



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Fakultät Umweltwissenschaften Fachrichtung Hydrowissenschaften

Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft, Professur für Siedlungswasserwirtschaft

Reinigungsleistung und Betriebsverhalten einer auf saisonale Belastungszustände bemessenen Pflanzenkläranlage

Thomas Schalk und Volker Kühn

Potsdam, 24.01.2014

1. Ausgangslage
2. Bemessung
3. Anlagenausführung
4. Auslastung, Wasserverbrauch
5. Betriebswerte MKG
6. Überprüfung der Bemessung
7. Betriebswerte PKA
 - Zulaufbeschaffenheit
 - Flächenbelastung
 - Eliminationsleistung CSB, BSB₅
 - Stickstoffelimination
8. Fazit

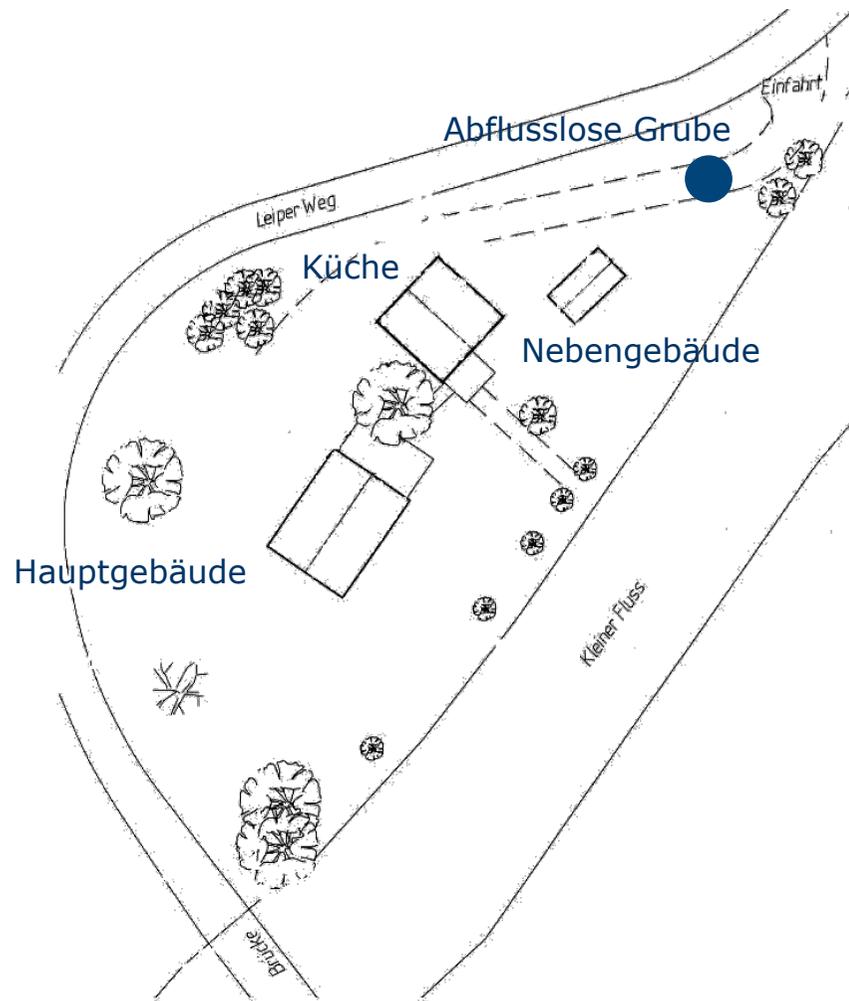


Projekt:

Untersuchung der Leistungsfähigkeit und des Betriebsverhaltens einer saisonal belasteten, klein bemessenen Pflanzenkläranlage und deren Puffer-/Regenerationskapazität (2009 – 2013)

Förderung: Deutsche Bundesstiftung Umwelt

AZ 27143



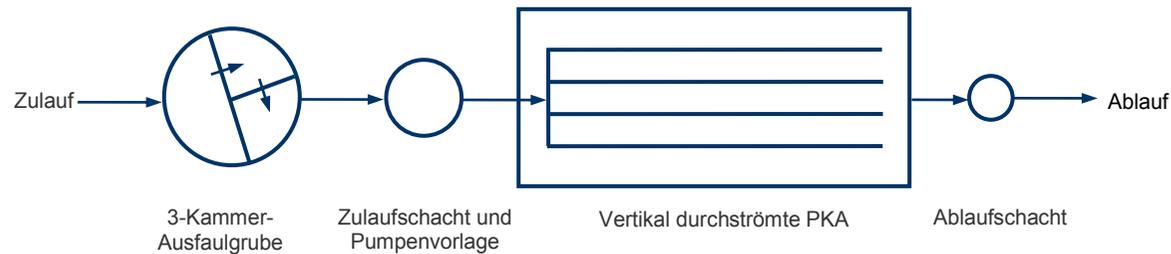
- Kanuheim mit 19 Plätzen
- Saisonbetrieb (April – Oktober)
- zentrale Trinkwasserversorgung
- Küche, WC, Duschen
- Abwasserentsorgung in abflussloser Grube
- hoher Grundwasserstand
- schwankender Abwasseranfall



