

Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 195

bast

Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen

von

Jörg Londong
Daniel Meyer

Bauhaus Universität Weimar
Professur Siedlungswasserwirtschaft

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 195

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

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

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

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 02.202/2000/MRB:
Einsatz von Pflanzenkläranlagen an unbewirtschafteten Autobahnrastanlagen

Projektbetreuung

Hermann Wirtz

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-86918-014-4

Bergisch Gladbach, April 2010

Kurzfassung – Abstract

Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen

Die Abwasserentsorgung von unbewirtschafteten Autobahnrastanlagen mit sanitären Einrichtungen (sog. PWC-Anlagen) stellt eine Besonderheit dar. Aufgrund ihrer oftmals großen Entfernung ist der Anschluss an öffentliche leitungsgebundene Infrastruktur schwierig. Weiterhin ist zu beachten, dass das Abwasser nach seiner stofflichen Zusammensetzung nicht dem häuslichen Abwasser entspricht. Ziel des Projektes war es, Grundlagen veralteter Planungshilfen bezüglich der Abwasserentsorgung von PWC-Anlagen unter Berücksichtigung vorhandener Erfahrungswerte sowie des wissenschaftlich-technischen Fortschritts zu aktualisieren.

Es wurden 12 Messkampagnen an 6 deutschlandweit ausgewählten PWC-Anlagen durchgeführt, um die abwasserseitige Belastungssituation an PWC-Anlagen darzustellen. Dabei wurden aktuelle Daten zu anfallenden Abwasserfrachten für die Parameter CSB, TKN und P_{ges} ermittelt. Aus den dokumentierten Wasserverbrauchsdaten und dem Filtratanteil konnte eine Angabe zum nutzerspezifischen Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall gemacht werden. Dieser ist von der Sanitärtechnik sowie dem Umfang der Reinigung abhängig und von PWC-Anlage zu PWC-Anlage verschieden. Zusammen mit dem nutzerspezifischen Abwasseranfall können die ermittelten Abwasserfrachten als belastbare Bemessungsparameter in Planungs- und Entscheidungshilfen zur Abwasserentsorgung an PWC-Anlagen Eingang finden.

Im Abwasser von PWC-Anlagen liegt eine wesentlich höhere Stickstofffracht gegenüber dem Angebot an organischen Stoffen vor, was durch einen hohen Urinanteil begründet ist und eine biologische Behandlung erschwert. Als ein Lösungsansatz dient die Separation von Urin. Neben der dezentralen Behandlung bestehen zur Abwasserentsorgung die Grundvarianten Überleitung in eine zentrale Kläranlage und Sammeln in einer abflusslosen Grube. Aus verfahrenstechnischen Gründen wird das Überleiten favorisiert. Die Variante ist aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht immer sinnvoll. Der Betrieb von Abwasseranlagen sollte in die Verantwortung des zuständigen Abwasserentsorgers oder eines großen privaten Betreibers gegeben werden.

Neben dem Abschlussbericht wurde ein Leitfaden als Planungs- und Entscheidungshilfe bezüglich der Abwasserentsorgung an PWC-Anlagen unter Berücksichtigung rechtlicher, technischer und wirtschaftlicher Aspekte erstellt.

Waste water treatment at unserviced highway rest stops with sanitary facilities (PWC-facilities)

The wastewater disposal of unmanaged motorways service areas that are equipped with sanitary facilities such as PWC systems is characterized by specific features due to their location. The connection of sanitary facilities of unmanaged motorways service areas is often difficult and presents a complex task because of their far distance from the existing public infrastructure. Furthermore, wastewater from unmanaged motorways service areas differs in relation to the substantial consistency from the domestic wastewater. Because of this, it is of great importance to review the existing approaches for wastewater disposal and to develop new methods that can satisfy legal requirements. The aim of this project was to improve the basis of planning regulations and to update economic and technical criteria related to the wastewater disposal of PWC systems by taking into account experienced based data.

In order to measure specific load of wastewater in PWC facilities, 12 examination points on 6 selected PWC systems in Germany have been chosen for this project analysis. Therefore, the current data for wastewater load such as amount and concentration of parameters COD, TKN and P_{ges} have been determined. From the documented consumption data, filter demand of user specific load, water and wastewater demand has been defined. This demand is dependent from sanitary and cleaning techniques and differs from one PWC system to another. Together with the user specific water demand (wastewater demand) it is possible to determine wastewater load as design parameters in planning and decision making for wastewater disposal of PWC systems.

The wastewater in PWC system has much higher nitrogen load compared to organic substances, which can be explained with higher contraction of urine in wastewater and with complicated biological wastewater treatment. One of the possible solutions is separation of urine. Except the decentralized treatment there are two possibilities, the first one is connection of wastewater facilities to the next central sewage treatment and second one is collection and transfer of wastewater with vehicle to the next central sewage treatment. From the scientific point of view the method of connection of wastewater facilities to the next central sewage treatment is often recommended for application. Although in the case of the big distances this method does not present the best solution from the economical point of view. The important role in decision making about the wastewater disposal system has been given to the operational services. Because of the lack of the qualified staff and on recommendation of motorways maintenance authorities the responsibility of wastewater disposal is given to the one private company.

Except this final report the guideline for planning and decision making for wastewater disposal of PWC systems under guidelines for technical, legal and economic criteria have been developed.

Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung.....	7
2. Zielsetzung und Herangehensweise	9
3. Theoretische Grundlagen zu Erfahrungen und Alternativlösungen an Extremstandorten.....	9
3.1. Aussagen zur Abwassercharakteristik	9
3.1.1. Konzentrationen anhand von Messdaten	11
3.1.2. Theoretische Ableitung von Schmutzfrachten und Konzentrationen anhand reduzierter Einwohnerwerte.....	12
3.1.3. Schmutzfrachten und Konzentrationen anhand von Erfahrungswerten.....	13
3.2. Abwassertechnik.....	17
3.2.1. Sanitärtechnik zum Erfassen menschlicher Ausscheidungen	19
3.2.2. Technik zur Ableitung von Abwasserteilströmen.....	21
3.2.3. Speichern.....	23
3.2.4. Vorbehandlung.....	25
3.2.5. Biologische Stufe	32
3.2.6. Nachbehandlung	36
3.2.7. Reststoffentsorgung	37
3.3. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	39
4. Bestandsanalyse über Abwassersysteme an PWC-Anlagen in Deutschland	45
4.1. Bestand der PWC-Anlagen in Deutschland.....	45
4.2. Vorhandene Systeme der Abwasserentsorgung.....	48
4.3. Kosten unterschiedlicher Abwasserentsorgungssysteme	50
4.4. Erfahrungs- und Prüfberichte zu ausgewählten dezentralen Kläranlagen.....	51
4.5. Zusammenfassung des Kapitels.....	59
5. Grundlagenermittlung.....	60
5.1. Benutzeranzahl – Auslastung der PWC-Anlage.....	60
5.2. Benutzerverhalten	61
5.3. Sanitärtechnik	62
5.4. Quelle der Wasserversorgung.....	64
5.5. Betriebsmittel.....	65
5.6. Schlussfolgerungen der Grundlagenermittlung	66

6.	Auswahl geeigneter Standorte	67
6.1.	Methode.....	67
6.2.	Beschreibung der ausgewählten PWC-Anlagen	71
6.2.1.	PWC-Anlage Belvedere-Nord.....	71
6.2.2.	PWC-Anlage Settel	74
6.2.3.	PWC-Anlage Klockow-Ost.....	77
6.2.4.	PWC-Anlage Peenetal-Ost	80
6.2.5.	PWC-Anlage Moosburger Au-Ost	83
6.2.6.	PWC-Anlage Adlersberg-West	86
6.3.	Zusammenfassung des Kapitels	88
7.	Hauptuntersuchungen	89
7.1.	Durchführung der Untersuchungen an den ausgewählten PWC-Anlagen.....	89
7.1.1.	Untersuchungsprogramm	89
7.1.2.	Das Probeentnahmesystem.....	90
7.1.3.	Durchführung der Probennahme inklusive Filtersackwechsel.....	94
7.1.4.	Aufbereitung der Feststoffproben und Analytikprogramm.....	95
7.2.	Darstellung der Ergebnisse	98
7.2.1.	Auslastung der PWC-Anlagen	98
7.2.2.	Nutzerverhalten an PWC-Anlagen	106
7.2.3.	Nutzerspezifischer Wasserverbrauch	113
7.2.4.	Nutzerspezifische Frachten	118
7.3.	Diskussion und Schlussfolgerung	153
8.	Technische Möglichkeiten zur Bewirtschaftung von Abwässern an PWC-Anlagen	155
8.1.	Grundsätzliches	155
8.2.	Überleitung der Abwässer in eine zentrale Kläranlage.....	157
8.3.	Dezentrale Sammlung der Abwässer in einer abflusslosen Grube mit Abtransport und Behandlung in einer zentralen Kläranlage	159
8.4.	Dezentrale Teilbehandlung in Verbindung mit der Separation, Speicherung und Abfuhr von Teilströmen.....	160
8.4.1.	Lösungsstrategie Urinseparation	160
8.4.2.	Wahl eines Abwasserbehandlungsverfahrens	172

8.4.3. Empfehlungen zum Bau und Betrieb von dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen an PWC-Anlagen	173
8.5. Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	174
8.6. Beispiel zur Auslegung der Abwasserentsorgung	182
8.7. Zusammenfassung des Kapitels.....	188
9. Zusammenfassung und Ausblick.....	189
10. Forschungsbedarf	192
Literaturverzeichnis	194
Anhang	198

Leitfaden

Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
B	B enutzer
BAB	B undesautobahn
BAS _t	B undesanstalt für S traßenwesen
B-km	B etriebskilometer
BMVBS	B undesministerium für V erkehr, B au und S tadtentwicklung
BSB	B iochemischer S auerstoffbedarf
BUW	B auhaus U niversität W eimar, Professur Siedlungswasserwirtschaft
CSB	C hemischer S auerstoffbedarf
DAV	D eutscher A lpen V erein e.V.
DEGES	D eutsche E inheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
DTV	D urchschnittlich T ägliche V erkehrsstärke
DWA	D eutsche V ereinigung für W asserwirtschaft, A bwasser und A bfall e.V.; ehemalige Bezeichnungen ATV oder ATV-DVWK.
FM	F euchtmasse
LAWA	B und/ L änder- A rbeitsgemeinschaft W asser
PN	P robenahme
PWC	P arkplatz W C; Synonym für unbewirtschaftete Rastanlagen an Autobahnen und Bundesstraßen, d.h. Parkplätze mit ausschließlich sanitärer Einrichtung
RFS	R ückstand im F iltersack
SBR	sequencing b atch r eactor; sequentielles biologisches Reinigungsverfahren
TKN	T otal K jeldahl N itrogen ($N_{\text{org}} + \text{NH}_4\text{-N}$)
W	W asser(-verbrauch)

1. Problemstellung

Der Aus- und Neubau des Autobahnnetzes in der Bundesrepublik Deutschland erfordert die Planung und den Bau von zahlreichen Autobahn-Service-Betrieben zur Versorgung der Verkehrsteilnehmer. Solche Service-Betriebe sind zum Beispiel Parkplätze mit WC-Anlagen, Tankstellen, Rastanlagen mit Restaurants sowie Übernachtungsmöglichkeiten. Unbewirtschaftete Autobahnrastanlagen mit sanitären Einrichtungen (sog. PWC-Anlagen), stellen aus ver- und entsorgungstechnischer Sicht eine Besonderheit dar. Aufgrund ihrer oftmals großen Entfernung von einer öffentlichen leitungsgebundenen Infrastruktur ist der Anschluss schwierig.

Die Versorgung mit Trinkwasser wird oft durch einen Anschluss an die öffentliche Trinkwasserversorgung gesichert. Ist solch ein Anschluss jedoch nicht möglich, werden an PWC-Anlagen dezentrale Wassergewinnungsanlagen installiert. Diese bestehen aus einem Bohrbrunnen und einer Aufbereitung für das geförderte Wasser. Insbesondere bei kleinen, dezentralen Wassergewinnungsanlagen kann es zu Schwankungen in der Menge und der Zusammensetzung kommen, die unterschiedlich ausgeglichen werden müssen.

Bezüglich der Abwasserentsorgung bieten sich prinzipiell zwei Optionen an:

1. Vor-Ort-Behandlung der anfallenden Schmutzwässer mit vollbiologischer Kläranlage (dezentrale Behandlung) und Entsorgung der hierbei anfallenden Reststoffe (Klärschlämme).
2. Vollständige Sammlung und Transport (leitungsgebunden oder Abfuhr) der anfallenden Schmutzwässer zu einer zentralen Kläranlage (zentrale Behandlung).

Wegen der außerordentlichen hydraulischen und stofflichen Belastungsschwankungen im Tages-, Wochen- und Jahresverlauf kommen für die dezentrale Behandlung nur Sonderlösungen mit großzügig bemessenen Speichermöglichkeiten in Betracht. Allerdings sind die zur Verfügung stehenden Bemessungsparameter zu ungenau, insbesondere die Zulauffrachten nur grob abschätzbar. Bisweilen ist festzustellen, dass viele der an PWC-Anlagen installierten Kläranlagen erhebliche Betriebsprobleme haben und letztlich unzureichende Reinigungsleistungen aufweisen.

Ein Weg, um diese Probleme zu umgehen, ist die Behandlung der an PWC-Anlagen anfallenden Abwässer in Kläranlagen, in denen eine Grundbelastung aus anderen Abwasserzuflüssen vorhanden ist. Allerdings stößt auch diese Möglichkeit an Grenzen, wenn die Entfernung zur nächstgelegenen Kläranlage zu groß ist, um den finanziellen Aufwand für den Anschluss bzw. Abtransport zu rechtfertigen. Ferner muss die in der Nähe vorhandene Kläranlage zur Mitbehandlung dieser Abwässer größen- bzw. verfahrenstechnisch entsprechend ausgelegt sein.

Festzustellen bleibt, dass das Fehlen aktueller Grundlagen bezüglich der an PWC-Anlagen auftretenden Belastungssituationen (Abwasseranfall- und Zusammensetzung) ein gravierendes Hemmnis darstellt, um einerseits adäquate Techniken für eine dezentrale Behandlung vorzuschlagen bzw. zu entwickeln und andererseits, die Möglichkeiten einer zentralen Mitbehandlung zu beurteilen und die sich hieraus ergebenden Folgekosten hinreichend genau abschätzen zu können.

2. Zielsetzung und Herangehensweise

Gesamtziel des Projektes war es, veraltete Planungs- und Entscheidungshilfen bezüglich der Abwasserentsorgung von unbewirtschafteten Autoahnrastanlagen (PWC-Anlagen) unter Berücksichtigung vorhandener Erfahrungswerte sowie des wissenschaftlich-technischen Fortschritts zu aktualisieren. Der Bearbeitungsschwerpunkt lag in der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von insgesamt 12 Messkampagnen, die zur Ermittlung aktueller Daten bezüglich der an PWC-Anlagen anfallenden Abwasserfrachten, d.h. Mengen und Konzentrationen, durchzuführen waren. Aus diesen Daten sollten im Abgleich mit Ergebnissen anderer Untersuchungen und nach entsprechender Auswertung belastbare Bemessungsparameter abgeleitet werden, welche dann die Grundlage von Planungs- und Entscheidungshilfen zur Abwasserentsorgung an PWC-Anlagen bilden.

Theoretische Grundlagen zur Abwasserentsorgung an PWC-Anlagen wurden in einer Literaturrecherche zu Erfahrungen und Alternativlösungen bezüglich der Beschaffenheit und Entsorgungsmöglichkeit der an Extremstandorten anfallenden Abwässer erarbeitet.

Die Übertragbarkeit realisierter technischer Lösungen zur Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen war zu prüfen. In diesem Zusammenhang wurden auch die Möglichkeiten und betrieblichen Konsequenzen, die sich bei Einsatz alternativer Sanitärtechnik (z.B. Urinseparation) ergeben können, bewertet. Grundlage hierfür war die Bestandsanalyse aller rund 650 in Deutschland betriebenen PWC-Anlagen. Mit Hilfe der ermittelten Grundlagen und Randbedingungen im Rahmen der Voruntersuchung wurden deutschlandweit 6 PWC-Anlagen für die Hauptuntersuchung ausgewählt. Ein entscheidendes Kriterium ist hierbei, dass die von der BUW entwickelte Probenahmekonstruktion vor Ort installiert werden konnte. Im Rahmen der Messkampagnen werden dann aktuelle Daten zu Mengen und Zusammensetzung der an PWC-Anlagen anfallenden Abwässer erhoben, die als Grundlage für eine Entscheidungshilfe und einen Textvorschlag für ein Regelwerk dienen.

3. Theoretische Grundlagen zu Erfahrungen und Alternativlösungen an Extremstandorten

Anhand der hier vorgestellten Literaturrecherche wird aufgezeigt, wie an anderen Extremstandorten die Lösung der Abwasserentsorgungsproblematik angegangen wird und welche Erfahrungen mit den gewählten, abwassertechnischen Lösungen vorliegen. Insbesondere wurden die Chancen und betrieblichen Konsequenzen, die sich durch den Einsatz alternativer Sanitärtechnik ergeben, geprüft. Die gewonnenen Erkenntnisse können als Basis für die Entscheidung herangezogen werden, welche Systeme, respektive einzelne technische Elemente der Systeme, für den Einsatz an PWC-Anlagen von Vorteil sind und somit bei den Überlegungen zur Wahl einer geeigneter Abwasserentsorgung Beachtung finden sollen.

Kapitel 3 gliedert sich in zwei Abschnitte. Im ersten Abschnitt wird zunächst die Abwassercharakteristik von Autobahnservicebetrieben und anderen Extremstandorten am Beispiel der Berg- und Schutzhütten im Hochgebirge erörtert. In diesem Zusammenhang wird auch auf die Bedeutung verschiedener Randbedingungen eingegangen, welche sowohl für die typische Abwassercharakteristik, als auch für Lösungen der Abwasserproblematik ausschlaggebend sind.

Der zweite Abschnitt widmet sich der Abwassertechnik, wobei die Ergebnisse verschiedener Forschungs- und Pilotprojekte auch außerhalb des Problemkreises „Extremstandorte“ einfließen. Bei der Darstellung wird auf die im Forschungsprojekt „Bestandsaufnahme und Lösungsvorschläge für die Abwasserentsorgung von sanitären Einrichtungen an touristischen Ausflugszielen in exponierter Lage im Freistaat Thüringen“ (kurz: SEEL) entwickelte Systematik zurückgegriffen, d.h. dass einzelne technische Elemente betrachtet werden, deren Einsatzzweck vom jeweiligen Stoffstromsystem (Separationsgrad) und dem Zusammenspiel mit anderen technischen Elementen (Kombination zu komplexen Entsorgungssystemen) abhängig ist. Die einzelnen technischen Elemente werden hinsichtlich ihrer Aufgaben und Funktion kategorisiert, wie sie bei der dezentralen Abwasserbewirtschaftung notwendig werden. Es wird versucht, die Bewertung der Abwassertechnik hinsichtlich der Anwendbarkeit unter den speziellen Randbedingungen von PWC-Anlagen vorzunehmen.

3.1. Aussagen zur Abwassercharakteristik

Die Erfüllung der Zielsetzung, anhand einer Literaturrecherche vom Umgang mit der Abwasserproblematik an anderen Extremstandorten zu lernen, ist an die Voraussetzung gebunden, dass es andere Extremstandorte mit vergleichbarer Problemlage gibt.

Als Merkmal für Extremstandorte wird eine extreme Abwassercharakteristik (eine vom kommunalen, häuslichen Abwasser stark abweichende Charakteristik) angesehen, deren Ursache zum einen im kurzzeitigen Aufenthalt von Besuchern (die deshalb hauptsächlich nur urinieren) und zum anderen in dessen geringen Bewirtschaftungs- und Ausstattungsgrad (keine bzw. nur wenig Grauwässer aus Küche und Bad) zu suchen ist.

Zum Problem wird die extreme Abwassercharakteristik, wenn das Abwasser (oder auch einzelne Teilströme davon) an Ort und Stelle unter Beachtung geltender Hygiene- und Umwelt-

standards entsorgt und somit behandelt werden soll¹. Dies ist i. d. R. dann der Fall, wenn ein Abtransport² der Abwässer zur Mitbehandlung in größeren Kläranlagen wirtschaftlich unzumutbar, jedoch eine Behandlung vor Ort rechtlich möglich ist.

Es gibt eine Vielzahl von relevanten Objekten, die diesem Merkmal entsprechen. Generell können alle sanitären Anlagen, die sich fernab öffentlicher Ver- und/oder Entsorgungssysteme befinden, zu dieser Kategorie gezählt werden. Typische Beispiele sind Ausflugsziele/-lokale und Herbergen im Mittel- und Hochgebirge (Berg- und Schützhütten) sowie Besucherzentren und anderweitige Stützpunkte in National- und Naturparks. Im Unterschied zu PWC-Anlagen sind diese Objekte mehr oder weniger bewirtschaftet, d.h. neben Sanitäreanlagen werden noch andere Dienstleistungen (Gastronomie, Beherbergung) angeboten, was entsprechende Konsequenzen für die Abwassercharakteristik hat.

In den nachfolgenden Abschnitten soll das an Extremstandorten anfallende Abwasser hinsichtlich seiner Menge und Zusammensetzung vor dem Hintergrund der bei seiner Behandlung möglicherweise auftretenden Schwierigkeiten charakterisiert werden. Dabei wird von der Notwendigkeit einer biologischen Behandlung nach dem Stand der Technik ausgegangen³, die ihrerseits Mindestanforderungen an die Aufbereitung der Abwässer (Vorbehandlung) stellt. Für die Auslegung der Verfahrensstufen ist die Kenntnis:

- der Ganglinie des Zu- bzw. Abflusses in unterschiedlicher Auflösung → *Menge*
- sowie der Konzentration einzelner Parameter → *Zusammensetzung*

unabdingbar, weil sich hieraus die für eine Bemessung notwendigen Bilanzierungsgrößen (i. d. R. Stofffrachten) berechnen lassen; z.B.:

- Stofffracht [kg/d] = Konzentration [kg/m³] x zeitproportionaler Zufluss [m³/d].

Ferner ist es möglich, Verhältniszahlen zu bilden, die über den erwartbaren Effekt einer Behandlungsstufe Aufschluss geben können. Beispielsweise gibt das Verhältnis von CSB zu BSB₅ erste Hinweise, in welchem Umfang das Abwasser mit biologischen Verfahren gereinigt werden kann. Das Verhältnis von CSB zu BSB₅ liegt im Rohabwasser meist zwischen 2:1 und 2,5:1 [Imhoff & Imhoff, 2007]. Bei biologischen Kläranlagen mit hohem Schlammalter und entsprechend hohem Wirkungsgrad nähert sich der BSB₅ im gereinigten Abwasser dem Wert Null, während der CSB im Durchschnitt nicht unter einen Konzentrationswert von rund 40 mg/l gesenkt werden kann [Imhoff & Imhoff, 2007; Koppe & Stozek, 1999]. Dieser Konzentrationswert für CSB ist auf schwer abbaubare Stoffe im Rohabwasser (natürliche Verbindungen wie Lignin, Huminstoffe, u. a.) und auf Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen zurückzuführen. Für die nachstehenden Betrachtungen sind Verhältniswerte wichtig,

¹ Die Entscheidung wird im Rahmen von Abwägungsprozessen unter Berücksichtigung der rechtlichen Zulässigkeit, der technischen Realisierbarkeit und Kostenvorteilhaftigkeit vom Abwasserbeseitigungspflichtigen und der zuständigen Wasserbehörde getroffen.

² Möglichkeiten des Abtransports sind: a) leitungsgebunden per Freispiegel- und Druckleitung; b) straßengebunden per Lkw/Saugwagen; c) sonstige Lastenträger (Hubschrauber, Seilbahn usw.)

³ Eine rein physikochemische Abwasserbehandlung ist technisch möglich aber nicht wirtschaftlich.

um Fehlinterpretationen von geringen Konzentrationen, wie sie vornehmlich durch Verdünnung hervorgerufen werden, vermeiden zu können.

3.1.1. *Konzentrationen anhand von Messdaten*

Tabelle 3-1 gibt einen Überblick zu typischen Schmutz- und Nährstoffkonzentrationen von Abwässern unterschiedlicher Herkunft. Die für Berg- und Schutzhütten von Wett et al., 2001 angegebenen Werte wurden hauptsächlich durch Analysen der Trübwasser von Absetzanlagen⁴ an verschiedenen Objekten ermittelt. Grobstoffe in der Abwasserprobe wurden durch Sieben derselben vor Ort entfernt. Dieses Vorgehen liegt auch den Werten der BUW, 2001 sowie Londong & Hartmann, 2007 zu Grunde. Die Angaben von Kulle, 2008 beruhen indes auf Abwasserproben, wie sie unmittelbar im Zulauf der Absetzanlagen – durch Unterstellen eines Eimers – gewonnen wurden. Die stoffliche und hydraulische Retention der Absetzanlage kam somit nicht zur Geltung, was letztlich die große Spannweite der Messwerte erklärt. Weiterhin lassen die Konzentrationsschwankungen vermuten, dass die Ergebnisse stark von der Nutzung zum Zeitpunkt der Probenahme abhängig sind. Die Probenahme erfolgte in diesem Fall durch Stichproben, die lediglich eine Momentaufnahme zeigen, und somit nur begrenzt Rückschlüsse auf die tatsächliche Beschaffenheit des Rohabwassers zulassen. Um diese Defizite auszugleichen, wird eine Umstellung der Probenahmeart auf eine zeitproportionale Mischprobe für sinnvoll erachtet, wie sie im aktuellen Projekt zur Anwendung kam.

⁴ Neben Mehrkammerabsetz- und Ausfallgruben wurden auch mengenäquivalente Tagesmischproben von Feststoffabscheidern (Filtersäcke, Siebe, Siebpressen) untersucht.

Tabelle 3-1: Gegenüberstellung der Schmutz- und Nährstoffkonzentrationen von Abwässern unterschiedlicher Herkunft

		Berghütten		PWC-Anlagen		Haushalt
Parameter	Quelle→ Einheit↓	[Wett et al., 2001] ¹⁾	[BUW, 2001] ²⁾	[Londong & Hart- mann, 2007] ³⁾	[Kulle, 2008] ⁴⁾	[DWA, 2008] ⁵⁾
CSB	[mg/l]	1.000–2.800	500–1.600	557–970	149–2.088	1.170 (820)
BSB ₅	[mg/l]	300–800	300–800	266–665	86–1.600	530 (370)
N	[mg/l]	300–800	300–800	402–523	101–839	130
P _{ges}	[mg/l]	k.A. ⁶⁾	15–25	9.1–15.8	k.A. ⁶⁾	20
BSB ₅ /N	[-]	~1	~1	~1	~1	3 - 4

1) Werte aus der mehrfachen Beprobung von 20 Objekten

2) Werte aus der mehrfachen Beprobung von 4 PWC-Anlagen in Thüringen

3) Werte aus der mehrfachen Beprobung der PWC-Anlage „Belvedere Nord“

4) Werte aus Stichproben im Zulauf der PWC-Anlage „Belvedere Süd“

5) Konzentrationen sind aus den einwohnerspezifischer Frachten für einem Wasserverbrauch von 100 l/E*d berechnet; Werte in Klammern berücksichtigen einen Abbau in Absetzanlagen ($\eta \sim 30\%$)

6) keine Angaben

Wie ersichtlich, sind die Abwässer von Berg- und Schutzhütten denen von PWC-Anlagen prinzipiell sehr ähnlich. Die vergleichsweise hohe CSB-Konzentration der Abwässer von Berg- und Schutzhütten resultiert aus dem erweiterten Dienstleistungsangebot (insbesondere Küchenabwässer). Im Vergleich zu häuslichem Schmutzwasser (letzte Spalte Tabelle 3-1) sind die Abwässer von Extremstandorten höher mit Stickstoff belastet. Dass dies nicht allein auf geringere Verdünnung zurückzuführen ist, macht das BSB₅/N Verhältnis deutlich: das Angebot an Stickstoff in Bezug auf die Summe der biologisch abbaubaren Stoffe ist etwa dreimal höher als in häuslichem Schmutzwasser. Das Stickstoffüberangebot ist problematisch, da die bei aerober Abwasserbehandlung einsetzende Nitrifikation zur Versäuerung führt und somit alle anderen biologischen Prozesse beeinträchtigen kann. Dieser Umstand wirft letztlich die Frage nach geeigneter Abwassertechnik und deren Betrieb an Extremstandorten auf.

3.1.2. Theoretische Ableitung von Schmutzfrachten und Konzentrationen anhand reduzierter Einwohnerwerte

Die in Tabelle 3-1 angegebenen Konzentrationen und Nährstoffverhältnisse lassen zwar den signifikant hohen Urinanteil im Abwassergemisch von Extremstandorten erkennen. Für die Bemessung von abwassertechnischen Anlagen sind sie jedoch unbrauchbar, weil sich weder Zuflüsse noch Stofffrachten (wie sie für die Bilanzierung und letztlich Dimensionierung notwendig sind) aus ihnen ableiten lassen.

Jüngst hat die DWA den Themenband „Neuartige Sanitärkonzepte“ veröffentlicht, in dem Überlegungen und Erfahrungen zu ressourcenorientierten Sanitärsystemen zusammengestellt wurden. In diesem Themenband werden einwohnerspezifische Stofffrachten einzelner Teilströme (Kennzahlen) angegeben. Im Gegensatz zu den Kennzahlen des ATV-A 131 fließen

somit großräumige Einflüsse im Kanalnetz, wie Fremdwasserzutritt oder der teilweise Abbau bzw. Sedimentation von Stoffen, nicht in die Kennzahlenbildung ein. [DWA, 2008]

Zur Prognose der Abwassercharakteristik von Extremstandorten anhand von einwohnerspezifischen Kennzahlen ist es notwendig, die Anteile einwohnerspezifischer Stofffrachten und Abwassermengen abzuschätzen. Mit der Zusammenstellung in Tabelle 3-2, wird zunächst der stoffliche Anteil für Benutzer von PWC-Anlagen abgeschätzt. Basis der Abschätzungen sind zum einen die Kennzahlen zu Stofffrachten einzelner Abwasserteilströme im häuslichen Bereich [DWA, 2008]. Zum anderen fließen die im Rahmen von Voruntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse bezüglich des Benutzerverhaltens an PWC-Anlagen ein. (siehe [Kopmann et al., 2005])

Tabelle 3-2: Abschätzung nutzerspezifischer Frachten an PWC-Anlagen auf Basis einwohnerspezifischer Tagesfrachten

Bereich	Haushalt – einwohnerspezifisch [g/(E•d)]			PWC – nutzerspezifisch [g/B]			
	Toiletten	Bad/Küche	Summe	Toiletten	Summe		
Teilstrom	Urin	Fäzes	Grauwasser	Schmutzwasser	Urin ⁵⁾	Fäzes ⁵⁾	Fäkalien ¹⁾
TS	57	38	71	166	10,36	1,90	12,26
CSB	10	60 ¹⁾	47	117 (135) ²⁾	1,82	0,50	2,32
BSB ₅	5	20 ¹⁾	18	43 (53) ²⁾	0,91	1,00	1,91
N	10,4	1,5	1	12,9	1,89	0,07	1,96
P	1,0	0,5	0,5	2,0	0,18	0,03	0,21
BSB ₅ /N	~0,5	~14	~47	~4	~0,5	~14	~1
Menge l/(E•d)	1,37	0,14	(78) ³⁾	(127) ⁴⁾	0,25	0,01	0,26

1) ohne Toilettenpapier

2) Werte in Klammern berücksichtigen den Gebrauch von Toilettenpapier mit einer Fracht von 18 g CSB/(E•d) bzw. 9 g BSB₅/(E•d) nach [Dockhorn, 2007]

3) zur Abschätzung des Nutzungspotentials von Grauwasser gemäß [DWA, 2008]

4) durchschnittlicher Wasserverbrauch nach [VdWW, 2005] inkl. Toilettenspülwasser

5) Annahmen: ein Erwachsener uriniert 5-6mal täglich und defäkiert 1mal täglich; alle Benutzer urinieren, doch nur 5% defäkieren

3.1.3. Schmutzfrachten und Konzentrationen anhand von Erfahrungswerten

In der Literatur sind nur wenige Angaben bezüglich nutzer- bzw. besucherspezifischen Stofffrachten – und Abwassermengen an Extremstandorten zu finden. Das im Januar 1983 veröffentlichte ATV-Arbeitsblatt 109 „Richtlinien für den Anschluss von Autobahnnebenbetrieben an Kläranlagen“ [ATV, 1983] enthielt bereits abwassertechnische Grunddaten für den Schmutzwasseranfall und die organische Verschmutzung (BSB₅) für verschiedene Servicebe-

triebe. Das Arbeitsblatt stellte bis zum Jahr 2002 die einzige Bemessungsgrundlage dar. Neue systematische Ansätze lieferte der Entwurf des ATV-DVWK-Merkblattes 279 „Abwasser von Autobahn-Service-Betrieben“ [ATV-DVWK, 2002]. Beide Richtlinien wurden zurückgezogen. Vergleichbare Erfahrungswerte bezüglich der abwassertechnischen Bemessung bietet das Regelblatt 1 „Abwasserentsorgung im Gebirge“ des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes [ÖWAV, 2000]. Diese drei Ansätze werden im Folgenden erläutert.

3.1.3.1. *ATV-Arbeitsblatt 109 und ATV-DVWK-Merkblatt 279 (E)*

Im zurückgezogenen Entwurf des ATV-DVWK-Merkblattes 279 aus dem Jahr 2002 werden zur Abschätzung der an Autobahnservicebetrieben anfallenden Abwassermengen und Stofffrachten die in Tabelle 3-3 zusammengestellten besucherspezifischen Belastungsansätze vorgeschlagen. Zum Vergleich sind abweichende Werte aus dem zurückgezogenen ATV-Arbeitsblatt 109 des Jahres 1983 in Klammern aufgeführt. Es wird in beiden Richtlinien davon ausgegangen, dass der besucherspezifische Abwasseranfall hauptsächlich von der Art und Größe des Servicebetriebes und somit von der Quantität und Qualität der angebotenen Dienstleistungen abhängig ist. Folgende Leistungen der Servicebetriebe sind abwasserrelevant:

- WC-Anlagen (bewirtschaftete und unbewirtschaftete Autobahnrastanlagen),
- Gastronomische Einrichtungen⁵ (nur bewirtschaftete Autobahnrastanlagen),
- Übernachtungsmöglichkeiten (nur bewirtschaftete Autobahnrastanlagen).

Die Besucherzahlen sind abhängig vom erwarteten Verkehrsaufkommen zu prognostizieren. Dem hohen Urinanteil im Abwassergemisch wird im ATV-DVWK-M 279 (E) durch den Ansatz einer Stickstofffracht erstmals Rechnung getragen. Diesem Sanitärabwasser werden die aus sonstigen Speise- und Übernachtungsangeboten resultierenden Abwassermengen und Stofffrachten hinzugerechnet, wobei sich die der Berechnung zugrunde liegende Besucheranzahl aus der Anzahl der Steh- und Sitzplätze⁶ sowie der mittleren Aufenthaltsdauer der Besucher ergibt. Bemessungsrelevant ist somit die maximale Anzahl der Besucher, die aufgrund des quantitativen Angebotes täglich abgefertigt werden können. Die tatsächliche Besucheranzahl verliert bei bewirtschafteten Servicebetrieben an Bedeutung.

⁵ weiterer Differenzierung nach Speisenangebot in a) Imbisse an Kiosken und Tankstellen (ohne Küche) und b) Raststätten (mit eigener Küche)

⁶ Für Übernachtungsgäste wird die Anzahl der Schlafplätze / Gästebetten in Ansatz gebracht.

Tabelle 3-3: Orientierungswerte zu besucherspezifischer Abwassermenge und Stofffrachten in Abhängigkeit vom Serviceangebot nach [ATV-DVWK, 2002]

Parameter → Nutzung (Serviceangebot) ↓	Menge [l/Bes.]	BSB ₅ - Fracht [g/Bes.]	N _{ges} -N Fracht [g/Bes.]
Toilettengang (Sanitäreanlage)	8 (10)	5	2,5 (-)
Imbiss (Kiosk, Tankstelle)	5	5	-
Mahlzeit (Raststätte)	8 (15)	12 (13)	-
Übernachtung (Motel)	60 – 80 (≥ 200)	40 (60)	-

abweichende Werte in Klammern aus ATV-A 109 [ATV, 1983]

Der Unterschied zwischen beiden Richtlinien ist in der technischen Entwicklung (Wasser sparende Sanitärtechnik) einerseits und im veränderten Verhalten der Reisenden andererseits begründet. In Raststätten wandelte sich das Gastronomiekonzept in Verbindung mit einem erweiterten Warenangebot von der Kellnerbedienung zur Selbstbedienung.

Die Daten aus dem ATV-DVWK-M 279 (E) für die spezifische Abwassermenge und BSB₅-Fracht beruhen auf Messungen und Erhebungen der Tank & Rast AG, Bonn [Tank-& Rast AG, 1996]. Diese Orientierungswerte bilden Verhältnisse für sanitäre Anlagen an ausschließlich bewirtschafteten Autobahnrastplätzen ab. Die Abwassercharakteristik unterscheidet sich erheblich von früheren eigenen Untersuchungen an PWC-Anlagen (Tabelle 3-1), insbesondere weil:

- die Abwässer aus dem Sanitärbereich i. d. R. gemeinsam mit denen anderer Herkunftsbereiche (Küche, Bad usw.) gesammelt bzw. abgeleitet werden,
- die Reinigung der Sanitäreanlagen auf bewirtschafteten Rastanlagen mehrmals täglich vom Servicepersonal durchgeführt wird und
- die vorgehaltene Sanitärtechnik einen haushaltsähnlichen Benutzerkomfort bietet.

Die gemeinsame Sammlung bzw. Ableitung der Abwässer unterschiedlicher Serviceangebote bedeutet die Vermischung derselben. Infolgedessen werden stoffliche (Stoß-) Belastungen aus der Sanitäreanlage ausgeglichen (Stickstoff). Die organische Verschmutzung durch den Küchenbetrieb erhöht die besucherspezifische BSB₅-Fracht der bewirtschafteten Anlagen gegenüber den PWC-Anlagen.

Unterschiede im Benutzerverhalten zwischen bewirtschafteten und unbewirtschafteten Sanitäreanlagen haben ebenfalls einen Einfluss auf die jeweilige Abwasserzusammensetzung. Es ist bekannt, dass viele Verkehrsteilnehmer die bewirtschafteten Autobahnrastanlagen bevorzugen, da diese i. d. R. sauberer als PWC-Anlagen sind. In der Konsequenz muss an bewirtschafteten Servicebetrieben mit einem höheren Anteil an Fäzes, Toilettenpapier und Hygieneartikeln gerechnet werden, die ihrerseits mitverantwortlich für die BSB₅-Fracht respektive CSB-Fracht im Abwasser sind.

Die kürzeren Reinigungsintervalle aber auch die Art der vorgehaltenen Sanitärtechnik können schließlich die Erklärung für größere nutzerspezifische Abwassermengen an bewirtschafteten Autobahnrastanlagen gegenüber PWC-Anlagen liefern.

Durch die an PWC-Anlagen installierte Sanitärtechnik hat der Benutzer einen Einfluss auf die Anzahl der Spülvorgänge, nicht jedoch auf die Spülwassermenge⁷. Diese ist i. d. R. knapp bemessen – insbesondere für Urinale und Handwaschbecken.

Die in den Richtlinien genannten Bemessungswerte bezüglich des Schmutzwasseranfalls im Sanitärbereich an bewirtschafteten Autobahnrastanlagen können nicht auf PWC-Anlagen übertragen werden. Der nutzerspezifische Wasserverbrauch und der daraus resultierende Abwasseranfall an PWC-Anlagen ist geringer.

Bei Abwässern aus dem Haushalt liegt das Verhältnis von BSB_5/N bei ca. 3 – 4 g BSB_5 / 1 g N_{ges} -N (Tabelle 3-1). Gemäß den in Tabelle 3-3, S. 15 prognostizierten abwassertechnischen Grunddaten aus dem Entwurf des ATV-DVWK-Merkblatt 279 (2002) ist im Abwasser von WC-Anlagen auf Parkplätzen mit Konzentrationen von $BSB_5 = 625$ mg/l und N_{ges} -N = 313 mg/l und einem Stoffverhältnis von $BSB_5/N \sim 2$ zu rechnen. Die in der Tabelle 3-1 (S. 12) angegebenen früheren Messwerte [Londong & Hartmann, 2007] zeigen für PWC-Anlagen vergleichsweise höhere Stickstoffbelastungen und ergeben damit ungünstigere BSB_5/N – Verhältnisse von ~ 1 . Hohe Stickstoffkonzentrationen sind verfahrenstechnisch problematisch. In Verbindung mit ungünstigen BSB_5/N – Verhältnissen werden Prozesse der biologischen Abwasserreinigung, sowohl bei technischen als auch bei naturnahen Verfahren, gehemmt.

3.1.3.2. ÖWAV Regelblatt 1

Der Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) hat im Jahr 2000 das Regelblatt 1 „Abwasserentsorgung im Gebirge“ veröffentlicht, das speziell für Objekte in höheren Berglagen konzipiert wurde. Das Regelblatt dient als Entscheidungshilfe und Arbeitsunterlage für den Bau und Betrieb gebirgstauglicher Abwasseranlagen, zielt jedoch nicht auf eine vollständige Abklärung technischer Detailfragen ab.

Zur Abschätzung des Abwasseranfalls werden die Objekte hinsichtlich ihrer sanitären Ausstattung typisiert, wobei das erweiterte Dienstleistungsangebot einem höheren Ausstattungsgrad entspricht. Zusätzlich werden die zu versorgenden Personen dahingehend differenziert, über welchen Zeitraum sie am Ort verweilen. Damit soll dem Umstand Rechnung getragen werden, dass die Besucher das Dienstleistungsangebot umso mehr in Anspruch nehmen, je länger ihre Aufenthaltszeit am Ort ist. Insgesamt wird zwischen 6 Objektkategorien und 5 Personengruppen unterschieden. Sowohl der prognostizierte Wasserverbrauch (=Abwasseranfall) als auch die anzurechnende BSB_5 -Fracht steigen mit zunehmendem Dienstleistungsangebot (höherer Objektkategorie) und längerer Aufenthaltsdauer an. Angaben zu Nährstofffrachten (z.B. Stickstoff, Phosphor) werden nicht gemacht.

⁷ Die Wassermenge je Nutzung wird an der Steuereinheit im Betriebsraum vom Servicepersonal eingestellt.

Tabelle 3-4 zeigt exemplarisch entsprechende Werte für Objekte mit geringem, mäßigem und gutem Ausstattungsgrad (Objektkategorie 2, 3 und 5), der repräsentativ für viele Berg- und Schutzhütten ist. Ein geringer Ausstattungsgrad bedeutet, dass im Objekt nur eingeschränkt oder gar kein Fließwasser zur Verfügung steht, weswegen vorzugsweise Trockentoiletten zum Einsatz kommen. Hier halten sich die meisten Gäste nur kurzzeitig (selten länger als 1 h) auf. Merkmale des mäßigen Ausstattungsgrades sind das Vorhandensein von Spültoiletten und einer Küche mit fließendem Wasser. Große Wasserverbraucher sind entweder gar nicht vorhanden (z.B. Waschmaschine) oder stehen ausschließlich dem Personal zur Verfügung (z.B. Duschen). Auch hier halten sich bevorzugt Tagesgäste nur für kurze Zeit auf. Demgegenüber bietet der gute Ausstattungsgrad einen hotelähnlichen Komfort (Restaurant, Badezimmer usw.), weswegen die Besucher wesentlich länger verweilen, teilweise sogar übernachten.

Tabelle 3-4: Standardwerte für besucherspezifische, tägliche Abwassermengen und BSB₅-Frachten [ÖWAV, 2000]

Personen differenziert nach Aufenthaltsdauer	geringe Ausstattung		mäßige Ausstattung		gute Ausstattung	
	Menge [l/d]	Fracht [g BSB₅/d]	Menge [l/d]	Fracht [g BSB₅/d]	Menge [l/d]	Fracht [g BSB₅/d]
Personal (ständig anwesend)	10 - 25	55	25 - 75	55 - 60	120 - 150	60 - 75
24- Stunden Gast	10 - 20	55	25 - 50	55 - 60	75 - 150	60 - 90
Übernachtungsgast	10 - 15	50	20 - 40	50 - 55	75 - 125	60 - 90
Tagegast-langer Aufenthalt	5 - 10	20	10 - 15	15 - 20	15 - 25	15 - 20
Tagesgast-kurzer Aufenthalt	2 - 5	5 - 10	5 - 10	10 - 15	10 - 20	10 - 15

Ein Vergleich mit erhobenen Messdaten an schweizerischen Berghütten zur Überprüfung der ÖWAV-Angaben durch Abeggeln, (2004) ergab eine gute Übereinstimmung mit dem Abwasseranfall. Bezüglich der BSB₅-Fracht resultierten allerdings größere Abweichungen, die auf ungenaue Messungen und Unsicherheiten bezüglich der Schätzwerte zurückgeführt wurden [Abeggeln, 2004].

3.2. Abwassertechnik

Nachfolgend wird ein Überblick zur Funktionsweise und zu Erfahrungen bezüglich Abwassertechnik gegeben, wie sie bisweilen an Extremstandorten zum Einsatz kommt oder zumindest potentiell zum Einsatz kommen könnte. Der Schwerpunkt wird dabei auf die Technik gelegt, die sich zur Abwasserbewirtschaftung an PWC-Anlagen eignen könnte.

Der Begriff Abwasserbewirtschaftung soll einerseits die Weiterentwicklung konventioneller Abwasserentsorgungsstrategien durch den Einsatz von neuartigen Sanitärsystemen und somit der Trenntechnologie verdeutlichen. Andererseits wird betont, dass die Entscheidung, ob und

in welchem Umfang die Behandlung der Abwässer respektive einzelner Teilströme und/oder Reststoffe vor Ort durchzuführen ist, nach Effizienzkriterien erfolgt⁸.

Unabhängig von der Art und Größe eines Abwassersystems lässt sich die Gesamtaufgabe „Abwasserbewirtschaftung“ in Anlehnung an Renner, 1999 in einzelne Aufgaben bzw. Teilaufgaben zerlegen:

- **Sammeln** → Erfassen und Ableiten von Abwasser(-teilströmen) zur Behandlung, Speicherung oder Zwischenlagerung.
- **Speichern** → Ausgleich von stofflichen und hydraulischen Belastungsschwankungen oder Zwischenlagerung von Reststoffen und/oder unbehandelter Abwasserteilströme für deren zeitversetzten Abtransport.
- **Behandeln** → Reinigung von Abwasser(-teilströmen) bis zu einer vorgegebenen Qualität durch Reduzierung der Nährstofffrachten (C/N/P).
- **Vorbehandlung** → Abscheidung von Stör- und Grobstoffen (*Rechen-/Sieb- und Sandgut*) sowie Suspensa (*Primärschlamm*) als Vorbereitung der biologischen Behandlung (Phasenseparation vor der Biologie).
biologische Stufe → Umwandlung gelöster, hauptsächlich organischer, Nährstoffe in Biomasse (*Sekundärschlamm*) und CO₂ sowie Oxidation von Stickstoff⁹.
(erweiterte Stufe) → Elimination des oxidierten Stickstoffs und Umwandlung der gelösten Phosphorverbindungen in abtrennbare Partikel (*Tertiärschlamm*).
Nachbehandlung → Abtrennung der Feststoffe (Sekundär- und Tertiärschlamm) aus der Suspension, d.h. Trennung in gereinigtes Abwasser und Reststoffe (Phasenseparation nach der Biologie). Das gereinigte Abwasser wird entweder an die Vorflut oder die Nachreinigung abgegeben. Die wässrigen Feststoffe gelangen entweder zur Reststoffbehandlung (Überschussschlamm) oder werden teilweise der biologischen Stufe zugeführt (Rücklaufschlamm).
(Nachreinigung) → Verbesserung der Ablaufqualität und/oder Vergleichmäßigung der Ablaufquantität, um entweder die Einleitung in sensible Gewässer oder die Wiederverwendung als Brauch- oder Pflegewasser zu ermöglichen.
- **Reststoffbehandlung** → Volumen- und Massenreduktion der Überschussschlämme durch Abtrennen von Wasser sowie Minimierung des Geruchspotentials und Keimen durch weiteren Abbau organischer Substanz (Stabilisierung).

[Renner, 1999]

Der nachstehende Überblick folgt dieser Systematik, wobei auf die „erweiterte Stufe“ und „Nachreinigung“ nicht näher eingegangen wird, da sie für die Abwasserentsorgung an PWC-Anlagen (noch) nicht von Belang sind.

⁸ Tatsächlich ist eine vollumfängliche dezentrale Abwasserentsorgung nicht realisierbar, da eine Verwertung oder Beseitigung der Klärschlämme vor Ort nicht möglich ist.

⁹ bei aeroben Verfahren

3.2.1. Sanitärtechnik zum Erfassen menschlicher Ausscheidungen

Die technischen Möglichkeiten zum Erfassen menschlicher Ausscheidungen sind vielfältig. In Tabelle 3-5 werden verschiedene Ausführungsvarianten anhand der Merkmale Erfassungsgrad, Verdünnung, Art der Benutzung und Transportenergie klassifiziert. Aus der Kombination der Merkmale sowie ihrer Ausprägungen resultieren dann die einzelnen Toiletten- bzw. Urinaltypen (vgl. Tabelle 3-5), die sich in vielen konstruktiven Details (Material, Einbaulage, Design, Geruchsverschluss und Bedienung) unterscheiden können.

Im Bereich Neuartiger Sanitärsysteme mit Trenntechnologie hat sich eine Differenzierung der Sanitärtechnik in Bezug auf die Quantität (Erfassungsgrad) und Qualität (Verdünnungsgrad) der erfassbaren Stoffe bzw. Stoffströme durchgesetzt. Tabelle 3-6 gibt hierzu eine Übersicht. Demnach ermöglichen nur Trockentrenntoiletten die separate Erfassung von Urin und Fäzes. Alle anderen Systeme lassen entweder eine Trennung der Fäkalien nicht zu oder/und verdünnen einige oder alle erfassten Stoffe mit Spülwasser.

Tabelle 3-5: Merkmale und Varianten von Sanitärtechnik

Merkmal	Ausprägung → Variante (Kategorie)
Erfassungsgrad	a) Schwarzwasser komplett → Spültoilette b) Gelbwasser und Braunwasser → Trenntoilette c) Urin bzw. Gelbwasser → Urinale
Verdünnung	a) konventionelle Wasserspülung → Spültoiletten/-urinale b) ohne Wasser → Trockentoiletten / wasserlose Urinale
Art der Benutzung	a) sitzend → Sitztoiletten b) hockend → Hocktoiletten c) stehend → Urinale
Transportenergie	a) Schwerkraft → Trocken- /Spültoiletten/-urinale b) Unterdruck → Vakuumtoiletten/-urinale

Tabelle 3-6: Übersichtsmatrix von Sanitärtechnik zur Erfassung von Urin, Fäzes und Fäkalien; modifiziert nach [DWA, 2008]

separat erfassbarer Stoffstrom → Sanitärtechnik ↓	Urin	Gelb- wasser	Fäzes	Braun wasser	Fäka- lien	Schwarz wasser
a) Toiletten ohne Trennung						
Spültoiletten – konventionell / Wasser sparend						x
Vakuuntoiletten						x
Trockentoiletten ¹⁾					x	
b) Trenntoiletten						
Spültrenntoiletten		x		x		
Spültrenntoiletten – Urinableitung ohne Wasser	x			x		
Spültrenntoiletten – Fäzesableitung ohne Wasser		x	x			
Vakuumentrenntoiletten – Urinableitung mit Wasser		x		x		
Vakuumentrenntoiletten – Urinableitung ohne Wasser	x			x		
Trockentrenntoiletten ²⁾	x		x			
c) Urinale						
Urinale - konventionell / Wasser sparend		x				
Vakuumurinale		x				
wasserlose Urinale	x					

1) Sonderformen sind Verdunstungs-, Verbrennungs-, Gefrier- und Verpackungstoiletten

2) In Ausnahmefällen wird zum Spülen des Urins Wasser eingesetzt.

Wie hoch die Verdünnung mit Spülwasser tatsächlich ausfällt, ist neben dem Toilettentyp von der jeweiligen Spültechnik¹⁰, deren Bedienung und schließlich vom individuellen Benutzerverhalten abhängig. In Tabelle 3-7 sind typische Spülwassermengen unterschiedlicher Toilettentypen zusammengestellt, wobei sich die Angaben auf die einmalige Auslösung beziehen. Demnach verbrauchen Vakuuntoiletten nur etwa 10 – 15 % der Spülwassermenge von konventionellen Spültoiletten. Trenntoiletten leisten ihren Beitrag zur Wasserersparnis, weil sie zum Spülen von Urin kein oder nur wenig Spülwasser benötigen und bei den meisten Toilettengängen lediglich uriniert wird. Die Kombination aus Trenn- und Vakuumtechnik kommt mit geringsten Spülmengen aus. Bei Trockentoiletten wird gänzlich auf Spülen verzichtet.

¹⁰ z.B. Druckspüler oder Spülkästen, Einmengenspülung oder Zweimengenspülung

Tabelle 3-7: Spülmengen verschiedener Toilettensysteme

konventionelle Toiletten	Verbrauch [l/B]	Trenntoiletten	Verbrauch [l/B]
Spültoilette	2 – 6	Spültrenntoilette	3 – 6 Fäzes < 2 Urin
Vakuumtoilette	0,2 – 1,5	Vakuumtrenntoilette	0,2 – 2 Fäzes < 0,2 Urin
Trockentoilette	0	Trockentrenntoilette	0 Fäzes < 0,1 Urin ¹⁾

3.2.2. Technik zur Ableitung von Abwasserteilströmen

Für das Ableiten von Abwasser bzw. einzelner Teilströme bieten sich prinzipiell leitungsgebundene und leitungsfreie Transportsysteme an. Generell muss die Technik zur Ableitung der Abwässer bzw. Teilströme auf die Sanitärtechnik zum Erfassen und die nachfolgenden Entsorgungsprozesse quantitativ und qualitativ abgestimmt werden: Jeder separat abzuführende Stoff bzw. Stoffstrom benötigt ein eigenes Transportsystem.

Welche Transportsysteme geeignet sind, hängt maßgeblich von der Menge und der Konsistenz der abzuleitenden Stoffströme ab. So kommen für die Ableitung von Fäzes und Fäkalien aus Trockentoiletten sowie separat erfasste Abfälle (Toilettenpapier, Hygieneartikel) nur leitungsfreie Systeme mit Sammeltank in Frage. Alle anderen Stoffströme stellen aufgrund des hohen Wassergehaltes fließfähige Suspensionen dar und können über Rohrleitungen abgeführt werden.

3.2.2.1. Trockene, leitungsfreie Sammelsysteme

Kommen Trockentoiletten und wasserlose Urinale zum Einsatz, bieten sich leitungsfreie Sammelsysteme für die Stoffe Urin, Fäzes sowie die Stoffströme Fäkalien und sonstige Abfälle an. Der Vorteil dieser Technik wäre in der Volumen- und Massenreduktion der abzufahrenden Stoffe zu suchen. Prinzipiell würde die separate Erfassung von Fäzes deren Kompostierung vor Ort gestatten, doch ist diese an Berg- und Schutzhütten häufig erwogene Entsorgungsoption an PWC-Anlagen an Bundesautobahnen nicht zu empfehlen¹¹.

Die Sammelbehälter müssen – über einen Fallschacht bzw. Fallrohr mit der Trockentoilette verbunden – im Gebäudesockel untergebracht werden. Die vertikalen Fallschächte können aus Kunststoff oder Edelstahl gefertigt sein und sollten möglichst groß (mind. DN 150) dimensioniert werden. Neben Korrosionsschutz ist vor allem auf eine möglichst glatte Oberfläche zu achten, denn die Reinigung der Fallschächte ist aufwändig. Es ist ein Ventilationssystem notwendig, welches im Teilzeit- oder Dauerbetrieb den Unterdruck im Sammelbehälter sicherstellt, um Geruchsemissionen zu vermeiden.

¹¹ Die Kompostierung von Fäzes bzw. Fäkalien ist nur durch Zugabe strukturreicher und kohlenstoffhaltiger Co-Substrate (Holzspäne, Rindenmulch, Küchen- bzw. Bioabfälle) möglich und würde deshalb zu unverhältnismäßig hohen logistischen und betrieblichen Aufwendungen führen.

Der Transport der Behälter kann manuell (tragend oder rollend) oder mit Fahrzeugen erfolgen. Aus hygienischen Gründen muss der direkte Kontakt mit Fäzes bzw. Fäkalien unterbunden werden. Bei den derzeit realisierten trockenen Sammel- und Transportsystemen sind meist Rolltonnen mit verschließbaren Deckeln im Einsatz, die ähnlich der Müllabfuhr abgeholt werden.

3.2.2.2. *Leitungsgebundene Sammelsysteme*

Die fließfähigen Teilströme Urin, Gelb-, Braun-, Schwarz- und Grauwasser können nach den Prinzipien der:

- Schwerkraftentwässerung (Schwemmkanalisation);
- Unterdruckentwässerung (Vakuumentwässerung) oder
- Druckentwässerung

über Rohrleitungen abgeführt werden, wobei die unterschiedlichen Charakteristika der abzuleitenden Teilströme sowie deren Veränderungen während des Transports zu berücksichtigen sind. Prinzipiell muss das Rohrleitungssystem dazu in der Lage sein, die anfallenden Stoffe bzw. Stoffströme vollständig abzuleiten. Verstopfungen – gleich welcher Art – setzen die Funktionstüchtigkeit herab und können zum Systemausfall führen. Verstopfungen können einerseits durch reißfeste Stoffe verursacht werden, wie sie der Benutzer in Form von Toilettenpapier, Hygieneartikel und sonstiger Abfälle über die Toilette entsorgt. Andererseits spielen mineralische Ablagerungen, insbesondere Urinstein und Kalk, eine wichtige Rolle.

Die Schwerkraftentwässerung, bei der alle Leitungen im Gefälle verlaufen müssen, ist das einfachste und zugleich günstigste System. Alle Leitungen sind so zu verlegen, dass sie leer laufen können und Standzeiten vermieden werden. Besonderes Augenmerk gilt einer freien Be- und Entlüftung des Leitungssystems, welche die ordnungsgemäße Funktion sicherstellt.

Die Ableitung von Schwarz-, Braun- und Grauwasser entspricht im Wesentlichen der konventionellen Ableitung von Schmutzwasser. Gemäß DIN 12056 sind die Anschluss-, Grund- und Sammelleitungen zur Einhaltung einer Mindestfließgeschwindigkeit von $v_{\min} = 0,5$ m/s zu dimensionieren; z.B. Minstdurchmesser DN 100 und Mindestgefälle $i > 0,5$ % für belüftete Anschlussleitungen [DIN, 2000; DIN 2008b]. Bei der Ableitung von Urin bzw. Gelbwasser ist dessen Qualitätsveränderung zu beachten. Infolge der unweigerlich einsetzenden Harnstoffhydrolyse steigt der pH-Wert an und es kann zu massiven Ausfällungen von Urinstein und Kalk kommen. Urin- bzw. Gelbwasserleitungen sollten deshalb mit einem Mindestgefälle von $i > 1\%$ und einem Minstdurchmesser von DN 50 verlegt werden.

Druck- und Unterdruckentwässerungen sind technisch anspruchsvoller als die Schwerkraftentwässerung. Ihr entscheidender Vorteil ist, dass die Rohrleitungen unabhängig vom Gefälle verlegt werden können. Die Techniken sind außerdem Wasser sparend, weswegen einerseits geringere Rohrdurchmesser (DN 32 für Urin- und Gelbwasserleitungen, DN 70 für Braun- und Schwarzwasserleitungen) und somit weniger Material verbaut werden müssen. Andererseits werden die Stoffe hochkonzentriert und somit volumenreduziert erfasst. Der gravierende

Nachteil von Druck- und Unterdruckentwässerung ist, dass elektrische Energie zum Ableiten der Abwässer bzw. Abwasserteilströme benötigt wird.

Sowohl Druck- als auch Unterdruckentwässerung setzen spezielle Sanitärtechniken voraus, deren Wartung aufwändiger als bei Trocken- oder Spültoiletten ist. Im Falle der Druckentwässerung muss jeder Erfassungsgegenstand mit einer Pumpe ausgestattet werden (Ausnahme: Schwerkraftentwässerung mit Hebeanlage), die einer regelmäßigen Wartung zu unterziehen sind. Gleiches gilt für die Absaugventileinheiten in den Toiletten/Urinalen und die Vakuumstation bei der Vakuumentwässerung. Gegenüber Verstopfungen ist die Druckentwässerung weniger störanfällig als die Unterdruckentwässerung, da ein unsachgemäßer Gebrauch nur zum Ausfall einzelner Systemkomponenten (Pumpe), nicht aber zum Gesamtsystemausfall führt. Mit dem Einsatz von Schneidrad- oder Membranpumpen kann einer Verstopfung zwar entgegen gewirkt werden, doch ist dies nicht immer vorteilhaft für die anschließende Behandlung (z.B. Rottebehälter).

3.2.3. *Speichern*

Im Rahmen der Abwasserbewirtschaftung kommt dem Speichern von Abwasser, Abwasserteilströmen und Reststoffen in zweierlei Hinsicht große Bedeutung zu: einerseits zum Ausgleich von hydraulischen und stofflichen Stoßbelastungen und somit zur Sicherstellung einer effektiven Abwasserbehandlung vor Ort, andererseits zum sicheren Aufbewahren von Stoffen, die nicht vor Ort entsorgt werden sollen oder können. Als Speicher bieten sich grundsätzlich alle großvolumigen Räume im Abwassersystem an. Je nachdem, welche Einbauten die Speicher besitzen, können sie mehrere Funktionen gleichzeitig übernehmen.

Zum Ausgleich von hydraulischen Stoßbelastungen ist eine Entkopplung von Zu- und Ablauf des Speichers erforderlich. Dies kann über Drosselorgane im Ablauf des Speichers oder aber mit Pumpen bzw. Heber bewerkstelligt werden. Im Rahmen der konventionellen Abwasserentsorgung (ohne Separation von Teilströmen) ist vor allem die Kombination aus Absetz- bzw. Ausfallgrube (stofflicher Ausgleich) und nachfolgendem Pumpenschacht (hydraulischer Ausgleich) weit verbreitet. Bei ausgeprägten hydraulischen Belastungsschwankungen, wie sie für Berg- und Schutzhütten typisch sind, werden zusätzliche Pufferbecken angeordnet. Beispiele für Lösungen mit separatem Pufferbecken zwischen Vorklärung und Biologie sind:

- Watzmannhaus [Menz et al., 2008]
- Brunenstein Hütte, Essener-Rostocker Hütte, Konstanzer Hütte, Nördlinger Hütte, Porze Hütte [Wett et al., 2001].

Bei der Speicherung vor der aeroben biologischen Behandlung ist darauf zu achten, dass das Abwasser nicht anfault. Andernfalls ist mit starken Geruchsemissionen und mit einem Versäuern des Abwassers zu rechnen. Um dies zu verhindern, wird das Abwasser sporadisch belüftet. Auf der Brunenstein Hütte [Wett et al., 2001] und auf der Welser Hütte [Anonym, 2004] kommt dieses Prinzip zur Anwendung.

Eine Sonderform stellt der in Abbildung 3-1 gezeigte Hydrolysespeicher dar. Er hat die Aufgabe, den Großteil der im Abwasser enthaltenen partikulären Stoffe zu hydrolysieren, um sie anschließend dem biologischen Abbau im Belebtschlammprozess zugänglich zu machen. Mit

einem Hydrolysespeicher soll einerseits eine Minimierung des Reststoffanfalls (Primärschlamm) erreicht werden, andererseits werden die zur Denitrifikation des Abwassers erforderlichen leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen zur Verfügung gestellt.

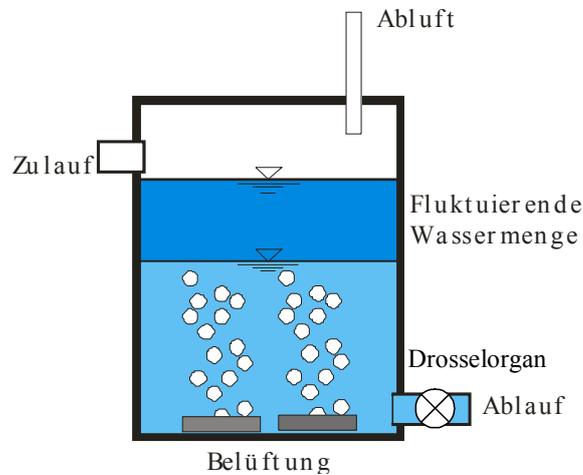


Abbildung 3-1: Schema eines Hydrolysespeichers

Der Hydrolyse von Feststoffen und dem Durchmischen allein durch Belüftung sind jedoch enge Grenzen gesetzt, weswegen unterstützend Umwälzpumpen mit Scheidradwerk und/oder Rührwerke zum Einsatz kommen können. Dies wird an der „Seilbahnstation am Höhtälli“ praktiziert, wobei in den Speicher¹² zusätzlich der Überschussschlamm aus der Biologie eingebracht wird, um die Vorbehandlung zu effektiveren [Bützer et al., 2006].

Besonderer Erwähnung bedarf der Einsatz von Speichern bei der Trenntechnologie. Denn durch die separate Erfassung und Speicherung einzelner Teilströme wird deren gezielte Ausschleusung von der Behandlung vor Ort möglich. Die Ausschleusung einzelner Teilströme kann vollständig oder teilweise sowie dauerhaft oder temporär sein. Für eine vollständige und dauerhafte Ausschleusung sind alle Behälter ohne Ablauf geeignet (abflusslose Speicher). Generell empfiehlt sich ihr Einsatz aber nur in Verbindung mit (Ab-)Wasser sparenden Maßnahmen, um die mit dem Abtransport der Speicherinhalte verbundenen Kosten so gering wie möglich zu halten. Das Abkoppeln von Grauwasser aus dem Abwassergemisch aber auch die Installation wasserloser Sanitärtechnik schaffen geeignete Voraussetzungen dafür. Weil die bei der Abwasserbehandlung auftretenden Probleme auf den hohen Urinanteil im Abwassergemisch zurückzuführen sind, kommt der Abtrennung und Speicherung von Urin bzw. Gelbwasser eine Schlüsselrolle zu. Urin- bzw. Gelbwasserspeicher können als einzelne Bauwerke im Erdreich vergraben oder im Gebäudesockel (Keller) untergebracht werden (Abbildung 3-2).

¹² Der Speicher dient gleichzeitig als Grobstoffabscheider und wird als solcher von den Autoren benannt.



Abbildung 3-2: Urinspeicher der GTZ in Eschborn (links) und ein Urinspeicher der VKA GmbH¹³ (rechts)

Die Entleerung der abflusslosen Speicher und die Abfuhr der Speicherinhalte ist i. d. R. mit Saugfahrzeugen möglich (Ausnahme: trockene Sammlung und Speicherung von Fäzes). Auf der Göppinger Hütte wird Urin mit Trockentrenntoiletten separat erfasst, in einem Urintank gespeichert und schließlich in Kanistern per Seilbahn zu einem Güllelager abtransportiert.

Alternativ zur vollständigen und dauerhaften Ausschleusung von der Behandlung bietet sich die vorläufige Ausschleusung von Urin für PWC-Anlagen an. Der Urin respektive das Gelbwasser können dann zwischengespeichert und zeitversetzt – zu Unterlastzeiten – der Behandlung zugeführt werden. Nur die Restmengen, die nicht vor Ort behandelt werden können, müssen noch abtransportiert werden.

Zu beachten ist, dass die bereits bei der Ableitung von Urin einsetzende enzymatische Harnstoffspaltung im Speicher seine Fortsetzung findet. Am Boden von Sammel tanks bildet sich eine Schlammschicht aus Fällprodukten aus. Der Bodenschlamm geht jedoch leicht in Suspension, weswegen i. d. R. keine Probleme beim Abpumpen auftreten. Ferner muss an der Stelle der Entlüftung vom Gelbwasserspeicher mit Geruchsentwicklung durch Ammoniak gerechnet werden. Auch bei der Umfüllung von Sammel tanks und -behältern ist mit der Freisetzung von Ammoniak zu rechnen. Neben der Geruchsbelästigung ist daher auch der Aspekt der Arbeitssicherheit zu berücksichtigen.

3.2.4. Vorbehandlung

Aufgabe der Vorbehandlung ist es, das Abwasser für eine effektive biologische Behandlung vorzubereiten. Dazu ist es i. d. R. erforderlich:

- stoffliche und hydraulische Belastungsschwankungen auszugleichen und
- Grobstoffe, Sand, Feststoffe und Fett abzutrennen.

Die biologische Behandlung von Abwasser funktioniert dann am besten, wenn das Abwasser gleich- und regelmäßig der Reinigungsstufe zufließt. Fällt längere Zeit kein Abwasser an (Un-

¹³ Quelle: VKA; <http://www.gfk-behaelterbau.de/index.php?id=19> (Stand 02/09)

terlast), werden die Mikroorganismen aufgrund fehlender Nahrung in Mitleidenschaft gezogen. Kommt es hingegen zu stofflichen oder hydraulischen Überbelastungen, werden die Mikroorganismen gestresst (stofflich) oder ausgewaschen (hydraulisch). Der Ausgleich von stofflichen und hydraulischen Belastungsschwankungen wird durch Speicher realisiert, die bereits an anderer Stelle besprochen wurden (3.2.3).

Die Abscheidung von Grobstoffen, Sand, Feststoffen und Fett ist notwendig, um Verstopfungen, Verschlammungen, Verzopfungen, Abrasion und sonstige Betriebsstörungen von Bauteilen und Rohrleitungen in nachgeschalteten Behandlungsstufen zu vermeiden.

Im Abwasser von PWC-Anlagen ist neben den menschlichen Ausscheidungen, Toilettenpapier und Spülwasser mit Grobstoffen zu rechnen. Dabei handelt es sich um diverse Hygieneartikel (Damenbinden, Tampons, Kondome, Wegwerfwindeln, Wattestäbchen, Wundpflaster) sowie sonstige Abfälle (Dosen, Zigarettenstummel, Textilien usw.), die als Abfall über die Müllabfuhr und nicht als Abwasser entsorgt werden könnten. Ansätze, den Eintrag dieser Stoffe in den Abwasserpfad durch entsprechende Aufklärung zu vermeiden, mögen im privaten Bereich erfolgreich sein, in der Praxis an PWC-Anlagen meist jedoch nicht. Die Abscheidung von Grobstoffen aus Schmutz- und Schwarzwasser ist somit obligatorisch für PWC-Anlagen, für separat erfasstes Grau- und Gelbwasser kann sie entfallen.

Der Anteil von Sand im Abwasser von PWC-Anlagen ist als gering einzuschätzen, da die Entwässerung im Trennsystem erfolgt und somit der hauptsächliche Eintragspfad (Regenwasserabläufe) nicht zum Tragen kommt. Es ist zu erwarten, dass geringe Sandmengen mit den Feststoffen abgeschieden werden, weswegen separate Bauwerke zur Sandabscheidung nicht erforderlich sind.

Unter Feststoffen sind alle nicht zu Grobstoffen und Sand zählenden partikulären Stoffe zu verstehen. Hierbei handelt es sich vorwiegend um zerriebenes Toilettenpapier und feste Fäkalienbestandteile. Die Abscheidung solcher Feststoffe ist zwingend notwendig, wenn die biologische Behandlungsstufe Bauteile enthält, die vor Verschlammung bewahrt werden müssen. Dies ist i. d. R. für alle Biofilmverfahren (z.B. Tropfkörper, Rotationstauchkörper) insbesondere aber naturnahe Biofilmverfahren (Filtergraben, Bodenfilter, Pflanzenbeet) der Fall. Bei Belebungsverfahren kann darauf verzichtet werden, weil die Feststoffe bei der Behandlung hydrolysieren.

Fett im Abwasser spielt nur bei bewirtschafteten Autobahnrastanlagen eine Rolle, da es vornehmlich über Küchenabwässer eingetragen wird.

Nachfolgende Ausführungen fokussieren auf das Abscheiden von Grob- und Feststoffen aus Schmutz-, Schwarz- und Grauwasser. Für diese Aufgabe steht auf dem Markt eine Vielzahl an mechanischen Trennverfahren zur Verfügung, die sich hinsichtlich der zum Einsatz kommenden Technik in statische und maschinelle Verfahren unterteilen lassen. Die Leistungsfähigkeit (Trenngrad) der maschinellen Verfahren ist höher, doch benötigen sie Energie und bedürfen einer entsprechenden Wartung. An Berg- und Schutzhütte kommen sie deshalb nur selten zum Einsatz. Mit Abstand am weitesten sind statische Absetzanlagen verbreitet, die eine Trennung der Suspensionen in feststoffreiche und feststoffarme Phasen nach dem Schwerkraftprinzip bewirken und gleichzeitig die Speicherfunktion übernehmen. Alternativ finden aber auch Ver-

fahren Anwendung, die eine Trennung anhand der Partikelgröße (Filter, Siebe, Rechen) vornehmen. Häufig wird das Behandlungsziel erst durch Kombination diverser Verfahren erreicht.

3.2.4.1. *Absetzanlagen mit Speicherfunktion*

In Absetzanlagen wird die Abscheidung von Grob- und Feststoffen durch deren Sedimentation und Aufschwimmen (Flotation) im natürlichen Schwerfeld infolge Herabsetzen der Fließgeschwindigkeit erreicht. Die absetzbaren Stoffe lagern sich am Boden ab (Bodenschlamm). Die aufgeschwommenen Stoffe (Schwimmschlamm) werden durch eine Tauchwand oder ähnliche Einrichtungen gehindert, in den Ablauf der Absetzanlage zu gelangen. Neben dem Rückhalt von Grob- und Feststoffen können Absetzanlagen in Abhängigkeit von ihrer Bemessung und konstruktiven Ausführung noch teilweise

- den Ausgleich von stofflichen Belastungsschwankungen,
- die biologische (anaerobe) Abwasservorbehandlung sowie
- die Stabilisierung und Speicherung von Überschussschlämmen

übernehmen. Schwankende Abwassermengen werden jedoch nur in geringem Umfang ausgeglichen bzw. gepuffert.

Die einfachste und zugleich häufigste Form der Absetzanlage sind Absetzgruben mit ebener Sohle (Abbildung 3-3). Je nachdem, ob das Abwasser nur eine oder mehrere Kammern durchströmt, wird zwischen Einkammer- und Mehrkammerabsetzgruben unterschieden. Prinzipiell steigt die Abscheideleistung mit wachsendem Volumen respektive höherer Anzahl von Kammern. Die zurückgehaltenen partikulären organischen Abwasserinhaltsstoffe werden unter anaeroben Bedingungen in CH_4 und CO_2 , gelöste Restprodukte und Schlamm umgewandelt. Einkammerabsetzgruben sind zur Grobstoffabscheidung befähigt, Mehrkammerabsetzgruben zusätzlich zur Feststoffabscheidung und Schlammspeicherung. Die Bemessung von Absetzgruben erfolgt im kommunalen Abwasserbereich nach DIN 4261, Teil 1 Kleinkläranlagen; Anlagen ohne Abwasserbelüftung [DIN, 2009].

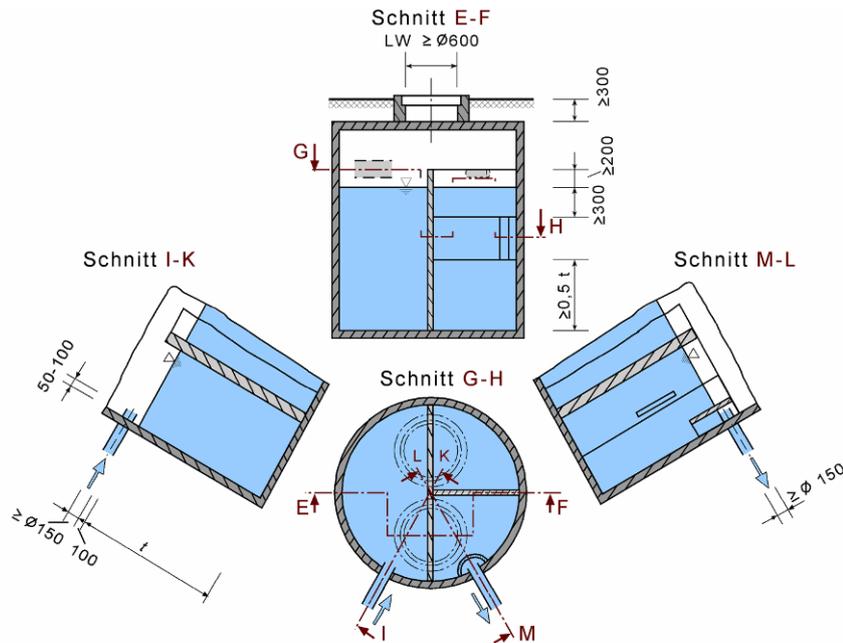


Abbildung 3-3: Mehrkammerabsetzgrube nach [DIN, 2002]

Überdimensionierte Mehrkammerabsetzgruben werden als Mehrkammerausfallgruben bezeichnet. Durch das im Vergleich zur Mehrkammerabsetzgrube wesentlich größere Volumen (ca. dreifach) und die damit verbundene längere Verweilzeit des Abwassers kommt es an der Kontaktfläche zwischen dem Abwasser und dem Bodenschlamm sowie dem an den Beckenwänden haftenden Bewuchs zu anaeroben biologischen Abbauprozessen. Dementsprechend höher ist die Reinigungsleistung von Mehrkammerausfallgruben gegenüber Mehrkammerabsetzgruben hinsichtlich der Summenparameter CSB und BSB₅ einzuschätzen.

Die anaerobe teilbiologische Reinigung der Abwässer birgt allerdings auch Gefahren. Neben CH₄ und CO₂ werden beim anaeroben Abbau organische Säuren (z.B. Essig- und Buttersäure), Schwefelwasserstoff und Ammoniak gebildet. Dies trifft für alle o. g. Absetzanlagen, gleich welcher Art, zu. Einerseits führt dies zu unerwünschten Geruchsemissionen und Korrosionsschäden, andererseits können die aufsteigenden Faulgase die Flotation von partikulären Stoffen verstärken respektive deren Absetzen verhindern, so dass es zur Ausbildung einer massiven Schwimmschlammdecke kommen kann. Zwar werden die im Zulauf ankommenden Grob- und Feststoffe teilweise bereits auf ihrer Oberfläche zurückgehalten, doch werden sie nur unzureichend stabilisiert. Außerdem gestaltet sich die Schlammmentnahme problematisch, weil das Material nicht pumpfähig ist.

Die durch den Faulvorgang im Bodenschlamm bewirkten Störungen der Absetzvorgänge treten in der ersten Kammer von Mehrkammerausfallgruben in gleicher Weise auf wie bei Mehrkammerabsetzgruben. Auch die Rücklösung organischer Stoffe, insbesondere bei Speicherung von Überschussschlamm, spielt bei beiden Bauformen eine Rolle. Der Einfachheit

des Systems steht die Ungewissheit seiner uneingeschränkten Funktionalität gegenüber¹⁴. Das abfließende Wasser ist in jedem Falle angefault, kann zu Geruchsbelästigungen führen und setzt materialangreifende Gase frei.

Mit dem Emscherbrunnen (auch Travistank, Imhoff-Tank) sind die vorgenannten Probleme vermeidbar. Das Bauteil besteht aus einem horizontal durchflossenen Absetzraum, unter dem sich ein größerer Faulraum mit geneigter Sohle befindet.

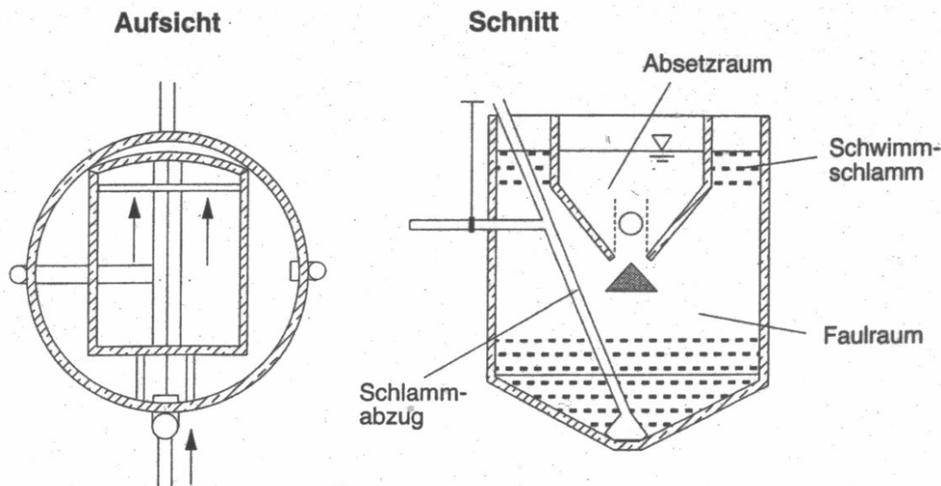


Abbildung 3-4: Prinzip des Emscherbrunnen¹⁵

Aufgrund der geneigten Behältersohle und den konischen Trennwänden sind Emscherbrunnen im Vergleich zu Mehrkammerabsetz- und -ausfalgruben kompliziert zu bauen und somit teuer. Letztlich ist den höheren Investitionskosten geschuldet, dass Emscherbrunnen nur vereinzelt zum Einsatz kommen, während Mehrkammerabsetz- und -ausfalgruben als Standardbauwerke angesehen werden können.

Eine Sonderform von Absetzanlagen nach dem Sedimentationsprinzip sind Absetzteiche, die aufgrund ihrer Größe die größte Betriebssicherheit gegen hydraulische Stoßbelastungen bieten. Die aufgrund der offenen Bauweise zu erwartenden Geruchsemissionen und der relativ große Platzbedarf (Einzäunung erforderlich) sprechen gegen den Einsatz an PWC-Anlagen.

3.2.4.2. Rechen, Siebe und Filter

Über Rechen und Siebe ist das Abfiltrieren von Grob- und Feststoffen möglich. Der Tennggrad ist in erster Linie von der Spalt- bzw. Durchlassweite der Aggregate respektive der Partikelgröße der abzutrennenden Feststoffe abhängig. Aus den zurückgehaltenen Partikeln bildet sich mit der Zeit ein so genannter Filterkuchen.

¹⁴ Die Ursachen für Auftreten von massiven Schwimmschlammdecken sowie die daraus resultierenden betrieblichen und verfahrenstechnischen Konsequenzen werden von der BUW im Rahmen eines aktuellen Forschungsprojektes untersucht.

¹⁵ Quelle: <http://kesselberg.info> (Stand 01/09)

Tabelle 3-8 gibt Auskunft über Differenzierung zwischen Rechen und Sieben anhand von Spalt- und Durchlassweiten. Für kleinere Einheiten kommen vorwiegend Sieb- und Filtersysteme zum Einsatz. Rechen sind eher selten.

Tabelle 3-8: Einteilung von Rechen und Sieben nach Spalt- bzw. Durchlassweiten

Aggregat	Spalt- bzw. Durchlassweite in mm
Grobrechen	100 - 20
Feinrechen	20 - 8
Feinstrechen	< 8
Grobsiebe	15 - 5
Siebrechen	6 - 1
Feinsiebe	5 - 0,5
Mikrosiebe	0,07 - 0,01

Der Vorteil von Sieben und Filtern besteht im Allgemeinen darin, dass eine konstante Phasenseparation zwischen festen und flüssigen Medien erreicht wird. Die flüssige Phase ist somit für den biologischen Abbau vorbehandelt, muss jedoch u. U. zwischengespeichert werden. Die abgetrennten Feststoffe sind noch nicht stabilisiert, weswegen Geruchsemissionen auftreten können. Eine Möglichkeit diese zu verhindern ist, dem Siebgut bzw. Filterrückstand so viel Wasser zu entziehen, dass es sofort einer Kompostierung zugeführt werden kann.

Von Nachteil ist der betriebliche Aufwand. Generell ist die Reinigung von Sieben eine Voraussetzung für deren ordnungsgemäßen Betrieb, da ansonsten anhaftende Feststoffe antrocknen können und die Trennleistung erheblich schmälern. Dies kann durch automatische Sprüh- oder Bürstenvorrichtungen oder einen Vibrationsmechanismus verhindert werden, was jedoch entsprechende Maschinenteknik erfordert.

Auf dem Markt stehen praktisch für jede Anwendung diverse Sieb- und Filtermaschinen zur Verfügung, doch wurden bislang nur wenige unter den Randbedingungen von Extremstandorten erfolgreich getestet. Die geringen Abwassermengen rechtfertigen nur selten die Kosten für hocheffiziente Technik. Bewährt haben sich so genannte Sieb-Press-Schnecken, bei denen das Siebgut mittels einer Schnecke ausgetragen und dabei entwässert wird. Beispiele für die Anwendungen auf Berg- und Schutzhütten sind:

- Ingolstädter Haus, Watzmannhaus [Menz et al., 2008],
- Kaiser Joch Haus, Leutkircher Hütte [Schönherr, Cyris et al., 2007],
- Welser Hütte [Grinzinger, 1999].

Sieb- und Filtersysteme, die ohne Maschinenteknik betrieben werden, sind in einfachster Ausführung Gitterroste oder Lochbleche. Sie werden unterhalb von Trockentoiletten für die Entwässerung der Fäkalien (nachträgliche Abtrennung von Urin) eingebaut, um diese kompostieren zu können. Die gleiche Funktion üben Gitter- bzw. Filterkörbe aus. Erfahrungen mit

diesen Systemen liegen bei nahezu allen Berg- und Schutzhütten vor, bei denen Trockentoiletten zum Einsatz kommen. Die Gitterroste und Filterkörbe müssen manuell gereinigt werden, nachdem der Behälterinhalt entleert wurde.

Eine Sonderform stellt das Bogensieb dar, das aufgrund seiner speziellen Konstruktion auch ohne Sprühsystem funktionsfähig bleibt, solange ein Austrocknen der Siebfläche verhindert werden kann. Die höchsten Abscheideleistungen werden demzufolge bei einem Dauerbetrieb des Bogensiebs erreicht, und längere Beschickungspausen müssen vermieden werden. Auf Berg- und Schutzhütten kommen Bogensiebe nicht bei saisonaler Bewirtschaftung oder ausgeprägtem Wochenendbetrieb zum Einsatz. Für PWC-Anlagen wären sie jedoch zur Feststoffabtrennung aus Schmutz-, Schwarz- und Grauwasser geeignet.

Eine Alternative zu Bogensieben stellen Filtersäcke aus reißfestem Siebgewebe dar, wie sie speziell für den Einsatz an saisonal bewirtschafteten Berg- und Schutzhütten in Österreich entwickelt wurden und bei diversen Demonstrations- und Forschungsanlagen aber auch im Rahmen der aktuellen Aufgabenstellung zur Anwendung kommen bzw. kamen. Im Prinzip wird der Filtersack vom Abwasser im freien Fall durchflossen und somit fortwährend mit Feststoffen befüllt. Mit zunehmender Befüllungszeit bildet sich ein Filterkuchen vor dem Maschengewebe aus, so dass sich Abscheidegrad respektive Filtrationszeit erhöhen. Ist die Kapazitätsgrenze der Filtersäcke erreicht, müssen sie außer Betrieb genommen werden.

Beim Tiroler Filtersacksystem (Abbildung 3-5) sind an einer Abwasserleitung abzweigende Rohrstützen angeordnet, an denen mehrere Filtersäcke montiert werden. Sobald der erste Filter gefüllt ist, kommt es zu einem Rückstau und das Abwasser fließt weiter bis zum nächsten Sack. Durch eine zweistraßige Ausbildung wird außerdem erreicht, dass eine Reihe nach deren Füllung abtropfen und austrocknen kann, während die andere gefüllt wird. Das Nachentwässern des Sackinhaltes ist erforderlich, wenn die Feststoffe einer Kompostierung zugeführt werden sollen. In jedem Fall ist es aber nützlich, weil dadurch das Handling der Filtersäcke wesentlich erleichtert wird. Im Unterschied zum Bogensieb wirkt sich bei Filtersäcken eine diskontinuierliche Beschickung deshalb grundsätzlich positiv aus.

Für den harten Einsatz an Berg- und Schutzhütten hat sich das Filtersystem vielfach bewährt. Insbesondere deshalb, weil die Filtersäcke über längere Zeiträume (auch außerhalb der Saison) austrocknen können. Zur Abtrennung der Feststoffe aus Schmutz- und Schwarzwasser kommen sie beispielsweise zur Anwendung bei:

- Friesenberghaus, Hochjochhospiz, Ostpreußenhütte, Rüsselsheimer Hütte [Menz et al., 2008],
- Bonn-Matreier Hütte, Darmstädter Hütte [Wett et al., 2001].

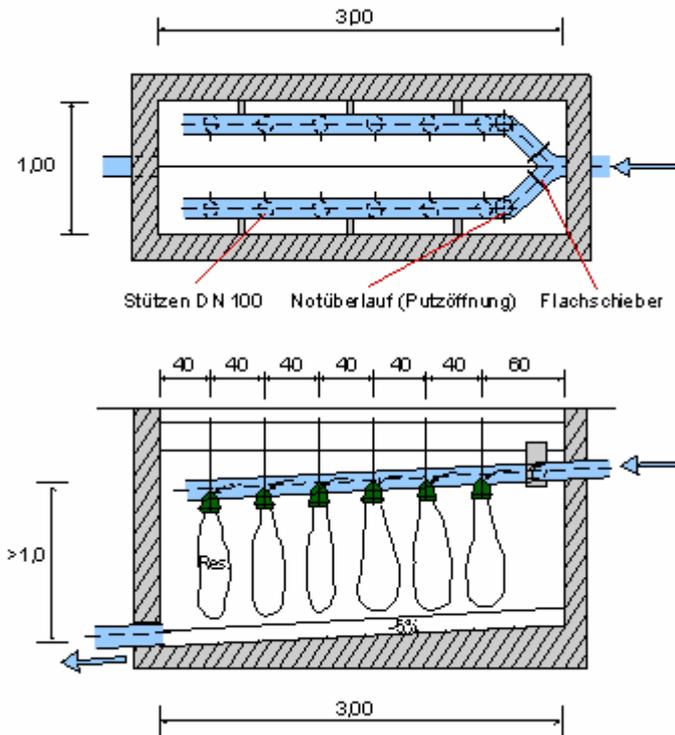


Abbildung 3-5: Prinzipskizze einer Filtersackanlage [Renner, 1999]

Prinzipiell ist das manuelle Entleeren bzw. Umfüllen der Filtersäcke eine mühsame Arbeit, zu der es derzeit noch keine technische Alternative gibt. Im Betrieb können Probleme auftreten, wenn die Maschen bzw. Poren der Filtersäcke verstopfen. Dementsprechend eignet sich durch Schneidradpumpen oder Vakuumverfahren stark zerkleinertes Braun- oder Schwarzwasser nur bedingt für diese Art der Filtration. Insgesamt scheinen Filtersäcke aufgrund ihrer schwierigen Handhabung für PWC-Anlagen weniger geeignet zu sein.

3.2.5. Biologische Stufe

In Bezug auf die Biomasse im Reaktor sind die Verfahren zur biologischen Abwasserreinigung in Belebtschlammverfahren (suspendierte Biomasse) und Biofilmverfahren (trägerfixierte, d. h. sessile Biomasse) zu unterscheiden. Wesentliche Unterschiede der Belebungsverfahren im Vergleich zum Biofilmverfahren sind in der nachfolgenden Tabelle 3-9 zusammengestellt.

Tabelle 3-9: Vergleich von Belebungs- und Biofilmverfahren [ATV, 2004]

	Kriterium	Belebungsverfahren	Biofilmverfahren
Verfahrenstechnik	Biologischer Reaktor	mit suspendierter Biomasse	mit trägerfixierter Biomasse
	Schlammrückführung	Erforderlich (Rücklaufschlamm)	nicht erforderlich
	Abscheideeinrichtung (Schlammabtrennung)	erforderlich	nicht zwingend erforderlich (abhängig vom Reinigungsziel und Verfahren)
	Platzbedarf	größer	kleiner (abhängig vom Verfahren)
	Erweiterungsmöglichkeit		ggf. einfacher durch modularen Aufbau
	Kosten je m ³ Reaktorvolumen	kleiner als Biofilmverfahren	größer als Belebungsverfahren
Biologie	Mikrobiologie	Tendenz zur Mischpopulation	Tendenz zur räumlichen Trennung der Biozönosen (verfahrensabhängig)
	Adaptierung der Biomasse	durch Schlammalter limitiert	i. d. R. möglich
	Abbau	i. d. R. substratlimitiert	i. d. R. diffusionslimitiert
	Selektion und Anreicherung der Biomasse	wesentlich durch Schlammalter und Sedimentationseigenschaften der Biomasse	Haftungsvermögen der Biomasse im Zusammengang mit Schlammausspülvorgang und Hydrodynamik
	Mittlere Verweilzeit der Biomasse	entsprechend dem Schlammalter	keine Aussagen zum Schlammalter möglich
Betrieb	Kampagnenbetrieb bzw. Wiederinbetriebnahme	Animpfen und/oder Einfahren notwendig	i. d. R. leichter möglich
	Hydraulische Stoßbelastungen	begrenzt durch Nachklärung	i. d. R. begrenzt durch Durchflusszeit
	stoffliche Stoßbelastungen (Konzentrationsstöße)	besserer Ausgleich durch größeres Volumen und variable Betriebsführung	
	Einfluss Vorreinigung auf Abbauergebnis	vorhanden	groß
	Einfluss Vorreinigung auf Betriebssicherheit	gering	groß
	Toxische Stöße	u. U. problematisch	vergleichsweise schnelle Erholung
	Hauptprobleme	Blähschlamm Bildung	Biofilmkontrolle/Verstopfung
	Optimaler O ₂ -Gehalt bei Nitrifikation	1 - 2 mg O ₂ / l	Anpassung der Reinigungsleistung durch Variation > 2 mg O ₂ /l
	Bemessungsparameter	Schlammalter und -belastung	Raumbelastung, Flächenbelastung
	Denitrifikation	einfach zu realisieren	bei einigen Verfahren eingeschränkt
	P-Elimination	etabliert	sehr beschränkt
	Abluftbehandlung	Fassung durch große Oberflächen aufwendig	i. d. R. einfacher aufgrund kleinerer Oberflächen
Temperaturempfindlichkeit	höher	geringer (Ausnahme: offene Tropfkörper)	

Das Grundprinzip beider Verfahren ist identisch: Die gelösten organischen Inhaltsstoffe sollen durch mikrobiologische Stoffwechsellätigkeit zum einen Teil in bakterielle Biomasse überführt werden, um diese anschließend auf physikalischem Wege abzutrennen. Der andere Teil wird von den Mikroorganismen zur Deckung ihres Energiebedarfes zu CO₂ und H₂O

veratmet. Eine wesentliche Voraussetzung für das einwandfreie Ablaufen dieser Prozesse ist demnach die Anwesenheit von freiem gelösten Sauerstoff. Die Art und Konzentration von Substraten, Organismen und Inhibitoren sowie der pH-Wert und die Temperatur bestimmen die Geschwindigkeit des biologischen Abbaus.

Für die Prozessstabilität sind die hohen Stickstoffkonzentrationen problematisch, wie sie typisch für Abwässer von PWC-Anlagen und andere Extremstandorte sind. Denn die bei aerober Behandlung des Abwassers einsetzende Nitrifikation kann zur Versäuerung führen und somit alle anderen biologischen Prozesse beeinträchtigen. Bezogen auf ein Gramm des oxidierten Stickstoffs nimmt die Säurekapazität des Abwassers um $0,14 \text{ mol / g N}$ ab. Bei unzureichendem Puffervermögen des Abwassers kann dies den pH-Wert in einen ungünstigen Bereich ($\text{pH} < 6,0$) verschieben. Technologisch lässt sich dieses Problem entweder durch Aufhärten des Abwassers (Erhöhung der Alkalinität durch Dosierung von Lauge, i. d. R. Kalk) oder durch gezielte Denitrifikation, bei der zumindest die Hälfte der durch Nitrifikation verbrauchten Säurekapazität ($0,07 \text{ mol / g N}_{\text{elim}}$) zurück gewonnen wird, lösen. Beide Maßnahmen sind bei allen Belebungsverfahren relativ einfach zu realisieren und zu kontrollieren, während es bei Biofilmverfahren Einschränkungen gibt.

Generell bieten Belebtschlammverfahren den Vorteil, dass der Reinigungsprozess gut steuerbar ist (zum Beispiel durch Variation der Belüftungszeit) und somit die Reinigungsleistung auf hohem Niveau gehalten werden kann. Entsprechende MSR-Technik und geschultes Personal vorausgesetzt, ist es möglich, auf plötzliche und kurzzeitige Belastungsstöße zu reagieren. Ein Problem sind jedoch lang anhaltende Perioden der Unterlast, weil die Mikroorganismen dann verhungern und absterben. Diesbezüglich sind Biofilmverfahren weniger empfindlich. Allerdings reagieren sie wesentlich träger auf sich ändernde Bedingungen, was letztlich die Effektivität einer variablen Betriebsführung herabsetzt.

Bezüglich des Einsatzes an Berg- und Schutzhütten hat sich gezeigt, dass beide Grundtypen biologischer Verfahren geeignet sind, wenn sie entsprechend konzipiert und betrieben werden. In Tabelle 3-10, sind typische Vertreter beider Grundtypen aufgeführt.

Auf Seite der Belebungsverfahren haben sich klassische Belebungsanlagen mit mehreren Becken für unterschiedliche Reinigungsschritte als ungeeignet erwiesen. Stattdessen hat sich die Einbeckentechnologie durchgesetzt, bei der die Reinigungsschritte entlang einer zeitlichen Achse in einem Behälter ablaufen. Das Abwasser kann dem Belebungsbecken im freien Gefälle kontinuierlich zufließen (Einbeckenschwachlastbiologie) oder aus einem separaten Vorlagespeicher diskontinuierlich zugeführt werden (SBR: sequencing batch reaktor = zyklisch beschickter Reaktor). Nachteilig an der Einbeckentechnologie kann bei sensiblen Vorflutern die stoßweise Abgabe des gereinigten Abwassers sein. Das Biocos-Verfahren kombiniert die klassische Belebungsanlage mit der Einbeckentechnologie. Beim Membranbioreaktor wird das Nachklärbecken durch eine Filtermembran ersetzt.

Tabelle 3-10: Anwendung von Belebungs- Biofilmverfahren auf Berg- und Schutzhütten

Verfahren	Anwendungsbeispiele
Belebungsverfahren	
Sequence-Batch-Reaktor (SBR)	Essener-Rostocker-Hütte [1]
Einbeckenschwachlastbiologie (EBS)	Karlsbader Hütte, Stuttgarter Hütte [1]
Biocos-Anlagen	Berliner-, Coburger-, Höllentalanger-, Konstanzer-, Lamsenjoch- und Nördlinger Hütte [1]
Membran-Bio-Reaktor (MBR)	Seilbahnstation am Höhtälli [2]; Talstation Säntisbahn Schwägalp [3]
Biofilmverfahren	
Tropfkörper	Adamekhütte [6], Karlinger Haus, Friesenberghaus, Mindelheimer Hütte, Neue Traunsteiner Hütte [4], Porze Hütte [1], Schiestlhaus [5], Watzmannhaus, Weidener Hütte, Wimbachgrieshütte [4]
Biofilter	Brunnsteiner Hütte [1], Ingolstädter Haus [4], Rabenkopfhütte [4], Welser Hütte [10]
Bodenfilter (bepflanzt: Pflanzenbeet)	Bergwachtbereitschaft Bad Feilnbach, Brunnenkopfhäuser Hütte [4], Casera Bosconero Hut [8], Göppinger Hütte [7], Hermann von Barth Hütte [1], Lenggrieser Hütte, Oberzalimhütte, Ostpreußenhütte [4]
Rotationstauchkörper	Leutkircher Hütte [6], Straubinger Haus [4]
Abwasserteich	Neue Magdeburger Hütte [1]

Quellen: 1 -[Wett et al., 2001], 2 -[Bützer et al., 2006], 3 -[Anonym, 2004], 4 -[Menz et al., 2008], 5 -[BMVIT, 2002], 6 -[Schönherr, Cyris et al., 2007], 7 -[Grinzinger, 1999], 8 -[Cossu et al., 2007]

Auf Seiten der Biofilmverfahren kommen viele Verfahrensvarianten zum Einsatz, doch fehlen getauchte Festbettreaktoren und Systeme mit frei beweglichen Aufwuchskörpern (Wirbel-, Fließ- und Schwebebettverfahren). Sehr wahrscheinlich ist der aus technischer Belüftung des Abwassers resultierende Energiebedarf verantwortlich dafür. Zumindest erfolgt bei allen zur Ausführung gelangten Varianten (vgl. Tabelle 3-10) der Eintrag von Sauerstoff ohne Pumpen, Gebläse und dergleichen technischen Geräte. Der Einsparung von Fremdenergie stehen begrenzte Möglichkeiten der betrieblichen Einflussnahme gegenüber.

Auffällig häufig sind Tropfkörper sowie Bio- und Bodenfilter anzutreffen. Bei diesen Systemen wird der für den biologischen Reinigungsprozess erforderliche Sauerstoff über die freien Oberflächen des Biofilmreaktors eingetragen, während das zu reinigende Abwasser den Biofilmreaktor durchströmt bzw. durchrieselt und durchsickert. Während als mineralische Tropfkörperfüllstoffe in der Regel Gesteins- oder Schlackebrocken der Körnung 40 bis 80 mm dienen (Kunststofffüllstoffe sind ebenfalls möglich), kommen bei Bio- und Bodenfilter sandig bis sandig-kiesige Materialien mit maximalen Korngrößen von 10 mm zum Einsatz.

Die damit einhergehende Filterwirkung ist namensgebend: In Bio- und Bodenfiltern erfolgen der biologische Abbau gelöster Stoffe und Filtration von Suspensa kombiniert. Daraus ergibt

sich einerseits, dass auf die nachträgliche Abscheidung von Suspensa verzichtet werden kann (Nachklärung entfällt). Andererseits wird durch das allmähliche Zusetzen der Porenräume (Kolmation) mit eingelagerten Feststoffen und entstandener Biomasse die Standzeit der Bio- und Bodenfilter begrenzt. Während der Aufbau von Biofiltern den teilweisen - zumindest aber den vergleichsweise schnellen - Austausch von kolmatiertem Filtermaterial zulässt, stellt dieses Unterfangen bei Bodenfiltern eine Schwierigkeit dar. Konsequenterweise müssen Bodenfilter im Hinblick der Kolmationssicherheit bemessen und betrieben werden.

Die schnelle Kolmation von Bodenfiltern lässt sich nur durch Beschränkung der beaufschlagten Abwasserfrachten umgehen. Demzufolge sind Bodenfilter nur zur Behandlung feststoffarmer und gering belasteter Abwässer, also insbesondere Grauwasser geeignet. Andernfalls resultiert die Forderung nach einer möglichst weitgehenden Vorreinigung des zu behandelnden Abwassers. Häufig kommen sie deshalb als Nachreinigungsstufe zur Anwendung.

3.2.6. *Nachbehandlung*

Im Rahmen der Nachbehandlung wird die Abtrennung der Feststoffe, wie sie durch biologische, chemische oder physikalische Prozesse während der Behandlung entstanden sind (Sekundär- und Tertiärschlamm), aus der Suspension realisiert (Nachklärung). Die abgetrennten wässrigen Feststoffe (Überschussschlamm) gelangen zur Reststoffbehandlung (vgl. 3.2.7). Nur wenn ein Belebtschlammverfahren zum Einsatz kommt, werden sie teilweise der biologischen Stufe zugeführt (Rücklaufschlamm), letztlich aber zeitversetzt ebenfalls dem System entnommen. Die flüssige Phase wird entweder direkt oder indirekt (zeitversetzt durch Zwischenschaltung von Speichern) an die Vorflut oder aber die Nachreinigung abgegeben.

Für die Aufgabe der Phasenseparation nach der biologischen Stufe stehen prinzipiell alle mechanischen Trennverfahren zur Verfügung, wie sie teilweise bereits im Rahmen der Vorbehandlung zum Einsatz kommen.

Am gebräuchlichsten sind Absetzanlagen (Nachklärbecken) mit geneigter Sohle (Trichterbecken). Sehr häufig sind sie mit der Biologischen Stufe in einem gemeinsamen Bauwerk vereint (Kompaktanlagen). Alternativ bzw. unterstützend sind Lammellenabscheider eingebaut. Sie bestehen aus einem Bündel parallel geneigter Platten oder Rohre, die vom schlammhaltigen Abwasser aufwärts (Gegenstromverfahren) oder abwärts (Gleichstromverfahren) durchflossen werden. Dabei sedimentieren die Feststoffpartikel und "rutschen" auf den Platten bzw. Rohrsohlen abwärts. Der Vorteil des Lamellenabscheiders ist der im Vergleich zu konventionellen Absetzbecken geringere Platzbedarf, da die Sedimentationsstrecke verkürzt wird.

Bei der Membranfiltration wird das Abwasser mittels Unterdruck (Energieaufwand) über eine Membran gefiltert. Die Filtermembran ist so fein, dass auch Bakterien, Viren und andere Krankheitserreger zurückgehalten werden (Mikro- und Ultrafiltration). Dadurch kann das gereinigte Abwasser als Brauchwasser, z.B. als Toilettenspülwasser verwendet werden. Dies macht den Einsatz der Membranfiltration bei Wasserknappheit und gleichzeitig uneingeschränkter Energieverfügbarkeit interessant. Eine Zwischenspeicherung des gereinigten Abwassers erfordert jedoch eine Desinfektion (UV-Bestrahlung), um eine Wiederverkeimung zu unterbinden. Bei der Wiederverwendung von urinreichen Abwässern wird aus ästhetischen

Gründen zusätzlich eine Entfärbung empfohlen. Bei der Abwasserbehandlung an der Toilettenanlage der „Seilbahnstation am Höhtälli“ wird dies durch Zugabe von Pulveraktivkohle im Belebungsbecken erreicht [Bützer et al., 2006].

3.2.7. Reststoffentsorgung

Als Produkt der Abwasserreinigung fallen Rechen- und Siebgut, Fett (aus dem Fettfang) sowie Klärschlämme (Primär-, Sekundär- und Tertiärschlämme) an, die gemeinsam mit den sonstigen am Standort anfallenden Abfällen entsorgt werden müssen. Reststoffbeschaffenheit und -menge hängen maßgeblich vom Sanitär- und Abwasserreinigungssystem ab, die damit entscheidenden Einfluss auf Art und Umfang der durchzuführenden Reststoffbehandlung nehmen. Generell stellt die Reststoffentsorgung an Berg- und Schutzhütten nicht zuletzt aufgrund der schwierigen Transport- und Zugänglichkeit und der begrenzten Möglichkeit einer Ausbringung vor Ort eine besondere Schwierigkeit dar. Dies trifft insbesondere für die Klärschlämme aus der Behandlung von Schmutz- und Schwarzwasser zu, da diese hygienisch bedenklich sind.

Günthert & Narr, (2002) geben mit nachstehendem Fließdiagramm (Abbildung 3-6) eine Entscheidungshilfe über die Entsorgung von Klärschlämmen aus Abwasserreinigungsanlagen von DAV Hütten anhand rechtlicher und technischer Vorgaben.

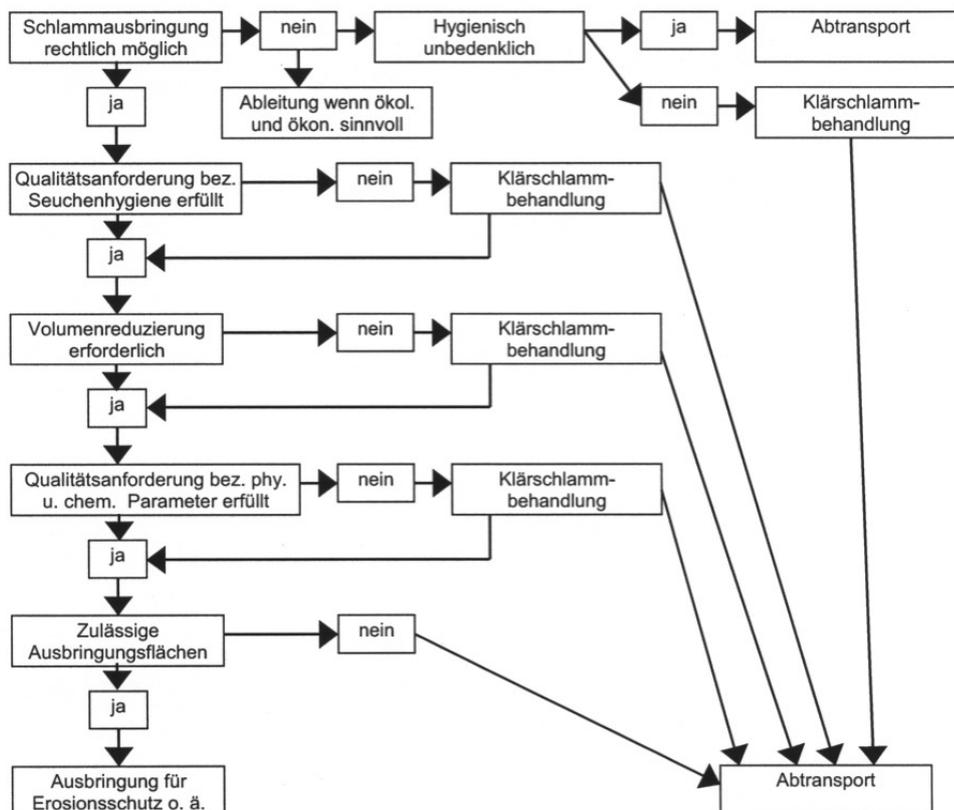


Abbildung 3-6: Klärschlamm Entsorgung alpiner Abwasserreinigungsanlagen [Günthert & Narr, 2002]

Demnach ist sowohl für die Ausbringung vor Ort als auch den Abtransport die Behandlung mit dem Ziel einer Hygienisierung der Klärschlämme obligatorisch, was technisch im Rah-

men der Stabilisierung erreicht werden kann. Von großer Bedeutung ist auch die Volumen- bzw. Massenreduktion der Klärschlämme durch Wasserentzug, wofür Verfahren der Eindickung, Entwässerung und Trocknung herangezogen werden können.

