
Nutzen und Wert von Produkten aus neuartigen Sanitärsystemen

Dr.-Ing. Heinrich Herbst

Grontmij Deutsche Projekt Union GmbH



PD Dr. rer. nat. Joachim Clemens

gewitra GmbH



NASS-Tage

Neuartige Sanitärsysteme - Neue Wege zum Umgang mit Abwasser

Weimar, 3./4. März 2010





Einleitung

- ▶ NASS bedeutet eine Vielzahl von Systemen
- ▶ Input in NASS kommt nur aus relativ definierten Quellen (z. B. nur aus Haushalten)
- ▶ Herkunft der Schadstoffe bekannt:
 - ▶ Braun/Schwarz/Gelbwasser: Ernährung, Medikamente
 - ▶ Grauwasser: Waschmittel
- ▶ Output aus NASS wird als Produkt angesehen
 - ▶ eine Vielzahl an Produkten ist möglich
- ▶ Input in konventionelles System ist nicht näher definiert
- ▶ Output aus konventionellen System
 - ▶ kann nur in Teilen als Produkt genutzt werden





Justus von Liebig „Landwirtschaft und Canalisation der Städte (1876)“

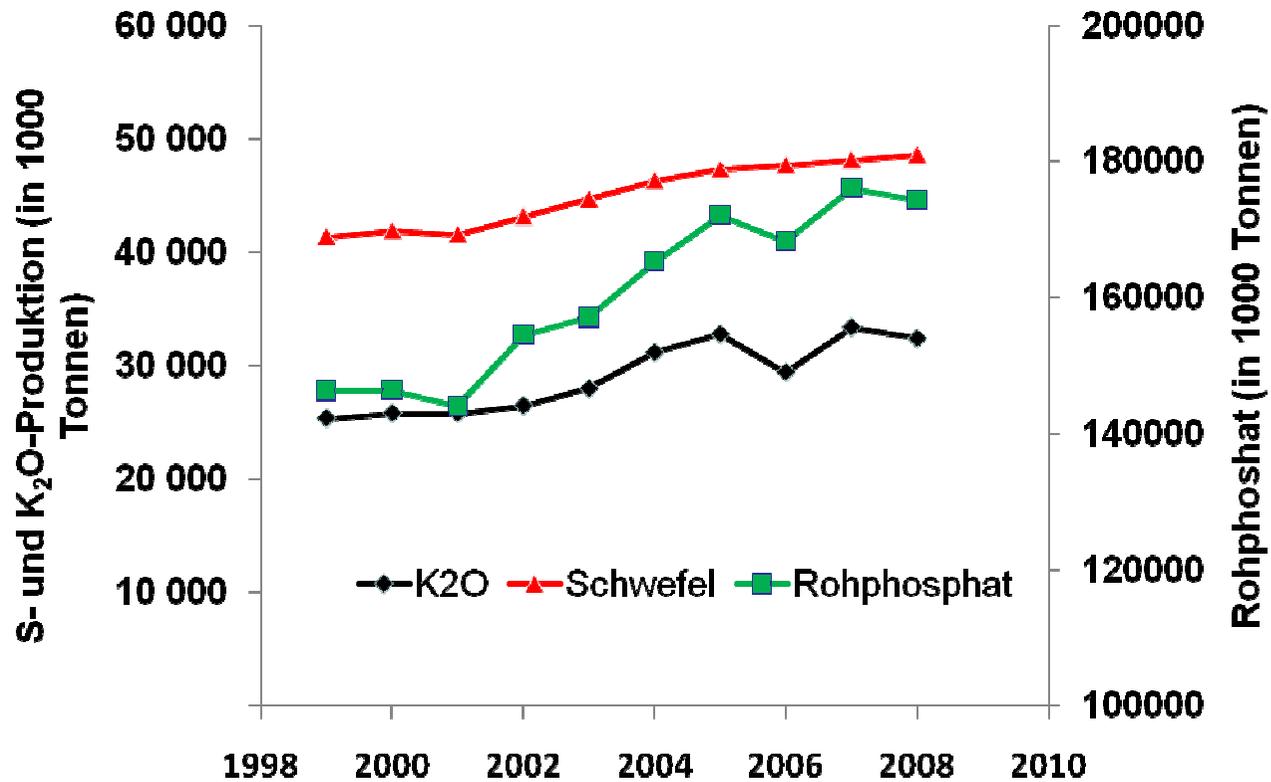


- ▶ „Würden zu dem täglichen Beitrag, der sich in London ergebenden Canalflüssigkeit... 75 Tonnen Phosphorsäure... hinzugefügt ...so erhielte man eine Mischung, die 2.650 Tonnen Stalldünger und 652 Tonnen Perugano entspricht.“
- ▶ „...wird es nöthig sein, diesselbe (hier: die Canalflüssigkeit) dahinzuleiten, nämlich auf das platte Land, wo sie unmittelbare Verwendung finden kann...“
- ▶ „Voraussichtlich werden Einrichtungen dieser Art....grosse Summen kosten,... Allein einmal muss dies geschehen (um die Landwirtschaft weiter zu betreiben)“