- Trinkwasserverbrauch rd. 100 m³/a (rd. 30 l/Bett/d)
- Anzahl der Gäste wurde nicht erfasst (pauschale Vermietung)
- Abwasseranalysen lagen nicht vor

- Annahme Schmutzfracht nach DIN4261-1 (2002) für Camping- und Zeltplätze
- 2 Personen = 1 EGW

- Planung vertikal durchströmte PKA mit rd. 10 EW (20 P) auf 40 m² und 3-Kammer-Ausfallgrube



Berücksichtigung der saisonalen Belastung:

Abminderung Flächenbedarf um 50 % auf 20 m²
einwohnerspezifische Fläche in der Saison: 2 m²/EW

Betriebszustände:

Saisonbetrieb: Hochlastphase (40 g CSB/m²/d)
Überschreitung der zulässigen Flächenbelastung (27 g CSB/m²/d)

Winterhalbjahr: Regenerationsphase
Mineralisierung eingelagerter organischer Substanzen

Hydraulische Belastung (Schmutzwasser):

30 l/m²/d < max. 80 l/m²/d, DWA-A 262)

Bemessung Ausfallgrube:

7,5 m³

Ablauf:

Einbeziehung Untere Wasserbehörde (Senftenberg) ab 2008
Antrag für WRE 2009
Anlagenbau 11/2009
Befüllung mit Spreewasser
Inbetriebnahme mit Abwasser 04/2010

Vorbehandlungsanlage:

3-Kammer-Ausfaulgrube + Beschickungsschacht (7,5 m³),
(PE, auftriebssicher, mit Domverlängerung)

PKA mit DIBt-Zulassung (Klasse C):

$$A = 22 \text{ m}^2$$

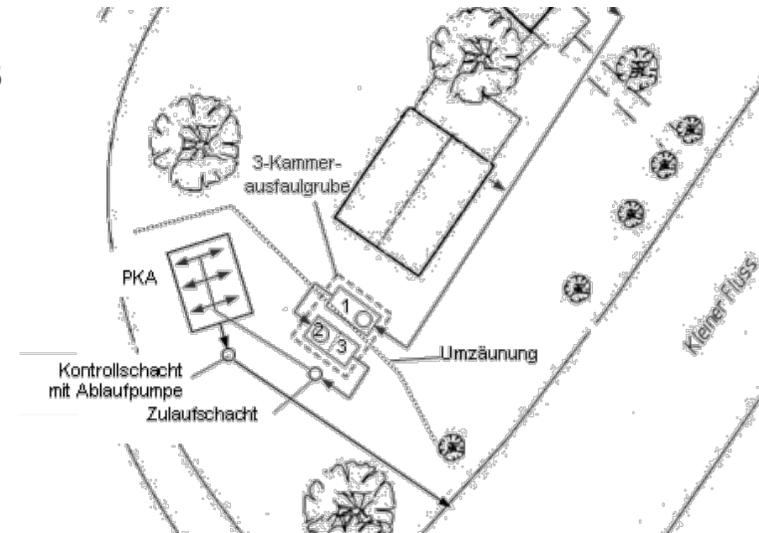
Verteilerschicht: Kies 2 – 8 mm, h = 20 cm

Filterschicht: Sand 0 – 4 mm, h = 70 cm

Drainageschicht: Kies 2 – 8 mm, h = 20 cm

$$k_{fA} = 5 \times 10^{-4} \text{ m/s}, U = 3$$

Rezirkulationsleitung Ablaufschacht → Kammer 3 MKG



Belegung:

