

# **Phosphor-Behandlung im kommunalen Abwasserbereich in Deutschland und Potenzial für die Rückgewinnung**

**M. Barjenbruch**

**FG Siedlungswasserwirtschaft, TU Berlin**

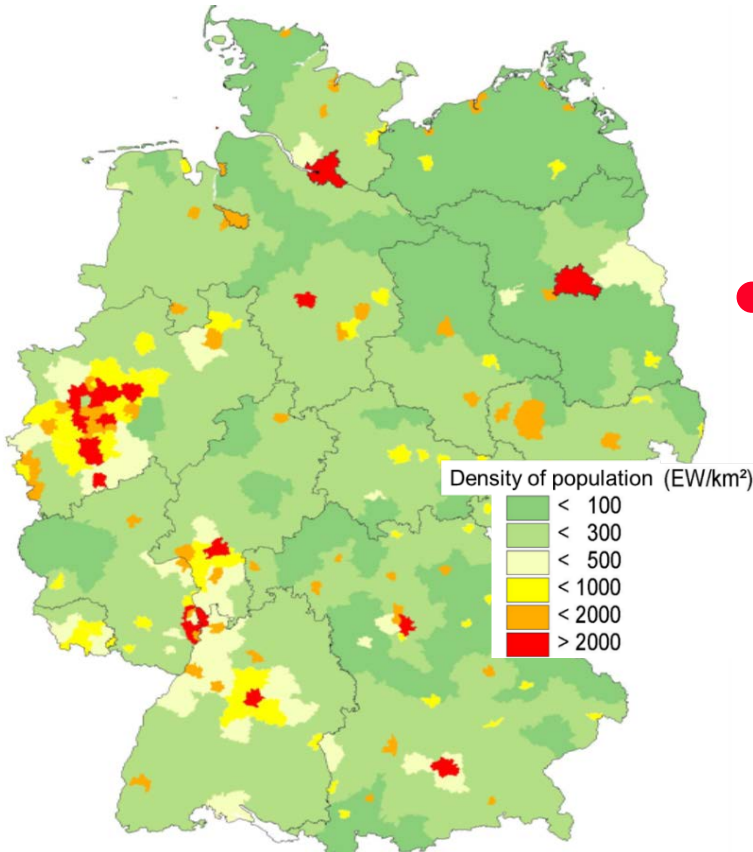
***Gustav-Meyer-Allee 25, D - 13355 Berlin***

***Phone: +49 / (0) 30 / 314 72246; Fax: +49 / (0) 30 / 314 72248***

***e-mail: [matthias.barjenbruch@tu-berlin.de](mailto:matthias.barjenbruch@tu-berlin.de), [e.exner@tu-berlin.de](mailto:e.exner@tu-berlin.de)***

# Wasserversorgung und Abwasserentsorgung Deutschland

- 82 million inhabitants



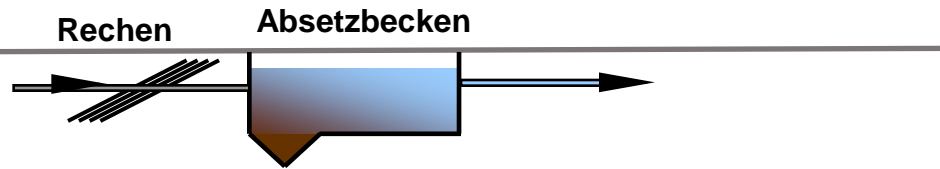
- 250,000 workers in the water sector

- Wasserversorgung
  - Öffentlicher Anschlussgrad: 99 %
  - 6.557 Wasserversorgungsunternehmen
  - 120 l pro Person und Tag
  - Wasserverluste: 7%
  - Preis:  $\varnothing$  1.93 €/m<sup>3</sup> (2011); 86 €/(E·a)
- Abwasser
  - Abwasseranfall
    - 10 Billion m<sup>3</sup>/a;  $\varnothing$  115 l/(E·d)
  - Abwassergebühr:  $\varnothing$  2,6 €/m<sup>3</sup>; 115,6 €/(E·a)
  - Zentraler Anschluss: 96 %;
    - 3,3 Mio. brauchen dezentrale Entsorgung
  - Öffentliches Kanalnetz:
    - 540.723 km; 6,57 m/E; 1 mio. km private Kanäle
  - 78.433 Regenbecken mit 658 l/E
  - 9.632 Zentrale Kläranlagen
    - CSB: Zu 548 mg/l ➔ Ab **27** mg/l
    - Stickstoff: Zu 51 mg/l ➔ Ab **9,0** mg/l
    - Phosphor: Zu 8 mg/l ➔ Ab **0,72** mg/l

# Entwicklung der Abwasserreinigung

Siebe, Rechen und Absetzen

Beginn Mitte 19. Jahrhundert

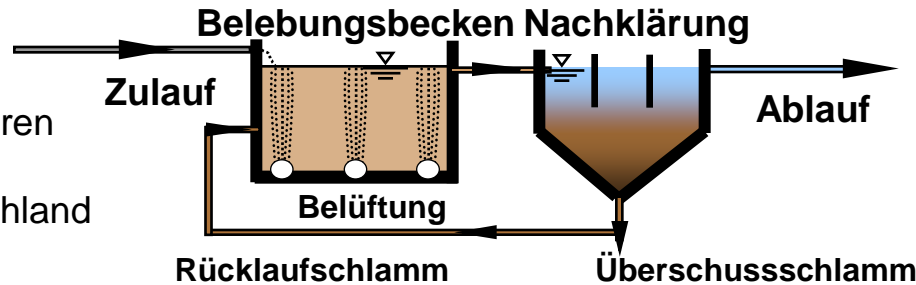


1914 Entwicklung des Verfahren

Ardern und Locket

1924: Erste Anlage in Deutschland

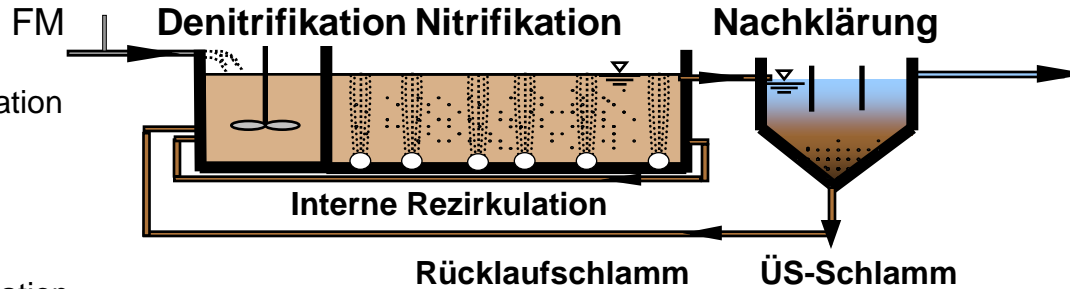
Essen-Rellinghausen  
biologische Vollreinigung (CSB)  
ab 1971 Vorschrift