Abbildung 3-7 gibt einen Überblick, wie die Klärschlamm Entsorgung in Abhängigkeit des Sanitär- und Abwasserreinigungssystems sowie der Klärschlammbehandlung bei vielen Objekten erfolgt. Hierbei wird zwischen Nassschlamm einerseits, wie sie bei konventioneller Sanitärtechnik und anschließender biologischer Abwasserreinigung in Form von Primär- und Sekundärschlämmen anfallen und in Absetzanlagen gespeichert werden, sowie bereits entwässert anfallenden Klärschlämmen andererseits, unterschieden. Letztere sind entweder feste Rückstände einer Phasenseparation (maschinelle Feststoffabscheider, Filtersäcke) oder entstehen, wenn Trockentoiletten (Komposttoiletten) zum Einsatz kommen. Aufgrund des geringen Wassergehaltes sind derlei Substrate grundsätzlich kompostierbar (Hygienisierung durch aerobe Stabilisierung). Realisiert wird sowohl die geschlossene (Zwangsbelüftung, Heizung) als auch die offene (Mieten) Kompostierung i. d. R. unter Zugabe von Strukturmaterial (z.B. Sägespäne). Für eine weitgehende Hygienisierung sind hohe Temperaturen über lange Zeiträume erforderlich (z.B. $T \geq 55 \text{ °C}$ über 3 Wochen bei Mietenkompostierung). Nachteilig an der Kompostierung ist vor allem die hohe Prozesssensibilität, die einen relativ hohen Arbeitsaufwand erfordert.

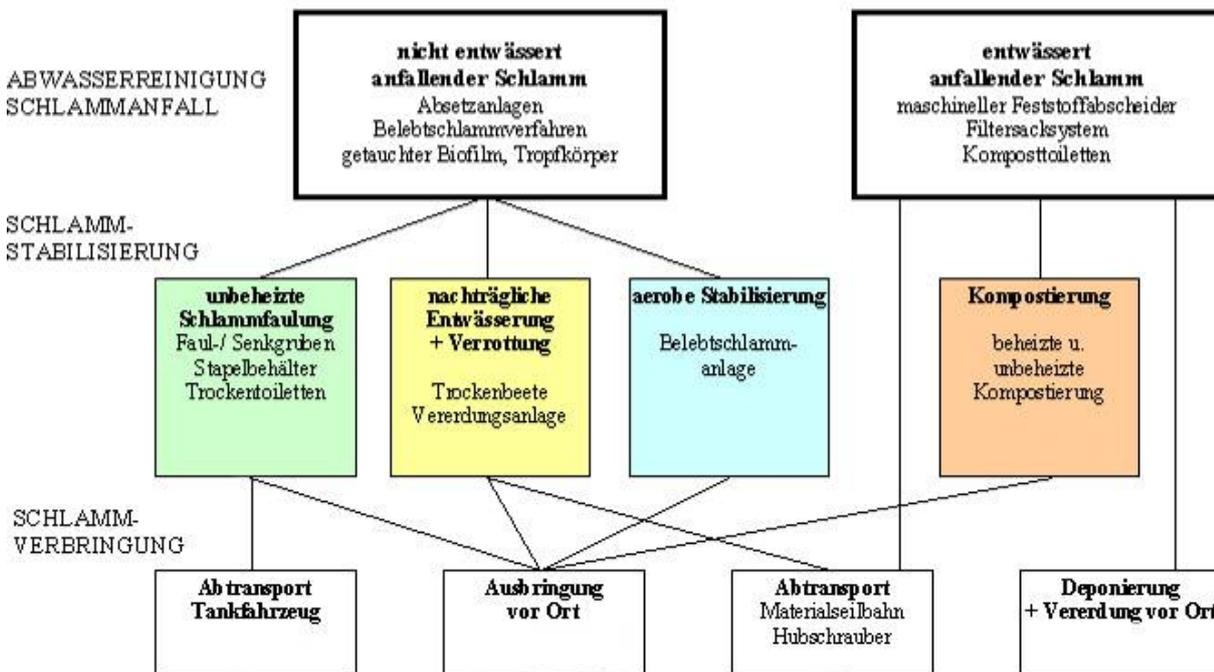


Abbildung 3-7: Schlammbehandlung und -entsorgung in Berglagen [Wett et al., 2001]

Bei Verwendung konventioneller Spültoiletten stellt die unbeheizte anaerobe Stabilisierung (kalte Faulung) von Primär- und Überschussschlämmen in ein und derselben Absetzanlage den Regelfall dar. Nur in Ausnahmefällen sind zur Stabilisierung und Eindickung von Überschussschlämmen separate Absetz- und Speicherbehälter vorgesehen. Einerseits erfordert dies einen nur sehr geringen technischen und betrieblichen Aufwand, andererseits führt die kalte Faulung lediglich zu einer Teilstabilisierung und einer marginalen Volumenreduzierung der

Schlämme. Zu beachten ist auch, dass es zu beträchtlichen Rücklösungen und somit zu einer Mehrbelastung der biologischen Behandlungsstufe kommen kann.

Die beheizte anaerobe Stabilisierung (warme Faulung), deren Vorteile mit der energetischen Faulgasnutzung und der lohnenden Mitbehandlung von Bioabfällen (Küchenabfälle) auf der Hand liegen, kommt bislang nur selten zum Einsatz, weil es an einer - den spezifischen Randbedingungen exponierter Lagen angepassten – Technik fehlt. Auf der „Casa Bosconero Hut“ (italienische Alpen) wird dieses Verfahren zur Behandlung von Braunwasser- und Küchenabfälle erfolgreich eingesetzt [Cossu et al., 2007].

Die technische aerobe Stabilisierung im flüssigen Milieu (Belüftung), die sowohl simultan im Belebungsbecken als auch in separaten Behältern durchgeführt wird, liefert zwar hinsichtlich Schlammanfall und Entseuchung bessere Ergebnisse, doch ist das Verfahren wesentlich aufwendiger und vor allem energieintensiver. Zudem bleibt die Anwendbarkeit auf Belebungsanlagen beschränkt.

Um eine nachträgliche Volumenreduzierung der anaerob bzw. aerob stabilisierten flüssigen Klärschlämme zu bewirken, werden sie über Filtersäcke und Trockenbeete auf natürliche Weise entwässert. Bei letzterem erweisen sich zunächst die Geruchsemissionen beim Ausbringen der teilstabilisierten Schlämme und später die Wetterabhängigkeit des Verfahrens als problematisch: starke Niederschläge können den Entwässerungserfolg erheblich beeinträchtigen [Schönherr, Günthert et al., 2007]. Technische Schlammentwässerungsverfahren werden nur selten eingesetzt, technische Trockner fehlen gänzlich. Für kleine Einheiten hat sich der kompakte Solar-Schlamm-trockner bewährt [Schönherr, Cyris et al., 2007].

3.3. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Gegenüberstellung von Messdaten hat ergeben, dass das Abwasser von PWC-Anlagen mit denen von anderen Extremstandorten sehr ähnlich ist. Kennzeichen solcher Problemabwässer ist eine im Vergleich zu häuslichem Schmutzwasser erhöhte Phosphor- und insbesondere Stickstoffkonzentration und/oder ein in Bezug auf die Stickstoff- und Phosphorfracht geringeres Angebot an abbaubaren Kohlenstoffverbindungen (C/N/P – Verhältnis). Dies ist auf einen hohen Urinanteil im Abwassergemisch zurückzuführen.

Für PWC-Anlagen lässt sich die nutzerspezifische Stofffracht anhand von einwohnerspezifischen Stofffrachten und dem Benutzerverhalten abschätzen. Da an PWC-Anlagen außer den Toiletten keine weiteren Dienstleistungen angeboten werden, resultieren die maßgeblichen Frachten aus menschlichen Ausscheidungen (Urin + Fäzes = Fäkalien). Offen bleibt jedoch die Frage, welche Frachten zusätzlich in Ansatz gebracht werden müssen (z.B. Reinigungsmittel, Toilettenpapier usw.). Unsicherheiten bestehen insbesondere hinsichtlich der Feststoffe, da diesbezüglich noch keine systematischen Erhebungen durchgeführt worden sind.

Bestehende Orientierungswerte zur Abschätzung von Abwasserbelastungen an anderen Extremstandorten sind nur bedingt übertragbar, da dem signifikant höheren Urinanteil nur unzureichend Rechnung getragen wird. Erhöhte Nährstofffrachten werden entweder gar nicht (z.B. ÖWAV – R1) oder aber in falscher Relation zu den biologisch abbaubaren Stoffen in Ansatz gebracht (ATV–M 279 (E)).

Im Gegensatz zu den Stofffrachten bereitet die Abschätzung nutzerspezifischer Abwassermengen Schwierigkeiten, da hierbei orts- und objektspezifische Randbedingungen einen erheblichen Einfluss haben können. Welche Abwassermenge pro Benutzer anfällt, hängt generell vom Bewirtschaftungsgrad (Art und Umfang der angebotenen Servicedienstleistung), dem Ausstattungsgrad (Art und Anzahl der Wasserverbrauchs-, bzw. Abwasseranfallstellen) sowie dem individuellen Benutzerverhalten (Inanspruchnahme der Wasserverbrauchsstellen) ab. Für PWC-Anlagen spielen zwar nur der Ausstattungsgrad und das individuelle Benutzerverhalten eine Rolle, aufgrund spezieller und dennoch vielfältiger Sanitärtechnik ist dennoch mit großen Unterschieden von Anlage zu Anlage zu rechnen.

Ein generelles Problem bei der Auslegung abwassertechnischer Anlagen unter Verwendung von nutzerspezifischen Kennzahlen ist, dass die für eine zuverlässige Prognose von Stofffrachten und Abwassermengen maßgebende Besucher- bzw. Benutzeranzahl, aber auch deren zeitliche Schwankungen zur Berücksichtigung unterschiedlicher Lastfälle, bekannt sein müssen. Da sowohl die bemessungsrelevanten Stofffrachten als auch die Abwassermenge die Produkte aus den Faktoren nutzerspezifische Kennzahl und Benutzeranzahl sind, können sich die Fehler beider Faktoren ergänzen bzw. mehr oder weniger aufheben (Fehlerfortpflanzung). Demnach muss der Quantifizierung von Personengruppen dieselbe Aufmerksamkeit zu kommen, wie bei der Abschätzung nutzerspezifischer Kennzahlen.

Generell führt eine ungleichmäßige Auslastung von Sanitäranlagen zu einem stark schwankenden Abwasseranfall. Hydraulische Belastungsschwankungen können im Tages-, Wochen und Jahresverlauf auftreten, doch sind sie objektspezifisch unterschiedlich stark ausgeprägt und haben deshalb für die Systemwahl der Abwassertechnik auch unterschiedliche Relevanz. Für PWC-Anlagen sind die Stoßbelastungen (max. Benutzeranzahl = max. Abwasseranfall) beim gleichzeitigen Eintreffen von Reisebussen zu erwarten. Dieses Ereignis kann mehrmals täglich und prinzipiell über das ganze Jahr unabhängig vom Wetter eintreten. Für bewirtschaftete Extremstandorte abseits von öffentlichen Straßen (z.B. Ausfluggaststätten, Berg- und Schutzhütten) ist die Frequentierung durch Besucher hingegen stark vom Wetter abhängig, weswegen sie zum Teil nur saisonal bewirtschaftet werden. Dementsprechend können weitaus deutlichere Schwankungen im Abwasseranfall über das Jahr auftreten, als dies bei PWC-Anlagen zu erwarten ist.

Die ingenieurtechnologische Herausforderung an die dezentrale Abwasserentsorgung an Extremstandorten besteht im Allgemeinen darin, den jeweiligen ort- und objektspezifischen Randbedingungen gerecht zu werden. Hinsichtlich der Abwassercharakteristik sind PWC-Anlagen mit anderen Extremstandorten vergleichbar, doch ist die Lösung des Abwasserproblems im Gebirge wegen der weitaus härteren klimatischen und topographischen Gegebenheiten wesentlich schwieriger.

Für die Abwasserentsorgung von PWC-Anlagen spielen ähnliche Kriterien wie für Berghütten eine Rolle, doch kommt ihnen nicht die gleiche fundamentale Bedeutung zu. Entscheidender Vorteil von PWC-Anlagen gegenüber bewirtschafteten Extremstandorten ist ihre Lage an der Autobahn, weil hierdurch eine sehr gute Erreichbarkeit gegeben ist. Dies vereinfacht die Organisation eines ordnungsgemäßen Betriebs der Abwassertechnik erheblich, denn alle not-

wendigen Ressourcen (Fachpersonal, Ersatz- und Verschleißteile, Betriebsmittel) können im Bedarfsfall kurzfristig beschafft werden, und auch die Entsorgung von Reststoffen (Klärschlamm) ist unproblematisch. Die im Tagesverlauf auftretenden Belastungsschwankungen können mit Speichern kompensiert werden. Letztlich verbleiben für die dezentrale Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen als Schwierigkeiten:

- der hohe Anteil von Toilettenpapier und Grobstoffen im Abwassergemisch sowie
- der hohe Anteil von Urin im Abwassergemisch

bestehen. Diese Schwierigkeiten lassen sich mit der üblichen Abwasserentsorgungsstrategie nur bedingt lösen. Insbesondere muss die Betriebssicherheit der biologischen Reinigungsstufe infolge extremer Stickstofffrachten und der Verschleppung von Grob- und Feststoffen angezweifelt werden. Konsequenterweise muss die Lösung im Abtrennen dieser Problemstoffe vor der biologischen Behandlung gesucht werden. Dies ist durch Einführung der Trenntechnologie, insbesondere der Urinabtrennung, möglich. Alternativ bietet sich die vollumfängliche Abfuhr der Abwässer an. Dies bedingt den Einsatz wassersparender Sanitärtechnik, um Abfuhrkosten zu minimieren.

Bei der Betrachtung alternativer Entsorgungsstrategien sind alle Glieder der Prozesskette Erfassung/Sammlung → Ableitung → Speicherung → Behandlung und → Reststoffbehandlung im Sinne einer Abwasserbewirtschaftung zu berücksichtigen. Ein Fokussieren auf die biologische Behandlungsstufe allein ist nicht zielführend. Nur unter Einbindung aller vor- und nachgelagerten Prozesse kann sie Teil eines sinnvollen Entsorgungssystems werden. Am Anfang der Prozesskette steht die Sanitärtechnik. Von ihr hängt maßgeblich ab, inwieweit die separate Erfassung einzelner Stoffströme überhaupt durchführbar ist.

Wie die Ausführungen in Abschnitt 3.2.1 gezeigt haben, steht Sanitärtechnik in großer Vielfalt zur Verfügung. Neben dem diskutierten Erfassungs- und Verdünnungsgrad spielen für die Auswahl geeigneter Techniken an PWC-Anlagen aber noch andere Kriterien, wie Material, Einbaulage und Art der Benutzung sowie betriebliche Aspekte eine Rolle. Generell muss die vorgehaltene Sanitärtechnik:

- gegen Diebstahl und Vandalismus gesichert sein (Material/Einbaulage),
- hygienisch und gleichzeitig benutzer- und wartungsfreundlich sein (Einbaulage/Art der Benutzung).

Prinzipiell ist jegliche Sanitärtechnik aus Keramik, Kunststoff und Edelstahl auf dem Markt verfügbar. Im Vergleich zu den anderen Materialien ist die Edelstahlausführung am teuersten, doch wird sie auf PWC-Anlagen aus Gründen der Zerstörungssicherheit bevorzugt eingebaut.

Bezüglich der unterschiedlichen Art der Benutzung von Toiletten ist zu erwähnen, dass es neben den üblichen Sitztoiletten auch Hocktoiletten gibt, deren Vorteil eine „berührungsfreie Benutzung“ ist. Besondere Erwähnung bedarf die Tatsache, dass die an Deutschlands PWC-Anlagen verbauten Sitztoiletten von vielen Benutzern ohnehin hockend oder sogar stehend benutzt werden. Diese unsachgemäße Benutzung führt zu ästhetischen und hygienischen

Misständen, die wiederum eine sachgerechte Benutzung durch den Nachfolgenden vereiteln (Zirkelbezug).

Für den Herrenbereich können wasserlose Urinale empfohlen werden. Sie eröffnen die Möglichkeit, zumindest den männlichen Urin unverdünnt und separat zu erfassen. Aufgrund der Tatsache, dass die meisten PWC-Benutzer männlich sind und diese - so wie ihre weiblichen Artgenossen auch - überwiegend urinieren, wird damit bereits ein wesentlicher Beitrag zur Wasserersparnis geleistet. Wird nun der separat erfasste männliche Urin in separaten Leitungen abgeführt, ist das Problem des hohen Urinanteils im Abwassergemisch einer Lösung nahe. Der männliche Urin kann nun von der örtlichen Behandlung vollständig oder teilweise sowie dauerhaft oder temporär ausgeschlossen werden. Ob dies ausreichend für eine biologische Behandlung des Restabwassers ist, muss noch geprüft werden. Die unverdünnte Erfassung macht das Vorhalten von Urinspeichern in jedem Falle wirtschaftlich. Für die Abtrennung der Grob- und Feststoffen aus den übrigen Abwasserteilströmen bieten sich Em-scherbrunnen oder Bogensiebe in Verbindung mit Speichern an.

Ob die separate Erfassung und geringe Verdünnung von anderen Abwasserteilströmen sinnvoll ist, muss letztlich im Einzelfall unter Abwägung der zur Verfügung stehenden Entsorgungsoptionen und verfügbaren Ressourcen entschieden werden. Dabei sind die geänderten Betriebsweisen unbedingt zu berücksichtigen. Es sollte davon ausgegangen werden, dass die richtige Benutzung von Trenntoiletten den meisten PWC-Besuchern fremd ist, weswegen ihr vorteilhafter Einsatz bezweifelt werden muss. Letztlich ergeben sich erhöhte Aufwendungen zum Unterhalt der Toiletten (Reinigung und Wartung), was im Sinne der Abwasserbewirtschaftung von Nachteil ist. Aus diesem Grund scheinen Sitztrenntoiletten zum gegenwärtigen Zeitpunkt für den Einsatz an PWC-Anlagen ungeeignet. Gleiches trifft für die separate Erfassung von Hygieneartikeln, Toilettenpapier und dergleichen über Abfalleimer zu.

Trockentoiletten sind nur dann zu empfehlen, wenn die Fäkalien abtransportiert werden. Eine Kompostierung ist aufgrund des hohen Urinanteils einerseits und dem Fehlen von organischem, strukturreichem Material andererseits, auszuschließen. Weil für die Ableitung respektive den Transport von Fäkalien nur trockene Sammelsysteme in Frage kommen (vgl. 3.2.2.1), ist eine gravierende Umgestaltung der Toilettenhäuschen und der Abfuhrsysteme erforderlich. Die Fäkalienbehälter müssen unterhalb der Toiletten zugänglich und in das Transportfahrzeug zu entleeren sein. Diese Entsorgungsoption ist demnach nur für neu zu errichtende PWC-Anlagen interessant. Gegebenfalls kann der über wasserlose Urinale separat erfasste männliche Urin zumindest teilweise gemeinsam mit dem anfallenden Grauwasser vor Ort behandelt werden.

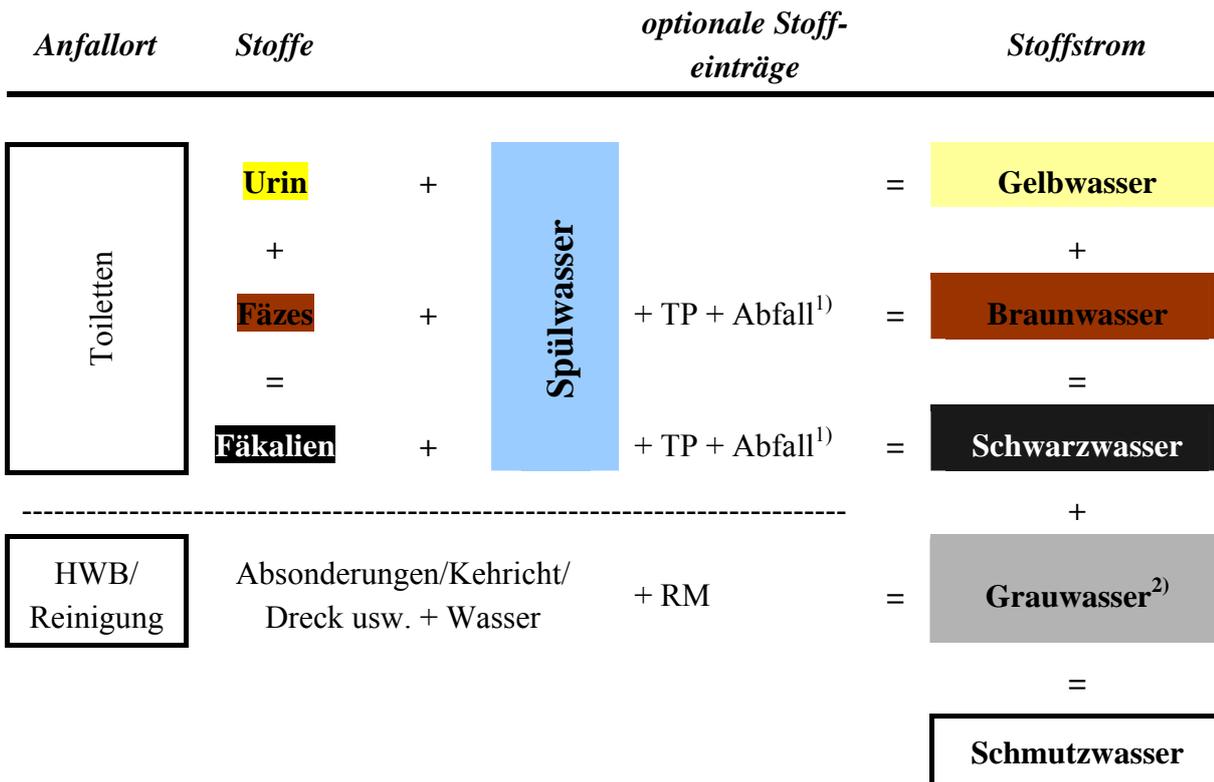
Vakuumtoiletten setzen ein Unterdruckentwässerungssystem zur Ableitung der Abwässer voraus und sind dementsprechend durch einen hohen Technisierungsgrad gekennzeichnet. Die Absaugventileinheiten und die Vakuumstation müssen einer regelmäßigen Wartung unterzogen werden. Den wesentlichen Vorteilen geringer Spülwasserverbrauch, geringe Rohrdurchmesser und weitgehende Unabhängigkeit vom Geländeprofil stehen somit höhere Aufwendungen für die Wartung der Technik aber auch der Strombedarf nachteilig gegenüber. Stromausfälle und Verstopfungen durch Grobstoffe oder Urinstein können den Ausfall des Systems

bewirken, da der benötigte Unterdruck nicht mehr aufgebaut werden kann. Um einen sicheren Betrieb der Anlage zu gewährleisten, müssten die Benutzer deshalb im sachgemäßen Gebrauch unterwiesen werden. Diese Schwierigkeit stellte bereits bezüglich der Anwendung von Trenntoiletten ein Ausschlusskriterium dar. Vakuumtoiletten können deshalb nicht empfohlen werden.

Abschließend soll nochmals der Zusammenhang von Abwassercharakteristik und Vorteilhaftigkeit der Teilstromseparation an PWC-Anlagen aufgegriffen werden.

An PWC-Anlagen fallen Abwässer bei der Benutzung von Toiletten, Urinalen und Handwaschbecken sowie bei der Reinigung an. Üblicherweise werden alle Abwässer gemeinsam abgeleitet und somit vermischt; es entsteht Schmutzwasser. Hauptbestandteil des Schmutzwassers ist mit über 90 % Wasser (Trink- oder Pflegewasser), das zum Spülen der Toiletten bzw. Urinale, zum Händewaschen oder zum Reinigen verwendet wurde. Die im Schmutzwasser dispergierten Stoffe sind die menschlichen Ausscheidungen Urin und Fäzes sowie Toilettenpapier, sonstige Abfälle, Schmutz und Reinigungsmittel.

In Abbildung 3-8 wird die Verdünnung mit Wasser der an unterschiedlichen Orten in das Sammelsystem eingetragenen Stoffe und deren Vermischung zu Schmutzwasser in Form einer Matrix verdeutlicht. Die Darstellung dient gleichermaßen der Begriffsbestimmung verschiedener Stoffströme (Gelb-, Braun-, Schwarz und Grauwasser), wie sie bei Einsatz der Trenntechnologie und Beibehaltung der Wasserspülung unvermischt erfassbar wären.



HWB-Handwaschbecken; RM-Reinigungsmittel; TP-Toilettenpapier;

1) Hygieneartikel (Damenbinden, Tampons, Kondome, Wegwerfwindeln, Wattestäbchen, Wundpflaster) aber auch Dosen, Zigarettenstummel, Textilien usw. die über die Toiletten entsorgt werden

2) Bisweilen wird zwischen „schwach belastetem“ sowie „stark belastetem“ Grauwasser unterscheiden: Als stark belastet gelten insbesondere solche Grauwässer, die phosphathaltige und/oder ätzende Reinigungsmittel mit sich führen, z.B. Grauwässer aus Geschirrspülmaschinen im Haushalt. Ob das an PWC-Anlage anfallende Grauwasser stark oder schwach belastet ist, hängt vom Einsatz spezieller Reinigungsmittel ab.

Abbildung 3-8: Zuordnung der an PWC-Anlagen anfallenden Stoffströme

Aufgrund der in Abschnitt 3.1 geschilderten Zusammenhänge kann davon ausgegangen werden, dass die Fäkalien für die charakteristische Stofffracht (CSB, N und P) des Schmutzwassers verantwortlich sind, wobei dem Urin mit Abstand die größte Bedeutung zukommt (vgl. Tabelle 3-2). Stickstoff gelangt fast ausschließlich über den Urin ins Abwasser. Für die CSB-Fracht können Fäzes und evtl. Reinigungsmittel (gelöst) sowie Toilettenpapier und sonstige Abfälle (ungelöst) weitere Quellen sein. Bezüglich der Phosphorfracht spielen unter Umständen die Reinigungsmittel eine Rolle. Aus Hygiene- und Gewässerschutzsicht ist noch von Bedeutung, dass von Fäzes (bzw. Braunwasser) aufgrund der pathogenen Keime die größte hygienische Gefahr ausgeht.

Anders als in privaten Haushalten und bewirtschafteten Extremstandorten stellt das Grauwasser an PWC-Anlagen nicht den größten Volumenanteil im Abwassergemisch dar. Diese Feststellung ist insofern von Bedeutung, als dass die separate Erfassung von Grauwasser zwar technisch relativ einfach realisierbar ist, jedoch nur in geringem Umfang einen Beitrag zum Ausgleich von hydraulischen und stofflichen Belastungsschwankungen leisten kann. Demgegenüber könnte die Abtrennung von Urin einen wichtigen Beitrag zur Lösung der Abwasserentsorgungsproblematik an PWC-Anlagen leisten.

4. Bestandsanalyse über Abwassersysteme an PWC-Anlagen in Deutschland

Im Vorfeld zum hier dokumentierten Forschungsprojekt hat das BMVBS anhand einer Fragebogenaktion eine bundesweite Bestandsaufnahme bezüglich bestehender Systeme zur Abwasserentsorgung an PWC-Anlagen durchgeführt. Im Rahmen des Forschungsprojektes werden diese Fragebögen mit folgenden Zielen ausgewertet:

- a) den Bestand an PWC-Anlagen zu erfassen sowie
- b) Vor- und Nachteile, Betriebserfahrungen und Kosten unterschiedlicher Abwasserentsorgungssysteme zu erkennen und zu bewerten.

Mit Ausnahme von Thüringen lagen die Fragebögen aller anderen Bundesländer zur Auswertung vor. Die Thüringer PWC-Anlagen sind allerdings der BUW gut bekannt, so dass entsprechende Informationen vorliegen.

Insgesamt sind der BUW 599 Fragebögen übergeben worden. Die vorhandenen Fragebögen wurden katalogisiert, digitalisiert und ausgewertet. Generell fällt die Informationsdichte der zur Auswertung herangezogenen Fragebögen sehr unterschiedlich aus. Technische Angaben sind in vielen Fällen widersprüchlich, Fragen zu den Betriebskosten wurden nur selten und zudem oft ungenau beantwortet. Angaben zu Investitionskosten fehlen, da sie nicht abgefragt wurden.

Im Rahmen der ersten Auswertungsschritte wurde festgestellt, dass erhebliche Anzahl an PWC-Anlagen über eine dezentrale Abwasserentsorgung verfügt. Um die Funktionstüchtigkeit dieser 50 vorhandenen dezentralen Abwasserentsorgungssysteme (inklusive Thüringen) zu beurteilen, wurden im Nachgang zur Fragebogenaktion im November 2008 Wartungs- und Prüfberichte angefordert. Des Weiteren sollten die Betreiber Erfahrungsberichte zum Betrieb der Abwasserentsorgungssysteme beifügen. Es liegen der BUW Prüfberichte von 12 Anlagen und 2 Erfahrungsberichte vor.

4.1. Bestand der PWC-Anlagen in Deutschland

Der Bestand an PWC-Anlagen in Deutschland (Stand 2006) konnte mit Ausnahme des Bundeslandes Thüringen anhand der Fragebögen erfasst werden, da die Informationen bezüglich Anzahl, Name und Standort der PWC-Anlagen in allen ausgewerteten Fragebögen vollständig sind. Für Thüringen wurden eigene aktuelle Daten (Stand 2008) verwendet.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass in Deutschland insgesamt 633 PWC-Anlagen existieren. Die regionale Verteilung dieser Anlagen geht aus Abbildung 4-1 hervor. Erwartungsgemäß sind demnach die meisten PWC-Anlagen in den großen Bundesländern (Bayern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg) vorhanden. In den Stadtstaaten Berlin und Hamburg gibt es keine PWC-Anlagen.

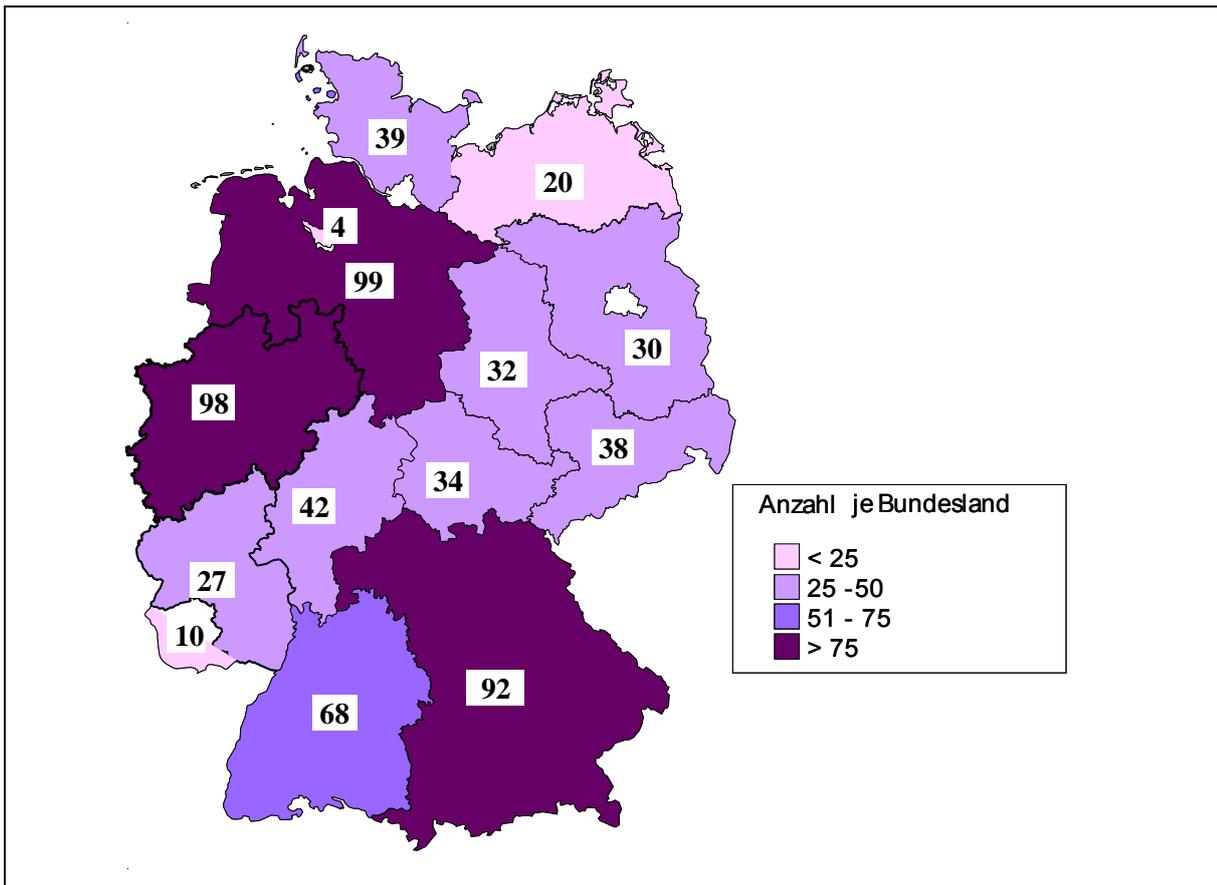


Abbildung 4-1: Regionale Verteilung der insgesamt 633 PWC-Anlagen im Bundesgebiet

Bezogen auf das in den einzelnen Bundesländern gegenwärtige Autobahnnetz (Summe der Autobahnkilometer) resultiert das in Abbildung 4-2 gezeigte Bild. Demnach ist die PWC-Anlagendichte („Anzahl PWC-Anlagen“ / „Autobahnkilometer“) in den eher ländlich strukturierten Bundesländern (Schleswig-Holstein, Thüringen, Sachsen-Anhalt und Sachsen) am größten. Anhand der gewählten Skalierung (Anzahl der PWC-Anlagen je 20 km Autobahnlänge) wird außerdem deutlich, dass allein mit dem Bestand an PWC-Anlagen in 7 Bundesländern der Forderung, sanitäre Einrichtungen an Autobahnen alle 20 km vorzuhalten, zumindest rechnerisch zu über 70% nachgekommen wird ($n \geq 0,7$).

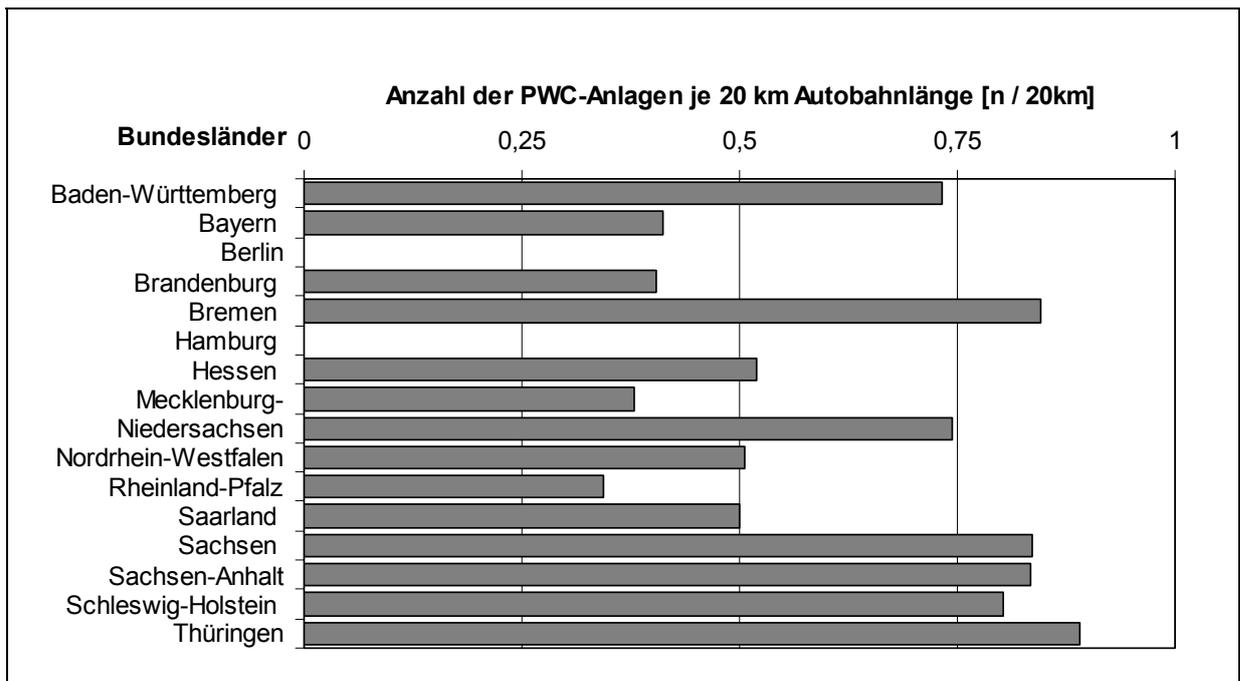


Abbildung 4-2: Bestandsdichte der PWC-Anlagen in den Bundesländern (bezogen auf das vorhandene Autobahnnetz)

Wie aus Abbildung 4-3 hervorgeht, sind die PWC-Anlagen überwiegend als beidseitige Anlagen ausgebildet. Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt unterhalten ausschließlich beidseitige Anlagen. Dies lässt jedoch nicht zwangsläufig auf eine gemeinsame Abwasserentsorgung schließen (z.B. „Belvedere-Nord“, „Belvedere-Süd“). Bei dezentralen Abwasserentsorgungssystemen besteht meist auf jeder Seite eine separate Kläranlage.

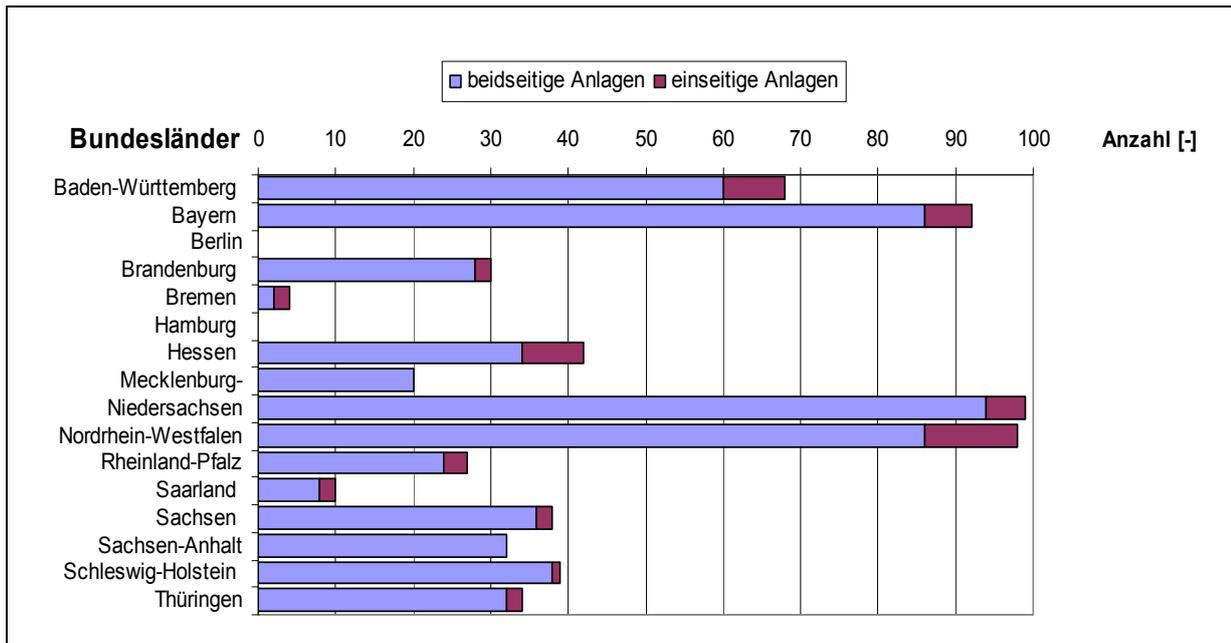


Abbildung 4-3: Anordnung der PWC-Anlagen (einseitig/beidseitig) im Bundesgebiet

4.2. Vorhandene Systeme der Abwasserentsorgung

Die nachfolgende Darstellung der an PWC-Anlagen vorhandenen Abwasserentsorgungssysteme basiert auf den Angaben in den ausgewerteten Fragebögen. Außerdem sind die eigenen vorhandenen Daten der Thüringer PWC-Anlagen berücksichtigt. Zu beachten ist auch, dass die Fragebögen bezüglich der konkreten Abwasserentsorgungssituation sehr lückenhaft ausgefüllt und die gegebenen Antworten oftmals missverständlich sind. Dementsprechend ist auch die Aussagekraft der nachfolgenden Abbildungen eingeschränkt. Beispielsweise ist oft nicht ersichtlich, ob es sich bei den Angaben um eine abflusslose Grube, im Sinne eines Sammelbehälters mit Abfuhr zur kommunalen Kläranlage, um eine Mehrkammergrube, im Sinne einer mechanisch bzw. teilbiologischen Behandlung, oder um eine (Vorklär-) Grube zur Vorbehandlung des Abwassers mit anschließender dezentraler Kläranlage handelt.

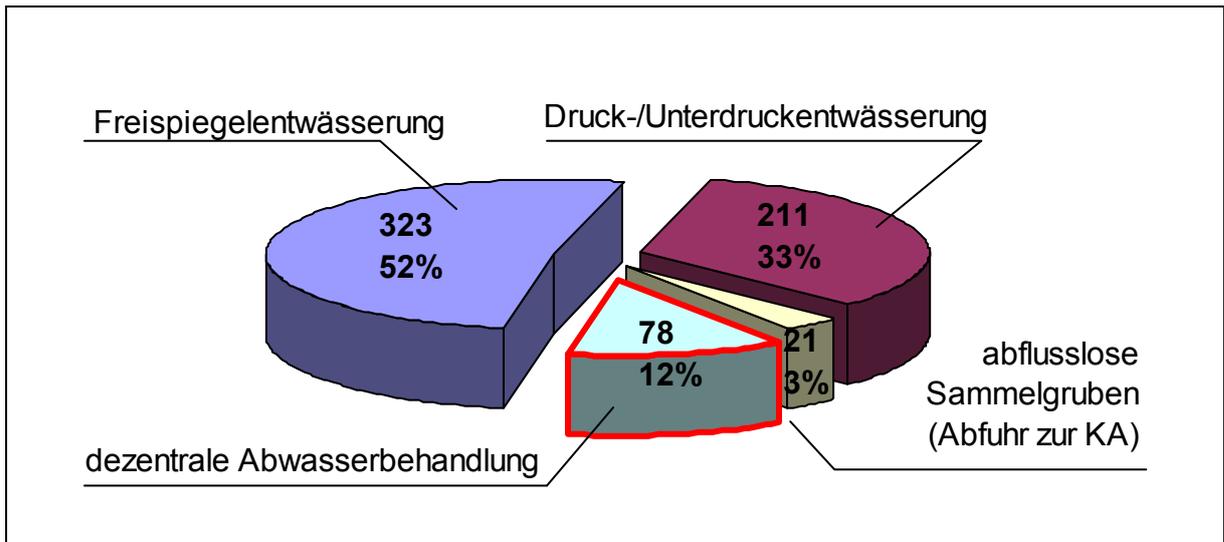


Abbildung 4-4: Systeme der Abwasserentsorgung an PWC-Anlagen

Wie aus Abbildung 4-4 hervorgeht, werden die an den PWC-Anlagen anfallenden Abwässer größtenteils (88 %) in zentralen Kläranlagen mitbehandelt. Der Abwassertransport erfolgt in diesen Fällen überwiegend mittels Freigefälleleitungen. Häufig kommen auch Hebeanlagen (Druck-, Unterdruckentwässerung) zum Einsatz. Nur selten wird das Abwasser in abflusslosen Sammelgruben gespeichert und per Lkw zur Kläranlage abgefahren.

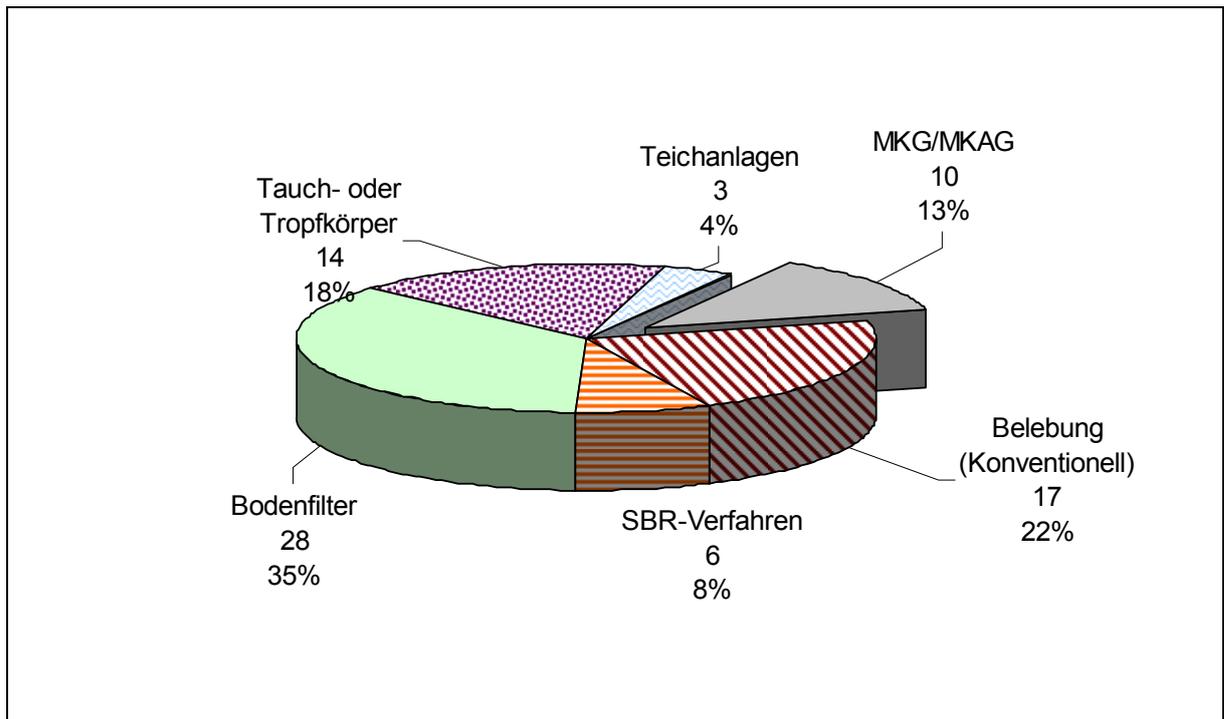


Abbildung 4-5: Verbreitung unterschiedlicher Verfahren zur dezentralen Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen

Eine dezentrale Behandlung der anfallenden Abwässer wird nötig, wenn keine Möglichkeit zum Abtransport (leitungsgebunden oder Abfuhr) besteht, und möglich, wenn der Betreiber über eine Erlaubnis zum Einleiten von Abwasser in ein Gewässer oder das Grundwasser verfügt. Wird das Abwasser dezentral behandelt, kommen bevorzugt Bodenfilter (auch Pflanzenkläranlagen, PKA) zum Einsatz (Abbildung 4-5). Vor allem in den Bundesländern Branden-

burg und Mecklenburg-Vorpommern ist dieses Verfahren weit verbreitet. Insgesamt sind Biofilmverfahren häufiger vertreten als Belebtschlammverfahren. Außerdem gibt es auch noch einige Mehrkammerabsetzgruben (MKG) bzw. Mehrkammerausfallgruben (MKAG), welche die Abwässer nur mechanisch bzw. teilbiologisch reinigen.

4.3. Kosten unterschiedlicher Abwasserentsorgungssysteme

Die Kosten zu den unterschiedlichen Abwasserentsorgungssystemen wurden in den Fragebögen in Form von Betriebskosten erfragt. Wie schon eingangs erwähnt, sind die Fragen zu den Betriebskosten nur selten und zudem oft ungenau beantwortet worden. Die widersprüchlichen und missverständlichen Angaben in Bezug auf die vorhandene Technik zur Abwasserentsorgung, bzw. des Abwasserentsorgungssystems, beeinflussen auch zu Angaben zu den Betriebskosten. Nach den Satzungen der Abwasserverbände kann es entscheidend sein, welche Art Fäkalschlamm, aus welcher Art von Sammelgrube entsorgt wird.

Für die Sammelbehälter mit anschließender Abfuhr zur Kläranlage wurden Entsorgungs- und Transportkosten in €/m³ bzw. €/a abgefragt. Einige Fragebögen sind hier mit Bemerkungen versehen, nach denen die Transportkosten bei den Entsorgungskosten enthalten sind, und umgekehrt. Des Weiteren ist zweifelhaft, ob den angegebenen Werten die entsprechende Einheit zugeordnet wurde. So ergeben aus den Angaben zu Kosten pro Kubikmeter Schwankungen zwischen 1,90 €/m³ bis 259,56 €/m³ (insgesamt 17 Angaben) und entsprechend aus den Angaben zu Jahreskosten zwischen 61,50 €/a bis 17.683,00 €/a (insgesamt 20 Angaben). Die Transportkosten schwanken zwischen 50,00 €/a und 8.000,00 €/a. Die Entfernung zur nächsten zentralen Kläranlage hat einen wesentlichen Einfluss auf die Transportkosten.

Für den leitungsgebundenen Entsorgungsweg mittels Freispiegelentwässerung oder Druck-/Unterdruckentwässerung in eine kommunale Kläranlage sollten von den Betreibern der PWC-Anlagen Entsorgungskosten (€/m³ bzw. €/a) und Grundgebühren (€/m³ bzw. €/a) angegeben werden. Am plausibelsten scheinen hier die Angaben zu den Entsorgungskosten in €/m³ zu sein. Sie schwanken zwischen 0,50 €/m³ und 8,00 €/m³. Einen Überblick hierzu gibt die Abbildung 4-6.

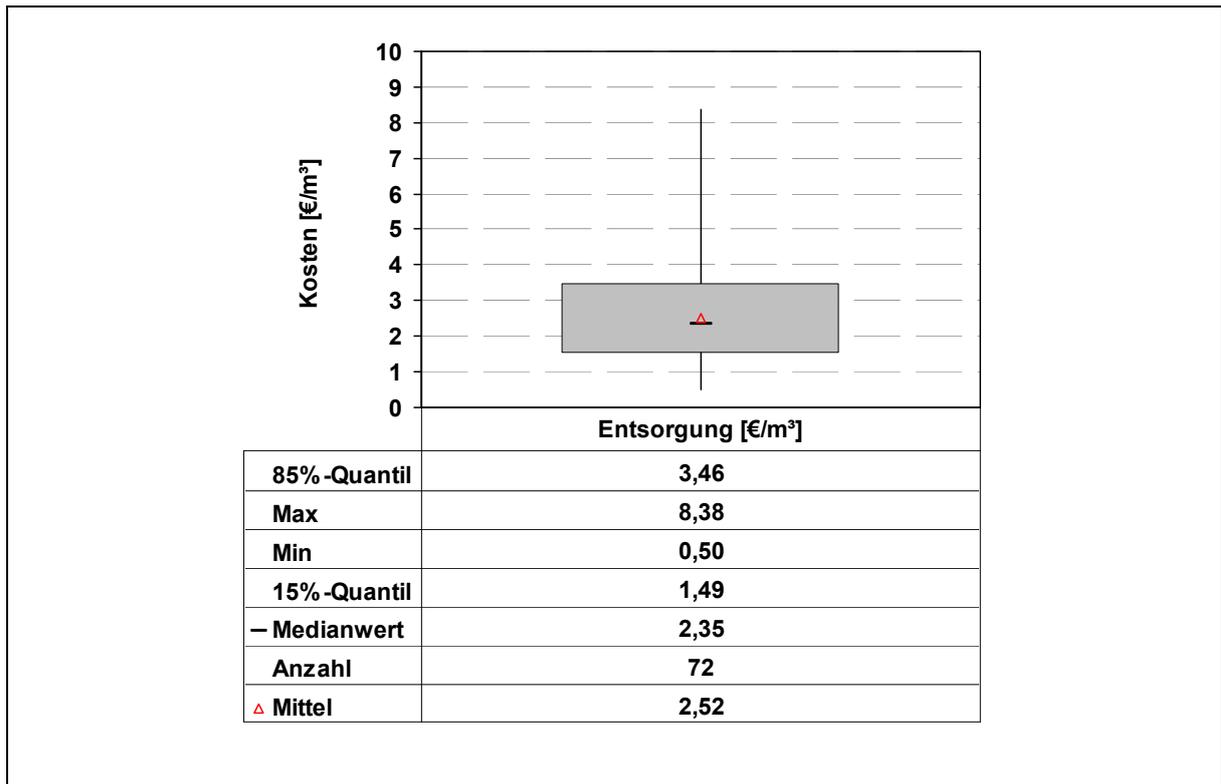


Abbildung 4-6: Entsorgungskosten für die Ableitung in eine kommunale Kläranlage

Die Angaben zu den Entsorgungskosten pro Jahr und Grundgebühren pro Jahr unterliegen, ähnlich wie bei den abflusslosen Gruben, erheblichen Schwankungen (Entsorgungskosten zwischen 240,00 €/a bis 13122,56 €/a; Grundgebühren zwischen 9,84 €/a und 3258,00 €/a). In vielen Fällen ist bei beidseitigen Anlagen ist nicht zu differenzieren, ob sich der angegebene Wert auf eine der beiden, oder auf beide Anlagen zusammen bezieht. Weiterhin ist nicht ersichtlich, wie sich diese Kosten zusammensetzen, da oft zusätzlich Grund- und Zusatzgebühren angegeben wurden.

Einige wenige Probanden (8) haben zusätzlich zu den Entsorgungskosten noch Grundgebühren in €/m³ angegeben. Diese bewegen sich zwischen 0,05 €/m³ und 1,74 €/m³. Vermutlich handelt es sich hier um Starkverschmutzerzuschläge, die bei anderen Probanden in den Entsorgungskosten pro Jahr bzw. in den Grundgebühren pro Jahr stecken könnten.

Eine Bewertung der Kosten ist aufgrund der vorliegenden Datenlage nicht möglich.

4.4. Erfahrungs- und Prüfberichte zu ausgewählten dezentralen Kläranlagen

Die deutschlandweite Bestandsaufnahme der PWC-Anlagen und deren Abwasserentsorgungssysteme hat zum Ergebnis, dass knapp 80 Standorte über eine dezentrale Abwasserbehandlung verfügen. Die lückenhaften und missverständlichen Angaben lassen darauf schließen, dass bei den Autobahnmeistereien häufig Unklarheiten in Bezug auf die vorhandenen Kläranlagen bestehen. Um die Leistungsfähigkeit vorhandener dezentraler Kläranlagen an Autobahnen zu bewerten, wurden 50 Standorte mit dezentraler Abwasserbehandlung bezüglich deren Funktionstüchtigkeit und Alltagstauglichkeit anhand von Prüf- und Erfahrungsberichten näher zu betrachten.

Dezentrale Kläranlagen mit Einleitungen von weniger als 8 m³/d gelten nach den Landeswassergesetzen als Kleineinleitung und sind in die Abwasserverordnung einbezogen (Größenklasse I). Für derartige Anlagen ist eine wasserrechtliche Erlaubnis einzuholen, und in der Betriebsphase ist sicherzustellen, dass diese eingehalten wird. Der ordnungsgemäße Betrieb soll anhand regelmäßiger Wartungen durch Fachfirmen festgestellt und durch die untere Wasserbehörde überwacht werden. In Wartungs- und Prüfberichten, sind Ablaufwerte relevanter Abwasserparameter enthalten, mit Hilfe derer die Überwachungsbehörden eine Aussage über den ordnungsgemäßen Betrieb treffen. Im Anhang 1 der Abwasserverordnung werden für die Größenklasse I Anforderungen an den Chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) und den Biochemischen Sauerstoffbedarf in fünf Tagen (BSB₅) festgeschrieben. Dies bedeutet für den CSB eine maximale Konzentration von 150 mg/l und für den BSB₅ von 40 mg/l im Ablauf der Kläranlage. Es wurden Prüf- und Wartungsberichte von 50 PWC-Anlagen mit dezentraler Abwasserbehandlung angefordert.

Des Weiteren sollten Betreiber der ausgewählten Standorte in kurzen Berichten ihre Betriebserfahrungen schildern.

Es konnten Wartungs- bzw. Prüfberichte von 25 Anlagen und 2 Erfahrungsberichte ausgewertet werden. Eine Übersicht über die 25 Anlagen gibt die folgende Tabelle.

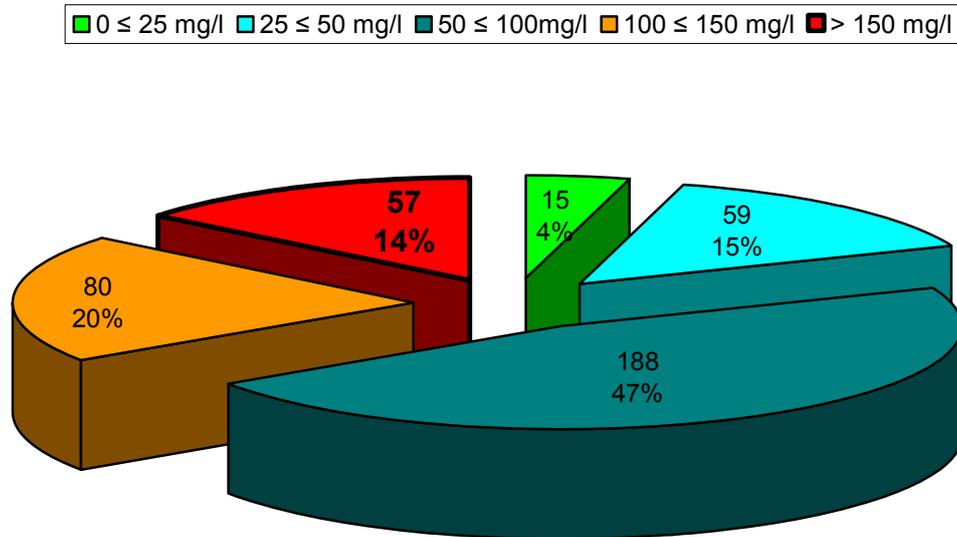
Tabelle 4-1: Übersicht über ausgewertete Wartungs- und Prüfberichte

Name	BAB	Bundesland	Art der Kläranlage	Anzahl der Prüfberichte
Hasselburger Mühle-Ost	1	Schleswig-Holstein	Belebungsanlage	24
Damlos-Ost	1	Schleswig-Holstein	Belebungsanlage	27
Handewitter Forst-West	7	Schleswig-Holstein	Belebungsanlage mit Tropfkörper	27
Jalm-Ost	7	Schleswig-Holstein	Belebungsanlage	28
Jalmer Moor-Ost	7	Schleswig-Holstein	Belebungsanlage	27
Arenholz-Ost	7	Schleswig-Holstein	Belebungsanlage	30
Hüsby-West	7	Schleswig-Holstein	Belebungsanlage	29
Lottdorf-Ost	7	Schleswig-Holstein	Belebungsanlage	28
Breckendorfer Moor-West	7	Schleswig-Holstein	Belebungsanlage	28
Steinburg-West	23	Schleswig-Holstein	Tropfkörper TR 23.171 / NK 13.54 P	19
Buldern-Süd	43	Nordrhein-Westfalen	SBR-Anlage	5
Klockow-West	20	Brandenburg	Pflanzenkläranlage	11
Klockow-Ost	20	Brandenburg	Pflanzenkläranlage	11
Caputh	10	Brandenburg	Belebungsanlage	15
Schwielowsee	10	Brandenburg	Belebungsanlage	13
Dorngrund-Ost	24	Brandenburg	Oxidationsteichkläranlage	11
Ukleysee-Nord	20	Brandenburg	SBR-Anlage für 80 EW	18
Peenetal-Süd	20	Mecklenburg-Vorpommern	Pflanzenkläranlage	1
Quellental-Süd	20	Mecklenburg-Vorpommern	Pflanzenkläranlage	7
Selliner See-Süd	20	Mecklenburg-Vorpommern	Pflanzenkläranlage	12
Speckmoor-Nord	20	Mecklenburg-Vorpommern	Pflanzenkläranlage	3
Trebeltal-Nord	20	Mecklenburg-Vorpommern	Pflanzenkläranlage	3
Trebeltal-Süd	20	Mecklenburg-Vorpommern	Pflanzenkläranlage	3
Vier Tore Stadt-Süd	20	Mecklenburg-Vorpommern	Pflanzenkläranlage	5
Am Steinberg-Nord	4	Sachsen	Pflanzenkläranlage	21
			Summe:	406

Die Ablaufwerte für den CSB und den BSB₅ wurden aus den Prüfberichten entnommen. Hierbei konnten aus 406 Prüfberichten 405 CSB-Werte und 356 BSB₅-Werte ausgewertet werden. Zusätzlich waren bei der Mehrheit der Prüfberichte weitere Parameter wie Abwassertemperatur, pH-Wert und vereinzelt Stickstoff- und Phosphorwerte angegeben. Jedoch war die Datengrundlage für diese Werte gering um diese sinnvoll auszuwerten. Die folgende Abbildung zeigt die prozentualen Konzentrationsverteilungen der CSB- und BSB₅-Werte in ausgewählten Bandbreiten.

An der Abbildung 4-7 ist zu erkennen, dass die Anforderungen der Abwasserverordnung größtenteils eingehalten werden. Beim CSB gibt es 57 Abweichungen (14 %) oberhalb des Grenzwertes von 150 mg/l. Generell sind die häufigsten Grenzwertüberschreitungen bei den älteren PWC-Anlagen an den BAB 1; 7 und 10 zu finden. Diese sind schon länger in Betrieb als z. B. jene neueren Anlagen an der BAB 20, wo der Hersteller noch Gewährleistung zu erbringen hat. Jedoch sind Grenzwertüberschreitungen nicht ausschließlich bei älteren Abwasseranlagen zu beobachten. Infolge mehrfacher Betriebsstörungen verbunden mit dauerhaften Grenzwertüberschreitungen musste eine relativ neue Pflanzenkläranlage an der BAB 20 nach kurzer Betriebszeit erweitert werden. Über Erfahrungen und Ablaufwerte nach dem Umbau liegen keine Berichte vor. Der höchste Wert konnte mit 1920 mg/l CSB und 184 mg/l BSB₅ an der BAB 1 festgestellt werden. An dieser PWC-Anlage waren die Überschreitungen des Grenzwertes für CSB mit 10 von 24 Probenahmen am häufigsten. Der Grenzwert für BSB₅ wurde bei allen Anlagen mit 18 Abweichungen (5 %) weniger oft überschritten. Bei zwei PWC-Anlagen älteren Baujahres wurden jeweils 3 Überschreitungen beim BSB₅ dokumentiert.

Verteilung der CSB-Werte



Verteilung der BSB₅-Werte

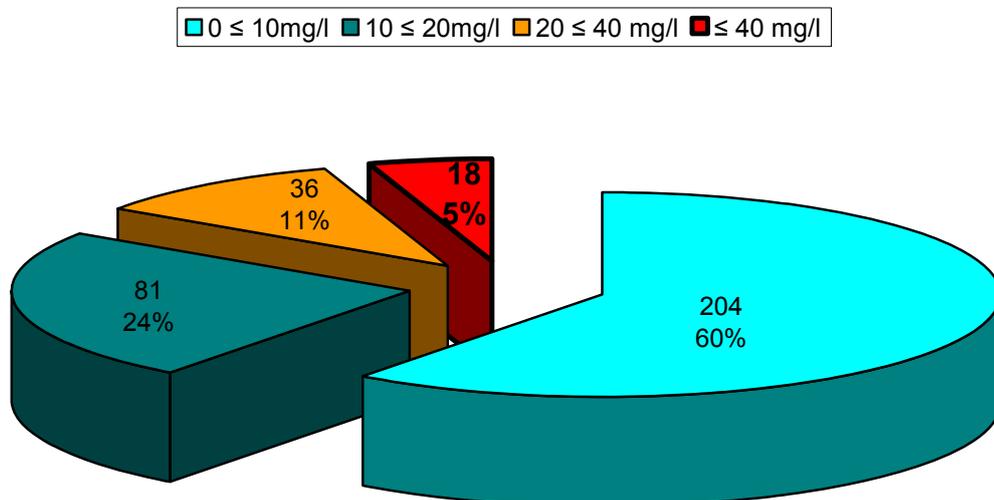


Abbildung 4-7: Verteilung der CSB- und BSB₅-Werte in verschiedene Konzentrationsbereiche

Mit den vorliegenden Ablaufwerten aus den Prüfberichten kann jedoch keine Bewertung der Leistungsfähigkeit der installierten Kläranlagen erfolgen. Anzumerken ist hier, dass die Ab-

laufparameter anhand von Stichproben des Ablaufs bestimmt wurden, und somit nur eine Momentaufnahme darstellen. Da an Autobahnen Belastungsschwankungen auftreten (z.B. saisonal zur Reisezeit, oder tagsüber bei Ankommen von Reisebussen), kann der Zeitpunkt der Probenahme eine entscheidende Rolle spielen. Für belastbare Aussagen über die Funktionstüchtigkeit der installierten Kläranlagen müssten kontinuierliche Langzeitmesskampagnen mit zeitproportionalen Zu- und Ablaufproben, auch unter hohen Belastungen, analysiert und ausgewertet werden.

Im Allgemeinen erfasst der CSB im Ablauf einer biologischen Kläranlage biologisch schlecht abbaubare Stoffe. Je nach Reinigungsleistung kann der CSB außerdem noch biologisch abbaubare Stoffe umfassen. Deshalb sind geringe CSB-Werte ($< 50 \text{ mg/l}$) im Ablauf immer zu hinterfragen. Nicht nur das „Stichprobenproblem“ alleine, sondern auch konstruktive Fehler im Abwasserentsorgungssystem, haben Einfluss auf die gemessenen Ablaufwerte. Nach unseren Beobachtungen konnten bei einigen Anlagen, die während der Voruntersuchung begutachtet wurden, Fehllanschlüsse festgestellt werden. Oft wurde das Regenwasser der Dachfläche des WC-Gebäudes der Abwasserbehandlung zugeführt, was zu einer entsprechenden Verdünnung des Schmutzwassers führt. Die Hauptursache für eine entsprechende Verdünnung des Schmutzwassers im Zulauf ist jedoch die Art und der Betrieb der vorhandenen Sanitärtechnik. Die Menge an Spülwasser, die in den meisten Fällen variabel einstellbar ist, bestimmt die Konzentrationen der Schmutzstoffe im Zulauf zur Kläranlage.

Der CSB-Wert kennzeichnet die Menge an Sauerstoff, welche zur Oxidation der gesamten im (Ab-)Wasser enthaltenen organischen Stoffe verbraucht wird. Als Oxidationsmittel wird i. d. R. Kaliumdichromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) verwendet, wobei auch verschiedene anorganische Stoffe wie NO_2^- , S_2^- , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, Fe^{2+} , SO_3^{2-} oxidiert werden. Im Gegensatz zum BSB_5 ist der CSB somit ein rein chemischer Summenparameter, der keine eindeutige Aussage über die biologische Abbaubarkeit der organischen Stoffe zulässt. Unter der Voraussetzung, dass die oxidierbaren anorganischen Stoffe nur einen geringen Einfluss haben, ist jedoch eine Fraktionierung des CSB nach physikalischen (gelöst und partikulär) und biologischen (Abbaubarkeit) Kriterien möglich:

$$C_{\text{CSB}} = S_{\text{S}} + S_{\text{I}} + X_{\text{S}} + X_{\text{I}}$$

S_{S} = gelöste, leicht abbaubare organische Stoffe

S_{S} = $S_{\text{A}} + S_{\text{F}}$

S_{A} = Gärungsprodukte, vereinfacht als Essigsäure angenommen

S_{F} = vergärbare, aber noch nicht vergorene leicht abbaubare organische Stoffe

S_{I} = gelöste, nicht abbaubare (refraktäre) organische Stoffe

X_{S} = partikuläre, langsam abbaubare organische Stoffe

X_{I} = partikuläre, nicht abbaubare (refraktäre) organische Stoffe

Dass der CSB in einen biologisch abbaubaren und einen biologisch nicht abbaubaren Anteil unterschieden werden kann, ist zwar für die CSB-Bilanz nicht relevant, jedoch für Beurteilung, inwieweit vom behandelten Abwasser eine Gefahr für aquatische Systeme ausgeht (Sauerstoffzehrung). Im Rahmen von vergleichenden Belebtschlammversuchen von kommu-

nalem Abwasser wurden die biologisch abbaubaren und biologisch nicht abbaubaren löslichen CSB – Verbindungen (inert CSB) im Zulauf als auch im Ablauf einer biologischen Stufe quantifiziert.

Nach den Ergebnissen dieser Versuche beträgt die Konzentration an refraktärem CSB bereits im Zulauf $\approx 11\%$. Durch die Abwasserreinigung über die Biofilter steigt der Betrag des refraktären CSB zusätzlich an. Dieser aus dem Reaktor stammende Zusatzbetrag ist zurückzuführen auf:

- durch Absterben und Protolyse der Biomasse entstandene refraktäre Verbindungen,
- durch die Stoffwechselaktivität der Biomasse entstandene refraktäre Verbindungen,
- durch Auswaschung (Zersetzung) des Füllsubstrates entstandene refraktäre Verbindungen. [Londong & Hartmann, 2007]

Es können zwar keine quantitativen Angaben darüber gemacht werden, zu welchem Anteil der Auswaschungsprozess beteiligt ist, doch wird er bedeutend sein. Ungeachtet dessen, und auch nach Ergebnissen von Bornemann et al. (1998), kann die Aussage getroffen werden, dass im Ablauf der Vorklärung von kommunalen Kläranlagen etwa 17% ($S_1 = 7\%$ und $X_1 = 10\%$) der Zulaufschicht refraktärer CSB vorhanden sind, die sich einem biologischen Abbau entziehen [Bornemann et al., 1998].

Der nicht abbaubare CSB im Zulauf der biologischen Stufe (S_1 und X_1) gelangt entweder gelöst (S_1) in den Ablauf oder wird partikulär (X_1) als Teil des Überschussschlammes dem System entnommen. Der abbaubare CSB wird von der Biomasse im Betriebsstoffwechsel unter aeroben bzw. anoxischen Bedingungen oxidiert oder im Baustoffwechsel zum Aufbau neuer Biomasse verwendet. Zerfallsprodukte der Biomasse bilden ebenfalls einen Teil des Überschussschlammes.

In 7 Prüfprotokollen wurde eine CSB-Ablaufwert ≤ 15 mg/l angegeben. Der CSB wird nach den Vorschriften der Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung [DEV] nach DIN 38409 Teil 41 bestimmt. Dieses Verfahren ist anwendbar auf Abwasser, dessen CSB zwischen 15 und 300 mg/l liegt. Ein CSB-Wert < 15 mg/l kann dementsprechend nicht als realistisch angesehen werden.

Da die Ablaufwerte in Wartungs- und Prüfprotokollen keine eindeutige Bewertung zur Leistungsfähigkeit der Kläranlagen zulassen, wurde das Hauptaugenmerk auf den Betrieb dieser Anlagen gelegt werden. Aus diesem Grund wurden die Betreiber gebeten, Erfahrungsberichte zu verfassen und einzusenden. Während der Vorauswahl geeigneter Standorte für die Messkampagnen kam es zu vielen Gesprächen mit Betreibern von verschiedenen dezentralen Abwasserbehandlungssystemen, die alle zum Ergebnis hatten, dass keine der Anlagen die in sie gesetzten Erwartungen erfüllt. Ein ordnungsgemäßer Betrieb der Anlagen ist ohne einen unverhältnismäßig hohen Wartungsaufwand nicht möglich. Eine Bestätigung der kritischen Betrachtungsweise ist in den eingereichten Erfahrungsberichten abzulesen. Es handelt sich hierbei um PWC-Anlagen Standorte an der Bundesautobahn 20. Die Ostseeautobahn wurde im Jahr 2005 für den Verkehr freigegeben, was darauf schließen lässt, dass die PWC-Anlagen und ihre Abwasserentsorgung noch relativ neu sind. Dennoch treten bei den Anlagen Be-

triebsprobleme auf, die nach der geringen Betriebsdauer nicht zu erwarten waren. Sowohl bei der Wasserver- als auch bei der Abwasserentsorgung kommt es zu ständigen Störungen, die oft den Nutzungsausfall der betroffenen Toilettenanlage zur Folge hat. [Anonym, 2009]

Bei den in den Erfahrungsberichten betrachteten Abwasserentsorgungssystemen handelt es sich um Pflanzenkläranlagen die einseitig oder auch beidseitig der Autobahn angeordnet sind. Nach Aussagen der Autobahnmeister wurden die Grenzwerte, bis auf eine Ausnahme, bisher eingehalten. Die Einhaltung der Grenzwerte wird jedoch nur durch einen unangemessen hohen Betriebsaufwand erreicht. [Anonym, 2009]

Alles andere, als die Einhaltung der Anforderungen zum Einleiten von Abwasser wäre auch verwunderlich, da der Hersteller der Abwasseranlagen noch in der Gewährleistungspflicht steht. Eine Ausnahme bildet eine PWC-Anlage an der BAB 20. Nach eineinhalb Jahren Betriebszeit war das Pflanzenbeet bereits kolmatiert, und die geforderten Ablaufwerte wurden seit 2007 dauerhaft überschritten. Die Anlagen auf beiden Seiten wurden im Frühsommer 2008 umgebaut und erweitert. Ablaufwerte nach dem Umbau liegen nicht vor. [Anonym, 2009]

Im Folgenden werden Betriebsprobleme genannt, die in den Erfahrungsberichten näher behandelt werden.

Auftretende Probleme im Bereich Wasser und Abwasser sind (in Auszügen):

- Bei dezentraler Wasserversorgung sind die Aufbereitungsanlagen sehr störanfällig und wartungsintensiv, was zu Folgeschäden bei sanitären Anlagen und Abwasseranlagen führt.
- Die Vorklärung ist zu klein dimensioniert: kleine Absturzhöhe von 10 cm bis zum Wasserspiegel in Verbindung mit einer verkrusteten Schwimmschlammdecke (aufgrund des hohen Papieranteils) führt zur Haufenbildung und Rückstau der täglich entfernt werden muss.
- Urinsteinbildung setzt die Siebe vor den Pumpen zu, es kommt zum Einbruch der Förderleistung und später zum Rückstau über alle Kammern bis hin zu den WC-Becken.
- Weiterhin setzen sich sämtliche Leitungen zu, sowie die Schläuche im Pflanzenbeet.
- Pflanzenbeete kolmatieren.

Grundsätzlich sollte nach Meinung der Autobahnmeistereien der Bau von „autarken oder teilautarken“ PWC-Anlagen vermieden werden, da die Systeme äußerst störanfällig und wartungsintensiv sind. Dies bezieht sich nicht nur auf den Bereich Wasser und Abwasser, sondern hier sind genauso die Elektroversorgung und die baulichen Anlagen des WC-Gebäudes an sich mit einzubeziehen. Damit sind nicht nur die hohen finanziellen Aufwendungen gemeint, sondern auch außerordentliche Anforderungen an das Personal. Funktionsstörungen im Bereich der Abwasserbehandlung erfordert in der Regel ein sofortiges Handeln, wofür besonders geschultes Personal und eine detaillierte Anlagenkenntnis notwendig sind. Zu bedenken ist, dass eine Autobahnmeisterei (noch?) keine ausgebildeten Ver- und Entsorger beschäftigt.

In den Erfahrungsberichten gehen die Autoren auch auf die Kosten ein, welche sich in Folge von Störungen ergeben. Hierbei steht vor allem der hohe Arbeitsaufwand der Autobahnmeistereien durch betriebsbedingte Störungen im Blickpunkt. Aufgrund der Beseitigung von anlagenspezifischen und benutzerspezifischen Betriebsstörungen kommt es zu einem erheblichen Mehraufwand für die zuständigen Autobahnmeistereien und damit verbunden zu höheren Betriebskosten. Um betriebsbedingten Problemen aus dem Weg zu gehen, sollten zukünftige Standorte für PWC-Anlagen auch nach ausreichend leistungsfähigen Ver- und Entsorgungsmöglichkeiten ausgesucht werden.

4.5. Zusammenfassung des Kapitels

Durch Auswertung von 599 Fragebögen konnte festgestellt werden, dass 50 Anlagen über eine dezentrale Abwasserversorgung. Aufgrund widersprüchlicher Angaben sowie der oftmals nur selten und zudem ungenau ausgefüllten Fragebögen, ist die Informationsdichte hinsichtlich der technischen Angaben, der Betriebskosten und der Investitionskosten sehr unterschiedlich. Ergänzt werden die Fragebögen durch Prüfberichte von 25 Anlagen und 2 Erfahrungsberichte.

Der Bestand an PWC-Anlagen konnte anhand der Fragebögen und unter Verwendung eigener Daten auf 633 PWC-Anlagen im gesamten Bundesgebiet festgehalten werden. Die regionale Verteilung der Anlagen ist dabei unterschiedlich, Erfahrungsgemäß besitzen die größten Bundesländer auch die meisten PWC-Anlagen. Die PWC-Anlagendichte ist in den ländlich strukturierten Gebieten (Thüringen, Schleswig-Holstein, Sachsen-Anhalt und Sachsen) am größten. In 7 Bundesländern der Forderung sanitäre Einrichtungen an Autobahnen alle 20 km vorzuhalten, zumindest rechnerisch zu über 70% nachgekommen wird.

Die Behandlung der Abwässer erfolgt größtenteils (88 %) in zentralen Kläranlagen. Das Abwasser wird überwiegend mit Freigefälleleitung, oder häufig auch mittels Druck- oder Unterdruckentwässerung abgeleitet. Nur selten wird das Abwasser in abflusslosen Sammelgruben zwischengespeichert und per Lkw zur Kläranlage abgefahren. Wird das Abwasser dezentral behandelt, kommen bevorzugt Bodenfilter (Pflanzenkläranlage, PKA) zum Einsatz. Insgesamt werden Biofilmverfahren häufiger eingesetzt als Belebtschlammverfahren. Teilweise werden auch Mehrkammerabsetzgruben (MKG) bzw. Mehrkammerausfallgruben (MKAG) zur mechanisch / teilbiologischen Abwasserbehandlung verwendet.

Aufgrund unzureichender Angaben und erheblicher Schwankungen ist eine Bewertung der Betriebskosten nicht möglich. Die ermittelten Kosten haben daher nur eine geringe Aussagekraft und können nur näherungsweise verwendet werden.

Die Auswertung der Erfahrungs- und Prüfberichte ergab, dass bei 57 (14 %) von 405 Prüfberichten der CSB-Wert über den vorgeschriebenen Grenzwert von 150 mg/l lag. Der BSB₅-Grenzwert von 40 mg/l wurde hingegen nur in 18 (5 %) von 356 Angaben in Prüfberichten überschritten. Die Erfahrungen der Autobahnmeistereien zeigen, dass bei Anlagen mit dezentralen Abwassersystemen der Arbeitsaufwand und damit die Kosten für die Betreiber dieser Anlagen wesentlich höher sind.

5. Grundlagenermittlung

Im Rahmen der Voruntersuchung wurden Grundlagen zur Auswahl geeigneter Standorte für die Hauptuntersuchung ermittelt. Die im Folgenden erläuterten Randbedingungen haben einen Einfluss auf die an PWC-Anlagen anfallenden Sanitärabwässer, d.h. Menge (quantitativ) und Zusammensetzung (qualitativ). Von Bedeutung sind:

1. die Benutzeranzahl,
2. das Benutzerverhalten,
3. die zum Einsatz kommende Sanitärtechnik,
4. die Quelle der Wasserversorgung und
5. die Art sowie der Einsatz von Betriebsmitteln.

Alle Randbedingungen, aber auch deren Interaktionen, sind objekt- bzw. ortsspezifisch, d.h. sie kommen an unterschiedlichen PWC-Anlagen unterschiedlich zur Geltung. Die Zusammenhänge werden nachfolgend erläutert.

5.1. Benutzeranzahl – Auslastung der PWC-Anlage

Die Benutzeranzahl ist maßgeblich für die Abwassermenge (quantitativ). Generell nimmt die an einer PWC-Anlage anfallende Abwassermenge mit steigender Benutzeranzahl zu. Die auf ein bestimmtes Zeitintervall (Tag, Stunde, 30 min usw.) bezogene Benutzeranzahl ist abhängig von der Anzahl und der Art (Anzahl der Insassen) der in diesem Zeitintervall ankommenden Fahrzeuge sowie dem individuellen Benutzerverhalten der Verkehrsteilnehmer. Nicht alle Besucher der PWC-Anlage nehmen das sanitäre Angebot der PWC-Anlage tatsächlich in Anspruch.

Bezüglich der Auslegung von bewirtschafteten Rastanlagen ist bekannt, dass die zurückliegende bzw. noch zu bewältigende Reisedauer der Verkehrsteilnehmer einen wesentlichen Einfluss auf die Entscheidung hat, ob eine Rastanlage vom Verkehrsteilnehmer aufgesucht wird oder nicht. Prinzipiell ist die Inanspruchnahme von Rastanlagen (auch PWC-Anlagen) somit hauptsächlich von individuellen Faktoren der Verkehrsteilnehmer abhängig. In Bezug auf die Auslastung der PWC-Anlage spielen auch örtliche Gegebenheiten eine Rolle, z.B.:

- a.) das aktuelle Verkehrsaufkommen,
- b.) die geographischen Lage (Ballungsgebiet / ländlicher Raum),
- c.) der Abstand zur nächstgelegenen Rastanlage (Konkurrenzangebote), sowie
- d.) das äußere Erscheinungsbild bzw. die Ausstattung der PWC-Anlage.

Das aktuelle Verkehrsaufkommen ist zwar an die aktuelle Benutzeranzahl gekoppelt. Eine eindeutige Korrelation zwischen beiden Parametern besteht jedoch nicht. Beispielsweise sind die in und zwischen Ballungsgebieten fahrenden Fahrzeuge von Berufspendlern für ein hohes Verkehrsaufkommen der Autobahn an Werktagen in den Morgen- und Abendstunden verantwortlich. Doch nehmen Pendler die PWC-Anlagen nur selten in Anspruch und die Fahrzeuge

sind oft mit nur wenigen Insassen besetzt. Demgegenüber sind die gegen Mittag und an Wochenenden ankommenden Fahrzeuge mit mehreren Insassen besetzt (Familienausflug, Reiseverkehr), was eine vergleichsweise hohe Auslastung der PWC-Anlage in Relation zum aktuellen Verkehrsaufkommen zur Folge hat.

Weiterhin besteht auch eine Beziehung zwischen der geographischen Lage der Autobahn bzw. eines Autobahnabschnittes und dem Reisezweck der Verkehrsteilnehmer. Während in Ballungsgebieten, wie oben beschrieben, überwiegend Berufspendler anzutreffen sind, liegt die Hautauslastung der BAB 20 in der Reisezeit im Sommer. Zwischen dem Kreuz Uckermark und Stralsund gibt es PWC-Anlagen im Regelabstand von 20 km, aber keine bewirtschaftete Rastanlage als Konkurrenzangebot. Auf diesen PWC-Anlagen ist vor allem in der Ferienzeit tagsüber eine große Auslastung festzustellen.

Insgesamt wird deutlich, dass die Prognose der Auslastung von PWC-Anlagen sehr komplex ist. Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen der BUW ist auftragsgemäß darauf gerichtet, nutzerspezifische Abwasserfrachten als belastbare Bemessungsparameter zu ermitteln. Im Beprobungszeitraum wurden aber zusätzlich Daten zum:

- a.) Verkehrsaufkommen der Autobahn,
- b.) Anzahl und Art der auf die Rastanlage abfahrenden Fahrzeuge,
- c.) Anzahl und Geschlecht der WC-Benutzer

erhoben, um eine Grundlage für eine spätere Methodenentwicklung zur Prognose der Auslastung von PWC-Anlagen bereitzustellen. Die Zählung der WC-Benutzer ist für die Ableitung belastbarer Bemessungsparameter obligatorisch.

5.2. Benutzerverhalten

Das Benutzerverhalten wirkt sich sowohl qualitativ als auch quantitativ auf die Abwassercharakteristik aus. Die meisten Benutzer urinieren lediglich, was einen kurzen Aufenthalt der Verkehrsteilnehmer zur Folge hat. Neben dieser Tatsache, hat das individuelle Benutzerverhalten einen maßgeblichen Einfluss auf die Abwassercharakteristik. Wie schon in Abschnitt 3.1.3.1 erläutert können Unterschiede im Benutzerverhalten zwischen bewirtschafteten und unbewirtschafteten Sanitäreanlagen auftreten. Insbesondere Frauen nehmen lieber die Sanitäreanlage einer bewirtschafteten Raststätte in Anspruch, sofern sie die Wahl dazu haben. Unabhängig vom Geschlecht wird die Entscheidung häufig dann zu Gunsten der bewirtschafteten Sanitäreanlage getroffen, wenn eine Defäkation notwendig oder beabsichtigt ist.

Unter individuellem Benutzerverhalten soll auch die tatsächliche Inanspruchnahme der sanitären Angebote (WC, Urinal, Handwaschbecken, Seifenspender, Händetrockner) durch den Benutzer verstanden werden. Aus vorangegangenen Untersuchungen der BUW ist bekannt, dass die tatsächliche Inanspruchnahme von der „vom Benutzer ursprünglich bezweckten“ abweichen kann - insbesondere dann, wenn die Benutzerhinweise der Sanitärtechnik schwer verständlich sind. So kann beispielsweise die komplizierte Bedienung eines Handwaschbeckens dessen Inanspruchnahme beeinträchtigen und somit das Benutzerverhalten „rückwirkend“ steuern (vgl. hierzu 5.3).

Ein weiterer Aspekt ist, dass die sanitären Angebote von einigen Benutzern „zweckentfremdet“ in Anspruch genommen werden. Als Beispiele werden die Entsorgung von Abfällen (Verpackungen, Hygieneartikeln, Textilien usw.) oder Chemietoiletteninhalten über das WC sowie die Beschaffung von Kühlflüssigkeit oder Trinkwasser über die Handwaschbecken aufgeführt. In diesem Zusammenhang sei auch auf die Nutzung der PWC-Anlagen als Treffpunkt und Austragungsort diverser Veranstaltungen hingewiesen.

5.3. Sanitärtechnik

Die an PWC-Anlagen vorgehaltene Sanitärtechnik ist für den nutzerspezifischen Wasserverbrauch und somit für die Verdünnung des Abwassers verantwortlich. Standardmäßig sind wassergespülte Sitztoiletten und konventionelle Urinale (Herren) sowie Handwaschbecken aus Edelstahl eingebaut (Abbildung 5-1, S. 62). Die Spültoiletten werden mit Druckspüler oder Spülkästen betrieben. Wasserlose Urinale, wie sie mittlerweile an bewirtschafteten Rastanlagen immer öfter zum Einsatz kommen, stellen an PWC-Anlagen bislang die Ausnahme dar.



Abbildung 5-1: Beispiele für Sitztoiletten (links) und Handwaschbecken (rechts) aus Edelstahl an PWC-Anlagen; links: „Uhrsleben-Süd“ (BAB 2, B-km 115,300) rechts: „Peenetal-Nord“ (BAB 20; B-km 211,500)

Prinzipiell ist jegliche Sanitärtechnik aus Keramik, Kunststoff und Edelstahl auf dem Markt verfügbar. Im Vergleich zu den anderen Materialien ist die Edelstahlausführung am teuersten, doch wird sie auf PWC-Anlagen aus Gründen der Zerstörungssicherheit bevorzugt eingebaut. Dies ist aber kein Unterpfand dafür, dass das Bauteil eine längere Lebensdauer als seine Stellvertreter aus Keramik oder Kunststoff hat. Denn der Vandalismus hinterlässt zum Teil derart deutliche Spuren (Verformung der Oberfläche durch mechanische Einwirkung), dass die einwandfreie Funktionalität nicht mehr gegeben ist und somit ein Ersatz bereits nach kurzer Zeit notwendig wird. Vor diesem Hintergrund ist auf einigen PWC-Anlagen die Materialauswahl zu Gunsten von Keramik gefallen. Praktisch wird eine Zerstörung akzeptiert, weil sich zügig

und günstig Ersatz beschaffen lässt. Ein weiterer Vorteil von Keramik ist in der optischen Aufwertung des gesamten Sanitärbereichs zu sehen. Dies gelingt mit Kunststoffelementen weniger, weswegen sie vermutlich bislang keine Verwendung auf PWC-Anlagen finden.

Die Einbaulage ist für Handwaschbecken und Sitztoiletten von Bedeutung. Bei Handwaschbecken ist zwischen freihängendem Handwaschbecken (Edelstahl oder Keramik) und Wand-einbauwaschtischanlagen (ausschließlich Edelstahl) zu unterscheiden. In Letzterem sind Seifenspender und Händetrockner integriert, was u. U. die Bedienung verkompliziert. Auf Grund ihrer kompakten Bauweise sind sie aber besser vor Vandalismus geschützt als die freihängenden Handwaschbecken. Trotz anspruchsvoller und somit wartungsbedürftiger Technik kommen sie deshalb sehr häufig zum Einsatz. Hinsichtlich der Sitztoiletten rückt die Vandalismusbeständigkeit als Auswahlkriterium in den Hintergrund. Prinzipiell könnten sie auf den Boden stehend befestigt werden, doch sind sie für gewöhnlich an der Wand hängend montiert, um die Fußbodenreinigung zu erleichtern.

Aus hygienischen Gründen, aber auch zum Schutz vor Diebstahl und Zerstörung, wird i. d. R. auf mechanische Armaturen (Spültaste, Wasserhahn, Seifenspender) im Sanitärbereich verzichtet (vgl. Abbildung 5-1). Die einzelnen Spülvorgänge (WC, Urinal, Handwaschbecken) werden elektrisch über Impulsgeber (selten Taster, meistens berührungslose Sensoren) entweder direkt oder indirekt, z.B. mittels Schließkontakten an den Türen der WC's, vom Benutzer ausgelöst. Der Benutzer hat somit Einfluss auf die Anzahl der Spülvorgänge, nicht jedoch auf die Spülwassermenge. Diese ist i. d. R. knapp bemessen – insbesondere für Urinale und Handwaschbecken. Die Steuer- und Regelungstechnik (Pumpen, Magnetventile, Trockner, Steuereinheit usw.) sind in einem separaten Betriebsraum installiert (Abbildung 5-2).



Abbildung 5-2: Beispiele für Separate Betriebsräume und der hier installierten Technik an PWC-Anlagen; links: PWC „Büttellborn“ (BAB 67; B-km 19,300), rechts: PWC „Oberwald“ (BAB 4, B-km 93,300)

Nicht selten werden die Bedienungshinweise zum Auslösen der einzelnen Vorgänge vom Benutzer nicht verstanden, was entweder zur mehrmaligen oder unterlassenen Betätigungen führt. Insbesondere die Funktionsweise von Handwaschbecken mit integriertem Seifenspender und Warmlufttrockner ist häufig missverständlich. Deshalb ist es nicht selten, dass auf das Händewaschen gänzlich verzichtet wird. Dies hat für alle wasserverbrauchenden Vorgänge Auswirkungen auf die Abwasserzusammensetzung und - speziell für den Fall „unterlassener Betätigung“ - auch auf die hygienischen Verhältnisse. Letzteres wiegt insbesondere für den Toilettenbereich schwer, weswegen an einigen PWC-Anlagen die Toiletten unabhängig von der tatsächlichen Benutzung „zwangsgespült“ werden. Für männliche Benutzer geht der nutzerspezifische Wasserverbrauch manchmal gegen null. Nämlich dann, wenn er uriniert, das Urinal nicht spült (oder die automatische Spülung versagt), und er auf das Händewaschen verzichtet (gewollt oder nicht gewollt). Auslösungsmechanismus, Anzahl und Dauer der Zwangspülungen variieren von Anlage zu Anlage und werden zudem vom Betriebspersonal den aktuellen Erfordernissen angepasst.

Insgesamt wird deutlich, dass die vorgehaltene Sanitärtechnik sowohl direkt (z.B. Wasserverbrauch pro Spülvorgang) als auch indirekt (durch Beeinflussung des Benutzerhaltens) die Abwassercharakteristik beeinflussen kann.

5.4. Quelle der Wasserversorgung

Auch die Quelle der Wasserversorgung hat sowohl einen quantitativen als auch qualitativen Einfluss auf die Abwassercharakteristik. Insbesondere bei kleinen, dezentralen Wassergewinnungsanlagen kann es zu Schwankungen in der Menge und der Zusammensetzung kommen, die unterschiedlich ausgeglichen werden. Dem begrenzten Angebot wird mit Zisternen, Dru-

ckerhöhungsanlagen und den Einsatz von Spülkästen entgegengewirkt. Mit dem Hinweis, dass es sich nicht um Trinkwasser handelt, wird der schwankenden Qualität Rechnung getragen. Eine Aufbereitung zu Trinkwasser erfolgt i. d. R. nicht.

Bezüglich betrieblicher Aspekte und der biologischen Abwasserreinigung sind die Härte und die Alkalinität des Frischwassers von Bedeutung. Eine häufige Ursache für Betriebsstörungen sind Ablagerungen in den Abwasserrohren, die einerseits auf den hohen Urinanteil im Abwasser und andererseits auf die hohen Konzentrationen von Magnesium und Calcium im Frischwasser zurückgehen (vgl.3.2).

Nach bisherigen Untersuchungen der BUW handelt es sich bei den Ablagerungen vor allem um Urinstein (Calciumphosphate, Magnesiumammoniumphosphate) und Calcit (Calciumcarbonat). Es existieren eine Reihe technischer und betrieblicher Möglichkeiten, dass Ausfällen dieser Feststoffe und somit das Verkrusten der Rohre zu vermeiden. Auf den PWC-Anlagen kommen vorrangig chemische (Dosierung von Komplexbildner) und physikalische (elektromagnetische Felder) Verfahren zur Anwendung (Abbildung 5-3, S. 65).



Abbildung 5-3: Dosierung von Chemikalien (links) und Anlegen elektromagnetischer Felder (rechts) zur Prävention von Ablagerungen in den Abwasserrohren

5.5. Betriebsmittel

Betriebsmittel, die je nach Beschaffenheit sowie Art und Umfang ihrer Verwendung einen vornehmlich qualitativen Einfluss auf die Abwassercharakteristik nehmen können, sind:

- Toilettenpapier,
- Seife,
- Reinigungsmittel,
- sonstige chemische Zusätze (z.B. zur Prävention von Ablagerungen).

Die Beschaffenheit der Betriebsmittel ist von Produkt zu Produkt unterschiedlich. Art und Umfang ihrer Verwendung hängen wesentlich vom Benutzerverhalten (Toilettenpapier, Seife) sowie den Erfahrungen des Betriebspersonales (Reinigungsmittel, sonstige chemische Zusätze) ab. Nur bei PWC-Anlagen mit dezentraler Abwasserbehandlung wird der Auswahl geeigneter Betriebsmittel Beachtung geschenkt. Diesbezüglich liegen bei den Autobahnmeistereien unterschiedliche Erfahrungen vor.

5.6. Schlussfolgerungen der Grundlagenermittlung

Ingesamt wird deutlich, dass der nutzerspezifische Wasserverbrauch und somit der nutzerspezifische Abwasseranfall sowohl von subjektiven Faktoren (Wollen und Können des Benutzers) als auch von orts- und objektspezifischen Randbedingungen abhängig ist. Demnach sind die nutzerspezifischen Abwasserfrachten individuell und können zudem räumlich und zeitlich variieren. Um dennoch statistisch abgesicherte nutzerspezifische Abwasserfrachten anhand der Messkampagnen ableiten zu können, müssen entsprechend viele Probanden für die Auswertung herangezogen werden. Aus den Erkenntnissen der Voruntersuchung resultieren die folgenden konkreten Anforderungen an das Untersuchungsprogramm der Messkampagnen:

1. Es sollen 6 unterschiedliche PWC-Anlagen an 12 unterschiedlichen Terminen untersucht werden (12 Untersuchungen).
2. Die Beprobung soll über 72 Stunden (3 Tage) durchgeführt werden.
3. Die Auslastung der PWC-Anlage im Beprobungszeitraum soll mindestens 300 Personen pro Tag betragen.

Durch die Einhaltung dieser Vorgaben können individuelle, räumliche und zeitliche Schwankungen im nutzerspezifischen Abwasseranfall ausgeglichen werden.

6. Auswahl geeigneter Standorte

Nach dem Aufstellen der relevanten Randbedingungen, wurden deutschlandweit PWC-Anlagen hinsichtlich der Durchführbarkeit der Hauptuntersuchung begutachtet und entsprechend ausgewählt. Das Abwassersystem der PWC-Anlage muss vor Ort bestimmte bauliche Randbedingungen erfüllen, um die vorgesehene Probenahmekonstruktion zu installieren. Diese sind aber nur selten gegeben.

6.1. Methode

Ziel der Voruntersuchung war es, insgesamt 6 PWC-Anlagen für die Durchführung der Messkampagnen zu finden. Ursprünglich waren durch den Auftraggeber 18 Anlagen im Bundesgebiet an 11 Standorten (7 beidseitige und 4 einseitige Anlagen) vorgeschlagen worden. Diese Vorauswahl wurde von der DWA-Arbeitsgruppe in Zusammenarbeit mit der DEGES hinsichtlich folgender Auswahlkriterien getroffen:

- möglichst hohes Verkehrsaufkommen,
- möglichst geringes Alter (moderne Ausstattung) und damit verbunden
- möglichst gutes Erscheinungsbild der PWC-Anlage,
- Abstand zur nächsten Rastanlage: max. 20 km.

Diese Auswahlkriterien zielen letztlich auf eine rege Inanspruchnahme und somit eine hohe Auslastung der PWC-Anlage ab. Ferner sollte:

- eine Verkehrszählstelle sowie ein Wasserzähler vorhanden sein und
- der erforderliche Umbauaufwand zur Installation von Messeinrichtungen auf ein geringes Maß reduziert bleibt.

Zur Beurteilung der Eignung wurden neben den oben genannten Auswahlkriterien die örtlichen Gegebenheiten der PWC-Anlagen im Hinblick auf:

- A eine geeignete Probeentnahmestelle,
- B Möglichkeiten der Einrichtung von Messstellen zur Fahrzeug- und Benutzerzählung,
- C Möglichkeiten der Installation zusätzlicher MSR-Technik im Betriebsraum zur messtechnischen Erfassung des Benutzerverhaltens

näher erörtert. Im Rahmen der Vor-Ort-Termine konnten außerdem organisatorische Dinge, wie Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten geklärt werden. Im Ergebnis bot nur eine der insgesamt 14 inspizierten Anlagen günstige Voraussetzungen zum Durchführen der Messkampagne, denn als Einzige verfügt die PWC-Anlage „Settel“;(BAB 1, B-km 243,900) über eine geeignete Probeentnahmestelle.

Generell wurden nachfolgende Bedingungen, in ihrer Wichtigkeit geordnet, an die Standorte für die Messkampagnen gestellt:

- a.) Die Installation der Probeentnahmekonstruktion muss möglich sein.

- b.) Es muss gewährleistet sein, dass nur das Sanitärabwasser aus der betreffenden PWC-Anlage erfasst wird.
- c.) Am Ort der Probeentnahmestelle muss ausreichend Platz zum Aufstellen der Abwasserspeicher vorhanden sein.
- d.) Am Ort der Probeentnahmestelle ist ein Stromanschluss erforderlich, der ggf. nachgerüstet werden kann.
- e.) Die Probeentnahmestelle muss gegen unbefugten Zutritt abgesichert werden können.

Das häufigste Ausschlusskriterium stellte das Fehlen eines geeigneten Schachtes bzw. Absetzbeckens dar, wie es zur Installation der Probeentnahmekonstruktion notwendig ist. In Abbildung 6-1 ist die Probeentnahmekonstruktion skizziert und es werden die baulichen Anforderungen aufgeführt.

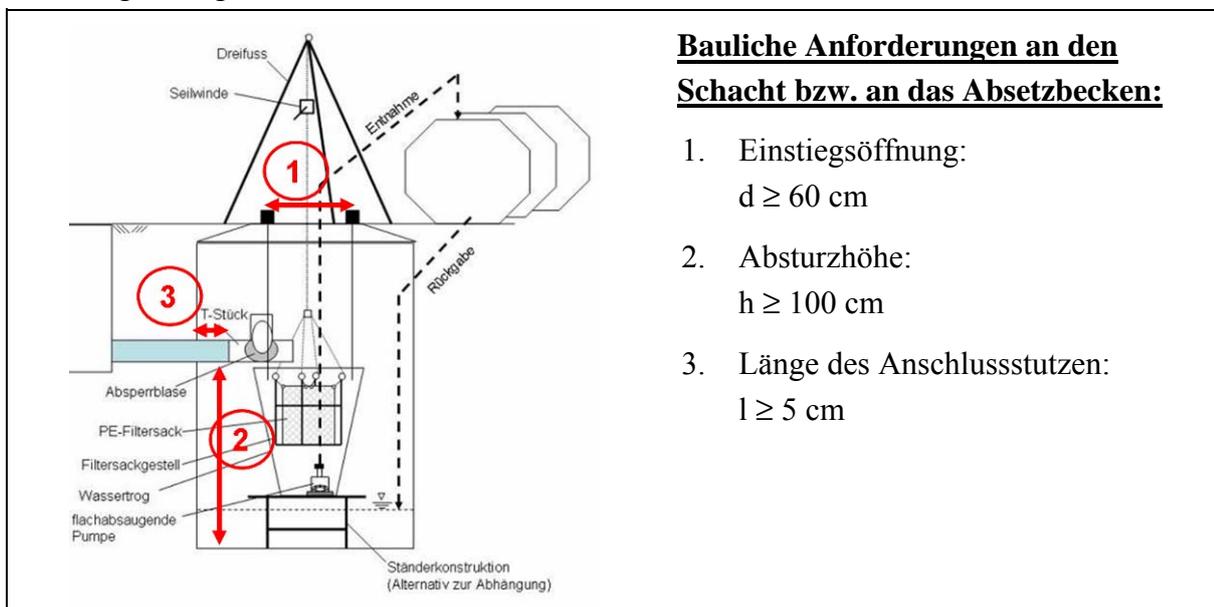


Abbildung 6-1: Schematische Darstellung der Probeentnahmekonstruktion und bauliche Anforderungen an die Probeentnahmestelle

Zum Zeitpunkt der Vorauswahl durch die BAST standen die von der BUW im Rahmen des Projektes entwickelte Probeentnahmekonstruktion und somit die an die Probeentnahmestelle zu stellenden baulichen Anforderungen noch nicht fest. Insofern erklärt sich auch die geringe Anzahl an PWC-Anlagen aus der Vorauswahl, die zur Durchführung der Messkampagnen geeignet sind.

Des Weiteren wurden im Rahmen der Vor-Ort-Termine noch folgende Umstände festgestellt, die einer sachgemäßen Durchführung bzw. schlüssigen Interpretation der gewonnenen Ergebnisse erschweren würden:

- Die teilweise schlechte Einsicht der Ein- und Ausgänge am Sanitärgebäude erschwert die Zählung der WC-Benutzer.
- Die PWC-Anlage dient als Treffpunkt für diverse Veranstaltungen. Einerseits wird hierdurch die Sicherheit der Mitarbeiter bzw. Pauschalkräfte gefährdet. Andererseits ist zu befürchten, dass die gewonnenen Abwasserproben wenig repräsentativ sind.

- Die PWC-Anlage befindet sich noch im Gewährleistungszeitraum. Der Einbau von zusätzlicher MSR-Technik ist somit nicht oder nur bedingt möglich.

Als Ergebnis der Diskussion über die genannten Probleme im Betreuerkreis, wurde die BUW beauftragt, geeignete PWC-Anlagen zu finden. Der Möglichkeit zur Installation der Probeentnahmekonstruktion wurde dabei als Auswahlkriterium höchste Priorität einräumt.

Aufgrund der vorliegenden Erfahrungen wurde geschlussfolgert, dass PWC-Anlagen, die über einen Freispiegelkanal an zentrale Kläranlagen angeschlossen sind, nicht über geeignete Probeentnahmestellen verfügen (Schächte vor Ort sind i. d. R. ohne Absturz). Als potentielle Standorte wurden dementsprechend nur PWC-Anlagen mit Druck-/Unterdruckentwässerung, abflusslosen Sammelgruben oder dezentraler Kläranlage angesehen. Diesbezügliche Informationen wurden den zur Verfügung gestellten Fragebögen (vgl. Kapitel 4) entnommen. Im Ergebnis konnten daraus bundesweit 288 Anlagen als potentielle Standorte identifiziert werden. Mit dieser Vorauswahl wurden die zuständigen Autobahnmeistereien bzw. Autobahnämter kontaktiert und um Hilfe bei der Standortwahl gebeten. Die Verantwortlichen sollten anhand der mitgeteilten Auswahlkriterien die Eignung der potentiellen Standorte beurteilen.

Insgesamt wurden 179 (62 % von 288) der von der BUW als potentielle Standorte zur Auswahl gestellten PWC-Anlagen von den Verantwortlichen als ungeeignet eingestuft. Die häufigsten Gründe hierfür waren:

- 1) Die baulichen Anforderungen an die Probeentnahmestelle werden nicht erfüllt (vgl. Abbildung 6-1).
- 2) Die Probeentnahmestelle ist derart verbaut (Leitern, Tauchwände usw.), dass die Installation der Probeentnahmekonstruktion nicht möglich ist.
- 3) Die separate Erfassung des Sanitärabwassers der betreffenden PWC-Anlage ist unmöglich, da es mit dem Abwasser der gegenüberliegenden PWC-Anlage vor der Probeentnahmestelle (Sammelschacht / Pumpenschacht) zusammenfließt.
- 4) Das Sanitärabwasser der PWC-Anlage wird gemeinsam mit dem von der Fahrbahn- bzw. Parkplatzoberfläche abfließenden Niederschlagswasser abgeleitet.
- 5) Die PWC-Anlage ist als bevorzugter Treffpunkt und Austragungsort von inoffiziellen Veranstaltungen bekannt.

Letztendlich sind 30 Anlagen im Vorfeld von den Verantwortlichen als mögliche Standorte eingestuft worden. Aufgrund der guten Zusammenarbeit mit den Behörden und den Autobahnmeistereien, wurde die Liste der PWC-Anlagen, die für die Untersuchung in Frage kommen könnten, fortwährend geschrieben. Diese Anlagen (insgesamt 42) wurden von der BUW aufgesucht und hinsichtlich ihrer tatsächlichen Eignung beurteilt. Doch in den meisten Fällen endete der Vor-Ort-Termin mit einem negativen Ergebnis. Die häufigsten Gründe sind bereits zuvor genannt. Die Abbildung 6-2 und Tabelle 6-1 geben einen Überblick zu den 6 letztendlich ausgewählten Standorten für Beprobung im Rahmen der Hauptuntersuchung.



Abbildung 6-2: Übersicht zur Lage der ausgewählten PWC-Anlagen

Tabelle 6-1: Bezeichnung und Lage der ausgewählten PWC-Anlagen

Nr.	Bezeichnung	Bundesland	BAB	B-km
1	Belvedere-Nord	Thüringen	4	192,000
2	Settel	Nordrhein-Westfalen	1	243,000
3	Klockow-Ost	Brandenburg	20	311,000
4	Peenetal-Ost	Mecklenburg-Vorpommern	20	211,500
5	Moosburger Au-Ost	Bayern	92	42,500
6	Adlersberg-West	Thüringen	73	10,500

6.2. Beschreibung der ausgewählten PWC-Anlagen

Im Folgenden werden die 6 für die Hauptuntersuchung ausgewählten PWC-Anlagen kurz beschrieben. Eine ausführlichere tabellarische Beschreibung der einzelnen Anlagen ist im Anhang zu finden (vgl. A 3. bis A 7.).

6.2.1. PWC-Anlage Belvedere-Nord



Abbildung 6-3: PWC-Anlage Belvedere-Nord

Die PWC-Anlage Belvedere Nord liegt an der BAB 4 bei km 192,000 zwischen den Anschlussstellen Apolda (50) und Weimar (49) in Fahrtrichtung Frankfurt am Main. An der gegenüberliegenden Fahrtrichtung befindet sich die PWC-Anlage Belvedere-Süd. Als Konkurrenzangebote verfügt die Anschlussstelle Apolda über einen Autohof und 11 km in Fahrtrichtung Frankfurt am Main besteht die Rastanlage Eichelborn. Geografisch liegt die Anlage in einer hügeligen Landschaft im ländlichen Raum, umgeben von kleinen Städten und Dörfern mit wenigen Industrieansiedlungen. Die BAB 4 bildet eine mitteldeutsche Ost-West-Verbindung zwischen Polen und den Niederlanden. Werktags dient die Autobahn hauptsächlich dem Güterverkehr und an Wochenenden in der ferienfreien Zeit wird sie gerne von überregionalen Berufspendlern in den westlichen Teil der Republik und wieder zurück genutzt.

Die sanitäre Einrichtung im WC-Gebäude aus Edelstahl besteht aus 7 WC's, davon 4 für Damen, 2 für Herren und 1 Behinderten-WC, 3 Urinalen im Herrenbereich und insgesamt 5 Handwaschbecken als Wandeinbau. Bis auf die Urinale, die mit Thermosensoren ausgelöst werden, findet man bei den Toiletten und Handwaschbecken kapazitive Näherungssensoren. Dieser Sensor reagiert berührungsfrei, d.h. ohne direkten Kontakt, auf Annäherung eines Gegenstandes (z.B. der Hand) mit einem elektrischen Signal, welches das Auslösen bedingt. Der Schaltabstand liegt ungefähr bei 4 Zentimetern. Ein Vor- und Nachspülen auf den Toiletten wird durch das Ver- bzw. Entriegeln der Tür ausgelöst.

Das Handwaschbecken verfügt über zwei Näherungssensoren zum Anfordern von Wasser und Seife. Nach dem Wasser schaltet sich automatisch der Händetrockner zu. In diesem Zeitraum kann kein Wasser angefordert werden, was zu Wartezeiten vor dem Handwaschbecken führt.

Die Handhabung der Sensoren und die Abfolge des Programms wird von den Benutzern oft nicht verstanden, was entweder zur mehrmaligen oder unterlassenen Betätigungen führt.

Die PWC-Anlage Belvedere verfügt über einen zentralen Trinkwasseranschluss und wird durch den WZV Weimar mit Trinkwasser versorgt.

Das anfallende Abwasser wird dezentral mittels einer Pflanzenkläranlage behandelt. Eine schematische Darstellung zum Weg des Abwassers zeigt die Abbildung 6-4. In einer Absetzgrube wird das Rohabwasser gesammelt und vorbehandelt (vgl. 3.2.4). Die hier abgetrennten Grob- und Feststoffe werden mit einem Saugwagen nach Bedarf abgeholt und in einer zentralen Kläranlage entsorgt. Eine Pumpe im Pumpenschacht fördert das vorbehandelte Abwasser auf ein Pflanzenbeet mit einer Fläche von 140 m². Nach dem Durchsickern der Bodenzone, wird das behandelte Abwasser mittels einer Drainage gesammelt und gelangt über einen Kontroll- und Verteilerschacht in einen Schönungsteich. Das hier nachbehandelte Abwasser wird anschließend versickert.

