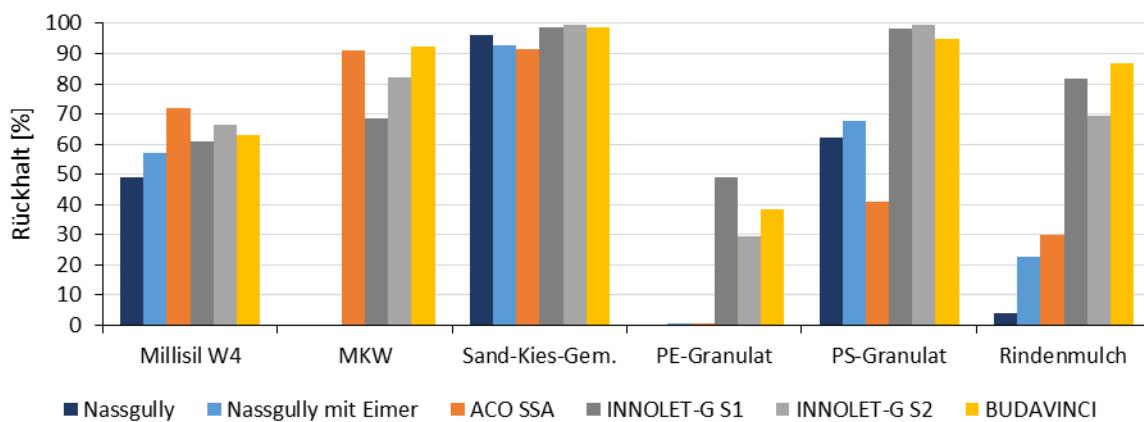
BUDAVINCI Typ-N	Kupfer	Zink
Regenspende [L/(s·ha)]	6	6
Versuchsdauer [min]	200	200
Durchfluss [L/h]	17,3	17,3
Beschickungsvolumen [L]	57,6	57,6
Zulaufkonzentration [µg/L]	27	32
Mittelwert Ablauf-konzentration [µg/L]	25*	61**
Dosiermenge aus VB [mg]	1,56	1,84
Austrag gesamt [mg]	1,44	3,51
Rücklösung [mg]	-0,12	1,67

*1 von 8 Messwerte unterhalb BG (5 µg/L angenommen)

**2 von 8 Messwerte unterhalb BG (5 µg/L angenommen)

4.3.6 Vergleich der Messergebnisse Teststand

In Abbildung 4.51 sind die am Teststand generierten Ergebnisse der untersuchten Anlagen dargestellt.

**Abbildung 4.51: Vergleich der Rückhalte-Werte der am Teststand untersuchten dezentralen Anlagen**

Die Millisil-Rückhalte-Werte liegen für alle Anlagen im Bereich von 49 bis 72 %. Dabei wird von der Anlage ACO SSA der größte Millisil-Rückhalt erzielt. Der MKW-Rückhalt variiert von 69 % (INNOLET-G S1) bis zu 92 % (BUDAVINCI Typ-N). Der Vergleich der Millisil- und MKW-Rückhalte der beiden INNOLET-Versuche zeigt, dass die angepasste Substratmischung (S2) höhere Rückhalte erzielen konnte. Ein erhöhter Austrag der Feinanteile des angepassten Substrats (S2) konnte im Gegensatz zu dem herkömmlichen Substrat (S1) nicht festgestellt werden. Das Sand-Kies-Gemisch wird von allen Anlagen sehr gut zurückgehalten. Die Rückhalte-Werte liegen im Bereich von 91 bis 99,6 %.

Der Schwimmstoff PE wird durch den Ansprung des Notüberlaufs der Anlagen INNOLET-G und BUDAVINCI nur bis zu 49 % zurückgehalten. Ein Austrag des PE-Granulats kann mit Hilfe des Nassgullys ohne und mit Grobstoffeimer sowie mit dem ACO SSA nicht reduziert werden.

Tabelle 4.34: Vergleich der Rückhalte-Werte der am Teststand untersuchten dezentralen Anlagen

Rückhalt MW [%]	Nassgully	Nassgully mit Eimer	ACO SSA	INNOLET-G S1	INNOLET-G S2	BUDAVINCI Typ-N
Millisil W4	49	57	72	61	67	63
MKW	-	-	(91)	69	82	92
Sand-Kies-Gemisch	96	93	91	99	99,6	99
PE-Granulat	0	0,01	0,3	49	30	39
PS-Granulat	62	68	41	98	99,5	95
Rindenmulch	4	23	30	82	70	87
hydraulische Grenze vor Notüberlauf [L/s]	-	-	>16	2,2	2,1	2,55

Das Rindenmulch und das PS-Granulat (Schwebstoff) werden von den Filtersystemen gut bis sehr gut zurückgehalten (70 bis 87 % bzw. 95 bis 99,5 %). Am geringsten ist der PS-Rückhalt bei der Anlage ACO SSA. Das Rindenmulch wird von dem Nassgully nur geringfügig zurückgehalten. Durch Verkanten des PE-Granulats und des Rindenmulchs in dem Gitter der INNOLET-Filterkartusche sowie der Ansammlung hinter dem Edelstahl-Ablaufschacht des INNOLET-G, ist die Höhe des Rückhalts eher zufällig.

Durch die abweichende Zulaufkonzentration bei der Schwermetall-Untersuchung des INNOLET-G S1 und des BUDAVINCI-Substrats ergibt sich eine vom Sollwert abweichende Dosiermenge. Es wird vermutet, dass mit zunehmender Dosiermenge auch der Rückhalt größer wird, da mit steigender Konzentration des Sorbens auch die Beladungsgeschwindigkeit zunimmt, was den Rückhalt bei den kurzen Kontaktzeiten der durchgeföhrten Versuche wesentlich beeinflussen würde. Zudem sind spektrale Störungen und damit auftretende Fehler bei der angewandten Bestimmungsmethode der Schwermetalle nach DIN EN ISO 11885 mittels ICP-OES höher einzuschätzen als bei der DIN 38406-21 angewandten Atomabsorptionsspektrometrie (ASS). Es ist mit einem Messfehler von 10 % zu rechnen [Wilke 2015]. Zudem sind die Messreihen unvollständig, da insgesamt 5 Messergebnisse nicht mit betrachtet wurden, aufgrund zu hoher Schwankungen zwischen den Werten der Doppelbestimmung. Dies beeinträchtigt zusätzlich die Aussagekraft und Repräsentierbarkeit der Prüfungen. Aus diesen Gründen sollen die Ergebnisse der Schwermetall-Untersuchung nur eine Tendenz aufzeigen. Für das Substrat 1 des INNOLET-G wurden folgende Rückhaltewerte ermittelt: Kupfer: 38,6 % und Zink: 20,1 %. Die Versuche mit dem BUDAVINCI-Substrat erzielten einen Kupfer-Rückhalt von 21,9 % und einen Zink-Rückhalt von 15,1 %. Es ist vorgesehen die Versuche zu wiederholen und die Proben mit dem vom DIBt (2015) empfohlenen Messverfahren nach DIN 38406-21 zu analysieren.

Das Institut für Unterirdische Infrastruktur (IKT) führte bereits Untersuchungen der Anlagen ACO SSA und INNOLET-G unter DIBt-Anforderungen durch. Die Untersuchungen am IKT und der TU Berlin wurden für die Anlage ACO SSA mit der gleichen Anschlussfläche (400 m^2) und den gleichen Millisil W4-Dosiermengen durchgeführt. Die Versuche an der TU Berlin erzielten einen Rückhalt für den Prüfstoff Millisil W4 von 72 %. Am IKT wurde für die Anlage ACO SSA ein etwas höherer Millisil-Rückhalt von 76,6 % erreicht [Werker et al. 2011].

Tabelle 4.35: Vergleich der Teststand-Messergebnisse mit Prüfergebnissen anderer Institute

Rückhalt [%]	ACO SSA	INNOLET-G S1	BUDAVINCI Typ-N
TU Berlin, Teststand Millisil W4	72	61	63
IKT, Teststand Millisil W4	76,6 ¹	64,5 ²	-
FH Münster, Teststand Millisil W4	-	-	79,9 ³

¹[Werker et al. 2011] ²[IKT 2011] ³[Uhl et al. 2015]

Der INNOLET-G wurde am IKT in einem Straßenablauf mit Schlammraum von ca. 87 L (Typ: Hamburger Trumme) eingesetzt und mit den Einstellungen nach DIBt für eine Anschlussfläche von 250 m^2 untersucht [IKT 2011]. An der TU Berlin wurde die verlängerte Filterkartusche (50 cm) in einem Straßenablauf mit Schlammraum (180 L) aus PE-Rohren und Betonfertigteilen (BWB-Norm Regelblatt 402) installiert und Versuche mit den Einstellungen für eine Anschlussfläche von 400 m^2 gefahren. Die erzielten Millisil-Rückhaltewerte liegen für die Untersuchungen am IKT und an der TU Berlin in einem ähnlichen Bereich bei 64,5 % bzw. 61 % [IKT 2011].

Der BUDAVINCI wurde an der FH Münster an einem Teststand nach DIBt-Anforderungen untersucht. Neben verschiedenen Typen für unterschiedliche Einsatzzwecke wurde der Typ N2 mit einer Anschlussfläche von 400 m^2 untersucht, dieser sollte dem an der TU Berlin getesteten BUDAVINCI Typ N entsprechen. An der FH Münster wurde ein Millisil-Rückhalt von 79,9 % erzielt. An der TU Berlin konnte der BUDAVINCI mit den gleichen Versuchseinstellungen einen Millisil-Rückhalt von 63 % erreichen. Der MKW-Rückhalt des BUDAVINCI liegt bei beiden Untersuchungen in einem ähnlichen Bereich von 92 % bei den Versuchen an der TU Berlin und 93,04 % bei den Versuchen der FH Münster. [Uhl et al. 2015]

4.4 Vergleich der Messergebnisse Teststand und *in situ*

Insgesamt dürfen, wie bereits erläutert, die *in situ*-Rückhaltewerte nur unter der Einschränkung der für die Berechnung zur Verfügung stehenden Daten von unterschiedlichen Ereignissen betrachtet werden. Daher ist ein direkter Vergleich zwischen den Anlagen nur unter Vorbehalt möglich. Zudem ist der Einfluss des Einzugsgebietes zu beachten, hier spielen vor allem der große Baumbestand und der nahezu ganzjährliche Laubeintrag aus dem angrenzenden Waldstück eine wichtige Rolle. Dies führt zu vergleichsweise hohen CSB-Zulaufwerten und kann außerdem einen erhöhten organischen Anteil der abfiltrierbaren Stoffe hervorrufen. Durch die geringere Dichte des organischen Anteils können Sedimentationsprozesse bei den *in situ* Untersuchungen negativ beeinflusst werden. Daher ist ein direkter Vergleich mit den Millisil-Rückhaltewerten, die am Teststand gewonnen wurden, nur bedingt möglich (Millisil-Dichte: 2,65 g/cm³). Zudem können auf Grund der Messtechnik in der Clayallee nur Niederschlagsereignisse mit Abflüssen ab 0,3 L/s erfasst werden. Am Teststand werden nach den Zulassungsgrundsätzen des DIBt jedoch auch geringere Durchflüsse gefahren. Für die untersuchten Anlagen mit einer maximalen Anschlussfläche von 400 m² ergeben sich folgende Durchflüsse: TP1: 0,1 L/s; TP2: 0,24 L/s; TP3: 1,0 L/s und TP4: 4 L/s. Somit ist ein Vergleich der *in situ* Untersuchungen mit den Untersuchungen am Teststand nur bedingt möglich. Ein Teilziel des Projektes war die Einordnung der *in situ* Ergebnisse zu den am Teststand gewonnenen Ergebnissen. Aufgrund der genannten Einflüsse ist eine Übertragung der Ergebnisse nicht direkt durchführbar.

Tabelle 4.36: Vergleich der AFS-Versuche am Teststand und in der Clayallee

Rückhalt [%]		Nassgully ohne Eimer	Nassgully mit Eimer	ACO SSA	INNOLET-G S1	BUDAVINCI Typ-N
TU Berlin, Teststand	MW	49	57	72	61	63
Millisil W4						
AFS-Rückhalt Clayallee*	Median MW	39 39	57 44	48 49	48 41	35 40
AFS _{fein} -Rückhalt Clayallee*	Median MW	33 33	46 44	56 52	49 24	36 23

* Randbedingungen der Probenahme in der Clayallee beachten: z.B. Abflüsse ab 0,3 L/s beprobt

Der Nassgully ohne Grobstoffeimer erzielte am Teststand einen AFS-Rückhalt von 49 %. In der Clayallee konnten unter den oben genannten Bedingungen ein AFS-Rückhalt von 39 % und ein AFS_{fein}-Rückhalt von 33 % bestimmt werden. Für den Nassgully mit Grobstoffeimer wurde am Teststand ein AFS-Rückhalt mit dem Prüfstoff Millisil W4 von 57 % erreicht. Für die *in situ* Untersuchung wurde für die fünf auswertbaren Ereignisse, die auf die Zulaufprobenahme bezogen werden konnten, ebenfalls ein AFS-Rückhalt von 57 % (AFS_{fein}: 46 %, Median-Werte) für den Nassgully mit Grobstoffeimer erzielt.

Die Anlage ACO SSA erlangte am Teststand AFS-Rückhaltewerte von 72 %, dieser Wert kann anhand der fünf auswertbaren Ereignisse in der Clayallee mit einem Rückhalt von 48 %

(Median) nicht erreicht werden. Für den Parameter AFS_{fein} konnte für den ACO SSA 56 % ermittelt werden. Der INNOLET-G (S1) erzielte am Teststand einen Rückhalt von 61 % und auf Grundlage der sieben auswertbaren Ereignisse der in situ Versuche für AFS 48 % und für AFS_{fein} 49 %. Für den BUDAVINCI wurde ein AFS-Rückhalt am Teststand von 63 % bestimmt. Bei den vier auswertbaren Ereignissen der in situ Untersuchung wurde für den BUDAVINCI ein AFS-Rückhalt von 35 % (Median) bzw. 40 % (Mittelwert) erreicht. Für den Parameter AFS_{fein} konnte in der Clayallee für den BUDAVINCI ein Rückhalt von 36 % (Median) erzielt werden.

4.5 Schmutzfrachtsimulation

In diesem Kapitel werden die Schmutzfrachten für die unterschiedlichen Szenarien berechnet und der Rückhalt als relativer Vergleich auf ein Referenzszenario bezogen. Der Fokus liegt dabei auf den ausgewählten Parametern AFS, CSB, P_{ges}, Zn, und Cu.

Die Ergebnisse der Schmutzfrachtsimulation konnten mit einer Hochrechnung der beprobten Regenereignissen in den Messschächten nicht verglichen werden, da nur die Ereignisse ab einem Ablauf von rd. 0,3 L/s bzw. 8,3 L/(s·ha) analysiert wurden (Vgl. Kapitel 3.4.1). Im Vergleich dazu beinhalten die modellierten Szenarien eine Behandlung sämtlicher Regenwassersabflüsse. Demnach ist vermutlich bei einer Behandlung des Gesamtabflusses inkl. geringerer hydraulischen Beschickung (< 0,3 L/s) ein höherer Rückhalt durch die Reinigungsanlagen wahrscheinlich.

Die nachfolgenden Tabellen verdeutlichen, welche Kombinationen von Maßnahmen mit den unter Kapitel 4.2.1.4 verwendeten Reinigungsleistungen für einen Straßenablauf und das EZG Pücklerteich berechnet wurden.

Tabelle 4.37: Übersicht Szenarien Straßenablauf (Messstrecke Clayallee)

Maßnahmen	Straßenoberflächenreinigung	Reinigungsintervall [x/Woche]	Rückhalt je Anlage		
			0%	10%	60%
ohne	ohne		Referenz		
Dezentral (Straßen >5000 Kfz/d)	mit	Reinigungs-effizienz 10%	0,5	X	X
		Reinigungs-effizienz 10%	1	X	X
		Reinigungs-effizienz 10%	2	X	X
	mit	Reinigungs-effizienz 70%	0,5	X	X
		Reinigungs-effizienz 70%	1	X	X
		Reinigungs-effizienz 70%	2	X	X

Tabelle 4.38: Übersicht Szenarien Einzugsgebiet Pücklerteich

Maßnahmen	Straßenoberflächenreinigung	Reinigungsintervall [x/Woche]	Rückhalt je Anlage		
			0%	10%	60%
ohne	ohne		Referenz		
Dezentral (Straßen >5000 Kfz/d)	Reinigungs- effizienz 10%	0,5	X	X	X
		1	X	X	X
		2	X	X	X
	Reinigungs- effizienz 40%	0,5	X	X	X
		1	X	X	X
		2	X	X	X
	Reinigungs- effizienz 70%	0,5	X	X	X
		1	X	X	X
		2	X	X	X
Zentral	Reinigungs- effizienz 10%	0,5	Rückhalt gemäß RBF Halensee und RKB Schlierseestraße		
		1			
		2			
	Reinigungs- effizienz 40%	0,5			
		1			
		2			
	Reinigungs- effizienz 70%	0,5			
		1			
		2			

Die Tabellen mit den Gesamtfrachten je Szenario und untersuchten Anlagen sind im Anhang 13 bis 17 aufgelistet.

4.5.1 Ergebnisse: Dezentrale Anlagen in der Messstrecke Clayallee

Die hydrologische NA-Simulation eines Straßenablauf mit $A_{E,k} = 360 \text{ m}^2$ zeigt, dass von dem jährlichen Bruttoniederschlag mit 427 mm rund 85 m³/a dem Straßenablauf zufließen.

Für das Referenzszenario „Zulauftrichter“ (direkter Zulauf vgl. mit Trockengully ohne Eimer) beträgt die Gesamtfracht je Straßenablauf für die Stoffparameter AFS 18 kg/a, CSB 10 kg/a, P_{ges} 0,17 kg/a, Zink 0,04 kg/a und Kupfer 0,005 kg/a.

Die Ergebnisse der Frachtsimulation ergeben für die untersuchten Stoffparameter ähnliche Rückhalteleistung. Die Straßenreinigung erreicht bei einem 14 tägigen Reinigungsintervall einen Rückhalt von ca. 10 %. Erst ab einer wöchentlichen Reinigung erscheint die Oberflächenreinigung sinnvoll und reduziert die Frachten je nach angenommener Straßenreinigungseffizienz (von 10 bis 70 %) um ca. 15 – 35 % (unterer markierter Bereich in den nachfolgenden Abbildungen). Dieses Reinigungsintervall korrespondiert mit dem Status Quo in der Clayallee. Die Erhöhung der Straßenreinigung auf 2-mal wöchentlich wirkt sich vor allem auf die Abfiltrierbaren Stoffe positiv aus (-55 %), wohingegen die Schwermetalle nur geringfügig zurückgehalten werden (max. -35 %).

Durch eine Kombination von wöchentlicher Straßenreinigung und dezentraler Reinigung im Straßenablauf (oberer markierter Bereich in den nachfolgenden Abbildungen) ergibt sich ein ähnliches Bild für die Wirkung der Stoffparameter. AFS kann von minimal 24 % bis maximal 74 % reduziert werden. Die Schwermetalle stellen mit 17 % bis 70 % den geringsten Rückhalt dar. CSB und P_{ges} befinden sich dazwischen. Der Bereich mit einer wöchentlichen Straßenreinigung und dezentralen Anlagen beschreibt zudem den Ausgangszustand des Messprojektes und verdeutlicht, dass im Vergleich zu den analysierten in situ Proben das Rückhaltepotential durch die Behandlung der geringen Abflüsse (< 0,3 L/s) erhöht wird. Ein zusätzlicher Frachtrückhalt wird durch eine Erhöhung der Straßenreinigung auf 2-mal wöchentlich erreicht. Danach werden durch die Behandlung der Regenwasserabflüsse von Verkehrsflächen Rückhalteleistungen von 25 % bis 80 % erzielt.

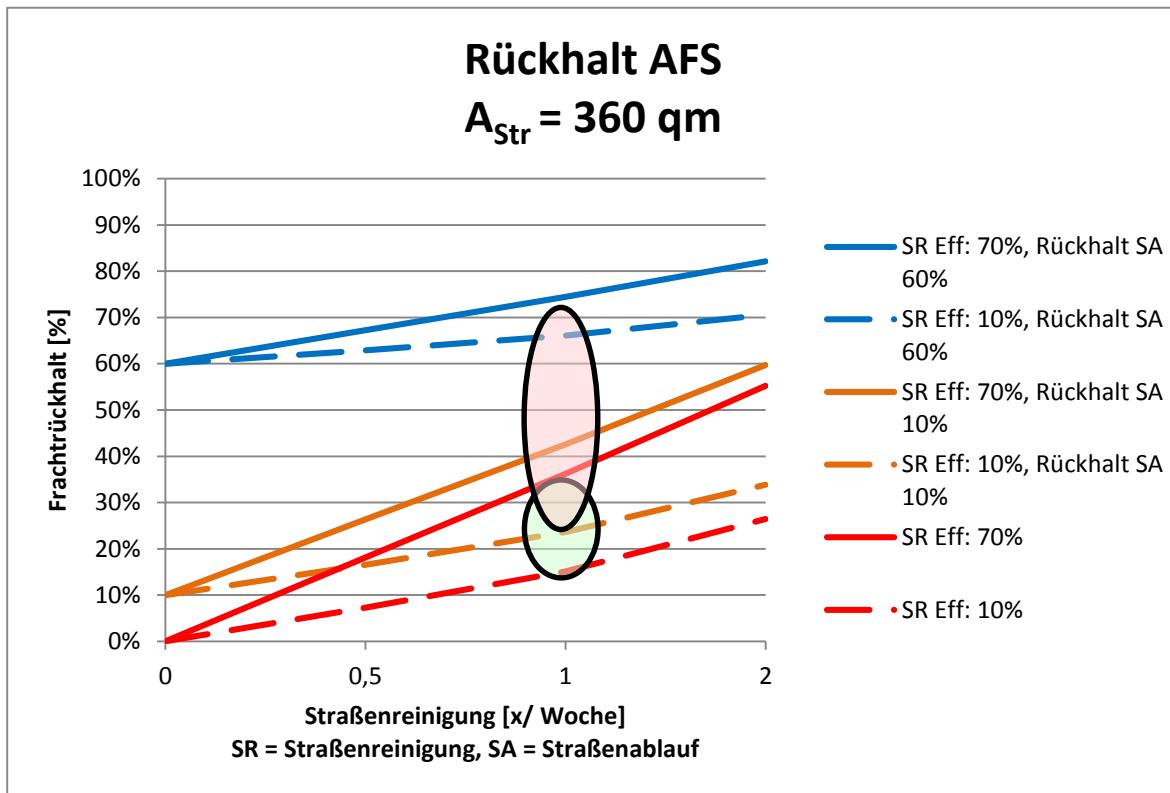


Abbildung 4.52: Frachtrückhalt AFS Straßenablauf Clayallee, Markierung Rückhalt Status Quo

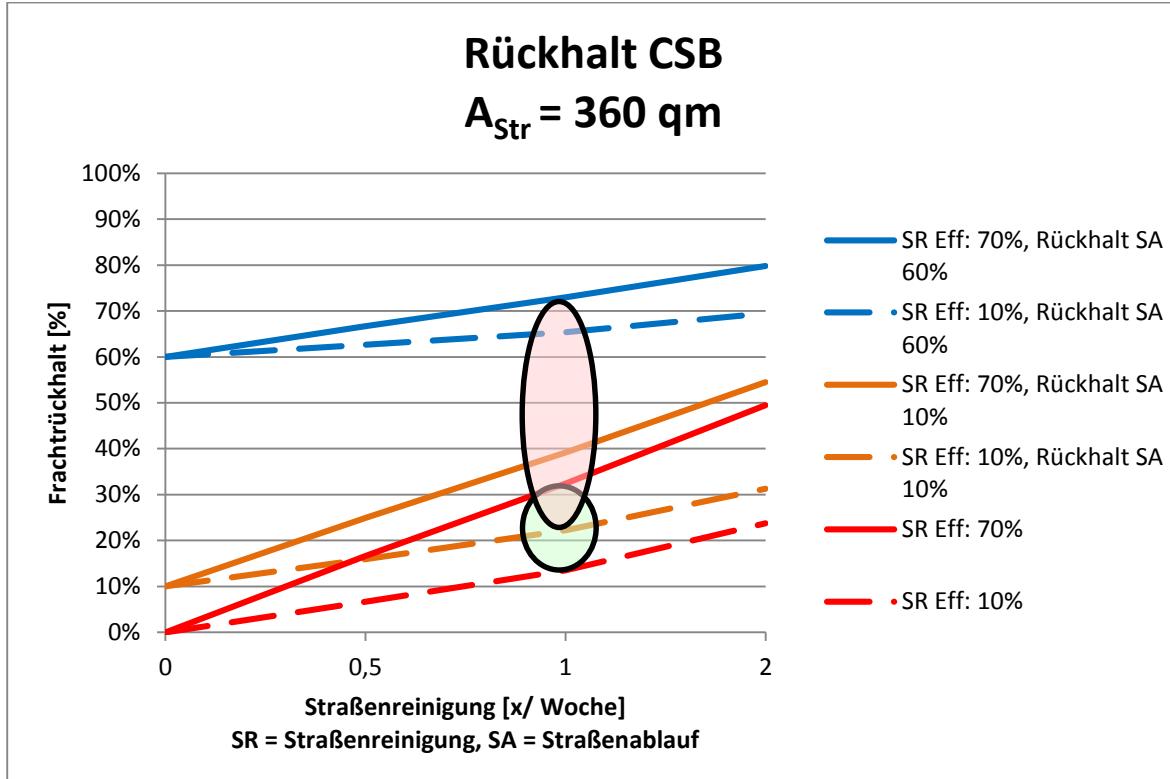
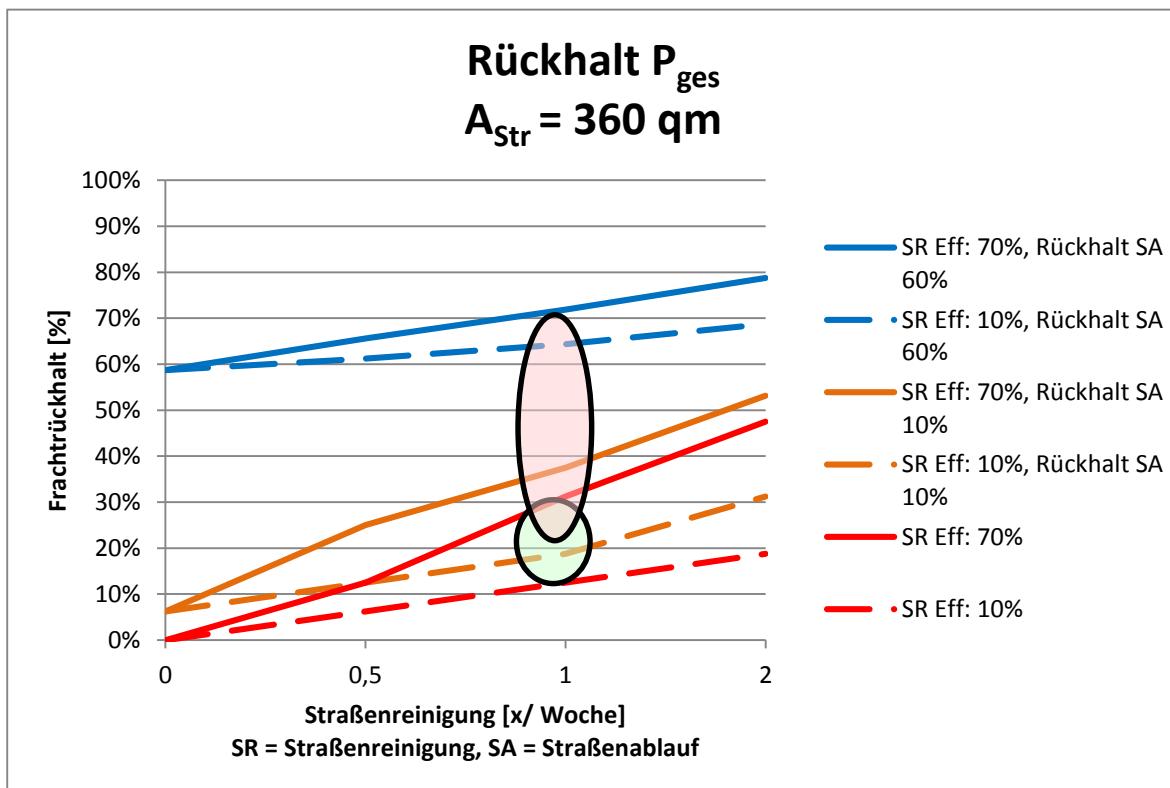