$V = 20 - 80 \text{ I/E}$

Ab 1989

Stickstoffelimination  
+chemische P-Elimination

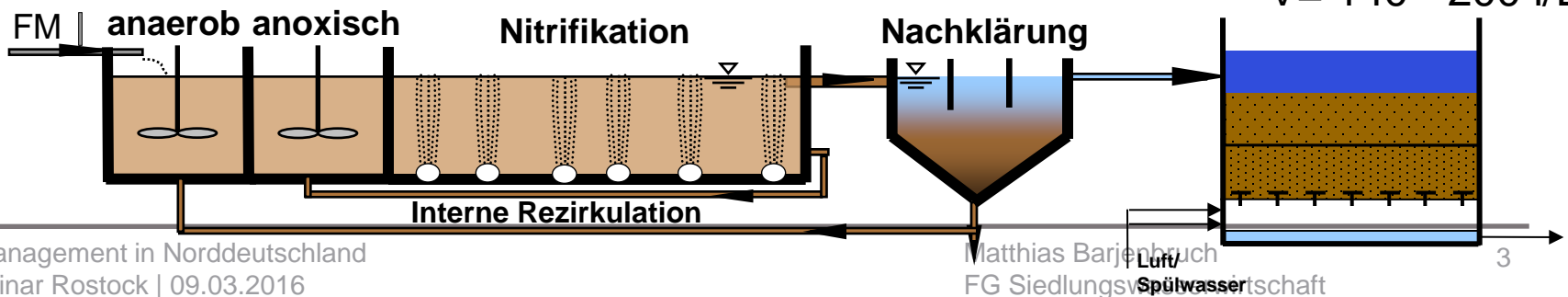


$V = 100 - 160 \text{ I/E}$

Ab ca. 1995

Stickstoffelimination  
+biologische P-Elimination

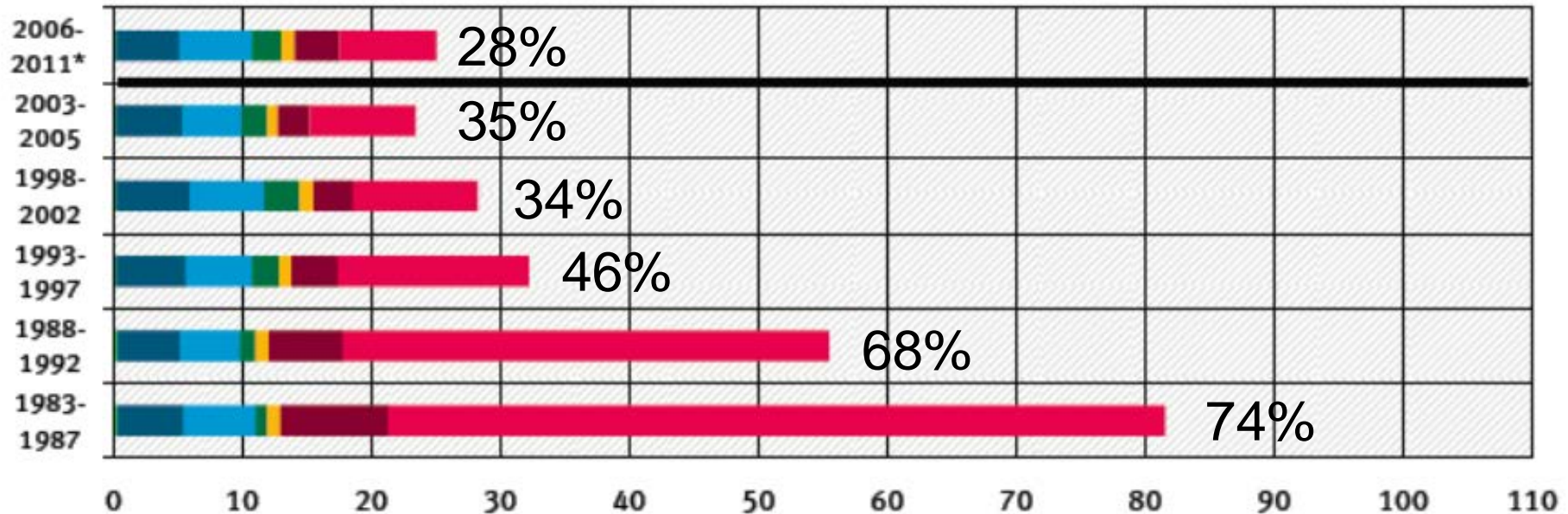
ca. 1995 Filtration  
ca. 200 Anlagen in Betrieb



$V = 140 - 200 \text{ I/E}$

# P-Einzeleinträge in die Gewässer (UBA 2014)

Gesamtposphoreinträge in Kilotonnen/Jahr



■ atmosphärische Deposition   
 ■ Erosion   
 ■ Grundwasser   
 ■ Oberflächenabfluss   
 ■ Drainagen   
 ■ urbane Gebiete   
 ■ Punktquellen

Reduktion: gesamt 62%                      ~ 1%                      0%                      86%

\*Neue Datengrundlage im Zeitraum 2006 bis 2011

Quelle: Umweltbundesamt 2014



# Algenwachstum infolge Überdüngung

## Eutrophierung



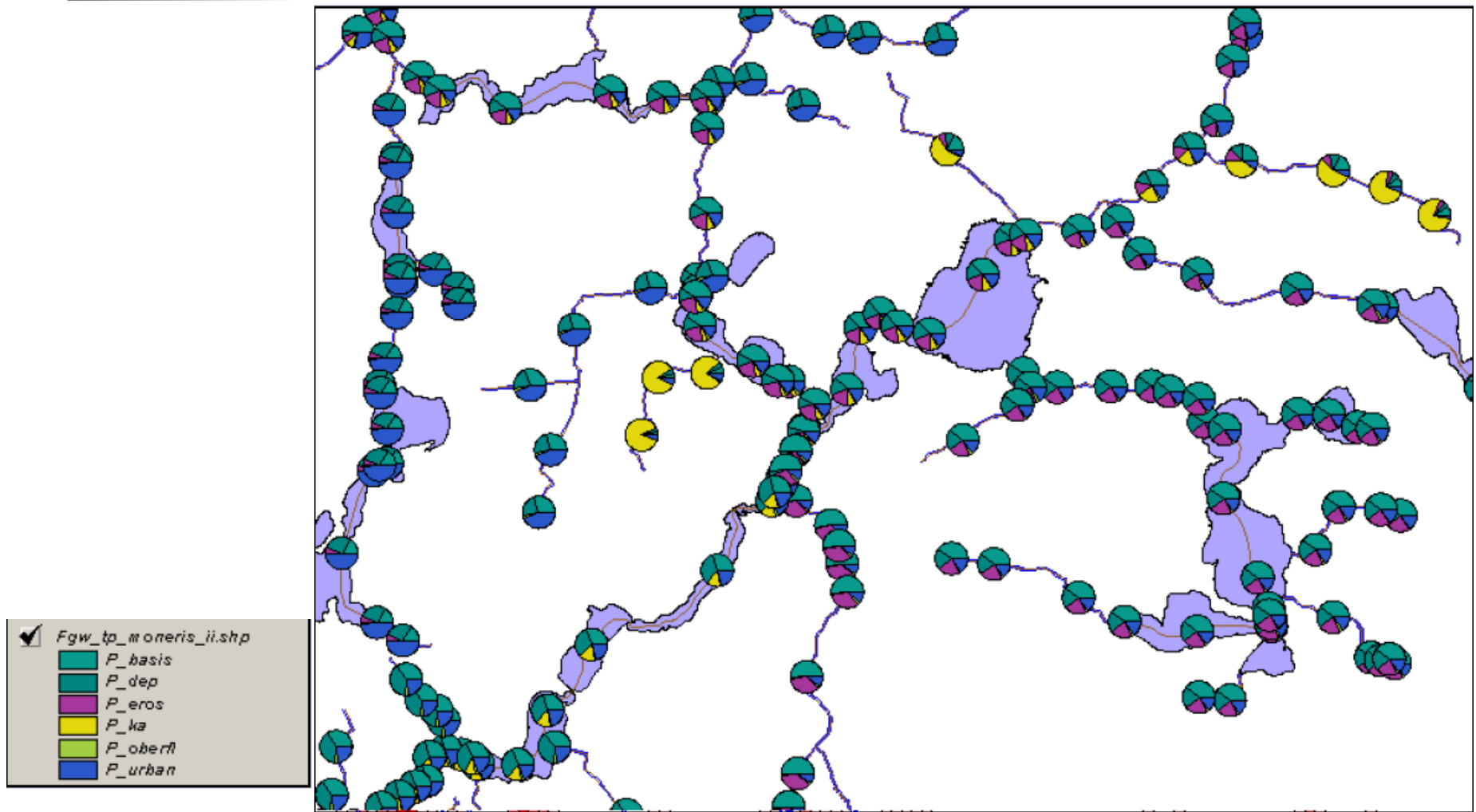
- **Verhinderung der Eutrophierung von Gewässern.** P wirkt im Gewässer schon im unteren Mikrogrammbereich eutrophierend vor allem bei:
  - ➔ Seen, gestauten Gewässern, tidebeeinflussten Gewässern, Randmeeren
- Minimumfaktor für Pflanzenwachstum **N : P = 7:1.**
- Einstufung Seen:
  - ➔ **Eutroph**; Nährstoffreiche Seen, O<sub>2</sub>-Sättigung ca. 0-30%, nur 2 m Sichttiefe, hohe Planktonproduktion, **ges. P~ 45 - 85 µg/l**
- Immission nach Lawa
  - ➔ sehr guter Gewässerzustand von Fließgewässern **< 0,05 mg/l TP** (Oberflächengewässerverordnung)
  - ➔ Güteklasse II: TP-Wert zwischen **< 0,1 und 0,2 mg/L** in Abhängigkeit des Fließgewässertyps (Rakon, LAWA 2014)
- Emission: Überwachungswerte für Kläranlagen (Abwasserverordnung)
  - ➔ 10.000 - < 100.000 E: 2,0 mg P/l
  - ➔ > 100.000 E: 1,0 mg P/l
  - ➔ Darüber hinaus regionale Begrenzungen!

