

Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH

**Erarbeitung von
allgemeinen Bemessungsansätzen
für dezentrale bewachsene Bodenfilter
für WC-Anlagen bewirtschafteter und unbewirt-
schafteter Rastanlagen an Autobahnen
am Beispiel der
„Subterra“-Pflanzenkläranlagen**

- Abschlussbericht -

F+E-Projekt

gefördert von der

DBU - Deutsche Bundesstiftung Umwelt Osnabrück

Az.: 21671/01-23

Az.: 21671/02-23

von

Dipl.-Ing. Ralph Emmerich

Duckwitz, Dezember 2010

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
X	Verzeichnis von Abbildungen und Tabellen	3
XX	Verzeichnis von Begriffen, Definitionen und Abkürzungen	4
	Zusammenfassung	7
1.	Einleitung	8
2.	Projektergebnisse	11
	2.1 Abwassersituation an PWC-Anlagen	11
	2.1.1 Beschaffenheit des Abwassers	11
	2.1.2 Abwasseranfall	16
	2.2 Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen mit dezentralen Kläranlagen	22
	2.3 Abschätzung von Bemessungsansätzen für Bodenfilter	26
	2.3.1 Abwasserbeschaffenheit Zulauf	26
	2.3.2 Wasserverbrauch/Abwasseranfall	27
	2.3.3 Hydraulische Flächenbelastung	29
	2.3.4 CSB-Flächenbelastung	30
	2.4 Vorklärschlamm bei dezentraler Behandlung	31
	2.5 Pilotanlagen	35
	2.6 Nutzungsverhalten an PWC-Anlagen	38
3.	Fazit	42
4.	Literatur- und Quellenverzeichnis	46
	Danksagung	49
	Anhänge	50

X Verzeichnis von Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

- Abbildung 1: SUBTERRA-Pflanzenkläranlage (150 m² Beetfläche), Fotovoltaik und Solar-thermie (im Hintergrund), PWC „Selliner See Nord/Süd“, BAB A20 (Foto: R. Emmerich, 3.9.2004)
- Abbildung 2: Wasserverbrauch, Tagesganglinie (Jahresmittelwerte 2004/2005), PWC „Selliner See“, BAB A20 [Hin 2006]
- Abbildung 3: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, ausgewählte Wochenganglinien (März/ November), gemittelt, PWC „Am Steinberg“ und PWC „Belvedere Nord/Süd“, BAB A4, nach [Hin 06]
- Abbildung 4: Spezifischer Wasserverbrauch, verschiedene PWC-Standorte, Wochenganglinien (gemittelt), aus [Hin 06] zit. in [Em 08]
- Abbildung 5: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, Ganglinien Osterfeiertage 2003/2004, PWC „Am Steinberg“, BAB A4, nach [Hin 06]
- Abbildung 6: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, Jahresganglinien 2003 (ungeglättet und geglättet), PWC „Am Steinberg“, BAB A4
- Abbildung 7: Wasserverbrauchserfassung im Rahmen des Servicenachweises, 50. KW 2007, PWC „Belvedere Süd“, BAB A4 (Foto: R. Emmerich, 12.12.2007)
- Abbildung 8: SUBTERRA-Pflanzenkläranlage (600 m²), PWC „Am Steinberg“, BAB A4 (Foto: R. Emmerich, 14.9.2005)
- Abbildung 9: SUBTERRA-Pflanzenkläranlage (2x100 m²), PWC „Belvedere Süd“, BAB A4 (Foto: R. Emmerich, 22.6.2010)
- Abbildung 10: Spülvorgänge Damen-/Herren-WC und Verkehrsstärke, Jahresganglinie 2008, PWC „Klockow Ost“, BAB A20, aus [Weiß 09]
- Abbildung 11: Reisebusverkehr mit mobiler Imbissversorgung, PWC „Belvedere Nord“, BAB A4 (Foto: R. Emmerich 6.9.2006)

Tabellen

- Tabelle 1: Beschaffenheit von PWC-Abwässern, zusammenfassende Übersicht der Untersuchungsergebnisse (vgl. Anhang 1)
- Tabelle 2: Vergleich der Abwasserbelastung von PWC-Abwässern und häuslichen bzw. kommunalen Abwässern
- Tabelle 3: Ablaufwerte ausgewählter dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen an PWC-Anlagen
- Tabelle 4: Abwasserbeschaffenheit Zulauf Bodenfilter (Datengrundlage: SUBTERRA-PKA ohne Rezirkulation von PWC „Selliner See“, „Klockow O/W“, „Am Steinberg“)
- Tabelle 5: Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall auf den PWC-Anlagen „Belvedere Süd“ und „Belvedere Nord“, BAB A4,
- Tabelle 6: SUBTERRA-Pflanzenkläranlagen an BAB-PWC-Anlagen mit Pilot-Charakter
- Tabelle 7: Spülvorgänge Damen- und Herren-WC-Anlage 2008, PWC „Klockow Ost“ und PWC „Klockow West“, BAB A20, nach [Weiß 09], bearbeitet

XX Verzeichnis von Begriffen, Definitionen, Abkürzungen und Einheiten

ABA	Abwasserbehandlungsanlage
Abb.	Abbildung
AbwV	Abwasserverordnung [AbwV 97]
AFS	Abfiltrierbare Stoffe
ATV-DVWK	Abwassertechnische Vereinigung e.V. – Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.; heute: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA)
BAB	Bundesautobahn
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
benutzungsspezifischer Wasserverbrauch	mittlerer Wasserverbrauch pro Benutzung eines Wasser verbrauchenden Aggregates (WC, Urinal, Waschtisch) der WC-Anlage; Wasserverbrauch des Aggregates, bezogen (normiert) auf die Benutzungshäufigkeit bzw. Anzahl der Spülvorgänge
BSB ₅ , BSB ₁₄	Biochemischer Sauerstoffbedarf (in fünf/vierzehn Tagen)
BUW	Bauhaus Universität Weimar; hier: Professur Siedlungswasserwirtschaft
bzw.	beziehungsweise
CO ₂	Kohlendioxid, Kohlenstoffdioxid
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSB, refraktär; CSB _{ref}	biologisch nicht abbaubarer Chemischer Sauerstoffbedarf (hier: vgl. [Lon09])
d	Tag, Einheit der Zeit
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück
DEGES mbH	Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -baugesellschaft mbH
DIN	„Deutsche Industrienorm“, ein vom Deutschen Institut für Normung e.V. Berlin erarbeiteter Standard
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke, Einheit: Kfz/24 h bzw. Kfz/d
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
EW	Einwohnerwert, Summe aus Einwohnerzahl (EZ) und Einwohnergleichwert (EGW), mit Bezug auf eine charakteristische Größe (Abwasserbelastungsparameter) [DIN 1085 97]
fäkale Nutzung	Nutzung der WC-Anlage für die Defäkation bzw. das „große Geschäft“
EcoSan	Ecological Sanitation; ökologische, kreislauforientierte Systeme zur Abwasserbewirtschaftung und Sanitärversorgung
GK	Größenklasse, Anforderungen an die Abwasserbehandlung nach Anhang 1 AbwV [AbwV 97]
GLT	Gebäudeleittechnik

h	Stunde, Einheit der Zeit
Hrsg.	Herausgeber
JK-PKA GmbH	Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH, Schloss Duckwitz, 17179 Duckwitz (hier: Projektträger)
Kap.	Kapitel
Kfz	Kraftfahrzeug
KW	Kalenderwoche
l	Liter, Einheit des Volumens (hier der Ab-/Wassermenge)
lfd. Nr.	laufende Nummer
LKW	Lastkraftwagen
MFPA	Materialforschungs- und –prüfanstalt an der Bauhausuniversität Weimar (hier: Projektpartner)
mg/l	Milligramm pro Liter, Einheit der Massenkonzentration
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MKG	Mehrkammergrube (vgl. DIN 4261 T1)
MKG x (x = 1...4)	x = 1: Kammer 1 x = 2: Kammer 2 ...
mS/cm	Milli-Siemens pro Zentimeter, Einheit der elektrischen Leitfähigkeit
mV	Milli-Volt, (hier) Einheit des Redoxpotenzials
m ³	Kubik-Meter, Einheit des Volumens (hier der Ab-/Wassermenge)
n	Anzahl (Formelzeichen)
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
NO ₂ -N	Nitrit-Stickstoff
Nr.	Nummer
nutzerspezifischer Wasserverbrauch	mittlerer Wasserverbrauch pro Nutzer der WC-Anlage; Wasserverbrauch der WC-Anlage, bezogen (normiert) auf die Nutzerzahl; Einheit l/Nutzer oder m ³ /1.000 Nutzer (vgl. [Lon 10b])
PKA	Pflanzenkläranlage (Bewachsener Bodenfilter)
PKW	Personenkraftwagen
PWC	Parkplatz-WC-Anlage
RiFa	Richtungsfahrbahn
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SUBTERRA-PKA	Pflanzenkläranlage mit unterirdischer Druckbeschickung (SUBTERRA-Prinzip), Entwicklung und Herstellung: Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH
Tab.	Tabelle
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen (Gesamter Kjeldahl Stickstoff); Summe von organisch gebundenem Stickstoff und Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)
TR	Trockenrückstand
TS	Trockensubstanz (hier: TS entspricht annähernd AFS [Now 07])
tw.	teilweise

u. a. urinale Nutzung	und andere, und anderes, unter anderem Nutzung der WC-Anlage für das Urinieren bzw. das „kleine Geschäft“
usw.	und so weiter
verkehrsspezifischer Wasserverbrauch	hier: Wasserverbrauch der WC-Anlage, bezogen (normiert) auf die Verkehrsstärke; Einheit l/1.000 Kfz oder m ³ /10.000 Kfz
vgl.	vergleiche
VK	Vorklärung (vgl. MKG)
VK x (x = 1...4)	x = 1: Kammer 1 x = 2: Kammer 2 ...
WC	Wasserklosett (water closet)
\bar{X}_{arithm} , \bar{X}	arithmetisches Mittel (auch Durchschnitt; hier: Lageparameter einer Häufigkeitsverteilung)
\bar{X}_{med}	Median (auch Zentralwert; hier: Lageparameter einer Häufigkeits- verteilung)
z. B.	zum Beispiel
zit.	zitiert
z. T.	zum Teil

Zusammenfassung

Der aktuelle und zunehmende Kfz-Verkehr auf Autobahnen (BAB) erfordert die Errichtung und den Betrieb von Rastanlagen. Können (unbewirtschaftete) Rastanlagen (Parkplatz-WC- bzw. PWC-Anlagen) nicht oder nicht wirtschaftlich an zentrale Ver- und Entsorgungsnetze angeschlossen werden, ist eine umweltgerechte und wirtschaftliche dezentrale Behandlung der PWC-Abwässer erforderlich. Die Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH und die Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhausuniversität Weimar (MFPA) haben in einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt Osnabrück geförderten Projekt (Förderkennzeichen 21671/01 und 21671/02) die Abwassersituation an PWC-Anlagen untersucht und Bemessungsansätze für Pflanzenkläranlagen (bewachsene Bodenfilter) abgeleitet.

Die Abwasserbelastungssituation an PWC-Anlage ist gekennzeichnet durch starke Schwankungen des Abwasseranfalls, der, abhängig von der Verkehrsbelastung, tägliche, wöchentliche und saisonale Periodizitäten mit regelmäßigen Maxima an den Wochenenden und Spitzenbelastungen in Feiertagswochen und zu Ferienzeiten aufweist. Untersuchungen zur Verkehrsstärke, zum Wasserverbrauch (bzw. Abwasseranfall) und zum Nutzerverhalten erlauben bisher keine verallgemeinerungsfähige Einschätzung des Zusammenhangs zwischen Verkehr und Wasserverbrauch. Letzterer ist offensichtlich abhängig von der sanitären Ausstattung der WC-Anlage, der Art der Verkehre (Berufskraftverkehr, Reiseverkehr usw.) und Nutzungspräferenzen auf Grund standortspezifischer Lagebeziehungen der PWC-Anlage zu vor- und nachgelagerten BAB-Serviceeinrichtungen und Verkehrsknotenpunkten. Typisch ist aber das Überwiegen männlicher Nutzer und, geschlechtsunabhängig, der „urinalen“ Nutzungen. Hieraus resultiert der hohe Anteil von Urin (Gelbwasser) im PWC-Abwasser, der das C/N/P-Verhältnis in den für die biologische Abwasserbehandlung ungünstigen Bereich mit einem erheblich erhöhten Stickstoffanteil verschiebt. Damit gehen erhöhte Salzgehalte und pH-Werte im alkalischen Bereich einher. Die organische Abwasserbelastung (CSB, BSB) ist, bezogen auf die 85 %-Perzentilwerte, häuslichem/kommunalem Abwasser vergleichbar. Größere Konzentrationsschwankungen der Abwasserinhaltsstoffe (CSB, N u. a.) sind für PWC-Abwässer charakteristisch.

Untersuchungen an bestehenden Pflanzenkläranlagen haben gezeigt, dass bewachsene Bodenfilter grundsätzlich geeignet sind, die Anforderungen an die Abwasserbehandlung nach GK 1 Anhang 1 AbwV einzuhalten. Unter Berücksichtigung von Betriebsstörungen und Pflanzenkläranlagen mit Unterbemessung, Überlast und Kolmationserscheinungen wurden Bemessungsansätze und ingenieurtechnische Hinweise für Planung und Betrieb solcher Anlagen abgeleitet. Für den Abwasseranfall wird der 85 %-Perzentilwert der täglichen Wasserverbräuche als Bemessungswert des täglichen Abwasseranfalls vorgeschlagen. Für die hydraulische und CSB-Flächenbelastung der Bodenfilter wird die Anwendung der Vorgaben des DWA-A 262 empfohlen. Untersuchungen der auf diesen Bemessungsansätzen beruhenden Pilot-Pflanzenkläranlagen mit erhöhtem Vorklär- und Schwimmschlamm Speichervolumen belegen, dass bewachsene Bodenfilter und insbesondere SUBTERRA-Pflanzenkläranlagen die Anforderungen der GK 2 Anhang 1 AbwV einhalten sowie eine weitgehende Nitrifikation und eine teilweise Denitrifikation stabil realisieren können.

Ergebnisse und Erfahrungen des Projektes können in die aktuelle Erarbeitung des technischen Regelwerkes für Abwasser von Autobahn-Service-Betrieben (DWA-M 279) eingearbeitet werden und dort die Möglichkeit der dezentralen Behandlung von PWC-Abwässern begründen. Zur weiteren Aufklärung der Abwassersituation sind verkehrswissenschaftliche Untersuchungen zur Standortabhängigkeit von Verkehr und PWC-Anlagennutzung erforderlich. Der Einsatz neuartiger Sanitärsysteme und die Berücksichtigung von ökologischen bzw. wasserwirtschaftlichen Nachhaltigkeitsaspekten können die Anwendung dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen für PWC-Abwässer weiter befördern, bedingen aber auch weiteren Untersuchungsbedarf.

1. Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland wird von einer weiteren Zunahme des Kraftfahrzeugverkehrs auf Bundesautobahnen und Bundesfernstraßen ausgegangen. Beim Neu- und Ausbau von Bundesautobahnen (BAB) sind mit Blick auf die Versorgungsbedürfnisse der Verkehrsteilnehmer und aus Gründen der Verkehrssicherheit in regelmäßigen Abständen Rastanlagen vorzuhalten. Parkplatz-WC-Anlagen (PWC-Anlagen) als unbewirtschaftete Rastanlagen sollen in Abständen von 15-20 km (maximal 25 km) zu anderen bewirtschafteten oder unbewirtschafteten Rastanlagen angeordnet werden. Die Rastanlagen sind wasser-/abwasserseitig vorzugsweise an die örtlichen (zentralen) Ver- und Entsorgungssysteme anzuschließen. Können die Anschlüsse an die zentralen Ver- und Entsorgungssysteme auf Grund zu großer Entfernung oder mangelnder Leistungsfähigkeit der zentralen Ver- und Entsorgungssysteme nicht wirtschaftlich hergestellt werden, müssen Rastanlagen eigene (dezentrale) Ver- oder/und Entsorgungssysteme errichtet und betrieben werden. Dabei müssen diese Ver-/Entsorgungseinrichtungen einen wirtschaftlichen und hinreichend störungsfreien Dauerbetrieb gewährleisten. (vgl. [FGSV 09])

Da sich PWC-Anlagen-Standorte im Wesentlichen aus der Trassenführung der BAB und den Abstandsvorgaben zwischen den Rastanlagen ergeben, wird sich insbesondere in ländlichen Räumen mit ortschaftsfernen Trassenverläufen bzw. großen Entfernungen zu leitungsgebundener Infrastruktur [Lon 10b] immer wieder das Erfordernis der dezentralen Abwasserentsorgung von PWC-Anlagen ergeben. Die Überleitung von PWC-Abwässern über Entfernungen von mehr als 1-3 km oder der Transport der vor Ort in abflusslosen Sammelgruben zwischengespeicherten Abwässer per LKW zur nächsten (zentralen) Abwasserbehandlungsanlage sind erfahrungsgemäß nicht nur unwirtschaftlich, sondern auch mit erhöhten Umweltbeanspruchungen verbunden. Diese sind u. a. die Landschaftsinanspruchnahme für Leitungstrassen, der Energieverbrauch und damit verbundene Emissionen für den Abwassertransport (leitungsgebunden oder per LKW) und Mehrbelastungen punktförmiger Abwassereinleitungen aus zentralen Abwasserbehandlungsanlagen in die aufnehmenden Gewässer. Eine stoffstromorientierte Ressourcennutzung des Abwassers ist bisher überhaupt nicht in die Betrachtungen einbezogen worden.

Die bisher eingesetzten Abwasserbehandlungsanlagen bzw. Abwasserbehandlungsverfahren stammten überwiegend aus der Kleinkläranlagen-Technik, entwickelt für die Behandlung häuslicher oder kommunaler Abwässer bei kleinen Ausbaugrößen (4-50 EW). Diese Abwasserbehandlungsverfahren weisen auf Grund der besonderen Eigenart der PWC-Abwässer (große Schwankungen der Abwassermenge und der Schmutzstofffrachten) häufig eine unzureichende Leistungsfähigkeit hinsichtlich wasserrechtlicher Anforderungen und eine hohe Störanfälligkeit bzw. geringe Betriebssicherheit auf. Selbst naturnahe Abwasserbehandlungsverfahren (Pflanzen- und Teichkläranlagen), die am ehesten für stark schwankende Abwasserbelastungen geeignet erscheinen, zeigten teilweise erhebliche Betriebsprobleme (z. B. [Ku 01]).

Geeignete Planungs- und Bemessungsgrundlagen, üblicherweise zusammengefasst und fortgeschrieben im einschlägigen Technischen Regelwerk (hier z. B. DIN-, ATV-DVWK- bzw. DWA-Regelwerk) waren veraltet [ATV-A 109], existieren nicht oder sind in der Erarbeitung (zwischenzeitlich [ATV-DVWK-M 279 Entw], heute [DWA-A 279]).

Die Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH hatte zum Projektbeginn seit 2001 sieben SUBTERRA-Pflanzenkläranlagen an PWC-Anlagen errichtet und war teilweise in die Planungsphase dieser Anlagen einbezogen. Vor diesem Erfahrungshintergrund waren die Defizite der Planungs- und Bemessungsgrundlagen, der Charakterisierung der typischen Abwassersituation an PWC-Anlagen und der Zusammenfassung von Betriebs- und Erfahrungsergebnissen bekannt. Die Materialforschungs- und -prüfanstalt Weimar war Anfang der 2000-er Jahre mit der Untersuchung meist unzureichend funktionierender Pflanzenkläranlagen an BAB in

Thüringen befasst. Auf dieser Erfahrungsbasis aufbauend sollten die ebenfalls vorliegenden positiven Erfahrungen der dezentralen Behandlung von PWC-Abwässern mit Pflanzenkläranlagen (bewachsenen Bodenfiltern) systematisch zusammengetragen, untersucht und dokumentiert werden.

Im Zuge der Projektbearbeitung rückten weiter Teilprobleme der dezentralen Abwasserbehandlung von PWC-Abwässern in den Fokus. Nach eigenen und Betreiber-Erfahrungen wird die Schwimmschlammdeckenbildung in den Vorkläreinheiten dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen als ungewöhnlich stark und problematisch empfunden. Da der Feststoffrückhalt in den Vorkläreinheiten ausschlaggebend für den langfristig stabilen, kolmationssicheren Betrieb von Bodenfilteranlagen ist, waren aufklärende Untersuchungen angezeigt. Ein weiteres Feld für vertiefende Untersuchungen ergab sich aus der Möglichkeit der Auswertung elektronisch erfasster Nutzungsvorgänge in einzelnen WC-Anlagen, in denen diese Daten längerfristig zwischengespeichert werden.

Ziel des Projektes war zum einen, die spezifische Charakteristik der Abwassersituation an PWC-Anlagen zu erfassen und als Planungsgrundlagen aufzuarbeiten. Zum anderen sollten Bemessungsgrundlagen für Bodenfilter (am Beispiel der SUBTERRA-Pflanzenkläranlagen) ermittelt und Ansätze für die Anpassung der Bodenfiltersysteme an die spezifischen Anforderungen entwickelt und getestet werden. Dazu sollten Empfehlungen zur Planung und zum Betrieb von dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen abgeleitet werden. Die Projektergebnisse sollten dazu beitragen, Pflanzenkläranlagen als eine Möglichkeit der umweltgerechten und betriebssicheren dezentralen Abwasserbehandlung von PWC-Abwässern zu kennzeichnen und weiterzuentwickeln.

Die Untersuchungen zur Schwimmschlammdeckenbildung sollten die Ursachen und Wirkmechanismen für das Entstehen der Schwimmschlammdecke aufklären und feststellen, welche Auswirkungen auf die dezentrale Abwasserbehandlung und die Schlamm Entsorgung damit verbunden sind. Mit der Auswertung der Daten zur Nutzung der Wasser verbrauchenden Aggregate in den WC-Anlagen sollte der zeitliche Anfall des Abwassers detaillierter aufgeklärt und in Bezug zur Nutzungscharakteristik von PWC-Anlagen bewertet werden.

Die Projektbearbeitung sollte phasenweise mit folgenden Schwerpunkten erfolgen. In der ersten Projektphase sollten als Grundlage der Projektbearbeitung Betriebserfahrungen dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen von PWC-Anlagen recherchiert, durch eigene Untersuchungen ergänzt sowie ausgewertet und dokumentiert werden. Dies betraf zum einen die Ermittlung der Abwasserbelastungssituation an PWC-Anlagen und zum anderen die Ermittlung der Leistungsfähigkeit der bisher an PWC-Anlagen zum Einsatz gekommenen Abwasserbehandlungsverfahren. Die JK-PKA GmbH hatte den Schwerpunkt der Untersuchungen auf PWC-Anlagen und Pflanzenkläranlagen an der BAB A20, die MFPA Weimar auf PWC-Anlagen mit Pflanzenkläranlagen in Thüringen gelegt. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen sollten Bemessungsansätze für Bodenfilter abgeleitet werden. In der zweiten Projektphase sollten die Bemessungsansätze an einer Pilotanlage (Bodenfilter) evaluiert werden sowie Zusatzmodule für weitergehende Anforderungen getestet werden.

In einer anschließenden Projektphase sollte die MFPA Weimar in Zusammenarbeit mit der Bauhaus Universität Weimar die Schwimmschlammproblematik der mechanischen Reinigungsstufen (Vorklämung) dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen an PWC-Anlagen aufklären. Dazu waren an zwei Vorkläreinheiten unter realen Betriebsverhältnissen die Bildung der Schwimmschlammdecke zu erfassen und durch umfangreiche Feldmess-, Beprobungs- und Laboranalysetätigkeiten die Ausbildung von Schichtenbildungen und die Wechselwirkungen der Schichten im zeitlichen Verlauf zu ermitteln.

Die JK-PKA GmbH sollte die Nutzungscharakteristika an PWC-Anlagen durch Auswertung vorhandener elektronischer Datenerfassungen für die Haustechnik der WC-Gebäude tiefer

gehend untersuchen. Dazu waren die vorhandenen Daten zu gewinnen bzw. die vorhandenen Datenerfassungs- und -speichermöglichkeiten zu aktivieren. Die gewonnenen Daten waren dann statistisch aufzubereiten und auszuwerten.



Abbildung 1: SUBTERRA-Pflanzenkläranlage (150 m² Beetfläche), Fotovoltaik und Solarthermie (im Hintergrund), PWC „Selliner See Nord/Süd“, BAB A20 (Foto: R. Emmerich, 3.9.2004)

2. Projektergebnisse

Die Darstellung der Projektergebnisse erfolgt kapitelweise nach thematischen Blöcken. Innerhalb der Kapitel werden die Darstellungen unterteilt in Ausführungen zu Material & Methode, Ergebnissen und Diskussion.

2.1 Abwassersituation an PWC-Anlagen

Material & Methode.

Zur Abwassersituation an PWC-Anlagen gab es zu Projektbeginn keine Veröffentlichungen in der Fachliteratur und kaum systematische Erfassungen. Die unterschiedlichen Erfahrungen mit dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen waren zerstreut in verschiedensten Autobahnmeistereien und Landesstraßenbauverwaltungen sowie bei einzelnen Kleinkläranlagen-Herstellern und betreuenden Ingenieurbüros. Wenn Daten zur Abwassersituation vorlagen, dann meist nur Wasserverbrauchsdaten und Ablaufwerte vereinzelter dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen, die im Zuge der Wartung, Eigenüberwachung oder behördlichen Überwachung gewonnen wurden. Generell ist die Abwasserentsorgung von Autobahnnebenbetrieben bei Bau und bei Betrieb der Bundesautobahnen zumeist ein nebensächliches Thema.

Die JK-PKA GmbH hatte im Rahmen ihrer Geschäftstätigkeit zu Projektbeginn 2004 acht SUBTERRA-PKA an BAB-PWC-Anlagen gebaut oder war in die Planung einbezogen. Von weiteren sechs PKA an BAB-PWC-Anlagen (7 in Thüringen, 1 in Brandenburg) hatte sie Kenntnis. Durch Befragung der Landesstraßenbauverwaltungen, der DEGES mbH und von Autobahnmeistereien wurden 12 weitere BAB-PWC-Anlagen mit dezentraler Abwasserbehandlung in den fünf neuen Bundesländern ermittelt.

Während der Projektlaufzeit wurden weitere neun SUBTERRA-PKA an BAB-PWC-Anlagen errichtet und in Betrieb genommen. Eine technische Kleinkläranlage und eine Pflanzenkläranlage wurden in diesem Zeitraum nach Anschluss an die zentrale Abwasserbeseitigung außer Betrieb genommen.

An ausgewählten PWC-Standorten mit dezentraler Abwasserbehandlung wurden der Zulauf zur Abwasserbehandlungsanlage, der Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall und, wenn verfügbar, auch die Verkehrsbelastung sowie Besonderheiten des PWC-Standortes oder der Abwasserbehandlungsanlage sowie deren Reinigungsleistung und spezifische Belastung erfasst, dokumentiert und ausgewertet.

2.1.1. Beschaffenheit des Abwassers

Material & Methode.

Die Auswahl der PWC-Standorte, an denen die Beschaffenheit des Abwassers untersucht wurde, erfolgte so, dass PWC-Standorte an verschiedenen Autobahnen (A4, A13, A15, A20, A24, A71) in unterschiedlichen Bundesländern (Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen, Thüringen) erfasst wurden. Damit sind PWC-Standorte mit verschiedenen Ausstattungsvarianten der WC-Gebäude, Betriebsregimes, Verkehrs- und Nutzungsbelastungen an unterschiedlichen Wochentagen und zu unterschiedlichen Jahreszeiten betrachtet worden. In die Auswertung sind die Parameter CSB, BSB₅, NH₄-N, der pH-Wert, die Leitfähigkeit und das Redoxpotenzial einbezogen worden.

Die Probenahmen der Abwässer erfolgten zumeist in der 1. Kammer des Vorklärsystems oder an vergleichbaren Stellen. Dabei wurden die Proben als Stichprobe bzw. Schöpfprobe aus der Klarwasserzone der sich als Absetzbehälter darstellenden Schachtbauwerke entnommen („Zulaufprobe, abgesetzt“). Eine Beprobung des echten Rohabwassers im Sinne der Erfassung und Homogenisierung der flüssigen und festen Phase des aus den WC-Gebäuden ablaufenden Abwassers war in diesem Projektteil auf Grund der damit erforderlichen hohen Aufwendungen nicht praktikabel bzw. vorgesehen. Die Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit und Redoxpotenzial wurden elektrochemisch vor Ort bestimmt (System Dr. Lange/Hach Lange). Die che-

mische Analyse erfolgte nach Einfrieren und Zwischenlagerung der Proben mit Betriebsmethoden (Küvettentests, System Dr. Lange) oder durch Fremdlabore.

Durch die MFPA wurde auf einer PWC-Anlage (PWC Belvedere Süd) das Rohabwasser untersucht, indem die Probenahme im Zulauf zur Abwasserbehandlungsanlage erfolgte und den gesamten Abwasseranfall (feste und flüssige Phase) von jeweils 15-30 (meist 20-25) WC-Anlagen-Nutzern erfasste ([Kul 08] u. [Lon 10a]).

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Beschaffenheit von PWC-Abwässern sind in Tab. 1 zusammenfassend dargestellt. Eine detailliertere Übersicht der Abwasseruntersuchungen mit Bezug zu den untersuchten PWC-Standorten sind im Anhang 1 aufgeführt. Die Zusammenfassung zu Gruppen erfolgt nach abwassertechnischen Merkmalen wie

- Abwasserzulauf zur Probenahmestelle im freien Gefälle (Gruppe 1),
- Abwasserzulauf mit Schneidradpumpe oder ohne Vorklärung (Gruppe 2) oder
- Rohabwasseruntersuchung (Gruppe 3).

Die Konzentrationen der Inhaltsstoffe von PWC-Abwässern schwanken oft erheblich. Dabei schwankt einerseits die stoffliche Belastung des Abwassers einer PWC-Anlage über die Zeit (vgl. beispielhaft PWC Klockow Ost, Anhang 3). Der CSB schwankt hier um einen Mittelwert von 455 mg/l in einem Bereich von 86-1.344 mg/l (Standardabweichung 329 mg/l).

Andererseits können sich die stofflichen Belastungen verschiedener PWC-Anlagen stark unterscheiden. So liegt die Spannweite aller in die Auswertung einbezogener CSB-Befunde zwischen 22-1.472 mg/l (vgl. Tab. 1).

Die ermittelten Parameter für die PWC-Abwässer der Zwischenauswertung ([Em 08], Anhang 2) und der Gruppe 1 (vgl. Tab. 1) repräsentieren die stoffliche Belastung mit gelösten Abwasserinhaltsstoffen (CSB, BSB₅, NH₄-N, Leitfähigkeit) und die damit einhergehenden Milieubedingungen (pH-Wert, Redoxpotenzial), da sie im Zulaufbereich dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen in der Klarwasserzone (bzw. Trübwasserzone) der Mehrkammergrubensysteme ermittelt wurden.

Die CSB-Werte liegen mit einem Mittelwert von 392 mg/l (Spalte Zwischenauswertung, Tab. 1) in einem Schwankungs-Bereich von 323-501 mg/l (Spalte Gruppe 1, Tab. 1). Die BSB₅-Werte liegen mit einem Mittelwert von 139 mg/l in einem Schwankungs-Bereich von 46-285 mg/l. Die NH₄-N-Werte liegen mit einem Mittelwert von 167 mg/l in einem Schwankungs-Bereich von 143-207 mg/l. Die Werte der elektrischen Leitfähigkeit liegen mit einem Mittelwert von 2,4 mS/cm in einem Schwankungs-Bereich von 2,1-2,5 mS/cm. Die pH-Werte liegen mit einem Mittelwert von 8,6 mg/l in einem Schwankungs-Bereich von 8,3-8,9. Die Werte des Redoxpotenzials liegen mit einem Mittelwert von -185 mV in einem Schwankungs-Bereich von -275 bis -116 mV.

Die stoffliche Belastung der Abwässer der Gruppe 2 liegt (bei geringerem Stichprobenumfang) deutlich höher. Dies ist auf PWC-Anlagen-spezifische Besonderheiten der abwassertechnischen Anlagen zurückzuführen. So wird das WC-Abwasser von PWC „Gr. Lübbenau“ mittels Schneidradpumpe zum Standort der Mehrkammergrube gepumpt. Dabei werden die festen Abwasserinhaltsstoffe zerkleinert, teilweise suspendiert und auch gelöst. Dies korrespondiert mit den deutlich erhöhten CSB- und NH₄-N-Konzentrationen (vgl. Anhang 1 Nr. 10).

Tabelle 1: Beschaffenheit von PWC-Abwässern, zusammenfassende Übersicht der Untersuchungsergebnisse (vgl. Anhang 1)

Parameter		Zwischen- auswertung 2008 [Em 08] (Anhang 2)	PWC- Anlagen Gruppe 1 (n=9) (Anhang 1 Nr. 1-9)	PWC- Anlagen Gruppe 2 (n=4) (Anhang 1 Nr. 10-13)	PWC- Anlagen Gruppe 3 (n=1) (Anhang 1 Nr. 14)	gesamt (Gruppe 1-3)
CSB [mg/l]	Spannweite der Mittelwerte bzw. Mediane	Mittelwert: 392	323 bis 501	683 bis 852	508	323 - 852
	Minimum	86	22	514	149	22
	Maximum	1.344	1.344	1.269	1.472	1.472
	n	59	105	18	39	162
BSB₅ [mg/l]	Spannweite $\bar{X}_{arithm}/\bar{X}_{med}$	Mittelwert: 139	46 bis 285	138 bis 476	320	46 - 476
	Minimum	12	<5	101	65	<5
	Maximum	498	507	620	980	980
	n	51	91	11	39	141
NH₄-N [mg/l]	Spannweite $\bar{X}_{arithm}/\bar{X}_{med}$	Mittelwert: 167	143 bis 207	194 bis 332	(55)	143 - 332
	Minimum	42	5	112	(16)	5
	Maximum	349	349	434	(206)	434
	n	57	102	18	39	159
Leitfähig- keit [mS/cm]	Spannweite $\bar{X}_{arithm}/\bar{X}_{med}$	Mittelwert: 2,4	2,1 bis 2,5	2,4 bis 3,6	-	2,1 - 3,6
	Minimum	0,9	0,9	2,0	-	0,9
	Maximum	4,8	4,8	3,7	-	3,7
	n	66	78	7	-	85
pH-Wert	Spannweite $\bar{X}_{arithm}/\bar{X}_{med}$	Mittelwert: 8,6	8,3 bis 8,9	8,3 bis 9,2	8,7	8,3 - 9,2
	Minimum	7,1	6,9	7,1	8,0	6,9
	Maximum	9,1	9,4	9,5	9,2	9,5
	n	47	80	16	39	135
Redox- potential [mV]	Spannweite $\bar{X}_{arithm}/\bar{X}_{med}$	Mittelwert: -185	-275 bis -116	-237 bis -70	-	-275 - -70
	Minimum	-356	- 348	-336	-	-348
	Maximum	160	0	22	-	22
	n	29	31	7	-	38

- Gruppe 1 (vgl. Anhang 1 Nr. 1-9)

PWC-Anlagen mit dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen und Mehrkammergrubensystemen als Vorklärung, denen das Abwasser im freien Gefälle zufließt.

