

# Lösung von stofflichen Problemen durch neuartige Sanitärkonzepte?

Prof. Dr.-Ing. Joachim Hansen

Research Unit in Engineering Science

Université du Luxembourg

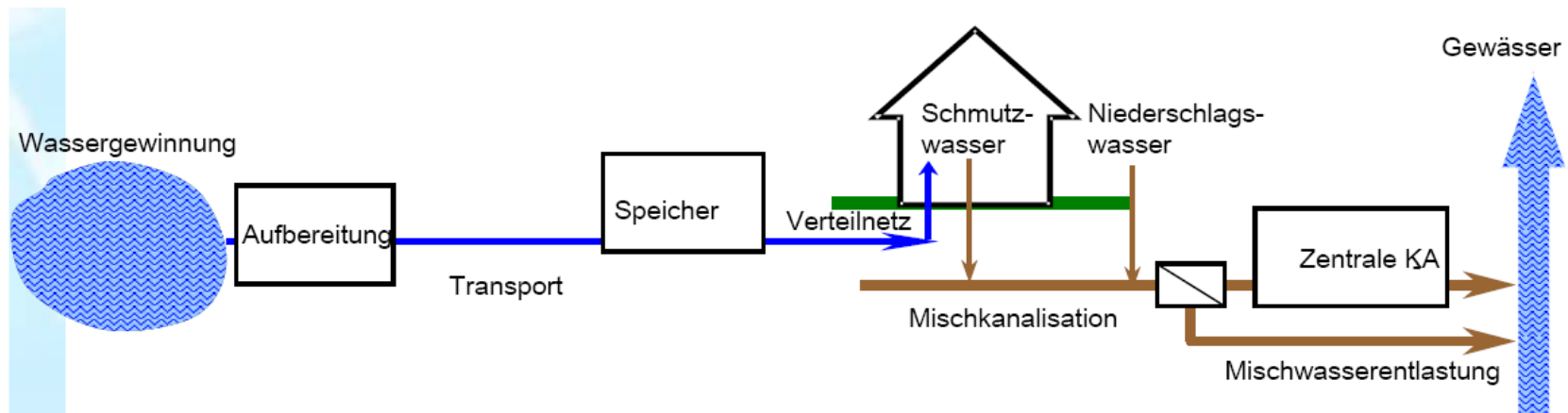
# Fragestellungen

- **Welche Stoffe stellen derzeit Probleme in der Abwasserbehandlung dar?**
- **Welchen zukünftigen Herausforderungen müssen wir uns stellen?**
- **Welchen Beitrag können Systeme mit Stoffstromtrennung zur Lösung von derzeitigen und zukünftigen Problemen leisten?**

# Stand der Abwasserbehandlung heute

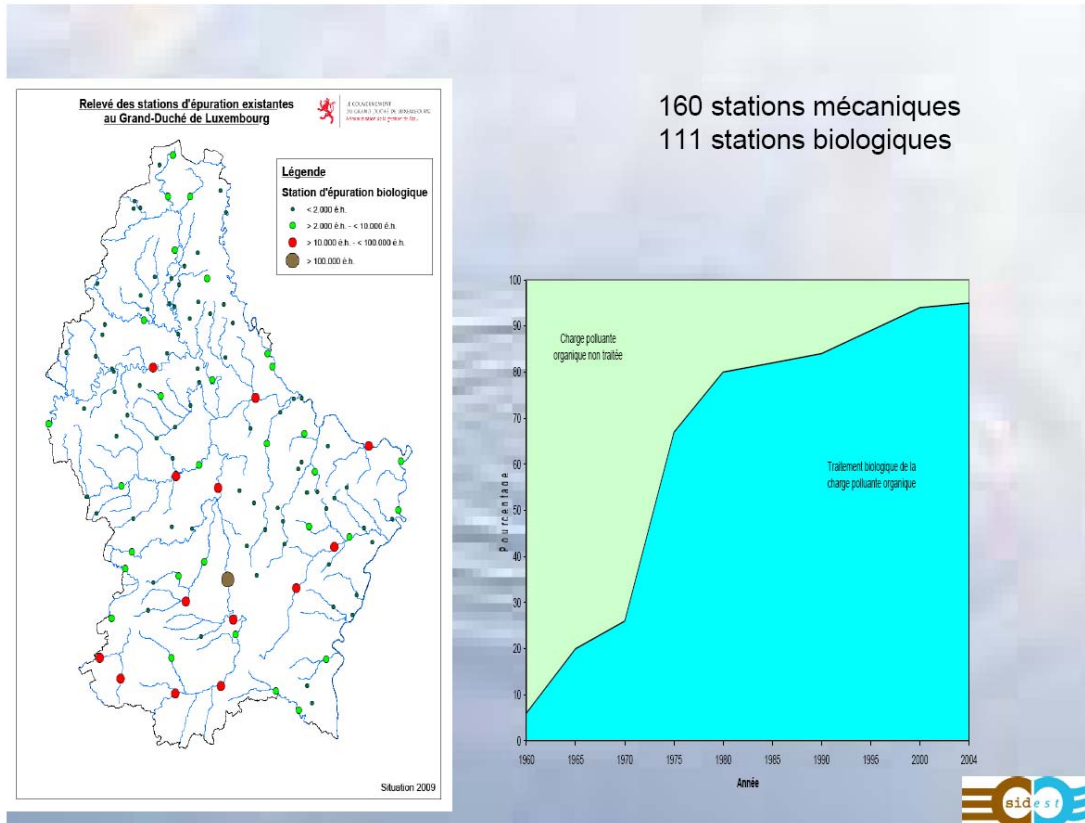
# Stand heute

- Spültoilette, Schwemmkanalisation + zentrale Kläranlage
- Abwasser: Mischung aus Toiletten, Spülen, Duschen, Waschmaschinen; weitere Mischung im Kanalnetz mit Regenwasser („Mischwasser“)
- Abschlag von Mischwasser bei starken Regenfällen
- Rund 95% der Städte in Europa und Nordamerika sind mit ‚konventionellem‘ System ausgestattet