# Herkunft und Abschätzung der P-Fracht im häuslichen und kommunalen Abwasser [in g P / (E·d)]

P Herkunft	1975	2005
Stoffwechselprodukte <sup>1)</sup>	1,6	1,6
Textilwaschmittel	2,25 <sup>2)</sup>	0 <sup>5)</sup>
Haushaltsreinigungs-/Spülmittel	0,75 <sup>2)</sup>	0,24 <sup>6)</sup>
Andere P-Quellen <sup>3)</sup>	0,4 <sup>2)</sup>	0,05 <sup>4)</sup>
<b>Summe, bezogen auf E</b>	<b>5,0</b>	<b>1,9</b>
Industrie/Gewerbe/Siedlungsfl. (als EGW)	1,2 <sup>8)</sup>	1,2 <sup>7)</sup>
Durchschnittliche Konzentration (mg/l) <sup>9)</sup>	15,7	6,9

Konzentrationen: 6,8 -15,1 mg P/l

# Bestimmung der Verursacheranteile von Gewässerbelastungen (Brandenburg)





# Verfahren zur Phosphorelimination

- Phosphor kann nicht wie Stickstoff in den **gasförmigen Zustand** überführt und **eliminiert** werden.
- Die Phosphorverbindungen müssen **im festen Aggregatzustand** mit gut abscheidbaren Partikeln über die **Schlammwege** aus dem Abwasser **entfernt** werden.

- Verfahren zur **chemischen P-Elimination**



- ➔ Vorfällung
- ➔ Simultanfällung
- ➔ Zwischenfällung
- ➔ Nachfällung
- ➔ Kombinationsfällung

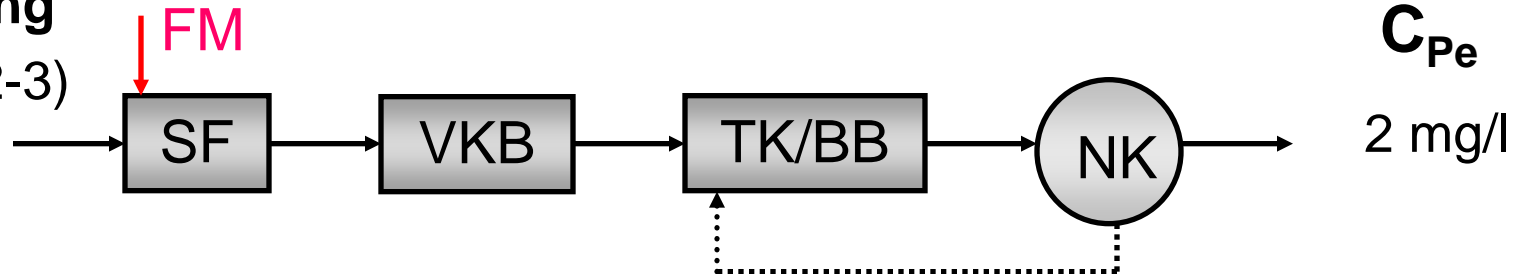
$$\beta_{\text{Fäll}} = \frac{X_{\text{Me}} / \text{AM}_{\text{Me}}}{X_{\text{P,Fäll}} / \text{AM}_{\text{P}}} \quad [\text{mol Me} / \text{mol P}]$$

- **Verfahren zur biologischen P-Elimination**
- **Kombination aus Bio-P und chemischer P-Elimination**

# Verfahren der chemischen P-Elimination

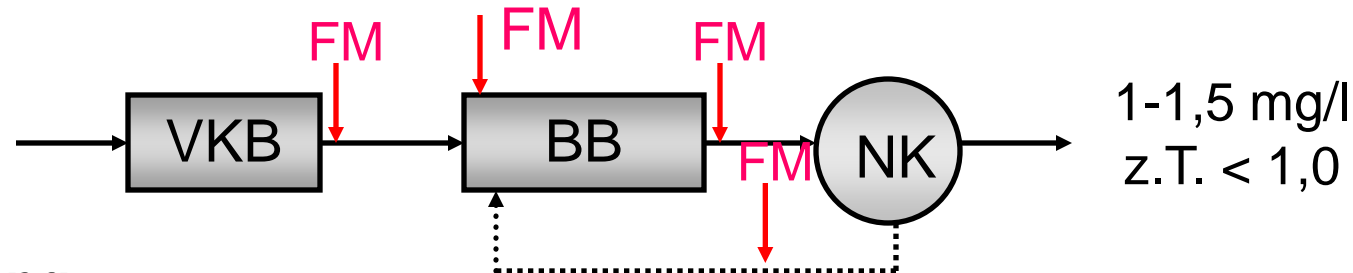
## Vorfällung

$\beta = 1,2$  (2-3)



## Simultanfällung

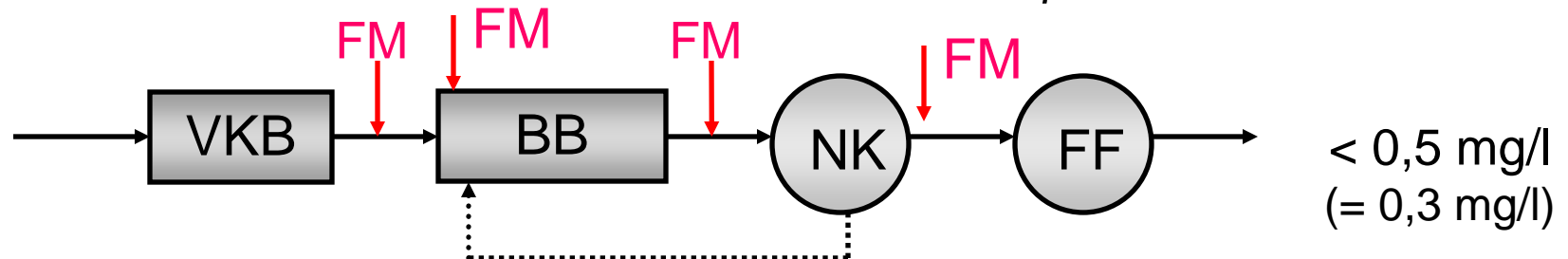
$\beta = 1,2$  (- 1,5)



