

BIOSAN

Erkenntnisse zum Einsatz von Bepflanzten Bodenfiltern zum Abbau von MKW im Grundwasser

Paul Kinner, Andrea Watzinger, Thomas Reichenauer



**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH**

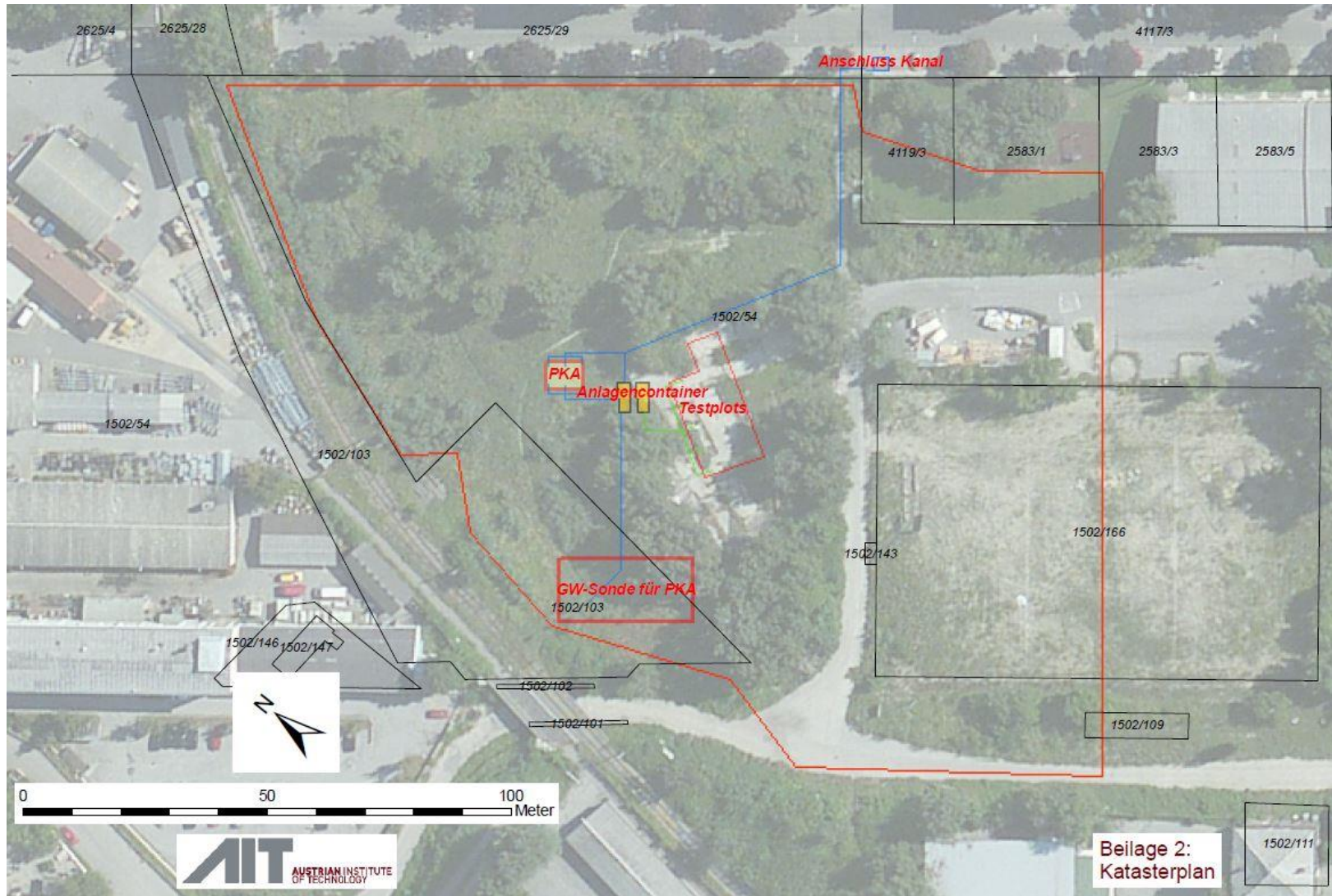
Gefördert aus Mitteln des
Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
Förderungsmanagement: Kommunalkredit Public Consulting GmbH



Inhalt

- Versuchsstandort
- Allgemeines über Pflanzenkläranlagen
- Darstellung der Versuchsanlage
- Ziele des Projekte bzw. des Untersuchungsprogramms
- Ergebnisse des Untersuchungsprogramms
- Empfehlungen für den Einsatz in der Praxis
- Zusammenfassung

Standort / Versuchsanlage



Charakterisierung Grundwasser

Ergebnisse der Voruntersuchungen:

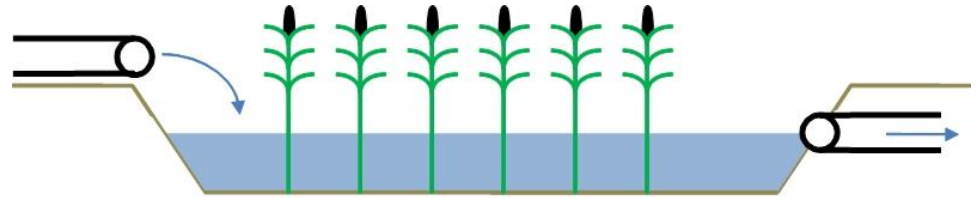
- gelöster Sauerstoff: ~ 0 mg/l
- Temperatur ca. 12° C
- pH-Wert: 6,9
- Elektr. Leitfähigkeit: ca. 1600 µS/cm
- Erhöhte Eisen und Mangangehalte
- Stickstoff liegt vorwiegend als Ammonium vor
- Summe KW-Konzentration bei ca. 0,15 - 1,5 mg/l

Analyse vom 24.09.2012

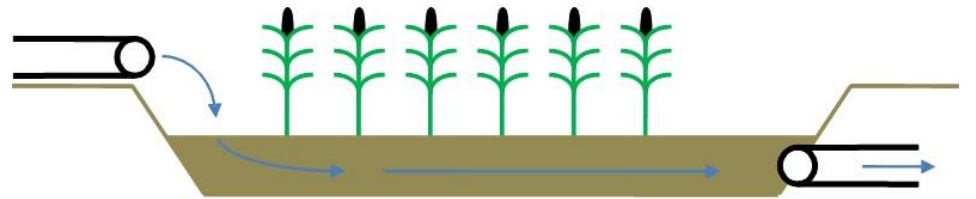
	mg/L
Al	0,02
Ca	167
Cd	< 0,001
Cr	< 0,005
Cu	0,069
Fe	1,4
K	12
Li	0,008
Mg	58
Mn	0,75
Mo	< 0,002
Na	96
Ni	0,072
P	0,06
Pb	< 0,005
Zn	0,58
F	<0,5
NO3	1,0
NO2	0,11
NH4	1,1
SO4	140
o-PO4	0,17