Steinmetz /2009/

# Situation Luxembourg



J.-M. Ries /2009/

- Anschlussgrad: > 95%
- mehr als 95% der organischen Fracht (CSB, BSB) wird behandelt

→ Nachholbedarf im Bereich der Nährstoffelimination

# Klassische stoffliche Probleme

# Stickstoffelimination

- Einleitkonzentrationen in die Gewässer gemäß EU-Richtlinie ‚Kommunale Abwasserbeseitigung‘ bzw. Ländergesetze:  
**15 bzw. 10 mg/l Gesamtstickstoff im Ablauf der Anlage  
bzw. 80% Wirkungsgrad als Jahresmittelwert**
- Weitgehende Elimination der Stickstoffverbindungen durch Nitrifikation/Denitrifikation ist **technisch gelöst**
- Nahezu Verdreifachung des erforderlichen Belebungsbeckenvolumens im Vergleich zum Abbau der Kohlenstoffverbindungen erforderlich:  
**erhöhte Investitionskosten**
- **Erhöhte Betriebskosten** durch erforderliche Sauerstoffversorgung

# Phosphorelimination I

- Einleitkonzentrationen in die Gewässer gemäß EU-Richtlinie ‚Kommunale Abwasserbeseitigung‘ bzw. Ländergesetze:  
**2 bzw. 1 mg/l Gesamtphosphor im Ablauf der Anlage (bzw. 80%)**
- Elimination der Phosphorverbindungen erfolgt durch **Fällung mit Metallsalzen (in Kombination mit Bio-P)**
- Erhöhte Anforderungen resultieren aus **Immisionsbezogenen Zielwerten**; z.B. LAWA-Orientierungswert /2007/ von 0,1 mg/l P<sub>ges</sub>

## Konsequenz:

- **Klassische Verfahren alleine nicht ausreichend**
- **weitergehende Maßnahmen erforderlich**

# Phosphorelimination II

## Wirksamkeit und Kosten von Maßnahmen im Bereich der AR

Maßnahme	Bemerkung	Wirksamkeit	Kostenschätzwerte für diese Studie
Bio-P	nur bei geringen Anforderungen an die Ablaufkonzentration, Kläranlagen < 10.000 EW	$C_P = \text{max. } 2 \text{ mg/l im Sommer}$ $C_P = 5\text{-}6 \text{ mg/l im Winter}$	<b>0,5 €/kg P</b>
Fällung/Flockung	bei mittleren Anforderungen an die Ablaufkonzentration, Kläranlagen aller Größenordnungen	$C_P = 0,3 \text{ bis } 1 \text{ mg/l}$	<b>5 €/kg P</b> für Anlagen < 10.000 EW <b>4 €/kg P</b> für Anlagen > 10.000 EW
Flockungsfiltration	bei strengen Anforderungen an die Ablaufkonzentration, größere Kläranlagen, bei sehr empfindlichen Gewässern auch bei kleineren Anlagen	$C_P = \text{ca. } 0,15 \text{ mg/l}$	<b>100 €/kg P</b> für Anlagen < 25.000 EW <b>80 €/kg P</b> für Anlagen < 50.000 EW <b>60 €/kg P</b> für Anlagen < 500.000 EW <b>40 €/kg P</b> für Anlagen > 500.000 EW

Schmitt et al (TU Kaiserslautern): Empfehlungen zur Umsetzung der EG-WRRL /2008/

# Phosphorelimination III

## Wirksamkeit und Kosten von Maßnahmen im Bereich der MW-Behandlung

Maßnahme	Bemerkung	Wirksamkeit	Kostenschätzwerte für diese Studie
Abflussvermeidung	Entsiegelung oder Versickerung Hauptziel: hydraulische Entlastung eines Kanalnetzes Kostenspanne sehr groß bis in den Bereich eines Kostengewinns	100% * Anteil Fläche	0 €/kg P
Straßeneinlauffilter	andere Ziele (z.B. Schadstoffelimination) vorrangig	13% der Mischwasserentlastungsfracht * Anteil Fläche	9.900 €/kg P
Fremdwasserreduzierung	Hauptziele: Verringerung Entlastungsrate RÜB, Rückstau im Kanalnetz, Abwasserabgabe, Erhöhung Abwassertemperatur sehr große Kostenspanne	0,2 bis 2,0 kg/a pro l/s reduziertes Fremdwasser	8.000 €/kg P
Optimierung der Drosselabflüsse	Schmutzfrachtberechnung ergibt Wirksamkeit	0 bis 30%	8 €/kg P
Kanalnetzbewirtschaftung	nur bei großen, flachen Kanalnetzen	0 bis 40%	1.000 €/kg P
Regenbecken	Regenüberlaufbecken oder Stauraumkanäle	0 bis etwa 0,2 kg P/ (m³*a) 70% mit großer Spannweite	250 €/kg P
Siebe und Rechen im Regenbeckenüberlauf	weitergehende Behandlung des RB-Überlaufs, Wirksamkeit abhängig von vorliegender Form des Phosphors	10% des gesamten Phosphors zusätzlich zu dem Phosphor, der durch das Regenbauwerk zurückgehalten wird	1.000 €/kg P
Retentionsbodenfilter	weitergehende Behandlung des RB-Überlaufs Elimination einer Vielzahl von Stoffen	0,021 (kg/m³*a) ca. 70%	500 €/kg P
Vegetationspassage	weitergehende Behandlung des RB-Überlaufs, Elimination einer Vielzahl von Stoffen eigene Abschätzung	max. 40%	110 €/kg P