- Gruppe 2 (vgl. Anhang 1 Nr. 10-13)

PWC-Anlagen mit dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen, bei denen das Rohabwasser

a) ohne Vorklärung in die stark durchmischte biologische Behandlungsstufe (Belüftung) eingeleitet wird (PWC Caputh u. PWC Schwieler See)

b) durch Schneidradpumpen zur Vorklärung gepumpt wird (PWC Gr. Lübbenau)

c) stark aufkonzentriert ist, da die Spülwassermengen für die sanitären Einrichtungen minimiert wurden (PWC Belvedere Nord)

- Gruppe 3 (vgl. Anhang 1 Nr. 14)

Bei den beiden gleichartig ausgestatteten PWC-Anlagen „Schwielowsee“ und „Caputh“ erfolgt der Zulauf der WC-Abwässer direkt in die turbulent durchmischte Einlaufzone der jeweils ohne vorgeschaltete Vorklärung betriebenen Belebungsanlagen. Auch hier werden im Abwasser enthaltene Feststoffe durch hydromechanische Einwirkung suspendiert. Dies korrespondiert ebenfalls mit erhöhten CSB- und $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen (vgl. Anhang 1 Nr. 11-12). Bei der PWC-Anlage „Belvedere Nord“ hingegen haben die im Vergleich zur gleichartig ausgestatteten PWC-Anlage „Belvedere Süd“ betreiberseitig minimierten Spülwassermengen der sanitären Einrichtungen (nach Abschätzungen von [Lon 09] auf PWC „Belvedere Nord“, nur 66,7 % des benutzerspezifischen Wasserverbrauches im Vergleich zu PWC „Belvedere Süd“) eine verringerte Verdünnung bzw. erhöhte Konzentration der Schmutzstoffe (CSB, BSB_5 , $\text{NH}_4\text{-N}$) im Abwasser zur Folge.

Die Untersuchungen des Rohabwassers (Gruppe 3, Tab. 1), bei der flüssige und feste Phase des Abwassers zusammen erfasst und für die Analyse homogenisiert wurden, weisen die höchsten Konzentrationen beim BSB_5 auf. Die CSB-Konzentration liegt im Mittel zwischen den Werten der Gruppe 1 und 3, jedoch werden durch die Rohabwasseruntersuchung die höchsten Maximal-Konzentrationen hervorgebracht. Die geringen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Werte bei der Rohabwasseruntersuchung werden darauf zurückgeführt, dass die Hydrolyse des mit dem Urin eingetragenen Harnstoffs auf Grund der geringen Fließzeit bis zur Probenahme und umgehend vorgenommenen Analyse noch nicht fortgeschritten war.

Diskussion

Das Abwasser von PWC-Anlagen ist seiner Herkunft nach mit häuslichem Abwasser vergleichbar, da es sich im Wesentlichen aus den auch in privaten Haushalten anfallenden Teilströmen Braunwasser (Spülwasser-Fäzes-Gemisch), Gelbwasser (Spülwasser-Urin-Gemisch) und Grauwasser (hier: Reinigungsabwasser) zusammensetzt. Allerdings unterscheiden sich die Anteile der Teilströme und damit auch die Zusammensetzung der Abwasserinhaltsstoffe gegenüber häuslichem Abwasser. Die Grauwasseranteile sind bei PWC-Abwässern deutlich geringer, die Gelbwasseranteile mit den aus dem Urin stammenden Stickstoffeinträgen deutlich höher.

In Tab. 2 sind die für PWC-Abwässer ermittelten Konzentrationen relevanter Abwasserinhaltsstoffe denen typischer häuslicher bzw. kommunaler Abwässer gegenübergestellt.

Die in der Zwischenauswertung festgestellten mittleren CSB- und BSB_5 -Konzentrationen ($n=51..59$, vgl. Anhang 2) liegen bei etwa der Hälfte der Konzentrationen, die aus den Angaben für häusliches bzw. kommunales Abwasser errechnet werden können. Die relativ ausreißerunempfindliche Mittelwertbildung repräsentiert hier aber nicht die für Bemessungsfragen relevante organische Abwasserbelastung der PWC-Abwässer. Die Spannweite der Mittelwerte (arithmetisches Mittel und Median-Werte) mehrerer PWC-Anlagen verdeutlicht bereits die große Schwankungsbreite der angetroffenen organischen Abwasserbelastung. Werden jedoch die 85 %-Perzentilwerte größerer Stichprobenumfänge betrachtet (Tab. 2, Untersuchungen der MFPA) und hier beispielsweise mit den ebenfalls aus 85 %-Perzentilwerten von einwohnerspezifischen Frachten abgeleiteten Konzentrationen für häusliches/kommunales Abwasser verglichen (vgl. [DWA-A 262]), so liegen die CSB- und BSB_5 -Werte der Zulaufproben (abgesetzt) in einer vergleichbaren Größenordnung bzw. übersteigen diese Vergleichswerte bei der Rohabwasseruntersuchung geringfügig.

Die Stickstoff-Konzentrationen von PWC-Abwässern sind im Vergleich zum häuslichen/kommunalen um den Faktor 5-7 höher. Das für den mikrobiologischen Stoffwechsel bei der biologischen Abwasserbehandlung charakteristische C/N/P-Verhältnis wird hier als $\text{BSB}_5/\text{TKN}/\text{P}$ -Verhältnis dargestellt (vgl. Tab. 2). Dabei wird deutlich, dass insbesondere das C/N- bzw. BSB_5/TKN -Verhältnis bei den PWC-Abwässern bei 1:0,85-0,94, also nahe 1:1 liegt und damit der Stickstoff-Anteil im Vergleich zu häuslichem/kommunalem Abwasser um den Faktor 4-5 erhöht ist.

Tabelle 2: Vergleich der Abwasserbelastung von PWC-Abwässern und häuslichen bzw. kommunalen Abwässern

Daten-Quelle	Projektergebnis (Zwischenauswertung 2008) [Em 08] ¹⁾	Projektergebnis gesamt ²⁾	MFPA berechnet nach [Lon 10a] ³⁾	MFPA Rohabwas- ser, berechnet nach [Lon 10a] ⁴⁾	BUW [Har 08]	Zulauf kommunale ABA nach [ATV- DVWK-A 131] aus [Har 08]	häusliches/kommu- nales Rohabwasser nach [DWA-A 262] (berechnet)
	Zulaufprobe, abgesetzt			Rohab- wasser		Rohabwasser	
Parameter	Mittelwert, Median		85 % Perzentil				85 % Perzentil
	[mg/l]						
CSB	392	323-852	684	974	800	600	800
BSB₅	139	46-476	436	526	500	300	400
N						67	
als TKN			369	504	450		73,3
(als NH ₄ -N)	(167)	(143-332)					
P			16,1		13	11	12
Feststoffe							
als TS							467
als AFS			(158)	276			
BSB₅/TKN/P- Verhältnis			27/23/1	33/31/1 ⁵⁾	38/35/1	27/6/1	33/6/1

- 1) Mittelwerte mehrerer Stichproben und PWC-Anlagen
- 2) Spannweite der Mittelwerte und Mediane mehrerer PWC-Anlagen, vgl. Tab. 1
- 3) Mittelwert (gewichtet) aus 85 %-Perzentilwerten von drei PWC-Anlagen
- 4) Mittelwert (gewichtet) aus 85 %-Perzentilwerten der beiden Untersuchungsjahre 2007/2008 PWC Belvedere Süd
- 5) Annahme: P=16,1 mg/l

Gegenüber dem für die biologische Abwasserbehandlung als günstig erachteten BSB₅/N/P-Verhältnis von 100/4-5/1 [ATV-A 131] sind die Verhältnisse bei PWC-Abwässern erheblich in einen ungünstigen Bereich mit deutlichem Stickstoff-Überschuss verschoben. Die Feststoff-Konzentrationen der PWC-Abwässer sind dagegen geringer als bei den häuslichen/kommunalen Abwässern.

Die im Vergleich zum häuslichen/kommunalen Abwasser hohen Stickstoff-Gehalte und die geringeren Feststoff-Gehalte sind auf die verstärkt „urinale Nutzung“ der Parkplatz-WC-Anlagen mit hohen Urin-Einträgen und geringen Feststoff-Einträgen (geringe Anteile an Fäzes) zurückzuführen.

Die Leitfähigkeits-Werte von PWC-Abwässern sind gegenüber häuslichem bzw. kommunalem Abwasser um den Faktor 2,5-5 erhöht. Kommunales Abwasser weist in der Regel Leitfähigkeits-Werte von 0,5-1,0 mS/cm auf [Im 07]. In PWC-Abwässern wurden Leitfähigkeits-Werte von 2,1-2,5 mS/cm festgestellt.

2.1.2. Abwasseranfall

Material & Methode.

Der Abwasseranfall kann auf PWC-Anlagen aus dem Wasserverbrauch ermittelt werden. Da die PWC-Anlagen allgemein Trennkanalisation mit kurzen Abwasserleitungslängen, die untersuchten Anlagen insbesondere relativ neue Abwasserleitungen aufweisen, kann Fremdwasserzufluss vernachlässigt werden. Die Abwassermenge ergibt sich damit aus dem Trink-/Frischwasserverbrauch zuzüglich der insbesondere mit dem Urin eingetragenen Flüssigkeitsmengen.

Im Folgenden werden die Wasserverbräuche als Maß für den Abwasseranfall betrachtet. Die Untersuchungen zur Menge und zum zeitlichen Verlauf des Abwasseranfalls hat das Vorhandensein einer messtechnischen Erfassungseinheit (Wasseruhr) in den WC-Gebäuden der Parkplatz-Anlage sowie die Erfassung und Dokumentation der Daten zur Voraussetzung. Die ausgewerteten Wasserverbrauchsdaten(reihen) beruhen auf täglichen Wasserverbrauchsablesungen durch das Wartungspersonal der Autobahnmeistereien bzw. beauftragter Fremdunternehmen oder sind in der Gebäudeleittechnik (GLT) der WC-Gebäude als tägliche Wasserverbräuche erfasst und gespeichert worden.

Bei der statistischen Auswertung der Datenreihen ist der Erfassungs- oder besser Ablesezeitpunkt zu beachten, da beispielsweise morgens gegen 7 Uhr erfolgende Ablesungen weitgehend den Wasserverbrauch des Vortages abbilden. Bei einem Ablesezeitpunkt um die Tagesmitte könnten die erfassten Wasserverbräuche auch jeweils hälftig dem Vortag und dem aktuellen Tag zugeordnet werden. Bei der Betrachtung von Monats- oder Jahresganglinien des Wasserverbrauches oder der Ermittlung von Spitzenbelastungswerten (85 %-Perzentil, Maximum-Wert) ist die Wochentags-konkrete Zuordnung der Wasserverbräuche weniger wichtig.

Um den Zusammenhang von Wasserverbrauch, Nutzung der PWC-Anlagen und Verkehrsbelastung zu klären, wurden mit Unterstützung der Landesstraßenbauverwaltungen von Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Thüringen sowohl die Wasserverbrauchserfassungen bestimmter PWC-Standorte als auch die Verkehrsstärkeermittlungen der Dauerzählstellen der zugehörigen BAB-Abschnitte beschafft und ausgewertet.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Ganglinien, die den Tages-, Wochen-, Halbjahres- oder Jahresverlauf umfassen und teilweise Wasserverbrauchs- und Verkehrsstärke-Daten enthalten, um so gegebenenfalls erkennbare Verlaufsmuster und Abhängigkeiten zu erkennen bzw. darzustellen.

Werden die ermittelten Wasserverbrauchs-Daten eines Untersuchungszeitraumes auf die entsprechenden Verkehrsstärke-Werte bezogen, so ergibt sich der Parameter „spezifische Wasserverbrauch“ bzw. „verkehrsspezifischer Wasserverbrauch“ (Einheit z. B. l/1.000 Kfz oder m³/10.000 Kfz). Es wird geprüft, ob sich mit dem spezifischen Wasserverbrauch charakteristische Merkmale des Wasserverbrauches bzw. Abwasseranfalls an PWC-Anlagen erkennen lassen.

Ergebnisse

Tagesgang. In Abb. 2 sind die Tagesganglinien des Wasserverbrauches der PWC-Anlage „Selliner See“ als Mittelwerte aller Tagesverbräuche der Jahre 2004 und 2005 dargestellt. Die Benutzung der WC-Anlage mit daraus resultierenden Wasserverbräuchen setzt gegen 6 Uhr ein, steigt dann stetig bis zum Maximum zur Tagesmitte (11–12 Uhr) an und sinkt bis ca. 22 Uhr auf eine geringfügige nächtliche Grundbelastung ab, wobei der Wasserverbrauch von 16-19 Uhr zeitweilig bei (hier ca. 50 % des Tagesmaximums) stagniert. Die Tagesganglinien gleichen sich in ihrem Verlauf unabhängig von den Wochentagen und der Jahreszeit, lediglich die absoluten Verbräuche differieren [Hin 06].

Wochengang. In Abb. 3 sind beispielhaft zusammengefasste (gemittelte) Wochenganglinien des Wasserverbrauches in „normalen“ Wochen (ohne Feiertags- und Ferienverkehre) von zwei

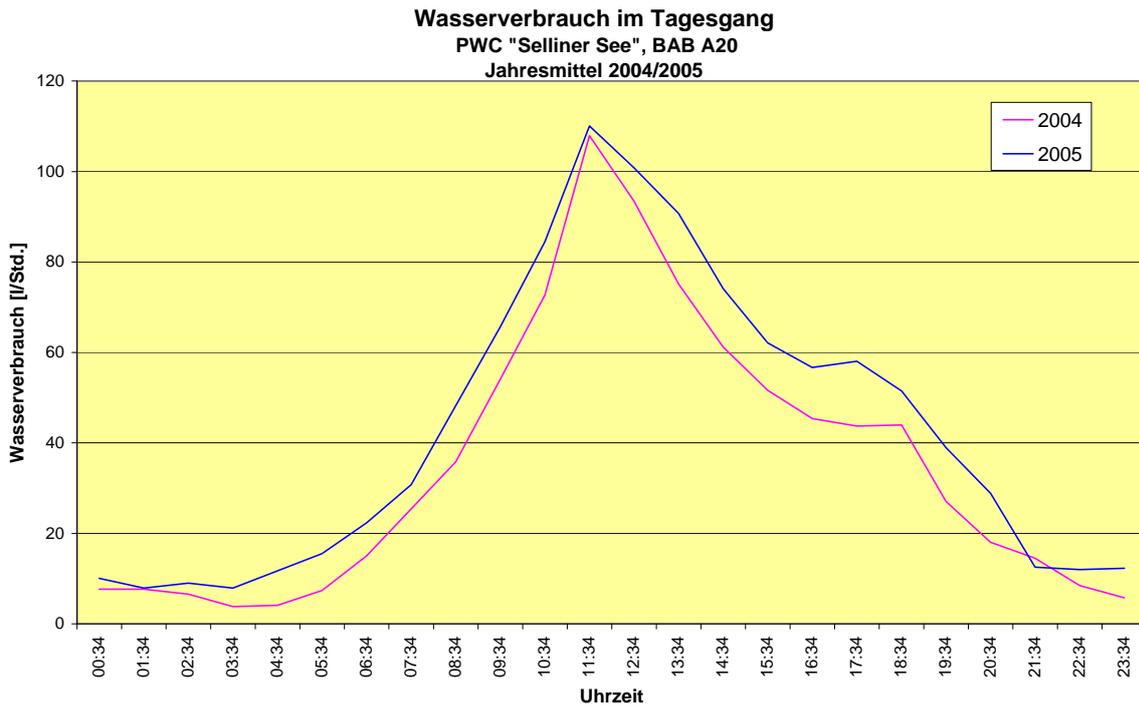


Abbildung 2: Wasserverbrauch, Tagesganglinie (Jahresmittelwerte 2004/2005), PWC „Selliner See“, BAB A20 [Hin 06]

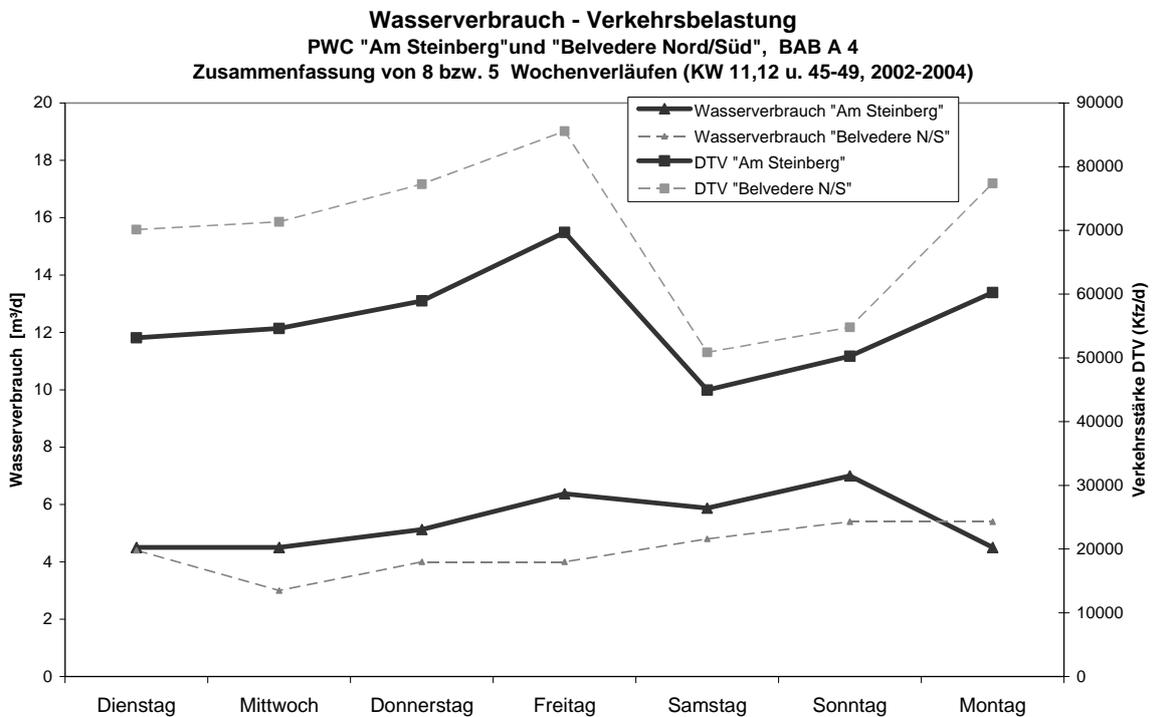


Abbildung 3: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, ausgewählte Wochenganglinien (März/ November), gemittelt, PWC „Am Steinberg“ und PWC „Belvedere Nord/Süd“, BAB A4, nach [Hin 06]

PWC-Standorten („Am Steinberg“, „Belvedere Nord/Süd“) den im jeweiligen Autobahnabschnitt ermittelten Wochenganglinien der Verkehrsstärke gegenübergestellt. Weitere Wochenganglinien sind im Anhang 4 dargestellt. Die Verkehrsbelastung tritt hier im Wochenverlauf eingipfelig mit einem Maximum am Freitag (PWC „Am Steinberg“ u. PWC „Ravensmühle“) oder zweigipfelig mit zwei Maxima am Freitag und Sonntag/Montag (PWC „Belvedere Nord/Süd“ u. PWC „Selliner See“) auf. Die Wasserverbrauchswerte erreichen ihre Maximalwerte über die Wochenenden, häufig mit Maxima am Freitag und Sonntag (PWC's „Am Steinberg“, „Ravensmühle“ u. „Selliner See“). Der Wasserverbrauch am dazwischen liegenden Sonnabend fällt leicht unter die Maximalwerte, liegt im Mittel aber über den Werten der Werkstage Montag bis Donnerstag. Bei PWC „Belvedere Nord/Süd“ fallen die Maximalwerte der Woche ebenfalls in den (verlängerten) Wochenendzeitraum Freitag bis Montag mit einem eingipfiligen Maximum am Montag. Wochenverläufe mit Feiertagen oder Ferienbeginn/Ferienende weichen vom Wochengang „normaler“ Wochen ab.

Wochengang und spezifischer Wasserverbrauch. In Abb. 4 sind spezifische Wasserverbräuche verschiedener PWC-Standorte und z. T. mehrerer Jahre im Wochenverlauf aufgetragen. Danach steigt der spezifische Wasserverbrauch teilweise freitags beginnend zu den Wochenendtagen Sonnabend und Sonntag auf ca. 150-200 % gegenüber den Werktagswerten an. Dieser Anstieg ist in seinem Verlauf charakteristisch und unabhängig vom PWC-Standort (hier mit Standorten in Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Thüringen).

Wochengang in Feiertagswochen. Abb. 5 zeigt den Verlauf von Wasserverbrauch und Verkehrsstärke über die Osterfeiertage bei PWC „Am Steinberg“ in zwei Kalenderjahren. Die Verläufe sind weitgehend ähnlich. Bei Feiertagen mit vor- und nachgelagerten (Ferien-)Reisetagen korrespondieren Verkehrsstärke und Wasserverbrauch in engem Maße. Maxima und Minima beider Parameter fallen jeweils zusammen. Dieses Bild zeigt sich auch bei anderen PWC-Standorten (vgl. Anhang 5). Bei den Ganglinien für die PWC-Anlage „Ravensmühle“ (Anhang 5, Abb. 5-2) wird der enge Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Wasserverbrauch deutlich illustriert, da hier die Verkehrsstärken der beiden Fahrtrichtungen zeitlich verschoben verlaufen und die Wasserverbräuche auf beiden Seiten der doppelseitigen PWC-Anlage ebenso zeitlich verschoben folgen.

Jahresgang. Abb. 6 und Anhang 6a sowie Anhang 6b zeigen Jahresganglinien von Wasserverbrauch und Verkehrsstärke an zwei PWC-Standorten jeweils an der BAB A4 und an der BAB A20. Die Schwankungen von Verkehrsaufkommen und resultierendem Wasserverbrauch insbesondere im Wechsel von Wochenende und Woche bringen einen oszillierenden Verlauf dieser beiden Parameter hervor. Durch die Glättung der Ganglinien (hier mittels gleitendem Mittelwert, $n=7$) wird der wöchentlich-periodische Kurvenverlauf vergleichmäßigt, so dass saisonale Belastungsschwankungen und Extrembelastungen deutlicher erkennbar werden. Allerdings werden Extrembelastungen zeitlich leicht verschoben wiedergegeben. Übereinstimmend ist (in Abb. 6 und Anhang 6a/b) erkennbar, dass in den Monaten November bis März die Verkehrsbelastung und der Wasserverbrauch überwiegend unterdurchschnittlich verlaufen. Mit der ersten großen Reisewelle des Jahres in den Ostertagen bzw. in den Osterferien steigen Verkehrsstärke und Wasserverbrauch steil an und gehen danach nicht mehr auf das Ausgangsniveau zurück. Weitere Spitzenbelastungsereignisse zu den Feiertagen/Ferien um Himmelfahrt und Pfingsten erzeugen auch in den geglätteten Ganglinien Peaks und sind mit absoluten Maximum-Werten des Wasserverbrauches verbunden. In der Sommerferienzeit (Juli-August) ist ein dauerhaft hohes Niveau der Verkehrsstärke und des Wasserverbrauches zu verzeichnen, das durch weitere Extrembelastungen an Ferienwochenenden und zu Ferienbeginn/Ferienende des betroffenen Bundeslandes oder/und benachbarter Bundesländer gekennzeichnet ist. In diesem Zeitraum ist die überwiegende Zahl der Tageswasserverbräuche überdurchschnittlich bzw. kommt der größte Teil der Überschreitungen des 85 %-Perzentilwertes zustande (vgl. Abb. 6 und Anhang 6b).

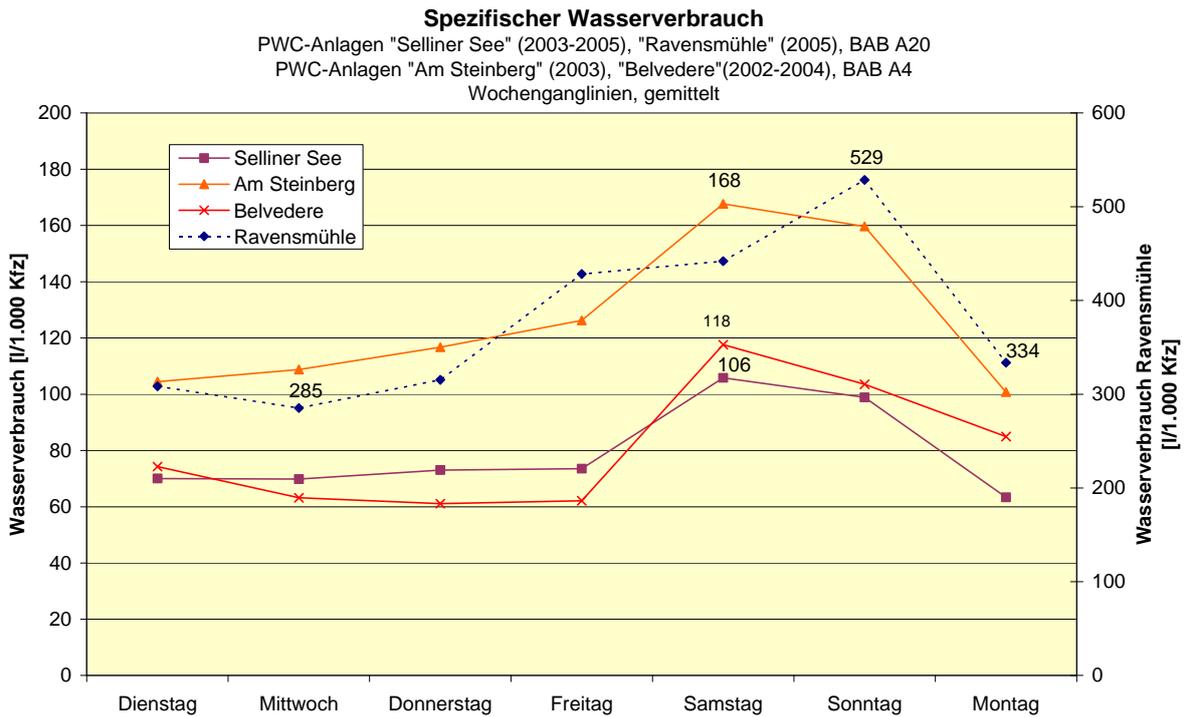


Abbildung 4: Spezifischer Wasserverbrauch, verschiedene PWC-Standorte, Wochenganglinien (gemittelt), aus [Hin 06] zit. in [Em 08]

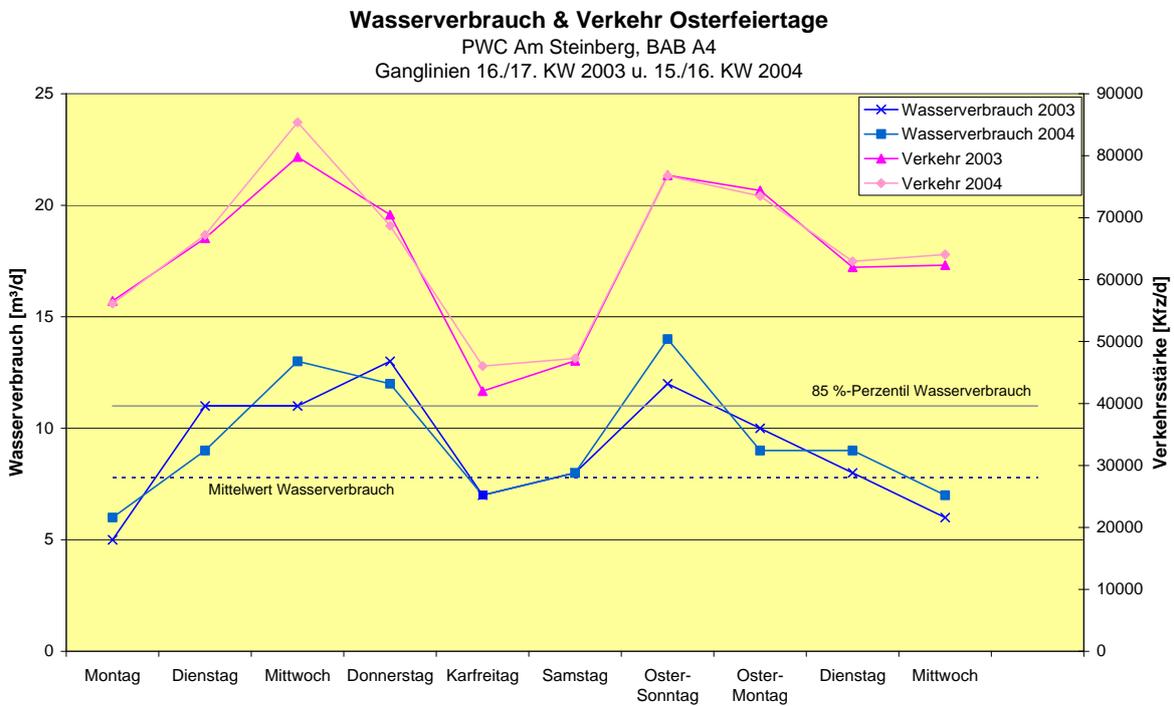


Abbildung 5: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, Ganglinien Osterfeiertage 2003/2004, PWC „Am Steinberg“, BAB A4, nach [Hin 06]

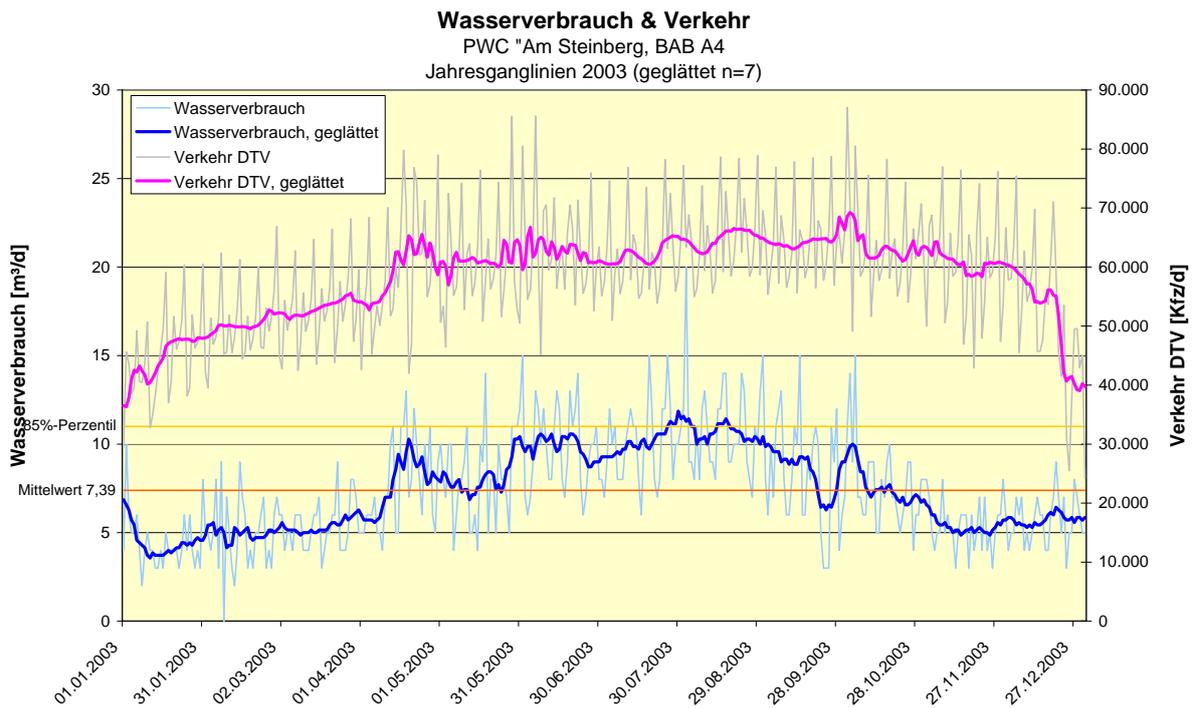


Abbildung 6: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, Jahresganglinien 2003 (ungeglättet und geglättet), PWC „Am Steinberg“, BAB A4

Diskussion

Vor dem Hintergrund der Ableitung von Bemessungsansätzen für geeignete Abwasserbehandlungsverfahren sind erfasste Wochen-, Monats- und Jahresverbrauchswerte und die daraus berechenbaren mittleren täglichen Verbrauchswerte weniger geeignet als durchgängige Jahresreihen täglich erfasster Wasserverbräuche.