Für die Reinigung und Wartung des WC-Gebäudes wird einmal täglich um 14:00 Uhr von einer Fremdfirma durchgeführt. Zu den Reinigungsarbeiten zählen das Ersetzen der leeren Toilettenpapierrollen, die Säuberung der WC-Einrichtungen mittels Hochdruckreiniger und das Entleeren der Hygieneabfallbehälter. Es werden vorwiegend Reinigungsmittel eingesetzt, die der Bildung von Urinstein vorbeugen. Die Autobahnmeisterei ist für die Überwachung, Mäharbeiten und die Abfallentsorgung zuständig. Die Wartung der Pflanzenkläranlage erfolgt durch den Hersteller der Anlage viermal jährlich.

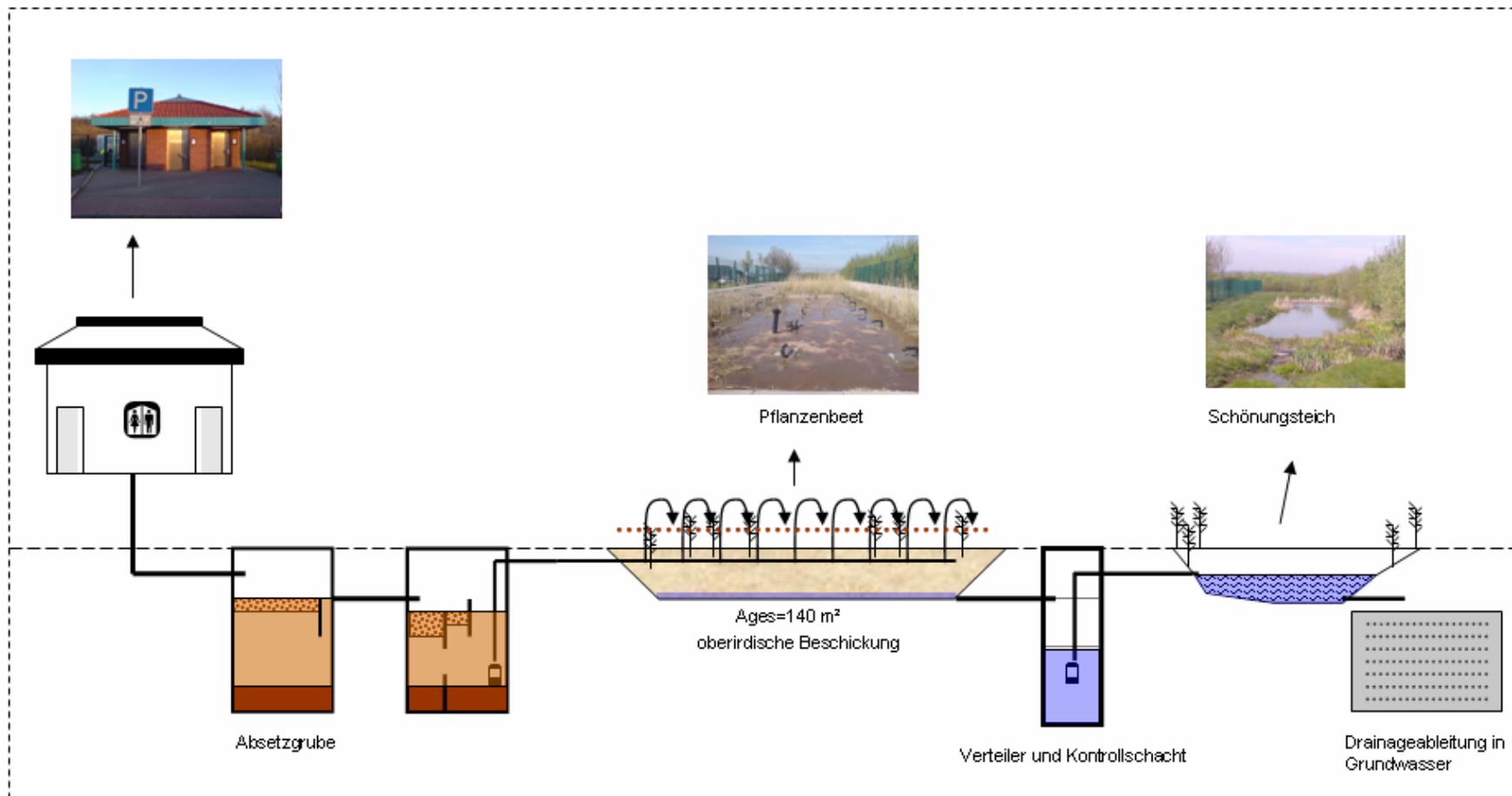


Abbildung 6-4: Dezentrales Abwasserbehandlungssystem der PWC-Anlage Belvedere-Nord

6.2.2. PWC-Anlage Settel



Abbildung 6-5: PWC-Anlage Settel

Am nördlichen Rand der Metropolregion Rhein-Ruhr in Nordrhein-Westfalen befindet sich an der BAB 1 die PWC-Anlage Settel bei km 243,900 zwischen den Anschlussstellen Ladbergen (74) und Lengerich (73) in Fahrtrichtung Bremen. Die Anschlussstelle Ladbergen verfügt über einen Autohof und bei km 236,400 in Fahrtrichtung Bremen besteht die Rastanlage Tecklenburger Land, die über ein Motel verfügt. Obwohl Nordrhein-Westfalen als am dichtesten besiedelte Region Deutschlands gilt, ist die geografische Lage der PWC-Anlage eher im ländlichen Raum. Im Umkreis findet man kleine Städte in einer relativ flachen Landschaft. Die BAB 1 ist eine kontinental bedeutende Autobahn, und hauptsächlich durch den Verkehr aus dem Wirtschaftszentrum im Ruhrgebiet belastet. Dementsprechend nutzen auch viele Berufspendler diese Verkehrsverbindung.

Die sanitäre Einrichtung des WC-Gebäudes ist, wie in Nordrhein-Westfalen üblich, aus Keramik und besteht aus 3 WC's, davon 2 für Damen und 1 für Herren, 2 Urinale im Herrenbereich und insgesamt 3 Handwaschbecken. Diese sind als Waschtische freihängend eingebaut, verfügen aber nicht über Seifenspender und Händetrockner. Eine separate Behindertentoilette gibt es nicht, jedoch sind jeweils das Herren-WC und ein Damen-WC sind behindertengerecht ausgeführt. Alle Wasserverbraucher werden per Radarsensor ausgelöst. Der Radarsensor sendet und empfängt elektromagnetische Wellen. Trifft das ausgesendete Primärsignal auf den Benutzer, wird dieses von ihm reflektiert und als Sekundärsignal zum Sensor zurückgesendet. Das ankommende Signal wird vom Sensor in einen elektrischen Impuls umgewandelt, und zum Steuergerät weiter geleitet. Die Steuereinheit hat die Aufgabe Wassermengen zu regulieren, sowie die zeitliche Auslösung des Spülvorgangs zu bestimmen. Ein Vor- und Nachspülen auf den Toiletten wird auch hier durch das Ver- bzw. Entriegeln der Tür ausgelöst.

Auch die PWC-Anlage Settel verfügt über einen zentralen Trinkwasseranschluss und wird durch die Kommune Ibbenbüren mit Trinkwasser versorgt. Das Abwasser wird mit einer Druckentwässerung in eine zentrale Kläranlage abgepumpt und dort behandelt. Eine schematische Darstellung dieses Entwässerungssystems zeigt die Abbildung 6-6. Fällt Abwasser an,

wird es im Freigefälle zu einem Sammelschacht geleitet, in dem sich zwei Pumpen befinden. Diese fördern das Abwasser bei Erreichen des Betriebsfüllstandes in eine Druckrohrleitung, welche mit einer Druckluftspülstation gekoppelt ist. Durch Einblasen von Druckluft werden die Fließvorgänge begünstigt und das Abwasser „frisch“ gehalten. Im Gegensatz zur Freispielleitung wird das Abwasser mit Fremdenergie zur Kläranlage gefördert (vgl. 3.2.2).

Die halbjährliche Wartung der Sanitäranlagen, sowie die 14-tägige Abfallentsorgung werden auf der PWC-Anlage Sattel durch Fremdfirmen übernommen. Für die tägliche Reinigung und Überwachung des WC-Gebäudes ist die Autobahnmeisterei Lengerich verantwortlich. Während der Hauptreisezeit, wie in den Sommerferien, erfolgt die Reinigung zweimal täglich. Zusätzlich führt sie halbjährlich Mäharbeiten auf dem Parkplatz durch.

Zur Reinigung werden ein Desinfektionsreiniger und ein Mittel zur Urinsteinbehandlung eingesetzt.

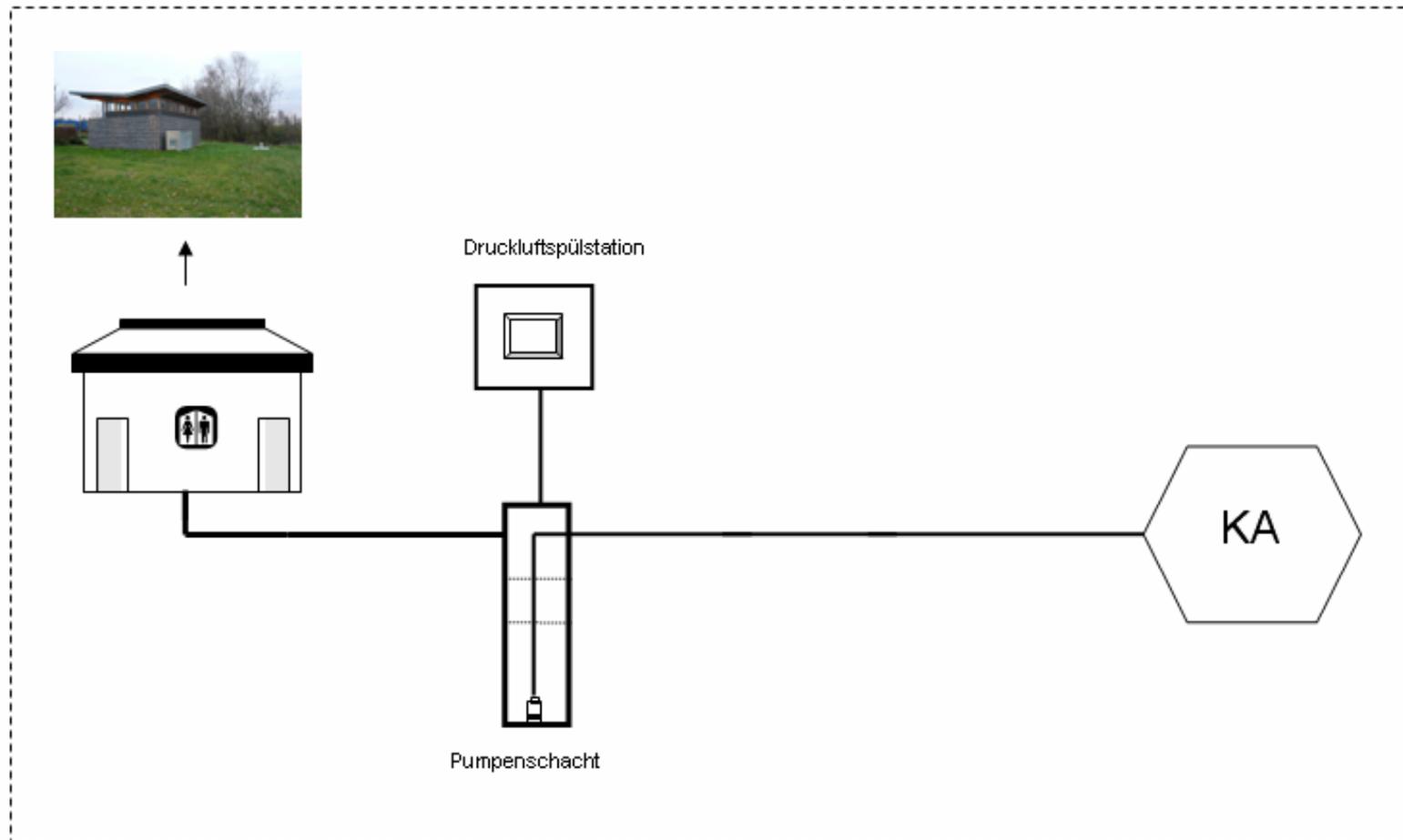


Abbildung 6-6: Abwasserentsorgungssystem der PWC-Anlage Sattel

6.2.3. PWC-Anlage Klockow-Ost



Abbildung 6-7: PWC-Anlage Klockow-Ost

An der Landesgrenze von Brandenburg zu Mecklenburg-Vorpommern im Verlauf der „Ostseeautobahn“ BAB 20 ist die PWC-Anlage Klockow bei km 11,500 gelegen. Es handelt sich hierbei um eine beidseitige Anlage. Klockow besitzt die ersten sanitären Einrichtungen nach 65 km auf der BAB 20 aus Richtung Berlin kommend, weshalb die PWC-Anlage zur Reisezeit besonders hoch frequentiert ist. Die geographische Lage ist im ländlich geprägten und dünn besiedelten nördlichen Brandenburg zwischen den Anschlussstellen Prenzlau-Ost (37) und Pasewalk-Süd (36) einzuordnen. Die nächste sanitäre Einrichtung nach ca. 23 km in Fahrtrichtung Stralsund hält die PWC-Anlage Ravensmühle vor. Anders als in Nordrhein-Westfalen, gibt es in Mecklenburg-Vorpommern keine derartige Wirtschaftsmetropole. Deshalb ist die Hauptauslastung der Autobahn vorrangig zur Reisezeit in den Sommermonaten festzustellen.

Die Sanitärausstattung ist in Edelstahl ausgelegt und mit 2 WC's für Damen, 1 WC für Herren, 1 Behinderten-WC, 2 Urinale im Herrenbereich sowie insgesamt 4 Handwaschbecken im Wandeinbau für die hohe Frequentierung an einem Sommerwochenende nicht ausreichend. Im Verlauf der Untersuchung kam es vor der Damentoilette zu Warteschlangen mit mehr als 15 Personen. Die Kapazität der Toilettenpapierspender ist so gering, dass während der Untersuchung ständig Toilettenpapier nachgelegt werden musste. Alle Wasserverbraucher, außer den Urinalen, sind mit einem Nahrungssensor ausgestattet. Bei den WC's wird zusätzlich die Türverriegelung zum Vor- und Nachspülen eingesetzt. Urinale sind mit Thermosensoren ausgerüstet.

Für die beidseitige PWC-Anlage Klockow gibt es eine dezentrale Wasserversorgung über eine Brunnenanlage. Das geförderte Wasser wird mittels einer Sauerstoffbehandlung aufbereitet. Ein weiterer Bestandteil der Wasseraufbereitungsanlage ist ein selbstreinigendes Siebssystem, was bei Erreichen eines bestimmten Verschmutzungsgrades zurückgespült wird. Je Spülvorgang fallen ca. 500 Liter Abwasser an. Der hohe Wasserhärtegrad im Brunnenwasser führt in

Verbindung mit Harnsäure zu Ausfällungen, die sich als „Urinstein“ ablagern und einen hohen Wartungsaufwand mit sich bringen.

Das anfallende Abwasser wird mit einem ähnlichen System wie in Belvedere-Nord dezentral mittels einer Pflanzenkläranlage behandelt. Eine schematische Darstellung des Abwasserentsorgungssystems zeigt die Abbildung 6-8. Der Bodenfilter ist mit einer unterirdischen Beschickung des Pflanzenbeetes ausgestattet. Die Nachbehandlung erfolgt indirekt in einem Regenrückhaltebecken, weshalb auf den Schönungsteich verzichtet wird. Der Ablauf des Regenrückhaltebeckens mündet in eine Vorflut (vgl. Abbildung 6-8).

Betrachtet man den Betrieb der PWC-Anlage Klockow, so stellt diese Anlage eine Besonderheit im Vergleich mit den anderen untersuchten Anlagen dar. Das Personal der Autobahnmeisterei Gramzow ist tagsüber vor Ort und erledigt die Aufgaben der Reinigung und Abfallentsorgung für die PWC-Anlagen in beiden Fahrtrichtungen. Zur Reinigung der WC-Einrichtung wird vorwiegend Urinsteinlöser verwendet.

Die Anlagen haben große Rasenflächen mit überdachten Bänken zur Erholung der Verkehrsteilnehmer, die 5-mal jährlich durch eine Mahd gepflegt werden.

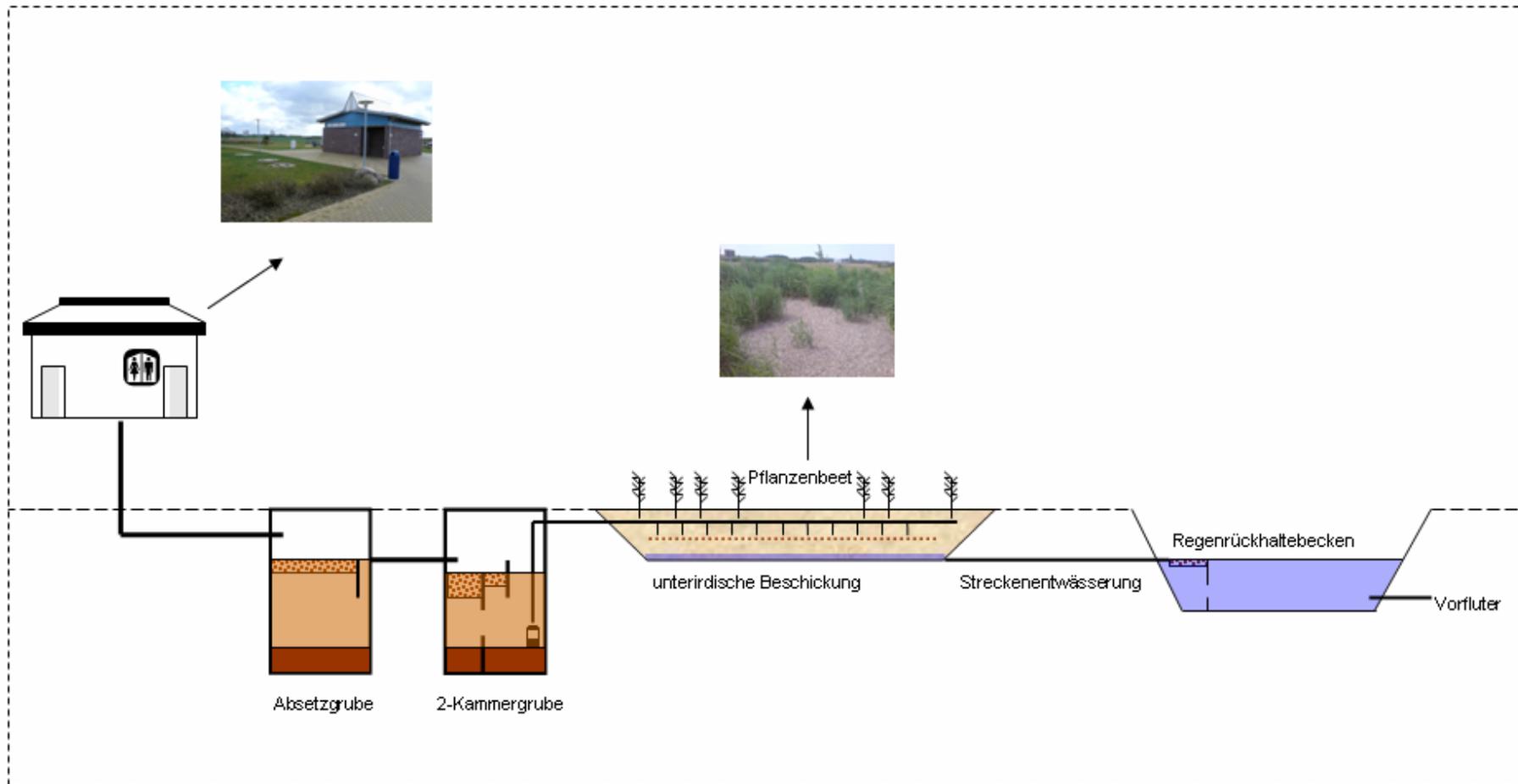


Abbildung 6-8: Dezentrales Abwasserbehandlungssystem der PWC-Anlage Klockow-Ost

6.2.4. PWC-Anlage Peenetal-Ost



Abbildung 6-9: PWC-Anlage Peenetal-Ost

Die Autobahnmeisterei Süderholz ist zuständig für die PWC-Anlage Peenetal an der „Ostseeautobahn“ BAB 20 in Mecklenburg-Vorpommern. Die unbewirtschaftete Rastanlage liegt in Fahrtrichtung Lübeck bei km 211,500 zwischen den Anschlussstellen Gützkow (27) und Greifswald (25), was auch die nächste größere Stadt in der Nähe ist. Ähnlich wie in Klockow ist die geographische Lage in der flachen Landschaft als ländlicher Raum mit kleinen Dörfern zu charakterisieren. Aufgrund des weitläufigen Gebietes gibt es auch hier keine Konkurrenzangebote zur PWC-Anlage.

Das Sanitärgebäude ist in gleicher Weise ausgestattet, wie auf der PWC-Anlage Klockow, doch mit dem Unterschied, dass die Handwaschbecken über Piezo-Taster bedient werden. Diese Art von Auslösmechanismus kann, im Gegensatz zu den kapazitiven Sensoren, auch bei niedrigen Wasserdrücken angewandt werden. In Gesprächen mit dem Anlagenbauer, der sowohl Nahrungssensoren, als auch Piezo-Taster einbaut, stellte sich heraus, dass aufgrund der geringeren Betriebsprobleme und der einfachen Bedienung, zunehmend diese Art von Auslösmechanismen auf PWC-Anlagen zum Einsatz kommen. Ein weiterer Vorteil der Piezo-Taster ist, dass sowohl die Wasserausgabe, der Seifenspender und der Händetrockner einzeln vom Benutzer ausgelöst werden können. Das wird bei kapazitiven Sensoren (Nahrungssensoren) meist über eine Steuereinheit automatisch geregelt.

Die Wasserversorgung der beidseitigen Anlage erfolgt auch hier dezentral durch eine Brunnenanlage mit den gleichen Problemen wie in Klockow. Für die dezentrale Abwasserbehandlung steht nur ein Pflanzenbeet auf der Gegenseite (PWC-Anlage Peenetal-West) zur Verfügung. Das Abwasser von der Ostseite fließt im freien Gefälle einer Absetzgrube zu, anschließend in eine Zweikammergrube, wo eine weitere Abscheidung von Feststoffen erfolgt. Von dort aus wird das vorbehandelte Abwasser über eine Druckrohrleitung in einen Übergabeschacht auf die Gegenseite gepumpt, mit dem Abwasser der Westseite zusammengeführt und über das Pflanzenbeet behandelt (vgl. Abbildung 6-10).

Die zweimal tägliche Reinigung und Abfallentsorgung wird durch das Personal der Autobahnmeisterei durchgeführt.

Die Rasenfläche zur Erholung ist bei Weitem nicht so großzügig angelegt wie auf der PWC-Anlage Klockow. Auch hier werden die Mäharbeiten durch das Personal der Autobahnmeisterei mehrmals jährlich ausgeführt.

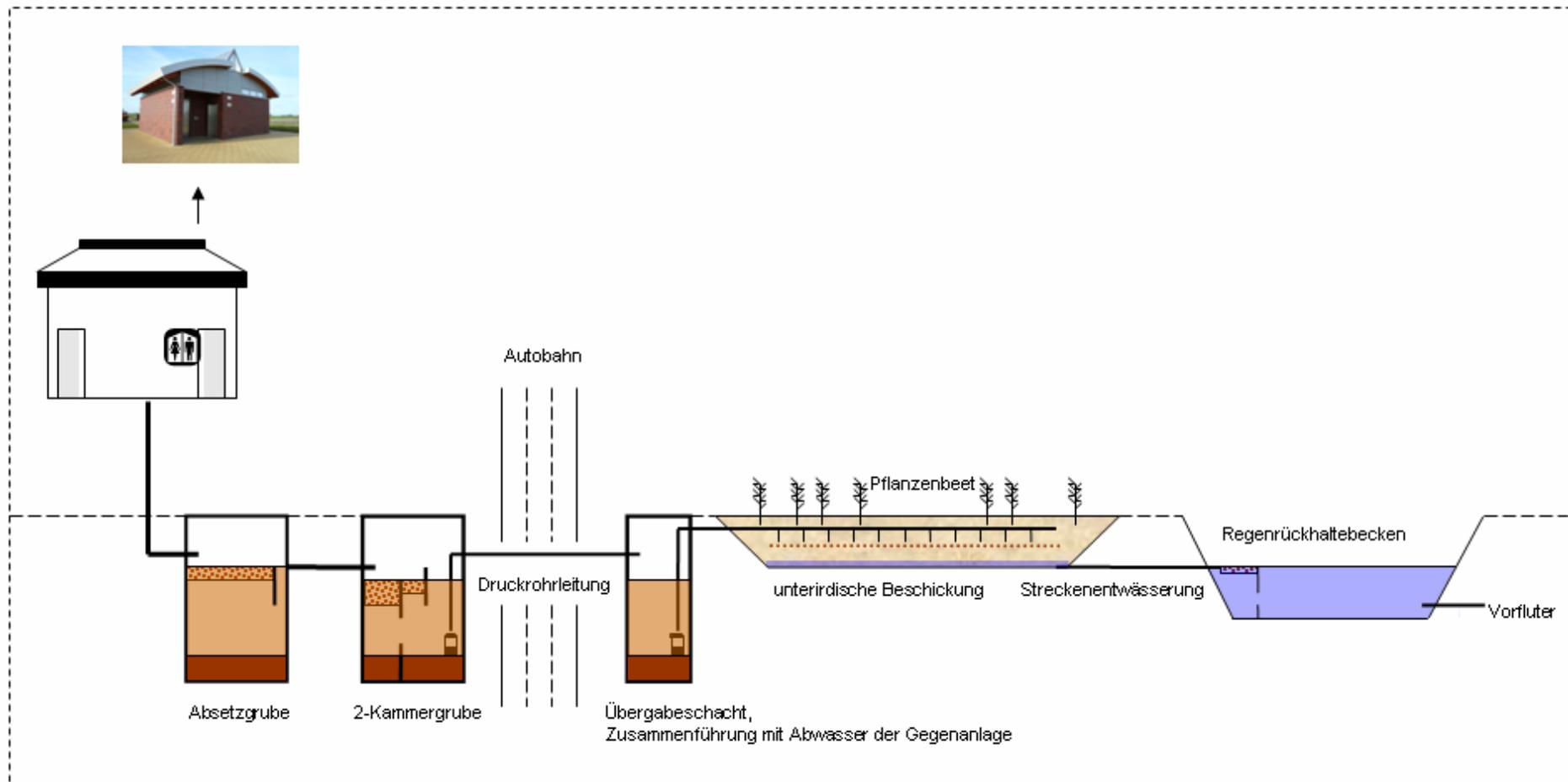


Abbildung 6-10: Dezentrales Abwasserbehandlungssystem der PWC-Anlage Peenetal-Ost

6.2.5. PWC-Anlage Moosburger Au-Ost



Abbildung 6-11: PWC-Anlage Moosburger Au-Ost

Der bayrische Vertreter unter den beprobten Anlagen ist die PWC-Anlagen Moosburger Au-Ost. Sie liegt an der BAB 92 bei km 42,500 zwischen den Anschlussstellen Erding (9) und Moosburg-Süd (10) im Einzugsgebiet Großraum München, in der Nähe des Flughafens München Franz Josef Strauß. Auch hier handelt es sich um eine beidseitig der Autobahn gelegene PWC-Anlage. An Werktagen ist der Berufspendlerverkehr vorherrschend, wohingegen an Wochenenden und zu Ferienzeiten die Autobahn von Reisenden genutzt wird.

Im Gegensatz zu den anderen untersuchten PWC-Anlagen, besitzt diese ein älteres Baujahr, was auch an der aus Edelstahl gefertigten Sanitärausstattung zu erkennen ist. Im WC-Gebäude gibt es insgesamt 3 WC's, 2 für Damen, 1 für Herren, 3 Urinale im Herrenbereich und insgesamt 4 freihängende Handwaschbecken. Außerhalb des eigentlichen WC-Gebäudes befindet sich ein separates Behinderten-WC mit Handwaschbecken (vgl. Abbildung 6-11). Auch hier sind weder Seifenspender noch Händetrockner vorhanden. Die Urinale werden per Thermo-sensor und die Handwaschbecken per IR-Bewegungssensoren ausgelöst. IR-Bewegungssensoren detektieren Wärmeänderungen in einem abgegrenzten Raumwinkel, der von einer Person durchquert wird. Die Bewegung verursacht eine zeitliche Änderung der abgegebenen Strahlungsleistung, welche von den empfindlichen Elementen des Sensors empfangen und in eine Spannung am Sensorausgang umgewandelt wird. Das hierbei erhaltene elektrische Signal wird an ein Steuergerät weitergeleitet. Dieses hat die Aufgabe, die Wassermanagementfunktionen zu steuern. Problematisch ist, dass sämtliche WC's ausschließlich über die Türverriegelung Vor- und Vollgespült werden. Ein manuelles Auslösen für mehrmaliges Spülen ist nicht möglich, weshalb oft Rückstände in den Toiletten verbleiben.

Die PWC-Anlage Moosburger Au ist an eine zentrale Wasserversorgung angeschlossen und wird vom WZV Berglerner Gruppe aus der Gemeinde Langenpreising versorgt. Auch die Abwasserentsorgung geschieht zentral mittels pneumatischen Pumpwerks. Das Abwasser beider Anlagen fließt im freien Gefälle einem Vorlageschacht auf der Ostseite zu. Da der Niveauunterschied der Leitungen im Schacht ausreichend groß ist, war es möglich das Abwasser

der Ostseite getrennt zu erfassen. Ein pneumatisches Pumpwerk erzeugt einen Unterdruck von 0,6 – 0,7 bar. Ist im Vorlageschacht ein bestimmter Füllstand erreicht, öffnet sich das Absaugventil, das Abwasser wird in Verbindung mit Luft eingesaugt, in das Rohrleitungssystem gedrückt und zur Kläranlage transportiert (vgl. Abbildung 6-12).

Die Reinigung der WC-Gebäude erfolgt täglich um 6:00 Uhr durch eine Fremdfirma. Zu den Reinigungsarbeiten gehören das Wechseln der leeren Toilettenpapierrollen, die Säuberung der WC-Einrichtungen mittels Hochdruckreiniger und die Entleerung der Abfallbehälter. Die Wartung der Unterdruckanlage erfolgt durch eigenes Fachpersonal der Autobahnmeisterei Freising, die auch die Mäharbeiten und die Abfallentsorgung übernimmt.

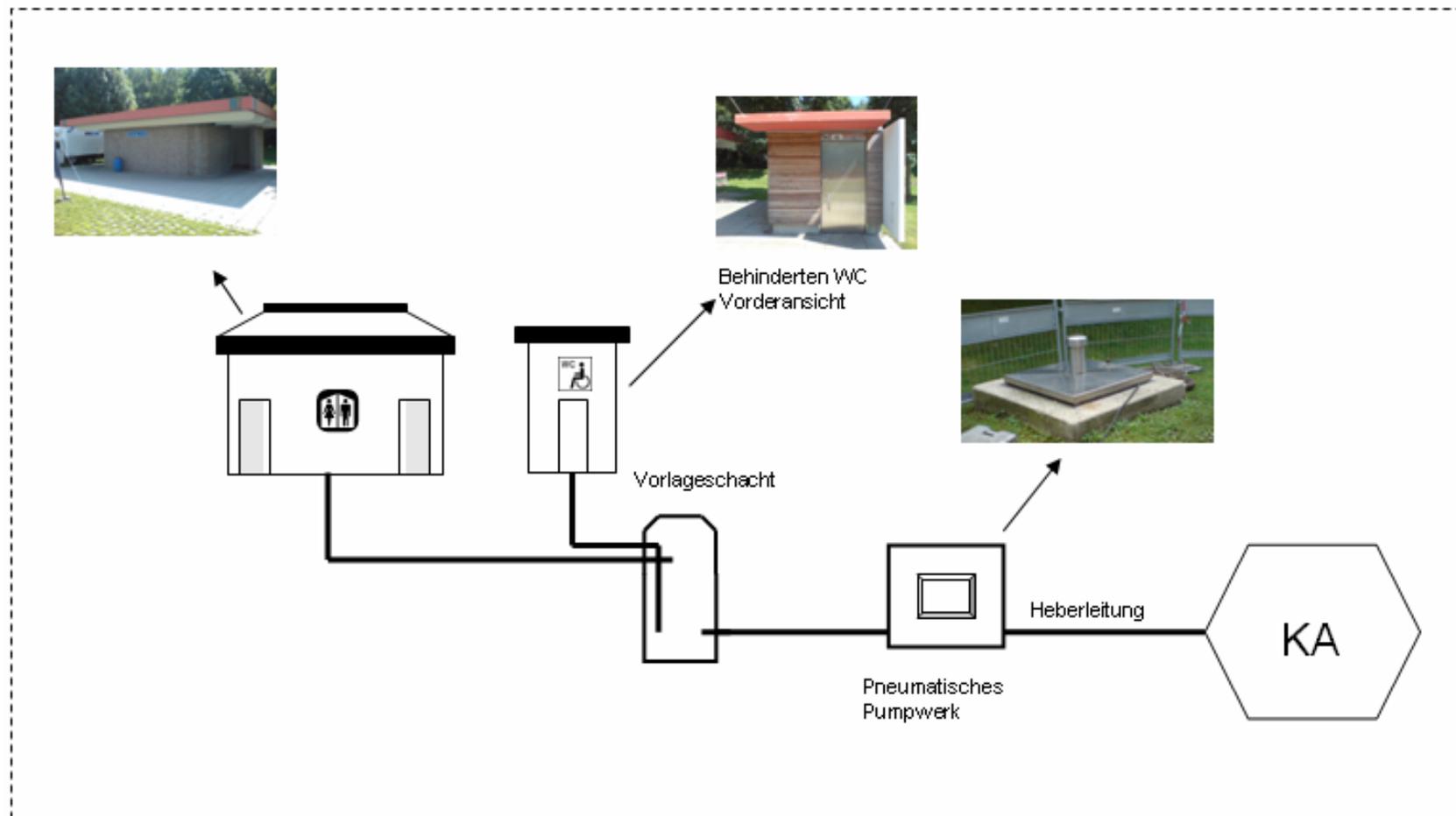


Abbildung 6-12: Abwasserentsorgungssystem der PWC-Anlagen Moosburger Au-Ost

6.2.6. PWC-Anlage Adlersberg-West



Abbildung 6-13: PWC-Anlage Adlersberg-West

Die sechste Messkampagne wurde mitten im Thüringer Wald zwischen Suhl und Schleusingen an der PWC-Anlage Adlersberg-West durchgeführt. Das Autobahnteilstück der BAB 73, an welchem sich die beidseitige PWC-Anlage bei km 10,500 befindet, wurde Ende Juli 2008 dem Verkehr übergeben. Insgesamt bildet die BAB 73 mit der BAB 71 eine regionale Verbindung zwischen Bayern und Thüringen, die sowohl von Reisenden, als auch von Berufspendlern und dem Wirtschaftsverkehr genutzt wird. Unmittelbare Konkurrenzangebote gibt es nicht. Aus Richtung Meiningen liegt ca. 15 km vorher die PWC-Anlage Dolmar, und in Richtung Nürnberg passiert man nach ca. 25 km die PWC-Anlage Werratal.

Die Sanitärausstattung ist von der Anzahl und dem Material identisch mit der auf der PWC-Anlage Belvedere-Nord. Ein Unterschied besteht nur beim Auslösemechanismus der Handwaschbecken, der hier durch Piezo-Taster erfolgt. Wasser, Seife und Händetrockner können separat vom Benutzer ausgelöst werden.

Für die Wasserver- und Abwasserentsorgung verfügt die PWC-Anlage jeweils über einen zentralen Anschluss. Für die Wasserver- und Abwasserentsorgung ist der Zweckverband Wasser und Abwasser „Mittlerer Rennsteig“ zuständig. Das Abwasser wird von der Westseite im freien Gefälle auf die Gegenseite geleitet und von dort mittels einer Druckentwässerung in eine zentrale Kläranlage transportiert.

Die Reinigung, die einmal täglich erfolgt, ist an eine Fremdfirma vergeben. Je nach Grad der Verschmutzung wird mit einem Hochdruckreiniger oder Wischeimer gereinigt. Alle anderen betrieblichen Zuständigkeiten, wie für Wartung, Überwachung, Mäharbeiten und die Abfallentsorgung liegen bei der Autobahnmeisterei Zella-Mehlis.

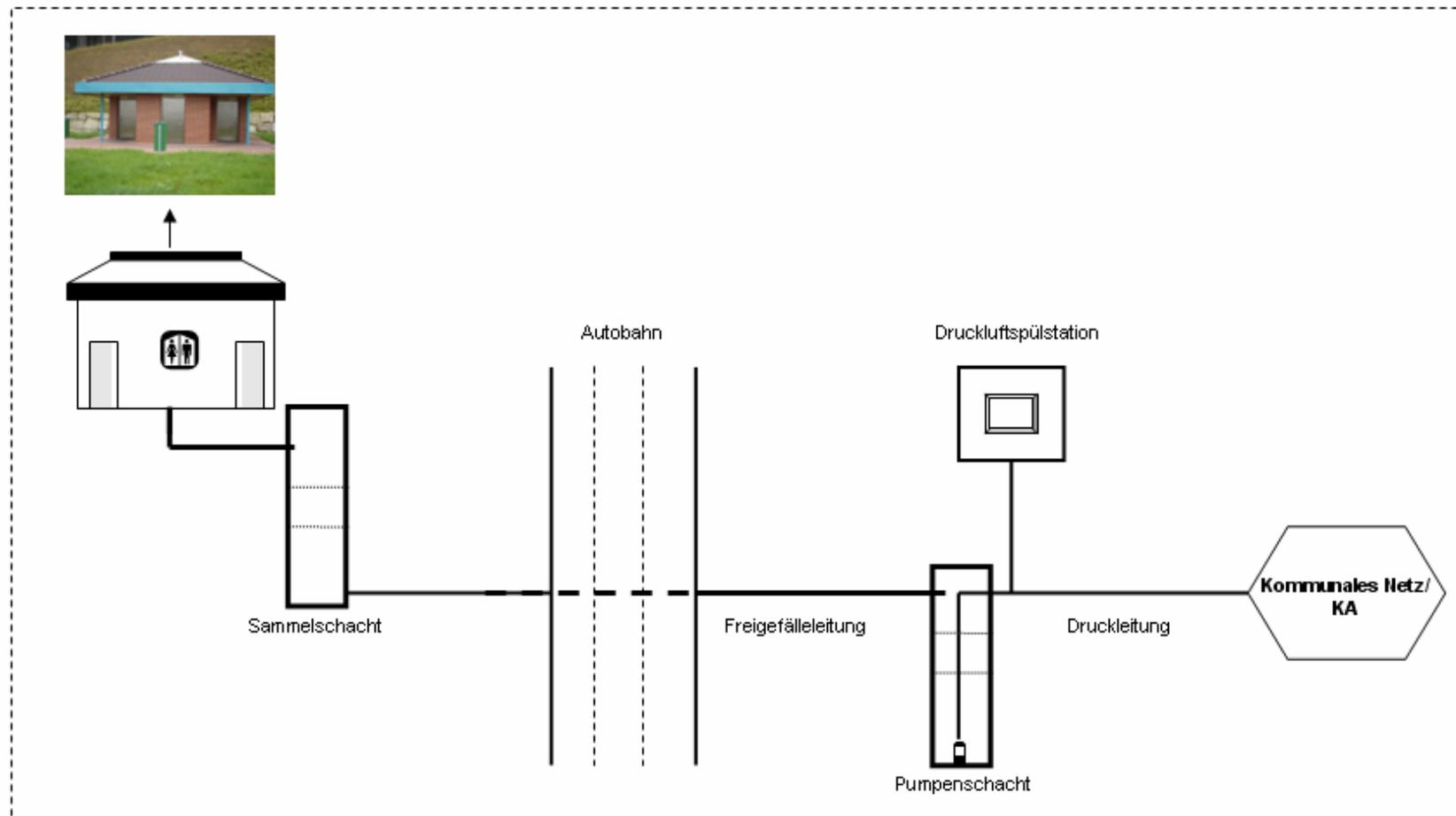


Abbildung 6-14: Abwasserentsorgungssystem der PWC-Anlage Adlersberg-West

6.3. Zusammenfassung des Kapitels

Das ausschlaggebende Kriterium für die Auswahl geeigneter PWC-Anlagen war das Vorhandensein einer geeigneten Probenahmestelle. Wie in den theoretischen Ausführungen dargelegt, ist es essentiell das Rohabwasser vollumfänglich zu erfassen und zu analysieren, um belastbare Ergebnisse für eine nutzerspezifische Abwasserfracht zu erhalten. Die Herausforderung lag darin eine geeignete Probenahmekonstruktion für die örtlichen Gegebenheiten zu entwickeln. Eine Lösung wurde hier mit dem Filtersacksystem gefunden, was aber gewisse bauliche Anforderungen an das örtliche Abwassersystem stellt. Nach entsprechender Analyse und vielen Vor-Ort-Terminen wurden die 6 in Abschnitt 6.2 beschriebenen Anlagen ausgewählt. Die PWC-Anlagen liegen deutschlandweit verteilt und weisen durch ihre geographische Lage einen unterschiedlichen Charakter im Verkehrsverhalten auf.

An den Thüringer PWC-Anlagen Belvedere und Adlersberg werden die meisten Sanitärelemente vorgehalten, während die Ausstattung der PWC-Anlage Settel vergleichsweise spartanisch ausfällt. Bis auf Settel gibt es in allen anderen Anlagen separat ausgewiesene Behinderten-WC's. Nordrhein-Westfalen geht auch beim Material eigene Wege und setzt auf das optisch angenehmere Keramik. Das Auslösen des Wasserstrahls erfolgt durch Radar-, IR-Bewegungssensoren, kapazitive Sensoren oder Piezo-Taster, die entweder gesondert angebracht oder in den Armaturen integriert sind. Im Gegensatz zur Wandeinbauwaschtischanlage sind bei freihängenden Waschtischen keine Seifenspender und Händetrockner integriert. Spültoiletten werden vorwiegend aus Edelstahl eingebaut. Die Auslösung des Spülvorganges in den Toilettenbecken erfolgt in der Regel manuell durch kapazitive Nahrungs-Sensoren oder über die Betätigung der Türverriegelung. Urinale bestehen ebenfalls meistens aus Edelstahl oder Keramik, wobei die Temperatur des menschlichen Urins die Spülung aufgrund der eingebauten Thermosensoren auslöst.

Bei der Wasserver- und Abwasserentsorgung folgten die Planer den bisher in Deutschland bekannten Regelwerken [ATV-DVWK, 2002; VHRR, 1999; RR 1, 1981] und bevorzugten einen zentralen Anschluss. Dezentrale Lösungen, mit einer Abwasserbehandlung in einer Pflanzenkläranlage, sind an Standorten fernab öffentlicher Ver- und Entsorgung zu finden.

Die betriebliche Aufgabenerfüllung obliegt zuerst den Autobahnmeistereien. Für die Überwachung der abwassertechnischen Anlagen sind in 4 von 6 Standorten die Autobahnmeistereien zuständig. Demgegenüber wird die Wartung derselben grundsätzlich durch Fremdfirmen (meist vom Hersteller) übernommen. Hinsichtlich der Reinigung der PWC-Anlagen haben die Autobahnmeistereien unterschiedliche Erfahrungen mit Fremdleistungen gemacht. Nur für die Anlagen Belvedere, Moosburger Au und Adlersberg wird diese Aufgabe durch private Unternehmen erfüllt. In den restlichen Fällen wurde anfangs auch das Modell praktiziert, doch sahen sich die Verantwortlichen aufgrund schlechter Aufgabenerledigung durch den Dienstleister und dem damit verbundenen höherem Kostenaufwand dazu veranlasst, diese Aufgabe wieder selbst zu übernehmen. Einfluss nehmend auf die Aufgabenerfüllung ist auch die Anzahl der zu betreuenden Anlagen der jeweiligen Autobahnmeisterei.

7. Hauptuntersuchungen

Ziel der Hauptuntersuchungen war es, aktuelle Daten bezüglich der an PWC-Anlagen anfallenden nutzerspezifischen Abwasserfrachten zu erheben. Insgesamt wurden 12 Untersuchungen an 6 Standorten (Doppelbeprobung) durchgeführt. Für jede Untersuchung ist ein zusammenhängender Zeitraum von 72 Stunden vorgesehen. Die PWC-Anlage sollte im Untersuchungszeitraum mit mindestens 300 Personen pro Tag ausgelastet sein.

Tabelle 7-1: Übersicht über die zeitliche Abfolge der Messkampagnen

Nr.	Termine	Ort ¹⁾	
U01	14. – 17.03.2008	Belvedere-Nord	1
U02	28. – 31.03.2008		
U03	16. – 19.05.2008	Settel	2
U04	23. – 26.05.2008		
U05	06. – 10.06.2008	Klockow-Ost	3
U06	13. – 16.06.2008		
U07	20. – 23.06.2008	Peenetal-Ost	4
U08	27. – 30.06.2008		
U09	04. – 07.07.2008	Moosburger Au Ost	5
U10	11. – 14.07.2008		
U11	12. – 15.09.2008	Adlersberg-West	6
U12	19. – 21.09.2008		

¹⁾ vgl. Abbildung 6-2.

Die Tabelle 7-1 gibt eine Übersicht über die zeitliche Abfolge der Messkampagnen, die im Frühjahr und Sommer 2008 durchgeführt wurden. Im Folgenden wird die Durchführung der Untersuchung beschrieben, gefolgt von der Darstellung der Ergebnisse, welche anschließend in die Auswertung und Ableitung von Belastungsparametern mündet. Den Untersuchungen gingen zwei Testläufe voran, bei denen die Handhabung der Probenahmekonstruktion in Verbindung mit dem Filtersackwechsel getestet und verbessert wurde. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse waren wesentlich für das weitere Vorgehen.

7.1. Durchführung der Untersuchungen an den ausgewählten PWC-Anlagen

7.1.1. Untersuchungsprogramm

Die Messkampagnen an den PWC-Anlagen wurde von Freitag 7.00 Uhr bis entsprechend Montag 7.00 Uhr durchgeführt. In dieser Zeit sah das Untersuchungsprogramm wie folgt aus:

1. Fahrzeugzählung im 15-Min. Raster zur Dokumentation:

- a) der Anzahl ankommender Fahrzeuge; differenziert in 5 Kategorien (Krad, Pkw/Transporter; Bus, Lkw und Sonderfahrzeug)
 - b) besondere Vorkommnisse bzgl. des Autobahnverkehrs und Wetter
2. Benutzerzählung im 15-Min. Raster zur Dokumentation:
- a) der Anzahl von WC-Benutzern; differenziert in 7 Kategorien (Herren, Jungen, Damen, Mädchen, Behinderte, Mitarbeiter, Mitarbeiterin)
 - b) besondere Vorkommnisse bzgl. der WC-Anlage (z.B. Gebäudereinigung, Stoßbelastungen)
3. Kontrollgänge alle 30-Min. zur Funktionskontrolle der Probeentnahmetechnik sowie zur Dokumentation:
- a) der aktuellen Füllstände der Abwasserspeicher und Filtersäcke
 - b) dem aktuellen Stand des Wasserzählers (Genauigkeit 0,01 Liter)
 - c.) dem versuchsbedingten Wasserverbrauch (z.B. für Reinigung)
4. Benutzerbefragung
5. Durchführung der Probeentnahme inkl. Filtersackwechsel und –entleerung mit Dokumentation:
- a) der Feuchtmassen der gewonnenen Feststoffprobe (Genauigkeit 0,05 kg)
 - b) der Masse des Filtrat nach 30 Min. Entwässerungszeit

Die Fahrzeug- und Benutzerzählung sowie die Benutzerbefragung wurden von Pauschalkräften manuell durchgeführt und in Protokollen dokumentiert (vgl. A 7. und A 8.). Aufgebaute Messstellen mussten eine gute Einsicht auf die Zufahrtsrampe zur PWC-Anlage und auf die Eingänge des WC-Gebäudes gewährleisten. Die Benutzer des WC-Gebäudes konnten an einer anonymisierten Benutzerbefragung teilnehmen, in der sie durch die schriftliche Beantwortung kurzer Fragen (Ankreuzen) angaben, in welcher Weise sie die sanitären Einrichtungen der PWC-Anlage genutzt haben, oder wie zufrieden sie mit dem angebotenen Service waren. Ein entsprechendes Formular ist im Anhang zu finden (vgl. A 9.). Ein Mitarbeiter der BUW war für die Kontrollgänge und die Probeentnahme verantwortlich. Somit war die Anlage tagsüber mit 3 und nachts mit 2 Personen besetzt.

Bevor die Messkampagne beginnen konnte, wurde die Funktionstüchtigkeit aller Wasserverbraucher festgestellt und die jeweiligen Wasserverbrauchswerte aufgenommen. Die Tabelle 7-4 zeigt hierzu eine Zusammenstellung über alle untersuchten PWC-Anlagen.

7.1.2. Das Probeentnahmesystem

Zentrales Element der Abwasseruntersuchungen ist eine spezielle Probenahmekonstruktion, die eine vollumfängliche Erfassung des Rohabwasserstroms (inklusive der Feststoffe) zulässt. Hierzu wird der Gesamtabfluss aus der PWC-Anlage (Q_S) über ein spezielles Filtersacksystem separiert: während die Feststoffe überwiegend im Filtersack verbleiben, fließt die fest-

stoffarme, flüssige Phase in einen Wasserbehälter ab, aus dem es mit einer Pumpe in oberirdisch platzierte Abwasserspeicher (IBC-Container) gefördert wird (Abbildung 7-1 vgl. auch Abbildung 7-2). Es wurden 2 Abwasserspeicher installiert und alternierend betrieben. In vorangegangenen Projekten hatte die BUW mit einem ähnlichen aber immobilen Filtersacksystem Erfahrungen gesammelt. Aufgrund der anderen Einsatzbedingungen bedurfte es einiger Modifikationen hinsichtlich Konstruktion und Dimensionierung.

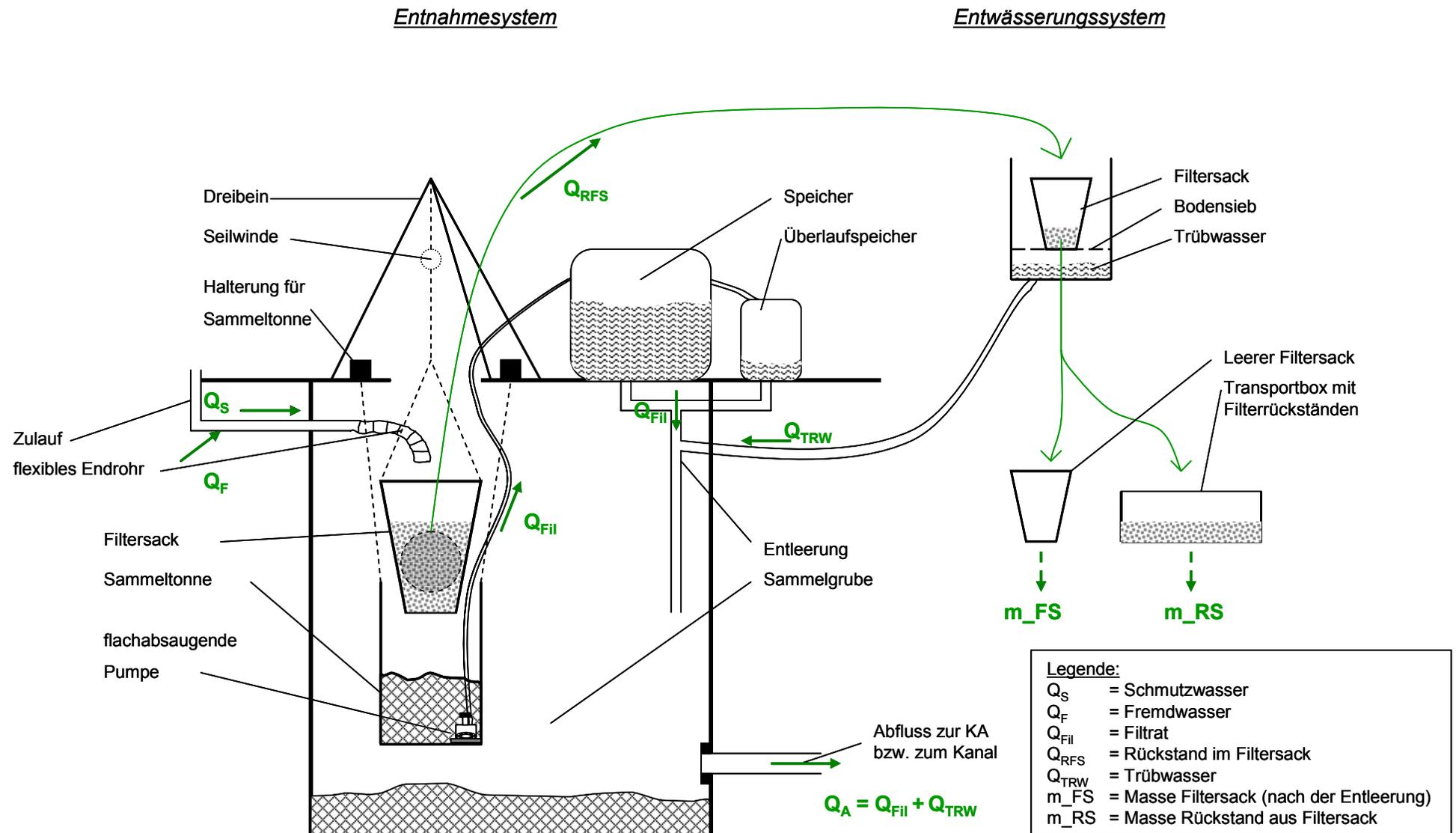


Abbildung 7-1: Probenahmekonstruktion schematisch



Abbildung 7-2: Probenahmekonstruktion im Betrieb an der PWC-Anlage Adlersberg; oben: oberirdisch, unten: im Schacht.

7.1.3. Durchführung der Probennahme inklusive Filtersackwechsel

Bei den 30-minütigen Kontrollgängen war es die Hauptaufgabe die Funktionstüchtigkeit der Probeentnahmekonstruktion zu prüfen, um bei Störungen zeitnah reagieren zu können. Zur Überwachung gehörte weiterhin die Füllstände im Filtersack (nach Schätzung in %), im IBC-Container (Q_{Fil} durch Ablesen der Skala) sowie den Zählerstand des Wasserzählers zu kontrollieren und zu protokollieren. Bei einem Füllstand größer 800 Liter (80 %) im beaufschlagten IBC-Container hatte eine Probenahme inklusive Wechsel des Filtersacks zur vollen Stunde zu erfolgen. Somit ist der Probenahmezyklus mengenproportional gesteuert. Infolge plötzlicher Stoßbelastungen (z.B. Eintreffen von Reisebussen) kam es jedoch teilweise zum kurzzeitigen Überlaufen des Filtratspeichers in einen dafür vorgesehenen Notüberlauf, was entsprechend dokumentiert wurde.

Für den Filtersackwechsel, der ausschließlich von Mitarbeitern der BUW durchgeführt wurde, musste der Rohabwasserzulauf (Q_S) kurzzeitig unterbrochen werden, um den Filtersack mit einem Flaschenzug nach oben aus dem Schacht ziehen zu können. Der gefüllte Filtersack wurde sofort nach dem Herausziehen aus dem Probeentnahmeschacht zum Entwässern (30 Minuten) in einen wasserdichten Behälter mit einem eingebauten Gitterrost (Entwässerungstonne) gestellt. Im Anschluss wurde ein neuer Filtersack installiert, um den Rohwasserzulauf so kurz wie möglich zu unterbrechen. Nachdem der neue Filtersack gesetzt war, konnte der Speicher für die Flüssigphase umgeschaltet werden, sodass nun der zweite (leere) IBC-Container beschickt wurde. In den 30 Minuten Entwässerungszeit entnahm der Mitarbeiter, nach dem Homogenisieren, 3 x 1 Liter Mischproben aus dem Filtrat (Q_{Fil}) im beaufschlagten IBC-Container. Nach den Probenahmen wurde der Kugelhahn geöffnet und der Speicher in das Abwassersystem (Q_A) der PWC-Anlage entleert.

Danach wurde die Entwässerungstonne, inklusive Bodensieb und gefülltem Filtersack, zur Bestimmung der Feuchtmasse zurückgehaltener Feststoffe erstmals gewogen [ET&FS]. Im Anschluss an den nächsten Kontrollgang (nach ca. 30 Min.) wurde das Trübwasser aus der Entwässerungstonne (Q_{TRW}) verworfen. Um das verworfene Trübwasser zu bilanzieren, wurde die Entwässerungstonne mit Filtersack [ET&FS- Q_{TRW}] erneut gewogen. Die Menge an Trübwasser (Q_{TRW}), welche nach 30 Min. Entwässerungszeit zurückblieb, konnte aus den beiden Massen bilanziert werden. Aufgrund der kurzen Entwässerungszeit kann davon ausgegangen werden, dass keine Umsetzungsprozesse stattfinden. Auf eine separate Untersuchung dieser geringen Mengen wurde verzichtet. Bei der Bilanzierung der Flüssigphase wurden die dokumentierten Mengen mit der gleichen stofflichen Zusammensetzung wie das Filtrat im Speicher berücksichtigt.

Im Anschluss daran wurde der Filtersack aus der Entwässerungstonne schließlich in eine Fäkaltonne entleert. Nachdem die Massen der Rückstände aus dem Filtersack [m_{RS}] für die Bilanzierung aufgenommen waren, wurden die Fäkaltonnen für den Transport verschlossen und gemeinsam mit den Proben aus der Flüssigphase in einem Kühltransporter gelagert.

Die einzelnen Arbeitsschritte der Kontrollgänge und der Probeentnahmen waren in einer Betriebsanweisung vorgegeben und somit identisch. Es traten keine Probleme auf, so dass sich die Vorgehensweise bestätigte.

Das Entleeren der Filtersäcke war aufgrund der Filtersackgröße schwierig. Durch Abhängen des Filtersacks ließ sich zwar der Inhalt (Q_{RFS}) entwässern und somit das Entleeren erleichtern, doch blieben Rückstände im Filtersackgewebe hängen. Von Bedeutung ist, dass es sich bei den anhaftenden Rückständen vornehmlich um Fäzes handelte, während das zellulosehaltige Material (Toilettenpapier, Hygieneartikel usw.) in zusammengeballter Form nahezu vollständig austrat (Abbildung 7-3). Nach der Entleerung wurde der Filtersack gewogen, um eventuelle Rückstände (m_{FS}) in die Feststoffbilanzierung mit einzubeziehen.



Abbildung 7-3: Rückstände im Filtersack nach Entwässerung

7.1.4. Aufbereitung der Feststoffproben und Analytikprogramm

Mit der physikalisch-chemischen Analyse der Abwasser- und Feststoffproben wurde das Labor der Materialforschungs- und Prüfanstalt (MfPA) in Weimar beauftragt. In Vorbereitung der Feststoffanalyse wurden die Rückstände aus den Filtersäcken von der BUW zerkleinert und homogenisiert. Hierzu wurde der Inhalt der Fäkaltonnen mittels Biomassenschredder (Mono-Mulcher) aufbereitet (Abbildung 7-4, links). Nach zweimaligem Durchlaufen des Schredders waren die Feststoffproben hinreichend homogen (Abbildung 7-4, rechts).



Abbildung 7-4: Feststoffproben vor (links) und nach Aufbereitung (rechts)

Bei einigen Messkampagnen erfolgte der Filtersackwechsel und somit die Probenahme aufgrund der zeitweise hohen Auslastung der PWC-Anlage überdurchschnittlich oft. So dass in Klockow beispielsweise an einem Wochenende 25 Einzelproben generiert wurden. Durch Verschneidung der Einzelproben im Zuge der Probenaufbereitung reduzierte sich diese Zahl auf maximal 12 Proben pro Messkampagne. Bei der Probenverschneidung wurden bis zu 3 aufeinanderfolgende Einzelproben miteinander verschnitten. Die verschnittenen Einzelproben lagen zeitlich maximal 3 Stunden auseinander. Der Verschnitt bei den Filtratproben erfolgte volumenproportional.

Die an den Abwasser- und Feststoffproben analysierten Parameter nach den entsprechenden Verfahren sind in Tabelle 7-2 zusammengestellt. Alle Parameter wurden doppelt bestimmt. Die Proben mussten auf Grund der hohen Konzentrationen vor der Analyse des CSB um das hundertfache verdünnt werden. Die einzelnen Analyseergebnisse sind im Anhang zu finden.

Tabelle 7-2: Analytikprogramm

Parameter nach Verfahren	Abwasser	Feststoffe
CSB nach DIN 38409/41-1: 1980-12 (DEV H 41)	X	X
CSB nach DIN ISO 15705:2003-09 (H 45)	X	X
BSB₅ nach DIN EN 1899-1:1998-05 (H 51)	X	-
Gesamtstickstoff nach Kjeldahl-Aufschluss nach DIN EN 25663:1993-11 (H 11)	X	X
Gehalt an Phosphorverbindungen (P_{ges}-P) nach DIN 1189:1996-12 (D 11 , Nr. 2)	X	-
Gehalt an Phosphorverbindungen (P_{ges}-P) nach DIN 38414-12:1986-11	-	X
pH-Wert nach DIN 38404-05:1984-01 (DEV C-5)	X	-
Volumenanteil an absetzbaren Stoffen (AS₁₂₀) nach DIN 28409-09:1980-07 (H 9)	X	-
Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen (TS) nach DIN 38409 H 2	X	-
Glühverlust (oTS) nach DEV H2	X	-
Trockenrückstand (TR) und Wassergehalt (WG) nach DIN EN 12880:2001-03	-	X
Glühverlust (oTR) nach DEV S 3	-	X

7.2. Darstellung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Untersuchungen vorgestellt. Der nachfolgende Überblick ist in die Schwerpunkte

- Auslastung der PWC-Anlagen
- Nutzerverhalten an PWC-Anlagen
- Nutzerspezifischer Wasserverbrauch und
- Nutzerspezifische Stofffrachten

gegliedert.

7.2.1. Auslastung der PWC-Anlagen

Die Tabelle 7-3 gibt einen Überblick zur Auslastung der PWC-Anlagen im Untersuchungszeitraum anhand registrierter Besucherzahlen. Die angegebenen Werte repräsentieren die Anzahl der Besucher, wie sie im Rahmen der Benutzerzählung dokumentiert wurden. Als Besucher wurden Personen gezählt, welche den Sanitärbereich betreten haben – Betriebspersonal und Mitarbeiter der BUW sind jedoch davon ausgenommen. Letztere wurden separat erfasst und bilden als Summe mit der Anzahl der Besucher die Anzahl an Benutzern, welche die Basis zur Ableitung nutzerspezifischer Kennzahlen darstellen (Besucheranzahl < Benutzeranzahl). Für die Ermittlung der Auslastung der PWC-Anlagen werden die dokumentierten Besucherzahlen zu Grunde gelegt.

Der tägliche Besucherdurchschnitt in der letzten Spalte von Tabelle 7-3 wurde als Quotient aus der Summe täglicher Besucher und Untersuchungszeitraum berechnet. Anhand dieser Größe wird die Feststellung getroffen, dass die Forderung, mit der Untersuchung mindestens 300 Besucher pro Tag zu erfassen, mit Ausnahme der letzten Untersuchung (U12 „Adlersberg“) eingehalten werden konnte.

Tabelle 7-3: Auslastung der PWC-Anlagen über den Versuchszeitraum

Anlage	Untersuchung		tägliche Besucherzahl n_Bes [-]				Summe	Durchschnitt
	Abk.	von / bis	Freitag	Samstag	Sonntag	Montag	[Besucher/UZ]	[Besucher/d]
Belvedere-Nord	U01	14.3.08 9:30* 17.3.08 9:30*	733	727	806	322	2588	863
	U02	28.3.08 8:00 31.3.08 7:00	854	1256	1559	185	3854	1303
Settel	U03	16.5.08 9:00 19.5.08 9:00	322	502	427	41	1292	431
	U04	23.5.08 8:00 26.5.08 8:00	255	396	403	23	1077	359
Klockow-Ost	U05	06.6.08 8:00 09.6.08 8:00	994	1148	1106	87	3335	1112
	U06	13.6.08 7:00 16.6.08 7:00	884	1226	1339	51	3500	1167
Peenetal-Ost	U07	20.6.08 8:00 23.6.08 8:00	407	843	799	48	2097	699
	U08	27.6.08 7:00 30.6.08 7:00	509	782	780	47	2118	706
Moosburger Au-Ost	U09	04.7.08 8:00 07.7.08 8:00	775	743	784	44	2346	782
	U10	11.7.08 7:00 14.7.08 7:00	741	812	643	23	2219	740
Adlersberg-West	U11	12.9.08 8:00 15.9.08 8:00	253	274	305	76	908	303
	U12	19.9.08 7:00 22.9.08 7:00	243	235	307	20	805	268

* Angaben in MEZ (alle anderen in MESZ)

Aus Tabelle 7-3 wird ferner ersichtlich, dass die PWC-Anlagen unterschiedlich ausgelastet waren. Neben anlagenspezifischen traten aber auch untersuchungsspezifische Differenzen auf. Insgesamt wurden bei U12 die wenigsten Besucher und bei U02 die meisten Besucher registriert. Während die geringe Auslastung bei U12 als anlagenspezifisch für die Anlage Adlersberg gewertet werden kann (bei U11 ebenfalls geringe Auslastung), ist die hohe Auslastung bei U02 auf den an diesem Wochenende starken Reiseverkehr zurückzuführen (Wochenende am Ende der Osterferien in den meisten Bundesländern). Die tägliche Besucheranzahl an den Samstagen und Sonntagen der beiden Untersuchungen an der Anlage Belvedere-Nord vergleichend fällt auf, dass bei U02 gegenüber U01 etwa doppelt so viele Besucher registriert wurden. Dies ist ein klares Indiz für die unterschiedliche Auslastung von PWC-Anlagen im Jahresverlauf.

Bezüglich der Auslastung ist weiterhin festzustellen, dass die PWC-Anlage Klockow-Ost bei beiden Untersuchungen U05 und U06 überdurchschnittlich stark von Besuchern frequentiert war. Aufgrund ihrer geographischen Lage (Zwischen Berlin und Ostsee) wird diese PWC-Anlage von vielen Wochenendtouristen und Urlaubern auf ihrem Weg zur Ostsee aufgesucht. Der große Abstand zur davorliegenden Sanitäranlage (ca. 65 km ab T&R Buckowsee an der BAB 11) bedingt, dass viele Verkehrsteilnehmer die seltene Gelegenheit zum Toilettengang nutzen. Die großzügig angelegten Erholungsflächen machen diese Anlage zudem als Picknickplatz attraktiv. Von den häufiger reisenden (Berliner-) Wochenendausflüglern wird die Anlage deshalb als Etappenziel auf halber Fahrstrecke bewusst angesteuert.

Generell ist die im Untersuchungszeitraum ermittelte Besucheranzahl abhängig von der Anzahl und dem Typ der in diesem Zeitintervall ankommenden Fahrzeuge. Die durchschnittliche Besetzung (Anzahl der Insassen) einzelner Fahrzeugtypen konnte zwar nicht ermittelt werden, aus der Gesamtanzahl der Besucher und der Gesamtanzahl der Kfz kann jedoch im Nachhinein auf eine theoretische Zahl der Besucher pro Kfz geschlossen werden. Eine entsprechende Auswertung ist in nachstehender Abbildung 7-5 zu sehen (Bes./Kfz). Demnach war die mittlere Besucherzahl pro Kfz bei den Anlagen Klockow (U05 & U06) und Peenetal (U07 & U08) sowie bei der zweiten Untersuchung auf der Anlage Belvedere Nord (U02) deutlich höher als bei allen andere Untersuchungen. Als Ursache kommen in Betracht:

- Höherer Anteil an Reisebussen
 - zutreffend bei U07 und U08 (Anlage Peenetal)
- Geringerer Anteil an Lkw (i. d. R. nur mit einem Fahrer besetzt)
 - zutreffend bei U05 und U06 (Anlage Klockow)

Die Verteilung der registrierten Fahrzeugtypen über den Untersuchungszeitraum wird anhand der Säulen in Abbildung 7-5 ersichtlich. Demnach kann als Ursache für die vergleichsweise hohe Auslastung der PWC-Anlage Belvedere-Nord (U02) eine höhere Insassenanzahl pro Pkw identifiziert werden, was obige Aussage bezüglich des verstärkten Reiseverkehrs an diesem Wochenenden bestätigt. Sehr wahrscheinlich gehen die erhöhten mittleren Pkw-Besetzungen der anderen PWC-Anlagen ebenfalls auf einen verstärkten Reiseverkehr zurück, doch besteht dieser auch außerhalb der Ferienzeit. Im Fall der Anlage Peenetal wird dieser Effekt durch das häufige Eintreffen von Reisebussen überlagert. Es ist bekannt, dass einige der registrierten Busse jedes Wochenende die PWC-Anlage als Zwischenstopp anfahren (Busunternehmen bietet Einkaufsreise nach Polen an). Im Fall PWC Klockow fällt der geringe Anteil an Lkw auf.

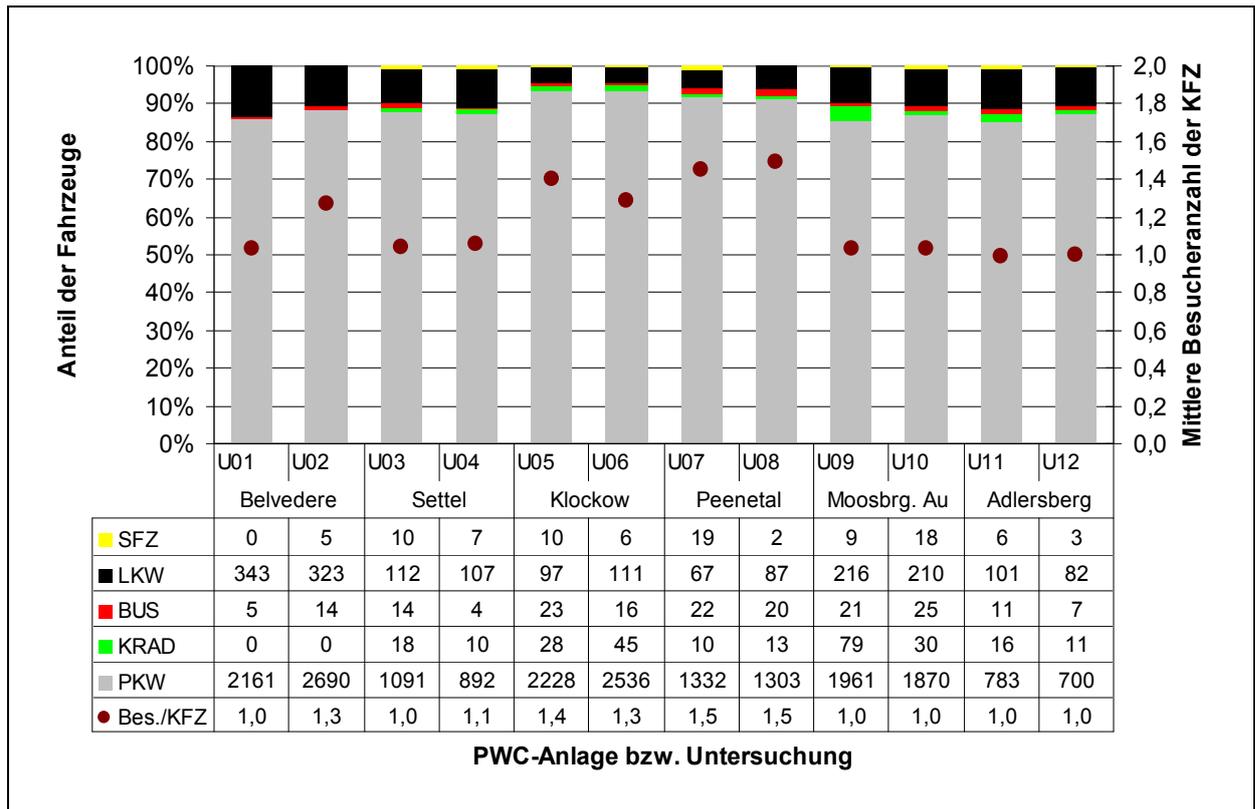


Abbildung 7-5: Anteile unterschiedlicher Fahrzeugtypen am Fahrzeugaufkommen und Mittlere Besucheranzahl pro Kfz bei den einzelnen Untersuchungen über den gesamten Versuchszeitraum (Freitag, 8:00 Uhr bis Montag 8:00Uhr)

Insgesamt machen die Säulen in Abbildung 7-5 die Dominanz von Pkw auf Deutschlands Autobahnen und folglich an PWC-Anlagen zum Wochenende (Freitag 7:00 Uhr bis Montag 7:00) deutlich. In allen Untersuchungen waren über 80 % der ankommenden Fahrzeuge Pkw. Den zweitgrößten Anteil stellen mit 5 % bis 12 % Lkw dar, obschon sie am Samstag und Sonntag tagsüber aufgrund des Sonn- und Feiertagsfahrverbotes nur selten anzutreffen sind (vgl. Abbildung 7-8, S. 104). Demgegenüber fallen alle anderen Fahrzeugtypen zahlenmäßig kaum ins Gewicht.

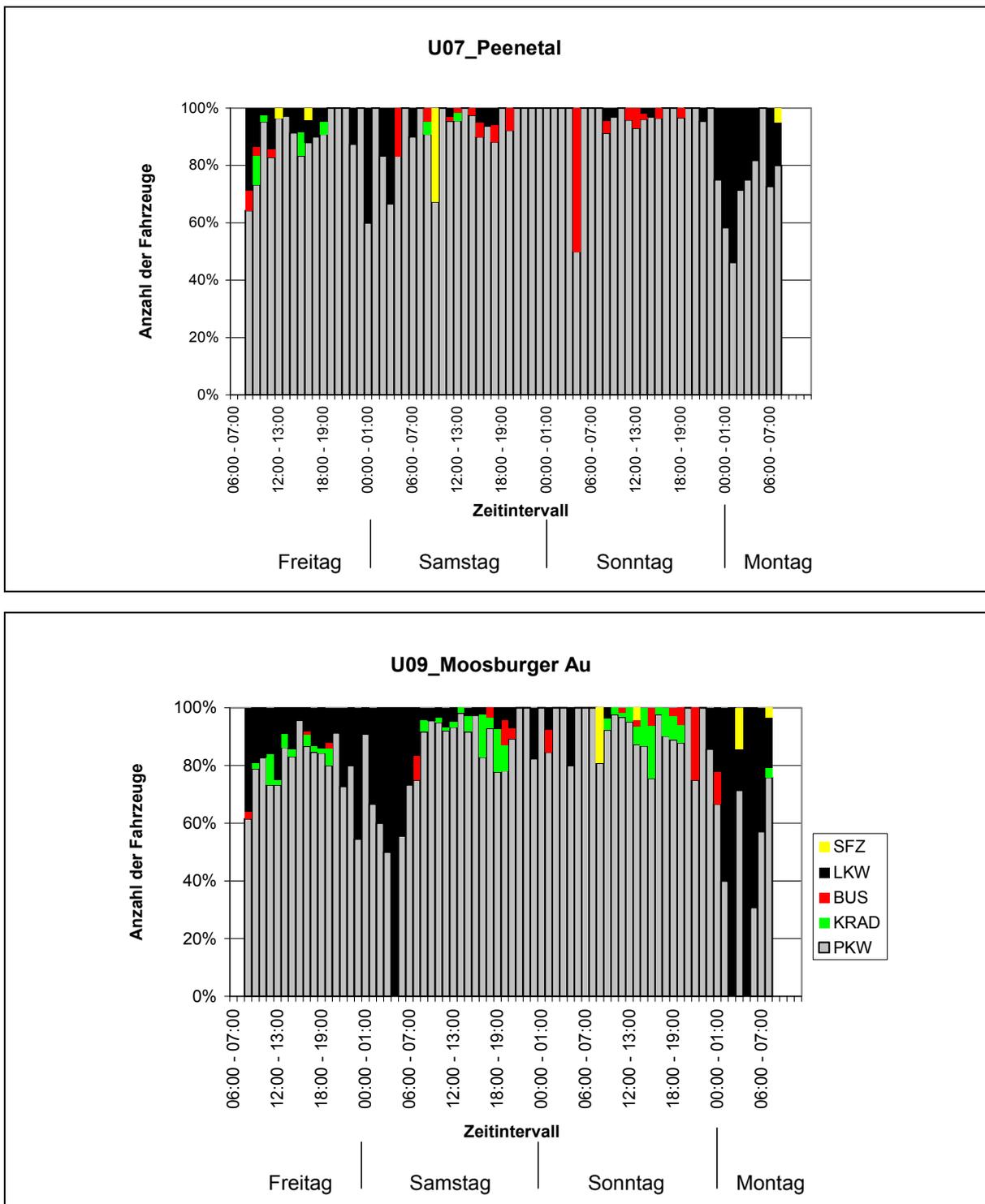


Abbildung 7-6: Schwankende Anteile von Fahrzeugtypen in stündlicher Auflösung am Beispiel der Untersuchungen U07 „Peenetal“ (oben) und U09 „Moosburger Au“ (unten)

Die schwankende Auslastung der PWC-Anlagen im Tagesverlauf und über das Wochenende geht aus Abbildung 7-7 hervor. Hierbei ist die Anzahl der Besucher je Stunde ($dt = 60 \text{ Min.}$) im Verhältnis zum Gesamtaufkommen ($dt = \text{UZ}$) gesetzt. Die Darstellung erlaubt eine qualitative Beurteilung der Besucherströme unabhängig von der tatsächlichen Anzahl der gezählten Personen. Alle Linien betrachtend wird deutlich, dass die Auslastung bei allen Anlagen um

die Mittagszeit am größten und in der Nacht am geringsten ist. Dass die Maximalwerte (Spitzen) ausgerechnet bei den weniger frequentierten Anlagen Settel (U03, Samstag) und Adlersberg (U11 Sonntag & U12 Montag) auftreten, ist kein Zufall. Denn aufgrund ihrer insgesamt geringeren Frequentierung (vgl. Tabelle 7-3, S. 99) fallen kurzzeitige Spitzenbelastungen schwerer ins Gewicht. Ursache für die kurzfristige Spitzenbelastung war in allen Fällen das Eintreffen eines vollbesetzten Reisebusses.

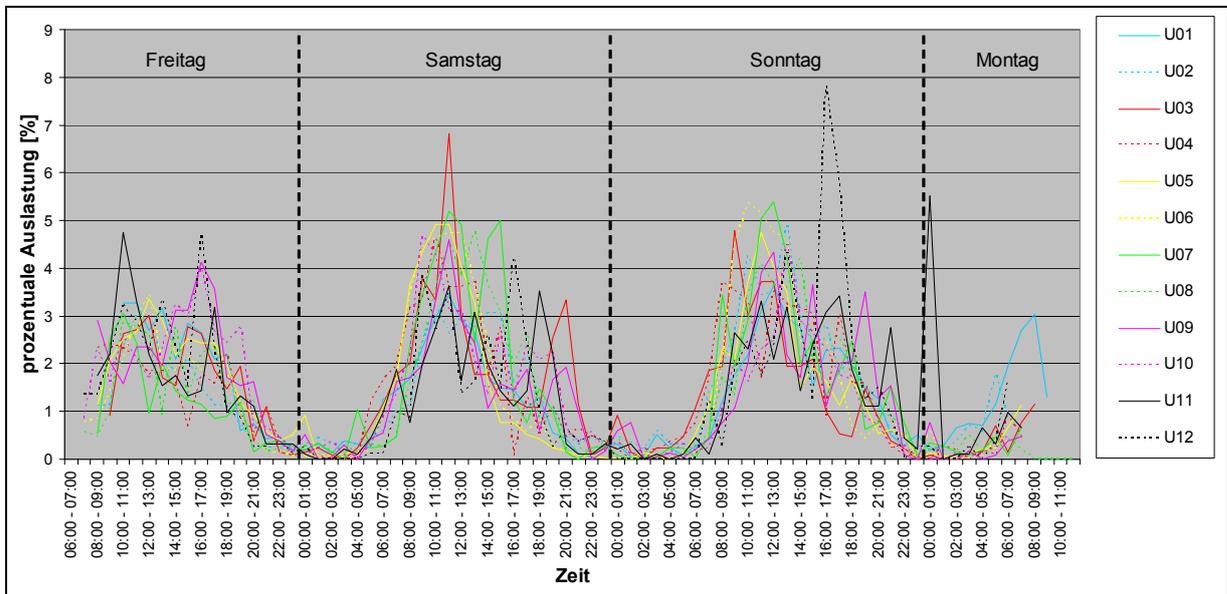


Abbildung 7-7: Prozentuale Auslastung der untersuchten Anlagen im Untersuchungszeitraum (Stundenwerte im Verhältnis zur Summe der Besucher im Versuchszeitraum)

Inwieweit das Eintreffen von Reisebussen mit der stündlichen Besucheranzahl in Zusammenhang steht, wird anhand der Grafiken in Abbildung 7-8 verdeutlicht (unterschiedliche Skalierung der Ordinaten beachten!). Demnach sind Maximalwerte von stündlichem Besucheraufkommen (blaue Linie), respektive des stündlichem Trinkwasserverbrauchs (Magenta Linie) häufig auf Busankünfte (rote Balken) zurückzuführen. Die resultierenden Belastungsschwankungen sind umso größer, je kleiner die Grundlast im Besucheraufkommen der PWC-Anlage ist. Bezüglich der Grundlast spielen Reisebusse indes nur eine untergeordnete Rolle, weil die Anzahl der ankommenden Pkw überwiegt (vgl. Abbildung 7-5, S. 101).

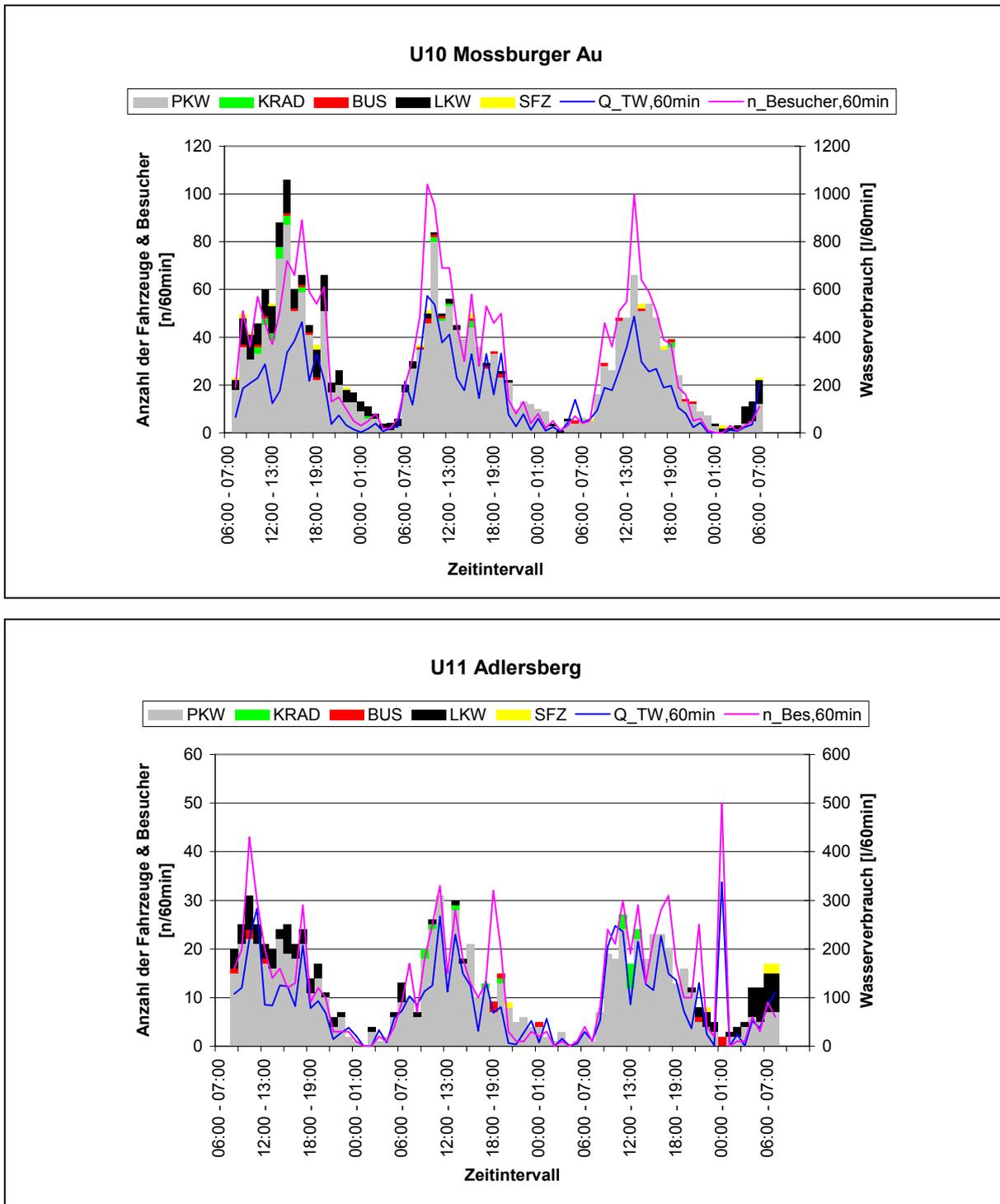


Abbildung 7-8: Stündliches Fahrzeug- und Besucheraufkommen über den Versuchszeitraum am Beispiel der Untersuchungen und U10 „Moosburger Au“ (oben) und U11 „Adlersberg“ (unten)

Inwieweit Unterschiede bezüglich Besucher- und Fahrzeugaufkommen an PWC- Anlagen im Wochenverlauf auftreten, konnte im Rahmen der Untersuchungen nicht ermittelt werden, da die Betrachtung nur am Wochenende erfolgte. Es ist aber i. d. R. mit einer höheren Auslastung am Wochenende zu rechnen. Dies muss nicht zwangsläufig mit einem höheren Verkehrsaufkommen korrelieren. Vielmehr kann allein die Auslastung der Pkw entscheidend sein (am Wochenende ganze Familien, in der Woche viele Einzelfahrer/Pendler).

Im Zusammenhang mit der der Auslastung von PWC-Anlagen soll abschließend auf das Verhältnis von männlichen zu weiblichen Besuchern eingegangen werden. Aus den Ergebnissen vorangegangener Untersuchungen an der PWC-Anlage Belvedere-Nord wurde diesbezüglich eine Dominanz männlicher Besucher konstatiert. Etwa 2/3 (66 %) der Besucher waren männlich. Im Ergebnis der aktuellen Untersuchung an 6 verschiedenen PWC-Anlagen konnte diese Tendenz im Grunde bestätigt werden. Allerdings fallen die Unterschiede nicht so gravierend aus. Insgesamt wurden 15.142 männliche und 10.974 weibliche Besucher registriert. Dies entspricht einer Männerquote von 58 %. Obwohl es zwischen den einzelnen Untersuchungen respektive PWC-Anlagen leichte Unterschiede im Geschlechterverhältnis gibt (vgl. Abbildung 7-9), sinkt die Männerquote nirgends unter 50 %.

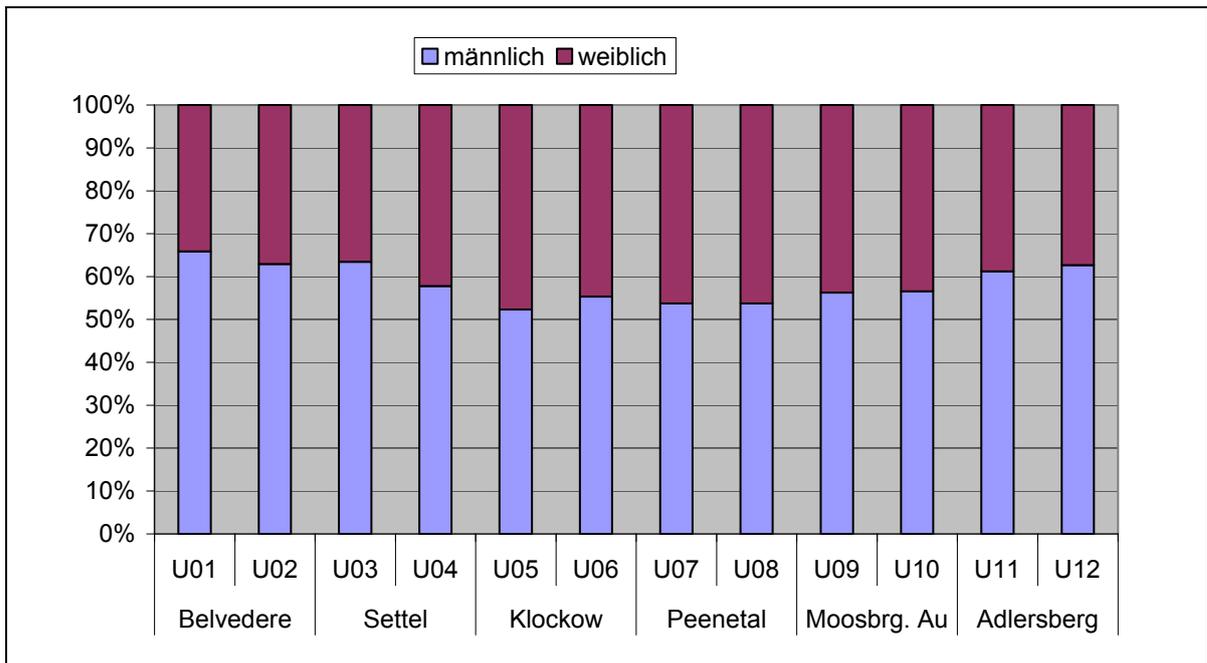


Abbildung 7-9: Differenzierung der registrierten Besucher nach Geschlecht

Auf die Frage, ob PWC-Anlagen tatsächlich bevorzugt von Männern aufgesucht werden, kann dennoch keine pauschale Antwort gegeben werden. In Abbildung 7-10 sind die Ganglinien der stündlichen Besucherzahlen der Untersuchungen U01 „Belvedere“ (höchste Männerquote, vgl. Abbildung 7-9) und U05 „Klockow“ (niedrigste Männerquote) gegenübergestellt. Der Vergleich legt die Vermutung nahe, dass die hohe Männerquote von U01 auf männliche Berufspendler am Montagmorgen zurückzuführen ist. Weil die PWC-Anlage Klockow im strukturschwachen Gebiet liegt, kommen vergleichsweise wenig Berufspendler an.

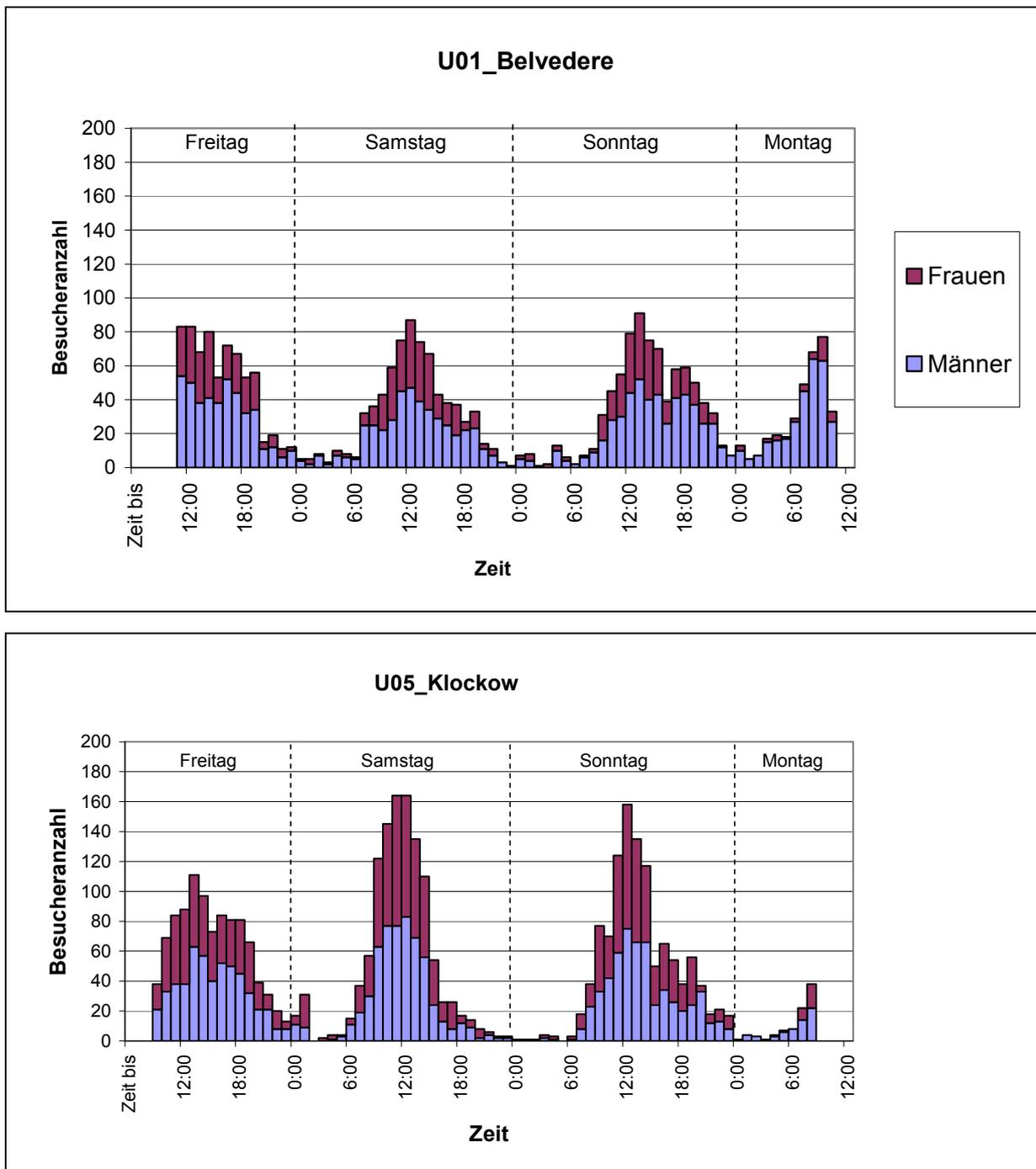


Abbildung 7-10: Ganglinien der Besucherzahlen am Beispiel U01 (oben) und U05 (unten)

7.2.2. Nutzerverhalten an PWC-Anlagen

In diesem Kapitel soll anhand der durchgeführten Benutzerbefragung das spezifische Nutzerverhalten an PWC-Anlagen analysiert und bewertet werden. Das Nutzerverhalten an PWC-Anlagen wurde im Rahmen der Untersuchung anhand von Fragebögen festgestellt. Jeder Benutzer hatte die Möglichkeit einen anonymen Fragebogen durch Ankreuzen auszufüllen. Der kurze Fragebogen bestand aus den folgenden 5 Punkten:

1. Nennen Sie uns bitte Ihr Geschlecht!
2. Sagen Sie uns bitte ehrlich, für was Sie das sanitäre Angebot tatsächlich genutzt haben!

3. Wie beurteilen Sie die Bedienung bzw. die Hinweise zur Benutzung der Handwaschbecken?
4. Wie zufrieden sind Sie insgesamt mit dem angebotenen Service? (Sauberkeit, Hygiene, Komfort, Kosten usw.)
5. Haben Sie schon öfters hier (auf dieser PWC-Anlage) Rast gemacht?

Bei allen 12 Untersuchungen wurden dazu insgesamt 1.241 Benutzer mit Hilfe des kurzen anonymen Fragenbogens befragt. Eine Ausnahme bildet die PWC-Anlage Belvedere, bei der die Benutzerbefragung erstmalig erprobt wurde und das Personal entsprechend geschult werden musste. So konnten bei dieser Anlage nur 13 Befragungen durchgeführt werden. Dementsprechend ist diese Anlage als nicht repräsentativ zu bewerten und wird bei der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt. Anhand der durchgeführten Benutzerbefragung soll das spezifische Nutzerverhalten an PWC-Anlagen nach folgenden Kriterien analysiert und bewertet werden.

1. Nutzung des sanitären Angebotes
2. Bedienbarkeit der vorhandenen Sanitärtechnik
3. Zufriedenheit mit dem gebotenen Service (Sauberkeit, Hygiene, Komfort, Kosten)
4. Anlagenspezifisches Benutzeraufkommen

Im Rahmen der Auswertung wurden die Fragebögen katalogisiert und in Form einer Datenbank digitalisiert.

7.2.2.1. Nutzung des sanitären Angebotes

Um im Zuge der Auswertung Rückschlüsse auf die Zusammensetzung des Abwassers an PWC-Anlagen zu ziehen, wurde neben der analytischen Untersuchung, auch eine Befragung über die Art der Nutzung des sanitären Angebotes der PWC-Anlage durchgeführt.

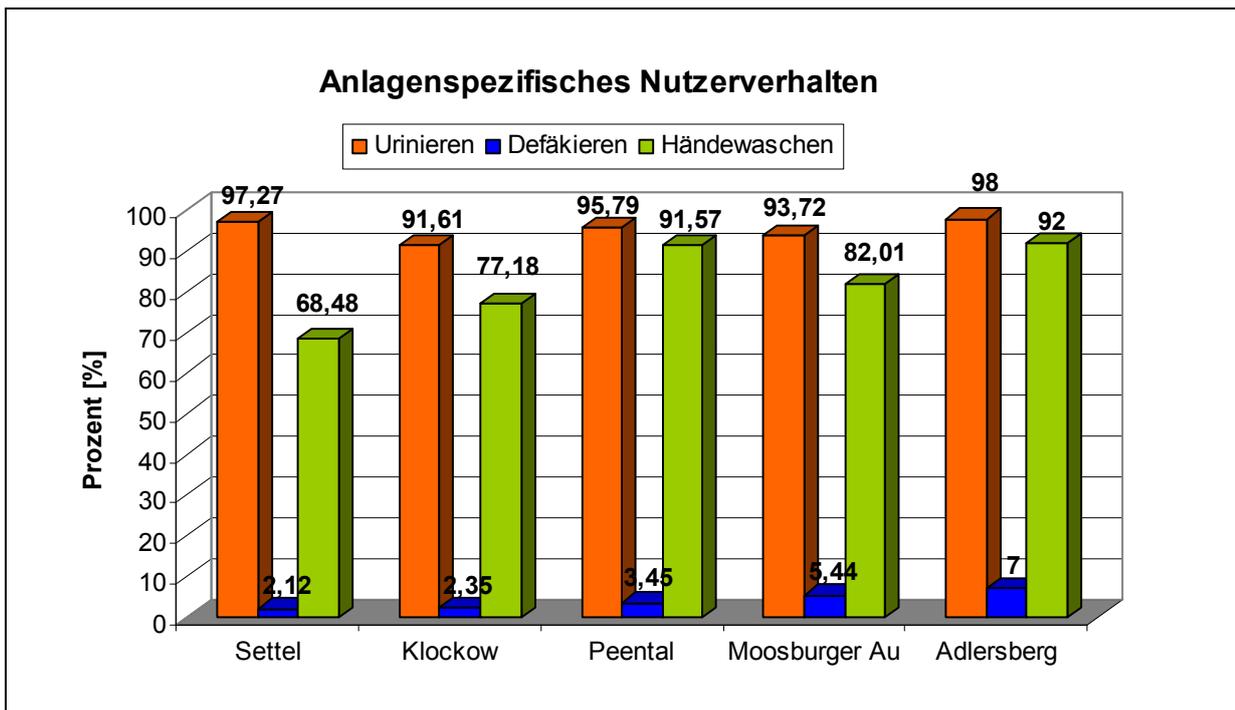


Abbildung 7-11: Anlagenspezifisches Nutzerverhalten

Wie aus Abbildung 7-11 hervorgeht, wird an PWC-Anlagen hauptsächlich uriniert. Ein Grund dafür ist, dass ein erwachsener Mensch durchschnittlich 4-6mal pro Tag uriniert und nur einmal pro Tag defäkiert. Eine weitere Ursache begründet sich in der zeitweise mangelnden Hygiene an PWC-Anlagen, da im Gegensatz zu bewirtschafteten Rastanlagen eine Reinigung der sanitären Einrichtungen meist nur einmal täglich erfolgt. Betrachtet man das Nutzerverhalten geschlechterspezifisch, so lassen sich nur geringfügige Unterschiede im Nutzerverhalten erkennen. Lediglich beim Defäkieren ist der prozentuale Anteil bei den männlichen Benutzern größer, da die WC-Becken der Männer aufgrund der geringeren Frequentierung meist sauberer sind. Hinzu kommt, dass das Urinieren bei den Männern vorwiegend an den Urinalen verrichtet wird und daher die Toilettenbecken ausschließlich dem Defäkieren vorbehalten sind. Beobachtungen während der Untersuchung ergaben, dass Frauen wegen der besseren hygienischen Bedingungen gelegentlich die Männertoiletten benutzen. Aus Gesprächen mit den Probanden bleibt festzustellen, dass Frauen bewirtschaftete Rastplätze für den Toilettengang bevorzugen. Die Ergebnisse der Benutzerbefragung bestätigen die Annahme, dass mehr als 95 % der Besucher der PWC-Anlage, unabhängig vom Geschlecht, lediglich urinieren. Die Zusammensetzung des Rohabwassers besteht also hauptsächlich aus Urin und Cellulose, welche durch das Toilettenpapier eingebracht wird. Die Handwaschbecken werden öfter von Männern, als von Frauen benutzt. Die geringere Nutzung des Handwaschbeckens durch Frauen hat verschiedene Ursachen. Die Untersuchung zeigte, dass Frauen teilweise eigene Hygienetücher mitbringen und diese anstatt der Handwaschbecken benutzen. Weiter wurde beobachtet, dass viele Frauen aus hygienischen Gründen die Auslösmechanismen der Handwaschbecken nicht berühren wollten und daher auf das Händewaschen gänzlich verzichteten. Einige Benutzer beanstandeten, dass Bedienhinweise unverständlich und irreführend sind, sodass Spülvorgänge nicht ausgelöst wurden. Mangelnde Ausstattung (Seifenspender, Händetrockner) haben ebenfalls zur Nichtbenutzung der Handwaschbecken beigetragen. Teilweise

wurde Toilettenpapier zum Abtrocknen der Hände benutzt und im Handwaschbecken entsorgt. Dies führte zu weiteren unnötigen Verschmutzungen. Hinsichtlich des nutzerspezifischen Wasserverbrauchs wird eingeschätzt, dass das Nichtauslösen der Handwaschbecken einen Einfluss auf die Abwasserzusammensetzung hat. Aufgrund des fehlenden Wasseranteils, erhöht sich die Urinkonzentration im Abwasser.

7.2.2.2. Beurteilung der Handwaschbeckenbedienung

Aus der Beurteilung der Handwaschbeckenbedienung lassen sich Rückschlüsse auf die Verständlichkeit der Bedienhinweise und somit auf das anlagenspezifische Nutzerverhalten ziehen (siehe Abbildung 7-12). Die Verständlichkeit der Bedienhinweise an den Waschbecken haben Einfluss auf den Wasserverbrauch und das Abwasseraufkommen. Neben den Beobachtungen durch Mitarbeiter der BUW, wurden die Benutzer zur Beurteilung der Bedienungs-freundlichkeit der installierten Handwaschbecken befragt.

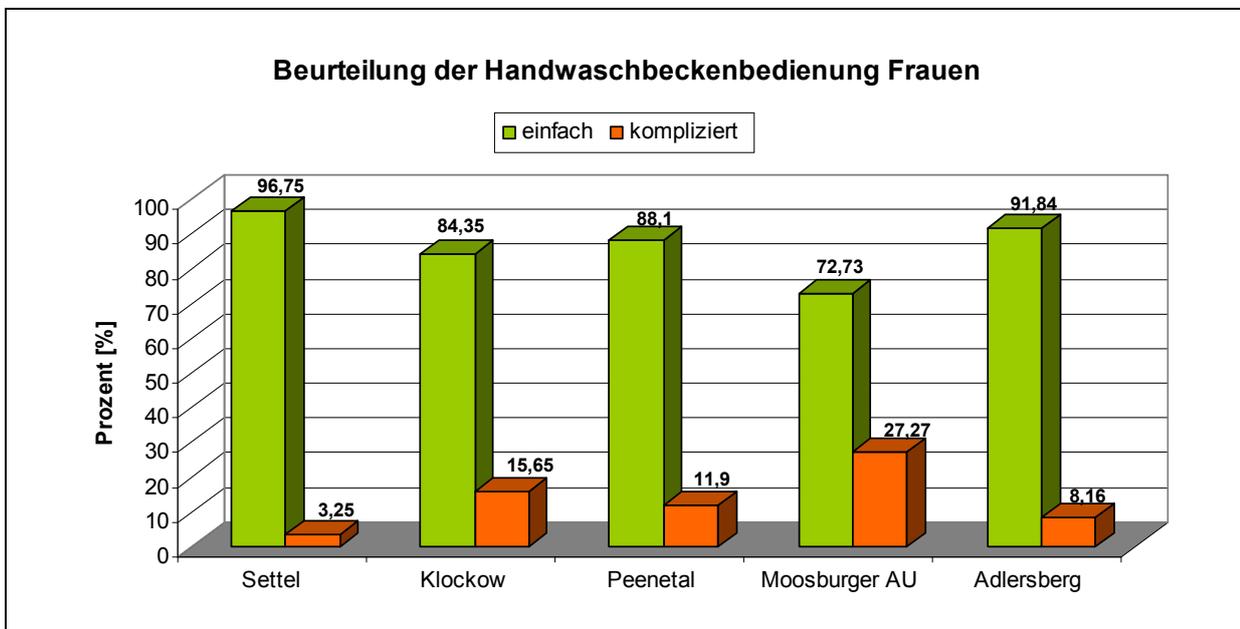
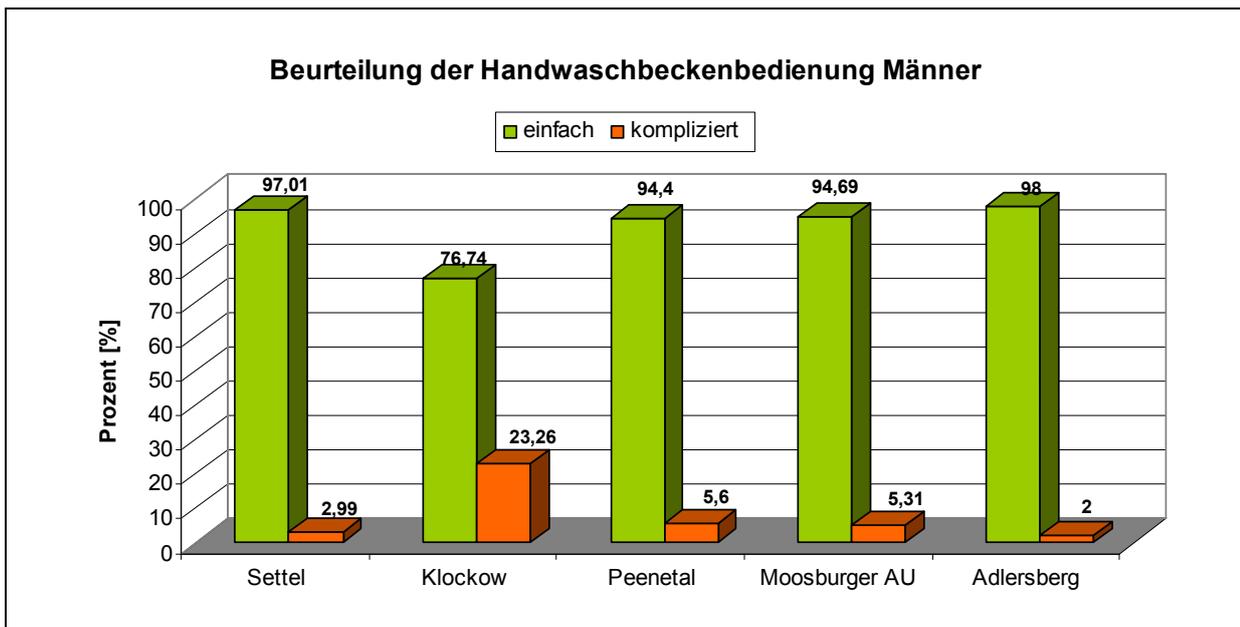


Abbildung 7-12: Beurteilung der Handwaschbeckenbedienung

Betrachtet man dies geschlechterspezifisch, so beurteilten die Männer die Bedienung der Auslösemechanismen öfter als *einfach*. Um die Ursachen hierfür zu analysieren, müssen die jeweiligen anlagenspezifisch angewandten Sanitärsysteme sowie die Interaktion von Auslösmechanismus und Benutzer berücksichtigt werden. Wie sich nach Auswertung des Benutzerverhaltens und durch Beobachtungen der BUW Mitarbeiter zeigte, eignet sich der Piezo-Taster gegenüber dem Radarsensor, Nährungssensor, und IR-Bewegungsmeldern als Auslösmechanismus für die Handwaschbecken am besten. In Gesprächen mit Herstellern von Auslösmechanismen für PWC-Anlagen stellte sich heraus, dass die Piezo-Taster im Betrieb die wenigsten Probleme bereiten. Aufgrund ihrer einfachen und klaren Bedienung (durch leichtes Drücken) kaum Missverständnisse bei der Benutzung auftraten. Während der Untersuchung wurde dies besonders auf den PWC-Anlagen Peenetal und Adlersberg deutlich.

Wie die Auswertung zeigt, stehen die sanitäre Ausstattung (qualitativ/quantitativ) und das Benutzerverhalten wechselseitig in Beziehung und haben Einfluss auf

- a) den Wasserverbrauch und somit die Verdünnung des Abwassers
- b) die Sauberkeit der Anlage und somit die Nutzerakzeptanz bzw. Benutzerzufriedenheit.

7.2.2.3. *Anlagenspezifische Nutzerzufriedenheit*

Die Zufriedenheit der Benutzer mit dem gebotenen Service, der Hygiene und dem Komfort ist geschlechterspezifisch unterschiedlich (siehe Abbildung 7-13). Es wird deutlich, dass die männlichen Benutzer im Durchschnitt die untersuchten Anlagen besser bewerten als Frauen. Dies ist auf die schlechteren hygienischen Bedingungen in den Damentoiletten zurückzuführen. Anlagenspezifisch verdeutlicht sich dies besonders bei der PWC-Anlage Peenetal, wo 75 % der Männer mit dem gebotenen Service zufrieden waren, während dessen der Anteil bei den Frauen nur 45 % betrug. Die teilweise hohe Unzufriedenheit der Benutzer mit Sauberkeit und Hygiene lässt sich auf zu große Reinigungsintervalle zurückführen.

