

**Überprüfung der Verwendbarkeit
von Carbonatbrechsanden der
Fa. Steinbach als Filtersubstrat
für Retentions-Bodenfilter**

März 2006

Auftraggeber: Fa. Steinbach
97616 Bad Neustadt a.d. Saale
Tel.: 09771/6212-0
Fax: 09771/6202-62

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1.0	Abkürzungsverzeichnis 4
2.0	Aufgabenstellung 4
3.0	Methodik 5
4.0	Ergebnisse und Diskussion 8
4.1	Pflanzversuch8
4.2	Säulenversuche9
4.2.1	Hydraulische Eigenschaften9
4.2.2	Feinpartikelaustrag11
4.2.3	Bildung von gelöstem Carbonat12
4.2.4	Mikrobielle Besiedlung13
4.2.5	Ammoniumelimination16
4.2.6	Stoffdepotbildung17
4.2.7	Salzlast17
5.0	Schlussfolgerungen 18
6.0	Quellenangaben 19
7.0	Anhang 20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Korngrößenverteilung der Carbonatbrechsande und der fluviatilen Referenz.....	5
Tabelle 2:	Physikalische Kenngrößen der Versuchssäulen.....	6
Tabelle 3:	Vergleich der hydraulischen Leitfähigkeit nach mikrobieller Einarbeitung der Säulen.....	9
Tabelle 4:	Vergleich der Mineralstickstoffgehalte vor und nach einer 10-tägigen Beschickungspause aufgrund einer mikrobiellen Kolmation der Säule 1	10
Tabelle 5:	Mineralstickstoffbilanz von B13 bis B23 (Außerbetriebnahme S1 wegen Kolmation).....	10
Tabelle 6:	Vergleich der NO ₃ -N-Dränablaufgehalte bei gedrosseltem und freiem Dränablauf.....	11
Tabelle 7:	Feinpartikelaustrag bei der 1. Beschickung Säule Nr. 1, EBS 0/2 entfüllert, 13.07.05	11
Tabelle 8:	Gelöstes Carbonat unter den verschiedenen Versuchsbedingungen.....	12
Tabelle 9:	Mikrobielle Einarbeitung der Säulensubstrate.....	13
Tabelle 10:	Mineralstickstoffbilanz bis zur vollständigen mikrobiellen NH ₄ -Einarbeitung bei Beschickung 12.....	14
Tabelle 11:	Vergleich des N-Verbleibes während und nach der mikrobiellen Einarbeitung	14
Tabelle 12:	Dränablaufwerte vor und nach einer 4-monatigen Beschickungspause	15
Tabelle 13:	Vergleich der Nitratbildung während einer Beschickungspause	15
Tabelle 14:	Mineral-N-Verbleib als Indikator für unterschiedliche biogene Sorptionsanteile der Filtersubstrate	16
Tabelle 15:	Ammoniumelimination in Abhängigkeit von unterschiedlichen Stressfaktoren	16
Tabelle 16:	Vergleich der Phosphat und Schwermetallgehalte gegen Ende des Säulenversuches.....	17
Tabelle 17:	Durchschnittliche Ca- und Na-Konzentrationen ohne und mit Salzeinfluss, Säule 1.....	17
Tabelle 18:	Reaktion des Dränablaufes der Säule 1 auf eine hohe Salzlast	18

Bildverzeichnis

Bild 1:	Pflanzversuch, Anpflanzung der Schilfballen.....	8
---------	--	---

1.0 Abkürzungsverzeichnis

T+U	Ton und Schluff; Korngrößen < 0,06 mm
EBS	Edelbrechsand
EL	Elektrische Leitfähigkeit
K _{S4.3}	Säurekapazität des Wassers bzw. Säurebindungsvermögen des Wassers bis zu pH 4.3; entspricht weitgehend dem gelösten Kalk bzw. Carbonat (HCO ₃)
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff
NO ₃ -N	Nitratstickstoff
PO ₄ -P	gelöster Phosphor bzw. Phosphat
Ca	Calcium
Na	Natrium
Zn	Zink
Cd	Cadmium
Cu	Kupfer
Pb	Blei

2.0 Aufgabenstellung

Aufgrund der fehlenden fluviatilen Sande (Flusssande) im nördlichen Unterfranken hat die Firma Steinbach in Bad Neustadt/Saale die Untersuchung von Carbonatbrechsanden als Filtersubstrat für Mischwasser-Retentionsbodenfilter beauftragt.

Die Carbonatbrechsande sollen ohne Beimischungen anderer Komponenten verwendet werden.

Bisher wurden Carbonatbrechsande nur als Beimischungen zu Flusssanden verwendet, insbesondere, um die langfristige Carbonatversorgung der Filtersubstrate sicherzustellen. Die Carbonatversorgung ist durch die ausschließliche Verwendung von Carbonatbrechsanden zwangsläufig sichergestellt. Andererseits könnte hierdurch der Austrag von gelöstem Carbonat besonders hoch sein und hierdurch sekundäre Folgen z.B. für die Versinterung des Dränsystems auftreten. Es sollte deshalb der bei hoher CO₂-Produktion entstehende Carbonataustrag gemessen und bewertet werden.

Der Steinbruch der Fa. Steinbach in Bad Neustadt/Saale, Ortsteil Strahlungen, ist im unteren Muschelkalk angelegt. Nach Dobner (1984) zählen die Schichten des unteren Muschelkalks

zu den wichtigsten Kalksteinvorkommen Bayerns, die bei Ausschluss der Mergellagen eine geringe Wasseraufnahme und eine hohe Härte aufweisen. Diese Eigenschaften sind Voraussetzung für eine geringe Frostverwitterung. Wäre die Frostverwitterung hoch, könnte im Laufe der Betriebszeit des Filters bei ausschließlichem Carbonatbrechsandaufbau des Filtersubstrates eine Kornverfeinerung auftreten, die zu unakzeptabler hydraulischer Minderleistung des Filters führen kann.

Im Rahmen der regelmäßigen Fremdüberwachung des Carbonatbrechsandes für die Verwendung als Zuschlagstoff im Straßenbau und für die Betonherstellung wurde der normierte Frost-Tau-Wechsel untersucht. Die Absplitterung (< 0,5 mm) nach 10-maligem Wechsel bei der Prüfkörnung 0,71/2,00 mm betrug 0,05 M-% (22.10.03) bzw. 0,10 M-% (25.11.04). Als Vergleich soll der Wert von 0,15 M-% des aus Jura-Muschelkalk hergestellten Carbonatbrechsandes 0/2 für die Pilotanlage RBF Monheim angeführt werden (Fremdüberwachung vom 9.9.02, Fa. Eireiner, Wemding).

Aufgrund dieser geringen Frostverwitterung wird in dieser Arbeit diese Thematik nicht untersucht.

Die Untersuchung konzentriert sich auf

- die Pflanzenverträglichkeit des Carbonatbrechsandes
- die hydraulischen und stofflichen Eigenschaften des Carbonatbrechsandes als Filtersubstrat für Mischwasser-RBF.

3.0 Methodik

Für die Pflanzenverträglichkeit wurden am 11.06.05 Ballenpflanzungen (10 cm x 10 cm x 10 cm, 2-jährig) mit 50 cm hohem Schilfaustrieb (Anzucht RBF Adlershof) verwendet. Es wurden 8 Ballen mit ca. 5 Halmaustrieben in eine Wanne (80 x 40 x 40 cm) aus Carbonatbrechsand (entfüllert) eingepflanzt. Das Substrat wurde über die ganze Vegetationsperiode mit Wasser überstaut. Es erfolgte eine Startdüngung.

Der Hauptteil der Untersuchung konzentrierte sich auf die Säulenversuche. Diese werden von der Fa. Bioplan seit 1995 zur Untersuchung u.a. von Filtersubstraten eingesetzt. In Tab. 1 ist die Korngrößenverteilung der 3 ausgewählten Filtersubstrate aufgelistet.

Tabelle 1: Korngrößenverteilung der Carbonatbrechsande und der fluviatilen Referenz [Mass-%]

Säule	Probe	T+U	fS	mS	gS	fG
S1	EBS 0/2 entfüllert	8,5	10,6	35,5	45,4	0,0
S2	EBS 0/2, alt	35,4	9,2	14,9	36,3	4,2
S2	EBS 0/2, neu	11,3	10,7	33,0	44,1	0,9
S11	fluviatile Referenz ^①	2,6	12,0	33,6	42,8	9,0

^① Kiesgesellschaft Karsee 7/05, MS 0/2

In die Untersuchung wurden zwei EBS der Fa. Steinbach und eine sogenannte fluviatile Referenz (natürliches Rundkorn) einbezogen.

Die Brechsande der Fa. Steinbach sollten sich im Feinkornanteil (T+U, < 0,06 mm) unterscheiden. Hierzu wurde ein entfüllter Brechsand mit 8,5 % T+U und ein nicht entfüllter Brechsand mit ursprünglich 35,4 T+U verwendet. Nach der 1. Beschickung zeigte sich, dass der sehr hohe T+U-Gehalt von 35,4 % zu einer unakzeptabel geringen hydraulischen Leitfähigkeit führt. Dieser Brechsand (EBS 0/2, alt) wurde daraufhin wieder ausgebaut und durch eine Mischung aus entfülltem und unentfülltem EBS 0/2, neu mit 11,3 % T+U ersetzt (ab Beschickung Nr. 2).