Tagesgang. Die über einen großen Stichprobenumfang gemittelten Tagesganglinien des Wasserverbrauches von PWC „Selliner See“ (vgl. Abb. 2) decken sich weitgehend in ihrem Verlauf mit den Ganglinien der Besucherzahlen, wie sie für jeweils drei Tage auf PWC „Belvedere Nord“ und PWC „Klockow Ost“ ermittelt wurden [Lon 10b]. Die Tagesganglinien verdeutlichen, dass der überwiegende Teil des Wasserverbrauches bzw. des Abwasseranfalls in der „Tages“-Hälfte (ca. 6-19 Uhr) realisiert wird. Für dezentrale Abwasserbehandlungsanlagen bedeutet dies, dass Einrichtungen zur Abwasserzwischenspeicherung vorgesehen werden müssen.

Wochengang. Auch wenn die Wasserverbräuche und damit die Abwasseranfalle grundsätzlich mit der Verkehrsbelastung korrespondieren (vgl. Abschnitt Jahresgang), zeigt eine genauere Betrachtung der Ganglinien an den Wochenenden ein differenzierteres Bild. Obwohl die Verkehrsstärken nach dem Maximum am Freitag zum Teil erheblich absinken, vermindern sich die absoluten Wasserverbräuche nicht proportional oder steigen noch an (vgl. Abb. 3 und Anhang 4, Abb. 4-1).

Belastungsspitzen von Wochenend- und Feiertagsverkehren können bei dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen durch großzügiger ausgelegte Pufferbehälter teilweise für die Behandlung in belastungsschwächeren Zeiten zwischengespeichert werden.

Spezifischer Wasserverbrauch. Als Ursache der Änderung des spezifischen Wasserverbrauches an Wochenend- und Feiertagen wird hier erfahrungsbasiert eine qualitative Änderung der Verkehrsbelastung angesehen. Höhere spezifische Wasserverbräuche korrespondieren mit der

Zunahme des Anteils von PKW- bzw. motorisierten Individualverkehr (MIV) bei weitgehendem Wegfall von Dienstreise-, Geschäfts- und LKW-Verkehren. Mit dem höheren Anteil an MIV bzw. PKW-Verkehren nimmt die Anzahl der WC-Anlagen-Nutzer pro Kfz zu [vgl. auch Lon 10b]. Weiterhin steigt an Wochenend- und Feiertagen der Anteil der Frauen an der Zahl der WC-Anlagen-Nutzungen (vgl. Anhang 15 und 16). Dabei ist der nutzerspezifische Wasserverbrauch (vgl. [Lon 10b]) bei weiblichen Nutzern durch die ausschließliche Nutzung spülwasserintensiverer WC's höher als derjenige bei den Herren-WC-Anlagen, bei denen überwiegend Urinale mit geringerem Spülwasserverbrauch genutzt werden. Verläuft die Änderung des verkehrsspezifischen Wasserverbrauchs bei den verschiedenen PWC-Anlagen augenscheinlich in vergleichbarer Weise, so können die absoluten Beträge des spezifischen Wasserverbrauchs doch erheblich differieren (vgl. Abb. 4).

Jahresgang. Die saisonalen Schwankungen der Verkehrsstärke und des Wasserverbrauches mit dem Maximum in der Sommerferienzeit (Juli/August) sowie die Spitzenbelastungen zu den Feiertagen Ostern, Himmelfahrt, Pfingsten und dem Tag der Deutschen Einheit (insbesondere wenn dieser mit einem Brückentag zu einem verlängerten Wochenende kombinierbar ist) sind maßgeblich für Bemessungsansätze von dezentralen ABA für PWC-Abwässer. Deutlich wird aber auch, dass diese dezentralen ABA die auch in Spitzenbelastungszeiträumen weiterhin im Wochen-/Wochenendzyklus auftretenden Belastungsschwankungen sowie die mehrmonatige verhältnismäßige Unterlastperiode im Winterhalbjahr abpuffern können müssen. Grundsätzliche Untersuchungen zu Belastungsannahmen (wie z. B. bei [Lon 10b] überwiegend geschehen) oder standortkonkrete Belastungsermittlungen müssen die Belastungssituation im Sommerhalbjahr und, wenn möglich, in Feiertags- und Ferienperioden berücksichtigen. In Anhang 7a-c wird die Auswertung mehrjähriger Jahresreihen von täglichen Wasserverbrauchserfassungen der PWC-Anlagen „Belvedere Nord/Süd“ beispielhaft dokumentiert (vgl. [Em 10] und auch Abb. 7).

Servicenachweis Reinigung PWC-Anlagen			Putzteufel GmbH european facility management Am Turmplatz 5 98574 Schmalkalden			
Monat:		Jahr:		2007		
Objekt: PWC Belvedere Süd						
Datum	Reinigungszeitraum von	bis	Bemerkung	Zählerstand Wasseruhr	Unterschrift Reinigungspersonal	Unterschrift Kontrolleur
8.12	8 ²⁵	8 ⁵⁰		3422	<i>P. Scholz</i> W. M. M. H.	<i>[Signature]</i>
9.12	8 ²⁵	8 ⁵⁰		3424	<i>P. Scholz</i> W. M. M. H.	<i>[Signature]</i>
10.12	8 ³⁵	8 ⁵⁰		3426	<i>P. Scholz</i> W. M. M. H.	<i>[Signature]</i> 8 ⁰⁰
11.12	8 ²⁵	8 ⁵⁰		3427	<i>P. Scholz</i> W. M. M. H.	<i>[Signature]</i> 10 ⁰⁰
12.12	8 ⁴⁰	9 ⁰⁵		3429	<i>[Signature]</i> W. M. M. H.	<i>[Signature]</i> 7 ³⁰

Abbildung 7: Wasserverbrauchserfassung im Rahmen des Servicenachweises, 50. KW 2007, PWC „Belvedere Süd, BAB A4 (Foto: R. Emmerich, 12.12.2007)

2.2 Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen mit dezentralen Kläranlagen

Material & Methode

Zur Erfassung der Situation zur Behandlung von PWC-Abwässern in dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen wurden drei Pfade beschritten. Die JK-PKA GmbH ist vor und während der Projektphase 1 durch ihre Geschäftstätigkeit im Segment PKA/Bodenfilter für BAB-PWC-Anlagen in die Planung, den Bau oder den Service (Wartung) von 20 dezentralen ABA (davon 19 Subterra-PKA) eingebunden gewesen und konnte die damit verbundenen Erfahrungen und Kenntnisse in die Projektbearbeitung einbringen. Die MFPA war bereits vor Projektbeginn gutachterlich für die Thüringer Landesstraßenbauverwaltung für ABA an PWC-Anlagen tätig und hat in enger Abstimmung mit dem Thüringer Landesamt für Straßenbau (TLSB) bzw. Thüringer Landesamt für Bau und Verkehr (TLBV) vier Pflanzenkläranlagen an Thüringer PWC-Anlagen untersucht. Darüber hinaus hat die JK-PKA GmbH in Zusammenarbeit mit den Landesstraßenbauverwaltungen Brandenburgs, Mecklenburg-Vorpommerns, Sachsens und Thüringens weitere dezentrale ABA recherchiert und ausgewählte Anlagen in die Untersuchungen einbezogen.

Zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit verschiedener verfahrenstechnischer Kläranlagentypen wurden insbesondere die Ablaufwerte ausgewählter dezentraler ABA recherchiert oder selbst untersucht und (vorerst) unabhängig vom Belastungshintergrund und Anlagenbesonderheiten zusammengestellt (vgl. Tab. 3). Dabei werden dezentrale ABA mit dauerhafter oder erheblicher Überschreitung der allgemeinen wasserrechtlichen Anforderungen abstimmungsgemäß anonymisiert dargestellt.

Bei den in die Auswertung einbezogenen Abwasseruntersuchungen erfolgte die Probenahme durch JK-PKA GmbH, die Analyse z. T. durch JK-PKA GmbH (mit Betriebsmethoden: Küvettentests, System Dr. Lange) und z. T. durch qualifizierte Fremdlabore. Es wurden auch Abwasseruntersuchungen aus der Eigenkontrolle und wasserbehördlichen Fremdüberwachung in die Auswertung einbezogen. Die MFPA hat die Probenahme selbst vorgenommen und die Analysen im eigenen Labor (überwiegend nach DIN-DEV-Verfahren) durchgeführt.

Ergebnisse

In Projektphase 1 wurden in Kooperation mit den Landesstraßenbauverwaltungen der fünf neuen Bundesländer und der DEGES mbH 35 dezentrale Abwasserbehandlungsanlagen an PWC-Anlagen ermittelt. Nach verfahrenstechnischen Merkmalen können diese in 26 naturnahe ABA (Anteil 74 %, 2 Teichkläranlagen, 23 PKA/Bodenfilter (69 %), darunter 19 SUBTERRA-PKA (54 %)) und 9 kleintechnische ABA (u. a. 1 Tropfkörper, 2 Belebungsanlagen, 1 Rotationstauchkörper) unterschieden werden (vgl. auch Anhang 8, Abb. 8-1/2).

In Tab. 3 sind die im Rahmen dieses Projektes ermittelten Ablaufwerte der ausgewählten dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen überblicksweise zusammengestellt.

Bei den (mit geringen Stichprobenumfängen) untersuchten kleintechnischen ABA ist die Tropfkörper-Anlage in der Lage, die allgemeinen Anforderungen (150 mg/l CSB, 40 mg/l BSB₅) einzuhalten (Tab. 3 Nr. 8). Die beiden Belebungsanlagen waren nicht in der Lage, das Abwasser anforderungsgemäß zu behandeln (vgl. Tab. 3 Nr. 6/7). Weitere kleintechnische ABA wurden im Projektzeitraum außer Betrieb genommen (z. B. PWC Ohorn, PWC Schmirra, vgl. Anhang 8).

Bei den naturnahen Teichkläranlagen wurde bei einer Anlage (PWC „Putlitz“, Tab. 3 Nr. 4) die Einhaltung und bei einer weiteren Anlage (Tab. 3 Nr. 5) eine stetige Überschreitung der Anforderungen festgestellt.

Von den in Tab. 3 aufgeführten 10 Pflanzenkläranlagen sind 8 Subterra-Pflanzenkläranlagen und 2 Bodenfiltersysteme mit oberirdischer Beschickung. Vier dieser Pflanzenkläranlagen sind mit (Teil-)Rezirkulation ausgestattet. Von den untersuchten Pflanzenkläranlagen kam es bei einer PKA mehrfach zur Überschreitung der Anforderungen (Tab. Nr. 12). Die Untersu-

Tabelle 3: Ablaufwerte ausgewählter dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen an PWC-Anlagen

lfd. Nr.	Kläranlagen-Typ PWC-Standort, BAB Untersuchungs- zeitraum	CSB [mg/l]			BSB ₅ [mg/l]			NH ₄ -N [mg/l]		
		Bereich	\bar{X}	n	Bereich	\bar{X}	n	Bereich	\bar{X}	n
1	Subterra-PKA PWC „Selliner See“ BAB A20 (2004-2007)	28,0 116,0	62,1	26	< 3,0 29,0	8,9	25	27,3 145,0	97,6	21
2	Subterra-PKA PWC „Klockow Ost“ BAB A20 (2004-2008)	26,0 214,0 ¹⁾	69,0	30	< 3,0 16,0	7,4	28	13,0 139,0	91,7	19
3	Subterra-PKA PWC „Klockow West“ BAB A20 (2004-2008)	23,0 141,0	75,8	31	< 3,0 54,0	10,7	30	7,9 180,0	64,1	20
4	Teich-Kläranlage PWC „Putlitz“ BAB A24 (2005-2008)	18,6 166,0 ¹⁾	89,2	18	<3 43,0	16,2	14	36,5 81,2	58,9	2
5	Teich-Kläranlage (2005-2007)	210,5 581,0	312,4	6	12,0 309,0	79,6	6	72,7 212,0	125,7	6
6	Belebungsanlage (2007-2008)	297 682	440,3	3	-	-	-	103,2 198,0	139,7	3
7	Belebungsanlage (2007-2008)	86,2 871	449,0	3	-	-	-	118,2 279,2	201,8	3
8	Tropfkörper-Anlage PWC „Kittlitz“ BAB A13 (2005-2008)	47,6 196,0 ¹⁾	93,1	11	3,0 25,0	9,3	9	22,5 109,0	69,1	11
9	Subterra-PKA PWC „Am Steinberg“ BAB A4 (2002-2008)	9,0 136,0	68,7	48	3,0 60,0 ²⁾	9,7	48	0,1 280,0	147,7	39
10	Subterra-PKA PWC „Trebeltal Nord“ BAB A20 (2006-2010)	20 111	47,9	13	3 11	5,8	13	-	-	-
11	Subterra-PKA PWC „Trebeltal Süd“ BAB A20 (2009-2010)	24 39	29,2	5	3 8	4,4	5	-	-	-
MFPA nach [Kul 05] und [Lon 10a]			Me- dian			Me- dian			Me- dian	
12	PKA/Bodenfilter (2005-2006)	77 496	151	10	10 281	42	10	112 234	156	10
13	PKA/Bodenfilter PWC „Dornheim“ BAB A71 (2005-2006)	28 112	70	12	1 14	3	12	18 37	29	12
14	Subterra-PKA PWC „Dolmar“ BAB A71 (2005-2006)	59 133	99	13	5 24	8	12	29 96	52	13
15 15a	Subterra-PKA PWC „Belvedere Süd“ BAB A4 (2007)	<15 73	<15	32	<3 9	4	31	0,4 6,0	2,1	32
15b	- „ - (2008)	<15 45	16	25	<3 10	4	25	1,3 73	6,5	25

¹⁾ einmalige Überschreitung des Überwachungswertes 150 mg CSB/l

²⁾ einmalige Überschreitung des Überwachungswertes 40 mg BSB₅/l

chungsergebnisse zu den anderen Pflanzenkläranlagen (Tab. 3 Nr. 1-3, 9-11, 13-15) zeigen, dass die Anforderungen an die Kohlenstoffelimination bis auf Einzelbefunde stabil eingehalten und z. T. erheblich unterschritten wurden. Eine weitergehende Nitrifikation konnte nur bei ABA mit Rezirkulation festgestellt werden.

Diskussion

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass mit bewachsenen Bodenfiltern zur Behandlung von PWC-Abwässern grundsätzlich die allgemeinen Anforderungen an die Abwasserbehandlung gemäß AbwV, Anhang 1, Größenklasse 1 (oder ggf. auch Größenklasse 2) eingehalten werden können [AbwV 97]. Der Fokus der Untersuchungen lag auf funktionierenden Bodenfilteranlagen, da zur Abschätzung von Bemessungsgrundlagen die Belastungssituation dieser Anlagen vorrangig zu betrachten ist. Es wurden jedoch auch Bodenfilteranlagen identifiziert, die in ihrer Funktion eingeschränkt sind oder die erforderliche Reinigungsleistung dauerhaft nicht erbringen. Dabei soll hier zwischen zwei grundlegenden Problemgruppen unterschieden werden.

Betriebssicherheit/Störanfälligkeit. Die zu geringe Bemessung der Vorklärung, insbesondere die zu geringe Dimensionierung der ersten Kammer von Mehrkammergrubensystemen als mechanische Reinigungsstufe (Vorklärung) zum Rückhalt und zur Zwischenspeicherung der Feststoffe führte bei mehreren Anlagen zu häufigeren Verstopfungen der Zulaufleitung mit Rückstau in das WC-Gebäude und Betriebsausfall. Ursache war das „Zuwachsen“ der Zulaufleitung im Einlaufbereich mit Schwimmschlamm (z. B. PWC „Selliner See“, „Quellental“, „Trebeltal N/S“, „Klockow O/W“, alle BAB A20). Ein stetiges Kontrollerfordernis und häufigere kostenaufwendige Schlammensorgungen belasteten den Betriebsablauf in den betreuenden Autobahnmeistereien. Diesem Problem kann konstruktiv durch den Einbau eines einschichtigen, nicht unterteilten Schachtbauwerkes als erste Kammer des Mehrkammergrubensystems mit einem über die DIN-Vorgabe [DIN 4261-T1] hinausgehenden Absturz zwischen Zu- und Ablauf (> 10 cm) abgeholfen werden (z. B. PWC „Trebeltal Nord/Süd“, „Klockow Ost/West“).

Ein weiteres Problem mit erheblichem Störpotential ist die Bildung von Urinstein in Leitungen und Aggregaten der Abwasserbehandlungsanlage. Verstopfungen und Verblockungen können zum (reparablen) Totalausfall z. B. von Pumpenanlagen führen. Insbesondere bei sehr hartem Frischwasser (hoher Gehalt an Härtebildnern) oder hohen Spülwassermengen kann die Verkopplung der Hydrolyse des Urin-bürtigen Harnstoffes mit der Verschiebung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes in den abscheidenden Bereich (CO₂-Ausgasung, pH-Wert-Anstieg) zu extremen Urinsteinablagerungen führen. Die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verhinderung oder Minderung von Urinsteinausfällungen (z. B. Dosierung von Komplexbildnern, Einwirkung durch elektro-magnetische Felder) kann für den Bereich des WC-Gebäudes angenommen werden. Die örtliche oder zeitlich begrenzte Wirkung dieser Maßnahmen kann erfahrungsgemäß aber nicht vor Urinsteinablagerungen im Abwassersystem schützen. Wenn für die Frischwasserversorgung keine Enthärtungsstufe (mit vollständiger Auskoppelung auch von Rückspülwässern aus dem Abwassersystem) eingesetzt wird, ist ein erhöhter Wartungsaufwand mit Maßnahmen zur Beseitigung des Urinsteins erforderlich. Konstruktiv müssen Leitungssysteme und Aggregate so eingebaut werden, dass eine Demontage zu Reinigungszwecken einfach möglich ist.

Unterdimensionierung/Überlastung/Kolmation. Werden Bodenfilteranlagen (mangels Kenntnis der tatsächlichen Belastung oder mangels abgesicherter Bemessungsgrundlagen) unterdimensioniert geplant und errichtet bzw. durch den tatsächlichen Abwasseranfall überlastet, kann es zur teilweisen oder vollständigen Abdichtung (Kolmation) der Bodenfilterschicht kommen. Dabei wirken wie bei Bodenfiltersystemen für häusliches/kommunales Abwasser [DWA-A 262] drei wesentliche Faktoren kolmationsfördernd. Eine hydraulische Überlastung kann im Bodenfilter selbst zu zeitweise oder dauerhaft anaeroben Zuständen

mit einer kolmationsbedingenden Akkumulation organischer Substanz führen [Fehr 03]. Eine hydraulische Überlastung des Vorklärsystems kann aber auch zum Feststoffeintrag (AFS) in den Bodenfilter führen und die Verstopfung des Porensystems (Kolmation) zur Folge haben. Eine zu hohe organische Belastung (flächenbezogene bzw. flächenspezifische CSB-Fracht) kann ebenfalls zu einer Akkumulation organischer Substanz im Porenraum des Bodenfilters und damit zur Kolmation führen. Diese drei kolmationsfördernden Faktoren können auch parallel wirken. Insbesondere in Stark- und Spitzenbelastungsphasen (Sommerhalbjahr) wurden bei einigen Pflanzenkläranlagen an PWC-Anlagen zeitweise oder andauernde Überlastungen hinsichtlich der hydraulischen oder/und organischen Fracht festgestellt (PWC „Klockow Ost“ von 2002-2003, PWC „Peenetal“, PWC „Trebetal Süd“ 2005-2008, alle BAB A20, PWC „Schremheide“ BAB A24). Durch eine belastungskonforme Auslegung der Bodenfiltersysteme (entsprechend der in diesem Projekt ermittelten Bemessungsabschätzungen) konnten mittels Neubau eines weiteren Bodenfilters (PWC „Klockow West“ 2004), Erweiterung des vorhandenen Vorklär- und Bodenfiltersystems (PWC „Trebetal Süd“ 2008) oder Ersatzneubau (PWC „Belvedere Süd“ 2006) die Funktion der Bodenfilteranlagen wieder hergestellt werden.



Abbildung 8: SUBTERRA-Pflanzenkläranlage (600 m²), PWC „Am Steinberg“, BAB A4 (Foto: R. Emmerich, 14.9.2005)

2.3 Abschätzung von Bemessungsansätzen für Bodenfilter

Material & Methode

Die Ableitung von Bemessungsansätzen für Bodenfilter war eines der Hauptziele dieses Projektes. Der Problemstellung wurde sich auf zwei Betrachtungspfaden genähert. Zum einen wurden die tatsächlichen Belastungen der in Betrieb befindlichen Bodenfilter an ausgewählten Anlagen erfasst und mit den 2006 herausgegebenen Bemessungsansätzen für Bodenfilter für häusliches/kommunales Abwasser [DWA-A 262] abgeglichen. Zum anderen wurde versucht, aus den Ergebnissen der Untersuchungen zur Abwassersituation an PWC-Anlagen (Abwasserbeschaffenheit, Abwasseranfall) Bemessungsansätze abzuleiten. Weiterhin wurden die Ergebnisse (Abschätzung von Bemessungsansätzen) bei in der Projektlaufzeit geplanten und errichteten Bodenfilteranlagen berücksichtigt und eingearbeitet und nach deren Inbetriebnahme auch überprüft.

Zur Einschätzung der tatsächlichen Belastung der in Betrieb befindlichen Bodenfilter wurde die Abwasserbeschaffenheit nach der Vorklärung als Zulauf zur biologischen Reinigungsstufe (Bodenfilter) stichprobenartig untersucht. Die Stichproben-Entnahme erfolgte dafür im (Beschickungs-)Pumpenschacht der Pflanzenkläranlagen. Konnten für die jeweiligen PWC-Anlagen auch Wasserverbrauchswerte (tägliche Wasserverbräuche) erschlossen werden, waren Abschätzungen der Frachten (hydraulische Fracht, Fracht der organischen Belastung/CSB) möglich. Für einzelne ABA wurden aber auch Wasserverbrauchswerte, die in mehrwöchigen bis mehrmonatigen Abständen erfasst wurden, in die Frachtenabschätzung einbezogen. Mit den Frachten konnten spezifische Flächenbelastungen ermittelt und dann mit den Bemessungsansätzen nach [DWA-A 262] verglichen werden.

Da die tatsächliche Abwasserbeschaffenheit messtechnisch als Konzentration der Inhaltsstoffe ermittelt wird, ist die Bestimmung von Schmutzstoff-Frachten an die Kenntnis der Abwassermenge gebunden, soweit nicht nutzer- bzw. nutzungsspezifische Stoffeinträge und die Nutzerzahl bekannt sind. Da sich die Abwassermenge im Wesentlichen aus dem Wasserverbrauch ergibt, wurde dieser vertieft betrachtet (vgl. Kap. 2.1.2).

Eine Ermittlung nutzerspezifischer Belastungsparameter (nutzerspezifischer Schmutzstoff-Frachten, nutzerspezifischer Wasserverbräuche) war in diesem Projekt konzeptionell nicht vorgesehen und durchführbar. Dieser Betrachtungspfad wurde in einem von der BAST getragenen und von der BUW ausgeführten Forschungsprojekt untersucht [Lon 10b]. Kritischer Punkt der in diesem DBU- und im BAST-Projekt erfolgten Annäherung an Bemessungsansätze ist, dass die Integration PWC-Anlagen-spezifischer Einflussgrößen auf die Abwasserbelastung (mittlerer Wasserverbrauch pro Nutzung, tatsächliche Nutzerzahl bzw. Nutzerzahl bezogen auf die Verkehrsstärke, Nutzerzusammensetzung (männlich/weiblich), standörtliche Nutzungs-/Frequentierungspräferenzen) bisher nicht verallgemeinerungsfähig möglich war.

Die Abschätzung von Bemessungswerten bzw. Ausbaugrößen aus dem (tatsächlichen) Zulauf zur Abwasserbehandlungsanlage, wie sie beispielsweise in [ATV-DVWK-A 131], [ATV-DVWK-A 198] und [UBA 03] vorgeschlagen wird bzw. Anwendung findet, erscheint daher sinnvoll.

2.3.1 Abwasserbeschaffenheit Zulauf

Ergebnisse.

Die Untersuchungsergebnisse zur Abwasserbeschaffenheit im Zulauf von Bodenfiltern ausgewählter PWC-Standorte (SUBTERRA-PKA ohne Rezirkulation und ohne Kolmation) sind in Tab. 4 zusammengefasst. Die Konzentration der Abwasserinhaltsstoffe schwankt auch nach Durchlauf durch die Vorklärung erheblich, obwohl für die vorgeschalteten Mehrkammergrubensysteme eine puffernde Wirkung angenommen werden sollte. Das 85 %-Perzentil der maßgeblichen Belastungsparameter (CSB, BSB₅, AFS) liegt hier um den Faktor 1,3-2 über dem Mittelwert.

Tabelle 4: Abwasserbeschaffenheit Zulauf Bodenfilter (Datengrundlage: SUBTERRA-PKA ohne Rezirkulation von PWC „Selliner See“, „Klockow O/W“, „Am Steinberg“)

Parameter	Einheit	n	\bar{X}	85 %-Perzentil	Min	Max	Standardabweichung
CSB	mg O ₂ /l	72	295	403	107	741	138
BSB₅	mg O ₂ /l	68	118	180	3	360	78
NH₄⁺-N	mg/l	72	201	256	41	352	64
P_{ges}	mg/l	5	16,3	19	12,6	23	4
AFS	mg/l	7	28	54	4	87	30
SK_{pH4,3}	mmol/l	20	17	24	7	37	8
pH		50	8,6	8,9	7,8	9,9	0,4
Leitfähigkeit	mS/cm	59	2,5	2,9	1,0	5,0	0,7

(Datengrundlage: SUBTERRA-PKA ohne Rezirkulation von PWC „Selliner See“, „Klockow Ost/West“, „Am Steinberg“)

2.3.2 Wasserverbrauch/Abwasseranfall

Ergebnisse.

Bei den Untersuchungen zum Abwasseranfall wurden mindestens mehrmonatige bis mehrjährige Messreihen erfasst und ausgewertet. Am Beispiel der PWC-Anlagen „Belvedere Nord/Süd“ (Tab. 5 und Anhang 7a-c) ist erkennbar, dass der Bemessungswasserzufluss nicht durch den Mittelwert (arithmetisches Mittel, Median) dargestellt werden kann. Die Streubreite der täglichen Wasserverbrauchswerte und die saisonale Hochbelastungsphase in der Ferienzeit können durch die Mittelwerte nicht adäquat berücksichtigt werden. Als Auslegungsgröße wird der 85 %-Perzentilwert empfohlen. Selbst bei einer tabellarischen Zuordnung der täglichen Wasserverbräuche in Häufigkeitsklassen (Tab. 5) wird augenfällig, dass der wesentliche Teil der aufgetretenen Wasserverbrauchswerte (85 %) durch einen so festgelegten Bemessungswasserzufluss abgedeckt wird. (vgl. auch Abb. 6, Anhang 7a-c). Allerdings wird bei der Abschätzung des Abwasseranfalls aus dem Wasserverbrauch der Abwasseranteil, der aus der Urin-Flüssigkeitsmenge resultiert, nicht berücksichtigt. In Anhang 9 wird dokumentiert, dass die Mittelwerte und 85 %-Perzentilwerte von Messreihen aus den beiden Sommerhalbjahren 25-30 % über denen jahresübergreifender Auswertungsperioden liegen.

In Anhang 10 sind die Auswertungsergebnisse von Wasserverbrauchs-Reihen unterschiedlicher Erfassungszeiträume von verschiedenen PWC-Anlagen zusammengestellt. In dieser Übersicht sind die Bemessungsvorschläge für den bemessungsrelevanten Wasserverbrauch/Abwasseranfall als 85 %-Perzentilwert, bestimmt aus der Messreihe der n Einzelwerte, aufgeführt. Dem sind zusätzliche Bemessungsvorschläge gegenüber gestellt, die aus dem Mittelwert (\bar{X}_{arithm}) und einem Multiplikations-Faktor (1,5 ... 1,7) berechnet werden. Dabei sind die untersuchten Fälle gruppiert. In der Fall-Gruppe mit Wasserverbrauchsdaten aus weniger als zwei Jahren bzw. lückenhaften Wasserverbrauchsdaten mit $n \leq 730$ ($730 \text{ d} \hat{=} 2 \text{ Jahre}$), wird ein (aus dem Mittelwert berechenbarer) Bemessungswert, der mindestens dem 85 %-Perzentilwert entspricht, durch Multiplikation des Mittelwertes mit dem Faktor 1,7 in allen Fällen berechenbar. In der Fallgruppe mit Wasserverbrauchsdaten aus mehr als zwei Jahren, lückenhaften Wasserverbrauchsdaten mit $n > 730$ oder Wasserverbrauchsdaten aus einem Sommerhalbjahr (1.4.-30.9.), kann ein (aus dem Mittelwert berechenbarer) Bemessungswert, der mindestens dem 85 %-Perzentilwert entspricht, durch Multiplikation des Mittelwertes mit dem Faktor 1,5 bestimmt werden.

Tabelle 5: Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall auf den PWC-Anlagen „Belvedere Süd“ und „Belvedere Nord“, BAB A4,

Parameter	Einheit	PWC Süd	PWC Nord
Anzahl der Messwerte n (ermittelte Tagesverbräuche)		754	1359
Mittelwert (\bar{X}_{arithm})	m ³ /d	2,65	2,75
Median	m ³ /d	2	3
Maximum	m ³ /d	8	11
Minimum	m ³ /d	0	0
85%-Quantil	m ³ /d	4	4
Häufigkeitsklassen Tagesverbrauch			
	m ³ /d		
0,00 - 1,00		94	217
1,00 - 2,00		293	429
2,00 - 3,00		223	329
3,00 - 4,00		89	284
4,00 - 5,00		41	62
5,00 - 6,00		8	18
6,00 - 8,00		6	17
8,00 - 10,00		0	2
10,00 - 12,00		0	1
Summe:		754	1359

- Datengrundlage: tägliche Wasserverbrauchserfassung jeweils auf der PWC-Anlage „Belvedere“ Nord und Süd durch das Landesamt für Straßenbau Thüringen
- Erfassungszeitraum: PWC „Belvedere Süd“: August 2002 bis März 2005 (Auszüge)
PWC „Belvedere Nord“: Juli 2001 bis März 2005

Diskussion.

Bei der Abschätzung von Bemessungsansätzen bzw. Auslegungsgrößen auf Basis des Wasserverbrauches sollten grundsätzlich Jahresreihen der täglich erfassten Wasserverbräuche ausgewertet werden. Der Mindestdatenumfang der Messreihen sollte ein Sommerhalbjahr (1. April – 30. September bzw. Kalenderwoche vor Ostern bis Kalenderwoche nach dem Tag der Deutschen Einheit) umfassen, damit die Spitzenbelastungen um die Feiertage und die saisonale Hochbelastungsphase in der Ferienzeit in die Auslegungsgrundlagen eingehen. Liegen mehrere Jahresreihen für einen PWC-Standort vor, können auch Entwicklungen, die z. B. auf einer Verkehrszunahme oder zunehmenden Nutzer-Akzeptanz oder abnehmenden Frequentierung der PWC-Anlage (z. B. bei Inbetriebnahme vorgelagerter Raststätten) beruhen, erkannt werden.

Die Verwendung des 85 %-Perzentilwertes als bemessungs- bzw. auslegungsrelevante Belastungsannahme ist angelehnt an das empfohlene Vorgehen zur Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen ([ATV-DVWK-A 131], [ATV-DVWK-A 198]). Eine Berücksichtigung der über den so ermittelten Bemessungswert hinausgehenden Spitzenbelastungswerte (hier: Wasserverbrauchswerte) birgt die Gefahr einer Überdimensionierung der dezentralen ABA. Dies ist für unterlastunempfindliche Bodenfiltersystem nicht relevant, führt aber gerade für ABA mit aquatischer Mikroorganismenbiozönosen (Belebungsverfahren) zu erheblichen Problemen.

Die Abschätzung eines dem 85 %-Perzentilwertes adäquaten Bemessungswertes durch Berechnung aus dem Mittelwert hat den Vorteil, dass auch bei Nichtverfügbarkeit von längeren

Zeitreihen täglicher Wasserverbrauchswerte z. B. aus Wochen-, Monats- oder Jahresmittelwerten (berechenbar aus Wochen-, Monats- oder Jahreswasserverbrauchswerten) verwendbare Bemessungswerte für den Wasserverbrauch/Abwasseranfall abgeschätzt werden können.

2.3.3 Hydraulische Flächenbelastung

Ergebnisse.

Nach [DWA-A 262] soll die hydraulische Flächenbelastung vertikal durchströmter bepflanzter Bodenfilter $\leq 80 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ sein. In Anhang 11 sind die hydraulischen Flächenbelastungen mehrerer Bodenfilter von PWC-Anlagen aufgeführt. Dort werden die Mittelwerte und 85 %-Perzentilwerte der hydraulischen Flächenbelastung, ermittelt aus den Zeitreihen täglicher Wasserverbrauchserfassung, mit den Anforderungen nach [DWA-A 262] verglichen. Lagen keine Zeitreihen täglicher Wasserverbrauchserfassungen vor, so wurde der 85 %-Perzentilwert aus den Mittelwerten der betrachteten Erfassungszeiträume durch Multiplikation mit dem Faktor 1,7 abgeschätzt (vgl. Anhang 11, PWC „Oberwald“, PWC „Treibtal Nord/Süd“). Durch Vergleich der so ermittelten 85 %-Perzentilwerte der hydraulischen Flächenbelastung mit dem Anforderungswert nach [DWA-A 262] gruppieren sich die Fallbeispiele in drei Fallgruppen (vgl. Anhang 11).

In der ersten Fallgruppe liegen die hydraulischen Flächenbelastungen überwiegend deutlich unter dem Anforderungswert nach [DWA-A 262]. Diese Bodenfilter weisen auch keine Kolmationserscheinungen auf. Beim Bodenfilter von PWC „Belvedere Süd“ (mit Rezirkulation) liegt die hydraulische Flächenbelastung mit 80-100 $\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ jedoch im Bereich des Anforderungswertes ($\leq 80 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) bzw. übersteigt diesen. Bei zeitgleich sehr geringen CSB-Zulauffrachten wurden aber auch hier keine Kolmationserscheinungen festgestellt (vgl. Anhang 11).