Pflanzenkläranlagen / Typen

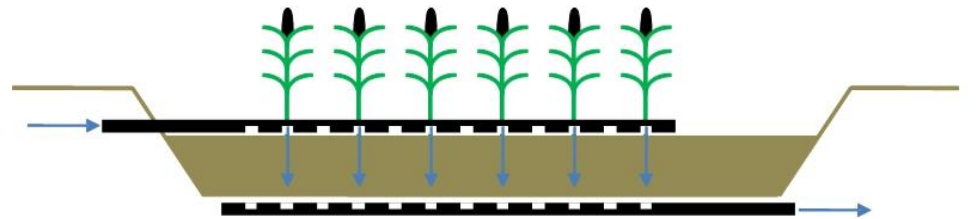
Pflanzenbeete ohne
Bodenpassage



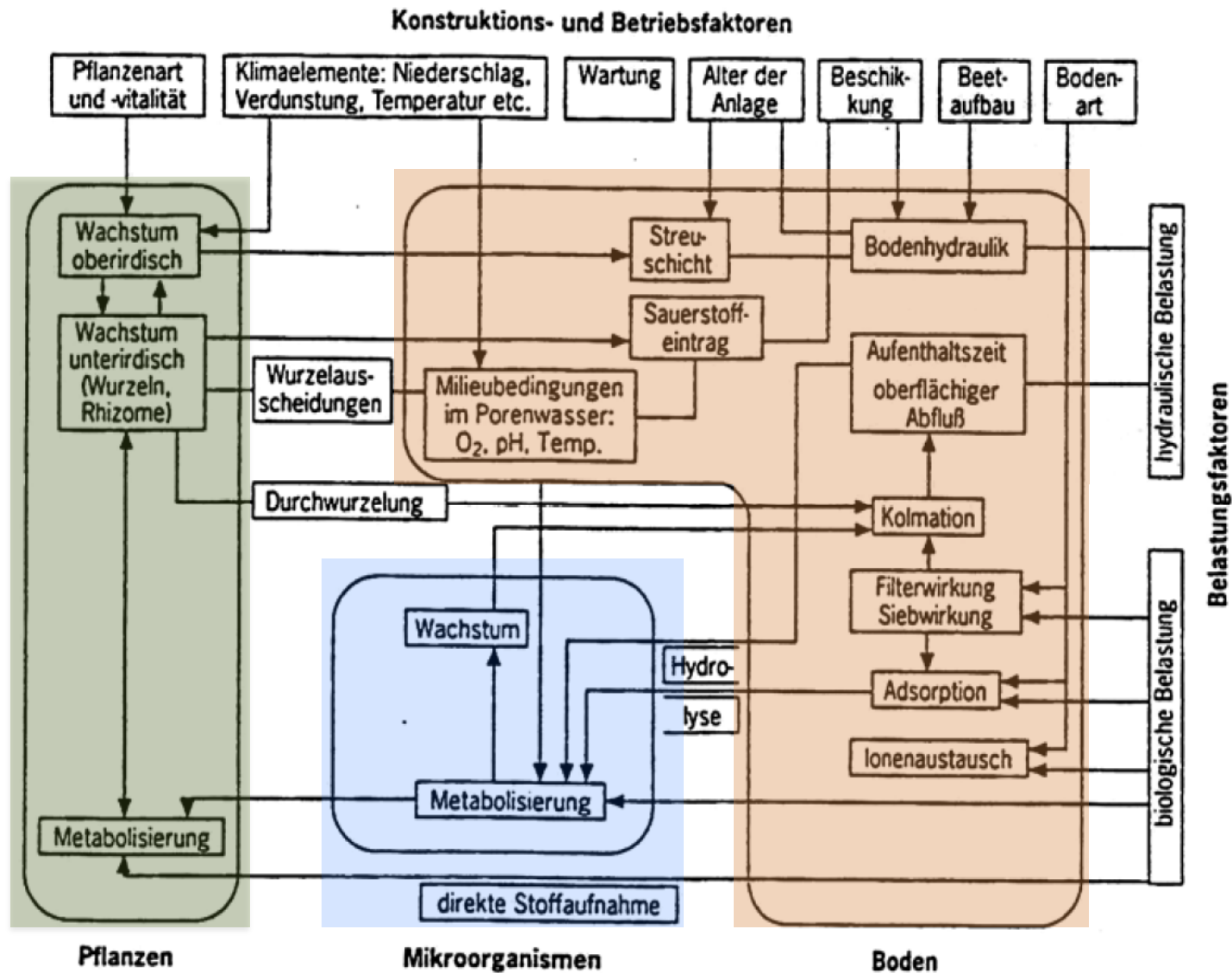
Horizontal durchströmter
Bodenfilter



Vertikal durchströmter
Bodenfilter

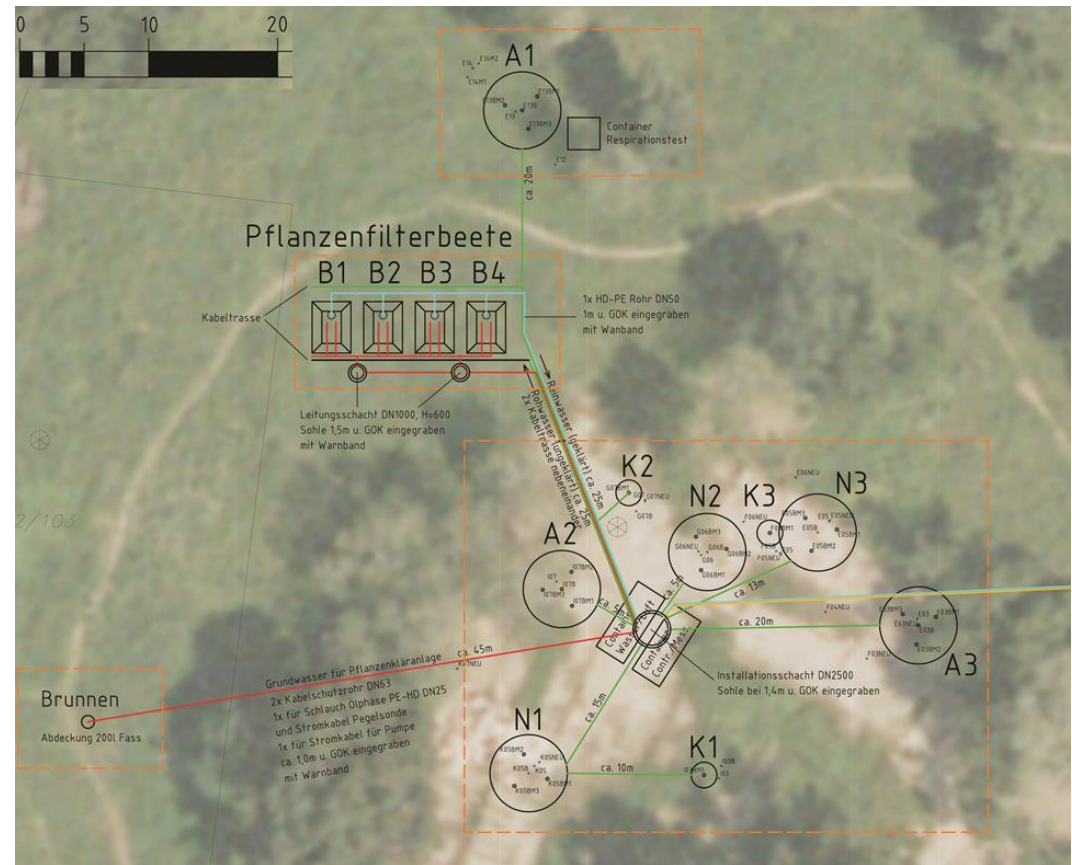


Pflanzenkläranlagen - Eliminationsmechanismen



Hauptkomponenten der Anlage

- Entnahmebrunnen
- Container
 - Mess- und Steuerungstechnik
 - Pumpvorlage (Möglichkeit der Zudosierung von Nährstoffen und Belüftung)
 - Messstrecke zur Erfassung der Wasserströme
- Pflanzenbeete
 - Beschickungseinrichtung
 - Filterkörper und Bepflanzung
 - Drainage und Ablaufsammelschacht (Pumpe)



Pflanzenkläranlage: online-Messungen

Sämtliche Wasserströme werden über die Wassermessstrecke geleitet (z.B. Brunnen-PV, PV-Beet, Pflanzenfilterablauf-Kanal etc.)

- Durchflussmenge über IDM
- O₂- Gehalt [mg/l und %]
- Temperatur [C]
- Elektr. Leitfähigkeit [μS/cm]
- pH-Wert

- Sonstige Messeinrichtungen
 - Außentemperatur
 - Temperaturmessungen in 3 Tiefen pro Beet (15 cm, 55 cm und 105 cm)

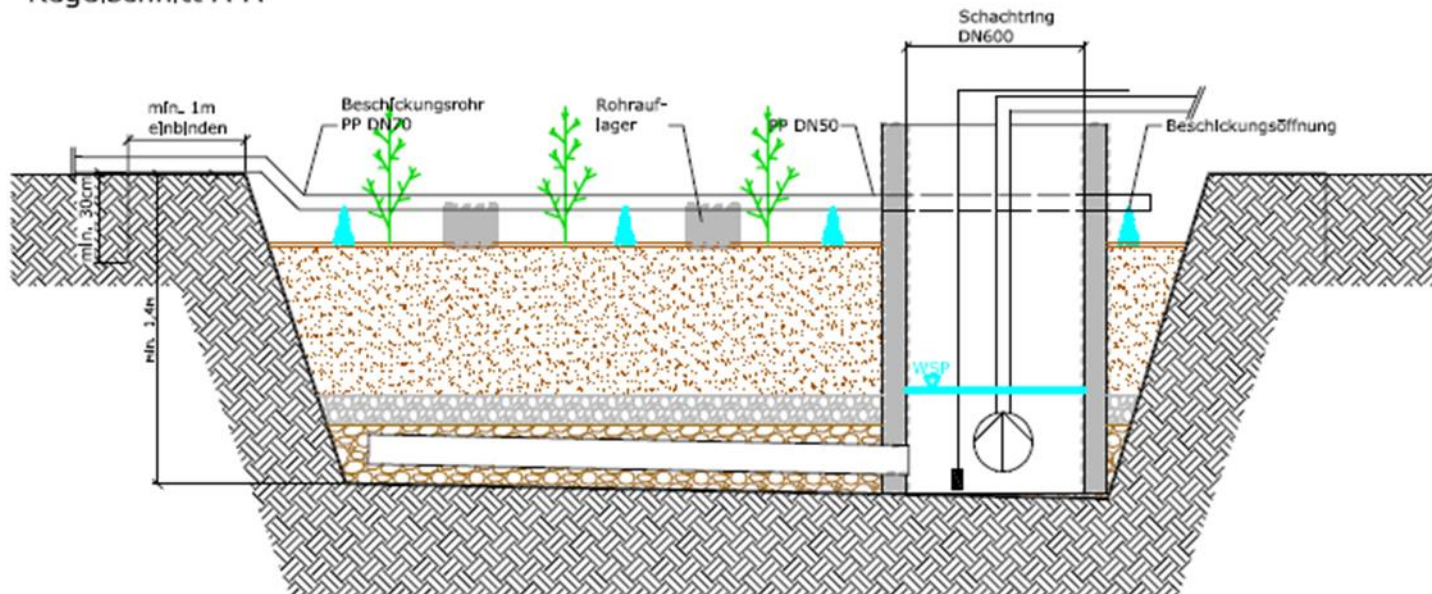