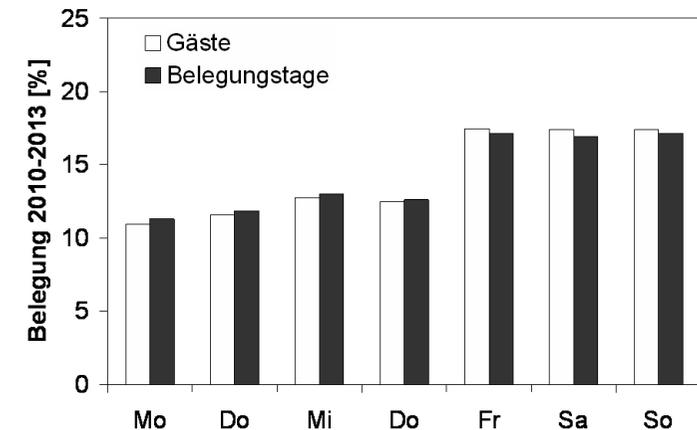
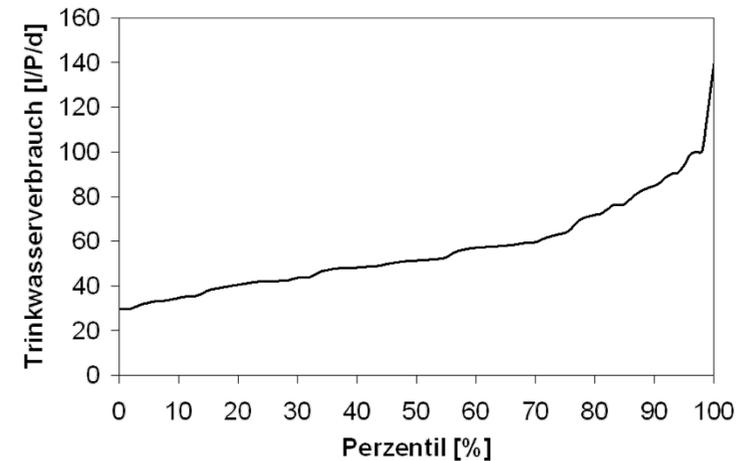
- i. M. 17 Personen (7 – 30 P)
- 85 %-Perz.: 20 P
- Leerstand: 15 – 25 %

Wasserverbrauch:

- i. M. 56 l/P/d (30 – 150 l/P/d)
- kein Zusammenhang zw. Anzahl der Gäste und dem spezifischen Trinkwasserverbrauch

Vergleichswerte:

- Berghütten (Kat. 4): 75 – 120 l/P/d (Dauergäste) [ÖWAV, 2000]
- Zeltplätze: 82 – 91 l/P/d [Ecocamping, 2011]
70 l/P/d (Jahresmittelwert ZP Lübbenau 2012)
- Wasserverbrauch von sanitärer Ausstattung + Trinkwasserversorgung abhängig



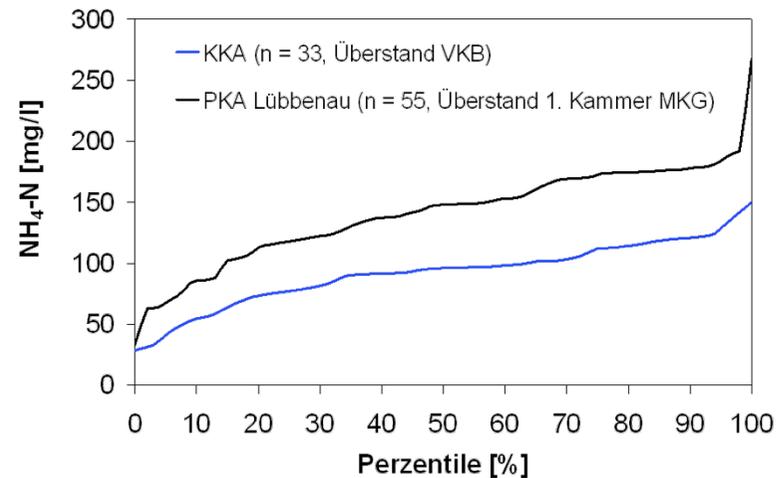
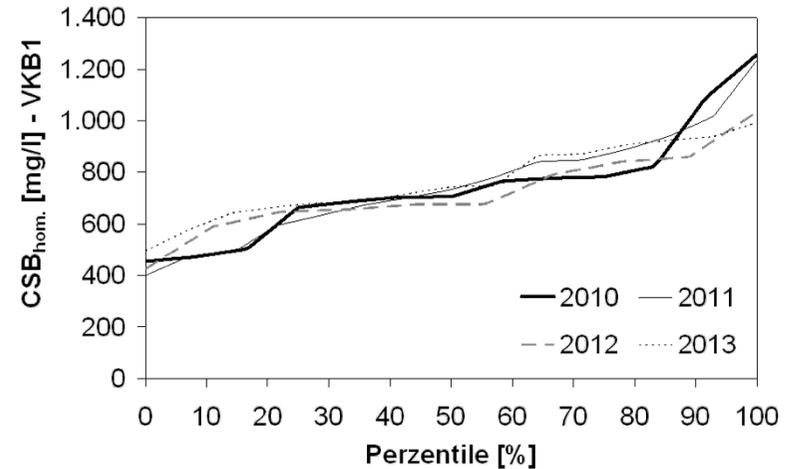
- $CSB_{\text{hom.}}$ = 757 mg/l (400 – 1.256 mg/l)
- BSB_5 = 402 mg/l (161 – 795 mg/l)
- $P_{\text{ges.}}$ = 18 mg/l (8,6 – 30 mg/l)