## Kombinierte Fällung

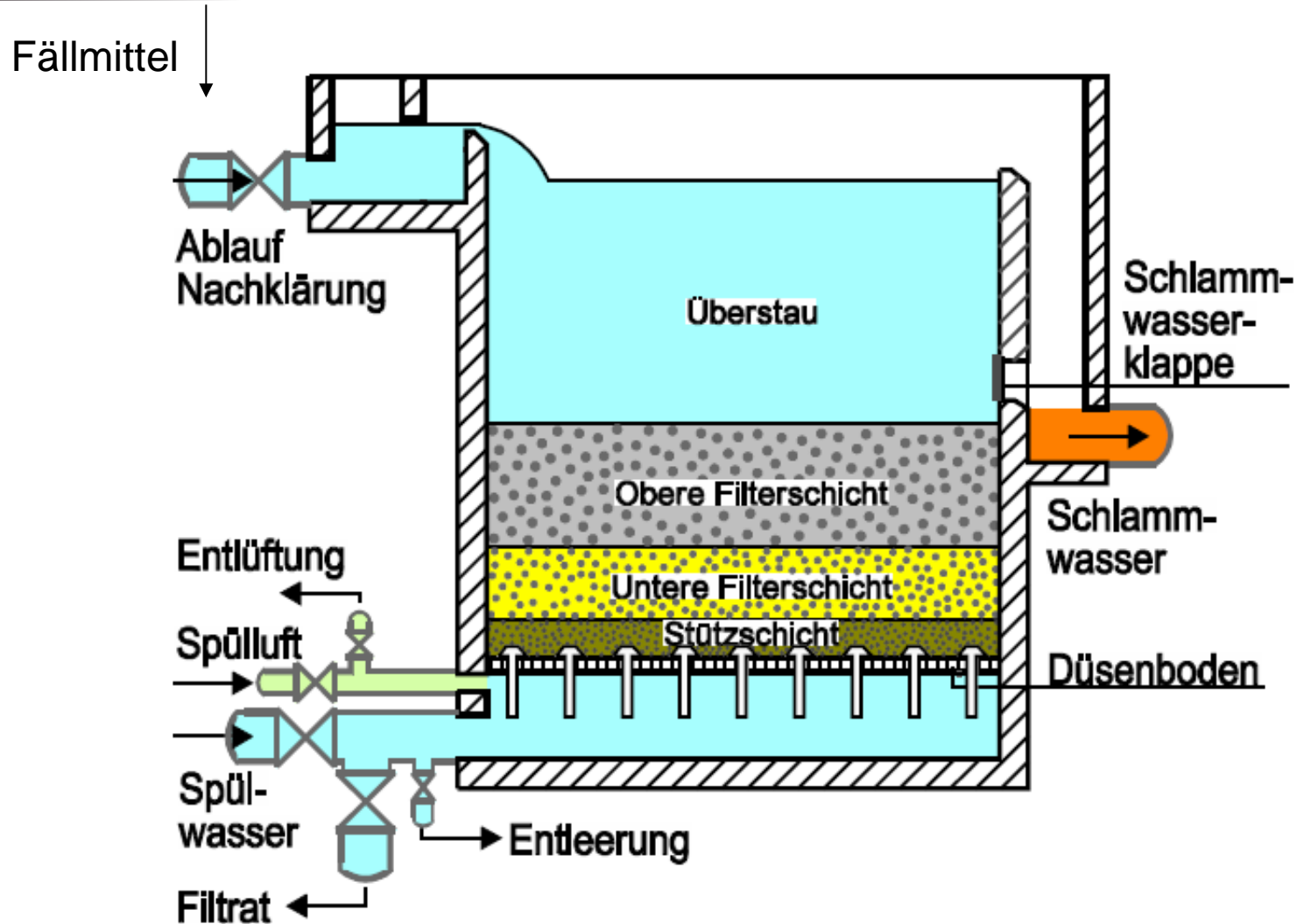
$\beta = 1,2 - 1,5$

$\beta = 2 - 2,5$

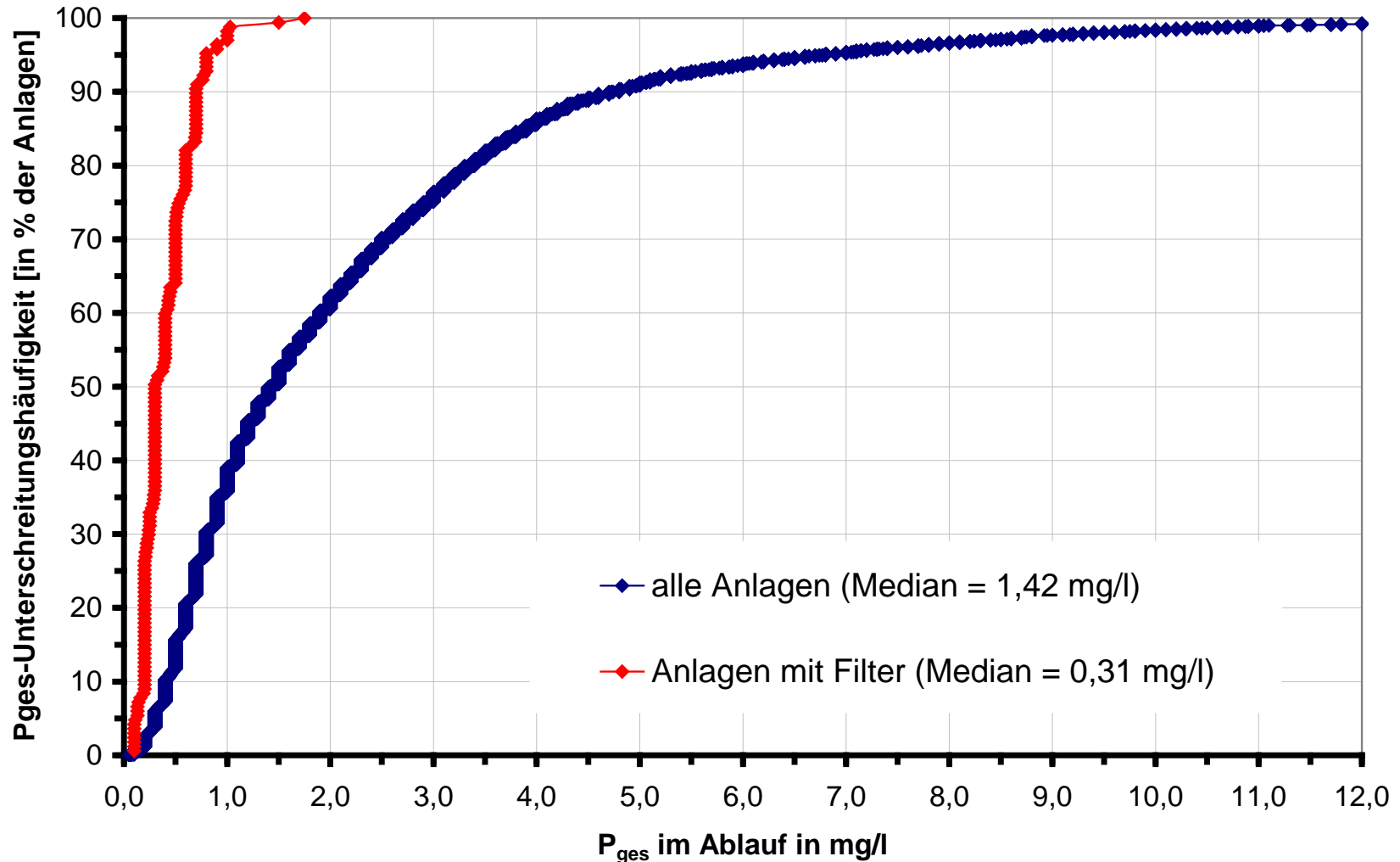


# Grundprinzipien der Raumfiltration

Abwärts durchströmt Aufstau- oder Klappenspülung

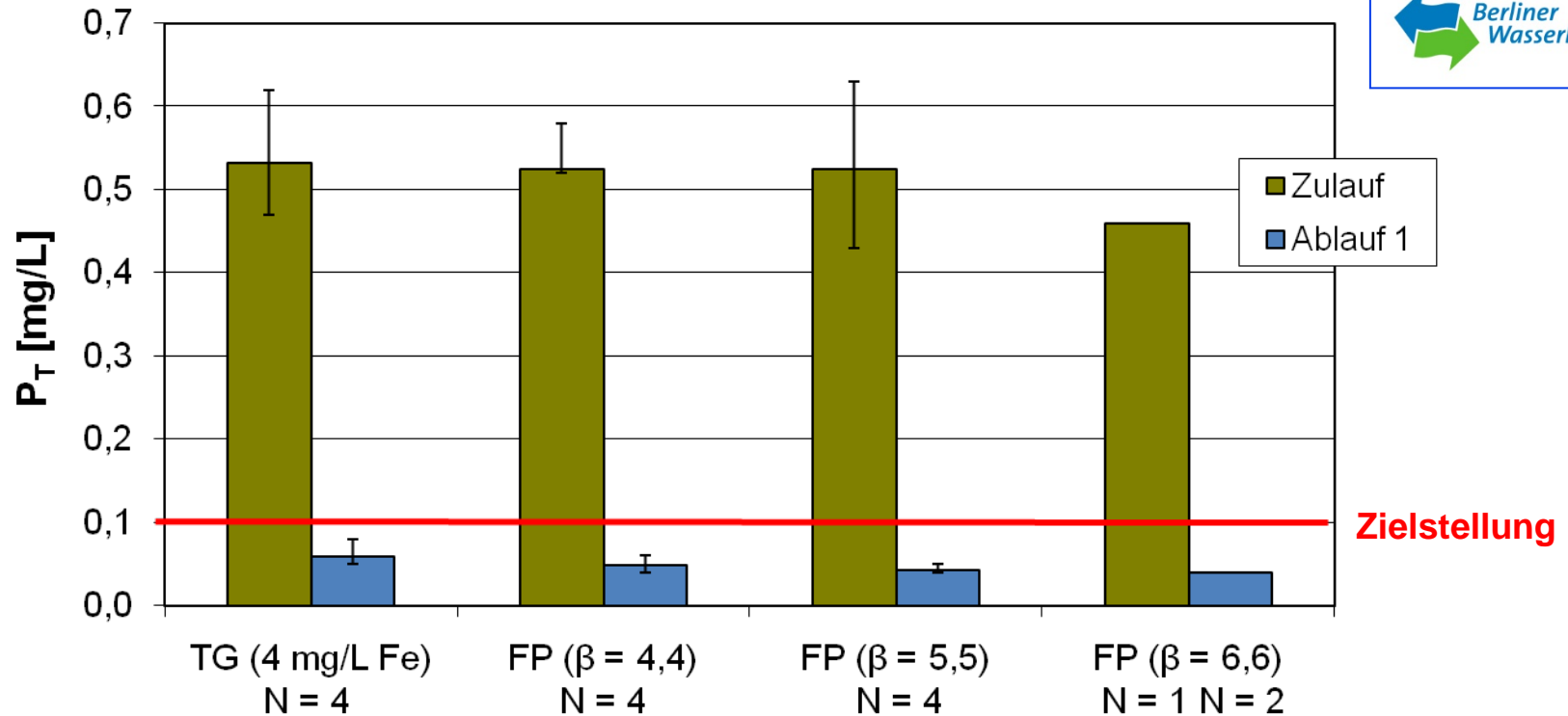


# Einfluss der Flockungsfiltration



# Ergebnisse Flockungsfiltration

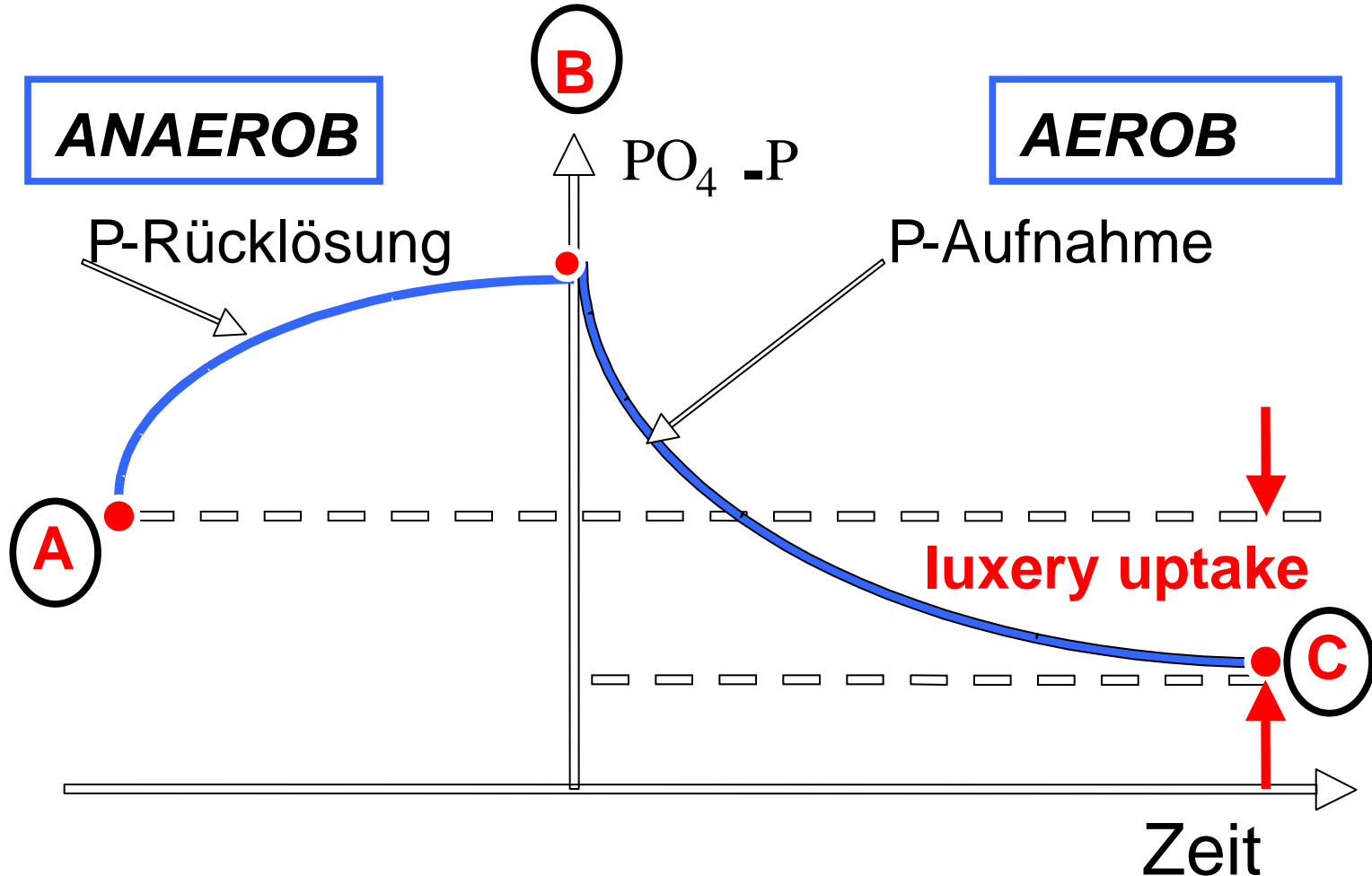
## P-Entfernung



- Alle Ziele wurden erreicht