# Herausforderungen in der Zukunft

# Rückgewinnung von Nährstoffen

Phosphor ist ein endlicher Wertstoff, der derzeit in den Kläranlagen 'eliminiert' wird

**Es existieren Verfahrenstechnologien, bei denen bis zu 90% des Phosphors rückgewonnen werden können:**

Stoffstrom	Verfahren	Recyclingpotenzial		Substitutions-	Bemerkungen
		% P <sub>Zulauf</sub>	t P/a	potenzial %Düngemittleinsatz	
Abwasser	Nachfällung	42	21 000	17	> 50 000 E, keine P-Elimination im Vorfeld
Faulschlamm	Laugung und Fällung	40	24 500	20	> 20 000, derzeit keine großtechnische Anwendung
Prozesswässer Schlammbehandlung	Rücklösung und Fällung	40	24 500	20	> 20 000 E, biologische P-Elimination, Metallsalzfällung nur als Sicherheitsfällung
<b>Klärschlammasche</b>	Laugung und Fällung	90	54 000	44	Anwendung nur für große Anlagen der Monoverbrennung, komplexe Anlagentechnik

Bis zu 50% des Düngemittelbedarfs kann hierüber gedeckt werden

**aber: Verfahren noch sehr teuer**

(ca. 5 – 10 €/kg P >> Kosten Diammoniumphosphat mit 1 €/kg )



# Medikamentenrückstände I

**Großteil der aufgenommenen Wirkstoffe in Medikamenten werden direkt oder als Metaboliten wieder ausgeschieden (v.a. über Urin)**

- Röntgenkontrastmittel: 90 – 100% über Urin
- i.M. ca. 65% der Arzneimittelrückstände im Urin

In konventionellen Kläranlagen werden Medikamentenrückstände nur zum Teil abgebaut

Arzneistoffe	Kläranlagen-Ablauf-Konzentration [µg/l]	Rückhalt in Kläranlagen [%]
Acetylsalicylsäure	0,29 – 0,92	81
Clofibrinsäure	< BG – 4,55	6 bzw. 51
Bezafibrat	0,29 – 4,8	75 - >95
Diclofenac	> 0,10 – 10,0	15 – 69
Phenazon	0,042 – 0,13	33
Ibuprofen	< 0,05 – 3,7	90 – 99
Carbamazepin	0,92 - 22,0	kein Rückhalt bzw. max 10
Iopamidol	0,59 – 9,4	k. A.

**In fast allen Fließgewässern und ca. 10% der Grundwassermessstellen in Deutschland sind Arzneimittel nachweisbar**

# Medikamentenrückstände II

Es existieren Technologien, mit denen Arzneimittelrückstände sehr weitgehend aus dem Abwasser entfernt werden können:

z.B. Ozonierung, Einsatz von Aktivkohle



**aber:**

- Verfahren sehr teuer (und z.T. sehr energieintensiv)
- Entstehung von Metaboliten (z.B. bei Ozonierung): Abbauprodukte, deren Wirkung nicht bekannt ist
- Eintrag über Regenentlastungen in Gewässer unverändert

# Zusammenfassend

**Herausforderungen der Zukunft können mit konventionellen Technologien nur mit erheblichem (technischem und finanziellen) Aufwand begegnet werden**

Zusätzliche Herausforderungen, wie z.B:

- Klimawandel
- Demographische Entwicklung

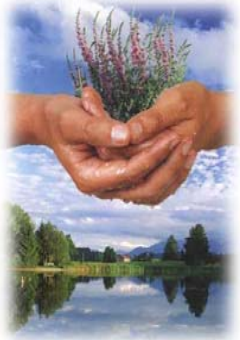
→ **Ggf. strukturelles Umdenken erforderlich ('Paradigmenwechsel')**

# Möglicher Beitrag von Systemen mit Stoffstromtrennung

# Systeme mit Stoffstromtrennung

## ecosan/DeSaR/NASS

(ecological sanitation / Decentralized Sanitation and Reuse / Nachhaltige Sanitärkonzepte)



- Verständnis von Abwasser als Energie- und Nährstoffquelle
- Getrennte Sammlung und Behandlung unterschiedlicher Abwasserfraktionen
- Dezentrale Behandlung am Anfallort