- $CSB_{\text{-}}$, BSB_5 -, $P_{\text{ges.}}$ -Konzentrationen mit häuslichem Abwasser vergleichbar

- $NH_4\text{-N}$ = 150 mg/l (63 – 267 mg/l)
- TKN = 170 mg/l (96 – 316 mg/l)

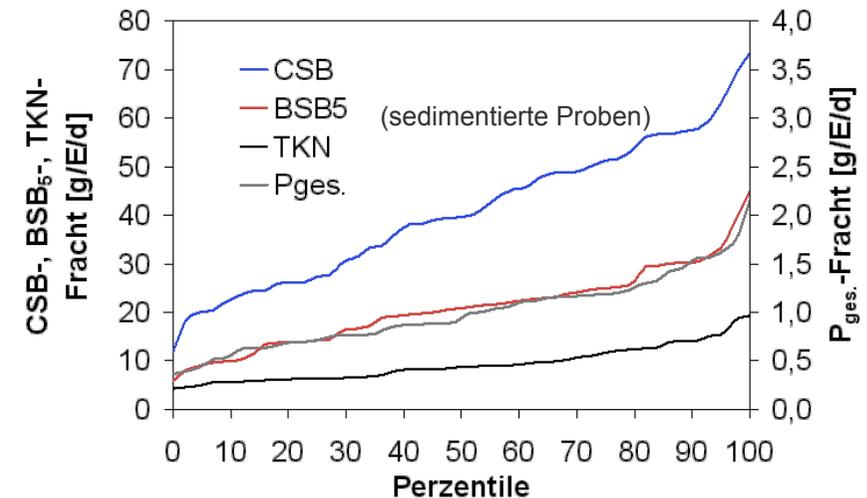
- Stickstoffwerte sind höher als im häuslichen Abwasser

- pH-Wert: 7,4 (6,4 – 8,6)
- Temperatur: 18,3 °C (7,2 – 24,3 °C)



- Zulaufprobenahme aus Überstand 1. Kammer MKG (sedimentierte Proben)

Parameter	sedimentiert	roh	P/EW
	(Messung) [g/P/d]	(Berechnung) [g/P/d]	
CSB	41	60	0,5
BSB ₅	21	30	0,5
TKN	9,3	10	0,9
P _{ges}	1,0	1,1	0,6



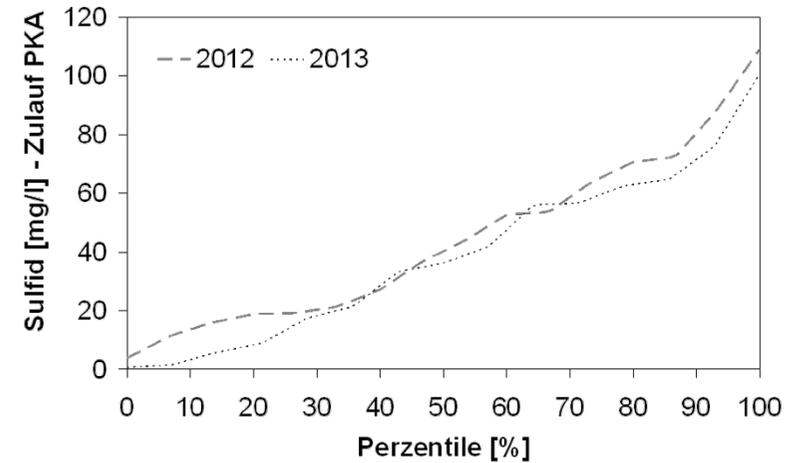
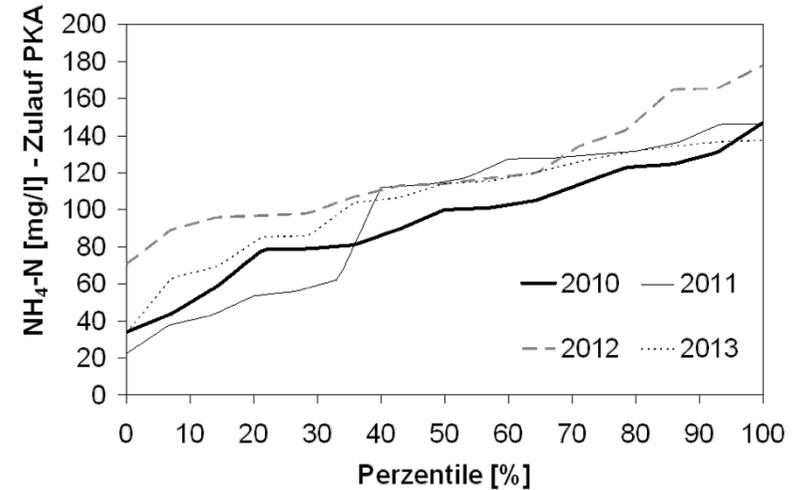
- Bemessung nach den in DIN4261-1 enthaltenen (nicht normativen) Angaben führt zur Unterschätzung der TKN-Fracht
- Vergleichswerte ZP Lübbenau:
 - 1,0 g P_{ges.}/P/d
 - 12 g TKN/P/d
 - 56 g CSB/P/d
 - 26 g BSB₅/P/d