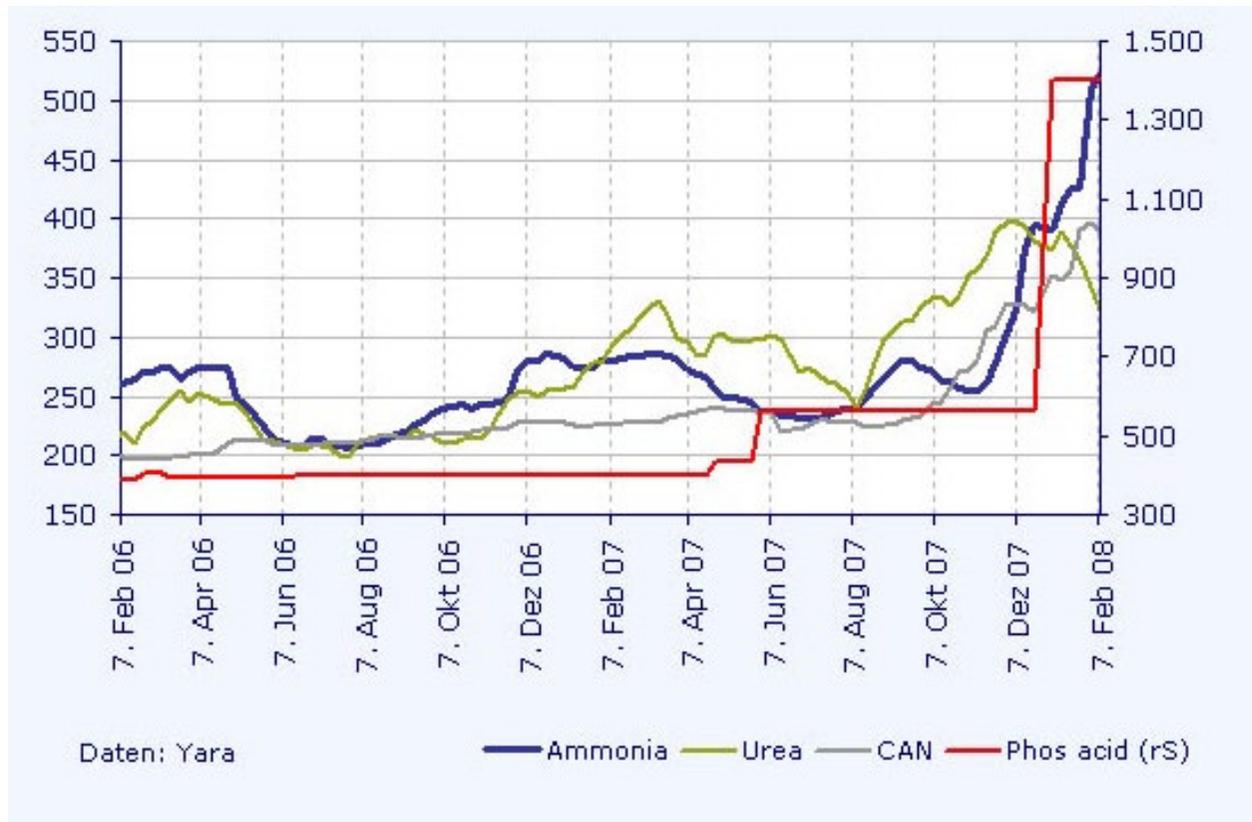
Düngemittelproduktion



- ▶ jährlicher Anstieg von 3 % (K₂O), 2 % (Roh-P), 1,8 % (S)
- ▶ der Verbrauch an Rohphosphat stagniert nur in den Industriestaaten