Schnitt-Pflanzenfilter

Die Pflanzenfilterbeete wurden als „Erdbeete“ ausgeführt.

Abmessungen

- Länge: ca. 3 m
- Breite: ca. 2 m
- Tiefe: ca. 1,5 m

Regelschnitt A-A



Aufbau der Pflanzenbeete

	Schicht- stärke	Beet 1	Beet 2	Beet 3	Beet 4
Deckschicht	10 cm	4/8 gewaschen	4/8 gewaschen	4/8 gewaschen	4/8 gewaschen
Hauptschicht	100 cm	Sand 0/4 gewaschen	Sand 0/4 gewaschen	Liapor HD 1/4 (Blähton rund geschlossen)	Sand 0/4 gewaschen + Biochar (80cm) Sand 0/4 gewaschen (20cm)
Übergangsschichte	10 cm	Kies 4/8 gewaschen	Kies 4/8 gewaschen	Kies 4/8 gewaschen	Kies 4/8 gewaschen
Dränageschicht	20 cm	Kies 16/32 gewaschen	Kies 16/32 gewaschen	Kies 16/32 gewaschen	Kies 16/32 gewaschen



Nährstoffgehalte der Filtermaterialien

	Kohlenstoff [mg/kg TM]	Stickstoff [mg/kg TM]	Phosphor [mg/ kg TM]	Kalium [mg/kg TM]
Liapor	773	90	240	500
Sand 0/4	9.385	118	110	590
Biochar	201.527	8.361	7.200	10.000

Errichtung der Pflanzenfilterbeete (1)



Errichtung der Pflanzenfilterbeete (2)



Errichtung der Pflanzenfilterbeete (3)



Errichtung der Pflanzenfilterbeete (4)