Der Komfort von PWC-Anlagen kann durch geeignete Materialien in der sanitären Ausstattung (Ausstattung mit Sanitärelementen aus Keramik, Seifenspender, Händetrockner, etc.) der Anlagen verbessert werden. Dies wurde auf der PWC-Anlage Settel bestätigt, wo die komplette Sanitärtechnik aus Keramik bestand. Die Sanitärelemente im WC-Gebäude der Anlage Adlersberg sind neu und zeigen noch keinerlei Verschleiß, was sich in einer guten Bewertung widerspiegelt. Im Mittel wurden alle Anlagen von den Männern zu 70 % als zufrieden eingestuft, während es bei den Frauen 53 % waren. Des Weiteren lassen sich Rückschlüsse auf die ungenügende Ausführung der Reinigungsarbeiten ziehen. Dokumentiert werden konnte, dass bei den Anlagen, bei denen mit wenig Wasser gereinigt wurde, wie Klockow, Peenetal und Moosburger Au, eine geringere Benutzerzufriedenheit festgestellt wurde. Die Anlagen Settel, Belvedere und Adlersberg wurden täglich mit einem Hochdruckreiniger (gesamte Anlage einschließlich Wänden) gereinigt, daher waren dort auch die meisten Benutzer sehr zufrieden.

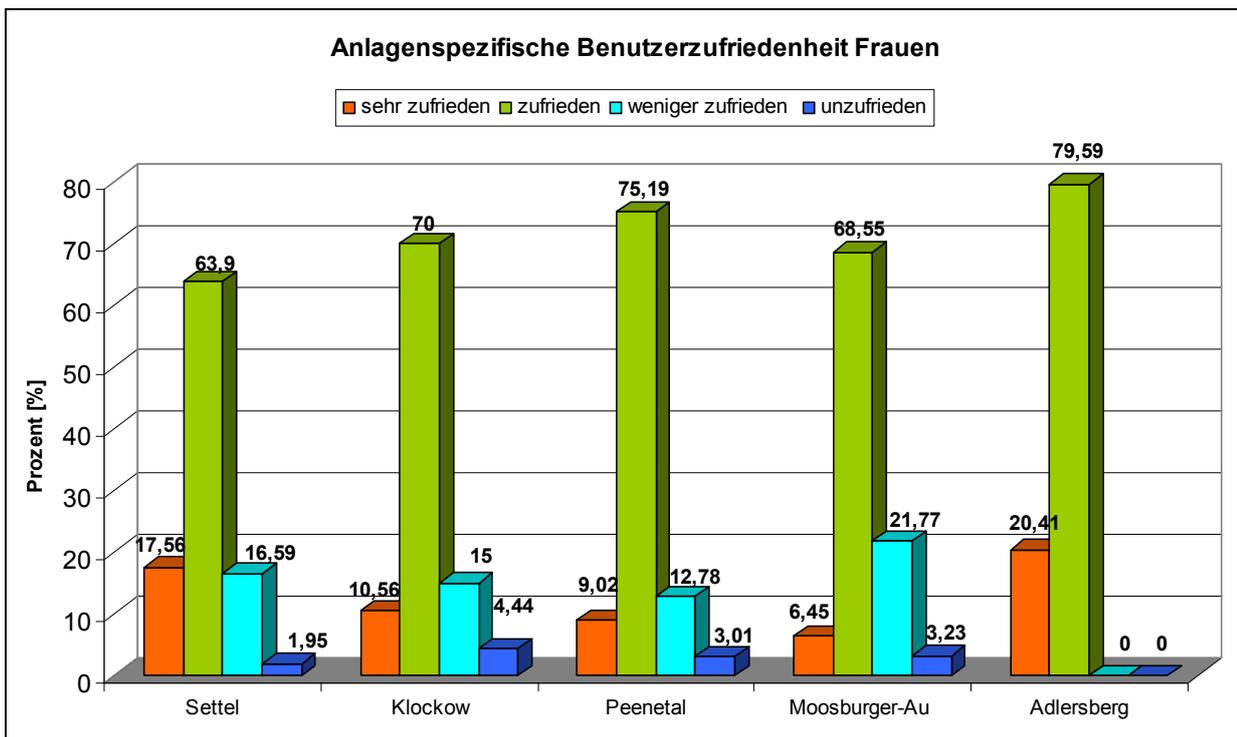
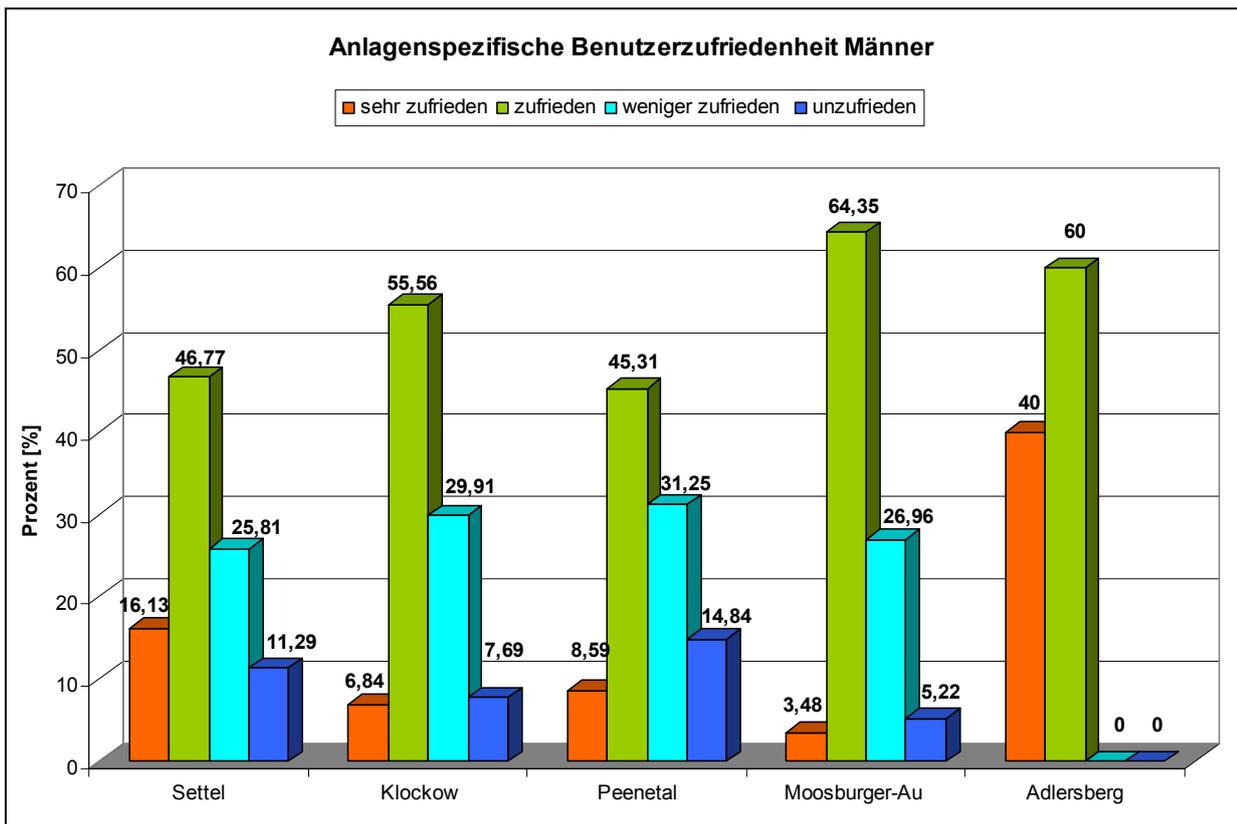


Abbildung 7-13: Anlagenspezifische Benutzerzufriedenheit

7.2.2.4. Anlagenspezifisches Benutzeraufkommen

Die Erhebung zum anlagenspezifischen Benutzeraufkommen zeigt, dass PWC-Anlagen meist nur auf der Durchreise angefahren werden. Im Gegensatz zu bewirtschafteten Rastanlagen werden die unbewirtschafteten Anlagen nicht gezielt angefahren und nur zur Erledigung der Bedürfnisse genutzt. Eine Ausnahme bildet hierbei die PWC-Anlage Klockow, die aufgrund

ihrer Größe, Lage und Ausstattung regelmäßig von Urlaubern in Richtung Ostsee zum Picknicken genutzt wird. Des Weiteren konnte im Zuge der Vorauswahl durch Gespräche mit den zuständigen Autobahnmeistereien festgestellt werden, dass viele PWC-Anlagen auch als Sze-netreff genutzt werden.

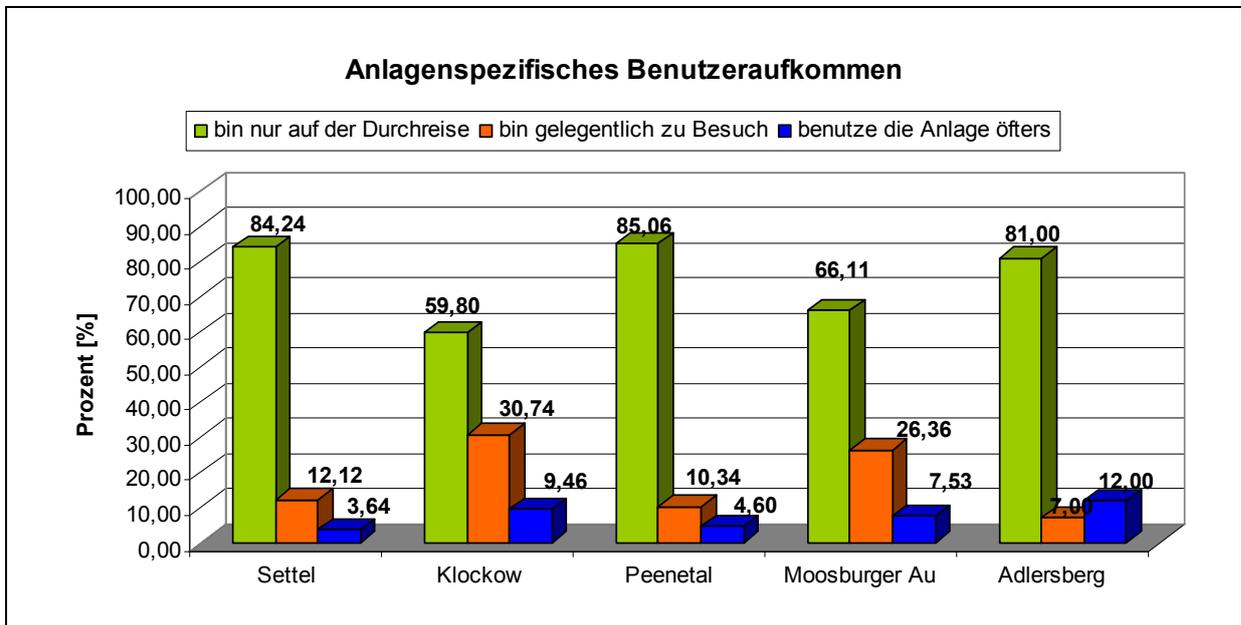


Abbildung 7-14: Anlagenspezifisches Benutzeraufkommen

Die Aussagen der Benutzerbefragung sind kritisch zu betrachten. Es ist davon auszugehen, dass nicht immer die Wahrheit gesagt, bzw. angekreuzt wurde. Die Probanden wollten teilweise aus Schamgefühl oder Desinteresse keine wahrheitsgemäßen Angaben machen. Aus Zeitmangel haben viele der Befragten die Benutzerzettel nur überflogen und nicht gewissenhaft ausgefüllt. Daher können die gewonnenen Daten nur als Richtwerte dienen.

Die Auswertung der Benutzerbefragung bestätigte die Annahme, dass die PWC-Anlagen überwiegend zum Urinieren benutzt und nur zufällig auf der Durchreise angefahren werden.

Durch bedienfreundliche Auslösmechanismen wird eine Sensibilisierung des Benutzerverhaltens an den Sanitäreinrichtungsgegenständen erreicht. Mehrfachspülungen bzw. Unterlassen des Spülvorganges können damit vermieden werden. Hierbei haben sich der Piezo-Taster und der Radarsensor als besonders geeignet erwiesen.

Bei der Beurteilung der Handwaschbeckenbedienung zeigten sich geschlechterspezifische Unterschiede. Die Sensibilität der Frauen für Hygienebedürfnisse wirkt sich auf die Bedienung der Auslösmechanismen aus. Bereits unsaubere Bedienelemente verhindern das Betätigen dieser genauso, wie unverständliche Bedienhinweise.

Die Benutzerzufriedenheit wurde in den Kriterien Sauberkeit, Komfort und Hygiene von den Probanden überwiegend mit *zufrieden* beurteilt.

7.2.3. Nutzerspezifischer Wasserverbrauch

Zur Ermittlung des nutzerspezifischen Wasserverbrauches wurde im Rahmen der Kontrollgänge der Trinkwasserzähler halbstündig abgelesen. Da auch die Anzahl der WC-Benutzer im

30 Min.-Raster erfasst wurden, können Aussagen zum nutzerspezifischen Wasserverbrauch in verschiedenen Zeitintervallen (Vielfaches von 0,5 h) gemacht werden. Gleiches trifft im Übrigen auch für den Filtratanfall (das den Filter durchfließende Abwasser) zu, der durch halbstündiges Ablesen der Speicherfüllstände ebenfalls dokumentiert wurde.

In nachstehender Abbildung 7-15 werden zunächst die über den gesamten Untersuchungszeitraum ermittelten nutzerspezifischen Wasserverbräuche ($dt = UZ$) angegeben. Für die Werteermittlung wurde die Differenz aus Zählerstand zu Beginn und am Ende der Untersuchung durch die Summe aller Benutzer dividiert ($Q_{W_B} = Q_{W_UZ} / \Sigma_{B_UZ}$). Eine Ausnahme bezüglich des Vorhanges stellt die PWC-Anlage Klockow dar (gestrichelte Säule), da über den hier installierten Wasserzähler der Wasserverbrauch der gegenüberliegenden PWC-Anlage (Klockow-West) miterfasst wird. Im Nachhinein konnten lediglich die täglichen Verbrauchsmengen der Einzelanlage Klockow Ost aus der Steuerung ausgelesen werden. Zur Berechnung des nutzerspezifischen Wasserverbrauchs konnten deshalb nur die Verhältnisse an den vollen Tagen (Samstag und Sonntag) in Ansatz gebracht werden.

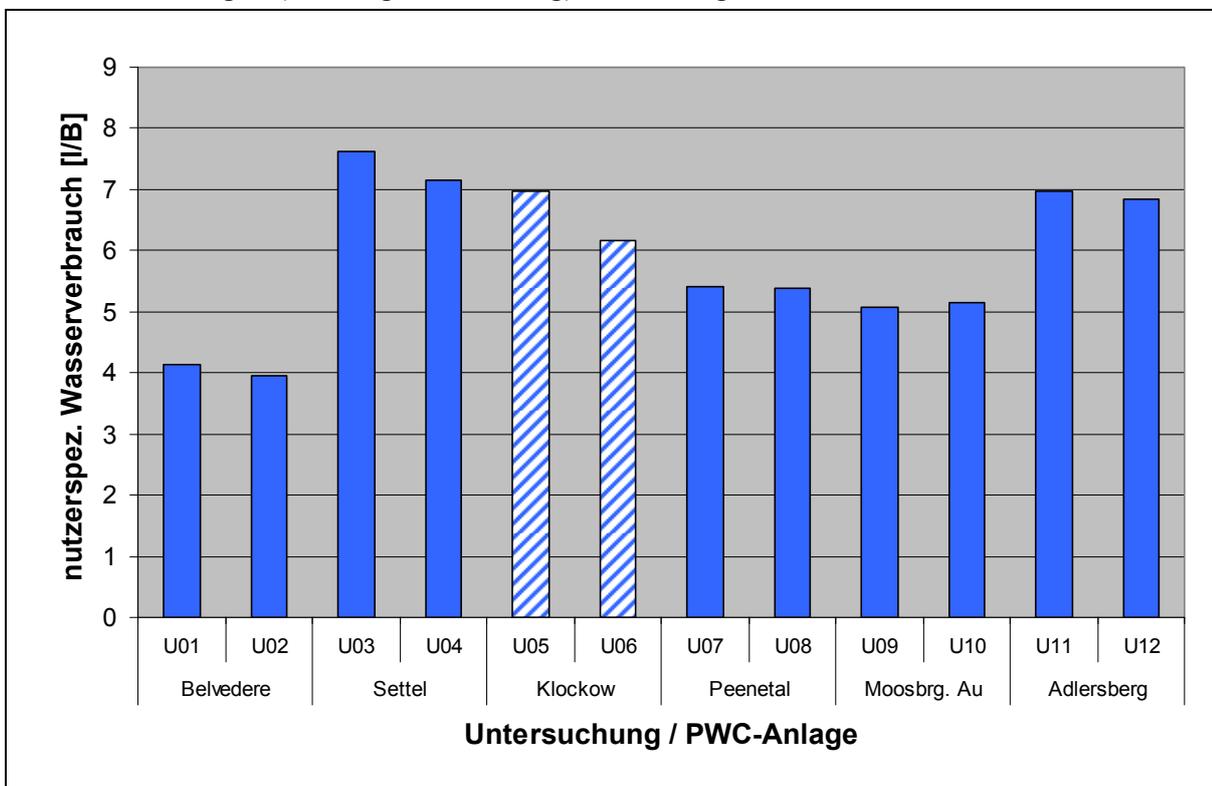


Abbildung 7-15: Nutzerspezifischer Wasserverbrauch an den Untersuchungsstandorten

Wie aus der Abbildung 7-15 zu erkennen ist, treten deutliche Unterschiede im nutzerspezifischen Wasserverbrauch von Anlage zu Anlage auf. Demgegenüber sind die Unterschiede der an ein und derselben Anlage an verschiedenen Wochenenden ermittelten nutzerspezifischen Wasserverbräuche in 4 von 6 Fällen unbedeutend. Ausnahmen scheinen die Anlagen Settel und Klockow zu sein. Für letztere ist jedoch aufgrund vereinfachter Annahmen die Aussagekraft der berechneten Werte erheblich eingeschränkt. Die bei Anlage Settel festgestellte Änderung im nutzerspezifischen Wasserverbrauch geht indes auf eine Umstellung innerhalb der Steuereinheiten für Spüleinrichtungen und Handwaschbecken zurück. (Dem Hinweis des

BUW-Mitarbeiters bezüglich einer Fehlfunktion wurde vom Betriebspersonal bis zur zweiten Untersuchung nachgegangen.)

Die getroffenen Aussagen lassen den Schluss zu, dass der nutzerspezifische Wasserverbrauch in erster Linie anlagenspezifisch ist, d.h. von den jeweiligen Besonderheiten in der Ausstattung und dem Betrieb der PWC-Anlage abhängt. Es ist zu erwarten, dass

- Art und Anzahl der Sanitärtechnik sowie
- Art und Umfang der Reinigung

einen Einfluss auf den nutzerspezifischen Wasserverbrauch haben. In nachstehender Tabelle 7-4 wird ein Überblick zu den an den PWC-Anlagen vorrätigen Sanitärelementen und deren Wasserverbrauch bei einmaliger Benutzung gegeben. Die Verbrauchswerte wurden durch mehrmaliges Auslösen als Mittelwerte vor Ort ermittelt. Die PWC-Anlagen Belvedere, Sattel und Moosburger Au sind mit Druckspülern ausgestattet und die PWC-Anlagen Klockow, Peenetal und Adlersberg mit Spülkästen. Die Spülvorgänge werden über Sensoren, Taster und bei den WC's zusätzlich automatisch über Schließkontakte in den Türen ausgelöst (Vor- und Nachspülen). Die Wassermenge je Spülung ist von den Einstellungen einer Steuerung abhängig und beliebig variiert werden. Bei einigen Urinalen erfolgt ein zeitversetztes Nachspülen. In den meisten Fällen sind die für Vor- und Nachspülen verbrauchten Wassermengen geringer als die für die Hauptspülung.

Tabelle 7-4: Mittlere Verbrauchswerte der auf den untersuchten PWC-Anlagen vorgehaltenen Sanitärelemente bei einmaliger Benutzung [l/B]

Sanitär-Bereich	Sanitär-element	Belvedere-Nord	Settel	Peenetal-Ost	Moosburger. Au-Ost	Adlersberg-West
Damen	WC 01	5,69 ± 0,13	7,76 ± 0,06	7,54 ± 0,06	7,2 ± 0,65*	10,0 ***
	WC 02	4,76 ± 0,03	6,20 ± 0,01	7,59 ± 0,23	6,58 ± 1,66*	10,0 ***
	WC 03	5,46 ± 0,09	-	-	7,24 ± 1,65*	10,0 ***
	WC 04	5,43 ± 0,03	-	-	-	10,0 ***
	HWB 01	0,52 ± 0,02	0,50 ± 0,00	1,19 ± 0,07	1,54 ± 0,13	0,3 ± 0,01
	HWB 02	0,57 ± 0,04	-	-	1,4 ± 0,07	0,3 ± 0,05
Behinderte	WC	6,52 ± 0,15	-	8,20 ± 0,04	n.b. **	n.b. **
	HWB	0,53 ± 0,02	-	0,57 ± 0,02	n.b. **	n.b. **
Herren	WC 01	5,68 ± 0,12	8,97 ± 0,03	8,42 ± 0,03	5,29 ± 1,03*	10,0 ***
	WC 02	4,90 ± 0,08	-	-	-	10,0 ***
	Urinal 01	0,24 ± 0,01	3,53 ± 0,01	0,55 ± 0,01	1,11 ± 0,01	1,66*
	Urinal 02	1,99 ± 0,03	5,74 ± 0,03	0,30 ± 0,00	1,29 ± 0,04	1,66*
	Urinal 03	1,69 ± 0,21	-	-	1,45 ± 0,02	1,73*
	HWB 01	0,45 ± 0,01	0,64 ± 0,18	1,22 ± 0,03	0,62 ± 0,01	0,24 ± 0,01
	HWB 02	0,50 ± 0,03	-	-	0,67 ± 0,02	0,21 ± 0,03
Q_W_B, theo [l/B] ****		4,03	6,59	5,60	5,40	6,52

- nicht vorhanden

* Mittelwerte aus Vor-, Haupt und Nachspülen

** n.b.: nicht bestimmt

*** Schätzwert, da von Vollfüllung des Spülkastens (max. 6,85 l) sowie Vor- und Nachspülung abhängig

**** theoretischer, nutzerspezifischer Wasserverbrauch

In der Zusammenstellung der Tabelle 7-4 fällt zunächst der quantitative Unterschied an Sanitärelementen auf. Demnach werden an den Thüringer Anlagen Belvedere-Nord und Adlerberg die meisten Sanitärelemente vorgehalten, während die Ausstattung in der Anlage Settel vergleichsweise spartanisch ist¹⁶. In diesem Zusammenhang ist auch ein Blick auf die Vorhaltung behindertengerechter Sanitäranlagen lohnenswert. Mit Ausnahme der PWC-Anlage Settel, bei der das vorhandene Herren WC und eines der beiden Damen WC behindertengerecht gestaltet wurde, sind separate Bereiche für Behinderte ausgewiesen. Die Behindertentoiletten sind i. d. R. verschlossen und können nur vom Bedürftigen in Anspruch genommen werden. Gleichwohl können sie vom Betriebspersonal geöffnet werden, sofern aktuelle Ereignisse (Spitzenbelastung Busse) dies erfordern und Betriebspersonal anwesend ist.

In der letzten Zeile von Tabelle 7-4 ist ein theoretischer, nutzerspezifischer Wasserverbrauch berechnet worden. Den ermittelten Werten liegen folgende Annahmen zugrunde:

¹⁶ PWC Klockow ist baugleich mit PWC Peenetal

- alle Damen benutzen das WC
- 90 % Herren nutzen das Urinal, 10 % Herren das WC
- alle Benutzer (Damen und Herren) nutzen das Handwaschbecken
- 50 % der Benutzer sind Damen, 50 % Herren.

Ferner wurde mit anlagenspezifischen Mittelwerten der vorgehaltenen Sanitärelemente gerechnet. Die Klassifikation in Sanitärbereiche wurde jedoch beibehalten. Der Vergleich mit den empirischen Werten (vgl. Abbildung 7-15) zeigt bereits eine gute Übereinstimmung. Demnach ist die sanitäre Ausstattung maßgeblich für den nutzerspezifischen Wasserverbrauch verantwortlich. Entscheidend sind die Auslösemechanismen und deren Bedienung. Dies wird in Tabelle 7-4 bei Betrachtung der baugleichen Thüringer Anlagen Belvedere-Nord und Adlersberg deutlich.

Inwieweit die Art und der Umfang der Reinigung einen Einfluss auf den nutzerspezifischen Wasserverbrauch der jeweiligen Anlage haben, geht aus Tabelle 7-5 hervor. Offensichtlich werden die Anlagen Settel und Moosburger Au besonders gründlich gereinigt (vgl. Tabelle 7-5, Zeile 4: anlagenspezifischer täglicher Wasserverbrauch für Reinigung). Tatsächlich kommt hier täglich der Hochdruckreiniger zum Einsatz, während dies bei den anderen Anlagen nur bei Sonderreinigung (wöchentlich oder zweiwöchentlich, vgl. Tabelle 7-5 Zeile 2 und 3) erfolgt. Die tägliche Grundreinigung beschränkt sich hier auf das mehrmalige Spülen aller Wasserverbraucher - i. d. R. unter Zusatz von speziellen Reinigungsmitteln (Urinsteinlöser) - und dem partiellen Wischen der Sanitärräume.

Tabelle 7-5: Art und Umfang der Reinigung an den untersuchten PWC-Anlagen

Anlage →		Belvedere Nord	Settel	Peenetal-Ost	Moosburger. Au-Ost	Adlersberg-West
Kriterium ↓						
1	Ausführende ¹⁾	FF	AM	AM	FF	FF
2	Intervall [1/d] ²⁾	1 (1/7)	1 – 2 ⁵⁾	2 (1/14)	1	1 (1/7)
3	Q _{W,R} [l/R] ³⁾	20 (200)	200 – 300 ⁶⁾	15 (200)	120 -150	15 (200)
4	Q _{W,R,d} [l/d] ⁴⁾	50	250	30	135	45
5	Q _{W,R,B} [l/B] ⁵⁾	+0,02	+0,3	+0,06	+0,09	+0,08

1) FF: Fremdfirma; AM: Autobahnmeister (bzw. Landesbetrieb)

2) Werte in Klammern geben die Intervalle von Sonderreinigungen (mit höherem Wasserverbrauch) an

3) Wasserverbrauch pro Reinigung, Werte in Klammern geben den Wasserverbrauch bei Sonderreinigungen an

4) anlagenspezifischer täglicher Wasserverbrauch für Reinigung, inkl. Sonderreinigung

Anteil des durch Reinigung verursachten Wasserverbrauchs am nutzerspezifischen Wasserverbrauch

5) nur während der Sommerferien

6) bei Ansatz nur einer Reinigung täglich

Wie in der letzten Zeile von Tabelle 7-5 gezeigt werden kann, ist die Wasserentnahme durch Reinigung in Bezug auf den nutzerspezifischen Wasserverbrauch jedoch unerheblich. Lediglich bei der Anlage Settel macht sich die gründliche Reinigung aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Auslastung bemerkbar. Rechnerisch werden hier etwa 0,3 Liter Wasser pro Benutzer für die Reinigung der Sanitärräume verwendet ($Q_{W,R,B} = 0,3 \text{ l/B}$). Wird dieser Wert zum nutzerspezifischen Wasserverbrauch durch Benutzung der Sanitärelemente ($Q_{W,B,theo} = 6,6 \text{ l/B}$;

vgl. letzte Zeile in Tabelle 7-4) addiert, resultiert eine sehr gute Übereinstimmung mit dem empirisch ermittelten Wert von $Q_{W,B;Settel}=7,1$ l/B (vgl. Abbildung 7-15).

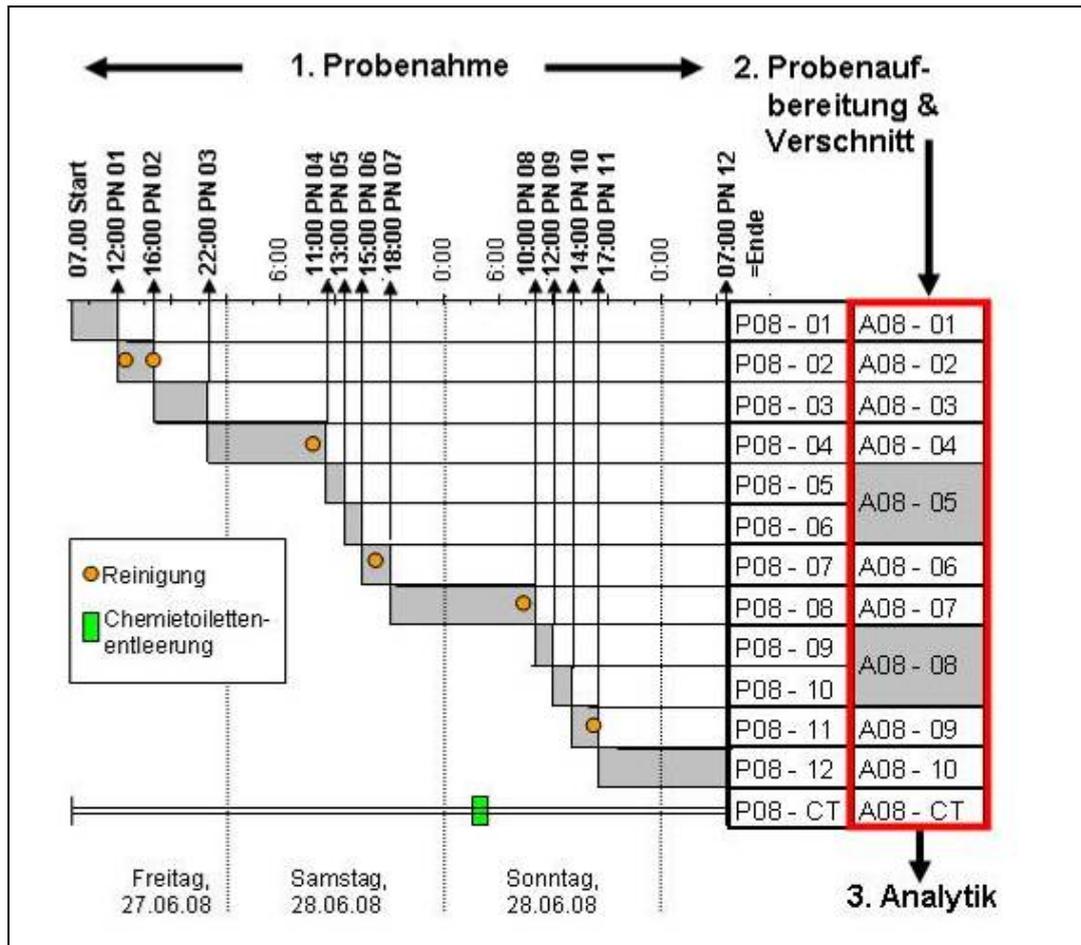
Insgesamt bleibt festzustellen, dass der über 3 Tage gemittelte nutzerspezifische Wasserverbrauch im Bereich von **4 bis 8 Liter pro Benutzer** liegt. Der nutzerspezifische Wasserverbrauch ist von PWC-Anlage zu PWC-Anlage unterschiedlich und ist in erster Linie von der vorgehaltenen Sanitärtechnik abhängig. Anhand der Steuerungsmöglichkeiten ist der Wasserverbrauch an den einzelnen Sanitärelementen in großen Bandbreiten regelbar.

7.2.4. Nutzerspezifische Frachten

Bevor die zusammenfassenden Ergebnisse bezüglich der nutzerspezifischen Frachten dargestellt und diskutiert werden, sollen die Art und Weise ihrer Ermittlung am Beispiel der Untersuchung U08 „Peenetal“ verdeutlicht werden. In Abbildung 7-16 ist zunächst das allgemeine Vorgehen von der Probenahme bis zur Analytik dargestellt: Demnach hat die Untersuchung am 27.08.2008 um 7:00 Uhr begonnen und endete am Montag, den 30.08.2008 um 7:00 Uhr. In dieser Zeit wurden 12 Probenahmen (P08-01 bis P08-12) durchgeführt und somit 12 Einzelproben generiert (12 Proben á 3x1 Liter Abwasserfiltrat und 12 Proben Filtrerrückstände). Dabei wurde das bei 6 Reinigungen anfallende Abwasser in 5 Proben mit erfasst. Für jede Probenahme (PN) wurden vor Ort:

- die Filtratwassermenge Q_{Fil_PN} [l] durch Ablesen der Speicherfüllung
- der Wasserverbrauch Q_{W_PN} [l] durch Ablesen des Wasserzählers
- die Masse der Filtrerrückstände m_{RS_PN} [kg] durch Auswiegen sowie
- ggf. die Menge an Trübwasser nach Entwässerung m_{TRW_PN} [kg] durch Auswiegen

als Basisdaten für die Probenaufbereitung und die spätere Auswertung ermittelt. Die Menge des Chemietoilettenabwassers (P08 – CT), welches in die eigens dafür aufgestellte Fäkaltonne entleert wurde (Sonntag, 9:30 Uhr), konnte im Anschluss an die Untersuchung Rahmen der Probenaufbereitung durch Auswiegen ermittelt werden.



Eingangsgrößen:

Probe	Q_W [l]	Q_A ¹⁾ [l]	m_RS [kg]	n_Benutzer [-]
P08 - 01	912,91	877	6,05	167
P08 - 02	958,64	970	3,38	165
P08 - 03	960,86	975	3,14	180
P08 - 04	997,79	989	5,97	221
P08 - 05	1028,70	1022	5,15	182
P08 - 06	1106,00	1082	3,74	180
P08 - 07	961,82	964	2,96	166
P08 - 08	912,48	884	3,73	169
P08 - 09	961,90	953	4,81	161
P08 - 10	841,60	859	3,95	156
P08 - 11	993,90	991	2,38	189
P08 - 12	1068,91	1083	6,11	235
P08 - CT	-	-	29,85	2171

¹⁾ $Q_A = Q_{Fil} + m_{TRW}$ (Filtrat aus Speicher + Trübwasser nach Entwässerung)

Abbildung 7-16: Vorgehen der Probenahme zur Analytik am Beispiel U08 „Peenetal“

Um die Kosten für die Abwasseranalytik im Rahmen des Budgets zu halten, wurden ausgewählte Einzelproben im Anschluss an die Untersuchung miteinander zu Mischproben verschnitten. Generell sollten die Proben unter Berücksichtigung folgender Kriterien verschnitten werden:

- Maximal 3 Proben miteinander verschneiden
- möglichst nur Proben mit kurzer Probenahmedauer ($dt_{PN} \leq 180 \text{ min}$) verschneiden
- möglichst keine Proben verschneiden, die nach einer Reinigung entnommen wurden.

Im Falle der Untersuchung 08 „Peenetal“ wurden die Proben P08 - 05 und P08 - 06 zur Analytikprobe A08-05 sowie die Proben P08 - 09 und P08 - 10 zur Analytikprobe A08-08 verschnitten. Die Filtrerrückstände der Einzelproben wurden dazu gemeinsam mazeriert. Die Filtrate wurden hingegen volumenproportional vermischt, d.h. entsprechend dem Volumenverhältnis, wie es bei den Probenahmen vor Ort durch Ablesen des Filtratwasserspeichers registriert wurde.

Das Chemietoilettenabwasser wurde ebenfalls mazeriert (immer als Letzte!) und als homogenisierte Probe dem Labor zur Analyse übergeben. Alle Proben wurden hinsichtlich der in Tabelle 7-2, genannten Parameter analysiert.

In der nachfolgenden Abbildung 7-17 werden einige Analysenergebnisse ähnlich einer Konzentrationsganglinie für die Filtrate (CSB, BSB₅, abfiltrierbare Stoffe) einerseits und Rückstände (CSB, TR) andererseits dargestellt. Die Datenpunkte bezogen auf die linke Ordinatenachse geben Auskunft über die gemessenen Konzentrationen bzw. den Masseanteilen. Die zugehörigen Spannweitenlinien sollen den Zeitraum der zugrunde liegenden Probenahmen kennzeichnen. Zur Orientierung sind zusätzlich die Bezeichnungen der Analytikproben eingetragen.

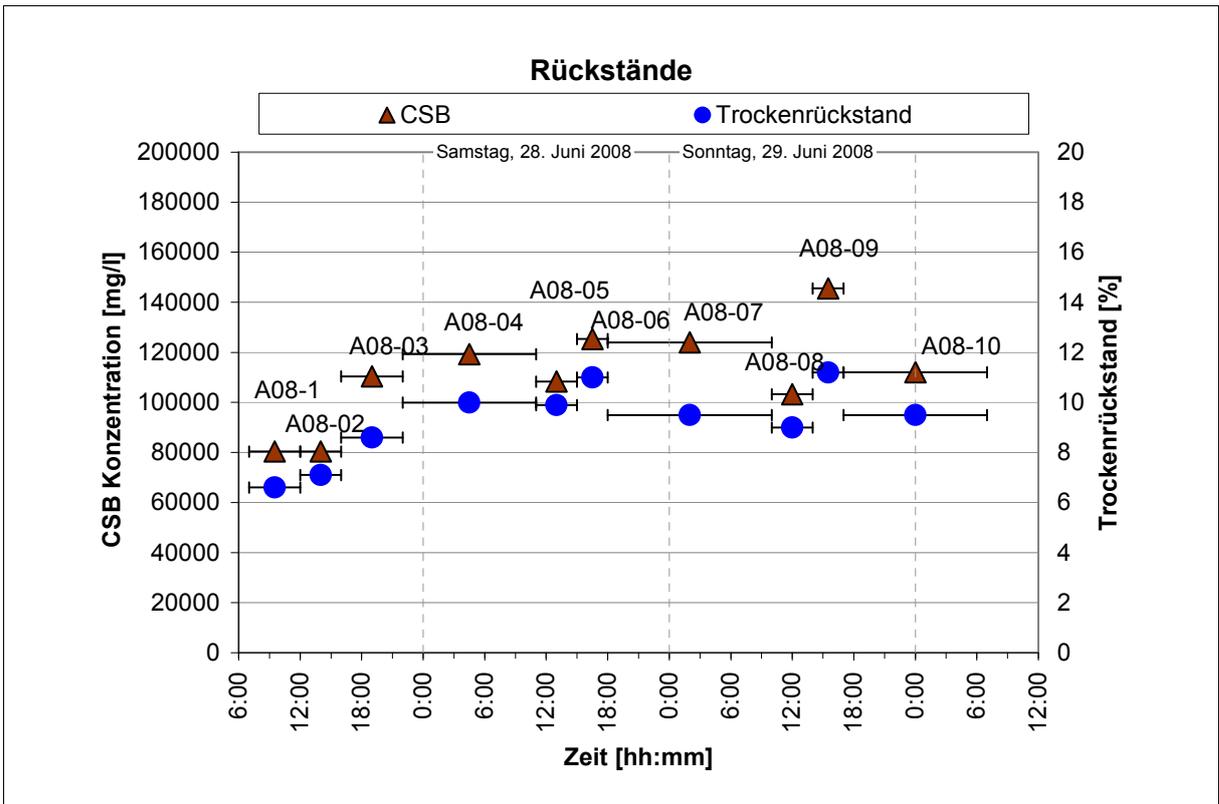
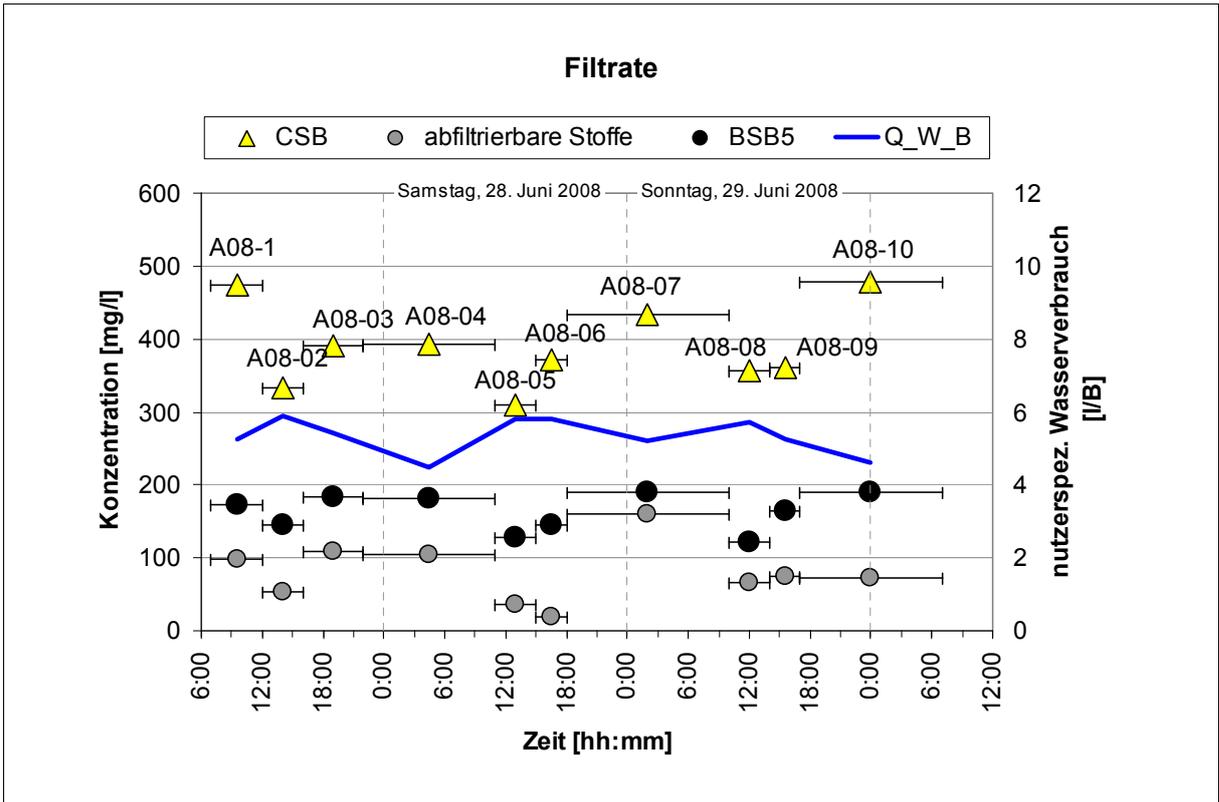


Abbildung 7-17: Konzentrationen ausgewählter Parameter im Abwasser der PWC-Anlage Peenetal im Zeitraum der Untersuchung U08 (vom 27.06.08 - 07:00 Uhr bis 30.06.08 - 07:00 Uhr); differenziert nach Filtrat (oben) und Filtrerrückstand (unten)

Den Focus auf die Analyse der Filtrate (obere Grafik) gerichtet, kann eine Parallelität der Messwerte für CSB, BSB₅ und abfiltrierbare Stoffe festgestellt werden, was auf eine exakte Analytik schließen lässt. Die Schwankungen der Messwerte sind offensichtlich das Resultat unterschiedlich starker Verdünnungen, zumindest deutet die Gegenläufigkeit des nutzerspezifischen Wasserverbrauchs (Q_W_B als Linie) darauf hin. Prinzipiell treffen diese Aussagen auch für die Rückstände (untere Grafik) zu. Allerdings fallen hier der geringe Trockenrückstand und die damit verbundenen geringe CSB-Konzentration der ersten Probe A08-01 auf. Die Ursache hierfür ist womöglich in der Probenaufbereitung zu suchen: Probe A08-01 wurde als Erstes mazeriert, was zu entsprechenden Verlusten führte.

Aus den Analysedaten (Stoffkonzentrationen) sowie den während der Untersuchung erhobenen Basisdaten bzgl. Benutzeraufkommen und Stoffmengen (vgl. Abbildung 7-16) wurde über folgende Beziehung auf die nutzerspezifische Stofffracht geschlossen:

$$\text{nutzerspezifische Stofffracht} = \text{Stoffkonzentration} * \text{Stoffmenge} / \text{Benutzeranzahl}$$

Aufgrund des gewählten Vorgehens war es möglich, die nutzerspezifischen Frachten getrennt für Abwasserfiltrat und Rückstände zu ermitteln.

1. *Abwasserfiltrat:*

$$\text{SFF}_{B_x} = Q_A / n_B * C_x$$

SFF_{B_x}: nutzerspezifische Stofffracht des Parameters (x) [g/B] im Filtrat

Q_A: Summe der Abwassermengen im Beprobungsintervall [l]

n_B: Anzahl der Benutzer im Beprobungsintervall [-]

C_x: Konzentration des Parameters (x) [g/l]

2. *Rückstände:*

$$\text{SFR}_{B_x} = m_{RS} / n_B * C_x$$

SFF_{B_x}: nutzerspezifische Stofffracht des Parameters (x) im Rückstand [g/B]

m_{RS}: Summe der Rückstände im Beprobungsintervall [kg] = [l]

n_B: Anzahl der Benutzer im Beprobungsintervall [-]

C_x: Konzentration des Parameters (x) [g/l]

3. *Summe:*

$$\text{SF}_{B_x} = \text{SFF}_{B_x} + \text{SFR}_{B_x}$$

SF_{B_x}: nutzerspezifische Stofffracht des Parameters (x) im Abwasser [g/B]

Die aus Chemietoilettenentleerung resultierenden nutzerspezifischen Stofffrachten wurden gesondert betrachtet. Die Berechnung erfolgte analog zum Abwasserfiltrat.

Für die Untersuchung U08 „Peenetal“ stellt sich das Ergebnis gemäß nachstehender Abbildung 7-18 dar. In der oberen Grafik werden die nutzerspezifischen Frachten für CSB,

TKN und P einzelner Beprobungsintervalle gezeigt. Die untere Grafik gibt Aufschluss über die Aufteilung der Frachten auf verschiedene Stoffströme.

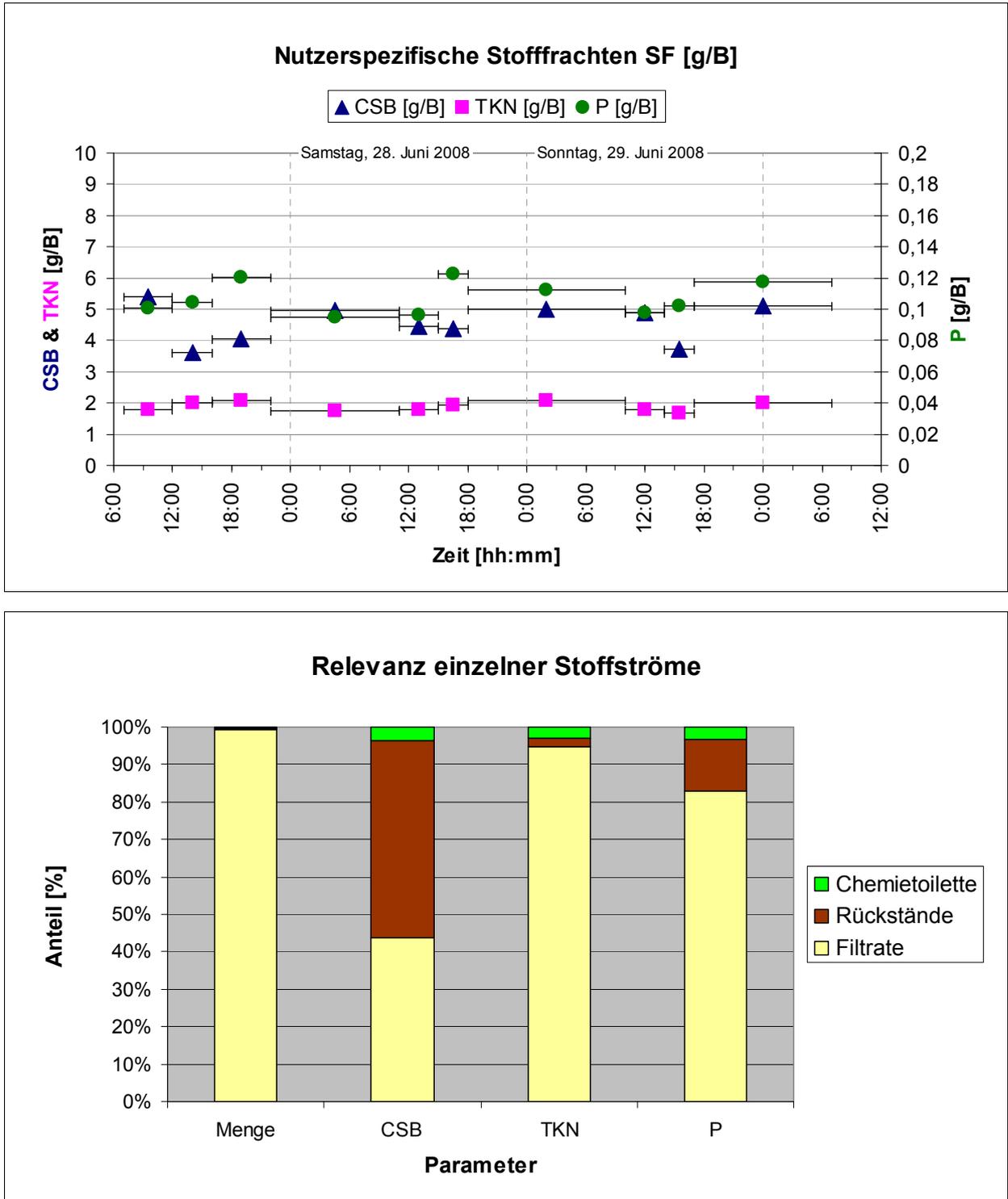


Abbildung 7-18: Nutzerspezifische Stofffrachten der PWC-Anlage Peenetal im Zeitraum der Untersuchung U08: zeitliche Schwankungen (oben) und Vorkommen (unten)

Wie aus der oberen Grafik hervorgeht, sind im Gegensatz zu TKN und P die nutzerspezifischen CSB-Frachten auffälligen Schwankungen unterworfen. Es resultieren Werte zwischen 3,7 und 5,2 g CSB/B. Demnach lassen sich die schwankenden CSB-Konzentrationen im Abwasser nicht auf unterschiedliche Verdünnungen zurückführen (vgl. Abbildung 7-17).

Charakteristisch für die CSB-Fracht ist außerdem, dass sie zu etwa 50 % dem Rückstand zuzuweisen ist (vgl. Abbildung 7-18, untere Grafik). Als Ursache für die starke Streuung kommen deshalb insbesondere in Frage:

- Schwankender Anteil an Fäkalien
- Schwankender Anteil an Fehlwürfen (Abfälle)
- Schwankender Anteil und Qualität von Toilettenpapier
- Schwankender Anteil und Qualität von Reinigungsmitteln
- Fehler bei der Aufbereitung der Rückstände (Mazerieren)

Die Stickstofffrachten liegen dauerhaft bei ca. 2,0 g TKN/B, was den stetig hohen Urinanteil im Abwassergemisch bestätigt. Die Phosphorfracht resultiert gleichbleibend zu etwa 0,1 g P/B. Die Reinigung hat demzufolge keinen nennenswerten Einfluss. Sowohl Stickstoff als auch Phosphor sind hauptsächlich im Filtrat zu finden (TKN: 97 %; P: 86 %). Beachtlich ist, dass das Chemietoilettenabwasser trotz seiner geringen Menge (nur eine Entleerung!) immerhin für ca. 3 % der nutzerspezifischen Frachten verantwortlich ist.

Die nutzerspezifischen Stofffrachten mit der Relevanz einzelner Stoffströme der weiteren Untersuchungen sind auf den folgenden Seiten dargestellt.

Belvedere U01

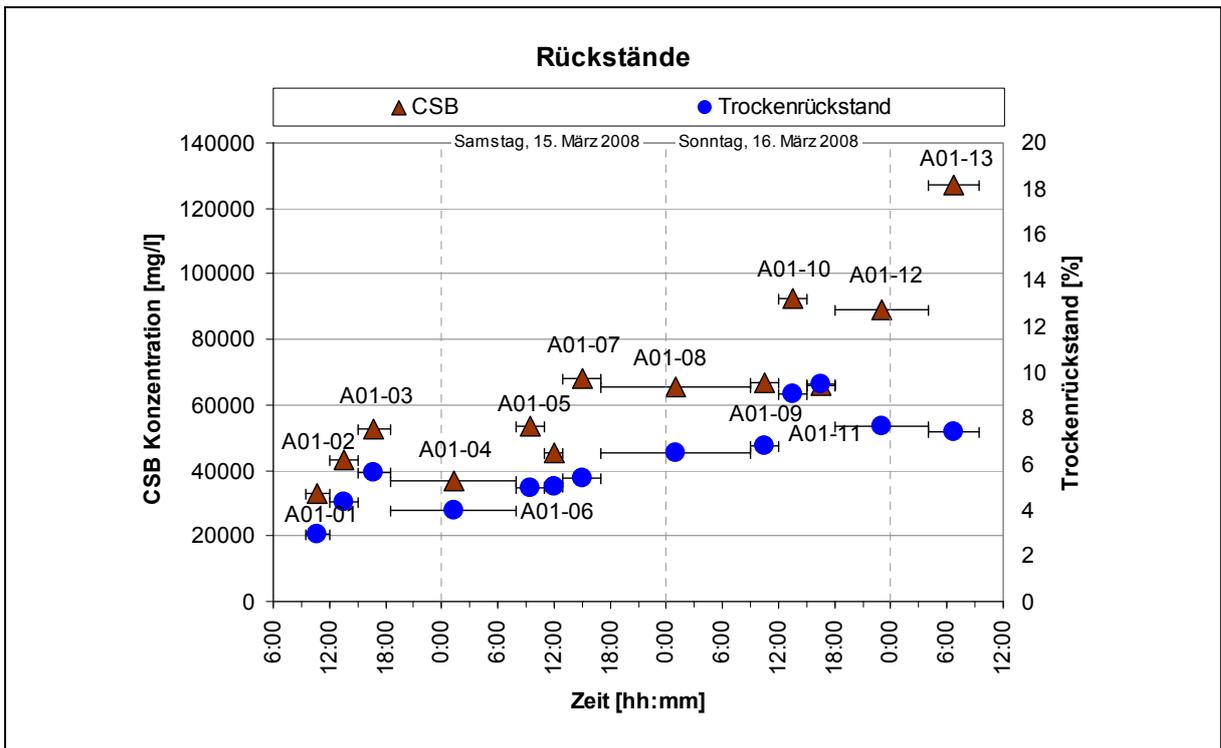
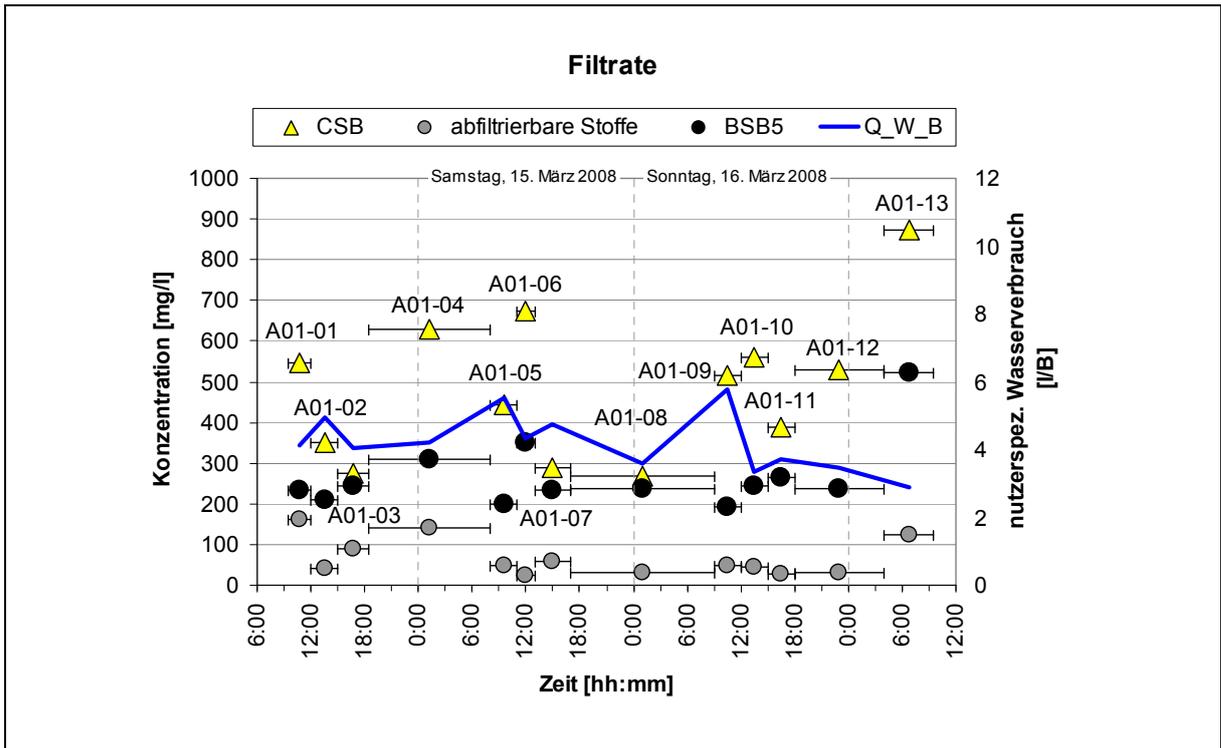


Abbildung 7-19: Konzentrationen ausgewählter Parameter im Abwasser der PWC-Anlage Belvedere im Zeitraum der Untersuchung U01; differenziert nach Filtrat (oben) und Filtrerrückstand (unten)

Belvedere U01

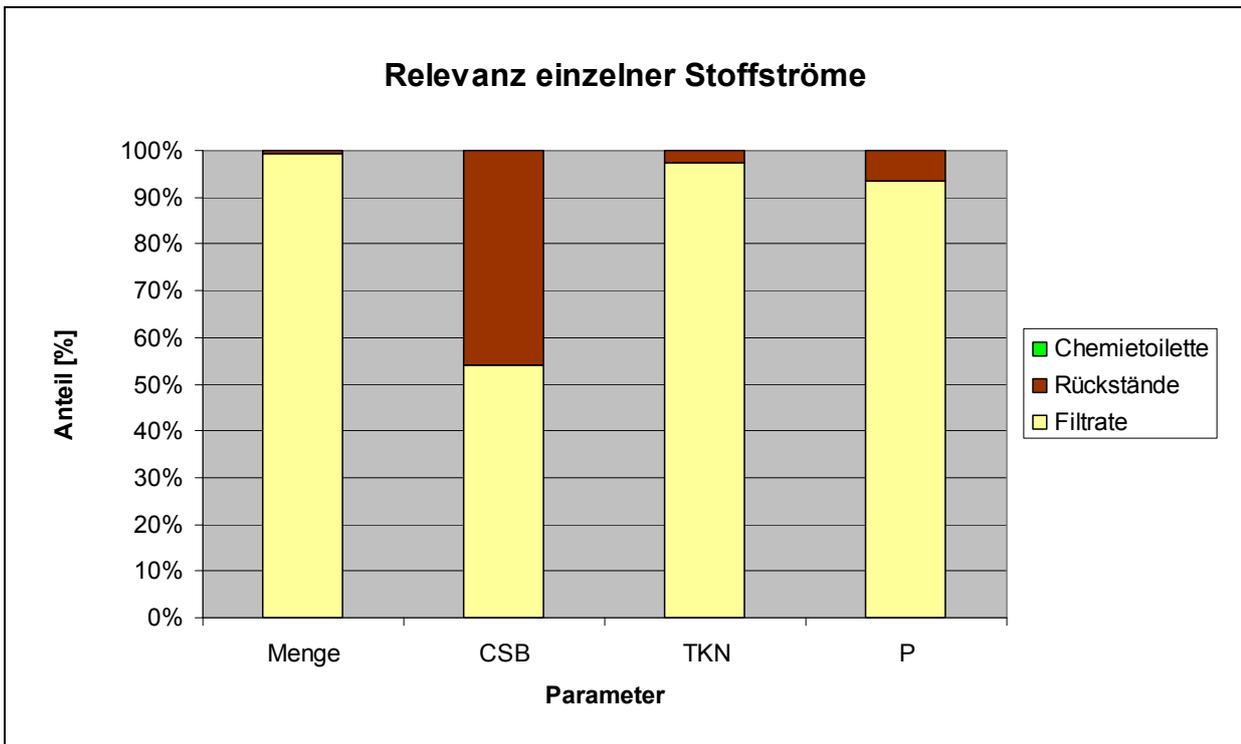
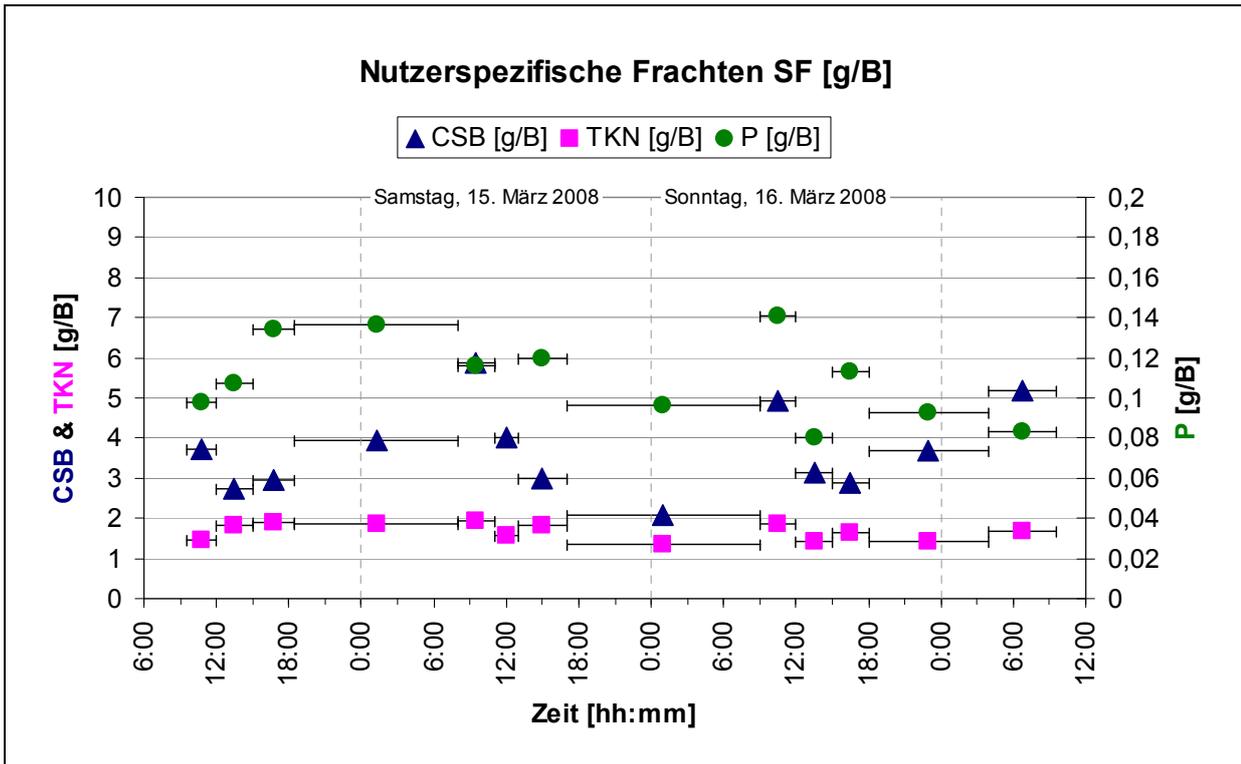


Abbildung 7-20: Nutzerspezifische Stofffrachten der PWC-Anlage Belvedere im Zeitraum der Untersuchung U01: zeitliche Schwankungen (oben) und Vorkommen (unten)

Belvedere U02

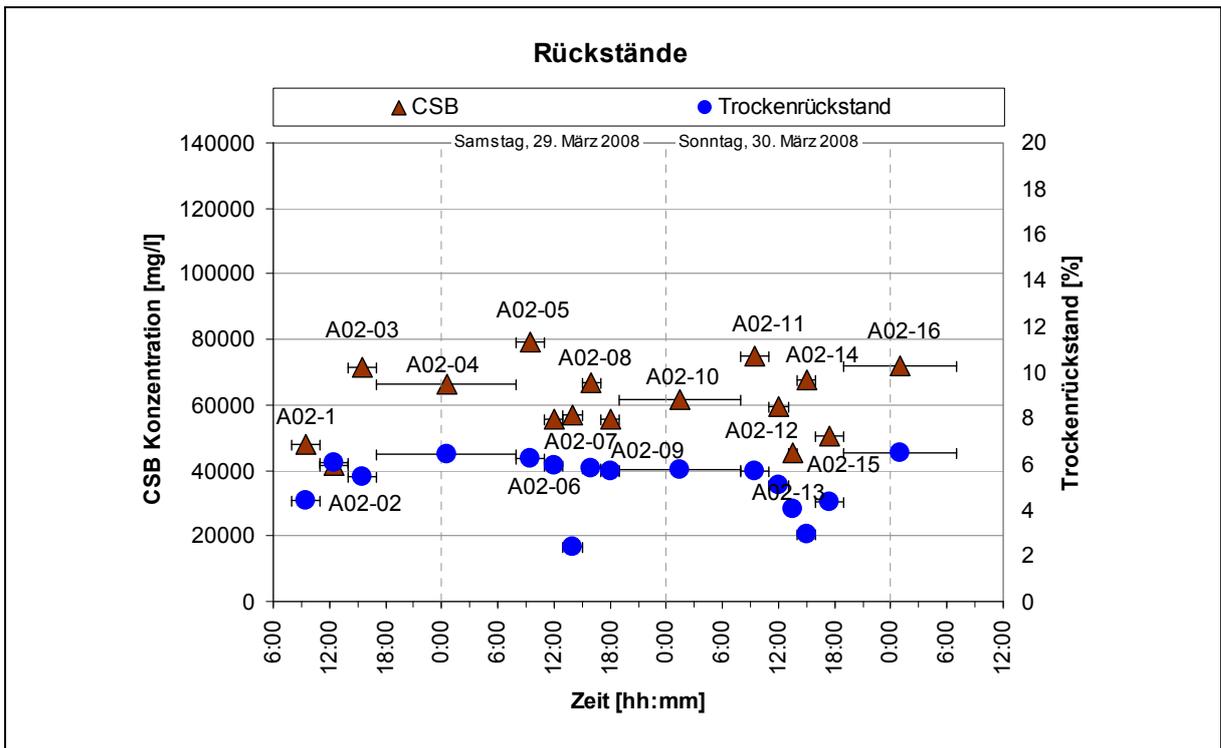
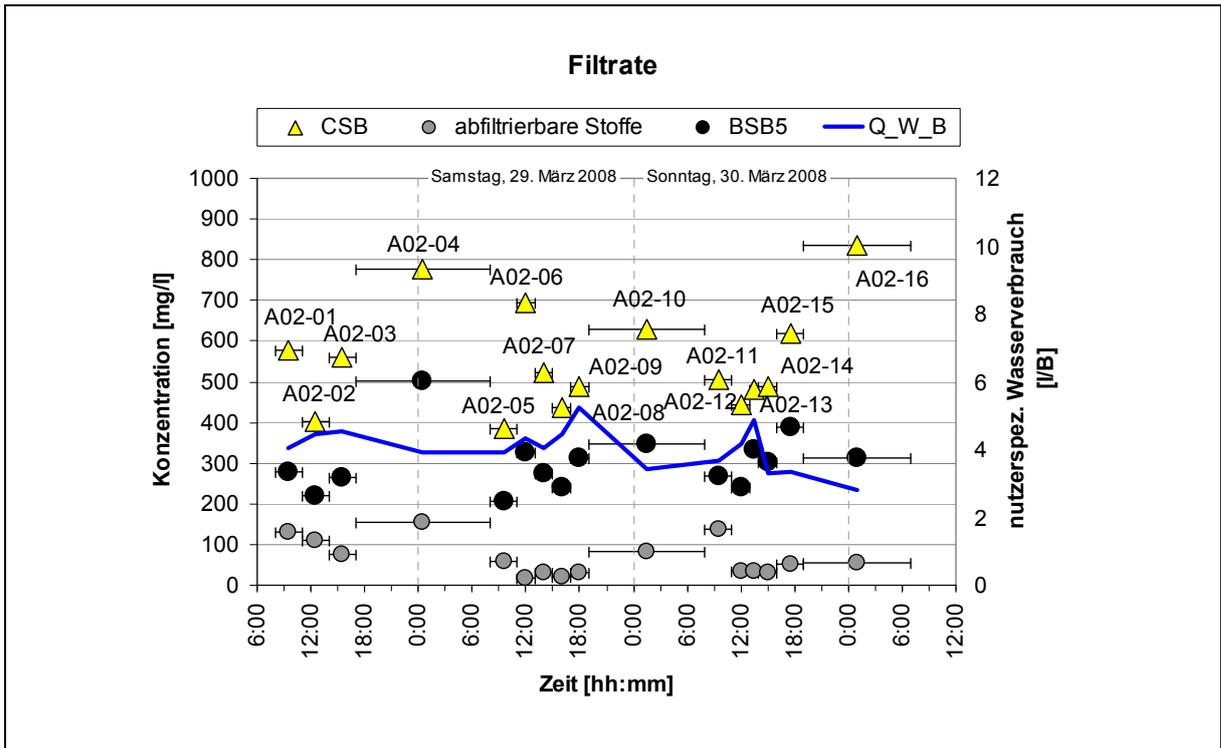


Abbildung 7-21: Konzentrationen ausgewählter Parameter im Abwasser der PWC-Anlage Belvedere im Zeitraum der Untersuchung U02; differenziert nach Filtrat (oben) und Filtrerrückstand (unten)

Belvedere U02

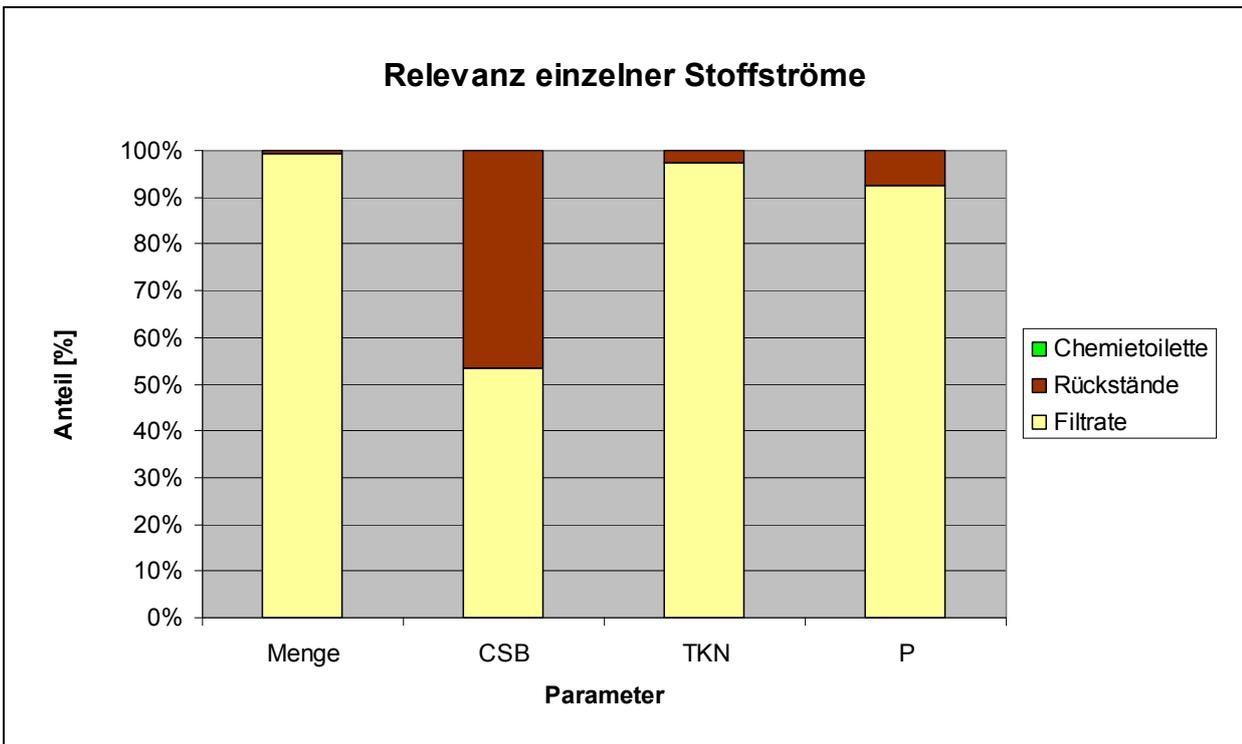
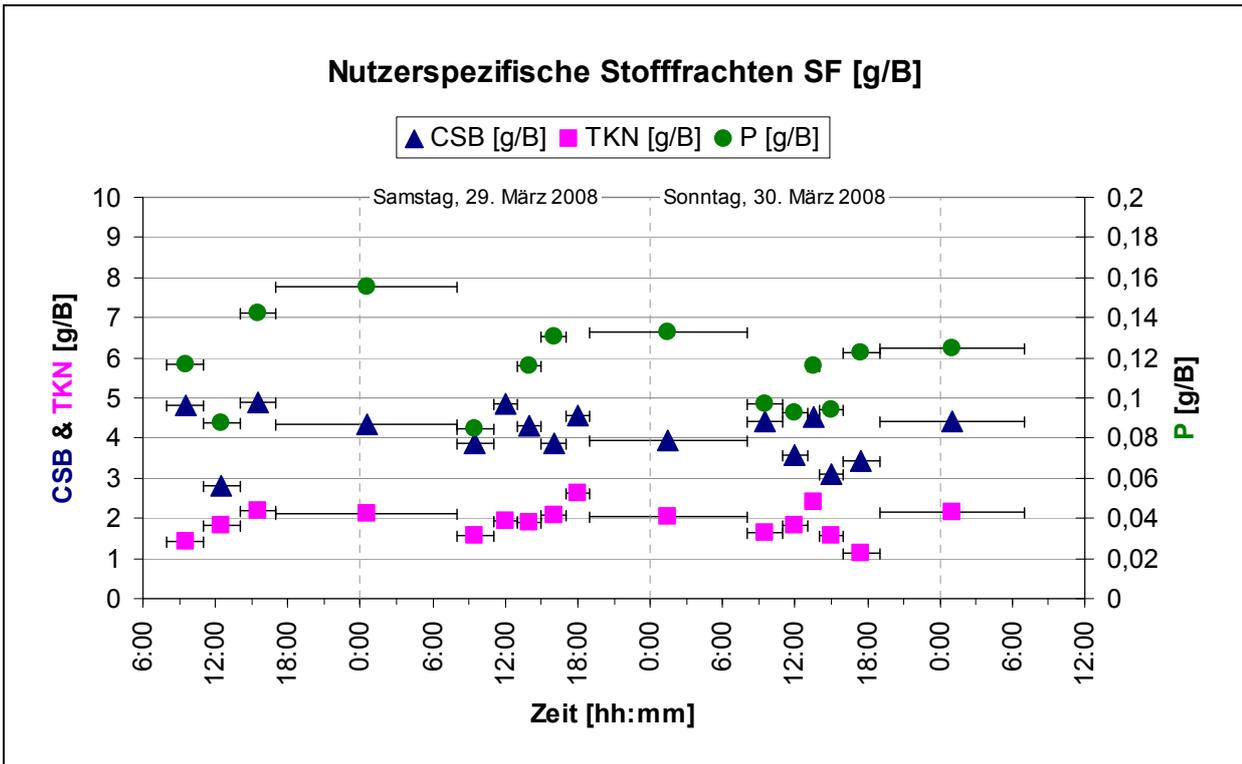


Abbildung 7-22: Nutzerspezifische Stofffrachten der PWC-Anlage Belvedere im Zeitraum der Untersuchung U02: zeitliche Schwankungen (oben) und Vorkommen (unten)

Settel U03

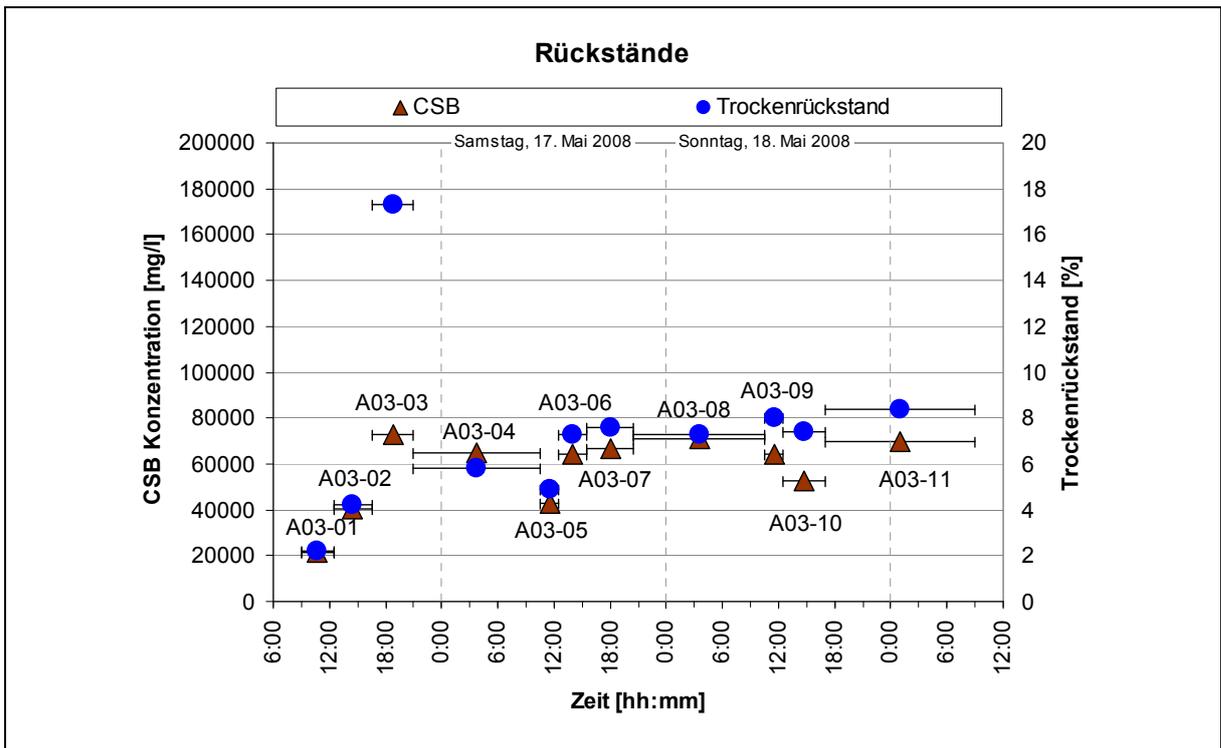
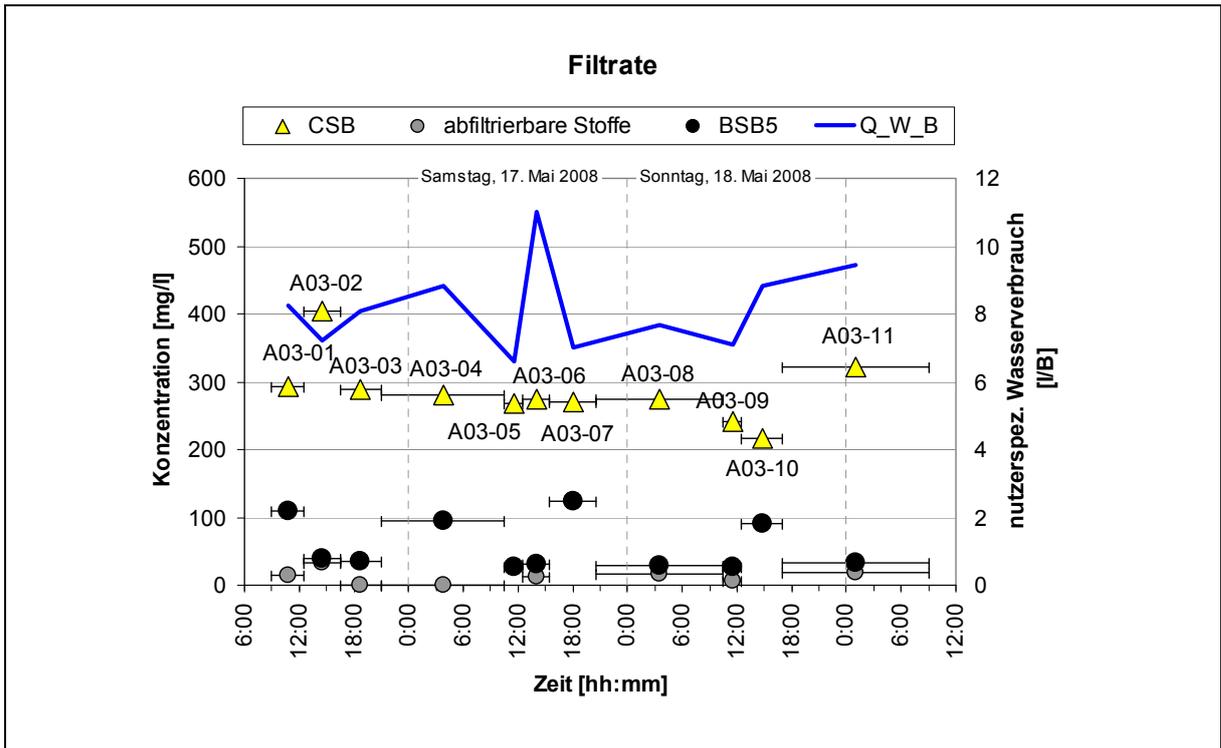


Abbildung 7-23: Konzentrationen ausgewählter Parameter im Abwasser der PWC-Anlage Settel im Zeitraum der Untersuchung U03; differenziert nach Filtrat (oben) und Filtrerrückstand (unten)

Settel U03

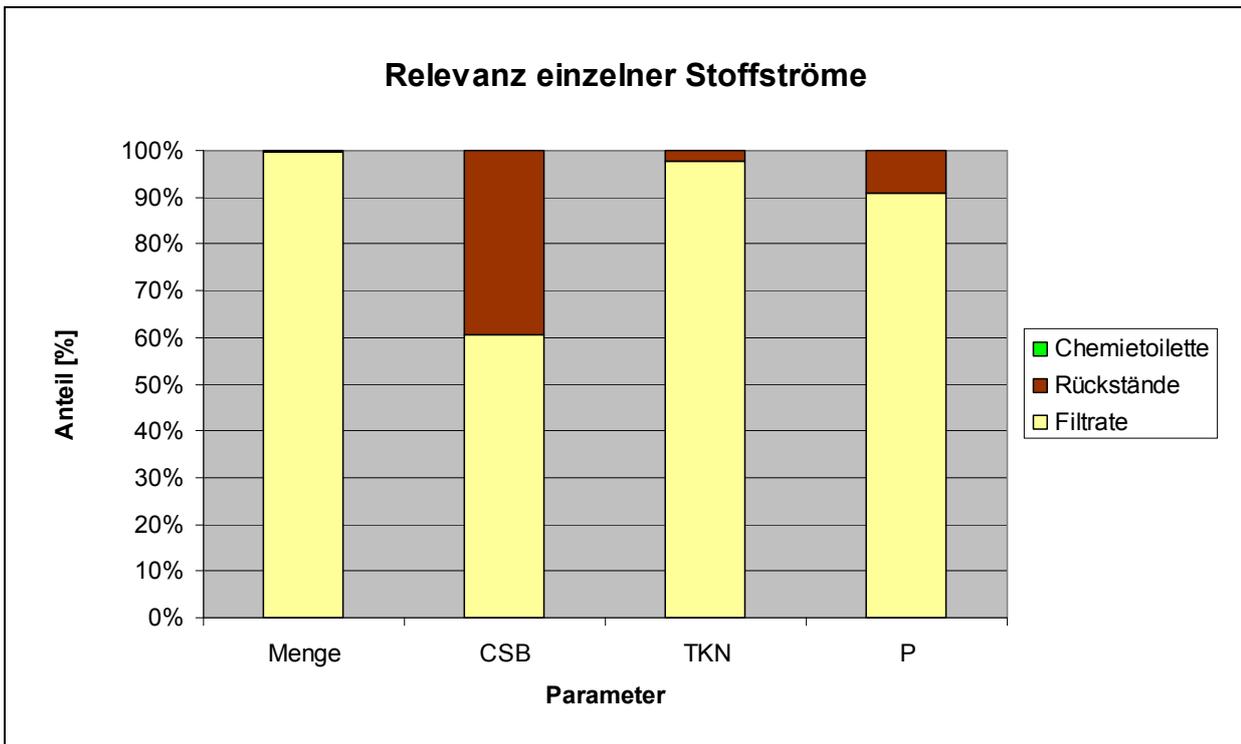
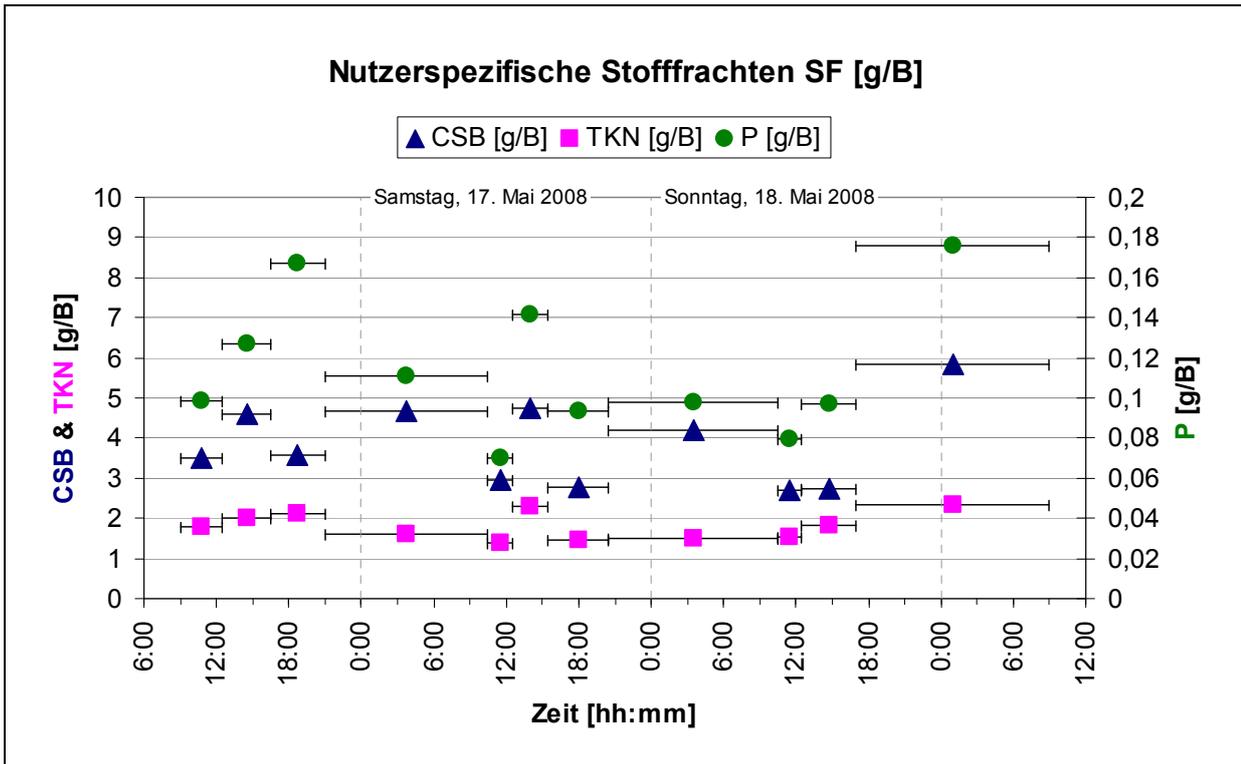


Abbildung 7-24: Nutzerspezifische Stofffrachten der PWC-Anlage Settel im Zeitraum der Untersuchung U03: zeitliche Schwankungen (oben) und Vorkommen (unten)

Settel U04

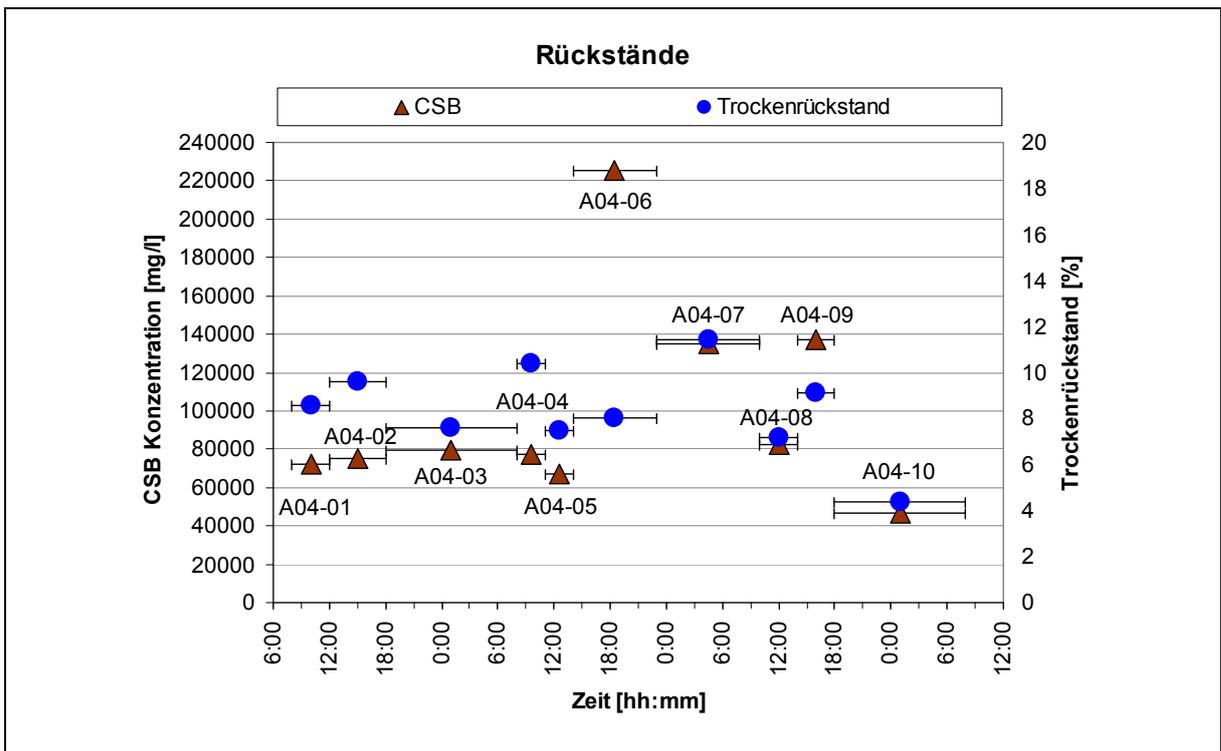
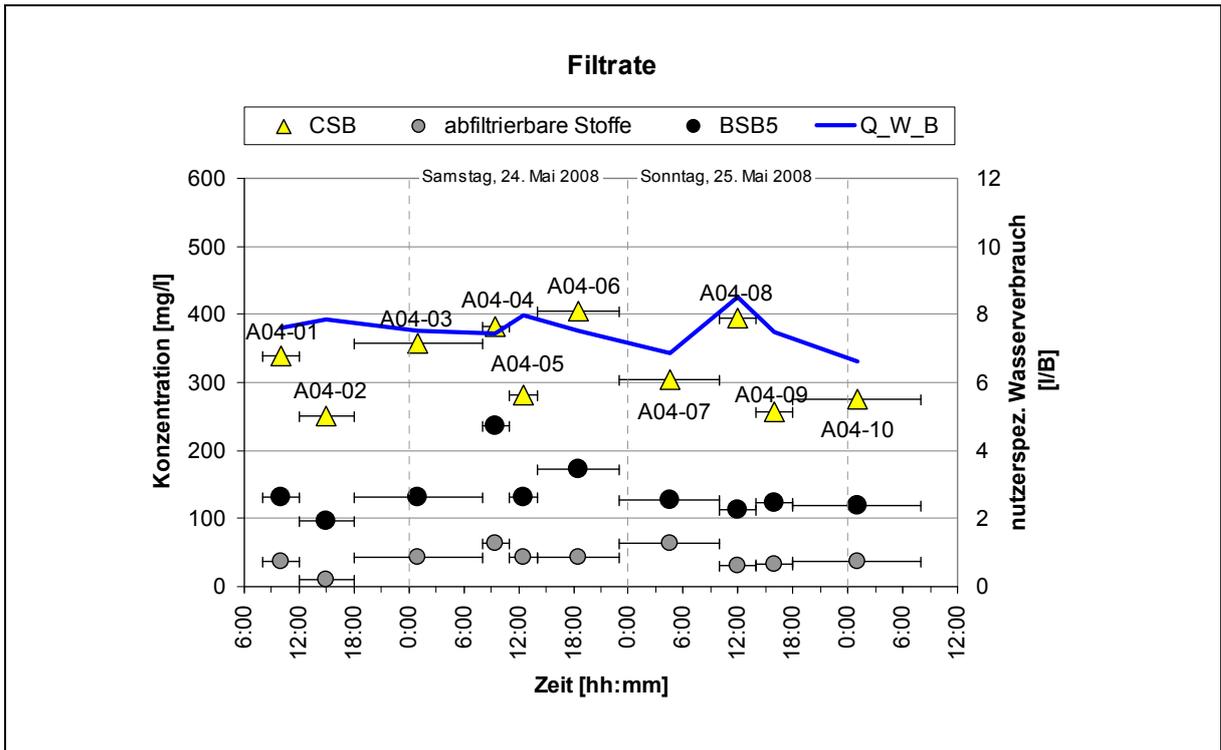


Abbildung 7-25: Konzentrationen ausgewählter Parameter im Abwasser der PWC-Anlage Settel im Zeitraum der Untersuchung U04; differenziert nach Filtrat (oben) und Filterrückstand (unten)

Settel U04

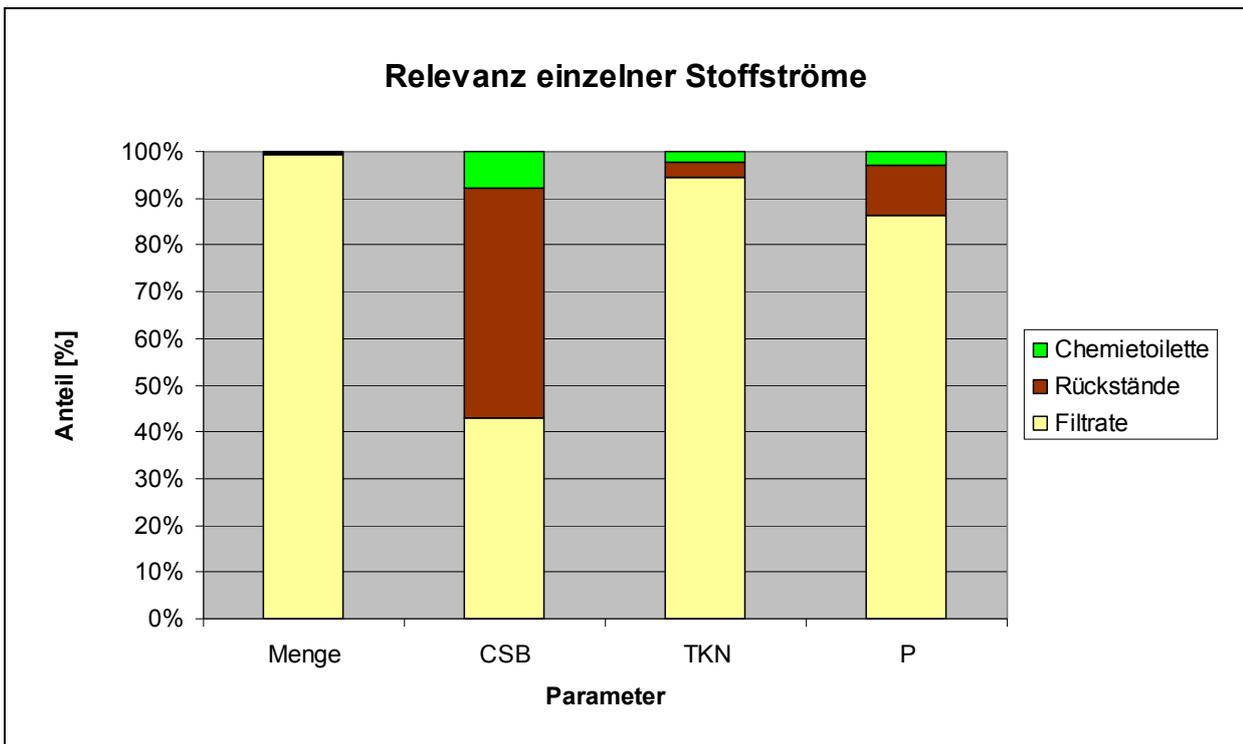
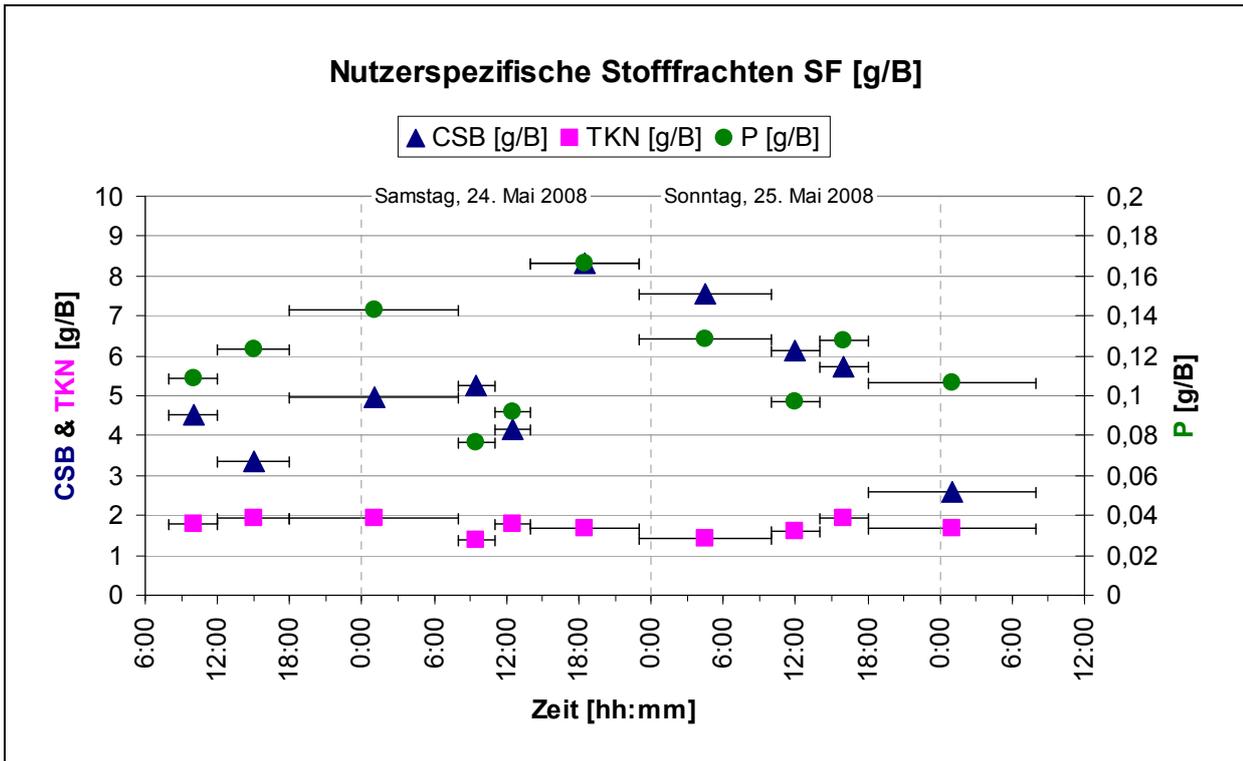


Abbildung 7-26: Nutzerspezifische Stofffrachten der PWC-Anlage Settel im Zeitraum der Untersuchung U04: zeitliche Schwankungen (oben) und Vorkommen (unten)

Klockow U05

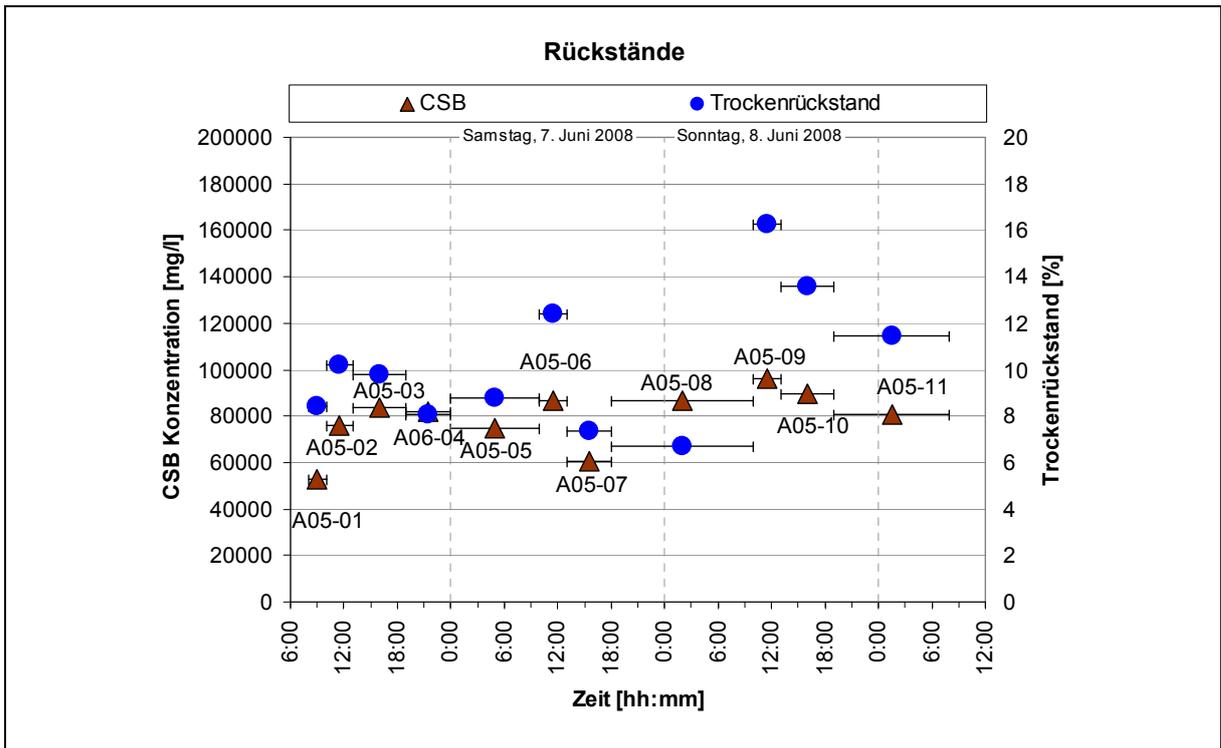
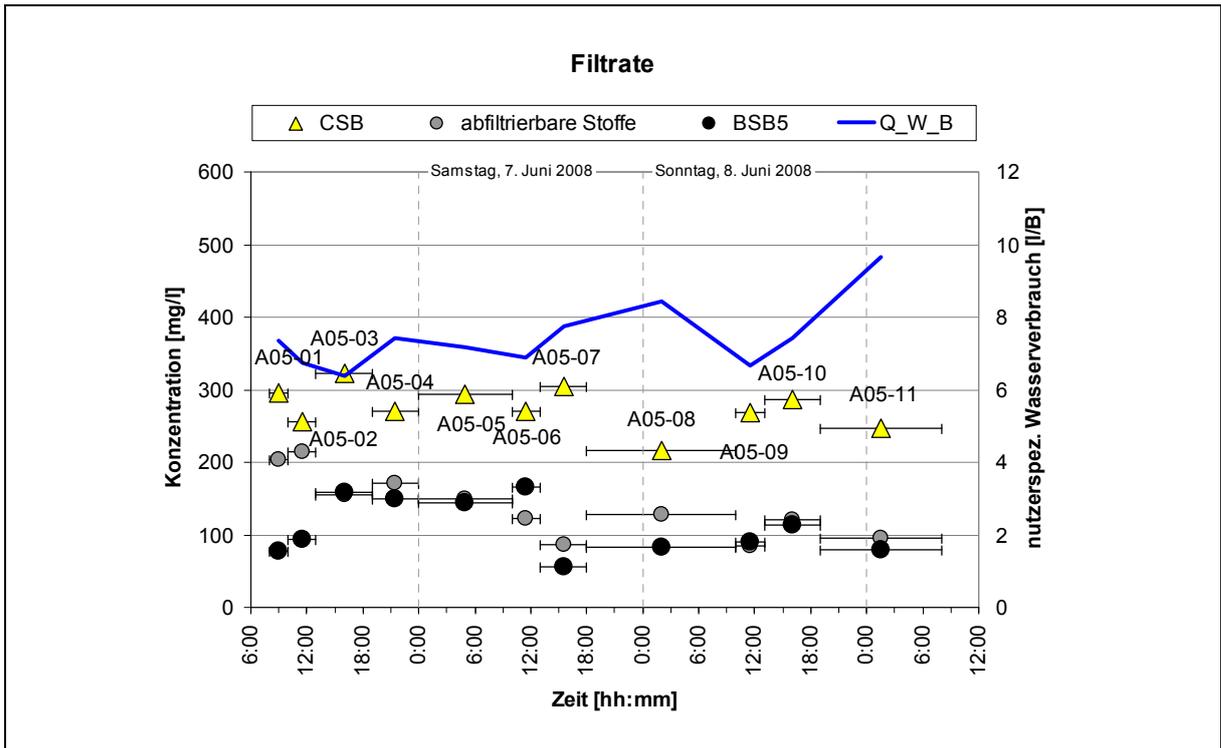


Abbildung 7-27: Konzentrationen ausgewählter Parameter im Abwasser der PWC-Anlage Klockow im Zeitraum der Untersuchung U05; differenziert nach Filtrat (oben) und Filtrerrückstand (unten)

Klockow U05

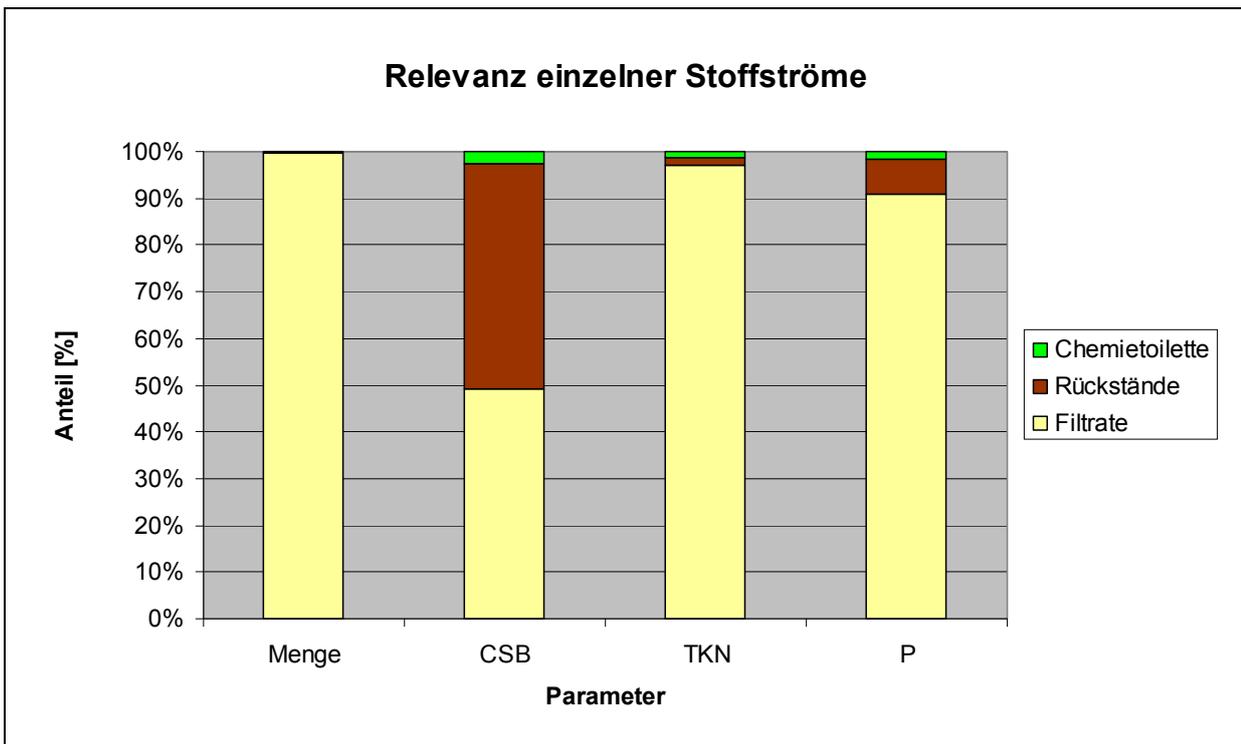
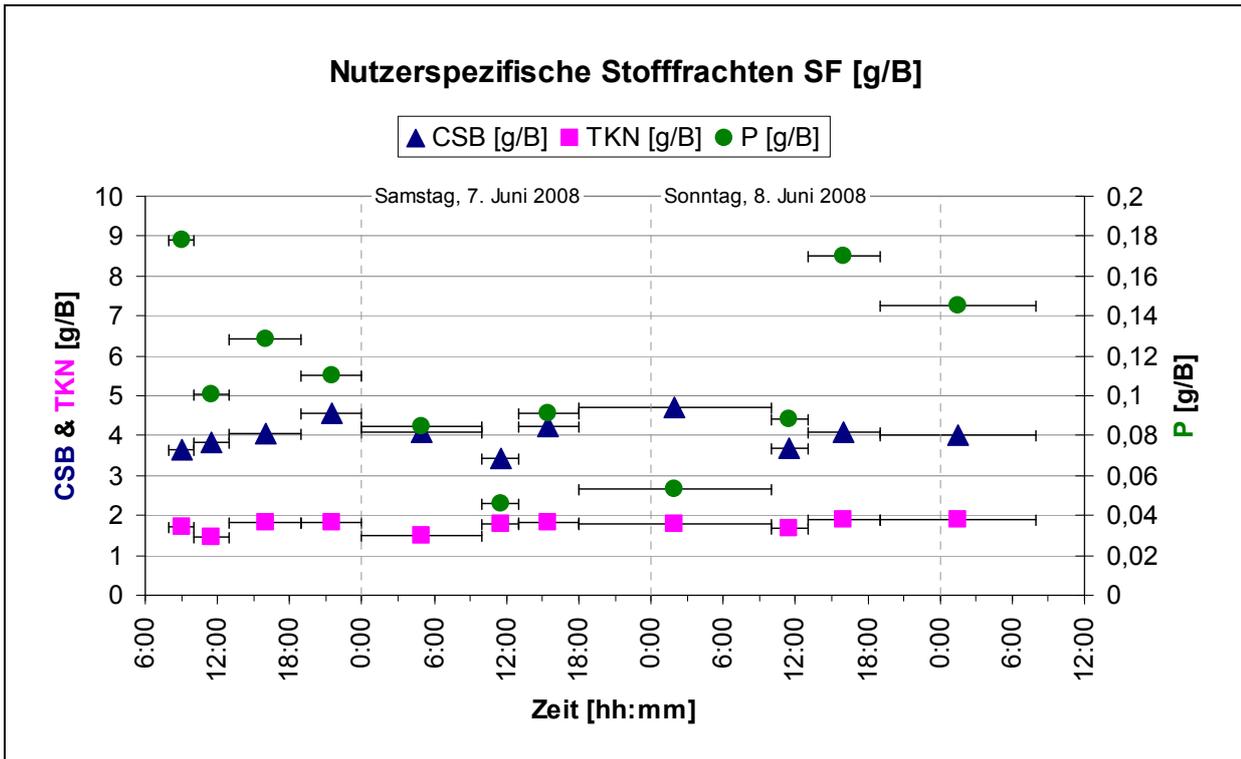