- CSB_{hom} = 336 mg/l
- $NH_4\text{-N}$ = 104 mg/l
- TKN = 115 mg/l
- AFS = 71 mg/l

- Rezirkulationsverhältnis: i. R. 25 – 50 %

- Sulfidkonzentrationen: i. M. 42 mg/l (max. 109 mg/l)
- Ursache: Sulfatgehalt im TW (> 300 mg Sulfat/l)

- pH-Wert: 7,6 (6,7 – 8,6)
- Temperatur: 16,3 °C (5,9 – 21,6 °C)
- Temperaturabnahme rd. 10 %



CSB-Flächenbelastung:

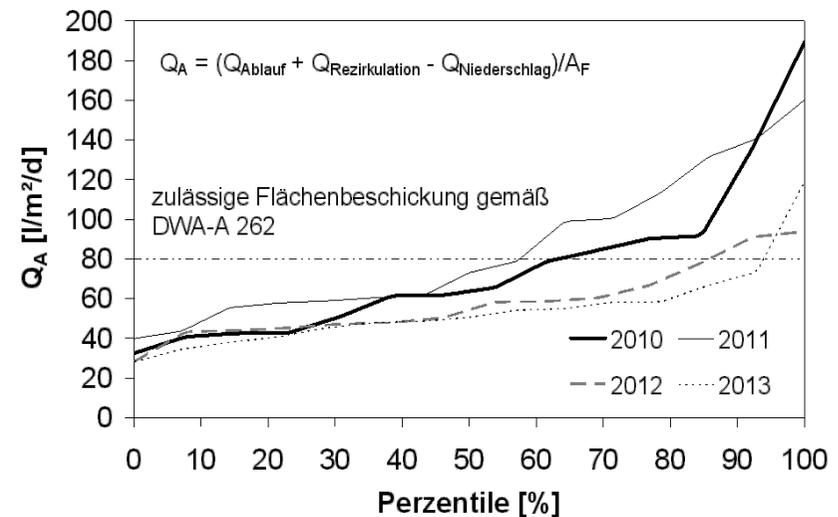
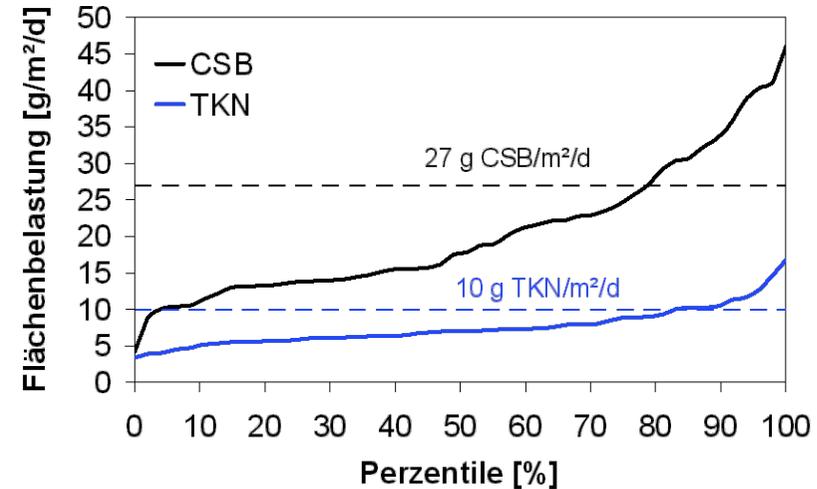
- $B_{A,CSB} = i. M. 20 \text{ g CSB/m}^2/\text{d}$
- CSB-Flächenbelastung geringer als erwartet:
- $17 \text{ P} \times 41 \text{ g CSB/P/d} / 22 \text{ m}^2 = 32 \text{ g CSB/m}^2/\text{d}$
- Elimination zw. MKG1 und ZS rd. 35 %

TKN-Flächenbelastung:

- $B_{A,TKN} = i. M. 7,5 \text{ g TKN/m}^2/\text{d}$
- $17 \text{ P} \times 9,3 \text{ g TKN/P/d} / 22 \text{ m}^2 = 7,2 \text{ g TKN/m}^2/\text{d}$

Hydraulische Belastung:

- Belastung aus Schmutzwasser (TW-Bedarf) liegt i. R. unterhalb $80 \text{ l/m}^2/\text{d}$ (98 %-Perz.)
- Erhöhung Belastung durch Rezirkulation und Fremdwasser



Ablaufwerte:

- CSB_{hom.} = 71 mg/l (43 – 107 mg/l)
- CSB_{mf.} = 60 mg/l (38 – 85 mg/l)
- BSB₅ = 7 mg/l (< 5 - 19 mg/l)

Anforderungen Ablaufklasse C:

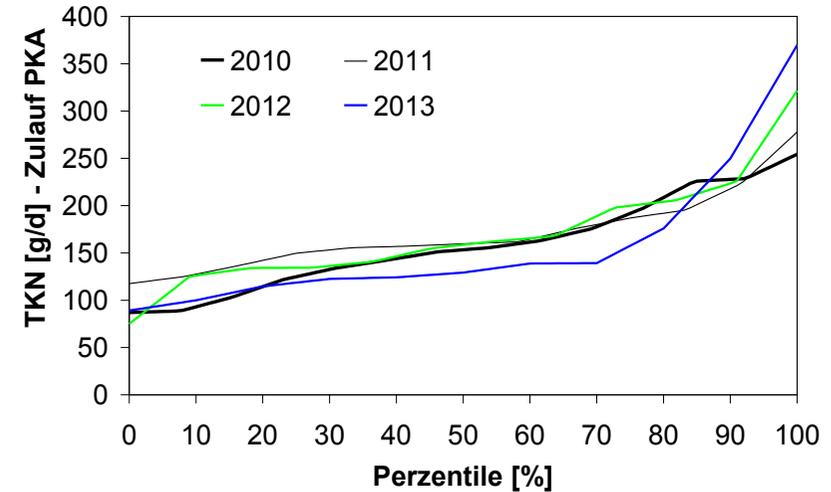
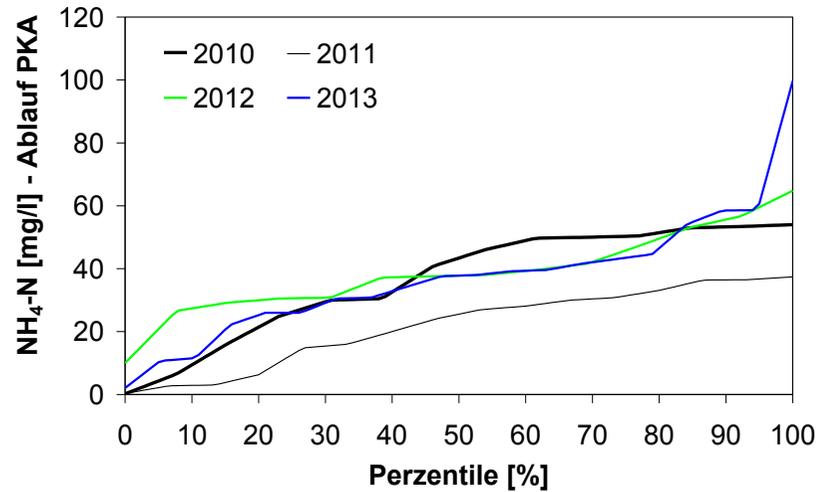
- CSB_{hom.} = 150 mg/l (qualifizierte SP)
- BSB₅ = 40 mg/l (qualifizierte SP)

Eliminationsleistung PKA:

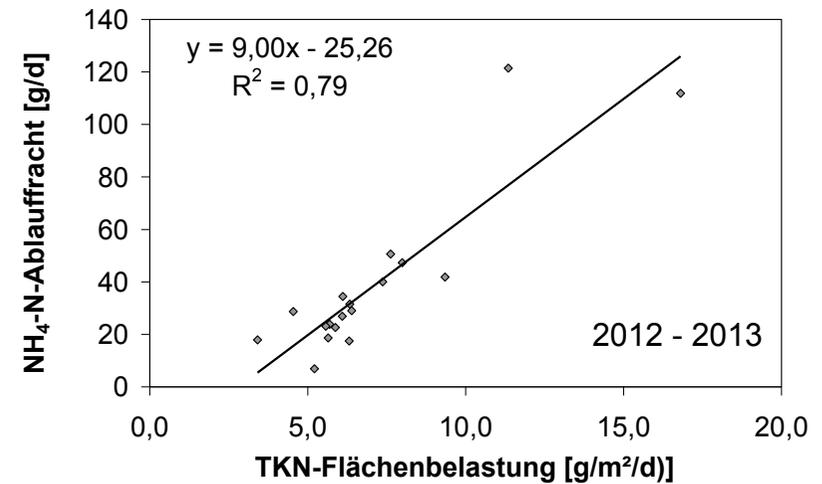
- CSB_{hom.} = 83 % (62 – 90 %)
- CSB_{mf.} = 75 % (45 – 89 %)
- BSB₅ = 96 % (88 – 98 %)