→ Schließung von Wasser- und Stoffkreisläufen

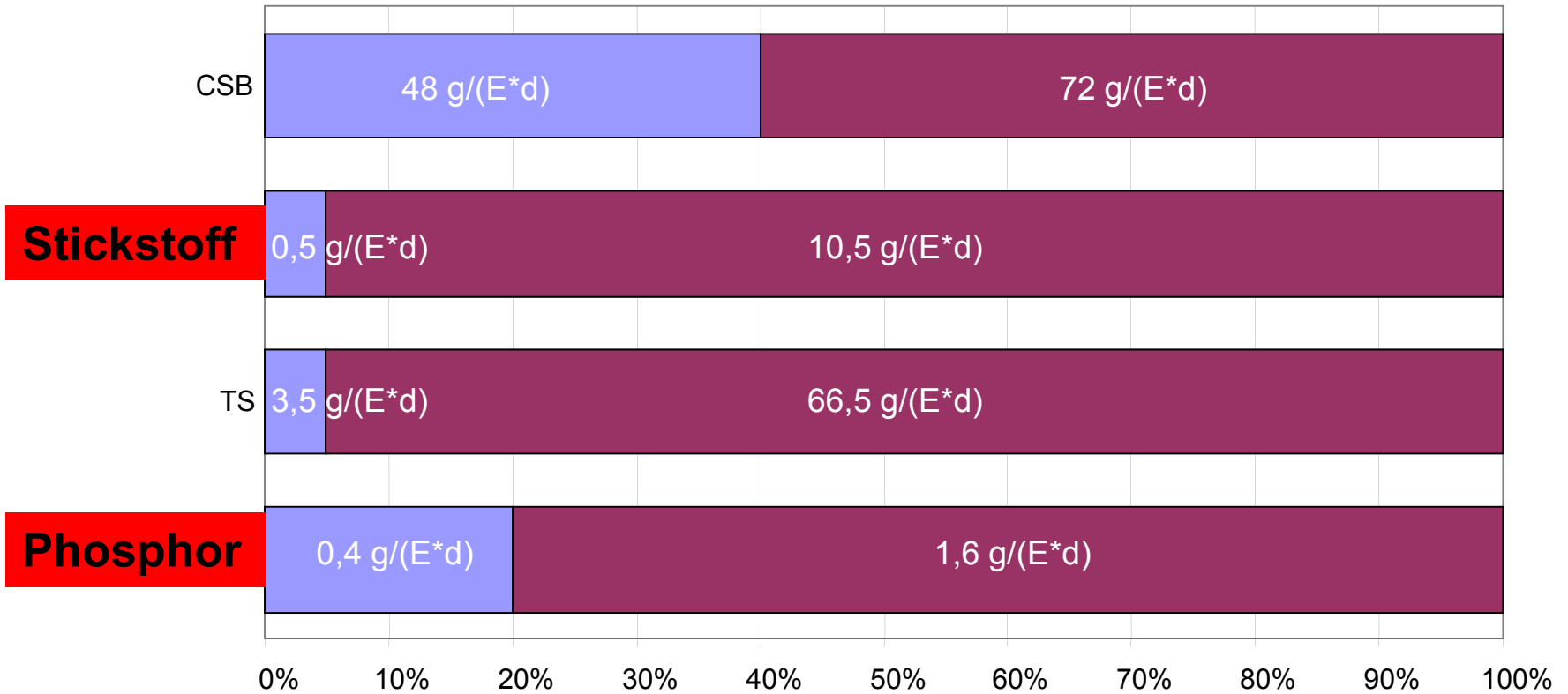


## Abwasserfraktionen

- **Schwarzwasser** (Gelbwasser + Braunwasser):  
Abwasser aus Toiletten:  
ca. 30...40 l/(E\*d)
- **Grauwasser**:  
Abwasser aus Duschen, Handwaschbecken, Küche,  
Waschmaschine:  
ca. 90...100 l/(E\*d)

# Abwasserfraktionen II

Zusammensetzung von Grauwasser  
und Schwarzwasser



# Auswirkungen auf bestehende Systeme

Nachfolgende Abbildungen sind dem Vortrag 'Welche Auswirkungen haben alternative Sanitärkonzepte auf bestehende Systeme?', Hansen, Knerr, Hönerloh /2007/ entnommen

# Szenarien I

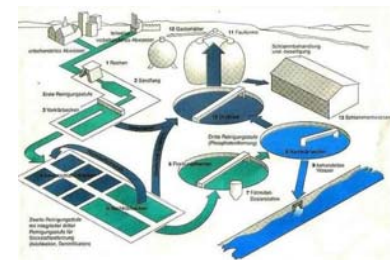
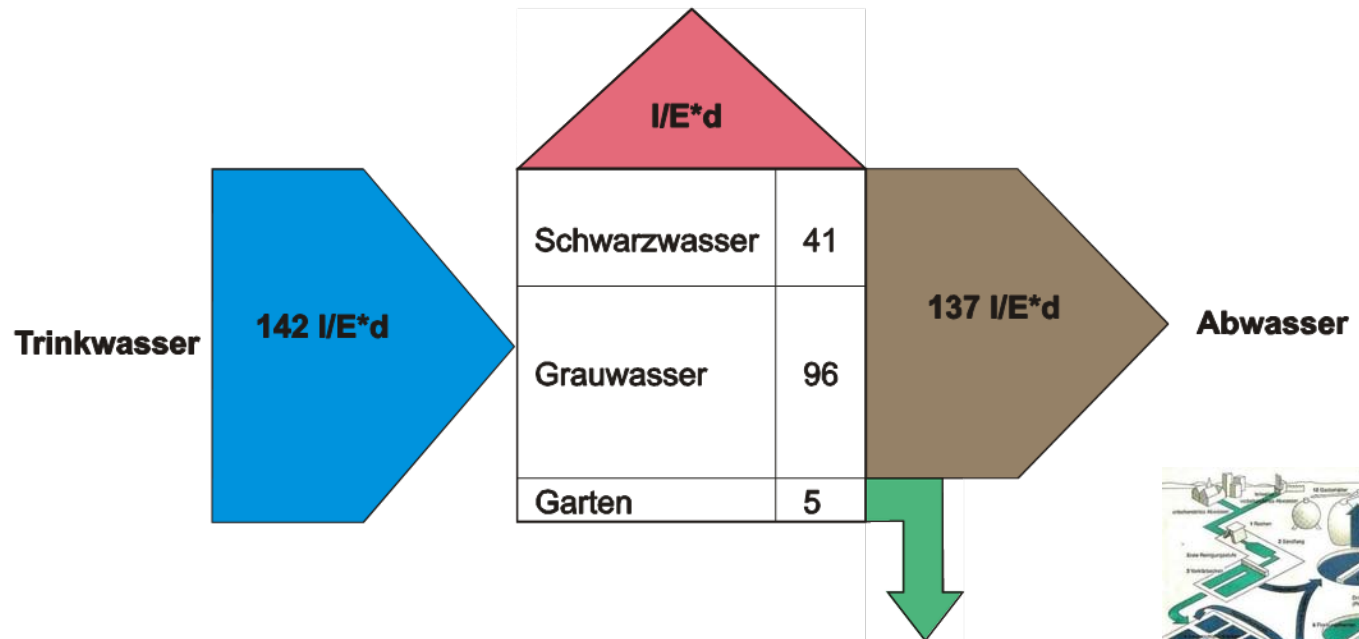
## Analyse von Szenarien