Bei der fluviatilen Referenz wurde auf vergleichbare Korngrößenverteilung mit den beiden EBS geachtet. Die Korngrößenverteilung der 3 geprüften Sande weicht systematisch von den bisher empfohlenen Sanden der DWA ab. Sie haben einen besonders breiten und einen grobsanddominierten Kornaufbau. Die DWA-Empfehlung hingegen hat einen schmalen und mittelsanddominierten Kornaufbau. Dieser andersartige Kornaufbau ergibt sich zwangsläufig durch den Brechvorgang. Eine Angleichung des Kornaufbaues an die Empfehlungen der DWA wäre mit sehr hohem Aufbereitungsaufwand verbunden. Zwangsläufige Folge des Brechens ist auch ein hoher Feinkornanteil (T+U), der nicht zwangsläufig, wie bei fluviatilen Sanden, zu hydraulischen Problemen führen muss, sondern gezielt zur Steigerung der stofflichen Leistung des Filters genutzt werden kann. Aus diesem Grund wurden die beiden Brechsandvarianten der Fa. Steinbach am oberen Rand des möglichen T+U-Anteils angesiedelt. Die fluviatile Referenz hingegen musste deutlich geringere T+U-Anteile enthalten (→ Tab. 1), um hydraulische Minderleistungen auszuschließen.

Tabelle 2: Physikalische Kenngrößen der Versuchssäulen

		S1	S2	S11
Durchmesser	[dm]	1,50	1,50	1,50
Filterhöhe	[dm]	6,75	6,74	7,06
Filtervolumen	[dm ³]	11,92	11,90	12,47
Filtermasse	[kg TM]	19,98	19,98	19,98
Lagerungsdichte	[kg TM/dm ³]	1,68	1,68	1,60
Wasserkapazität	[Vol-%]	8,77	9,01	7,92

S1 EBS 0/2, entfüllert, Fa. Steinbach

S2 EBS 0/2, teilentfüllert, Fa. Steinbach

S11 fluviatile Referenz

In Tab. 2 sind einige Kenngrößen der Versuchssäulen aufgelistet.

Die Versuche wurden vom 13.07.05 (1. Beschickung) bis 08.02.06 (34. Beschickung) vorgenommen.

Die Wassertemperatur schwankte von 10 - 23° C, wobei der Mittelwert bei 19,4° C (n = 28) lag. Als Beschickungswasser wurde feststofffreies, synthetisches Mischwasser verwendet.

Die Zulaufkonzentrationen mit 150 mg CSB_{gelöst}/l, 10 mg NH₄-N/l, 5 mg PO₄-P/l, 2000 µg Zn_{gelöst}/l, 20 µg Cd_{gelöst}/l, 800 µg Cu_{gelöst}/l und 400 µg Pb_{gelöst}/l sind sehr hoch gewählt worden, um das Leistungsvermögen der Substrate erkennen zu können.

Während der 3-monatigen Hauptuntersuchungszeit von Juli 2005 - Oktober 2005 wurde eine Stapelhöhe von 21,6 m aufgebracht, dies entspräche einer Jahresstapelhöhe von 86,4 m. Unterstellt man die bisherige DWA-Dimensionierung von ca. 40 m/a und eine maximale mittlere $\text{NH}_4\text{-N}$ -Zulaufkonzentration von 5 mg/l, so wären die Versuchssäulen, bezogen auf das $\text{NH}_4\text{-N}$, mindestens 4-fach höher belastet als bei üblicher Dimensionierung. Während der Versuchszeit wurden folgende Betriebs- bzw. Belastungsfaktoren variiert:

- Dränablauf gedrosselt ($3 \cdot 10^{-5}$ m/s ·) bzw. frei
- Zulauf-EL 300 $\mu\text{S/cm}$ bzw. 780 $\mu\text{S/cm}$
- Zulauf-Na 1,5 mg/l bzw. 593 mg/l
- Beschickungshöhe 600 mm bzw. 1200 mm

Für die Bewertung der Versuchsergebnisse wurde auf analoge Säulenversuche mit Flusssanden zurückgegriffen.

4.0 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Pflanzversuch



Bild 1: Pflanzversuch, Anpflanzung der Schilfballen
11.06.05, Aufnahme 05.09.05

Das Bild 1 zeigt optisch sehr eindrücklich, dass mit einer Hemmung des Schilfwachstums durch den Carbonatbrechsand der Fa. Steinbach unter optimalen Wasser- und Nährstoffbedingungen nicht zu rechnen ist.

Aufgrund dieses üppigen Wachstums wurde auf eine Quantifizierung der ober- und unterirdischen Biomasse verzichtet. Im Großanlagenbetrieb dürfte die höhere Wasserkapazität des Brechsandes, die durch den höheren Feinkornanteil begründet ist, vorteilhaft für das Schilfwachstum sein.

4.2 Säulenversuche

4.2.1 Hydraulische Eigenschaften

Tabelle 3: Vergleich der hydraulischen Leitfähigkeit nach mikrobieller Einarbeitung der Säulen

		k_f -Wert [$10^{-5} \times \text{m/s}$]	IR	$\frac{IR}{k_f}$
S1	EBS 0/2, entfüllert	6,3	3,2	0,51
S2	EBS 0/2, teilentfüllert	10,3	5,4	0,52
S11	Flusssandreferenz	13,4	24,4	1,82

Mittelwerte aus B28, B32, B34

Ursprünglich sollte neben dem entfüllerten Edelbrechsand 0/2 (EBS 0/2) ein vollständig unentfüllter EBS 0/2 untersucht werden. Aufgrund des hohen T+U-Gehaltes von 35,4 % hatte dieser Brechsand aber eine zu geringe hydraulische Leitfähigkeit. Nach der 1. Beschickung wurde dieser ausgebaut und ein neuer Brechsand mit nur 11,3 % T+U (\rightarrow Tab. 1, EBS 0/2, neu) hierfür eingebaut. [$10^{-5} \times \text{m/s}$]

Der Vergleich der EBS entfüllert (8,5 % T+U) mit EBS teilentfüllert (11,3 % T+U) zeigt (\rightarrow Tab. 3), dass kein strikter Zusammenhang zwischen den Feinanteilen und dem k_f -Wert besteht. Der geringere k_f -Wert bei Säule 1 (EBS 0/2, entfüllert) lässt sich auch nicht durch eine höhere Lagerungsdichte (\rightarrow Tab. 2) erklären. Da aus den vorgenommenen Untersuchungen kein strikter Zusammenhang von k_f -Wert und Feinanteilen zu erkennen ist, sollten nach derzeitigem Kenntnisstand nur Substrate mit T+U-Gehalten von ca. 6 % Verwendung finden.

Wie der Vergleich mit der Flusssandreferenz zeigt, wo nur 2,6 % T+U vorhanden sind (\rightarrow Tab. 1), sind die k_f -Werte nach mikrobieller Einarbeitung aber ohne Feststoffbelastung messbar größer als bei den Brechsanden mit höherem T+U-Anteil (\rightarrow Tab. 3). Dieser geringere k_f -Wert der Brechsande muss kein Nachteil sein, da nach bisheriger Erfahrung der Betriebs- k_f -Wert von Großanlagen unter dimensionierter Partikellast Faktor 5 (Säule 1) bis Faktor 10 (Säule 2) unter den gemessenen Werten der Tab. 3 liegt.

Allerdings ist die Infiltrationsrate (IR) d.h. der ungesättigte Fluss zu Beschickungsbeginn bei den Brechsanden deutlich geringer als bei der Flusssandreferenz. Dies ist ein Vorteil im Großanlagenbetrieb, weil hierdurch die Filterbespannung schneller erfolgt und hierdurch eine

gleichmäßigere Belastung der Filterfläche erfolgt (Lambert/Fuchs (2003)). Dieser Effekt ist auf den höheren Feinkornanteil der Brechsande zurückzuführen.

Ein weiterer Effekt des höheren Feinkornanteils liegt in der höheren Wasserkapazität nach Dränende, die einen vitalen Schilfbestand und damit einen höheren Schutz vor Partikelkolmation bewirkt. Das dadurch bedingte geringere Luftvolumen nach Dränende hat allerdings keine Auswirkungen auf die Durchlüftung des Filtersubstrates, da weiterhin die meisten Poren nach Dränende luftgefüllt sind.

Tabelle 4: Vergleich der Mineralstickstoffgehalte vor und nach einer 10-tägigen Beschickungspause aufgrund einer mikrobiellen Kolmation der Säule 1

		Zulauf	Ablauf	
			vor	nach
k_f -Wert	[10^{-5} * m/s]	--	1,8	8,8
NH ₄ -N	[mg/l]	10,4	4,15	0,56
NO ₃ -N	[mg/l]	2,06	1,36	8,05

S1 EBS 0/2, entfüllert, Fa. Steinbach

Die Belastung der Säulen mit mikrobiell abbaubaren organischen Stoffen (CSB), ist im Vergleich zu Großanlagen mindestens um Faktor 6 höher. Bei Säule 1 kam es hierdurch zu einer schleichenden Abnahme des k_f -Wertes, die sich u.a. auch in einem Abfall der NH₄-Elimination und der NO₃-Bildung bemerkbar gemacht hat (→ Tab 4). Da bei dieser hohen gelösten C_{org}-Belastung die Säule vollständig mikrobiell kolmatiert wäre, wurde die Säule 1 bei Beschickung B24 und B25 nicht beschickt. Hierdurch entstand eine Beschickungspause von 10 Tagen. Während dieser 10 Tage mineralisierte ein Teil der porenverschließenden mikrobiellen Biomasse auf der Filteroberfläche. Hierdurch nahmen der k_f -Wert, die NO₃-Bildung und der NH₄-Wirkungsgrad bei den folgenden Beschickungen zu (→ Tab. 4).