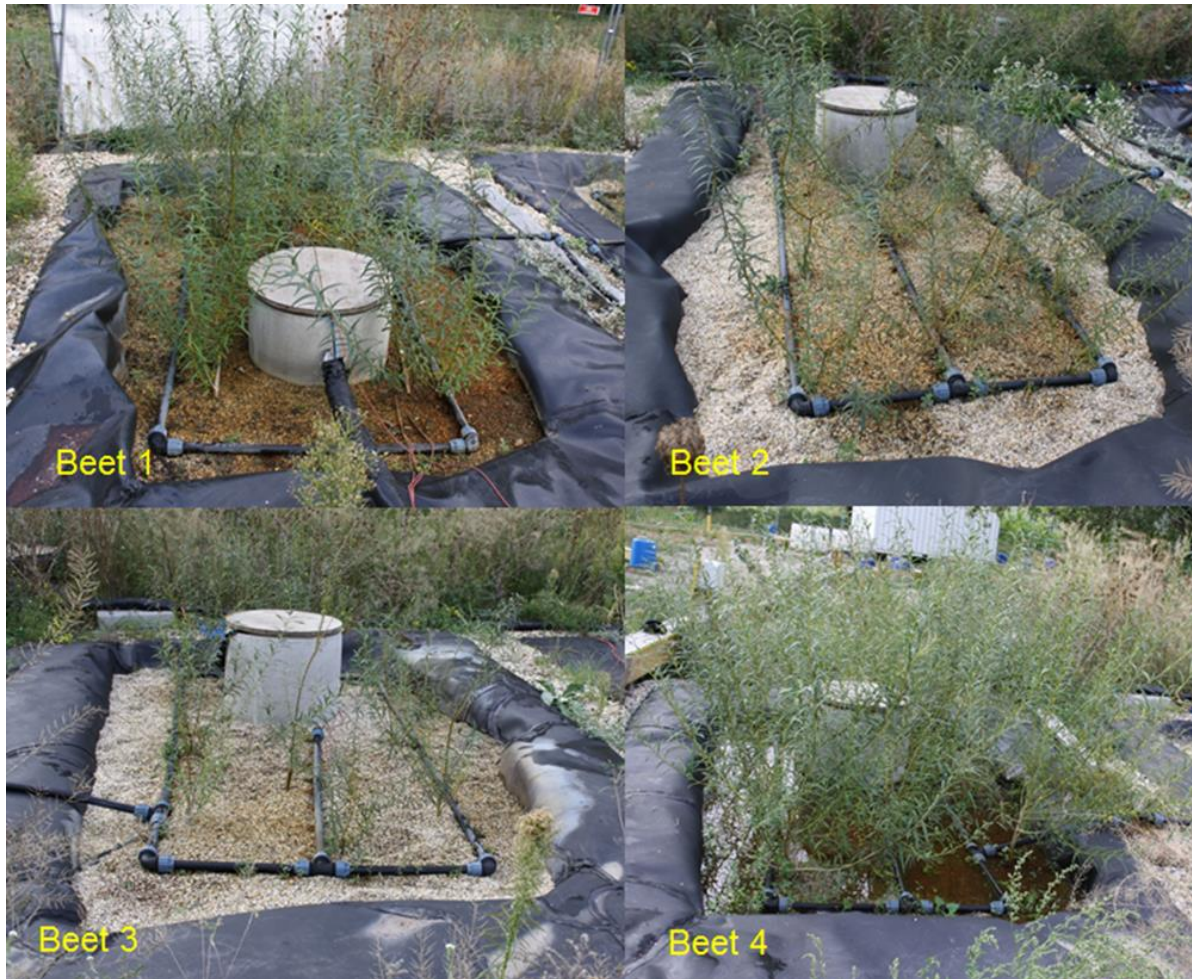
Bepflanzung Filterbeet (Salix viminalis)



Bepflanzung Filterbeet (Salix viminalis)



Bewuchs nach einem Jahr



Bewuchs nach 2 Jahren



Geplante Untersuchungsschwerpunkte

- Untersuchung der Reinigungsleistung in Abhängigkeit
 - vom gewählten Substrat
 - der Frachten/ Beschickungsmenge
 - vom Beschickungsintervall
 - der Temperatur (Sommer- und Winterbetrieb)
 - der Belüftung im Vorlagebehälter (eventuell)
 - der Zugabe von Nährstoffen (falls erforderlich)

- Beurteilung: Welches Sanierungsziel ist erreichbar?
 - Ist die Einleitung des KA-Ablaufs in Oberflächengewässer möglich
 - Ist Versickerung möglich?

- Kommt es zu Adsorption von Kohlenwasserstoffen im Substrat?

Kohlenwasserstoffkonzentration im Zulauf

	Anzahl der Messungen	Beet 1 mg/l	Beet 2 mg/l	Beet 3 mg/l	Beet 4 mg/l
minimal	96	0,02	0,02	0,02	0,02
maximal		2,45	20,79	20,79	20,79
Mittelwert (10.2012-03.2015)		0,37	1,52	1,53	1,52
Mittelwert 2012	9	0,15	0,15	0,15	0,15
Mittelwert 2013	34	0,42	0,42	0,44	0,42
Mittelwert 2014	45	0,42	1,43	1,43	1,43
Mittelwert 2015	8	0,15	8,33	8,33	8,33