Abbildung 7-28: Nutzerspezifische Stofffrachten der PWC-Anlage Klockow im Zeitraum der Untersuchung U05: zeitliche Schwankungen (oben) und Vorkommen (unten)

Klockow U06

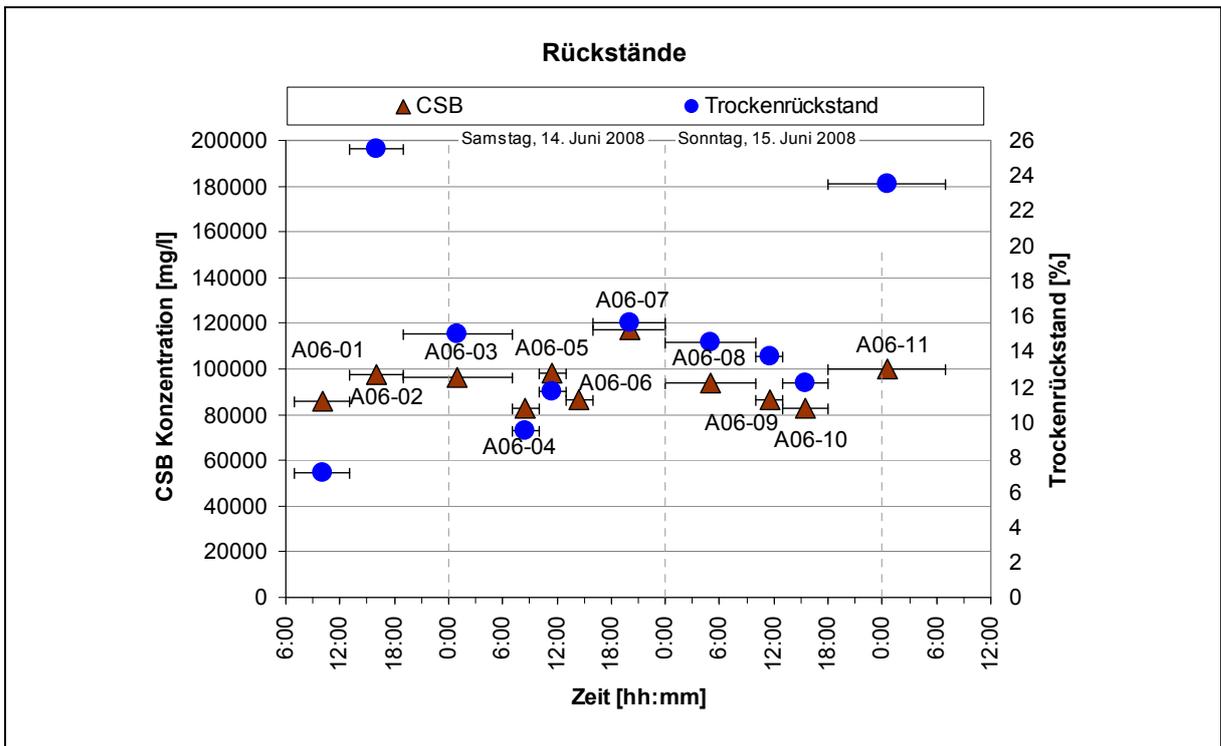
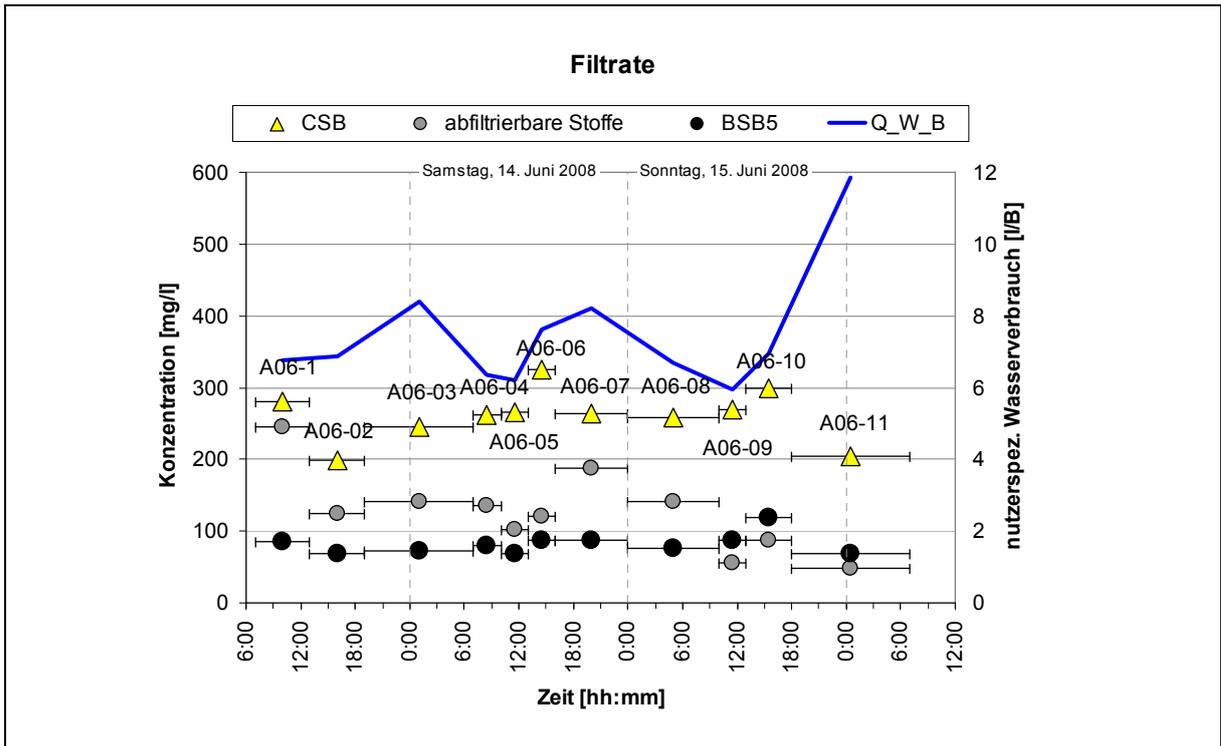


Abbildung 7-29: Konzentrationen ausgewählter Parameter im Abwasser der PWC-Anlage Klockow im Zeitraum der Untersuchung U06; differenziert nach Filtrat (oben) und Filtrerrückstand (unten)

Klockow U06

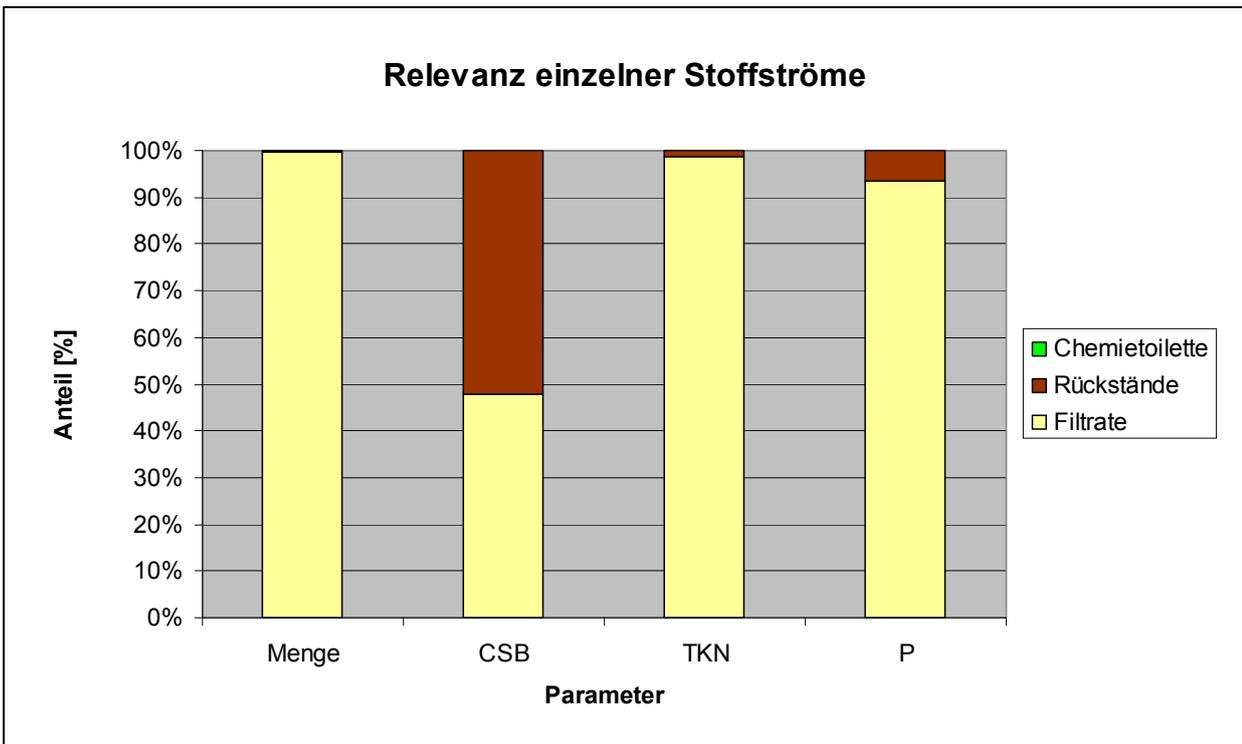
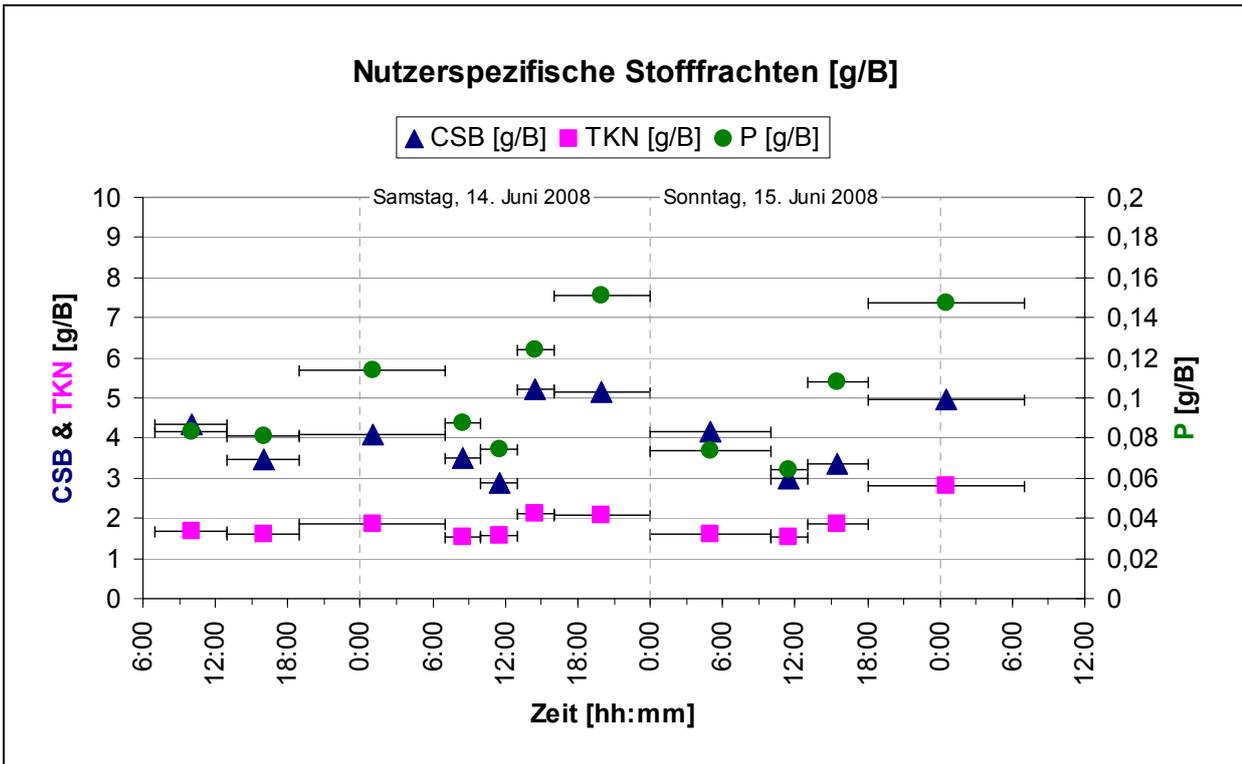


Abbildung 7-30: Nutzerspezifische Stofffrachten der PWC-Anlage Klockow im Zeitraum der Untersuchung U06: zeitliche Schwankungen (oben) und Vorkommen (unten)

Peenetal U07

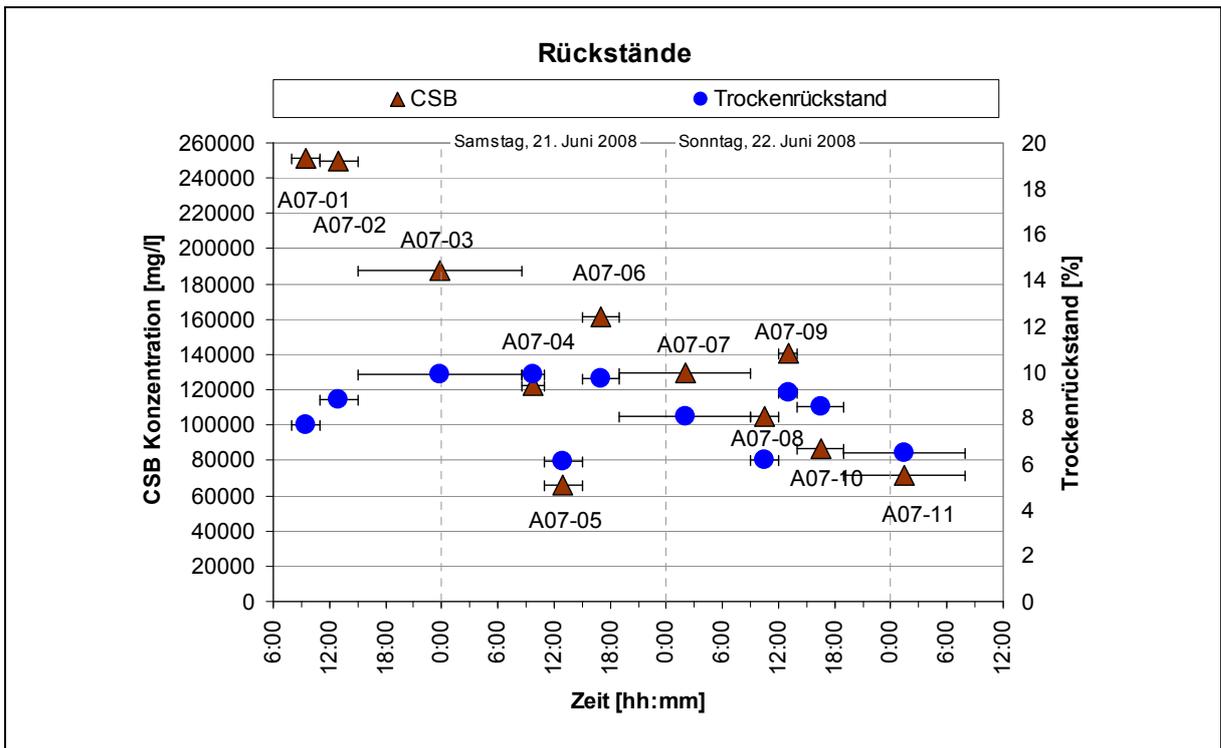
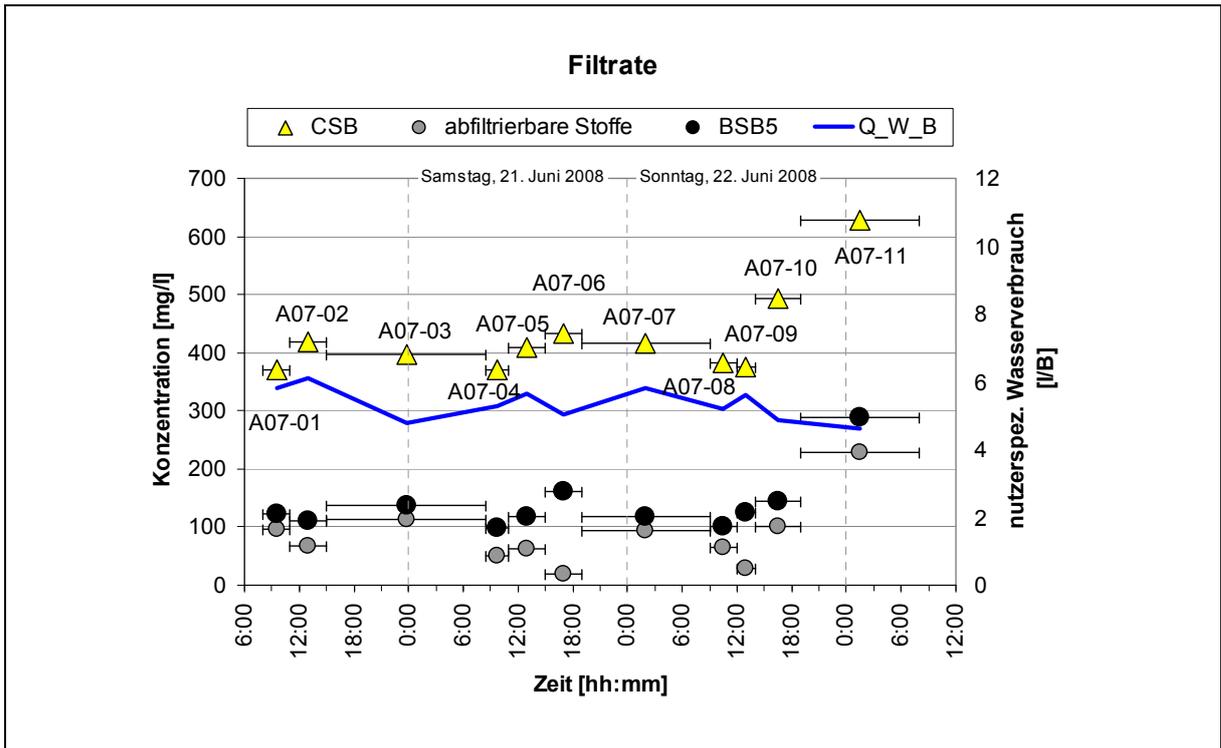


Abbildung 7-31: Konzentrationen ausgewählter Parameter im Abwasser der PWC-Anlage Peenetal im Zeitraum der Untersuchung U07; differenziert nach Filtrat (oben) und Filtrerrückstand (unten)

Peenetal U07

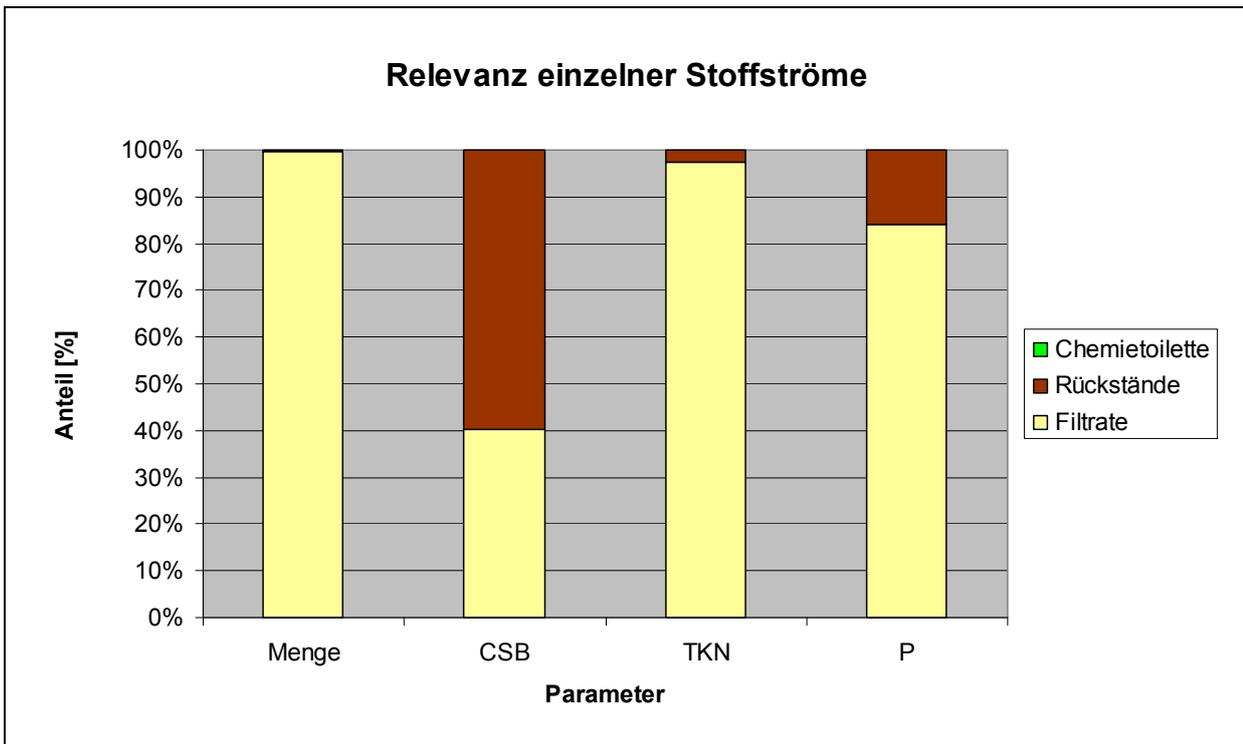
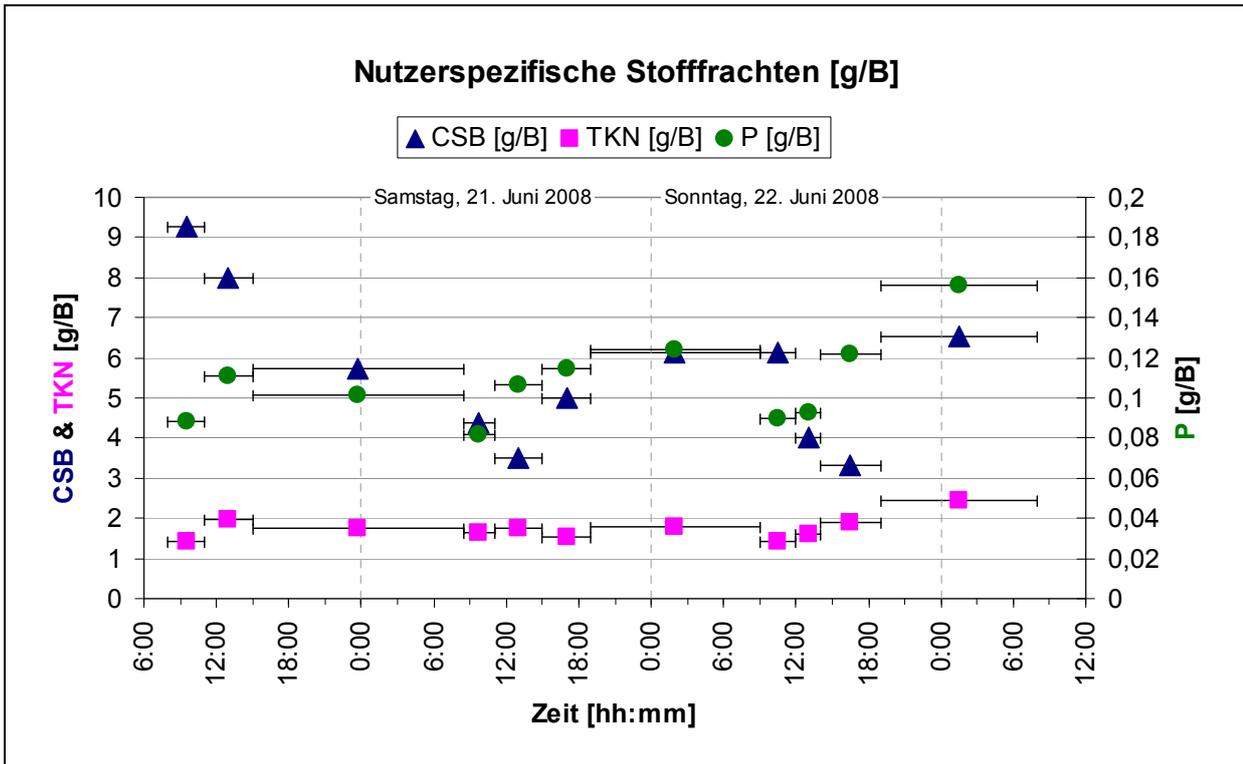


Abbildung 7-32: Nutzerspezifische Stofffrachten der PWC-Anlage Peenetal im Zeitraum der Untersuchung U07: zeitliche Schwankungen (oben) und Vorkommen (unten)

Moosburger Au U09

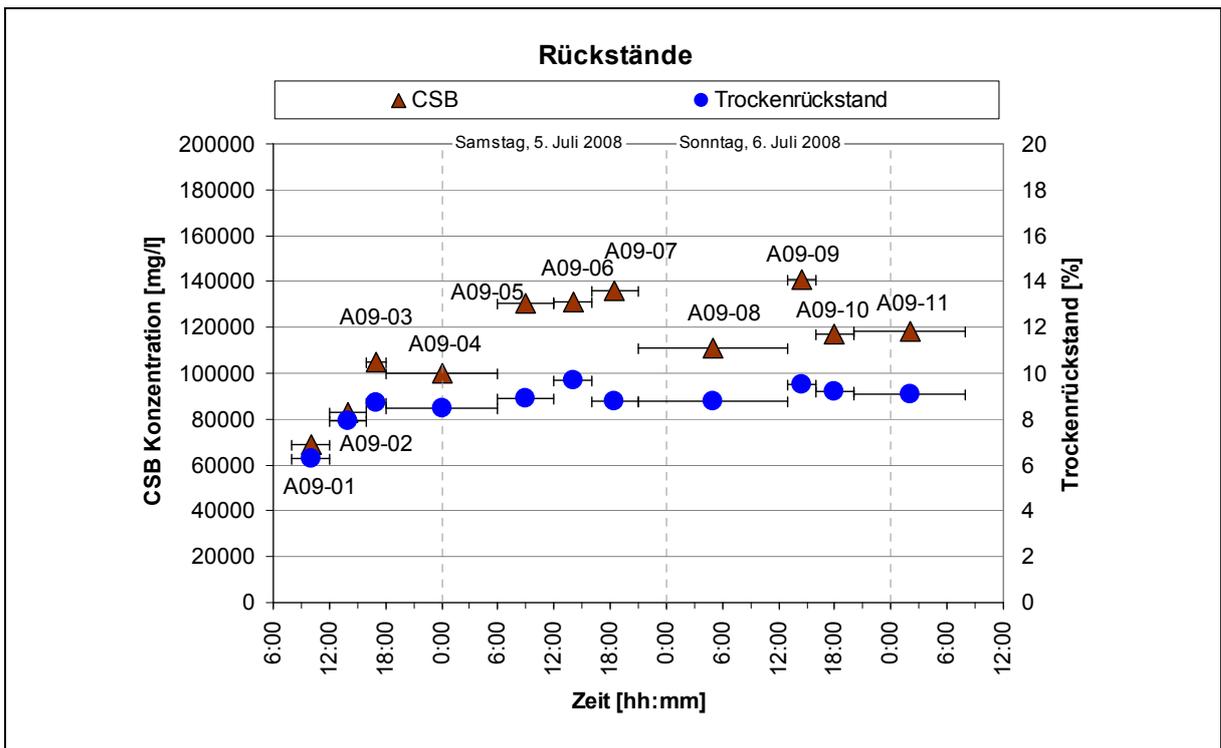
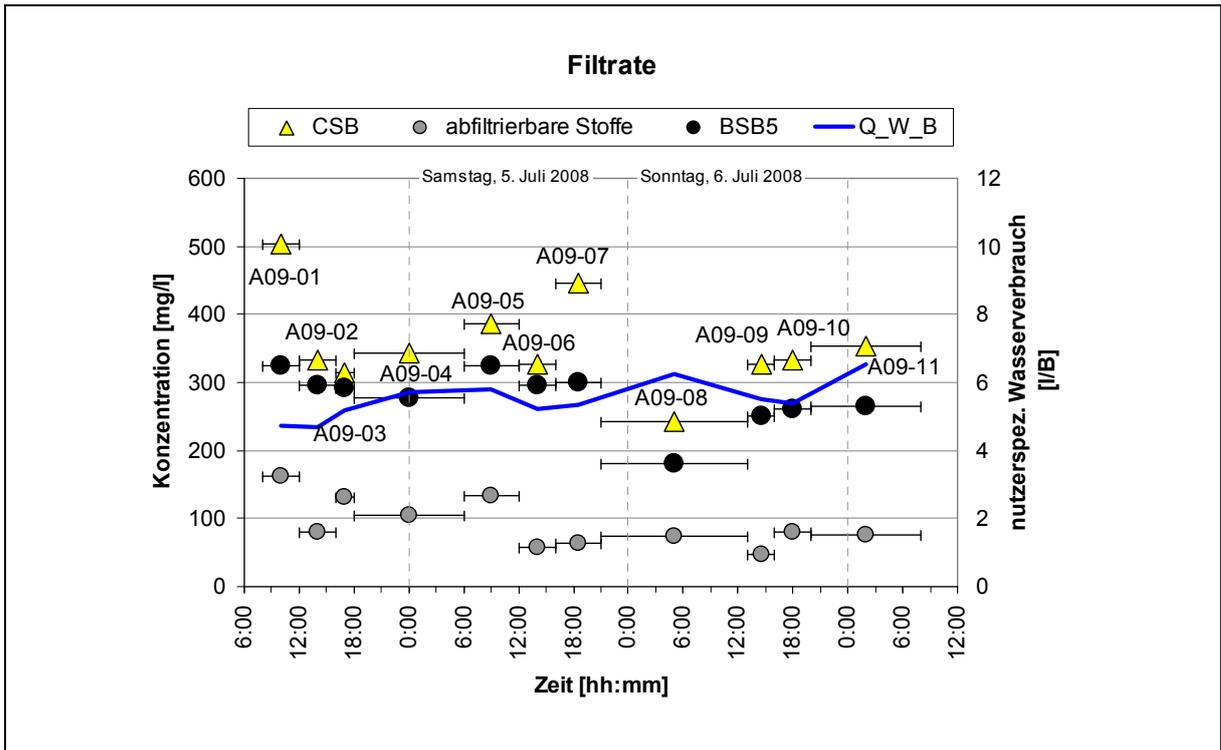


Abbildung 7-33: Konzentrationen ausgewählter Parameter im Abwasser der PWC-Anlage Moosburger Au im Zeitraum der Untersuchung U09; differenziert nach Filtrat (oben) und Filtrerrückstand (unten)

Moosburger Au U09

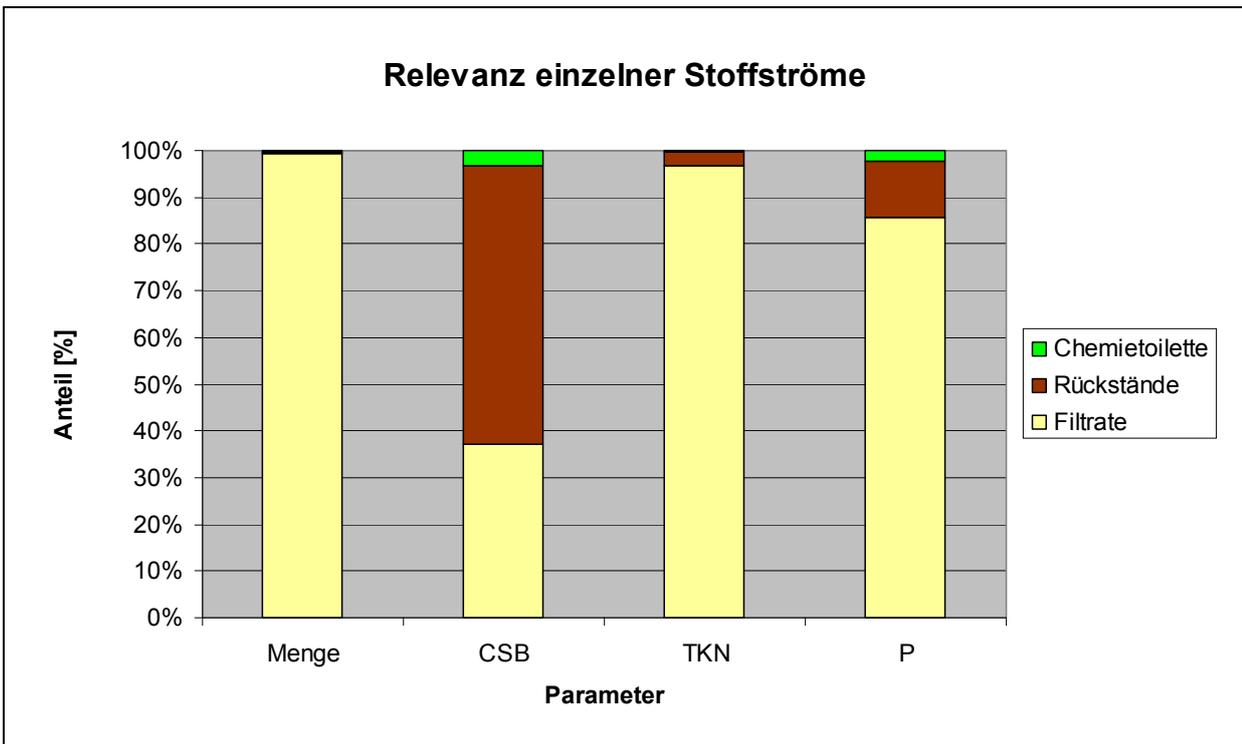
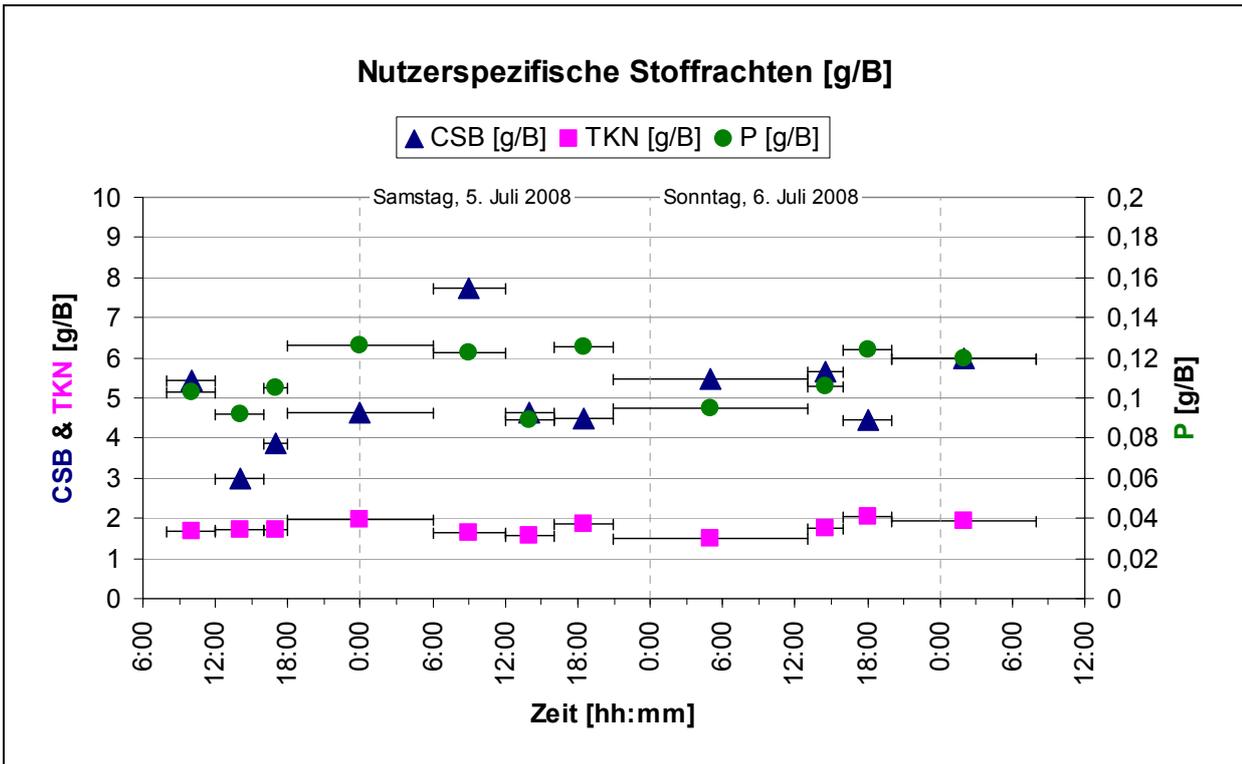


Abbildung 7-34: Nutzerspezifische Stofffrachten der PWC-Anlage Moosburger Au im Zeitraum der Untersuchung U09: zeitliche Schwankungen (oben) und Vorkommen (unten)

Moosburger Au U10

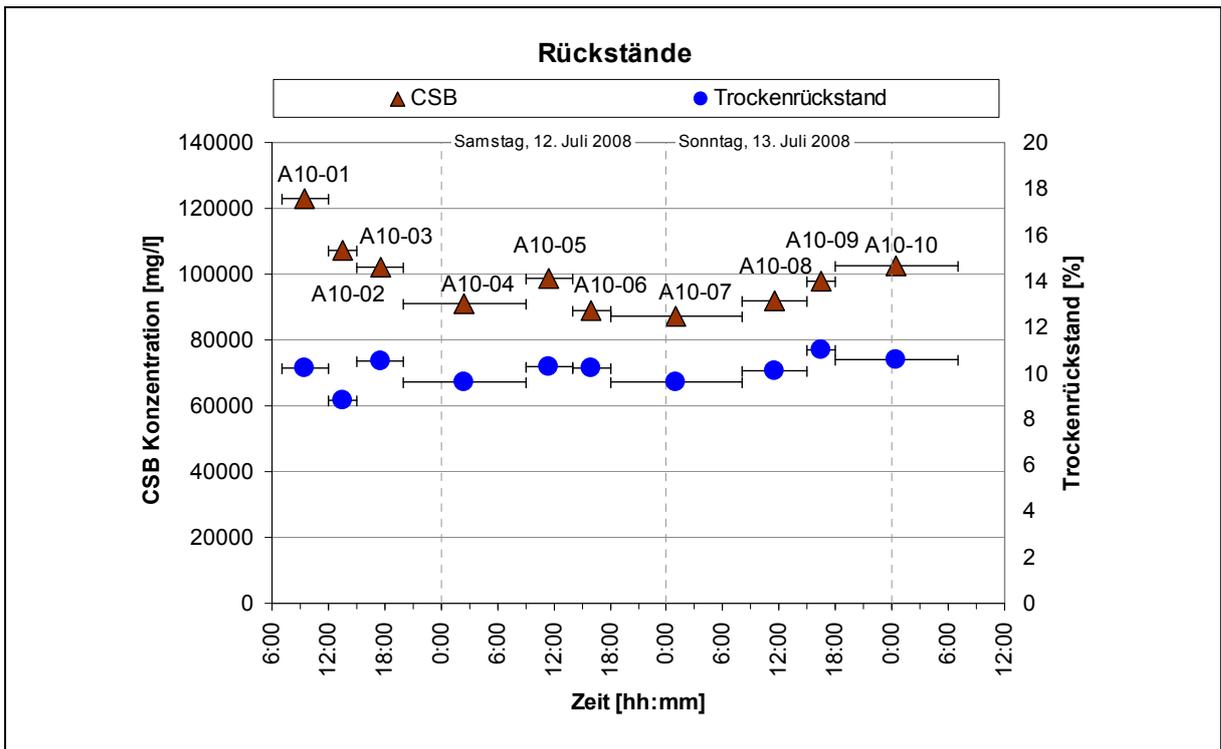
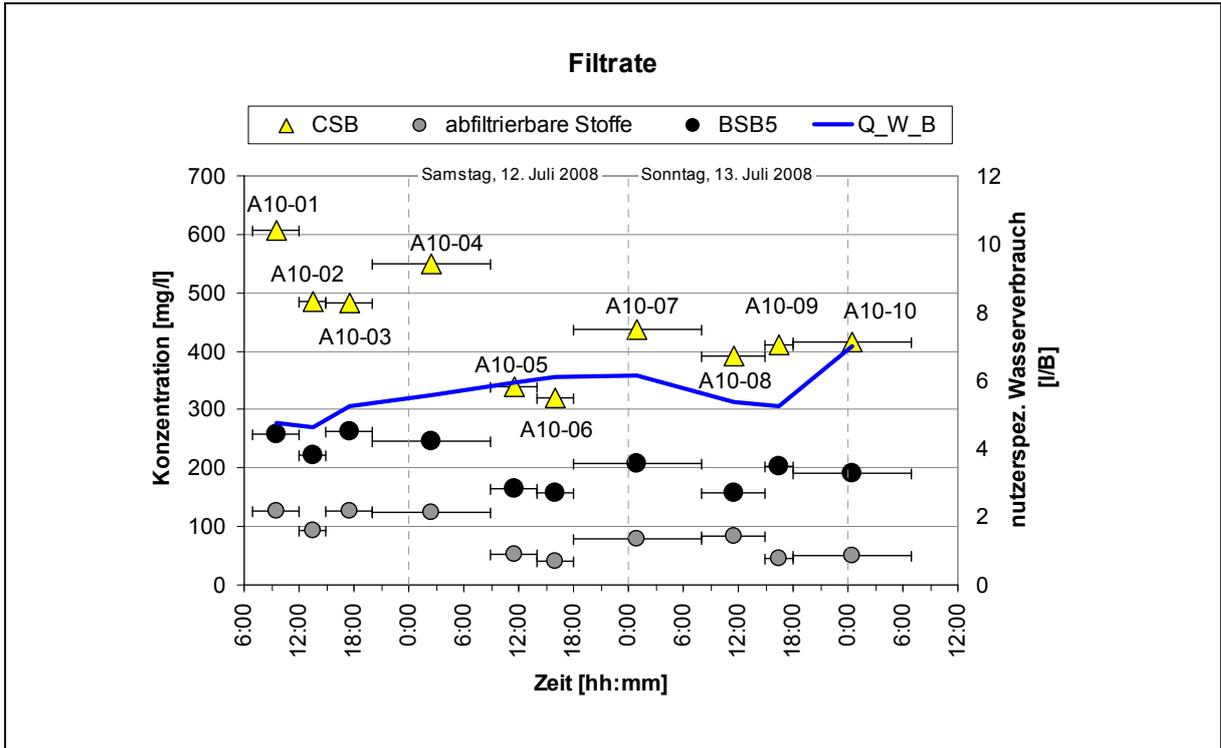


Abbildung 7-35: Konzentrationen ausgewählter Parameter im Abwasser der PWC-Anlage Moosburger Au im Zeitraum der Untersuchung U10; differenziert nach Filtrat (oben) und Filtrerrückstand (unten)

Moosburger Au U10

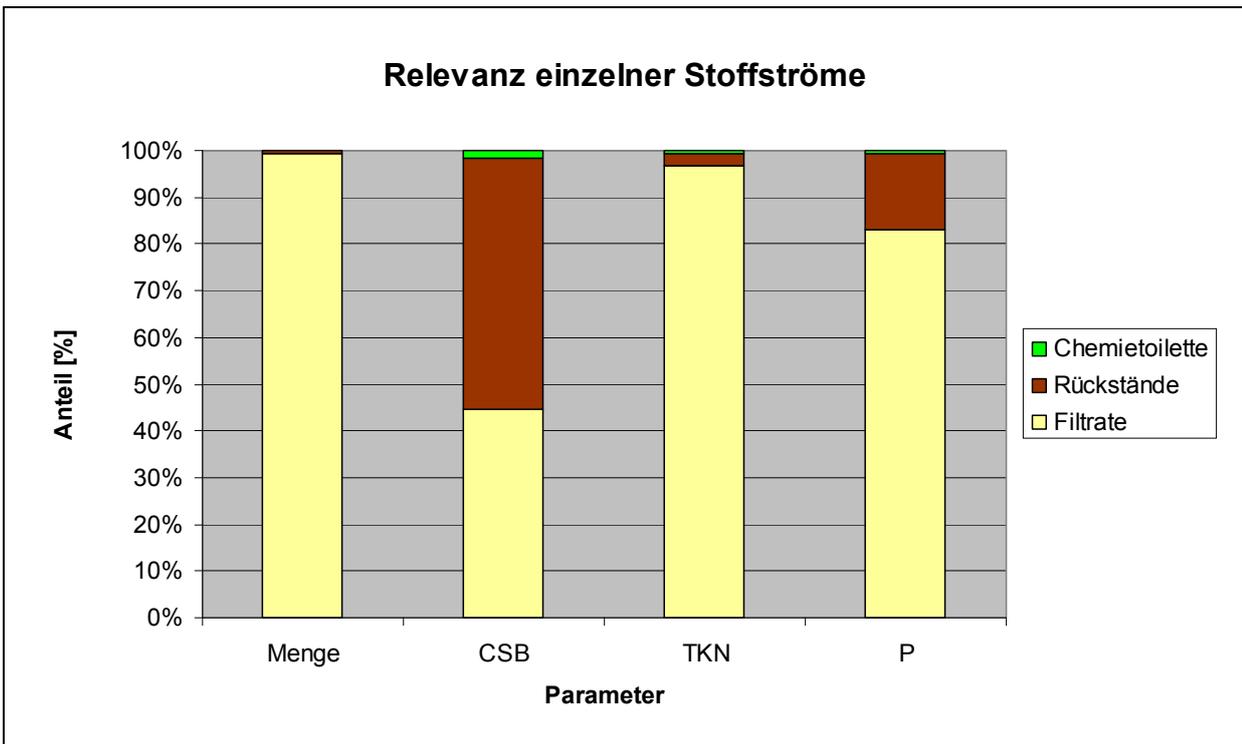
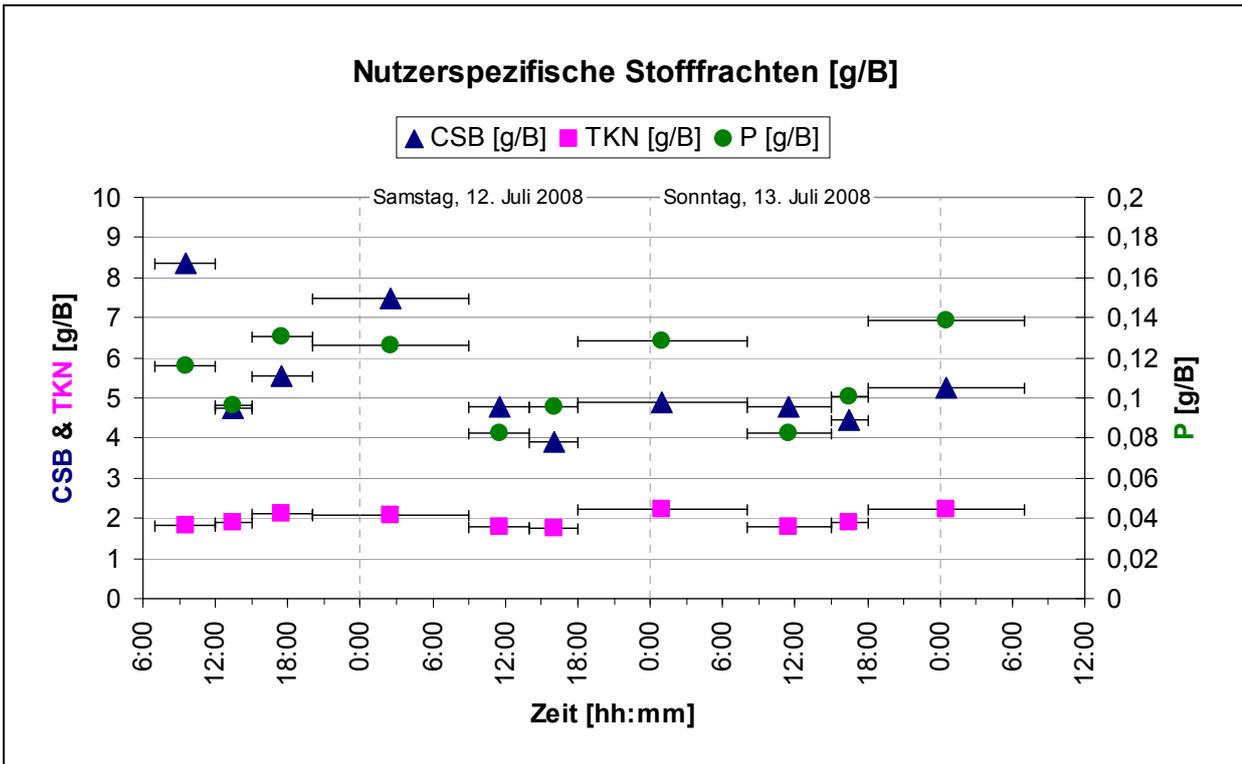


Abbildung 7-36: Nutzerspezifische Stofffrachten der PWC-Anlage Moosburger Au im Zeitraum der Untersuchung U10: zeitliche Schwankungen (oben) und Vorkommen (unten)

Adlersberg U11

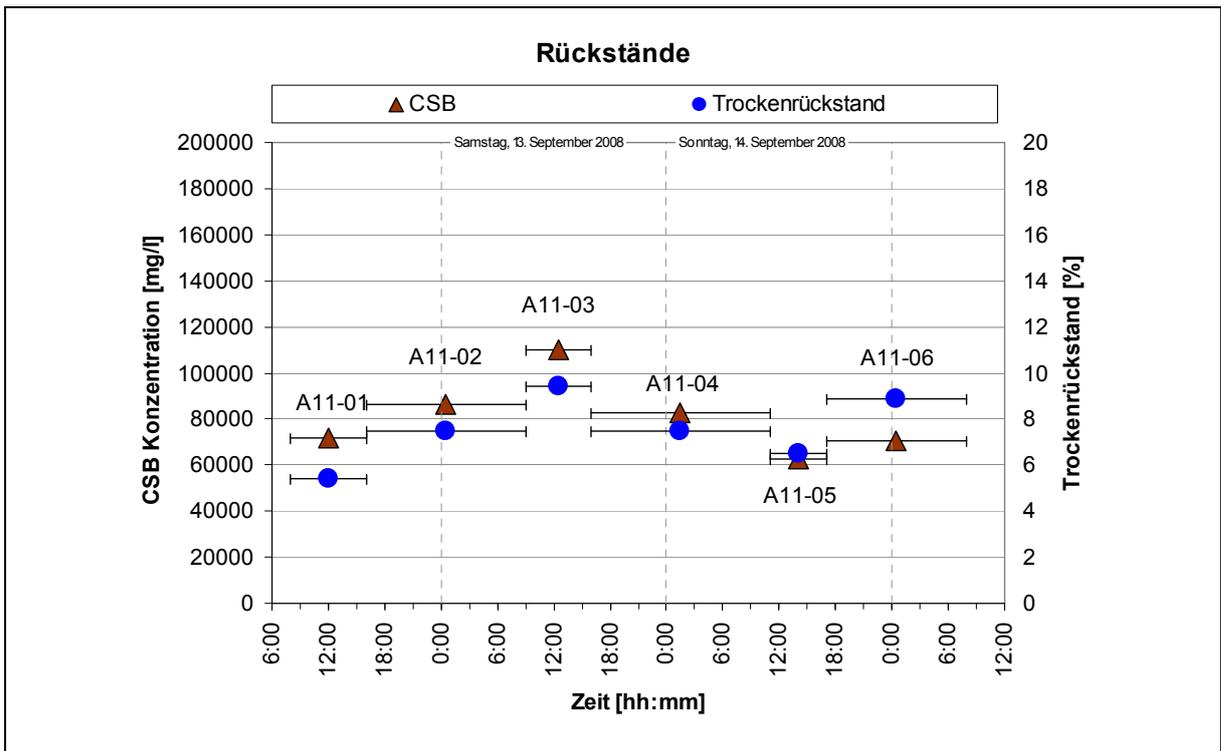
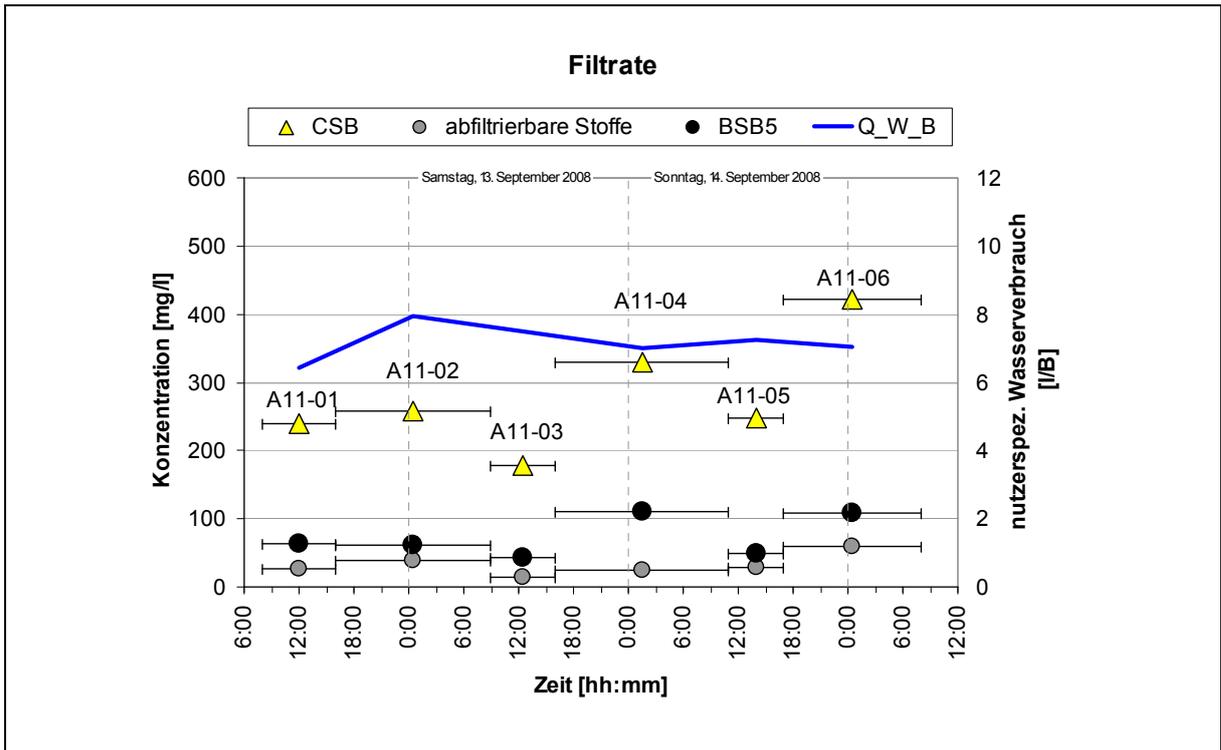


Abbildung 7-37: Konzentrationen ausgewählter Parameter im Abwasser der PWC-Anlage Adlersberg im Zeitraum der Untersuchung U11; differenziert nach Filtrat (oben) und Filtrerrückstand (unten)

Adlersberg U11

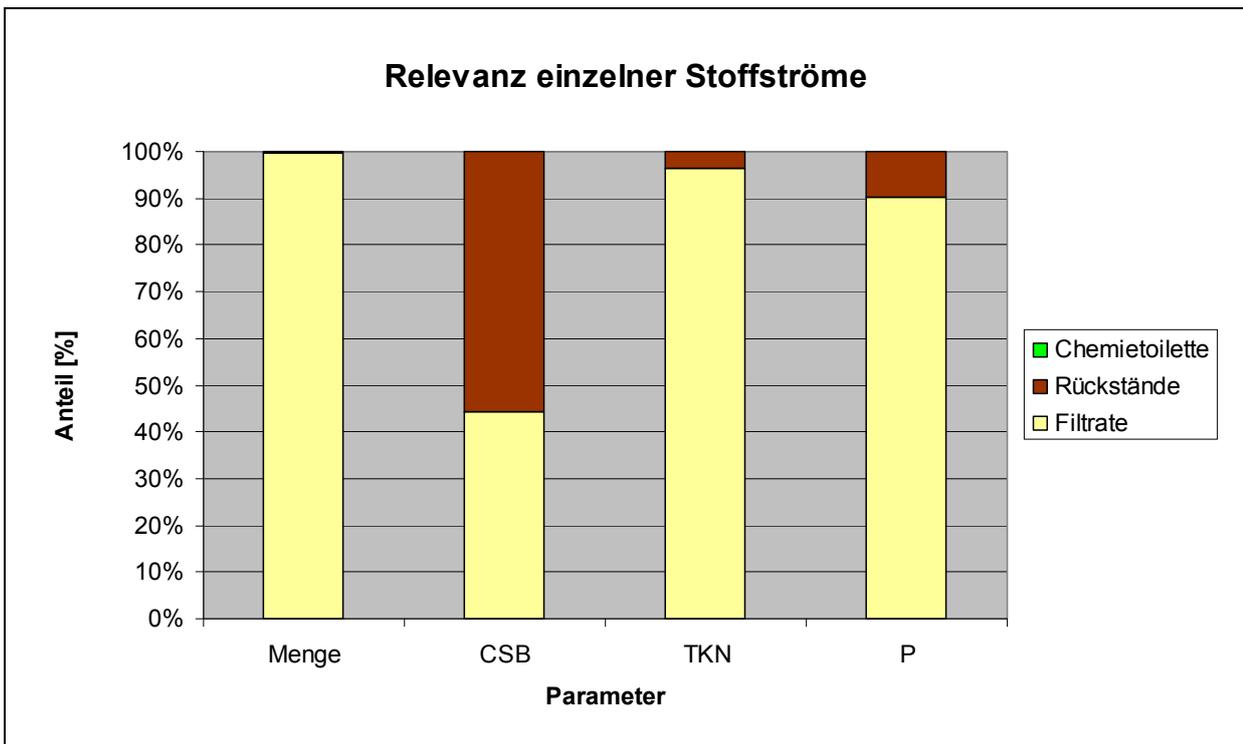
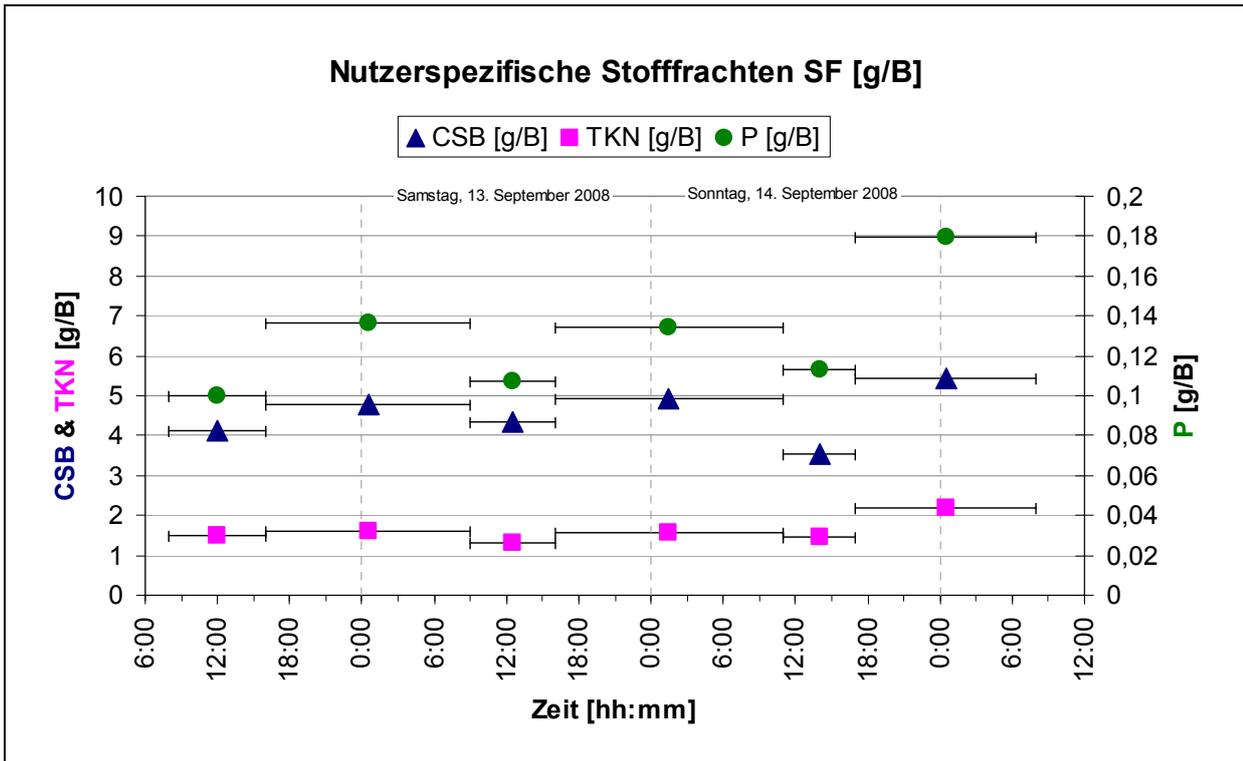


Abbildung 7-38: Nutzerspezifische Stofffrachten der PWC-Anlage Adlersberg im Zeitraum der Untersuchung U11: zeitliche Schwankungen (oben) und Vorkommen (unten)

Adlersberg U12

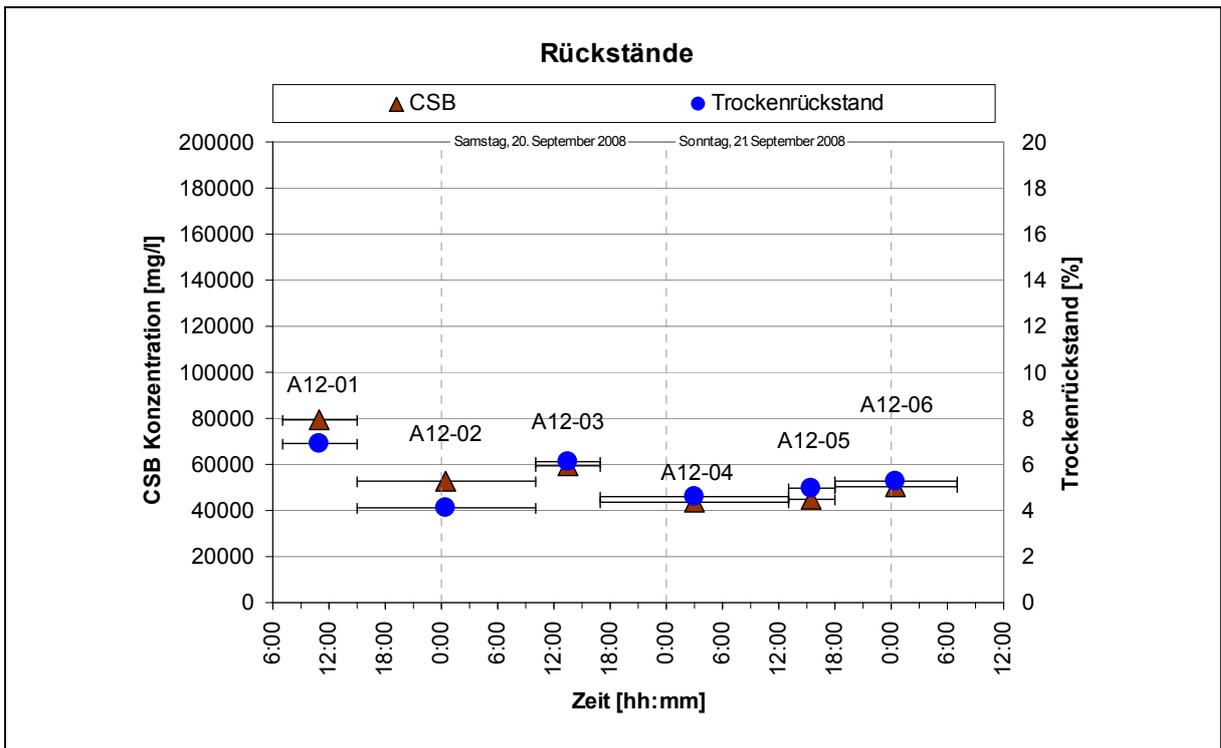
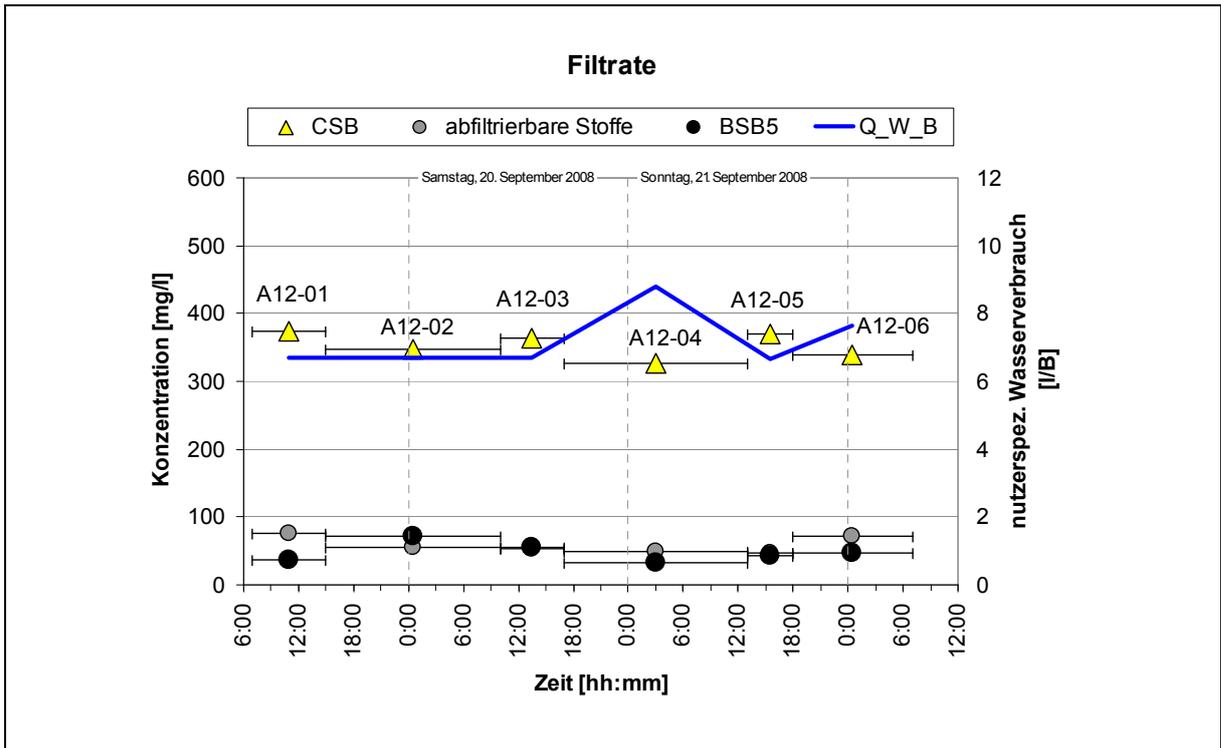


Abbildung 7-39: Konzentrationen ausgewählter Parameter im Abwasser der PWC-Anlage Adlersberg im Zeitraum der Untersuchung U12; differenziert nach Filtrat (oben) und Filtrerrückstand (unten)

Adlersberg U12

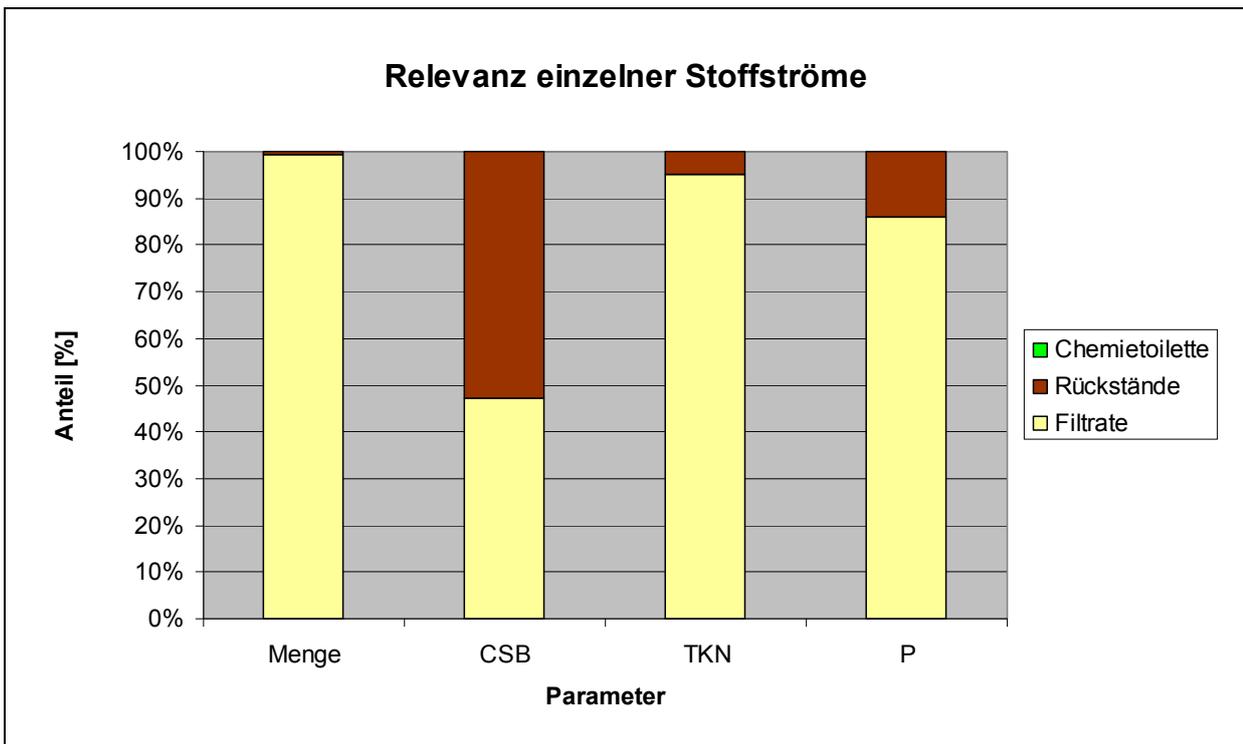
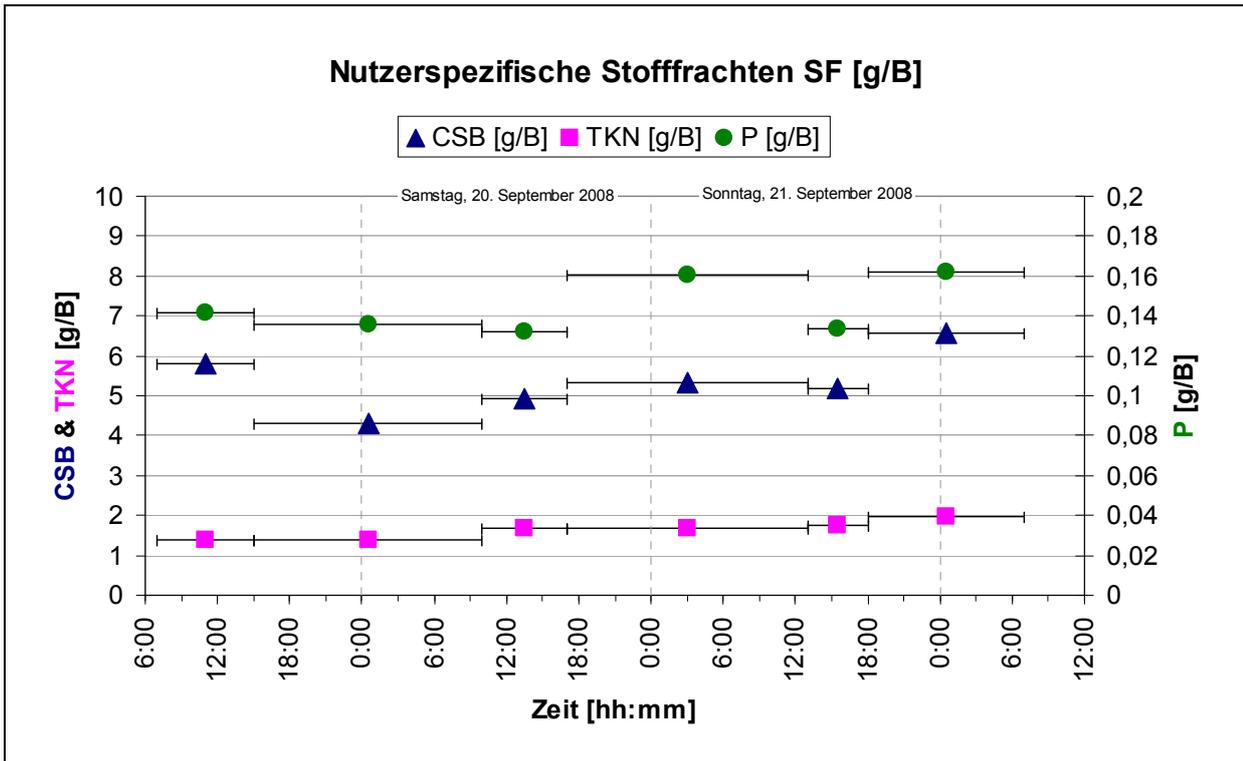


Abbildung 7-40: Nutzerspezifische Stofffrachten der PWC-Anlage Adlersberg im Zeitraum der Untersuchung U12: zeitliche Schwankungen (oben) und Vorkommen (unten)

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB):

Die Ergebnisse der Untersuchung 08 Peenetal sind denen aller anderen Untersuchungen sehr ähnlich. Wie aus Abbildung 7-41 hervorgeht, traten bei jeder Untersuchung starke Schwankungen bezüglich der nutzerspezifischen CSB-Frachten auf. Es wurden Werte von 2,1 bis 9,3 g CSB/B registriert, die somit deutlich höher als der Erwartungswert von 2,3 g CSB/B liegen (vgl. Tabelle 3-2, S. 13). Dafür kann der hohe Anteil von Toilettenpapier und sonstigen organischen Abfällen im Abwasser verantwortlich gemacht werden. Grundsätzlich muss unterstellt werden, dass die PWC Benutzer deutlich mehr Toilettenpapier als im privaten Bereich verbrauchen. Dass bei den Untersuchungen im Durchschnitt 50 % der CSB-Fracht im Filtrerrückstand nachgewiesen wurde, unterstreicht die Relevanz dieser Problematik. Von Bedeutung für die Praxis ist diese Feststellung insofern, als mit einer effektiven Fest- und Grobstoffabscheidung eben diese Fracht im Rahmen der Vorbehandlung abgeschieden werden kann.

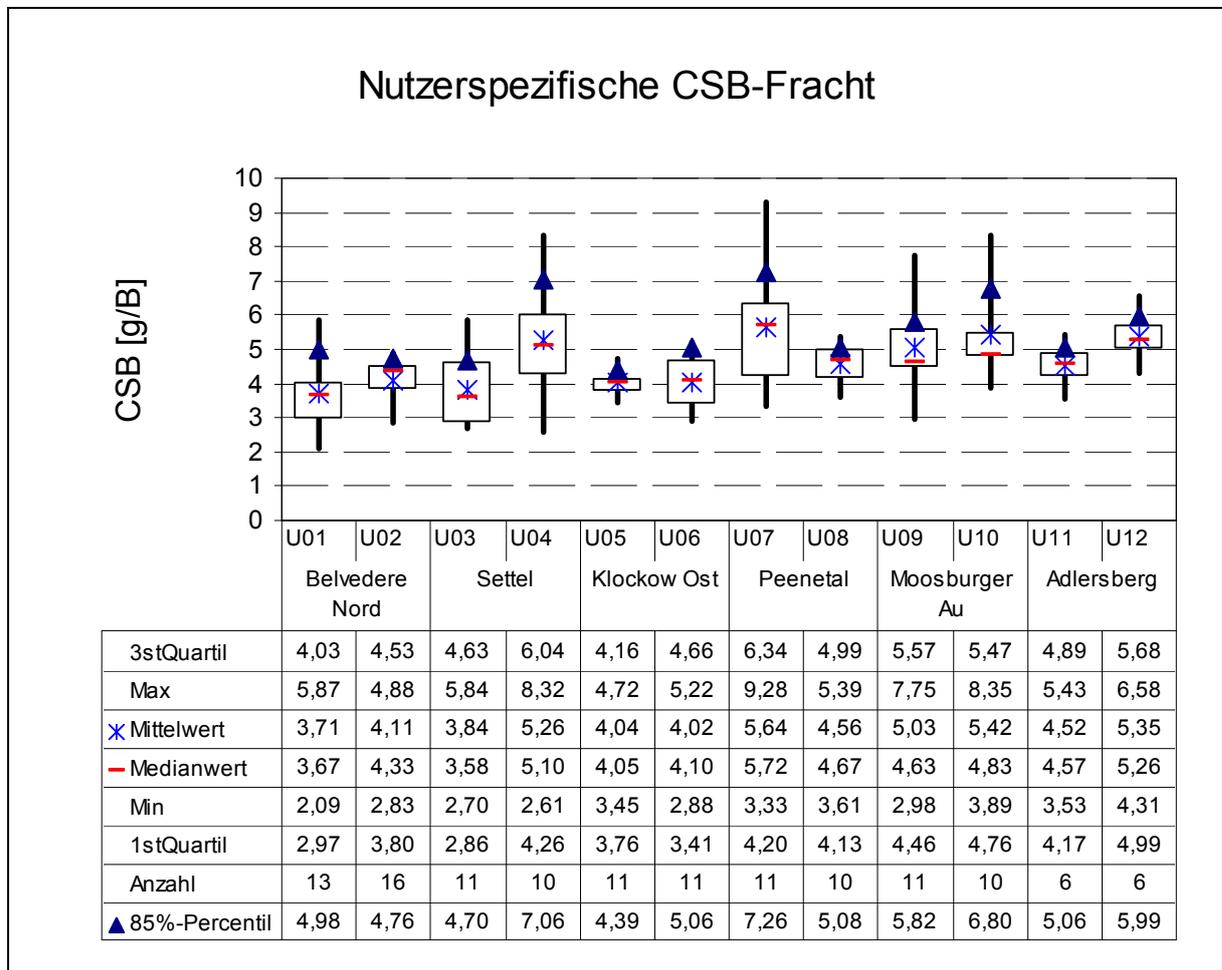


Abbildung 7-41: Nutzerspezifische CSB-Frachten aller Untersuchungen im Überblick

Angeichts der stark streuenden Werte sollte die nutzerspezifische CSB-Fracht auf das 85 %-Percentil bezogen werden. Das 85 %-Percentil aller Proben liegt bei **5,56 g CSB/B**. Dieser Wert kann als Ansatz für eine Bemessung dienen.

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) im Filtrat:

In der Abbildung 7-42 sind die nutzerspezifischen CSB-Frachten im Filtrat dargestellt. Die Werte zeigen, dass etwas 50 % der Gesamtfracht im Filtrat analysiert wurde. Weiterhin ist auffällig, dass im Filtrat weniger Schwankungen auftraten. Nach einer effektiven Fest- und Grobstoffabscheidung kann die CSB-Fracht einerseits nahezu halbiert werden und andererseits auf einem relativ konstanten Wert gehalten werden. Der Wert für das 85 %-Percentil aller Proben liegt bei **2,61 g CSB/B**.

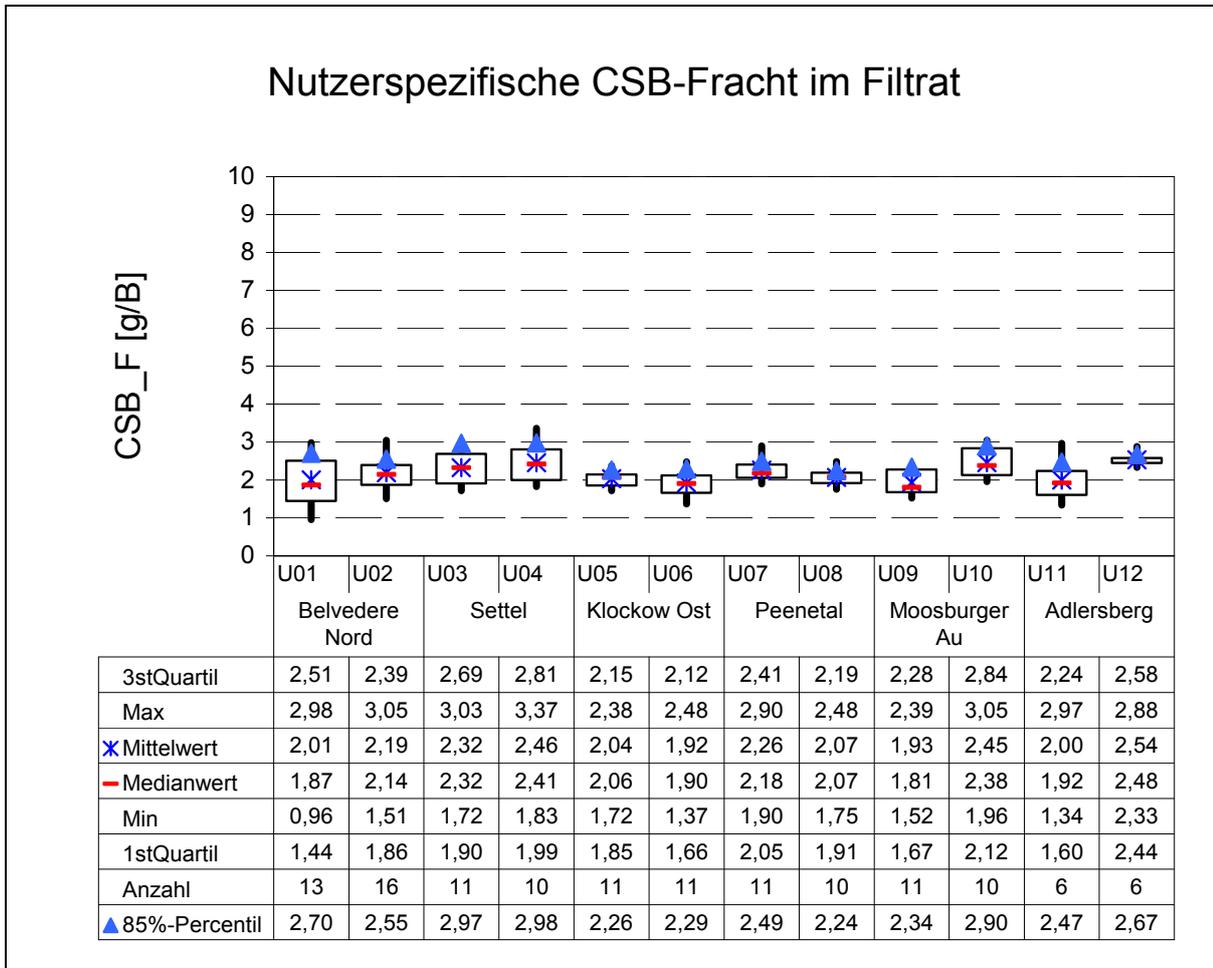


Abbildung 7-42: Nutzerspezifische CSB-Fracht im Filtrat aller Untersuchungen im Überblick

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) im Rückstand:

Die Abbildung 7-43 zeigt die CSB-Fracht im Filtrerrückstand über alle Untersuchungen. Im Gegensatz zu den CSB-Frachten im Filtrat, treten im Rückstand großer Schwankungen auf. Diese Schwankungen sind auch in der Übersicht zur CSB-Fracht im Gesamtabwasser zu erkennen. Der Wert für das 85 %-Percentil aller Proben liegt bei **3,10 g CSB/B**.

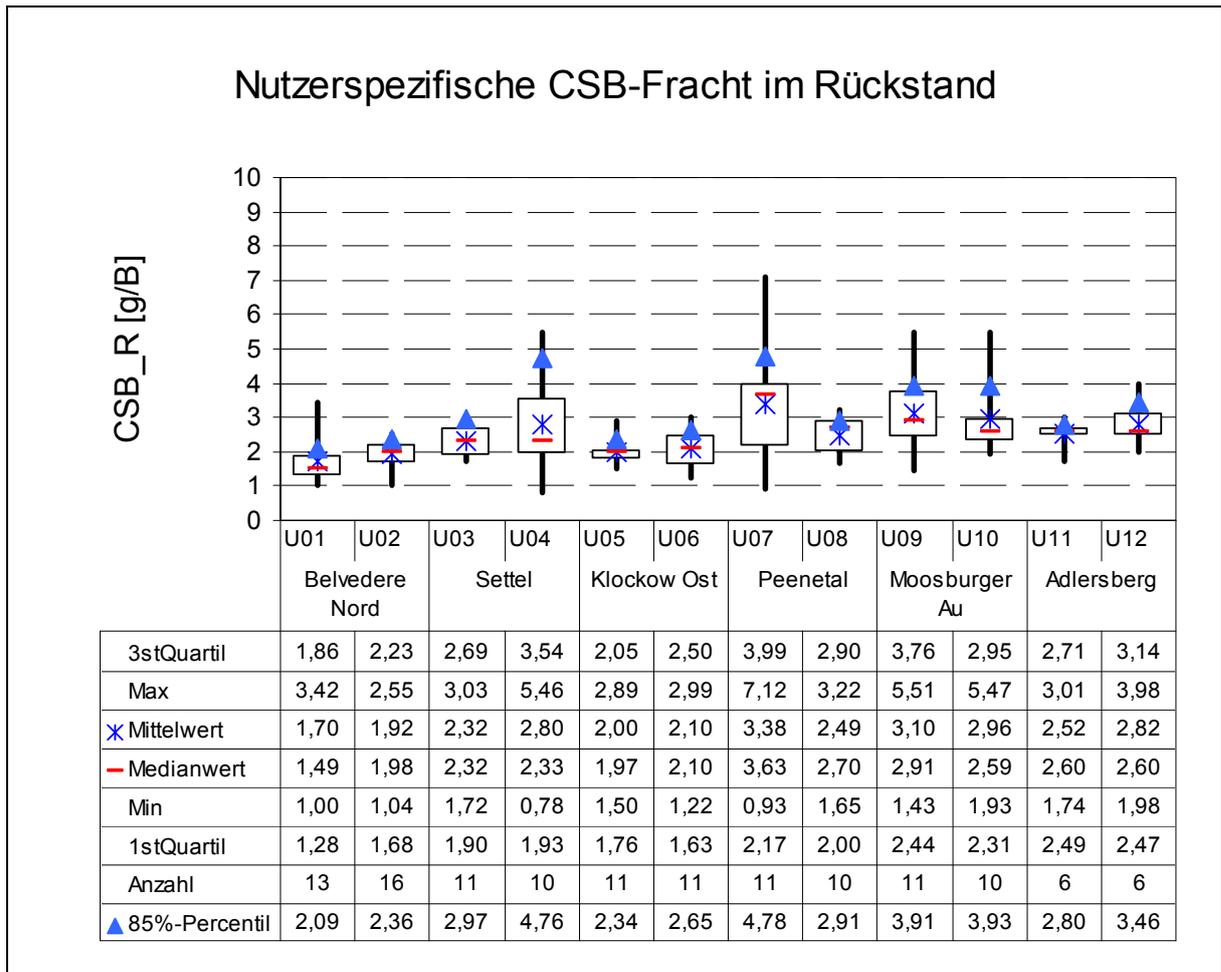


Abbildung 7-43: Nutzerspezifische CSB-Fracht im Rückstand aller Untersuchungen im Überblick

Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB₅) im Filtrat

Der biochemische Sauerstoffbedarf an 5 Tagen (BSB₅) wurde ausschließlich im Filtrat analysiert. Ähnlich wie beim CSB traten auch hier starke Schwankungen bezüglich der nutzerspezifischen BSB₅-Frachten auf. Es wurden Werte von 0,18 bis 2,0 g BSB₅/B im Filtrat registriert. Der Wert für das 85%-Percentil aller Proben liegt bei **1,35 g BSB₅/B**. Dieser Wert liegt leicht über dem Erwartungswert von 0,91 g BSB₅/B im Urin (vgl. Tabelle 3-2). Da sich das Filtrat überwiegend aus Urin und Spülwasser zusammensetzt, bestätigen sich die Kennzahlen für Fracht- und Konzentrationswerte in verschiedenen Teilströmen nach DWA, 2008. Nach den Angaben in der Literatur, sind im Urin lediglich ca. 12 % der BSB-Fracht enthalten. [DWA, 2008] Für einen weiteren Anteil der Fracht kann aufgelöstes Toilettenpapier verantwortlich gemacht werden.

Das Verhältnis vom CSB im Filtrat zu BSB₅ im Filtrat liegt über alle Proben im Mittel bei 3 zu 1. Das heißt, dass die biologisch abbaubaren organischen Stoffe in einem niedrigeren Verhältnis in Bezug auf alle organischen Stoffe im Filtrat auftreten. Bei diesen Verhältniswerten bleibt festzustellen, dass das Filtrat biologisch schwer abbaubar ist. Der niedrige Anteil an leicht abbaubaren organischen Substanzen im Filtrat ist eine schlechte Voraussetzung für die Stickstoffelimination (Denitrifikation) im Abwasser.

Nutzerspezifische BSB₅-Fracht im Filtrat

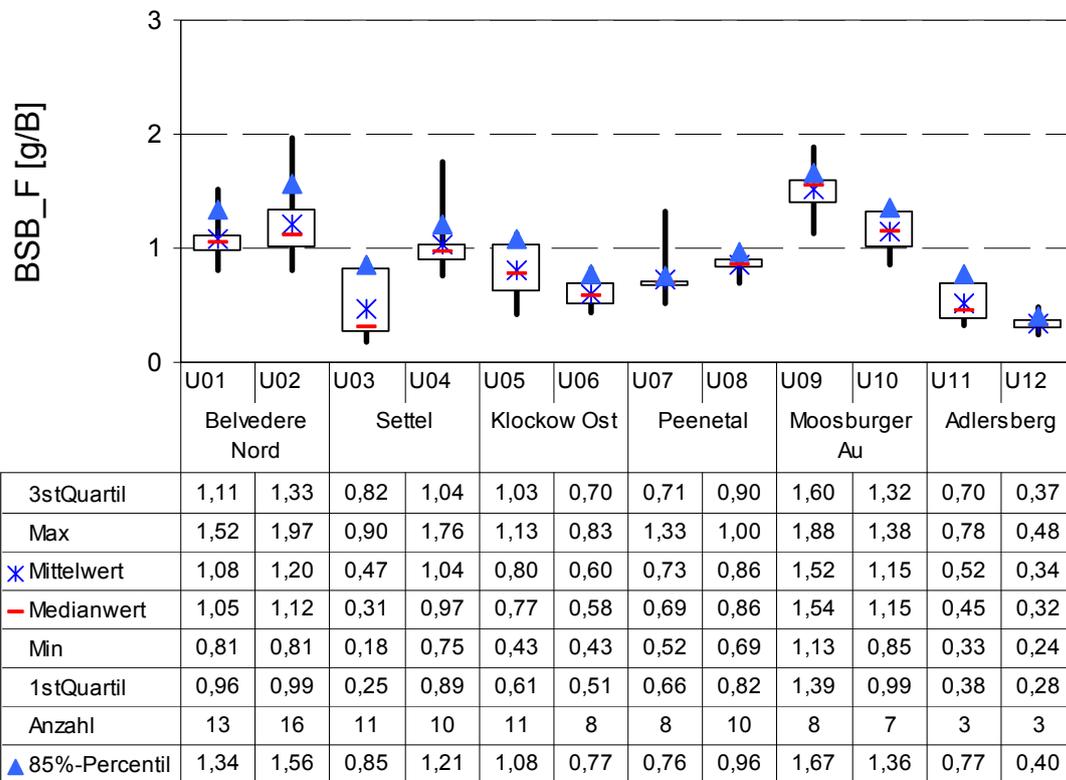


Abbildung 7-44: Nutzerspezifische BSB₅-Fracht im Filtrat aller Untersuchungen im Überblick

Stickstoff (TKN):

Wie aus Abbildung 7-45 hervorgeht, liegen die Werte für die nutzerspezifische TKN-Fracht im Bereich zwischen 1,5 und 2,2 g TKN/B. Der Wert für das 85 %-Perzentil aller Proben liegt bei **2,06 g TKN/B**. Dabei ist zu beachten, dass 95 % der TKN-Fracht im Filtrat vorliegt. Es ist keine signifikante Reduktion durch eine Feststoffabtrennung möglich.

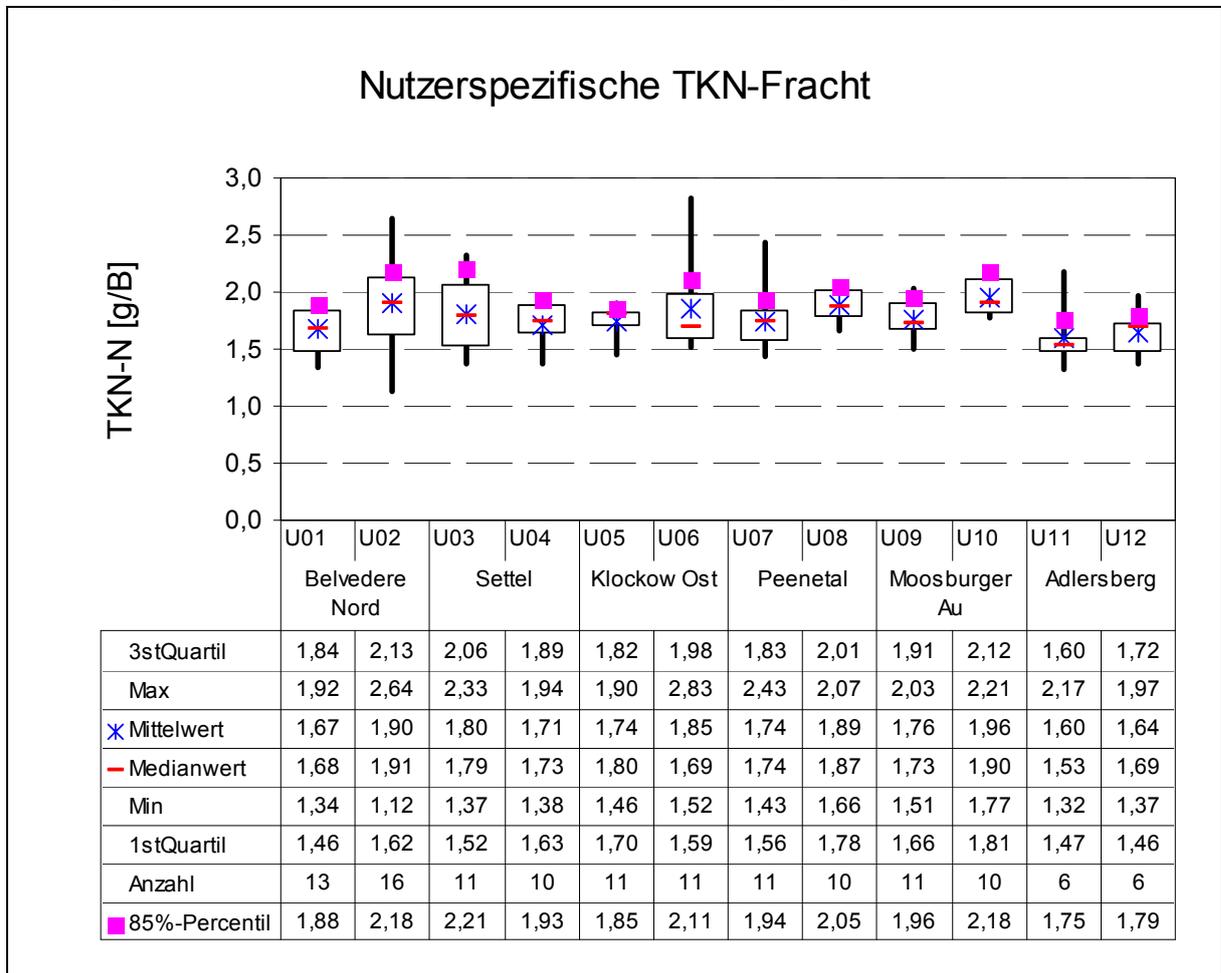


Abbildung 7-45: Nutzerspezifische TKN-Frachten aller Untersuchungen im Überblick

Phosphor (P_{ges})

Bei den berechneten Phosphorfrachten ergeben sich mit Ausnahmen der ersten beiden Untersuchungen keine großen Spannweiten (siehe Abbildung 7-46). Die bei den Untersuchungen U01 und U02 „Belvedere-Nord“ registrierten Maximalwerte von 0,64 g P/B bzw. 0,34 g P/B sind das Resultat der Anwendung eines Spezialreinigers auf Phosphorsäurebasis. Somit ist das Problem anlagenspezifisch und kann durch den Einsatz eines divergenten Reinigers behoben werden. Die sorgfältige Auswahl eines geeigneten Reinigers bzw. dessen zweckdienliche Dosierung vorausgesetzt, kann die nutzerspezifische Phosphorfracht mit **0,14 g P/B** in Ansatz gebracht werden. Dieser Wert stellt das 85 %-Perzentil aller untersuchten Proben dar.

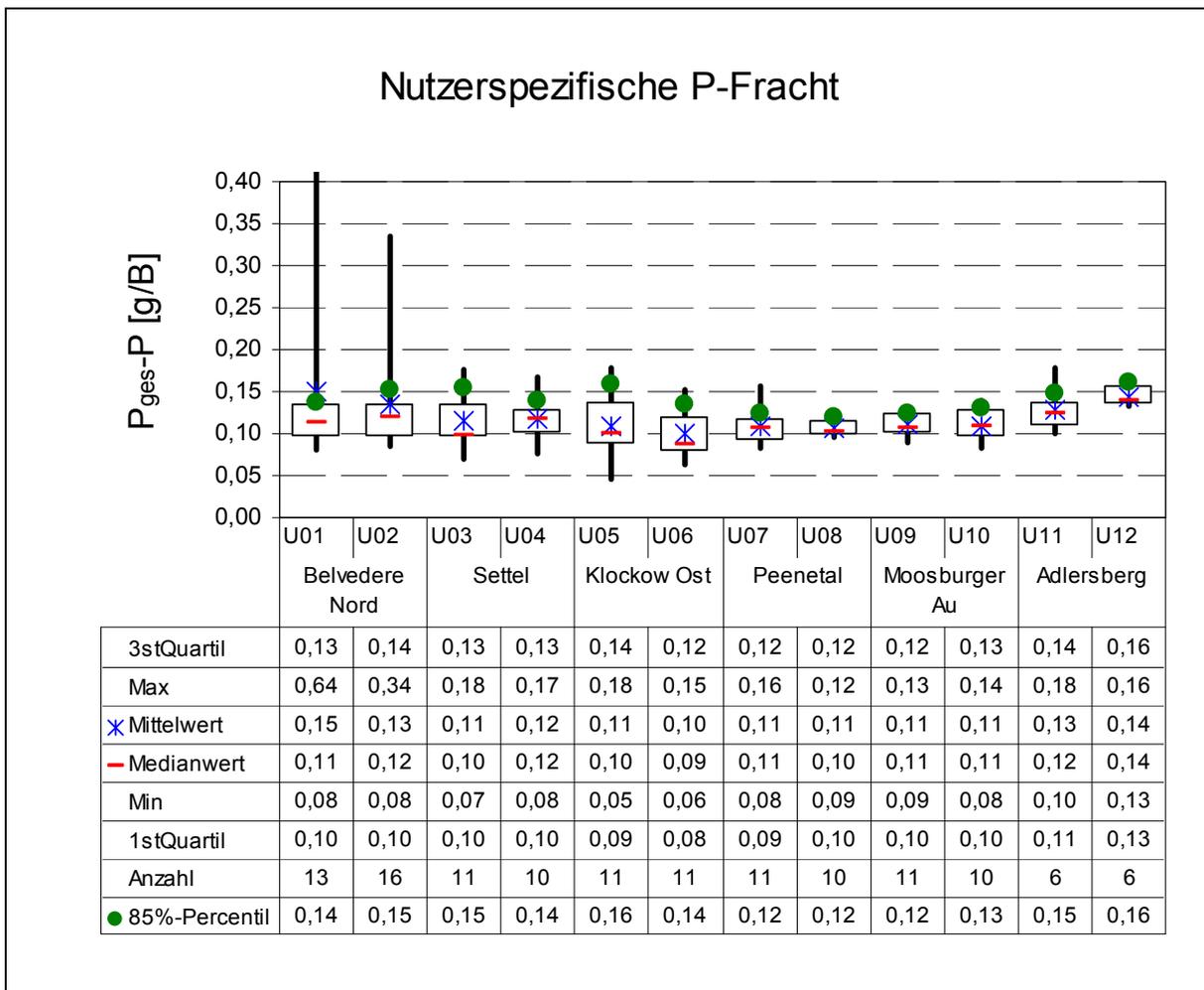


Abbildung 7-46: Nutzerspezifische Phosphorfrachten aller Untersuchungen im Überblick

Abwasseranfall

Die Abbildung 7-47 zeigt zusammenfassend eine Auswertung der nutzerspezifischen Mengen und Frachten aller Untersuchungen. Die erste Darstellung im linken Bereich der Abbildung zeigt den Abwasseranfall, welcher den größten Schwankungen unterworfen ist. Der Abwasseranfall ist in erster Linie vom Wasserverbrauch der vorgehaltenen Sanitärtechnik abhängig. Dieser ist in den meisten Fällen über eine elektronische Steuerung regelbar. Für eine Bemessung von Abwasseranlagen muss der Wasserverbrauch der installierten Sanitärtechnik bekannt sein, bzw. ermittelt werden. Liegen keine weiteren Angaben zum prognostizierten Wasserverbrauch der Sanitärtechnik vor, kann im Ansatz mit einem Wert von **6 l/B** gerechnet werden.

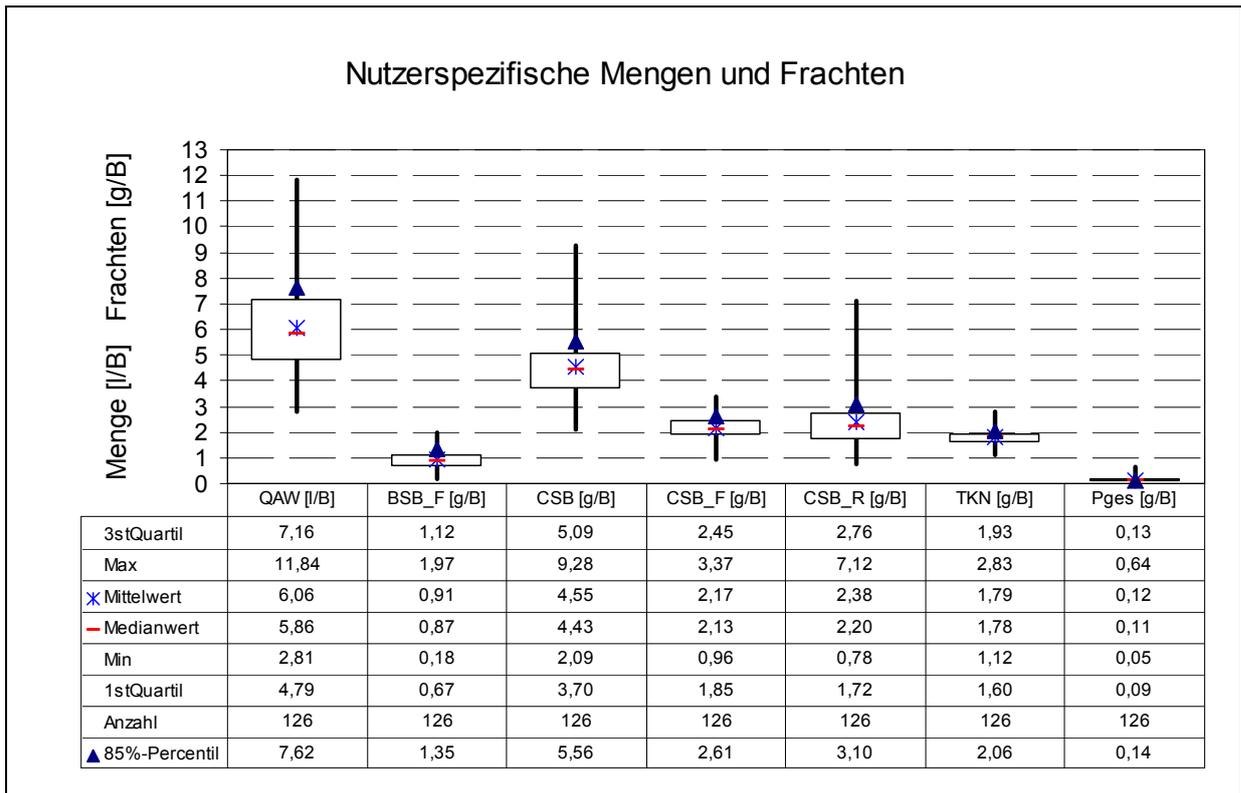


Abbildung 7-47: Nutzerspezifische Mengen und Frachten aller Untersuchungen im Überblick

7.3. Diskussion und Schlussfolgerung

Insgesamt wird deutlich, dass es mit dem gewählten Untersuchungsprogramm gelungen ist, plausible nutzerspezifische Frachten zu ermitteln. Das Probenahmesystem zur vollumfänglichen Erfassung des Rohabwasserstroms hat sich bewährt. Jedoch stellt das Filtersacksystem gewisse bauliche Anforderungen an das örtliche Abwassersystem. An 6 für die Messkampagnen geeignete PWC-Anlagen konnten Untersuchungen durchgeführt werden. Die PWC-Anlagen liegen deutschlandweit verteilt und weisen durch ihre geographische Lage einen unterschiedlichen Charakter im Verkehrsverhalten auf.

Bei 12 Untersuchungen jeweils über einen Zeitraum von 72 Stunden konnten jeweils 126 Feststoff- und Filtratproben generiert werden. Die Anzahl an Proben macht die Erhebung statistisch repräsentativ. Nach der chemischen und physikalischen Analyse der gewonnenen Feststoff- und Filtratproben konnten entsprechende Werte für nutzerspezifische Mengen und Frachten abgeleitet werden. Die Hauptauslastung der untersuchten PWC-Anlagen liegt zwischen 9.00 Uhr und 14.00 Uhr. Für weitere Untersuchungen, zum Beispiel im Rahmen einer Bemessung der Abwasseranlagen, reicht eine Beprobung in dieser Zeit aus. Wichtig ist es parallel den Wasserverbrauch im Beprobungszeitraum zu dokumentieren um die entsprechenden Frachten ermitteln zu können.

Die ermittelten nutzerspezifischen Frachten lassen sich für eine Bemessung von Abwasseranlagen heranziehen. Größere Schwankungen über alle ermittelten Frachten sind nur beim CSB im Rückstand zu beobachten. Dies ist auf die vermehrte Benutzung von Toilettenpapier aufgrund der Hygiene an PWC-Anlagen zurückzuführen. Mit einer effektiven Fest- und Grobstoffabscheidung kann die CSB-Fracht aus den Feststoffen im Rahmen der Vorbehandlung

abgeschieden werden. Demgegenüber unterliegen der CSB-Frachten im Filtrat weniger ausgeprägten Schwankungen. Bei den Parametern Stickstoff und Phosphor sind geringere Schwankungen festzustellen. Deshalb können die ermittelten nutzerspezifischen Frachten auf andere PWC-Anlagen übertragen werden. Der nutzerspezifische Wasserverbrauch hingegen ist von der Art und Anzahl der Sanitärtechnik sowie der Art und dem Umfang der Reinigung abhängig und von PWC-Anlage zu PWC-Anlage verschieden. Der ermittelte Wert eignet sich nicht für eine Bemessung, sondern er muss für eine Bemessung in Abhängigkeit der vorhandenen bzw. zu installierenden Sanitärtechnik abgeschätzt werden.

Tabelle 7-6: Übersicht zu den empfohlenen nutzerspezifischen Mengen und Frachten (85 %-Percentile)

QAW	BSB_F	CSB	CSB_F	CSB_R	TKN	P _{ges}
6,00 l/B	1,35 g/B	5,56 g/B	2,61 g/B	3,10 g/B	2,06 g/B	0,14 g/B

Nach dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 können die maßgebenden Frachten für die Bemessung von Kläranlagen nach Messungen von 1- bis 4- Wochenmittel oder als 85 %-Percentile der Zulauftagesfrachten ermittelt werden. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wurden keine Wochenmittel erhoben, so dass die empfohlenen Bemessungswerte auf den 85 %-Percentilen der nutzerspezifischen Frachten über alle untersuchten Proben basieren.

Für eine Bemessung von Abwasseranlagen mit Hilfe der ermittelten nutzerspezifischen Frachten ist die Anzahl der Benutzer essentiell. Eine Prognose der zukünftigen Benutzer im Falle einer Neubemessung kann nach den durchgeführten Untersuchungen nicht gemacht werden. Die Abschätzung der Benutzeranzahl stellt ein eigenständiges Forschungsvorhaben des BMVBS dar. Es spielt zum Beispiel eine Rolle wie die neue PWC-Anlage angenommen wird, wobei das globale Benutzerverhalten auf einem Autobahnabschnitt oder einer Region betrachtet werden muss. Im Sanierungsfall besteht die Möglichkeit im Vorfeld durch Zählungen eine durchschnittliche Benutzeranzahl festzustellen. Auf die gezählte Benutzeranzahl kann ein Zuschlag addiert werden, da mit der Sanierung der Komfort der PWC-Anlage steigt, und sie somit von den Reisenden besser angenommen wird.

8. Technische Möglichkeiten zur Bewirtschaftung von Abwässern an PWC-Anlagen

8.1. Grundsätzliches

Nachdem aus der Analyse der Messkampagnen aktuelle Grundlagen bezüglich der an PWC-Anlagen auftretenden Belastungssituationen (Abwasseranfall- und Zusammensetzung) erhoben wurden, soll in diesem Kapitel auf technische Möglichkeiten aber auch auf Grenzen der Bewirtschaftung der Abwässer eingegangen werden. Als Abwasserentsorgungssysteme sind grundsätzlich die nachstehenden drei Varianten möglich:

1. Überleitung der Abwässer in eine zentrale Kläranlage
2. Dezentrale Sammlung der Abwässer in einer abflusslosen Grube mit Abtransport und Behandlung in einer zentralen Kläranlage
3. Dezentrale Teilbehandlung in Verbindung mit der Separation, Speicherung und Abfuhr von Teilströmen.