Abbildung 4.53: Frachtrückhalt CSB Straßenablauf Clayallee, Markierung Rückhalt Status Quo

Abbildung 4.54: Frachtrückhalt P_{ges} Straßenablauf Clayallee, Markierung Rückhalt Status Quo

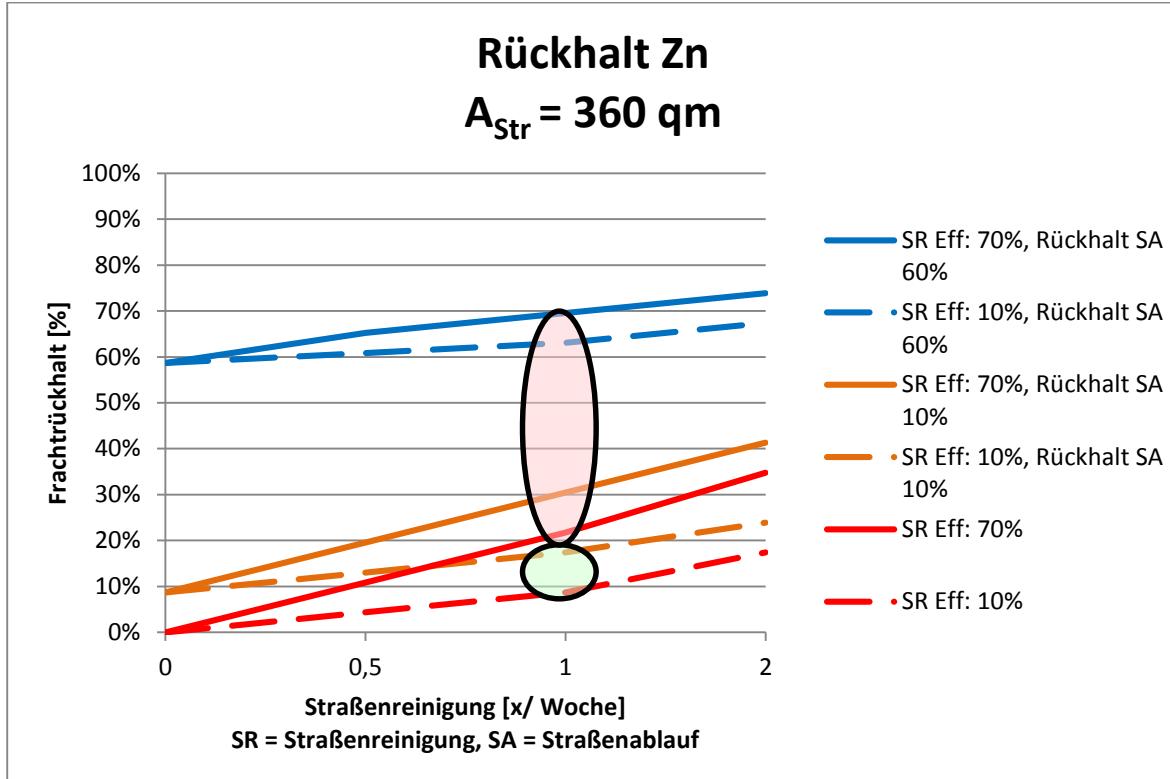


Abbildung 4.55: Frachtrückhalt Zn Straßenablauf Clayallee, Markierung Rückhalt Status Quo

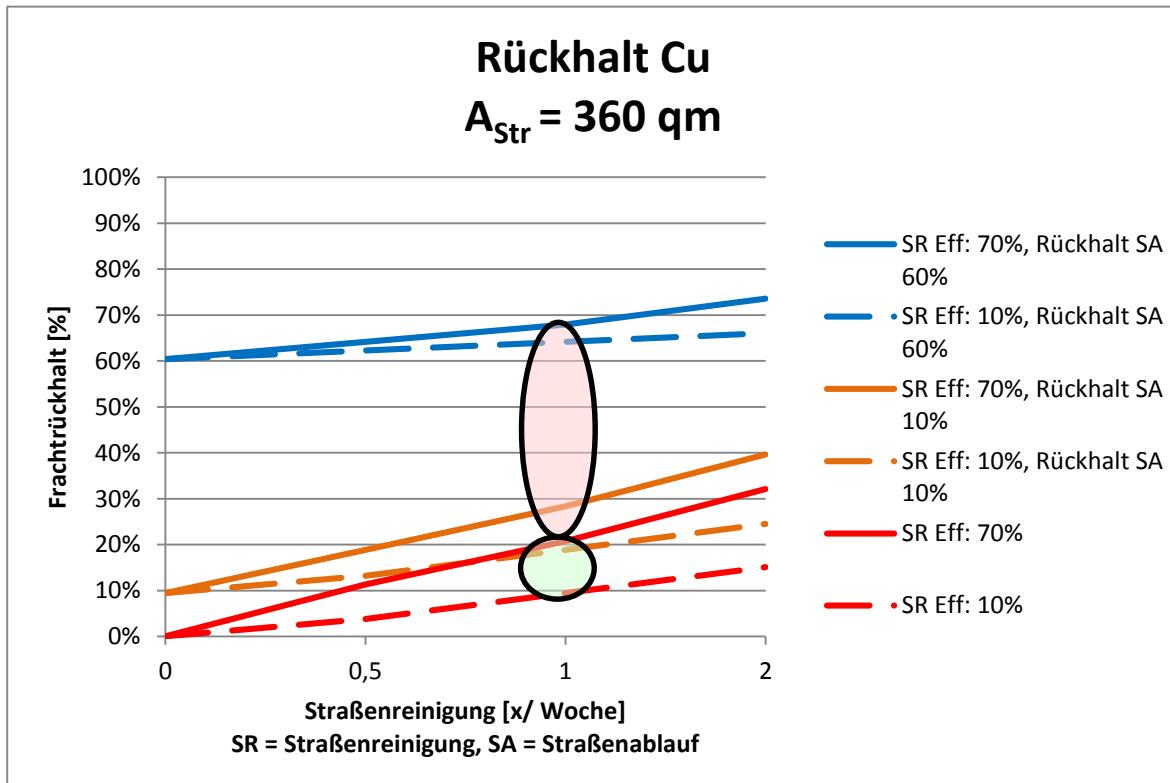


Abbildung 4.56: Frachtrückhalt Cu Straßenablauf Clayallee, Markierung Rückhalt Status Quo

4.5.2 Ergebnisse: Dezentrale und zentrale Anlagen mit Straßenreinigung im EZG Pücklerteich

Der Bruttoniederschlag im EZG Pücklerteich beträgt in dem Untersuchungszeitraum 427 mm. Davon verdunsten rd. 182 mm/a und 245 mm/a bzw. 100.300 m³/a fließen dem Pücklerteich zu.

Die Szenarien mit den dezentralen Anlagen im Straßenablauf und der Straßenoberflächenreinigung behandeln ausschließlich die stark belasteten Regenwasserabflüsse der Verkehrsflächen mit mehr als 5.000 Kfz/d und haben einen Einfluss auf 11,3 ha (27 %) der angeschlossenen Flächen.

Die zentralen Szenarien reinigen einen Teilstrom des Gesamtabflusses. Die angepasste Variante des Retentionsbodenfilters weist eine Stapelhöhe von 33 m/a bei einer behandelnden Regenwassermenge von 67 % auf. Die Überlaufhäufigkeit beträgt 26-mal pro Jahr. Das Regenklärbecken wird im Dauerstau geführt und hat einen Überlauf von 15 %.

Als Referenz der Schmutzfrachtsimulation dient das Szenario „Zulauftrichter“ (direkter Zulauf vgl. mit Trockengully ohne Eimer). Die Gesamtfrachten im Einzugsgebiet des Pücklerteiches betragen für die Stoffparameter AFS 6.901 kg/a, CSB 9.633 kg/a, P_{ges} 134 kg/a, Zink 35 kg/a und Kupfer 6,3 kg/a.

Der Vergleich wird für drei Haupt-Szenarien durchgeführt. Zum Einen für die untersuchten dezentralen Anlagen und die beiden zentralen Anlagen mit der Kombination der Straßenreinigung, wobei eine mittlere Straßenreinigungseffizienz von 40 % angesetzt wird. Zum Anderen werden für die dezentralen Anlagen zwei Stützwerte des Rückhaltes im Straßenablauf gewählt. Es werden Frachtreduktionen von 10 % und 60 % angenommen, die den Bereich der Rückhalteleistungen aus dem Messprogramm wiedergeben. Dabei werden zwei unterschiedliche Reinigungseffizienz der Straßenoberflächenreinigung (10 % und 70 %) angesetzt.

Das Frachtaufkommen von AFS ist vor allem auf den Verkehrsflächen hoch. Dadurch besitzen die Straßenreinigung und die dezentralen Systeme im Straßenablauf ein hohes AFS-Reduktionspotential (Abbildung 4.57). In Kombination mit einer wöchentlichen Straßenoberflächenreinigung (Effizienz von 40 %) werden durch den Nassgully 30 %, Nassgully mit Eimer 40 %, ACO SSA 37 % und den dezentralen Filtereinheiten INNOLET-G 37 % und BUDAVINCI 32 % zurückgehalten. Erhöht sich die Effizienz der Straßenreinigung auf 70 % und einem Rückhalt von 60 % in der Anlage im Straßenablauf, dann werden Frachtentfernungen von 43 % erreicht. Die Reinigungsleistungen der zentralen Anlagen erreichen hohe AFS-Reduktionsraten von 63 bis 72% (Abbildung 4.59).

Die Haupteinträge der P-Frachten stammen von Hundekot und Laub, die über den Straßenabfluss abgespült werden. Das Verhältnis der Flächen mit Behandlung im Straßenablauf inkl. Straßenoberflächenreinigung (Straßen >5.000 Kfz/d) zu den geringer belasteten Straßen (<5.000 Kfz/d) beträgt 40:60. Dieser größere Anteil liefert nur einen geringfügigen Rückhalt. Die dezentralen Systeme halten demzufolge nur P-Frachten von bis zu 30 % bei einer wöchentlichen Straßenreinigung zurück. Bei den zentralen Anlagen reduziert das Regenklärbecken die P-Frachten um 41 %. Der Bodenfilter liefert die höchste P-Reduktion mit 63 % - beide zentralen Varianten jeweils mit einer wöchentlichen Straßenreinigung und einer Effizienz von 70 %. Diese Reduktionsraten steigen um 3-4 % bei einer Intensivierung der Straßenreinigung auf 2-mal je Woche (Abbildung 4.61).

Die Zink- und Kupferfrachten werden zum Teil von der Straße als auch von den Dachflächen eingetragen. Ein höherer Zinkanteil resultiert z.B. durch verzinkte Pfähle der Verkehrsschilder von den Straßen. Zink und Kupfer werden mit 18 % bzw. 11 % bei den dezentralen Systemen am besten vom BUDAVINCI zurückgehalten (inkl. Straßenreinigung 1/Wo + StrReinEff. 40%, Abbildung 4.57). Jedoch zeigt sich, dass die Filtration des Straßenabflusses im Vergleich zu Systemen ohne Filtration im ähnlichen Bereich liegt (15 % bzw. 6 %). Ein verbesserter Rückhalt könnte durch eine Straßenreinigung von 2-mal wöchentlich (StrReinEff. 70%) mit 25 % bzw. 13 % erreicht werden. Dies müsste in einer gesonderten Untersuchung verifiziert werden. Die zentralen Maßnahmen sind teilweise deutlich effektiver. Danach reduziert der Bodenfilter Zink- um 61 % und Kupferfrachten um 56 %. Das Regenklärbecken liegt mit dem Zink-Rückhalt von 28 % dazwischen. Der Rückhalt von Kupfer ist mit 55 % vergleichbar mit dem RBF. Eine intensivere Straßenreinigung wirkt sich bei den zentralen sowie dezentralen Maßnahmen mit zusätzlichem Rückhalt von 1-3 % nur geringfügig positiv aus.

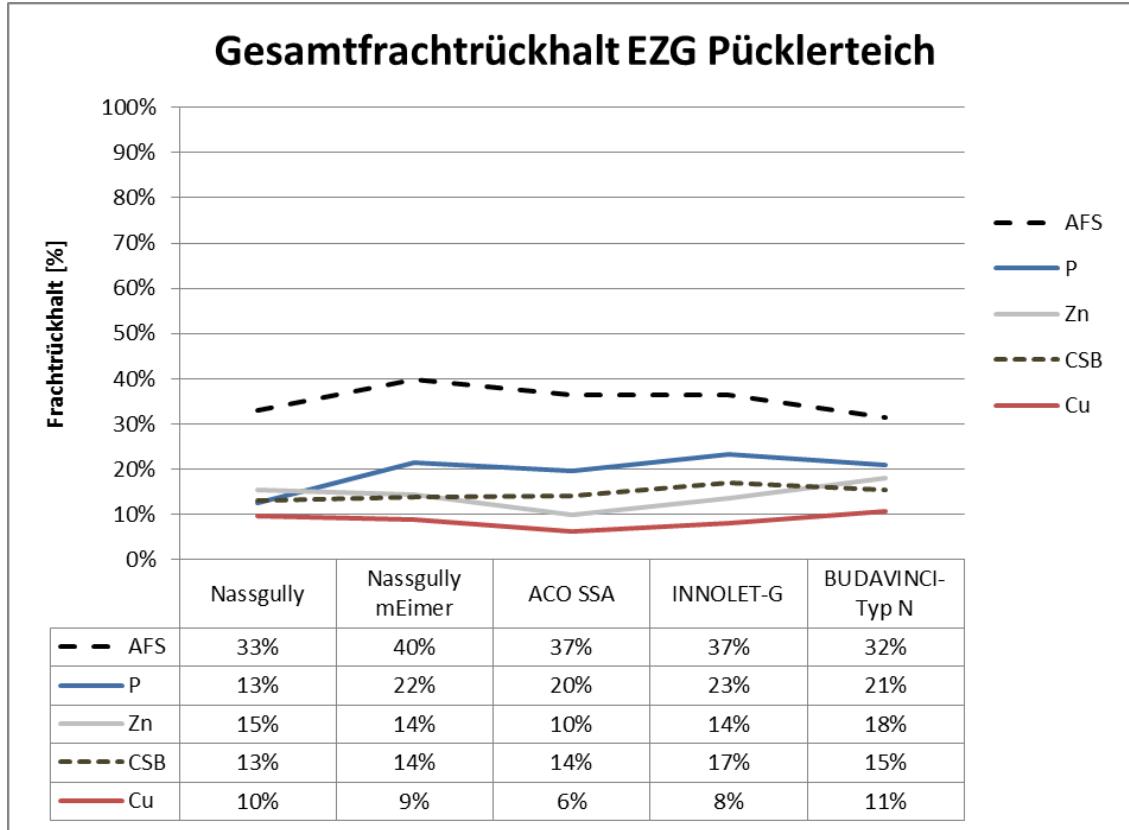


Abbildung 4.57: Frachtrückhalt dezentrale Anlagen im EZG Pücklerteich mit Straßenreinigung 1x Woche (StrReinEff. 40 %)

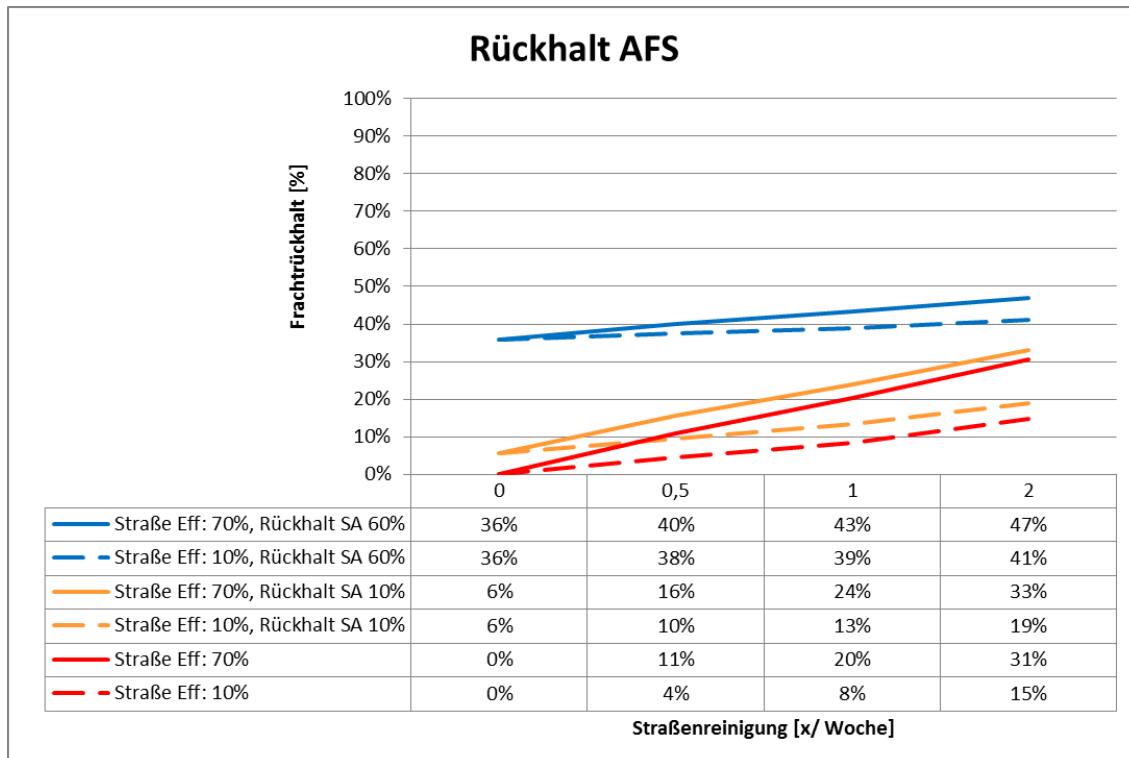


Abbildung 4.58: Rückhalt AFS dezentrale Systeme EZG Pücklerteich, StrReinEff. 10&70 %

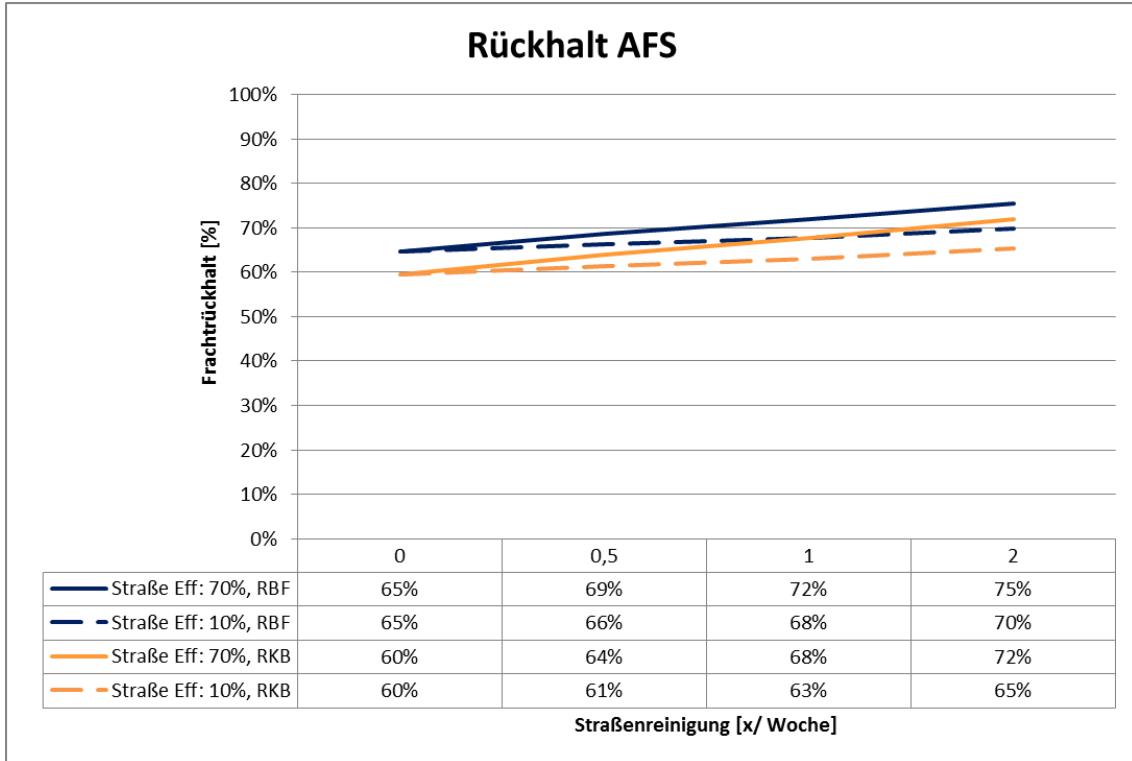
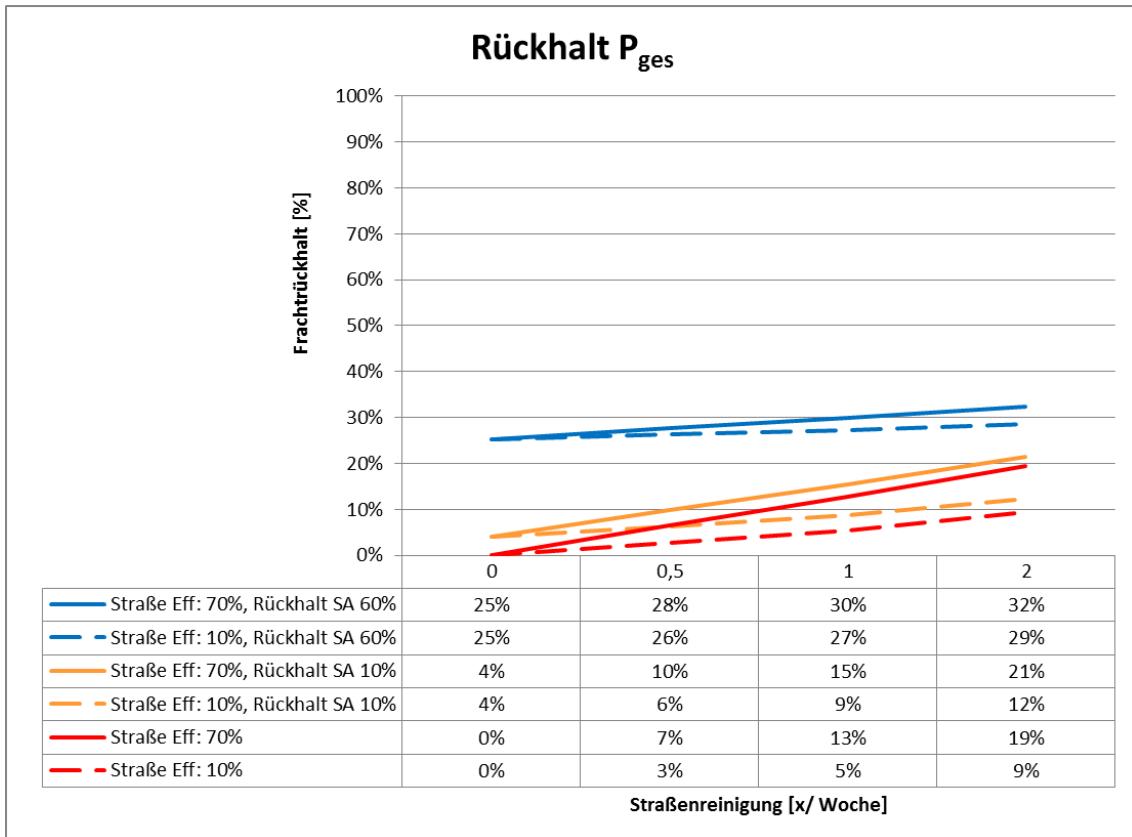


Abbildung 4.59: Rückhalt AFS zentrale Systeme EZG Pücklerteich, StrReinEff. 10&70 %

Abbildung 4.60: Rückhalt P_{ges} dezentrale Systeme Pücklerteich, StrReinEff. 10&70 %

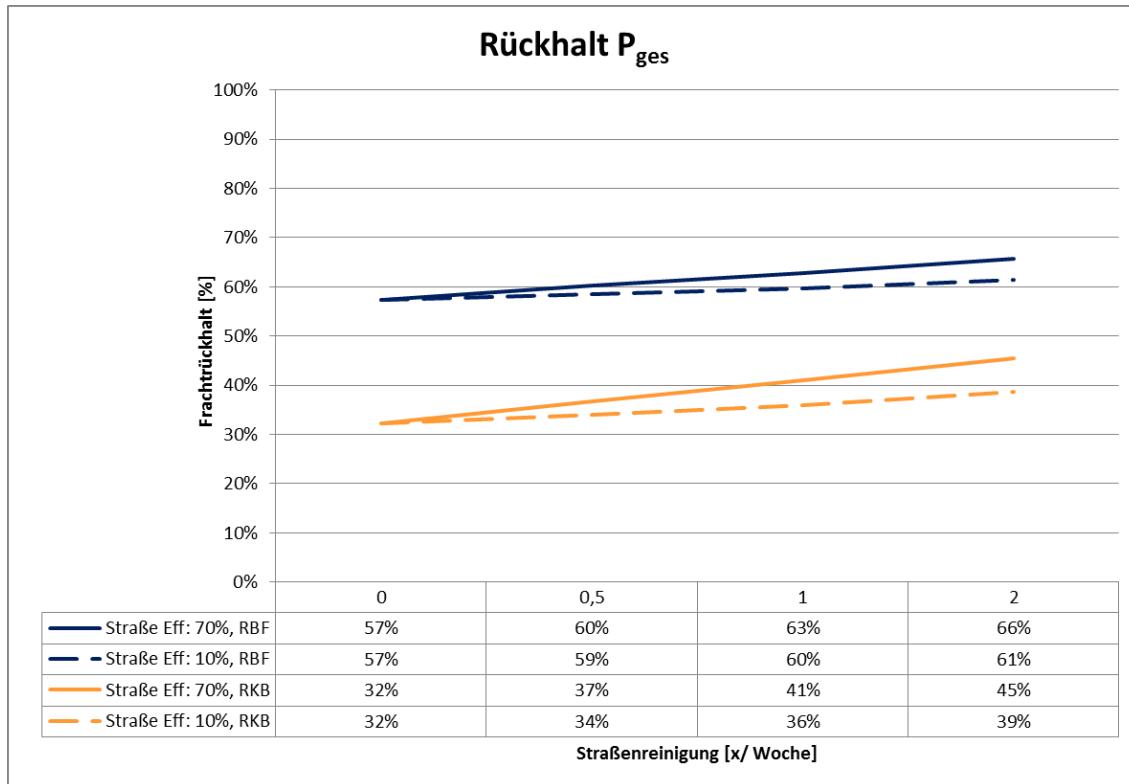


Abbildung 4.61: Rückhalt P_{ges} zentrale Systeme Pücklerteich, StrReinEff. 10&70 %

4.6 Ökobilanz

Die direkten und indirekten Umweltwirkungen der verschiedenen Maßnahmen werden anhand der definierten fünf Indikatoren der Ökobilanz bewertet. Dabei wird zunächst der direkte Vergleich der Maßnahmen auf Basis der angeschlossenen Fläche ($A_{E,k}$) beschrieben und ausgewertet. Danach erfolgt die vergleichende Bewertung im EZG Pücklerteich als Fallstudie für eine mögliche praktische Umsetzung.

4.6.1 Ergebnisse für direkten Vergleich der Systeme

4.6.1.1 Nutzen für die Gewässer

Die positiven Umweltwirkungen der Regenwasserbehandlung spiegeln sich in den Indikatoren zur Gewässerqualität direkt wieder. Dabei wird die anfallende Stofffracht im Regenwasser je nach Rückhalt durch die Maßnahme entsprechend reduziert.