Düngemittelpreise (US \$/t)



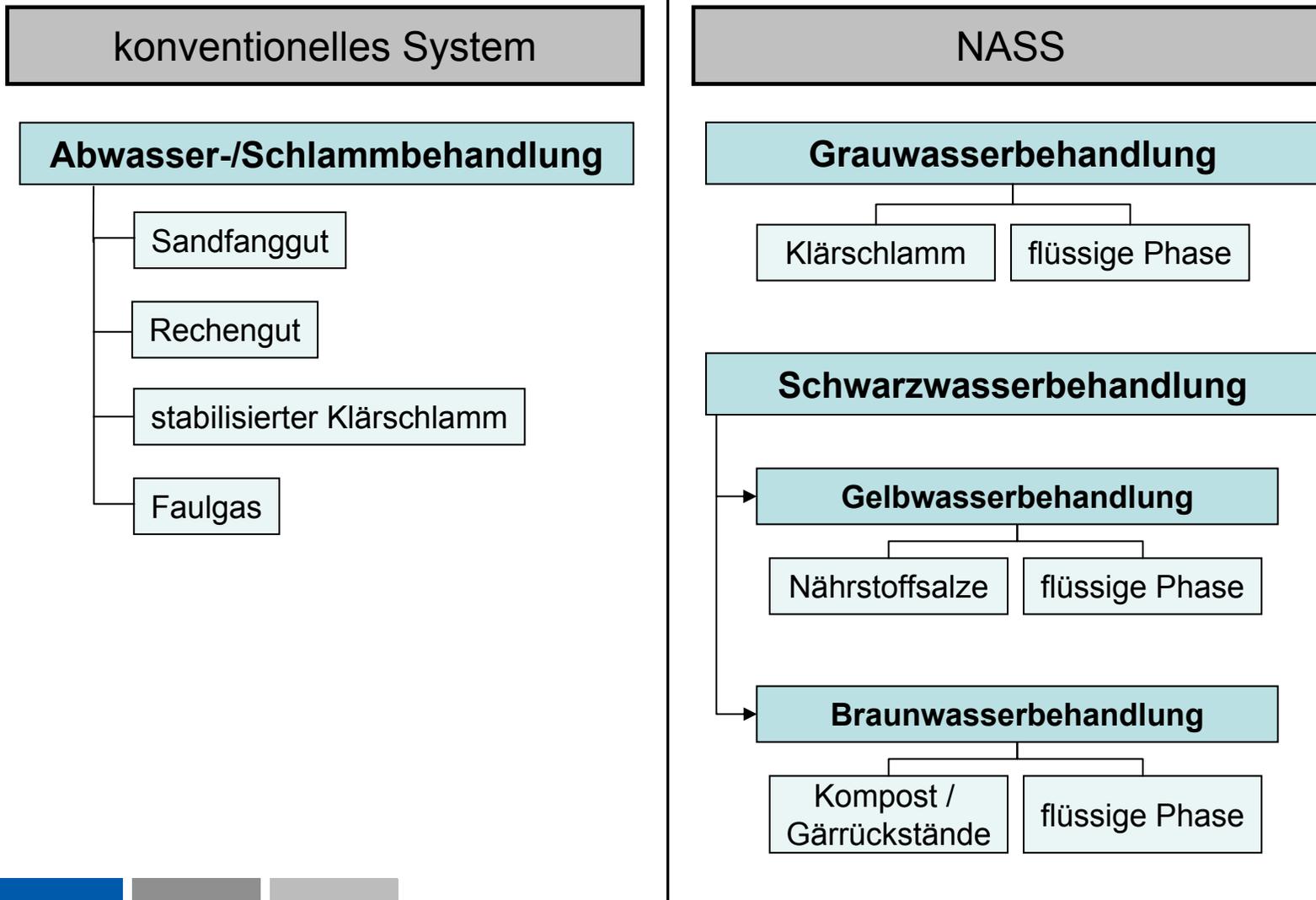
- ▶ Düngemittelpreise korrelieren mit Energiepreisen
- ▶ Preise im Jahr 2009 leicht rückläufig