Die Wahl des Abwasserentsorgungssystems wird durch ortsspezifische, objektspezifische und rechtliche Randbedingungen beeinflusst. Als lokales Entwässerungsverfahren kommt prinzipiell nur ein Trennverfahren in Betracht, wobei das Schmutzwasser aus dem WC-Gebäude und das Niederschlagswasser von Dach-, Erholungs- und Verkehrsflächen getrennt erfasst, abgeleitet und behandelt werden. Grundsätzliches zur Entwässerung ist in den Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Entwässerung (RAS-Ew) [FGSV, 2005] und den Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten (RiStWag) [FGSV, 2002] nachzulesen.

Es ist zu beachten, dass die Technik zur Bewirtschaftung der Abwässer bzw. -teilströme auf die Sanitärtechnik zum Erfassen und die nachfolgenden Entsorgungsprozesse quantitativ und qualitativ abgestimmt werden muss. Jeder separat abzuführende Teilstrom benötigt ein eigenes Transportsystem. Welche Transportsysteme geeignet sind, hängt maßgeblich von der Menge und der Konsistenz der abzuleitenden Teilströme ab.

Charakteristisch für PWC-Anlagen ist, dass der Abwasseranfall außerordentlichen hydraulischen und stofflichen Schwankungen im Tages-, Wochen- und Jahresverlauf unterworfen ist. Eine besondere Bedeutung bekommt dies bei einer dezentralen Abwasserbehandlung, weil die meisten kleinen Abwasserbehandlungssysteme empfindlich gegen Stoßbelastungen sind.

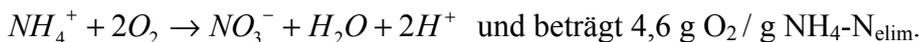
Es handelt sich bei Sanitärabwässern aus PWC-Anlagen um Abwässer mit ungünstigen Nährstoffverhältnissen, die nicht mit häuslichem Schmutzwasser gleichgesetzt werden können. Die anorganischen Nährsalze, d.h. die Stickstoff- und Phosphorverbindungen sind maßgebend für die Stoffwechselaktivitäten der Mikroorganismen. Nach den im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen ergibt sich ein Verhältnis im Rohabwasser von CSB : TKN : P_{ges} von 100 : 37 : 2,5. Häusliches Abwasser weist nach DWA, (2008) ein Verhältnis von 100 : 11 : 1,71 auf (siehe Tabelle 3-2). Vergleicht man die Nährstoffverhältnisse ist zu erkennen, dass im Abwasser aus PWC-Anlagen eine wesentlich höhere Stickstofffracht ge-

genüber dem Angebot an organischen Verbindungen (CSB) vorliegt. Die übliche biologische Stickstoffelimination kommt bei der Behandlung von Abwässern mit hohem Stickstoffgehalt und geringem Anteil an Kohlenstoffverbindungen an ihre Grenzen. Bei Abwässern mit hoher Ammoniumkonzentration und gleichzeitig niedrigem C / N – Verhältnis wirkt sich dieses durch den Mangel an organischem Substrat begrenzend auf die Denitrifikation und damit auf die Stickstoffelimination aus [Mudrack & Kunst, 2003].

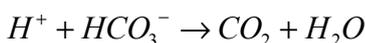
Generell bestimmen die Art und Konzentration von Substraten und Organismen sowie der pH-Wert und die Temperatur die Geschwindigkeit des biologischen Abbaus. Ein verschobenes Verhältnis führt deshalb zu Problemen bei der biologischen Abwasserreinigung. Hauptursache für Störungen biologischer Abbauprozesse ist der Mangel an Sauerstoff anzusehen. Der Abbau von biologisch abbaubaren, organischen Schmutzstoffen des Abwassers zu anorganischen Endprodukten (CO₂, H₂O) geschieht durch aerobe Bakterien unter Sauerstoffverbrauch (Substratatmung). Dieser lässt sich aus der Reaktionsgleichung berechnen



Ferner führt die Nitrifikation, bei der Stickstoffverbindungen unter Freisetzung von Wasserstoffionen oxidiert werden, zu einer Sauerstoffzehrung. Der Sauerstoffbedarf für die Nitrifikation lässt sich aus der Reaktionsgleichung berechnen:



Wie die Reaktionsgleichung weiterhin zeigt, werden H⁺-Ionen gebildet, die den pH-Wert beeinflussen, wenn die Säurekapazität als Puffer aufgebraucht ist. Die H⁺-Ionen reagieren mit den Hydrogencarbonationen im Wasser, wobei Kohlendioxid entsteht. Sie werden neutralisiert.



Dadurch wird Säurekapazität (ausgedrückt in mmol HCO₃⁻) herabgesetzt. Nach der Gleichung werden je mmol nitrifiziertem Ammonium-Stickstoff 2 mmol H⁺-Ionen gebildet. Hierdurch wird Säurekapazität in einer Menge von

$$\frac{2 \text{ mmol } H^+}{1 \text{ mmol } NH_4 - N} = \frac{2 \text{ mmol}}{14 \text{ mg } NH_4 - N} \quad \text{verbraucht.}$$

Die verbleibende Säurekapazität im Ablauf des Systems sollte den Mindestwert von 1,5 mmol/l nicht unterschreiten. Die Ausgangssäurekapazität ($S_{KS,Zu}$) wird aus den in der Carbo-nathärte des Trinkwassers vorhandenen Ionen und aus Ammoniumhydrogencarbonat infolge der Ammonifikation gebildet. [Grünebaum, 1991]

$$S_{KS,Zu} = S_{KS,Ab} + [0,07 \cdot (S_{NH_4,Zu} - S_{NH_4,Ab} + S_{NO_3,Ab} - S_{NO_3,Zu})] \quad [mmol/l]$$

$S_{KS,Zu}$: erforderliche Säurekapazität im Zulauf [mmol/l]

$S_{KS,Ab}$: 1,5 bis 2,0 mmol/l sollten nicht unterschritten werden [mmol/l]

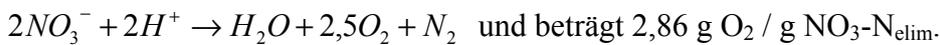
$S_{NH_4-N,Zu}$: Ammonium-Stickstoffkonzentration im Zulauf [mg/l]

$S_{NH_4-N,Ab}$: Ammonium-Stickstoffkonzentration im Ablauf [mg/l]

$S_{NO_3-N,Ab}$: Nitrat-Stickstoffkonzentration im Ablauf [mg/l]

$S_{NO_3-N,Zu}$: Nitrat-Stickstoffkonzentration im Zulauf [mg/l]

Die Folge des Säurekapazitätsverbrauches ist in der Regel ein Absinken des pH-Wertes. Bei niedrigen pH-Werten kommt es zu einer Beeinträchtigung des biologischen Abbaus durch Hemmung und durch den Verlust der Biomasse. Ein Anzeichen dafür ist das Eintrüben des Ablaufes durch Auflösungserscheinungen der Biomasse aufgrund überschüssiger Säure. Damit zerstört sich die nitrifizierende Biomasse selbst. [Teichgräber, 1988] Als Abhilfemaßnahme bietet sich hierbei eine Verminderung des zu nitrifizierenden Stickstoffs, eine vermehrte Denitrifikation zur Rückgewinnung von zuvor verbrauchter Säurekapazität oder einer Alkaliendosierung an. Eine weitere Empfehlung ist vom Wassersparen abzusehen, um mit der Wasserhärte des Trinkwassers die Ausgangssäurekapazität zu erhöhen. Im Gegensatz zur Oxidation reduzierter Stickstoffverbindungen bei der Nitrifikation erfolgt bei der Denitrifikation eine Reduktion von Nitrat zum elementaren Stickstoff (N_2) unter Freisetzung von Sauerstoff. Dies lässt sich aus der Reaktionsgleichung berechnen



$$\frac{2 \text{ mmol } H^+}{2 \text{ mmol } NO_3 - N} = \frac{1 \text{ mmol}}{14 \text{ mg } NO_3 - N}$$

Die mit der Nitrifikation verbrauchte Säurekapazität kann somit durch Denitrifikation teilweise zurückgewonnen werden. Aus betrieblichen Gründen sollte dieser Maßnahme Priorität eingeräumt werden. Bei sehr weichen Abwässern kann die Stabilisierung der Säurekapazität allein durch die Denitrifikation (selbst unter optimalen Bedingungen) nicht erreicht werden.

Die Erhöhung der Säurekapazität ist durch die Zugabe von Kalk theoretisch möglich. Weiterhin sind Natriumverbindungen, wie $NaHCO_3$, Na_2CO_3 und $NaOH$ für die Aufstockung der Säurekapazität sehr gut geeignet. Jedoch wird der Einsatz dieser Verbindungen in der Praxis durch den hohen Preis beschränkt. Diese Methoden sollten nur angewandt werden, wenn andere Maßnahmen, wie die Denitrifikation, nicht ausreichen.

An PWC-Anlagen stellen Ablagerungen durch Urinstein ein weiteres Problem dar. Infolge der unweigerlich einsetzenden Harnstoffhydrolyse steigt der pH-Wert an und es kann zu massiven Ausfällungen kommen. Um dem Problem zu begegnen werden häufig die Härtebildner im Leitungswasser der Sanitäreanlagen mit einer Enthärtungsstufe reduziert. Dies führt zur Verringerung der Wasserhärte und somit zur Abnahme der Ausgangssäurekapazität.

Die Sauerstoffverfügbarkeit und die Säurekapazität sind für die Aufrechterhaltung der biologischen Aufbereitungsmechanismen der Abwasserbehandlung wichtiger Parameter. Eine ungenügende Ausgangssäurekapazität, wie bei weichen Wässern (niedrige Carbonathärte), verschärft die Problematik.

8.2. Überleitung der Abwässer in eine zentrale Kläranlage

Primär wird empfohlen, das Schmutzwasser in eine zentrale Kläranlage überzuleiten und dort zu behandeln. Für eine Überleitung ist die Entfernung zur zentralen Kläranlage im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit das ausschlaggebende Kriterium. Schon bei der Standortwahl der PWC-Anlage sollte berücksichtigt werden, dass ein Anschluss an öffentliche Ver- und Ent-

sorgungsnetze unter wirtschaftlich vertretbaren Bedingungen realisierbar ist. Den vorher genannten spezifischen Problemen von Abwässern aus PWC-Anlagen wird bei der Überleitung durch das Prinzip „Vermischen und Verdünnen“ begegnet. Dennoch ist aufgrund der Beschaffenheit des Abwassers von PWC-Anlagen darauf zu achten, dass die Kläranlagen zur Mitbehandlung der Abwässer geeignet sind. Dies ist in der Regel dann der Fall, wenn der Frachtanteil aus den PWC-Abwässern im Verhältnis zur Gesamtfracht klein ist. Für die Mitbehandlung ist die Leistungsfähigkeit insbesondere hinsichtlich der Stickstoffoxidation nachzuweisen. Dies betrifft ein ausreichendes Belebungsbeckenvolumen sowie Belüftungskapazitätsreserven, um ein erforderliches Schlammalter und eine ausreichende Sauerstoffversorgung zu garantieren.

Zur Ableitung von Schmutzwasser sind die Verfahren der Freigefälleentwässerung, der Druckentwässerung und die Ableitung mittels pneumatischer Pumpwerke zu empfehlen. Prinzipiell muss das Rohrleitungssystem dazu in der Lage sein, das Abwasser vollständig abzuleiten. Die Freigefälleentwässerung nutzt die Schwerkraft zur Ableitung des Abwassers. Durch den Einsatz Wasser sparender Sanitärtechnik verringert sich die Fließgeschwindigkeit im Kanal und kann zu Ablagerungen kommen. Um Kanalablagerungen zu vermeiden, müssen die Kanäle ein ausreichendes Sohlgefälle besitzen, was in Verbindung mit einer hohen Spülwassermenge die permanente Fließgeschwindigkeit im Kanal erhöht. Eine weitere Möglichkeit besteht im regelmäßigen Spülen des Kanals mit Trink- oder Regenwasser. Dies wiederum wirkt bei der Behandlung in einer zentralen Kläranlage die Fremdwasserproblematik auf. Es wird empfohlen eine relativ hohe Spülwassermenge an den Sanitärelementen einzustellen, um die Fließvorgänge im Kanal positiv zu beeinflussen.

Im Gegensatz zur Freigefälleentwässerung benötigt die Druckentwässerung elektrische Energie um das Schmutzwasser zu fördern. Der Energieeintrag beeinflusst das Fließverhalten positiv, weswegen auf eine hohe Spülwassermenge verzichtet werden kann. Jedoch zeigen die Erfahrungen, dass diese beiden Systeme anfälliger gegenüber Störungen sind als die Freigefälleentwässerung. Ablagerungen (z.B. durch Urinstein) und/oder Verstopfungen (z.B. durch Grobstoffe), die zum Systemausfall führen können, sind in jedem Fall zu vermeiden. Bei Druckentwässerung hat sich der Einsatz von Schneidradpumpen bewährt. Es ist darauf zu achten, dass das Schneidwerk besonders robust und den Bedürfnissen entsprechend ausgelegt ist. Als weitergehende Maßnahme ist die Vorschaltung einer Grobstoffabscheidung möglich, die allerdings einen zusätzlichen wartungsintensiven Betriebspunkt darstellt. Bei einer Druckentwässerung kann auf eine hohe Spülwassermenge verzichtet werden. Die Fließvorgänge in einer Druckleitung können durch eine Druckluftspülstation unterstützt werden. Weiterhin ist darauf zu achten, dass das Abwasser nicht länger als notwendig in den Leitungen steht und anfällt, um Geruchsbelästigung zu vermeiden. Aufgrund des stark schwankenden Abwasseranfalls kann der Einsatz pneumatischer Pumpwerke vorteilhaft sein. Ein Nachteil ist der hohe Energieverbrauch. Bei der Druckentwässerung und der Ableitung mittels pneumatischer Pumpwerke muss durch konstruktive Gestaltung oder durch betriebliche Organisation sichergestellt werden, dass ein kurzfristiger Ausfall der Anlage nicht zu Beeinträchtigungen des Betriebs der PWC-Anlage führt.

Bei der Abwasserableitung werden die Wartung und der Betrieb der Rohrleitung sowie der technischen Einrichtungen für die Druckentwässerung und pneumatisches Pumpwerk in der Regel vom Abwasserentsorger übernommen. Die Pumpen bedürfen einer intensiven Wartung. Hierfür sollte ein Wartungs- und Störungsdienst eingerichtet werden. Die Wartung der Förderaggregate und der Druckluftstationen sollte einmal jährlich erfolgen. Es ist erforderlich ein Betriebstagebuch zu führen und einen Betriebsstundenzähler zur Überwachung der Pumpenlaufzeit anzuordnen.

Weitere Hinweise zu Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden liefert die DIN EN 752, [DIN, 2008a] zur hydraulischen Dimensionierung von Abwasserleitungen und -kanälen das DWA-Arbeitsblatt 110.[DWA, 2006b] Die Entwässerungssysteme Unterdruckentwässerung und Druckentwässerung werden im DWA-Arbeitsblatt 116 Teil 1 und Teil 2 behandelt. [DWA, 2005]

8.3. Dezentrale Sammlung der Abwässer in einer abflusslosen Grube mit Abtransport und Behandlung in einer zentralen Kläranlage

Für das Ableiten von Abwasser bieten sich prinzipiell leitungsgebundene (siehe Abschnitt 8.2) und leitungsfreie Transportsysteme an. Bei dem leitungsfreien Transport wird das im WC-Gebäude anfallende Abwasser dezentral in einer abflusslosen Grube gesammelt und zwischengespeichert, bevor es vom Entsorger per Lkw in eine zentrale Kläranlage abtransportiert wird. Die Behandlung der Abwässer erfolgt ebenfalls in einer zentralen Kläranlage unter ähnlichen Voraussetzungen wie sie im Abschnitt 8.2 genannt sind.

Die Grube, bzw. der Behälter, muss dicht sein, damit keine Schmutzstoffe in den Boden bzw. das Grundwasser gelangen können. Andererseits wird so das Eindringen von Grund- und Regenwasser verhindert. Eine Dichteprüfung erfolgt nach den Vorgaben der DIN EN 1610 oder einem anderen anerkannten Prüfverfahren [DIN, 1997]. Für abflusslose Grube innerhalb einer Wasserschutzzone ist eine wasserrechtliche Genehmigung erforderlich. Die Überwachung von abflusslosen Gruben erfolgt im Rahmen der Schlammentsorgung.

Die Grube muss ein ausreichendes Volumen besitzen. Um den Abwasseranfall in Abhängigkeit der Sanitärtechnik zu minimieren, wird empfohlen Wasser sparende bzw. wasserlose Sanitärsysteme einzusetzen. Für die Bemessung ist die mögliche Transportkapazität der Abfuhrfahrzeuge zu berücksichtigen. Abfuhrintervall und Speichergröße müssen aufeinander abgestimmt und wirtschaftlich optimiert werden. Eine Optimierung kann im Zuge einer Ausschreibung der Leistung erfolgen. Es wird empfohlen, ein Abfuhrintervall von 14 Tagen nicht zu unterschreiten. Die Abfuhrintervalle richten sich nach der Auslastung der PWC-Anlage, deshalb ist das System der abflusslosen Grube besonders für schwach belastete PWC-Anlagen geeignet.

Für das nachfolgende Bemessungsbeispiel wird für eine schwach belastete PWC-Anlage (300 Benutzer pro Tag) die Annahme getroffen, dass pro Benutzer 4 Liter Abwasser anfallen.

Abwasseranfall pro Tag: $= 300 \text{ B/d} \times 4 \text{ l/B} = 1.200 \text{ l/d}$

Das Abfuhrintervall wird in diesem Beispiel auf 14 Tage festgelegt, d.h. es ergibt sich ein Volumen für die abflusslose Grube von

$$= 1,2 \text{ m}^3/\text{d} \times 14 \text{ d} = \underline{14,4 \text{ m}^3}$$

Bei der Auslegung ist eine Sicherheitsreserve zu berücksichtigen.

An der Stelle der Entlüftung der abflusslosen Grube ist mit Geruchsentwicklung durch Ammoniak zu rechnen. Eine Geruchsbelästigung der Besucher sollte durch eine entsprechende Planung vermieden werden. Bei der Entleerung der abflusslosen Gruben ist ebenfalls mit der Freisetzung von Ammoniak und weiteren schädlichen Gasen zu rechnen, wobei der Aspekt der Arbeitssicherheit zu berücksichtigen ist.

8.4. Dezentrale Teilbehandlung in Verbindung mit der Separation, Speicherung und Abfuhr von Teilströmen

Ist eine Abwasserableitung aus wirtschaftlichen Gründen nicht praktikabel, bleibt die Möglichkeit einer dezentralen Teilbehandlung, welche jedoch an eine Erlaubnis nach den § 7 WHG geknüpft ist. Die Anforderungen an das Einleiten von Abwasser werden im § 7a WHG definiert.

Bisher erhältliche konventionelle Kläranlagensysteme mit biologischen Verfahren sind aufgrund der vorher genannten Grenzen nicht in der Lage diese Abwässer den rechtlichen Anforderungen genügend zu behandeln. Aufgrund der Tatsache, dass PWC-Anlagen von Personal der Autobahnmeistereien betreut werden, das nicht über entsprechende Fachqualifikationen eines Abwasserentsorgers verfügt, scheiden hochtechnische steuerbare Abwasserbehandlungsanlagen als Lösungen aus. Hier sind biotechnologische Verfahrenstechniken gemeint, bei denen die Stickstoffelimination über Nitritation / anaerobe Ammoniumoxidation (Deammonifikation) geschieht [Mudrack & Kunst, 2003]. Die Entwicklung solcher Verfahren ist gegenwärtig noch nicht abgeschlossen. Aufgrund der typischen Charakteristika der PWC-Abwässer, wie hoher N-Gehalt verbunden mit einem niedrigen C / N – Verhältnis, scheint der Prozess der Deammonifikation für ihre biologische Behandlung geeignet zu sein. Da dieser Prozess jedoch sehr sensibel und schwierig hinsichtlich der verfahrenstechnischen Steuerung und Kontrolle ist, ist der Einsatz auf PWC-Anlagen eher unwahrscheinlich. Der hohe Betriebsaufwand ist vergleichbar mit Industriekläranlagen zur Prozesswasserbehandlung. Deshalb wird empfohlen, erforderlichenfalls auf konventionelle aber modifizierte Systeme zurückzugreifen. Die Verhältnisse der Schmutzstofffrachten zueinander müssen dahingehend verändert werden, dass der Abwasserstrom mit einem konventionellen biologischen Verfahren behandelt werden kann. Dafür besteht einerseits die Möglichkeit, Stoffströme und somit Schmutzfrachten zu separieren, andererseits bestimmte Stoffe hinzuzufügen.

8.4.1. Lösungsstrategie Urinseparation

Um die Stickstofffracht im Rohabwasser für eine dezentrale Behandlung zu reduzieren wird empfohlen den Urin / das Gelbwasser separat zu erfassen, vor Ort zu speichern und abzufahren. Ein erster Ansatz besteht darin, keine Stoffstromseparation vorzunehmen. Es wird be-

trachtet, wie sich das C / N-Verhältnis aufgrund einer angenommenen Hydrolyse in der Vorklärung verändert. Es wird angenommen, dass 50 % der Schmutzfracht aus den Fäzes in der Vorklärung hydrolysieren und weitere 50 % mit dem Vorklärschlamm abgezogen werden. In einem zweiten Ansatz wird zumindest der Urin aus den Urinalen im Herrenbereich separat zu erfasst. Der dritte Ansatz basiert auf der Separation des Urins von Herren und Damen in entsprechenden Urinalen. In den beiden letztgenannten Ansätzen ist dafür die Installation einer separaten (vom restlichen Abwasserstrom entkoppelten) Leitung im WC-Gebäude bis zu einem Speichertank erforderlich. Wie sich daraus resultierend das Nährstoffverhältnis im verbleibenden Abwasserstrom verändert, soll im Folgenden dargestellt werden.

8.4.1.1. Theoretische Berechnungen zum BSB_5 / N - Verhältnis infolge Urinseparation

Aus den im Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen ergibt sich ein Verhältnis von $BSB_5 : TKN : P_{ges}$ im Filtrat von 100 : 148,9 : 9,63. Dieses Verhältnis resultiert aus den ermittelten nutzerspezifischen Frachten für $BSB_5 = 1,35 \text{ g/B}$; $TKN = 2,01 \text{ g/B}$ und $P_{ges} = 0,13 \text{ g/B}$. Für die vorliegende Beispielrechnung wurden die ermittelten Frachten aus dem Filtrat gewählt, was annähernd der Feststoffabtrennung bei der Vorklärung des Rohabwassers entspricht.

1. Ansatz:

Keine Stoffstromseparation. Es werden folgende Annahmen getroffen:

- *Der durchschnittliche Erwachsene urinert 5-6mal täglich und defäkiert 1mal täglich.*
- *95 % aller Benutzer urinieren lediglich, 5 % defäkieren.*
- *Die nutzerspezifischen Tagesfrachten für Fäzes nach DWA, (2008).*

Parameter	Tagesfracht in Fäzes [g/E*d]
BSB_5	20
TKN	1,5

- *50 % der Fracht aus den Fäzes werden in der Vorklärung hydrolysiert, weitere 50 % mit dem Vorklärschlamm abgezogen.*

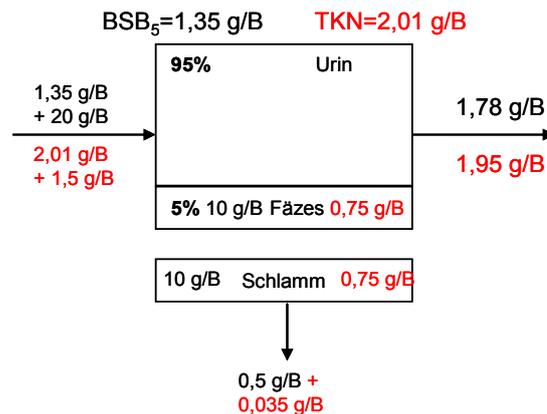


Abbildung 8-1: Schema zum Frachtminderungsansatz ohne Stoffstromseparation

1. Betrachtung von BSB₅:

→ $50 \% \times 20 \text{ g BSB}_5 / [B \cdot d] = 10 \text{ g BSB}_5 / [B \cdot d]$
aus der Hydrolyse zur biologischen Stufe.

$95 \% \times 1,35 \text{ g/B} + 5 \% \times 10 \text{ g/B} = \underline{\underline{1,78 \text{ g BSB}_5 / \text{B}}}$
werden in der biologischen Stufe behandelt.

2. Betrachtung von TKN:

→ $50 \% \times 1,5 \text{ g TKN} / [B \cdot d] = 0,75 \text{ g TKN} / [B \cdot d]$
aus der Hydrolyse zur biologischen Stufe.

$95 \% \times 2,01 \text{ g/B} + 5 \% \times 0,75 \text{ g/B} = \underline{\underline{1,95 \text{ g TKN} / \text{B}}}$
werden in der biologischen Stufe behandelt.

Ohne jegliche Stoffstromtrennung ergibt sich im Zulauf zu einer biologischen Stufe ein BSB₅/TKN – Verhältnis (= C / N – Verhältnis) von 1:1,1. Nach den Ansätzen aus dem ATV-DVWK A 131, (2000) liegt das Verhältnis für kommunales Abwasser bei 1:0,2. Hieraus ist zu erkennen, dass das Angebot an Kohlenstoffverbindungen in Bezug auf die Stickstoffverbindungen zu gering ist. Wenn leicht abbaubarer Kohlenstoff fehlt, kann nicht vollständig denitrifiziert werden. Um die Stickstofffracht zu reduzieren, wird im 2. Ansatz die Separation von Urin aus den Urinalen im Herrenbereich empfohlen.

2. Ansatz:

Für eine Urinabtrennung aus den Urinalen im Herrenbereich werden folgende Annahmen getroffen:

- Der durchschnittliche Erwachsene uriniert 5-6mal täglich und defäkiert 1mal täglich
- 2/3 aller Benutzer sind männlich, 1/3 weiblich.
- 95 % aller Benutzer urinieren lediglich, 5 % defäkieren
- Die nutzerspezifischen Tagesfrachten für Fäzes entsprechen dem 1. Ansatz.
- 50 % der Fracht aus den Fäzes werden in der Vorklärung hydrolysiert, weitere 50 % mit dem Vorklärschlamm abgezogen.

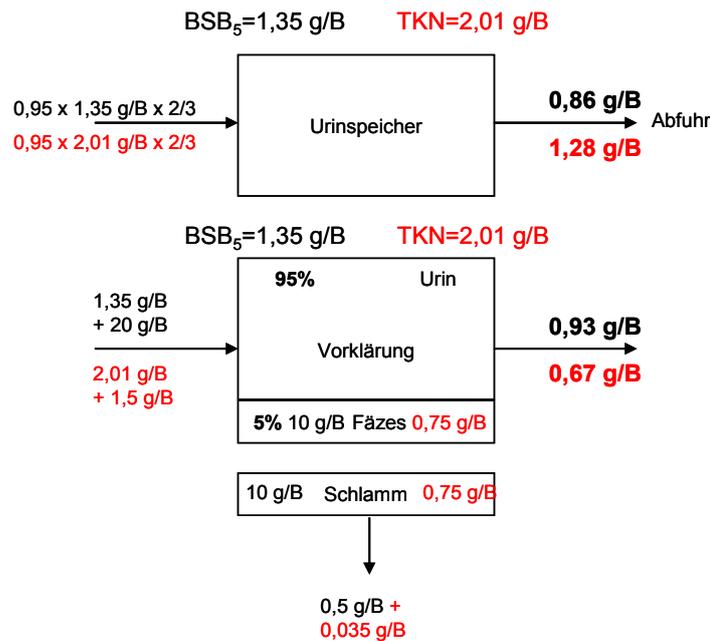


Abbildung 8-2: Schema zum Frachtminderungsansatz durch Herrenurinabtrennung

1. Elimination von BSB₅:

→ $50 \% \times 20 \text{ g BSB}_5 / [B \cdot d] = 10 \text{ g BSB}_5 / [B \cdot d]$
aus der Hydrolyse zur biologischen Stufe.

$(95 \% \times 1,35 \text{ g/B} + 5 \% \times 10 \text{ g/B}) - (95 \% \times 1,35 \text{ g/B} \times 2/3) = \underline{\underline{0,93 \text{ g BSB}_5 / B}}$
werden in der biologischen Stufe behandelt.

2. Elimination von TKN:

→ $50 \% \times 1,5 \text{ g TKN} / [B \cdot d] = 0,75 \text{ g TKN} / [B \cdot d]$
aus der Hydrolyse zur biologischen Stufe.

$(95 \% \times 2,01 \text{ g/B} + 5 \% \times 0,75 \text{ g/B}) - (95 \% \times 2,01 \text{ g/B} \times 2/3) = \underline{\underline{0,67 \text{ g TKN} / B}}$
werden in der biologischen Stufe behandelt.

Nach diesem Beispiel kann die Stickstofffracht im Restabwasser um 67 % verringert werden. Jedoch bleibt das Angebot an Kohlenstoffverbindungen in Bezug auf die Stickstoffverbindungen zu gering, was sich im niedrigen BSB₅ / TKN – Verhältnis mit 1:0,7 widerspiegelt.

Selbst nach der Separation des Urins aus den Urinalen im Herrenbereich bleibt der restliche Abwasserstrom für eine dezentrale Behandlung mit einem konventionellen biologischen Verfahren als problematisch anzusehen. Eine weitere Verringerung der Stickstofffracht kann mit dem 3. Ansatz erzielt werden, bei dem zusätzlich zum 2. Ansatz auch der Urin der weiblichen Benutzer in entsprechenden Urinalen separat erfasst wird.

3. Ansatz:

Für eine Urinabtrennung aus den Urinalen im Herren- und Damenbereich werden folgende Annahmen getroffen:

- Der durchschnittliche Erwachsene uriniert 5-6mal täglich und defäkiert 1mal täglich
- 95 % aller Benutzer urinieren lediglich, 5 % defäkieren
- Die nutzerspezifischen Tagesfrachten für Fäzes entsprechen dem 1. Ansatz.
- 50 % der Fracht aus den Fäzes werden in der Vorklärung hydrolysiert, weitere 50 % mit dem Vorklärschlamm abgezogen.

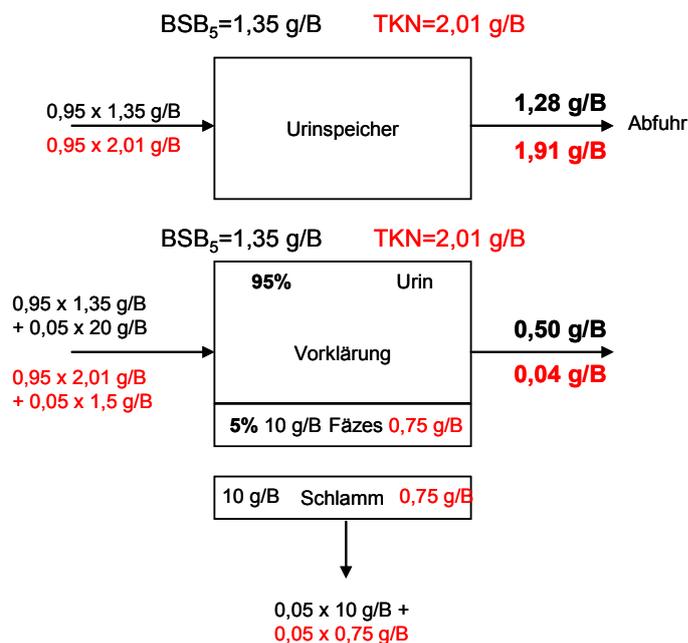


Abbildung 8-3: Frachtminderungsansatz durch Urinabtrennung bei Herren und Damen

1. Elimination von BSB₅:

→ $50 \% \times 20 \text{ g BSB}_5 / [B \cdot d] = 10 \text{ g BSB}_5 / [B \cdot d]$
aus der Hydrolyse zur biologischen Stufe.

$(95 \% \times 1,35 \text{ g/B} + 5 \% \times 10 \text{ g/B}) - (95 \% \times 1,35 \text{ g/B}) = \underline{\underline{0,50 \text{ g BSB}_5 / B}}$
werden in der biologischen Stufe behandelt.

2. Elimination von TKN:

→ $50 \% \times 1,5 \text{ g TKN} / [B \cdot d] = 0,75 \text{ g TKN} / [B \cdot d]$
aus der Hydrolyse zur biologischen Stufe.

$(95 \% \times 2,01 \text{ g/B} + 5 \% \times 0,75 \text{ g/B}) - (95 \% \times 2,01 \text{ g/B}) = \underline{\underline{0,04 \text{ g TKN} / B}}$
werden in der biologischen Stufe behandelt.

Aus den errechneten Frachten ergibt sich BSB₅/TKN – Verhältnis von 1:0,08. Durch die Separation von Urin konnte der Großteil der Stickstofffracht (98 %) abgetrennt werden und es stellt sich nun ein für die biologische Behandlung günstiges C / N – Verhältnis ein. Der ver-

bleibende Abwasserstrom ist so nährstoffarm, dass eine fast ausschließlich auf Kohlenstoffabbau ausgelegte biologische Behandlung ausreichen würde.

Die im Rahmen der Untersuchung durchgeführten Messungen zur Ermittlung der nutzerspezifischen Frachten im Rohabwasser unmittelbar nach dem WC-Gebäude eignen sich nicht für einen ausreichenden rechnerischen Nachweis der Nährstoffverhältnisse im Zulauf einer biologischen Reinigungsstufe. Die in den drei Ansätzen ermittelten Werte geben nur einen groben Richtwert über die zu erwartenden Verhältnisse wieder. In der Realität ist von einer natürlichen Hydrolyse der Feststoffe, infolge einer längeren Aufenthaltszeit in der Vorklärung, auszugehen. Bei der Hydrolyse werden im Abwasser enthaltene partikuläre Stoffe unter Einwirkung von Mikroorganismen zerkleinert, um sie anschließend dem biologischen Abbau zugänglich zu machen. Eine Hydrolyse kann mit einem Hydrolysespeicher gezielt initiiert werden (siehe Abschnitt 3.2.3). Mit einem Hydrolysespeicher soll einerseits erreicht werden, den Anfall von Reststoffen (Primärschlamm) zu minimieren. Andererseits werden die zur Denitrifikation des Abwassers erforderlichen leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen zur Verfügung gestellt. Der Einsatz von leicht auflösbarem Toilettenpapier erleichtert die Hydrolyse. Um die vorgestellten Ansätze zu vervollständigen, muss ein Nachweis der Hydrolyse in der Vorklärung geführt werden.

Um den Restabwasserstrom nach der Urinseparation mit einem konventionellen biologischen Verfahren auch dezentral zu behandeln, müssen weitere Maßnahmen getroffen werden, um das C / N – Verhältnis aufzuwerten. Als eine Möglichkeit sei hier die Hydrolyse genannt. Eine weitere Möglichkeit das C / N – Verhältnis zu verschieben, ist die Zugabe von Methanol als Kohlenstoffquelle in den Abwasserstrom. Die Dosierung muss jedoch sehr genau erfolgen (hoher Betriebsaufwand), um keine zusätzliche Erhöhung der BSB₅-Konzentration im Ablauf zu verursachen.

Ist ein dem kommunalen Abwasser entsprechendes Nährstoffverhältnis im verbleibenden Abwasserstrom realisierbar, kann dieser mit einem konventionellen biologischen Verfahren eventuell auch dezentral behandelt werden. Unter Beachtung der örtlichen Wasserqualität (Härte) muss bei einer Bemessung der Säurekapazitätsverbrauch bei unterschiedlichen Frachtminderungsansätzen berechnet werden.

8.4.1.2. *Theoretische Berechnungen zum Säurekapazitätsverbrauch bei unterschiedlichen Frachtminderungsansätzen*

Im Folgenden wird der Säurekapazitätsverbrauch unter Berücksichtigung der Wasserhärte (Karbonathärte) bei verschiedenen Frachtminderungsansätzen berechnet. In Anlehnung an die nach §7 Abs. 1 Satz 1 Nr. 5 WRMG gesetzlich vorgegebenen Härtebereiche, werden folgende Härten festgelegt:

- „hartes Wasser“ → 3,8 mmol/l
- „weiches Wasser“ → 1,5 mmol/l [WRMG, 1987].

Als Frachtminderungsansätze werden die drei im Abschnitt 8.4.1.1 vorgestellten Ansätze aufgegriffen. Die nutzerspezifische Wassermenge beträgt 6 l/B.

1. Ansatz:

Keine Stoffstromseparation. Für die Berechnung des Säurekapazitätsverbrauchs werden folgende Annahmen getroffen:

- Frachten: $BSB_5 = 1,78 \text{ g/B}$; $TKN = 1,95 \text{ g/B}$
- Es erfolgt (im ersten Schritt) keine Denitrifikation
- Ein Teil der Stickstofffracht wird durch Inkorporation in die Biomasse eliminiert [$0,05 \text{ g TKN / g BSB}_5$]

Die zu nitrifizierende Stickstofffracht ergibt sich zu:

$$B_{N,nitri} = 1,95 \text{ g TKN / B} - (0,05 \text{ g TKN / g BSB}_5 \times 1,78 \text{ g BSB}_5 / B) = 1,86 \text{ g/B}$$

Die Veränderung der Säurekapazität ergibt sich aus der vollständigen Ammonifikation und anschließenden Nitrifikation der Stickstofffracht zu:

$$\Delta SK_{nitri} = 1/14 \times 1,86 \text{ g/B} - 2/14 \times 1,86 \text{ g/B} = -0,13 \text{ mol/B} = -132,9 \text{ mmol/B}$$

gehen verloren.

Die Ausgangssäurekapazität pro Benutzer für „**Hartes Wasser**“ ergibt sich zu:

$$SK_{ausg} = 6,0 \text{ l/B} \times 3,8 \text{ mmol/l} = 22,8 \text{ mmol/B}$$

Die verbleibende Säurekapazität in der biologischen Stufe beträgt:

$$SK_{bio} = -132,9 \text{ mmol/B} + 22,8 \text{ mmol/B} = \underline{\underline{-110,1 \text{ mmol/B}}}$$

Das Defizit an Säurekapazität kann durch eine gezielte Denitrifikation im zweiten Schritt verringert werden.

- Bei der Denitrifikation werden $2,86 \text{ g O}_2 / \text{g NO}_3\text{-N}_{elim.}$ freigesetzt.

$$\rightarrow 1 \text{ g } N_{deni} = 2,86 \text{ g BSB}_5$$

Daraus ergibt sich eine mögliche zu denitrifizierende Stickstofffracht von:

$$B_{N,deni} : 1,78 \text{ g BSB}_5 / B / 2,86 \text{ g BSB}_5 / \text{g } N_{deni} = 0,62 \text{ g } N_{deni} / B$$

Die Veränderung der Säurekapazität aufgrund der Denitrifikation ergibt sich zu:

$$\Delta SK_{deni} = 1/14 \times 0,62 \text{ g/B} = 0,044 \text{ mol/B} = 44,5 \text{ mmol/B}$$

Die verbleibende Säurekapazität in der biologischen Stufe beträgt:

$$SK_{bio} = -110,1 \text{ mmol/B} + 44,5 \text{ mmol/B} = \underline{\underline{-65,6 \text{ mmol/B}}}$$

Bei einem nutzerspezifischen Wasserverbrauch von $6,0 \text{ l/B}$ beträgt die Säurekapazität im Ablauf der biologischen Stufe:

$$SK_{Ab} = -65,6 \text{ mmol/B} / 6,0 \text{ l/B} = \underline{\underline{-10,94 \text{ mmol/l}}}$$

Ein weiterer Ausgleich des Defizits an Säurekapazität kann theoretisch durch Zugabe von Kalk- oder Natriumverbindungen in den Abwasserstrom erfolgen. Dies wird bei großen Kläranlagen allerdings mit erheblichem Betriebsaufwand durchgeführt. Für Kläranlagen an PWC-Anlagen ist eine Kalkzugabe nicht geeignet.

2. Ansatz:

Urinabtrennung aus den Urinalen im Herrenbereich. Für die Berechnung des Säurekapazitätsverbrauchs werden folgende Annahmen getroffen:

- Frachten: $BSB_5 = 0,93 \text{ g/B}$; $TKN = 0,67 \text{ g/B}$
- Es erfolgt (im ersten Schritt) keine Denitrifikation
- Ein Teil der Stickstofffracht wird durch Inkorporation in die Biomasse eliminiert [$0,05 \text{ g TKN / g BSB}_5$]

Die zu nitrifizierende Stickstofffracht ergibt sich zu:

$$SK_{N,nitri} = 0,67 \text{ g TKN / B} - (0,05 \text{ g TKN / g BSB}_5 \times 0,93 \text{ g BSB}_5 / \text{B}) = 0,62 \text{ g/B}$$

Die Veränderung der Säurekapazität ergibt sich aus der vollständigen Ammonifikation und anschließenden Nitrifikation der Stickstofffracht zu:

$$\Delta SK_{nitri} = 1/14 \times 0,62 \text{ g/B} - 2/14 \times 0,62 \text{ g/B} = -0,044 \text{ mol/B} = -44,3 \text{ mmol/B}$$

gehen verloren.

Die Ausgangssäurekapazität pro Benutzer für „**Hartes Wasser**“ ergibt sich zu:

$$SK_{ausg} = 6,0 \text{ l/B} \times 3,8 \text{ mmol/l} = 22,8 \text{ mmol/B}$$

Die verbleibende Säurekapazität in der biologischen Stufe beträgt:

$$SK_{bio} = -44,3 \text{ mmol/B} + 22,8 \text{ mmol/B} = \underline{\underline{-21,5 \text{ mmol/B}}}$$

Das Defizit an Säurekapazität kann durch eine gezielte Denitrifikation im zweiten Schritt verringert werden.

- Bei der Denitrifikation werden $2,86 \text{ g O}_2 / \text{g NO}_3\text{-N}_{elim.}$ freigesetzt.

$$\rightarrow 1 \text{ g } N_{deni} = 2,86 \text{ g BSB}_5$$

Daraus ergibt sich eine mögliche zu denitrifizierende Stickstofffracht von:

$$B_{N,deni} = 0,93 \text{ g BSB}_5 / \text{B} / 2,86 \text{ g BSB}_5 / \text{g } N_{deni} = 0,33 \text{ g } N_{deni} / \text{B}$$

Die Veränderung der Säurekapazität aufgrund der Denitrifikation ergibt sich zu:

$$\Delta SK_{deni} = 1/14 \times 0,33 \text{ g/B} = 0,023 \text{ mol/B} = 23,2 \text{ mmol/B}$$

Die verbleibende Säurekapazität in der biologischen Stufe beträgt:

$$SK_{bio} = -21,5 \text{ mmol/B} + 23,2 \text{ mmol/B} = \underline{\underline{1,73 \text{ mmol/B}}}$$

Bei einem nutzerspezifischen Wasserverbrauch von $6,0 \text{ l/B}$ beträgt die Säurekapazität im Ablauf der biologischen Stufe:

$$SK_{Ab} = 1,73 \text{ mmol/B} / 6,0 \text{ l/B} = \underline{\underline{0,29 \text{ mmol/l}}}$$

Mit diesem positiven Ergebnis ist die Säurekapazität ausgeglichen. Jedoch wird der Mindestwert von $1,5 \text{ mmol/l}$ als Sicherheitsreserve im Ablauf unterschritten. Im ersten Schritt wird empfohlen vom Wassersparen abzusehen, um mit der Wasserhärte des Trinkwassers die

Ausgangssäurekapazität zu erhöhen. Eine weitere Anhebung der Säurekapazität kann durch Zugabe von Kalk- oder Natriumverbindungen in den Abwasserstrom erfolgen.

- Zugabe von $\text{Ca}(\text{OH})_2$:

Um 1 mmol/l Säurekapazität anzuheben werden 0,5 mmol $\text{Ca}(\text{OH})_2$ benötigt.

$$SK_{\text{ausgl}} = 1,5 \text{ mmol/l} - 0,29 \text{ mmol/l} = 1,21 \text{ mmol/l}$$

$$C_{\text{Ca}(\text{OH})_2} = 1,21 \text{ mmol/l} \times 0,5 \times 74,1 \text{ mg/mmol} = \underline{44,9 \text{ mg/l Ca}(\text{OH})_2}$$

- Zugabe von CaCO_3 :

Um 1 mmol/l Säurekapazität anzuheben werden 0,5 mmol CaCO_3 benötigt.

$$C_{\text{CaCO}_3} = 1,21 \text{ mmol/l} \times 0,5 \times 100,1 \text{ mg/mmol} = \underline{60,7 \text{ mg/l CaCO}_3}$$

- Zugabe von NaOH:

Um 1 mmol/l Säurekapazität anzuheben werden 1,0 mmol NaOH benötigt.

$$C_{\text{NaOH}} = 1,21 \text{ mmol/l} \times 40 \text{ mg/mmol} = \underline{48,5 \text{ mg/l NaOH}}$$

Die folgende Abbildung veranschaulicht die Problematik des Säurekapazitätsverbrauches unter den dargestellten Frachtminderungsansätzen.

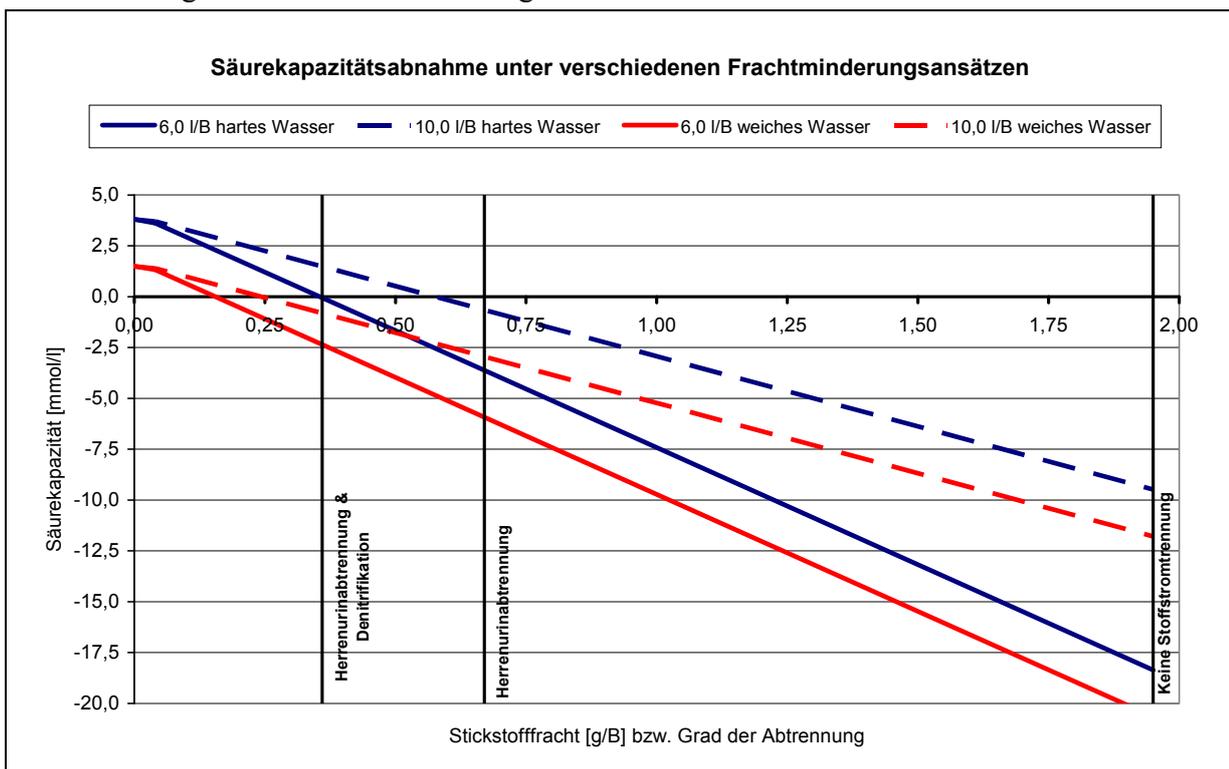


Abbildung 8-4: Darstellung der Säurekapazitätsabnahme bei der biologischen Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen

8.4.1.3. Praktische Umsetzung der Urinseparation

Um Urin bzw. Gelbwasser zu separieren, muss er / es in entsprechenden Urinalen separat erfasst und in einen Urinspeicher abgeleitet werden.

Beim Einsatz von konventionellen (Wasser sparenden) Urinalen wird der Urin zusammen mit dem Spülwasser als Gelbwasser erfasst. Bei wasserlosen Urinalen (Trockenurinalen) reduziert sich der Stoffstrom auf den Urin.

Wasserlose Urinale wurden vor allem zur Einsparung von Trinkwasser entwickelt, können aber zusätzlich die Aufgabe übernehmen, Urin separat und unverdünnt zu erfassen. Die Oberflächen der Urinale sollen speziell beschichtet und konstruiert sein, um Ablagerungen zu vermeiden. Am Markt sind viele Modelle erhältlich, die sich hauptsächlich im Material (Kunststoff, Keramik, Edelstahl) und in der Konstruktion des Geruchsverschlusses unterscheiden (Abbildung 8-5). Die Geruchsverschlüsse sind wahlweise mit:

- Sperrflüssigkeit,
- hydrostatischem Auftriebskörper oder
- Schlauchventil (Geruchsmembran) ausgestattet.



Abbildung 8-5: Wasserlose Urinale aus Keramik¹⁷ (links) mit Geruchsmembran¹⁸ (Mitte/links) und Kunststoff¹⁹ (Mitte/rechts) mit Sperrflüssigkeit²⁰ (rechts)

Wasserlose Urinale können als Einzelurinale oder als Reihenurinal (Rinne) vorgehalten werden. Einzelurinale sind für männliche Nutzer an Autobahnrastanlagen mittlerweile weit verbreitet, sie könnten aber ebenso als Frauenurinale zum Einsatz kommen.

¹⁷ Quelle: Keramag; <http://pro.keramag.com/keramag-produktdatenbank.44.0html?id=44&s=22&d=236400>

¹⁸ Quelle: Keramag; <http://pro.keramag.com/?id=44&g=T33-000029&d=595710>

¹⁹ Quelle: TiP GmbH; <http://www.wasserlose-urinale.de>

²⁰ Quelle: Ernst; <http://www.system-ernst.de/pre-bubau.htm>



Abbildung 8-6: Wasserloses Rinnenurinal für Herren aus Kunststoff²¹ (links) und Keramik²² (Mitte) sowie Frauenurinal aus Keramik²³ (rechts)

Vor- und Nachteile:

- + kein Wasserverbrauch
- + einfache und gewohnte Benutzung (Herrenurinale)
- regelmäßige Reinigung bzw. Ersatz des Geruchsverschlusses erforderlich
- Geruchsprobleme und Verstopfungen bei unzureichender Wartung/Pflege

Im großen Maßstab kommen wasserlose Urinale in den öffentlichen Toilettenanlagen Hamburgs zum Einsatz. Unter den extremen Bedingungen hoher Nutzungsfrequenzen hat sich insbesondere das Schlauchventil als Geruchsverschluss bewährt. Letzterem ist nach den Betriebserfahrungen der BUW der Vorzug zu geben.

Unabhängig davon, ob Urin oder Gelbwasser separiert wird, ist die Installation einer separaten Leitung (Schwerkraftleitung DN 50) im WC-Gebäude bis zu einem Speichertank erforderlich. Urin bzw. Gelbwasserleitungen sollten mit einem kontinuierlichen Gefälle $> 1\%$ verlegt werden. Stellen, an denen Gelbwasser in der Leitung steht, sind zu vermeiden, da sich an diesen Stellen verstärkt Ablagerungen bilden können, die zu Verstopfungen führen [DWA, 2008; DIN 2000].

Für die Dimensionierung und den Bau von Sammel tanks gilt Ähnliches wie für abflusslose Gruben und Schlamm Speicher. Der Speicher muss dicht sein, damit keine Schmutzstoffe in den Boden bzw. das Grundwasser gelangen können. Andererseits wird so das Eindringen von Grund- und Regenwasser verhindert (siehe Abschnitt 8.3). Der Sammel tank muss ein ausreichendes Volumen besitzen. Um das Bemessungsvolumen zu minimieren, wird empfohlen wasserlose Urinale einzusetzen. Für die Bemessung ist die mögliche Transportkapazität der Abfuhrfahrzeuge zu berücksichtigen. Ein Abfuhrintervall von 2mal pro Jahr sollte aus

²¹ Quelle: Urigan; <http://www.uridan.de>

²² Quelle: System Ernst; <http://www.system-ernst.de/bil.htm>

²³ Quelle: GBH Group; http://www.gbhgroup.com.my/SANIWARE/Urinals%20Sanitaryware/framespage/Lady-Loo_frame.htm

betrieblichen Gründen nicht unterschritten werden. Abfuhrintervall und Speichergröße müssen aufeinander abgestimmt und wirtschaftlich optimiert werden. Eine Optimierung kann im Zuge einer Ausschreibung der Leistung erfolgen. Die Abfuhrintervalle richten sich nach der Auslastung der PWC-Anlage.

Für das nachfolgende Bemessungsbeispiel wird davon ausgegangen, dass der Urin / Gelbwasser aus Männer- und Frauenurinalen separat erfasst und gespeichert werden soll. Weitere Annahmen sind:

- 300 Benutzer pro Tag
- 95 % aller Benutzer urinieren lediglich
- Dabei hinterlässt jeder Benutzer ca. 200 ml Urin
- Die Spülwassermenge für ein Urinal beträgt 1,0 Liter pro Spülung

Beispiel Gelbwasserspeicher:

$$0,2 \text{ l Urin} + 1,0 \text{ l Spülwasser} = 1,2 \text{ l Gelbwasser pro Benutzer}$$

$$\text{Gelbwasseranfall pro Tag:} = 300 \text{ B/d} \times 95 \% \times 1,2 \text{ l/B} = 342 \text{ l/d}$$

Das Abfuhrintervall wird auf 180 Tage festgelegt, d.h. es ergibt sich ein Volumen für den Gelbwasserspeicher von $= 0,342 \text{ m}^3/\text{d} \times 180 \text{ d} = \underline{62 \text{ m}^3}$

Bei der Auslegung ist eine Sicherheitsreserve zu berücksichtigen.

Beispiel Urinspeicher:

$$\text{Urinanfall pro Tag:} = 300 \text{ B/d} \times 95 \% \times 0,2 \text{ l/B} = 57 \text{ l/d}$$

Das Abfuhrintervall wird auf 180 Tage festgelegt, d.h. es ergibt sich ein Volumen für den Urinspeicher von $= 0,057 \text{ m}^3/\text{d} \times 180 \text{ d} = \underline{10,26 \text{ m}^3}$

Bei der Auslegung ist eine Sicherheitsreserve zu berücksichtigen.

Generell ist eine regelmäßige Reinigung der sanitären Einrichtungen im WC-Gebäude notwendig. Wasserlose Urinale verlangen in Abhängigkeit vom Modell, bzw. von der Art und Konstruktion ihrer Geruchsverschlüsse, eine intensivere Wartung als wassergespülte Urinale. Die zur Reinigung eingesetzten Betriebsmittel (Reinigungsmittel) sind auf die Abwasserbehandlung abzustimmen. Eine Geruchsfreisetzung ausgehend von den Urinalen ist in der Regel auf defekte Geruchsverschlüsse zurückzuführen.

Für Sammel tanks außerhalb von Gebäude ist zu beachten, dass der Gefrierpunkt von Urin nur geringfügig unterhalb von 0°C liegt. Deshalb wird der Einbau von GFK-Tanks empfohlen. An der Stelle der Entlüftung des Sammel tanks ist mit Geruchsentwicklung durch Ammoniak zu rechnen. Eine Geruchsbelästigung der Nutzer sollte durch eine entsprechende Planung vermieden werden. Am Boden von Urin- oder Gelbwassersammel tanks bildet sich meist eine Schlammschicht. Der Schlamm ist sehr leicht in Suspension zu bringen und kann somit gut abgepumpt werden. Bei der Entleerung der Sammelbehälter ist ebenfalls mit der Freisetzung von Ammoniak und weiteren schädlichen Gasen zu rechnen, wobei der Aspekt der Arbeitssicherheit zu berücksichtigen ist [DWA, 2008].

8.4.2. *Wahl eines Abwasserbehandlungsverfahrens*

Für die Wahl eines geeigneten Abwasserbehandlungsverfahrens ist die Problematik des hydraulisch und stofflich schwankenden Abwasseranfalls von Bedeutung. Beim Belebtschlammverfahren besitzen die Mikroorganismen die Fähigkeit, ihre Abbauleistung an ein wechselndes Nährstoffangebot anzupassen, sofern der Enzymgehalt in der Biomasse quantitativ und qualitativ an die BSB₅-Belastung angepasst ist. Die größte Pufferkapazität gegen quantitative Belastungsstöße besitzt ein Belebtschlamm, der im mittleren Bereich seiner Abbauleistung gehalten wird. Befindet er sich ständig nahe seiner maximalen Abbauleistung, können Stoßbelastungen leicht in den Ablauf durchschlagen. Zudem kann auch die Biomasse aus dem System gespült werden. Wird die Biomasse jedoch ständig im extrem schwach belasteten Bereich gehalten, vermindert sich die Enzymmenge soweit, dass Stöße nicht mehr kompensiert werden können [Mudrack & Kunst, 2003]. Der Betrieb einer Belebtschlammanlage erfordert deshalb einen enormen Aufwand. Aus den genannten Gründen sind Belebtschlammverfahren für die dezentrale Behandlung ungünstig. Deshalb wird im Folgenden auf aerobe Biofilmverfahren, speziell auf (bepflanzte) Bodenfilter eingegangen.

Biofilmverfahren sind weniger empfindlich gegen Stoßbelastungen und lang anhaltende Perioden der Unterlast, allerdings reagieren sie träger auf sich ändernde Bedingungen. Jedoch besteht mit einem Biofilmverfahren die Möglichkeit, spezialisierte Mikroorganismen mit langen Generationszeiten (Nitrifikanten, Mikroorganismen für die Elimination schwer abbaubarer Stoffe) durch „Anheften“ an Aufwuchsflächen im System anzureichern. Diese Besonderheit macht Biofilmverfahren für die Abwasserbehandlung interessant. Es können Mikroorganismen mit verschiedensten Ansprüchen an Substrat- und Milieubedingungen nebeneinander auf engem Raum stoffwechselaktiv sein. So können auch schwer abbaubare Substanzen umgesetzt werden. Es bilden sich eng aufeinander abgestimmte Nahrungsketten zwischen den Mikroorganismen, die sich dann räumlich eng zueinander ordnen (Mikrokonsortien) [Mudrack & Kunst, 2003]. Als Nachteil ist anzusehen, dass die Anreicherung verschiedener spezieller Mikroorganismen sowie deren Stoffwechseltätigkeit ohne erheblichen Aufwand nicht zu initiieren und zu kontrollieren ist. Beispielsweise ist bei vertikal durchströmten Biofiltern ein zwangsläufiges Einsetzen der Nitrifikation zu erwarten. Hierdurch kann die Säurekapazität soweit herabgesetzt werden, dass der pH-Wert absinkt (siehe Abschnitt 8.1).

Im Bodensubstrat von Bodenfiltern sind in der Regel Kalkanteile enthalten. Gehen diese durch die Beschickung mit Abwasser in Lösung, so wird die Säurekapazität positiv beeinflusst. Dieser Effekt kann durch den gezielten Einbau von Kalksteinen ausgenutzt werden. Ein Nachteil entsteht bei einer simultanen Phosphatfällung, die jedoch erst bei pH-Werten von 8,5 bis 9 wirksam wird [Bever & Peschen, 1991]. Dabei bildet sich mit der Zeit eine feste Schicht aus Calciumphosphat auf der Oberfläche der Kalksteine, welche die Auflösung blockiert. Entsprechende Versuche zur Anhebung der Säurekapazität in Bodenfiltern durch den Einbau von Kalksteinen stehen noch aus.

Um den Kohlenstoffgehalt des Abwassers auszunutzen, kann eine Denitrifikation sinnvoll sein, um H⁺-Ionen zu verbrauchen. Zu den technischen Möglichkeiten und deren Umsetzung besteht Forschungsbedarf.

Bisher an PWC-Anlagen eingesetzte Pflanzenkläranlagen waren falsch bemessen, unzureichend dimensioniert und scheitern in den meisten Fällen an der technischen Umsetzung der Beschickung. Die Bemessung und Dimensionierung erfolgte unter den Vorgaben für kommunales Abwasser und ist damit auf die Unkenntnis der Abwasserzusammensetzung an PWC-Anlagen zurückzuführen, die mit dem vorliegenden Forschungsbericht ausgeräumt werden soll. Um die Reinigungsleistung des Filterkörpers optimal auszunutzen, muss das Abwasser auf die Fläche gut verteilt, und mit Sauerstoff angereichert aufgebracht werden. Auch eine Rezirkulation des Abwassers bringt nach Erfahrungen der BUW eine Verbesserung der Reinigungsleistung. Dennoch ist die Frage offen, an welcher Stelle der Rezirkulationsstrom am sinnvollsten in Prozess eingebracht werden kann. Die unterirdische Beschickung, die das Abwasser mit Druck über perforierte Schläuche auf das Beet fördert, hat sich im Betrieb an Autobahnen als anfällig erwiesen. Die dünnen Schläuche verstopfen aufgrund von Feststoffen und Urinsteinausfällungen schnell und müssen ausgetauscht werden. Teilweise ist dies auch auf eine unzureichende Vorklärung zurückzuführen. Oberirdisch verlegte Verteilungselemente sind Witterungseinflüssen ausgesetzt, was ihre Nutzungsdauer extrem verkürzt. Um der Verstopfung der Beschickungsleitungen vorzubeugen, müssen die heutigen Systeme regelmäßig gespült werden, was einen gewissen Betriebsaufwand erfordert. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Abwasserreinigung sind im Arbeitsblatt DWA-A 262 zu finden [DWA, 2006a]. Allerdings ist die Anwendung dieses Arbeitsblattes für PWC-Abwässer nur eingeschränkt möglich. Der Anwendungsbereich des DWA-A 262 liegt ausschließlich bei häuslichem Abwasser.

8.4.3. *Empfehlungen zum Bau und Betrieb von dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen an PWC-Anlagen*

Biologische Filter (Bodenfilter, Pflanzenkläranlagen) kombinieren den biologischen Abbau gelöster Stoffe mit der Filtration von Suspensa. Es wird keine Nachklärung benötigt. Es ist zu beachten, dass zurückgehaltene suspendierte Stoffe sowie aus dem biologischen Abbau entstandene Biomasse im System verbleiben und die Porenräume allmählich zusetzen. Aber auch Rohrleitungen oder Schläuche können verstopfen. Deshalb ist eine Fest- und Grobstoffabscheidung essentiell. Eine Vorklärung mit integriertem Schlamm Speicher dient einerseits zum Ausgleich von hydraulischen und stofflichen Stoßbelastungen und somit zur Sicherstellung einer effektiven Abwasserbehandlung vor Ort, andererseits zum sicheren Lagern von Stoffen, die nicht vor Ort entsorgt werden sollen oder können. Eine effektivere Feststoffabscheidung kann mit technischen Einrichtungen, wie einem Bogensieb, erreicht werden, was jedoch einen hohen Wartungsaufwand erfordert.

Oft ist bei einer Neuplanung einer PWC-Anlage die endgültige Auslastung nicht bekannt. Deshalb wird eine modulare Auslegung der dezentralen Abwasseranlagen empfohlen. Zum Beispiel kann eine Pflanzenbeetfläche für eine Auslastung von bis zu 500 Benutzern pro Tag ausgelegt werden und zusätzlich eine zweite gleicher Größe, die bei einem zu erwartenden durchschnittlichen Benutzeraufkommen zwischen 500 und 1.000 Benutzern pro Tag in Be-

trieb genommen wird. Es ist zu beachten, dass die Inbetriebnahme einer biologischen Stufe zur Abwasserreinigung eine gewisse Einarbeitungszeit benötigt, in der sich eine Biozönose entwickeln kann. In jedem Fall sollten Erweiterungsmöglichkeiten (Anschlüsse, Flächen, Leistungsbedarf an elektrischer Energie, etc.) vorgesehen werden.

Ein Vorteil von Bodenfiltern gegenüber anderen biologischen Abwasserreinigungsverfahren ist, dass sie einen verhältnismäßig geringen Wartungsaufwand erfordern. Bis auf die Beschickung der Beete durch Pumpen werden keine maschinellen Einrichtungen eingesetzt. Der Ausfall von Technik, z.B. infolge von Kurzschlüssen in der Elektrik, sind häufig die Ursachen von Betriebsstörungen von Kläranlagensystemen. Erfolgt die Wartung und Eigenkontrolle unzureichend, kann eine Betriebsstörung über lange Zeiträume unbemerkt bleiben. Hervorzuheben ist, dass hiervon alle Systeme mit Maschinenteknik oder elektrischer Steuerungstechnik und nicht nur solche mit technischer Belüftung betroffen sind. Abhilfe könnte der weitestgehende Verzicht auf Technik schaffen, jedoch sind dann dem Anpassungsspielraum auf verschiedene Belastungssituationen Grenzen gesetzt. Der Verzicht auf Pumpen setzt Gefälleverhältnisse voraus, wie sie nur selten gegeben sind. Deshalb wird empfohlen, die maschinelle Einrichtung (u. a. Pumpen) möglichst übersichtlich, wartungsfreundlich und robust zu gestalten. Auf eine hochtechnische Automatisierung, die vom Betreiber nicht kontrolliert und gewartet werden kann, ist zu verzichten. Im Sanierungsfall sollte eine Bestandsaufnahme vorhandener Abwassersysteme erfolgen, um die Art, Anzahl, Funktion und den baulichen Zustand zu beurteilen. Vorhandene Systeme können unter Umständen in ein neues System integriert werden.

Die Leistungsfähigkeit technischer Systeme, wie Abwasseranlagen, ist stark an die Wartung durch Fachkundige (Hersteller oder Fremdfirma) und noch stärker an die Eigenkontrolle durch den Betreiber (Autobahnmeisterei) gebunden. Jedoch verfügen die Autobahnmeistereien in der Regel nicht über das nötige abwassertechnisch qualifizierte Personal, um die Eigenkontrollen im ausreichenden Umfang durchzuführen. Nach unseren Erfahrungen ist es Straßenwärtern aufgrund der gegenwärtigen Arbeitsbelastung in Verbindung mit der aktuellen Personalsituation nicht zuzumuten, komplizierte abwassertechnische Systeme ordnungsgemäß zu betreiben. Deshalb ist es notwendig, die betrieblichen Belange in die Verantwortung der Aufgabenträger der Abwasserentsorgung (Gemeinde / Zweckverband) zu geben. Dann kann auch die Palette der technischen Möglichkeiten vergrößert werden (z.B. Zugabe von Stoffen, Steuerung, Fernüberwachung etc.).

8.5. Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeit zählt neben der Funktionsfähigkeit, der Betriebssicherheit und der Einhaltung der wasserrechtlichen Anforderungen zu den wesentlichen Kriterien einer abwassertechnischen Anlage. Die unterschiedlichen Möglichkeiten der Abwasserentsorgung sind grundsätzlich einer Variantenuntersuchung zu unterziehen. Die Kosten sind dabei von grundlegender Bedeutung. Für den Kostenvergleich hat sich das Vorgehen nach der Leitlinie zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen der Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) bewährt [LAWA, 2005]. Hierbei ist darauf zu achten, dass alle Kostenangaben für die notwendigen Einrichtungen und Ausstattungen des Abwasserentsorgungssystems unter

Angabe der Nutzungsdauer berücksichtigt werden. Die Anwendung dieser Methode setzt eine Nutzengleichheit der Varianten voraus.

Bei einer stufenweisen Realisierung bzw. Erweiterung müssen das Gesamtkonzept und somit auch die Gesamtkosten bereits zu Beginn der ersten Maßnahme in hinreichend detaillierter Form vorliegen.

Die Investitionskosten bei der Abwasserableitung setzen sich aus den Baukosten für den Kanal, Schächte oder Reinigungsöffnungen und die technische Einrichtungen, wie Pumpen oder Druckluftpülstationen, zusammen. Druckleitungen können bei bestimmten Durchmessern grabenlos verlegt werden, was zur Reduzierung der Investitionskosten gegenüber der Freigefälleentwässerung führen kann. Demgegenüber stehen bei der Freigefälleentwässerung geringere Betriebskosten, da keine wartungsintensiven technischen Einrichtungen sowie Energie für die Abwasserförderung benötigt werden. Es entstehen dennoch Kosten für den Reinigungsaufwand durch Spülen und die optische Inspektion mit Dokumentation.

Für die Variante der dezentralen Sammlung der Abwässer in einer abflusslosen Grube mit Abtransport und Behandlung in einer zentralen Kläranlage sind die Baukosten für die Grube sowie die Betriebskosten infolge des Abtransportes zu ermitteln.

Die Kosten für die Behandlung des abgeleiteten Abwassers bzw. Fäkalschlammes in der Kläranlage muss ebenfalls bei einem Kostenvergleich berücksichtigt werden. Entsprechende Angaben hierzu sind in den Satzungen der zuständigen Abwasserentsorger zu finden. Für Abwässer von PWC-Anlagen können Starkverschmutzerzuschläge erhoben werden.

Bei der dezentralen Teilbehandlung sind die Investitionskosten der Anlagenteile aber vor allem die Betriebskosten von dem gewählten Reinigungsverfahren abhängig. Die Investitionskosten für den Urin- bzw. Gelbwasserspeicher als Anlagenteil sind hier ebenfalls zu berücksichtigen. Als Betriebskosten bei dezentralen Abwasserentsorgungssystemen sind Wartungskosten, Energiekosten, Kosten für die Schlamm-, Gelbwasser- oder Urinentsorgung und Ersatzstoffe, wie Verschleißteile und Schmiermittel, anzusetzen. Wartungskosten hängen im Wesentlichen vom Anlagenverfahren, von der Anlagengröße ab. Es treten regionale Unterschiede bei den Preisen für den Strom und die Reststoffentsorgung auf.

Die Entscheidung für eine geeignete Bewirtschaftung der Abwässer an PWC-Anlagen sollte in erster Linie nach den in den vorhergehenden Abschnitten dieses Kapitels behandelten verfahrenstechnischen Voraussetzungen getroffen werden. Ein weiteres Kriterium ist der betriebliche Aufwand, der für den Teil, der durch das Personal der Autobahnmeistereien entsteht, oft nicht ermittelt werden kann. Beim betrieblichen Aufwand überwiegen klar die Vorteile für die Variante der Überleitung. Jedoch ist die Entfernung der PWC-Anlage zur zentralen Kläranlage (bzw. zum nächsten öffentlichen Kanal) im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit das ausschlaggebende Kriterium. Dies trifft besonders auf die Varianten Überleitung und abflusslose Grube zu.

Um dem Planer eine Methode an die Hand zu geben, nach der ein Variantenvergleich kostenmäßig durchgeführt werden kann, werden im Folgenden die drei möglichen Grundvarianten zur Abwasserentsorgung an PWC-Anlagen nach ihren Kosten in Bezug auf die Entfer-

nung zur nächsten zentralen Kläranlage untersucht. Für die Realisierung einer dezentralen Abwasserbehandlung ist außerdem eine Erlaubnis zum Einleiten von Abwasser in ein Gewässer oder das Grundwasser nach § 7 WHG obligatorisch. Ohne die Einleitungserlaubnis bleiben nur noch die Varianten 1. und 2. für eine Betrachtung nach wirtschaftlichen Kriterien.

Für die Berechnungen wurden Investitions- und Betriebskosten als Pauschalwerte nach einer Auswertung verschiedener Literaturangaben [Heise, 2009/Müller, Straub, Heine, 2006/Lohse, 2000/ Reicherter, 2003] und eigenen Erfahrungen zusammengestellt. Sie stellen nur eine Größenordnung dar. Die daraus ermittelten Projektkostenbarwerte bilden eine Grundlage für die Bewertung, wann eine Überleitung, das Sammeln in einer abflusslosen Grube oder eine dezentrale Teilbehandlung nach Urin- bzw. Gelbwasserseparation wirtschaftlich sinnvoll ist. Da hier nur zwei Beispiele dargestellt werden, wurde auf dieser Berechnungsbasis eine Tabellenkalkulation entwickelt, mit der der Planer seine individuellen Lösungen einem Variantenvergleich nach KVR unterziehen kann. Die Eingabemaske hierzu ist in Abbildung 8-7 dargestellt.

Die Angaben in den farbig hinterlegten Feldern sind vom Planer zu ermitteln und in die Eingabemaske einzugeben. Im zweiten Teil der Eingabemaske finden sich Variablen zu Sensitivität. Diese können ebenfalls vom Anwender beeinflusst werden. Für das praktische Vorgehen wird empfohlen, eine Vergleichsrechnung durchzuführen, die sowohl bei den Betriebskosten als auch bei den Kosten für Reinvestitionen keine Preissteigerungen vorsieht. Bei Sensitivitätsanalysen können dann die Auswirkungen verschiedener Steigerungsraten untersucht werden. Die Berechnung im Hintergrund erfolgt auf der Basis von Festwerten, die im dritten Teil der Eingabemaske aufgelistet sind. Sie basieren auf Ergebnissen der Untersuchungen und eigenen Annahmen. Die Angaben zu Nutzungsdauern beziehen sich auf durchschnittliche Nutzungsdauern abwassertechnischer Anlagen nach LAWA, (2005). Für die dezentrale Behandlung ist eine Pflanzenkläranlage mit einer Nutzungsdauer von 12,5 Jahren vorgesehen. Die Dimensionierung der Pflanzenkläranlage erfolgt mit Hilfe der Eingabedaten im Hintergrund nach den Vorgaben des DWA-A 262 (2006).

DATENEINGABE

Allgemeine Angaben	Eingabe	Standard
Benutzer pro Tag Spitze	1000 B/d	
Benutzer pro Tag im Jahresmittel	500 B/d	
spezifischer Abwasseranfall	10 l/B	6
Spülmenge bei Urinalen	1 l/B	1
Überleitung		
Entfernung zum Übergabepunkt	1,8 km	
Investitionskosten:		
Investitionskosten Kanal	100 €/m	100
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Betriebskosten Kanal	0,5 €/(m.a)	0,5
Abwasserbehandlungskosten incl. Nutzung öff. Kanalnetz	2 €/m ³	2
abflusslose Grube		
Investitionskosten:		
spezifischen Investitionskosten Grube	400 €/m ³	400
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Abwasserabfuhr	15 €/m ³	15
Abwasserbehandlungskosten	1 €/m ³	1
dezentrale Behandlung in Pflanzenkläranlage mit Herren-Urinabtrennung, -speicherung und -abfuhr		
Investitionskosten:		
spezifischen Investitionskosten Urinspeicher	500 €/m ³	500
spezifischen Investitionskosten PKA inkl. VK	500 €/m ²	500
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Urinentorgung (Abfuhr und Behandlung)	30 €/m ³	30
Primärschlamm Entsorgung (Abfuhr und Behandlung)	20 €/m ³	20
Betriebskosten	2000 €/a	2000

Variablen für Sensitivität

Preissteigerung für Reinvestition	0 %	0
Preissteigerung Betriebskosten r	0 %/a	0
Realzins i	3 %	3

Festwerte

Urinanfall je Benutzer	0,2 l/B
Anteil der Benutzer, die urinieren	95 %
Anteil männliche Benutzer	66 %
Primärschlamm anfall	3,1 g/B
Nutzungsdauer Kanal	50 a
Nutzungsdauer Grube	25 a
Nutzungsdauer Urinspeicher	25 a
Nutzungsdauer Pflanzenkläranlage (PKA)	12,5 a

Abbildung 8-7: Eingabemaske der Tabellenkalkulation zur KVR – Beispiel 1

Die Ausgabe bildet ein Variantenvergleich in Form eines Säulendiagramms. Die Ausgabemaske ist in Abbildung 8-8 dargestellt.

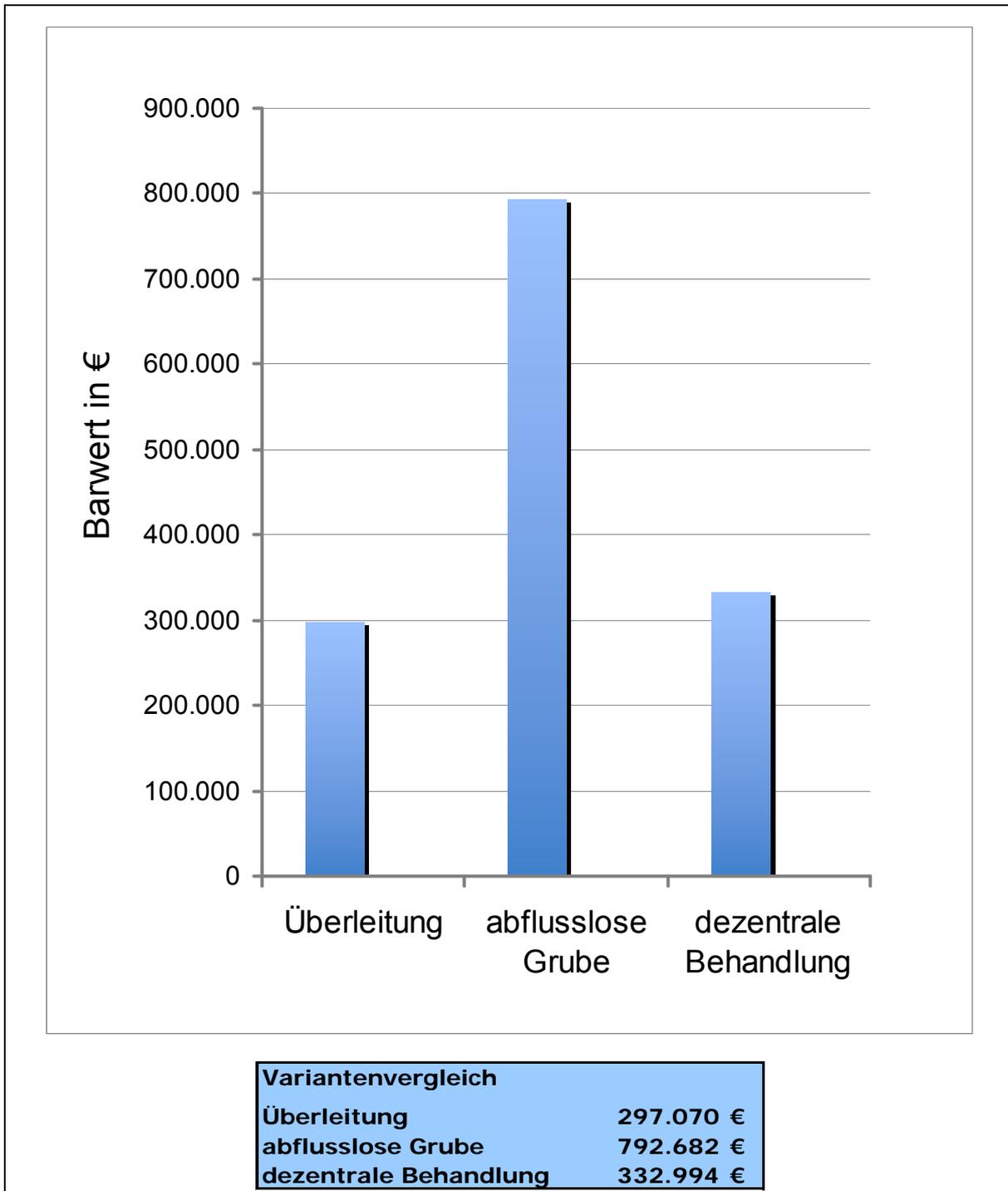


Abbildung 8-8: Ausgabemaske der Tabellenkalkulation zur KVR – Beispiel 1

Der Bau eines Kanals zur Überleitung der Abwässer in eine zentrale Kläranlage ist aus wirtschaftlichen Gründen nur sinnvoll, wenn die Entfernung zur nächsten Kläranlage bzw. zum nächsten öffentlichen Kanal nicht zu groß ist. Der ökonomische Einsatz von abflusslosen Gruben steht in direkter Anhängigkeit zu den veranschlagten Entsorgungskosten für den Grubeninhalt. Ähnlich verhält es sich für die Entsorgung von Urin bzw. Gelbwasser.

Für das in Abbildung 8-7 und Abbildung 8-8 dargestellte Beispiel 1 lässt sich festhalten, dass bei einer Entfernung zur Kläranlage von 1,8 km eine Überleitung aus wirtschaftlichen Gründen vorzuziehen ist. Der Barwert liegt bei 297.070 € gegenüber einem Barwert von 332.994 € für die Variante der dezentralen Behandlung. Weiterhin ist zu erkennen, dass der Einsatz von abflusslosen Gruben aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu empfehlen ist.

Zu signifikanten Unterschieden führt die Separation von Gelbwasser oder Urin. Bei einer Gelbwasserseparation muss ein größeres Speichervolumen als bei der Urinseparation vorgehalten werden, da neben dem Urin das Spülwasser gespeichert werden muss. Diese Mengen führen ebenfalls zu erheblichen höheren Kosten. Aus den genannten Gründen wird eine Gelbwasserseparation nicht empfohlen, und es wurde auf eine Darstellung des Projektkostenbarwertes für die Variante dezentrale Behandlung mit Gelbwasserseparation verzichtet.

DATENEINGABE		
Allgemeine Angaben	Eingabe	Standard
Benutzer pro Tag Spitze	500 B/d	
Benutzer pro Tag im Jahresmittel	250 B/d	
spezifischer Abwasseranfall	10 l/B	6
Spülmenge bei Urinalen	1 l/B	1
Überleitung		
Entfernung zum Übergabepunkt	1,8 km	
Investitionskosten:		
Investitionskosten Kanal	100 €/m	100
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Betriebskosten Kanal	0,5 €/(m.a)	0,5
Abwasserbehandlungskosten incl. Nutzung öff. Kanalnetz	2 €/m ³	2
abflusslose Grube		
Investitionskosten:		
spezifischen Investitionskosten Grube	400 €/m ³	400
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Abwasserabfuhr	15 €/m ³	15
Abwasserbehandlungskosten	1 €/m ³	1
dezentrale Behandlung in Pflanzenkläranlage mit Herren-Urinabtrennung, -speicherung und -abfuhr		
Investitionskosten:		
spezifischen Investitionskosten Urinspeicher	500 €/m ³	500
spezifischen Investitionskosten PKA inkl. VK	500 €/m ²	500
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Urinentorgung (Abfuhr und Behandlung)	30 €/m ³	30
Primärschlamm Entsorgung (Abfuhr und Behandlung)	20 €/m ³	20
Betriebskosten	2000 €/a	2000
Variablen für Sensitivität		
Preissteigerung für Reinvestition	0 %	0
Preissteigerung Betriebskosten r	0 %/a	0
Realzins i	3 %	3
Festwerte		
Urinanfall je Benutzer	0,2 l/B	
Anteil der Benutzer, die urinieren	95 %	
Anteil männliche Benutzer	66 %	
Primärschlamm anfall	3,1 g/B	
Nutzungsdauer Kanal	50 a	
Nutzungsdauer Grube	25 a	
Nutzungsdauer Urinspeicher	25 a	
Nutzungsdauer Pflanzenkläranlage (PKA)	12,5 a	

Abbildung 8-9: Eingabemaske der Tabellenkalkulation zur KVR – Beispiel 2

Bei einer geringen Auslastung (250 B/d im Jahresmittel) im Beispiel 2 verändern sich die Barwerte der drei Verfahrensvarianten folgendermaßen.

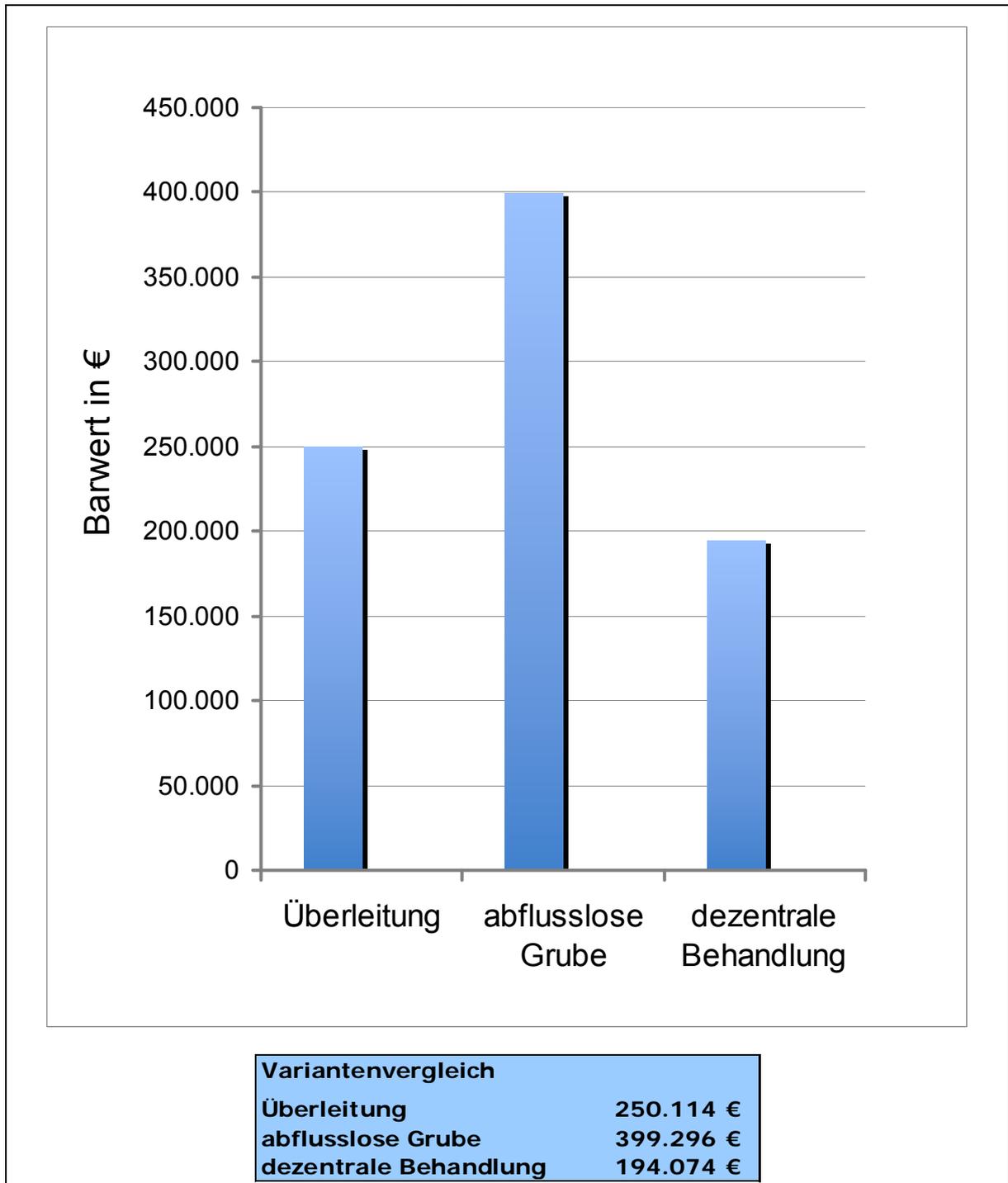


Abbildung 8-10: Ausgabemaske der Tabellenkalkulation zur KVR – Beispiel 2

Für alle Varianten gilt, dass aufgrund der geringeren Auslastung die Barwerte abnehmen, wobei dies bei der Variante 2 am stärksten zutrifft. Die Betriebskosten haben bei der abflusslosen Grube den größten Einfluss auf den Projektkostenbarwert. Im Gegensatz dazu ist der Einfluss der Betriebskosten bei der Überleitung am geringsten (nur über die Behandlungskosten des anfallenden Abwassers). Für eine gering ausgelastete PWC-Anlage ergibt sich ein Kostenvorteil für die dezentrale Behandlung gegenüber den beiden anderen Entsorgungsvarianten.

Die für die Entscheidungshilfe ermittelten Diagramme sollen als Orientierung dienen, unter welchen Voraussetzungen eine Variante zur Abwasserentsorgung wirtschaftlich sinnvoll ist. Um eine Variantenuntersuchung mit Hilfe einer Kostenvergleichsrechnung durchzuführen, sind die realen Kosten sowohl für Investitionen als auch für den Betrieb vom Planer bzw. vom Betreiber der Abwasserentsorgungssysteme selber zu ermitteln. Hinweise zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen nach LAWA sind in den Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien) zu finden [LAWA, 2005].

8.6. Beispiel zur Auslegung der Abwasserentsorgung

Vorgaben:

- Eine Einleitungserlaubnis nach § 7 WHG kann erteilt werden
- Maximale tägliche Benutzeranzahl = 1.000 B/d
- Tägliche Benutzeranzahl im Jahresmittel = 500 B/d
- Spezifischer Wasserverbrauch = 6 l/B
- Spezifischer Urinanfall = 0,2 l/B
- 2/3 aller Besucher sind männlich, 1/3 weiblich
- Entfernung zur nächsten zentralen Kläranlage = 1,5 km
- Säurekapazität im Trinkwasser $SK_{4,3} = 3,5$ mmol/l (entspricht annähernd hartem Wasser)
- Schmutzfrachten:

Parameter	Urin [g/B]	Fäzes [g/E*d]	Zulauf zur biologischen Stufe (ohne Stoffstromtrennung) [g/B] ²⁴	Zulauf zur biologischen Stufe (mit Herren- urinabtrennung) [g/B] ²⁴
CSB	2,61	60	3,98	2,33
BSB ₅	1,35	20	1,78	0,93
TKN	2,01	1,5	1,95	0,67

Technische Auslegung der möglichen 3 Grundvarianten:

1. Überleitung in eine zentrale Kläranlage:

• *Abwasseranfall:* $Q_d = 500 \text{ B/d} \times 6,0 \text{ l/B} = 3.000 \text{ l/d} = 3,0 \text{ m}^3/\text{d}$

→ *Stündlicher Spitzenabfluss:* $Q_{S,h,max} = 3.000 \text{ l/d} / 10 \text{ h/d} = 300 \text{ l/h} = 0,08 \text{ l/s}$

Aus betrieblichen Gründen wird ein Mindestrohrquerschnitt für einen Freispiegelkanal von DN 300 gewählt.

²⁴ Die Berechnung der Zulauffrachten berücksichtigt eine 50 %ige Hydrolyse der Frachten aus den Fäzes in der Vorklärung. siehe Abschnitt 8.4.1.1; nutzerspezifische Tagesfrachten für Fäzes nach DWA, (2008)

2. Dezentrale Sammlung in einer abflusslosen Grube mit Abtransport und Behandlung in einer zentralen Kläranlage:

- Abwasseranfall: $Q_d = 500 \text{ B/d} \times 6,0 \text{ l/B} = 3.000 \text{ l/d} = 3,0 \text{ m}^3/\text{d}$

Das Abfuhrintervall wird auf 14 Tage festgelegt, d.h. es ergibt sich ein Volumen für die abflusslose Grube von: $V = 3,0 \text{ m}^3/\text{d} \times 14 \text{ d} = 42,0 \text{ m}^3$

Um eine Sicherheitsreserve zu berücksichtigen wird ein Volumen von 50 m^3 gewählt.

3. Dezentrale Teilbehandlung in Verbindung mit der Separation, Speicherung und Abfuhr von Urin aus den Herrenurinalen:

- Abwasseranfall: $Q_d = 500 \text{ B/d} \times 6,0 \text{ l/B} = 3.000 \text{ l/d} = 3,0 \text{ m}^3/\text{d}$
- Urinanfall: $Q_{\text{Urin}} = 0,95 \times 500 \text{ B/d} \times 2/3 \times 0,2 \text{ l/B} = 63,33 \text{ l/d} = 0,063 \text{ m}^3/\text{d}$

Dimensionierung Urinspeicher:

Das Abfuhrintervall für den Urin wird auf 180 Tage festgelegt, d.h. es ergibt sich ein Volumen für den Urinspeicher von: $V = 0,063 \text{ m}^3/\text{d} \times 180 \text{ d} = 11,4 \text{ m}^3$

Um eine Sicherheitsreserve zu berücksichtigen wird ein Volumen von 15 m^3 gewählt.

Dimensionierung dezentrale Kläranlage:

Als dezentrale Kläranlage wird eine Pflanzenkläranlage vorgesehen. Als Vorklärung wird eine Mehrkammergrube nach DIN 4261 mit einem Vorklärvolumen von 60 m^3 angesetzt.

- Dimensionierung der Pflanzenkläranlage in Anlehnung an DWA-A 262 [DWA, 2006a]

CSB-Flächenbelastung der Gesamtfläche $\leq 20 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

$$\rightarrow 2,33 \text{ g CSB/B} \times 1.000 \text{ B/d} = 2.330 \text{ g CSB/d}$$

$$\rightarrow 2.330 \text{ g CSB/d} / 20 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) = \underline{116,5 \text{ m}^2}$$

Stickstoffflächenbelastung $< 10 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

$$\rightarrow 0,67 \text{ g TKN/B} \times 1.000 \text{ B/d} = 670 \text{ g TKN/d}$$

$$\rightarrow 670 \text{ g TKN/d} / 10 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) = 67,0 \text{ m}^2$$

Hydraulische Flächenbelastung bei $Q_d \leq 80 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

$$\rightarrow 6.000 \text{ l/d} / 80 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) = 75,0 \text{ m}^2$$

Für die Dimensionierung maßgebend ist die ermittelte Fläche aufgrund der Begrenzung der CSB-Flächenbelastung mit mindestens $A = 116,5 \text{ m}^2$. Es wird eine Bodenfilteroberfläche von insgesamt 120 m^2 gewählt, bestehend aus vier Teilflächen von denen jeweils drei in Betrieb sind. Eine Teilfläche kann sich in der Regenerationsphase befinden.

Nachweis der Säurekapazität:

Der Nachweis der Säurekapazität erfolgt nach dem 2. Ansatz aus Abschnitt 8.4.1.2:

Aufgrund der Herrenurinabtrennung kann die Stickstofffracht im Zulauf zur biologischen Stufe auf 0,67 g/B reduziert werden. Die nutzerspezifische Wassermenge von 6,0 l/B besitzt eine Ausgangssäurekapazität von 3,5 mmol/l.

Mit diesen Eingangsgrößen lässt sich im Diagramm ein Defizit an Säurekapazität von ca. 3,9 mmol/l ablesen.

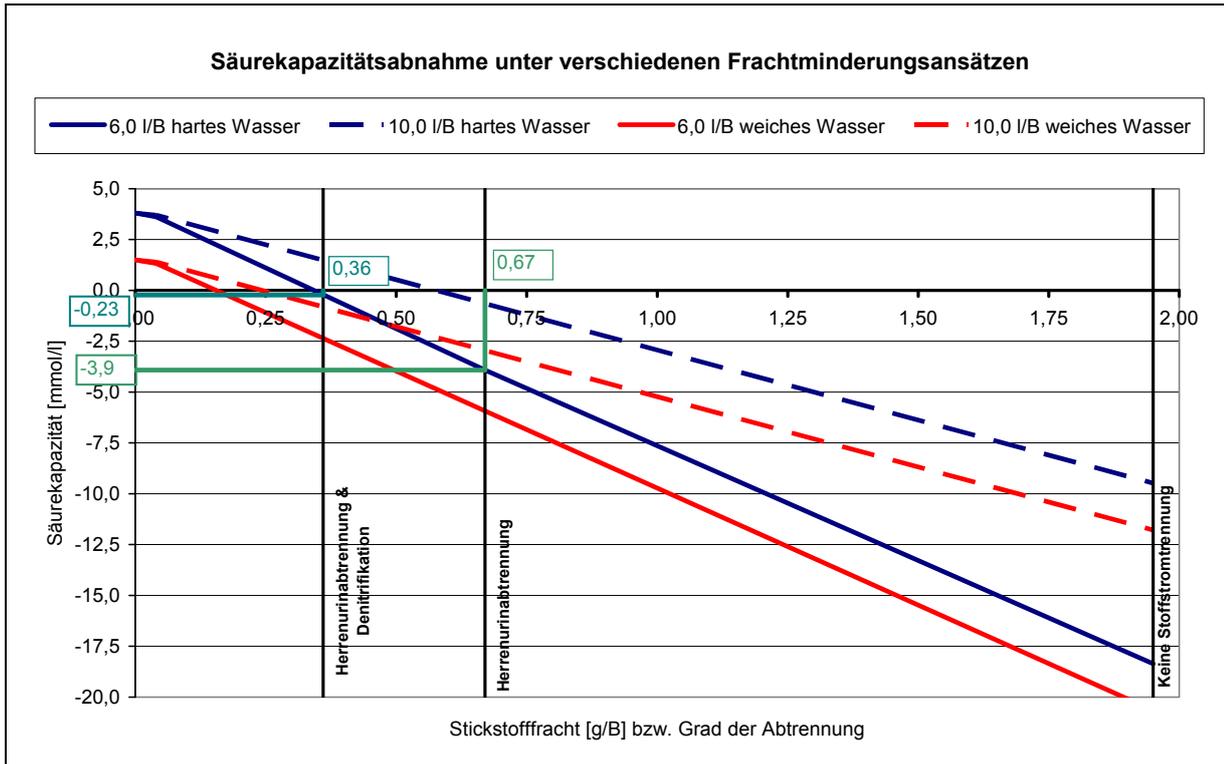


Abbildung 8-11: Säurekapazitätsabnahme bei dezentraler Teilbehandlung

Das Defizit an Säurekapazität kann durch eine gezielte Denitrifikation verringert werden.

- Bei der Denitrifikation werden $2,86 \text{ g O}_2 / \text{g NO}_3\text{-N}_{\text{elim.}}$ freigesetzt.

$$\rightarrow 1 \text{ g N}_{\text{deni}} = 2,86 \text{ g BSB}_5$$

Daraus ergibt sich eine mögliche zu denitrifizierende Stickstofffracht von:

$$B_{N,\text{deni}} = 0,93 \text{ g BSB}_5 / B / 2,86 \text{ g BSB}_5 / \text{g N}_{\text{deni}} = 0,33 \text{ g N}_{\text{deni}} / B$$

Die Veränderung der Säurekapazität aufgrund der Denitrifikation ergibt sich zu:

$$\Delta SK_{\text{deni}} = 1/14 \times 0,33 \text{ g/B} = 0,023 \text{ mol/B} = 23,2 \text{ mmol/B}$$

Die verbleibende Säurekapazität in der biologischen Stufe beträgt:

$$SK_{\text{bio}} = -23,5 \text{ mmol/B} + 23,2 \text{ mmol/B} = \mathbf{-0,27 \text{ mmol/B}}$$

Bei einem nutzerspezifischen Wasserverbrauch von 6,0 l/B beträgt die Säurekapazität im Ablauf der biologischen Stufe:

$$SK_{\text{Ab}} = -0,27 \text{ mmol/B} / 6,0 \text{ l/B} = \mathbf{-0,05 \text{ mmol/l.}}$$

Mit diesem negativen Ergebnis ist die Säurekapazität noch nicht ausgeglichen. Es wird zu einer sehr geringen Absenkung des pH-Wertes im Laufe der Behandlung kommen. Um die Sicherheit zu erhöhen sollte der Trinkwasserverbrauch erhöht und karbonathaltiges Filtermaterial in den Bodenfilter eingebaut werden.

Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Kostenbetrachtung der 3 möglichen Grundvarianten erfolgt mit Hilfe der vorgestellten Tabellenkalkulation. Für eine Kostenvergleichsrechnung nach LAWA gelten die Annahmen in Abschnitt 8.5 sowie die dort angegebenen Kosten für die notwendigen Einrichtungen, Ausstattungen und den Betrieb der Abwasserentsorgungssysteme. Die Entscheidungshilfe dient hier als Orientierung. Für eine genauere Betrachtung im Rahmen einer Variantenuntersuchung ist eine Kostenvergleichsrechnung mit real vom Planer ermittelten Kosten durchzuführen. Es ist zu beachten, dass regionale Unterschiede bei Baupreisen und Kosten für Dienstleistungen auftreten.

Eine Entscheidung für eine geeignete Bewirtschaftung der Abwässer sollte in erster Linie nach den Betrachtungen zur technischen Auslegung, sowie nach dem zu erwartenden Betriebsaufwand getroffen werden. Nach den Betrachtungen zur technischen Auslegung und der Voraussetzung einer Erlaubnis zum Einleiten nach § 7 WHG kommen alle drei Grundvarianten für eine Abwasserentsorgung im geschilderten Beispiel in Frage. Jedoch ist zu beachten, dass der Betrieb einer dezentralen Behandlung mit Urinseparation um ein Vielfaches aufwendiger ist, als bei den Grundvarianten 1. und 2.. Beim betrieblichen Aufwand überwiegen klar die Vorteile für die Variante der Überleitung. Jedoch ist die Entfernung der PWC-Anlage zum Übergabepunkt (zentrale Kläranlage bzw. zum nächsten öffentlichen Kanal) im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit das ausschlaggebende Kriterium. Diesbezüglich soll das Diagramm als Entscheidungshilfe für eine Abwasserentsorgung dienen.

Im geschilderten Beispiel beträgt die Entfernung zur nächsten zentralen Kläranlage 2,5 km (vgl. Abbildung 8-12).

DATENEINGABE

Allgemeine Angaben	Eingabe	Standard
Benutzer pro Tag Spitze	1000 B/d	
Benutzer pro Tag im Jahresmittel	500 B/d	
spezifischer Abwasseranfall	10 l/B	6
Spülmenge bei Urinalen	1 l/B	1
Überleitung		
Entfernung zum Übergabepunkt	2,5 km	
Investitionskosten:		
Investitionskosten Kanal	100 €/m	100
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Betriebskosten Kanal	0,5 €/(m.a)	0,5
Abwasserbehandlungskosten incl. Nutzung öff. Kanalnetz	2 €/m ³	2
abflusslose Grube		
Investitionskosten:		
spezifischen Investitionskosten Grube	400 €/m ³	400
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Abwasserabfuhr	15 €/m ³	15
Abwasserbehandlungskosten	1 €/m ³	1
dezentrale Behandlung in Pflanzenkläranlage mit Herren-Urinabtrennung, -speicherung und -abfuhr		
Investitionskosten:		
spezifischen Investitionskosten Urinspeicher	500 €/m ³	500
spezifischen Investitionskosten PKA inkl. VK	500 €/m ²	500
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Urinentorgung (Abfuhr und Behandlung)	30 €/m ³	30
Primärschlamm Entsorgung (Abfuhr und Behandlung)	20 €/m ³	20
Betriebskosten	2000 €/a	2000

Variablen für Sensitivität

Preissteigerung für Reinvestition	0 %	0
Preissteigerung Betriebskosten r	0 %/a	0
Realzins i	3 %	3

Festwerte

Urinanfall je Benutzer	0,2 l/B
Anteil der Benutzer, die urinieren	95 %
Anteil männliche Benutzer	66 %
Primärschlamm anfall	3,1 g/B
Nutzungsdauer Kanal	50 a
Nutzungsdauer Grube	25 a
Nutzungsdauer Urinspeicher	25 a
Nutzungsdauer Pflanzenkläranlage (PKA)	12,5 a

Abbildung 8-12: Kostenbetrachtung bei einer Entfernung zur zentralen KA von 2,5 km (Eingabemaske)

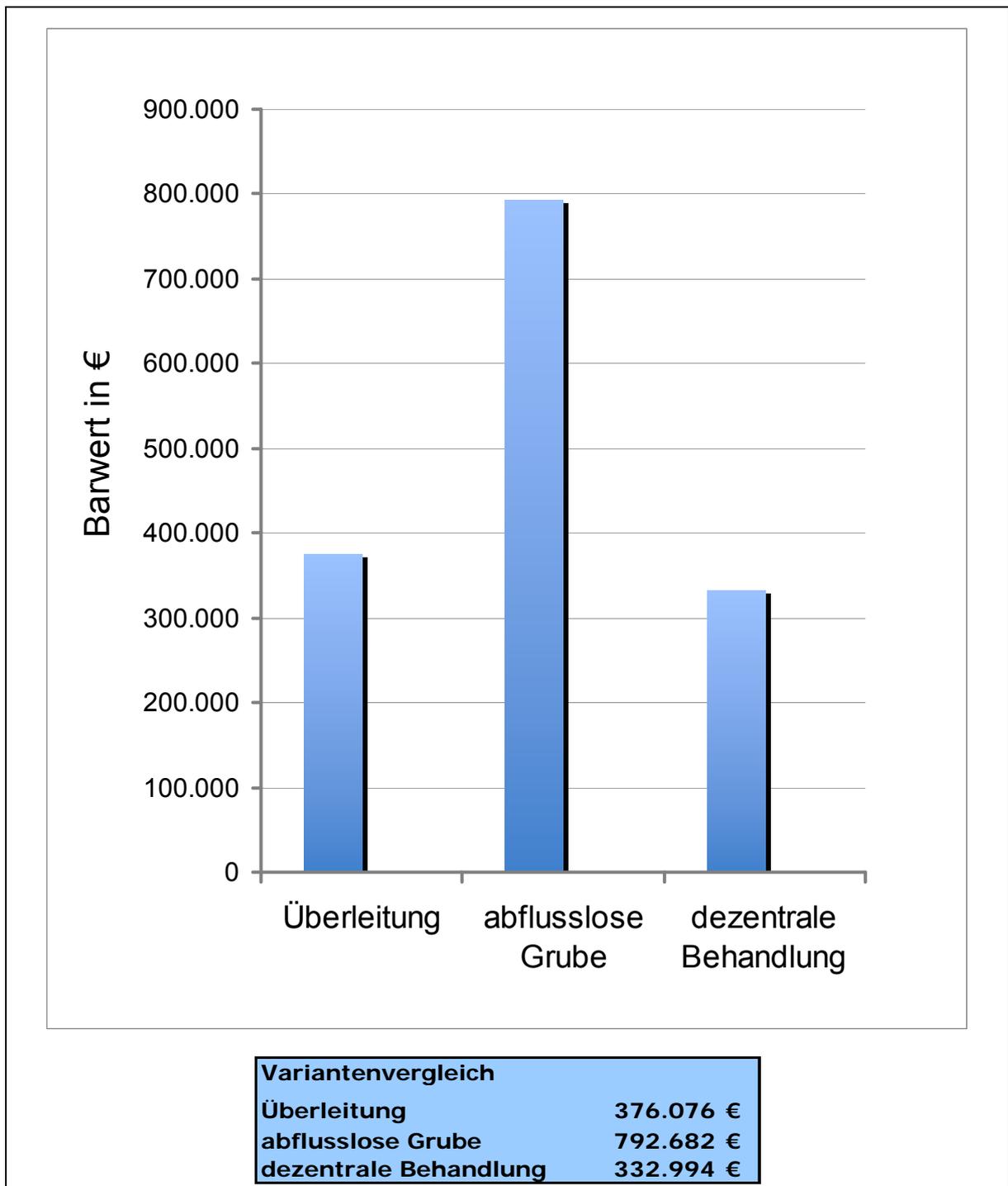


Abbildung 8-13: Kostenbetrachtung bei einer Entfernung zur zentralen KA von 2,5 km (Ausgabemaske)

Es ist zu erkennen, dass eine dezentrale Teilbehandlung mit Urinseparation aus den Urinalen im Herrenbereich die wirtschaftlichste Variante ist. Der Barwert liegt bei 332.994 €. Eine Alternative ist die Überleitung in eine zentrale Kläranlage mit einem Barwert von 376.076 €. Eine abflusslose Grube stellt bei einer Entfernung von 2,5 km zur zentralen Kläranlage keine Alternative dar.

Gesamtbetrachtung

Aufgrund der klaren Vorteile in Bezug auf den Betrieb ist der Grundvariante 1. Überleitung in eine zentrale Kläranlage der Vorzug zu geben. Nach einer ersten Orientierung ist der Barwert nicht viel größer als bei einer dezentralen Behandlung mit Urinseparation. Jedoch ist das vorgeschlagene Verfahren mit der Abwasserbehandlung in einer Pflanzenkläranlage sehr sensibel und schwierig hinsichtlich der verfahrenstechnischen Steuerung und Kontrolle. Der Betrieb erfordert entsprechende Fachqualifikationen eines Abwasserentsorgers. Kann hingegen ein ordnungsgemäßer Betrieb, zum Beispiel durch Übertragung der Verantwortung auf die Aufgabenträger der Abwasserentsorgung (Gemeinde / Zweckverband), sichergestellt werden, ist die Grundvariante 3. dezentrale Behandlung möglich.

8.7. Zusammenfassung des Kapitels

Als Ergebnis dieses Kapitels wird deutlich, dass eine Fokussierung allein auf abwassertechnische Verfahrenslösungen nicht zielführend ist. Ohne die Berücksichtigung betrieblicher, organisatorischer, rechtlicher und wirtschaftlicher Belange wird kein System – gleich welcher Art – den wasserwirtschaftlichen Anforderungen genügen können.

Das Abwasser von PWC-Anlagen ist mit häuslichem Abwassern nicht zu vergleichen, da es in der Regel eine wesentlich höhere Stickstofffracht gegenüber dem Angebot an organischen Verbindungen aufweist. Um das Abwasser den rechtlichen Anforderungen entsprechend zu behandeln, muss die Abwassercharakteristik an die des häuslichen Abwassers angenähert werden. Bei der leitungsgebundenen oder leitungsfreien Ableitung in eine zentrale Kläranlage geschieht das nach dem Prinzip „Mischen und Verdünnen“. Dennoch muss die Kläranlage verfahrenstechnisch darauf ausgelegt sein, diese Abwässer mitzubehandeln. Eine dezentrale Behandlung mit aktuell erhältlichen Kläranlagensystemen ist ohne eine Anpassung des C/N – Verhältnisses nicht möglich. Hierzu wird eine Urinseparation empfohlen, um die Stickstofffracht zu vermindern. Leicht abbaubare Kohlenstoffverbindungen können in Form von Alkohol oder Essigsäure zudosiert werden, oder durch die Schlamhydrolyse aufgeschlossen werden. Eine dezentrale Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen kann unter Umständen einen hohen Betriebsaufwand erfordern, der vom Personal der Autobahnmeistereien fachqualitativ und quantitativ nicht zu leisten ist. Deshalb ist es notwendig, den Betrieb in die Verantwortung der Aufgabenträger der Abwasserentsorgung (Gemeinde / Zweckverband) zu geben.