Tabelle 5: Mineralstickstoffbilanz von B13 bis B23 (Außerbetriebnahme S1 wegen Kolmation)

		S1	S2	S11
NH ₄ -N-Elimination	[Δ mg/l]	6,97	9,26	9,26
NO ₃ -N-Bildung	[Δ mg/l]	-0,81	6,71	6,96
N-Verbleib in Säule	[Δ mg/l]	7,78	2,55	2,30

S1 EBS 0/2, entfüllert, Fa. Steinbach

S2 EBS 0/2, teilentfüllert, Fa. Steinbach

S11 fluviale Referenz

Die Tab. 5 zeigt deutlich, dass eine mikrobielle Kolmation wie bei Säule 1 zur starken N-Speicherung im Filtersubstrat führt, obwohl die NH₄-N-Elimination deutlich geringer als bei den beiden unkolmatierten Säulen (S2, S11) ist. Diese N-Speicherung ist ein Indiz für die Zunahme der mikrobiellen Biomasse, die den Porenschluss bzw. die k_f -Abnahme bewirkt.

Tabelle 6: Vergleich der NO₃-N-Dränablaufgehalte bei gedrosseltem und freiem Dränablauf

		gedrosselt	frei
Säule 1			
q _{ab}	[10 ⁻⁵ · m/s]	1,4	1,4
NO ₃ -N	[mg/l]	2,37	1,59
Säule 2			
q _{ab}	[10 ⁻⁵ · m/s]	3,0	13,8
NO ₃ -N	[mg/l]	10,5	9,18
Säule 11			
q _{ab}	[10 ⁻⁵ · m/s]	3,0	16,1
NO ₃ -N	[mg/l]	10,5	7,79

S1 EBS 0/2, entfüllert, Fa. Steinbach

S2 EBS 0/2, teilentfüllert, Fa. Steinbach

S11 fluviale Referenz

Aus Versuchen von Lambert/Fuchs [2003] ist bekannt, dass bei Dränablaufdrosselung das durchströmbare Porenvolumen zunimmt. Hierdurch erhöht sich auch der NO₃-N-Dränablaufgehalt, weil die Effektivität des NO₃-N-Austrages zunimmt. Der NO₃-N-Gehalt des Dränablaufes ist somit ein indirektes Maß für das durchströmbare Porenvolumen. Vergleicht man die beiden unkolmatierten Säulen 2 und 11 miteinander (→ Tab. 6), so ist zu ersehen, dass beim freien Ablauf die NO₃-N-Dränablaufgehalte bei dem Brechsand S2 höher sind als beim Flusssand S11. Das höhere durchströmbare Porenvolumen im freien Dränablauf bei S 2 dürfte sich leistungssteigernd auswirken.

4.2.2 Feinpartikelaustrag

Tabelle 7: Feinpartikelaustrag bei der 1. Beschickung
Säule Nr. 1, EBS 0/2 entfüllert, 13.07.05

Ablaufmenge [m]	EL [μS/cm]	AFS [mg/l]
0 - 200	920	200
200 - 400	419	70
400 - 600	287	< 2

Bei Filtersubstraten mit messbaren T+U-Anteilen kann es prinzipiell zu Austrägen dieser feinen Partikel kommen. Insbesondere bei Salzlast (→ Tab. 18) kann ein solcher Austrag stattfinden. Solange die Kornpackung noch nicht konsolidiert ist, kann es ebenfalls zu Austrägen kommen. Diese finden meist während der Filterentlüftung zu Beginn der Beschickung statt. Beispielhaft ist der Feinpartikelaustrag von Säule 1 während der 1. Beschickung in Tab. 7 quantifiziert worden. Hier ist zu ersehen, dass während des 1. Drittels des Dränablaufes sehr hohe Feststoffausträge von 200 mg/l auftreten. Dieser hohe Feststoffaustrag korrespondiert mit einem hohen EL-Gehalt. Obwohl das Zulaufwasser nur 300 μS/cm aufwies, trat im 1. Ablaufdrittel ein Wert von 920 μS/cm auf, erst im letzten Ablaufdrittel wurde annähernd der Zulaufwert erreicht (→ Tab. 7). Ab der 2. Beschickung war der Dränablauf der Säule 1, von

dem salzbedingten Austrag von B 31 abgesehen (→ Tab. 18), vollständig klar. Der Feinpartikelaustrag war somit ein einmaliger Effekt zu Beschickungsbeginn, deren Ursache u.a. im Wechsel der Ionengehalte zu suchen ist.

Säule 2 zeigte hingegen über den gesamten Untersuchungszeitraum Feinpartikelausträge im Dränablauf (→ Anhang A3). Es deutet sich an, dass der freie Dränablauf die Austräge fördert. Eine schlüssige Erklärung für den Unterschied zwischen Säule 1 und Säule 2 konnte nicht gefunden werden. Ob der höhere T+U-Gehalt von Säule 2 (11,3 % statt 8,5 % → Tab. 1) dafür verantwortlich ist, kann nicht sicher beurteilt werden. Säule 2 hatte zudem höhere k_f -Werte. Evtl. kann durch ständige Beibehaltung der Dränablaufdrosselung von $q_{ab} = 3 \cdot 10^{-5}$ m/s der Feinpartikelaustrag vollständig unterbunden werden.

4.2.3 Bildung von gelöstem Carbonat

Tabelle 8: Gelöstes Carbonat unter den verschiedenen Versuchsbedingungen

Q_{zu} [mm]	q_{ab} [$10^{-5} \cdot m/s$]	T [°C]	$K_{S4.3\ zu}$ [meq/l]	BNr.	S1 meq/l	S2 meq/l	S11 meq/l
600	3	21	0,95	17-19	3,71	2,97	2,67
600	frei	21	0,98	20	4,04	2,56	2,17
600	3	19	4,68	21-23	5,55	4,39	4,39
600	frei	20	4,87	24	Kolmation	4,27	4,27
1200	3	18	1,14	25-27	2,84	3,12	2,65
1200	frei	19	1,23	28	3,00	2,74	2,12
600	3	10	1,07	33	1,79	1,70	1,71

BNr. Beschickungs-Nr.

S1 EBS 0/2, entfüllert, Fa. Steinbach
 S2 EBS 0/2, teilentfüllert, Fa. Steinbach
 S11 fluviale Referenz

Da das Filtersubstrat ausschließlich aus Carbonatbrechsand bestehen soll, hat ein solches Filter eine Carbonatmenge ($CaCO_3$), die bei 90 % der gesamten Filter-TM liegt. Übliche RBF haben hingegen nur 10 - 20 % $CaCO_3$. Es stellt sich deshalb die Frage, ob durch den sehr hohen Carbonatgehalt ein hoher gelöster Carbonataustrag über die Dränage provoziert wird. Oft wird auch die Frage gestellt, ob es durch den hohen Carbonatvorrat zu Carbonatversinterung des Dränsystems kommen kann.

Die Ergebnisse der Tab. 8 zeigen, dass der gelöste Carbonatgehalt ($k_{S4.3}$) zwar im Ablauf höher ist wie im Zulauf, dass es aber nicht zu sehr hohen Gehalten im Dränablauf kommt. Die $k_{S4.3}$ -Dränabläufe liegen mit 2-4 meq/l noch deutlich unter den Gehalten von Trockenwetterabflüssen im Kläranlagenzulauf von carbonathaltigen Einzugsgebieten (~ 6 meq/l). Die Werte der Tab. 8 deuten an, dass der $k_{S4.3}$ -Wert im Dränablauf von der Wassertemperatur abhängig ist. Bei höherer Wassertemperatur (→ Tab. 8, oberste Zeile, 21° C) ist der Wert höher als bei niedrigerer (→ Tab. 8, unterste Zeile, 10 ° C). Bei höherer Wasser- bzw. Reaktortemperatur wird mehr CO_2 gebildet (hoher mikrobieller Abbau von organischer Substanz). Durch die hohe Carbonatmasse und den hohen Feinanteil ist das feste Carbonat ausreichend reaktiv, um die gebildete Kohlensäure als HCO_3 zu binden. Aggressive Kohlensäure

und damit die Versinterung des Dränsystems ist nicht zu befürchten. Im Vergleich zu Filtern mit sehr geringem Carbonatvorrat z.B. 2 % CaCO_3 ist auch kein Abfallen des $k_{\text{S4.3}}$ -Wertes unter die kritische Grenze von 0,5 meq/l zu erwarten, die zu Nitrifikationshemmung und Schwermetallmobilisierung führen kann.

Bei Dränablaufdrosselung ist der Carbonataustrag messbar höher, da wie beim Nitrat, durch die Erhöhung des durchströmbaren Porenvolumens die hydraulische Austragseffektivität zunimmt. Aus Sicht des Carbonataustrages sind beide Ablaufbetriebsweisen (gedrosselt, frei) ohne negative Folgen.