© FAZ.NET

<http://www.faz.net/s/Rub58BA8E456DE64F1890E34F4803239F4D/Doc~E5C1B423877E04296833BFBE2553FE1BC~ATpl~Ecommon~SMed.html>

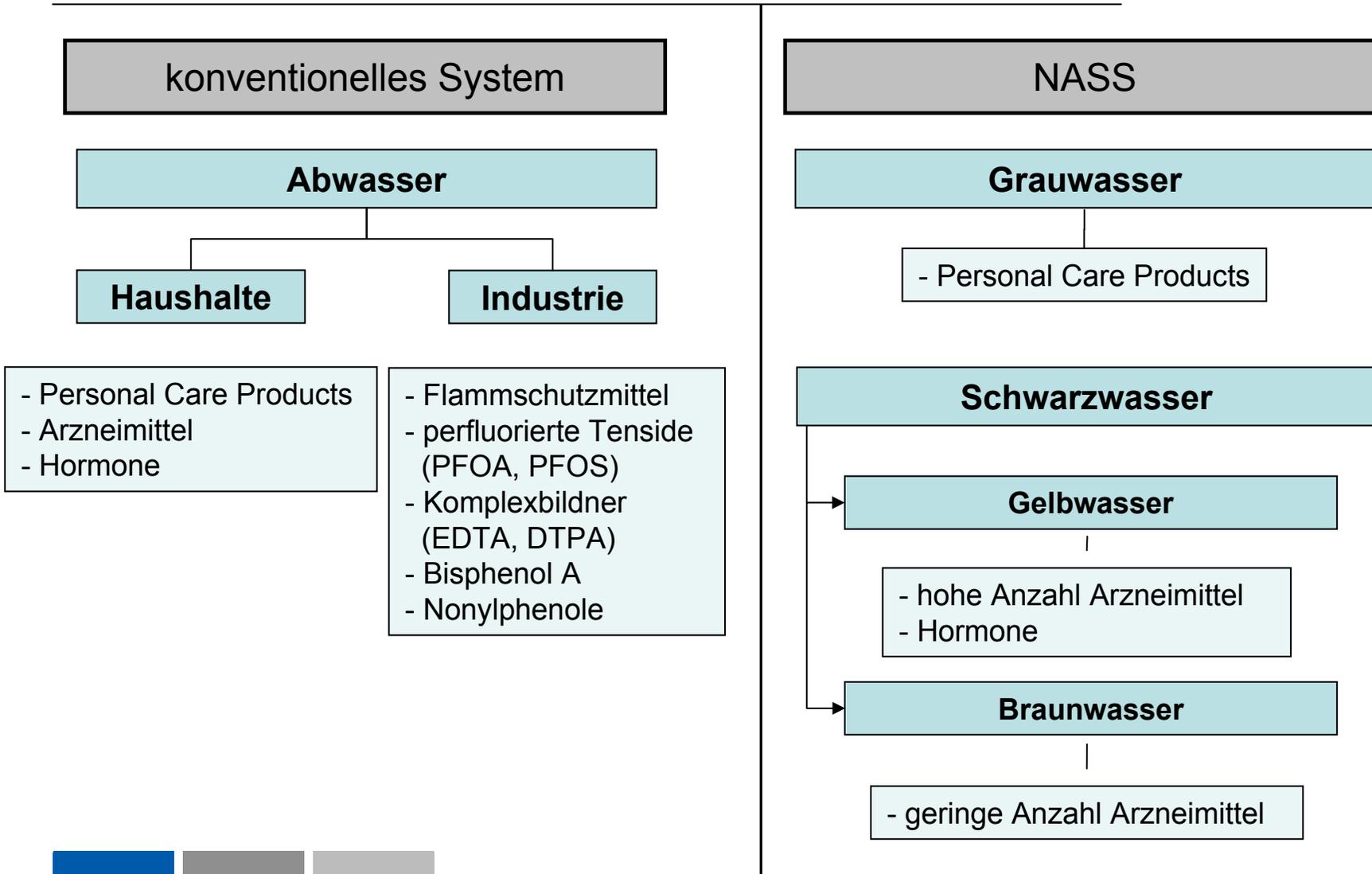


Reststoffe der häuslichen Abwasserbehandlung





Herkunft von Mikroschadstoffen im Abwasser



Nutzen der Reststoffe - konventionellen Systemen



▶ Sandfanggut

- ▶ im Wegebau bei geringer org. Belastung, oder Deponierung
- ▶ Kosten ca. 1,5 €/(E*a)
 - ▶ (Anfall: 6 L/(E*a), Dichte 1,6 Mg/m³ (WAGNER, 2004); Deponie 35-155 €/Mg)

▶ Rechengut

- ▶ Co-Fermentation Nutzen ca. 35 kWh/(E*a) bzw. ca. 5 €/(E*a)
 - ▶ (mit 400-600 L_{Gas}/kg oTS; 6,5 kWh/m³; 90% oTS; 2,6 kWh/kg oTS; 0,15 €/kWh)
- ▶ Kosten Verbrennung ca. 3 €/(E*a)
 - ▶ (Anfall: 22 L/(E*a), 0,6 Mg/m³ (WAGNER, 2004); 13,2 kg TS/(E*a); Kosten Verbrennung 95-480 €/Mg)

▶ Klärschlamm

- ▶ anaerobe Stabilisierung ab Anlagen > 10.000 E (Biogas zur Erzeugung thermischer u. elektrischer Energie)
- ▶ thermische Entsorgung (Mitverbrennung, Monoverbrennung)