Die Entscheidung, ob und in welchem Umfang das Abwasser (oder Abwasserteilströme) abgeleitet bzw. vor Ort gespeichert oder behandelt werden kann, sollte im Einzelfall unter sorgfältiger Abwägung von Effizienzkriterien fallen.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Die Abwasserentsorgung von unbewirtschafteten Autobahnrastanlagen mit sanitären Einrichtungen (sog. PWC-Anlagen) stellt eine Besonderheit dar. Aufgrund ihrer oftmals großen Entfernung ist der Anschluss an öffentliche leitungsgebundene Infrastruktur schwierig bzw. unwirtschaftlich. Weiterhin ist zu beachten, dass das anfallende Abwasser nach seiner stofflichen Zusammensetzung nicht dem häuslichen Abwasser entspricht. Deshalb ist es notwendig, bisherige Entsorgungsansätze zu überdenken und neuartige Methoden zu entwickeln, die den rechtlichen Anforderungen genügen. Ziel des Projektes war es, Grundlagen veralteter Planungs- und Entscheidungshilfen bezüglich der Abwasserentsorgung von PWC-Anlagen unter Berücksichtigung vorhandener Erfahrungswerte sowie des wissenschaftlich-technischen Fortschritts zu aktualisieren. Theoretische Grundlagen des vorliegenden Berichtes bilden Erfahrungen und Alternativlösungen bezüglich der Beschaffenheit und Entsorgungsmöglichkeit der an Extremstandorten anfallenden Abwässer. Eine Gegenüberstellung von Messdaten hat gezeigt, dass das Abwasser von PWC-Anlagen mit denen von anderen Extremstandorten, wie Berghütten, sehr ähnlich ist. Beide Abwässer besitzen einen hohen Urinanteil, dessen Ursache im kurzen Aufenthalt der Besucher begründet liegt.

Den praktischen Teil der Projektarbeit umfassten 12 Messkampagnen, die an 6 deutschlandweit ausgewählten PWC-Anlagen durchgeführt wurden. Ziel dieser Messkampagnen war, die Belastungssituation an PWC-Anlagen darzustellen. Im Zuge der Auswahl geeigneter PWC-Anlagen wurde eine Bestandsanalyse aller rund 650 in Deutschland betriebenen PWC-Anlagen durchgeführt. Erwartungsgemäß besitzen die größten Bundesländer auch die meisten PWC-Anlagen, jedoch ist die Anlagendichte in ländlich strukturierten Gebieten, wie Thüringen und Schleswig-Holstein am größten. Aktuell erfolgt die Abwasserbehandlung größtenteils in zentralen Kläranlagen, wobei das Abwasser mittels Freigefälleentwässerung abgeleitet wird. Für eine dezentrale Behandlung kommen aktuell bevorzugt Bodenfilter (Pflanzenkläranlagen) zum Einsatz.

Das ausschlaggebende Kriterium für die Auswahl geeigneter PWC-Anlagen war das Vorhandensein einer geeigneten Probenahmestelle, um das Rohabwasser mit Hilfe eines Filtersacksystems vollumfänglich zu erfassen. Jedoch stellt das Filtersacksystem gewisse bauliche Anforderungen an das örtliche Abwassersystem. Jede Untersuchung fand in einem zusammenhängenden Zeitraum von 72 Stunden über das Wochenende statt, da eine höhere Auslastung der PWC-Anlage zu erwarten war. Eine weitere Anforderung an das Untersuchungsprogramm war, dass die untersuchte PWC-Anlage eine durchschnittliche Tagesauslastung von mindestens 300 Benutzern ausweist. Das Untersuchungsprogramm umfasste

- eine Fahrzeugzählung,
- eine Benutzerzählung,
- eine Benutzerbefragung und
- die Durchführung der Probenahme.

Dabei wurden aktuelle Daten zu anfallenden Abwasserfrachten, d.h. Menge und Konzentrationen, für die Parameter CSB, TKN und P_{ges} ermittelt.

Anhand der Ergebnisse der Fahrzeug- und Benutzerzählung kann festgestellt werden, dass die Auslastung von PWC-Anlagen temporären Schwankungen sowohl im Tages- als auch im Jahresverlauf unterworfen ist. Ein klares Indiz dafür sind die Auslastungszahlen der Untersuchungen an der PWC-Anlage Belvedere vor und nach Ostern. Auch die geografische Lage hat einen Einfluss auf die Besucherfrequenz. Die PWC-Anlage Klockow wird von vielen Wochenend- und Urlaubstouristen auf dem Weg zur Ostsee aufgesucht. In allen Untersuchungen waren über 80 % der ankommenden Fahrzeuge Pkw, welche somit eine gewisse Grundlast in der Auslastung einer PWC-Anlage bilden. Ursache für Spitzenbelastungen bildet das Eintreffen von vollbesetzten Reisebussen. Das Verhältnis von männlichen und weiblichen Benutzern gleicht sich nahezu aus. Obwohl es zwischen den einzelnen Untersuchungen respektive PWC-Anlagen leichte Unterschiede im Geschlechterverhältnis gibt, sinkt die Männerquote nirgends unter 50 %. Das Nutzerverhalten wurde im Rahmen der Untersuchung anhand von Fragebögen festgestellt. Die Benutzerbefragung bestätigte die im Vorfeld gestellten Erwartungen, dass an PWC-Anlagen unabhängig vom Geschlecht hauptsächlich uriniert wird. Die Handwaschbecken werden öfter von Männern, als von Frauen benutzt. Wie die Auswertung zeigt, stehen die sanitäre Ausstattung und das Nutzerverhalten wechselseitig in Beziehung und haben Einfluss auf den Wasserverbrauch und die Sauberkeit der Anlage, was wiederum eine Interaktion in sich birgt.

Aus den dokumentierten Wasserverbrauchsdaten und dem Filtratanfall konnte eine Angabe zum nutzerspezifischen Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall gemacht werden. Dieser ist von der Art und Anzahl der Sanitärtechnik sowie der Art und dem Umfang der Reinigung abhängig und von PWC-Anlage zu PWC-Anlage verschieden. Aus diesem Grund kann für den nutzerspezifischen Wasserverbrauch nur ein Bereich von 4 - 8 l/B angegeben werden. In Anlehnung an das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 wurden die 85 %-Perzentilen der nutzerspezifischen Frachten über alle untersuchten Proben als Bemessungswerte für die Parameter CSB, TKN und P_{ges} empfohlen. Für die nutzerspezifische CSB-Fracht traten bei jeder Untersuchung Schwankungen auf. Als belastbarer Bemessungsparameter wird ein Wert von 5,56 g CSB / B vorgeschlagen. Bezüglich der nutzerspezifischen TKN-Fracht lagen die Werte weniger verteilt, so dass als Bemessungsparameter ein Wert von 2,06 g TKN / B empfohlen werden kann. Auch bei den berechneten Phosphorfrachten ergaben sich keine großen Spannweiten. Es kann eine nutzerspezifische Fracht von 0,14 g P / B in Ansatz gebracht werden. Zusätzlich wurde ausschließlich im Filtrat die BSB_5 -Fracht ermittelt. Als Ergebnis bleibt festzustellen, dass die biologisch leicht abbaubaren organischen Stoffe (BSB_5) in einem niedrigen Verhältnis in Bezug auf alle organischen Stoffe (CSB) im Filtrat auftreten. Das Verhältnis vom CSB filtriert zu BSB_5 im Filtrat liegt über alle Proben im Mittel bei 3 zu 1. Zusammen mit dem nutzerspezifischen Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall können die ermittelten Abwasserfrachten als belastbare Bemessungsparameter in Planungs- und Entscheidungshilfen zur Abwasserentsorgung an PWC-Anlagen Eingang finden.

Betrachtet man die Nährstoffverhältnisse im Gesamtabwasser ist zu erkennen, dass im Abwasser von PWC-Anlagen eine wesentlich höhere Stickstofffracht gegenüber dem Angebot an

organischen Stoffen vorliegt. Die biologische Stickstoffelimination kommt bei der Behandlung von Abwässern mit hohem Stickstoffgehalt und geringem Anteil an Kohlenstoffverbindungen an ihre Grenzen. Um das Abwasser mit einem herkömmlichen biologischen Verfahren zu behandeln, muss die Abwassercharakteristik an die des häuslichen Abwassers angenähert werden. Dieser Aspekt kommt vorwiegend bei einer dezentralen Behandlung auf der PWC-Anlage zum Tragen. Als ein Lösungsansatz kann hierbei die Separation von Urin dienen, was die Stickstofffracht des dezentral biologisch zu behandelnden Abwassers stärker reduziert als die Kohlenstofffracht. Weiterhin bestehen zur Abwasserentsorgung die Grundvarianten Überleitung in eine zentrale Kläranlage und Sammeln in einer abflusslosen Grube. Aus verfahrenstechnischen Gründen wird das Überleiten favorisiert. Jedoch ist diese Variante in Hinblick auf die Entfernung zum nächsten Übergabepunkt in die öffentliche Kanalisation aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht immer sinnvoll. Eine dezentrale Behandlung ist nur in Verbindung mit einer Erlaubnis zum Einleiten in ein Gewässer oder das Grundwasser nach § 7 WHG möglich. Wird diese nicht erteilt, bleibt nur noch die Variante des Sammelns in einer abflusslosen Grube. Ein weiteres wichtiges Kriterium bei der Entscheidung für ein Abwasserentsorgungssystem ist der Betrieb. Aufgrund fehlender Qualifikationen des Personals von Autobahnmeistereien wird empfohlen, den Betrieb in die Verantwortung des zuständigen Abwasserentsorgers oder eines großen privaten Betreibers zu geben.

Die im Rahmen des Projektes ermittelten Parameter zur Abwasserbelastung an PWC-Anlagen sollen Eingang finden in Planungshilfen für PWC-Anlagen. Neben dem vorliegenden Abschlussbericht wurde ein Leitfaden als Planungs- und Entscheidungshilfe bezüglich der Abwasserentsorgung an PWC-Anlagen unter Berücksichtigung rechtlicher, technischer und wirtschaftlicher Aspekte erstellt. Des Weiteren wurde ein Textentwurf für ein Regelwerk erarbeitet, welches in einer DWA-Arbeitsgruppe zu einem DWA-Merkblatt entwickelt werden soll.

10. Forschungsbedarf

Ein generelles Problem bei der Auslegung abwassertechnischer Anlagen unter Verwendung von nutzerspezifischen Kennzahlen ist, dass die für eine zuverlässige Prognose von Stofffrachten und Abwassermengen maßgebende Besucher- bzw. Benutzeranzahl, aber auch deren zeitliche Schwankungen zur Berücksichtigung unterschiedlicher Lastfälle, bekannt sein müssen. Es ist bis zum aktuellen Stand nicht erforscht, ob ein Zusammenhang zwischen dem durchschnittlich täglichen Verkehr (DTV) und der Benutzeranzahl einer PWC-Anlage besteht. Um mit künftigen Planungs- und Entscheidungshilfen arbeiten zu können, deren Grundlagen auf nutzerspezifischen Kennzahlen beruhen, sind belastbare Modelle für eine Prognose zur Auslastung von unbewirtschafteten Autobahnrastanlagen zu erstellen.

Im vorliegenden Kapitel 4.4 „Erfahrungs- und Prüfberichte zu ausgewählten dezentralen Kläranlagen“ wurden Ablaufwerte aus Prüfberichten von dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen an PWC-Anlagen ausgewertet. Jedoch kann mit diesen Angaben keine Bewertung der Funktionstüchtigkeit und Leistungsfähigkeit der installierten Kläranlagen erfolgen. Nach Erfahrungen der BUW aus dem Projekt unterliegen augenscheinlich funktionierende Kläranlagen einer intensiven Wartung. Sie werden täglich einer Sichtkontrolle unterzogen und somit im Betrieb überwacht. Für belastbare Aussagen über die Funktionstüchtigkeit der installierten Kläranlagen müssten kontinuierliche Langzeitmesskampagnen mit zeitproportionalen Zu- und Ablaufproben, auch unter hohen Belastungen, analysiert und ausgewertet werden. Einige Hersteller versuchen im Rahmen ihrer Entwicklungsarbeit Aussagen über das Langzeitverhalten ihrer Anlagen zu treffen. Das Untersuchungsprogramm ist jedoch meist auf einen bestimmten Typ abgestimmt und erfolgt unter dafür festgelegten Randbedingungen. Die Auswertung spiegelt somit die subjektiven Erfahrungen des Herstellers wieder, die nicht immer übertragbar sind. Untersuchungsprogramme für etwaige Abwasserbehandlungsanlagen sollten standardisiert und fachlich qualifiziert herstellerunabhängig durchgeführt werden.

Ein großes Problem bei der Abwasserbehandlung mit bepflanzten Bodenfiltern (Pflanzenkläranlagen) ist die Kolmation durch eingetragene Feststoffe infolge einer unzureichenden Grob- und Feststoffabscheidung. Auch in den Erfahrungsberichten der Autobahnmeistereien wurde eine zu klein dimensionierte Vorklärung mehrfach als Ursache für Betriebsprobleme ausgemacht. Insbesondere bei Pflanzenkläranlagen ist eine Feststoffabscheidung essentiell. Deshalb stehen vor allem in Verbindung mit den Randbedingungen an Autobahnen geeignete Untersuchungen zur Optimierung von Vorkläranlagen aus.

Bei einer entsprechend ausreichenden Vorklärzeit in einer Absetzgrube ist mit der Hydrolyse der im Abwasser enthaltenen partikulären Stoffe zu rechnen. Damit können leicht abbaubare Kohlenstoffverbindungen für die Denitrifikation zur Verfügung gestellt werden. Um diesen vorgestellten Ansatz zu fundieren, sollte ein Nachweis über die natürliche Hydrolyse in der Vorklärung geführt werden. Auch die Nutzung des so freigesetzten BSB ist untersuchungswürdig. Die bisweilen praktizierte Rezirkulation von gereinigtem Abwasser in die Vorklärung ist nur unter noch zu entwickelnder und zu testender Technik erfolgversprechend. Auch zu Verfahren mit nachgeschalteter Denitrifikation über kohlenstoffhaltige Festkörper besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

Im Abschnitt 8.4.1 des vorliegenden Berichtes wird die Urin- bzw. Gelbwasserseparation als Lösungsstrategie vorgeschlagen, um die Stickstofffracht im Abwasserstrom einer PWC-Anlage zu minimieren. Dieser Vorschlag wird mit theoretischen Berechnungen zu den Nährstoffverhältnissen gestützt. Dennoch sind die im Rahmen des Projektes durchgeführten Untersuchungen und die daraus ermittelten Frachten nicht geeignet um die Nährstoffverhältnisse im Zulauf zu einer biologischen Stufe darzustellen, da die Proben aus dem Rohabwasser unmittelbar nach dem WC-Gebäude generiert wurden. Um eine dezentrale Abwasserbehandlung in Verbindung mit der Urin- bzw. Gelbwasserseparation zu empfehlen, ist es notwendig geeignete Untersuchungen zum Nährstoffverhältnis im Zulauf zur biologischen Stufe (nach der mechanischen Vorklärung) durchzuführen. Wie man aus dem Ergebnis der geschilderten Ansätze erkennen kann, entspricht das errechnete Verhältnis im Restabwasser auch nach dem 2. Ansatz (Urinabtrennung aus Urinalen im Herren- und Damenbereich) noch nicht dem von kommunalem Abwasser. Der Grauwasseranteil fehlt ganz und die Stickstoffbelastung ist im Vergleich zum Angebot an biologisch abbaubaren Kohlenstoffverbindungen relativ hoch. Dieser Sachverhalt und die problematische Steuerung von Abbauprozessen (Nitrifikation, Denitrifikation) bei Biofilmverfahren bergen große Unsicherheiten für eine den rechtlichen Anforderungen entsprechende dezentrale Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen mittels bepflanzten Bodenfiltern in sich. Daher wäre eine praxisnahe Untersuchung zu dieser vorgeschlagenen Lösungsstrategie von großem Interesse um zu klären, ob und wenn ja unter welchen Bedingungen eine Abwasserteilstrombehandlung in Pflanzenkläranlagen möglich ist.

Im vorliegenden Forschungsvorhaben konnten mit einer eigens hierfür entwickelten Probenahme-strategie und -technik aktuelle Daten bezüglich der an PWC-Anlagen anfallenden Rohabwasserfrachten erhoben und Lösungsansätze für die Entsorgung des Abwassers aufgezeigt werden. Um die Lösungsansätze, gerade für eine dezentrale Teilbehandlung, zu verifizieren, ist es aus Sicht der BUW erforderlich, die offenen Fragestellungen mit wissenschaftlich fundierten Untersuchungen zu klären.

Literaturverzeichnis

- Abeggeln, 2004:** Eidgenössische Technische Hochschule Zürich - Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft, Professur für Siedlungswasserwirtschaft (Hrsg.): *Übersicht Abwasserentsorgungssysteme in SAC-Hütten*. Bericht zum Teilprojekt des SAC-Projektes "Vom Plumpsklo zur umweltverträglichen Abwasserentsorgung". Zürich, 2004.
- Anonym, 2004:** Membranbioreaktortechnik am Fuße des Säntis. *WASSER Luft und Boden*, 48(7-8), 27-25.
- Anonym, 2009:** *Sammlung von Erfahrungsberichten zum FE-Vorhaben 02.202/2000/MRB, „Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen“*. 2009.
- ATV, 2004:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) – ehemals Abwassertechnische Vereinigung (ATV) e.V. (Hrsg.): *Aerobe Biofilmverfahren in der Industrieabwasserreinigung*. Kurzfassung des ersten Arbeitsberichtes der ATV-DVWK-Arbeitsgruppe IG-5.6 „Biofilmverfahren“. Korrespondenz Abwasser 51 (2), 2004.
- ATV, 1983:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) – ehemals Abwassertechnische Vereinigung (ATV) e.V. (Hrsg.), ATV-Arbeitsblatt 109: *Richtlinien für den Anschluss von Autobahnnebenbetrieben an Kläranlagen*. Januar, 1983.
- ATV-DVWK, 2000:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) – ehemals Abwassertechnische Vereinigung (ATV) e.V. (Hrsg.): *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen*, Arbeitsblatt A 131. Mai 2000.
- ATV-DVWK, 2003:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK) – heute DWA. (Hrsg.), ATV-DVWK-Arbeitsblatt 198: *Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen*. April 2003.
- ATV-DVWK, 2002:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK) - heute DWA. (Hrsg.), ATV-DVWK-Merkblatt 279: *Abwasser von Autobahn-Service-Betrieben*. 2002.
- Bever & Peschen, 1991:** Bever, J. & Peschen, N. *Phosphorelimination durch Simultanfällung mit Kalkhydrat - neuste Erkenntnisse*. WasserWirtschaft, 81. Jhrg. (Heft 2). Wiesbaden, 1991.
- BMVIT, 2002:** Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie(Hrsg.): *Alpiner Stützpunkt Schiestlhaus am Hochschwab: Entwicklung eines integrierten Gesamtkonzeptes für einen Alpinen Stützpunkt auf Basis von Solarenergie*. Endbericht Wien.
- Bornemann et al., 1998:** Bornemann, C.; Londong, J.; Freund, M.; Nowak, O.; Otterpohl, R.; Rolfs, T. *Hinweise zur dynamischen Simulation von Belebungsanlagen mit dem Belebtschlammmodell Nr. 1 der IAWQ*. Korrespondenz Abwasser, 45. Jhrg. (Heft 3, Seite 455 - 462). Hennef, 1998.
- Bützer et al., 2006:** Bützer, S., Böhler, M., Joss, A., Ziranke, M., Siegrist, H., Holzapfel, M. & Mooser, H. *Dezentrale Reinigung und Wiederverwendung von Toilettenabwasser im alpinen Raum*. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich - Wasserforschungsinstitut EAWAG(Hrsg.): Abschlussbericht über die Aktivitäten und Untersuchungen im gleichnamigen Projekt. Dübendorf.

- BUW 2001:** Bauhaus Universität Weimar, Professur Siedlungswasserwirtschaft. (Hrsg.): Messkampagne an den PWC-Anlagen „Belvedere Süd“, „Belvedere Nord“, „Drei Gleichen“ und „Podelsatz“ an der BAB 4 (unveröffentlichte Studie). Weimar, 2001.
- Cossu et al., 2007:** Cossu, R., Alibardi, L. & Codromaz, P. *Integrated Management of Solid Wastewater in Mountain Hut*. In: Proceedings of 11th International Symposium.
- DIN, 1997:** Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): *DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen*, 1997
- DIN, 2000:** Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) *DIN EN 12056: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden*. 2000.
- DIN, 2008a:** DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) *DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden*. April, 2008.
- DIN, 2008b:** DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) *DIN 1986-100: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke –Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056*. Mai, 2008.
- DIN, 2009:** DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) *DIN 4261: Kleinkläranlagen - Teil 1: Anlagen zur Abwasservorbehandlung*. Februar, 2009.
- DIN, 2009:** DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) *DIN 4261: Kleinkläranlagen - Teil 1: Anlagen zur Abwasservorbehandlung*. Februar, 2009.
- Dockhorn, 2007:** T. Dockhorn. *Stoffstrommanagement und Ressourcenökonomie in der kommunalen Abwasserwirtschaft*. Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig: Nr. 74; Braunschweig, 2007.
- DWA, 2005:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Abfall e.V. - DWA (Hrsg.), DWA-Arbeitsblatt 116: *Besondere Entwässerungsverfahren, Teil 1: Unterdruckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden*. März, 2005. *Teil 2: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden*. Mai, 2007.
- DWA, 2006a:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK) – heute DWA. (Hrsg.), DWA-Arbeitsblatt 262: *Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zu biologischer Reinigung kommunalen Abwassers*. März, 2006.
- DWA, 2006b:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK) – heute DWA. (Hrsg.), DWA-Arbeitsblatt 110: *Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen*. August, 2006.
- DWA, 2008:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Abfall e.V. - DWA (Hrsg.): *Neuartige Sanitärsysteme*. Themenband des DWA-Fachausschusses KA-1, Hennef, 2008.
- FGSV, 2002:** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), RiStWag: *Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten*. 2002
- FGSV, 2005:** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), RAS-Ew: *Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS) - Teil: Entwässerung (RAS-Ew)*. 2005
- Grinzing, 1999:** Grinzing, U. *Die umweltgerechte Schutzhütte*. Wien, 1999.
- Grünebaum, 1991:** Grünebaum, T. *Pufferverhalten des Abwassers gegen pH-Wert-Schwankungen: Grundlegenden Zusammenhänge für die weitergehende Abwasserreinigung*. Korrespondenz Abwasser, 38. Jhrg. (Heft 2, Seite 214 - 221). Hennef, 1991.

- Günthert & Narr, 2002:** Günthert, F. W. & Narr, N. *Klärschlammproblematik im Hochgebirge*. Universität der Bundeswehr München (Hrsg.): Abschlussbericht der 1. Phase des Projektes „Untersuchungen und Optimierung der Verwertung bzw. Beseitigung von Abfällen aus der Abwasserbehandlung im Bereich alpiner Hütten des Deutschen Alpenvereins“. München, 2002.
- Heise, 2009:** Heise, B. *Kosten und Reinigungsleistung von verschiedenen Kleinkläranlagentypen*. Tagungsunterlagen zu einer Fachveranstaltung im Rahmen der TerraTec 2009. Dezentrale Abwasserentsorgung Probleme - Entwicklungen - Anwendungen. Leipzig, 2009.
- Imhoff & Imhoff, 2007:** Imhoff, Karl und Klaus R. *Taschenbuch der Wasserversorgung*. Oldenbourg Industrieverlag. 30. Auflage. München, 2007.
- Kopmann et al., 2005:** Kopmann, H., Bothe, F., Scherwinski, A. & Deus, J. *Erfassung und Abschätzung der realen abwasserseitigen Belastung an Autobahn-PWC-Anlagen* Studienarbeit an der Professur Siedlungswasserwirtschaft – Bauhaus Universität Weimar (Hrsg.), unveröffentlichte Studie.
- Koppe & Stozek, 1999:** Koppe, Paul & Stozek, Alfred. *Kommunales Abwasser. Seine Inhaltstoffe nach Herkunft, Zusammensetzung und Reaktionen im Reinigungsprozess einschließlich Klärschlämme*. Vulkan-Verlag. 4. Auflage. Essen, 1999.
- Kulle (2008):** Kulle, E.-P., *Abwasser von Autobahnnebenbetrieben-Charakteristik und Behandlung*. Untersuchung der Reinigungsleistung der SUBTERRA - Pflanzenkläranlage PWC - Belvedere Süd. Vortrag zum Workshop und Erfahrungsaustausch, 21.02.2008 in Weimar.
- LAWA, 2005:** Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. *Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)*. LAWA-Arbeitskreis Nutzen-Kosten-Untersuchungen in der Wasserwirtschaft. Kulturbuch-Verlag. 7. Auflage, Berlin, 2005.
- Londong & Hartmann (2007):** Londong, J. & Hartmann, M., *Low-Cost treatment of highly nitrogen polluted wastewater at touristy destinations*. In: Proceedings of the 2th International EWA Conference *Waters in protected areas*, 25.-27.04. 2007 in Dubrovnik (Croatia). S. 73-76.
- Menz et al., 2008:** Menz, V., Digel, R., Heidenreich, F. P. & Schötz, D.: *Umwelttechnik für alpine Berg- und Schutzhütten. Hintergrundwissen, Tipps und Beispiele aus der Praxis*, Bergverlag Rother GmbH München.
- Mudrack & Kunst, 2003:** K. Mudrack und S. Kunst. *Biologie der Abwasserreinigung*. Spektrum Akademischer Verlag, 5. vollst. überarb. und erw. Aufl., Heidelberg, 2003.
- Müller, Straub, Heine, 2006:** Müller, M., Straub, A.; Heine, A. *Die Kleinkläranlage als Dauerlösung*. Wasserwirtschaft Wassertechnik, 2007 (Heft 6, Seite 10 - 18). Berlin, 2007.
- Lohse, 2000:** Lohse, M. *Kosten der Abwasserbehandlung im ländlichen Raum - Druck- und Unterdruckentwässerung, Kleinkläranlagen* -. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz, Landschaft und Verbraucherschutz NRW. Institut für Abfall- und Abwasserwirtschaft e.V.. Oktober, 2000.
- ÖWAV, 2000:** Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (Hrsg.): *Abwasserentsorgung im Gebirge* Regelblatt 1. Wien, 2000.

- Reicherter, 2003:** Reicherter, E. *Untersuchungen zu Kennzahlen als Grundlage für die Kostenbetrachtung in der Abwasserentsorgung*. Universität der Bundeswehr München. Mitteilungen des Institutes für Wasserwesen. Heft 84/2003. Kommissionsverlag Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München, 2003.
- Renner, 1999:** Abwassertechnische Vereinigung (ATV) und Weiterbildendes Studium "Wasser und Umwelt" der Bauhaus Universität Weimar (Hrsg.): *Kurs WW 52: Abwasser II - Abwasserbehandlung Kleinkläranlagen*. Weimar.
- RR 1, 1981:** Bundesministerium für Verkehr (BMV) - heute BMVBS. (Hrsg.). *Richtlinien für Rastanlagen an Straßen, Teil: 1*. Bonn, 1981.
- Schönherr, Cyris et al., 2007:** Schönherr, F., Cyris, T., Wett, B., Becker, W., Schön, M., Ettl, R. & Pabsch, H. *Klärschlammproblematik im Hochgebirge - Untersuchung und Optimierung der Verwertung bzw. der Beseitigung von Abfällen aus der Abwasserbehandlung im Bereich alpiner Hütten des Deutschen Alpenvereins*. Universität der Bundeswehr München - Institut für Wasserwesen, Siedlungswassertechnik und Abfalltechnik(Hrsg.). Abschlussbericht zum gleichnamigen Forschungsprojekt. Neubiberg.
- Schönherr, Günthert et al., 2007:** Schönherr, F., Günthert, F. W. & Pabsch, H. *Klärschlammbehandlung in Pflanzenbeetanlagen im Hochgebirge*. GWF Wasser Abwasser, 148 (Nr. 3), S.213-219.
- Tank-& Rast AG, 1996:** *Vorgaben für Belastungsansätze*. unveröffentlicht. 1996.
- Teichgräber, 1988:** Teichgräber, B. *Zur Nitrifikation von Abwässern mit geringer Säurekapazität*. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig. Heft 45. Braunschweig, 1988.
- VdWW, 2005:** Verbände der Wasserwirtschaft - ATT, BGW, DBVW, DVGW, DWA, VKU (Hrsg.): *Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft*. wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH Bonn.
- VHRR; 1999:** Bundesministerium für Verkehr (BMV) - heute BMVBS. (Hrsg.). *Vorläufige Hinweise zu den Richtlinien für Rastanlagen für Straßen bezüglich Autobahnrastanlagen*. Bonn, 1999.
- Wett et al., 2001:** Wett, B., Becker, W., Ingerle, K. *Technologievergleich und Ökobilanz von Abwasserreinigungsanlagen in alpinen Extremlagen*. Abschlussbericht zum gleichnamigen EU-Life-Projekt. Innsbruck.
- WRMG, 1987:** *Gesetz über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln (Wasch- und Reinigungsmittelgesetz - WRMG)*. Ausfertigungsdatum: 29.04.2007. BGBl. I S. 600. 1987.

Anhang

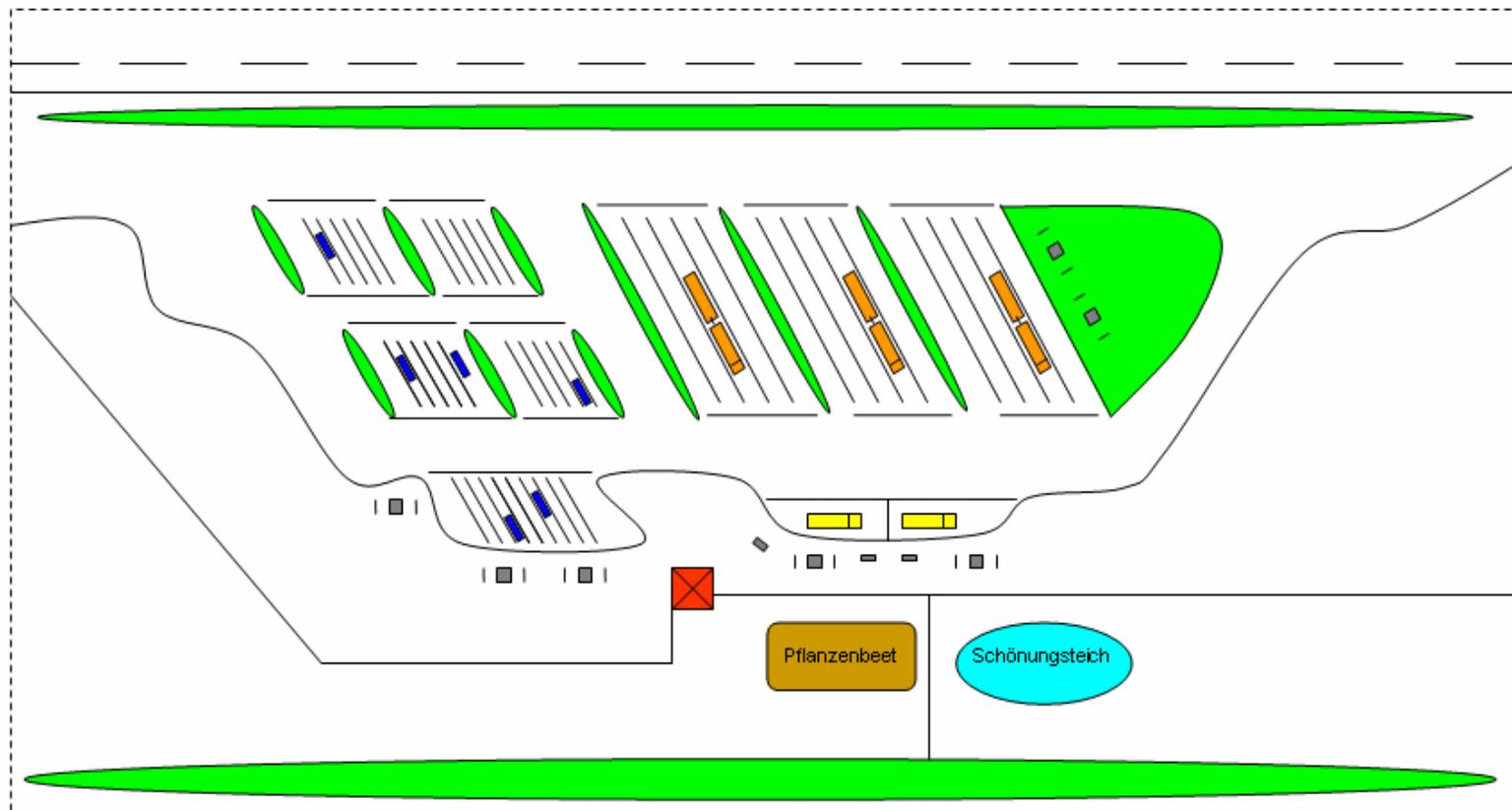
A 1. PWC-Anlage Belvedere-Nord

Allgemeine Angaben



Standort der Anlage:	BAB 4 km 192 zwischen Jena und Weimar in Richtung Frankfurt am Main
Bundesland:	Thüringen
Geografische Lage:	ländlicher Raum mit kleinen Dörfern, wenig Industrie, kleine Städte, hügelige Landschaft (Ausläufer Thüringer Wald)
Stellplätze:	32 Pkw (davon 2 behindertengerecht) 15 Lkw / 2 Bus / Pkw mit Anhänger
Anlagentyp:	beidseitige Anlage

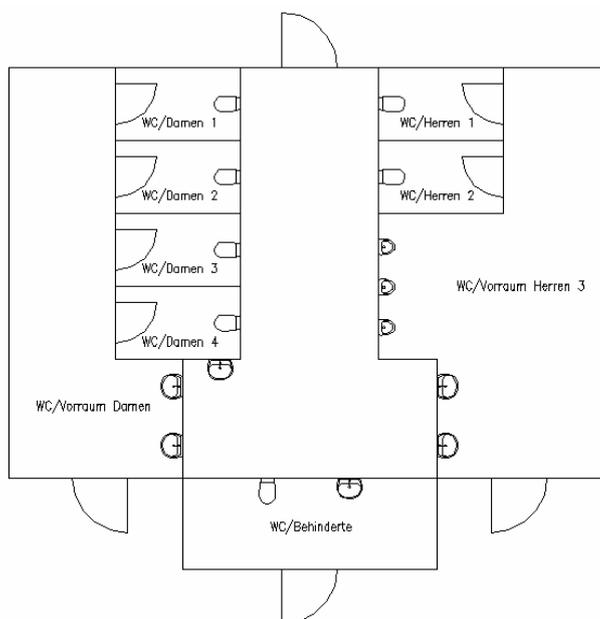
Lageplan Belvedere-Nord



WC-Gebäude

Errichtung WC-Gebäude durch: Firma Hering Bau GmbH & Co KG, Burbach

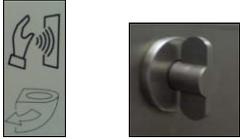
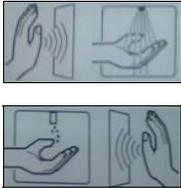
Sanitäre Einrichtungen



Bestand WC-Einrichtungen

Kriterium	WC-Damen	WC-Herren	WC-Behinderte	HWB	Urinale
Anzahl	4	2	1	5	4
Material	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl
Auslösmechanismus					
Türverriegelung	x	x	x		
Nährungs-Sensor	x	x	x	x	
Thermosensor					x
IR-Bewegungssensor					
Piezo-Taster					
Radarsensor					

Detaillierte Beschreibung der sanitären Einrichtungen

Sanitärtechnik	Anzahl	Material	Auslösemechanismus	Beschreibung
WC 	6	Edelstahl	Türverriegelung Nahrungs-Sensor 	<ul style="list-style-type: none"> Die Vorspülung des WC wird durch das Verriegeln der Tür ausgelöst. Ein Nahrungssensor ist in der Wand über dem WC integriert und durch ein Symbol gekennzeichnet, dieser ermöglicht ein manuelles Spülen. Beim Entriegeln der Tür wird die Nachspülung ausgelöst. Druckspüler
Urinale 	3	Edelstahl	Thermosensor	<ul style="list-style-type: none"> Die Spülung der Urinale erfolgt über einen Thermosensor, welcher durch die Wärme des menschlichen Urins ausgelöst wird.
HWB 	5	Edelstahl	Nahrungs-Sensor 	<ul style="list-style-type: none"> Das eingebaute HWB verfügt über zwei Nahrungssensoren, diese dienen zum Anfordern von Wasser und Seife. Nach der Wasseranforderung schaltet sich automatisch ein Händetrockner zu. <ul style="list-style-type: none"> Problem: Während der Händetrockner läuft, kann kein Wasser angefordert werden. Dies führt bei großer Benutzeranzahl zu Wartezeiten vor dem Handwaschbecken. Das Auslösen des Nahrungssensors erfolgt erst kurz vor Berührung der Oberfläche, viele Benutzer wollen aber aus hygienischen Gründen diese nicht berühren und verlassen ohne Händewaschen das WC-Gebäude.

Wasserversorgung / Abwasserentsorgung

Versorgung/Entsorgung	Erläuterung
Quelle der Wasserversorgung	<ul style="list-style-type: none"> • Zentrale Wasserversorgung durch WZV Weimar
Abwasserentsorgung	<ul style="list-style-type: none"> • dezentral mittels Pflanzenkläranlage • Klärschlamm muss abgefahren werden
Steuereinheit Sanitärtechnik	<ul style="list-style-type: none"> • Einzelansteuerung der Auslösmechanismen

Betrieb

Betriebliche Zuständigkeiten

Kriterium	Reinigung	Wartung	Überwachung	Mäharbeiten	Abfallentsorgung
Zuständigkeit	FF	FF	AM	AM	AM
Intervall	täglich	vierteljährlich	täglich	vierteljährlich	täglich

FF Fremdfirma **AM** Autobahnmeisterei

Betrieblicher Ablauf

Kriterium	Erläuterung
Reinigungsarbeiten WC	<ul style="list-style-type: none">• Die Reinigung der Anlage erfolgt täglich um 14:00 Uhr durch die Reinigungsfirma Kelch.• Zu den Reinigungsarbeiten gehört das Ersetzen der leeren Toilettenpapierrollen, die Säuberung der WC-Einrichtungen mittels Hochdruckreiniger und Entleerung der Abfallbehälter.
Wartung PKA	<ul style="list-style-type: none">• Die Wartung der Pflanzenkläranlage erfolgt durch die Firma Krüger – Pflanzenkläranlagen GmbH, viermal jährlich.
Mäharbeiten	<ul style="list-style-type: none">• Die Mäharbeiten werden 4-mal jährlich von Mitarbeiter der Autobahnmeisterei Legefild durchgeführt.
Abfallentsorgung	<ul style="list-style-type: none">• Die Abfallentsorgung erfolgt täglich durch Streckenkontrolle der Autobahnmeisterei Legefild.
Personal	<ul style="list-style-type: none">• Die Überwachung und Wartung der Anlage wird von Mitarbeitern der AM Legefild durchgeführt.
Reinigungsmittel	<ul style="list-style-type: none">• Es werden vorwiegend Reinigungsmittel zur Vorbeugung von Urinstein eingesetzt.

Kosten

Betriebskosten

Betriebskosten	Kosten [€a]	Aufschlüsselung
Reinigungskosten	6397,44	<ul style="list-style-type: none"> Reinigung der Anlage (Stand 2007) durch Firma Putzteufel, zurzeit Firma Gebäudereinigung Kelch
Personalkosten		<ul style="list-style-type: none"> keine Extra Personalkosten
Kosten Betriebsmittel	326,00	<ul style="list-style-type: none"> Entkalkungszusatz, Urinsteinentferner
Kosten Mäharbeiten	1408,64	<ul style="list-style-type: none"> Aufschlüsselung (4*Mähen/Jahr, Dauer 4 Stunden, 2 Mitarbeiter, Verrechnungssatz 44,02 €)
Kosten Abfallentsorgung		<ul style="list-style-type: none"> Können nicht separat erfasst werden
Wartungskosten	189,70	<ul style="list-style-type: none"> Wartung der Pumpen durch Firma Schulze
Reparaturkosten	1402,14	<ul style="list-style-type: none"> Pumpen, Sanitärtechnik
Abwasserkosten	2516,00	<ul style="list-style-type: none"> Klärschlammabfuhr erfolgt durch ABWZV Mellingen
Wasserkosten	2689,00	<ul style="list-style-type: none"> Wasserversorgung erfolgt durch WZV Weimar
Stromkosten	4695,38	<ul style="list-style-type: none"> Stromversorgung erfolgt durch envia M
gesamt	19624,30	

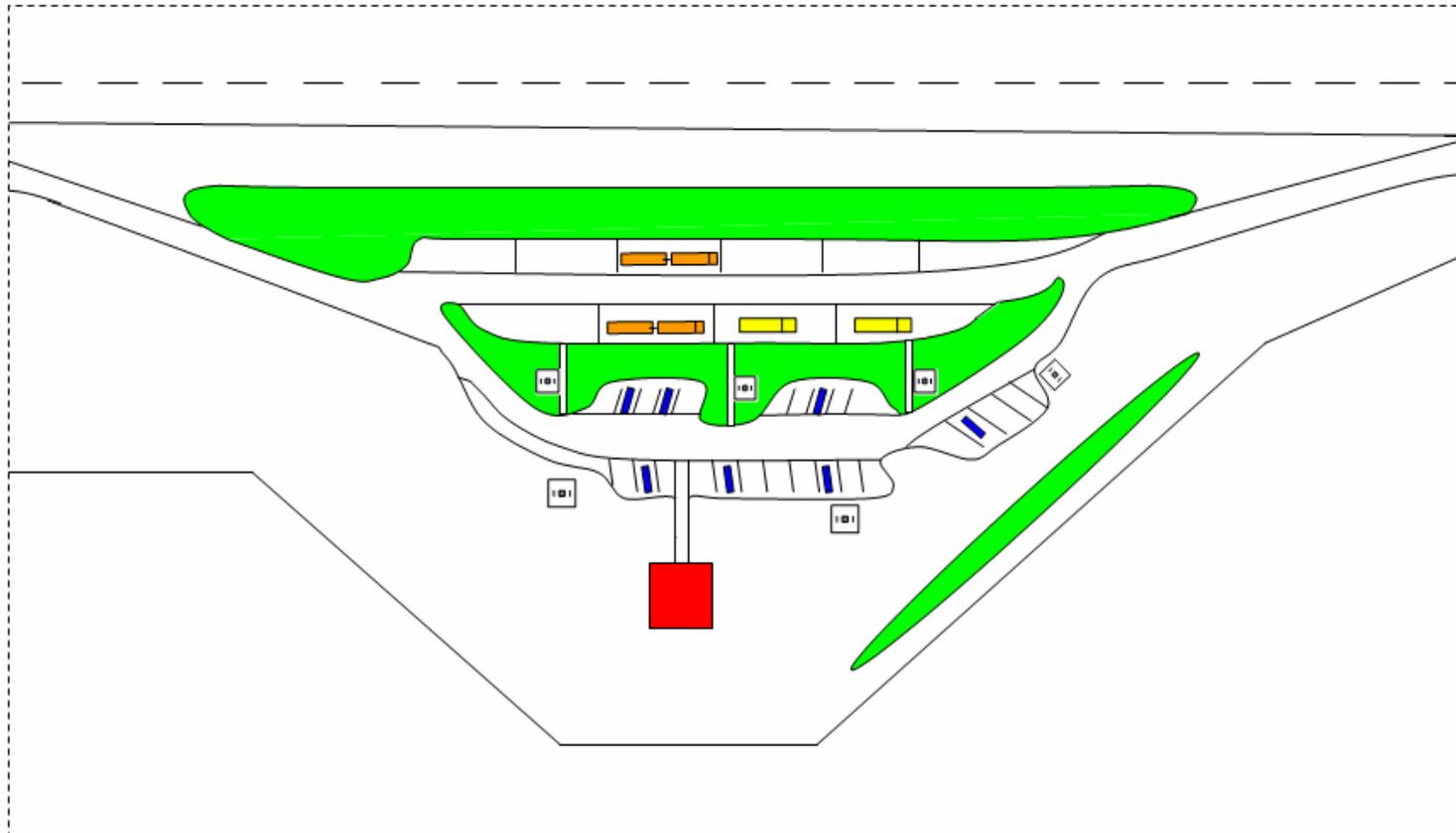
A 2. PWC-Anlage Settel

Allgemeine Angaben



Standort der Anlage:	BAB 1 km 243,900 zwischen Münster und Osnabrück in Richtung Bremen
Bundesland:	Nordrhein-Westfalen
Geografische Lage:	ländlicher Raum mit kleinen Dörfern, wenig Industrie, kleine Städte, flache Landschaft
Stellplätze:	25 Pkw (davon 2 behindertengerecht) 10 Lkw / Bus / Pkw mit Anhänger
Anlagentyp:	einseitige Anlage

Lageplan PWC-Anlage Settel

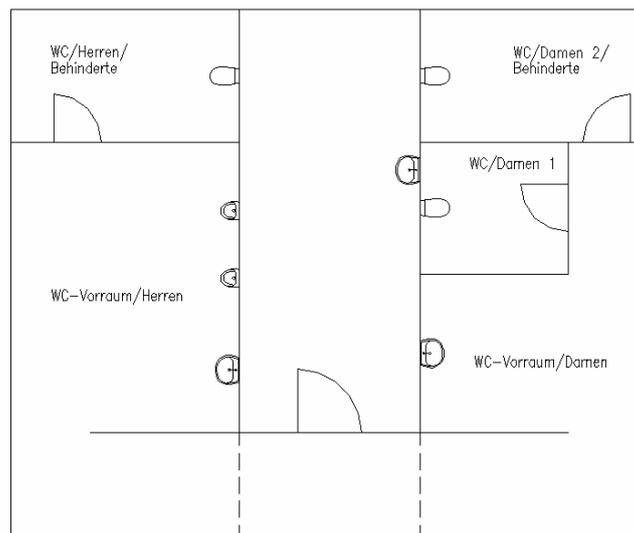


WC-Gebäude

Errichtung WC-Gebäude durch: ortsansässige Einzelfirmen nach Gewerken

*Firmen ,siehe Einzelaufschlüsselung

Sanitäre Einrichtungen



Bestand WC-Einrichtungen

Kriterium	WC-Damen	WC-Herren	WC-Behinderte	HWB	Urinale
Anzahl	2	1	0	3	2
Material	Keramik	Keramik	Keramik	Keramik	Keramik
Auslösmechanismus					
Türverriegelung	x	x			
Nährungs-Sensor					
Thermosensor					
IR-Bewegungssensor					
Piezo-Taster					
Radarsensor	x	x		x	x

Detaillierte Beschreibung der sanitären Einrichtungen

Sanitärtechnik	Anzahl	Material	Auslösemechanismus	Beschreibung
WC 	3	Keramik	 Türverriegelung Druckspüler	<ul style="list-style-type: none"> Die Vorspülung des WC wird durch das Verriegeln der Tür ausgelöst. Ein Radarsensor ist in der Wand über dem WC integriert und durch ein Symbol gekennzeichnet, dieser ermöglicht ein manuelles Spülen. Das Männer WC und ein WC der Damen ist behindertengerecht ausgebaut.
Urinale 	2	Keramik	Radarsensor	<ul style="list-style-type: none"> Die Spülung der Urinale erfolgt über einen Radarsensor, welcher durch die Bewegung des Benutzers ausgelöst wird.
HWB 	2	Keramik	Radarsensor	<ul style="list-style-type: none"> Das freihängende HWB verfügt über einen Radarsensor, dieser dient zum Auslösen des Wassers.
				<ul style="list-style-type: none"> Problem: Die Benutzer beschwerten sich, das kein Seifenspender und kein Händetrockner vorhanden war.

Wasserver- und Abwasserentsorgung

Versorgung/Entsorgung	Erläuterung
Quelle der Wasserversorgung	<ul style="list-style-type: none"> zentrale Wasserversorgung
Abwasserentsorgung	<ul style="list-style-type: none"> zentrale Abwasserentsorgung mittels Druckentwässerung
Steuereinheit Sanitärtechnik	<ul style="list-style-type: none"> Einzelansteuerung der Auslösmechanismen

Betrieb

Betriebliche Zuständigkeiten

Kriterium	Reinigung	Wartung	Überwachung	Mäharbeiten	Abfallentsorgung
Zuständigkeit	AM	FF	AM	AM	FF
Intervall	täglich	halbjährig	täglich	halbjährig	14-tägig

FF Fremdfirma **AM** Autobahnmeisterei

Betrieblicher Ablauf

Kriterium	Erläuterung
Reinigungsarbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Die Reinigung der Anlage erfolgt täglich durch die Mitarbeiter der Autobahnmeisterei Lengerich. • Zu den Reinigungsarbeiten gehört das Wechseln der leeren Toilettenpapierrollen und die Säuberung der WC-Einrichtungen mittels eines Hochdruckreinigers. • Während der Sommerferien erfolgen die Reinigungsarbeiten zweimal täglich.
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Überwachung der Anlage wird von Mitarbeitern der AM Lengerich durchgeführt. • Die Wartung der Anlage erfolgt zweimal jährlich durch eine Fremdfirma.
Mäharbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Die Mäharbeiten werden 2-mal jährlich von Mitarbeiter der Autobahnmeisterei Lengerich erledigt.
Abfallentsorgung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Abfallentsorgung erfolgt zweimal wöchentlich durch eine Fremdfirma.
Personal	<ul style="list-style-type: none"> • Es ist kein ständiges Personal auf der Anlage vorhanden.
Reinigungsmittel	<ul style="list-style-type: none"> • Zur Reinigung wird ein Desinfektionsreiniger (Bezeichnung: DESTA CLEAN) und ein Mittel zur Urinstein Behandlung eingesetzt. • Die Reinigung erfolgt immer mittels Hochdruckreiniger.

Kosten**Betriebskosten**

Die Kosten für Mäharbeiten betragen 420,52 € weitere Kosten konnten nicht ermittelt werden.

Investitionskosten Gebäude

Keine Aussagen möglich.

* Einzelauflistung der Baufirmen.

- Bauarbeiten: Firma Kleine Kuhlmann aus Ankum bei Osnabrück
- Holzarbeiten: Fa. Mönikes aus Steinheim bei Paderborn
- Dachklempner- und Sanitärarbeiten: Firma H. Plenter aus Münster-Wolbeck
- Metallbau: Lüftungsgitter u. Edelstahl-Trennwände – Fa. Walbaum aus Münster
- Elektroarbeiten: Fa. Schwarzer aus Münster-Handorf
- -Blitzschutz: Fa. Heuer + Löbel aus Münster-Roxel

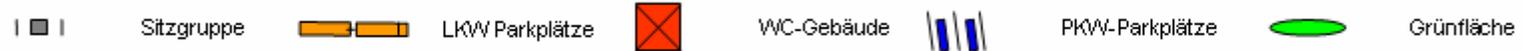
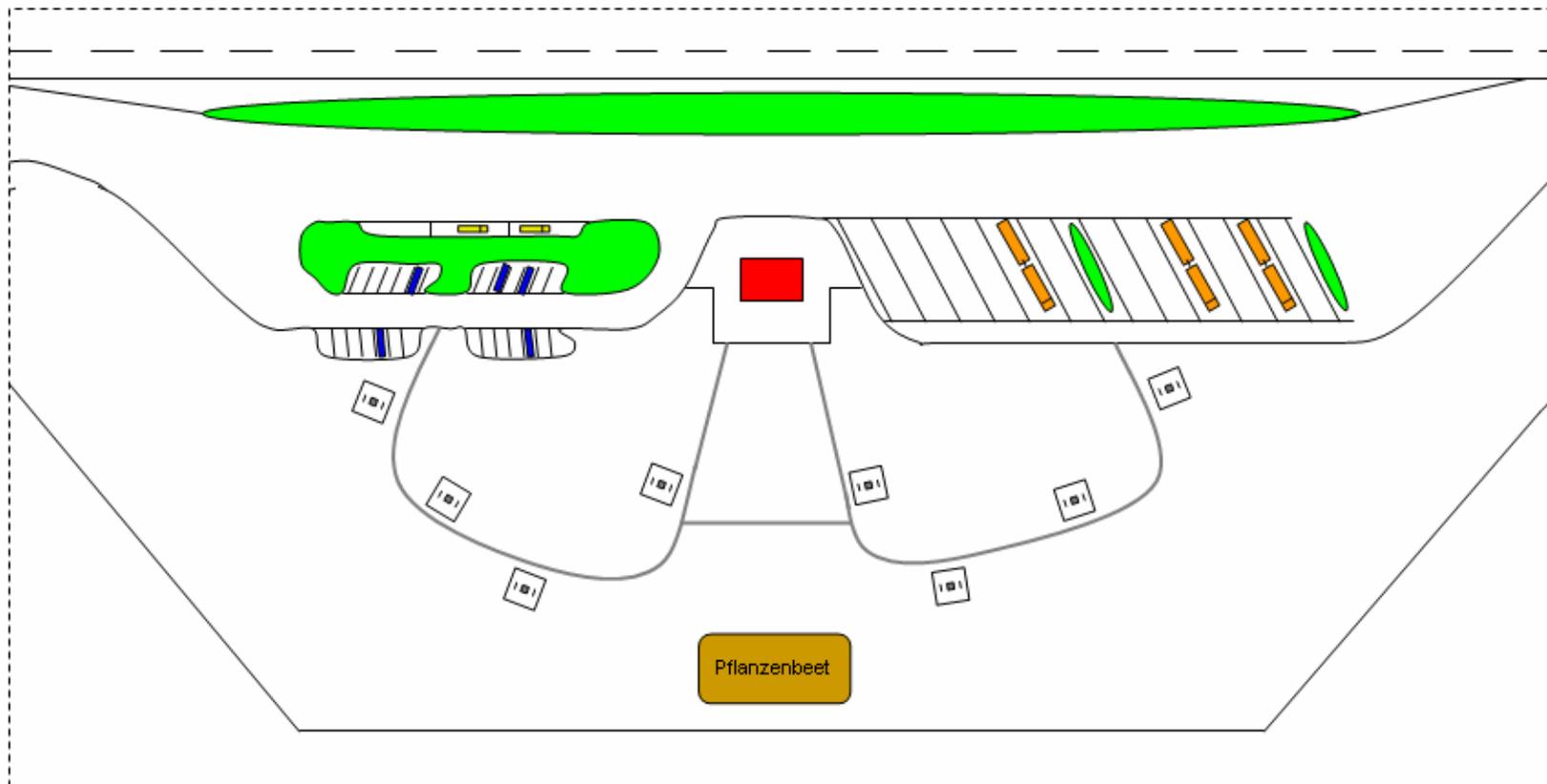
A 3. PWC-Anlage Klockow-Ost

Allgemeine Angaben



Standort der Anlage:	BAB 20 km 311,500 zwischen Prenzlau und Pasewalk
Bundesland:	Brandenburg
Geografische Lage:	ländlicher Raum mit kleinen Dörfern, wenig Industrie, kleine Städte, flache Landschaft, Grenzgebiet zu Polen
Stellplätze:	24 Pkw (davon 2 behindertengerecht) 12 Lkw / 3 Bus / Pkw mit Anhänger
Anlagentyp:	beidseitige Anlage

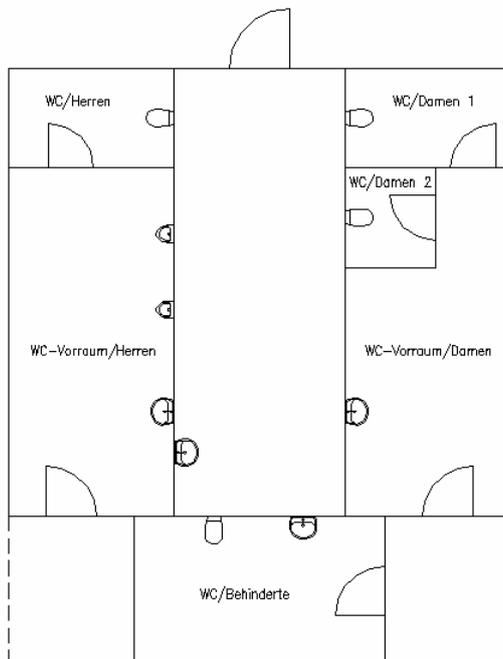
Lageplan der PWC-Anlage Klockow



WC-Gebäude

Errichtung WC-Gebäude: Firma Hering Bau GmbH & Co KG, Burbach

Sanitäre Einrichtungen

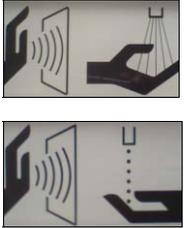


Bestand WC-Einrichtungen

Kriterium	WC-Damen	WC-Herren	WC-Behinderte	HWB	Urinale
Anzahl	2	1	1	3	2
Material	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl
Auslösmechanismus					
Türverriegelung	x	x	x		
Nährungs-Sensor	x	x	x	x	
Thermosensor					x
IR-Bewegungssensor					
Piezo-Taster					
Radarsensor					

Detaillierte Beschreibung der sanitären Einrichtungen

Sanitärtechnik	Anzahl	Material	Auslösemechanismus	Beschreibung
WC Damen 	4	Edelstahl	Türverriegelung Nahrungssensor  Spülkasten	<ul style="list-style-type: none"> Die Vorspülung des WC wird durch das Verriegeln der Tür ausgelöst. Ein Nahrungssensor ist in der Wand über dem WC integriert und durch ein Symbol gekennzeichnet, dieser ermöglicht ein manuelles Spülen. Die Türentriegelung löst die Nachspülung aus.
WC Herren 				<ul style="list-style-type: none"> Probleme: Die Kapazität der Toilettenpapierspender ist für die große Benutzeranzahl nicht ausreichend dimensioniert. Während der Untersuchung mussten mehrere Toilettenpapierrollen nachgelegt werden. Teilweise brachten die Benutzer Küchenrollen und Taschentücher mit, welche dann zu Verstopfungen der WC- Anlagen und Rohrleitungen führen. Die Hygiene im Damen/ Herrenbereich war ungenügend. Während der Untersuchung stellte sich heraus, dass die Anzahl des Damen-WC zu gering bemessen ist. Es kam mehrmals täglich zu Warteschlangen von bis zu 15 Personen.
WC Behinderte 				
Urinale 	2	Edelstahl	Thermosensor	<ul style="list-style-type: none"> Die Spülung der Urinale erfolgt über einen Thermosensor, welcher durch die Wärme des menschlichen Urins ausgelöst wird. Problem: Durch die hohe Benutzeranzahl ergab sich eine starke Verschmutzung der Urinale.

<p>HWB</p> 	3	Edelstahl	<p>Nährungssensor</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Das eingebaute HWB verfügt über zwei Nährungssensoren, diese dienen zum Anfordern von Wasser und Seife. • Nach der Wasseranforderung schaltet sich automatisch ein Händetrockner zu.
<p>Abfallbehälter Damen WC</p> 	2	Edelstahl		<ul style="list-style-type: none"> • Jedes Damen WC besitzt einen in der Wand integrierten Abfallbehälter zur Entsorgung von Hygieneartikeln. • Die Abfallbehälter werden mehrmals täglich durch Reinigungspersonal entleert.

Wasserver- und Abwasserentsorgung

Versorgung/Entsorgung	Erläuterung
<p>Quelle der Wasserversorgung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Wasserversorgung der Doppelanlage erfolgt dezentral durch eine Brunnenanlage. • Die Wasseraufbereitung erfolgt mittels Sauerstoffbehandlung (Siehe Foto). • Das Wasser besitzt Trinkwasserqualität, ist aber nicht als solches ausgewiesen. • Die Anlage verfügt über ein sich selbstreinigendes Siebsystem, welches bei Erreichen eines bestimmten Verschmutzungsgrades selbstständig einen Reinigungsvorgang auslöst. • Die dabei anfallende Wassermenge beträgt je Spülvorgang ca. 500 l. <p>Problem: Das geförderte Grundwasser ist sehr kalkhaltig, so kommt es in Verbindung mit Urin zu erheblichen Ablagerungen im Rohrleitungssystem und zu ständigen Betriebsstörungen der Pumpen.</p>
<p>Abwasserentsorgung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Abwasserentsorgung erfolgt dezentral mittels Pflanzenkläranlage. • Bezeichnung.: Subterra Pflanzenkläranlage mit unterirdischem Abwassereintragsystem (Hersteller: Firma Krüger).
<p>Steuereinheit Sanitärtechnik</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Die PWC-Anlage Klockow-Ost verfügt über eine zentrale Steuereinheit, mit dieser kann der Wasserverbrauch, Betriebsstörungen, sowie Auslösevorgänge der einzelnen sanitären Einrichtungen anlagenspezifisch erfasst und separat ausgelesen werden.

Betrieb

Betriebliche Zuständigkeiten

Kriterium	Reinigung	Wartung	Überwachung	Mäharbeiten	Abfallentsorgung
Zuständigkeit	AM	FF	FF	AM	AM
Intervall	mehrmals täglich	vierteljährlich	halbjährlich	5 mal jährlich	Täglich nach Bedarf

FF Fremdfirma AM Autobahnmeisterei

Betrieblicher Ablauf

Kriterium	Erläuterung
Reinigungsarbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Die Reinigung erfolgt mehrmals täglich durch das Personal der Autobahnmeister Gramzow. • Alle zwei Wochen erfolgt eine Reinigung der Sanitärräume mittels Hochdruckreiniger (zu wenig aufgrund der hohen Benutzeranzahl, dies müsste täglich erfolgen). • Der Wasserverbrauch beträgt 15 l pro Reinigungsvorgang (diese Wassermenge ist zu gering, für eine ausreichende Hygiene).
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgrund von Urinsteinbildung, kommt es zu einem hohen Wartungsaufwand. Dies betrifft insbesondere die Reinigung der Pumpen und Rohrleitungssysteme.
Mäharbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Die Mäharbeiten erfolgen 5-mal jährlich durch die AM Gramzow. Der Aufwand beträgt 64 Personalstunden.
Abfallentsorgung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Abfallentsorgung erfolgt mehrmals täglich je nach Bedarf durch die Mitarbeiter der AM Gramzow.
Personal	<ul style="list-style-type: none"> • Die PWC- Anlage Klockow wird von zwei Mitarbeitern der Autobahnmeisterei im Schichtsystem erledigt. • Die Hauptaufgaben der Mitarbeiter beschränken sich auf Reinigung, Müllentsorgung, Überwachung und Wartung der Anlage.
Reinigungsmittel	<ul style="list-style-type: none"> • Vorwiegend wird Urinsteinlöser zur Reinigung der WC-Einrichtungen verwendet. • Zur Reinigung der Pumpen wird Salzsäure (25%) verwendet.

Kosten

Betriebskosten

Betriebskosten	Kosten [€a]	Aufschlüsselung
Personalkosten	43411,20	<ul style="list-style-type: none"> • (40h/Mitarbeiter, 80h/Woche, 48 Wochen, Verrechnungssatz 22,61€/h, beidseitig)
Reinigungskosten		<ul style="list-style-type: none"> • Reinigungskosten sind in Personalkosten enthalten, da Personal auf Anlage Reinigungsarbeiten übernimmt.
Kosten Betriebsmittel	2000,00	<ul style="list-style-type: none"> • Reinigungsmittel / WC-Papier
Kosten Mäharbeiten	3617,60	<ul style="list-style-type: none"> • (5*Mähen/Jahr, Dauer 4 Tage, 2 Mitarbeiter, 8h/Tag, Verrechnungssatz 22,61€/h)
Kosten Abfallentsorgung	2040,00	<ul style="list-style-type: none"> • (85 €/t, 0,5t/Woche, 48 Wochen)
Wartungskosten	1424,12	<ul style="list-style-type: none"> • Wartung Pflanzenkläranlage
Reparaturkosten	4000,00	<ul style="list-style-type: none"> • (Ersatz/Reparatur von Pumpen, Messsonden, Rohren, Ventilen, Halterungen)
Abwasserkosten	1600,00	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten Klärschlammabfuhr
Wasserkosten	260,00	<ul style="list-style-type: none"> • Sauerstoffanreicherung Rohwasser
Stromkosten	4000,00	<ul style="list-style-type: none"> • (Lichtanlage, technische Geräte, Heizung, Wasseraufbereitung)
gesamt	61808,92	

Investitionskosten Gebäude

Pos.	Investitionskosten	Kosten [€]
1.	Rohbau WC-Gebäude	131886,09
1.1	Baustelleneinrichtung, Schuttcontainer	16637,99
1.2	Baustraße, Kies/ Schotter	0
1.3	Gründung/Wanne/Bodenplatte/Erdarbeiten	10423,53
1.4	Fußbodenaufbau	1190,00
1.5	Bodengitterrost	2296,71
1.6	Wandaufbau Innenwände	8573,81
1.7	Bodenbeläge -Wandbeläge	14992,99
1.8	Türen	13906,85
1.9	Decken	7216,62
1.10	Dach	18101,07
1.11	Wandaufbau Außenwände	29956,12
1.12	Anti-Graffiti-Beschichtung	1608,42
1.13	Oberlichter/Fenster	4545,45
1.14	Ausstattung	87,75
1.15	Bauendreinigung	315,90
1.16	Gebäudereinigung	2032,88
2.	Ausstattung WC-Gebäude	51069,92
2.1	Blitzschutz	1095,12
2.2	Heizung	0
2.3	Hochdruckreiniger	4318,47
2.4	Lüftung	0
2.5	Pumpe für Pumpensumpf	0
2.6	Sanitär-Ausstattung	26020,80
2.7	Elektroinstallation	8675,55
2.8	Messeinrichtung	10959,98
	gesamt Σ	182956,01

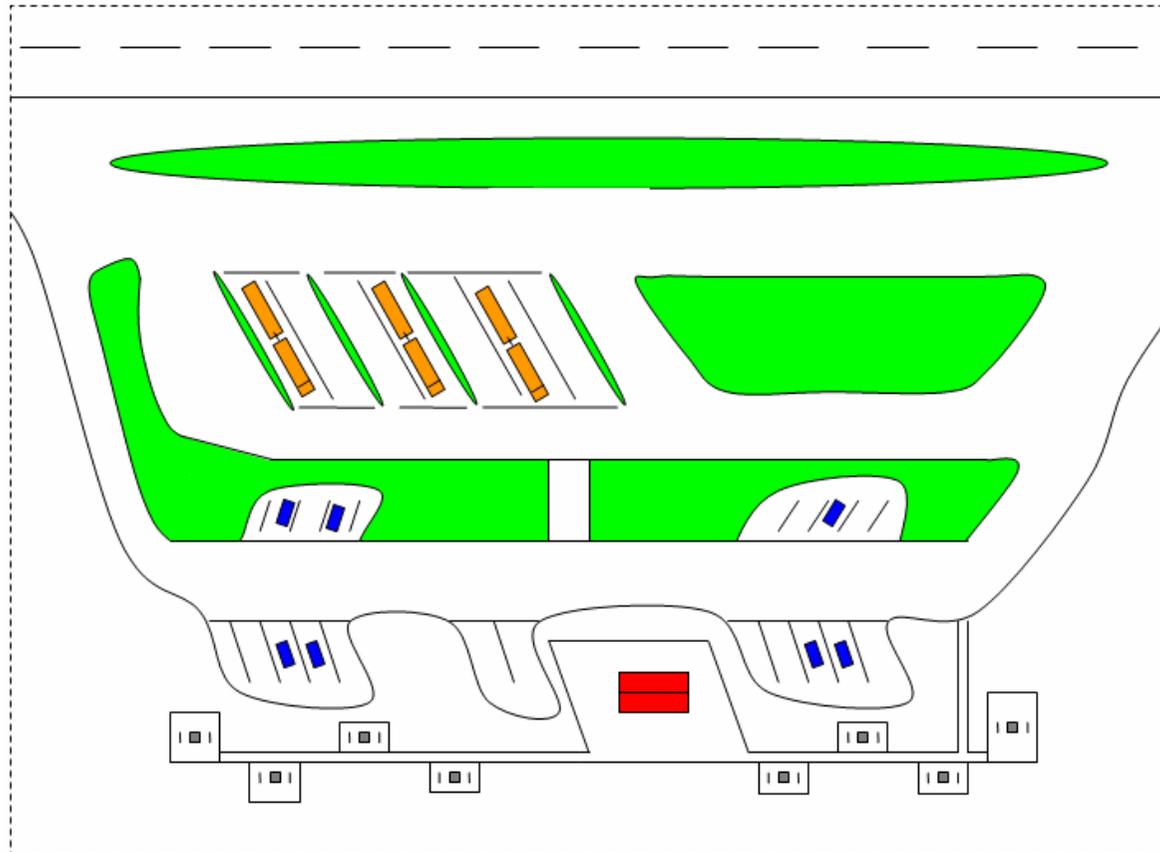
A 4. PWC-Anlage Peenetal

Allgemeine Angaben



Standort der Anlage:	BAB 20 km 211,5 zwischen Jarmen und Greifswald in Richtung Lübeck
Bundesland:	Mecklenburg Vorpommern
Geografische Lage:	ländlicher Raum mit kleinen Dörfern, wenig Industrie, kleine Städte, flache Landschaft, Grenzgebiet zu Polen
Stellplätze:	22 Pkw (davon 2 behindertengerecht) 9 Lkw / Bus / Pkw mit Anhänger
Anlagentyp:	beidseitige Anlage

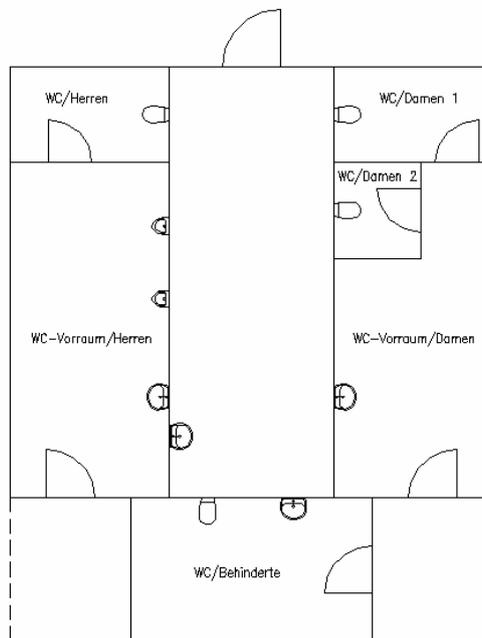
Lageplan PWC-Anlage Peenetal



WC-Gebäude

Errichtung WC-Gebäude: Zurow Bau GmbH, Schwerin

Sanitäre Einrichtungen



Bestand WC-Einrichtungen

Kriterium	WC-Damen	WC-Herren	WC-Behinderte	HWB	Urinale
Anzahl	2	1	1	4	1
Material	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl
Auslösmechanismus					
Türverriegelung					
Nährungs-Sensor	x	x	x		x
Thermosensor					
IR-Bewegungssensor					
Piezo-Taster				x	
Radarsensor					

Detaillierte Beschreibung der sanitären Einrichtungen

Sanitärtechnik	Anzahl	Material	Auslösemechanismus	Beschreibung
WC 	4	Edelstahl	Nahrungssensor  Spülkasten 	<ul style="list-style-type: none"> Die Vorspülung des WC wird durch das Verriegeln der Tür ausgelöst. Ein Nahrungssensor ist in der Wand über dem WC integriert und durch ein Symbol gekennzeichnet, dieser ermöglicht ein manuelles Spülen. Beim Entriegeln der Tür wird die Nachspülung ausgelöst. Die Spülung erfolgt durch einen Spülkasten (Hersteller Firma Geberit). Der Wasserverbrauch der Toiletten beträgt im Durchschnitt ca. 8 l.
Toilettenpapier-Spender 	4	Edelstahl		<ul style="list-style-type: none"> Probleme: Die Anzahl von 3 Toilettenpapierrollen pro Spender auf dem Damen WC ist zu knapp bemessen, es kam öfters zu Beschwerden. Benutzer beschwerten sich über schwere Zugänglichkeit der Toilettenpapierspender, sie sind vom WC aus schwer zu erreichen. Der Verbrauch an Toilettenpapier beträgt pro Tag ca. 12 Rollen.
Hygienebehälter Damen WC 	4	Edelstahl		<ul style="list-style-type: none"> Jedes Damen WC ist mit einem Hygienebehälter ausgestattet. Die Entleerung erfolgt zweimal täglich durch Mitarbeiter der Autobahnmeisterei. Während der Feststoffentnahme wurde festgestellt, dass diese Möglichkeit der Entsorgung nicht immer Zuspruch fand.

<p>Urinale</p> 	2	Edelstahl	<p>Näherungs-Sensor</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Die Auslösung der Urinale erfolgt ebenfalls durch einen Näherungs-Sensor, dieser befindet sich oberhalb der Becken und ist genau wie bei den WC-Einrichtungen durch eine erklärende Symbolik gekennzeichnet. Der Wasserverbrauch der Urinale beträgt im Durchschnitt ca. 0,5l.
<p>HWB</p> 	3	Edelstahl	<p>Piezo-Taster</p>  <p>Dosierschlauchpumpe</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Die Wandeinbauwaschtischanlage wird über 3 Piezo-Taster bedient, welche bei Berührung das Wasser, die Seife und den Händetrockner auslösen. Die Ausgabe der Seifenmenge erfolgt mittels Dosierschlauchpumpe DDSP 2035 mcs. Der Wasserverbrauch der HWB beträgt im Durchschnitt ca. 1,2 l.

Wasserver- und Abwasserentsorgung

Versorgung/Entsorgung	Erläuterung
Quelle der Wasserversorgung	<ul style="list-style-type: none"> Die Wasserversorgung beider Anlagen erfolgt dezentral durch eine Brunnenanlage. Die Aufbereitung erfolgt durch Siebfilter und Eisenoxidausfällung mittels Sauerstoffbehandlung. Das Wasser besitzt einen Härtegrad von 24 Grad Deutscher Härte.
	<ul style="list-style-type: none"> Problem: Das geförderte Grundwasser ist sehr kalkhaltig, so kommt es in Verbindung mit Urin zu erheblichen Ablagerungen im Rohrleitungssystem und zu ständigen Betriebsstörungen der Pumpen.
Abwasserentsorgung	<ul style="list-style-type: none"> Die Abwasserentsorgung erfolgt dezentral mittels Pflanzenkläranlage. Klärschlamm muss abgefahren werden.
Steuereinheit Sanitärtechnik DDC 3000 	<ul style="list-style-type: none"> Die DDC 3000 ist eine frei parametrierbare zentrale Steuerung zur Bereitstellung von Wassermanagementfunktionen. Hersteller: Fa. Kieback&Peter GmbH & Co. KG, Berlin

Betrieb

Betriebliche Zuständigkeiten

Kriterium	Reinigung	Wartung	Überwachung	Mäharbeiten	Abfallentsorgung
Zuständigkeit	AM	FF	AM	AM	AM
Intervall	2 mal täglich	mehrmals/Jahr	täglich	nach bedarf	nach Bedarf

FF Fremdfirma AM Autobahnmeisterei

Betrieblicher Ablauf

Kriterium	Erläuterung
Reinigungsarbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Die Reinigung der Anlage erfolgt täglich um 8:00 Uhr und je nach Bedarf ein weiteres Mal um 16:30 Uhr, durch das Personal der AM Süderholz. • Der Wasserverbrauch für die täglichen Reinigungsarbeiten beträgt etw. 20 l. • Eine Generalreinigung des gesamten WC-Gebäudes erfolgt laut Mitarbeiter der Autobahnmeisterei einmal pro Woche.
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Wartung der Anlage liegt bei der Firma DEGES, da diese noch in der Gewährleistung steht.
Mäharbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Die Mäharbeiten werden mehrmals jährlich durch das Personal der Autobahnmeisterei durchgeführt.
Abfallentsorgung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Abfallentsorgung erfolgt täglich je nach Bedarf durch die Streckenkontrolle der AM Süderholz.
Personal	<ul style="list-style-type: none"> • Es ist kein ständiges Personal auf der Anlage vorhanden.
Reinigungsmittel	<ul style="list-style-type: none"> • Seife für Handwaschbecken (Name Bio-Hawap 2000/MATECRA) • Urinsteinlöser Phosphor/Salzsäure PH-Wert 5 • Reinigungsmittel für gewerbliche Anwendungen Easy 4 Color Red
	<ul style="list-style-type: none"> • Problem: Während der Untersuchung ist im Vergleich zu anderen Anlagen eine übermäßig starke Schaumbildung in den Absetzgruben aufgetreten, dies ist vermutlich auf die verwendete Seifenart zurück zu führen.

Kosten

Betriebskosten

Betriebskosten	Kosten [€/a]	Aufschlüsselung
Personalkosten	0	<ul style="list-style-type: none"> keine Extra Personalkosten
Reinigungskosten	45000,00 *	<ul style="list-style-type: none"> können nicht explizit getrennt werden
Kosten Betriebsmittel		<ul style="list-style-type: none"> können nicht explizit getrennt werden
Kosten Mäharbeiten		<ul style="list-style-type: none"> können nicht explizit getrennt werden
Kosten Abfallentsorgung		<ul style="list-style-type: none"> können nicht explizit getrennt werden
Wartungskosten	0	<ul style="list-style-type: none"> momentan noch 2 Jahre Gewährleistungsfrist durch DEGES
Reparaturkosten	0	<ul style="list-style-type: none"> momentan noch 2 Jahre Gewährleistungsfrist durch DEGES
Abwasserkosten	2500,00	<ul style="list-style-type: none"> Die Klärschlammabfuhr erfolgt ungefähr 6 mal jährlich
Wasserkosten	1000,00	<ul style="list-style-type: none"> Brunnenanlage braucht Sauerstoff zur Aufbereitung (50€/Flasche+50€ Transport, 10 Flaschen/Jahr)
Stromkosten	6000,00	<ul style="list-style-type: none"> Die Hauptstromkosten werden verursacht durch Fußbodenheizung, Lichtenanlagen und technische Geräte.
gesamt	54500,00	

* Für die Vergleichbarkeit der Kosten werden die Kosten für Mäharbeiten und Abfallentsorgung pauschal in Höhe von 5500 € abgegolten dementsprechend kommen in Reinigungskosten inklusive Betriebsmittel in Höhe von 39500 € zum Ansatz.

Investitionskosten Gebäude

Pos.	Investitionskosten	Kosten [€]
1.	Rohbau WC-Gebäude	126771,00
1.1	Baustelleneinrichtung, Schuttcontainer	6750,00
1.2	Baustraße, Kies/ Schotter	9817,50
1.3	Gründung/Wanne/Bodenplatte/Erdarbeiten	10100,00
1.4	Fußbodenaufbau	1450,00
1.5	Bodengitterrost	1694,00
1.6	Wandaufbau Innenwände	5819,80
1.7	Bodenbeläge -Wandbeläge	13500,00
1.8	Türen	14806,00
1.9	Decken	5683,70
1.10	Dach	19965,00
1.11	Wandaufbau Außenwände	18310,00
1.12	Anti-Graffiti-Beschichtung	980,00
1.13	Oberlichter/Fenster	11100,00
1.14	Ausstattung	395,00
1.15	Bauendreinigung	400,00
1.16	Gebäudereinigung	6000,00
2.	Ausstattung WC-Gebäude	46342,00
2.1	Blitzschutz	1200,00
2.2	Heizung	1525,00
2.3	Hochdruckreiniger	6490,00
2.4	Lüftung	583,00
2.5	Pumpe für Pumpensumpf	150,00
2.6	Sanitär-Ausstattung	21984,00
2.7	Elektroinstallation	8910,00
2.8	Messeinrichtung	5500,00
	gesamt Σ	173113,00

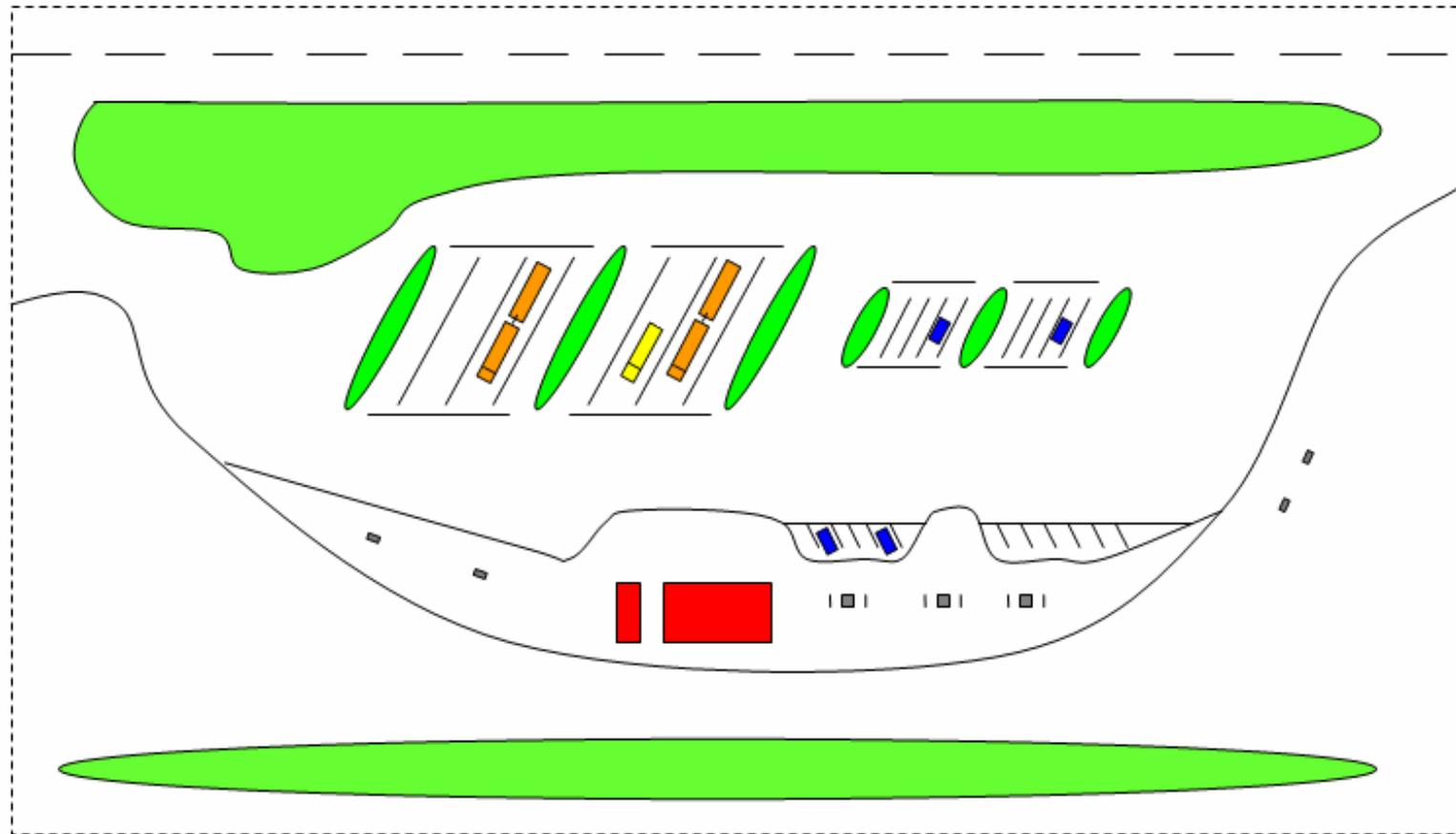
A 5. PWC-Anlage Moosburger Au-Ost

Allgemeine Angaben



Standort der Anlage:	BAB 92 km 42,500 zwischen Freising und Moosburg in Richtung Deggendorf
Bundesland:	Bayern
Geografische Lage:	Einzugsgebiet (Großraum München), in der Nähe des Franz Josef Strauß Flugplatzes, zwischen Deggendorf 92,6 km und München 58,2 km
Stellplätze:	22 Pkw (davon 1 behindertengerecht) 8 Lkw / Bus / Pkw mit Anhänger
Anlagentyp:	beidseitige Anlage

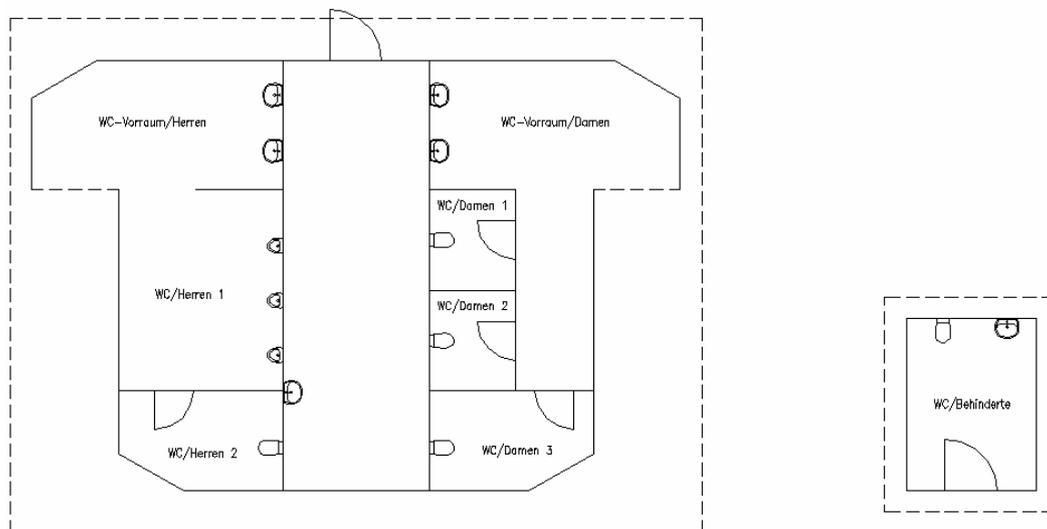
Lageplan PWC-Anlage Moosburger Au-Ost



WC-Gebäude

Errichtung WC-Gebäude: Firma Hering Bau GmbH & Co KG, Burbach

Sanitäre Einrichtungen



Bestand WC-Einrichtungen

Kriterium	WC-Damen	WC-Herren	WC-Behinderte	HWB	Urinale
Anzahl	3	1	1	5	3
Material	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl
Auslösmechanismus					
Türverriegelung	x	x	x		
Nahrungssensor					
Thermosensor					x
IR-Bewegungssensor				x	
Piezo-Taster					
Radarsensor					

Detaillierte Beschreibung der sanitären Einrichtungen

Sanitärtechnik	Anzahl	Material	Auslösemechanismus	Beschreibung
<p>Toiletten</p> 	5	Edelstahl	<p>Türverriegelung</p>  <p>Magnetventil</p>  <p>Druckspüler</p>	<ul style="list-style-type: none"> Die Auslösung der Vorspülung und Vollspülung erfolgt über die Türverriegelung. Die Spülmenge wird mittels Magnetventil reguliert Der Wasserverbrauch der Toiletten beträgt im Durchschnitt ca. 8 l pro Spülung. Ein Hinweisschild über dem WC weist auf die Spülung hin.  <ul style="list-style-type: none"> Hersteller Sanitäreinrichtung: Niethammer GmbH, Gernsheim. <p>Problem: Aufgrund des Türverriegelungsmechanismus ist mehrmaliges Spülen nicht möglich, daher sind vermehrt Rückstände im WC (siehe Foto) zu verzeichnen.</p>
<p>Toilettenpapier-Spender</p> 	5	Edelstahl		<ul style="list-style-type: none"> Im Gegensatz zu anderen PWC- Anlagen werden auf dieser Anlage wesentlich größere Toilettenpapierrollen verwendet.  <ul style="list-style-type: none"> Der Verbrauch an Toilettenpapierrollen beträgt ca. 2 Rollen pro Tag.

<p>Abfallbehälter</p> 	3	Kunststoff		<ul style="list-style-type: none"> Die Abfallbehälter auf den Damen WC's sind nicht befestigt oder in Wand integriert. Durch das mehrfache Umkippen des Abfallbehälters war der Toilettenboden verdreckt. Im Männer WC befindet sich kein Abfallbehälter, daher lag der angefallene Müll am Toilettenboden. 
<p>Urinale</p> 	3	Edelstahl	<p>Thermosensor</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Die Spülung der Urinale erfolgt über einen Thermosensor (Hersteller Fa. Kuhfuss, Hiddenhausen-Suddern), welcher durch die Wärme des menschlichen Urins ausgelöst wird. Der Wasserverbrauch der Urinale beträgt im Durchschnitt 0,5 l pro Spülung.
<p>HWB</p> 	5	Edelstahl	<p>IR-Bewegungssensor</p>  <p>Regler</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Das freihängende HWB verfügt über einen IR- Bewegungssensor (Hersteller Fa. Aqua Rotter), über diesen wird das Wasser ausgelöst. Das HWB besitzt keinen Seifenspender oder einen Händetrockner. Probleme: Bleibt jemand im Sensorbereich stehen, wird der Wasserfluss nicht zeitlich begrenzt, d.h. Wasser läuft ständig weiter. Kein seitlicher Schutz gegen Spritzwasser vorhanden, daher ständig Wasseransammlungen unter und vor den Handwaschbecken. Der anliegende Wasserdruck von 3 bar kann nicht reduziert werden. Die Regler der HWB haben eine Netzspannung von 220V (Hersteller: Fa. Danfoss GmbH, Stutensee).

Wasserver- und Abwasserentsorgung

Versorgung/Entsorgung	Erläuterung
Quelle der Wasserversorgung	<ul style="list-style-type: none"> Zentrale Wasserversorgung durch Trinkwasserversorgung Langenpreising (WZV Berglerner Gruppe)
Abwasserentsorgung	<ul style="list-style-type: none"> Zentrale Abwasserentsorgung mittels pneumatischem Pumpwerk
Steuereinheit Sanitärtechnik	<ul style="list-style-type: none"> Nicht vorhanden

Betrieb

Betriebliche Zuständigkeiten

Kriterium	Reinigung	Wartung	Überwachung	Mäharbeiten	Abfallentsorgung
Zuständigkeit	FF	AM	AM	AM	AM
Intervall	täglich	wöchentlich	täglich	6 mal Jährlich	täglich

FF Fremdfirma **AM** Autobahnmeisterei

Betrieblicher Ablauf

Kriterium	Erläuterung
Reinigungsarbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Die Reinigung der Anlage erfolgt täglich um 6:00 Uhr durch eine beauftragte Reinigungsfirma. • Zu den Reinigungsarbeiten gehören das Wechseln der leeren Toilettenpapierrollen, die Säuberung der WC-Einrichtungen mittels eines Hochdruckreinigers und die Entleerung der Abfallbehälter. • Der Wasserverbrauch beträgt hierbei durchschnittlich 120 l pro Reinigungsvorgang.
Wartung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Wartung der Unterdruckanlage erfolgt durch eigenes Fachpersonal der Autobahnmeisterei. • Überwachung der Anlage erfolgt täglich durch Streckenkontrolle der AM.
Mäharbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Die Mäharbeiten erfolgen 6-mal jährlich durch die Autobahnmeisterei Freising, wobei je zwei Mann 4 Stunden beschäftigt sind.
Abfallentsorgung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Abfallentsorgung erfolgt einmal täglich.
Personal	<ul style="list-style-type: none"> • Es ist kein ständiges Personal auf der Anlage vorhanden.
Reinigungsmittel 	<ul style="list-style-type: none"> • Zum Einsatz kommt biologisches Abflusswartungsmittel (BIO-AKTIV /Hersteller Fa. WIEDS ECOCHEM AG, Freudenberg). • Speziell abgestimmtes Reinigungsmittel (DUO SPEZIAL 86 Gebindegröße 60l/ Hersteller Fa. HVP), das durch automatischen Einzug mit dem Hochdruckreiniger direkt auf die WC-Einrichtungsgegenstände aufgetragen werden kann.

Kosten

Betriebskosten

Betriebskosten	Kosten [€a]	Aufschlüsselung
Personalkosten	7231,82	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten für tägliche Kontrolle inklusive der anfallenden jährlichen Wartungskosten
Reinigungskosten	11995,20	<ul style="list-style-type: none"> • Erfolgt durch Reinigungsfirma Schmidt Katharina, Auftragvergabe jährlich neu durch Autobahnmeisterei Freising
Kosten Betriebsmittel	1663,16	<ul style="list-style-type: none"> • Toilettenpapier Fa. Komfortabel 750 €/a • Fa. Cheminox Biologischer Entkalker 224,50 €/a • Fa. Wieds Entkalker – Bracks Plus 328,87 €/a
Kosten Mäharbeiten	1440,96	<ul style="list-style-type: none"> • (6*Mähen/Jahr, 2 Mitarbeiter, 4h/Tag, Verrechnungssatz 30,02 €/h)
Kosten Abfallentsorgung	4000,00	<ul style="list-style-type: none"> • können nicht explizit aufgeschlüsselt werden
Wartungskosten		<ul style="list-style-type: none"> • Sind in Personalkosten enthalten
Reparaturkosten	2000,00	<ul style="list-style-type: none"> • Die Reparaturkosten können
Abwasserkosten	2713,12	<ul style="list-style-type: none"> • Wasser und Abwasserkosten können nicht explizit getrennt werden, es gibt einen festen Verrechnungssatz. • Die Ver- und -entsorgung erfolgt durch WZV Berglerner Gruppe
Wasserkosten		
Stromkosten	4649,28	<ul style="list-style-type: none"> • Versorgung durch EVU Langenpreising
gesamt	35693,54	

Über Investitionskosten können keine Aussagen getroffen werden.

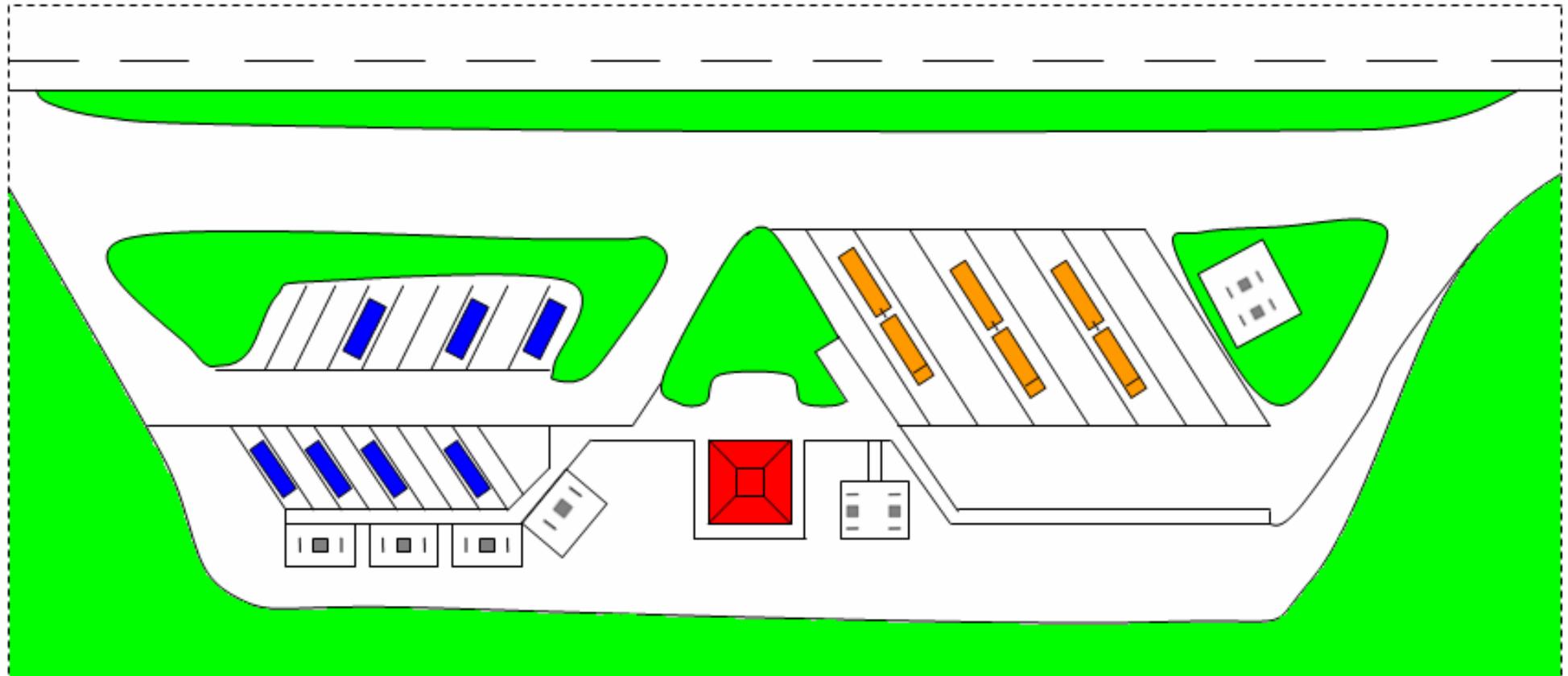
A 6. PWC-Anlage Adlersberg West

Allgemeine Angaben



Standort der Anlage:	BAB 73 km 10,500 zwischen Fahrtrichtung Nürnberg, zwischen Suhl-Friedberg und Schleusingen
Bundesland:	Thüringen
Geografische Lage:	ländlicher Raum mit kleinen Dörfern, wenig Industrie, kleine Städte, bergige Landschaft (Thüringer Wald)
Stellplätze:	19 Pkw (davon 2 behindertengerecht), 8 Lkw
Anlagentyp:	beidseitige Anlage

Lageplan Adlersberg West



Sitzgruppe



LKW Parkplätze



WC-Gebäude



PKW-Parkplätze

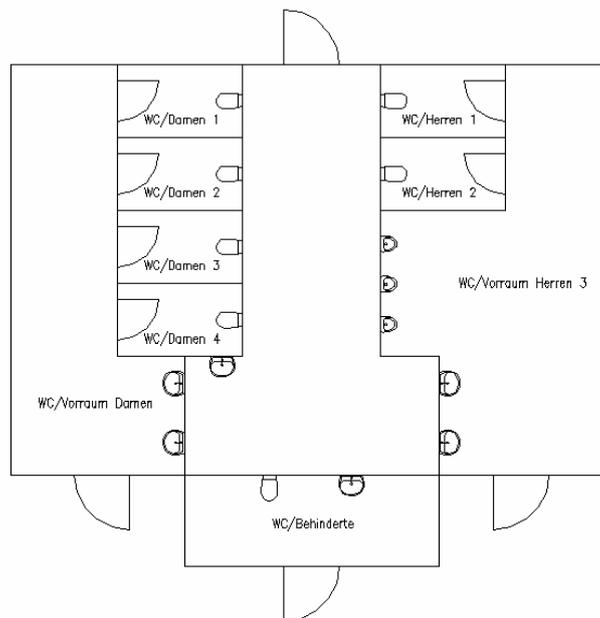


Grünfläche

WC-Gebäude

Errichtung WC-Gebäude durch: Firma Zurow Bau GmbH, Krassow

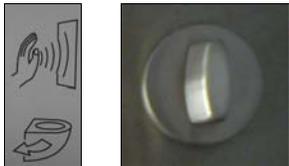
Sanitäre Einrichtungen



Bestand WC-Einrichtungen

Kriterium	WC-Damen	WC-Herren	WC-Behinderte	HWB	Urinale
Anzahl	4	2	1	5	4
Material	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl
Auslösmechanismus					
Türverriegelung	x	x	x		
Nährungs-Sensor	x	x	x		
Thermosensor					x
IR-Bewegungssensor					
Piezo-Taster				x	
Radarsensor					

Detaillierte Beschreibung der sanitären Einrichtungen

Sanitärtechnik	Anzahl	Material	Auslösemechanismus	Beschreibung
WC 	6	Edelstahl	Türverriegelung Nahrungs-Sensor  Spülkästen	<ul style="list-style-type: none"> Die Vorspülung des WC wird durch das Verriegeln der Tür ausgelöst. Ein Nahrungssensor ist in der Wand über dem WC integriert und durch ein Symbol gekennzeichnet, dieser ermöglicht ein manuelles Spülen. Beim Entriegeln der Tür wird die Nachspülung ausgelöst.
Urinale 	3	Edelstahl	Thermosensor	<ul style="list-style-type: none"> Die Spülung der Urinale erfolgt über einen Thermosensor, welcher durch die Wärme des menschlichen Urins ausgelöst wird.
HWB 	5	Edelstahl	Piezo-Taster 	<ul style="list-style-type: none"> Das eingebaute HWB verfügt über drei Piezo-Taster, mit diesen können separat Wasser, Seife und Händetrockner angefordert werden. Ausführung als Wandeinbauwaschtischanlage.

Wasserversorgung / Abwasserentsorgung

Versorgung/Entsorgung	Erläuterung
Quelle der Wasserversorgung	<ul style="list-style-type: none"> • Zentrale Wasserversorgung durch WZV Zella-Mehlis
Abwasserentsorgung	<ul style="list-style-type: none"> • Zentral mittels Druckentwässerung
Steuereinheit Sanitärtechnik	<ul style="list-style-type: none"> • Einzelansteuerung der Auslösmechanismen

Betrieb

Betriebliche Zuständigkeiten

Kriterium	Reinigung	Wartung	Überwachung	Mäharbeiten	Abfallentsorgung
Zuständigkeit	FF	FF	AM	AM	AM
Intervall	täglich	jährlich	täglich	2mal jährlich	täglich

FF Fremdfirma **AM** Autobahnmeisterei

Betrieblicher Ablauf

Kriterium	Erläuterung
Reinigungsarbeiten WC	<ul style="list-style-type: none">• Die Reinigung der Anlage erfolgt einmal täglich durch die Reinigungsfirma Kelch.• Zu den Reinigungsarbeiten gehören das Ersetzen der leeren Toilettenpapierrollen, die Säuberung der WC-Einrichtungen und das Entleeren der Hygienebehälter.
Wartung Druckluftspülstation	<ul style="list-style-type: none">• Die Wartung der Druckspülstation erfolgt durch die Firma Zurow Bau GmbH, einmal jährlich.
Mäharbeiten	<ul style="list-style-type: none">• Die Mäharbeiten werden 2-3-mal jährlich von Mitarbeiter der Autobahnmeisterei Zella-Mehlis durchgeführt.
Abfallentsorgung	<ul style="list-style-type: none">• Die Abfallentsorgung erfolgt täglich durch Streckenkontrolle der Autobahnmeisterei Zella-Mehlis.
Personal	<ul style="list-style-type: none">• Die Überwachung und Wartung der Anlage wird von Mitarbeitern der AM Zella-Mehlis durchgeführt.
Reinigungsmittel	<ul style="list-style-type: none">• Es werden vorwiegend Reinigungsmittel zur Vorbeugung von Urinstein eingesetzt.

Kosten

Betriebskosten

Betriebskosten	Kosten [€a]	Aufschlüsselung
Reinigungskosten	7206,88	<ul style="list-style-type: none"> Reinigung der Anlage durch Firma Gebäudereinigung Kelch
Personalkosten	0	<ul style="list-style-type: none"> keine Extra Personalkosten
Kosten Betriebsmittel	-	<ul style="list-style-type: none"> Sind in den Reinigungskosten enthalten
Kosten Mäharbeiten	704,32	<ul style="list-style-type: none"> Aufschlüsselung (2*Mähen/Jahr, Dauer 4 Stunden, 2 Mitarbeiter, Verrechnungssatz 44,02 €)
Kosten Abfallentsorgung	-	<ul style="list-style-type: none"> Können nicht separat erfasst werden
Wartungskosten	2192,86	<ul style="list-style-type: none"> Wartung der Türverriegelungen und Elektroanlagen im Außenbereich.
Reparaturkosten	-	<ul style="list-style-type: none"> Keine, da noch eine Gewährleistung durch die Fa. Zurow Bau GmbH besteht.
Wasserkosten / Abwasserkosten	2463,16	<ul style="list-style-type: none"> Klärschlammabfuhr erfolgt durch WZV Zella-Mehlis
Stromkosten	7048,94	
gesamt	19616,16	

A 7. Beispielprotokoll Fahrzeugzählung

Fahrzeugzählung 0 - 6 Uhr

Anlage:														Datum:					Vorkommnisse:	
Uhrzeit	KRAD			PKW										BUS		LKW			SFZ	Bemerkungen
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	1	2	3	1	
0:00 - 0:15																				
0:15 - 0:30																				
0:30 - 0:45																				
0:45 - 1:00																				
1:00 - 1:15																				
1:15 - 1:30																				
1:30 - 1:45																				
1:45 - 2:00																				
2:00 - 2:15																				
2:15 - 2:30																				
2:30 - 2:45																				
2:45 - 3:00																				
3:00 - 3:15																				
3:15 - 3:30																				
3:30 - 3:45																				
3:45 - 4:00																				
4:00 - 4:15																				
4:15 - 4:30																				
4:30 - 4:45																				
4:45 - 5:00																				
5:00 - 5:15																				
5:15 - 5:30																				
5:30 - 5:45																				
5:45 - 6:00																				

KRAD = Kraftrad PKW = Personenkraftwagen LKW = Lastkraftwagen SFZ = Sonderfahrzeug BUS = Omnibus

A 9. Beispiel Benutzerbefragung**Benutzerbefragung: PWC „Adlersberg-West“**

Datum: _____

Uhrzeit: _____

1. Nennen Sie uns bitte Ihr Geschlecht! weiblich männlich**2. Sagen Sie uns bitte ehrlich, für was Sie das sanitäre Angebot tatsächlich genutzt haben! Mehrfachantworten sind möglich.** „kleines Geschäft“ (nur urinieren) „großes Geschäft“ Händewaschen was anderes, und zwar: _____**3. Wie beurteilen Sie die Bedienung bzw. die Hinweise zur Benutzung der Handwaschbecken?** einfach / leicht verständlich kompliziert / schwer verständlich**4. Wie zufrieden sind Sie insgesamt mit dem angebotenen Service? (Sauberkeit, Hygiene, Komfort, Kosten usw.)** sehr zufrieden zufrieden weniger zufrieden unzufrieden**5. Haben Sie schon öfters hier (auf dieser PWC-Anlage) Rast gemacht?** Nein. Ich bin auf Durchreise und nur zufällig hier. Ja. Ich bin gelegentlich zu Besuch (Urlaub/geschäftlich) in der Region. Ja. Ich benutze die PWC-Anlage öfters (Pendler/ Einheimischer).

A 10. Analyseergebnisse

Die Ergebnisse der Abwasser- und Schlammanalysen sind den folgenden Prüfberichten zu entnehmen

Untersuchung	Prüfberichtsnummer	
	Abwasser	Schlamm
U01 Belvedere	B 33.08.152.01	B 33.08.153.01
U02 Belvedere	B 33.08.174.01	B 33.08.175.01
U03 Settel	B 33.08.272.01	B 33.08.273.01
U04 Settel	B 33.08.288.01	B 33.08.289.01
U05 Klockow	B 33.08.312.01	B 33.08.313.01
U06 Klockow	B 33.08.335.01	B 33.08.336.01
U07 Peenetal	B 33.08.352.01	B 33.08.353.01
U08 Peenetal	B 33.08.360.01	B 33.08.361.01
U09 Moosburger Au	B 33.08.375.01	B 33.08.376.01
U10 Moosburger Au	B 33.08.396.01	B 33.08.397.01
U11 Adlersberg	B 33.08.543.01	B 33.08.544.01
U12 Adlersberg	B 33.08.563.01	B 33.08.564.01

„Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen“
Leitfaden als Planungs- und Entscheidungshilfe

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung.....	4
2. Vorgehensweise.....	4
3. Veranlassung zum Neu- oder Sanierung.....	7
4. Feststellen der Beteiligten und deren Anforderungen.....	8
5. Wahl des Abwasserentsorgungssystems.....	9
5.1. Allgemeines.....	9
5.2. Belastungsgrundlagen.....	10
5.2.1. Auslastung.....	10
5.2.2. Wasserverbrauch / Abwasseranfall.....	11
5.2.3. Schmutzfrachten.....	11
5.2.4. Schlammfall.....	13
5.3. 1. Grundvariante: Überleitung in eine zentrale Kläranlage.....	14
5.4. 2. Grundvariante: Dezentrale Sammlung in einer abflusslosen Grube.....	15
5.5. 3. Grundvariante: Dezentrale Teilbehandlung.....	15
5.5.1. Theoretische Berechnungen zum Säurekapazitätsverbrauch bei unterschiedlichen Frachtminderungsansätzen.....	17
5.5.2. Dimensionierung und Bau von Speichern.....	19
6. Hinweise zum Betrieb von Abwasserentsorgungssystemen.....	22
6.1. Zentrale Abwasserentsorgung.....	22
6.2. Dezentrale Abwasserentsorgung mit Urinseparation.....	22
7. Kosten.....	23
8. Zusammenfassung.....	31
9. Beispiel zur Auslegung der Abwasserentsorgung.....	33
Literaturverzeichnis.....	40

Verzeichnis häufig verwendeter Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
B	Benutzer
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
B-km	Betriebskilometer
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BSB	Biochemischer Sauerstoffbedarf
BUW	Bauhaus-Universität Weimar, Professur Siedlungswasserwirtschaft
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DEGES	Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
DTV	Durchschnittlich Tägliche Verkehrsstärke
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
KVR	Kostenvergleichsrechnungen der Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
P	Phosphor
PWC	Parkplatz WC; Synonym für unbewirtschaftete Rastanlagen an Autobahnen oder Bundesstraßen, d.h. Parkplätze mit ausschließlich sanitärer Einrichtung
RR 1	Richtlinien für Rastanlagen an Straßen, Teil 1
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen ($N_{\text{org}} + \text{NH}_4\text{-N}$)
VHRR	Vorläufige Hinweise zu den Richtlinien für Rastanlagen an Straßen bezüglich Autobahnrastanlagen
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

1. Einführung

Der vorliegende Leitfaden entstand im Rahmen des Projektes „Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen“ und soll die Überlegungen zur Wahl einer geeigneten Abwasserentsorgung als Planungs- und Entscheidungshilfe stützen. Er befasst sich ausschließlich mit unbewirtschafteten Rastanlagen an Autobahnen sowie Bundesstraßen, da sich Abwässer von bewirtschafteten und unbewirtschafteten Rastanlagen signifikant unterscheiden. Ursachen sind zum einen der kurzzeitige Aufenthalt der Benutzer, die hauptsächlich urinieren, und zum anderen der geringe Ausstattungsgrad (kein bzw. nur wenig Grauwasser). Dieser Leitfaden berücksichtigt rechtliche, technische und wirtschaftliche Aspekte bezüglich der Abwasserentsorgung und bietet neben Lösungsansätzen nach dem „Stand der Technik“ auch solche, die dem „Stand der Wissenschaft und Technik“ entsprechen, und somit vor einer Umsetzung in die Praxis einer Weiterentwicklung bedürfen. Neben Untersuchungen zur Abwasserbelastung an PWC-Anlagen flossen auch Erfahrungen von anderen Extremstandorten wie Berghütten mit ähnlichen Abwassercharakteristiken in die Überarbeitung mit ein.

Die Angaben zur Kosten beruhen auf Daten der einschlägigen Literatur zum Zeitpunkt der Bearbeitung und auf Projektkosten, welche von der DEGES zur Verfügung gestellt wurden.