Die P-Fracht im Regenwasser der Flächeneinheit (67 g P/a) wird durch die verschiedenen Systeme unterschiedlich gut zurückgehalten (Abbildung 4.62). Während der Nassgully ohne Eimer nur eine geringe Wirkung auf die P-Fracht hat, sind die dezentralen Reinigungssysteme mit einer Entfernung von 29-42 % der P-Fracht in einem vergleichbaren Bereich.

Bei den zentralen Systemen hält das RKB ähnlich viel P-Fracht zurück (-29 %), der RBF dagegen hat mit Abstand die höchste Eliminationsleistung für P (-85 %). Die intensivere Straßenreinigung ist mit einem Rückhalt von 11-15 % deutlich weniger effektiv als die dezentrale oder zentrale Behandlung des Regenwassers.

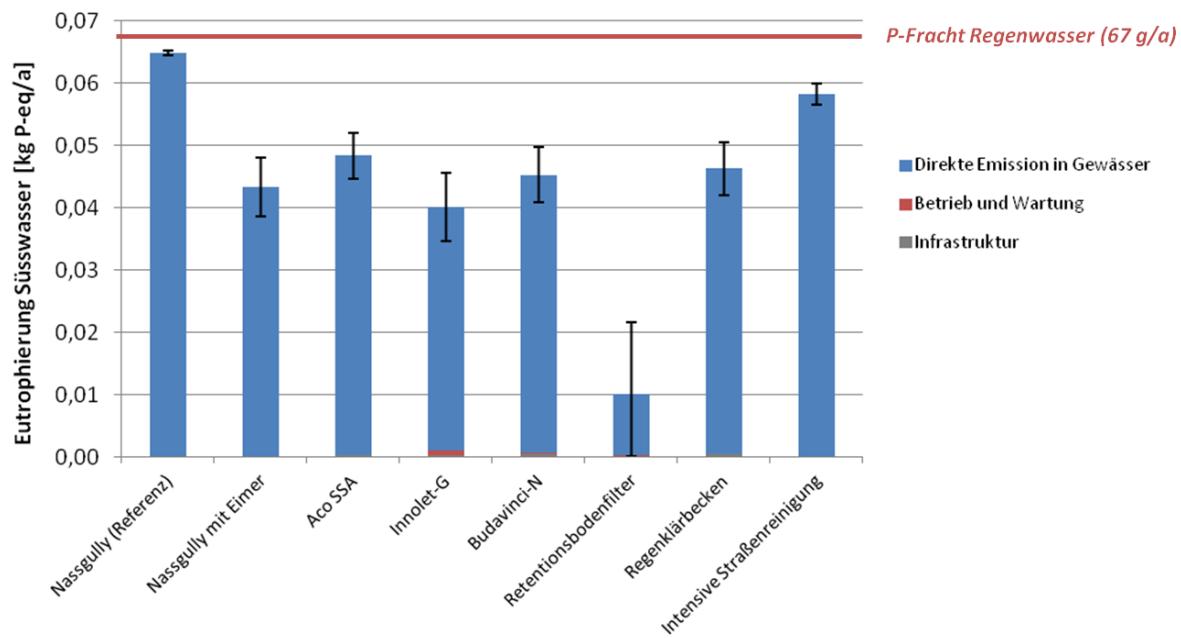


Abbildung 4.62: Direkter Vergleich der Maßnahmen für Eutrophierung Süßwasser anhand der verbleibenden P-Fracht ins Gewässer

Die indirekten Emissionen in die Gewässer aus den Vorketten für Bau und Betrieb der Systeme sind gegenüber den Frachten im Regenwasser deutlich vernachlässigbar.

Beim Indikator Ökotoxizität Süßwasser ergibt sich ein etwas anderes Bild: sogar der Nassgully ohne Eimer hält etwa 36 % der Schadstoffe zurück, der Einsatz eines Grobstoffeimers zeigt in dieser Studie keine Vorteile für den Nassgully. Bei den dezentralen Reinigungssystemen bietet der ACO SSA den geringsten Rückhalt (-14 %), während der INNOLET mit dem dedizierten Filtereinsatz bis zu 27 % zurückhält. Am besten ist hier der BUDAVINCI Typ-N mit -44 % Rückhalt der Schadstoffe. Auch hier ist das RKB im ähnlichen Bereich (-26 %), der RBF hat wieder die beste Wirkung mit 90 % Rückhalt der ökotoxisch wirksamen Schadstoffe Cu und Zn. Eine intensivere Straßenreinigung hat nur einen geringen Effekt auf diese Stoffe (-12 %).

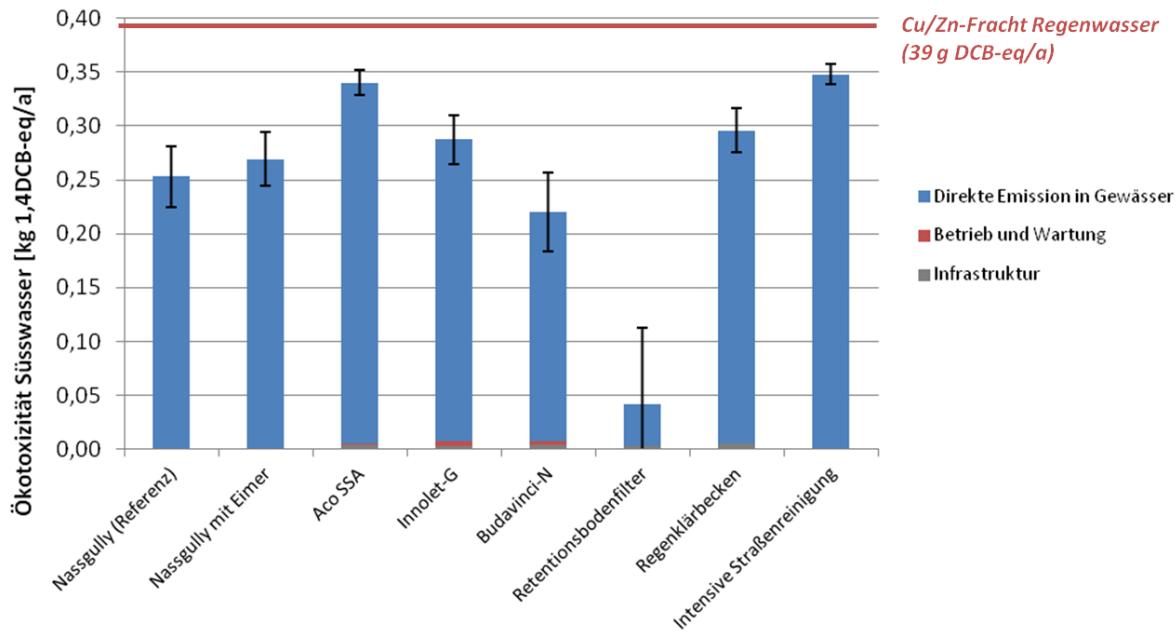


Abbildung 4.63: Direkter Vergleich der Maßnahmen für Ökotoxizität Süßwasser anhand der Frachten von Cu und Zn ins Gewässer

4.6.1.2 Aufwand für Bau und Betrieb der Systeme

Der Aufwand für Bau und Betrieb/Wartung der Systeme spiegelt sich direkt im kumulierten Energieverbrauch (fossil) wieder (Abbildung 4.64). Hier zeigt sich, dass der Betrieb des Nassgullys ohne Eimer nur 27 MJ/a an Energieaufwand benötigt für die Inspektionsfahrten und die Schlammensorgung. Der Einsatz des Grobstoffeimers erhöht den Energieaufwand auf 42 MJ/a durch den Materialeinsatz und die höhere Abscheidung von AFS (mehr Schlamm).

Die dezentralen Reinigungssysteme verursachen dagegen einen deutlich höheren Energieaufwand, der zwischen 161 (ACO SSA) und 237 MJ/a (BUDAVINCI Typ-N). Beim ACO SSA spielt vor allem das Plastikmaterial des Schachts eine Rolle im Energieaufwand (44 %), dazu die gusseiserne Schachtabdeckung (20 %). Beim INNOLET-G trägt der Edelstahl für den Filtereinsatz zu 24 % bei, vor allem aber das regelmäßig auszutauschende Filtermaterial (58 %). Der Energieaufwand beim BUDAVINCI Typ-N setzt sich aus dem Filtermaterial (19 %), dem Plastikeinsatz (26 %) und der gusseisernen Schachtabdeckung (29 %) zusammen. Der Aufwand für Inspektion und Schlammensorgung ist für alle dezentralen Systeme vergleichbar (34-36 MJ/a) und liegt nur geringfügig über dem Betriebsaufwand für den Nassgully.

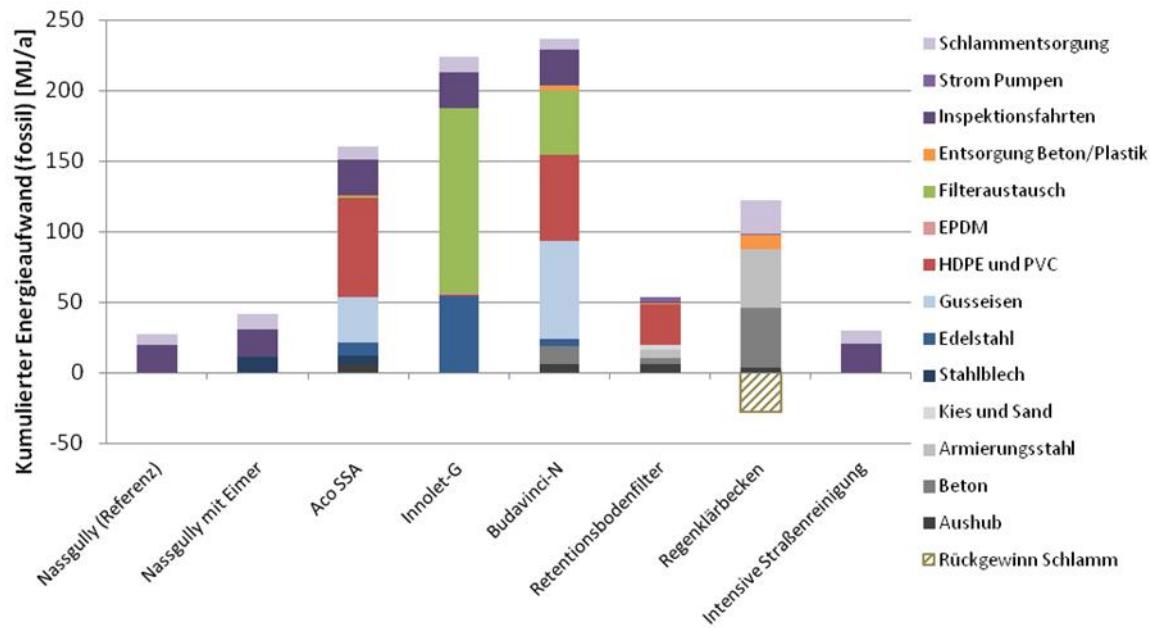


Abbildung 4.64: Direkter Vergleich der Maßnahmen im kumulierten Energieaufwand (fossil)

Bei den zentralen Systemen hat der RBF einen Energieaufwand von 54 MJ/a, der sich hauptsächlich aus dem Plastikmaterial (54 %) und dem Stahlbeton für den Zulaufschacht (18 %) sowie dem notwendigen Aushub (12 %) zusammensetzt. Der Betrieb der Pumpen zur Wasserhebung macht hier nur 7 % aus: bei 84,6 m³ Regenwasser pro Jahr (auf 360 m² A_{E,k}) brauchen die Pumpen für die Hebung nur ca. 1 kWh/a. Das RKB hat einen deutlich höheren Energieaufwand von 122 MJ/a, der sich allerdings durch die Faulgasgutschrift für den abgetrennten Schlamm auf 95 MJ/a netto reduziert. Der Energieaufwand des RKB bestimmt sich zu 69 % über den Stahlbeton und dessen Entsorgung (8 %), die Aufwendungen für die Schlammbehandlung (20 %) werden durch die Gutschrift vollständig ausgeglichen.

Die Maßnahme der intensiveren Straßenreinigung zeigt einen zusätzlichen Energieaufwand von 29 MJ/a für die Großkehrmaschine, der vergleichbar ist mit dem Aufwand für den Betrieb der Nassgullys. Damit zeigt sich, dass die Maßnahmen ohne zusätzlichen baulichen Aufwand insgesamt erheblich weniger Energieaufwand brauchen als die Maßnahmen mit zusätzlicher dezentraler oder zentraler Infrastruktur.

Beim nuklearen Energieaufwand spielt nur der benötigte Strom (direkt oder in der Vorkette) eine Rolle. Hier fällt im Vergleich wieder auf, dass die Maßnahmen ohne zusätzliche Infrastruktur wie Nassgully oder Straßenreinigung die geringsten Auswirkungen haben (2-4 MJ/a), danach folgt der RBF (8 MJ/a) (Abbildung 4.65). Der ACO SSA liegt bei 17 MJ/a, während der INNOLET-G deutlich den höchsten nuklearen Energieaufwand zeigt (51 MJ/a). Dafür ist vor allem die Produktion des Filtermaterials verantwortlich, die mit relativ hohem Stromverbrauch verbunden ist. Der BUDAVINCI Typ-N liegt hier im mittleren Bereich (33 MJ/a). Das RKB kann den nuklearen Energieaufwand (18 MJ/a) durch die Faulgasverstromung (-13 MJ/a) fast vollständig ausgleichen.

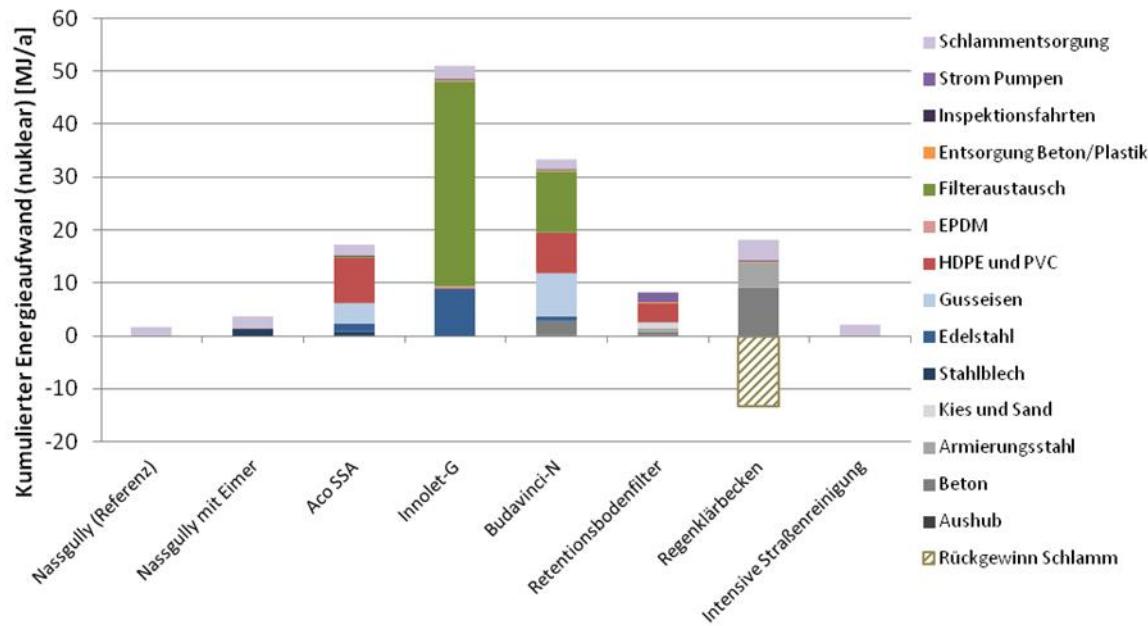


Abbildung 4.65: Direkter Vergleich der Maßnahmen im kumulierten Energieaufwand (nuklear)

Als wichtige Umweltauswirkung des Verbrauchs fossiler Ressourcen korreliert das Treibhauspotential der Maßnahmen eng mit dem fossilen Energieaufwand (Abbildung 4.66). Wieder schneiden die rein betrieblichen Varianten (Nassgully mit/ohne Eimer, intensivere Straßenreinigung) am besten ab mit einem Treibhauspotential von 2-3 kg CO₂-eq/a. Die dezentralen Reinigungssysteme liegen hier zwischen 11 (ACO SSA) und 18 kg CO₂-eq/a (BUDAVINCI Typ-N), wobei beim INNOLET-G (17 kg CO₂-eq/a) wieder der hohe Beitrag des Filtermaterials (51 %) auffällt. Der RBF zeigt ein Treibhauspotential von 4 kg CO₂-eq/a, wovon allein 44 % für Produktion und Entsorgung des Plastikmaterials anfallen. Das Treibhauspotential des RKB (15 kg CO₂-eq/a netto) wird vor allem durch Stahlbeton (80 %) bestimmt und liegt im Bereich der dezentralen Systeme.

Das Treibhauspotential bestätigt die Erkenntnisse aus der Betrachtung des kumulierten Energieaufwands: Maßnahmen mit rein betrieblichen Aufwendungen sind mit geringen Umweltwirkungen verbunden, während die Maßnahmen mit dezentraler oder zentraler Infrastruktur zur Regenwasserbehandlung höhere Treibhausgasemissionen auslösen.

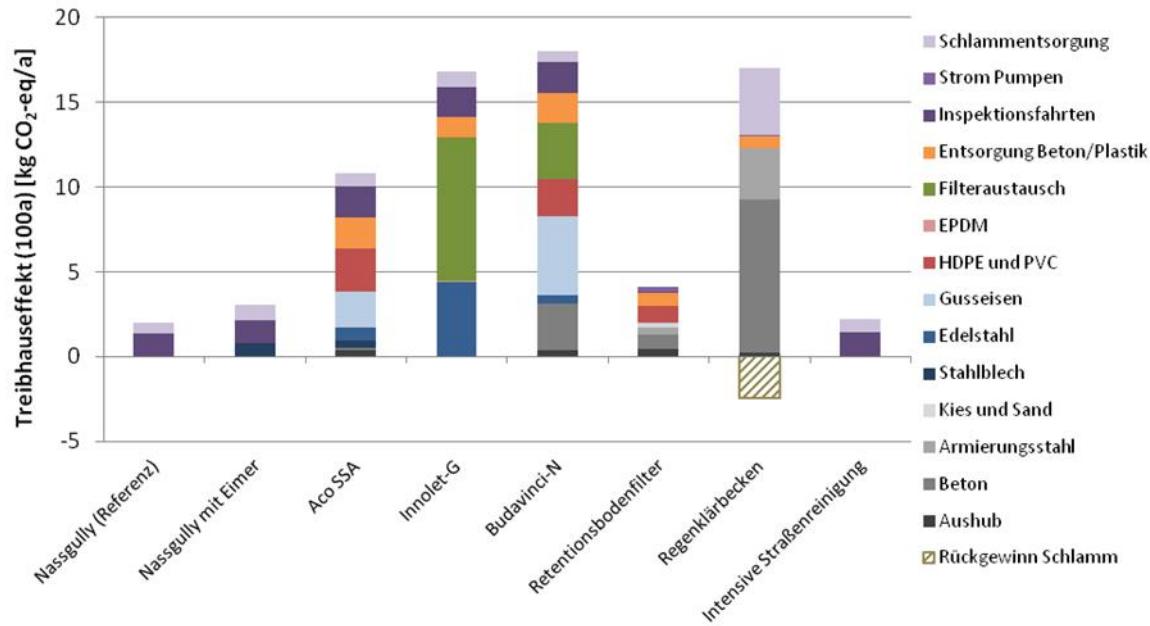


Abbildung 4.66: Direkter Vergleich der Maßnahmen im Treibhauseffekt

4.6.1.3 Normalisierung der Umweltbewertung

Wenn die Ergebnisse der einzelnen Indikatoren und Maßnahmen auf die durchschnittliche gesamte Umweltwirkung eines Einwohners bezogen werden, ist der jeweilige Beitrag der betrachteten Systeme zu den Gesamtbelastungen erkennbar (Abbildung 4.67). Die zusätzlichen Aufwendungen in Energieaufwand und Treibhauspotential erzeugen nur einen sehr geringen Beitrag (< 0,003 Einwohnerwerte, also weniger als 0,3 % der Belastung eines Einwohners). Im Vergleich dazu liegt die positive Wirkung der Regenwasserbehandlung für die Eutrophierung bzw. Ökotoxizität in den Gewässern bei bis zu 0,16 Einwohnerwerten, d.h. bis zu 16 % der Gesamtbelastung.

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass mit relativ geringem Einsatz an Energie und damit verbundenen Treibhausgasemissionen ein wesentlicher Beitrag zur Verringerung der Gewässerbelastung erzielt werden kann, vor allem im Bereich der Phosphoremissionen. Damit ist die Regenwasserbehandlung generell als sinnvolle Maßnahme des Umweltschutzes mit verhältnismäßig geringem Aufwand zu sehen. Dennoch macht es vor dem Hintergrund der übergeordneten Umweltziele wie Senkung des Energieverbrauchs und des Ausstoßes an Treibhausgasen Sinn, bei den verfügbaren Varianten der Regenwasserbehandlung die effektivsten Optionen im Sinne eines Vergleichs von Aufwand und Nutzen zu verfolgen.

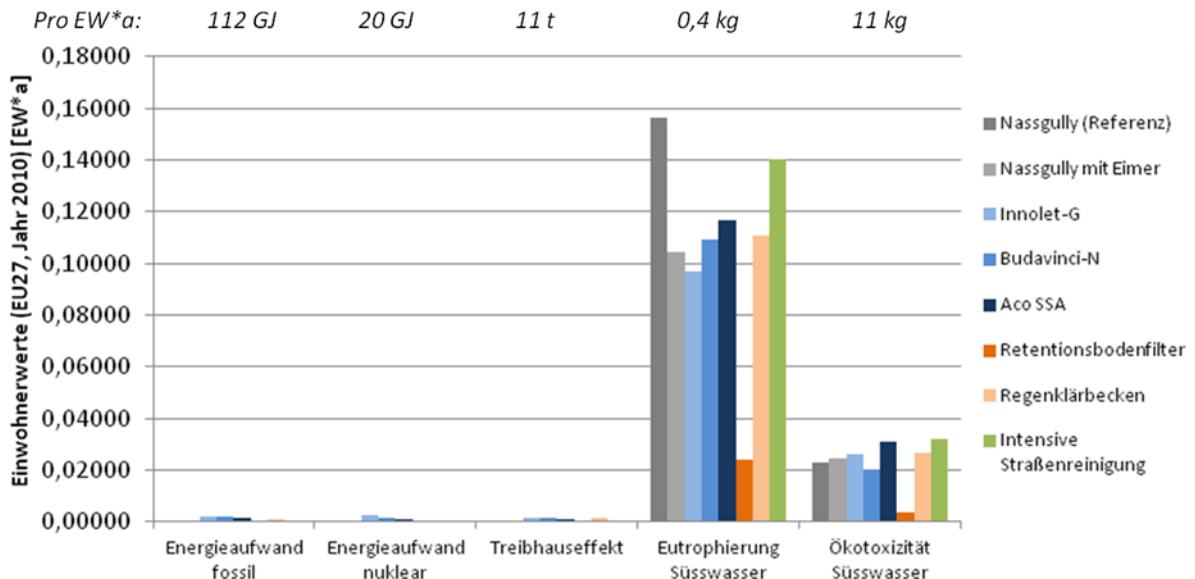


Abbildung 4.67: Normalisierte Umweltbewertung für alle Maßnahmen

4.6.1.4 Ökoeffizienz: Verhältnis von Aufwand und Nutzen

Um die Ökoeffizienz als Verhältnis von zusätzlichen Umweltwirkungen (= Aufwand) und erreichter Reduktion von Emissionen in die Gewässer (= Nutzen) zu berechnen, wird hier beispielhaft das Verhältnis aus zusätzlichem Treibhauseffekt und erzielter Reduktion von Phosphoremissionen aufgestellt (Abbildung 4.68).

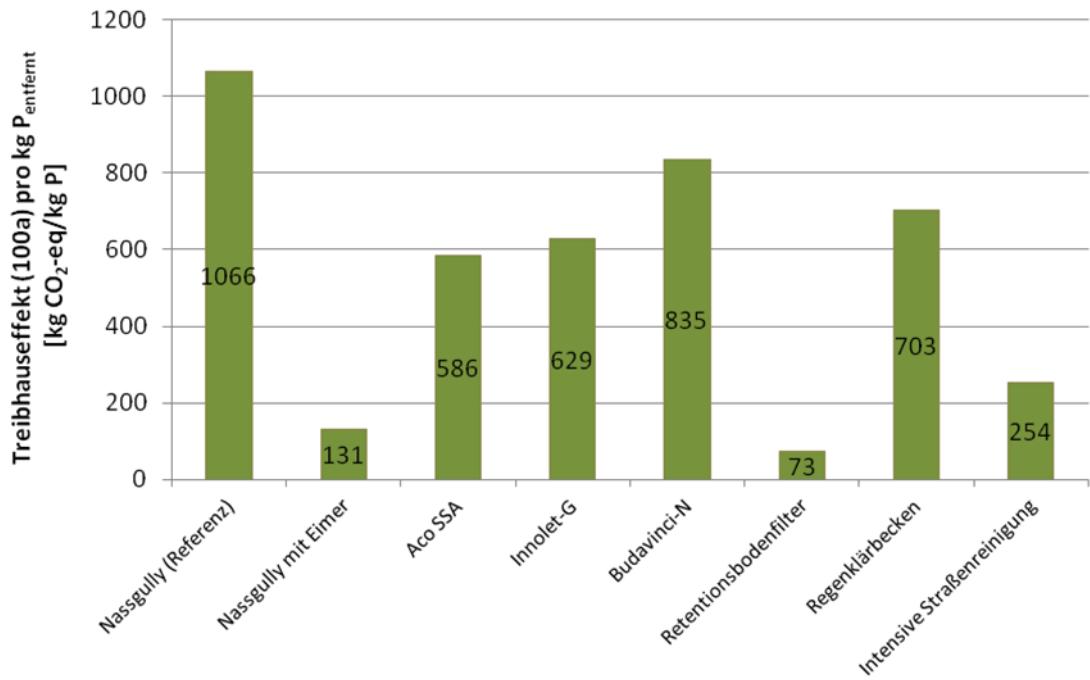


Abbildung 4.68: Ökoeffizienz der Maßnahmen: Aufwand-zu-Nutzen-Verhältnis (hier: zusätzlicher Treibhauseffekt pro kg vermiedene P-Emission)

Es lässt sich ableiten, dass die Maßnahmen „Nassgully mit Eimer“ und RBF die höchste Ökoeffizienz haben mit einem zusätzlichen Treibhauspotential von 131 bzw. 73 kg CO₂-eq/kg P. Danach folgt die Maßnahme „Intensivere Straßenreinigung“ mit einem Aufwand von 254 kg CO₂-eq/kg P. Dann folgen die dezentralen Reinigungssysteme mit 586-835 kg CO₂-eq/kg P und auch das RKB mit 703 kg CO₂-eq/kg P. Hier wird deutlich, dass sehr einfache Systeme (Grobstoffeimer) mit geringem Aufwand schon einen positiven Beitrag zur Gewässerqualität liefern können. Ebenso ist die intensivere Straßenreinigung ein umwelttechnisch relativ „günstiger“ Weg, die Phosphoremissionen abzusenken. Systeme mit mittlerem Aufwand und sehr hohen Wirkungsgraden wie der RBF haben auch eine gute Ökoeffizienz. Die dezentralen Reinigungssysteme sind im Vergleich zu ihrem Nutzen als relativ aufwendig zu sehen, das RKB hat aufgrund des hohen Aufwands für Infrastruktur und der begrenzten Wirkung eine vergleichbare Ökoeffizienz.