4.2.4 Mikrobielle Besiedlung

Tabelle 9: Mikrobielle Einarbeitung der Säulensubstrate

Beschickung	Wirkungsgrad [%]		
	6	15	18
<u>Säule 2</u>			
CSB	--	58,6	97,6
$\text{NH}_4\text{-N}$	68,1	99,9	99,7
<u>Säule 11</u>			
CSB	--	96,8	97,8
$\text{NH}_4\text{-N}$	98,6	99,9	99,8

S2 EBS 0/2, teilentfüllert, Fa. Steinbach

S11 fluviale Referenz

Die originäre, abiotische C_{org} - und NH_4 -Sorptionskapazität der sandigen Filtersubstrate ist, von Sonderfällen abgesehen, für die geforderten Reinigungsleistungen nicht ausreichend. Im Laufe der Beschickung bildet sich auf den Kornoberflächen ein Biofilm aus, der wesentlich zur CSB- und NH_4 -Reinigungsleistung beiträgt. Bei schwach belasteten Anlagen kann es zur unvollständigen mikrobiellen Einarbeitung und damit zu Nichtausschöpfung der Leistungsfähigkeit des Filters kommen. Andererseits kann die nicht vollständige mikrobielle Einarbeitung auch durch ein zu geringes Oberflächenangebot der Sande verursacht sein. Ein gröberer Kornaufbau kombiniert mit geringerer Filterbelastung führt zu besonders geringem Leistungsvermögen des Filters. Umgekehrt kann ein feinerer Kornaufbau geringe Filterbelastung oder starken Belastungswechsel kompensieren.

Der Carbonatbrechsand (Säule 2) zeigt gegenüber dem Flusssand (Säule 11) eine langsamere mikrobielle Einarbeitung (\rightarrow Tab. 9). Nach der mikrobiellen Einarbeitung sind aber beide Substrattypen auf gleich hohem Niveau. Die Bereitstellung von Siedlungsflächen für Mikroorganismen sind ausreichend hoch. Die Carbonatbrechsande haben deutlich höhere Siedlungsflächen für Mikroorganismen als z. B. die Flusssande in NRW. Dort wurde unter gleichen Versuchsbedingungen ein Reinigungsniveau von 60-90 % für CSB und 50-90 % für NH_4 festgestellt (Lambert (2003)).

Tabelle 10: Mineralstickstoffbilanz bis zur vollständigen mikrobiellen NH_4 -Einarbeitung bis Beschickung 12

	S1	S2	S11
NH_4 -N-Elimination [Δ mg/l]	8,25	9,17	10,34
NO_3 -N-Bildung [Δ mg/l]	5,00	6,48	3,47
N-Verbleib in Säule [Δ mg/l]	3,25	2,69	6,87

S1 EBS 0/2, entfüllert, Fa. Steinbach

S2 EBS 0/2, teilentfüllert, Fa. Steinbach

S11 fluviale Referenz

Der Brechsand (S2) und der Flusssand (S11) unterscheiden sich im N-Verbleib während der mikrobiellen Einarbeitung. Säule 1 soll aufgrund der schleichenden Kolmation und der dadurch bedingten höheren N-Aufnahme des Filtersubstrates (\rightarrow Tab. 5) nicht mit in die Betrachtung aufgenommen werden.

Der Flusssand (S11) nimmt während der mikrobiellen NH_4 -Einarbeitung im Vergleich zu S2 das 2,5-fache an Mineralstickstoff auf (\rightarrow Tab. 10). Hieraus kann gefolgert werden, dass die Biofilmbildung beim Flusssand höher ist. Da beide Substrate nach der mikrobiellen NH_4 -Einarbeitung ein gleich hohes Leistungsniveau aufweisen (\rightarrow Tab. 9), muss beim Brechsand (S 2) der originäre, abiotische Sorptionsanteil höher sein.

Tabelle 11: Vergleich des N-Verbleibes während und nach der mikrobiellen Einarbeitung

	S2	S11
<u>während (\rightarrow Tab. 10)</u> [Δ mg/l]	2,69	6,87
<u>nach (\rightarrow Tab. 5)</u> [Δ mg/l]	2,55	2,30

S2 EBS 0/2, teilentfüllert, Fa. Steinbach

S11 fluviale Referenz

Nach der mikrobiellen Einarbeitung bewegt sich der N-Verbleib der beiden Substrate auf vergleichbarem Niveau. Unterstellt man vereinfachend eine NH_4 -N-Elimination von 10 mg/l, so erscheinen 2,3 - 2,5 mg N/l bzw. 23 - 25 % hiervon nicht als Nitrat. Trotz strikt aerobem Filterbetrieb muss davon ausgegangen werden, dass dieser im Dränablauf fehlende Betrag denitrifiziert wird. Bei früheren Säulenversuchen war meist ein Fehlbetrag von 15 - 20 % ermittelt worden. Ein weiterer Biomasseaufbau, wie während der mikrobiellen Einarbeitungsphase, ist danach nicht zu erwarten. Dies müsste sich z.B. in einer kontinuierlichen Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeit bemerkbar machen, die sich aus den Werten des Anhanges A 1 nicht ablesen lässt.

Tabelle 12: Dränablaufwerte vor und nach einer 4-monatigen Beschickungspause

	Zulauf	Ablauf				
		S1		S11		
		vor	nach	vor	nach	
k_f -Wert	[$10^{-5} \cdot \text{m/s}$]	--	5,1	5,1	13,1	11,8
EL	[$\mu\text{S/cm}$]	323	576	900	461	590
$k_{S4,3}$	[meq/l]	1,22	3,28	1,79	2,45	1,71
CSB	[mg/l]	99,8	3,8	15,8	3,1	9,2
NH ₄ -N	[mg/l]	9,89	0,03	0,03	0,13	0,04
NO ₃ -N	[mg/l]	2,24	8,56	17,2	7,87	28,5

S1 EBS 0/2, entfüllert, Fa. Steinbach

S11 fluviale Referenz

Eine lange Beschickungspause führt zu Abnahme der mikrobiellen Biomasse des Filters. Dies kann insbesondere beim schwerer sorbierbaren, unpolaren C_{org} bzw. CSB zu Leistungseinbrüchen nach der Wiederbeschickung führen. Beim NH₄ führt die Beschickungspause nur bei Filtern mit suboptimaler mikrobieller Einarbeitung zu Minderleistung bei der Wiederbeschickung.

Bei den Brechsanden wie dem Flusssand ist nur beim CSB eine leichte Wirkungsgraddepression nach 4-monatiger Beschickungspause feststellbar (→ Tab. 12). Diese große Beschickungspause führte nicht zu einer Zunahme der hydraulischen Leitfähigkeit, was darauf hinweist, dass vor der Beschickungspause keine Tendenz zur Kolmation bestand, wie bei Säule 1 bei früheren Beschickungen (→ Tab. 4). Der stabile k_f -Wert der Säule 1 zu Versuchsende dürfte durch die Reduzierung der Beschickungshäufigkeit von 3 auf 2 pro Woche bedingt sein.

Die Beschickungspause führte bei allen Säulen zur Freisetzung von NO₃. Hierin kann der entgegengesetzte Vorgang wie bei der mikrobiellen Einarbeitung gesehen werden. Allerdings führte die Freisetzung von Nitrat bzw. der Abbau von mikrobieller Biomasse nur zu leichten CSB- aber nicht zu NH₄-Leistungsminderungen.

Tabelle 13: Vergleich der Nitratbildung während einer Beschickungspause

	S1	S2	S11	RS1	RS2	RS3
k_f -Wert	[$10^{-5} \cdot \text{m/s}$]	5,1	10,8	11,8	--	--
Temperatur	[° C]	10	10	10	12	12
Beschickungspause	[d]	116	116	116	75	75
$\Delta \text{NO}_3\text{-N}$	[mg/l]	14,9	23,3	26,2	32,1	30,2

S1 EBS 0/2, entfüllert, Fa. Steinbach

S2 EBS 0/2, teilentfüllert, Fa. Steinbach

S11 fluviale Referenz

Die Nitratfreisetzung durch Beschickungspausen kann nach bisherigen Untersuchungen stark schwanken. In Tab. 13 sind Werte von 3 Rheinsanden (RS 1 - RS 3) (Lambert (2003)) vergleichend mit aufgelistet.

Trotz der längeren Beschickungspause sind die Nitratwerte der Brechsande geringer als die der Flusssande. Die geringe Nitratfreisetzung von RS 3 mit 19,4 mg NO₃-N/l ist durch die geringe Biomasse und Leistungsfähigkeit des grobsanddominierten Flusssandes bedingt. Ob die deutlich geringere Nitratfreisetzung von Säule 1 durch eine geringere Gaswegigkeit bzw. geringeren k_f -Wert bedingt ist, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt werden. Es

muss zukünftigen Untersuchungen vorbehalten bleiben, ob eine geringe Nitratfreisetzung während einer Beschickungspause als Leistungsmerkmal gewertet werden kann.

Tabelle 14: Mineral-N-Verbleib als Indikator für unterschiedliche biogene Sorptionsanteile der Filtersubstrate

	S1	S2	S11
N-Bindung des Substrates während mikrobieller Einarbeitung [Δ mg/l] (\rightarrow Tab. 10)	3,25	2,69	6,87
N-Freisetzung während 116-tägiger Beschickungspause [Δ mg/l] (\rightarrow Tab. 12)	14,9	23,3	26,2

S1 EBS 0/2, entfüllert, Fa. Steinbach

S2 EBS 0/2, teilentfüllert, Fa. Steinbach

S11 fluviale Referenz

In Tab. 14 ist die N-Bindung während der mikrobiellen Einarbeitung der N-Freisetzung während einer Beschickungspause gegenübergestellt. Unterstellt man analog Tab. 10 12 Beschickungen während der mikrobiellen Einarbeitung, so ist bei Säule 1 39 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ gebunden worden, von denen 14,9 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ bzw. 38 % während der 4-monatigen Beschickungspause wieder freigesetzt wurde. Bei Säule 11 betrug hingegen die Bindung 82,4 mg/l bzw. die Freisetzung 26,2 mg/l bzw. 32. %.