- Szenario 1: **Schwarzwasserseparation**  
Grauwasser zur Kläranlage
- Szenario 2: **Grauwasserseparation**  
Schwarzwasser zur Kläranlage
- Szenario 3: **Urinseparation**  
Grau- und Braunwasser zur Kläranlage
- Szenario 4: **Braunwasserseparation**  
Grauwasser und Urin zur Kläranlage

→ Keine rein theoretischen Szenarien; Umsetzung in Modellprojekten (Novaquatis, Flintenbreite, KOMPLETT,...)

# Szenarien II

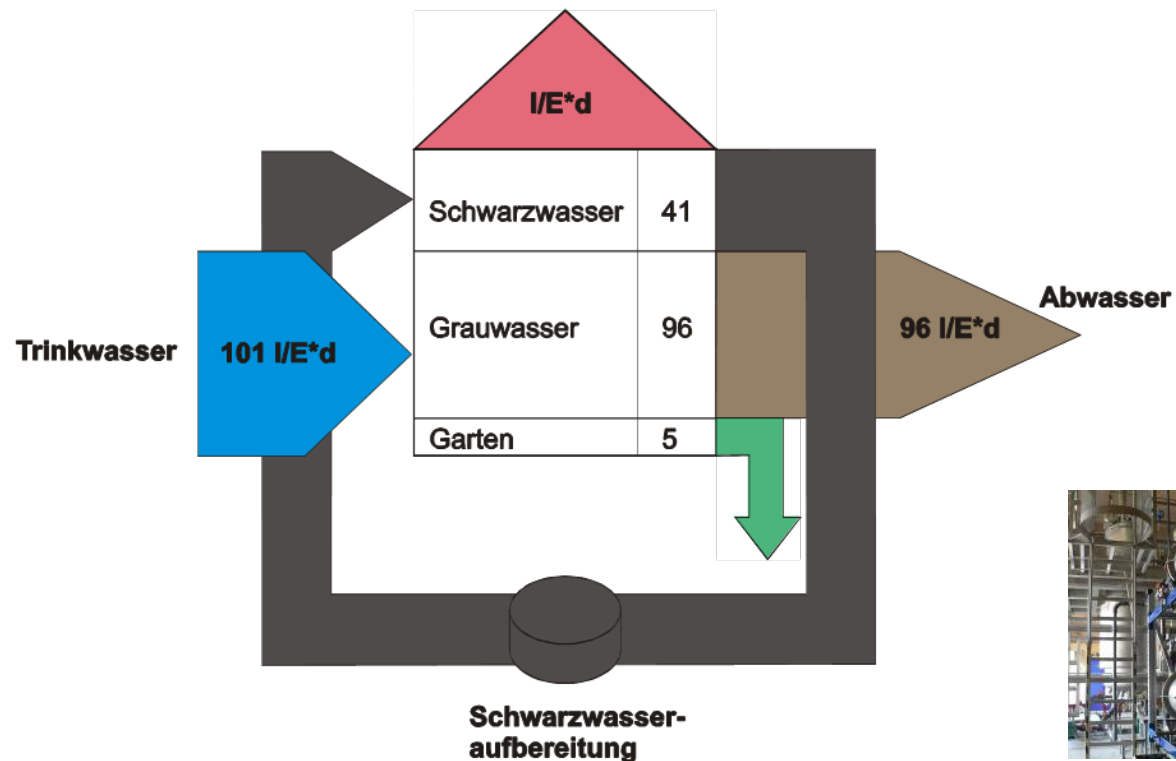
## IST-Zustand



Beispielhafte Untersuchungen:  
Urin- und Schwarzwasserseparation

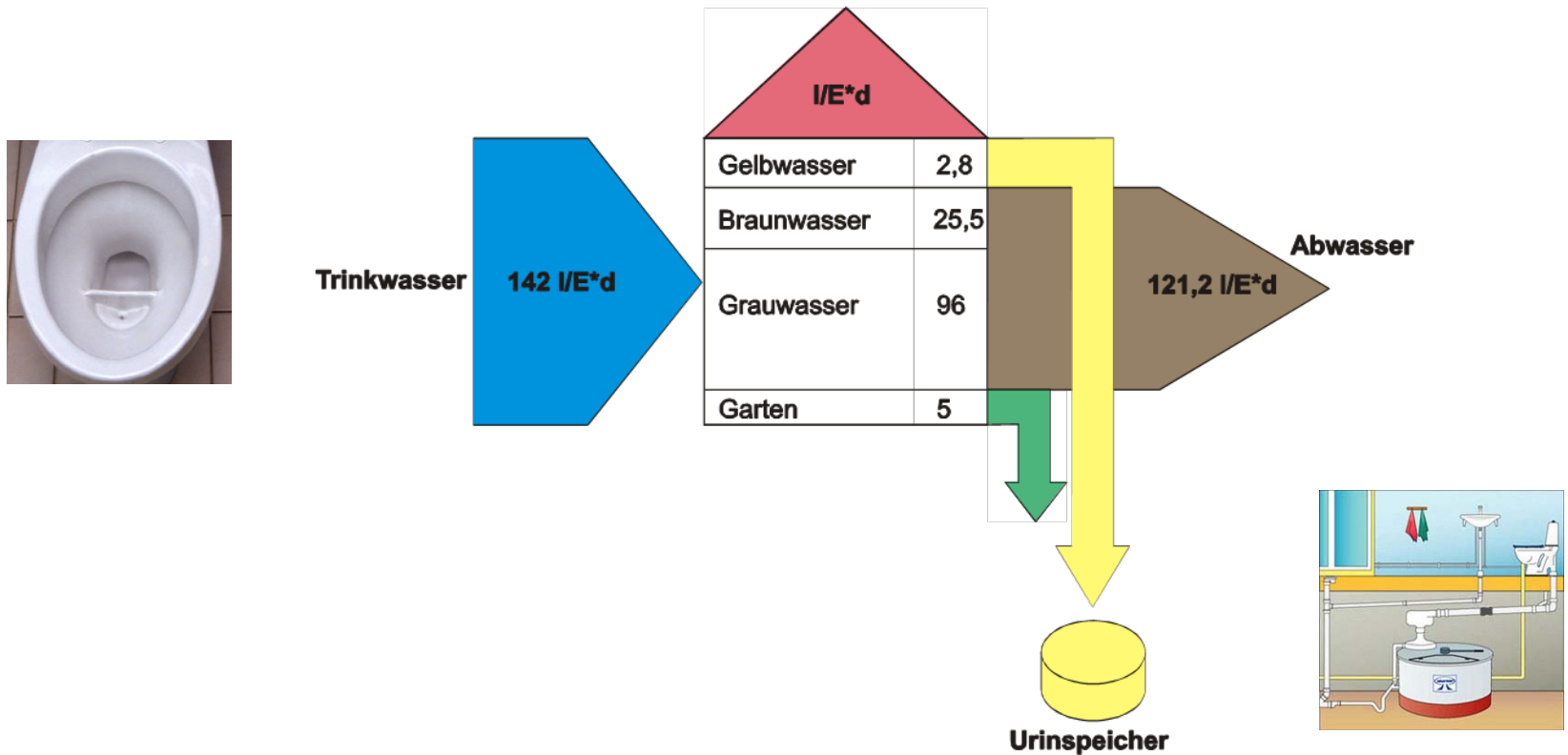
# Szenarien II

## SchwarzwassereSeparation



# Szenarien III

## Urinseparation

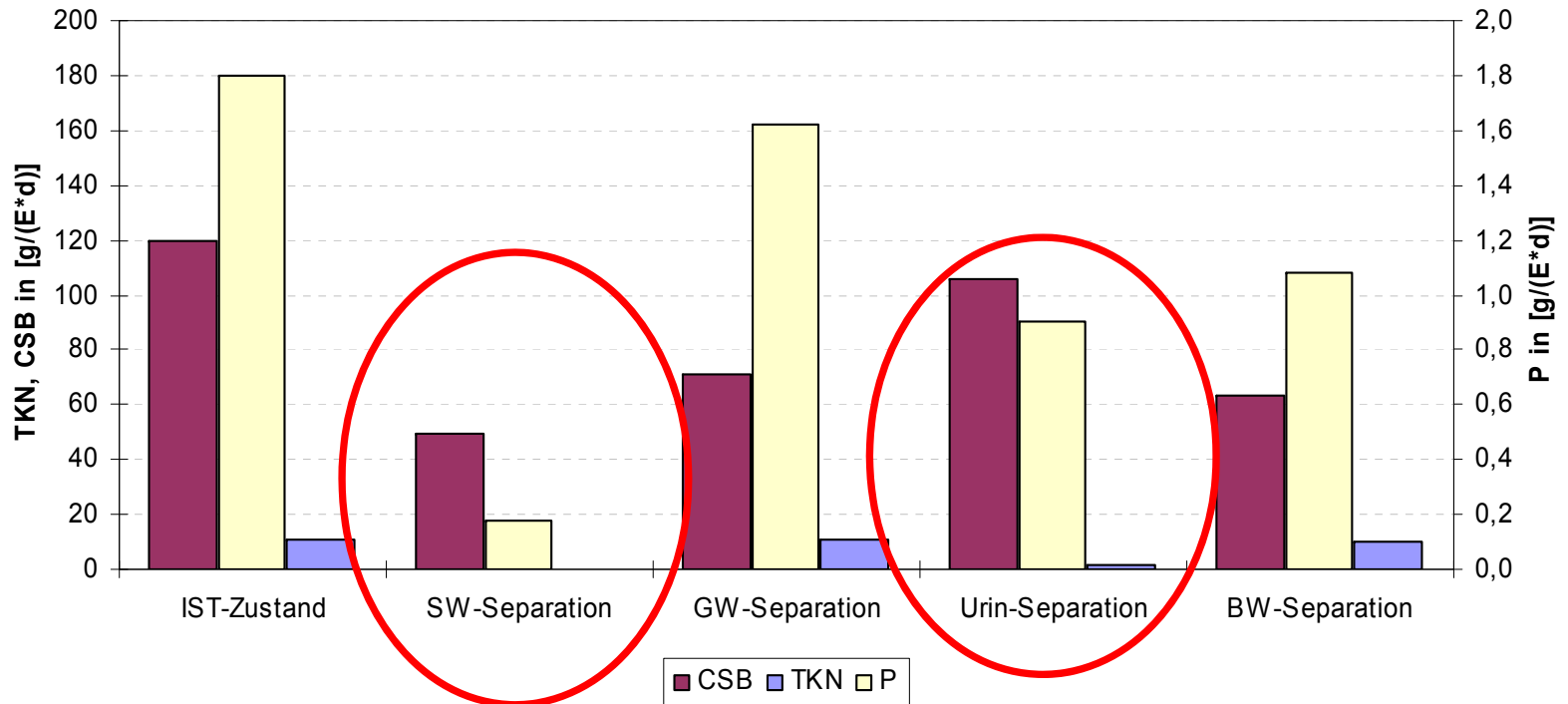