Beschickungsmengen pro Beet im Untersuchungsprogramm

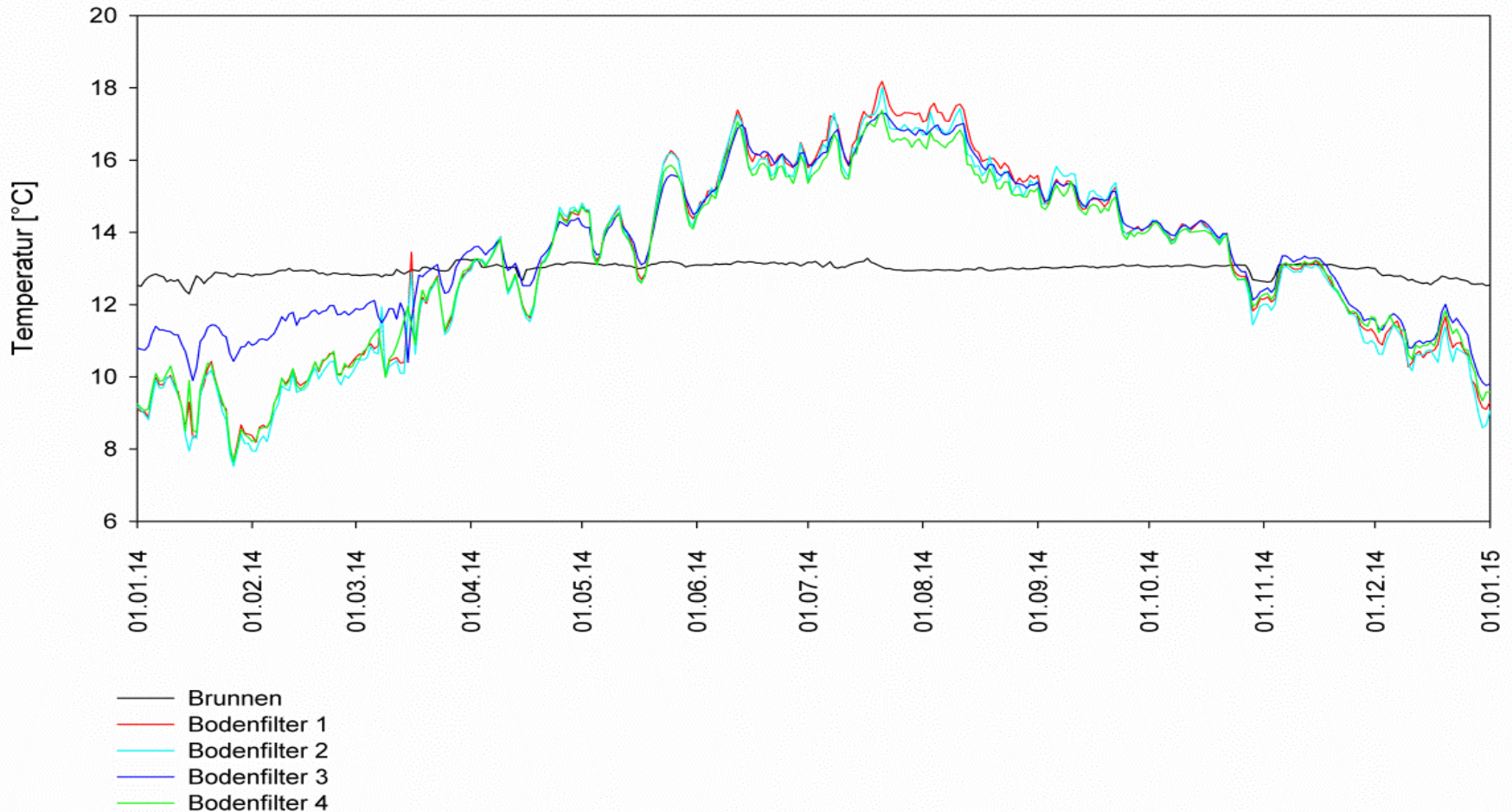
Beschickung erfolgte schwallweise intermittierend

6 bis 12 Beschickungen pro Tag

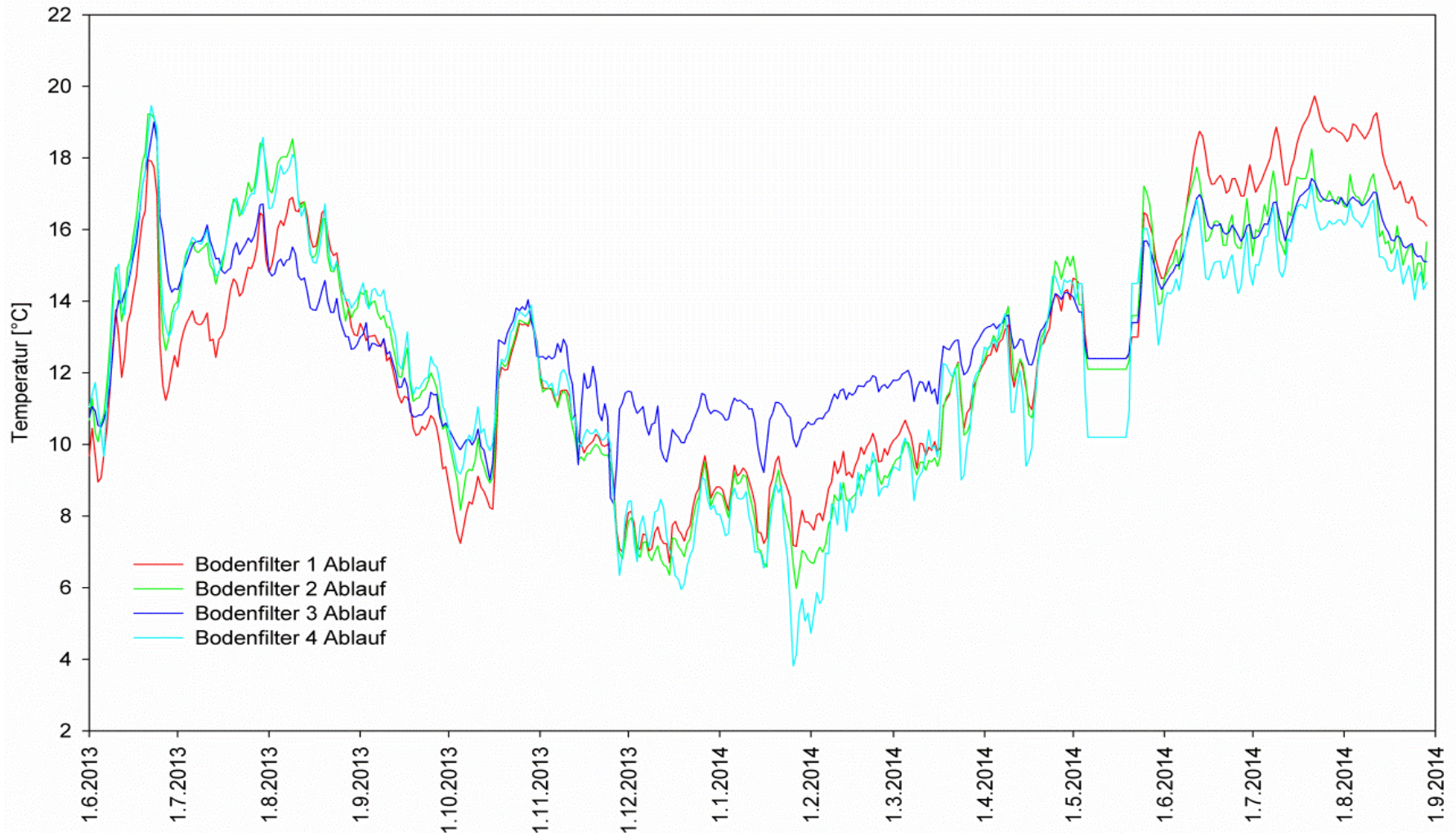
Beete wurden nicht eingestaut

Beschickungsmenge pro Beet	Beet 1 l /m ² Tag	Beet 2 l /m ² Tag	Beet 3 l /m ² Tag	Beet 4 l /m ² Tag
minimal	67	70	56	60
maximal	749	750	852	751
durchschnittlich	441	352	404	387