- ▶ Kosten ca. 6 €/(E*a)
 - ▶ (ca. 20 kg TS/(E*a); Verbrennung mit 280 €/Mg TR)
- ▶ landwirtschaftliche Nutzung (Landschaftsbau, Landwirtschaft)



NASS - Welche Produkte gibt es?

Stoffstrom	Produkt	Rest
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Schwarzwasser <ul style="list-style-type: none"> ▶ ausgefault: ▶ kompostiert: ▶ Braunwasser <ul style="list-style-type: none"> ▶ ausgefault: ▶ kompostiert: ▶ Gelbwasser <ul style="list-style-type: none"> ▶ unbehandelt ▶ behandelt ▶ Grauwasser <ul style="list-style-type: none"> ▶ schwach belastetes GW: ▶ stark belastetes GW: ▶ Regenwasser <ul style="list-style-type: none"> ▶ nicht behandlungsbedürftiges Regenwasser: 	<p>Schlamm, Biogas Kompost</p> <p>Schlamm, Biogas Kompost</p> <p>Flüssigprodukt Nährstoffsalze</p> <p>hochwertiges Brauchwasser</p> <p>Brauchwasser</p>	<p>Schlammwasser</p> <p>Schlammwasser</p> <p>Restwasser</p> <p>Klärschlamm</p> <p>„konventionelles Abwasser“</p>