- Mittlere Zulaufgehalte von 0,53 mg/L wurden verringert um  $\approx 90\%$  auf 0,056 mg/L



# Prinzip der erhöhten biologischen P-Elimination



## ● Vorteile:

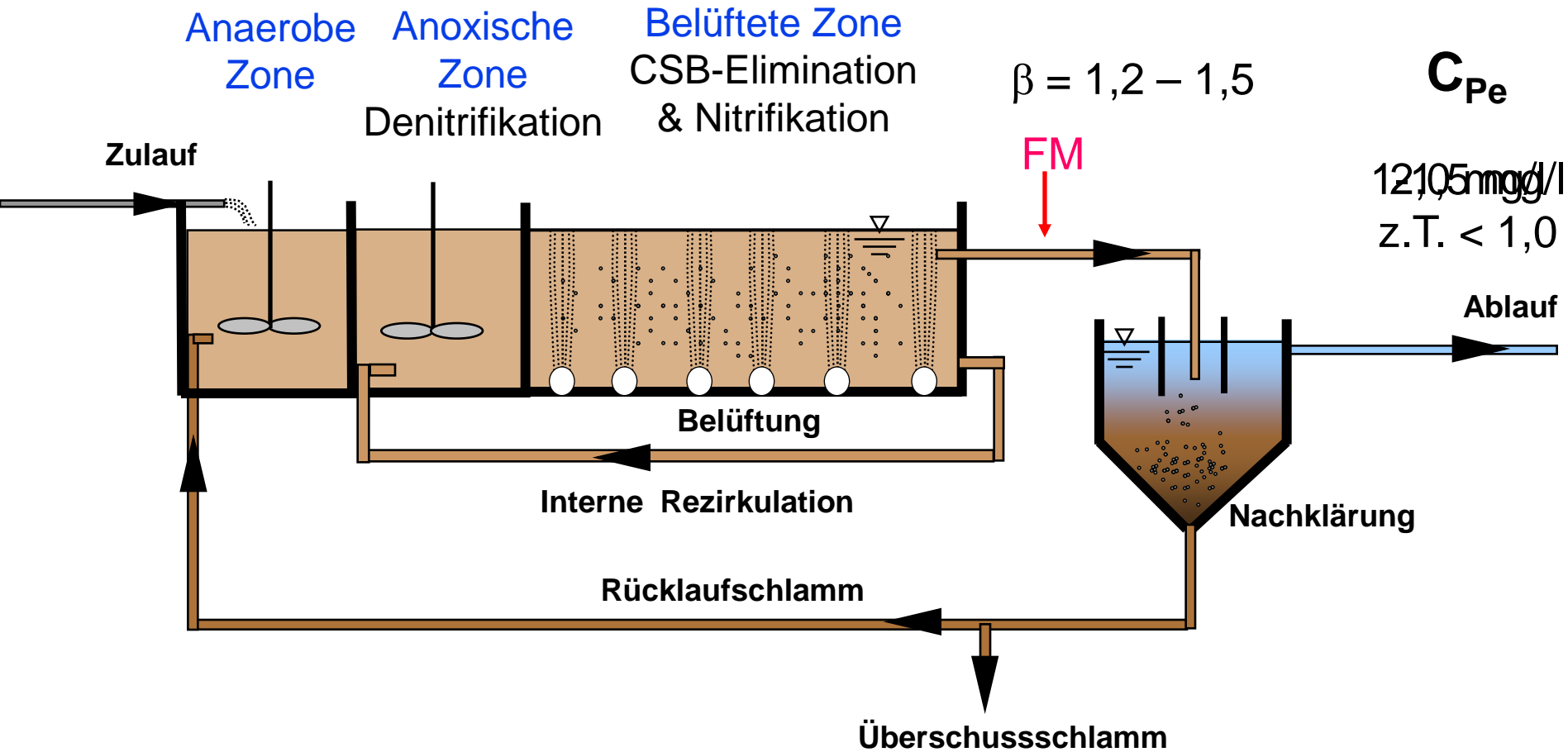
- ➔ keine Zusatzstoffe erforderlich
- ➔ Verringerung der Aufsalzung der Kläranlagenabläufe
- ➔ geringerer Schlammanfall
- ➔ keine zusätzlichen Schwermetalle im Schlamm
- ➔ bessere Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors
- ➔ keine Beeinträchtigung der Nitrifikation