Zu beachten ist bei einem Vergleich der absoluten Zahlen der Ökoeffizienz mit anderen Studien, dass die Größenordnung des Verhältnisses natürlich von der Regenmenge und Phosphorfracht abhängt, die auf der angeschlossene Fläche ($360 \text{ m}^2 A_{E,k}$) anfällt und in den Straßenablauf gelangt. Je mehr P-Fracht dort enthalten ist, desto größer sind die absolute Reinigungswirkung und damit der Nutzen der Regenwasserbehandlung, entsprechend besser wird die Ökoeffizienz.

4.6.2 Ergebnisse für EZG Pücklerteich

4.6.2.1 Nutzen für den Pücklerteich: Reduktion der Emissionen von P, Cu und Zn

Der Nutzen der Regenwasserbehandlung für den Pücklerteich lässt sich direkt an den vermiedenen Phosphoremissionen aus der Schmutzfrachtsimulation ablesen (Abbildung 4.69): während ohne Regenwasserbehandlung bis zu 115 kg P/a in den Teich eingetragen werden, kann diese Fracht mit den betrachteten Maßnahmen spürbar reduziert werden. Dabei liegt die Wirkung der dezentralen Reinigungssysteme im Bereich von -9 bis -13 % etwa gleichauf mit dem Einsatz des Grobstoffeimers in den Nassgully (-11 %). Die zentralen Maßnahmen mit RKB (-32 %) und vor allem RBF (-57 %) erreichen eine höhere Reduktion, da sie das gesamte Regenwasser (abzüglich Überlauf) mit mittlerer bis hoher Effizienz reinigen. Die Maßnahme intensivere Straßenreinigung hat hier nur eine geringe Wirkung auf die Phosphorfrachten (-7 %).

Ähnlich sieht es auch für die Verringerung der Ökotoxizität aus, die durch die Cu/Zn-Frachten im Regenwasser entstehen (Abbildung 4.70). Die Ausgangswirkung im Pücklerteich (971 g DCB-eq/a) lässt sich durch dezentrale Systeme um 4-9 % abmindern, die zentralen Systeme liegen bei 48 % (RKB) bis 57 % (RBF) Reduktion. Die intensivere Straßenreinigung kann 2 % der Cu/Zn-Frachten in den Pücklerteich vermeiden.

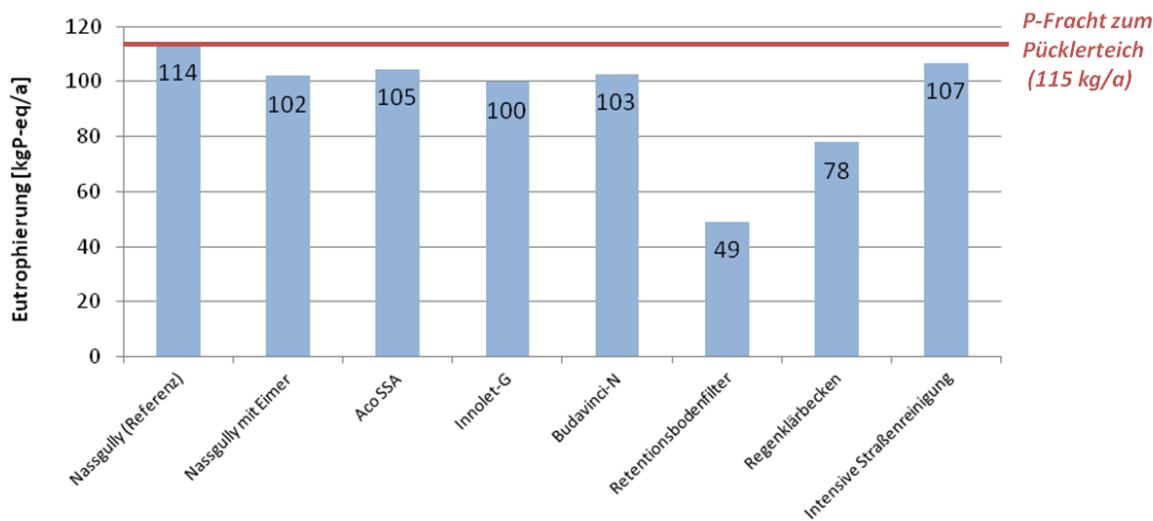


Abbildung 4.69: Fallstudie Pücklerteich: verminderte Eutrophierung über P-Emissionen für alle Maßnahmen

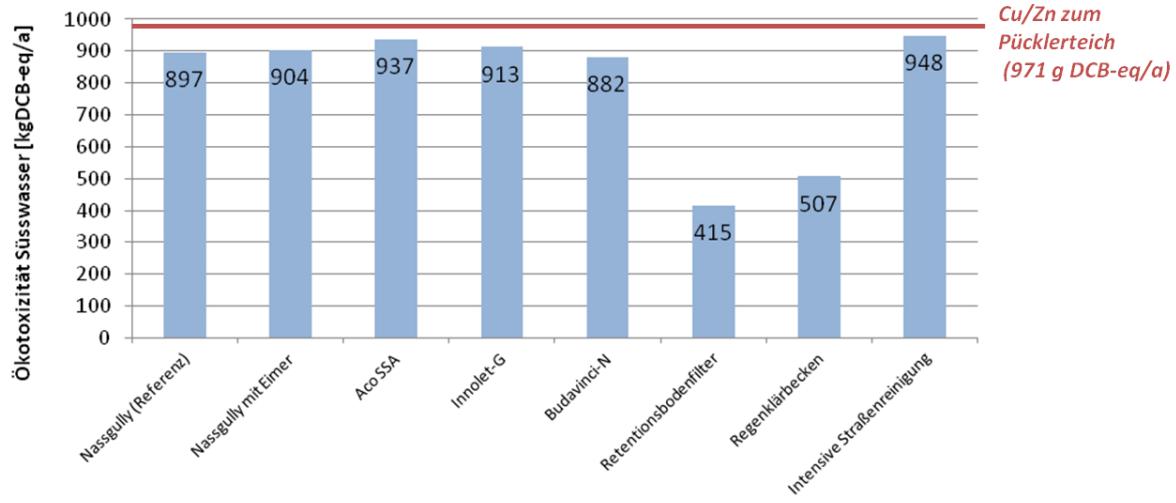


Abbildung 4.70: Fallstudie Pücklerteich: verminderte Ökotoxizität über Cu/Zn-Emissionen für alle Maßnahmen

4.6.2.2 Aufwand für Bau und Betrieb der Maßnahmen am Pücklerteich

Im Vergleich des Energieaufwands für alle Maßnahmen am EZG Pücklerteich (Abbildung 4.71) wird deutlich, dass durch den gezielten Einsatz der dezentralen Reinigungssysteme nur in stark belasteten Straßenabläufen der gesamte Energieaufwand für dezentrale Systeme (45-67 GJ/a) in ähnlichen Bereichen liegt wie der RBF (61 GJ/a). Das RKB liegt hier deutlich höher im Energieaufwand (197 GJ/a). Damit lässt sich durch den gezielten Einsatz der dezentralen Systeme der Aufwand für Bau und Betrieb minimieren. Zu beachten ist aber, dass der Einsatz des Grobstoffeimers (12 GJ/a) und die intensivere Straßenreinigung (10 GJ/a) immer noch die günstigsten Varianten darstellen.

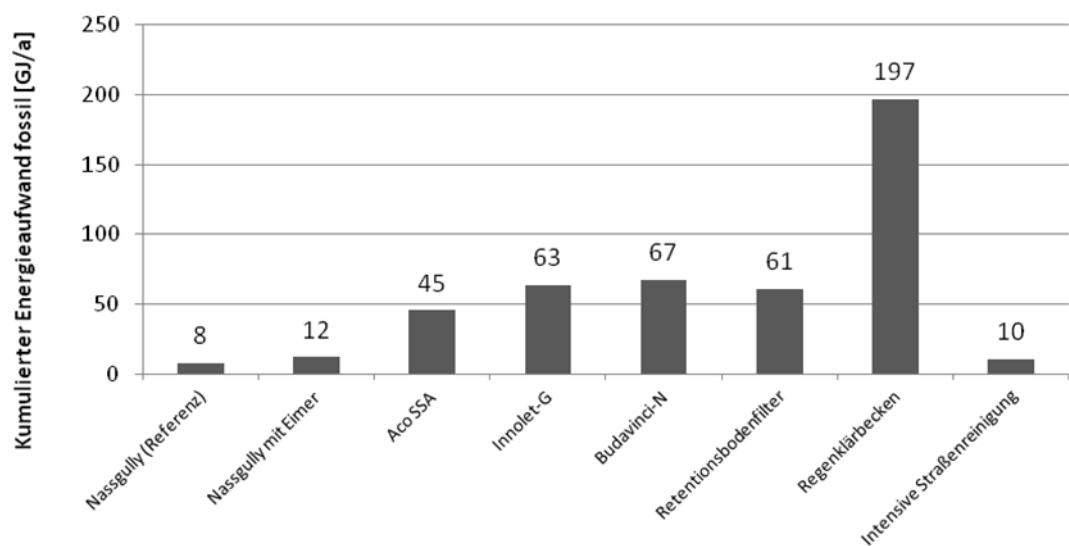


Abbildung 4.71: Fallstudie Pücklerteich: kumulierte Energieaufwand (fossil, netto) für alle Maßnahmen

Analog dazu zeigt auch das Treibhauspotential die gleiche Tendenz (Abbildung 4.72): die dezentralen Reinigungssysteme liegen mit 3067-5094 kg CO₂-eq/a im gleichen Bereich wie der RBF (4710 kg CO₂-eq/a), während das RKB ein Treibhauspotential von 30.416 kg CO₂-eq/a bedingt. Günstigste Variante ist auch hier der Einsatz des Grobstofffeimers mit zusätzlich 869 kg CO₂-eq/a bzw. die Straßenreinigung mit 759 kg CO₂-eq/a.

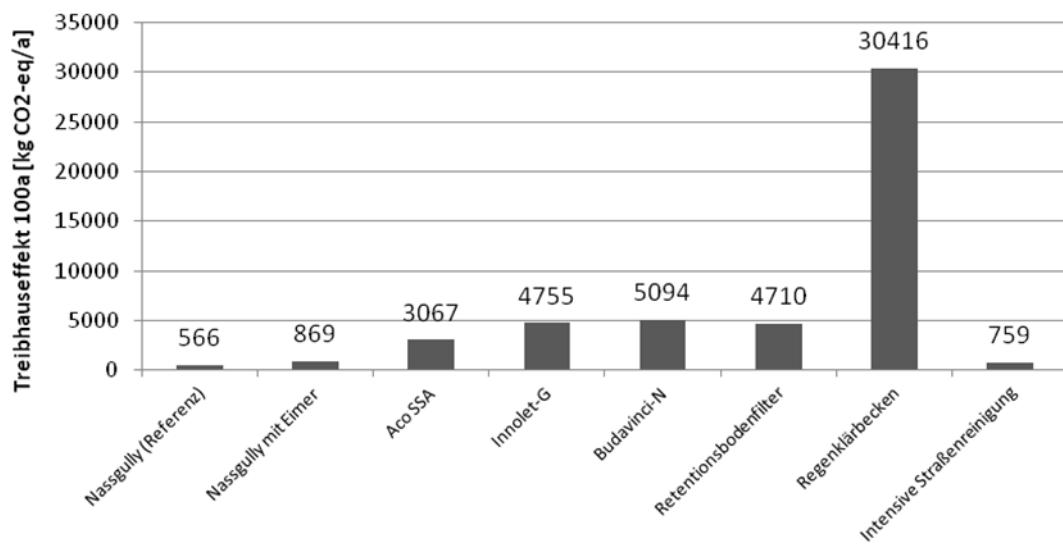


Abbildung 4.72: Fallstudie Pücklerteich: Treibhauseffekt (netto) für alle Maßnahmen

Bei der Ökoeffizienz im EZG Pücklerteich schneidet erwartungsgemäß der Grobstofffeimer im Nassgully (66 kg CO₂-eq/kg P) und der RBF (71 kg CO₂-eq/kg P) am besten ab (Abbildung 4.73), dann folgt die intensivere Straßenreinigung (91 kg CO₂-eq/kg P). Danach folgen die dezentralen Reinigungssysteme mit ACO SSA, INNOLET-G und BUDAVINCI Typ-N (289, 310 bzw. 410 kg CO₂-eq/kg P). Mit Abstand die geringste Ökoeffizienz hat hier das RKB (817 kg CO₂-eq/kg P), da bei hohem Aufwand nur ein mittlerer Nutzen realisiert wird.

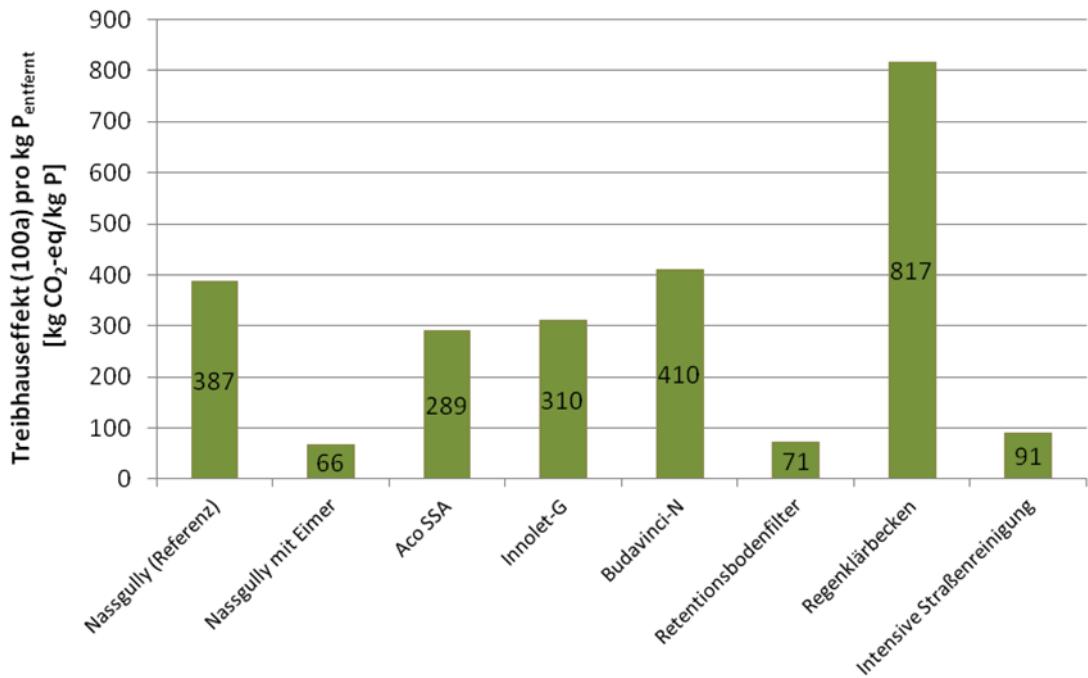


Abbildung 4.73: Fallstudie Pücklerteich: Ökoeffizienz als Verhältnis von Aufwand und Nutzen (hier: zusätzlicher Treibhauseffekt pro kg vermiedene P-Emission)

4.6.3 Zusammenfassung der Aussagen der Ökobilanz

Aus den Betrachtungen der Ökobilanz lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Bezuglich der Gewässerentlastung liegen die dezentralen Reinigungssysteme im direkten Vergleich über die angeschlossene kanalisierte Fläche etwa gleichauf mit dem vergleichsweise klein ausgelegten RKB, nur der RBF ist deutlich besser. Der einfache Grobstoffeimer ist in seiner Wirkung mit den dezentralen Systemen vergleichbar. Eine intensivere Straßenreinigung erzielt nur relativ geringe Effekte.
- Beim zusätzlichen Aufwand hinsichtlich Energieverbrauch und Treibhauseffekt liegen die dezentralen Systeme im direkten Vergleich höher als der Bodenfilter (Faktor 1,5-3), jedoch vergleichbar mit dem RKB. Den niedrigsten Aufwand benötigen der Grobstoffeimer und die intensivere Straßenreinigung.
- Die normalisierte Umweltbewertung im direkten Vergleich zeigt zudem, dass mit allen Maßnahmen mit relativ geringem Energieaufwand ein deutlicher Effekt für die Gewässerentlastung erzielt werden kann.
- Hinsichtlich der Ökoeffizienz (Aufwand zu Nutzen) liegen der RBF, der einfache Grobstoffeimer und die intensivere Straßenreinigung im direkten Vergleich deutlich besser als dezentrale Systeme und RKB. Grobstoffeimer und intensivere Straßenreinigung zeichnen sich vor allem durch sehr geringen Aufwand aus, wobei letztere auch nur eine geringe Reinigungseffizienz erzielt.

- In der Betrachtung des EZG Pücklerteich zeigt sich, dass durch den gezielten Einsatz der dezentralen Reinigungssysteme im Bereich stark belasteter Flächen die Ökoeffizienz von dezentralen Maßnahmen verbessert werden kann und der Gesamtaufwand im EZG in Energie/Treibhausgasen vergleichbar mit dem RBF ist. Der RBF hat aber dennoch eine weit höhere Reinigungswirkung und daher die beste Ökoeffizienz. Hier bestätigt sich, dass die Systeme immer im konkreten Einzugsgebiet verglichen werden sollten, um die spezifischen Randbedingungen des Einsatzes zu berücksichtigen.

Abschließend erscheint der Grobstoffeimer als einfache und relativ wirksame Option, um mit geringem Aufwand eine merkliche Verbesserung der Gewässergüte zu erreichen. Die dezentralen Reinigungssysteme sind bei gezieltem Einsatz an stark belasteten Flächen auch sinnvoll und ähnlich ökoeffizient wie ein zentraler RBF, wobei der RBF immer die beste Reinigungsleistung bietet. Ein RKB ist aus ökologischer Sicht durch seinen hohen baulichen Aufwand und die nur mittlere Reinigungsleistung nicht zu empfehlen. Bei der intensiveren Straßenreinigung kann mit geringem Aufwand eine leichte Reduktion der Gewässerbelastung erreicht werden, diese ist allerdings deutlich geringer als mit gezielter zentraler oder dezentraler Regenwasserbehandlung.

Die unterschiedlichen Aussagen im direkten Vergleich über die angeschlossene kanalisierte Fläche und im EZG Pücklerteich machen deutlich, dass der direkte Vergleich dezentraler und zentraler Systeme nur über die angeschlossene Fläche nicht den realen Bedingungen der Umsetzung entspricht. Daher müssen für eine vergleichende Bewertung der Maßnahmen immer die lokalen Randbedingungen der Einzugsgebiete berücksichtigt werden. Dafür bietet diese Ökobilanz die notwendigen Grundlagen, um Bau und Betrieb der einzelnen Systeme zu charakterisieren und zu bewerten. Diese Grundlagendaten müssen dann entsprechend auf die jeweiligen Charakteristika des Einzugsgebiets übertragen werden, um zu einer abschließenden Bewertung der Maßnahmen im jeweiligen Einzelfall zu kommen. Bei diesem Vergleich auf Einzugsgebietsebene spielt vor allem das Flächenverhältnis von gesamter angeschlossener Fläche und Flächen mit starker Verschmutzung eine wichtige Rolle, da sich letztere besonders für den Einsatz dezentraler Reinigungssysteme anbieten.

Die Erkenntnisse dieser Ökobilanz beruhen naturgemäß auf der Qualität der Eingangsdaten für die Modellierung. Gerade im Bereich der mittleren Reinigungseffizienz der unterschiedlichen Szenarien können langfristige Erfahrungen und Messungen mehr Sicherheit in den hier gezogenen Aussagen liefern, um die Schlussfolgerungen zu präzisieren oder ggf. anzupassen.

4.7 Kostenvergleichsrechnung

4.7.1 Kostenvergleich der dezentralen Anlagen

Die Baukosten sind aus dem Bauvorhaben zur Errichtung der Anlagen innerhalb des Projektes ermittelt worden. Diese sind Berlin-spezifisch und gelten für das Bezugsjahr 2014. Als Basis dienten eine Ausschreibung der Baumaßnahmen und die Auswertung verschiedener Angebote.

Tabelle 4.39: Berlin-spezifische Baukosten aus dem Projekt (Bezugsjahr 2014)

	Vergleich Investitionskosten für 362 m ²		Investkosten pro m ² ohne Baukosten	Investkosten pro m ² mit Baukosten	Reine Baukosten
	ohne Baukosten	mit Baukosten	362 m ²	362 m ²	
Eimer	100 €	100 €	0,28 €	0,28 €	0 €
ACO SSA	681 €	3.511 €	1,88 €	9,70 €	2.829 €
INNOLET-G	1.890 €	1.970 €	5,22 €	6,04 €	0 €
BUDAVINCI Typ-N	2.717 €	5.546 €	7,51 €	15,32 €	2.829 €

Der Kostenvergleich der Investitionskosten wurde sowohl für die Beschaffung, für die reinen Baukosten als auch für die Gesamtinvestition mit Baukosten ausgewiesen. Es zeigen sich in der Investitionen deutliche Unterschiede. Die kostengünstigste Maßnahme ist die Nachrüstung mit einem Grobstofffeimer (100 €) gefolgt von der Nachrüstung mit dem Filter INNOELT-G (1.970 €, mit Montage). Deutlich teurer, auf Grund der erforderlichen Baumaßnahme im Bestand, ist der Separationsstraßenablauf Combipoint (ACO SSA) (3.511 €) und der BUDAVINCI Typ-N (5.546 €). Alle Preise sind Nettopreise. Im Neubaufall zeigen sich deutlich günstigere Kosten, insbesondere für den Separationsstraßenablauf Combipoint von ACO.

Die Fahrzeug-, Personal- und Materialkosten wurden zusammen mit dem Betreiber BSR und den BWB ermittelt. Diese sind ebenfalls, wie die Kosten für die Investition und Bau, Berlin-spezifisch auf Basis des vorhandenen Fahrzeugparks.

Zur Abschätzung des Arbeitsaufwandes wurden Arbeitsschritte definiert und mit Kosten hinterlegt. Wichtig ist hierbei die Anzahl der erforderlichen Mitarbeiter und welches Fahrzeug zum Einsatz kommt.

Für Fahrzeuge und Geräte wurde folgendes Personal zu Grunde gelegt:

- Baggersaugwagen, 2 Personen
- Spülfahrzeug, 1 Person
- Pritschenwagen, 1 Person
- Groß- und Kleinkehrmaschine, 1 Person

Für den BUDAVINCI wurden die Kosten für die externe Wartung durch den Dienstleister und abweichend von der Vorgabe durch den Hersteller und aus der Erfahrung mit der gebauten Anlage, ein jährlicher Austausch des Filtermaterials angesetzt. Die Entsorgung des Filtermaterials beim Austausch wurde gesondert gerechnet.

Aus der Erfahrung des Projektbetriebes konnte der Zeitaufwand und die Anzahl der Wartungen abgeschätzt werden.

Tabelle 4.40: Betriebspunkte der Anlagentypen, Zulauf nur bei Probebetrieb

Clayallee		Nassgully					
	Zulauf	Ohne Eimer	Mit Eimer		ACO SSA	INNOLET-G	BUDAVINCI Typ-N
Eimer	klein						x
	groß			x	x		
Sedimentation	1	x	x		x	x	x
	2						x
Überlauf	1	x	x			x	x
Ablauf	direkt	x	x	x	x		
	Filter					x	x

Die Arbeiten an den Betriebspunkten wurden im Weiteren untergliedert um Zeiten, Fahrzeuge und Personal zuzuweisen und den Materialbedarf abzuschätzen.

Dabei sind verschiedene Aufgaben an unterschiedlichen Betriebspunkten zu erledigen, deren einzelne Auflistung im Anhang 18 zu finden ist. Dazu gehören:

- Kontrolle System
- Entleeren Eimer
- Aussaugen Schlammfang
- Reinigen Filter
- Entleeren und Neubefüllen Filter mit neuem Material
- Entsorgung Filtermaterial

Der Zeitaufwand in Minuten pro Anlage und Wartung innerhalb eines Jahres wurde wie folgt abgeschätzt und mit einem Faktor Kosten/h multipliziert.

Tabelle 4.41: Zeitabschätzung für die Wartungsarbeiten auf Grundlage der durchzuführenden Arbeitsschritte

		2 Nassgully ohne Eimer	3 Nassgully mit Eimer	4 ACO SSA	5 INNOLET G Berlin	6 Budavinci- N extern
Wartung 1 (halbjährlich)		Minuten	Minuten	Minuten	Minuten	Minuten
Zulaufgitterrost		2	2	2	2	2
Eimer	klein					2
	groß		2	2		
Beruhigungsplatte				3	3	3
Filterpatrone					5	30
Umlenkplatte						1
Schlammraum	1	2	2	2	2	2
	2					
Überlauf	1			1	2	
Ablauf	direkt	1	1			
Zwischensumme		5	7	10	14	40
Wartung 2 (jährlich)		2 Nassgully ohne Eimer	3 Nassgully mit Eimer	4 ACO SSA	5 INNOLET G Berlin	6 Budavinci - N extern
		Minuten	Minuten	Minuten	Minuten	Minuten
Zulaufgitterrost		2	2	2	2	2
Eimer	klein					
	groß		2	2		2
Beruhigungsplatte				3		3
Filterpatrone					25	30
Umlenkplatte						1
Schlammraum	1	2	2	2	2	2
	2					2
Überlauf	1			1	2	2
Ablauf	direkt	1	1			
Filtermaterialtausch					10	10
Zwischensumme		5	7	10	41	54
Gesamt		10	14	20	55	94

Die Zusammenfassung der Daten für die halbjährlichen Wartungsintervalle ist in nachfolgender Tabelle abgebildet. Die einzelnen, den Arbeiten über die kalkulierte Zeit zugeordneten Kosten sind in den nachstehenden Tabellen zusammengefasst.

Tabelle 4.42: Wartungskosten, einzeln und Summe/Jahr, und pro m² und Jahr

		2 Nassgully ohne Eimer	3 Nassgully mit Eimer	4 ACO SSA
		EUR	EUR	EUR
Summe Wartung 1, nach ½ Jahr1		12,90 €	18,06 €	25,80 €
Summe Wartung 2, jährlich		12,90 €	18,06 €	25,80 €
Summe pro Jahr		25,80 €	36,11 €	51,59 €
Summe pro Jahr und m²	m²	362	0,07 €	0,10 €
				0,14 €

Tabelle 4.43: Wartungskosten einzeln und Summe/Jahr und pro m² und Jahr für die Typen INNOLET-G Berlin und BUDAVINCI Typ-N

		5 INNOLET-G Berlin	6 Budavinci Typ-N Wartung extern
		EUR	EUR
Summe Wartung 1, nach ½ Jahr1		41,27 €	168,00 €
Summe Wartung 2, jährlich		87,81 €	120,64 €
Summe pro Jahr		129,08 €	305,64 €
Summe pro Jahr und m²	m²	362	0,36 €
			0,85 €

Für den Vergleich der Kosten für Investition, Betrieb und Reinvestition wurden die ermittelten Daten in das Kostenvergleichsrechnungsprogramm Eco.RWB eingegeben. Die Straßenreinigung wurde hierbei mit 1-mal pro Woche angesetzt. Das Ergebnis für einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ist in Abbildung 4.74 abgebildet. Der angenommene Zinssatz beträgt 3 % bei 2 % Preissteigerungsrate.

Beim Kostenvergleich wird davon ausgegangen, dass bei den dezentralen Behandlungsanlagen nur die behandlungsbedürftigen vielfrequentierten Straßenflächen mit Filteranlagen ausgestattet werden.