In der zweiten Fallgruppe liegen die hydraulischen Flächenbelastungen vergleichsweise höher (45-80 $\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$), aber noch im Bereich des Anforderungswertes ($\leq 80 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$). Bei diesen Bodenfiltern wurden zeit- bzw. teilweise oder dauerhafte Kolmationserscheinungen festgestellt. Allerdings weisen diese Bodenfilter in den untersuchten Zeiträumen auch Überschreitungen der [DWA-A 262]-konformen CSB-Flächenbelastung auf (siehe unten, vgl. Anhang 11).

In der dritten Fallgruppe ist für den Bodenfilter von PWC „Oberwald“ ein Zeitraum dokumentiert, in dem auf Grund unregelmäßiger Rezirkulation ($RV \approx 10$) der Anforderungswert mit einer mittleren hydraulischen Flächenbelastung von mindestens 179,6 $\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ deutlich überschritten wurde. Die in diesem Zeitraum festgestellten Kolmationserscheinungen haben bei anschließend geregelter Rezirkulation mit hydraulischen Flächenbelastungen von 24 $\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ wieder zurückgebildet (vgl. Anhang 11).

Diskussion.

Die Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse vorhandener Bodenfilter zeigen, dass hydraulische Flächenbelastungen bis zu 100 $\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ohne Kolmationserscheinungen im Bodenfilter realisiert wurden. Die Feststellung von Kolmationserscheinungen bei vergleichsweise hohen hydraulischen Flächenbelastungen von 45-80 $\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ gingen einher mit Überlastungen der CSB-Flächenbelastung, so dass die Ursache der Kolmation der CSB-Flächenbelastung oder einem synergistischen Zusammenwirken von hohen CSB- und hydraulischen Flächenbelastungen zugeschrieben werden. Die Kolmation verursachende Wirkung einer die Anforderungswerte nach [DWA-A 262] ($\leq 80\text{-}120 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) deutlich überschreitenden hydraulischen Flächenbelastung wurde beim Bodenfilter von PWC „Oberwald“ nachgewiesen. Zusammenfassend kann als Bemessungswert für die hydraulische Flächenbelastung von Bodenfiltern für PWC-Abwässer der Anforderungswert gemäß [DWA-A 262] von $\leq 80 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ empfohlen werden. Dieser Anforderungswert muss demnach vom ermittelten

oder abgeschätzten 85 %-Perzentilwerten der anlagenkonkreten Belastung unterschritten werden.

Mit welchen Sicherheitszuschlägen die Bemessung von Bodenfiltern abzusichern ist, wenn die 85 %-Perzentilwerte der beiden Belastungsparameter (CSB- und hydraulische Flächenbelastung) gleichzeitig an die Anforderungswerte bzw. empfohlenen Bemessungswerte herantreiben, kann hier nicht untersuchungsgestützt vorgeschlagen werden.

2.3.4 CSB-Flächenbelastung

Ergebnisse.

Nach [DWA-A 262] soll die CSB-Flächenbelastung der Gesamtoberfläche vertikal durchströmter bepflanzter Bodenfilter $\leq 20 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ sein. In Anhang 12 sind die CSB-Flächenbelastungen mehrerer Bodenfilter von PWC-Anlagen aufgeführt. Dort werden die Mittelwerte und 85 %-Perzentilwerte der CSB-Flächenbelastung mit den Anforderungen nach [DWA-A 262] verglichen. Dabei ist der 85 %-Perzentilwert bei Vorliegen von Zeitreihen täglicher Wasserverbrauchserfassungen durch Berechnung mit dem Mittelwert der CSB-Konzentration unter Berücksichtigung der Fläche des Bodenfilters ermittelt worden (vgl. Anhang 12, PWC „Klockow Ost/West“, PWC „Ravensmühle“ u. a.). Lagen Wasserverbrauchangaben nur mit mehrwöchigen oder mehrmonatigen Ablesezyklen vor, wurde der 85 %-Perzentilwert der CSB-Flächenbelastung durch Berechnung mit dem 1,7-fachen des Mittelwertes vom Wasserverbrauch und dem 85 %-Perzentilwert der CSB-Konzentrationen (konservativ) abgeschätzt (vgl. Anhang 12, PWC „Trebeltal Nord/Süd“, PWC „Belvedere Nord“ u. a.). Durch Vergleich der so ermittelten 85 %-Perzentilwerte der CSB-Flächenbelastung mit dem Anforderungswert nach [DWA-A 262] gruppieren sich die Fallbeispiele in die Fallgruppe derjenigen Bodenfilter, deren 85 %-Perzentilwert unter dem Anforderungswert liegen (Fallgruppe 1) und in die Fallgruppe derjenigen Bodenfilter, die über dem Anforderungswert liegen (vgl. Anhang 12, Fallgruppe 2). Den Bodenfilteranlagen sind zudem Angaben über festgestellte Kolmationserscheinungen im jeweiligen Untersuchungszeitraum zugeordnet. Als Ergebnis des Vergleiches kann hier festgestellt werden, dass Bodenfiltersysteme, deren 85 %-Perzentilwert der CSB-Flächenbelastung unterhalb des Anforderungswertes von $\leq 20 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ liegen, nicht mit Kolmationserscheinungen in Verbindung gebracht wurden. In der Fallgruppe 2 mit Bodenfiltersystemen, deren 85 %-Perzentilwerte der CSB-Flächenbelastung über dem Anforderungswert von $\leq 20 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ liegen, sind zeitweise/teilweise oder gesamthafte Kolmationserscheinungen festgestellt worden.

Diskussion.

Die Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse vorhandener Bodenfilter zeigen, dass bei CSB-Flächenbelastungen unterhalb des Anforderungswertes nach [DWA-A 262] keine Kolmationserscheinungen festgestellt wurden. Die CSB-Flächenbelastungen von Bodenfilteranlagen mit Kolmationserscheinungen haben dagegen den Anforderungswert nach [DWA-A 262] überschritten. Daraus kann hier abgeleitet werden, dass die Anforderung für die CSB-Flächenbelastung nach [DWA-A 262] von $\leq 20 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ auch als Bemessungswert für Bodenfiltersystem an PWC-Anlagen herangezogen werden kann. Dieser Anforderungswert muss demnach vom ermittelten oder abgeschätzten 85 %-Perzentilwerten der anlagenkonkreten Belastung unterschritten werden.

2.4 Vorklärschlamm bei dezentraler Behandlung

Material & Methode

Bei der dezentralen Behandlung von PWC-Abwässern mit Bodenfiltersystemen kommt der mechanischen Reinigungsstufe (Vorklärung) eine erhebliche Bedeutung zu, da der Rückhalt partikulärer Stoffe (Phasenseparation fest/flüssig) entscheidend für die Vermeidung von Kolkation im Bodenfilter und damit für die langfristige Prozessstabilität dieses Abwasserbehandlungsverfahrens ist. Die Erfahrungen im Zuge der Projektbearbeitung, die auch den recherchierten Betriebserfahrungen der betroffenen Autobahnmeistereien entsprachen, haben das Problem scheinbar verstärkter Schwimmschlammdeckenbildung vor allem im ersten Absetzbehälter der üblicherweise als Vorklärung zur Anwendung gelangten Mehrkammergrubensysteme identifiziert. Diesem Problemfeld hat sich die MFPA in Kooperation mit der BUW in einem eigenen Projektteil gewidmet [Lon 09].

Als Ziel der Untersuchungen war einerseits die Aufklärung der Ursachen und Wirkmechanismen für das Entstehen der Schwimmschlammdecke und andererseits die Ermittlung der sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die nachgeschaltete (dezentrale) Abwasserbehandlung sowie die Schlammentsorgung.

Die Untersuchungen fanden jeweils im ersten Absetzbehälter der Mehrkammersysteme der beiden PWC-Anlagen „Belvedere Nord“ und „Belvedere Süd“ zu folgenden Teilfragestellungen statt [Lon 09]:

- Dokumentation der Schwimmschlammdeckenbildung über den Versuchszeitraum
- Quantitative und qualitative Bestimmung von Schlammhorizonten
- Bestimmung von Zonenbildung im Schlamm/Wasser-Gemisch durch Dichteunterschiede (Leitfähigkeitsmessung/Salzgehaltsbestimmung)
- Biologische Abbaubarkeit des Vorklärschlammes (modifizierter Zahn-Wellens-Test)

Dazu wurden über einen Untersuchungszeitraum von 140 d mit abnehmender Häufigkeit 17 Probenahmen durchgeführt, bei denen Füllstandshöhen-bezogene parzellierte Proben gewonnen wurden. Detaillierte Angaben zur Probenahme und Analyse sind in [Lon 09] beschrieben.

Ergebnisse

Die Untersuchungen unterscheiden im zeitlichen Ablauf die Befüllungsphase (Befüllung der Absetzgrube nach Entleerung) und die Betriebsphase (quasi-stationärer Betrieb ab Vollfüllung. Die Parameter Leitfähigkeit, pH-Wert, und Feststoffe (sowie deren organische Anteile) bilden räumliche (Füllstandshöhen-bezogene) Gradienten in den Absetzbehältern aus, die in Abhängigkeit vom Betriebszustand (Zeit) und Umwelteinflüssen (Temperatur) mehr oder weniger stark in Erscheinung treten. [Lon 09]

Nach den Feststoffgehalten können drei horizontale Bereiche (Zonen) unterschieden werden:

- Schwimmschlammzone (oberste Schicht mit variablen Feststoffgehalten)
- Trübwasserzone (mittlere Schichten mit konstant niedrigen Feststoffgehalten)
- Eindickzone (unterste Schichten mit stetig zunehmenden Feststoffgehalten)

Die Abfolge der drei Bereiche wird als stabile Zonierung bewertet.

Für die Parameter Leitfähigkeit (bzw. Salzgehalt) und pH-Wert treten Gradienten zwischen der Eindickzone und der Trübwasserzone auf. Im zeitlichen Verlauf steigt der Salzgehalt (bzw. die Leitfähigkeit) in der Eindickzone zunächst stetig an. Ein der Versauerungsphase des anaeroben Schlammabbaus (Schlammfäulung) zugeordneter pH-Wert-Abfall in der Eindickzone kehrt sich zu steigenden pH-Werten um, was mit der methanogenen Phase der Schlammfäulung (Methangasbildung) verknüpft wird. Letztlich gleichen sich die Konzentrationen in Eindickzone und Trübwasserzone wieder an. Als Ursache werden Durchmischungsvorgänge möglicherweise in Folge von Temperaturgradienten, Diffusion und Gasbildung angesehen. Auch Feststoffbewegungen (Flotation, Sedimentation) könnten dies beeinflussen. Die pH-Wert- bzw. Salzgehalts-bezogene Zonierung wird daher als metastabile Zonierung bewertet. [Lon 09]

Die geringsten Feststoffanteile (hier als Glühverlust bzw. organischer Anteil des Trockenrückstandes erfasst) finden sich unabhängig von den unterschiedlichen Gesamtfüllstandshöhen der beiden untersuchten Absetzbehälter in der Trübwasserzone im Füllstandshöhenbereich zwischen 90-150 cm. [Lon 09]

Die Schwimmschlammdeckenbildung und die Trübwasserqualität werden in enger Abhängigkeit der mikrobiologischen Abbauprozesse in der Eindickzone (Schlammfäulung) gesehen. Die Schwimmschlammdeckenbildung beruht auf zwei wesentlichen Prozessen:

- sofortiges Aufschwimmen von spezifisch leichteren Grobstoffen (Toilettenpapier, Hygieneartikel, sonstige Abfälle)
- späteres Flotieren von Bodenschlamm durch (Methan)Gasentwicklung bei vollständig ablaufender Schlammfäulung

Als Ursache der starken Schwimmschlammdecken in Absetzbehältern dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen an PWC-Anlagen wird die spezifische Abwassercharakteristik (hoch konzentrierte Abwässer mit hohem Anteil an Toilettenpapier und anderen Grobstoffen) sowie das (bei den untersuchten Anlagen) vergrößerte Vorklärvolumen der Absetzbehälter mit intensivierten Schlammfäulungsprozessen in Folge verlängerter Aufenthaltszeiten angesehen. Die Schwimmschlammdecke selbst ist metastabil und kann plötzlich an Mächtigkeit und Festigkeit verlieren. [Lon 09]

In der (feststoffarmen) Trübwasserzone wurde bei längeren Betrachtungszeiträumen ein Konzentrationsausgleich der gelösten Stoffe (u. a. auch CSB) mit den feststoffreichen Eindick- und Schwimmschlammzonen festgestellt. Dies wird auf die (anaeroben) Abbauprozesse der Feststoffe (Hydrolyse, Versäuerung) zurückgeführt. Insbesondere aus dem Bodenschlamm (Eindickzone) werden gelöste oxidierbare Stoffe (CSB) in die Trübwasserzone abgegeben (CSB-Aufstockung). [Lon 09]

Das Ergebnis der modifizierten Zahn-Wellens-Tests zur biologischen Abbaubarkeit des gelösten CSB in der Trübwasserzone ergibt (unter Verwendung eines nichtadaptierten Belebtschlammes aus einer kommunalen Kläranlage) einen refraktären CSB in Höhe von 10-20 % des gelösten CSB. BSB-Langzeitbestimmungen (BSB₅, BSB₁₄) ergaben, dass die BSB₁₄-Werte mit dem aus der Untersuchung zum refraktären CSB ermittelten abbaubaren CSB übereinstimmten bzw. auch übertrafen. [Lon 09]

Höhere Füllstände im Absetzbehälter (also eine Schachtgeometrie mit größerer Schachttiefe und geringerem Schachtdurchmesser bei gleichem Absetzvolumen) wirken sich günstiger auf das Eindickverhalten des Bodenschlammes aus (TR bis 4 %). [Lon 09]

Diskussion

Die gewählte Untersuchungsmethodik erlaubt keine quantitativen Aussagen zur Schwimmschlammdeckenbildung [Lon 09] und zur Wirksamkeit des Feststoffrückhaltes im ersten Absetzbehälter der mechanischen Reinigungsstufe. Es sind daher auch keine quantitativen Vergleiche mit der Schwimmschlamm- oder auch Fäkalschlammfäulung z. B. in standardisierten Vorkläreinheiten für häusliches bzw. kommunales Abwasser in kleinen Ausbaugrößen (nach [DIN 4261 T1]) vorgenommen worden, so dass die subjektive bzw. erfahrungsbasierte Einschätzung einer „ungewöhnlich starken Schwimmschlammdeckenbildung“ nicht objektiviert werden konnte. Es sind aber aufschlussreiche Ergebnisse zum Verständnis des Vorbehandlungsprozesses in Absetzbehältersystemen mit Hinweisen zur Bauausführung, Betriebsführung und Auswirkungen auf eine nachgeschaltete aerobe biologische Reinigungsstufe herausgearbeitet worden.

Die Wirksamkeit des Feststoffrückhaltes, sinnvollerweise als AFS im Ablauf des Absetzbehälters ermittelt, und der Einfluss der untersuchten bzw. festgestellten Prozesse (Konzentrationsausgleichs- und Durchmischungseffekte, Flotation, (spontaner) Zusammenbruch der metastabilen Schwimmschlammdecke oder Instabilitäten des Bodenschlammes) auf den Feststoffrückhalt wurden bedauerlicherweise nicht untersucht. Aus den Untersuchungsergebnissen

wird aber ableitbar, dass der Trübwasserabzug (Überlauf) aus dem ersten Absetzbehälter in nachfolgende Komponenten der mechanischen Reinigungsstufe (z. B. 2., 3., ... n Kammern des Mehrkammergrubensystems) auf Grund der minimalen Feststoffbelastung der Trübwasserzone im Füllstandshöhenbereich von 90-150 cm, vorzugsweise bei 120 cm Füllstandshöhe, erfolgen sollte [Lon 09].

Die zeitliche Abfolge des Aufbaus und Ausgleichs von Konzentrationsgradienten könnte ein Erklärungsansatz für die stark schwankenden Abwasserbelastungen (Konzentrationen) sein, die bei Probenahmen aus dem Trübwasser des ersten Absetzbehälters („Zulaufprobe, abgesetzt“, vgl. Kap. 2.1.1) oder den Abläufen aus dem Vorklärsystem (bzw. Zulauf zu den Bodenfiltern, vgl. Kap. 2.3.1) ermittelt wurden. Eine benutzerspezifische Frachtenbestimmung, wie sie in [Lon 10b] zugrunde gelegt wird, kann diese Schwankungen nicht abbilden, soweit nicht sehr große oder inhomogene Benutzerkollektive oder schwankende Spülwassermengen unterstellt werden. Da bei den Rohabwasseruntersuchungen nach [Lon 10b] aber ebenfalls starke CSB-Konzentrationschwankungen bereits im Zulauf zum ersten Absetzbehälter festgestellt wurden, können die oben beschriebenen Prozesse im ersten Absetzbehälter nicht allein die Ursache für Konzentrationschwankungen sein. Hier ist es bei zukünftigen Untersuchungen wahrscheinlich zweckdienlich, durch Dokumentation von Tageszeit, Schwimmschlammdeckenausbildung, Schlammspiegelmessungen und Zeitspanne seit der letzten Schlammmentsorgung die ermittelten Konzentrationen den Bezug zum tagesperiodischen Zulaufgeschehen und betriebsphasenbezogenen Prozesszustand im Absetzbehälter (Versäuerungsphase, Konzentrationsgradientenaufbau/-ausgleich) herzustellen.

Die Änderung der Schlammmentsorgung von Mehrkammerabsetzbehältersystemen von der Entleerung (nach [DIN 4261 T1]) zur gezielten Bodenschlammmentnahme (vgl. [Lon 09]) mit einem damit gegebenenfalls erfolgenden Zusammenbruch der Schwimmschlammdecke könnte eine Betriebsmaßnahme sein, um die Häufigkeit und Menge der Schlammmentsorgung und damit die Schlammmentsorgungskosten für den Betreiber zu vermindern. Dies sollte in Praxis-tests überprüft werden.

Alternativ dazu kann auch eine (quasi)kontinuierliche Bodenschlammmentnahme mit separater on-site Behandlung des Bodenschlammes (z. B. Kompostierung, vgl. [MUTEC 02]) in Betracht gezogen werden. Durch Wegfall der Schlammfäulung mit der daraus resultierenden Flotationswirkung sollte der Aufbau der beobachteten „ungewöhnlich starken“ Schwimmschlammdecken und die CSB-Aufstockung durch Lösungserscheinungen aus dem Bodenschlamm in die Trübwasserzone deutlich vermindert werden.

Der planerisch-konstruktive Ansatz, das Schwimmschlamm Speichervolumen durch Erhöhung des nach [DIN 4261 T1] mit 10 cm ableitbaren Abstandes von Zulauf- und Ablaufhöhe (Absturzhöhe) des ersten Absetzbehälters zu vergrößern, ist bereits in [Em 05] und [Em 08] angeführt und in der untersuchten Anlage auf PWC „Belvedere Süd“ mit einer Absturzhöhe von 35 cm sowie in zahlreichen anderen SUBTERRA-Pflanzenkläranlagen an BAB (z. B. PWC „Treibtal Nord/Süd“, PWC „Heidenholz“, PWC „Grumbach“) realisiert worden. Eine von [Lon 09] empfohlene Absturzhöhe ≥ 50 cm ist jedoch nicht mit den Untersuchungsergebnissen verknüpft worden. Sinnvoll erscheint eine volumenbedarfsbezogene Angabe, die die Schachtabmaße (Durchmesser) einbezieht, aber mangels quantitativer Aussagen zur Schwimmschlammdeckenbildung hier nicht begründet werden kann.

Eine Aufstockung des CSB in der flüssigen Phase (durch Lösungserscheinungen vom Bodenschlamm in die Trübwasserzone) und insbesondere die Annahme, dass es sich dabei um biologisch gut abbaubare organische Säuren handelt [Lon 09], ist vor dem Hintergrund des als äußerst ungünstig festgestellten C/N-Verhältnisses für die nachgeschaltete biologische (aerobe) Reinigungsstufe (hier Bodenfilter) nicht von vornherein ungünstig zu bewerten. Zumal sich die in [Lon 09] prognostizierten CSB_{ref}-Werte bei der Untersuchung zur Leistungsfähigkeit des 2006 neu gebauten Bodenfilters der PWC-Anlage „Belvedere Süd“ (SUBTERRA-PKA) in der Praxis nicht bestätigt haben (vgl. Anhang 13 und [Lon 10a]). Nach [Lon 9] selbst

kann von den ermittelten Konzentrationen an refraktärem CSB im Trübwasser nicht zwangsläufig auf den Anteil biologisch abbaubarer Stoffe geschlossen werden, weil höhere Abbauleistungen in kontinuierlich beschickten Abwasserbehandlungs- bzw. Bodenfiltersystemen mit adaptierten Mikroorganismenbiozönosen (im Gegensatz zum nicht adaptierten Fremdklärschlamm des Testsystems) wahrscheinlich sind. Außerdem haben die Untersuchungen auch gezeigt, dass der Langzeit-BSB (BSB₁₄) tatsächlich höher ermittelt wurde als der abbaubare CSB [Lon 09].

Den zusammenfassenden Aussagen von [Lon 09], nach denen es grundsätzlich möglich ist, bei geeigneten Anlagenkonfigurationen und Betriebsweisen zufriedenstellende (d. h. anforderungskonforme) Reinigungsleistungen in dezentralen Behandlungsanlagen für PWC-Abwässer zu erzielen, kann hier ohne Einschränkungen gefolgt werden. Dies bezieht auch die Einschätzung ein, dass die weitgehende bzw. ungehemmte Nitrifikation ein Schlüsselproblem der biologischen Behandlung von PWC-Abwässern ist.

Unverständlich ist jedoch die Konstruktion eines Zusammenhanges von erhöhter Abbauleistung, daraus resultierender (vermehrter) Überschussschlammproduktion und frühzeitigerer Kolmationsgefahr von Bodenfiltern bei der Behandlung von PWC-Abwässern [Lon 09].

Bepflanzte Bodenfilter für häusliches/kommunales Abwasser sind bepflanzte sandig-kiesige Bodenkörper, die vom (mechanisch) vorbehandelten Abwasser durchströmt werden und deren Wirkmechanismen durch komplexe physikalische, chemische und biologische Vorgänge gekennzeichnet sind. Die biologischen Reinigungsvorgänge beruhen im Wesentlichen auf Stoffwechselaktivitäten der in Biofilmen auf dem Filtermaterial sowie auf den Pflanzenwurzeln angesiedelten Mikroorganismen. [DWA-A 262]

Eine regelwerkskonforme kolmationssichere Auslegung von Bodenfiltern fokussiert (neben einer ausreichenden Feststoffabscheidung in der Vorbehandlungsstufe und einer ausreichenden Sauerstoffversorgung, die nur ohne hydraulische Überlastung gegeben ist) vor allem auf die Flächenbelastung mit organischen Schmutzstoffen bzw. die CSB-Flächenbelastung ([UBA 03], [DWA-A 262], [Now 07]). Der Begriff der Überschussschlammproduktion kommt im Regelwerk überhaupt nicht vor ([DWA-A 262], [Now 07]). Eine Überschussschlammproduktion zu unterstellen, heißt eine zunehmende Porenraumverengung des Bodenkörpers durch diesen Überschussschlamm anzunehmen, was zwangsläufig zu einer verminderten hydraulischen Durchlässigkeit und in letzter Konsequenz zu einer systemimmanenten Abdichtung (Kolmation) führt. Dem widersprechen die umfangreichen wissenschaftlichen (z. B. [UBA 03]) und praktischen Erfahrungen mit Bodenfiltersystemen, die letztendlich im einschlägigen Regelwerk [DWA-A 262] ihren Eingang gefunden haben. Ein realitätsnäheres Verständnis der biologischen Abwasserbehandlung in Bodenfiltern muss davon ausgehen, dass der sich näherungsweise über die (innere) Filtermaterialoberfläche ausbildende Biofilm vor dem Hintergrund der vergleichsweise großen inneren Oberfläche nur schwach mit organischem Substrat belastet ist. Die im Biofilm immobilisierte Mikroorganismenbiozönose ist damit eine „hungrige“ Mikroorganismenbiozönose, die nach der Etablierungsphase im Wesentlichen Erhaltungsstoffwechsel betreibt, also organische Schmutzstoffe weitgehend „veratmet“ und nur Biomasseverluste durch Zuwachs ausgleicht. Vor dem Hintergrund zumeist schwankender Abwasserbelastungen ist ein oszillierender Biofilm vorstellbar, der aber keinesfalls die Stärke erreicht, durch die der hydraulisch wirksame Querschnitt des Bodenkörper-Porenvolumens erheblich und dauerhaft eingeschränkt wird.

Das bestehende Regelwerk für häusliche/kommunale Abwässer [DWA-A 262] wie auch die in diesem Projekt abzuleitenden Bemessungsansätze und Auslegungsvorschläge haben ja gerade diese dauerhaft aufrecht erhaltbare (bei zeitweiser Überlastung regenerierbare) kolmationssichere Funktionsweise zum Ziel.

2.5 Pilotanlagen

Material & Methode

Die im Zuge der Projektbearbeitung abgeleiteten Bemessungsansätze sollten in einer Pilotanlage angewendet und überprüft werden. Aus Kapazitätsgründen (Projekt- und Fördermittelhöhe, zeitliche Einbindung in Planungsabläufe der Landesstraßenbauverwaltung) war ein Neu- bzw. Ersatzbau einer Pflanzenkläranlage an einer PWC-Anlage im Projektzeitraum nicht realisierbar. Die zwischenzeitlich vorgesehene Durchführung der Pilotanlagen-Phase in einem Testcontainer mit integriertem Bodenfilter war nicht mehr erforderlich, als es JK-PKA GmbH gelang, die aus den Projekterfahrungen abgeleiteten Bemessungsansätze in aktuelle Planungen für dezentrale Abwasserbehandlungsanlagen an PWC-Anlagen zu integrieren.

So wurden auf Basis der 2005 formulierten Arbeitshypothesen zu Bemessungsansätzen [Em 05] und deren Weiterentwicklung im Zuge der Projektbearbeitung (vgl. [Em 08]) die in Tab. 6 aufgeführten SUBTERRA-Pflanzenkläranlagen mit den im Projekt entwickelten Bemessungs- und Planungsempfehlungen geplant, ausgeführt und in Betrieb genommen.

Tabelle 6: SUBTERRA-Pflanzenkläranlagen an BAB-PWC-Anlagen mit Pilot-Charakter

BAB PWC-Anlage Bundesland Vorhaben	Jahr	Bemessungs- abwasseranfall/ Fläche Bodenfilter	Beteiligte
BAB A4, PWC „Belvedere Süd“ AS Weimar – AS Apolda Thüringen Ersatzneubau Pflanzenkläranlage	2006	Abwasseranfall: 4 m ³ /d; Bodenfilter- fläche: 200 m ² ; RV: 0-4	Auftraggeber: Freistaat Thüringen, Thüringer Landesamt für Bau und Verkehr Erfurt Planung: J. Krüger PKA GmbH/ Microsol Solarsysteme GmbH HH Ausführung: TUG mbH Köllda
BAB A4, PWC „Oberwald“ AS Hohenstein-Ernstthal – AS Glauchau-Ost Sachsen Neubau	2007	Abwasseranfall: 6 m ³ /d; Bodenfilter- fläche: 210 m ² ; RV: 0-2	Auftraggeber: Deges mbH Berlin/ Freistaat Sachsen Planung: Ingenieurbüro Klier+Part- ner GbR Glauchau Ausführung: J. Krüger PKA GmbH
BAB A20, PWC „Trebetal Nord/Süd“ AS Tribsees – AS Grimmen- West Mecklenburg-Vorpommern Erweiterung Pflanzenkläranlage	2008	Abwasseranfall: Nord: 8,9 m ³ /d Süd: 9,4 m ³ /d; Bodenfilter- fläche: Nord: 211 m ² Süd: 213 m ²	Auftraggeber: Deges mbH Berlin/ Land Mecklenburg-Vorpommern Planung: ARGE PWC A20 Hamburg Ausführung: Zurow Bau GmbH (Schachtbauwerke), J. Krüger PKA GmbH (Bodenfilter, Ausrüstung)

Nach (Wieder-)Inbetriebnahme dieser Abwasserbehandlungsanlagen wurden sie in die Projektuntersuchungen einbezogen. Insbesondere die MFPA hat die SUBTERRA-Pflanzenkläranlage von PWC-Belvedere Süd in verschiedenen Betriebsphasen (mit/ohne Rezirkulation, halbe Bodenfilterfläche, Notbeschickung bei Pumpenstörung) intensiv untersucht [Lon 10a]. Diese Untersuchungsergebnisse werden ergänzt durch die unabhängig vorgenommenen Untersuchungen im Rahmen der Eigenkontrolle.

Ergebnisse

Die SUBTERRA-Pflanzenkläranlage der PWC-Anlage „Belvedere Süd“ (Abb. 9) hat nach Inbetriebnahme und Einfahrphase von Ende November 2006 bis Dezember 2007 die hier verbindlichen wasserrechtlichen Anforderungen der Größenklasse 2 [AbwV 97] mit Überwachungswerten für den CSB von 110 mg/l und für den BSB₅ von 25 mg/l stabil eingehalten (vgl. Untersuchungen MFPA: n=31 [Lon 10a] und JK-PKA GmbH: n=9 (Anhang 13)). Bei einem Rezirkulationsverhältnis von 2-4 wurde ein nahezu vollständiger Kohlenstoffabbau sowie eine weitgehende Nitrifikation und eine partielle Denitrifikation festgestellt [Lon 10a]. In einer Testphase von Januar 2008 bis Juni 2008 wurde nur die Hälfte der Bodenfilterfläche (100 m²) mit dem anfallenden Abwasser bei Weiterbetrieb der Rezirkulation (RV 2-4) beschickt. Trotz der halbierten Bodenfilterfläche und teilweise geringen Abwassertemperaturen (Januar-März 2008 5-7 °C; aber ohne Hochbelastungsphase Sommerferienzeit) wurden gleiche Reinigungsleistungen wie zuvor ermittelt [Lon 10a]. Die NH₄-N-Ablaufwerte lagen im Untersuchungszeitraum November 2006 bis April 2008 bei ≤ 10 mg/l und die NO₂-N-Ablaufwerte bei ≤ 2 mg/l (vgl. Anhang 13).

Nach Störung der Pumpenanlage (Juni 2008) und Verstopfung der Beschickungsschläuche (August 2008) wurde der Bodenfilter (200 m²) bis März 2009 nur über die in halber Bodenfiltertiefe verlegte „Notbeschickung“ (DN 50 Drainageleitung) und ohne Rezirkulationsbetrieb mit den PWC-Abwässern beaufschlagt. Hier kam es insbesondere am Ende der Hochbelastungsphase (Sommerhalbjahr) im September-Oktober 2009 zu Überschreitungen des CSB-Überwachungswertes, zur Verminderung der Nitrifikationsleistung und zur Erhöhung der NO₂-N-Ablaufwerte (vgl. [Lon 10a] und Anhang 13).

Nach Wiederinbetriebnahme der Beschickungsschläuche (März 2009; ohne Rezirkulationsbetrieb, 200 m² Bodenfilteroberfläche) hat sich der Kohlenstoffabbau umgehend effektiviert. Der CSB-Überwachungswert wurde wieder deutlich unterschritten und die Nitrit-Belastung vermindert [Lon 10a]. Nach Wiederinbetriebnahme der Rezirkulation (RV 2-4) hat sich die weitgehende Nitrifikation mit minimalen Nitrit-Ablaufwerten wieder eingestellt.

Die Verstopfung der Beschickungsschläuche ist ein atypischer Störfall, der nach Untersuchungen der MFPA auf Ablagerungen vor allem einer „Schluffkornfraktion“ mit einem hohen anorganischen bzw. mineralischen Substanzanteil (Glühverlust 23,5 %) zurückzuführen ist, für die „es keine abwasserseitige Quelle“ gibt [Lon 10a]. Unabgestimmte Fremdeinwirkung des Schlammentsorgungspflichtigen mit dem Ziel der Reduzierung der zu entsorgenden Schlammengen aus der Vorklärung sind für diese PWC-Anlage bekannt, für das Störereignis und auch sonst nicht dokumentiert und damit nicht nachvollziehbar.

Die SUBTERRA-Pflanzenkläranlage der PWC-Anlage „Oberwald“ hat nach Inbetriebnahme und Einfahrphase ab Januar 2008 bis September 2010 die wasserrechtlichen Anforderungen der Größenklasse 2, Anhang 1 AbwV [AbwV 97] (CSB 110 mg/l, BSB₅ 25 mg/l) mit mittleren Ablaufkonzentrationen beim CSB 64 mg/l und beim BSB₅ <3 mg/l mit einer Ausnahme beim CSB eingehalten (n=7). Der einmalige Ausreißer beim CSB mit 140 mg/l unterschreitet aber noch die hier verbindlichen wasserrechtlichen Anforderungen der Größenklasse 1, Anhang 1 AbwV [AbwV 97] (CSB 150 mg/l, BSB₅ 40 mg/l). Bei einem Rezirkulationsverhältnis RV=0-2 läuft die Nitrifikation nur teilweise ab und ist offensichtlich in der Teilreaktion Nitrifikation in Folge Säurekapazitätsverbrauch und pH-Wert-Abfall im Bereich 5,8-6,8 gehemmt bzw. wirkt selbst limitierend. (vgl. Anhang 14)

Die SUBTERRA-Pflanzenkläranlagen der PWC-Anlagen „Trebeltal Nord“ und „Trebeltal Süd“ haben nach ihrer Erweiterung und Wiederinbetriebnahme im Mai 2008 bis August 2010 die wasserrechtlichen Anforderungen der Größenklasse 2, Anhang 1 AbwV [AbwV 97] mit mittleren Ablaufkonzentrationen beim CSB 32 mg/l (Nord) bzw. 39 mg/l (Süd) und beim BSB₅ 4,1 mg/l (Nord und Süd) mit einer Ausnahme beim CSB eingehalten (Nord und Süd jeweils n=8). Der einmalige Ausreißer beim CSB mit 112 mg/l unterschreitet aber noch die

hier verbindlichen wasserrechtlichen Anforderungen der Größenklasse 1, Anhang 1 AbwV [AbwV 97] (CSB 150 mg/l, BSB₅ 40 mg/l).