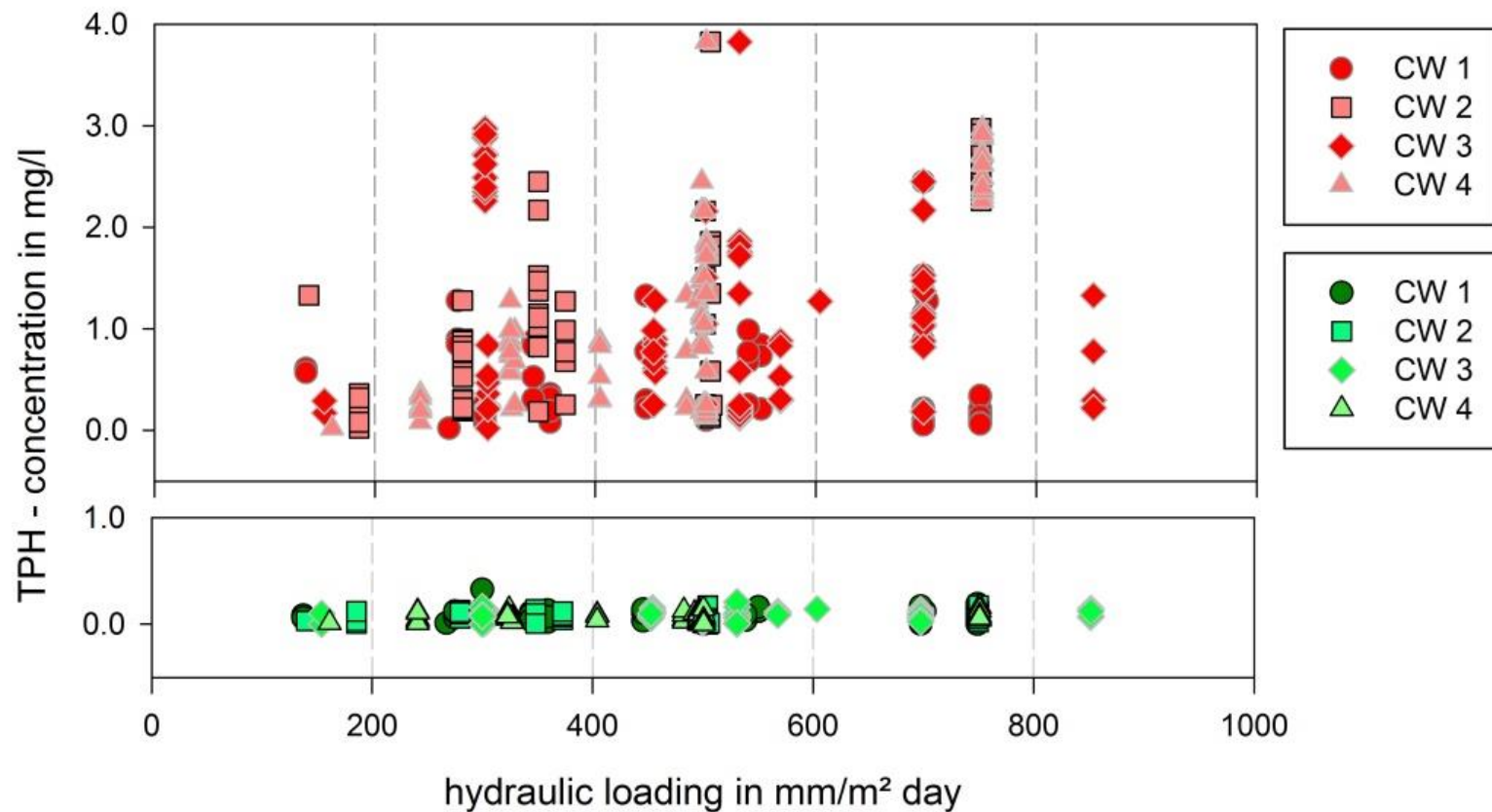
Temperatur des Rohwassers (Brunnen) und im Ablauf der Bodenfilter im Jahr 2014



Wassertemperatur im Ablauf der Bodenfilter (Zeitraum 06.2013 bis 09.2014)