## ● Nachteile:

- ➔ Schäumen in Faulbehältern
- ➔ Verschlechterung der Schlammmentwässerbarkeit
- ➔ Bildung von MAP/CaPO<sub>4</sub>-Belägen in Rohrleitungen und Pumpen

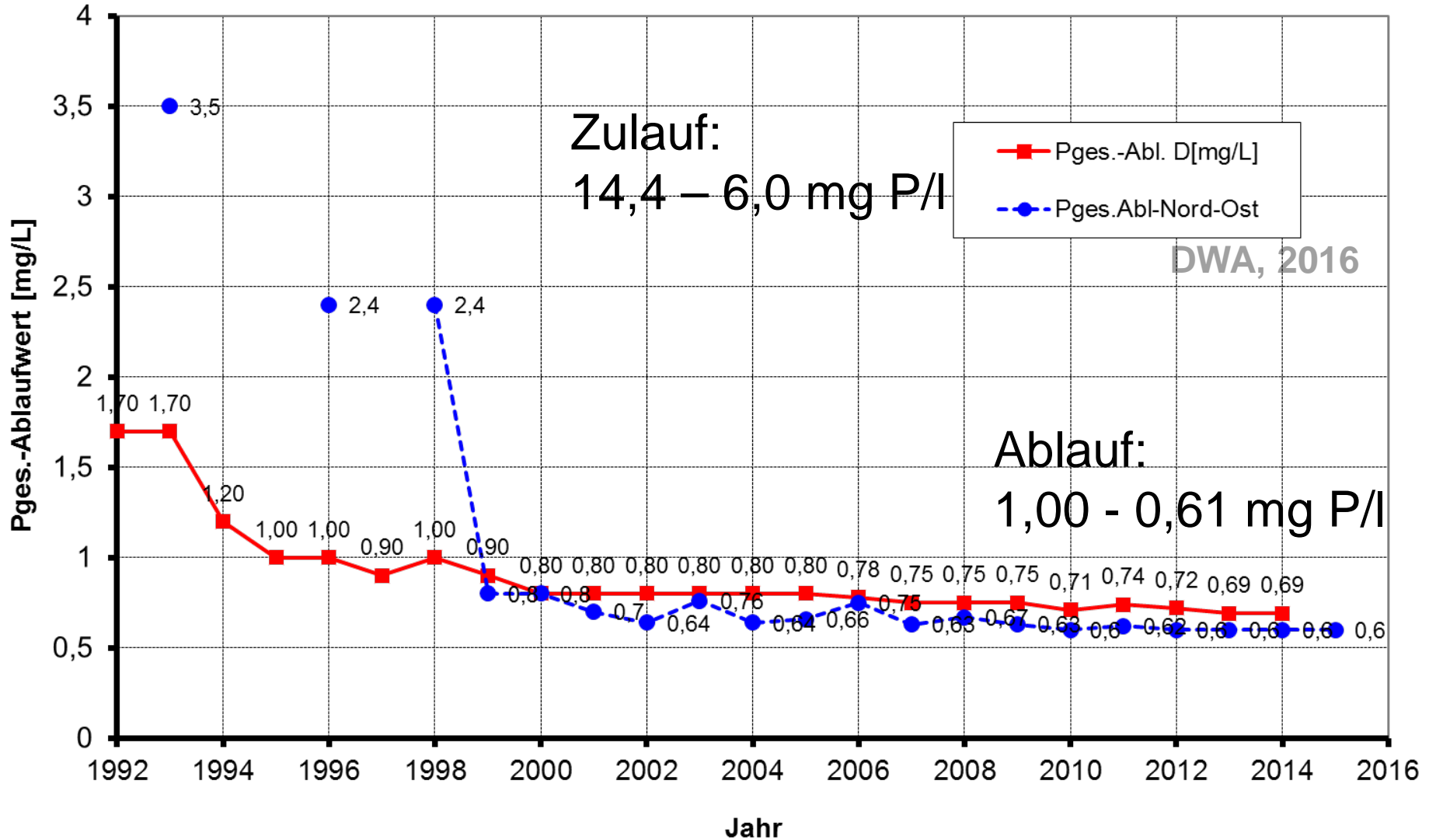
# Bio-P

Bsp.: Phoredox-Verfahren (Kontaktzeit: 0,5 bis 0,75 h)



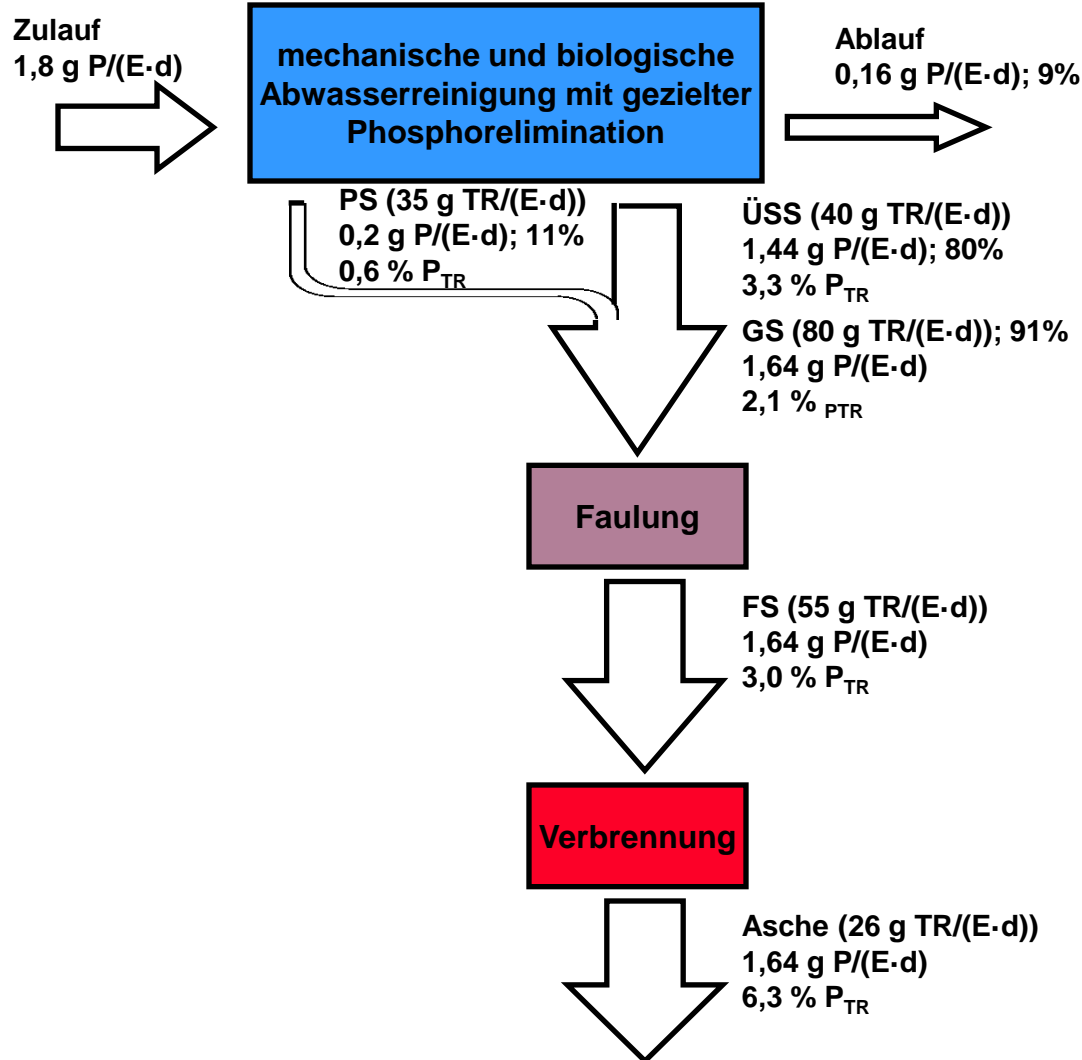
# Stand der P-Elimination in Deutschland