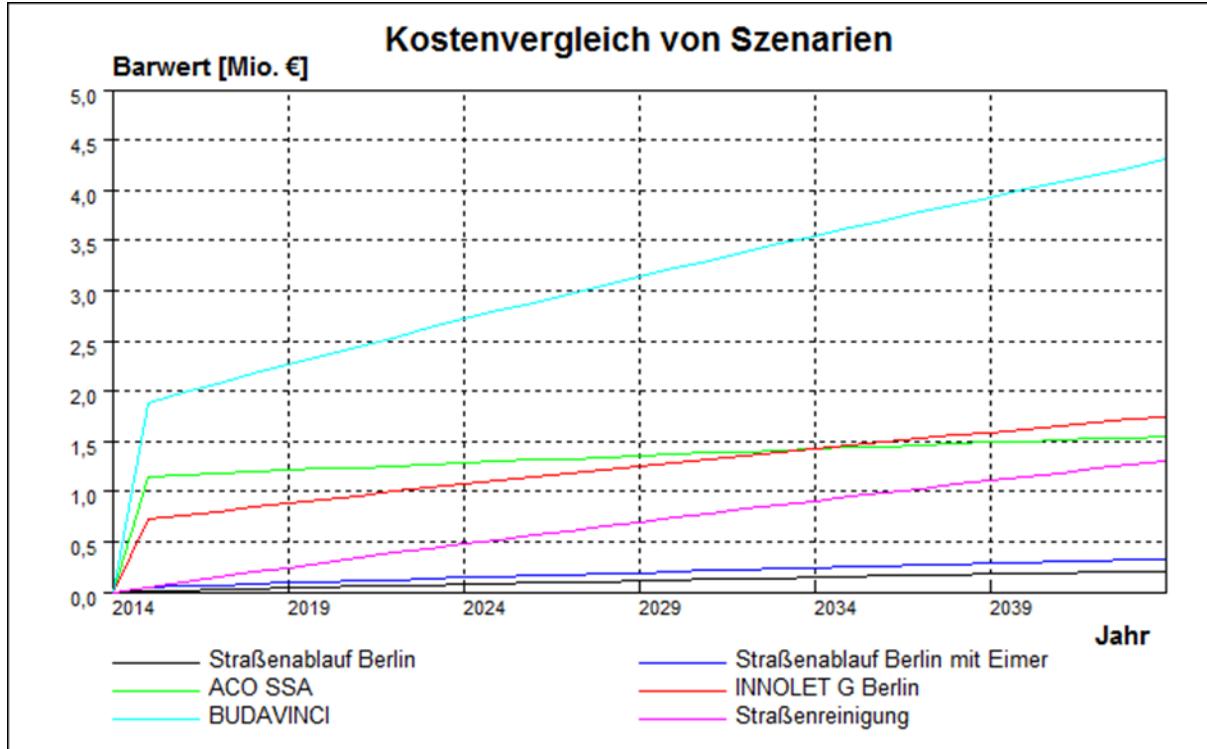


Abbildung 4.74: Kostenvergleich dezentraler Anlagen

Es zeigt sich, dass die Beibehaltung des Status Quo natürlich die kostenmäßig günstigste Lösung ist. Der Betrieb mit Eimer ist allerdings auch nicht wesentlich teurer. Auf Grund der moderaten Investitionskosten ist auch die Möglichkeit der Nachrüstung mit INNOLET-G bis zum Jahr 23 des Betrachtungszeitraums günstiger als der Separationsstraßenablauf (ACO SSA), wird allerdings bei längerem Betrieb durch die höheren Betriebskosten teurer. Die mit Abstand teuerste Variante, sowohl in der Investition als auch im Betrieb, ist der BUDAVINCI Typ-N, sowohl bei den Investitions- als auch bei den Betriebskosten. Die Ausführung durch einen externen Dienstleister wäre noch wesentlich teurer und ist hier nicht mehr dargestellt.

4.7.2 Vergleich mit zentralen Varianten

Um den Vergleich mit einer zentralen Variante darzustellen, wurden von den BWB exemplarische Daten der Investitionskosten für ein Regenklärbecken (Schlierseestraße) und einem Bodenfilter (Halensee) übergeben. Diese wurden auf das erforderliche Volumen am Auslauf des Einzugsgebietes Pücklerteich ausgelegt. Bei den zentralen Varianten wird ein größerer Gesamt-Volumenstrom behandelt. Für das Regenklärbecken sind dies 85 % bei 15 L/(s·ha). Bei der an die verfügbare Fläche angepassten Variante des Bodenfilters sind es immerhin noch ca. 67 %.

Für das Regenklärbecken am Pücklerteich wurde ein Volumen von ca. 1.000 m³ angesetzt. Bei Kosten von 1.000 EUR/m³ Volumen bedeutet das Investitionsvolumen von ca. 1.000.000 EUR. Die Betriebskosten wurden mit 33.500 EUR/a hochgerechnet.

Für den Retentionsbodenfilter am Pücklerteich wurden 2 Varianten angenommen.

1. Eine Variante eines Bodenfilters mit reduzierter Bauweise. Das Volumen beträgt 1.200 m³ bei einer Einstauhöhe von 0,5 m. Bei Baukosten von 800 EUR/m³ betragen die Baukosten 960.000 EUR. Die Betriebskosten wurden mit 13.800 EUR/a hochgerechnet.
2. Eine fiktive Variante (aus Gründen der Höhenverhältnisse nicht realisierbar) eines Bodenfilters mit Bauweise und Kosten analog Bodenfilter Halensee. Das Volumen beträgt 2.400 m³ bei einer Einstauhöhe von 1,0 m. Bei Baukosten von 1.500 EUR/m³ betragen die Baukosten 3.600.000 EUR. Die Betriebskosten wurden mit 27.600 EUR/a hochgerechnet.

Tabelle 4.44: Investitions- und Betriebskosten sowie der Barwert der einzelnen Szenarien

Szenarien	Beschreibung	Investitionskosten [€]	Betriebskosten [€/a]	Barwert [€]
Straßenablauf Berlin		- €	7.910 €	206.732 €
Straßenablauf Berlin mit Eimer		32.770 €	11.300 €	328.101 €
ACO SSA		1.133.390 €	15.820 €	1.546.854 €
INNOLET-G Berlin		610.200 €	40.680 €	1.673.393 €
BUDAVINCI Typ-N		1.791.050 €	96.050 €	4.301.368 €
Straßenreinigung		- €	49.780 €	1.301.027 €
Bodenfilter zentral an Platz angepasst	an Platz angepasst	960.000 €	13.800 €	1.320.670 €
Regenklärbecken zentral		1.000.000 €	33.500 €	1.875.540 €
Bodenfilter Standard z.B. Halensee		3.600.000 €	27.600 €	4.321.341 €

Der Bodenfilter (Standard) hat die höchsten Investitionskosten und kommt auf Grund des Volumenbedarfes nicht in Frage. Eine Bodenfiltervariante, reduziert in Volumen, angepasst an die vorhandene Fläche und mit naturnaher Bauweise, bietet sowohl bei Investitionskosten als auch beim Betrieb deutlich bessere Möglichkeiten eines Einsatzes am Auslauf. Der BUDAVINCI Typ-N ist auf Grund der hohen Investitionskosten die zweitteuerste Variante. Die übrigen Varianten ordnen sich im mittleren Bereich ein. Unterschiede sind in den Investitionskosten zu finden, wobei hier auch die Frage Nachrüstung oder Neubau eine Rolle spielt. Langfristig schlagen die angesetzten Betriebskosten zu Buche.

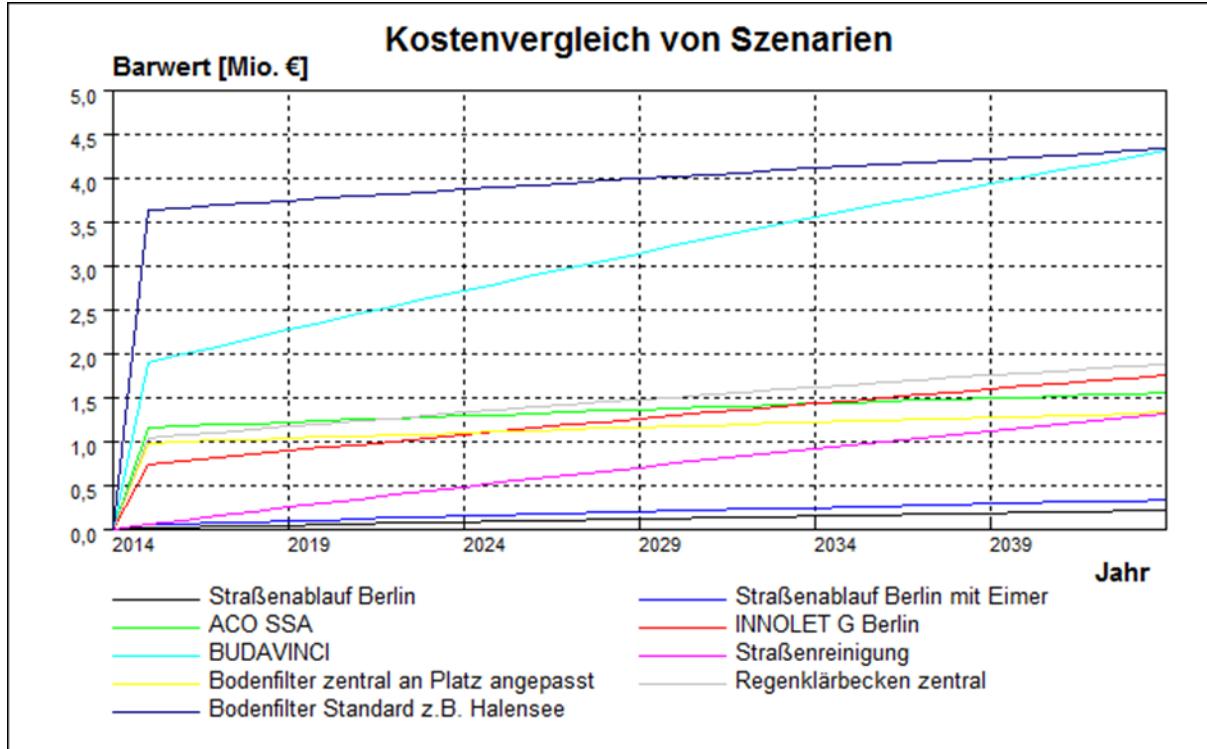


Abbildung 4.75: Kostenvergleich dezentraler und zentraler Anlagen

Die Nachrüstung mit Eimer bleibt die günstigste Lösung. Die Kosten für INNOLET–G und ACO SSA liegen langfristig im Bereich der reduzierten, angepassten Variante des Bodenfilters. Aufgetragen sind ebenfalls die Kosten für die Straßenreinigung.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im UEP II/2-Projekt „Dezentrale Reinigung von Straßenabflüssen“ wurden innerhalb der Projektlaufzeit (01.11.2012 bis zum 30.09.2015) verschiedene dezentrale Behandlungsanlagen für Straßenabflüsse in Berlin untersucht.

Neben der betrieblichen Bewertung erfolgte erstmalig die Untersuchung des Stoffrückhalts von verschiedenen dezentralen Anlagen an zwei in situ Messstandorten (Clayallee und BSR-Betriebshof Treffurter Straße) mit automatisierter Probenahme. Zusätzlich wurden die Anlagen unter definierten Bedingungen an einem Teststand in Anlehnung an das DIBt-Prüfverfahren untersucht. Weiterhin wurden abschätzende Modellierungen auf Einzugsgebietsebene, eine Kostenvergleichsrechnung sowie eine Ökobilanz erstellt.

Messergebnisse Clayallee

Zur Bewertung der dezentralen Reinigungsanlagen in der Clayallee (Messzeitraum: 01.07.2014 bis 24.07.2015) wurde an jedem Ablauf der installierten Anlagen ein Messschacht mit einem automatischen Probenehmer und einer Messschacht-Steckrinne mit Radarsonde errichtet. Als Zulaufreferenz wurde ein Straßenablauf ohne Schlamtraum beprobt. Aufgrund einer erforderlichen Anstauhöhe für die Aktivierung des Probenehmers, wurden vermehrt intensivere Ereignisse beprobt (ab ca. 8,3 L/(s·ha)). Dadurch kann keine Aussage über den Rückhalt der Anlagen bei kleineren Niederschlagsereignissen getroffen werden. Vermutlich können die Anlagen bei geringen Abflüssen und damit längeren Sedimentationszeiten etwas höhere Rückhalte erzielen, als im Projekt bestimmt werden konnte.

Der Vergleich der Zulaufkonzentrationen der Clayallee mit Literaturwerten zeigt, dass sich nahezu alle Parameter bis auf CSB im von Schmitt et al. (2010) definierten Vertrauensbereich befinden. Die AFS- und AFS_{fein}-Konzentrationen (c_F -Medianwert: 181 mg/L bzw. 71 mg/L) befinden sich im nahen Bereich der Schwerpunktswerte. Die c_F -Medianwerte für P_{ges} (0,79 mg/L), Zink (0,62 mg/L) und Kupfer (0,25 mg/L) liegen jeweils im oberen Vertrauensbereich. Die hohen CSB-Werte (299 mg/L) überschreiten den Vertrauensbereiches (150 mg/L) deutlich. Eine mögliche Ursache ist die hohe Laub- und Blütenbelastung, die durch Verwehungen aus dem auf westlicher Seite der Clayallee angrenzenden Waldstück ganzjährlich beobachtet werden konnte. Daher ist davon auszugehen, dass auch ein hoher organischer Anteil der Feststoffe vorliegt.

Dennoch liegt der AFS-Rückhalt je nach Anlage im Bereich von 35 bis 57 % (Maximalwerte: 43 bis 79 %), obwohl vermehrt intensive Niederschlagsereignisse beprobt wurden. Der AFS_{fein}-Rückhalt beträgt je nach Anlage 33 bis 56 %. Insgesamt ist festzustellen, dass mit Einbau (Grobstofffeimer bzw. Filterelement) in den normalen Nassgully ein erhöhter AFS_{fein}-Rückhalt zu beobachten ist. Der CSB-Rückhalt variierte je nach Anlage von 13 bis 30 %.

Die Filtersysteme können im Vergleich den höchsten Rückhalt mit Maximalwerten bis zu 65 % bzw. 28 % erreichen. Der P_{ges} -Rückhalt liegt je nach Anlage im Bereich von 4 % bis 42 %. Die Zink- und Kupfer-Rückhalte liegen im Bereich von 15 % (Zn) bzw. 18 % (Cu) bis 46 % (Zn) bzw. 43 % (Cu).

Die im Rückhalt von Eimer und Schlammraum befindliche AFS_{fein}-Feinstoffbelastung beträgt ca. 30-50 %. Hierbei ist der Anteil an eingetragenen organischen Feststoffen im Eimer und Schlammfang mit ca. 50 % relativ hoch.

Bei der Rückhaltbetrachtung der Anlagen in der Clayallee muss berücksichtigt werden, dass für die einzelnen Anlagen aufgrund der Datenlage teilweise unterschiedliche Regenereignisse und damit unterschiedliche Regenereigniszahlen für die Berechnung des Rückhalts herangezogen wurden, dadurch sind die Anlagen nicht direkt untereinander vergleichbar. Um die Ergebnisse weiter verifizieren zu können, sollten weitere Messungen an der noch vorhandenen Messstrecke durchgeführt werden.

Messergebnisse Treffurter Straße

Auf dem BSR-Betriebshof in der Treffurter Straße wurde ein Messschacht eingebaut, an dem sieben Straßenabläufe angeschlossen sind. Da aus bautechnischen Gründen des bestehenden Regenwasserkanals keine Referenzfläche für die Generierung von Zulaufwerten parallel beprobt werden konnte, wurden im Rahmen der Untersuchungen für den Zeitraum vom 01.12.2013 bis zum 31.07.2014 vorerst Niederschlagsereignisse ohne Einbau der INNOLET-Filter für die Erfassung der „Null-Variante“ beprobt. Die weitere Probenahme erfolgte mit eingebauten INNOLET-Filtern vom 31.07.2014 bis zum 18.08.2015.

Die Ergebnisse der „Null-Variante“ weisen vor allem für die Parameter AFS (259 mg/L), AFS_{fein} (190 mg/L), P_{ges} (1,04 mg/L) und Zink (1,5 mg/L) höhere Werte als in der Clayallee auf. Der CSB-Wert liegt mit 243 mg/L etwas unterhalb des Wertes aus der Clayallee jedoch über dem Vertrauensbereich nach Schmitt et al. (2010). Die hohe AFS-Belastung lässt sich mit dem Streugut-Lager auf dem Betriebshof erklären. Die hohen CSB und P_{ges} -Konzentrationen des Betriebshofs in der Treffurter Straße stammen vermutlich aus Laub-Verwehungen der zur Zwischenlagerung vorgesehenen Boxen. Die hohe Zink-Konzentration kann zum Teil mit der hohen Fahrzeug-Frequenz begründet werden. Zusätzlich könnte der Abfluss eines Schrottsammel-Containers zu der hohen Zink-Konzentration führen.

Aufgrund der ähnlichen Ablaufkonzentrationen der beiden Messzeiträume ist der berechnete Rückhalt sehr gering (max. 14 %). Die Untersuchungen zeigen, dass die Fläche stark belastet ist und der INNOLET-Filter und wahrscheinlich auch der Großteil der verfügbaren dezentralen Anlagen, ohne Vorschaltung eines separaten Sedimentationsraums nur mit sehr hohen Wartungsaufwand für diese hohen Konzentrationen geeignet sind. Dies könnte die hohe AFS-Belastung vermindern. Ein weiterer Vorschlag wäre die Abkopplung des Straßenablaufs 5 vor der Streugut-Box von dem Regenwasserkanal.

Eventuell könnte die Ablaufrinne, die die Abflüsse von den anderen Lagerboxen in den Schmutzwasserkanal ableitet, bis zur Streugut-Box verlängert werden.

Messergebnisse Teststand

Die Millisil-Rückhalte-Werte liegen für alle untersuchten Systeme im Bereich von 49 bis 72 %. Dabei wird von der Anlage ACO SSA der größte Millisil-Rückhalt erzielt. Der MKW-Rückhalt variiert von 69 % (INNOLET-G S1) bis zu 92 % (BUDAVINCI). Der Vergleich der Millisil- und MKW-Rückhalte der beiden INNOLET-Versuche zeigt, dass die angepasste Substratmischung (S2) höhere Rückhalte erzielen konnte. Das Sand-Kies-Gemisch wird von allen Anlagen sehr gut zurückgehalten (91 bis 99,6 %). Der Schwimmstoff PE wird durch den Ansprung des Notüberlaufs der Anlagen INNOLET-G und BUDAVINCI nur bis zu 49 % zurückgehalten. Ein Austrag des PE-Granulats kann mit Hilfe des Nassgullys ohne und mit Grobstoffeimer sowie mit dem ACO SSA nicht vermieden werden. Das Rindenmulch und das PS-Granulat (Schwebstoffe) werden von den Filtersystemen gut bis sehr gut zurückgehalten (70 bis 87 % bzw. 95 bis 99,5 %).

Vergleich Messergebnisse Teststand/in situ

Aufgrund des hohen organischen Anteils an abfiltrierbaren Stoffen (AFS und AFS_{fein}) in der Clayallee und der Beprobung von eher intensiven Niederschlagsereignissen werden die Rückhaltewerte bei den Versuchen am Teststand in situ nicht erreicht. Es ist erkennbar, dass der Rückhalt über den Prüfstoff Millisil W4 zum Teil deutlich höhere Werte erzielt als die in situ Untersuchungen. Ein Prüfstoff zu finden, der alle Einflüsse unterschiedlicher Einzugsgebiete definiert abdecken kann, wird einem weiteren Untersuchungsvorhaben vorbehalten bleiben.

Betriebliche Untersuchung

Für die betriebliche Untersuchung wurden bei der Wartung und Reinigung durch das Betriebspersonal die Erfahrungen zum Umgang der Anlagen mit der zur Verfügung stehenden Ausrüstung aufgenommen und ausgewertet. Die Anlagen sind sehr unterschiedlich in der Handhabung und im Wartungsaufwand.

Der Eintrag von Laub und Blüten ist offensichtlich von der Art des Gitterrostes bestimmt. Bei Gitterrosten älterer Bauart nach DIN mit breiten Stababständen ist der Laub- und Blüteneintrag höher als bei neueren flachen Bauarten mit kleinerem Stababstand. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die an der Oberfläche zurückgehaltenen Stoffe von der Straßenreinigung entfernt und somit dem Eintrag in den Straßenablauf sowie dem Gewässer entzogen werden können.

Es zeigt sich ebenfalls, dass bei hohem Laub- und Blütenanfall eine Rückhaltung der zufließenden Organik durch einen langen Eimer sinnvoll ist, um die in den Schlammraum eingetragene Menge an Organik zu verringern.

Beides führt zu einem verminderten Schlammvolumen und augenscheinlich zu einer verminderten Belastung des Schlammfangs mit feinen organischen Partikeln ($AFS_{fein,org}$). Dadurch können Filtersysteme entlastet werden. Der kurze Eimer, wie beim BUDAVINCI eingebaut, ist hierfür nicht ausreichend und muss entsprechend öfter entleert werden, was zu einem Mehraufwand führt. Beim Nassgully ohne Eimer finden sich sowohl erhebliche Mehrmengen an Schlamm als auch schwimmende Blätter, die bei Niederschlägen in den Kanal und damit in die Gewässer ausgetragen werden.

Aufgrund der hohen Belastung in der Clayallee mit organischem Material (Laub, Blüten) sind halbjährliche Wartungen der Filtersysteme als Mindeststandard einzuhalten. Dies umfasst zum Einen die jeweilige komplette Spülung des Filters (BUDAVINCI) als zum Anderen die Abspülung des INNOLET-G-Filters in der ersten Wartung nach einem halben Jahr als auch den Austausch des Filtermaterials bei der jährlichen Wartung. Ob eine häufigere Wartung an diesem Standort erforderlich ist, müssen langfristige Untersuchungen ergeben.

Im Falle eines exorbitant hohen Feststoffaustrages aus dem Streumittellager für Grauwacke auf dem BSR-Betriebshof in der Treffurter Straße, sind Sonderlösungen mit hoher Sedimentationsleistung und –kapazität erforderlich.

Der Einfluss der Straßenreinigungsfrequenz konnte am Standort Clayallee nicht untersucht werden, da auf Grund von Verzögerungen der Bauvorbereitung der Versuchszeitraum nicht ausreichend lang für eine fundierte Auswertung gewesen wäre.

Schmutzfrachtsimulation

Für die dezentral getesteten Anlagen in den Straßenabläufen in der Clayallee sowie für das Einzugsgebiet Pücklerenteich wurde eine Schmutzfrachtberechnung durchgeführt. Dafür wurden die Ergebnisse aus den *in situ* ermittelten Rückhalteleistungen im Straßenablauf und Reinigungsleistungen von zwei zentralen Berliner Anlagen (Regenklärbecken RKB & Retentionsbodenfilter RBF) in das Modell übertragen. Eine Einordnung von andern dezentralen Anlagen ist durch die Wahl von Stützwerten der Rückhalteleistungen gegeben. Im Gegensatz zu den untersuchten Straßenabflüssen flossen in der Schmutzfrachtsimulation sämtliche Regenabflüsse ein (Vgl. $Q_{in situ} > 0,3 \text{ L/s}$). Als zusätzliche Behandlungsmaßnahme ging die Straßenreinigung exemplarisch ein.

Bei der Betrachtung eines Straßenablaufes mit seiner Einzugsfläche zeigt sich für die untersuchten Stoffparameter, dass die wöchentliche Straßenreinigung (Fahrbahn der Straßenabläufe) einen Rückhalt von ca. 15 % bis 35 % erreicht. Eine Verminderung der Straßenreinigung bewirkt nur eine geringe Reinigungsleistung, wobei sich eine intensivere Oberflächenreinigung mit 2-mal wöchentlich positiv auf den AFS-Rückhalt mit bis zu 55 % auswirkt. Schwermetalle werden mit max. 35 % nur geringfügig zurückgehalten. Die Kombination von Straßenreinigung und dezentraler Behandlung im Straßenablauf erscheint sinnvoll, da dadurch bspw. die AFS-Frachten um min. 24 % bis max. 74 % reduziert werden.

Die Schwermetalle stellen mit 17 % bis 70 % den geringsten Rückhalt dar. CSB und P_{ges} befinden sich dazwischen. Eine Erhöhung der Straßenreinigung auf 2-mal wöchentlich mit kombinierter Behandlung im Straßenablauf erzielt Rückhalteleistungen mit bis zu 80 %.

Der Status Quo der Straßenreinigung im Untersuchungsgebiet Clayallee liegt bei einer wöchentlichen Fahrbahnoberflächenreinigung. Durch die Kombination mit dezentralen Systemen in Straßen mit mehr als > 5.000 Kfz/d hält allein der Nassgully im Einzugsgebiet rd. 30 % der AFS-Frachten zurück. Der zusätzliche Einsatz eines Grobstoffeimers bewirkt weitere 10 % und hebt die Bedeutung einerseits der Wirkungsweise des Schlammsraumes als auch des Eimers hervor. Die Reduktionsleistungen der Anlagen mit Filtermaterial und verbesserter Sedimentation liegen mit 32 % bis 37 % im vergleichbaren Bereich. Die zentralen Anlagen erreichen dagegen mit 63 % für das RKB und 72 % für den RBF (hierbei werden die Überlaufereignisse ohne Reinigung oberhalb des Bemessungsdurchflusses eingerechnet) höhere Reinigungsleistungen. Die Schwermetalle Zink und Kupfer werden im Einzugsgebiet Pücklerteich mit 18 % am besten vom BUDAVINCI zurückgehalten (inkl. Straßenreinigung). Es zeigt sich jedoch, dass die anderen Systeme (auch ohne Filtration) mit 6 % bis 15 % nur eine geringfügig niedrigere Reinigungsleistung besitzen. Der RBF ist dagegen deutlich effektiver und reduziert die Zink- um 61 % und Kupferfrachten um 56 %. Das RKB liegt mit dem Rückhalt von Zink (28 %) dazwischen, wenngleich der Rückhalt von Kupfer vergleichbar mit dem RBF ist. Die Kombination mit einer intensiveren Straßenreinigung wirkt sich für alle Anlagen im Einzugsgebiet nur geringfügig positiv (max. weitere 3 %) aus.

Ökobilanz

Aus den Betrachtungen der Ökobilanz lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Bezuglich der Gewässerentlastung liegen die dezentralen Reinigungssysteme im direkten Vergleich über die angeschlossene kanalisierte Fläche etwa gleichauf mit dem vergleichsweise klein ausgelegten RKB, nur der RBF ist deutlich besser. Der einfache Grobstoffeimer ist in seiner Wirkung mit den dezentralen Systemen vergleichbar. Eine intensivere Fahrbahnreinigung erzielt nur relativ geringe Effekte.
- Beim zusätzlichen Aufwand hinsichtlich Energieverbrauch und Treibhauseffekt liegen die dezentralen Systeme im direkten Vergleich höher als der Bodenfilter (Faktor 1,5-3), jedoch vergleichbar mit dem RKB. Den niedrigsten Aufwand benötigen der Grobstoffeimer und die intensivere Fahrbahnreinigung.
- Die normalisierte Umweltbewertung im direkten Vergleich zeigt zudem, dass mit allen Maßnahmen mit relativ geringem Energieaufwand ein deutlicher Effekt für die Gewässerentlastung erzielt werden kann.

- Hinsichtlich der Ökoeffizienz (Aufwand zu Nutzen) liegen der RBF, der einfache Grobstoffeimer und die intensivere Straßenreinigung im direkten Vergleich deutlich besser als dezentrale Systeme und RKB. Grobstoffeimer und intensivere Fahrbahnreinigung zeichnen sich vor allem durch sehr geringen Aufwand aus, wobei letztere auch nur eine geringe Reinigungseffizienz erzielt.
- In der Betrachtung des EZG Pücklerteich zeigt sich, dass durch den gezielten Einsatz der dezentralen Reinigungssysteme im Bereich stark belasteter Flächen die Ökoeffizienz von dezentralen Maßnahmen verbessert werden kann und der Gesamtaufwand im EZG in Energie/Treibhausgasen vergleichbar mit dem RBF ist. Der RBF hat aber dennoch eine weit höhere Reinigungswirkung und daher die beste Ökoeffizienz. Hier bestätigt sich, dass die Systeme immer im konkreten Einzugsgebiet verglichen werden sollten, um die spezifischen Randbedingungen des Einsatzes zu berücksichtigen.