# Auswirkungen auf die Abwasserreinigungsanlage

# Auswirkungen I

## Auswirkungen auf Frachten zur KA

Einwohnerspezifische Frachten zur KA



# Auswirkungen II

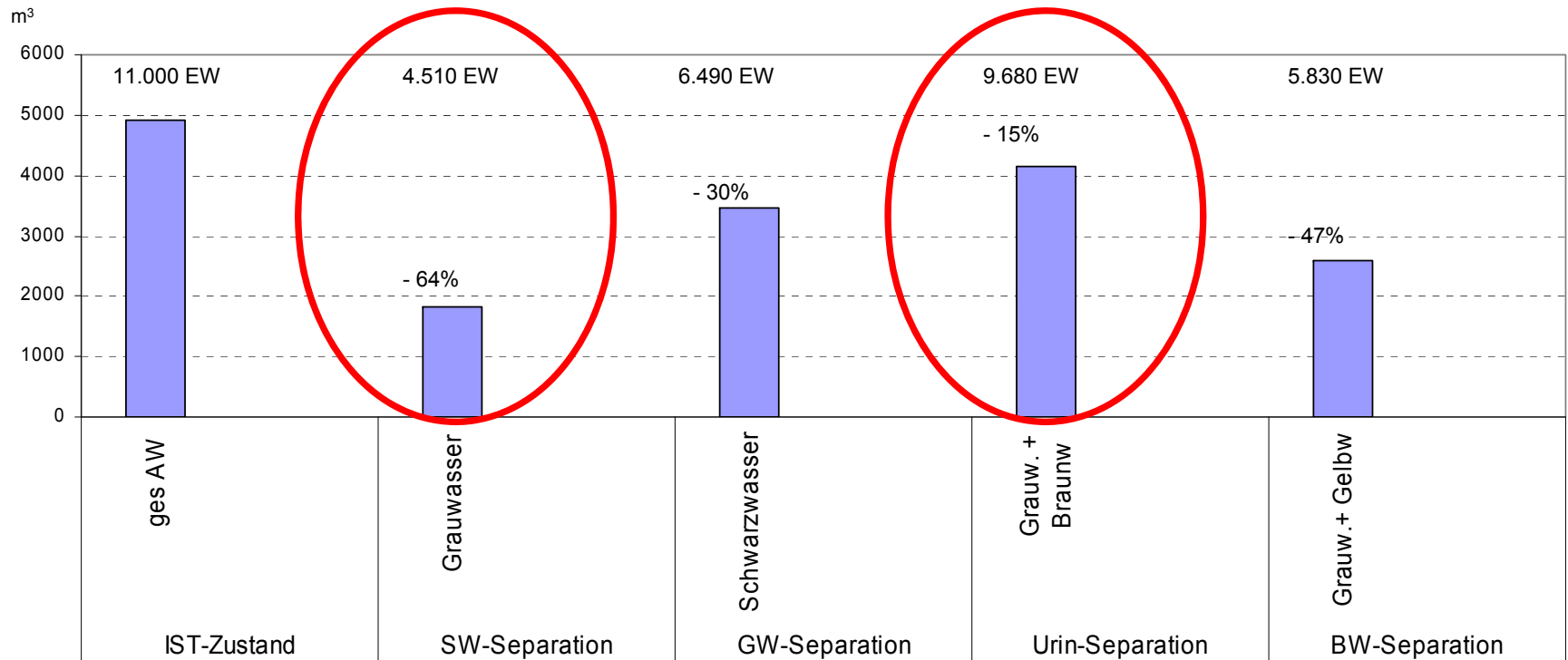
## Fallbeispiel

- Aerobe Stabilisierungsanlage für 11.000 EW
- bemessen auf Schlammalter von 25 d
- Einwohnerspez. Frachten nach ATV A131