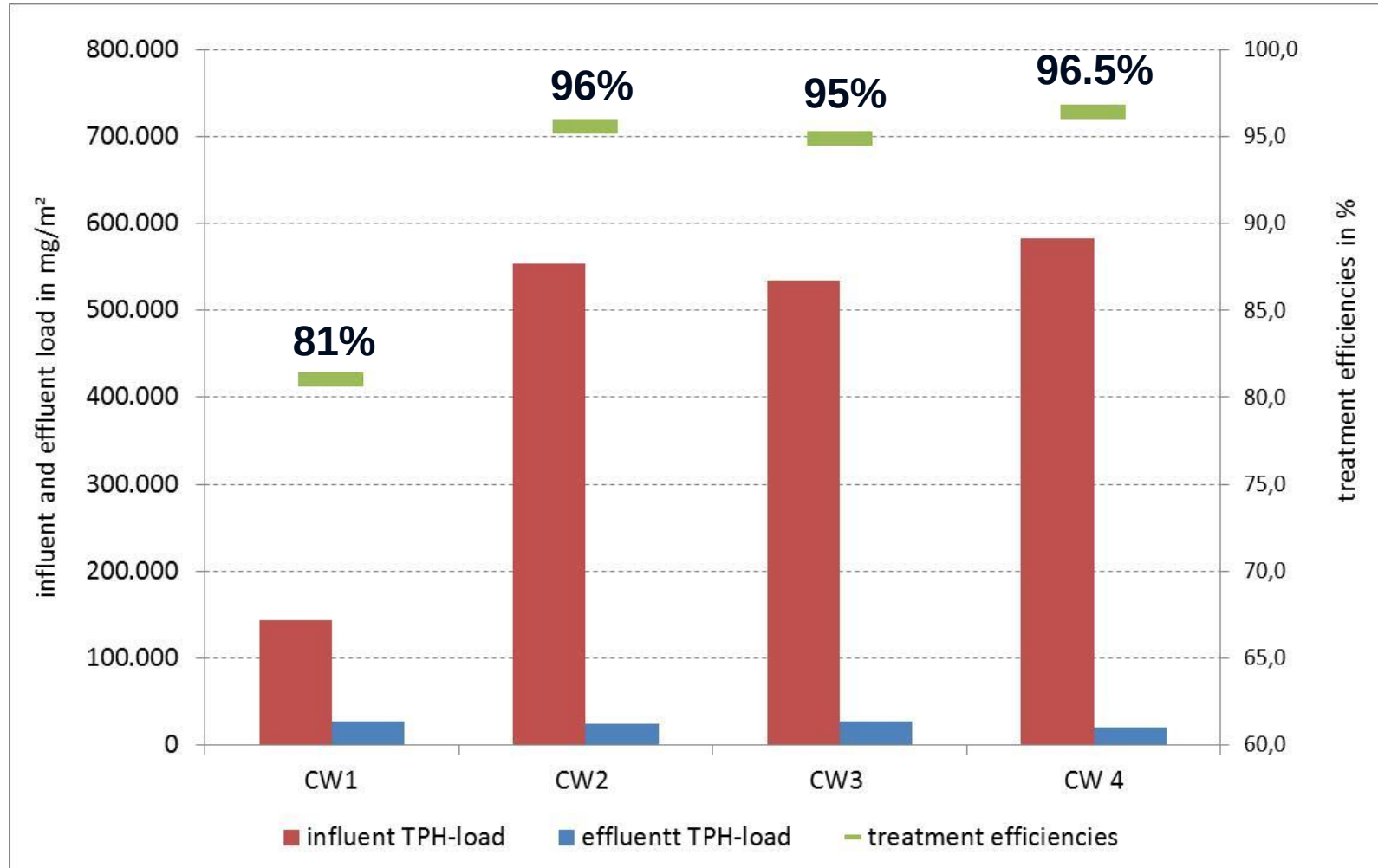


Kohlenwasserstoff-Konzentration im Zufluss und Abfluss

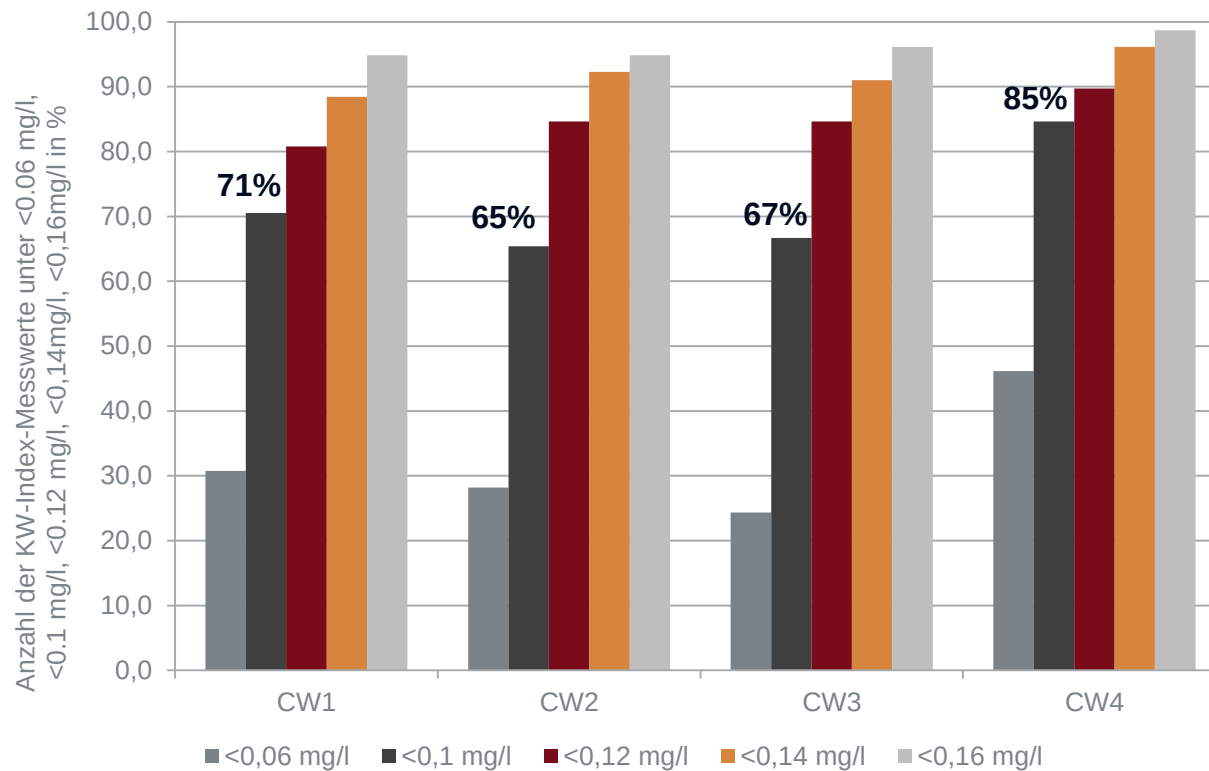


Temperatur im Abfluss : 7° C bis 20° C

Zulauffracht, Abflussfracht, Reinigungsleistung



Messwerte unter dem Maßnahmenschwellwert gemäß ÖNORM S 2088-1



Analysen des Filtermaterials

26.08.2013

	Beet 1 KW-Index [mg/kg TM]		Beet 2 KW-Index [mg/kg TM]		Beet 3 KW-Index [mg/ kg TM]		Beet 4 I /m² Tag [mg/kg TM]	
0 cm-20 cm	< 30	33	43	<30	37	37	33	<30
Mittelwert	< 30		30		37		31	

15.10.2014

	Beet 1 KW-Index [mg/kg TM]		Beet 2 KW-Index [mg/kg TM]		Beet 3 KW-Index [mg/ kg TM]		Beet 4 I /m² Tag [mg/kg TM]	
Deckschichte	46	-	-	-	-	-	-	-
0 cm - 10 cm	< 30	<30	54	20	<30	<30	<30	28
20 cm - 40 cm	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30
40 cm - 80cm	<30	<30	<30	<30	-	-	<30	<30
Mittelwert	< 30		< 30		<30		<30	

Empfehlungen zur Errichtung von bepflanzten Bodenfiltern

Filtermaterial:

- Durchlässigkeit von mindestens $k = 10^{-4}$ m/s

Bepflanzung:

- Bei Bepflanzung mit Weiden ca. 5-6 Stecklinge pro 10m²

Ableitung:

- Situierung der bepflanzten Bodenfilter, dass eine Ableitung des gereinigten Wassers aus dem Ablaufschacht in freier Vorflut möglich ist (Vorfluter, Versickerung).

Beschickungseinrichtung:

- Ausreichend große Dimensionierung der Beschickungsöffnungen (> 6 mm)
- Sicherstellung der Entleerung der Beschickungsleitungen durch Verlegung der Beschickungsleitungen mit ausreichendem Gefälle
- Falls erforderlich Isolierung von Leitungen

Auswahl Filtermaterialien

Vorteile und Nachteile von Liapor und Sand /Biochar gegenüber Sand

Liapor	Sand /Biochar
▪ Höhere Durchlässigkeit ▪ Vorteil bei der Reinigung von reduzierten Grundwässern mit hohen Eisen und Mangankonzentrationen (Ausfällungen können die Durchlässigkeit des Filtermaterials reduzieren). ▪ Größere hydraulische Belastung der Anlage möglich ▪ Höhere Ablauftemperaturen im Winter (ca. 2° -3 C) ▪ Vorteil in Gebieten mit tiefen Wintertemperaturen , z.B. alpine Regionen	▪ Verbesserte Nährstoffversorgung für Mikroorganismen und Bewuchs ▪ Geringere KW-Ablaufkonzentrationen ▪ Deutlich verbesserte Entwicklung der Vegetation ▪ Verbesserte Beschattung im Sommer (zu hohe Zulauf-temperaturen können Sauerstoffversorgung limitieren) ▪ Verbesserte Durchwurzelung des Substrats verbessert und damit Verbesserung der Durchlässigkeit für Wasser bzw. Luft

Wartung und Betrieb (1)

Der Betrieb und die Wartung von bepflanzten Bodenfiltern zu Reinigung mineralölverunreinigter Grundwässer sind einfacher als jene von kommunalen Pflanzenkläranlagen, da die Vorreinigungsstufe entfallen kann.