$P_{\text{ges}}$ -Mittelwerte im Kläranlagenablauf 1992 bis 2014



# P-Bilanz Modellanlage (Nord-Ost)

spez. Abwasseranfall 100 l/(E·d)





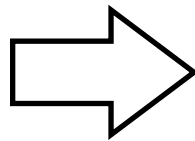
# Phosphor-Bilanz Deutschland

## P- Rückgewinnung aus Klärschlamm

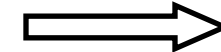
### ● Anlass

- ➔ Recycling P durch landwirtschaftliche Klärschlammverwertung problematisch (Schadstoffe, Pflanzenverfügbarkeit)
- ➔ Ausbeutung geogener Lagerstätten nicht nachhaltig  
Laufzeiten ca. 150 Jahre; Preis 81,54 €/t P
- ➔ Qualität der Erze nimmt ab (Verunreinigungen)
- ➔ Förderung in z.T. politisch „instabilen“ Ländern

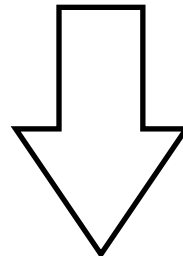
**Zulauf: 7,9 mg/l**  
**78.905 t/a**



**mechanische und biologische  
Abwasserreinigung mit gezielter  
Phosphorelimination**



**Ablauf: 0,72 mg/l**  
**7.191 t/a**



**Potenzial zur Rückgewinnung**  
**71.714 t/a**

Statisches Bundesamt 2013; DWA 2014

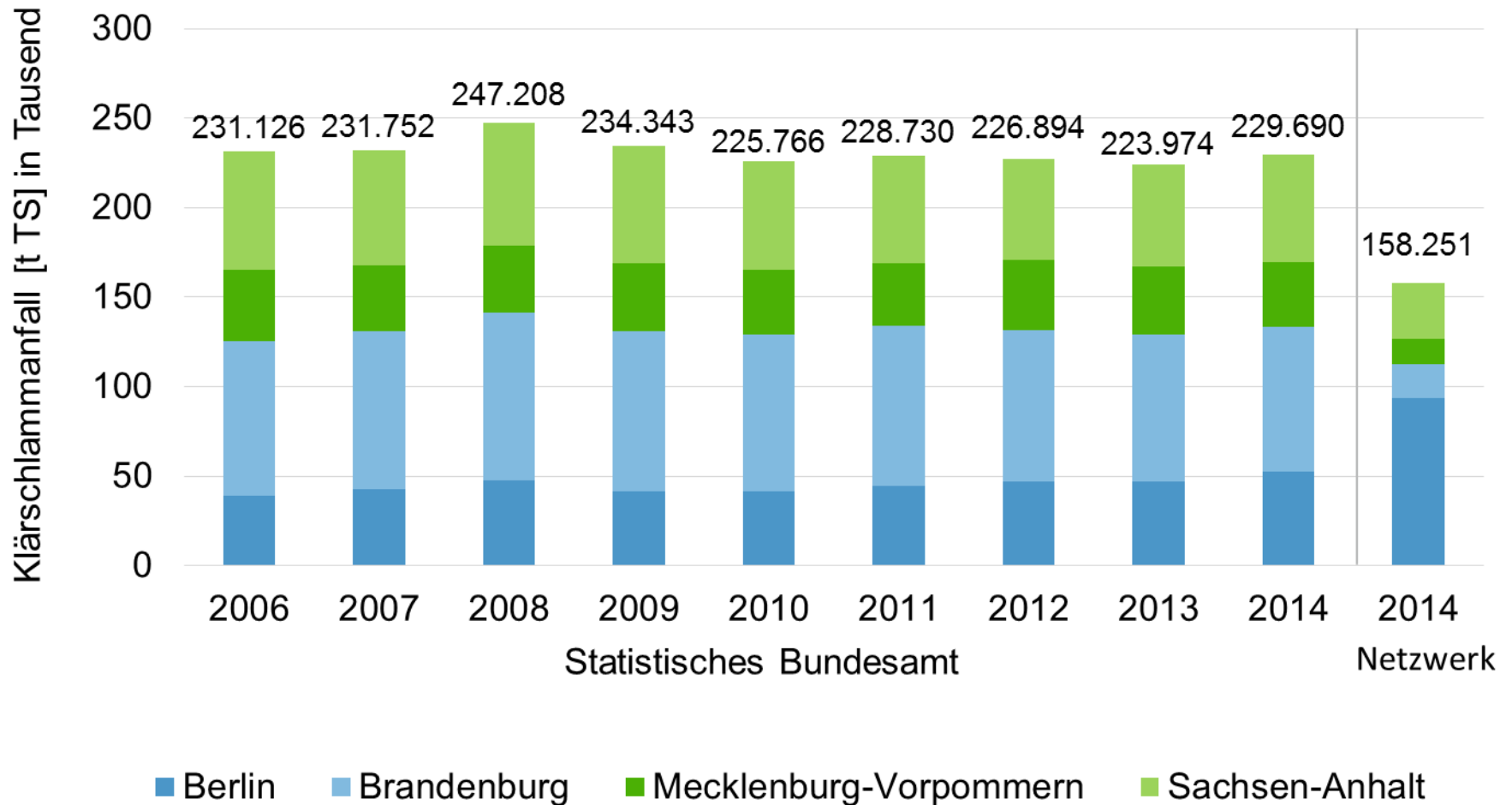
# Übersicht des DWA-Nord-Ost- Netzwerks



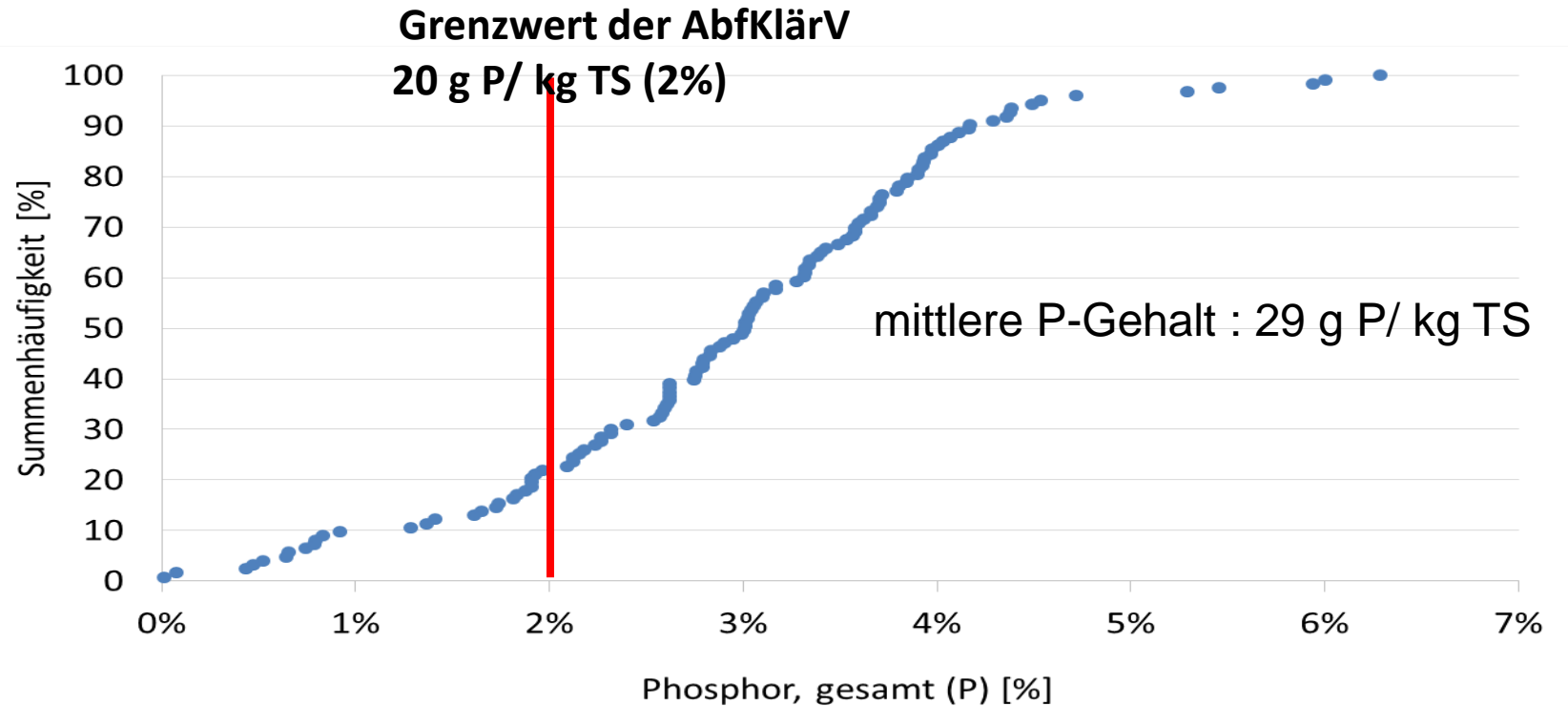
- **Region Nord-Ost:**
  - 1.075 Kläranlagen mit
  - 15,918 Mio. Einwohnern
- **DWA-Kläranlagen-Nachbarschaften Nord-Ost:**
  - 422 Kläranlagen mit
  - 14,417 Mio. Einwohnern
- **Klärschlammnetzwerk Nord-Ost:**
  - 65 Mitglieder
  - 188 Kläranlagen (74 % t TS der Region Nord-Ost)
  - 10,6 Mio. Einwohnern (ca. 12 mio.) (75 % E der Region Nord-Ost)

# Klärschlammanfall

## Netzwerk DWA-Nord-Ost

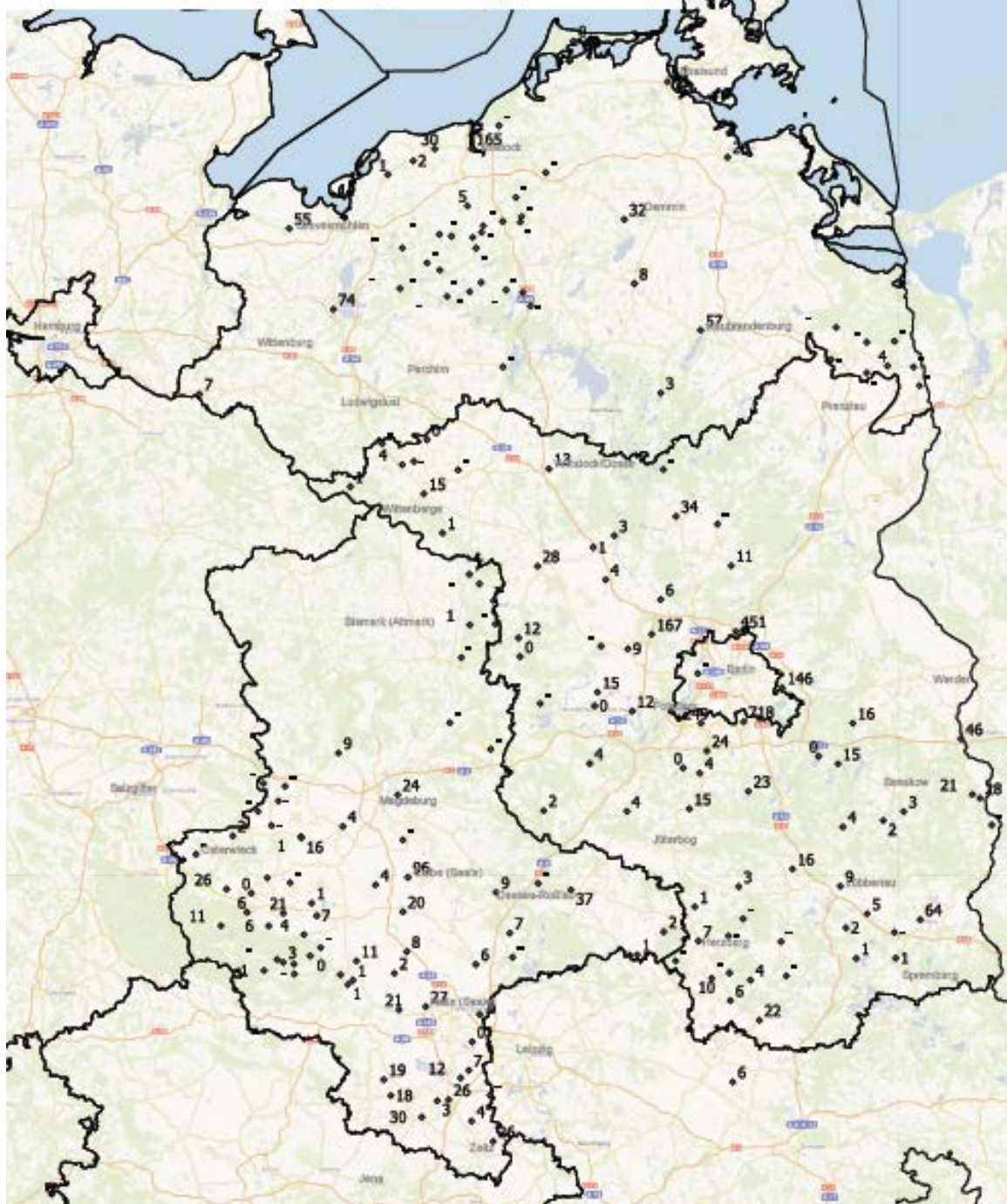