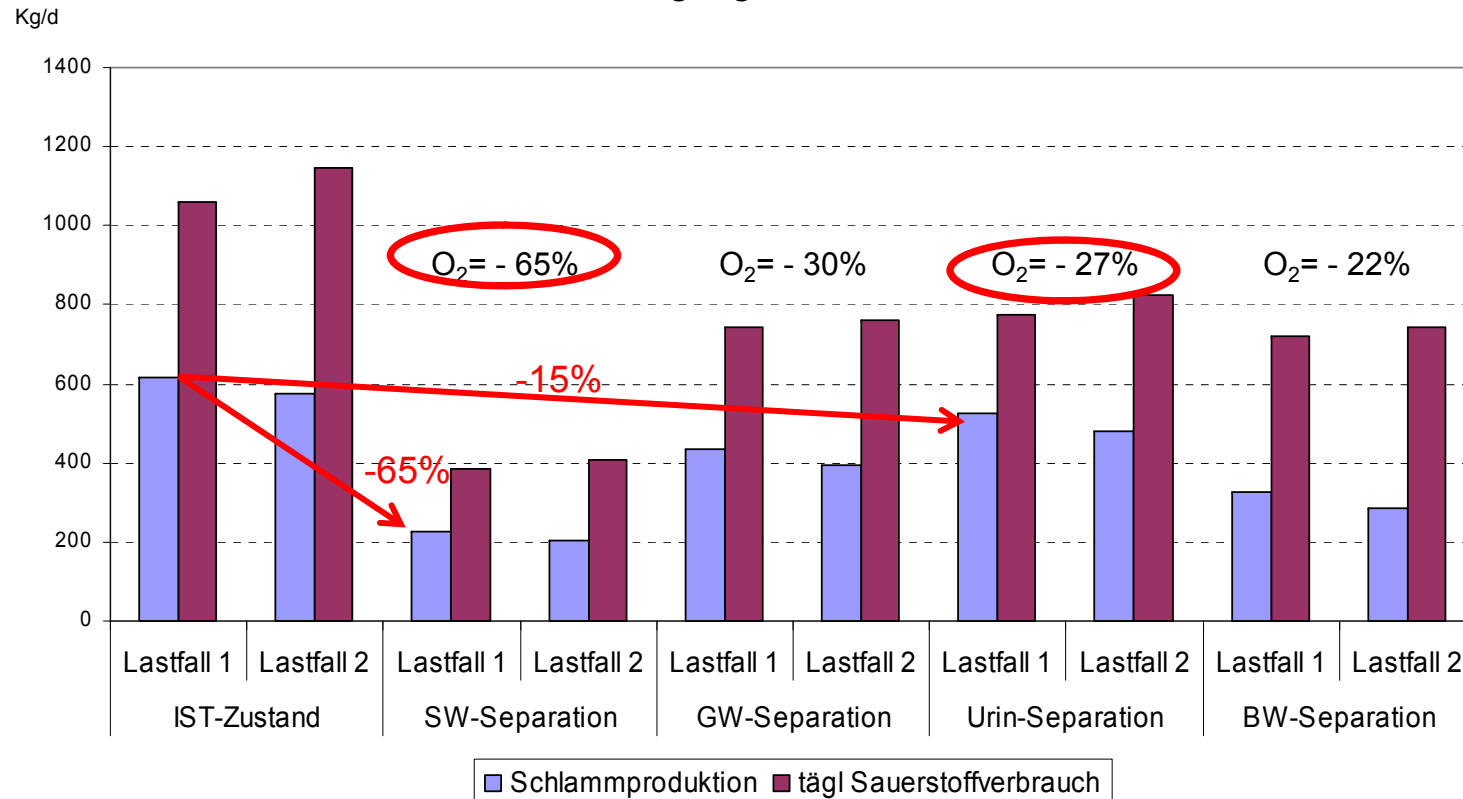
# Auswirkungen III

Gegenüberstellung der erforderlichen Belebungsbeckenvolumina  
Anlagengröße 11.000 EW



# Auswirkungen IV

Gegenüberstellung der täglichen Schlammproduktion und des Sauerstoffbedarfs  
Anlagengröße 11.000 EW



## Fazit : Kläranlage

### ▪ Schwarzwasserseparation

N-Mangel: Dosierung erforderlich

erhebliche Verminderung  $V_{BB}$  (-65%)

Drittelerung des  $O_2$ -Bedarfes und des Schlammanfalls

**Phosphor wird komplett in Schlamm eingebunden**

### ▪ Urinseparation

Verminderung  $V_{BB}$  (-15%)

Stickstoff wird komplett in Schlamm eingebunden

Verminderung des  $O_2$ -Bedarfes (27%) und ÜS-Anfall (15%)

Verminderung FM-Bedarf um 90%

**P-Rückgewinnung effektiv möglich**

# Sonstige Auswirkungen

- **Kanalisation**

außer bei Urinseparation erhebliche Verminderung der Fließgeschwindigkeit und damit der Schleppspannung bei TW: **Ablagerungsgefahr!** Spülen erforderlich!

- **MW-Entlastungen**

bei Separation von Urin und/oder Fäkalien:

**erhebliche Verminderung der hygienischen Belastungen sowie des Eintrags von anthropogenen Spurenstoffen**

bei Separation GW: Verminderung des Eintrags org. Belastungen während Entlastungsereignissen

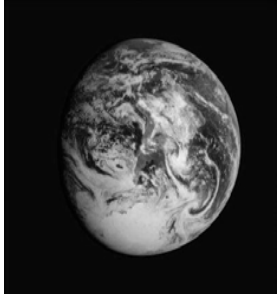
- **Spurenstoff**

bei Separation von Urin/Schwarzwasser:

**deutliche Verminderung des Eintrags von anthropogenen Spurenstoffen**

# Fazit

# Fazit I



- Systeme mit Stoffstromtrennung können Beitrag zur Lösung von stofflichen Problemen leisten
- Insbesondere Urin- und Schwarzwassereparation mit positiven Auswirkungen
- Vollständiger Ersatz von bestehenden Infrastrukturen (Kanalisation, Bauwerke im Netz, Kläranlagen etc.) jedoch nicht leistbar und sinnvoll

## Kurz- und mittelfristig:

→ Einsatz bei 'Problemfällen' (vgl. Beispielszenarien)

## Langfristig:

→ sukzessive Ergänzung der konventionellen Systeme in Abhängigkeit von der vorhandenen Struktur sowie den Defiziten (vor dem Hintergrund Klimawandel, demographischer Entwicklung)

# Fazit II



## Beispielszenarien:

- (1) **Minimierung der Phosphoreinträge; -Rückgewinnung**  
Urin- bzw. Schwarzwasserseparation
- (2) **Minimierung des Eintrags von Spurenstoffen**  
Urin- bzw. Schwarzwasserseparation; Ozonierung bzw. A-Kohle-Filtration des (hochkonzentrierten) Teilstroms
- (3) **Erzielung von Badewasserqualität (Keime)**  
Braun- bzw. Schwarzwasserseparation
- (4) **Weiterbetrieb von Kläranlagen mit spez. stofflichen Problemen ohne zusätzlichen Ausbau**  
z.B. Stickstoffelimination



## Zukunftsfähige Abwasserwirtschaft

...sollte auf zwei Säulen beruhen:

- (1) **Optimierte konventionelle Systeme**
- (2) **„nachhaltige“ Systeme mit Stoffstromtrennung**

Hemmnisse in den Bereichen Organisationsformen, Betrieb der dezentralen Anlagen, Überwachungsmodalitäten etc. müssen abgebaut werden

**→ für Aufgaben und Herausforderungen der Zukunft gerüstet!**