Diskussion

Bereits in Kap. 2.2.1 wurde für mehrere Bodenfiltersysteme, die in die Untersuchungen innerhalb dieses Projektes einbezogen waren, festgestellt, dass sie weitgehend geeignet sind, die Anforderungen der Größenklasse 1, Anhang 1 AbwV [AbwV 97] an die Behandlung hier von PWC-Abwässern dauerhaft und stabil einzuhalten (vgl. auch Tab. 3 und z. B. PWC „Selliner See“, PWC „Klockow Ost/West“, PWC „Dolmar“, PWC „Dornheim“).

Die umfangreichen Untersuchungen von [Lon 10a] zur SUBTERRA-Pflanzenkläranlage von PWC „Belvedere Süd“ belegen detailliert, dass Bodenfiltersysteme auch dauerhaft und stabil die Anforderungen der Größenklasse 2, Anhang 1 AbwV [AbwV 97] einhalten können. Die Untersuchungen zur Reinigungsleistung bei weiteren SUBTERRA-Pflanzenkläranlagen, bei deren Planung und Ausführung die Bemessungsempfehlungen aus diesem Projekt berücksichtigt wurden (PWC „Oberwald“, PWC „Trebeltal Nord/Süd“), bestätigen diese Feststellungen.

Darüber hinaus kann mit einer gezielten Abwasserrezirkulation auch eine weitgehende Nitrifikation und partielle Denitrifikation stabil etabliert werden (vgl. PWC „Belvedere Süd“, Betriebsjahr 2007). Allerdings muss eine fachkundige Betreuung bzw. Wartung dieser Bodenfiltersysteme Störungen vermeiden und minimieren, so dass diese weitergehenden Abwasserbehandlungsprozesse dauerhaft wirksam werden können.



Abbildung 9: SUBTERRA-Pflanzenkläranlage (2x100 m²), PWC „Belvedere Süd“, BAB A4 (Foto: R. Emmerich, 22.6.2010)

2.6 Nutzungsverhalten an PWC-Anlagen

Material & Methode

Zur Ermittlung der Abwasserbelastungssituation an PWC-Anlagen wird durch die DWA ein Ansatz bevorzugt, der benutzerspezifische Frachten als grundlegende Bemessungsgröße verwendet ([Now 08], [Lon 10b]). Neben der benutzerspezifischen Schmutz- und Nährstoffbelastung wird auch ein benutzerspezifischer Abwasseranfall, der im Wesentlichen aus dem benutzerspezifischen Wasserverbrauch resultiert, anzusetzen sein. Um das benutzerspezifische Verhalten bei der Nutzung von PWC-Anlagen weiter aufzuklären, wurden in einer projekterweiternden Bearbeitungsphase nutzungscharakterisierende Daten von PWC-Standorten mit einer entsprechenden Datenerfassung über die Gebäudeleittechnik ermittelt, abgerufen und ausgewertet. Diese Form der Erfassung nutzerabhängigen Verhaltens auf PWC-Anlagen ergänzt die empirischen Ansätze, bei denen durch Befragungen der Nutzer (mittels Fragebogen) das Nutzerverhalten ermittelt wurde (vgl. [Bo 05], [Lon 10b]).

Für insgesamt 10 doppelseitige PWC-Anlagen mit 20 WC-Gebäuden an der BAB A20 ist bekannt, dass über die GLT Nutzungsdaten für Wasser verbrauchende Aggregate der sanitären Ausstattung (WC, Urinal, (Hand-)Waschtisch, Hochdruckreiniger) und periphere Einrichtungen (Türschließkontakte, Seifenspender, Handtrockner usw.) sowie auch unmittelbare Wasserverbrauchserfassungsdaten erfassbar und speicherbar sind. Dies umfasst die PWC-Anlagen zwischen der PWC-Anlage „Selliner See“ im Westen bis zur PWC-Anlage „Klockow“ im Osten der BAB A20.

Die Daten sind grundsätzlich per Laptop aus den Speichermedien der SPS-gesteuerten GLT vor Ort abrufbar. Dazu bedarf es aber im Einzelfall eines (lizenzierten) Zugangs zur Steuerungssoftware oder der direkten Unterstützung des Steuerungsbauers, wenn die zuständige Autobahnmeisterei über das erforderliche Know-how nicht verfügt.

Während bei PWC „Selliner See“ beispielsweise stündliche Erfassungsangaben zum Wasserverbrauch zur Verfügung standen (vgl. Abb. 2), waren für die PWC-Anlage „Klockow Ost/West“ Tagessummen der Wasser verbrauchenden Aggregate verfügbar. (vgl. auch [Weiß 09])

Ergebnisse.

Die empirischen Untersuchungen von [Bo 05] erlauben (erstmalig) für PWC „Belvedere Nord“ (BAB A4) quantitative Aussagen zur Frequentierung der PWC-Anlage (Verknüpfung Verkehr/PWC-Nutzung) und zur wasserverbrauchs-/abwasseranfall-bezogenen Nutzung der WC-Anlagen. Danach fahren 2,5 % des Kfz-Verkehrs des BAB-Abschnittes die PWC-Anlage an. 60 % der Parkplatz-Besucher sucht das WC-Gebäude auf. Nach normaler Arbeitswoche und Feiertagswoche unterschieden, werden in der Feiertagswoche deutlich höhere verkehrsspezifische Nutzeranzahlen für den Parkplatz-Besuch und die WC-Anlagen-Nutzung festgestellt (vgl. Anhang 15). Die männlichen Nutzer überwiegen mit einem Anteil von 60-73 %. Der Anteil weiblicher Nutzerinnen nimmt von 27 % (normale Woche) auf 40 % in der Feiertagswoche zu (vgl. Anhänge 15 und 16). Sowohl bei männlichen Nutzern als auch bei weiblichen Nutzerinnen liegt der Anteil „urinaler“ Nutzungen (Verrichtung des „kleinen Geschäfts“) zwischen 95-97 % (vgl. Anhang 16 sowie [Bo 05] und [Em 08]).

Die Auswertung Daten aus der Datenerfassung der GLT von PWC „Klockow“ Ost für 2008 bezieht sich auf die Tagessummen der Spülvorgänge wasserverbrauchender Aggregate. In Abb. 10 sind die Tagessummen der Spülvorgänge, unterschieden nach Damen- und Herren-WC-Anlage als Jahresganglinie der Verkehrsstärke gegenübergestellt. Es ist erkennbar, dass der geglättete Jahresgang der Spülvorgänge weitgehend dem Verlauf der Verkehrsstärke folgt und damit das gleiche Muster wie der Wasserverbrauch aufweist (vgl. Kap. 2.1.2). Die Wochenperiodizität ist bei Betrachtung der uneglätteten Ganglinie (in Abb. 10 grau) ebenfalls erkennbar. Bei weiter auflösender Datenerfassung (z. B. Stundensummen) kann auch die Ta-

gesperiodizität der Nutzung Wasser verbrauchender Aggregate dargestellt werden (vgl. Abb. 1).

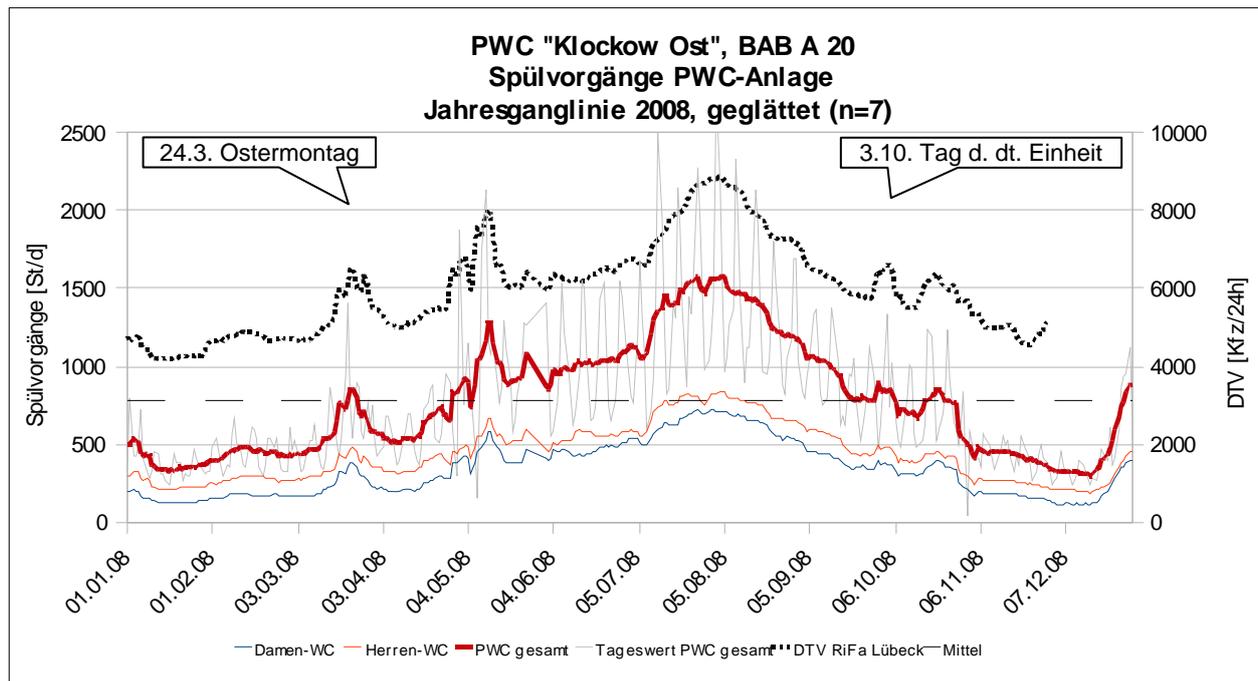


Abbildung 10: Spülvorgänge Damen-/Herren-WC und Verkehrsstärke, Jahresganglinie 2008, PWC „Klockow Ost“, BAB A20, aus [Weiß 09]

Aus dem Jahresgang der (absoluten Anzahl) der Spülvorgänge (Abb. 10) kann die aus den Betrachtungen zum Wasserverbrauch bekannte Starknutzungsphase, die [Weiß 09] als das saisonale Zeitintervall mit Überschreitungen des Mittelwertes kennzeichnet, von April bis Oktober abgelesen werden. Für PWC „Klockow Ost“ liegt die Zahl der Spülvorgänge der Herren-WC-Anlage bei weitgehend gleichartigem Verlauf über der Zahl der Spülvorgänge der Damen-WC-Anlage.

Die Verteilung der Spülvorgänge eines Jahres auf die verschiedenen WC-Einheiten des WC-Gebäudes „Klockow Ost“ und die Gegenüberstellung mit der gegenüberliegenden PWC-Anlage „Klockow West“ ist in Tab. 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Spülvorgänge Damen- und Herren-WC-Anlage 2008, PWC „Klockow Ost“ und PWC „Klockow West“, BAB A20, nach [Weiß 09], bearbeitet

Parameter	Einheit	PWC Klockow Ost	PWC Klockow West	Verhältnis
Anzahl der Tagessummen (n)	-	360	361	-
Wasserverbrauch (absolut)	m ³ /a	1.402	875	1,6
Spülvorgänge Damen-WC-Anlage (zwei WC, ein Waschtisch)	n/a	120.431	74.042	1,6
Spülvorgänge Herren-WC-Anlage (ein WC, zwei Urinale, ein Waschtisch)	Stk./a	156.041	80.437	1,9
Spülvorgänge Behinderten-WC-Anlage (ein WC, ein Waschtisch)	Stk./a	2.915	1.566	1,9
Spülvorgänge gesamt:	Stk./a	279.387	156.045	1,8
Spülvorgänge, tägliche (Mittelwert):	Stk./d	776	432	1,8

Die Benutzungshäufigkeit der einzelnen Aggregate (hier ermittelt als Anzahl der Spülvorgänge) erlaubt ohne Angabe bzw. Feststellung Aggregat-spezifischer Wasserverbräuche noch keine Aussage über den benutzungs- und nutzerspezifischen Wasserverbrauch. Das Nutzerverhalten kann jedoch weiter detailliert werden (vgl. Anhang 17). So nutzen 84 % der männlichen Nutzer die Urinale und 16 % das WC der Herren-WC-Anlage (Abb. 17-2, Anhang 17). Das bedeutet jedoch nicht, dass jede WC-Benutzung mit einer „fäkalen Nutzung“ einhergeht, da nach Erfahrung des Betriebspersonals insbesondere in Starkbelastungszeiten das WC auch für die „urinale Nutzung“ genutzt wird. [Weiß 09] ordnet für die PWC-Anlagen „Klockow Ost/West“ 52-57 % der Spülvorgänge männlichen Nutzern und 42-46 % weiblichen Nutzerinnen zu (1 % Benutzung Behinderten-WC-Anlage).

Grundsätzlich ist die registrierte Anzahl der Spülvorgänge nicht identisch mit der Anzahl der Nutzer, da ein Nutzer während einer Benutzung der WC-Anlage mehrere Aggregate nutzen kann und dabei mehrere Spülvorgänge auslösen kann. Zusätzlich können nach [Weiß 09] auch Zwischenspülungen, Fehlpülungen und Mehrfachspülungen auftreten, die bei der elektronischen Spülvorgangserfassung nicht differenziert werden. Bei einer rechnerischen Überprüfung des tatsächlichen Wasserverbrauchs mit dem Berechnungswert aus erfahrungsbasierten Aggregat-bezogenen Spülwassermengen (nach Angaben des Betriebspersonals) und der elektronisch erfassten Anzahl der Spülvorgänge lag der Berechnungswert 8 % über dem gemessenen Jahreswasserverbrauch [Weiß 09].

Beim Vergleich der beiden PWC-Standorte „Klockow Ost“ und „Klockow West“ (BAB A20) wird die Standortabhängigkeit der Nutzung von PWC-Anlagen deutlich. Bei annähernd gleicher Verkehrsbelastung (ca. 6.000 DTV) unterscheiden sich die Zahl der Spülvorgänge und die daraus resultierenden absoluten Wasserverbräuche als Folge verschiedener Nutzungshäufigkeiten (Frequentierung) der WC-Anlagen um den Faktor 1,6-1,9 (vgl. Tab 7). Die verkehrsspezifischen Wasserverbräuche bilden diesen Unterschied mit 673 l/1.000 Kfz („Klockow-Ost“) und 404 l/1.000 Kfz („Klockow-West“) und einem Verhältnis von 1,7 ebenfalls ab (vgl. Anhang 18 und [Em 08]). Wie durch die Grafik in Anhang 18 verdeutlicht wird, ist der PWC-Anlage „Klockow Ost“ (RiFa Lübeck) im Verlauf der zuführenden BAB A11 (ca. 100 km) aus Richtung Berlin im Untersuchungszeitraum lediglich eine Tank- und Rastanlage (ca. 65 km) mit WC-Angebot und keine PWC-Anlage vorgelagert. Insbesondere der Wochenend- und Reiseverkehr zwischen den Regionen Berlin/Brandenburg und Ostsee (Insel Usedom/Insel Rügen) trifft auf der PWC-Anlage „Klockow Ost“ erstmals auf bewirtschaftete kostenfreie WC-Anlagen. Bei der gegenüberliegenden PWC-Anlage „Klockow West“ (RiFa A11 Stettin/Berlin) sind dem gegenüber ab der Anschlussstelle Stralsund vier gleichartig ausgestattete PWC-Anlagen vorgelagert.

Diskussion

Eine quantitativ verallgemeinerungsfähige Einschätzung des Abwasser verursachenden Nutzerverhaltens auf PWC-Anlagen kann hier nicht vorgenommen werden. Zum einen differieren die Ausstattung mit Wasser verbrauchenden Aggregaten und vor allem die betriebsseitig eingestellten tatsächlichen Spülwassermengen pro Aggregat und Spülvorgang zwischen den PWC-Standorten an den BAB erheblich. Zum anderen beeinflussen standortspezifische Faktoren das Nutzungsverhalten und bringen damit unterschiedliche verkehrsspezifische Wasserverbräuche hervor. So erzeugen verschiedene Verkehre (Pendlerverkehr, Berufskraftverkehr, Transitverkehr, Reise- und Wochenendverkehr) unterschiedliche Benutzungshäufigkeiten (Frequentierung) der PWC-Anlagen. Aber auch Lagebeziehungen zu vor- und nachgelagerten Serviceeinrichtungen (PWC-Anlagen, Tank- und Rastanlagen) oder Verkehrsknotenpunkten (Autobahnkreuzungspunkte) beeinflussen offensichtlich die Nutzungspräferenzen der einzelnen PWC-Anlagen.

Der hohe Anteil männlicher WC-Anlagen-Nutzer und das Überwiegen „urinaler“ Nutzungen legt den Ansatz nahe, mit stoffstromtrennenden Sanitäreinrichtungen (hier: wasserfreie Urina-

le in den Herren-WC-Anlagen) die PWC-Abwässer von einem erheblichen Anteil der problemverursachenden Urinfracht und der damit verbundenen Spülwassermengen zu entlasten (vgl. auch [Now 08], [Lon 10a]). Damit dürfte das PWC-Abwasser-typische ungünstige C/N/P-Verhältnis in Richtung zu einem für die biologische Abwasserbehandlung günstigeren C/N/P-Verhältnis verschoben werden. Des Weiteren ist von einer deutlichen Verringerung des Wasserverbrauches bzw. der Abwassermengen und der Abwassermengenschwankungen auszugehen. Damit könnte die Belastung vorhandener dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen an PWC-Anlagen vermindert bzw. diese in ihrer Leistungsfähigkeit gesichert oder gesteigert werden. Neue dezentrale Abwasserbehandlungsanlagen könnten kleiner dimensioniert und kostengünstiger errichtet und betrieben werden. Allerdings sind für die Erfassung und insbesondere Zwischenlagerung des wasserfrei erfassten Urins ein separates Ableitungssystem und entsprechende Zwischenspeichertanks erforderlich. Noch anspruchsvoller erscheint aus heutiger Sicht die Sicherstellung einer ordnungsgemäßen, vorzugsweise stofflich orientierten Entsorgung bzw. Verwertung des separat erfassten Urins. Hier besteht weiter Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Mit der Einbeziehung von neuartigen Sanitärsystemen bzw. EcoSan-Technologien in die Betrachtung zur dezentralen versus zentralen Behandlung von PWC-Abwässern sollten neben Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (Kostenvergleich von Entsorgungsalternativen; vgl. [Lon 10b] auch ökologische bzw. wasserwirtschaftliche Nachhaltigkeitskriterien in den Fokus genommen werden, die die Material- und Energieintensität sowie stoffstrom- und kreislauforientierte Aspekte des Umganges mit Abfällen (hier z. B. wasserfrei erfasster Urin) und Abwasser von PWC-Anlagen berücksichtigen.



Abbildung 11: Reisebusverkehr mit mobiler Imbissversorgung, PWC „Belvedere Nord“, BAB A4 (Foto: R. Emmerich 6.9.2006)

3. Fazit

Im Ergebnis der betriebstechnischen Bestandserfassung vorhandener Abwasserbehandlungsanlagen an PWC-Anlagen und gezielter Untersuchungen kann die Beschaffenheit von PWC-Abwässern wie folgt charakterisiert werden. PWC-Abwässer sind mit den Abwasserteilströmen Braun-, Grau- und Gelbwasser der Herkunft nach vergleichbar mit häuslichen Abwässern. Ihre Zusammensetzung weicht auf Grund des hohen Urin-Eintrages (Gelbwasser) und geringerer Grauwasseranteile deutlich von der Zusammensetzung häuslicher/kommunaler Abwässer ab. Die Konzentration der Abwasserinhaltsstoffe schwankt erheblich, so dass für Bemessungsfragen statt der Mittelwerte die 85 %-Perzentilwerte als maßgeblich herangezogen werden sollten. Die organische Abwasserbelastung (CSB, BSB₅) im Rohabwasser bzw. im Trübwasser der ersten Absetzkammer liegt in vergleichbarer Größenordnung wie bei häuslich/kommunalem Abwasser. Die Stickstoff-Konzentrationen liegen jedoch um den Faktor 5-7 höher. Das C/N-Verhältnis (hier das BSB₅/TKN-Verhältnis) liegt bei PWC-Abwässern nahe 1:1. Der Stickstoffanteil ist im Vergleich zu häuslich/kommunalem Abwasser um den Faktor 4-5 erhöht. Gegenüber dem für die biologische Abwasserbehandlung als günstig angesehenen C/N/P-Verhältnis ist bei PWC-Abwässern ein deutlicher Stickstoff-Überschuss vorhanden. Die Feststoffgehalte sind niedriger und die Leitfähigkeitswerte deutlich höher als bei häuslich/kommunalem Abwasser. Die abweichende Zusammensetzung von PWC-Abwässern ist, wie für öffentliche Toilettenanlagen typisch, auf die stark einseitige Belastung durch hohe Urin-Einträge zurückzuführen. Dadurch treten unter anderem pH-Werte im alkalischen Bereich (pH: 8-9) auf, in deren Folge es zu verstärkter Auskristallisation von Härtebildnern bzw. „Urinstein“-Bildung kommt. Aus dem ungünstigen C/N-Verhältnis folgt für die biologische Abwasserbehandlung auch die Gefahr der gehemmten bzw. selbstlimitierenden Nitrifikation, die auf den Kohlenstoffabbau rückwirken kann.

Da Bemessungsansätze für Bodenfilter Fracht-bezogen sind (spezifische CSB- oder hydraulische Flächenbelastung) können Frachten von PWC-Abwässern über die Abwasserbeschaffenheit (Konzentrationswerte der Abwasserinhaltsstoffe) und die Abwassermenge abgeleitet werden. Dazu wurden die Wasserverbräuche auf PWC-Anlagen, die bei gegebener Trennkana-lisation und zuzüglich der eingetragenen Urinmengen dem Abwasseranfall entsprechen, untersucht. Die Wasserverbräuche bzw. Abwasseranfalle schwanken ebenfalls erheblich. Dabei wurden tägliche, wöchentliche und saisonale Periodizitäten sowie Maxima in Feiertags-wochen und zur Sommerferienzeit festgestellt. Der überwiegende Teil des täglichen Wasserverbrauches wird in der „Tages“-Hälfte mit dem Maximum um die Mittagszeit und teilweise einem Zwischenmaximum im Feierabendverkehr realisiert. Im Wochenverlauf liegt das Maximum des Wasserverbrauches am Wochenende (Freitag-Sonntag), das Minimum in der Wochenmitte (Dienstag-Mittwoch). Im Jahresverlauf gibt es Spitzenbelastungen um die Feiertage (z. B. Ostern, Himmelfahrt, Pfingsten) und eine Starkbelastungsphase in der Sommerferienzeit. Die Wasserverbräuche folgen in ihrem zeitlichen Verlauf grundsätzlich der Verkehrsbelastung (Verkehrsstärke). An Wochenenden ergibt sich jedoch ein differenziertes Bild. Hier steigen die verkehrsspezifischen Wasserverbräuche mit der Zunahme des motorisierten Individualverkehrs (MIV) an. Bemessungsrelevante Ermittlungen des Wasserverbrauches/Abwasseranfalls sollten möglichst auf täglichen Wasserverbrauchserfassungen, die mindestens das Sommerhalbjahr (April-Oktober) umfassen, beruhen. Für dezentrale Abwasserbehandlungsanlagen sind Einrichtungen zur Zwischenspeicherung der täglichen sowie Wochenend- und Feiertags-bedingten Spitzenbelastungen vorzusehen. Dezentrale Abwasserbehandlungsverfahren müssen darüber hinaus unempfindlich für Unterlastphasen (z. B. in der Wochenmitte, im Winterhalbjahr) sein.

Untersuchungen vorhandener Abwasserbehandlungsanlagen an PWC-Anlagen zeigen, dass insbesondere mit bewachsenen Bodenfiltern die Anforderungen an die Abwasserbehandlung nach Größenklasse 1, z. T. auch nach Größenklasse 2, Anhang 1 AbwV [AbwV 97] stabil

eingehalten werden können. Allerdings haben sich bei den Recherchen zu den in Betrieb befindlichen Abwasserbehandlungsanlagen zwei Problemfelder (Betriebssicherheit/Störanfälligkeit und Unterbemessung/Überlastung/Kolmation) herausgestellt, die Betriebsprobleme bis zum Totalausfall aufweisen bzw. den Anforderungen an die Reinigungsleistung nicht genügten. So waren zu gering bemessene Vorklärungen (Mehrkammergrubensysteme) ursächlich für Verstopfungen im Zulaufbereich („Zuwachsen“ des Zulaufs in den ersten Absetzbehältern durch Schwimmschlammdecke) mit Abwasserrückstau bis in das WC-Gebäude einerseits und Kolmation von Bodenfiltersystemen bei Schlammaustrag andererseits. Auch die teilweise massiven Ablagerungen (auskristallisierte Härtebildner, „Urinstein“-Bildungen) führten zu Verstopfungen in Leitungssystemen und Pumpen und damit zu häufigeren Betriebsstörungen. Die starke Schwimmschlammdeckenbildung und die kristallinen Ablagerungen führen zu einem erhöhten Kontroll- und Wartungsaufwand. Kolmationserscheinungen an bewachsenen Bodenfiltern waren auf Unterdimensionierung der Abwasserbehandlungsanlage bzw. auf Überlastung durch den tatsächlichen Abwasseranfall zurückzuführen. Dabei können die drei Mechanismen

- Feststoffeintrag in den Bodenfilter auf Grund hydraulischer Überlastung der Vorklärung
- hydraulische Überlastung des Bodenfilters mit Ausbildung anaerober Bereiche
- Überlastung mit organischen Abwasserinhaltsstoffen (spezifische CSB-Flächenbelastung) mit Akkumulation organischer Substanz im Porenraum des Bodenfilters

parallel bzw. simultan und synergetisch wirken. Der dem beabsichtigten Feststoffrückhalt in den Vorkläreinheiten zuwiderlaufende Einsatz von Schneidradpumpen ist planungsseitig zu vermeiden. Die Besonderheiten der PWC-Abwässer (starke Schwankungen der Abwassermenge und -inhaltsstoffe führt zu wechselnden Belastungen der Abwasserbehandlungsanlage, Kristallisationserscheinungen, Schwimmschlammdeckenbildung) machen eine mindestens vierteljährliche fachkundige Wartung der dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen erforderlich. Im Einzelfall sind zusätzliche Wartungen oder Wartungsteilleistungen in Starkbelastungsphasen (Sommerferienzeit) angezeigt.

Die Ableitung von Bemessungsansätzen für bewachsene Bodenfilter zur Behandlung von PWC-Abwässern orientieren sich am Vergleich der Bemessungswerte des im Projektverlaufs überarbeiteten technischen Regelwerkes zur Bemessung bewachsener Bodenfilter für die Behandlung häuslicher/kommunaler Abwässer [DWA-A 262]. Die hydraulische Belastung (Abwassermenge \approx Wasserverbrauch) sollte vorzugsweise aus Jahresreihen täglicher Wasserverbrauchswerte durch den 85 %-Perzentilwert abgeleitet werden. Sind tägliche Wasserverbrauchswerte nur als Mittelwerte aus längeren Erfassungsperioden (Wochen-, Monats-, Jahresverbrauchswerte mit n Tagen) ableitbar, wird vorgeschlagen, den 85 %-Perzentilwert durch Multiplikation mit dem Faktor 1,7 bei $n < 730$ d bzw. mit dem Faktor 1,5 bei $n \geq 730$ d abzuschätzen. Für prognostische Abschätzungen des Wasserverbrauches können die Erfahrungswerte vor- oder nachgelagerter PWC-Anlagen im Autobahnabschnitt herangezogen werden. Absehbare oder geplante zukünftige Entwicklungen (z. B. Verkehrszunahme) sind durch Sicherheitsaufschläge zu berücksichtigen. Als Bemessungswert für die hydraulische Flächenbelastung von Bodenfiltern wird hier der in [DWA-A 262] vorgegebene Wert von ≤ 80 l/(m²*d) weiterempfohlen. Als Bemessungswert für die CSB-Flächenbelastung von Bodenfiltern wird hier der in [DWA-A 262] vorgegebene Wert von ≤ 20 gl/(m²*d) weiterempfohlen. Dabei sind diese Anforderungswerte vom 85 %-Perzentilwert der parameterbezogenen anlagenkonkreten Belastung einzuhalten.

Entsprechend der Bedeutung der Mehrkammergrubensysteme als Vorkläreinheit für den kolmationssicheren Betrieb von Bodenfiltern und der durch Betriebsprobleme hervorgerufenen starken Schwimmschlammdecken wurde die Schwimmschlammbildung näher untersucht. Es sind aufschlussreiche Ergebnisse zum Verständnis des Vorbehandlungsprozesses in Absetzbehältern mit Hinweisen zur Bauausführung, Betriebsführung und Auswirkungen auf eine nachgeschaltete aerobe biologische Reinigungsstufe herausgearbeitet worden. Quantita-

tive Aussagen zur Schwimmschlammdeckenbildung und zur Wirksamkeit des Feststoffrückhaltes konnten jedoch nicht abgeleitet werden. Im ersten Absetzbehälter bildet sich eine stabile Schichtung (Zonierung) von Schwimmschlammzone, Trübwasserzone, und Bodenschlamm- bzw. Eindickzone heraus. Die zeitweise Ausbildung von pH-Wert- und Salzgehaltsgradienten (Zonierung) ist metastabil. Konzentrationsgradienten (auch CSB) gleichen sich mit fortdauernder Betriebsphase wieder an. Der anaerobe Abbau der organischen Substanz in der Eindickzone führt durch Hydrolyse- und Versäuerungsprozesse zur „Rücklösung“ bzw. Aufstockung des CSB in der flüssigen Phase (Trübwasser) und in Folge der Gasentwicklung (Methanogenese) zur Flotation als einen die Schwimmschlammdeckenbildung forcierenden Prozess. In Abbauversuchen mit modifizierten Zahn-Wellens-Tests ermittelte refraktäre CSB-Anteile (10-20 % des gelösten CSB) wurden durch weitere Untersuchungen in dieser Höhe nicht bestätigt. Die geringsten Feststoffkonzentrationen im Trübwasser in einer Schachttiefen-unabhängigen Füllstandshöhe von 90-150 cm empfehlen vorzugsweise einen Abzug des Trübwassers aus dem Absetzbehälter bei einer Füllstandshöhe von 120 cm. Um Betriebsproblemen (Verstopfungen) durch die den Zulauf zum ersten Absetzbehälter „zuwachsende“ Schwimmschlammdecke zu vermeiden bzw. längere Schlammensorgungsintervalle und damit geringere Schlammensorgungskosten zu ermöglichen, wird eine Absturzhöhe zwischen Zu- und Ablaufrohr von ≥ 30 cm empfohlen. Der erste Absetzbehälter sollte auf jeden Fall als nicht unterteiltes Schachtbauwerk vorgesehen werden, damit sich ein vergrößerter Schwimmschlamm-speicherraum gegenüber DIN-gerechten Mehrkammergruben nach [DIN 4261 T1] ergeben kann. Eine gezielte Entnahme von Bodenschlamm kann die Schwimmschlammdeckenausbildung bei intervallweiser Entsorgung unterbrechen (Zusammenbruch der metastabilen Schwimmschlammdecke) oder bei kontinuierlicher Entsorgung (vgl. MUTEK-System [MUEK 02] auf Grund fehlender Gasbildung und Flotation vermindern. Überschussschlammproduktion im nachgeschalteten Bodenfilter und damit Kolmationsgefährdung in Folge der rücklösungs- bzw. aufstockungsbedingten Erhöhung der CSB-Fracht ist bei regelwerks- und belastungskonformer Auslegung, Errichtung und Betrieb der Bodenfiltersysteme nicht zu erwarten.

Die im Zuge der Projektbearbeitung abgeleiteten Bemessungsansätze wurden bei vier SUBTERRA-Pflanzenkläranlagen an drei PWC-Standorten berücksichtigt bzw. in die Planung, Errichtung und Betrieb integriert. Diese aus Projektsicht als Pilot-Anlagen aufgefassten Bodenfilter-Anlagen wurden nach Inbetriebnahme in die Projektuntersuchungen einbezogen. Die umfangreichen Untersuchungen zur 2006 in Betrieb genommenen PWC-Anlage „Belvedere Süd“ (BAB A4, Thüringen) belegen detailliert, dass Bodenfiltersysteme und hier insbesondere SUBTERRA-Pflanzenkläranlagen geeignet sind, dauerhaft und stabil die Anforderungen an die Abwasserbehandlung nach Größenklasse 2, Anhang 1 AbwV [AbwV 097] einzuhalten. Bei gezielter Rezirkulation (RV 2-4) wurde auch eine weitgehende Nitrifikation ($\text{NH}_4\text{-N} \leq 10$ mg/l und $\text{NO}_2\text{-N} \leq 2$ mg/l) und partielle Denitrifikation etabliert. Die Abwasseruntersuchungen der anderen drei Pilotanlagen (PWC „Oberwald“, BAB A4 Sachsen und PWC „Trebeltal Nord/Süd“, BAB A20 Mecklenburg-Vorpommern) bestätigen diese Feststellungen.

Eine direkte Abhängigkeit von Verkehrsbelastung und Wasserverbrauch/Abwasseranfall, realisiert durch die PWC-Anlagen-Nutzer, ist unbestreitbar. Die Ausprägung der Abhängigkeit ist jedoch PWC-Anlagen-spezifisch und derzeit nicht verallgemeinerungsfähig. Neben der technischen Ausstattung der WC-Anlagen (Anzahl und Spülwassermengen der Wasser verbrauchenden Aggregate WC, Urinal und Handwaschtisch) ist der verkehrsspezifische Wasserverbrauch auch abhängig von der Art der Verkehre (Pendlerverkehr, Berufskraftverkehr, Transitverkehr, Reise- und Wochenendverkehr) und der standörtlichen Lagebeziehung zu vor- und nachgelagerten Serviceeinrichtungen und Verkehrsknotenpunkten und damit einhergehenden Nutzungspräferenzen der Verkehrsteilnehmer.