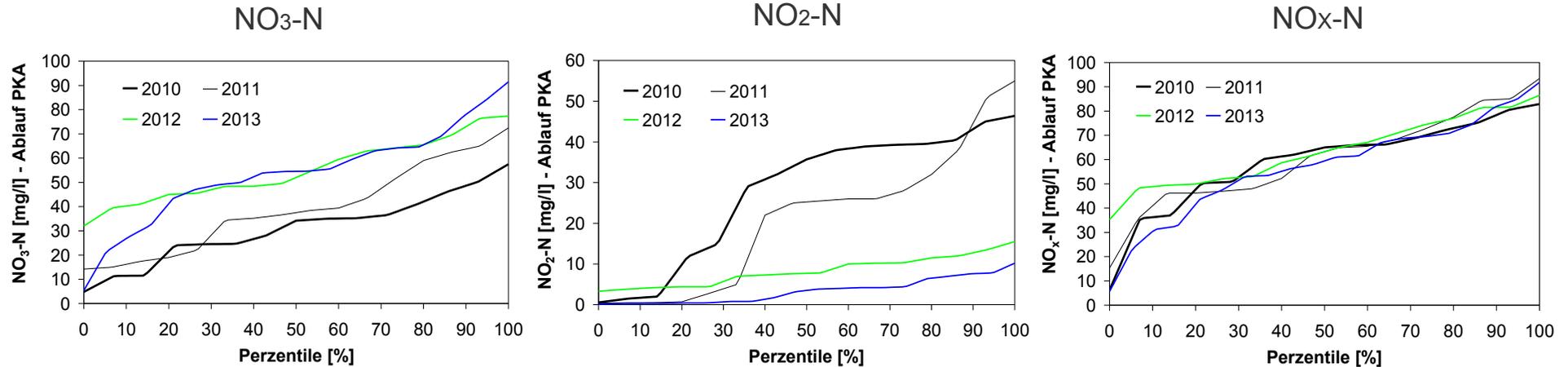
Eliminationsleistung Gesamtanlage (keine korrespondierenden Proben):

- CSB_{hom.} = 89 % (73 – 95 %)
- CSB_{mf.} = 85 % (67 – 93 %)
- BSB₅ = 98 % (87 – 99 %)



- NH₄-N = 36 mg/l (2010)
= 22 mg/l (2011)
= 39 mg/l (2012)
= 38 mg/l (2013)
- Flächenbeschickung 2010 - 2013 vergleichbar
- 2011 hohe Rezirkulationsverhältnisse über 2 Monate (170 – 290 %, i. M. 11 mg NH₄-N/l)





Zunahme von 31 → > 50 mg/l

Abnahme von 28 → < 2,5 mg/l

rd. 60 mg/l

- $NI(NO_3) = NO_3(Ab) + NO_3(RZ) + DN,NO_3(PKA)^*$
(*berechnet anhand NO_3-N/NO_2-N im Ablauf)
- Zunahme vollständig nitrifizierter Stickstoff: 32 → 68 % TKN
- Abnahme unvollständig nitrifizierter Stickstoff: 35 → 3 % TKN
- Literatur: 85 – 90 % Nitrifikation [Schönborn et al., 1997; Nowak und Heise, 2007]

Mögliche Gründe für Nitrifikationshemmung:

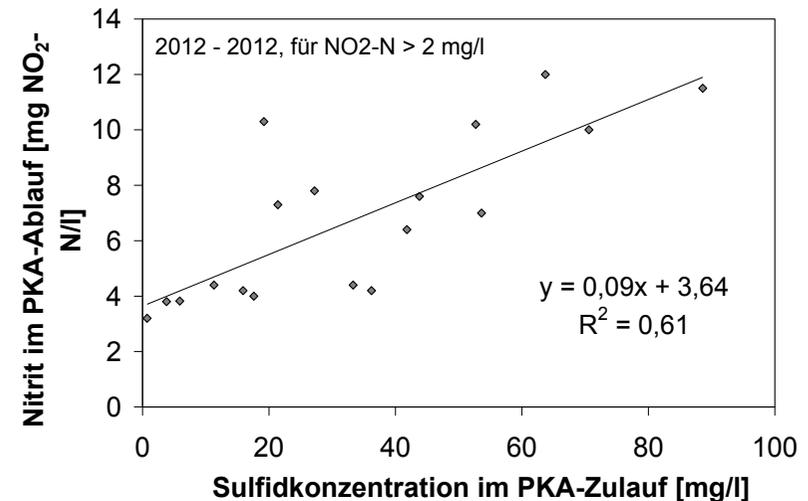
- Ammoniak (ab < 1 mg $\text{NH}_3\text{-N/l}$) [Balmelle et al., 1992]
- NH_3 rechnerisch für (Teil-)Hemmung geeignet
- Nitrit
- Sulfid
- ($T > 12$ °C)