Abschließend erscheint der Grobstoffeimer als einfache und relativ wirksame Option, um mit geringem Aufwand eine merkliche Verbesserung der Gewässergüte zu erreichen. Die dezentralen Reinigungssysteme sind bei gezieltem Einsatz an stark belasteten Flächen auch sinnvoll und ähnlich ökoeffizient wie ein zentraler RBF, wobei der RBF, falls der Platz vorhanden ist, immer die beste Reinigungsleistung bietet. Ein RKB ist aus ökologischer Sicht durch seinen hohen baulichen Aufwand und die nur mittlere Reinigungsleistung nicht zu empfehlen. Bei der intensiveren Straßenreinigung kann mit geringem Aufwand eine leichte Reduktion der Gewässerbelastung erreicht werden, diese ist allerdings deutlich geringer als mit gezielter zentraler oder dezentraler Regenwasserbehandlung.

Kostenvergleichsrechnung

Für die vergleichende Untersuchung wurde auch eine Kostenvergleichsrechnung nach LAWA für alle Anlagen über eine Laufzeit von 30 Jahren durchgeführt. Dazu wurden die Investitionskosten aus der Bauphase und die im Rahmen des Versuches ermittelten Betriebskosten zusammengestellt.

Die Investitionskosten basieren auf den Auswertungen der Baumaßnahme und bilden die Kosten ab, die bei einer Sanierung oder Bau im Bestand entstehen. Dies wird sich bei komplettem Neubau gerade bei nicht nachrüstbaren Anlagen reduzieren.

Für den Vergleich wurden die dezentralen Anlagen in den Hauptstraßen eingebaut und die zentralen Anlagen für das Gesamteinzugsgebiet berechnet.

Die Bestandsbehandlungslösung hat keine zusätzlichen Investitionskosten und ist im Betrieb die kostengünstigste Lösung. Gefolgt wird diese von dem Wiedereinbau des langen Eimers in den Straßenablauf. Die Investitionskosten sind sehr niedrig und der Betrieb nur leicht teurer als der ohne Eimer. Gefolgt wird diese Lösung von INNOLET-G, dass auf Grund der Möglichkeit der Nachrüstung im bestehenden Einlauf aus Investitionssicht, die drittgünstigste Möglichkeit ist.

Gefolgt wird dies vom ACO SSA. Beide Systeme haben nach ca. 20 Jahren gleichhohe Gesamtkosten. Langfristig ist der ACO SSA günstiger. Die mit Abstand teuerste dezentrale Lösung, der hier verglichenen Anlagen, sowohl in der Investition als auch im Betrieb, ist der BUDAVINCI Typ-N.

Beim Vergleich mit zentralen Lösungen wurde das Einzugsgebiet Pücklerteich betrachtet. Hier sind sowohl der zentrale Bodenfilter, nach bislang geltendem Baustandard in Berlin, als auch das RKB eher teure Lösungen, wenn gleich zu berücksichtigen ist, dass ein größerer Anteil des Niederschlagswassers behandelt wird. Für den Bodenfilter stehen mittlerweile durchaus angepasste, günstigere Lösungen zur Verfügung, die zunehmend zum Einsatz kommen könnten. Bei kleinen Einzugsgebieten z.B. nur mit Straßen, können die Kosten niedriger sein. Dies wurde für das Einzugsgebiet nicht näher untersucht.

Im Einzelfall wird für jedes Einzugsgebiet eine detaillierte Betrachtung und Vergleich empfohlen. Dabei sind zum Einen die Flächenanteile an Straßen, Dach und Hofflächen entscheidend. Zum Anderen kommen Kosten für zu erwerbende Flächen (Flächenverfügbarkeit) oder Verlegung von Leitungen, vor allem bei unterirdischen Bauwerken, zum Tragen.

Schlussfolgerung

Zusammenfassend können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die dezentralen Anlagen haben sich in der Praxis bewährt.
- Der Anteil an eingetragenen organischen Feststoffen ist in der Clayallee mit ca. 50 % relativ hoch. Hier sind die Anteile im Eimer und Schlammfang enthalten.
- Die Nachrüstung der Nassgullys mit einem langen Eimer ist eine kostengünstige und effektive Lösung zur Rückhaltung von Organik und groben Partikeln. Eine weitere Lösung mit ACO SSA hat zunächst höhere Investitionskosten im Nachrüstfall (Neubau des Straßenablaufs), ist aber hinsichtlich der Betriebskosten relativ niedrig.
- Der Rückhalt der untersuchten Anlagen beträgt zwischen 15 % und 57 %, differenziert nach Stoff und System. Bei gelösten Stoffen schneiden die Anlagen mit Filter, hier INNOLET-G vor BUDAVINCI Typ-N besser ab.
- Bezogen auf ein Gesamteinzugsgebiet ist der Stoffeintrag aus unterschiedlichen Quellen zu betrachten. Zentrale Anlagen bieten dabei, auch bei Teilstrombehandlung, u.U. eine bessere Gesamtreinigungsleistung. Die Rückhalteleistungen hängen dabei entscheidend von der konstruktiven Gestaltung und Auslegung ab.
- Bei der Ökobilanz (Energieeinsatz, Stoffrückhalt) schneidet der Bodenfilter gut ab. Die dezentralen Anlagen zeigen im direkten Vergleich einen geringeren Rückhalt und höheren Aufwand pro Fläche. Bei den Filtermaterialien spielt die voraussichtliche Standzeit eine große Rolle für die Bewertung des Aufwands.

- Der ökologische Aufwand für ein RKB ist auf Grund des aufwendigen unterirdischen Baus und des eingesetzten Betons höher als bei den anderen Anlagen.
- Die Investitionskosten für Nachrüstsysteme sind deutlich niedriger im Vergleich zum Schacht-Neubau. Bei der langfristigen Kostenbetrachtung spielen die Betriebskosten eine große Rolle.
- Aus betrieblicher Sicht sind einfache Lösungen wie der Eimer oder ACO SSA zweckmäßiger als Lösungen mit Filter. Bei letzteren hat der BUDAVINCI den höchsten Aufwand.
- Hohe Sedimentbelastungen, wie bei einem Schacht auf dem BSR-Betriebshof zu finden, bedürfen einer gesonderten Lösung.
- Empfehlungen: Die Grobstoffeimer in den Nassgullys in Berlin sollten nicht weiter ausgebaut, sondern wieder gezielt eingebaut werden, wodurch ein guter Stoffrückhalt bei niedrigen Kosten und Umweltbelastungen erreicht werden kann.

Weiterer Untersuchungsbedarf

Als weiteres Ergebnis aus dem Projekt lässt sich weiterer Untersuchungsbedarf zu folgenden Punkten ableiten:

- Langfristige Untersuchung der dezentralen Anlagen
- Optimierung der Probenahme für die Erfassung kleinerer Abflussmengen und damit kleinerer Regenereignisse
- Systematische Untersuchung des Systems Gully (Nass- und Trockenform) in verschiedenen Straßentypen unter definierten Randbedingungen hinsichtlich der Ablaufqualität
- Einfluss unterschiedlicher Straßenreinigungsqualitäten und Arbeiten auf Abflussqualität
- Einfluss unterschiedlicher Straßenreinigungsfrequenzen auf die Abflussqualität
- Optimierung des Rückhaltes an organischen Feinstoffen und Phosphor
- Erweiterung des Prüfmaterials um leichte Feinpartikel, Entwicklung einer Gesamtprüfmatrix, die das Spektrum der eingetragenen Stoffe und deren physikalischen Eigenschaften besser abbildet
- Erweiterung der Prüfung um den Einfluss von Tausalzen auf den Rückhalt von Schadstoffen
- Untersuchungen zu „neuen“ Schadstoffen wie z.B. Mikroplastik

Literaturverzeichnis

- [Barret et al. 1995] Barret, M.; Zuber, R.; Collins, E.; Malina, J.; Charbeneau, R.; Ward, G. (1995): "A REVIEW AND EVALUATION OF LITERATURE PERTAINING TO THE QUANTITY AND CONTROL OF POLLUTION FROM HIGHWAY RUNOFF AND CONSTRUCTION" The University of Texas at Austin, CENTER FOR RESEARCH IN WATER RESOURCES.
- [BMWi 2010] Energiedaten. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin.
- [DIBt 2011] Deutsches Institut für Bautechnik: „Zulassungsgrundsätze für Niederschlagswasserbehandlungsanlagen. Teil 1: Anlagen zum Anschluss von Kfz-Verkehrsflächen bis 2.000 m² und Behandlung des Abwassers zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser“, Fassung 2011
- [DIBt 2015] Deutsches Institut für Bautechnik: „Zulassungsgrundsätze für Niederschlagswasserbehandlungsanlagen. Teil 1: Anlagen zur dezentralen Behandlung des Abwassers von Kfz-Verkehrsflächen zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser“, Fassung 2015
- [Dierkes 2006] Dierkes, C. (2006): „Möglichkeiten der Vorbehandlung von Niederschlagswasser vor der Versickerung“ 5. Regenwassertage DWA, Bad Wildungen
- [Dierschke 2014] Dierschke, M. (2014): „Methodischer Ansatz zur Quantifizierung von Feinpartikeln (PM63) in Niederschlagsabflüssen in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche“, TU Kaiserslautern
- [Dierschke 2015] Dierschke, M. (2015): „Nachweis der Vergleichbarkeit der dezentralen Niederschlagswasserbehandlungsanlage BUDAVINCI E“ Ingenieurbüro für Siedlungswasserwirtschaft im Auftrag der MeierGuss Sales & Logistics GmbH & Co. KG, September 2015
- [DWD 2016] Daten des Deutschen Wetterdienstes:
<http://www.dwd.de/DE/leistungen/cdcftpmesswerte/cdcftpmesswerte.html?nn=495662> (letzter Zugriff: 12.01.2016)
- [Ecoinvent 2010] Ecoinvent data v2.2, ecoinvent reports No. 1-26, Swiss Center for Life Cycle Inventories, www.ecoinvent.org. Dübendorf, Schweiz.
- [fbr 2015] Marktübersicht Regenwassernutzung und Regenwasserversickerung, Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. (fbr), Ausgabe 2015/2016, 8. Ausgabe: März 2015
- [Goedkoop et al. 2009] ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; First edition Report I: Characterization. <http://www.lcia-recipe.net>
- [Grotehusmann et al. 2010] RBF Halensee, Inbetriebnahme und Messtechnische Begleitung. Studie im Auftrag der Berliner Wasserbetriebe, Berlin
- [GrwV 2010] Deutscher Bundestag und Rat (2010): Grundwasserverordnung (GrwV); vom 09.11.2010; online verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/grwv_2010/; (letzter Zugriff: 12.01.2016)

- [Helling 2008] Helling, K. (2008): „Räumlich differenzierte Modellierung des Stofftransports im Niederschlagsabfluss von urbanen Flächen am Beispiel des Einzugsgebietes Ruschegrabenn“, Berlin; Diplomarbeit, Dezember 2008, Fachgebiet Wasserwirtschaft und Hydrosystemmodellierung, Technische Universität Berlin
- [Hilliges 2007] Hilliges, H. (2007): „Entwicklung eines dezentralen Behandlungssystems für hochbelastete Verkehrsflächenabläufe im urbanen Raum“ München, Technische Universität München
- [Himanshu 2013] Himanshu (2013): “Urban Storm Water Management”, Master thesis, August 2013, Faculty of Engineering, Department of Municipal Water- and Waste Management, University of Duisburg-Essen
- [Huber et al. 2015a] Huber, M.; Welker, A.; Helmreich, B. (2015): „Belastung von Verkehrsflächenabflüssen mit Schwermetallen- ein europäischer Vergleich“; Artikel aus GWF Wasser Abwasser S.896-909 Bd. 156 Nr. 9
- [Huber et al. 2015b] Huber, M., Helmreich, B., Welker, A. (2015): „Einführung in die dezentrale Niederschlagswasserbehandlung für Verkehrsflächen- und Metalldachabflüsse: Schacht-/ Kompaktsysteme, Rinnensysteme, Straßeneinläufe und Flächenbeläge“ Berichte aus der Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität München, Heft 213
- [IFEU/IFU 2009] Umberto - Software für das betriebliche Stoffstrommanagement, Version Umberto 5.6. Institut für Umweltinformatik GmbH und Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg/Hamburg
- [IKT 2011] Loos, S. (2011): „Ermittlung der hydraulischen Leistungsfähigkeit sowie der stofflichen Reinigungsleistung einer dezentralen Niederschlagswasserbehandlungsanlage Typ: INNOLET® G“, Prüfbericht D00588, IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, 25.05.2011
- [ISO 14040/44 2006] ISO 14040: Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and framework, and ISO 14044: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. International Standardisation Organisation, Geneva, Switzerland
- [Jung 2015] Jung, C.(2015): „Modellierung der Effekte dezentraler Straßenabwasserbehandlung und Straßenreinigung mit dem Akkumulations- und Abtragsmodell STORM-SEWSYS am Beispiel Clayallee/Pücklerreich“, Oktober 2015, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft des Instituts für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Berlin
- [Kasting 2002] Kasting, U. (2002): „Reinigungsleistung von zentralen Anlagen zur Behandlung von Abflüssen stark befahrener Straßen“, Dissertation, TU Kaiserslautern
- [MeierGuss Info 2015] MeierGuss Sales & Logistics GmbH & Co. KG (2015) Info, Der Ammersee, BUDAVINCI sorgt für ökologisch klare Wasserverhältnisse, Ausgabe 3/2015
- [MeierGuss 2015] MeierGuss Sales & Logistics GmbH & Co. KG (2015): Produktflyer „BUDAVINCI Straßenablauf mit integriertem Gewässerschutz“

- <http://www.meierguss.de/dezentrale-entwaesserung-flyer.html> (letzter Zugriff: 13.11.2015)
- [Mutz et al 2015] Abschlussbericht des UEP-Projekts IST4R (11325UEPII/2), Kapitel 6 (Ökobilanzierung). TU Berlin.
- [ReCiPe 2015] Normalisation factors for Europe, from excel-file ReCiPe111.xls. www.lcia-recipe.net
- [RiStWag 2002] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2002): Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten
- [Schmitt et al. 2010] Schmitt, T. G.; Welker, A.; Dierschke, M.; Uhl, M.; Maus, C.; Remmler, F. (2010): „Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasser-behandlung im Trennverfahren“ Schlussbericht an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef
- [SenStadtUm 2014] Verkehrslenkung Berlin-Straßenverkehrserhebung VLB C, Verkehrsstärkenkarte 2014, auf der Internetseite der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/verkehr/lenkung/vlb/de/erhebungenn.shtml> (letzter Zugriff: 22.10.2015)
- [Sommer 2007] Sommer, H. (2007): „Behandlung von Straßenabflüssen, Anlagen zur Behandlung und Filtration von Straßenabflüssen in Gebieten mit Trennsystemen, - Neuentwicklungen und Untersuchungen“, Dissertation an der Leibniz Universität Hannover, 2007 <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01dh07/529334100.pdf>
- [Sommer et al. 2010] Sommer, H. (Ingenieurgesellschaft Sieker); Stadtentwässerung Hagen (2010): „Untersuchungen Straßenablauffilter INNOLET“ Juli 2008 – Februar 2010, Abschlussbericht, gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Natur, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, August 2010
- [Sommer et al. 2011] Sommer, H.; Post, M.; Nikisch, N. (2011): „INNOLET G® (getaucht), Entwicklung und Erprobung der INNOLET-Filterpatrone zur Nachrüstung vorhandener Straßengullys mit Nassschlammfang“, Projekt gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (AZ: 26741-23), Endbericht
- [Sommer et al. 2015] Sommer, H.; Post, M.; Estupinan, F. (2015): „Dezentrale Behandlung von Straßenabflüssen – Übersicht verfügbarer Anlagen“, 3. Auflage, Stand 09/2015, erstellt im Rahmen des Umweltentlastungsprogramms der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, gefördert aus den Mitteln des Umweltentlastungsprogrammes durch die Europäische Union
- [Sonnenberg et al. 2013] Sonnenberg, H.; Rustler, M.; Riechel, M.; Caradot, N.; Rouault, P.; Matzinger, A. (2013): “Best data handling practices in water-related research”. Water Practice & Technology 12/2013; 8(3-4):390-398. DOI: 10.2166/wpt.2013.039
- [Stein 2008] Stein, R. (2008): „Auswirkungen optimierter Straßenabläufe auf Feststoffeinträge in Kanalisationen“, Dissertationsschrift der RWTH Aachen

- [Tarboton et al. 2008] Tarboton, D. G., Horsburgh, J. S. and Maidment, D. R. (2008): CUAHSI Community Observations Data Model (ODM), Version 1.1, Design Specifications, <http://his.cuahsi.org/documents/ODM1.1DesignSpecifications.pdf> (Zugriff: 17.11.2015)
- [Tebbe-Neuhaus 2015] M + E Tebbe-Neuhaus GmbH & Co.KG (2015): „Produktdatenblatt Quarzsand-Quarzkies-Testra-Strahlmittel“
- [UBA 2005] UBA Umweltbundesamt (Hg.) (2005): Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden; Unter Mitarbeit von Thomas Hillenbrand, Dominik Toussaint, Eberhard Böhm, Stephan Fuchs, Ulrike Scherer, Alexander Rudolphi, Martin Hoffmann; Dessau; online verfügbar unter www.umweltbundesamt.de; (letzter Zugriff: 12.01.2016)
- [UBA 2010] UBA Umweltbundesamt (Hg.) (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS-Nährstoffe, Schwermetalle und Polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Unter Mitarbeit von Stephan Fuchs, Ulrike Scherer, Ramona Wander, Behrendt, Markus Venohr, Dieter Opitz et al. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter www.umweltbundesamt.de, (letzter Zugriff: 12.01.2016)
- [Uhl et al. 2012] Uhl, Mathias et al. (2012): „Untersuchung des Straßeneinlaufs „Budavinci“ der Firma MeierGuss – Feststoff- und MKW-Rückhalt“. Abschlussbericht FH Münster IWARU –Corrensenstraße 25, Münster, 18. Dezember 2012
- [Uhl et al. 2015] Uhl, Mathias; Langner, Julian (2015): „Untersuchung des Straßeneinlaufs „BUDAVINCI“ Feststoff- und MKW-Rückhalt“, Abschlussbericht, Fachhochschule Münster, Institut für Wasser-Ressourcen-Umwelt, 13.01.2015
- [Umweltpfprobenbank 2015] Umweltpfprobenbank des Bundes: Steckbrief Phenanthren und Fluoranthen <http://www.umweltprobenbank.de/de/documents/profiles/analytes/10086> bzw. <http://www.umweltprobenbank.de/de/documents/profiles/analytes/10088> (letzter Zugriff: 23.10.2015)
- [Quarzwerke 2014] Quarzwerke GmbH (2014) Ferchen, Datenblatt Millisil W4, aus: www.quarzwerke.com/images/pdf/Datenblaetter/1237-MILLISIL-SMH-HPF.pdf
- [VDI 2012] VDI-Richtlinie 4600: 2012-01: Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Berechnungsmethoden. Beuth Verlag, Berlin.
- [Werker et al. 2011] Werker, H.; Twardon, J.; Schmitz, S.; Wehming, U.; Hofmann, J.; Alt, K., Ellerhorst, S., Ingenhaag, S., Bosseler, B., Brennerscheidt, C., Loos, S., Togler, R., Overfeld, H., Treunert, E., Schmitt, T., Scheidt, C., Dierschke, M. und Welker, A. (2011): „Dezentrale Niederschlagswasserbehandlung in Trennsystemen - Umsetzung des Trennerlasses“ Abschlussbericht im Auftrag des MKULNV NRW
- [Wilke 2015] Wilke, Andrea: Aussagen zu Messmethoden; Argus Umweltbiotechnologie GmbH, Berlin, 14.12.2015, Email an Philipp Lau

Anhang

Anhang 1: DIBt-Verfahren

Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) hat die „Zulassungsgrundsätze für Niederschlagswasserbehandlungsanlagen Teil 1: Anlagen zum Anschluss von Kfz-Verkehrsflächen bis 2.000 m² und Behandlung des Abwassers zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser“ (Fassung Februar 2011) ausgearbeitet, an die sich die im Projekt durchgeführten Versuche am Teststand anlehnen. Die Zulassungsgrundsätze definieren Prüfungen zur Umweltverträglichkeit, zum Stoffrückhaltevermögen, zur Identifikation der verwendeten Baustoffe und zum Kolmationsverhalten. Das Stoffrückhaltevermögen ist in den Partikel-, Kohlenwasserstoff- und den Schwermetallrückhalt gegliedert. Partikel- und Kohlenwasserstoffrückhalt werden an der Gesamtanlage getestet. Die Prüfanordnung 1 für die Gesamtanlage besteht im Wesentlichen aus einem regelbaren Wasserzufluss, einem Durchflussmesser, einer Dosiereinrichtung, einem statischen Mischer und der zu prüfenden Anlage. Die Durchführung der Prüfungen zum Stoffrückhaltevermögen ist in vier Teilversuche unterteilt. Die Teilprüfungen 1 bis 3 repräsentieren dabei jeweils ein Drittel des Jahresniederschlagsabflusses. Über die Prüfdauer wird die jeweilige Intensität geregelt. Die Prüfmittel-Zugabe erfolgt ausschließlich in den Teilversuchen 1 bis 3. Die Teilprüfung 4 (hydraulischer Remobilisierungstest) dient als Prüfung, in wie weit bereits abgetrennte Stoffe bei Niederschlagsereignissen mit hohen Intensitäten aus der Anlage ausgetragen werden. [DIBt 2011] Aus Tabelle sind die Prüfregenspenden und Prüfdauern für die jeweiligen Teilversuche zu entnehmen.

Tabelle: DIBt Prüfungsdurchführung nach [DIBt 2011]

Prüfung	Prüf-anordnung	Teilprüfung	Prüfregen-spende [L/(s·ha)]	Prüfdauer [min]
Partikelrückhalt	1	1	2,5	480
		2	6,0	200
		3	25	48
		4	100	15
Kohlenwasserstoffrückhalt	1	1	2,5	200*
		2	6,0	80*
		3	25	20*
		4	100	15*
Schwermetallrückhalt Zink und Kupfer	2	1	2,5	480
		2	6,0	200
		3	25	48
Rücklösung von SM unter Einfluss von Tausalzen	2		25 6**	48 200**

*jedoch mindestens Austausch des 1,5-fachen Volumens der Anlage

**nach Zulassungsgrundsätzen Fassung 2015 [DIBt 2015]

Zur Prüfung des Partikelrückhalts (Parameter: AFS) wird eine Jahresfracht an Feinpartikeln von 50 g/m² Anschlussfläche angegeben. Als AFS-Prüfstoff wird das Quarzmehl Millisil W4 mit einer Dichte von 2,65 g/cm³ und einem definierten Korndurchmesser von 2 bis 400 µm verwendet. Die Jahresfracht wird im Verhältnis 3:2:1 auf die Teilprüfungen 1 bis 3 verteilt. Die Zugabe erfolgt kontinuierlich. Zwischen Teilprüfung 3 und 4 muss ein Ruhezeitraum von 16 bis 24 h eingehalten werden. Zur Bestimmung des Partikelrückhaltes sind Wasserproben in Glasflaschen zur AFS-Bestimmung in definierten Abständen am Ablauf zu entnehmen. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn ein Gesamtrückhalt von 92 % nicht unterschritten wird (AFS-Durchgang ≤ 8 %) bzw. wenn eine Ablauffracht einer Teilprüfung den vorgegebenen Prüfwert überschreitet, darf sie das Zweifache des Prüfwertes nicht überschreiten (AFS-Durchgangswert ≤ 16 %). [DIBt 2011]

Die Prüfung des Kohlenwasserstoffrückhaltes erfolgt mit einer MKW-Jahreskonzentration von 0,68 g/m² angeschlossener Fläche. Als Prüfstoff wird Heizöl EL nach DIN 51603 verwendet. In den Teilprüfungen 1-3 wird jeweils ein Drittel der Jahresfracht bezogen auf die maximale Anschlussfläche zugegeben. Es werden pro Teilprüfung zwei Mischproben aus dem Volumenstrom oder mit Hilfe einer Probenahmeverrichtung nach DIN EN 858-1 entnommen. Direkt nach der Teilprüfung 3 ist die Teilprüfung 4 durchzuführen. Nach Erreichen des geforderten Durchflusses sind insgesamt 4 Doppelproben in gleichmäßigen Abständen zu entnehmen. Die Prüfung ist bestanden, wenn die MKW-Gesamtablauffracht ≤ 20 % von 0,68 g/m² und die MKW-Ablauffracht jeder einzelnen Mischprobe ≤ 40 % von 0,68 g/m² ist. [DIBt 2011]

Über die folgende Formel wird die gemittelte Gesamtablauffracht bzw. die gemittelte Gesamtablaufkonzentration berechnet. Der hydraulische Remobilisierungstest (Teilprüfung 4) wird zur Hälfte eingerechnet. [DIBt 2011]

Gemittelte Gesamtablauffracht:

$$B_{ges} = V_{Pr,1} * C_1 + V_{Pr,2} * C_2 + V_{Pr,3} * C_3 + 0,5 * (V_{Pr,4} * C_4)$$

Gemittelte Gesamtablaufkonzentration:

$$C_{ges} = \frac{B_{ges}}{V_{Pr,1} + V_{Pr,2} + V_{Pr,3} + V_{Pr,4}}$$

B_{ges} Gemittelte Gesamtablauffracht [mg]

C_{ges} Gemittelte Gesamtablaufkonzentration [mg/L]

$V_{Pr,n}$ Beschickungsvolumen der Teilprüfung n [L]

C_n Gemittelte Ablaufkonzentration der Teilprüfung n [mg/L]

Der Schwermetallrückhalt wird anhand eines verkleinerten Filterelements an einem Teststand bestehend aus einem Vorlagebehälter, einer Pumpe und einem Durchflussmesser geprüft

(Prüfanordnung 2). Die Prüfung des Schwermetall-Rückhalts erfolgt mit einer durchschnittlichen Zink-Jahresfracht von 135 mg/m² und einer durchschnittlichen Kupfer-Jahresfracht von 15,5 mg/m². Die Zufluss-Konzentrationen betragen mit einem spezifischen Beschickungsvolumen von 21,6 L/m² (Teilprüfung 1 bis 3) für Zink 6,25 mg/L und für Kupfer 0,72 mg/L. Die Probenahme ist in den Zulassungsgrundsätzen definiert. Die Schwermetalllösung wird mit flüssigen Standards oder Salzen in entionisiertem Wasser angesetzt. Der pH-Wert ist zwischen 4,5 und 5,2 einzustellen. Die Konzentration jeder einzelnen Teilprüfung ergibt sich aus dem arithmetischen Mittelwert aller Einzelproben. Die Gesamtkonzentration bildet sich jeweils für Kupfer und Zink aus dem Mittelwert der gemittelten Konzentration der drei Teilprüfungen. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn die Gesamtkonzentration die zulässige Zink-Ablaufkonzentration von 1875 µg/L bzw. die zulässige Kupfer-Ablaufkonzentration von 144 µg/L nicht überschreitet und zusätzlich keine Teilprüfungskonzentration das Zweifache der jeweiligen zulässigen Ablaufkonzentrationen überschreitet. Der Mindestrückhalt beträgt für Zink 70 % und für Kupfer 80 %. 16-72 Stunden nach der Teilprüfung 3 erfolgt nach definierter Vorspülung und mit definierter Probenahme die Prüfung unter Tausalz-Einfluss mit einer Zufluss-Konzentration von 10 g/L (Natriumchlorid nach TL Streu). Die Prüfung ist bestanden, wenn keine der gemittelten Konzentrationen der Doppelbestimmungen das Zweifache der zulässigen Ablaufkonzentrationen ($c_{Zn_Ablauf} \leq 500 \mu\text{g}/\text{L} + c_{Zn_Tausalzlösung}$; $c_{Cu_Ablauf} \leq 50 \mu\text{g}/\text{L} + c_{Cu_Tausalzlösung}$) überschreitet und die gemittelte Gesamtkonzentration aller Einzelproben die zulässige Ablaufkonzentration ($c_{Zn_Ablauf} \leq 500 \mu\text{g}/\text{L} + c_{Zn_Tausalzlösung}$; $c_{Cu_Ablauf} \leq 50 \mu\text{g}/\text{L} + c_{Cu_Tausalzlösung}$) nicht überschreitet. [DIBt 2015]

Anhang 2: Ergänzung Parameter Mikroplastik

Da Mikroplastik ein weitgehend unerforschter Parameter der Siedlungswasserwirtschaft ist, wurde in der ersten Jahreshälfte 2015 der Parameter Mikroplastik in das Projekt DSWT mit aufgenommen.