4.2.5 Ammoniumelimination

Die Leistungsfähigkeit der Filtersubstrate für Mischwasser soll primär am NH_4 beurteilt werden, da hier bei bisherigen Untersuchungen die größten Leistungsunterschiede festgestellt wurden. Der gelöste CSB ist bei den meisten Mischwässern deutlich geringer als der partikulär gebundene. Die Filtersubstratauswahl sollte sich deshalb primär am NH_4 orientieren.

Tabelle 15: Ammoniumelimination in Abhängigkeit von unterschiedlichen Stressfaktoren

q_{zu} [mm]	q_{ab} [10^{-5} m/s]	EL [$\mu\text{S/cm}$]	Beschickung	S2 [%]	S11 [%]
600	3	300	17-19	99,7	99,8
600	frei	300	20	99,7	99,8
600	3	780	21-23	99,3	99,5
600	frei	780	24	99,8	98,1
600	3	2800	29-30	99,6	99,6
1200	3	300	25-27	99,8	99,7
1200	frei	300	28	99,3	92,6

S2 EBS 0/2, teilentfüllert, Fa. Steinbach

S11 fluviale Referenz

Die NH_4 -Elimination des Brechsandes (S2) ist unter allen untersuchten Stressbedingungen ($E_{zu} = 780 \mu\text{S/cm}$, $E_{zu} = 2800 \mu\text{S/cm}$, $q_{zu} = 1200$ mm, freier Dränablauf ($\sim 10 \cdot 10^{-5}$ m/s) sehr hoch (\rightarrow Tab. 15). Der stark carbonathaltige Flusssand zeigt bis auf die Variante $q_{zu} = 1200$ mm und freien Dränablauf vergleichbare Leistung. Die bisher untersuchten Flusssande in anderen Vorhaben erreichen dieses hohe Leistungsniveau nicht. So wies z.B. der leistungsstärkste Flusssand RS1 bei den Untersuchungsbedingungen von $q_{zu} = 600$ mm, $E_{zu} = 789$

$\mu\text{S}/\text{cm}$ und $q_{\text{ab}} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ einen NH_4 -Wirkungsgrad von 75,6 % auf. Der leistungsschwächste RS3 hatte einen Wirkungsgrad von 43,4 %. Erst durch Minderung des Stresses mit $\text{EI}_{\text{zu}} = 300 \mu\text{S}/\text{cm}$ und $q_{\text{ab}} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ nahm der Wirkungsgrad sprunghaft zu (RS1 = 99,3 %, RS3 = 90,2 %).

4.2.6 Stoffdepotbildung

Tabelle 16: Vergleich der Phosphat und Schwermetallgehalte gegen Ende des Säulenversuches

	Zulauf	Ablauf			
		S1		S11	
Dränablauf [$10^{-5} \cdot \text{m/s}$]		3,0 ^①	5,1 ^②	3,0 ^①	12,4 ^②
$\text{PO}_4\text{-P}$ [mg/l]	5,54	0,30	0,98	3,18	4,10
Zu [mg/l]	2229	5,0	3,0	< 1,0	< 1,0
Cd [mg/l]	19,0	0,07	0,05	0,04	0,03
Cu [mg/l]	788	4,1	1,4	6,9	3,8
Pb [mg/l]	453	2,3	0,4	3,4	3,9

① Dränablaufdrosselung, B33

② Freier Dränablauf, B34

S1 EBS 0/2, entfüllert, Fa. Steinbach

S11 Flusssandreferenz

Die nicht mineralisierbaren Nähr- und Schadstoffe werden, soweit sie nicht ausgetragen werden, zwangsläufig im Filtersubstrat akkumuliert. Für Phosphor und die Schwermetalle Zn, Cd, Cu, Pb sind in Tab. 16 Messwerte gegen Versuchsende aufgeführt. Diese Werte zeigen, dass beim Phosphor nur beim Brechsand mit einer nennenswerten P-Bindung gerechnet werden kann. Ob die gemessene Leistung längerfristig aufrechterhalten werden kann, ist offen.

Bei der SM-Bindung zeigen hingegen beide Substrattypen eine sehr hohe Binefähigkeit, die mit dem hohen Carbonatvorrat in Verbindung stehen dürfte.

4.2.7 Salzlaster

Tabelle 17: Durchschnittliche Ca- und Na-Konzentrationen ohne und mit Salzeinfluss, Säule 1

		ohne ①			mit ②		
		Zu	Ab	Δ	Zu	Ab	Δ
Ca	[mg/l]	24,3	78,8	54,5	25,9	106,1	80,2
Na	[mg/l]	1,4	1,3	0,1	198,8	181,9	16,9

① B28

② \varnothing B29 - B34 (n = 6)

Säule 1, EBS 0/2, entfüllert, Fa. Steinbach

Mischwasserfilter erhalten im Zulauf zwar geringere winterliche Salzlaster als Trennsystem- oder Straßenfilter, sie können aufgrund der hohen Salzausbringmengen trotzdem vom Winterdienst beeinflusst werden.

Bei der Salzlaster des Säulenversuches wurden bewusst hohe Na-Gehalte gewählt, um mögliche Effekte erkennen zu können.

Aus Tab. 17 ist zu ersehen, dass das Calcium als Austauscherkonkurrent des Natriums wirkt. Die Na-Belastung bewirkt einen stärkeren Ca-Austrag. Die hohen Ca-Gehalte an den Austauschern und im Filterwasser bewirken einen weitgehend vollständigen Austrag des Natriums aus dem Filtersubstrat (→ Tab. 17).

Tabelle 18: Reaktion des Dränablaufes der Säule 1 auf eine hohe Salzlast

Beschickung Datum	28 29.09.05	29 04.10.05	30 06.10.05	31 10.10.05	32 12.10.05	33 06.02.06	34 09.02.06
<u>Zulauf</u>							
Trübung	1	1	1	1	1	1	1
EL [µS/cm]	321	2770	2820	316	323	318	313
Ca [mg/l]	24,3	28,8	28,3	24,6	25,5	21,7	26,3
Na [mg/l]	1,4	598	589	1,2	1,1	1,7	1,8
<u>Ablauf</u>							
Trübung	1	1	1	3❶	1	1	1
EL [µS/cm]	423	2630	3100	1246	576	900	466
Ca [mg/l]	78,2	206	126	25,0	70,1	102	63,4
Na [mg/l]	1,4	278	531	193	73,4	14,9	2,2

Trübungsbonitur: 1 = klar, 5 = sehr trüb

❶ 38 mg AFS/l

Säule 1 EBS 0/2, entfüllert, Fa. Steinbach

Durch die hohe Salzbelastung im Zulauf von 593 mg Na/l trat beim Beschickungsereignis nach dem Absetzen der hohen Salzkonzentration (→ Tabelle 18, B31) eine Trübung im Ablauf auf. Bei der nächsten Beschickung (B32) war der Dränablauf wieder klar. Das eingetragene Salz wurde weitgehend quantitativ wieder aus den Säulen ausgetragen.

Eine Änderung der hydraulischen Leitfähigkeit trat nicht auf.

Die Reinigungsleistung war durch die Salzlast nicht geschmälert.

5.0 Schlussfolgerungen

- 4.1 Der untersuchte Carbonatbrechsand der Fa. Steinbach stellt für das Schilfwachstum keine Limitierung dar. Durch den höheren Feinanteil bzw. durch die höhere Wasserkapazität des Brechsandes kann gegenüber üblichem Flusssand sogar ein Wuchsvorteil entstehen (höheres Wasserdargebot).
- 4.2 Der untersuchte Carbonatbrechsand der Fa. Steinbach kann als Filtersubstrat für RBF verwendet werden. Der Feinkornanteil sollte nach derzeitigem Kenntnisstand aus Sicherheitsgründen ca. 6 % betragen. Geringere Feinkornanteile sind vermutlich leistungsmindernd; höhere könnten zu hydraulischer Minderleistung und Feinpartikelaustrag führen.
- 4.3 Die untersuchten Carbonatbrechsande haben ein sehr hohes Leistungsvermögen, sowohl für die mineralisierbaren Stoffe (CSB, NH₄) als auch für Schwermetalle. Dieses hohe Leistungsvermögen dürfte mit dem hohen reaktiven Carbonatvorrat in Zu-

sammenhang stehen. Das Leistungsvermögen der untersuchten Carbonatbrechsande ist deutlich höher als das der üblichen Flusssande.