Ob die für die Bemessung von dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen an PWC-Anlagen erforderlichen Abwasserfrachten über den verkehrsspezifischen Wasserverbrauch in Verbindung mit den Konzentrationen der Abwasserinhaltsstoffe (wie in diesem Projekt) oder über nutzerspezifische Frachten (wie in dem von der BAST getragenen und der BUW durchgeführten Projekt) ermittelt wird, kann unbeachtet bleiben, da beide Ansätze der Aufklärung der zuvorderst verkehrswirtschaftlich bzw. verkehrswissenschaftlich beantwortbaren Frage eines verallgemeinerungsfähigen Zusammenhangs zwischen Verkehrsbelastung des Autobahnabschnittes und Nutzungsintensität der PWC-Anlage bedürfen.

Durch die Einführung neuartiger Sanitärsysteme (hier: wasserfreie Urinale) für die Herren-WC-Anlagen, können PWC-Abwässer entproblematisiert und damit ihre biologische Behandlung in dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen vereinfacht werden. Eine stoffliche Verwertung des separat erfassten Urins kann eine umweltfreundlichere und nachhaltigkeitssteigernde Weiterentwicklung der PWC-Abwasserbehandlung darstellen. Die Einbeziehung ökologischer bzw. wasserwirtschaftlicher Nachhaltigkeitsaspekte in die Betrachtung dezentrale versus zentrale PWC-Abwasserentsorgung kann die Anwendung dezentraler Behandlungssysteme für PWC-Abwässer befördern. Für die Integration neuartiger Sanitärsysteme wie auch für die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten sind weitere Forschungs- und Entwicklungsbemühungen erforderlich.

4. Literatur- und Quellenverzeichnis

- [AbwV 97] *Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV) vom 21.3.1997.* in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004, BGBl. I S. 1108, 2625
- [ATV-A 109] ABWASSERTECHNISCHE VEREINIGUNG E.V. (Hrsg.): *Arbeitsblatt ATV-A 109 – Richtlinien für den Anschluß von Autobahnnebenbetrieben an Kläranlagen.* GFA-Verlag St. Augustin, Januar 1983
- [ATV-A 131] ABWASSERTECHNISCHE VEREINIGUNG E.V. (Hrsg.): *Arbeitsblatt ATV-A 131 - Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5000 Einwohnerwerten.* Hennef, Februar 1991
- [ATV-DVWK-A 131]
DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. (Hrsg.): *ATV-DVWK-Arbeitsblatt 131 - Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen.* Hennef, Mai 2000
- [ATV-DVWK-A 198]
DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. (Hrsg.): *Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 – Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen.* Hennef, April 2003
- [ATV-DVWK-M 279 Entw]
DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. (Hrsg.): *ATV-DVWK-Merkblatt 279 Entwurf – Abwasser von Autobahn-Service-Betrieben.* ATV-Fachausschuss KA-10, Hennef, 28.01.2002
- [Bo 05] BOTHE, F., KOPPMANN, H., SCHERWINSKI, A., DEUS, J.: *Erfassung und Abschätzung der realen abwasserseitigen Belastung an einer Autobahn-PWC-Anlage.* Bauhaus Universität Weimar, Lehrstuhl Siedlungswasserwirtschaft und Materialforschungs- und -prüfanstalt Weimar, Studienarbeit, 2005. (unveröffentlicht)
- [DIN 1085 97]
DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *DIN 1085: Abwasserbehandlung Wörterbuch Dreisprachige Fassung.* Beuth Verl., Berlin, Juli 1997
- [DIN 4261-T1 02]
DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *DIN 4261-1: Kleinkläranlagen – Teil 1: Anlagen zur Abwasservorbehandlung.* Beuth Verl., Berlin, Dezember 2002
- [DWA-A 262]
DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (Hrsg.): *Arbeitsblatt DWA-A 262 Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Pflanzenkläranlagen mit bepflanzten Bodenfiltern zur biologischen Reinigung kommunalen Abwassers.* Hennef, März 2006

- [DWA-M 279] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (Hrsg.): *Merkblatt DWA-M 279 Abwasser von Autobahn-Service-Betrieben.* (zur Zeit in Bearbeitung)
- [Em 08] EMMERICH, R.: *Abwasser von Parkplatz-WC-Anlagen - Charakteristik und Behandlung.* Vortrag zum DBU-Projekt - Workshop und Erfahrungsaustausch „Abwasser von Autobahnnebenbetrieben – Charakteristik und Behandlung“, Weimar, 21. Februar 2008.
- [Em 10] EMMERICH, R.: *PWC-Anlagen „Habichtsfang“ (Belvedere) Nord/Süd – Wasserverbräuche/Abwasseranfälle 2008-2009.* Fachtechnische Stellungnahme im Auftrag des Thüringer Landesamtes für Bau und Verkehr, Duckwitz, 18.06.2010. (unveröffentlicht)
- [FGSV 09] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRABENVERKEHRSWESEN: *Richtlinien für Raqstanlagen an Straßen RR (Entwurf).* AG Straßenentwurf, 2009 (unveröffentlicht)
- [Har 08] HARTMANN, M.: *Überblick zur Problematik der Abwasserentsorgung an PWC-Anlagen.* Vortrag zum DBU-Projekt - Workshop und Erfahrungsaustausch „Abwasser von Autobahnnebenbetrieben – Charakteristik und Behandlung“, Weimar, 21. Februar 2008.
- [Hin 06] HINRICHSSEN, O.: *Erfassung und Charakterisierung der Abwassersituation bei Parkplatz-WC-Anlagen.* Universität Rostock, Diplomarbeit, 2006.
- [Fehr 03] FEHR, G. et. al: *Bewachsene Bodenfilter als Verfahren der Biotechnologie.* Umweltbundesamt, Texte 05/03, Berlin, 2003.
- [Im 07] Imhof, K.; Imhof, K. R.: *Taschenbuch der Stadtentwässerung.* 30. Aufl., Oldenbourg Industrieverlag, München, 2007.
- [Kul 01] KULLE, E.-P.: *Untersuchungen an den A4 Park-WC-Pflanzenkläranlagen.* Materialforschungs- und -prüfanstalt Weimar, im Auftrag des Autobahnamtes Thüringen, 2001. (unveröffentlicht)
- [Kul 05] KULLE, E.-P.: *Erste Ergebnisse zur Untersuchung von Abwasserbelastung und Reinigungsleistung ausgewählter Kläranlagen an BAB-Parkplatz-WC-Anlagen.* Vortrag zur DBU-Projekt – Präsentation der Zwischenergebnisse & Erfahrungsaustausch, Duckwitz, 24./25.11.2005
- [Kul 08] KULLE, E.-P.: *Untersuchung der Reinigungsleistung der SUBTERRA-Pflanzenkläranlage PWC „Belvedere Süd“.* Vortrag zum DBU-Projekt - Workshop und Erfahrungsaustausch „Abwasser von Autobahnnebenbetrieben – Charakteristik und Behandlung“, Weimar, 21. Februar 2008.
- [Lon 09] LONDONG, J.; HARTMANN, M.: *Bericht über die Untersuchung zur Schwamm-schlammdeckenbildung in den Absetzbecken der PWC-Anlagen „Belvedere Nord“ und Belvedere Süd“.* Bauhaus Universität Weimar, Professur Siedlungswasserwirtschaft, im Auftrag der MFPA Weimar, 2009. unveröffentlicht

- [Lon 10a] LONDONG, J.; MÜLLER, J.: *Bericht der MFPA – Erarbeitung von allgemeinen Bemessungsansätzen für dezentrale bewachsene Bodenfilter für PWC-Anlagen bewirtschafteter und unbewirtschafteter Rastanlagen an Autobahnen am Beispiel der Subterra-Pflanzenkläranlagen*. Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus Universität Weimar, 2010. (unveröffentlicht)
- [Lon 10b] LONDONG, J.; MEYER, D.: *Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 195, Wirtschaftsverlag NW, Bergisch-Gladbach, 2010.
- [Mül 08] MÜLLER, J.; KULLE, E.-P.: *Erarbeitung von allgemeinen Bemessungsansätzen für dezentrale bewachsene Bodenfilter für PWC-Anlagen bewirtschafteter und unbewirtschafteter Rastanlagen an Autobahnen am Beispiel der Subterra-Pflanzenkläranlagen*. Vortrag beim Kolloquium der Bauhaus Universität Weimar, Lehrstuhl Siedlungswasserwirtschaft und der MFPA Weimar, 10.11.2008.
- [MUTEC 02] MUTEC GMBH: *Grenznaher Bau und modellhafte Erprobung einer Abwasserreinigungsanlage in Polen mit bewachsenem Bodenfilter (Pflanzenbeet), integrierter Klärschlammmentwässerung, Kompostierung und Hygienisierung*. DBU-Projekt, Az.: 08664/01, 2002.
- [Now 07] NOWAK, J.; HEISE, B.: *Naturnahe Abwasserbehandlung in Pflanzenkläranlagen und Teichkläranlagen*. DWA-Kommentar zum DWA-Regelwerk, Hennef, Oktober 2007.
- [Now 08] NOWAK, J.: *DWA-Fachausschuss KA 10 – Aktuelles aus der Regelwerksarbeit zu Abwässern von Autobahnrastanlagen und bepflanzten Bodenfiltern*. Vortrag zum DBU-Projekt - Workshop und Erfahrungsaustausch „Abwasser von Autobahnnebenbetrieben – Charakteristik und Behandlung“, Weimar, 21. Februar 2008.
- [UBA 03] FEHR, G. et. al: *Bewachsene Bodenfilter als Verfahren der Biotechnologie*. UBA-Texte 05/03, Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin, 2003
- [Weiß 09] WEIßBACH, P.: *Bericht der praktischen Studienphase*. Beuth-Hochschule für Technik Berlin, Studienarbeit, 2009. (unveröffentlicht)

Danksagung

Die Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH bedankt sich bei allen Beteiligten und Unterstützern, die zum Gelingen dieses Projektes durch ihre aufgeschlossene und hilfsbereite Zusammenarbeit beigetragen haben.

Landesstraßenbauverwaltungen

Mecklenburg-Vorpommern: Herr Franzke, Herr Bender, Frau Kröger, Frau Mickoleit
Autobahnmeister/-innen: Herr Rath, Herr Jordan, Herr Möller-Titel,
Frau Wolf, Frau Plagemann

Brandenburg: Herr Kulicke, Frau Lubbe
Autobahnmeister: Herr Kähler, Herr Bastian, Herr Adam, Herr Rhil, Herr Conrad

Thüringen: Herr Th. Müller, Herr Walther, Herr Kirst, Herr Friedrich

Sachsen: Herr Eckert, Herr Beck, Herr Grunert, Herr Belder
Autobahnmeister: Herr Staude, Herr Brosch, Herr Irmscher

Herr Dittrich, Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -baugesellschaft mbH Berlin

Herr Dr. Nowak, DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft,
Abwasser und Abfall e. V., DWA-Fachausschuss KA 10

MFPA – Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus Universität Weimar
Herr Dr. Nitzsche, Frau Ehrig, Herr Dipl.-Ing. Müller

Bauhaus Universität Weimar, Professur Siedlungswasserwirtschaft
Herr Prof. Londong, Herr Dipl.-Ing. Hartmann

Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH
Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen: Frau Dipl.-Ing. A. Schwerdfeger, Herr Blank, Herr Müller
Diplomanden/Praktikanten: Herr Dipl.-Ing. Hinrichsen, Herr Weißbach,
Frau Pervaz, Frau Aigner

Besonderen Dank für die jederzeit konstruktive und projektfördernde Zusammenarbeit möchten wir

Herrn Dr. rer. nat. Peter Kulle, MFPA – Materialforschungs- und -prüfanstalt Weimar
und dem

DBU-Team der Abteilung 2 Umwelttechnik, Referat 23 Kreislaufführung und Bautechnik

Herr Dr. Grimm, Herr Dipl.-Ing. Heidenreich,

Frau Alberts und Frau Peischl
sowie Frau Piepmeyer und Herr Klimm

aussprechen.

Joachim Krüger
- Geschäftsführer -

Ralph Emmerich
- Projektleiter -

Anhänge

- Anhang 1: Übersicht: Beschaffenheit des Abwassers von PWC-Anlagen
- Anhang 2: Übersicht: Abwasserbeschaffenheit in der Mehrkammergrube (1. Kammer, Zulauf abgesetzt) (Zwischenauswertung [Em 08])
- Anhang 3: Überblick Abwasseruntersuchungen PWC "Klockow Ost", BAB A20, SUBTERRA-Pflanzenkläranlage
- Anhang 4: Wasserverbrauch und Verkehrsbelastung von PWC-Anlagen, Wochengang, Beispiele
- Anhang 5: Wasserverbrauch und Verkehrsbelastung von PWC-Anlagen an Feiertagen, Beispiele
- Anhang 6a: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, Jahresganglinien 2003 mit Ferien- u. Feiertagen, PWC „Am Steinberg“, BAB A4
- Anhang 6b: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, Jahresganglinien 2005 mit Ferien- u. Feiertagen, PWC „Selliner See“ Nord, BAB A20
- Anhang 7a: Auswertung Wasserverbrauchserfassung PWC „Belvedere Nord/Süd“, Tabelle
- Anhang 7b: Auswertung Wasserverbrauchserfassung PWC „Belvedere Nord/Süd“ Jahresganglinien Wasserverbrauch PWC „Belvedere Nord“ 2008/2009
- Anhang 7c: Auswertung Wasserverbrauchserfassung PWC „Belvedere Nord/Süd“ Jahresganglinien Wasserverbrauch PWC „Belvedere Süd“ 2008/2009
- Anhang 8: Überblick dezentrale Abwasserbehandlungsanlagen an PWC in Ostdeutschland
- Anhang 9: Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall auf der PWC-Anlage „Schremheide“, BAB A24
- Anhang 10: Wasserverbrauch verschiedener PWC-Anlagen, Abschätzung Bemessungswert aus 85 %-Perzentilwert und berechnet aus Mittelwert mit Berechnungsfaktor (im Vergleich zum 85 %-Perzentilwert), nach [Em 08] erweitert
- Anhang 11: Spezifische hydraulische Flächenbelastungen verschiedener Bodenfilter von PWC-Anlagen und Vergleich mit Anforderung nach DWA-A 262
- Anhang 12: Spezifische CSB-Flächenbelastungen verschiedener Bodenfilter von PWC-Anlagen und Vergleich mit DWA-A 262
- Anhang 13: Reinigungsleistung SUBTERRA-Pflanzenkläranlage „PWC Belvedere Süd“, BAB A4
- Anhang 14: Reinigungsleistung SUBTERRA-Pflanzenkläranlage PWC "Oberwald", BAB A4

- Anhang 15: Übersicht: Verkehr und Parkplatz-WC-Nutzung; aus [Em 08])
- Anhang 16: Übersicht: Nutzungsverhalten WC-Anlagen PWC „Belvedere Nord“, BAB A4; aus [Em 08]
- Anhang 17: Übersicht: Nutzerverhalten WC-Anlage PWC "Klockow Ost", BAB A 20; aus [Weiß 09]
- Anhang 18: Standortabhängigkeit: Beispiel PWC Klockow Ost/West, BAB A20; aus [Em 08]

Anhang 1

Projekt: "Erarbeitung von allgemeinen Bemessungsansätzen für dezentrale bewachsene Bodenfilter für WC-Anlagen bewirtschafteter und unbewirtschafteter Rastanlagen an Autobahnen am Beispiel der „Subterra“-Pflanzenkläranlagen"

Förderung: DBU - Deutsche Bundesstiftung Umwelt; Az.: 21671/01 u. 21671/02

Phase: Abschlussbericht

Übersicht: Beschaffenheit des Abwassers von PWC-Anlagen

lfd. Nr.	BAB und PWC-Standort	Probenahmestelle	CSB [mg/l]					BSB ₅ [mg/l]					NH ₄ -N [mg/l]					Quelle
			Mittelwert/Median(*)	Min	Max	Standardabweichung	n	Mittelwert/Median (*)	Min	Max	Standardabweichung	n	Mittelwert/Median (*)	Min	Max	Standardabweichung	n	
1	A 4 PWC Am Steinberg	MKG1	413,2	229,0	790,0	229,0	5	154,4	132,0	203,0	29,4	5	207,4	109,0	282,0	66,4	5	JK-PKA
2	A 13 PWC Kitlitz	MKG1	322,8	26,4	889,0	268,9	11	46,4	2,0	128,0	43,1	9	143,1	4,9	274,0	71,9	11	JK-PKA
3	A 20 PWC Klockow-Ost	MKG1	454,9	85,7	1.344,0	328,6	18	153,3	12,0	498,0	145,2	16	149,0	42,0	260,0	63,4	17	JK-PKA
4	A 20 PWC Klockow-West	MKG1	399,9	126,0	1.344,0	269,1	18	125,2	25,0	275,0	71,6	15	156,3	47,0	274,0	69,7	17	JK-PKA
5	A 20 PWC Selliner See	MKG1	367,4	165,0	648,0	152,1	19	132,3	46,0	235,0	66,1	17	177,7	59,9	349,0	71,6	19	JK-PKA
6	A 20 PWC Vier-Tore-Stadt	MKG1	500,8	191,0	880,0	285,9	4	174,5	92,8	251,0	83,1	4	147,5	109,0	230,0	55,6	4	JK-PKA
7	A 24 PWC Putlitz	MKG3	371,0	21,9	600,0	252,9	5	154,0	101,0	207,0	75,0	2	167,3	23,5	294,0	112,6	4	JK-PKA
8	A 71 PWC Dornheim 2005-2006	VK2	360,0 *	181,0	981,0	-	12	152,0 *	66,0	507,0	-	11	151,0 *	64,0	230,0	-	12	[Lon 10a]
9	A 71 PWC Dolmar 2005/2006	VK1	443,0 *	299,0	1.001,0	-	13	285,0 *	125,0	473,0	-	12	200,0 *	120,0	270,0	-	13	[Lon 10a]
10	A15 PWC Gr. Lübbenau	MKG1	772,0	665,0	899,0	118,3	3	137,5	101,0	174,0	51,6	3	264,8	218,8	354,0	77,3	3	JK-PKA
11	A10 PWC Caputh	Zulauf	852,3	579,0	1.269,0	366,7	3	-	-	-	-	-	221,3	112,4	303,6	98,3	3	JK-PKA
12	A10 PWC Schwielow See	Zulauf	683,3	514,0	889,0	190,1	3	-	-	-	-	-	193,7	161,0	210,0	28,3	3	JK-PKA
13	A 4 PWC Belvedere Nord 2005/2006	VK1	806,0 *	541,0	877,0	-	9	476,0 *	321,0	620,0	-	8	332,0 *	227,0	434,0	-	9	[Lon 10a]
14a	A 4 PWC Belvedere Süd 2007	Zulauf	564,0 *	149,0	1.472,0	-	21	352,0 *	65,0	980,0	-	21	69,0 *	26,0	206,0	-	21	[Lon 10a]
14b	A 4 PWC Belvedere Süd 2008	Zulauf	443,0 *	304,0	1.030,0	-	18	282,0 *	146,0	614,0	-	18	40,0 *	16,0	106,0	-	18	[Lon 10a]

Anhang 1

Projekt: "Erarbeitung von allgemeinen Bemessungsansätzen für dezentrale bewachsene Bodenfilter für WC-Anlagen bewirtschafteter und unbewirtschafteter Rastanlagen an Autobahnen am Beispiel der „Subterra“-Pflanzenkläranlagen"

Förderung: DBU - Deutsche Bundesstiftung Umwelt; Az.: 21671/01 u. 21671/02

Phase: Abschlussbericht

Übersicht: Beschaffenheit des Abwassers von PWC-Anlagen

lfd. Nr.	BAB und PWC-Standort	Probenahme-stelle	Leitfähigkeit [mS/cm]					pH-Wert					Redoxpotential [mV]					Quelle
			Mittelwert	Min	Max	Standard-abweichung	n	Mittelwert/Median (*)	Min	Max	Standard-abweichung	n	Mittelwert	Min	Max	Standard-abweichung	n	
1	A 4 PWC Am Steinberg	MKG1	2,4	1,7	2,8	0,5	5	8,8	8,4	9,0	0,2	6	-275,0	-348,4	-225,3	54,2	4	JK-PKA
2	A 13 PWC Kitlitz	MKG1	2,4	1,0	3,2	0,8	5	8,3	7,8	8,6	0,3	8	-115,6	-302,2	-0,2	139,5	4	JK-PKA
3	A 20 PWC Klockow-Ost	MKG1	2,2	0,9	3,4	0,6	19	8,5	7,1	9,1	0,5	13	-181,4	-285,6	-52,9	73,4	7	JK-PKA
4	A 20 PWC Klockow-West	MKG1	2,4	1,1	3,5	0,6	21	8,6	7,6	9,0	0,4	14	-233,3	-295,7	-187,6	39,5	8	JK-PKA
5	A 20 PWC Selliner See	MKG1	2,5	0,95	4,8	1,1	14	8,4	6,9	9,1	0,7	8	-	-	-	-	-	JK-PKA
6	A 20 PWC Vier-Tore-Stadt	MKG1	2,1	1,25	2,7	0,6	6	8,6	8,0	9,4	0,7	3	-	-	-	-	-	JK-PKA
7	A 24 PWC Putlitz	MKG3	2,4	1,0	3,1	0,8	8	8,5	7,4	9,1	0,6	8	-195,6	-308,3	60,7	116,1	8	JK-PKA
8	A 71 PWC Dornheim 2005-2006	VK2	-	-	-	-	-	8,73 *	7,85	8,90	-	9	-	-	-	-	-	[Lon 10a]
9	A 71 PWC Dolmar 2005/2006	VK1	-	-	-	-	-	8,85 *	7,98	9,27	-	11	-	-	-	-	-	[Lon 10a]
10	A15 PWC Gr. Lübbenau	MKG1	3,6	3,56	3,72	0,08	3	8,3	7,8	8,8	0,5	3	-237,2	-336,4	-240,0	54,8	3	JK-PKA
11	A10 PWC Caputh	Zulauf	2,5	2,11	2,86	0,53	2	7,6	7,1	8,1	0,7	2	-113,2	-247,5	21,1	189,9	2	JK-PKA
12	A10 PWC Schwielow See	Zulauf	2,4	2,0	2,9	0,7	2	9,2	8,8	9,5	0,5	2	-69,9	-162,3	22,5	130,7	2	JK-PKA
13	A 4 PWC Belvedere Nord 2005/2006	VK1	-	-	-	-	-	8,73 *	8,36	8,84	-	9	-	-	-	-	-	[Lon 10a]
14a	A 4 PWC Belvedere Süd 2007	Zulauf	-	-	-	-	-	8,91 *	8,52	9,18	-	21	-	-	-	-	-	[Lon 10a]
14b	A 4 PWC Belvedere Süd 2008	Zulauf	-	-	-	-	-	8,39 *	8,09	9,08	-	18	-	-	-	-	-	[Lon 10a]

2. Abwassercharakteristik: Abwasserbeschaffenheit

- Abwasserbeschaffenheit in der Mehrkammergrube (1. Kammer, Zulauf abgesetzt)

Parameter	Einheit	Mehrkammergrube: 1. Kammer				
		n	\bar{x}	Min	Max	Standardabweichung
CSB	mg O ₂ /l	59	392	86	1.344	224
BSB₅	mg O ₂ /l	51	139	12	498	94
NH₄⁺-N	mg/l	57	167	42	349	69
SK_{pH4,3}	mmol/mg	24	23	6	98	24
pH		47	8,6	7,1	9,1	0,4
Leitfähigkeit	mS/cm	66	2,4	0,9	4,8	0,8
Redox	mV	29	-185	-356	160	135
O₂	mg/l	16	1	0	3	1



Überblick Abwasseruntersuchungen im Rahmen des F+E Projektes
"Erarbeitung von Bemessungsansätzen für dezentrale bewachsene Bodenfilter für WC-Anlagen
bewirtschafteter und unbewirtschafteter Rastanlagen an Autobahnen am Beispiel der "Subterra"-Pflanzenkläranlagen"
 Joachim Krüger Pflanzenkläranlagen GmbH, Schloss Duckwitz, 17179 Duckwitz; Tel:039972/51961; Fax: 039972/51951; email: info@subterra.de; www.subterra.de



Objekt: BAB A20
PWC "Klockow Ost", SUBTERRA-Pflanzenkläranlage

Bearbeitungsstand / Bearbeiter: 15.12.2008 / R. Emmerich, P. Knut

PN-Stelle	Mehrkammergrube (1. Kammer)								Pumpschacht								Ablaufschacht								Labor				
	Parameter	CSB	BSB ₅	NH ₄ -N	Temperatur	Leitfähigkeit	pH-Wert	O ₂	Redox-potential	CSB	BSB ₅	NH ₄ -N	Temperatur	Leitfähigkeit	pH-Wert	O ₂	Redox-potential	CSB	BSB ₅	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	AFS	Temperatur		Leitfähigkeit	pH-Wert	O ₂	Redox-potential
Einheit	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[°C]	[mS/cm]	[-]	mg/l	[mV]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[°C]	[mS/cm]	[-]	mg/l	[mV]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[°C]	[mS/cm]	[-]	mg/l	[mV]		
20.09.2004																	80,1	11											
22.12.2004	477,0	134	96	13,2	2,59	8,8											28	3	13	159	10,4		12,9	2,5	7,80			Fa. Krüger	
04.01.2005	372		126	9,6	2,5	8,4											90		27	75			10,2	2,23	7,10			Fa. Krüger	
10.03.2005	384	60	161		2	8,2			413	67	179		2,49	8,1			88	6	97	24,2	23,6			2,22	7,70			Fa. Krüger	
22.03.2005	335	91	167		1,81				408	120	222		2,33				87		86	36,8	23,6			1,99	7,10			Fa. Krüger	
26.03.2005	170	77	149		3,4	9			142	55	189		3,54	8,9			38	7	125	5	7,8			3,45	7,60			Fa. Krüger	
29.03.2005	472	103	167		2,1	9			371	63	188		2,31	9,1			99	6	135	16,8	23,3			2,17	7,60			Fa. Krüger	
07.04.2005	558	228	228						336	160	232						103	5	134	22,6	39,8							Fa. Krüger	
28.04.2005	925	498	178		2,23	8,9			442	142	222		2,39	8,9			110	11	117	52,8	47,6			2,25	8,90			Fa. Krüger	
06.05.2005									181	98	115						39	4	28	12,9	10,4			3,3				Fa. Krüger	
09.05.2005	350	204	260		2,72				345	128	256		2,58				54	9	124	18,4	7,2			2,31				Fa. Krüger	
12.05.2005	186	12	94		1,11				128	31	99		1,15				47,4	7	80	11	13,6			1,71				Fa. Krüger	
17.05.2005	350	89	242		2,22				273	34	216		2,38				59	7	139	8	8,7			1,55				Fa. Krüger	
20.05.2005	125	43	42		0,9				157	67	148		1,79				63	5	100	37	31,9			2,37				Fa. Krüger	
02.06.2005	351	153	220		2,59				285	150	236		2,7				67	4	130	47,6	12,1			2,7				Fa. Krüger	
18.07.2005	1016	465	146,8								232						42,5	3	87,5	62,2	16,8							JK-PKA/Oou	
22.12.2005	85,7	65	74,1	8,2	1,747	8,4	0,7	-166,1	146	105	138	5,8	2,73	8,6	0,9	34,3	33,2	6	25,8	52,1	20,8		6,6	2,57	7,00		130,9	JK-PKA / Oou+Ove	
22.12.2005																	115	5					10		7,27				AQS Schwerin HRO
16.02.2006																	63	9											AQS Schwerin HRO
16.02.2006	255	77	79,4	6,8	1,589	8,1	1	-212,2	340	94	189,9	7,1	2,71	8,8	0,5	-266,2	45,1	10	84,8	29,52	16,25		5,2	2,52	7,90		76,3	JK-PKA / JD+AS	
10.03.2006									331	135	217,5		2,32	8,5		-9,6	90,6	11	101	16,98	28,55			2,06	7,90		132,1	JK-PKA / JD+AS	
31.05.2006																	78	16											AQS Schwerin HRO
28.09.2006																	214	9					19,2	2,78	7,20	9,7	57,8	LUH + JK-PKA / RM	
16.10.2006					2,46	7,1	3,1	-200,2					2,65	8,1	4,4	-249,6								2,58	7,20	6,2	-45,4	JK-PKA / RM	
1.11.06.2006																							10	2,63	7,30	10,6	96	JK-PKA / RM	
05.12.2006				11,6	2,47	8,5	1,1	-217,3				11,6	2,59	8,8	2,9	-245,7							11,1	2,4	7,30	2,9	58,7	JK-PKA / RM	
25.01.2007												5,4	2,47	8,8	0,8	-215,2	70,6	7					3,2	2,55	8,00	4,1	-101,8	JK-PKA / AS+VB	
27.02.2007																	55	6											LUH
27.02.2007				5,4	1,825	8		-135,5				6,7	2,6	8,8		-201,0							5,9	2,44	7,60		-128,5	JK-PKA / RM onsite	
09.05.2007																	29	8				22						LUH	
09.05.2007												13,6	2,69	9,1	0,7	-286,8							13	2,66	8,10	1,6	-36,3	JK-PKA / VB	
09.08.2007	1344	<200	102,8	21,3	2,55	8,4		-285,6	255	50	141,6	18,6	2,59	9		-272,9	37,8	4	108	7,64	0,75		22,7	2,78	7,80		40,1	JK-PKA / AS (Lab) + PN	
05.11.2007																	26	8											LUH
05.11.2007	432			11,2	2,73	9,1		-52,9	329			9,3	2,64	8,9		-238,0							10,7	2,89	8,00		64,3	JK-PKA / RM (onsite)	
24.04.2008																	< 15	6											LUH
11.08.2008																	50	14											LUH
11.08.2008												16,5	2,64	8,5		-270							13,4	3,21	7,10		124,4	JK-PKA / RM	
Anzahl	18	15	17	8	19	13	4	7	17	16	17	9	21	15	6	11	29	28	19	19	18	2	13	26	21	6	13		
Mittelwert	454,9	153,3	149,0		2,2	8,5	1,5	-181,4	287,2	93,7	189,5		2,5	8,7	1,7	-201,9	69,0	7,4	91,7	36,6	19,1	16,0		2,5	7,6	5,9	36,0		
Min	85,7	12,0	42,0	5,4	0,9	7,1	0,7	-285,6	128,0	31,0	99,0	5,4	1,2	8,1	0,5	-286,8	26,0	3,0	13,0	5,0	0,8	10,0	3,2	1,6	7,0	1,6	-128,5		
Max	1344,0	498,0	260,0	21,3	3,4	9,1	3,1	-52,9	442,0	160,0	256,0	18,6	3,5	9,1	4,4	34,3	214,0	16,0	139,0	159,0	47,6	22,0	22,7	3,5	8,9	10,6	132,1		
Standardabweichung	328,6	145,2	63,4		0,6	0,5	1,1	73,4	102,9	42,3	46,3		0,4	0,3	1,6	109,3	38,1	3,2	40,6	35,8	12,2	8,5		0,4	0,5	3,7	87,1		

Wasserverbrauch und Verkehrsbelastung von PWC-Anlagen, Wochengang, Beispiele

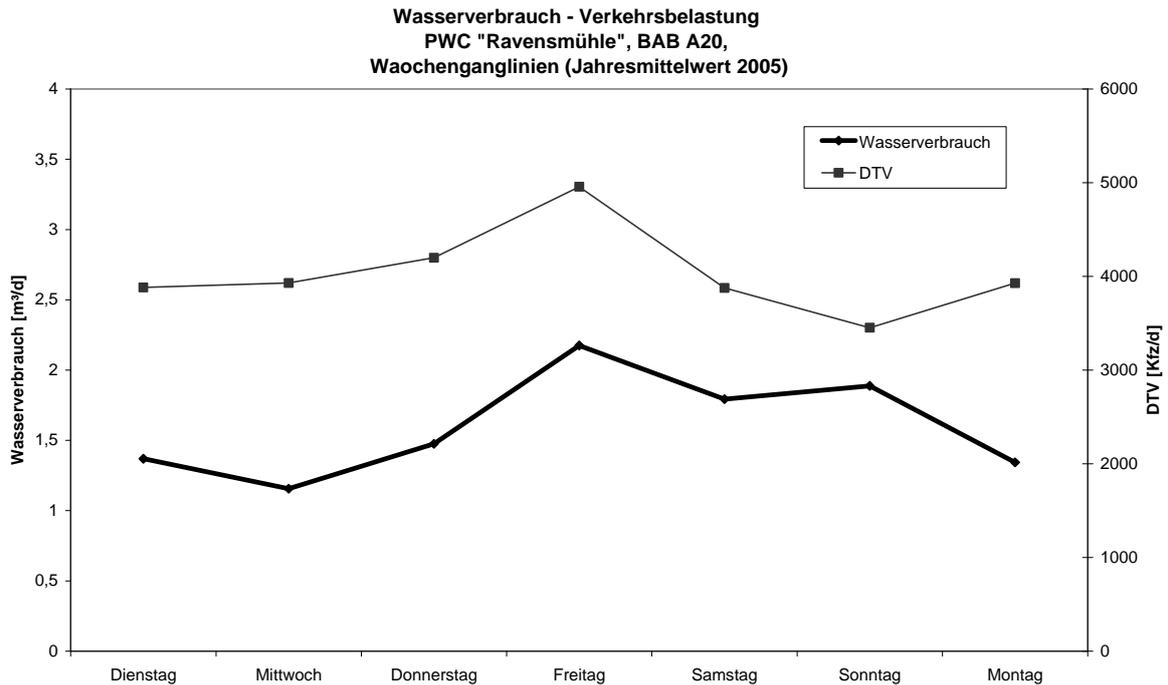


Abbildung 4-1: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, Wochenganglinien (Mittelwert 2005), PWC „Ravensmühle“, BAB A20, nach [Hin 06]