# Phosphorgehalt 2014 im Netzwerk



- 22 % der Klärschlämme < Grenzwert der zukünftigen AbfKlärV von 2 %.
- Zukünftige P-Rückgewinnung GK 4 und 5: 77 % der Kläranlagen (83.851 t TS)
- Das theoretische Phosphorpotenzial der gesamten Schlämme: 3.312 t P.
- Netzwerk stellt 5 % des theoretischen Phosphorpotenzials im Klärschlamm Deutschlands

### Chancenkarte Phosphorrückgewinnungspotenzial [t]





# Ecosan-Principle

## Beispiel No-Mixtoilette



# Beispiele Behandlung der Teilströme



## Öffentliche Urinale in Hamburg

Foto: Groenwall, BSU

Management und Technik  
Seminar Rostock | 09.03.2016

Management und Technik  
FG Siedlungswasserwirtschaft

- Die Phosphorelimination gerät wieder in den Focus!
  - ➔ Sehr hohe Wirkungsgrade auf den Kläranlagen (92%)
    - 91% der Abwassermenge wird mit P-Elimination behandelt
  - ➔ Erhöhte P-Gehalte tragen in vielen Gewässerabschnitten zur Verfehlung des **guten Gewässerzustandes** bei.
  - ➔ Mehrere Bundesländer haben Maßnahmenpläne aufgestellt.
- Aufgrund der begrenzten natürlichen P-Ressourcen sollte Phosphor zurückgewonnen werden.
  - ➔ Potential aus Abwasser bzw. Klärschlamm ca. 70.000 t P/a
    - Klärschlamm stellt die größte P-Ressource der organischen Siedlungsabfälle
    - In Nord-Ostdeutschland Potential ca. 3.500 tP/a, aber regional verteilt
  - ➔ Neuartige Sanitärsysteme bieten unterstützendes Potential
    - Start über öffentliche Toiletten mit ggf. Aufbereitung!
    - Nutzung für Energiepflanzen