6.0 Quellenangaben

Dobner, A. (1984): Kalksteine des Unteren Muschelkalkes. In Weinig, H. u.a., Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern. Geologica Bavarica, Heft 86. Bayerisches Geologisches Landesamt, München

Lambert, B. und Fuchs, S. (2003): Voruntersuchung zum RBF Monheim, unveröffentlichter Schlussbericht. Auftraggeber: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München

Lambert, B. (2003): Säulenversuche mit Flusssanden aus NRW. unveröffentlichter Schlussbericht

Auftraggeber: MUNLV Düsseldorf bzw. FH Münster

Sinsheim-Steinsfurt, den 14.03.2006

Benedikt Lambert

BIOPLAN-Landeskulturgesellschaft

74889 Sinsheim, Labor: Pfohlhofstraße 20

Telefon 07261/5995 · Telefax 07261/61406

e-mail: Bioplan-Lambert@t-online.de

7.0 Anhang

A1: Wasserleitfähigkeit kf-Wert [$10^{-5} \cdot \text{m/s}$]

Datum	18.08.05	01.09.05	15.09.05	29.09.05	13.10.05	08.02.06
Beschickungs - Nr.	B 16	B 20	B 24	B 28	B 32	B 34
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [$10^{-5} \cdot \text{m/s}$] ¹⁾	frei	frei	frei	frei	frei	frei
Zulauf						
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	0/100	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	21	22	18	19	18	11
EL [$\mu\text{S/cm}$]	280	319	786	321	323	313
$k_{\text{S4.3}}$ [meq/l]	0,86	0,98	4,87	1,23	1,22	1,07
Ablauf						
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	1,10	1,82	kolmatiert	8,78	5,11	5,09
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	9,30	18,3	14,3	10,8	9,19	10,8
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karsee, 7/05, NS 0/2, SB239	15,2	17,0	13,8	15,2	13,1	11,8

¹⁾ [$10^{-5} \cdot \text{m/s}$] = [$\text{l/s} \cdot \text{m}^2$]*100

²⁾ D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A2: Durchflussgeschwindigkeit im ungesättigten Fluss IR-Wert [$10^{-5} \cdot \text{m/s}$]

Datum	18.08.05	01.09.05	15.09.05	29.09.05	13.10.05	08.02.06
Beschickungs - Nr.	B 16	B 20	B 24	B 28	B 32	B 34
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [$10^{-5} \cdot \text{m/s}$] ¹⁾	frei	frei	frei	frei	frei	frei
Zulauf						
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	0/100	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	21	22	18	19	18	11
EL [$\mu\text{S/cm}$]	280	319	786	321	323	313
$k_{\text{S4.3}}$ [meq/l]	0,86	0,98	4,87	1,23	1,22	1,07
Ablauf						
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	2,66	0,79	kolmatiert	4,71	2,76	2,21
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	16,8	9,00	8,41	6,36	4,83	5,01
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karsee, 7/05, NS 0/2, SB239	30,0	26,2	25,6	24,8	24,5	24,0

¹⁾ [$10^{-5} \cdot \text{m/s}$] = [$\text{l/s} \cdot \text{m}^2$]*100

²⁾ D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A3: Trübung (1=klar, 5=sehr trüb), * =Niederschlag im Röhrchen

Datum	13.07.2005	15.07.2005	18.07.2005	20.07.2005	22.07.2005	25.07.2005	01.08.2005	08.08.2005	15.08.2005	18.08.2005
Beschickungs - Nr.	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B9	B12	B15	B16
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [m/s * 10 ⁻⁵] ¹⁾	frei	frei	frei	frei	3	3	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	22	23	23	22	22	21	23	19	18	21
EL [µS/cm]	15	289	290	295	300	311	290	288	309	280
K _{S4,3} [meq/l]	-	0,97	1,04	1,01	0,98	1,15	0,96	0,99	1,00	0,86
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	-	1	-	1	1	1	1	1	1	1
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	-	1	-	1	2	2	1	2*	-	5*
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karsee, 7/05, NS 0/2, SB239	-	4*	-	2	2	1	1	1	1	3

Datum	05.09.2005	08.09.2005	12.09.2005	15.09.2005	18.09.2005	22.09.2005	26.09.2005	29.09.2005	04.10.2005	06.10.2005
Beschickungs - Nr.	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	1200	1200	1200	1200	600	600
Ablaufdrosselung [m/s * 10 ⁻⁵] ¹⁾	3	3	3	frei	3	3	3	frei	3	3
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	0/100	0/100	0/100	0/100	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	19	19	19	20	18	18	19	19	17	19
EL [µS/cm]	763	782	772	786	311	316	312	321	2770	2820
K _{S4,3} [meq/l]	4,57	4,70	4,76	4,87	1,11	1,21	-	1,23	1,21	1,20
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	1	1	1	kolmatiert	-	1	1	1	1	1
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	2	3*	2*	3*	1	1	1	3*	3*	1
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karsee, 7/05, NS 0/2, SB239	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1

1) [m/s * 10⁻⁵] = [l/s * m²]*100

2) D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A4: Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]

Datum	15.07.2005	25.07.2005	01.08.2005	08.08.2005	15.08.2005	18.08.2005	22.08.2005	25.08.2005	29.08.2005	01.09.2005
Beschickungs - Nr.	B2	B6	B9	B12	B15	B16	B17	B18	B19	B20
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [$\text{m}/\text{s} * 10^{-5}$] ¹⁾	frei	3	3	3	3	frei	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	23	21	23	19	18	21	22	20	19,5	23
EL [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	289	311	290	288	309	280	292	296	297	319
$K_{\text{S}4,3}$ [meq/l]	0,97	1,14	0,95	0,99	1,00	0,86	1,00	0,90	0,95	0,98
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	373	550	721	673	587	580	589	594	595	584
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	529	533	567	542	653	532	620	604	626	529
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	257	515	541	507	517	443	524	481	491	434

Datum	12.09.2005	15.09.2005	18.09.2005	22.09.2005	26.09.2005	29.09.2005	04.10.2005	06.10.2005	10.10.2005	13.10.2005
Beschickungs - Nr.	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30	B31	B32
Beschickungsmenge [mm]	600	600	1200	1200	1200	1200	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [$\text{m}/\text{s} * 10^{-5}$] ¹⁾	3	frei	3	3	3	frei	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	0/100	0/100	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	18,5	18	17,5	-	18	19	17	18	18	17,5
EL [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	772	786	311	316	312	321	2770	2820	316	323
$K_{\text{S}4,3}$ [meq/l]	4,76	4,87	1,11	1,21	-	1,23	1,21	1,20	1,21	1,22
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	865	kolmatiert	-	417	456	423	2630	3100	1246	576
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	831	806	480	489	485	428	2580	3060	1193	526
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	772	761	418	448	428	399	2530	2970	1036	461

¹⁾ [$\text{m}/\text{s} * 10^{-5}$] = [$\text{l}/\text{s} * \text{m}^2$]*100

²⁾ D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A5: pH - Wert

Datum	15.07.2005	25.07.2005	01.08.2005	08.08.2005	15.08.2005	18.08.2005	22.08.2005	25.08.2005	29.08.2005	01.09.2005
Beschickungs - Nr.	B2	B6	B9	B12	B15	B16	B17	B18	B19	B20
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [$m/s * 10^{-5}$] ¹⁾	frei	3	3	3	3	frei	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	23	21	23	19	18	21	22	20	19,5	23
EL [µS/cm]	289	311	290	288	309	280	292	296	297	319
K _{S4,3} [meq/l]	0,97	1,14	0,95	0,99	1,00	0,86	1,00	0,90	0,95	0,98
pH - Wert	7,6	7,2	7,3	7,3	-	6,5	7,0	7,2	7,0	6,6
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	7,7	7,9	7,9	7,9	8,0	7,9	7,9	7,8	8,0	7,9
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	7,9	7,6	7,8	7,7	7,9	7,2	7,9	7,8	8,1	7,9
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	7,8	7,5	8,1	7,9	7,8	7,2	7,8	7,6	7,9	7,7

Datum	12.09.2005	15.09.2005	18.09.2005	22.09.2005	26.09.2005	29.09.2005	04.10.2005	06.10.2005	10.10.2005	13.10.2005
Beschickungs - Nr.	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30	B31	B32
Beschickungsmenge [mm]	600	600	1200	1200	1200	1200	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [$m/s * 10^{-5}$] ¹⁾	3	frei	3	3	3	frei	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	0/100	0/100	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	19	20	18	18	18,5	19	17	18,5	18	17,5
EL [µS/cm]	772	786	311	316	312	321	2770	2820	316	323
K _{S4,3} [meq/l]	4,76	4,87	1,11	1,21	1,09	1,23	1,21	1,20	1,21	1,22
pH - Wert	8,0	7,8	7,4	7,4	7,5	7,5	7,5	7,4	7,5	7,5
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	8,0	kolmatiert	-	7,5	7,8	7,6	7,6	7,7	8,1	7,8
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	7,9	7,8	7,9	7,8	7,8	7,7	7,6	7,7	8,1	7,7
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	7,80	7,60	7,60	7,70	7,70	7,50	7,40	7,50	8,10	7,80

1) [$m/s * 10^{-5}$] = [$l/s * m^2$]*100

2) D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A6: $k_{S4.3}$ [meq/l]

Datum	15.07.2005	25.07.2005	01.08.2005	08.08.2005	15.08.2005	18.08.2005	22.08.2005	25.08.2005	29.08.2005	01.09.2005
Beschickungs - Nr.	B2	B6	B9	B12	B15	B16	B17	B18	B19	B20
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [$m/s * 10^{-5}$] ¹⁾	frei	3	3	3	3	frei	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	23	21	23	19	18	21	22	20	19.5	23
EL [$\mu S/cm$]	289	311	290	288	309	280	292	296	297	319
$k_{S4.3}$ [meq/l]	0.97	1.15	0.96	0.99	1.00	0.86	1.00	0.90	0.95	0.98
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	0.86	2.91	4.20	3.86	3.51	3.53	3.58	3.74	3.82	4.04
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	1.06	2.21	2.34	2.44	2.38	2.38	2.90	2.99	3.01	2.56
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	1.06	1.77	3.81	2.96	2.94	2.28	2.67	2.64	2.71	2.17