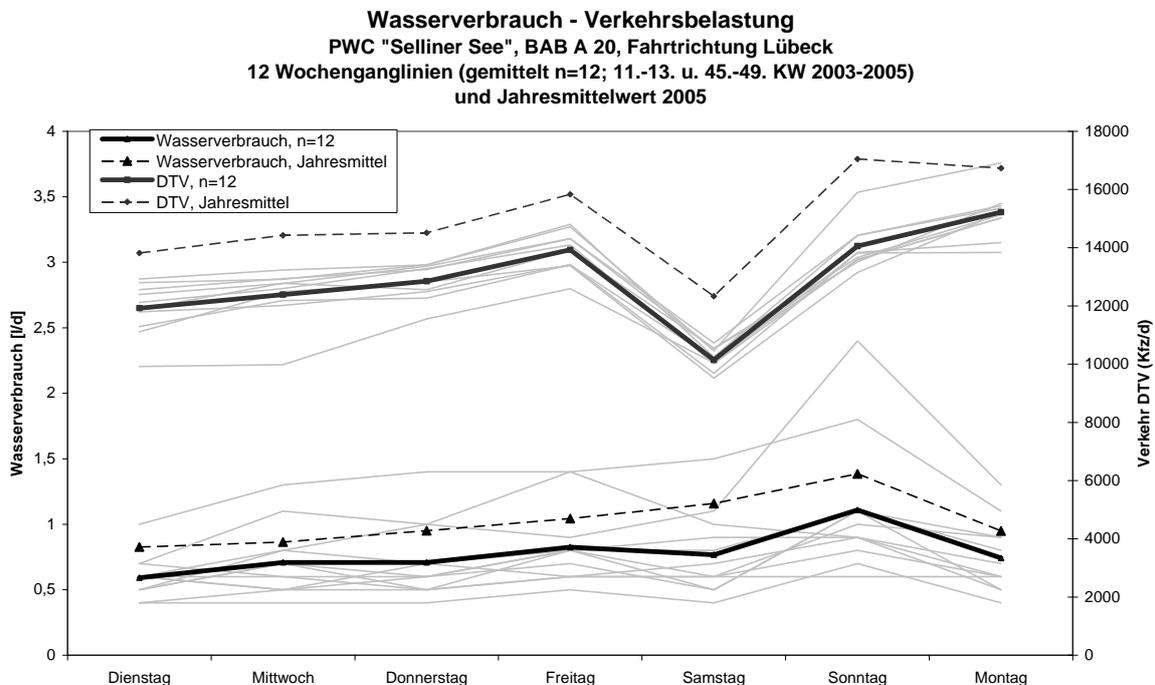


Abbildung 4-2: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, Wochenganglinien (ausgewählte Wochenganglinien und Jahresmittelwert 2005), PWC „Selliner See“, Fahrtrichtung Lübeck, BAB A20, nach [Hin 06]

Wasserverbrauch und Verkehrsbelastung von PWC-Anlagen an Feiertagen, Beispiele

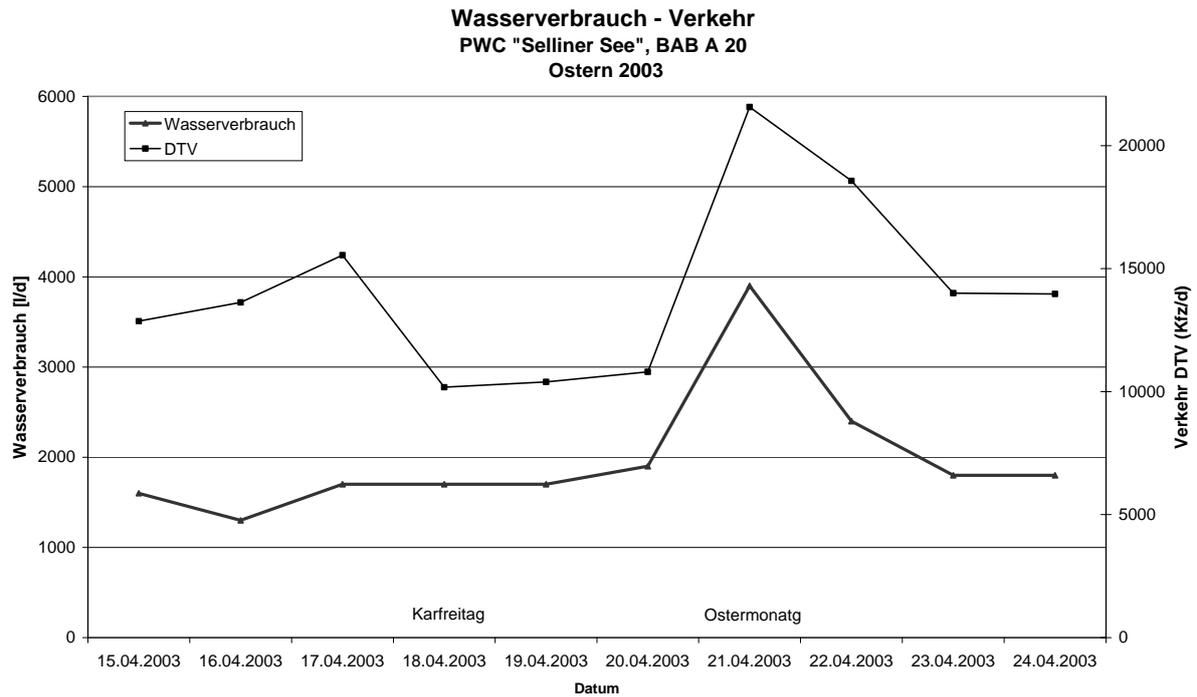


Abbildung 5-1: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, Ganglinie Osterfeiertage 2003, PWC „Selliner See“, BAB A20, nach [Hin 06]

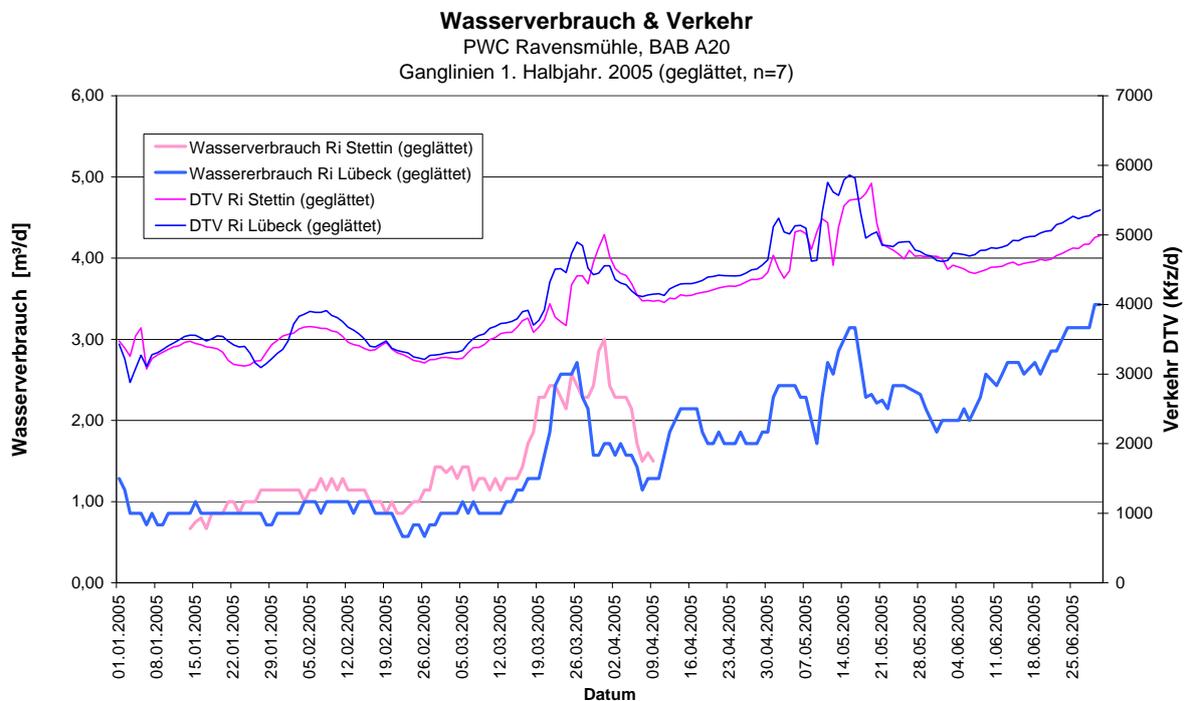


Abbildung 5-2: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, Ganglinien (1. Halbjahr 2005, geglättet, n=7, Wasserverbrauchsangaben Richtung Stettin unvollständig), PWC „Ravensmühle“, BAB A20, Richtung Lübeck/Stettin nach [Hin 06]

Wasserverbrauch & Verkehr
 PWC "Am Steinberg, BAB A4"
 Jahresganglinien 2003 (geglättet n=7)

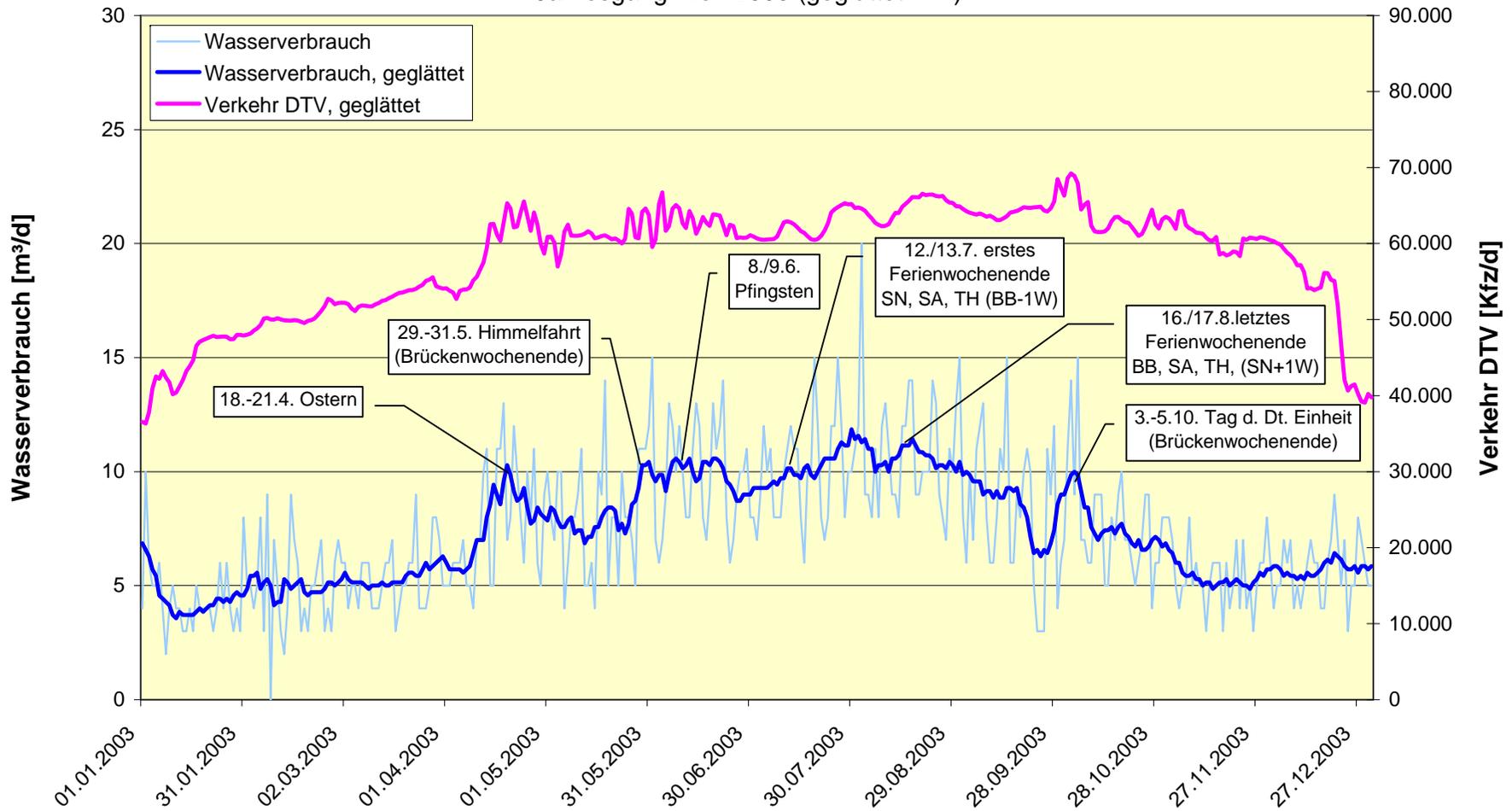


Abbildung 6-1: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, Jahresganglinien 2003 mit Ferien- u. Feiertagen, PWC „Am Steinberg“, BAB A4

Wasserverbrauch & Verkehr
 PWC "Selliner See" Nord, BAB A20
 Jahresganglinien 2005 (geglättet, n=7)

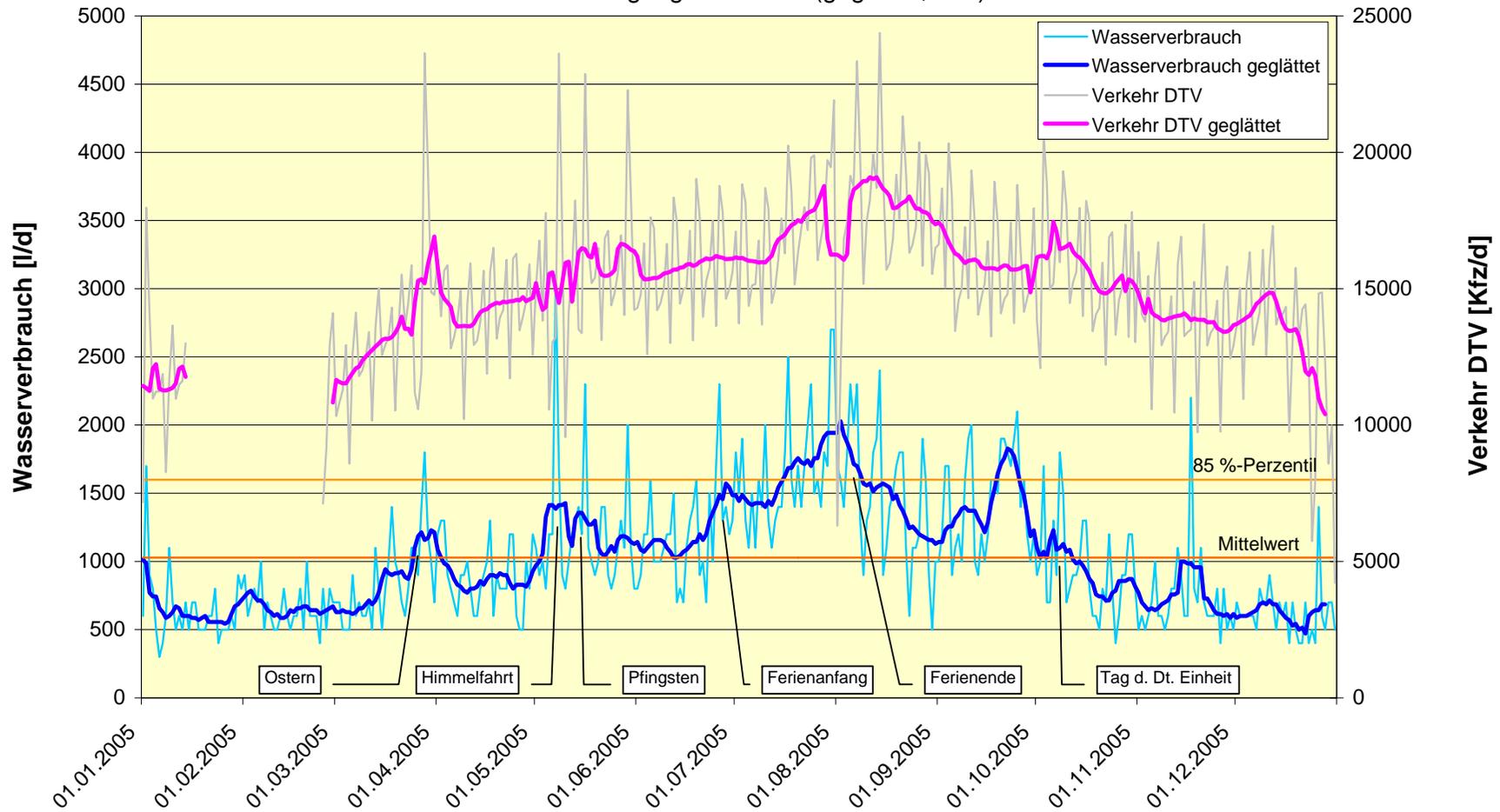


Abbildung 6-2: Wasserverbrauch und Verkehrsstärke, Jahresganglinien 2005 mit Ferien- u. Feiertagen, PWC „Selliner See“ Nord, BAB A20

PWC-Anlagen „Belvedere Süd“ und „Belvedere Nord“, BAB A4, AS Weimar – AS Apolda
Tägliche Wasserverbräuche bzw. Abwasseranfälle
Erfassungszeiträume 2001/2002 bis 2005 und 2008-2009

Auswertung Wasserverbrauchserfassung PWC „Belvedere Nord/Süd“

Nr.	Parameter	Einheit	PWC Belvedere Süd						PWC Belvedere Nord					
			2002-2005 (Aug. 2002 bis März 2005 (Auszüge)		2008 (1.1.08 bis 31.12.08)		2009 (1.1.09 bis 31.12.09)		2001-2005 (Juli 2001 bis März 2005)		2008 (1.1.08 bis 31.12.08)		2009 (1.1.09 bis 31.12.09)	
0	Zeitraum													
1	Anzahl der Messwerte (ermittelte Tagesverbräuche)		754		366		365		1359		366		365	
2	Mittelwert	m ³ /d	2,65		2,74		2,59		2,75		3,23		3,44	
3	Median	m ³ /d	2		3		2		3		3		3	
4	Maximum	m ³ /d	8		7		8		11		9		8,5	
5	Minimum	m ³ /d	0		1		0		0		0		1	
6	85 %-Quantil	m ³ /d	4		4		4		4		5		5	
10	Wasserverbrauch absolut	m ³	-		1.004		921		-		1.183		1.257	
12	Häufigkeitsklassen Tagesverbrauch	m ³ /d		Anteil		Anteil		Anteil		Anteil		Anteil		Anteil
12.1	0 - 1		94	12,5 %	30	8,2 %	44	12,1 %	217	16,0 %	19	5,2 %	3	0,8 %
12.2	1 - 2		293	38,9 %	145	39,6 %	142	38,9 %	429	31,6 %	54	14,8 %	78	21,4 %
12.3	2 - 3		223	29,6 %	109	29,8 %	103	28,2 %	329	24,2 %	126	34,4 %	117	32,1 %
12.4	3 - 4		89	11,8 %	56	15,3 %	55	15,1 %	284	20,9 %	88	24,0 %	76	20,8 %
12.5	4 - 5		41	5,4 %	24	6,6 %	17	4,7 %	62	4,6 %	46	12,6 %	41	11,2 %
12.6	5 - 6		8	1,1 %	1	0,3 %	3	0,8 %	18	1,3 %	28	7,7 %	29	7,9 %
12.7	6 - 8		6	0,8 %	1	0,3 %	1	0,3 %	17	1,3 %	3	0,8 %	18	4,9 %
12.8	8 - 10		0	0,0 %	0	8,2 %	0	0 %	2	0,2 %	2	0,5 %	3	0,8 %
12.9	10 - 12		0	0,0 %	0	39,6 %	0	0 %	1	0,1 %	0	0 %	0	0 %
12.10	Summe:		754	100,1 %	366	100,0 %	365	100 %	1359	100,2 %	366	100 %	365	100 %

Datengrundlage: tägliche Wasserverbrauchserfassung jeweils auf der PWC-Anlage „Belvedere“ Nord und Süd im Auftrag des Thüringer Landesamtes für Straßenbau (TL SB) bzw. des Landesamtes für Bau und Verkehr (TLBV), Autobahnmeisterei Erfurt

Quelle: [Em 10]

Auswertung Wasserverbrauchserfassung PWC „Belvedere Nord/Süd“ Jahresganglinien Wasserverbrauch PWC „Belvedere Nord“ 2008/2009

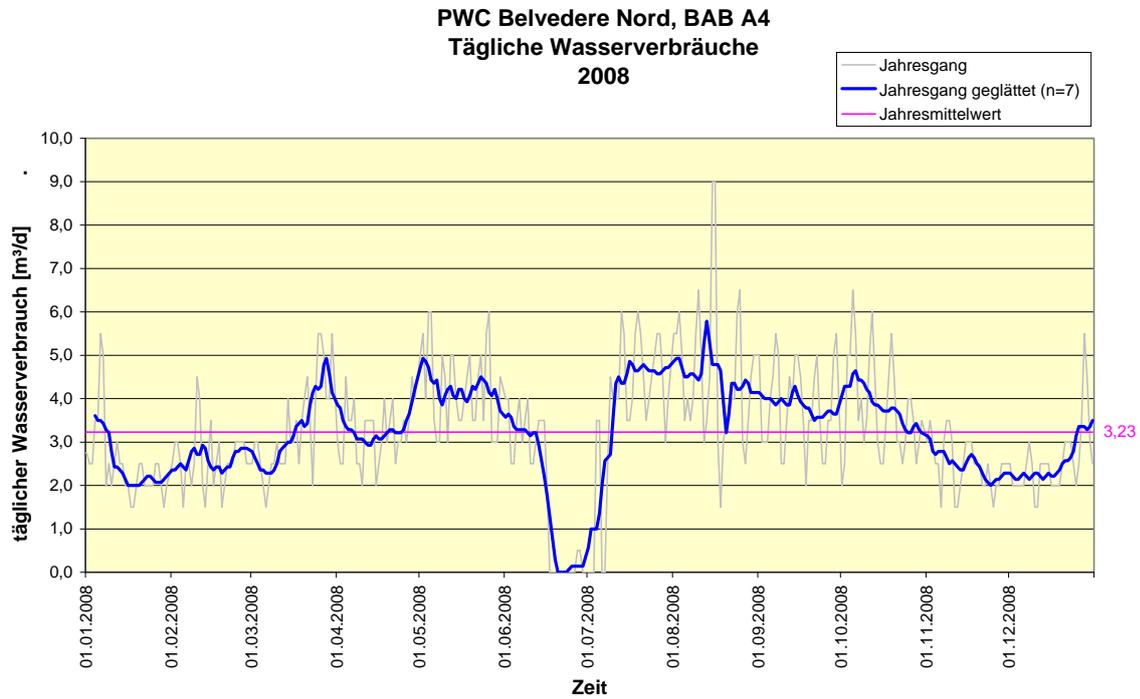


Abbildung 7b-1: Wasserverbrauch, Jahresganglinie (2008), PWC „Belvedere Nord“, BAB A4, aus [Em 10]

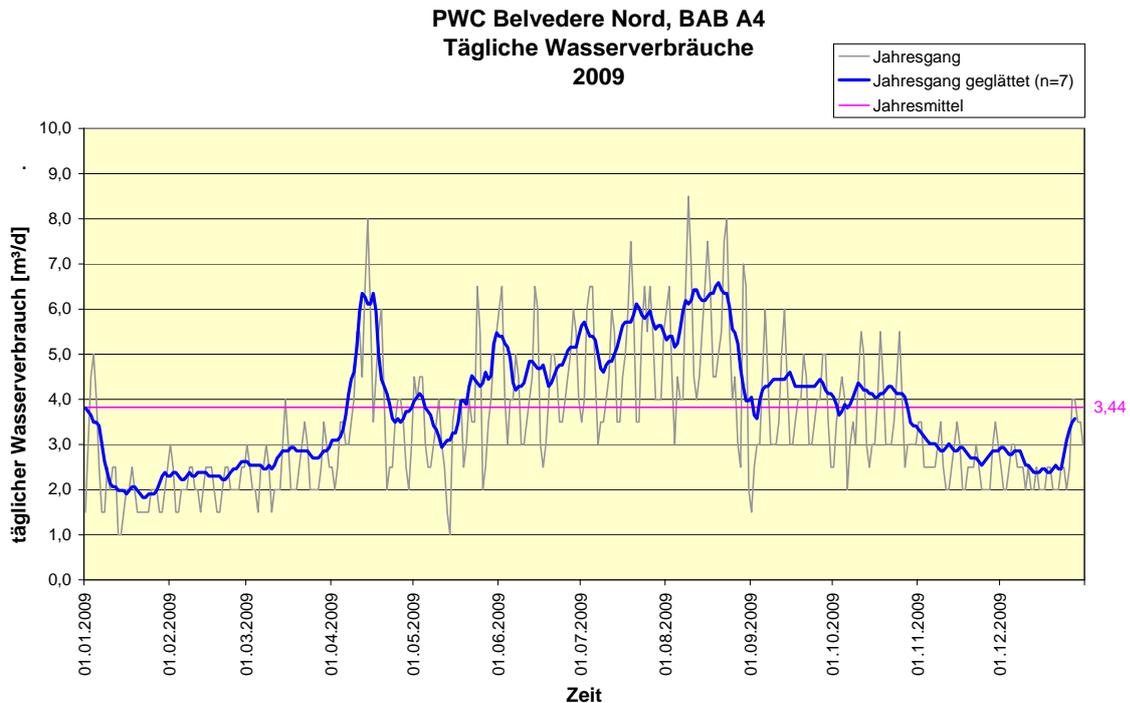


Abbildung 7b-2: Wasserverbrauch, Jahresganglinie (2009), PWC „Belvedere Nord“, BAB A4, aus [Em 10]

Auswertung Wasserverbrauchserfassung PWC „Belvedere Nord/Süd“ Jahresganglinien Wasserverbrauch PWC „Belvedere Süd“ 2008/2009

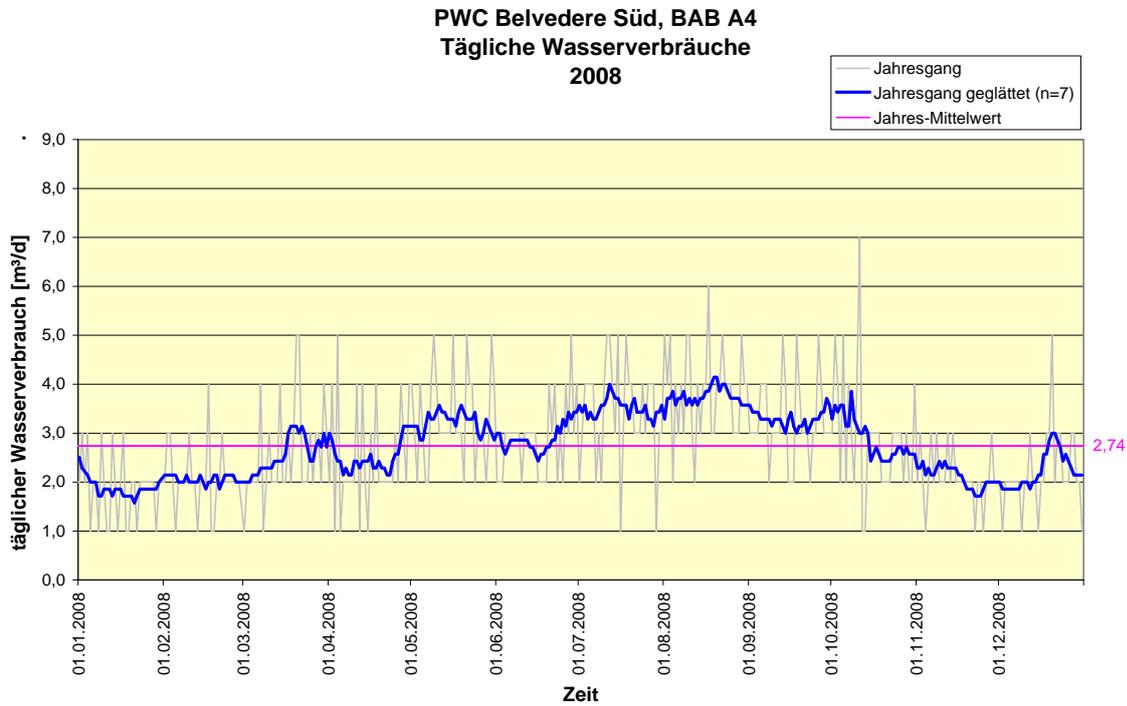


Abbildung 7c-1: Wasserverbrauch, Jahresganglinie (2008), PWC „Belvedere Süd“, BAB A4, aus [Em 10]

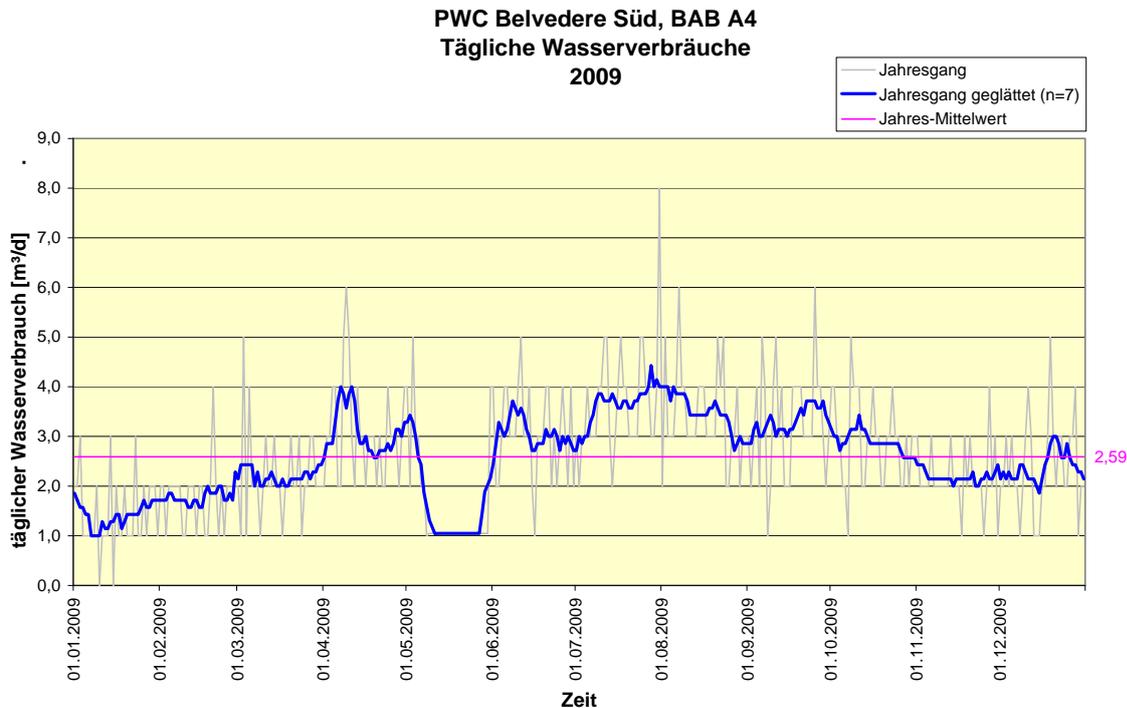
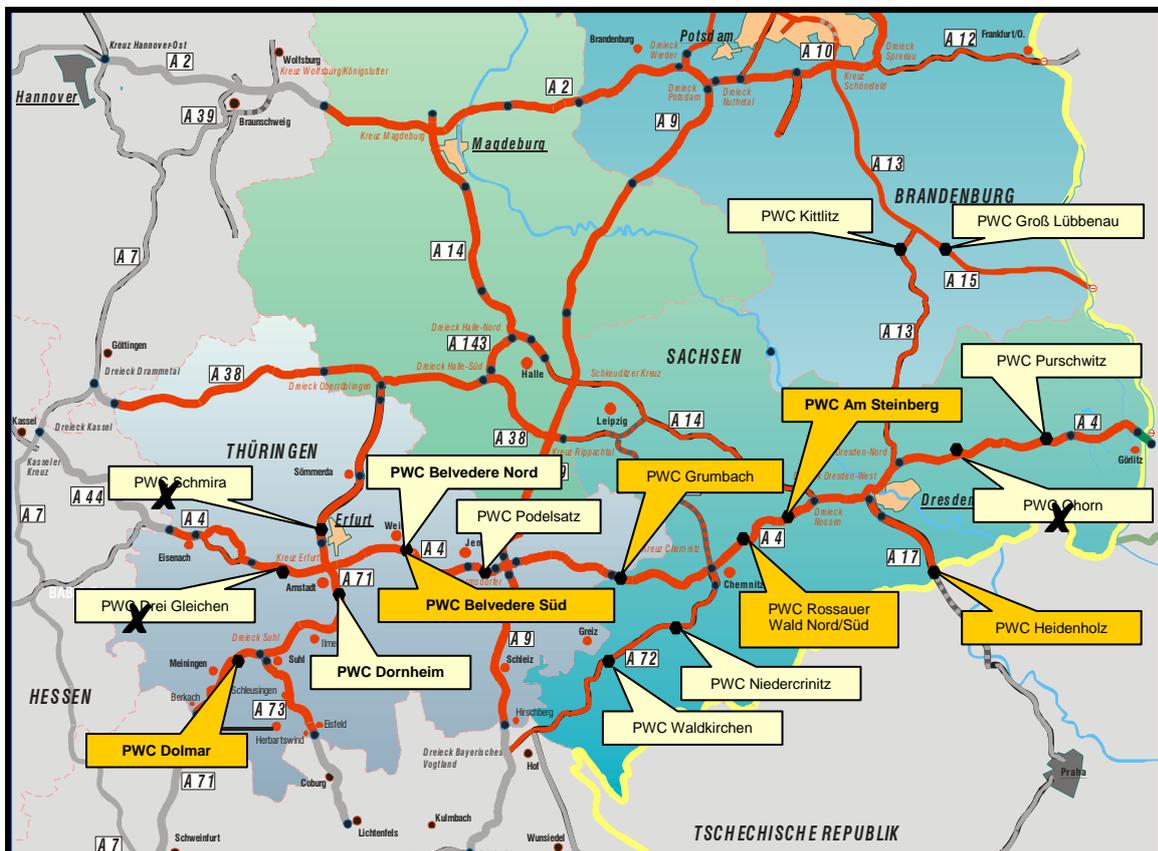