Tägliche Kontrolle:

- Kontrolle ob Anlage in Betrieb ist (per Fernwartung möglich)

Wöchentliche Kontrolle:

- Überprüfung der ordnungsgemäßen Beschickung (Mengen, Intervall, Wasserverteilung)
- Visuelle und olfaktorische Kontrolle des Kläranlagenablaufs

Wartung und Betrieb (2)

Monatliche Kontrolle

- Kontrolle, Wartung, Kalibrierung der Sensorik (falls vorhanden, T, LF, PH, O₂)
- Messung von Zu- und Ablaufkonzentrationen (KW-Index oder Summe Kohlenwasserstoffe)
- Visuelle Kontrolle der Beschickungsöffnungen und falls erforderlich Entfernen von Verstopfungen
- Kontrolle der Zeitsteuerung der Beschickungseinrichtung;
- Visuelle Kontrolle der Beete (Pflanzenbewuchs, Beschickungsbereich (Erosion) und der Beetrandbereiche (Folie)
- Vergleich der Zu- Und Ablaufmengen (Plausibilitätsüberprüfung)
- Auswertung der Betriebsdaten (z.B. Betriebsstundenzähler, Wassermengen etc.)

Betrieb und Wartung (3)

Jährliche Kontrolle:

- Überprüfung des Zustandes sämtlicher Anlagenteile, insbesondere:
 - Kontrolle der horizontalen Justierung des Verteilsystems
 - Funktionskontrolle der Ausbringungsöffnungen und erforderlichenfalls Beseitigung von Verstopfungen; bei Bedarf auch der Spülung von Verteilrohren;
 - Kontrolle der Gängigkeit, Armaturen, Schiebern etc.;

Zusammenfassung der Ergebnisse (1)

- Bepflanzte Bodenfilter eignen sich gut für die Reinigung von mineralölverunreinigtem Grundwasser.
- Alle vier Bodenfiltern zeigten trotz der **Erhöhung der Beschickungsmengen** (bis zu 750 – 850 l/m²Tag) **weder eine signifikante Verringerung der Reinigungsleistung noch eine Verschlechterung der Ablaufqualität**. Dies trifft auch auf den Anlagenbetrieb mit erhöhten Zulaufkonzentrationen (1 bis 20 mg/l) und Zulauffrachten (ca. 2.000 bis ca. 12.000 mg/m² Tag) zu
- Die **Reinigungsleistung** ist im Wesentlichen **unabhängig von der Ablauftemperatur** (im Ablauftemperaturbereich von 7 ° C bis 20 ° C).
- Der **Betrieb der Anlage war auch im Winter problemlos möglich**. Die Untersuchungs-ergebnisse zeigen keine signifikante Verschlechterung der Reinigungsleistung im Winterbetrieb.
- Bei einer mittleren Zulaufkonzentration für den Parameter KW-Index von 1,5 mg/l konnte eine **mittlere Reinigungsleistung von über 95 %** erzielt werden.

Zusammenfassung der Ergebnisse (2)

- Die **Ablaufkonzentrationen lag dabei im Durchschnitt bei 0,09 mg/l** und somit unter dem Maßnahmenschwellwert gemäß ÖNORM S 2088-1 von 0,1 mg/l.
- Die bepflanzten Bodenfilter zeigten auch bei hohen hydraulischen Belastungen im Bereich von 750 l/m² **gute Reinigungsleistungen**.
- **Zwischen 67 % (Liapor) und 85 % (Sand- Biochar) der Messwerte lagen unter dem Maßnahmenschwellwert von 0,1 mg/l** für den Parameter Kohlenwasserstoffindex.
- **Keine nennenswerte Verringerung der hydraulischen Durchlässigkeit** der Bodenfilter war im Laufe des Versuchsbetriebes trotz Eisen- und Manganzulaufkonzentrationen im Bereich von ca. 1-2 mg/l feststellbar.
- **Keine Anreicherung an Mineralölkohlenwasserstoffen im Substrat erkennbar.**
- Es wurden **Ablaufqualitäten** erzielt, welche **grundsätzlich sowohl die Einleitung in Oberflächengewässer als auch die Wiedereinbringung ins Grundwasser erlauben**. Eine Beurteilung im Einzelfall sowie eine wasserrechtliche Bewilligung sind für die Ableitung bzw. Einbringung jedenfalls erforderlich.

Ein Praxiseinsatz dieser Technologie in der Praxis erscheint möglich. Weitere Forschungsarbeiten zur Abklärung der noch offenen folgenden Fragestellungen wären sinnvoll:

- Wie entwickelt sich Reinigungsleistung und hydraulische Durchlässigkeit im Langzeitbetrieb?
- Inwieweit kann durch einen zweistufigen Betrieb und/oder gezielten Zusatz von Nährstoffen die Reinigungsleistung noch weiter erhöht werden?
- Welche Auswirkung hat eine Erhöhung des Anteils an Biochar im Filtermaterial auf die Reinigungsleistung und Ablaufqualität?
- Welche Auswirkungen hat eine langfristige Beschickung der bepflanzten Bodenfilter mit sehr hohen KW-Frachten ($> 5.000 \text{ mg/m}^2\text{Tag}$) auf die Reinigungsleistung und Ablaufqualität?
- Welche Auswirkungen hat eine sehr hohe hydraulische Beaufschlagung ($> 1.000 \text{ mm/m}^2 \text{ Tag}$) der bepflanzten Bodenfilter (im speziellen Liaporbeet) auf die Reinigungsleistung und Ablaufqualität?
- Ist die Grundwasserreinigung bei Verunreinigung mit anderen Schadstoffgruppen wie z.B. PAK, CKW etc. ebenfalls möglich

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

- **DI Paul Kinner**
Energy Department
Environmental Resources & Technologies
- **AIT Austrian Institute of Technology GmbH**
Konrad-Lorenz-Straße 24 | 3430 Tulln | Austria
T +43(0) 50550-3544
paul.kinner@ait.ac.at | <http://www.ait.ac.at>

Arbeiten wurden durchgeführt im Rahmen des Projektes: **BIOSAN** - Biostimulation und bepflanzte Bodenfilter zum Abbau von Mineralölkohlenwasserstoffen in Boden und Grundwasser
Finanziert vom Ministerium für ein lebenswertes Österreich (BMLFUW) und den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB)



MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH



AIT Austrian Institute of Technology

your ingenious partner

DI Paul Kinner

Energy Department
Environmental Resources & Technologies

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Konrad-Lorenz-Straße 24 | 3430 Tulln | Austria

T +43(0) 50550-3545

paul.kinner@ait.ac.at | <http://www.ait.ac.at>