Datum	12.09.2005	15.09.2005	18.09.2005	22.09.2005	26.09.2005	29.09.2005	04.10.2005	06.10.2005	10.10.2005	13.10.2005
Beschickungs - Nr.	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30	B31	B32
Beschickungsmenge [mm]	600	600	1200	1200	1200	1200	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [$m/s * 10^{-5}$] ¹⁾	3	frei	3	3	3	frei	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	0/100	0/100	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	19	20	18	18	18.5	19	17	18.5	18	17.5
EL [$\mu S/cm$]	772	786	311	316	312	321	2770	2820	316	323
$k_{S4.3}$ [meq/l]	4.76	4.87	1.11	1.21	1.09	1.23	1.21	1.20	1.21	1.22
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	5.89	kolmatiert	-	2.58	3.10	3.00	3.50	3.87	4.03	3.28
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	4.36	4.27	2.88	3.08	3.39	2.74	2.93	3.42	3.60	2.59
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	4.36	4.27	2.52	2.76	2.68	2.12	2.55	2.98	3.71	2.45

¹⁾ [$m/s * 10^{-5}$] = [$l/s * m^2$]*100

²⁾ D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A7: CSB [mg/l]

Datum	15.08.2005	18.08.2005	22.08.2005	25.08.2005	29.08.2005	01.09.2005	05.09.2005	08.09.2005	12.09.2005	15.09.2005
Beschickungs - Nr.	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [m/s * 10 ⁻⁵] ¹⁾	3	frei	3	3	3	frei	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	0/100	0/100	0/100	0/100
Wassertemperatur [°C]	19	21	22	20	19	22	18	18	19	18
EL [µS/cm]	309	280	292	296	297	319	763	782	772	786
K _{S4,3} [meq/l]	1,00	0,86	1,00	0,90	0,95	0,98	4,57	4,70	4,76	4,87
CSB [mg/l]	112	105	98,7	97,0	91,6	106	97,8	85,0	97,4	97,7
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	36,4	25,9	23,8	21,7	24,5	26,4	18,2	10,0	4,52	kolmatiert
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	46,4	17,9	4,94	2,31	3,31	8,15	2,94	13,3	0,95	4,20
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	3,57	14,1	4,52	2,15	2,84	7,83	3,26	7,35	3,89	4,57

Datum	18.09.2005	22.09.2005	26.09.2005	29.09.2005	04.10.2005	06.10.2005	10.10.2005	13.10.2005	06.02.2006	08.02.2006
Beschickungs - Nr.	B25	B26	B27	B28	B29	B30	B31	B32	B33	B 34
Beschickungsmenge [mm]	1200	1200	1200	1200	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [m/s * 10 ⁻⁵] ¹⁾	3	3	3	frei	3	3	3	frei	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	18	17	18	19	17	18	18	18	10	10
EL [µS/cm]	311	316	312	321	2770	2820	316	323	318	313
K _{S4,3} [meq/l]	1,11	1,21	1,09	1,23	1,21	1,20	1,21	1,22	1,07	1,07
CSB [mg/l]	99,3	99,8	99,3	98,5	98,9	100	101	99,8	100	98,7
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	-	27,5	9,56	5,88	6,62	6,15	6,83	3,78	15,8	18,4
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	5,94	8,77	6,04	3,47	6,25	5,94	5,31	3,83	10,0	4,57
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	5,88	5,99	5,52	4,73	5,73	5,04	7,51	3,10	9,19	29,5

¹⁾ [m/s * 10⁻⁵] = [l/s * m²]*100

²⁾ D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A8: NH₄-N [mg/l]

Datum	15.07.2005	25.07.2005	01.08.2005	08.08.2005	15.08.2005	18.08.2005	22.08.2005	25.08.2005	29.08.2005	01.09.2005
Beschickungs - Nr.	B2	B6	B9	B12	B15	B16	B17	B18	B19	B20
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [m/s * 10 ⁻⁵] ¹⁾	frei	3	3	3	3	frei	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	23	21	23	19	18	21	22	20	19,5	23
EL [µS/cm]	289	311	290	288	309	280	292	296	297	319
K _{S4,3} [meq/l]	0,97	1,15	0,96	0,99	1,00	0,86	1,00	0,90	0,95	0,98
NH ₄ -N [mg/l]	8,98	11,9	10,1	10,7	11,6	10,3	10,4	10,7	10,5	11,6
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	0,07	6,16	2,00	0,39	0,05	0,36	2,16	2,96	2,74	2,79
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	0,10	3,80	0,96	0,07	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	0,03	0,17	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04	0,02	0,01	0,02

Datum	12.09.2005	15.09.2005	18.09.2005	22.09.2005	26.09.2005	29.09.2005	04.10.2005	06.10.2005	10.10.2005	13.10.2005
Beschickungs - Nr.	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30	B31	B32
Beschickungsmenge [mm]	600	600	1200	1200	1200	1200	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [m/s * 10 ⁻⁵] ¹⁾	3	frei	3	3	3	frei	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	0/100	0/100	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	19	20	18	18	18,5	19	17	18,5	18	17,5
EL [µS/cm]	772	786	311	316	312	321	2770	2820	316	323
K _{S4,3} [meq/l]	4,76	4,87	1,11	1,21	1,09	1,23	1,21	1,20	1,21	1,22
NH ₄ -N [mg/l]	10,1	10,3	11,4	10,8	10,3	9,76	9,8	10,3	10,6	9,89
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	4,15	kolmatiert	-	0,56	0,17	0,03	0,10	0,10	0,14	0,03
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	<0,01	0,02	0,04	<0,01	<0,01	0,07	0,02	0,07	0,10	0,10
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	<0,01	0,19	0,05	<0,01	0,02	0,72	0,04	0,03	0,08	0,13

1) [m/s * 10⁻⁵] = [l/s * m²]*100

2) D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A9: NO₃-N [mg/l]

Datum	15.07.2005	25.07.2005	01.08.2005	08.08.2005	15.08.2005	18.08.2005	22.08.2005	25.08.2005	29.08.2005	01.09.2005
Beschickungs - Nr.	B2	B6	B9	B12	B15	B16	B17	B18	B19	B20
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [m/s * 10 ⁻⁵] ¹⁾	frei	3	3	3	3	frei	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	23	21	23	19	18	21	22	20	19,5	23
EL [µS/cm]	289	311	290	288	309	280	292	296	297	319
K _{S4,3} [meq/l]	0,97	1,14	0,95	0,99	1,00	0,86	1,00	0,90	0,95	0,98
NO ₃ -N [mg/l]	1,23	1,74	1,71	1,70	1,92	1,90	2,09	1,98	2,08	2,06
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	1,30	3,20	12,7	8,86	2,91	1,83	1,99	2,46	2,14	1,36
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	1,28	7,29	13,2	10,5	11,7	10,1	10,9	9,18	10,3	8,26
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karsee, 7/05, NS 0/2, SB239	1,32	3,72	5,41	9,78	9,17	8,47	14,4	9,28	9,33	7,12

Datum	12.09.2005	15.09.2005	18.09.2005	22.09.2005	26.09.2005	29.09.2005	04.10.2005	06.10.2005	10.10.2005	13.10.2005
Beschickungs - Nr.	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30	B31	B32
Beschickungsmenge [mm]	600	600	1200	1200	1200	1200	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [m/s * 10 ⁻⁵] ¹⁾	3	frei	3	3	3	frei	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	0/100	0/100	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	19	20	18	18	18,5	19	17	18,5	18	17,5
EL [µS/cm]	772	786	311	316	312	321	2770	2820	316	323
K _{S4,3} [meq/l]	4,76	4,87	1,11	1,21	1,09	1,23	1,21	1,20	1,21	1,22
NO ₃ -N [mg/l]	4,66	3,98	2,31	2,09	2,01	2,09	1,84	2,08	2,25	2,24
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	2,17	kolmatiert	-	8,05	7,46	8,51	16,6	6,66	5,05	8,56
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	10,8	10,2	4,95	4,89	11,81	9,38	18,1	8,22	6,93	10,4
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karsee, 7/05, NS 0/2, SB239	12,1	9,43	6,31	5,86	7,74	8,07	15,2	7,76	9,63	7,87

¹⁾ [m/s * 10⁻⁵] = [l/s * m²]*100

²⁾ D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A10: PO₄-P [mg/l]

Datum	15.07.2005	25.07.2005	01.08.2005	08.08.2005	15.08.2005	18.08.2005	22.08.2005	25.08.2005	29.08.2005	01.09.2005
Beschickungs - Nr.	B2	B6	B9	B12	B15	B16	B17	B18	B19	B20
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [m/s * 10 ⁻⁵] ¹⁾	frei	3	3	3	3	frei	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	23	21	23	19	18	21	22	20	19,5	23
EL [µS/cm]	289	311	290	288	309	280	292	296	297	319
K _{S4,3} [meq/l]	0,97	1,14	0,95	0,99	1,00	0,86	1,00	0,90	0,95	0,98
PO ₄ -P [mg/l]	3,92	5,05	4,90	4,93	5,36	5,00	4,93	4,94	4,85	5,38
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	0,003	0,002	0,01	0,49	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	0,002	0,015	0,01	1,14	0,01	0,29	0,04	0,08	0,10	0,49
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	0,01	0,04	0,37	1,64	2,71	3,40	2,68	3,01	2,94	3,76