Abbildung 7b-2: Wasserverbrauch, Jahresganglinie (2009), PWC „Belvedere Süd“, BAB A4, aus [Em 10]

Abbildung 8-1/2: Überblick dez. Abwasserbehandlungsanlagen an PWC in Ostdeutschland 2004-2008 (gelb markierte ABA: Subterra-Pflanzenkläranlagen) [Em 08]



Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall auf der PWC-Anlage „Schremheide“, BAB A24

Tabelle 9-1: Wasserverbrauch 14.02.-05.04.2009; Erfassungszeitraum gesamt (Zusammenfassung)

Nr.	Parameter	Einheit	PWC Süd	PWC Nord	PWC gesamt
1	Anzahl der Messwerte (ermittelte Tagesverbräuche)		781	781	780
2	Mittelwert	m ³ /d	2,65	2,86	5,51
3	Median	m ³ /d	2,00	3,00	5,00
4	Maximum	m ³ /d	9,00	8,00	15,00
5	Minimum	m ³ /d	0,00	0,00	2,00
6	85%-Quantil	m ³ /d	4,00	4,00	8,00

Tabelle 9-2: Wasserverbrauch 14.02.2007-13.02.2009; Erfassungszeitraum 2 Kalenderjahre

Nr.	Parameter	Einheit	PWC Süd	PWC Nord	PWC gesamt
1	Anzahl der Messwerte (ermittelte Tagesverbräuche)		731	731	730
2	Mittelwert	m ³ /d	2,71	2,92	5,63
3	Median	m ³ /d	2,00	3,00	5,00
4	Maximum	m ³ /d	9,00	8,00	15,00
5	Minimum	m ³ /d	0,00	1,00	3,00
6	85%-Quantil	m ³ /d	4,00	4,00	8,00

Tabelle 9-3: Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall Sommerhalbjahr 2007 (01.04.-30.09.2007)

Nr.	Parameter	Einheit	PWC Süd	PWC Nord	PWC gesamt
1	Anzahl der Messwerte (ermittelte Tagesverbräuche)		183	183	183
2	Mittelwert	m ³ /d	3,48	3,82	7,30
3	Median	m ³ /d	3,00	3,22	7,00
4	Maximum	m ³ /d	8,00	8,00	15,00
5	Minimum	m ³ /d	1,00	1,00	3,00
6	85%-Quantil	m ³ /d	5,00	5,00	10,00

Tabelle 9-4: Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall Sommerhalbjahr 2008 (01.04.-30.09.2008)

Nr.	Parameter	Einheit	PWC Süd	PWC Nord	PWC gesamt
1	Anzahl der Messwerte (ermittelte Tagesverbräuche)		183	183	183
2	Mittelwert	m ³ /d	3,44	3,55	6,98
3	Median	m ³ /d	3,00	3,00	7,00
4	Maximum	m ³ /d	7,00	8,00	15,00
5	Minimum	m ³ /d	0,00	1,00	2,00
6	85%-Quantil	m ³ /d	5,00	5,00	10,00

- Datengrundlage: Tägliche Wasserverbrauchserfassung jeweils auf den PWC-Anlagen „Schremheide“ Nord und Süd durch die Autobahnmeisterei Hagenow

Tabelle 10-1: Wasserverbrauch verschiedener PWC-Anlagen, Abschätzung Bemessungswert aus 85 %-Perzentilwert und berechnet aus Mittelwert mit Berechnungsfaktor (im Vergleich zum 85 %-Perzentilwert), nach [Em 08] erweitert

PWC-Anlage, BAB (Erfassungszeitraum)	Wasserverbrauch / Abwasseranfall [m³/d]							
	n [d]	Bereich (Min.- Max.)	\bar{X}_{arithm}	Median	85 %-Perzentil	Berechnungsfaktor x \bar{X}_{arithm}		
						1,5 x	1,6 x	1,7 x
PWC Ravensmühle, A20 (2007)	365	1,0 - 23,0	7,2	6,0	11,0	10,8	11,5	12,2
PWC Vier-Tore-Stadt, A20 (2007)	365	0,0 - 22,0	7,7	7,0	12,0	11,5	12,3	13,1
PWC Selliner See Nord, A20 (2005)	365	0,3 - 3,1	1,0	0,9	1,6	1,5	1,6	1,7
PWC Schremheide, A24 (02/2007-01/2008)	333	0,0 - 15,0	4,9	5,0	8,0	7,3	7,8	8,3
PWC Klockow Ost, A20 (08/2006-12/2007)	369*	0,4 - 14,6	4,3	3,5	7,0	6,4	6,8	7,3
PWC Klockow West, A20 (08/2006-2/2007)	341*	0,6 - 8,0	2,7	2,2	4,4	4,0	4,3	4,6
PWC Belvedere Nord, A4 (2008) ¹⁾	366	0,0 - 9,0	3,2	3,3	5,0	4,8	5,1	5,4
PWC Belvedere Nord, A4 (2009) ¹⁾	365	1,0 - 8,5	3,4	3,0	5,0	5,1	5,4	5,8
PWC Belvedere Süd, A4 (2008) ¹⁾	366	1,0 - 7,0	2,7	3,0	4,0	4,0	4,3	4,6
PWC Belvedere Süd, A4 (2009) ¹⁾	365	0,0 - 8,0	2,6	2,0	4,0	3,9	4,2	4,4
PWC Am Steinberg, A4 (08/2002-03/2006)	1008*	0,0 - 24,0	7,7	7,0	11,0	11,6	12,4	13,2
PWC Belvedere Süd, A4 (08/2002-03/2005)	754*	0,0 - 8,0	2,7	2,0	4,0	4,0	4,2	4,5
PWC Belvedere Nord, A4 (07/2001-03/2005)	1359	0,0 - 11,0	2,8	3,0	4,0	4,1	4,4	4,7
PWC Schremheide, A24 (02/2007-04/2009) ²⁾	780	2,0 - 15,0	5,5	5,0	8,0	8,2	8,8	9,4
PWC Schremheide, A24 (04-09/2007) ²⁾	183	3,0 - 15,0	7,3	7,0	10	11,0	11,7	12,4
PWC Schremheide, A24 (04-09/2008) ²⁾	183	2,0 - 15,0	7,0	7,0	10	10,5	11,2	11,9

* Datenreihe im Betrachtungszeitraum lückenhaft

¹⁾ vgl. Anhang 7a-c und [Em 10]

²⁾ vgl. Anhang 9

Berechnungswert \geq 85 %-Perzentilwert (n \leq 730 d bzw. 2 Jahre)

Berechnungswert \geq 85 %-Perzentilwert (n > 730 d bzw. 2 Jahre)

Tabelle 11-1: Spezifische hydraulische Flächenbelastungen verschiedener Bodenfilter von PWC-Anlagen und Vergleich mit Anforderung nach DWA-A 262

PWC-Anlage, BAB	Fläche Bodenfilter	Spezifische hydraulische Flächenbelastung				Vergleich mit Bemessungswert ≤ 80 l/(m ² *d) [DWA-A 262] Kolmation ja/nein
		Mittelwert	Median	85%- Perzentil	n	
	[m ²]	[l/(m ² * d)]			[d]	
Fallgruppe 1						
PWC Am Steinberg, A4 (08/2002-03/2006)	600	13	12	18	1008	18 ≤ 80 l/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Oberwald, A4 (08/2008-03/2009)	200	8,6-19,4 ¹⁾	-	24,2 ^{1b)}	286 ¹⁾	24,2 ≤ 80 l/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Trebeltal Süd, A20 (09/2008-08/2010)	211	10,9 ²⁾	-	18,5 ³⁾	702 ²⁾	18,5 ≤ 80 l/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Trebeltal Nord, A20 (09/2008-08/2010)	213	7,9 ⁴⁾	-	13,4 ⁵⁾	702 ⁴⁾	13,4 ≤ 80 l/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Dolmar, A71 2005 [Lon 10a]	150	16,5 ⁶⁾	13,7 ⁶⁾	22 ⁷⁾	(365)	22 ≤ 80 l/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Klockow West, A20	150	18	15	29	341	29 ≤ 80 l/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Klockow Ost, A20	150	29	23	47	369	47 ≤ 80 l/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Belvedere Süd, A4 2008 [Lon 10a] ¹¹⁾	200	68,6	75	100	366	100 > 80 l/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Belvedere Süd, A4 2009 [Lon 10a] ¹¹⁾	200	51,8	40	80	365	80 = 80 l/(m ² *d); ohne Kolmation
Fallgruppe 2						
PWC Schremheide, A20	200	30	25	45	333	45 ≤ 80 l/(m ² *d); kolmatiert *
PWC Belvedere Nord, A4 (2001-2005) [Lon 10a]	100	35,9 ⁸⁾	27,3 ⁸⁾	46,8 ⁹⁾	?	46,8 ≤ 80 l/(m ² *d); zeitw./tw. Kolmation *
PWC Ravensmühle, A20	150	48	40	73	365	73 ≤ 80 l/(m ² *d); zeitw./tw. Kolmation *
PWC Vier-Tore-Stadt, A20	150	51	47	80	365	80 = 80 l/(m ² *d); zeitw./tw. Kolmation *
Fallgruppe 3						
PWC Oberwald, A4 (02/2008-05/2009)	200	179,6 ¹⁰⁾	-	-	93 ¹⁰⁾	179,6 >> 80 l/(m ² *d); zeitweise Kolmation

* Anlagen weisen auch eine Überschreitung der CSB-Flächenbelastung nach [DWA-A 262] auf (vgl. Anhang 12)

- 1) Anlagenbetrieb ohne Rezirkulation, dreimalige Wasserverbrauchsablesung (Zeitintervall: 84-112 d)
- 1b) berechnet aus Gesamt-Mittelwert Wasserverbrauch ($2,84 \text{ m}^3/\text{d}$) * 1,7 und Bodenfilterfläche
- 2) achtmalige Wasserverbrauchsablesung (Zeitintervall: 56-132 d), Mittelwert berechnet aus Mittelwert Wasserverbrauch ($2,3 \text{ m}^3/\text{d}$) und Bodenfilterfläche
- 3) berechnet aus Mittelwert Wasserverbrauch * 1,7 und Bodenfilterfläche
- 4) achtmalige Wasserverbrauchsablesung (Zeitintervall: 56-132 d), Mittelwert berechnet aus Mittelwert Wasserverbrauch ($1,68 \text{ m}^3/\text{d}$) und Bodenfilterfläche
- 5) berechnet aus Mittelwert Wasserverbrauch * 1,7 und Bodenfilterfläche
- 6) berechnet aus Mittelwert Wasserverbrauch ($2,47 \text{ m}^3/\text{d}$) bzw. Median Wasserverbrauch ($2,06 \text{ m}^3/\text{d}$); Werte nach [Lon 10a]
- 7) berechnet aus 85 %-Perzentilwert Wasserverbrauch ($3,3 \text{ m}^3/\text{d}$); Werte nach [Lon 10a]
- 8) berechnet aus Mittelwert Wasserverbrauch ($2,76 \text{ m}^3/\text{d}$) bzw. Median Wasserverbrauch ($2,1 \text{ m}^3/\text{d}$) zzgl. Rezirkulationswassermenge (RV 0,3); Werte nach [Lon 10a]
- 9) berechnet aus 85 %-Perzentilwert Wasserverbrauch ($3,6 \text{ m}^3/\text{d}$) zzgl. Rezirkulationswassermenge (RV 0,3); Werte nach [Lon 10a]
- 10) Anlagenbetrieb mit Rezirkulation, RV 10,7 (!), Mittelwert Wasserverbrauch $3,1 \text{ m}^3/\text{d}$
- 11) Anlagenbetrieb mit Rezirkulation, RV 4, Mittelwert Wasserverbrauch $2,7 \text{ m}^3/\text{d}$ (2008), $2,6 \text{ m}^3/\text{d}$ (2009); Werte nach [Lon 10a]

Tabelle 12-1: Spezifische CSB-Flächenbelastungen verschiedener Bodenfilter von PWC-Anlagen und Vergleich mit DWA-A 262

PWC-Anlage, BAB	Fläche Bodenfilter	Spezifische CSB-Flächenbelastung				CSB Zulauf PKA		Vergleich mit Bemessungswert ≤ 20 g/(m ² *d) [DWA-A 262] Kolmation ja/nein
		Mittelwert	Median	85%- Perzentil	n	Mittelwert	n	
	[m ²]	[g/(m ² * d)]				[mg/l]		
Fallgruppe 1								
PWC Klockow Ost, A20	150	8,2	6,7	13,4	369	287,2	3	13,4 ≤ 20 g/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Klockow West, A20	150	5,4	4,4	8,9	341	301,6	3	8,9 ≤ 20 g/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Am Steinberg, A4 (08/2002-03/2006)	600	2,9	2,6	4,1	1008	225,1	14	4,1 ≤ 20 g/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Dolmar, A71 2005 [Lon 10a]	150	8,4 ⁶⁾	7,0 ⁶⁾	13,8 ⁷⁾	(365)	512	? (<11)	13,8 ≤ 20 g/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Belvedere Süd, A4 ¹⁰⁾ 2008	200	3,8	4,2	5,6	366	56,0	19	5,6 ≤ 20 g/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Belvedere Süd, A4 ¹⁰⁾ 2009	200	5,6	4,3	8,7	365	108,3	8	8,7 ≤ 20 g/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Oberwald, A4 (08/2008-03/2009)	200	5,5-12,4 ¹⁾	-	-	286 ¹⁾	640,0	1	5,5-12,4 ≤ 20 g/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Trebeltal Süd, A20 (09/2008-08/2010)	211	5,6 ²⁾	-	12 ³⁾	702 ²⁾	510,1	7	12 ≤ 20 g/(m ² *d); ohne Kolmation
PWC Trebeltal Nord, A20 (09/2008-08/2010)	213	3,7 ⁴⁾	-	9,6 ⁵⁾	702 ⁴⁾	465,3	6	9,6 ≤ 20 g/(m ² *d); ohne Kolmation
Fallgruppe 2								
PWC Belvedere Nord, A4 (2001-2005) [Lon 10a]	100	20,9 ⁸⁾	15,9 ⁸⁾	30,9 ⁹⁾	?	759	?	30,9 >> 20 g/(m ² *d), zeitw./tw. Kolmation
PWC Ravensmühle, A20	150	17,9	15,0	27,4	365	373,7	3	27,4 > 20 g/(m ² /d); zeitw./tw. Kolmation
PWC Vier-Tore-Stadt, A20	150	12,7	11,6	19,9	365	248,1	4	19,9 ≈ 20 g/(m ² /d); zeitw./tw. Kolmation
PWC Schremheide, A20	200	14,6	12,3	22,1	333	491,0	4	22,1 > 20 g/(m ² /d) kolmatiert

- 1) Anlagenbetrieb ohne Rezirkulation, dreimalige Wasserverbrauchsablesung (Zeitintervall: 84-112 d), einmalige Zulaufuntersuchung (CSB u. a.)
- 2) achtmalige Wasserverbrauchsablesung (Zeitintervall: 56-132 d), Mittelwert berechnet aus Mittelwert Wasserverbrauch (2,3 m³/d) und Mittelwert CSB
- 3) berechnet aus Mittelwert Wasserverbrauch * 1,7 und CSB-Konzentration (85 %-Perzentilwert): 649,9 mg/l
- 4) achtmalige Wasserverbrauchsablesung (Zeitintervall: 56-132 d), Mittelwert berechnet aus Mittelwert Wasserverbrauch (1,68 m³/d) und Mittelwert CSB
- 5) berechnet aus Mittelwert Wasserverbrauch * 1,7 und CSB-Konzentration (85 %-Perzentilwert): 714,5 mg/l
- 6) berechnet aus Mittelwert Wasserverbrauch (2,47 m³/d) bzw. Median Wasserverbrauch (2,06 m³/d) und Mittelwert CSB-Konzentration; Werte nach [Lon 10a]
- 7) berechnet aus 85 %-Perzentilwert Wasserverbrauch (3,3 m³/d) und 85 %-Perzentilwert CSB-Konzentration (628 mg/l); Werte nach [Lon 10a]
- 8) berechnet aus Mittelwert Wasserverbrauch (2,76 m³/d) bzw. Median Wasserverbrauch (2,1 m³/d) und Mittelwert CSB-Konzentration; Werte nach [Lon 10a],
Rezirkulation unberücksichtigt
- 9) berechnet aus 85 %-Perzentilwert Wasserverbrauch (3,6 m³/d) und 85 %-Perzentilwert CSB-Konzentration (858 mg/l); Werte nach [Lon 10a], Rezirkulation
unberücksichtigt
- 10) Anlagenbetrieb mit Rezirkulation, RV 4; Werte aus [Lon 10a]

Projekt: Erarbeitung von allgemeinen Bemessungsansätzen für dezentrale bewachsene Bodenfilter für WC-Anlagen bewirtschafteter und unbewirtschafteter Rastanlagen an Autobahnen am Beispiel der „Subterra“-Pflanzenkläranlagen

Förderung: DBU - Deutsche Bundesstiftung Umwelt; Az.: 21671/01 u. 21671/02

Phase: Abschlussbericht

Reinigungsleistung SUBTERRA-Pflanzenkläranlage PWC "Belvedere Süd", BAB A4

PN-Stelle		CSB	BSB ₅	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	Pges	Säurekapazität pH 4,3	AFS	Temperatur	Leitfähigkeit	pH-Wert	O ₂	Redoxpotential	Bemerkung	Untersuchungsstelle
Datum	Einheit	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mmol/l]	[mg/l]	[°C]	[mS/cm]	[-]	[mg/l]	[mV]		
Ablaufschacht (Ablauf Pflanzenbeet)																
18.10.2006		31,0	3,0	220,0	2,85	11,0		8,96	< 10						Einfahrphase (Inbetriebnahme nach Ersatzneubau 27.9.06)	i.A. TLBV
02.11.2006		20,0	< 2,0	42,0	201,0	3,30	1,20	4,57	< 10						Einfahrphase	i.A. TLBV
29.11.2006		19,0	< 2,0	0,78	238,0	0,64		3,08	< 10	10,8	2,80	7,34	0,4	185,0	Rezirkulation RV 2-4	i.A. TLBV
21.12.2006		18,0	< 2,0	0,58	247,0	0,46		3,88	< 10	8,4	2,82	6,95	12,8	165,7	Rezirkulation RV 2-4	i.A. TLBV
20.03.2007		< 10,0	< 2,0	0,67	197,0	0,46		3,47	< 10	9,0	2,40	6,50	8,3	158,0	Rezirkulation RV 2-4	i.A. TLBV
30.03.2007		17,0	< 2,0	0,67	197,0	0,46		3,47	< 10	9,0	2,40	6,50	8,3	158,0	Rezirkulation RV 2-4	i.A. TLBV
30.05.2007		20,0	3,6	2,07	290,0	0,46				15,9	2,30	7,03		188,2	Rezirkulation RV 2-4	MFPA
05.06.2007		73,0	6,9	2,39	159,2	0,68				16,3	2,35	6,85		212,8	Rezirkulation RV 2-4	MFPA
12.06.2007		26,0	7,3	1,45	141,3	0,33				17,1	2,41	6,99		152,4	Rezirkulation RV 2-4	MFPA
19.06.2007		22,0	5,3	1,98	156,0	0,59					2,41	7,02		178,6	Rezirkulation RV 2-4	MFPA
27.06.2007		15,0	< 2,0	0,85	276,0	0,85	2,70	4,06	< 10	17,1	2,22	6,50	3,3	177,0	Rezirkulation RV 2-4	i.A. TLBV
27.06.2007		20,0	7,3	2,55	156,4	0,72				17,4	2,43	7,05	5,0	190,4	Rezirkulation RV 2-4	MFPA
03.07.2007		25,0		5,99	178,8	1,25					2,52	6,90	3,0	178,2	Rezirkulation RV 2-4	MFPA
10.09.2007		< 15,0	< 2,0	0,32	167,0	0,12	5,10	3,97	< 10	15,1	2,11	8,66	3,6	156,0	Rezirkulation RV 2-4	i.A. TLBV
30.11.2007		< 10,0	< 2,0	0,71	185,0	0,20	5,20	2,74	< 10	9,3	2,26	6,70	8,6	225,0	Rezirkulation RV 2-4	i.A. TLBV
13.12.2007		< 10	< 2,0	0,71	185,0	0,20	5,20	2,74	< 10						Rezirkulation RV 2-4	i.A. TLBV
21.12.2007		18,0	< 2,0	0,58	247,0	0,46		3,88	< 10	8,4	2,82	6,95	12,8	165,7	Rezirkulation RV 2-4	i.A. TLBV
25.04.2008		23,0	< 2	10,00	180,0	2,00	10,00	3,84	< 10	9,7	2,36	6,54	5,2	212,0	Rezirkulation RV 2-4	i.A. TLBV
26.09.2008		160,0	8,0	25,00	110,0	110,00	7,40	5,19	< 10	14,4	2,68	6,67	2,1	216,0	Störung/ Notbeschickung (ohne Rezirkulation)	i.A. TLBV
24.03.2009		58,0	3,0	93,00	74,0	13,00	7,10	11,50	< 10	5,1	3,78	7,40	0,0	56,0	ohne Rezirkulation	i.A. TLBV
07.07.2009		66,0	3,0	14,00	121,0	29,00	7,70	5,09	< 10	17,8	2,48	6,55	0,8	115,8		i.A. TLBV
09.10.2009		33,0	< 2	15,00	126,0	3,70	10,00	4,80	< 10	16,2	2,30	6,90	3,9	198,0		i.A. TLBV
30.11.2009		53,0	< 2	24,00	102,0	13,00	10,00	5,34	40	10,4	2,26	5,16	2,8	78,2		i.A. TLBV
21.05.2010		34,0	< 2	6,90	183,0	2,30	12,00	3,52	< 10	11,2	2,58	6,62	0,4			i.A. TLBV
17.08.2010		17,0	< 2	16,00	112,0	4,90	9,20	4,58	< 10	17,5	2,30	6,86	1,3	52,8		i.A. TLBV

i.A. TLBV: im Auftrag des Thüringer Landesamtes für Bau und Verkehr (Probenahme und Analyse durch TUG mbH/GeoConsult GmbH und SGS Institut Fresenius GmbH)

MFPA: Probenahme und Analyse im Rahmen des DBU-Projektes durch Materialforschungs- und -prüfanstalt Weimar (MFPA) an der Bauhaus-Universität Weimar

RV: Rezirkulationsverhältnis

Projekt: Erarbeitung von allgemeinen Bemessungsansätzen für dezentrale bewachsene Bodenfilter für WC-Anlagen bewirtschafteter und unbewirtschafteter Rastanlagen an Autobahnen am Beispiel der „Subterra“-Pflanzenkläranlagen

Förderung: DBU - Deutsche Bundesstiftung Umwelt; Az.: 21671/01 u. 21671/02

Phase: Abschlussbericht

Reinigungsleistung SUBTERRA-Pflanzenkläranlage PWC "Oberwald", BAB A4

Probenahme- stelle	Ablaufschacht (Ablauf PKA/Zulauf Rezirkulation)													Labor (Probenahme)
Parameter Datum	CSB	BSB ₅	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	Pges	Säure- kapazität pH 4,3	AFS	Tempe- ratur	Leitfä- higkeit	pH- Wert	O ₂	Redox- potential	
Einheit	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mmol/l]	[mg/l]	[°C]	[mS/cm]	[-]	[mg/l]	[mV]	
28.05.2008	18,0	<3	71,00	140,00	10,00	4,80	0,8	3		2,12	5,80	4,9		Wessling (JK-PKA)
18.11.2008	140,00	<3	110			14,00	1,59	1,80		2,18	6,40	3,5		Wessling (JK-PKA)
16.06.2009	54,0	<3	73,00	43,00	23,00	13,00	1,33	8		1,63	6,50	4,80		Wessling (JK-PKA)
14.12.2009	48,0	<3	85,40	61,00	12,10	13,00	2,52	0,2		1,92	6,80	0,00		Wessling (JK-PKA)
23.02.2010	63,0	<3	116,00	47,40	12,20	13,00	4,8	1,9		1,96	6,80	4,20		Wessling (JK-PKA)
18.05.2010	98,0	<3	114,00	58,70	9,74	15,00	5,86	0,4			7,20			Wessling (JK-PKA)
23.09.2010	30,0	<3	87,70	99,40	4,23	15,00	1,27	<0,1			6,30			Wessling (JK-PKA)
Anzahl:	7	7	7	6	6	7	7	6		5	7	5		
Mittelwert:	64,4	<3	93,87	74,92	11,88	12,54	2,60	2,55		1,96	6,54	3,48		
Max.:	140,0		116,00	140,00	23,00	15,00	5,86	8,00		2,18	7,20	4,90		
Min.:	18,0		71,00	43,00	4,23	4,80	0,80	0,20		1,63	5,80	0,00		
Standard- abweichung:	42,0		19,25	37,60	6,17	3,53	1,96	2,86		0,21	0,45	2,02		
85 %-Perzentil:	102,2		114,2	109,6	14,9	15,0	4,9	4,3		2,1	6,8	4,8		

2. Abwassercharakteristik: Abwassermenge, PWC-Nutzung

Verkehr und Parkplatz-WC-Nutzung

- ca. 2,5 % der KFZ im BAB-Abschnitt fahren PWC-Anlage an
- ca. 60 % der Parkplatz-Besucher nutzen WC-Anlage
- Nutzeranteil am Verkehr:

PWC „Belvedere Nord“ BAB A4	Nutzeranteil am Verkehr	
	[Nutzer / 1000 KFZ]	
	normale Woche 19.-26.03.2004	Feiertagswoche 07.-14.04.2004 (Osterwoche)
Parkplatz - Besucher	26,7	45,2
WC - Benutzer	15,8	26,1

Quelle: Bothe et. al (2005): Erfassung und Abschätzung der realen abwasserseitigen Belastung an einer Autobahn-PWC-Anlage. Studienarbeit am Lehrstuhl Siedlungswasserwirtschaft der BUW, Betreuer Dr. Kulle (unveröffentlicht)

2. Abwassercharakteristik: Abwassermenge, PWC-Nutzung

WC-Nutzungen

- Anteile Nutzung Damen-/Herren-WC:

PWC „Belvedere Nord“ BAB A4	WC-Nutzung	
	normale Woche 19.-26.03.2004	Feiertagswoche 07.-14.04.2004 (Osterwoche)
	männliche Nutzer	73 %
weibliche Nutzer	27 %	40 %

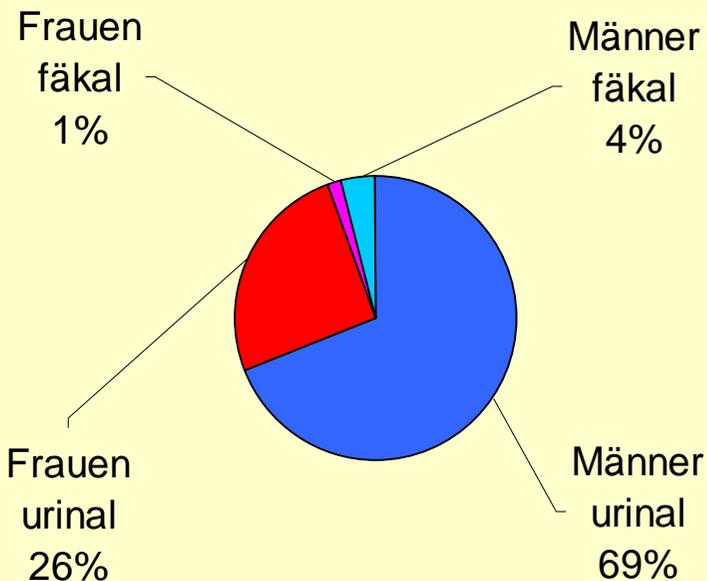
- 95-97 % „urinale“ Nutzungen
- ca. 30 % der Nutzer benutzen Handwaschmöglichkeit

Quelle: Bothe et. al (2005): Erfassung und Abschätzung der realen abwasserseitigen Belastung an einer Autobahn-PWC-Anlage. Studienarbeit am Lehrstuhl Siedlungswasserwirtschaft der BUW, Betreuer Dr. Kulle (unveröffentlicht)

Nutzungsverhalten WC-Anlagen

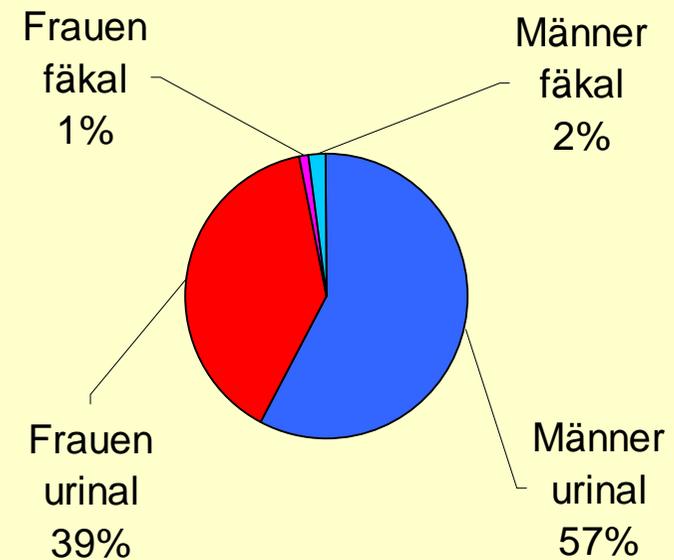
PWC „Belvedere Nord“, BAB A4

normale Woche (März 2004)



ca. 73 % männliche Nutzer
ca. 27 % weibliche Nutzer
95 % „urinale“ Nutzungen

Feiertagswoche (Ostern 2004)



ca. 60 % männliche Nutzer
ca. 40 % weibliche Nutzer
97 % „urinale“ Nutzungen

Quelle: Bothe et. al (2005): Erfassung und Abschätzung der realen abwasserseitigen Belastung an einer Autobahn-PWC-Anlage.
Studienarbeit am Lehrstuhl Siedlungswasserwirtschaft der BUW, Betreuer Dr. Kulle (unveröffentlicht)

Nutzerverhalten WC-Anlage

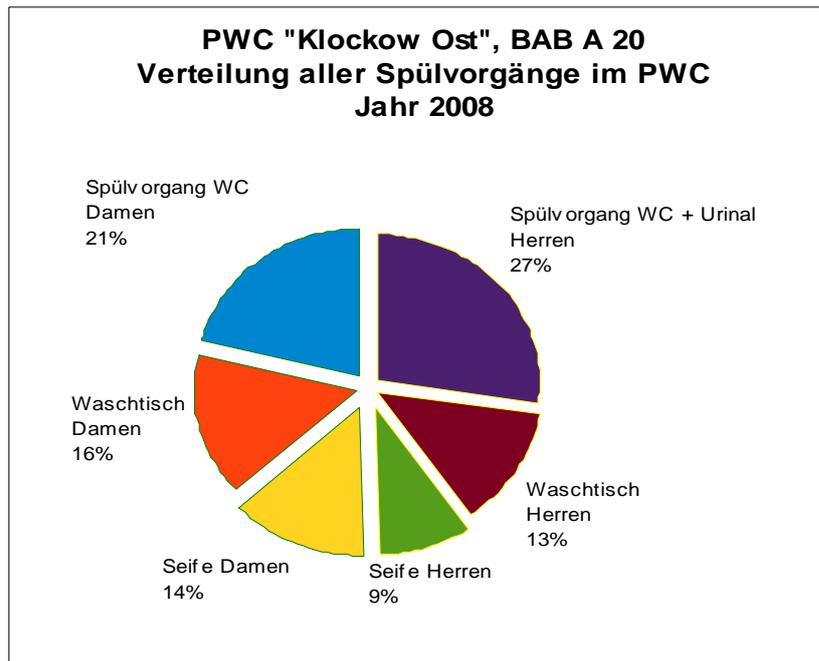


Abbildung 17-1: Verteilung der Spülvorgänge/Benutzungshäufigkeiten Wasser verbrauchender und peripherer Aggregate 2008 im WC-Gebäude der PWC-Anlage „Klockow Ost“, BAB A20, aus [Weiß 09]

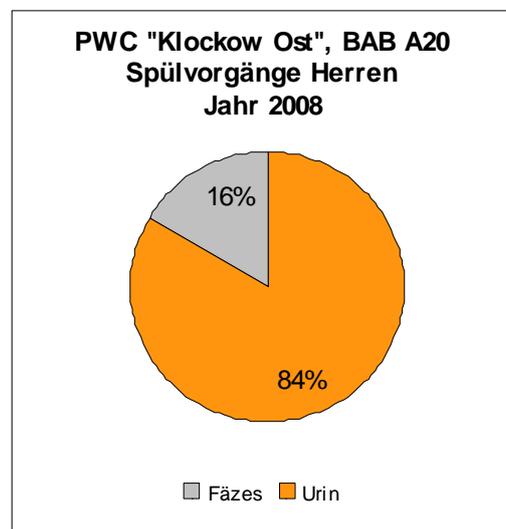


Abbildung 17-2: Spülvorgänge Herren-WC-Anlage 2008, Anteile WC-Nutzung („fäkale Nutzung“/Faezes) und Urinal-Nutzung („urinale Nutzung“/Urin), PWC „Klockow Ost“, BAB A20, aus [Weiß 09]

2. Abwassercharakteristik: Abwassermenge, Verkehr u. Wasserverbrauch

- Standortabhängigkeit: Beispiel

PWC Klockow Ost/West, BAB A20

PWC Klockow Ost RiFa Lübeck		PWC Klockow West RiFa Stettin	
Verkehrsbelastung DTV			
6.019		6.179	
verkehrsspezifischer Wasserverbrauch [l/1000 KFZ]			
673		404	
Wasserverbrauch/Abwasseranfall [m ³ /d]			
4,3	\bar{X}	2,7	
14,6	Max.	8,0	
7,0	85%	4,4	