Vergleichswerte häusliches Abwasser:

- i. M. 0,3 mg $\text{NO}_2\text{-N/l}$ (0,1 – 0,7 mg/l)
(2 Anlagen 10 MP, $T = 4 - 17$ °C, 4 bzw. 7 EW, Betriebszeit 1,5 bzw. 7 a)

Literatur:

- im Frühjahr ansteigende $\text{NO}_2\text{-N}$ -Konzentrationen [Wübbenhorst et al., 2000]
- im Zuge von Betriebsumstellungen [Wübbenhorst et al., 2000]
- Angaben von Anlagenbauern



Denitrifikation in MKG

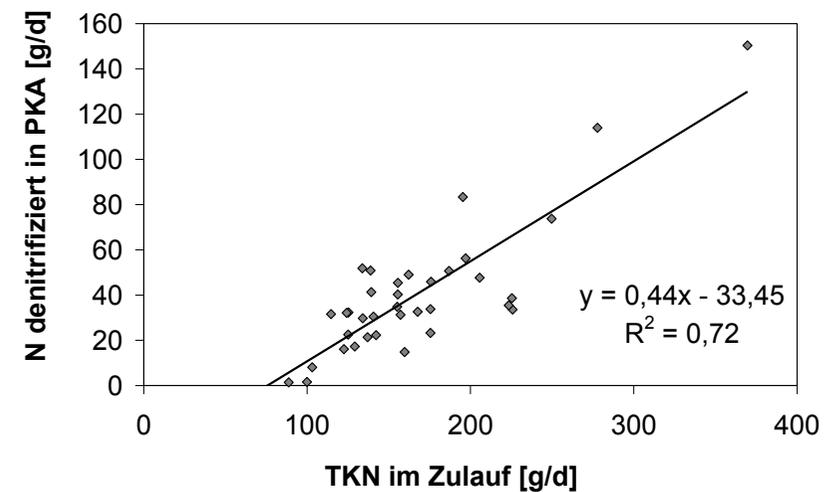
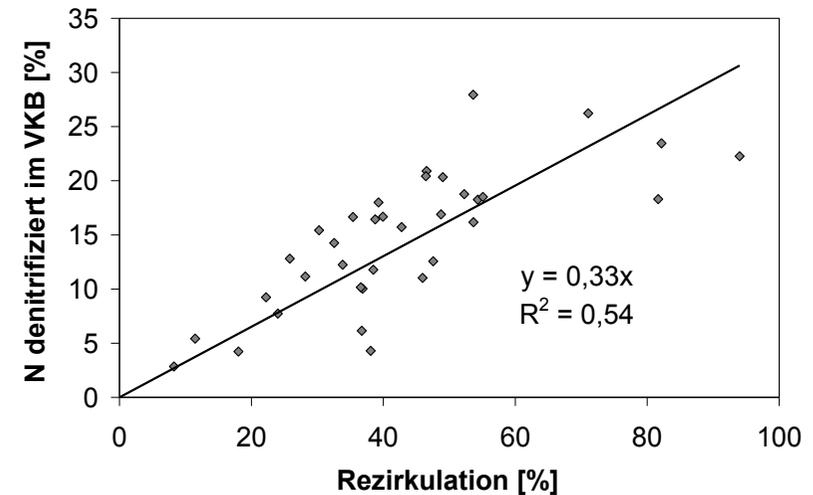
- infolge Rezirkulation
- $DN(MKG) = NO_x(RZ) - NO_x(ZS)$
- proportional zum RZ-Verhältnis
- i. M. 15 % Denitrifikation

Denitrifikation im Pflanzenbeet

- $DN(PKA) = N_{ges.}(ZU) - N_{ges.}(AB) - N(BM) - DN(VKB)$
- $N(BM) = 0,02 \times CSB_{zu}$
- proportional zur TKN-Fracht im Zulauf
- i. M. 22 %
- Literatur: 20 – 30 % [Fehr et al., 2003]

Denitrifikation (gesamt)

- i. M. 37 %



- Bestimmung der personenspezifischen Schmutzfrachten und des Trinkwasserverbrauchs
- Überwachungswerte (Ablaufklasse C) wurden stets eingehalten
- Nitritanreicherung in der ersten Betriebsjahren
- Stickstoffelimination hat sich stabilisiert (Ergebnisse 2013):
 - 68 % TKN vollständig nitrifiziert
 - 3 % TKN unvollständig nitrifiziert
 - 24 % TKN im Ablauf
 - 5 % TKN in Biomasse
- Anlage hat die gestellten Anforderungen erfüllt
- Noch keine Prognose für Langzeitverhalten