Datum	12.09.2005	15.09.2005	18.09.2005	22.09.2005	26.09.2005	29.09.2005	04.10.2005	06.10.2005	10.10.2005	13.10.2005
Beschickungs - Nr.	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30	B31	B32
Beschickungsmenge [mm]	600	600	1200	1200	1200	1200	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [m/s * 10 ⁻⁵] ¹⁾	3	frei	3	3	3	frei	3	3	3	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	0/100	0/100	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	19	20	18	18	18,5	19	17	18,5	18	17,5
EL [µS/cm]	772	786	311	316	312	321	2770	2820	316	323
K _{S4,3} [meq/l]	4,76	4,87	1,11	1,21	1,09	1,23	1,21	1,20	1,21	1,22
PO ₄ -P [mg/l]	4,80	5,78	5,60	5,11	5,06	5,31	4,77	5,64	5,28	5,26
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	0,34	kolmatiert	-	0,38	1,10	2,15	1,17	2,40	5,71	1,49
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	0,50	1,13	1,20	2,22	1,93	2,71	1,86	2,87	5,53	2,28
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	2,87	3,20	4,27	3,97	3,77	4,41	2,93	4,19	9,61	3,14

¹⁾ [m/s * 10⁻⁵] = [l/s * m²]*100

²⁾ D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A11: Ca [mg/l]

Datum	29.09.2005	04.10.2005	06.10.2005	10.10.2005	13.10.2005	06.02.2006	08.02.2006
Beschickungs - Nr.	B28	B29	B30	B31	B32	B33	B 34
Beschickungsmenge [mm]	1200	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [m/s * 10 ⁻⁵] ¹⁾	frei	3	3	3	frei	3	frei
Zulauf							
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	19	17	18,5	18	17,5	10	10
EL [µS/cm]	321	2770	2820	316	323	318	313
K _{S4,3} [meq/l]	1,23	1,21	1,20	1,21	1,22	1,07	1,07
Ca [mg/l]	24,3	28,8	28,3	24,6	25,5	21,7	26,3
Ablauf							
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	78,8	211	137	28,3	80,8	112	67,3
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	78,2	206	126	25,0	70,1	102	63,4
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karsee, 7/05, NS 0/2, SB239	63,4	203	119	22,9	23,0	80,6	52,6

¹⁾ [m/s * 10⁻⁵] = [l/s * m²]*100

²⁾ D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A12: Na [mg/l]

Datum	29.09.2005	04.10.2005	06.10.2005	10.10.2005	13.10.2005	06.02.2006	08.02.2006
Beschickungs - Nr.	B28	B29	B30	B31	B32	B33	B 34
Beschickungsmenge [mm]	1200	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [m/s * 10 ⁻⁵] ¹⁾	frei	3	3	3	frei	3	frei
Zulauf							
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	19	17	18,5	18	17,5	10	10
EL [µS/cm]	321	2770	2820	316	323	318	313
K _{S4.3} [meq/l]	1,23	1,21	1,20	1,21	1,22	1,07	1,07
Na [mg/l]	1,45	598	589	1,23	1,11	1,71	1,76
Ablauf							
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	1,31	289	612	171	15,5	2,43	1,42
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	1,27	310	589	165	20,5	2,92	1,42
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karsee, 7/05, NS 0/2, SB239	1,43	278	531	193	73,4	14,9	2,21

¹⁾ [m/s * 10⁻⁵] = [l/s * m²]*100

²⁾ D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A13: Zn [$\mu\text{g/l}$]

Datum	15.07.2005	08.08.2005	15.08.2005	18.08.2005	15.09.2005	04.10.2005	06.10.2005	10.10.2005	13.10.2005	06.02.2006
Beschickungs - Nr.	B2	B12	B15	B16	B24	B29	B30	B31	B32	B33
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [$\text{m/s} * 10^{-5}$] ¹⁾	frei	3	3	frei	frei	3	3	3	frei	3
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	0/100	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	23	19	18	21	20	17	18,5	18	17,5	10
EL [$\mu\text{S/cm}$]	289	288	309	280	786	2770	2820	316	323	318
$\text{K}_{\text{S4,3}}$ [meq/l]	-	0,99	1,00	0,86	4,87	1,21	1,20	1,21	1,22	1,07
Zn [$\mu\text{g/l}$]	3652	2515	2023	2535	975	2411	2310	2541	2547	2026
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	6,00	24,0	2,00	21,0	kolmatiert	7,00	5,00	<1,00	2,00	5,00
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	3,00	4,00	12,0	14,0	9,00	5,00	3,00	<1,00	2,00	2,00
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	13,0	2,00	<1,00	7,00	5,00	3,00	1,00	<1,00	2,00	<1,00

¹⁾ [$\text{m/s} * 10^{-5}$] = [$\text{l/s} * \text{m}^2$]*100

²⁾ D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A14: Cd [$\mu\text{g/l}$]

Datum	15.07.2005	08.08.2005	15.08.2005	18.08.2005	15.09.2005	04.10.2005	06.10.2005	10.10.2005	13.10.2005
Beschickungs - Nr.	B2	B12	B15	B16	B24	B29	B30	B31	B32
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [$\text{m/s} * 10^{-5}$] ¹⁾	frei	3	3	frei	frei	3	3	3	frei
Zulauf									
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	0/100	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	23	19	18	21	20	17	18,5	18	17,5
EL [$\mu\text{S/cm}$]	289	288	309	280	786	2770	2820	316	323
$\text{K}_{\text{S4,3}}$ [meq/l]	-	0,99	1,00	0,86	4,87	1,21	1,20	1,21	1,22
Cd [$\mu\text{g/l}$]	-	21,0	18,0	24,0	19,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Ablauf									
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	0,07	0,05	0,03	0,11	kolmatiert	-	0,53	0,03	0,04
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	0,04	0,04	0,04	0,06	0,07	0,40	0,56	0,04	0,03
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	0,03	0,04	0,03	0,03	0,05	0,36	0,53	0,10	0,04

¹⁾ [$\text{m/s} * 10^{-5}$] = [$\text{l/s} * \text{m}^2$]*100

²⁾ D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A15: Cu [$\mu\text{g/l}$]

Datum	15.07.2005	08.08.2005	15.08.2005	18.08.2005	15.09.2005	04.10.2005	06.10.2005	10.10.2005	13.10.2005
Beschickungs - Nr.	B2	B12	B15	B16	B24	B29	B30	B31	B32
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [$\text{m/s} * 10^{-5}$] ¹⁾	frei	3	3	frei	frei	3	3	3	frei
Zulauf									
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	0/100	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	23	19	18	21	20	17	18,5	18	17,5
EL [$\mu\text{S/cm}$]	289	288	309	280	786	2770	2820	316	323
$\text{K}_{\text{S4,3}}$ [meq/l]	-	0,99	1,00	0,86	4,87	1,21	1,20	1,21	1,22
Cu [$\mu\text{g/l}$]	1615	799	803	855	362	763	755	788	823
Ablauf									
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	7,00	4,21	1,24	5,26	kolmatiert	3,97	5,16	4,14	1,39
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	8,00	2,46	1,92	4,56	2,70	5,51	4,39	9,28	1,95
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karssee, 7/05, NS 0/2, SB239	20,0	2,53	2,81	5,94	3,06	3,86	4,48	6,92	3,83

¹⁾ [$\text{m/s} * 10^{-5}$] = [$\text{l/s} * \text{m}^2$]*100

²⁾ D = Dachwasser, L = Leitungswasser

A16: Pb [$\mu\text{g/l}$]

Datum	15.07.2005	08.08.2005	15.08.2005	18.08.2005	15.09.2005	04.10.2005	06.10.2005	10.10.2005	13.10.2005	08.02.2006
Beschickungs - Nr.	B2	B12	B15	B16	B24	B29	B30	B31	B32	B 34
Beschickungsmenge [mm]	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Ablaufdrosselung [$\text{m/s} * 10^{-5}$] ¹⁾	frei	3	3	frei	frei	3	3	3	frei	frei
Zulauf										
Wasser ²⁾ [%D/%L]	80/20	80/20	80/20	80/20	0/100	80/20	80/20	80/20	80/20	80/20
Wassertemperatur [°C]	23	19	18	21	20	17	18,5	18	17,5	10
EL [$\mu\text{S/cm}$]	289	288	309	280	786	2770	2820	316	323	313
$\text{K}_{\text{S4,3}}$ [meq/l]	-	0,99	1,00	0,86	4,87	1,21	1,20	1,21	1,22	1,07
Pb [$\mu\text{g/l}$]	649	382	417	465	179	455	226	417	419	453
Ablauf										
S-Nr.1, Fa.Steinbach, EBS 0/2, entfüllert, SB229	0,94	0,77	3,14	0,85	kolmatiert	2,15	1,28	2,27	0,91	1,36
S-Nr.2, Fa.Steinbach, EBS 0/2, teilentfüllert, SB230 neu	0,94	0,74	1,48	0,66	1,17	1,24	0,89	2,27	0,77	0,93
S-Nr.11, Kiesgesellschaft Karsee, 7/05, NS 0/2, SB239	1,4	0,30	0,73	0,58	0,60	1,10	0,90	3,39	2,50	3,90

¹⁾ [$\text{m/s} * 10^{-5}$] = [$\text{l/s} * \text{m}^2$]*100

²⁾ D = Dachwasser, L = Leitungswasser