Verschiedene Produkte aus NASS

	Realisation	Volumen [l/(E*d)]	CSB [g/l]	N [g/l]	P [g/l]	K [g/l]	S [g/l]
Gärrest Schwarzwasser- behandlung	(+)	8	4,4	1,3	0,19	0,4	0,1
Gärrest Braunwasser- behandlung	(+)	8	3,8	0,2	0,06	0,09	0,02
Kompost Faezes	+	0,2	105	6,8	2,5	3,5	1,0
Kompost Fäkalien	+	0,2	123	17,9	3,8	8	2,3
Grauwasser	++	10,7		0,1	0,05	0,1	0,25
Urin behandelt	+	1,4	5	8,30	0,8	1,9	1,6
Urexit	+	1,4	10	9,1	0,7	5,7	2,5
Struvit	+			60 (g/kg)	130 (g/kg)		
Ammoniumsulfat	+			bis 90			bis 60



Welchen Nutzen gibt es?

- ▶ **Wasser:** 1,5 €/m³ bzw. 0,2 €/(E*d)
(in Anlehnung an Trinkwasserkosten)
- ▶ **Humus:** 0 €/kg (in Deutschland)
- ▶ **Nährstoffe** (spezifische Kosten als Richtwert)

N	1,35 €/kg
P	1,5 €/kg
K	0,5 €/kg
S	0,6 €/kg
- ▶ **Energie (Biogas):** 200 L CH₄/kg CSB bzw. 2 kWh/kg CSB
Strom 0,15 €/kWh
(80% Umsetzung des CSB)

Schwarzwasser



▶ Wertstoffe

Wasser:	2.900	L/(E*a) (Wert = 0)
N:	5,1	kg/(E*a)
P:	0,8	kg/(E*a)
K:	0,6	kg/(E*a)
S:	0,2	kg/(E*a)

▶ **Wert** an Nährstoffen: 6,7 – 7,3 €/ (E*a)

▶ Bemerkungen

- ▶ mineralisch organischer Dünger
- ▶ geringe Nährstoffkonzentration (weniger als Gülle)
- ▶ hohe hygienische Verunreinigung
- ▶ hohe Belastung mit organischen Mikroverunreinigungen

Nutzenpotenzial

– Vergleich Schwarzwasser + Mineraldünger



	Schwarz- wasser	Mineraldünger in Deutschland	Anteil	Wert
	Gg/a	Gg/a	%	Mio. €
N	400	1.785	22	533
P	53	121	44	80
K	106	345	31	53
Summe				666 Mio. €

Annahme: 80 Mio. EW in Deutschland



Nutzenpotenzial

– Vergleich Schwarzwasser + Gülle



	Schwarzwasser	Gülle in Deutschland	Anteil
	Gg/a	Gg/a	%
N	400	1.158	35
P	53	260	20
K	106	1.160	9