Durch die vielseitigen Materialeigenschaften, bei gleichzeitig geringen Materialkosten, sind Kunststoffe beinahe in allen Bereichen der Materialanwendung präsent. Die steigende Verwendung von synthetischen Kunststoffen seit über ca. 60 Jahren hat auch zu einer Anreicherung in der Umwelt geführt. [Holm et al. 2013] Nach der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (2008/56/EG) werden Partikel < 5 mm in der Umwelt als Mikroplastikpartikel verstanden, außerdem werden Partikel in Meso- und Makroplastik unterteilt. [Essel et al. 2015]

Mikroplastik kann in primäres und sekundäres Mikroplastik eingeteilt werden. Primäres Mikroplastik beschreibt Partikel, die beispielsweise als Grundmaterial für die Produktion von Kunststoffprodukten oder als Füllstoffe eingesetzt werden. Als sekundäres Mikroplastik werden die Fragmente oder Fasern von Kunststoffprodukten verstanden, die durch Degradation größerer Plastikpartikel entstehen. [Hidalgo-Ruz et al. 2012]

Mikroplastik kann eine Gefahr für die aquatischen Organismen darstellen. Kleine Partikel können von aquatischen Lebewesen aufgenommen werden und zu mechanischen Verletzungen oder zu erhöhter Schadstoffbelastung durch Adsorption von POPs (persistente organische Schadstoffe) an die Partikel führen [Holm et al. 2013].

Über den **Wasserpfad** kann Mikroplastik grundsätzlich auf drei Wege in limnische und damit mittelbar in marine Systeme gelangen [Bannick et.al 2015]:

1. über einen nicht ausreichenden Rückhalt in Kläranlagen und Eintrag mit dem behandeltem Abwasser,
2. über Mischwasserentlastungen
3. über unbehandeltes Niederschlagswasser aus der Trennkanalisation.

Es wurde angenommen, dass der Abfluss des Betriebshofs der BSR in der Treffurter Straße den anfallenden Reifenabrieb in die entsprechende Kanalisation einbringen würde. Der Anteil des Reifenabriebs sollte im Rahmen zusätzlicher Messungen untersucht werden. Untersuchungen von Mintening et al. (2014) zur Analyse von Mikroplastik aus Kläranlagenabläufen haben gezeigt, dass Probenvolumen von bis zu 1000 l benötigt werden um Mikroplastikpartikel nachweisen zu können. Im Bereich des Regenabflusses wurden 200 l als auswertbares Probenvolumen angenommen. Um das Probenvolumen aufzukonzentrieren, war angedacht eine Hochleistungsmembran in Kombination mit einer Hochdruckpumpe zu verwenden. Leider hat sich herausgestellt, dass es an der Probenahmestelle der Treffurter Straße nicht ohne bauliche Veränderungen der Teststrecke, welche die Vergleichbarkeit der weiteren Parameter infrage gestellt hätten, möglich war entsprechende Probenvolumina zu gewinnen.

Um die Ergebnisse des laufenden Projektes nicht zu gefährden, wurde entschieden, die Teststrecke nicht zu verändern. Für zukünftige Untersuchungen des Parameters Mikroplastik scheint die Infrastruktur aus dem Projekt DSWT sehr gut geeignet, weshalb weiterhin Untersuchungen in diese Richtung angestrebt werden.

[Holm et al. 2013]	Holm, Patricia ; Schulz, Gerhard ; Athanasopulu, Kiriaki (2013): Meeresverschmutzung der neuen Art: „Mikroplastik - ein unsichtbarer Störnfried“ In: Biologie unserer Zeit 43, Nr. 1, S. 27-33
[Essel et al. 2015]	Essel Roland; Engel Linda; Carus Michael, Ahrens Ralph Heinrich (2015): „Quellen für Mikroplastik mit Relevanz für den Meeresschutz in Deutschland“, Text 63/2015 UBA; ISSN 1862-4804, online verfügbar unter: http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/quellen-fuer-mikroplastik-relevanz-fuer-den . (Zuletzt aufgerufen am 02.10.2015)
[Hidalgo-Ruz et al. 2012]	Hidalgo-Ruz, Valeria ; Gutow, Lars ; Thompson, Richard C. ; Thiel, Martin (2012): "Microplastics in the Marine Environment: A Review of

the Methods Used for Identification and Quantification" In: Environmental Science & Technology 46, Nr. 6, S. 3060 3075

[Bannick et al. 2015]

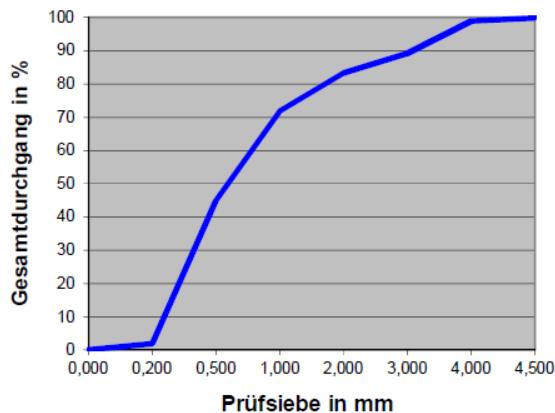
Bannick, Claus Gerhard; Brand, Kathrin; Jekel, Martin; König, Fabian; Miklos, David; Rechenberg, Bettina (2015): „Kunststoffe in der Umwelt“; Fachbeitrag in der Korrespondenz Abwasser, Januar 2015 (62) Nr. 1

[Mintening et al. 2014]

Mintening, Svenja; Int-Veen, Ivo; Löder, Martin; Gerdts, Gunnar (2014): „Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen Probenanalyse mittels Mikro - FTIR Spektroskopie“ Abschlussbericht unter: http://www.awi.de/fileadmin/user_upload/News/Press_Releases/2014/4_Quartal/Mikroplastik_Klaeranlagen/Abschlussbericht_Mikroplastik_in_Klaeranlagen.pdf, 08.10.2014, (Zuletzt abgerufen am 22.11.2014)

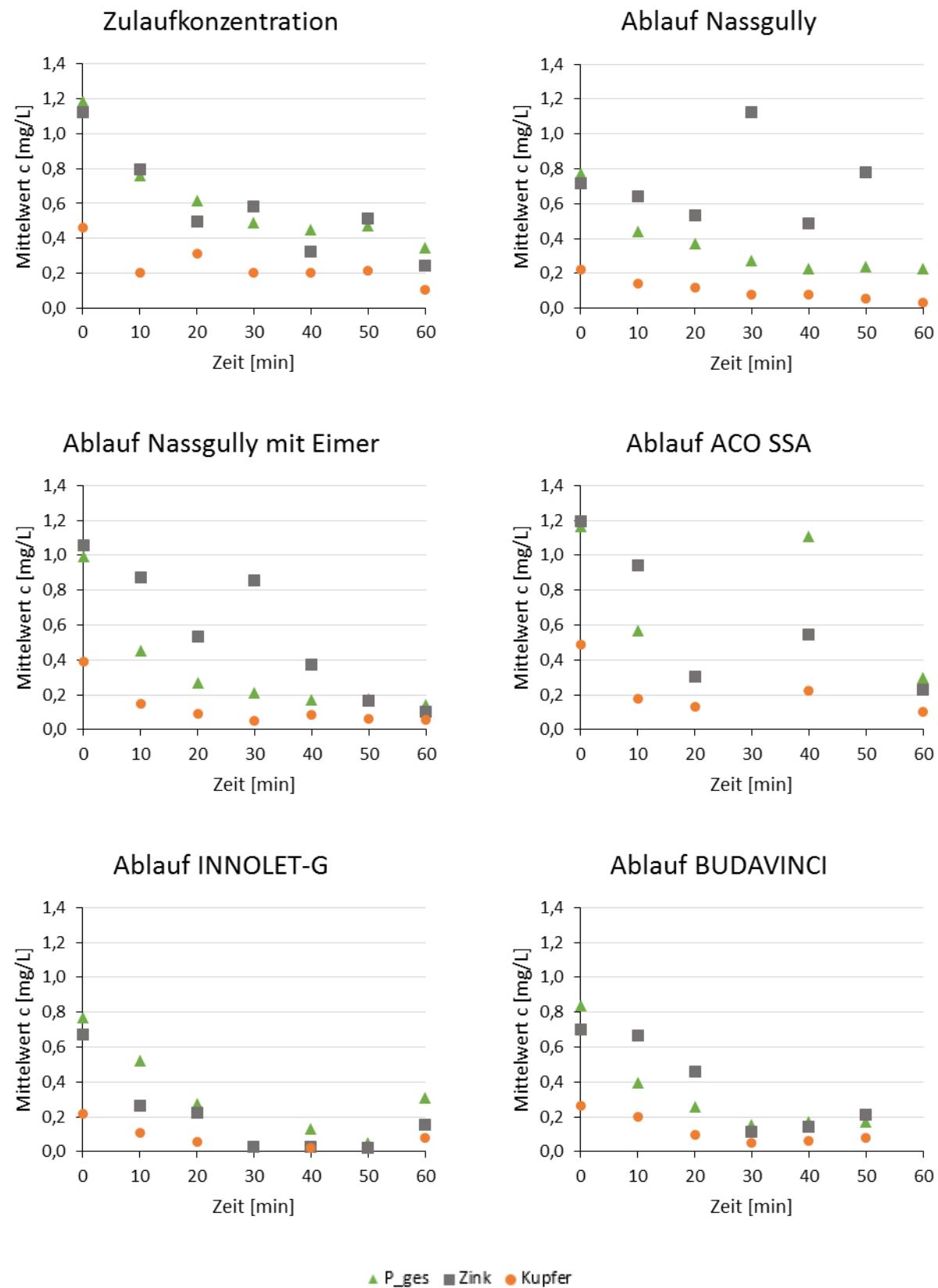
Anhang 3: Korngrößenverteilung und Sieblinie Sand-Kies-Gemisch Testra-Strahlmittel der Fa. M+E Tebbe-Neuenhaus gmbH & Co. KG [Tebbe-Neuhaus 2015]

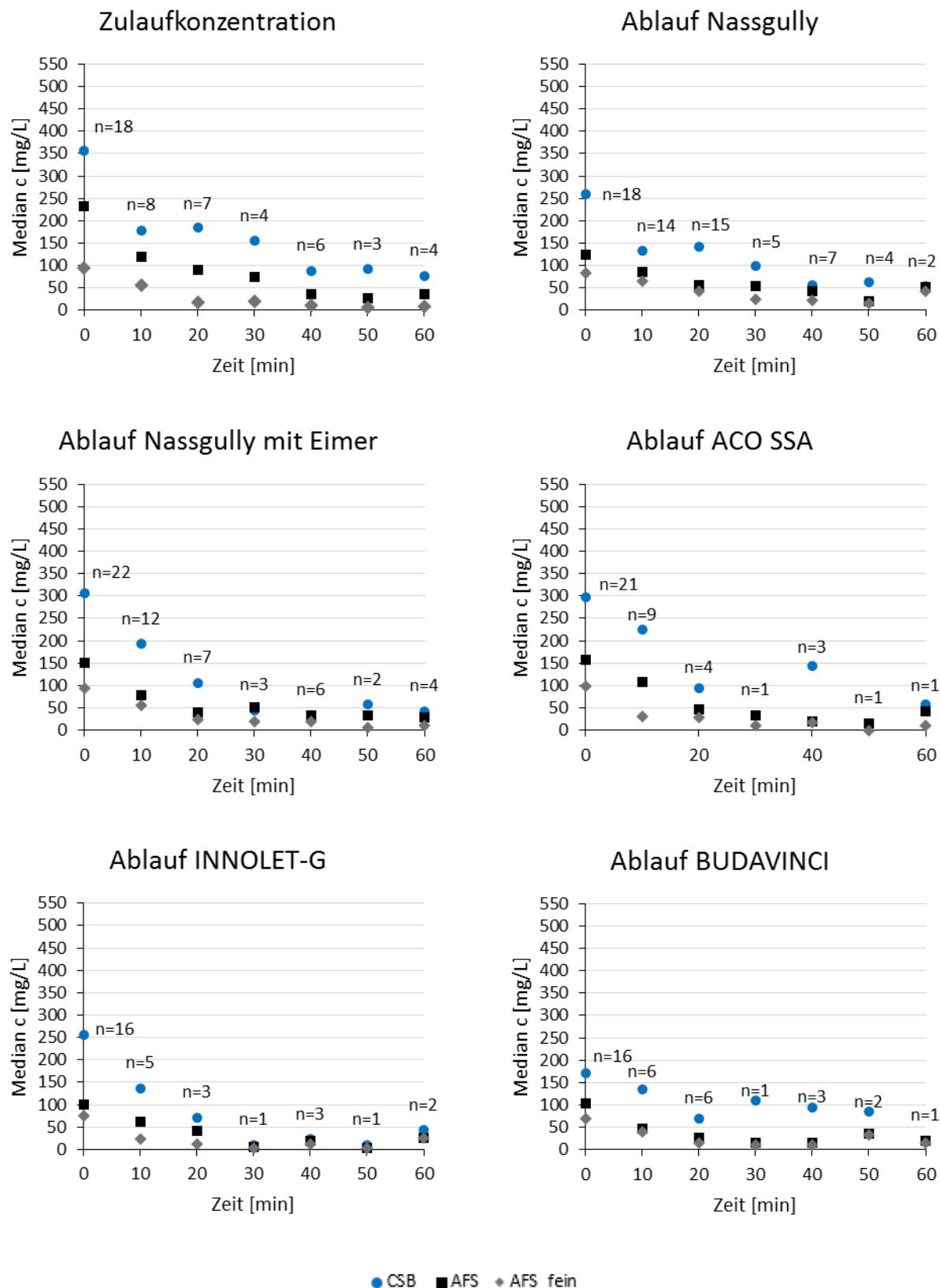
Analyse vom: 21.04.2015		
Prüfsiebe in mm	Rückstand auf in Gew.-%	Gesamtdurchgang in Gew.-%
0,000	2,0	0,0
0,200	43,0	2,0
0,500	26,9	45,0
1,000	11,5	71,9
2,000	5,9	83,4
3,000	9,6	89,3
4,000	1,0	99,0
4,500	0,1	100,0



Anhang 4: Korngrößenverteilung Millisil W4 [Quarzwerke 2014]

Korndurchmesser [μm]	Rückstand [%]	Korndurchmesser [μm]	Rückstand [%]
400	0,1	40	66
315	0,2	32	70
200	4	16	80
160	10	8	88
125	22	6	91
100	30	4	93
63	51	2	96

Anhang 5: Zulauf- und Ablaufkonzentrationen 60-Minuten-Verauf (Mittelwert), (P_{ges} , Zn und Cu)

Anhang 6: Zulauf- und Ablaufkonzentrationen 60-Minuten-Verauf (Median), (AFS, AFS fein, CSB)

Anhang 7: Clayallee Regenschreiber Wil a Liste der beprobten Niederschlagsereignisse

Ereignisstart [dd.mm.jjjj hh:mm]	Ereignis Ende [dd.mm.jjjj hh:mm]	Dauer [h]	Trockenzeit vorher [h]	Max N [mm/5min]	MW N [mm/5min]	Σ N [mm]
25.07.2014 12:15	25.07.2014 22:35	10,4	8,3	2,3	0,09	10,9
13.08.2014 20:15	14.08.2014 02:30	6,3	33,6	0,3	0,09	7,0
16.08.2014 14:35	16.08.2014 16:40	2,2	26,8	0,5	0,06	1,5
31.08.2014 05:40	31.08.2014 11:45	6,2	4,8	0,5	0,04	2,7
10.09.2014 13:20	10.09.2014 20:30	7,3	85,9	2,4	0,07	5,8
14.09.2014 06:20	14.09.2014 10:55	4,7	42,3	1,2	0,13	7,4
20.09.2014 07:05	20.09.2014 13:40	6,7	21,1	0,6	0,04	3,6
22.09.2014 16:15	22.09.2014 21:30	5,3	50,5	0,4	0,03	2,1
25.09.2014 13:35	25.09.2014 21:30	8,0	64,0	0,4	0,02	1,7
08.10.2014 15:40	08.10.2014 20:45	5,2	15,3	0,4	0,08	5,1
11.10.2014 02:55	11.10.2014 10:10	7,3	27,4	1,0	0,17	15,0
11.12.2014 17:00	11.12.2014 17:50	0,9	4,2	1,7	0,41	4,5
09.01.2015 14:15	09.01.2015 18:35	4,4	15,1	0,9	0,23	12,4
01.03.2015 20:15	01.03.2015 21:30	1,3	6,9	1,5	0,17	2,8
02.03.2015 23:05	03.03.2015 04:50	5,8	16,4	0,4	0,06	4,0
04.03.2015 14:55	04.03.2015 19:30	4,7	16,6	0,6	0,06	3,6
27.03.2015 13:15	27.03.2015 13:20	0,2	18,2	0,2	0,15	0,3
31.03.2015 05:10	31.03.2015 15:55	10,8	12,4	0,7	0,06	7,3
11.04.2015 17:35	11.04.2015 18:55	1,4	210,3	0,6	0,06	1,0
30.04.2015 14:00	01.05.2015 01:35	11,7	49,2	0,7	0,06	8,0
12.05.2015 17:45	12.05.2015 20:15	2,6	73,3	1,9	0,18	5,6
13.06.2015 14:05	13.06.2015 21:05	7,1	284,0	7,9	0,46	38,8
20.06.2015 09:20	20.06.2015 17:20	8,1	52,4	0,4	0,03	3,3
22.06.2015 16:10	23.06.2015 17:45	25,7	11,8	1,2	0,05	14,4
27.06.2015 17:30	27.06.2015 19:05	1,7	7,2	0,8	0,18	3,5
04.07.2015 20:40	05.07.2015 02:30	5,9	169,5	3,9	0,12	8,2
07.07.2015 19:55	07.07.2015 22:00	2,2	39,5	0,5	0,12	3,0
09.07.2015 04:50	09.07.2015 06:00	1,3	21,2	1,0	0,28	4,2
13.07.2015 15:30	14.07.2015 02:00	10,6	5,0	1,2	0,07	9,5
14.07.2015 07:20	14.07.2015 15:15	8,0	5,3	1,5	0,07	6,8
19.07.2015 10:25	19.07.2015 11:45	1,4	80,3	1,6	1,07	18,2
22.07.2015 23:15	23.07.2015 01:50	2,7	34,7	2,2	0,41	13,1

Anhang 8: Clayallee Regenschreiber Wil a Liste der Niederschlagsereignisse für Rückhaltbestimmung

Ereignisstart [dd.mm.jjjj hh:mm]	Ereignis Ende [dd.mm.jjjj hh:mm]	Dauer [h]	Trockenzeit vorher [h]	Max N [mm/5min]	MW N [mm/5min]	Σ N [mm]
16.08.2014 14:35	16.08.2014 16:40	2,2	26,8	0,5	0,06	1,5
31.08.2014 05:40	31.08.2014 11:45	6,2	4,8	0,5	0,04	2,7
10.09.2014 13:20	10.09.2014 20:30	7,3	85,9	2,4	0,07	5,8
20.09.2014 07:05	20.09.2014 13:40	6,7	21,1	0,6	0,04	3,6
11.12.2014 17:00	11.12.2014 17:50	0,9	4,2	1,7	0,41	4,5
09.01.2015 14:15	09.01.2015 18:35	4,4	15,1	0,9	0,23	12,4
04.03.2015 14:55	04.03.2015 19:30	4,7	16,6	0,6	0,06	3,6
31.03.2015 05:10	31.03.2015 15:55	10,8	12,4	0,7	0,06	7,3
22.06.2015 16:10	23.06.2015 17:45	25,7	11,8	1,2	0,05	14,4
14.07.2015 07:20	14.07.2015 15:15	8,0	5,3	1,5	0,07	6,8
19.07.2015 10:25	19.07.2015 11:45	1,4	80,3	1,6	1,07	18,2
22.07.2015 23:15	23.07.2015 01:50	2,7	34,7	2,2	0,41	13,1

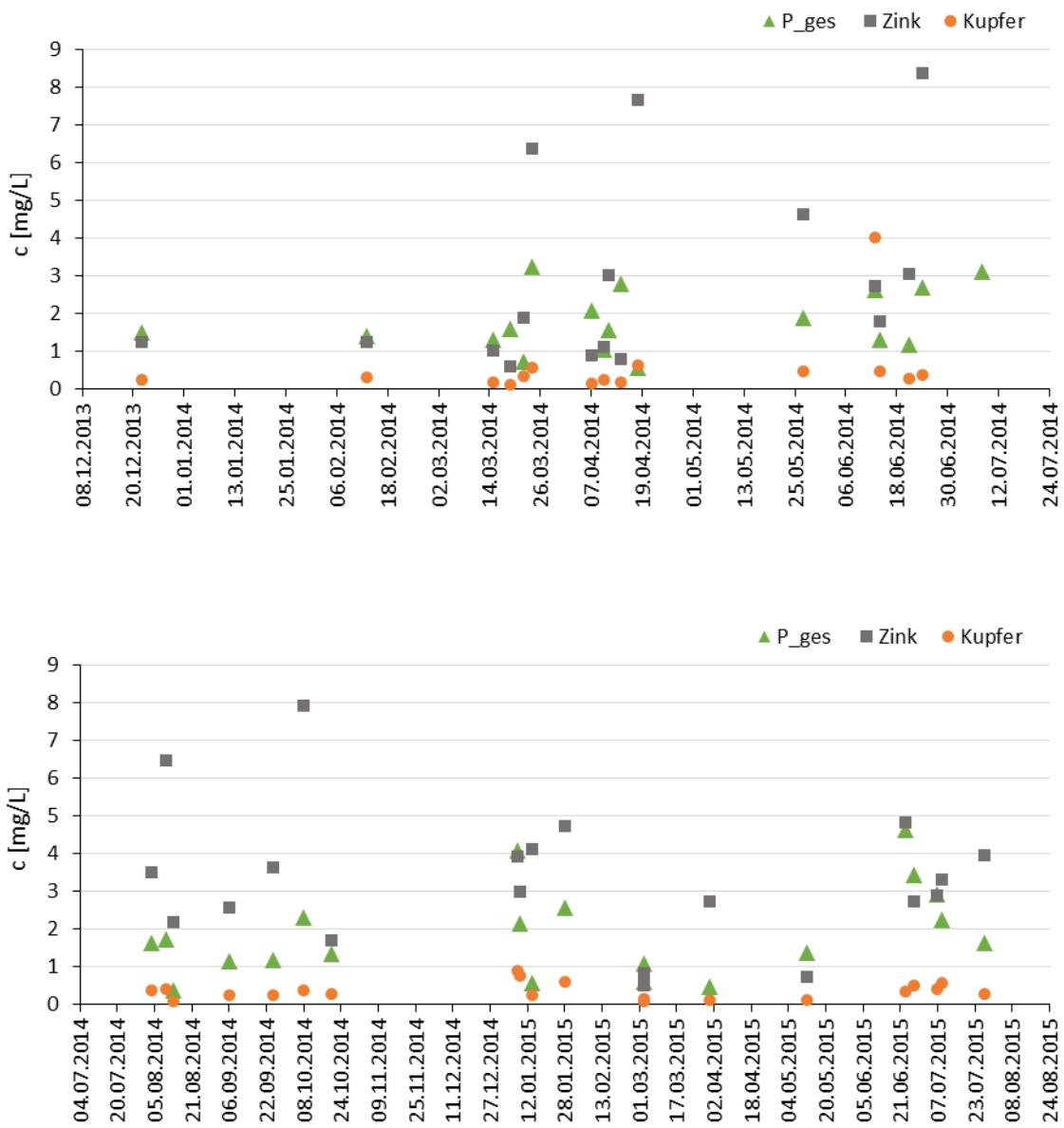
Anhang 9: Clayallee Ereignisse mit Probenanzahl für Rückhaltbestimmung

	Nassgully ohne Eimer	Nassgully mit Eimer	ACO SSA	INNOLET-G	BUDAVINC I	Proben-anzahl
Ereignis	n=3	n=5	n=5	n=7	n=4	
16.08.2014			x			2
31.08.2014		x	x	x		1
10.09.2014		x	x	x	x	1
20.09.2014				x		1
11.12.2014				x	x	1
09.01.2015		x				1
04.03.2015				x		1
31.03.2015	x			x		2
23.06.2015			x		x	2
14.07.2015	x					1
19.07.2015	x	x		x	x	1
23.07.2015		x	x			6

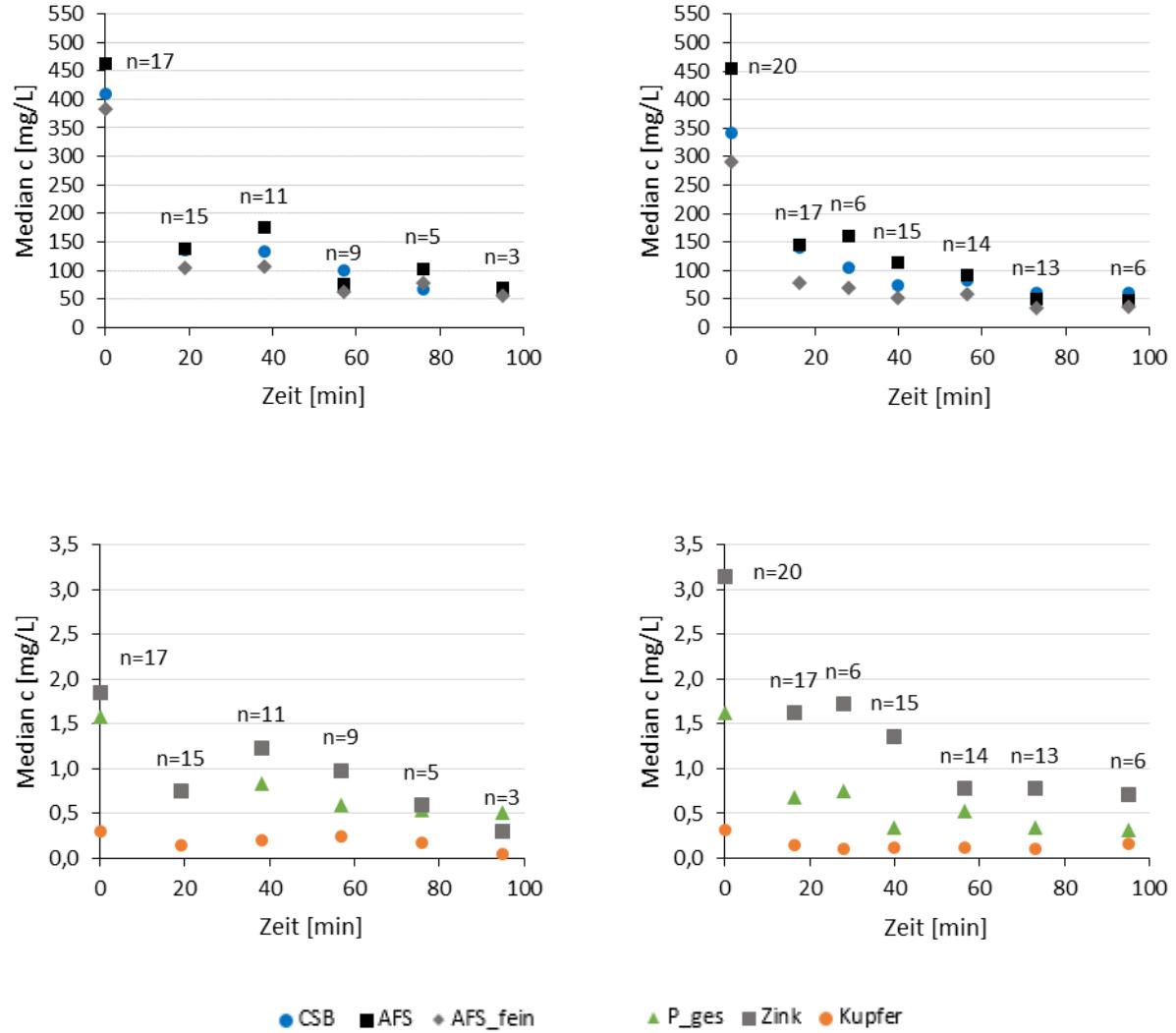
Anhang 10: Treffurter Straße Regenschreiber Hsch Liste der beprobten Niederschlagsereignisse