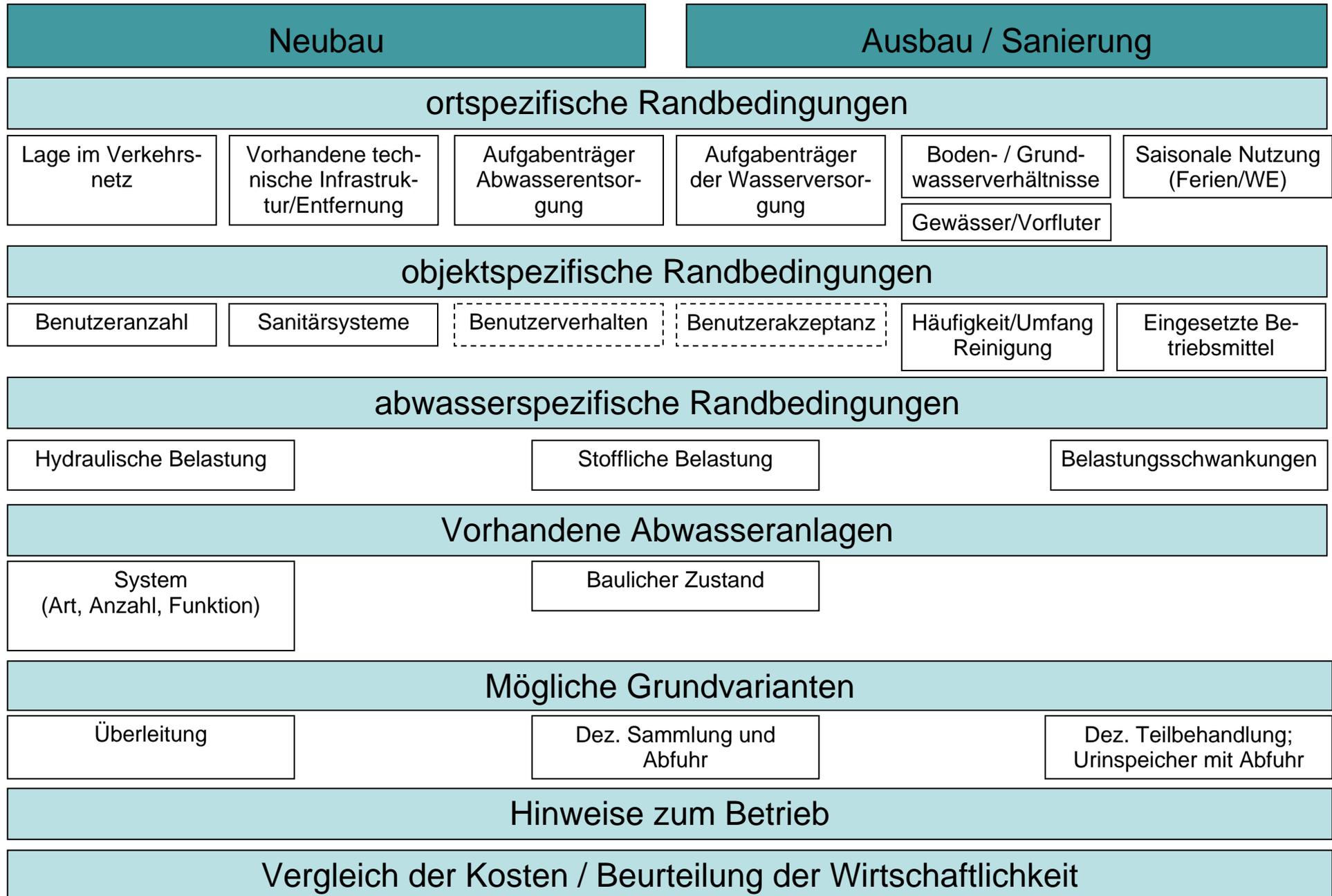
2. Vorgehensweise

Die nachfolgende Darstellung zeigt den grundsätzlichen Aufbau mit den inhaltlichen Schwerpunkten, welche für das schrittweise Vorgehen im Leitfaden von Bedeutung sind. Als Basis ist eine „Bestandsaufnahme“ zu orts-, objekt- und abwasserspezifischen Randbedingungen durchzuführen. Orts- und objektspezifische Randbedingungen stehen teilweise untereinander in Beziehung und beeinflussen die Abwassercharakteristik und somit die Wahl der Abwasserentsorgung. Sie sind deshalb im Zuge der Planung zu berücksichtigen. Das Benutzerverhalten und die Benutzerakzeptanz (gestrichelt umrahmt) haben zwar auch in gewisser Weise eine Auswirkung auf die Abwassercharakteristik, die jedoch im Planungsstadium nicht abgeschätzt werden kann. Bei der Auslegung abwassertechnischer Anlagen unter Verwendung nutzerspezifischer Kennzahlen (Wasserverbrauch und Schmutzfrachten) müssen die maßgebende Benutzeranzahl, aber auch deren zeitliche Schwankungen zur Berücksichtigung unterschiedlicher Lastfälle bekannt sein. Die maßgebende Besucherzahl (Spitzenbelastung, mittlere Belastung) ist als zuverlässige Prognose vom Auftraggeber zur Verfügung zu stellen.

Des Weiteren müssen Faktoren, die den Betrieb der PWC-Anlage betreffen, schon bei der Planung berücksichtigt werden. In Bezug auf das Abwasser sind hier die Reinigung und die eingesetzten Betriebsmittel von Bedeutung. Die hydraulische Belastung ist maßgeblich von der Benutzeranzahl und der Sanitärtechnik abhängig. Da die meisten Benutzer lediglich urinieren, führt das in Verbindung mit Wasser sparender Sanitärtechnik zu hochkonzentrierten Abwässern.

Der Leitfaden kann sowohl für den Neubau, als auch für die Sanierung oder den Umbau Anwendung finden. Als Ergebnisse des Leitfadens stehen Erkenntnisse und Hinweise zum Bau und Betrieb von Abwasseranlagen an PWC-Anlagen, die den Verantwortlichen als Planungs-, Entscheidungs- und Betriebshilfe dienen sollen. Alle sich aus dem Leitfaden ergebenden Va-

arianten zur Abwasserentsorgung an PWC-Anlagen weisen Vor- und Nachteile auf. Eine überall anwendbare Standardlösung gibt es nicht. Der Planer der PWC-Anlage muss ein für die angesprochenen Randbedingungen zugeschnittenes Konzept entwickeln. Deshalb sollen bereits in der Planungsphase alle Alternativen nach rechtlichen, technischen und wirtschaftlichen Aspekten geprüft werden.



3. Veranlassung zum Neubau oder Sanierung

PWC-Anlagen sind unbewirtschaftete Rastanlagen an Bundesautobahnen und Bundesstraßen und stehen den Verkehrsteilnehmern zum Halten, Parken und Rasten zur Verfügung. Sie dienen der Erholung und Entspannung der reisenden Verkehrsteilnehmer. An PWC-Anlagen werden sanitäre Einrichtungen in WC-Gebäuden vorgehalten.

Die Veranlassung zum Aus- oder Neubau ist im Zuge der Anpassung der Autobahnnebenbetriebe an die aktuelle Verkehrsentwicklung gegeben. Nach den Vorläufigen Hinweisen zu den Richtlinien für Rastanlagen an Straßen bezüglich Autobahnrastanlagen (VHRR, 1999) beträgt der Regelabstand zwischen unmittelbar aufeinanderfolgenden Rastanlagen 15 bis 20 km. Damit soll sichergestellt werden, dass Verkehrsteilnehmer etwa alle 15 bis 20 km eine hygienisch einwandfreie Toilettenanlage antreffen. In den Richtlinien für Rastanlagen von Straßen (RR 1, 1981) wird sogar ein Regelabstand zwischen zwei Rastanlagen an Bundesautobahnen unabhängig von der Bewirtschaftung von 12 bis 15 km gefordert.

Die Veranlassung zu einer Sanierung kann eine hydraulische und/oder stoffliche Überlastung der bestehenden Abwasseranlagen sein. Ein weiterer Aspekt ist die Anpassung vorhandener Abwasseranlagen an aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen. Die Abwasserverordnung 2004, Anhang 1 (AbwV) legt Mindestanforderungen an die Reinigung für häusliches und kommunales Abwasser nach Größenklassen fest. Nach dem aktuellen Stand werden Kläranlagen an PWC-Anlagen in die Größenklasse 1 (Zulauf < 60 kg BSB₅/d für < 1.000 EW) eingeordnet. Dies bedeutet Einleitungsgrenzwerte für CSB ≤ 150 mg/l und BSB₅ ≤ 40 mg/l im Ablauf. Weiterhin können von der Genehmigungsbehörde (untere Wasserbehörde) weitergehende Einleitungsgrenzwerte festgelegt werden, wenn dies aus Gewässerschutzgründen erforderlich ist. Auch sich ändernde Benutzerzahlen, oder ein geändertes Benutzerverhalten kann eine Anpassung bestehender Anlagen zur Folge haben. Dies geht oft mit einer Veränderung der Angebotssituation an Autobahnnebenbetrieben (bewirtschaftete und unbewirtschaftete) einher.

4. Feststellen der Beteiligten und deren Anforderungen

PWC-Anlagen sind Bestandteile der Bundesfernstraßen. Diese werden in der Regel durch das Bundesautobahnamt bzw. durch die zuständigen Landesämter (Autobahnämter) verwaltet. Es gelten das Bundesfernstraßengesetz und die Landesstraßengesetze. Die Planung und Bau-durchführung von Bundesfernstraßen und somit auch ihren Nebenbetrieben wird in den meis-ten Fällen von externen Planungsbüros bzw. von Projektmanagementgesellschaften wie der DEGES übernommen. Anforderungen an die Planung von Rastanlagen sind aus den aktuellen Richtlinien für Rastanlagen an Straßen zu entnehmen [RR1, 1981; VHRR; 1999].

Für die Planung der technischen Infrastruktur sind weiterhin die entsprechenden Aufgabenträger zu beteiligen. Für die Abwasserentsorgung sind das in erster Linie die zuständige Kommune bzw. der Abwasserverband und als Genehmigungs- und Überwachungsorgan die untere Wasserbehörde. Diese stellen die rechtlichen Anforderungen an die Abwasserentsorgung.

Nach dem Bau ist die Autobahnmeisterei für den Betrieb (Wartung und Instandhaltung) von Rastanlagen und Parkplätzen zuständig. Für die Erledigung einzelner Aufgaben (Reinigungsarbeiten, Abfallentsorgung, etc.) können sich die Autobahnmeistereien Fremdfirmen bedienen. Dennoch stellt der Betrieb der Wasserver- und Abwasserentsorgungssysteme hohe Anforderungen an das Personal der Autobahnmeistereien, wobei diese jedoch nicht über qualifiziertes Fachpersonal in diesem Bereich verfügen. Deshalb gelten folgende Zielvorgaben des Betreibers:

- Möglichst geringer Betriebsaufwand.
- Möglichst große Betriebssicherheit.
- Evt. muss das Abwasserentsorgungssystem flexibel erweiterbar sein.

5. Wahl des Abwasserentsorgungssystems

5.1. Allgemeines

Als Abwasserentsorgungssysteme sind die nachstehenden drei Grundvarianten nach ihren Prioritäten möglich:

1. Überleitung der Abwässer in eine zentrale Kläranlage,
2. dezentrale Sammlung der Abwässer in einer abflusslosen Grube mit Abtransport und Behandlung in einer zentralen Kläranlage,
3. dezentrale Teilbehandlung in Verbindung mit der Separation, Speicherung und Abfuhr von Teilströmen.

Als Entwässerungsverfahren kommt nur ein Trennverfahren in Betracht, wobei das Schmutzwasser aus dem WC-Gebäude und das Niederschlagswasser von Dach-, Erholungs- und Verkehrsflächen getrennt erfasst, abgeleitet und behandelt werden. Grundsätzliches zur Entwässerung ist in den Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Entwässerung (RAS-Ew) [FGSV, 2005] und den Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten (RiStWag) [FGSV, 2002] nachzulesen.

Es wird empfohlen, das Schmutzwasser in eine zentrale Kläranlage überzuleiten und dort zu behandeln. Der Standort von neuen PWC-Anlagen sollte möglichst so gewählt werden, dass ein Anschluss an öffentliche Ver- und Entsorgungsnetze realisierbar ist. Aufgrund der Beschaffenheit des Abwassers von PWC-Anlagen ist darauf zu achten, dass die Kläranlagen zur Mitbehandlung der Abwässer geeignet sind. Dies ist in der Regel dann der Fall, wenn der Frachtanteil aus den PWC-Abwässern im Verhältnis zur Gesamtfracht gering ist. Für die Mitbehandlung ist die Leistungsfähigkeit insbesondere hinsichtlich der Stickstoffoxidation nachzuweisen. Dies betrifft ein ausreichendes Belebungsbeckenvolumen sowie BelüftungsKapazitätsreserven, um ein erforderliches Schlammalter und eine ausreichende Sauerstoffversorgung zu garantieren.

Bei dem leitungsfreien Transport wird das Abwasser dezentral in einer abflusslosen Grube gesammelt und zwischengespeichert, bevor es vom Entsorger per Lkw in eine zentrale Kläranlage abtransportiert wird. Es ist zu beachten, dass die Technik zur Ableitung der Abwässer bzw. -teilströme auf die Sanitärtechnik zum Erfassen und die nachfolgenden Entsorgungsprozesse quantitativ und qualitativ abgestimmt werden muss. Jeder separat abzuführende Teilstrom benötigt ein eigenes Transportsystem. Welche Transportsysteme geeignet sind, hängt maßgeblich vom Abfluss und der Konsistenz der abzuleitenden Teilströme ab.

Ist eine Abwasserableitung aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll, bleibt die Möglichkeit einer dezentralen Teilbehandlung, welche an eine Erlaubnis zum Einleiten von Abwasser nach dem § 7 WHG geknüpft ist. Wird diese nicht erteilt, so ist eine der beiden erstgenannten Grundvarianten nach Wirtschaftlichkeit auszuwählen.

Bei Sanitärabwässern aus PWC-Anlagen handelt es sich um Abwässer, die hinsichtlich ihrer Charakteristik nicht mit häuslichem Schmutzwasser gleich gesetzt werden dürfen. Aufgrund

der im Verhältnis zum BSB bzw. CSB gegenüber häuslichem Abwasser deutlich erhöhten Stickstoffanteile wird eine biologische Behandlung in klassischen Klärverfahren erschwert. Deshalb wird empfohlen, erforderlichenfalls auf modifizierte Systeme zurückzugreifen. Dabei werden Stoffströme und somit Schmutzfrachten soweit separiert, dass der Restabwasserstrom mit einem konventionellen biologischen Verfahren behandelt werden kann.

Die Entscheidung, ob und in welchem Umfang das Abwasser (oder Abwasserteilströme) abgeleitet bzw. vor Ort gespeichert oder behandelt werden kann, sollte im Einzelfall unter sorgfältiger Abwägung von Effizienzkriterien fallen.

Im Sanierungsfall sollte eine Bestandsaufnahme vorhandener Abwassersysteme erfolgen, um die Art, Anzahl, Funktion und den baulichen Zustand zu beurteilen. Vorhandene Systeme können unter Umständen in ein neues System integriert werden.

5.2. Belastungsgrundlagen

5.2.1. Auslastung

Anfall und Zusammensetzung von Abwasser aus dem WC-Gebäude von PWC-Anlagen sind abhängig von:

- der Benutzeranzahl,
- der installierten Sanitärtechnik,
- dem Benutzerverhalten,
- dem Betrieb (Häufigkeit / Umfang der Reinigung, eingesetzte Betriebsmittel).

Die Benutzeranzahl ist von verschiedenen Randbedingungen abhängig und zum Teil großen Schwankungen unterworfen. Die Aufenthaltsdauer der Reisenden ist kurz und beschränkt sich zumeist auf die Benutzung der sanitären Einrichtungen. Das aktuelle Verkehrsaufkommen in Verbindung mit dem Besetzungsgrad der Fahrzeuge und dem individuellen Verhalten der Verkehrsteilnehmer spielt eine wichtige Rolle. Das Benutzerverhalten wird durch die geografische Lage der PWC-Anlage, das Vorhandensein von Konkurrenzangeboten, das äußere Erscheinungsbild und die sanitäre Ausstattung des WC-Gebäudes entscheidend beeinflusst. Ein weiteres entscheidendes Kriterium sind temporäre Schwankungen in der Auslastung. Eine Grundlast besteht durch die Benutzer, die mit Pkw anreisen. Die Spitzenlast wird oft durch Reisebusse hervorgerufen.

Bei Neuanlagen ist die bemessungsrelevante, prognostizierte Benutzerzahl vom Auftraggeber zu ermitteln. Es ist jedoch bis zum aktuellen Stand nicht erforscht, ob ein Zusammenhang zwischen dem durchschnittlich täglichen Verkehr (DTV) und der Benutzeranzahl einer PWC-Anlage besteht. Um mit künftigen Planungs- und Entscheidungshilfen arbeiten zu können, deren Grundlagen auf nutzerspezifischen Kennzahlen beruhen, sind belastbare Modelle für eine Prognose zur Auslastung von unbewirtschafteten Rastanlagen zu erstellen. Da diese Modelle aktuell noch fehlen, wird eine pragmatische Bemessung in zwei Kategorien empfohlen. Diese zwei Kategorien beziehen sich auf die maximalen täglichen Benutzer der sanitären Einrichtungen auf PWC-Anlagen und gliedern sich folgendermaßen:

1. Kategorie (mäßige Auslastung): ≤ 500 B/d,
2. Kategorie (hohe Auslastung): > 500 B/d.

Bei Sanierungen von bestehenden Anlagen sind die tatsächlichen Belastungen durch geeignete Messungen (Benutzerzählung in Verbindung mit der Messung des Wasserverbrauchs) festzustellen und Erhöhungen der Auslastung durch ein geändertes Benutzerverhalten (höheren Komfort bei Ausbau und Erweiterung) zu berücksichtigen. Für eine Überleitung, vor allem mit dem Verfahren der Freigefälleentwässerung, ist die tatsächliche Benutzeranzahl für die hydraulische Bemessung weniger bedeutend.

Kann bei einem Neubau die endgültige Auslastung nicht verlässlich abgeschätzt werden, ist eine modulare, mehrstraßige Auslegung der dezentralen Abwasserentsorgung zu empfehlen. Hierbei ist zu ermitteln, ob eine Nachrüstung der zweiten Straße kostengünstiger ist als die Errichtung beim Bau der PWC-Anlage, ohne dass die zweite Straße betrieben wird. In jedem Fall sollten Erweiterungsmöglichkeiten für Abwasseranlagen (Anschlüsse, Flächen, Leistungsbedarf an elektrischer Energie, etc.) vorgesehen werden. Es ist zu beachten, dass die Inbetriebnahme einer biologischen Stufe zur Abwasserreinigung eine gewisse Einarbeitungszeit benötigt, in der sich eine Biozönose entwickeln kann.

5.2.2. Wasserverbrauch / Abwasseranfall

Die nachfolgend genannten Belastungsdaten beruhen auf Untersuchungen der Bauhaus-Universität Weimar aus dem Jahr 2008.

Der Wasserverbrauch und somit auch die Menge an Abwasser pro Benutzer werden in erster Linie bestimmt durch:

- die Art und Anzahl der jeweiligen Sanitärausstattung des WC-Gebäudes und
- der Art und Umfang der Reinigung.

Der Abwasseranfall ist in erster Linie vom Wasserverbrauch der vorgehaltenen Sanitärtechnik abhängig. Dieser ist in den meisten Fällen über eine elektronische Regelung einstellbar. Für eine Bemessung von Abwasseranlagen muss der Wasserverbrauch der installierten Sanitärtechnik bekannt sein, bzw. ermittelt werden. Liegen keine weiteren Angaben zum prognostizierten Wasserverbrauch der Sanitärtechnik vor, kann im Ansatz mit einem Wert von **4 – 8 Liter pro Benutzer** (im Mittel **6 l/B**) gerechnet werden. Der Wasserverbrauch entspricht in etwa dem Abwasseranfall.

Der Einfluss des Benutzerverhaltens zeigt sich in der Verständlichkeit der Bedienhinweise. Benutzerfreundliche Auslösemechanismen führen dazu, dass Mehrfachauslösungen oder Unterlassen der Benutzung vermieden werden können.

5.2.3. Schmutzfrachten

Die Verschmutzung der Abwässer aus WC-Gebäuden an PWC-Anlagen resultiert hauptsächlich aus der Benutzung der sanitären Anlagen und zu einem geringen Teil aus der Reinigung derselben.

Nach den Ergebnissen der Untersuchungen der BUW traten bei jeder Untersuchung starke Schwankungen bezüglich der nutzerspezifischen CSB-Frachten auf. Es wurden Werte von 2,1 bis 9,3 g CSB/B registriert. Dafür kann der hohe Anteil von Toilettenpapier und sonstigen organischen Abfällen im Abwasser verantwortlich gemacht werden. Grundsätzlich muss unterstellt werden, dass die PWC Benutzer deutlich mehr Toilettenpapier als im privaten Bereich verbrauchen. Dass bei den Untersuchungen im Durchschnitt 50 % der CSB-Fracht im Filterrückstand nachgewiesen wurde, unterstreicht die Relevanz dieser Problematik. Von Bedeutung für die Praxis ist diese Feststellung insofern, als mit einer effektiven Fest- und Grobstoffabscheidung eben diese Fracht im Rahmen der Vorbehandlung abgeschieden werden kann. Angesichts der stark streuenden Werte sollte die nutzerspezifische CSB-Fracht auf das 85 %-Percentil bezogen werden. Das 85 %-Percentil aller Proben liegt bei **5,56 g CSB/B**. Dieser Wert kann als Ansatz für eine Bemessung dienen. Als CSB-Fracht im Filtrat konnte ein Wert von 2,61 g CSB / B ermittelt werden. Im Gegensatz zu den CSB-Frachten im Filtrat, traten im Rückstand großer Schwankungen auf. Hier lag der Wert für das 85 %-Percentil aller Proben bei 3,10 g CSB/B.

Der biochemische Sauerstoffbedarf an 5 Tagen (BSB₅) wurde ausschließlich im Filtrat analysiert. Ähnlich wie beim CSB traten auch hier starke Schwankungen bezüglich der nutzerspezifischen BSB₅-Frachten auf. Es wurden Werte von 0,18 bis 2,0 g BSB₅/B im Filtrat registriert. Der Wert für das 85%-Percentil aller Proben lag bei **1,35 g BSB₅/B**. Das Filtrat setzt sich überwiegend aus Urin und Spülwasser zusammen.

Die Werte für die nutzerspezifische TKN-Fracht lagen im Bereich zwischen 1,5 und 2,2 g TKN/B. Der Wert für das 85 %-Perzentil aller Proben lag bei **2,06 g TKN/B**. Dabei ist zu beachten, dass 95 % der TKN-Fracht im Filtrat vorliegt. Es ist keine signifikante Reduktion durch eine Feststoffabtrennung möglich.

Bei den berechneten Phosphorfrachten ergaben sich mit Ausnahmen der ersten beiden Untersuchungen keine großen Spannweiten. Diese waren das Resultat der Anwendung eines Spezialreinigers auf Phosphorsäurebasis. Somit ist das Problem anlagenspezifisch und kann durch den Einsatz eines divergenten Reinigers behoben werden. Die sorgfältige Auswahl eines geeigneten Reinigers bzw. dessen zweckdienliche Dosierung vorausgesetzt, kann die nutzerspezifische Phosphorfracht mit **0,14 g P/B** in Ansatz gebracht werden. Dieser Wert stellt das 85 %-Percentil aller untersuchten Proben dar.

Für die Bemessung von Kläranlagen sind folgende spezifische Schmutzfrachten im Rohabwasser maßgebend:

- **Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB):** **5,6 g / Benutzer**
- **Stickstoff (TKN):** **2,1 g / Benutzer**
- **Phosphor (P_{ges}):** **0,14 g / Benutzer**

Aus den genannten Schmutzfrachten ergibt sich ein CSB : TKN : P_{ges} - Verhältnis von 100 : 37,5 : 2,5. Damit weicht PWC-Abwasser signifikant von häuslichem Schmutzwasser ab.

Charakteristisch für Abwässer an PWC-Anlagen sind die im Verhältnis zur CSB-Fracht höheren Phosphor- und Stickstofffrachten, die mit dem Urin der Benutzer, unabhängig vom Geschlecht, eingebracht werden.

5.2.4. Schlammfall

Außer bei der Ableitung oder ausschließlicher Sammlung und Abfuhr, müssen bei dezentraler Behandlung Grob- und Feststoffe abgetrennt werden.

Als Vorklärstufen kommen mechanische und statische Verfahren zum Einsatz. Mit mechanischen Verfahren kann gegenüber den statischen Verfahren ein besserer Abscheidegrad erzielt werden, jedoch benötigen diese Elektroenergie und bedürfen einer entsprechenden Wartung. Beispiele sind Rechen und Siebe. Weitere Hinweise zu Vorreinigungsanlagen sind in der DIN EN 12255-3 zu finden [DIN, 2001].

Statische Absetzanlagen bewirken in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit eine Trennung der Suspension in feststoffreiche und feststoffarme Phasen nach dem Schwerkraftprinzip. Beispiele sind die Einkammer- und Mehrkammergruben nach DIN 4261-1, welche sich bei Kleinkläranlagen ohne Fremdwasserzufluss bewährt haben [DIN, 2009].

Eine Vorklärung mit integriertem Schlamm Speicher dient zum Ausgleich von hydraulischen und stofflichen Stoßbelastungen und somit zur Sicherstellung einer effektiven Abwasserbehandlung vor Ort. Weitere Hinweise zur Vorklärung sind in der DIN EN 12255-4 zu finden [DIN, 2002].

Der Primär- und ggf. Überschussschlamm muss zwischengespeichert und bei Bedarf abgefahren werden. Entsprechend richten sich die Abfuhrintervalle nach der Auslastung der PWC-Anlage. Abfuhrintervall und Speichergröße müssen aufeinander abgestimmt und wirtschaftlich optimiert werden. Eine Optimierung kann im Zuge einer Ausschreibung der Leistung erfolgen.

Geeignete Volumina für statische Absetzanlagen können in Anlehnung an das DWA-Arbeitsblatt 262 hergeleitet werden. Als Orientierung dienen die letzte Spalte und die letzte Zeile der Tabelle 2 aus dem DWA-A 262. Aus dem Quotienten des häuslichen Abwasseranfalls von $\approx 150 \text{ l}/(\text{E} \cdot \text{d})$ und einem Abwasseranfall von $10 \text{ l}/\text{B}$ auf PWC-Anlagen kann ein Äquivalent von $15 \text{ B}/\text{E}$ ermittelt werden.

Für die Bemessung des Vorklärvolumens für die 1. Kategorie wird von einer Auslastung mit mindestens $300 \text{ B}/\text{d}$ ausgegangen, was nach dem Äquivalent 20 E entspricht. Nach Tabelle 2, DWA-A 262, wird für eine Auslastung von 20 E ein Volumen von 17.000 l benötigt [DWA, 2006a]. Das entspricht $0,85 \text{ m}^3/\text{E}$. Äquivalent ergibt sich daraus ein Mindestvolumen für die 1. Kategorie von

$$V_{\min} = 850 \text{ l}/\text{E} \times 300 \text{ B} / 15 \text{ B}/\text{E} = 17.000 \text{ l} = \underline{17 \text{ m}^3}.$$

Werden mehr als $300 \text{ B}/\text{d}$ erwartet, ergibt sich für jeden zusätzlichen Benutzer ein Zuschlag zu

$$V_{\text{Zu}} = 500 \text{ l} / 15 \text{ B}/\text{E} = \underline{33 \text{ l}/\text{B}}.$$

Für die 2. Kategorie wird eine Auslastung von mindestens 500 B/d veranschlagt. Die Berechnung des Mindestvolumens und des spezifischen Zusatzvolumens erfolgt analog der 1. Kategorie. Die für die Bemessung von Absetzanlagen geeigneten Volumina sind in Tabelle 5-1 dargestellt.

Der Primärschlammanfall in Mehrkammergruben nach Tabelle 5-1 liegt bei PWC Anlagen bei 1,5 g TS/B.

Tabelle 5-1: Geeignete Volumina für statische Absetzanlagen

Vorbehandlung	1. Kategorie	2. Kategorie
Mehrkammergrube nach DIN 4261	mit mindestens 17 m ³ + 33 l/B über 300 B	mit mindestens 24 m ³ + 33 l/B über 500 B

5.3. 1. Grundvariante: Überleitung in eine zentrale Kläranlage

Zur Ableitung von Schmutzwasser sind grundsätzlich die Verfahren der Freigefälleentwässerung, der Druckentwässerung und der Ableitung mittels pneumatischer Pumpwerke geeignet.

Ablagerungen und/oder Verstopfungen, die zum Systemausfall führen können, sind in jedem Fall zu vermeiden. Verstopfungen in Rohrleitungen, die durch reifeste oder grobe Stoffe verursacht werden, sind vorzubeugen. Durch den Einsatz Wasser sparender Sanitärtechnik verringert sich die Fließgeschwindigkeit in der Freigefälleleitung und es kann zu Ablagerungen kommen. Um Kanalablagerungen zu vermeiden, müssen die Kanäle ein ausreichendes Sohlgefälle besitzen, was in Verbindung mit einer hohen Spülwassermenge die Fließgeschwindigkeit im Kanal erhöht. Eine weitere Möglichkeit besteht im regelmäßigen Spülen des Kanals mit Trink- oder Regenwasser. Es wird empfohlen eine relativ hohe Spülwassermenge an den Sanitärelementen einzustellen, um die Fließvorgänge im Kanal positiv zu beeinflussen.

Bei Druckentwässerung hat sich der Einsatz von Schneidradpumpen bewährt. Es ist darauf zu achten, dass das Schneidwerk besonders robust und den Bedürfnissen entsprechend ausgelegt ist. Als weitergehende Maßnahme ist die Vorschaltung einer Grobstoffabscheidung möglich, die allerdings einen zusätzlichen wartungsintensiven Betriebspunkt darstellt. Bei einer Druckentwässerung kann auf eine hohe Spülwassermenge verzichtet werden. Die Fließvorgänge in einer Druckleitung können durch eine Druckluftspülstation unterstützt werden. Weiterhin ist darauf zu achten, dass das Abwasser nicht länger als notwendig in den Leitungen steht und anfaut, um Geruchsbelästigung zu vermeiden. Aufgrund des stark schwankenden Abwasseranfalls kann der Einsatz eines pneumatischen Pumpwerkes vorteilhaft sein. Ein Nachteil ist der hohe Energieverbrauch. Bei der Druckentwässerung und der Ableitung mittels pneumatischer Pumpwerke muss durch konstruktive Gestaltung oder durch betriebliche Organisation sichergestellt werden, dass ein kurzfristiger Ausfall der Anlage nicht zu Beeinträchtigungen des Betriebs der PWC-Anlage führt.

Weitere Hinweise zu Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden liefert die DIN EN 752, zur hydraulischen Dimensionierung von Abwasserleitungen und -kanälen das DWA-

Arbeitsblatt 110. Das Entwässerungssystem der Druckentwässerung wird im DWA-Arbeitsblatt 116 Teil 2 behandelt.

5.4. 2. Grundvariante: Dezentrale Sammlung in einer abflusslosen Grube

Bei diesem System wird das im WC-Gebäude anfallende Schmutzwasser dezentral in einer abflusslosen Grube gesammelt, bei Bedarf abtransportiert und in einer zentralen Kläranlage behandelt. Die Grube, bzw. der Behälter, muss dicht sein, damit keine Schmutzstoffe in den Boden bzw. das Grundwasser gelangen können und das Eindringen von Grund- und Regenwasser verhindert wird. Für den Einsatz einer abflusslosen Grube innerhalb einer Wasserschutzzone ist eine wasserrechtliche Genehmigung erforderlich. Die Überwachung von abflusslosen Gruben erfolgt im Rahmen der Schlammentsorgung.

Die Grube muss ein ausreichendes Volumen besitzen. Um den Abwasseranfall und somit das Bemessungsvolumen zu minimieren, wird empfohlen Wasser sparende bzw. wasserlose Sanitärsysteme einzusetzen. Für die Bemessung ist die mögliche Transportkapazität der Abfuhrfahrzeuge zu berücksichtigen. Abfuhrintervall und Speichergöße müssen aufeinander abgestimmt und wirtschaftlich optimiert werden. Eine Optimierung kann im Zuge einer Ausschreibung der Leistung erfolgen. Es wird empfohlen, ein Abfuhrintervall von 14 Tagen nicht zu unterschreiten. Die Abfuhrintervalle richten sich nach der Auslastung der PWC-Anlage, deshalb ist das System der abflusslosen Grube besonders für gering bis mäßig belastete PWC-Anlagen der 1. Kategorie geeignet.

Für das nachfolgende Bemessungsbeispiel wird für eine mäßig belastete PWC-Anlage (1. Kategorie) die Annahme getroffen, dass pro Benutzer 4 Liter Abwasser anfallen.

Abwasseranfall pro Tag:

$$Q_d = 500 \text{ B/d} \times 4 \text{ l/B} = 2.000 \text{ l/d}$$

Das Abfuhrintervall wird in diesem Beispiel auf 14 Tage festgelegt, d.h. es ergibt sich ein Volumen für die abflusslose Grube von:

$$V = 2 \text{ m}^3/\text{d} \times 14 \text{ d} = \underline{28,0 \text{ m}^3}$$

Bei der Auslegung ist eine Sicherheitsreserve zu berücksichtigen.

5.5. 3. Grundvariante: Dezentrale Teilbehandlung

Eine dezentrale Teilbehandlung ist an eine Erlaubnis zum Einleiten von Abwasser in ein Gewässer oder das Grundwasser nach dem § 7 WHG geknüpft, und wird als dritte Alternative gesehen. Eine dezentrale Teilbehandlung sollte nur dann erfolgen, wenn eine Überleitung aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll ist.

Aufgrund des unverhältnismäßig hohen Betriebsaufwandes scheiden hochtechnisierte Abwasserbehandlungsanlagen in der Regel aus. Deshalb wird empfohlen auf einfache Systeme zurückzugreifen. Die Abwasserbeschaffenheit wird durch Teilstromabtrennung so modifiziert, dass das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff im biologisch zu behandelnden Abwasser der PWC-Anlage ein Verhältnis bekommt, das eine einfache Behandlung ermöglicht.

Infolge der bei der aeroben biologischen Behandlung in einfachen Systemen nicht zu vermeidenden Nitrifikation des Stickstoffs kommt es zur Abnahme der Säurekapazität. Die Säurekapazitätsabnahme ist proportional zur nitrifizierten Stickstofffracht. Sinkt der pH-Wert infolge des Säurekapazitätsverbrauches ab, kann es zu einer Beeinträchtigung des biologischen Abbaus kommen. Als Abhilfemaßnahmen bieten sich eine Verminderung des zu nitrifizierenden Stickstoffs, eine vermehrte Denitrifikation zur Rückgewinnung von zuvor verbrauchter Säurekapazität oder einer Alkaliendosierung an. Um die Stickstofffracht zu reduzieren, wird empfohlen den Urin / das Gelbwasser separat zu erfassen, vor Ort zu speichern und abzufahren. Um den für eine Denitrifikation verfügbaren BSB zu erhöhen, sollte die Vorklärung so betrieben werden, dass eine Schlammhydrolyse erfolgt.

Unter Beachtung der örtlichen Wasserqualität (Härte) muss bei einer Bemessung der Säurekapazitätsverbrauch bei unterschiedlichen Frachtminderungsansätzen berechnet werden. Eine Beispielberechnung findet sich im folgenden Abschnitt.

Ist das C / N-Verhältnis im Restabwasserstrom durch Abtrennen einzelner Stoffströme oder Alkaliendosierung soweit zu verschieben, dass eine pH-Wert Absenkung nicht eintritt, können verschiedene dem Stand der Technik entsprechende biologische Verfahren eingesetzt werden. Für die Wahl eines geeigneten Abwasserbehandlungsverfahrens ist die Problematik des hydraulisch und stofflich schwankenden Abwasseranfalls von Bedeutung.

Biofilmverfahren sind weniger empfindlich gegen hydraulische Stoßbelastungen und lang anhaltende Perioden der Unterlast als Belebtschlammverfahren, allerdings reagieren Biofilmanlagen träger auf sich ändernde Bedingungen.

Aus betrieblichen Gründen sollten wartungsarmen Verfahren, wie Bodenfiltern, der Vorzug gegeben werden. Die Bemessung von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern kann nach dem Arbeitsblatt DWA-A 262 [DWA, 2006a] erfolgen, wenn durch geeignete Teilstromseparation sichergestellt ist, dass infolge der Nitrifikation keine pH-Wert Absenkung eintritt.

Die maschinellen Einrichtungen im gesamten System sollten möglichst übersichtlich, wartungsfreundlich und robust sein. Auf eine hochtechnische Automatisierung, die vom Betreiber nicht kontrolliert und gewartet werden kann, ist zu verzichten. Im Sanierungsfall sollte eine Bestandsaufnahme vorhandener Abwassersysteme erfolgen, um die Art, Anzahl, Funktion und den baulicher Zustand zu beurteilen. Vorhandene Systeme können unter Umständen in ein neues System integriert werden.

Für eine Abtrennung von Urin bzw. Gelbwasser ist die Installation einer separaten (vom restlichen Abwasserstrom entkoppelten) Leitung (Schwerkraftleitung DN 50) im WC-Gebäude bis zu einem Speichertank erforderlich. Urin- bzw. Gelbwasserleitungen sollten mit einem kontinuierlichen Gefälle > 1 % verlegt werden. Stellen, an denen Gelbwasser in der Leitung steht, sind zu vermeiden, da sich an diesen Stellen verstärkt Ablagerungen bilden können, die zu Verstopfungen führen. [DWA, 2008; DIN 2000]

5.5.1. Theoretische Berechnungen zum Säurekapazitätsverbrauch bei unterschiedlichen Frachtminderungsansätzen

Im Folgenden wird der Säurekapazitätsverbrauch unter Berücksichtigung der Wasserhärte bei verschiedenen Frachtminderungsansätzen berechnet. In Anlehnung an die nach §7 Abs. 1 Satz 1 Nr. 5 WRMG gesetzlich vorgegebenen Härtebereiche, werden folgende Härten festgelegt:

- „hartes Wasser“ → 3,8 mmol/l
- „weiches Wasser“ → 1,5 mmol/l [WRMG, 1987]

Für die Frachtminderungsansätze gelten Annahmen zu einer Feststoffhydrolyse in der Vorklä- rung (eine 50 %ige Hydrolyse der Frachten aus den Fäzes und Toilettenpapier) und einer Uri- nabtrennung aus den Urinalen im Herrenbereich. Die nutzerspezifische Wassermenge beträgt 6 l/B.

1. Ansatz

Es erfolgt keine Stoffstromseparation. Für die Frachten im Zulauf zur biologischen Stufe wer- den folgende Annahmen getroffen:

$$B_{BSB_5} = 1,78 \text{ g/B}$$

$$B_N = 1,95 \text{ g/B}$$

Es erfolgt im ersten Schritt keine Denitrifikation. Ein Teil der Stickstofffracht wird durch In- korporation in die Biomasse eliminiert [0,05 g TKN / g BSB₅]

Die zu nitrifizierende Stickstofffracht ergibt sich zu:

$$B_{N,nitri} = 1,95 \text{ g TKN / B} - (0,05 \text{ g TKN / g BSB}_5 \times 1,78 \text{ g BSB}_5 / \text{B}) = 1,86 \text{ g/B}$$

Die Veränderung der Säurekapazität ergibt sich aus der vollständigen Ammonifikation und anschließenden Nitrifikation der Stickstofffracht zu:

$$\Delta SK_{nitri} = 1/14 \times 1,86 \text{ g/B} - 2/14 \times 1,86 \text{ g/B} = -0,13 \text{ mol/B} = -132,9 \text{ mmol/B}$$

gehen verloren.

Die Ausgangssäurekapazität pro Benutzer für „**Hartes Wasser**“ ergibt sich zu:

$$SK_{ausg} = 6,0 \text{ l/B} \times 3,8 \text{ mmol/l} = 22,8 \text{ mmol/B}$$

Die verbleibende Säurekapazität in der biologischen Stufe beträgt:

$$SK_{bio} = -132,9 \text{ mmol/B} + 22,8 \text{ mmol/B} = \underline{\underline{-110,1 \text{ mmol/B}}}$$

Das Defizit an Säurekapazität kann durch eine gezielte Denitrifikation im zweiten Schritt ver- ringert werden.

Bei der Denitrifikation werden 2,86 g O₂ / g NO₃-N_{elim.} freigesetzt.

$$\rightarrow 1 \text{ g } N_{deni} = 2,86 \text{ g BSB}_5$$

Daraus ergibt sich eine mögliche zu denitrifizierende Stickstofffracht von:

$$B_{N,deni} = 1,78 \text{ g BSB}_5 / \text{B} / 2,86 \text{ g BSB}_5 / \text{g } N_{deni} = 0,62 \text{ g } N_{deni} / \text{B}$$

Die Veränderung der Säurekapazität aufgrund der Denitrifikation ergibt sich zu:

$$\Delta SK_{deni} = 1/14 \times 0,62 \text{ g/B} = 0,044 \text{ mol/B} = 44,5 \text{ mmol/B}$$

Die verbleibende Säurekapazität in der biologischen Stufe beträgt:

$$SK_{bio} = -110,1 \text{ mmol/B} + 44,5 \text{ mmol/B} = \underline{\underline{-65,6 \text{ mmol/B}}}$$

Bei einem nutzerspezifischen Wasserverbrauch von 6,0 l/B beträgt die Säurekapazität im Ablauf der biologischen Stufe:

$$SK_{Ab} = -65,6 \text{ mmol/B} / 6,0 \text{ l/B} = \underline{\underline{-10,94 \text{ mmol/l}}}$$

Ein weiterer Ausgleich des Defizits an Säurekapazität kann theoretisch durch Zugabe von Kalkverbindungen in den Abwasserstrom erfolgen. Dies wird bei großen Kläranlagen allerdings mit erheblichem Betriebsaufwand durchgeführt. Für Kläranlagen an PWC-Anlagen ist eine Kalkzugabe nicht geeignet.

2. Ansatz

Es erfolgt eine Urinabtrennung aus den Urinalen im Herrenbereich. Für die Frachten im Zufluss zur biologischen Stufe werden folgende Annahmen getroffen:

$$B_{BSB_5} = 0,93 \text{ g/B}$$

$$B_N = 0,67 \text{ g/B}$$

Es erfolgt im ersten Schritt keine Denitrifikation. Ein Teil der Stickstofffracht wird durch Inkorporation in die Biomasse eliminiert [0,05 g TKN / g BSB₅]

Die zu nitrifizierende Stickstofffracht ergibt sich zu:

$$B_{N,nitri} = 0,67 \text{ g TKN / B} - (0,05 \text{ g TKN / g BSB}_5 \times 0,93 \text{ g BSB}_5 / \text{B}) = 0,62 \text{ g/B}$$

Die Veränderung der Säurekapazität ergibt sich aus der vollständigen Ammonifikation und anschließenden Nitrifikation der Stickstofffracht zu:

$$\Delta SK_{nitri} = 1/14 \times 0,62 \text{ g/B} - 2/14 \times 0,62 \text{ g/B} = -0,044 \text{ mol/B} = -44,3 \text{ mmol/B}$$

gehen verloren.

Die Ausgangssäurekapazität pro Benutzer für „**Hartes Wasser**“ ergibt sich zu:

$$SK_{ausg} = 6,0 \text{ l/B} \times 3,8 \text{ mmol/l} = 22,8 \text{ mmol/B}$$

Die verbleibende Säurekapazität in der biologischen Stufe beträgt:

$$SK_{bio} = -44,3 \text{ mmol/B} + 22,8 \text{ mmol/B} = \underline{\underline{-21,5 \text{ mmol/B}}}$$

Das Defizit an Säurekapazität kann durch eine gezielte Denitrifikation im zweiten Schritt verringert werden.

Bei der Denitrifikation werden 2,86 g O₂ / g NO₃-N elim. freigesetzt.

$$\rightarrow 1 \text{ g } N_{deni} = 2,86 \text{ g BSB}_5$$

Daraus ergibt sich eine mögliche zu denitrifizierende Stickstofffracht von:

$$B_{N,deni} = 0,93 \text{ g BSB}_5 / \text{B} / 2,86 \text{ g BSB}_5 / \text{g } N_{deni} = 0,33 \text{ g } N_{deni} / \text{B}$$

Die Veränderung der Säurekapazität aufgrund der Denitrifikation ergibt sich zu:

$$\Delta SK_{deni} = 1/14 \times 0,33 \text{ g/B} = 0,023 \text{ mol/B} = 23,2 \text{ mmol/B}$$

Die verbleibende Säurekapazität in der biologischen Stufe beträgt:

$$SK_{bio} = -21,5 \text{ mmol/B} + 23,2 \text{ mmol/B} = \underline{\underline{1,73 \text{ mmol/B}}}$$

Bei einem nutzerspezifischen Wasserverbrauch von 6,0 l/B beträgt die Säurekapazität im Ablauf der biologischen Stufe:

$$SK_{Ab} = 1,73 \text{ mmol/B} / 6,0 \text{ l/B} = \underline{\underline{0,29 \text{ mmol/l}}}$$

Mit diesem positiven Ergebnis ist die Säurekapazität ausgeglichen. Jedoch wird der Mindestwert von 1,5 mmol/l als Sicherheitsreserve im Ablauf unterschritten. Im ersten Schritt wird empfohlen vom Wassersparen abzusehen, um mit der Wasserhärte des Trinkwassers die Ausgangssäurekapazität zu erhöhen. Ein weiterer Ausgleich des Defizits an Säurekapazität kann theoretisch durch Zugabe von Kalkverbindungen in den Abwasserstrom erfolgen. Dies wird bei großen Kläranlagen allerdings mit erheblichem Betriebsaufwand durchgeführt. Für Kläranlagen an PWC-Anlagen ist eine Kalkzugabe nicht geeignet. Um die Sicherheit zu erhöhen sollte bei Bodenfilteranlagen karbonathaltiges Filtermaterial eingebaut werden.

Die folgende Abbildung veranschaulicht die Problematik des Säurekapazitätsverbrauches unter den dargestellten Frachtminderungsansätzen.

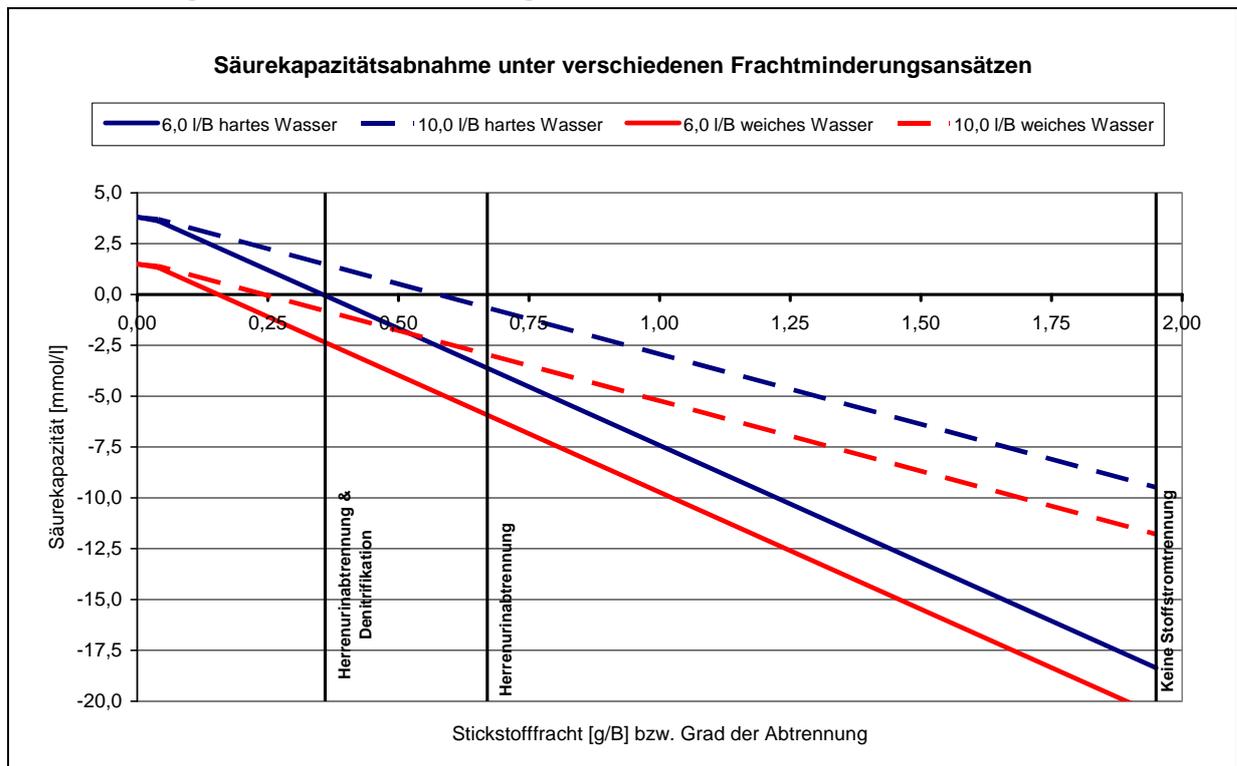


Abbildung 5-1: Darstellung der Säurekapazitätsabnahme bei der biologischen Abwasserreinigung an PWC-Anlagen

5.5.2. Dimensionierung und Bau von Speichern

Für die Dimensionierung von Sammel tanks gilt Ähnliches wie für abflusslose Gruben und Schlamm Speicher. Um das Bemessungsvolumen zu minimieren, wird empfohlen wasserlose

Urinale einzusetzen. Für die Bemessung ist die mögliche Transportkapazität der Abfuhrfahrzeuge zu berücksichtigen. Ein Abfuhrintervall von 2mal pro Jahr sollte aus betrieblichen Gründen nicht unterschritten werden. Abfuhrintervall und Speichergröße müssen aufeinander abgestimmt und wirtschaftlich optimiert werden. Eine Optimierung kann im Zuge einer Ausschreibung der Leistung erfolgen. Die Abfuhrintervalle richten sich nach der Auslastung der PWC-Anlage.

Für die nachfolgenden Bemessungsbeispiele wird davon ausgegangen, dass der Urin / das Gelbwasser aus den Männerurinalen separat erfasst und gespeichert werden soll. Weitere Annahmen sind:

- 1. Kategorie mit 500 Benutzer pro Tag
- 2. Kategorie mit 1.000 Benutzern pro Tag
- 2/3 aller Benutzer sind männlich
- 95 % der männlichen Benutzer urinieren ausschließlich
- Dabei hinterlässt jeder Benutzer 200 ml Urin.
- Die Spülwassermenge für ein Urinal beträgt 1,0 Liter pro Spülung.

Beispiel 1: Gelbwasserspeicher für eine PWC-Anlage der 1. Kategorie:

Gelbwasser pro Benutzer:

$$Q_{\text{Gelbw}} = 0,2 \text{ l/B} + 1,0 \text{ l/B} = 1,2 \text{ l/B}$$

Gelbwasseranfall pro Tag:

$$Q_{\text{Gelbw,d}} = 500 \text{ B/d} \times 2/3 \times 95 \% \times 1,2 \text{ l/B} = 380 \text{ l/d}$$

Das Abfuhrintervall wird in diesem Beispiel auf 180 Tage festgelegt, d.h. es ergibt sich ein Volumen für den Gelbwasserspeicher von

$$V = 0,38 \text{ m}^3/\text{d} \times 180 \text{ d} = \underline{68,4 \text{ m}^3}$$

Bei der Auslegung ist eine Sicherheitsreserve zu berücksichtigen.

Beispiel 2: Gelbwasserspeicher für eine PWC-Anlage der 2. Kategorie:

Gelbwasser pro Benutzer:

$$Q_{\text{Gelbw}} = 0,2 \text{ l/B} + 1,0 \text{ l/B} = 1,2 \text{ l/B}$$

Gelbwasseranfall pro Tag:

$$Q_{\text{Gelbw,d}} = 1.000 \text{ B/d} \times 2/3 \times 95 \% \times 1,2 \text{ l/B} = 760 \text{ l/d}$$

Das Abfuhrintervall wird in diesem Beispiel auf 180 Tage festgelegt, d.h. es ergibt sich ein Volumen für den Gelbwasserspeicher von

$$V = 0,76 \text{ m}^3/\text{d} \times 180 \text{ d} = \underline{136,8 \text{ m}^3}$$

Bei der Auslegung ist eine Sicherheitsreserve zu berücksichtigen.

Beispiel 3: Urinspeicher für eine PWC-Anlage der 1. Kategorie:

Urinanfall pro Tag:

$$Q_{Urin,d} = 500 \text{ B/d} \times 2/3 \times 95 \% \times 0,2 \text{ l/B} = 63,3 \text{ l/d}$$

Das Abfuhrintervall wird in diesem Beispiel auf 180 Tage festgelegt, d.h. es ergibt sich ein Volumen für den Urinspeicher von

$$V = 0,0633 \text{ m}^3/\text{d} \times 180 \text{ d} = \underline{11,4 \text{ m}^3}$$

Bei der Auslegung ist eine Sicherheitsreserve zu berücksichtigen.

Beispiel 4: Urinspeicher für eine PWC-Anlage der 2. Kategorie:

Urinanfall pro Tag:

$$Q_{Urin,d} = 1.000 \text{ B/d} \times 2/3 \times 95 \% \times 0,2 \text{ l/B} = 126,7 \text{ l/d}$$

Das Abfuhrintervall wird in diesem Beispiel auf 180 Tage festgelegt, d.h. es ergibt sich ein Volumen für den Urinspeicher von

$$V = 0,1267 \text{ m}^3/\text{d} \times 180 \text{ d} = \underline{22,8 \text{ m}^3}$$

Bei der Auslegung ist eine Sicherheitsreserve zu berücksichtigen.

Für Sammel tanks außerhalb von Gebäude ist zu beachten, dass der Gefrierpunkt von Urin nur geringfügig unterhalb von 0°C liegt. Deshalb wird der Einbau von GFK-Tanks empfohlen [DWA, 2008].

6. Hinweise zum Betrieb von Abwasserentsorgungssystemen

6.1. Zentrale Abwasserentsorgung

Bei der Abwasserableitung werden die Wartung und der Betrieb der Rohrleitung sowie der technischen Einrichtungen für die Druck- und Freigefälledruckentwässerung in der Regel vom Abwasserentsorger übernommen. Pumpen bedürfen einer entsprechenden Wartung. Ein Wartungs- und Störungsdienst sollte eingerichtet werden. Die Wartung der Förderaggregate und Druckluftstationen sollte einmal jährlich erfolgen. Es ist erforderlich ein Betriebstagebuch zu führen und einen Betriebsstundenzähler zur Überwachung der Pumpenlaufzeit anzubringen.

6.2. Dezentrale Abwasserentsorgung mit Urinseparation

Wie bei der Abwasserableitung sollte auch der Betrieb eines dezentralen Abwasserentsorgungssystems von Fachpersonal übernommen werden. Zu einem ordnungsgemäßen Betrieb gehören:

- die regelmäßige fachkundige Wartung, mit Zustands- und Funktionskontrollen, wobei ein Betriebstagebuch zu führen ist,
- die Instandhaltung der Anlage, verbunden mit dem Austausch von Verschleißteilen, und
- die bedarfsgerechte Schlamm-, Gelbwasser- und Urinabfuhr und -entsorgung.

Einzelne Abwasserentsorgungssysteme bzw. Behandlungsverfahren erfordern spezielle Arbeiten und Kontrollen, um einen ordnungsgemäßen Betrieb zu gewährleisten. Diese sind in umfassenden Betriebsanweisungen vom Planer bzw. Hersteller der Abwasseranlagen zu erstellen und vom Betreiber zu beachten. Um abwassertechnische Systeme ordnungsgemäß zu betreiben, wird empfohlen, die betrieblichen Belange in die Verantwortung der Aufgabenträger der Abwasserentsorgung (Gemeinde / Zweckverband) zu geben.

Generell ist eine regelmäßige Reinigung der sanitären Einrichtungen im WC-Gebäude notwendig. Wasserlose Urinale verlangen in Abhängigkeit vom Modell, bzw. von der Art und Konstruktion ihrer Geruchsverschlüsse, eine intensivere Wartung. Die zur Reinigung eingesetzten Betriebsmittel (Reinigungsmittel) sind auf die Abwasserbehandlung abzustimmen. Am Boden von Urin- oder Gelbwassersammeltanks bildet sich meist eine Schlammschicht. Der Schlamm ist sehr leicht in Suspension zu bringen und kann somit gut abgepumpt werden.

An der Stelle der Entlüftung des Sammel tanks ist mit Geruchsentwicklung durch Ammoniak zu rechnen. Eine Geruchsbelästigung der Nutzer sollte durch eine entsprechende Planung vermieden werden. Geruchsfreisetzung ausgehend von den Urinalen ist in der Regel auf defekte Geruchsverschlüsse zurückzuführen. Bei der Entleerung der abflusslosen Gruben sowie Sammelbehälter ist ebenfalls mit der Freisetzung von Ammoniak und weiteren schädlichen Gasen zu rechnen, wobei der Aspekt der Arbeitssicherheit zu berücksichtigen ist. [DWA, 2008]

7. Kosten

Die unterschiedlichen Möglichkeiten der Abwasserentsorgung sind grundsätzlich einer Variantenuntersuchung zu unterziehen. Die Kosten sind dabei von grundlegender Bedeutung. Die Kosten zählen neben der Funktionsfähigkeit, der Betriebssicherheit und der Einhaltung der wasserrechtlichen Anforderungen zu den wesentlichen Kriterien zur Auswahl einer abwassertechnischen Anlage.

Für den Kostenvergleich hat sich das Vorgehen nach der Leitlinie zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen (KVR) der Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) bewährt [LAWA, 2005]. Hierbei ist darauf zu achten, dass alle Kostenangaben zu notwendigen Einrichtungen und Ausstattungen des Abwasserentsorgungssystems unter Angabe der Nutzungsdauer berücksichtigt werden. Die Anwendung dieser Methode setzt eine Nutzengleichheit der Varianten voraus.

Bei einer stufenweisen Realisierung bzw. Erweiterung müssen das Gesamtkonzept und somit auch die Gesamtkosten bereits zu Beginn der ersten Maßnahme in hinreichend detaillierter Form vorliegen.

Die Investitionskosten bei der Abwasserableitung setzen sich aus den Baukosten für den Kanal, die Schächte oder Reinigungsöffnungen und die technische Einrichtungen, wie Pumpen oder Druckluftspülstationen, zusammen. Druckleitungen können bei für PWC-Anlagen notwendigen Durchmessern grabenlos verlegt werden, was zur Reduzierung der Investitionskosten gegenüber der Freigefälleentwässerung führen kann. Demgegenüber stehen die bei der Freigefälleentwässerung geringeren Betriebskosten, da keine wartungsintensiven technischen Einrichtungen sowie Energie für die Abwasserförderung benötigt werden. Es entstehen Kosten für den Reinigungsaufwand durch Spülen und die optische Inspektion mit Dokumentation.

Für die Variante der dezentralen Sammlung der Abwässer in einer abflusslosen Grube mit Abtransport und Behandlung in einer zentralen Kläranlage sind die Baukosten für die Grube sowie die Betriebskosten infolge des Abtransportes zu ermitteln.

Die Kosten für die Behandlung des abgeleiteten Abwassers bzw. Fäkalschlammes in der Kläranlage muss ebenfalls bei einem Kostenvergleich berücksichtigt werden. Entsprechende Angaben hierzu sind in den Satzungen der zuständigen Abwasserentsorger zu finden. Für Abwässer von PWC-Anlagen können Starkverschmutzerzuschläge erhoben werden.

Bei der dezentralen Teilbehandlung sind die Investitionskosten der Anlagenteile aber vor allem die Betriebskosten von dem gewählten Reinigungsverfahren abhängig. Die Investitionskosten für den Urin- bzw. Gelbwasserspeicher als Anlagenteil sind hier ebenfalls zu berücksichtigen. Als Betriebskosten bei dezentralen Abwasserentsorgungssystemen sind Wartungskosten, Energiekosten, Kosten für die Schlamm-, Gelbwasser- oder Urinentsorgung und Ersatzstoffe wie Verschleißteile und Schmiermittel anzusetzen. Wartungskosten hängen im Wesentlichen vom Anlagenverfahren und von der Anlagengröße ab. Es ist zu beachten, dass regionale Unterschiede bei den Preisen für den Strom und die Reststoffentsorgung auftreten.

Bezüglich des betrieblichen Aufwandes überwiegen klar die Vorteile für die Variante der Überleitung. Jedoch ist die Entfernung der PWC-Anlage zur zentralen Kläranlage (bzw. zum nächsten öffentlichen Kanal) im Hinblick auf die Kosten das ausschlaggebende Kriterium. Dies trifft besonders auf die Varianten Überleitung und abflusslose Grube zu.

Für eine Entscheidungsfindung müssen die drei möglichen Grundvarianten zur Abwasserentsorgung an PWC-Anlagen nach ihren Kosten in Bezug auf die Entfernung zur nächsten zentralen Kläranlage verglichen werden.

Damit der Planer seine individuellen Lösungen einem Variantenvergleich nach KVR unterziehen kann, ist diesem Leitfaden eine Tabellenkalkulation auf Basis der KVR nach LAWA (2005) beigelegt. Für die folgende Beispielberechnungen wurden Investitions- und Betriebskosten als Pauschalwerte nach einer Auswertung verschiedener Literaturangaben [Heise, 2009/Müller, Straub, Heine, 2006/Lohse, 2000/ Reicherter, 2003] und eigenen Erfahrungen zusammengestellt. Sie stellen nur eine Größenordnung dar. Die daraus ermittelten Projektkostenbarwerte bilden eine Grundlage für die Bewertung, wann eine Überleitung, das Sammeln in einer abflusslosen Grube oder eine dezentrale Teilbehandlung nach Urin- bzw. Gelbwasserseparation wirtschaftlich sinnvoll ist. Die Eingabemaske ist in Abbildung 7-1 dargestellt.

Die Angaben in den farbig hinterlegten Feldern sind vom Planer zu ermitteln und in die Eingabemaske einzugeben. Im zweiten Teil der Eingabemaske finden sich Variablen zu Sensitivität. Diese können ebenfalls vom Anwender beeinflusst werden. Für das praktische Vorgehen wird empfohlen, eine Vergleichsrechnung durchzuführen, die sowohl bei den Betriebskosten als auch bei den Kosten für Reinvestitionen keine Preissteigerungen vorsieht. Bei Sensitivitätsanalysen können dann die Auswirkungen verschiedener Steigerungsraten untersucht werden. Die Berechnung im Hintergrund erfolgt auf der Basis von Festwerten, die im dritten Teil der Eingabemaske aufgelistet sind. Sie basieren auf Ergebnissen der Untersuchungen und eigenen Annahmen. Die Angaben zu Nutzungsdauern beziehen sich auf durchschnittliche Nutzungsdauern abwassertechnischer Anlagen nach LAWA, (2005). Für die dezentrale Behandlung ist eine Pflanzenkläranlage mit einer Nutzungsdauer von 12,5 Jahren vorgesehen. Die Dimensionierung der Pflanzenkläranlage erfolgt mit Hilfe der Eingabedaten im Hintergrund nach den Vorgaben des DWA-A 262 (2006).

DATENEINGABE

Allgemeine Angaben	Eingabe	Standard
Benutzer pro Tag Spitze	1000 B/d	
Benutzer pro Tag im Jahresmittel	500 B/d	
spezifischer Abwasseranfall	10 l/B	6
Spülmenge bei Urinalen	1 l/B	1
Überleitung		
Entfernung zum Übergabepunkt	1,8 km	
Investitionskosten:		
Investitionskosten Kanal	100 €/m	100
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Betriebskosten Kanal	0,5 €/(m.a)	0,5
Abwasserbehandlungskosten incl. Nutzung öff. Kanalnetz	2 €/m ³	2
abflusslose Grube		
Investitionskosten:		
spezifischen Investitionskosten Grube	400 €/m ³	400
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Abwasserabfuhr	15 €/m ³	15
Abwasserbehandlungskosten	1 €/m ³	1
dezentrale Behandlung in Pflanzenkläranlage mit Herren-Urinabtrennung, -speicherung und -abfuhr		
Investitionskosten:		
spezifischen Investitionskosten Urinspeicher	500 €/m ³	500
spezifischen Investitionskosten PKA inkl. VK	500 €/m ²	500
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Urinentorgung (Abfuhr und Behandlung)	30 €/m ³	30
Primärschlamm Entsorgung (Abfuhr und Behandlung)	20 €/m ³	20
Betriebskosten	2000 €/a	2000

Variablen für Sensitivität

Preissteigerung für Reinvestition	0 %	0
Preissteigerung Betriebskosten r	0 %/a	0
Realzins i	3 %	3

Festwerte

Urinanfall je Benutzer	0,2 l/B
Anteil der Benutzer, die urinieren	95 %
Anteil männliche Benutzer	66 %
Primärschlamm anfall	3,1 g/B
Nutzungsdauer Kanal	50 a
Nutzungsdauer Grube	25 a
Nutzungsdauer Urinspeicher	25 a
Nutzungsdauer Pflanzenkläranlage (PKA)	12,5 a

Abbildung 7-1: Eingabemaske der Tabellenkalkulation zur KVR – Beispiel 1

Die Ausgabe bildet ein Variantenvergleich in Form eines Säulendiagramms. Die Ausgabemaske ist in Abbildung 7-2 dargestellt.

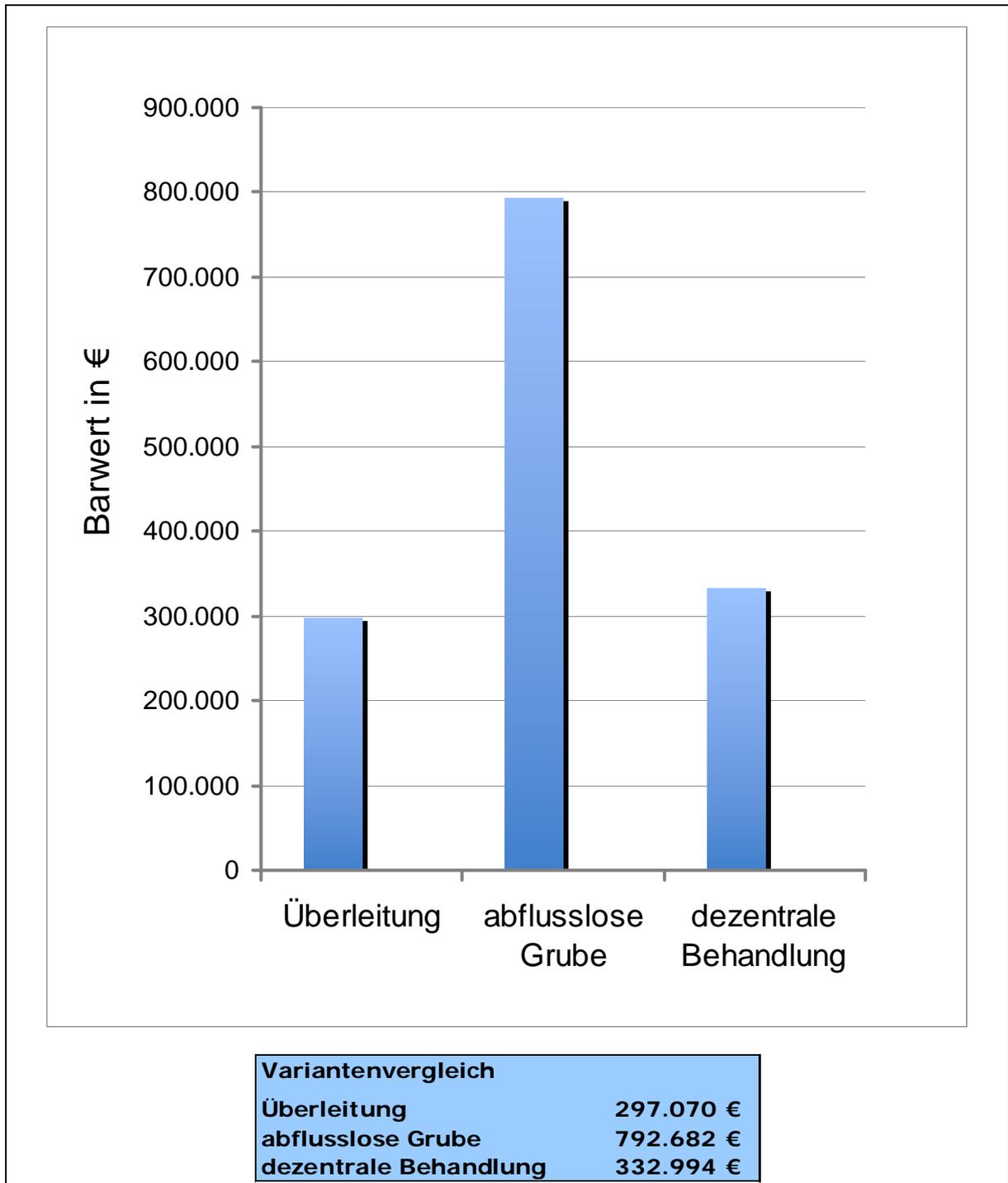


Abbildung 7-2: Ausgabemaske der Tabellenkalkulation zur KVR – Beispiel 1

Der Bau eines Kanals zur Überleitung der Abwässer in eine zentrale Kläranlage ist aus wirtschaftlichen Gründen nur sinnvoll, wenn die Entfernung zur nächsten Kläranlage bzw. zum nächsten öffentlichen Kanal nicht zu groß ist. Der ökonomische Einsatz von abflusslosen Gruben steht in direkter Anhängigkeit zu den veranschlagten Entsorgungskosten für den Grubeneinhalt. Ähnlich verhält es sich für die Entsorgung von Urin bzw. Gelbwasser.

Für das in Abbildung 7-1 und Abbildung 7-2 dargestellte Beispiel 1 lässt sich festhalten, dass bei einer Entfernung zur Kläranlage von 1,8 km eine Überleitung aus wirtschaftlichen Gründen vorzuziehen ist. Der Barwert liegt bei 297.070 € gegenüber einem Barwert von 332.994 € für die Variante der dezentralen Behandlung. Weiterhin ist zu erkennen, dass der Einsatz von abflusslosen Gruben aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu empfehlen ist.

Zu signifikanten Unterschieden führt die Separation von Gelbwasser oder Urin. Bei einer Gelbwasserseparation muss ein größeres Speichervolumen als bei der Urinseparation vorgehalten werden, da neben dem Urin das Spülwasser gespeichert werden muss. Diese Mengen führen ebenfalls zu erheblichen höheren Kosten. Aus den genannten Gründen wird eine Gelbwasserseparation nicht empfohlen, und es wurde auf eine Darstellung des Projektkostenbarwertes für die Variante dezentrale Behandlung mit Gelbwasserseparation verzichtet.

DATENEINGABE		
Allgemeine Angaben		
	Eingabe	Standard
Benutzer pro Tag Spitze	500 B/d	
Benutzer pro Tag im Jahresmittel	250 B/d	
spezifischer Abwasseranfall	10 l/B	6
Spülmenge bei Urinalen	1 l/B	1
Überleitung		
Entfernung zum Übergabepunkt	1,8 km	
Investitionskosten:		
Investitionskosten Kanal	100 €/m	100
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Betriebskosten Kanal	0,5 €/(m.a)	0,5
Abwasserbehandlungskosten incl. Nutzung öff. Kanalnetz	2 €/m ³	2
abflusslose Grube		
Investitionskosten:		
spezifischen Investitionskosten Grube	400 €/m ³	400
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Abwasserabfuhr	15 €/m ³	15
Abwasserbehandlungskosten	1 €/m ³	1
dezentrale Behandlung in Pflanzenkläranlage mit Herren-Urinabtrennung, -speicherung und -abfuhr		
Investitionskosten:		
spezifischen Investitionskosten Urinspeicher	500 €/m ³	500
spezifischen Investitionskosten PKA inkl. VK	500 €/m ²	500
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Urinentorgung (Abfuhr und Behandlung)	30 €/m ³	30
Primärschlamm Entsorgung (Abfuhr und Behandlung)	20 €/m ³	20
Betriebskosten	2000 €/a	2000
Variablen für Sensitivität		
Preissteigerung für Reinvestition	0 %	0
Preissteigerung Betriebskosten r	0 %/a	0
Realzins i	3 %	3
Festwerte		
Urinanfall je Benutzer	0,2 l/B	
Anteil der Benutzer, die urinieren	95 %	
Anteil männliche Benutzer	66 %	
Primärschlamm anfall	3,1 g/B	
Nutzungsdauer Kanal	50 a	
Nutzungsdauer Grube	25 a	
Nutzungsdauer Urinspeicher	25 a	
Nutzungsdauer Pflanzenkläranlage (PKA)	12,5 a	

Abbildung 7-3: Eingabemaske der Tabellenkalkulation zur KVR – Beispiel 2

Bei einer geringen Auslastung (250 B/d im Jahresmittel) im Beispiel 2 verändern sich die Barwerte der drei Verfahrensvarianten folgendermaßen.

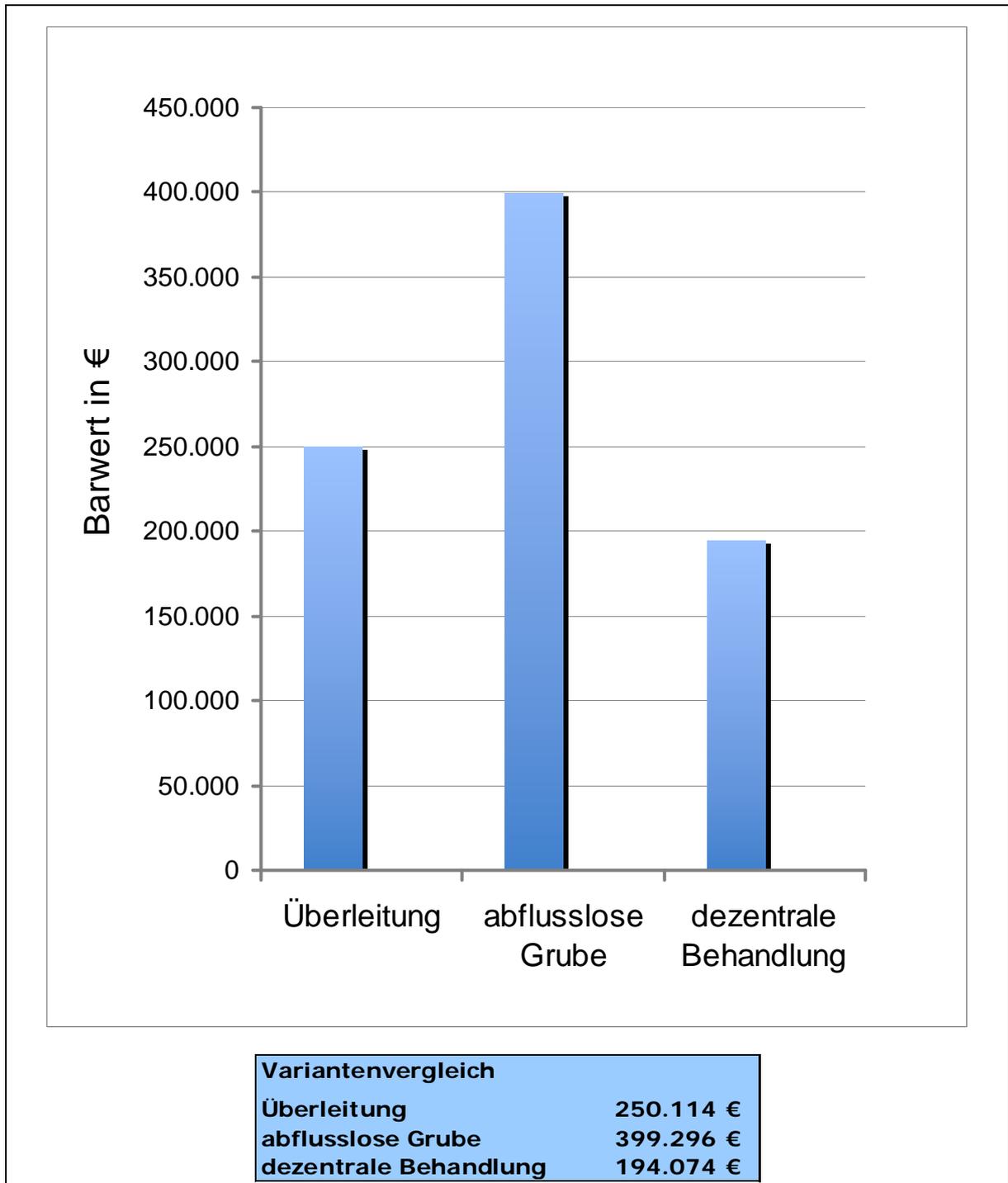


Abbildung 7-4: Ausgabemaske der Tabellenkalkulation zur KVR – Beispiel 2

Für alle Varianten gilt, dass aufgrund der geringeren Auslastung die Barwerte abnehmen, wobei dies bei der Variante 2 am stärksten zutrifft. Die Betriebskosten haben bei der abflusslosen Grube den größten Einfluss auf den Projektkostenbarwert. Im Gegensatz dazu ist der Einfluss der Betriebskosten bei der Überleitung am geringsten (nur über die Behandlungskosten des anfallenden Abwassers). Für eine gering ausgelastete PWC-Anlage ergibt sich ein Kostenvorteil für die dezentrale Behandlung gegenüber den beiden anderen Entsorgungsvarianten.

Die für die Entscheidungshilfe ermittelten Diagramme sollen als Orientierung dienen, unter welchen Voraussetzungen eine Variante zur Abwasserentsorgung wirtschaftlich sinnvoll ist. Um eine Variantenuntersuchung mit Hilfe einer Kostenvergleichsrechnung durchzuführen, sind die realen Kosten sowohl für Investitionen als auch für den Betrieb vom Planer bzw. vom Betreiber der Abwasserentsorgungssysteme selber zu ermitteln. Hinweise zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen nach LAWA sind in den Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien) zu finden [LAWA, 2005].

8. Zusammenfassung

Die folgende Darstellung zeigt das Vorgehen des Leitfadens zur Entscheidungsfindung für eine Abwasserentsorgungsvariante in einem Fließbild. Die drei beschriebenen Grundvarianten sind hier nach Prioritäten durch die Punkte 1. bis 3. dargestellt. Primär ist der Anschluss an eine zentrale Kläranlage anzustreben, auch bei vertretbaren Mehrkosten gegenüber einer dezentralen Teilbehandlung. Eine Entscheidung für eine geeignete Bewirtschaftung der Abwässer sollte in erster Linie nach den Betrachtungen zur technischen Auslegung, sowie nach dem zu erwartenden Betriebsaufwand getroffen werden. Bezüglich des betrieblichen Aufwandes überwiegen klar die Vorteile für die Variante der Überleitung. Die dezentrale Teilbehandlung ist an eine Erlaubnis zum Einleiten in ein Gewässer (Oberflächengewässer oder das Grundwasser) nach § 7 WHG geknüpft. Kann diese nicht erteilt werden, so ist eine der beiden erstgenannten Grundvarianten nach ihrer Wirtschaftlichkeit auszuwählen.

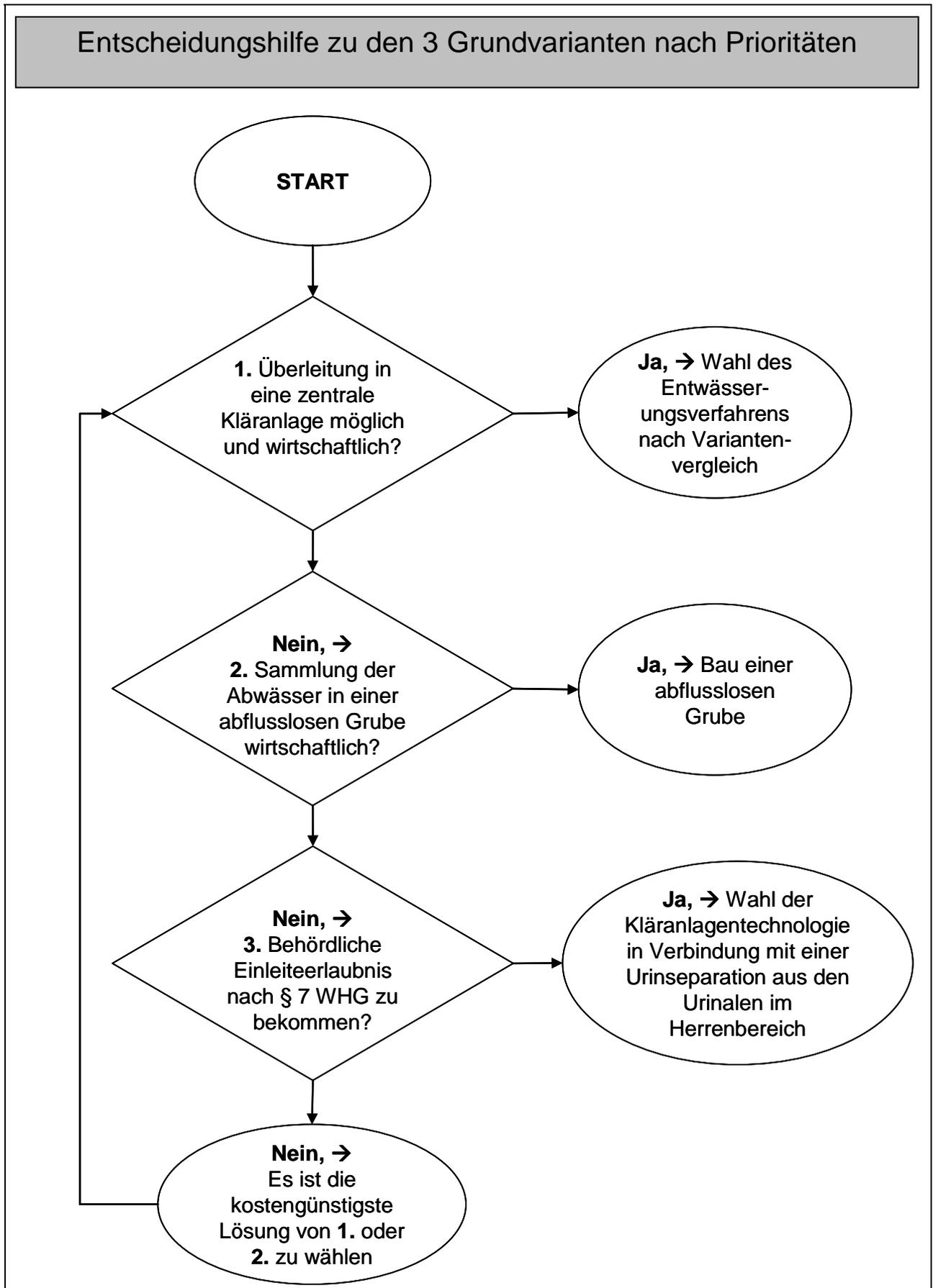


Abbildung 8-1: Fließbild zur Entscheidungshilfe

9. Beispiel zur Auslegung der Abwasserentsorgung

Vorgaben:

- Eine Einleitungserlaubnis nach § 7 WHG kann erteilt werden
- Maximale tägliche Benutzeranzahl = 1.000 B/d (2. Kategorie)
- Tägliche Benutzeranzahl im Jahresmittel = 500 B/d
- Spezifischer Wasserverbrauch = 6 l/B
- Spezifischer Urinanfall = 0,2 l/B
- 2/3 aller Besucher sind männlich, 1/3 weiblich
- Entfernung zur nächsten zentralen Kläranlage = 1,5 km
- Säurekapazität im Trinkwasser $SK_{4,3} = 3,5$ mmol/l (entspricht annähernd hartem Wasser)
- Schmutzfrachten:

Parameter	Urin [g/B]	Fäzes [g/E*d]	Zulauf zur biologischen Stufe (ohne Stoffstromtrennung) [g/B] ¹	Zulauf zur biologischen Stufe (mit Herrenurinabtrennung) [g/B] ¹
CSB	2,61	60	3,98	2,33
BSB ₅	1,35	20	1,78	0,93
TKN	2,01	1,5	1,95	0,67

Technische Auslegung der möglichen 3 Grundvarianten:

1. Überleitung in eine zentrale Kläranlage:

• *Abwasseranfall:* $Q_d = 500 \text{ B/d} \times 6,0 \text{ l/B} = 3.000 \text{ l/d} = 3,0 \text{ m}^3/\text{d}$

→ *Stündlicher Spitzenabfluss:* $Q_{S,h,max} = 3.000 \text{ l/d} / 10 \text{ h/d} = 300 \text{ l/h} = 0,08 \text{ l/s}$

Aus betrieblichen Gründen wird ein Mindestrohrquerschnitt für einen Freispiegelkanal von DN 300 gewählt.

¹ Die Berechnung der Zulauffrachten berücksichtigt eine 50 %ige Hydrolyse der Frachten aus den Fäzes in der Vorklärung; nutzerspezifische Tagesfrachten für Fäzes nach DWA, (2008)

2. Dezentrale Sammlung in einer abflusslosen Grube mit Abtransport und Behandlung in einer zentralen Kläranlage:

- Abwasseranfall: $Q_d = 500 \text{ B/d} \times 6,0 \text{ l/B} = 3.000 \text{ l/d} = 3,0 \text{ m}^3/\text{d}$

Das Abfuhrintervall wird in diesem Beispiel auf 14 Tage festgelegt, d.h. es ergibt sich ein Volumen für die abflusslose Grube von: $V = 3,0 \text{ m}^3/\text{d} \times 14 \text{ d} = 42,0 \text{ m}^3$

Um eine Sicherheitsreserve zu berücksichtigen wird ein Volumen von 50 m^3 gewählt.

3. Dezentrale Teilbehandlung in Verbindung mit der Separation, Speicherung und Abfuhr von Urin aus den Herrenurinalen:

- Abwasseranfall: $Q_d = 500 \text{ B/d} \times 6,0 \text{ l/B} = 3.000 \text{ l/d} = 3,0 \text{ m}^3/\text{d}$
- Urinanfall: $Q_{\text{Urin}} = 0,95 \times 500 \text{ B/d} \times 2/3 \times 0,2 \text{ l/B} = 63,33 \text{ l/d} = 0,063 \text{ m}^3/\text{d}$

Dimensionierung Urinspeicher:

Das Abfuhrintervall für den Urin wird in diesem Beispiel auf 180 Tage festgelegt, d.h. es ergibt sich ein Volumen für den Urinspeicher von: $V = 0,063 \text{ m}^3/\text{d} \times 180 \text{ d} = 11,4 \text{ m}^3$

Um eine Sicherheitsreserve zu berücksichtigen wird ein Volumen von 15 m^3 gewählt.

Dimensionierung dezentrale Kläranlage:

Als dezentrale Kläranlage wird eine Pflanzenkläranlage vorgesehen. Als Vorklärung wird eine Mehrkammergrube nach DIN 4261 mit einem Vorklärvolumen von 60 m^3 angesetzt.

- Dimensionierung der Pflanzenkläranlage in Anlehnung an DWA-A 262 [DWA, 2006a]

CSB-Flächenbelastung der Gesamtfläche $\leq 20 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

$$\rightarrow 2,33 \text{ g CSB/B} \times 1.000 \text{ B/d} = 2.330 \text{ g CSB/d}$$

$$\rightarrow 2.330 \text{ g CSB/d} / 20 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) = \underline{116,5 \text{ m}^2}$$

Stickstoffflächenbelastung $< 10 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

$$\rightarrow 0,67 \text{ g TKN/B} \times 1.000 \text{ B/d} = 670 \text{ g TKN/d}$$

$$\rightarrow 670 \text{ g TKN/d} / 10 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) = 67,0 \text{ m}^2$$

Hydraulische Flächenbelastung bei $Q_d \leq 80 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

$$\rightarrow 6.000 \text{ l/d} / 80 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) = 75,0 \text{ m}^2$$

Für die Dimensionierung maßgebend ist die ermittelte Fläche aufgrund der Begrenzung der CSB-Flächenbelastung mit mindestens $A = 116,5 \text{ m}^2$. Es wird eine Bodenfilteroberfläche von insgesamt 120 m^2 gewählt, bestehend aus vier Teilflächen von denen jeweils drei in Betrieb sind. Eine Teilfläche kann sich in der Regenerationsphase befinden.

Nachweis der Säurekapazität:

Der Nachweis der Säurekapazität erfolgt nach dem 2. Ansatz aus Abschnitt 5.5.1:

Aufgrund der Herrenurinabtrennung kann die Stickstofffracht im Zulauf zur biologischen Stufe auf 0,67 g/B reduziert werden. Die nutzerspezifische Wassermenge von 6,0 l/B besitzt eine Ausgangssäurekapazität von 3,5 mmol/l.

Mit diesen Eingangsgrößen lässt sich im Diagramm ein Defizit an Säurekapazität von ca. 3,9 mmol/l ablesen.

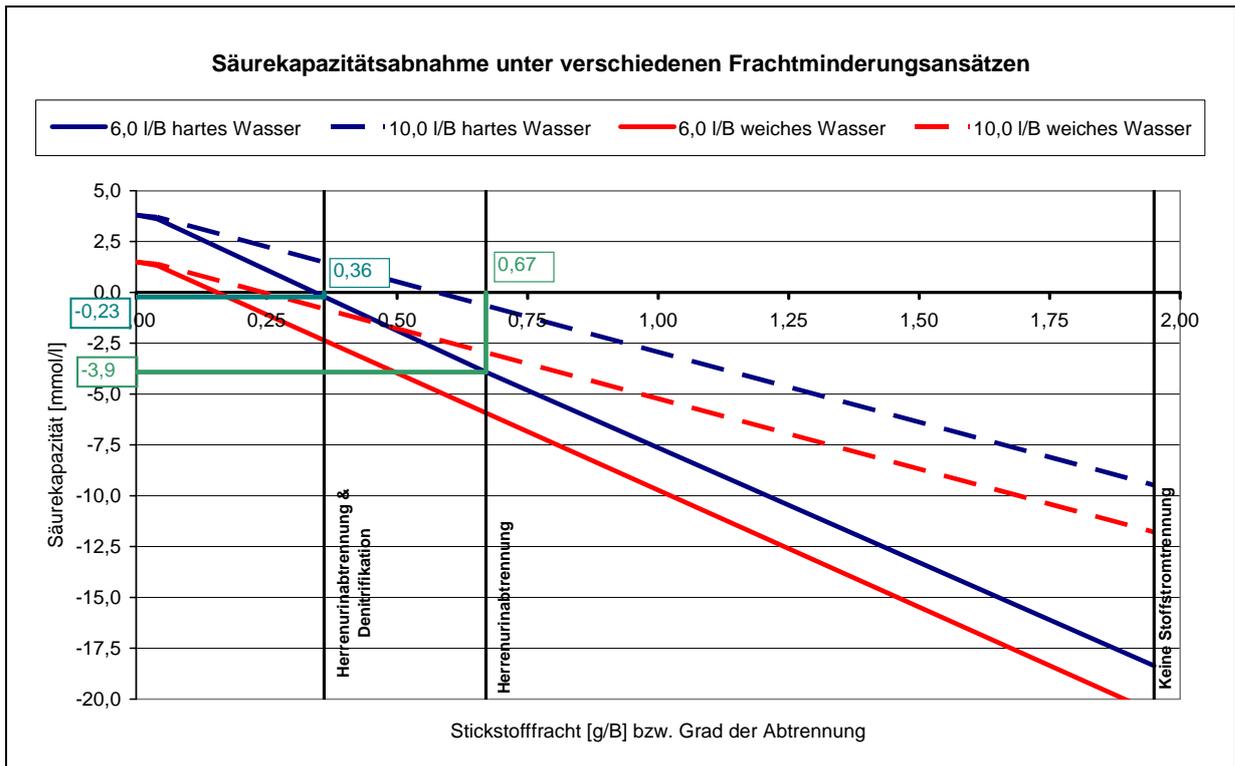


Abbildung 9-1: Säurekapazitätsabnahme bei dezentraler Teilbehandlung

Das Defizit an Säurekapazität kann durch eine gezielte Denitrifikation verringert werden.

- Bei der Denitrifikation werden $2,86 \text{ g O}_2 / \text{g NO}_3\text{-N}_{\text{elim.}}$ freigesetzt.

$$\rightarrow 1 \text{ g } N_{\text{deni}} = 2,86 \text{ g BSB}_5$$

Daraus ergibt sich eine mögliche zu denitrifizierende Stickstofffracht von:

$$B_{N,\text{deni}} = 0,93 \text{ g BSB}_5 / \text{B} / 2,86 \text{ g BSB}_5 / \text{g } N_{\text{deni}} = 0,33 \text{ g } N_{\text{deni}} / \text{B}$$

Die Veränderung der Säurekapazität aufgrund der Denitrifikation ergibt sich zu:

$$\Delta SK_{\text{deni}} = 1/14 \times 0,33 \text{ g/B} = 0,023 \text{ mol/B} = 23,2 \text{ mmol/B}$$

Die verbleibende Säurekapazität in der biologischen Stufe beträgt:

$$SK_{\text{bio}} = -23,5 \text{ mmol/B} + 23,2 \text{ mmol/B} = \mathbf{-0,27 \text{ mmol/B}}$$

Bei einem nutzerspezifischen Wasserverbrauch von 6,0 l/B beträgt die Säurekapazität im Ablauf der biologischen Stufe:

$$SK_{\text{Ab}} = -0,27 \text{ mmol/B} / 6,0 \text{ l/B} = \mathbf{-0,05 \text{ mmol/l.}}$$

Mit diesem negativen Ergebnis ist die Säurekapazität noch nicht ausgeglichen. Es wird zu einer sehr geringen Absenkung des pH-Wertes im Laufe der Behandlung kommen. Um die Sicherheit zu erhöhen sollte der Wasserverbrauch erhöht und karbonathaltiges Filtermaterial in den Bodenfilter eingebaut werden.

Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Kostenbetrachtung der 3 möglichen Grundvarianten erfolgt mit Hilfe der vorgestellten Tabellenkalkulation. Für eine Kostenvergleichsrechnung nach LAWA gelten die Annahmen in Kapitel 7 sowie die dort angegebenen Kosten für die notwendigen Einrichtungen, Ausstattungen und den Betrieb der Abwasserentsorgungssysteme. Die Entscheidungshilfe dient hier als Orientierung. Für eine genauere Betrachtung im Rahmen einer Variantenuntersuchung ist eine Kostenvergleichsrechnung mit real vom Planer ermittelten Kosten durchzuführen. Es ist zu beachten, dass regionale Unterschiede bei Baupreisen und Kosten für Dienstleistungen auftreten.

Eine Entscheidung für eine geeignete Bewirtschaftung der Abwässer sollte in erster Linie nach den Betrachtungen zur technischen Auslegung, sowie nach dem zu erwartenden Betriebsaufwand getroffen werden. Nach den Betrachtungen zur technischen Auslegung und der Voraussetzung einer Erlaubnis zum Einleiten nach § 7 WHG kommen alle drei Grundvarianten für eine Abwasserentsorgung im geschilderten Beispiel in Frage. Jedoch ist zu beachten, dass der Betrieb einer dezentralen Behandlung mit Urinseparation um ein Vielfaches aufwendiger ist, als bei den Grundvarianten 1. und 2.. Beim betrieblichen Aufwand überwiegen klar die Vorteile für die Variante der Überleitung. Jedoch ist die Entfernung der PWC-Anlage zum Übergabepunkt (zentrale Kläranlage bzw. zum nächsten öffentlichen Kanal) im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit das ausschlaggebende Kriterium. Diesbezüglich soll das Diagramm als Entscheidungshilfe für eine Abwasserentsorgung dienen.

Im geschilderten Beispiel beträgt die Entfernung zur nächsten zentralen Kläranlage 2,5 km (vgl. Abbildung 9-2).

DATENEINGABE

Allgemeine Angaben	Eingabe	Standard
Benutzer pro Tag Spitze	1000 B/d	
Benutzer pro Tag im Jahresmittel	500 B/d	
spezifischer Abwasseranfall	10 l/B	6
Spülmenge bei Urinalen	1 l/B	1
Überleitung		
Entfernung zum Übergabepunkt	2,5 km	
Investitionskosten:		
Investitionskosten Kanal	100 €/m	100
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Betriebskosten Kanal	0,5 €/(m.a)	0,5
Abwasserbehandlungskosten incl. Nutzung öff. Kanalnetz	2 €/m ³	2
abflusslose Grube		
Investitionskosten:		
spezifischen Investitionskosten Grube	400 €/m ³	400
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Abwasserabfuhr	15 €/m ³	15
Abwasserbehandlungskosten	1 €/m ³	1
dezentrale Behandlung in Pflanzenkläranlage mit Herren-Urinabtrennung, -speicherung und -abfuhr		
Investitionskosten:		
spezifischen Investitionskosten Urinspeicher	500 €/m ³	500
spezifischen Investitionskosten PKA inkl. VK	500 €/m ²	500
Betriebskosten / laufende Kosten:		
Urinentorgung (Abfuhr und Behandlung)	30 €/m ³	30
Primärschlamm Entsorgung (Abfuhr und Behandlung)	20 €/m ³	20
Betriebskosten	2000 €/a	2000

Variablen für Sensitivität

Preissteigerung für Reinvestition	0 %	0
Preissteigerung Betriebskosten r	0 %/a	0
Realzins i	3 %	3

Festwerte

Urinanfall je Benutzer	0,2 l/B
Anteil der Benutzer, die urinieren	95 %
Anteil männliche Benutzer	66 %
Primärschlamm anfall	3,1 g/B
Nutzungsdauer Kanal	50 a
Nutzungsdauer Grube	25 a
Nutzungsdauer Urinspeicher	25 a
Nutzungsdauer Pflanzenkläranlage (PKA)	12,5 a

Abbildung 9-2: Kostenbetrachtung bei einer Entfernung zur zentralen KA von 2,5 km (Eingabemaske)

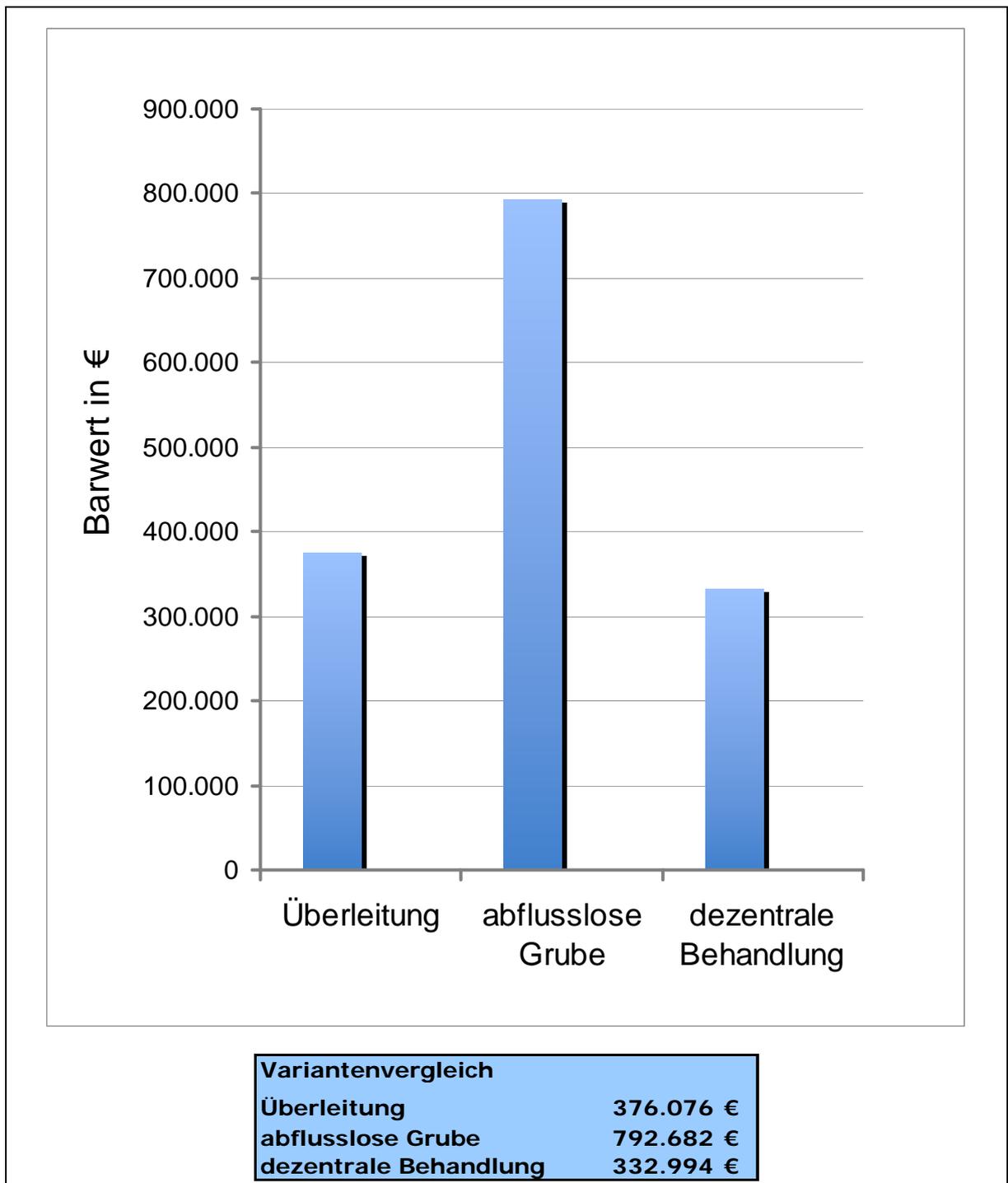


Abbildung 9-3: Kostenbetrachtung bei einer Entfernung zur zentralen KA von 2,5 km (Ausgabemaske)

Es ist zu erkennen, dass eine dezentrale Teilbehandlung mit Urinseparation aus den Urinalen im Herrenbereich die wirtschaftlichste Variante ist. Der Barwert liegt bei 332.994 €. Eine Alternative ist die Überleitung in eine zentrale Kläranlage mit einem Barwert von 376.076 €. Eine abflusslose Grube stellt bei einer Entfernung von 2,5 km zur zentralen Kläranlage keine Alternative dar.

Gesamtbetrachtung

Aufgrund der klaren Vorteile in Bezug auf den Betrieb ist der Grundvariante 1. Überleitung in eine zentrale Kläranlage der Vorzug zu geben. Nach einer ersten Orientierung ist der Barwert nicht viel größer als bei einer dezentralen Behandlung mit Urinseparation. Jedoch ist das vorgeschlagene Verfahren mit der Abwasserbehandlung in einer Pflanzenkläranlage sehr sensibel und schwierig hinsichtlich der verfahrenstechnischen Steuerung und Kontrolle. Der Betrieb erfordert entsprechende Fachqualifikationen eines Abwasserentsorgers. Kann hingegen ein ordnungsgemäßer Betrieb, zum Beispiel durch Übertragung der Verantwortung auf die Aufgabenträger der Abwasserentsorgung (Gemeinde / Zweckverband), sichergestellt werden, ist die Grundvariante 3. dezentrale Behandlung möglich.

Literaturverzeichnis

- ATV-DVWK-A 198, 2003:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) – ehemals Abwassertechnische Vereinigung (ATV) e.V. (Hrsg.): Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen, Arbeitsblatt A 198. Hennef 2003.
- BUW, 2001:** Bauhaus Universität Weimar, Professur Siedlungswasserwirtschaft. (Hrsg.): Messkampagne an den PWC - Anlagen „Belvedere Süd“, „Belvedere Nord“, „Drei Gleichen“ und „Podelsatz“ an der BAB 4 (unveröffentlichte Studie). Weimar, 2001.
- BUW, 2009:** Bauhaus-Universität Weimar, Professur Siedlungswasserwirtschaft. Forschungsbericht zum Projekt *"Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen"* im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen (BMVBS) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Juli, 2009.
- DIN, 2000:** Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) *DIN EN 12056: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden*. 2000.
- DIN, 2001:** DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) *DIN EN 12255: Kläranlagen - Teil 3: Abwasservorreinigung*. März. 2001.
- DIN, 2002:** DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) *DIN EN 12255: Kläranlagen - Teil 4: Vorklärung*. Aprile 2002.
- DIN, 2008:** DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) *DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden*. April, 2008.
- DIN, 2009:** DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.) *DIN 4261: Kleinkläranlagen - Teil 1: Anlagen zur Abwasservorbehandlung*. Februar 2009.
- DWA, 2005:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Abfall e.V. - DWA (Hrsg.), DWA-Arbeitsblatt 116: *Besondere Entwässerungsverfahren, Teil 1: Unterdruckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden*. Hennef, 2005. *Teil 2: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden*. Hennef, 2007.
- DWA, 2006a:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK) – heute DWA. (Hrsg.), DWA-Arbeitsblatt 262: *Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zu biologischen Reinigung kommunalen Abwassers*. März, 2006.
- DWA, 2006b:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Abfall e.V. - DWA (Hrsg.), DWA-Arbeitsblatt 110: *Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen*. Hennef, August 2006.
- DWA, 2008:** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Abfall e.V. - DWA (Hrsg.): *Neuartige Sanitärsysteme*. Themenband des DWA-Fachausschusses KA-1, Hennef, 2008.
- FGSV, 2002:** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), RiStWag: *Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten*. 2002
- FGSV, 2005:** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), RAS-Ew: *Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS) - Teil: Entwässerung (RAS-Ew)*. 2005

-
- Heise, 2009:** Heise, B. *Kosten und Reinigungsleistung von verschiedenen Kleinkläranlagentypen*. Tagungsunterlagen zu einer Fachveranstaltung im Rahmen der TerraTec 2009. Dezentrale Abwasserentsorgung Probleme - Entwicklungen - Anwendungen. Leipzig, 2009.
- LAWA, 2005:** Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. *Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)*. LAWA-Arbeitskreis Nutzen-Kosten-Untersuchungen in der Wasserwirtschaft. Kulturbuch-Verlag. 7. Auflage, Berlin, 2005.
- Lohse, 2000:** Lohse, M. *Kosten der Abwasserbehandlung im ländlichen Raum - Druck- und Unterdruckentwässerung, Kleinkläranlagen -*. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz, Landschaft und Verbraucherschutz NRW. Institut für Abfall- und Abwasserwirtschaft e.V.. Oktober, 2000.
- Müller, Straub, Heine, 2006:** Müller, M., Straub, A.; Heine, A. *Die Kleinkläranlage als Dauerlösung*. Wasserwirtschaft Wassertechnik, 2007 (Heft 6, Seite 10 - 18). Berlin, 2007.
- Reicherter, 2003:** Reicherter, E. *Untersuchungen zu Kennzahlen als Grundlage für die Kostenbetrachtung in der Abwasserentsorgung*. Universität der Bundeswehr München. Mitteilungen des Institutes für Wasserwesen. Heft 84/2003. Kommissionsverlag Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München, 2003.
- RR 1, 1981:** Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau (Hrsg.): Richtlinien für Rastanlagen an Straßen, Teil 1, Ausgabe 1981, Bonn 1981.
- VHRR, 1999:** Bundesministerium für Verkehr (BMV) (Hrsg.): Vorläufige Hinweise zu den Richtlinien für Rastanlagen an Straßen bezüglich Autobahnrastanlagen, Ausgabe 1999, Bonn 1999.
- WRMG, 1987:** *Gesetz über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln (Wasch- und Reinigungsmittelgesetz - WRMG)*. Ausfertigungsdatum: 29.04.2007. BGBl. I S. 600. 1987.

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2006

- V 133: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge
Hübelt, Schmid € 17,50
- V 134: Qualifizierung von Auditoren für das Sicherheitsaudit für Innerortsstraßen
Gerlach, Kesting, Lippert € 15,50
- V 135: Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen
Cypra, Roos, Zimmermann € 17,00
- V 136: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen
Wermuth, Sommer, Wulff € 15,00
- V 137: PM_x-Belastungen an BAB
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO_x)- und Ozon (O₃)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,50
- V 139: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen
Wirtz, Moritz, Thesenvitz € 14,00
- V 140: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 15,50
- V 141: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2003
Lensing € 15,00
- V 142: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen
Fischer, Brannolte € 17,50
- V 143: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen
Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto € 17,50
- V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland
Baier, Klempe, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glättemeldeanlagen
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –
Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50
- V 150: Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst
Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin € 18,00

- V 151: Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kommunalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums für die StVO
Böhl, Mausa, Kloppe, Brückner € 16,50
- V 152: Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer
Gerlach, Oderwald € 15,50
- V 153: Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen
Lemke € 13,50
- V 154: Autobahnverzeichnis 2006
Kühnen € 22,00
- V 155: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie in Deutsches Recht
Bartolomaeus € 12,50
- V 156: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen
Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler € 13,00
- V 157: Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317
Klößner, Fleisch, Balzer-Hebborn, Ellmers, Friedrich, Kübler, Lukas € 14,50
- V 158: Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbaumaßnahmen
Wirtz € 13,50
- V 159: Luftschadstoffe an BAB 2006
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 160: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 25,50
- V 161: Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe
Listl, Otto, Zackor € 14,50
- V 162: Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta
Grahl, Sander € 14,50
- V 163: Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrsabhängigen Steuerungen
Brilon, Wietholt, Wu € 17,50
- V 164: Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,00

2007

- V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM₁₀-Emissionen von Straßen
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch, Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50
- V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 26,00
- V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung
Kocher, Brose, Siebertz € 14,50
- V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit
Frost, Schulze € 15,50
- V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen
Wermuth, Wulff € 15,50
- V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen
Roos, Zimmermann, Riffel, Cypra € 16,50

- V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)**
Weinert, Vengels € 17,50
- V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007**
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge**
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00
- V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PMx-Belastung an Straßen**
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Düring, Lohmeyer, Moldenhauer, Knörr, Kutzner, Becker, Richter, Schmidt € 29,00
- V 175: Maßnahmen gegen die psychischen Belastungen des Personals des Straßenbetriebsdienstes**
Fastenmeier, Eggerdinger, Goldstein € 14,50

2009

- V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw**
Schulze, Hübelt € 13,00
- V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24**
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50
- V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**
Fitschen € 26,00
- V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik**
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50
- V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn**
Hausmann € 14,50
- V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen**
Hülsemann, Kreams, Henning, Thiemer € 18,50
- V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern**
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00
- V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen**
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00
- V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern**
Alrutz, Bohle, Müller, Prahlow, Hacke, Lohmann € 19,00
- V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit**
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00
- V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst**
Badelt, Moritz € 17,00
- V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes**
Kirschfink, Aretz € 16,50

2010

- V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb**
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00
- V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen**
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50

- V 190: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes**
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Lank, Steinauer, Busen € 29,50
- V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008**
Fitschen, Nordmann € 27,00
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
- V 192: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Mittelstreifen auf Bundesautobahnen**
Gerlach, Flunkert, Mohr, Egelhaaf, Gärtner € 16,50
- V 193: Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen**
Klößner € 14,50
- V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement**
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhlen (in Vorbereitung)
- V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen**
Londong, Meyer € 29,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.