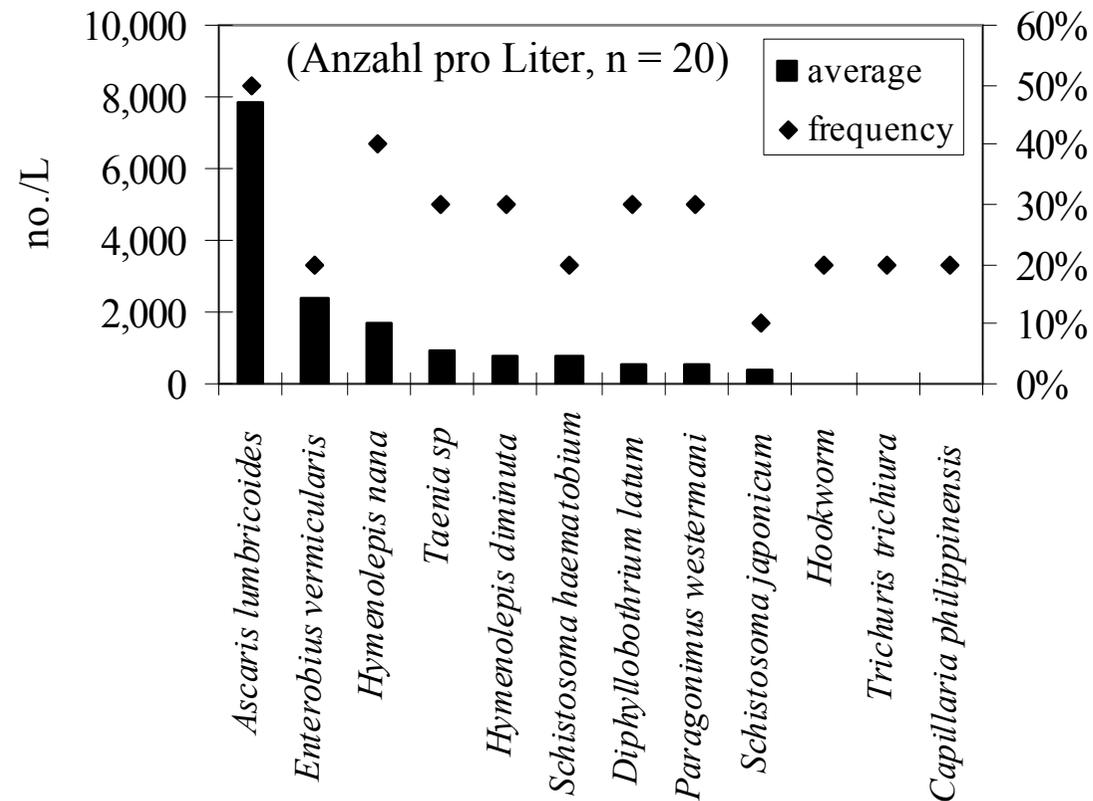
Annahme: 80 Mio. EW in Deutschland

Eurich-Menden, 1997, eigene Berechnungen



Mikroverunreinigungen im Schwarzwasser

- ▶ Hygiene: Helminthen Wurmeier im Schlamm aus Klärgruben in Vietnam
 - ▶ Schlamm ist über mehrere Jahre ausgefault
 - ➔ hygienisch sehr bedenklich



Phi et al, 2010



Nutzen von Schwarzwasser

- ▶ **Kompostierung**
 - ▶ hohe Anteile an Nährstoffen P, N,
 - ▶ Bodensubstrat, da organischer Kohlenstoff
- ▶ **Vergärung**
 - ▶ Biogas ca. 26 kWh/(E*a)
 - ▶ hohe Anteile an Nährstoffen P, N
 - ▶ Bodensubstrat wie Gülle
- ▶ **offene Fragen**
 - ▶ Restabwasserentsorgung
 - ▶ **hygienische Belastung**
 - ▶ **organischen Mikroschadstoffe**



▶ Wertstoffe

Wasser:	2.900	L/(E*a) (Wert = 0)
N:	0,8	kg/(E*a)
P:	0,3	kg/(E*a)
K:	0,1	kg/(E*a)
S:	>0,1	kg/(E*a)

▶ **Wert** als Düngemittel: 1,2 €/ (E*a)

▶ Bemerkungen

- ▶ mineralisch organischer Dünger
- ▶ sehr geringe Nährstoffkonzentration (weniger als Gülle)
- ▶ hohe hygienische Belastung
- ▶ geringe Belastung mit organischen Mikroverunreinigungen