Ereignisstart [dd.mm.jjjj hh:mm]	Ereignis Ende [dd.mm.jjjj hh:mm]	Dauer [h]	Trockenzeit vorher [h]	Max N [mm/5min]	MW N [mm/5min]	Σ N [mm]
22.12.2013 04:45	22.12.2013 06:55	2,3	163,4	0,3	0,10	2,8
13.02.2014 20:25	13.02.2014 21:30	1,2	119,3	0,1	0,07	1,0
15.03.2014 04:25	15.03.2014 04:50	0,5	238,8	0,1	0,07	0,4
19.03.2014 00:25	19.03.2014 03:55	3,6	76,2	0,2	0,04	1,7
22.03.2014 12:30	22.03.2014 14:35	2,2	27,4	0,2	0,05	1,4
24.03.2014 12:20	24.03.2014 20:55	8,7	56,4	1,2	0,17	18,1
07.04.2014 02:45	07.04.2014 06:30	3,8	52,5	0,5	0,11	4,9
10.04.2014 04:00	10.04.2014 06:40	2,8	17,4	0,5	0,05	1,8
11.04.2014 19:05	12.04.2014 02:30	7,5	46,5	0,3	0,03	2,8
14.04.2014 03:45	14.04.2014 10:50	7,2	33,8	0,5	0,07	5,8
18.04.2014 02:35	18.04.2014 05:10	2,7	63,6	0,2	0,09	2,8
27.05.2014 14:50	29.05.2014 00:05	33,3	126,6	0,5	0,05	19,7
13.06.2014 12:25	13.06.2014 13:25	1,1	49,8	0,9	0,25	3,3
14.06.2014 09:55	14.06.2014 15:30	5,7	27,1	0,9	0,08	5,5
21.06.2014 17:50	21.06.2014 18:00	0,3	8,0	0,2	0,13	0,4
24.06.2014 07:15	24.06.2014 12:25	5,3	52,2	0,3	0,02	1,3
08.07.2014 06:15	08.07.2014 08:45	2,6	19,3	1,4	0,11	3,5
08.07.2014 15:10	08.07.2014 21:20	6,3	15,1	5,9	0,21	15,8
09.07.2014 15:10	09.07.2014 20:10	5,1	29,0	9,3	0,35	21,3
04.08.2014 13:30	04.08.2014 14:40	1,3	20,8	0,1	0,06	0,9
10.08.2014 21:50	11.08.2014 00:15	2,5	26,1	0,5	0,08	2,3
13.08.2014 20:45	14.08.2014 04:30	7,8	42,0	0,4	0,06	5,8
06.09.2014 23:15	07.09.2014 00:50	1,7	125,3	0,1	0,02	0,4
25.09.2014 13:15	25.09.2014 13:50	0,7	68,0	0,3	0,06	0,5
08.10.2014 15:50	08.10.2014 21:05	5,3	20,8	0,5	0,08	5,4
20.10.2014 23:15	21.10.2014 06:45	7,6	16,7	0,5	0,03	2,9
08.01.2015 14:10	08.01.2015 23:20	9,3	38,7	0,2	0,45	4,9
09.01.2015 13:55	09.01.2015 17:15	3,4	27,1	0,5	0,13	5,3
14.01.2015 19:20	14.01.2015 20:50	1,6	21,9	0,2	0,03	0,6
28.01.2015 20:40	28.01.2015 23:40	3,1	40,2	0,3	0,17	6,3
03.03.2015 04:50	03.03.2015 06:15	1,5	6,5	0,2	0,07	1,3
03.03.2015 19:15	03.03.2015 22:40	3,5	17,8	0,3	0,04	1,7
27.03.2015 13:35	27.03.2015 17:45	4,3	22,4	1,5	0,06	3,1
12.05.2015 17:50	12.05.2015 20:20	2,6	125,2	1,8	0,14	4,4
13.06.2015 14:50	13.06.2015 21:45	7,0	41,3	3,5	0,11	9,5
19.06.2015 12:35	19.06.2015 12:35	0,1	35,8	0,1	0,10	0,1
27.06.2015 14:45	28.06.2015 00:00	9,3	82,5	1,1	0,03	2,9
07.07.2015 20:15	07.07.2015 22:05	1,9	48,3	0,3	0,08	1,8
09.07.2015 05:05	09.07.2015 06:10	1,2	23,4	0,2	0,11	1,6
19.07.2015 10:45	19.07.2015 12:10	1,5	22,0	1,9	0,61	11,0
23.07.2015 00:10	23.07.2015 01:45	1,7	37,2	3,3	0,50	10,0
27.07.2015 18:15	27.07.2015 21:00	2,8	44,6	0,2	0,03	0,9

Anhang 11: Treffurter Str. vor INNOLET-Einbau (oben) nach INNOLET-Einbau (unten), Konzentration der ersten Probe (P_{ges} , Zink und Kupfer)



Anhang 12: Treffurter Straße Ablaufkonzentrationen (Median) vor INNOLET-Einbau (linke Abb.) und nach INNOLET-Einbau (rechte Abb.)



Anhang 13: Frachten Straßenabschnitt Clayallee mit Straßenreinigung (StrReinEff. 10%)

SR	Varianten	P [kg/a]	AFS [kg/a]	CSB [kg/a]	Cu [kg/a]	Zn [kg/a]
keine	ohne	0,17	18,03	10,44	0,0053	0,042
	SA Rück 10%	0,15	16,22	9,4	0,0048	0,038
	SA Rück 60%	0,068	7,21	4,176	0,0021	0,017
0,5/Wo	ohne	0,16	16,65	9,71	0,0051	0,04
	SA Rück 10%	0,14	14,98	8,74	0,0046	0,036
	SA Rück 60%	0,063	6,66	3,884	0,002	0,016
1/Wo	ohne	0,15	15,3	9,02	0,0048	0,038
	SA Rück 10%	0,13	13,77	8,11	0,0043	0,034
	SA Rück 60%	0,058	6,12	3,608	0,0019	0,015
2/Wo	ohne	0,13	13,3	7,97	0,0045	0,035
	SA Rück 10%	0,12	11,97	7,17	0,004	0,032
	SA Rück 60%	0,052	5,32	3,188	0,0018	0,014

*SA Rück: Straßenablauf Rückhalt

Anhang 14: Frachten Straßenabschnitt Clayallee mit Straßenreinigung (StrReinEff. 70%)

SR	Varianten	P [kg/a]	AFS [kg/a]	CSB [kg/a]	Cu [kg/a]	Zn [kg/a]
keine	ohne	0,17	18,03	10,44	0,0053	0,042
	SA Rück 10%	0,15	16,22	9,4	0,0048	0,038
	SA Rück 60%	0,068	7,21	4,176	0,0021	0,017
0,5/Wo	ohne	0,14	14,57	8,61	0,0047	0,037
	SA Rück 10%	0,13	13,11	7,75	0,0043	0,034
	SA Rück 60%	0,056	5,83	3,444	0,0019	0,015
1/Wo	ohne	0,11	11,51	7,03	0,0042	0,033
	SA Rück 10%	0,1	10,36	6,33	0,0038	0,03
	SA Rück 60%	0,046	4,6	2,812	0,0017	0,013
2/Wo	ohne	0,086	8,16	5,28	0,0036	0,028
	SA Rück 10%	0,077	7,35	4,76	0,0032	0,025
	SA Rück 60%	0,034	3,27	2,112	0,0014	0,011

*SA Rück: Straßenablauf Rückhalt

Anhang 15: Frachten je Anlage im EZG Pücklerteich mit Straßenreinigung (StrReinEff. 40%)

SR	Varianten	P [kg/a]	AFS [kg/a]	CSB [kg/a]	Cu [kg/a]	Zn [kg/a]
Keine	ohne	134	6901	9633	6,3	35,4
	Nassgully	131	5388	9209	5,8	31,2
	RBF	57	2437	4547	2,8	13,9
	RKB	90	2795	6358	2,8	26,1
1/Wo	ohne	118	5637	8673	6,1	33,3
	Nassgully	117	4617	8374	5,7	29,9
	Nassgully mEimer	105	4147	8305	5,7	30,3
	ACO SSA	107	4382	8282	5,9	31,9
	INNOLET-G	102	4382	7983	5,8	30,6
	Budavinci Typ-N	105	4722	8144	5,6	29,0
	RBF	50	1991	4094	2,7	13,1
	RKB	80	2283	5724	2,7	24,5
2/Wo	ohne	110	4954	8149	6,0	32,1
	Nassgully	108	4200	7918	5,6	29,1
	Nassgully mEimer	99	3853	7865	5,7	29,5
	ACO SSA	101	4027	7847	5,8	30,9
	INNOLET-G	98	4027	7616	5,7	29,7
	Budavinci Typ-N	100	4278	7740	5,6	28,3
	RBF	47	1750	3846	2,6	12,6
	RKB	74	2006	5378	2,7	23,6

Anhang 16: Frachten EZG Pücklerteich mit Straßenreinigung (StrReinEff. 10%)

SR	Varianten	P [kg/a]	AFS [kg/a]	CSB [kg/a]	Cu [kg/a]	Zn [kg/a]
keine	ohne	134	6901	9633	6,3	35,4
	SA Rück 10%	128	6513	9307	6,2	34,2
	SA Rück 60%	100	4418	7546	5,5	28,0
	RBF	57	2437	4547	2,8	13,9
	RKB	90	2795	6358	2,8	26,1
0,5/Wo	ohne	130	6597	9405	6,3	34,9
	SA Rück 10%	125	6239	9101	6,1	33,8
	SA Rück 60%	98	4309	7464	5,5	27,8
	RBF	55	2330	4439	2,7	13,7
	RKB	88	2672	6207	2,8	25,7
1/Wo	ohne	126	6315	9189	6,2	34,4
	SA Rück 10%	122	5986	8907	6,1	33,4
	SA Rück 60%	97	4208	7386	5,4	27,7
	RBF	54	2231	4337	2,7	13,5
	RKB	86	2558	6064	2,8	25,4
2/Wo	ohne	121	5888	8862	6,2	33,7
	SA Rück 10%	117	5602	8613	6,0	32,7
	SA Rück 60%	95	4054	7268	5,4	27,4
	RBF	52	2080	4183	2,7	13,2
	RKB	82	2385	5849	2,8	24,8

*SA Rück: Straßenablauf Rückhalt

Anhang 17: Frachten EZG Pücklerteich mit Straßenreinigung (StrReinEff. 70%)

SR	Varianten	P [kg/a]	AFS [kg/a]	CSB [kg/a]	Cu [kg/a]	Zn [kg/a]
keine	ohne	134	6901	9633	6,3	35,4
	SA Rück 10%	128	6513	9307	6,2	34,2
	SA Rück 60%	100	4418	7546	5,5	28,0
	RBF	57	2437	4547	2,8	13,9
	RKB	90	2795	6358	2,8	26,1
0,5/Wo	ohne	125	6140	9060	6,2	34,2
	SA Rück 10%	120	5828	8792	6,1	33,2
	SA Rück 60%	97	4144	7340	5,4	27,6
	RBF	53	2169	4277	2,7	13,4
	RKB	84	2487	5980	2,8	25,2
1/Wo	ohne	117	5499	8568	6,1	33,1
	SA Rück 10%	113	5251	8349	6,0	32,2
	SA Rück 60%	94	3914	7162	5,4	27,2
	RBF	50	1942	4044	2,7	13,0
	RKB	79	2227	5655	2,7	24,4
2/Wo	ohne	108	4788	8022	6,0	31,8
	SA Rück 10%	105	4612	7857	5,9	31,0
	SA Rück 60%	90	3658	6966	5,4	26,7
	RBF	46	1691	3787	2,6	12,5
	RKB	73	1939	5295	2,7	23,4

*SA Rück: Straßenablauf Rückhalt

Anhang 18: Wartungsarbeiten für die einzelnen dezentralen Anlagen, Wartung nach ½ Jahr

Wartung 1/2 Jahr			Clayallee					
			1 Zulauf	2 Nassgully ohne Eimer	3 Nassgully mit Eimer	4 ACO SSA	5 INNOLET-G Berlin	6 Budavinci-N extern
Gitterrost		Rausheben, Reinigen, Einsetzen	x	x	x	x	x	x
Eimer	klein	Entnehmen, Ausleeren, Entsorgen, Einsetzen						x
	groß	Entnehmen, Ausleeren, Entsorgen, Einsetzen			x	x		
Turbulenzminderer (ACO SSA)		Entnehmen, Reinigen, Einsetzen			x			
Filterpatrone (INNOLET)		Entnehmen, Reinigen, (wieder) Einsetzen					x	
Umlenkplatte (Budavinci)		Herausnehmen, Einsetzen						x
Budavinci Filter		Entnehmen Reinigen, Einsetzen						
		Entnehmen Reinigen, Einsetzen, Extern (ohne Anfahrt)						x
Schlammraum	1	Aussaugen		x	x	x	x	x
	2	Aussaugen						x
Überlauf		Kontrollieren, Reinigen				x	x	x
Ablauf		Kontrollieren	x	x	x	x	x	x

Anhang 19: Wartungsarbeiten für die einzelnen dezentralen Anlagen, Wartung nach 1 Jahr

Wartung jährlich			Clayallee						
			1 Zulauf	2 Nassgully ohne Eimer	3 Nassgully mit Eimer	4 ACO SSA	5 INNOLET G Berlin	6 Budavinci - N extern	
Gitterrost		Rausheben, Reinigen, Einsetzen	x	x	x	x	x	x	
Eimer	klein	Entnehmen, Ausleeren, Entsorgen, Einsetzen						x	
	groß	Entnehmen, Ausleeren, Entsorgen, Einsetzen			x	x			
Turbulenz- minderer (ACO SSA)		Entnehmen, Reinigen, Einsetzen				x			
Filterpatrone (INNOLET)		Entnehmen, Neue Einsetzen					x		
INNOLET Filter	Filterpatrone	Abtransportieren auf Bauhof					x		
	Filterpatrone	Auf Bauhof Leeren, Reinigen und Wiederbefüllen					x		
	Filtermaterial	Entsorgen					x		
	Filtermaterial	Erneuern					x		
Budavinci Umlenkplatte		Herausnehmen, Einsetzen							
Filterpatrone (Budavinci)		Entnehmen, wieder Einsetzen						x	
		Reinigen						x	
		Austausch Filterpatrone							
		Austausch Filterpatrone, extern						x	
Schlammraum	1	Aussaugen	x	x	x	x	x		
Schlammraum	2	Aussaugen						x	
Überlauf		Kontrollieren, Reinigen				x	x	x	
Ablauf	direkt	Kontrollieren	x	x	x	x			

Anhang 20: Bedienungsanleitung der dezentralen Anlagen in der Clayallee**UEP Projekt****Dezentrale Reinigung von Straßenabflüssen****Versuchsstrecke Clayallee****Hinweis für Notfall**

- Erst mal Zulaufbehinderung entfernen! Laub, Sand, etc.
- Vermeiden die Eimer bzw. Filter auszubauen!
- Wenn doch nötig, dann die folgenden Hinweise beachten!
- Maßnahmen ergreifen und Störfälle beseitigen!

- *Bitte durchgeführte Maßnahmen und Grund der Reinigung dokumentieren!!!*

- *Bitte Mitteilung an nachfolgend genannte Ansprechpartner!!!*

Ansprechpartner:

Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH

Dipl.-Ing. Mike Post

Dr. Harald Sommer

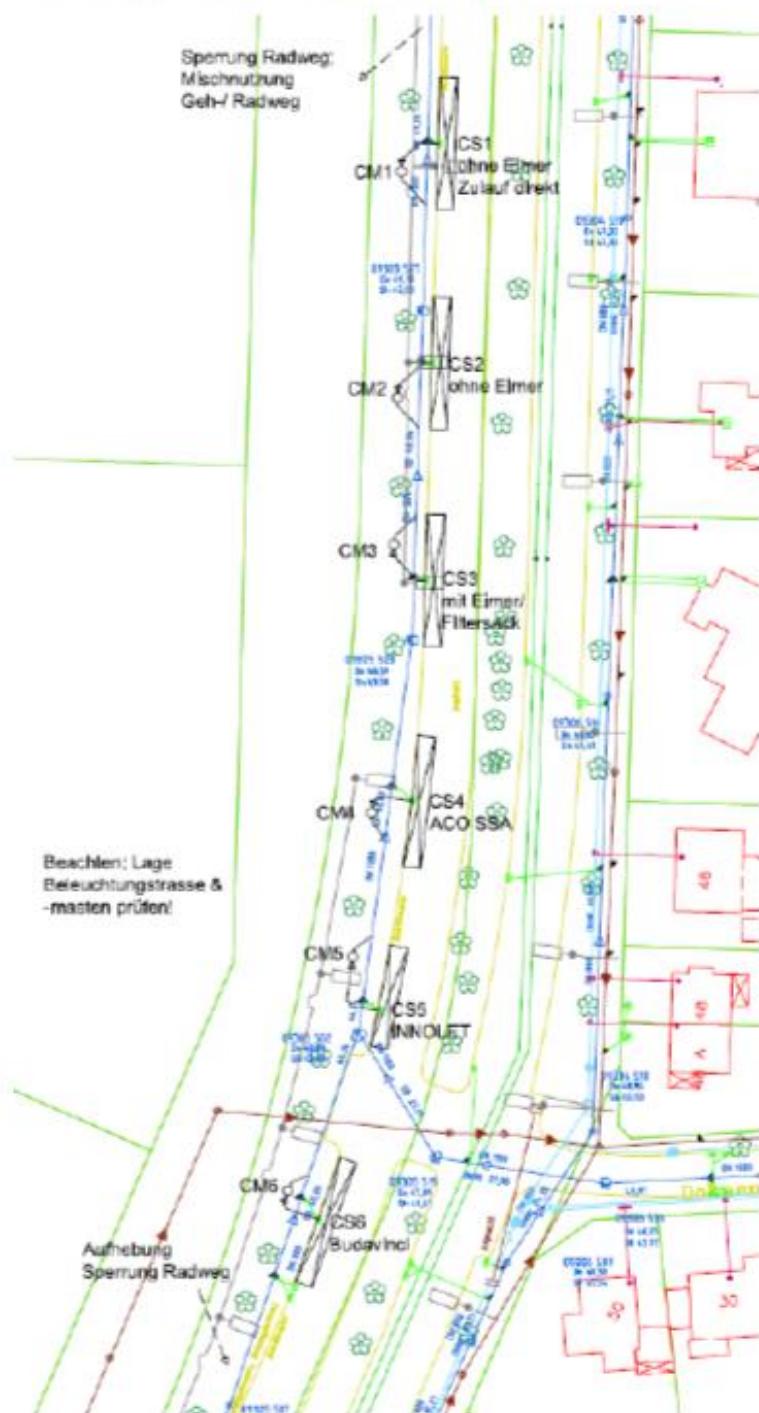
Tel.: 03342 3595-0

Mobil: 0170 1623248



KOMPETENZ IN SACHEN
REGENWASSER
INGENIEURGESELLSCHAFT
PROF. DR. SIEKER MBH

Lageplan der Versuchssysteme (Straßenabläufe)



Fahrzeuge und Ausrüstung

- Sauger mit schlankem Rüssel (DN 150) ohne Hanggriff im unteren Bereich
- Hochdruckspüler
- Sicherung, evtl. Sicherungsfahrzeug

Regelwartung

- Bauteile auf Verschleiß prüfen
- Verschleißteile austauschen

Anlagen im Straßenablauf:

CS1 Berliner Straßenablauf mit Zulauftrichter ohne Schlammraum

Standard Berliner Gully mit Zulauftrichter

CS2 Berliner Straßenablauf mit Schlammraum ohne Eimer

Standard Berliner Gully ohne Eimer

CS3 Berliner Straßenablauf mit Schlammraum mit Eimer

Standard Berliner Gully mit großem Eimer

CS4: System ACO SSA**Regelwartung (halbjährlich)**

1. Gitterrost herausheben



2. Aufsatz absaugen
3. Danach Grobschmutzeimer herausheben und durch absaugen leeren
4. Schmutzeimer kontrollieren, ob Zwischenraum verschmutzt, ggf. in separatem Behälter mit Klarwasser abspülen
5. Turbulenzminderer herausheben und im separaten Behälter mit Klarwasser abspülen



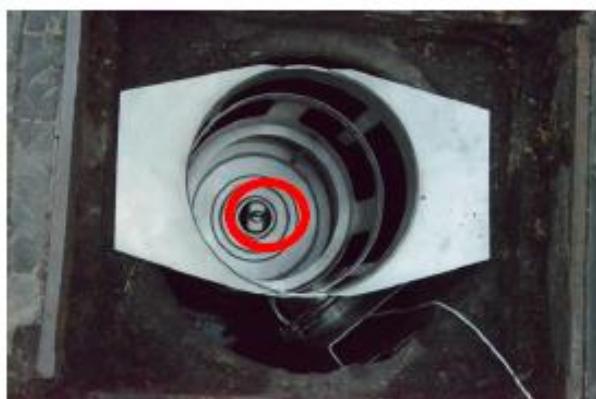
6. Separaten Behälter aussaugen
7. Schlammfang aussaugen, Anhaftungen mit Wasser lösen und aussaugen
10. Turbulenzminderer einsetzen
11. Grobschmutzeimer einsetzen
12. Gitterrost einsetzen

CS5: Berliner Straßenablauf mit Schlammraum mit INNOLET®-G**1. Wartung (nach 6 Monaten)**

1. Rost herausheben
2. Aufsatz, Kragen, Kegel, Stege zunächst saugen und anschließend mit wenig Wasser sauber spülen
3. Kegel mit Haken herausheben



4. Kegel kontrollieren, ob Oberfläche oder Zwischenraum verschmutzt, ggf. in separatem Behälter mit Klarwasser spülen
5. Filter mit Haken herausheben (wenn es hakt, dann mit leichter Rechtsdrehung)



6. Filteroberfläche Abspülen (Spülmaschine mit Klarwasser, 2-3 min bis Spülwasser klar austritt, dabei langsam nach rechts drehen) Dies ist Schmutzwasser!!
7. Filterauflagegummi der Filterpatrone im Behälter abspritzen



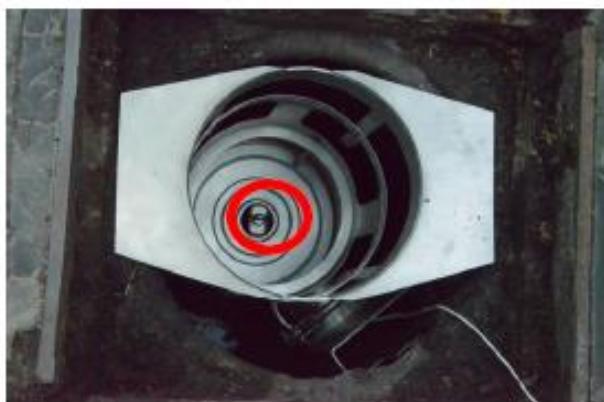
7. Ablagerung auf Anschlussrohr zum Kanal absaugen abspritzen?
6. Separaten Behälter aussaugen
8. Schlammfang aussaugen
8. Filter einsetzen
9. Kegel einsetzen
10. Gitterrost einsetzen

CS5: Berliner Straßenablauf mit Schlammraum mit INNOLET®-G**2. Wartung (nach 12 Monaten)**

1. Rost herausheben
2. Aufsatz, Kragen, Kegel, Stege absaugen (sauber spülen, eher nicht)
3. Kegel mit Haken herausheben



4. Kegel kontrollieren säubern (ggfls. in separatem Behälter mit Klarwasser spülen abspritzen)
5. Filter mit Haken herausheben (wenn es hakt, dann mit leichter Rechtsdrehung)



6. Filterauflagegummi der Filterpatrone abspritzen



7. Ablagerung auf Anschlussrohr zum Kanal absaugen (abspritzen)
8. Schlammfang aussaugen
9. Neu befüllten Filter einsetzen
10. Kegel einsetzen
11. Gitterrost einsetzen

Arbeit auf Betriebshof – Reinigen der gebrauchten Filterpatrone und Wieder-Befüllung

Filterpatronenoberfläche Abspülen (Spülmaschine mit Klarwasser, 2-3 min bis Spülwasser klar austritt, dabei langsam nach rechts drehen)

Filterpatrone öffnen (Ringmutter lösen und den oberen Deckel abnehmen) und gebrauchtes Filtermaterial entnehmen (Filter entleeren)

Gebrauchtes Filtermaterial entsorgen (analog Straßenkehricht)

Filterpatrone leer verschließen und in Spülmaschine waschen 2-3 min

Filter öffnen und Reste des Filtermaterials entleeren, ggfls. Filterpatrone mit Bürste bzw. Flaschenbürste nachreinigen (Gitter und Innenzylinder, Mantelflächen innen und außen)

Filterpatrone mit neuem Filtermaterial füllen

Schwarze Kappe zur Abdeckung auf das blaue Sickerrohr aufsetzen,

Beim Befüllen den Einfülltrichter verwenden,

Material lagenweise einbringen und von Hand verdichten (auf Vollfüllung achten), schwarze Kappe entfernen und Deckel wieder aufbringen,

Ringmutter von Hand festziehen

CS6: Budavinci-Typ N

Regelwartung (halbjährlich)

1. Gitterrost herausheben
2. Einlegering herausheben



3. Grobschmutzeimer (kurz) herausheben und leeren (Straßenkehricht)



4. Umlenkplatte durch absaugen säubern, insbesondere seitlicher Abgang, Dreck (evtl. Verstopfung)
5. Überlauf von Hand reinigen, dazu Verschmutzungen aus seitlichem Abgang entnehmen bis zum Überlauf
6. Umlenkplatte entnehmen und reinigen.
7. Verriegelung Filter öffnen (2 * je 90°, Drehung der Verriegelung)



8. Filter an Ring herausheben und seitlich lagern

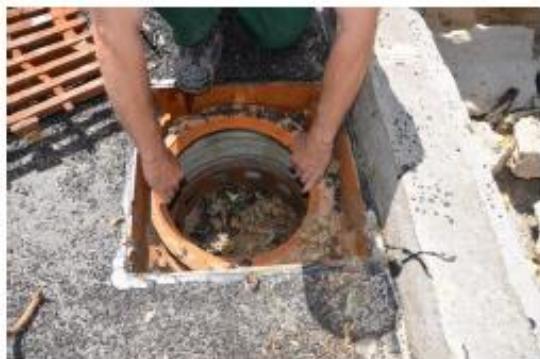


9. Filter mit Filtermaterial spülen mit Spülwagen der Fa. Börder (Empfehlung Fa. Meier Guss), mind. 1x pro Jahr, Kosten 185 EUR /Spülung (ohne Anfahrt), Dauer 15-30 min.
10. Schlammsspiegel in Schlammfang außen prüfen (Messlatte)
11. Schlammfang außen aussaugen (Dünnes Absaugrohr, flexibel, unterdruckfest, max. DN 70, an vorhandenes Saugrohr angebaut)
12. Schlammfang innen und Wirbelabscheider aussaugen (Dünnes Absaugrohr, flexibel, unterdruckfest, max. DN 70, an vorhandenes Saugrohr angebaut)
13. Abflüsse (Ablauf, Überlauf) mit Klarwasser reinigen
14. Filter einsetzen und verriegeln
15. Umlenkplatte einsetzen
16. Grobschmutzimer einsetzen
17. Einlagering einsetzen
18. Gitterrost einsetzen

CS6: Budavinci-Typ N

2. Wartung

1. Rost herausheben
2. Einlegering herausheben



3. Grobschmutzeimer herausheben und seitlich lagern



4. Verriegelung Filter öffnen (2 * je 90°, Drehung der Verriegelung)



5. Filter herausheben und seitlich lagern



6. Schlammfang aussaugen
7. Abflüsse (Ablauf, Überlauf) reinigen
8. Filter einsetzen und verriegeln
9. Grobschmutzeimer einsetzten
10. Einlagering einsetzen
11. Gitterrost einsetzen