Nutzen von Braunwasser

- ▶ **Kompostierung**
 - ▶ Nährstoffe P, N,
 - ▶ Bodensubstrat
- ▶ **Vergärung**
 - ▶ Biogas ca. 26 kWh/(E*a)
 - ▶ Nährstoffe P, N
 - ▶ Bodensubstrat wie Gülle
- ▶ **offene Fragen**
 - ▶ Restabwasserentsorgung
 - ▶ organische Schadstoffe
 - ▶ hygienische Belastung

Gelbwasser



▶ Wertstoffe

Wasser:	500	L/(E*a) (Wert = 0)
N:	3,8- 4,2	kg/(E*a)
P:	0,4	kg/(E*a)
K:	1,0	kg/(E*a)
S:	0,8	kg/(E*a)

▶ Wert als Düngemittel: 6,7- 7,3 €/(E*a)

▶ Bemerkungen

- ▶ mineralischer Dünger
- ▶ relativ hohe Nährstoffkonzentration (mehr als Gülle)
- ▶ geringe hygienische Belastung
- ▶ **relativ hohe Belastung mit organischen Mikroverunreinigungen**

Beispiel: Urinaufbereitung

- ▶ um die Nährstoffe, die in 1 m³ Urin enthalten sind, aus „Original-Rohstoffen“ herzustellen benötigt man bzw. „spart man ein“:
 - ▶ 188 kg Wasser
 - ▶ 73 kg CO₂Äquivalente
- ▶ zum Vergleich

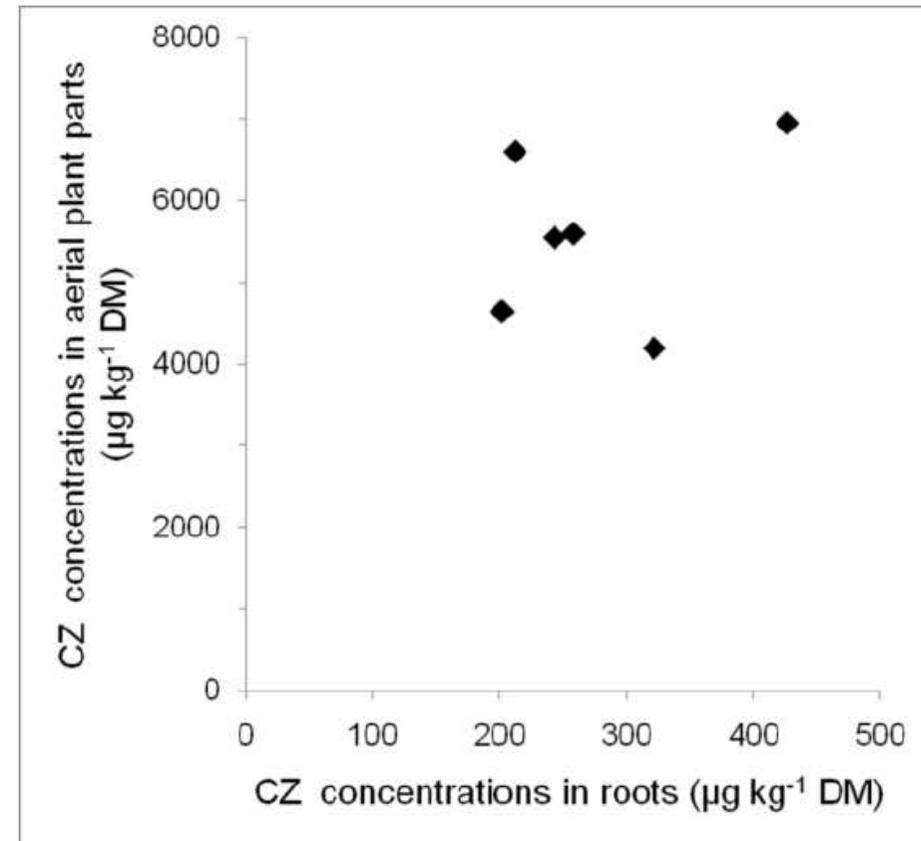
		je kg produziertem Stoff			Einsparung an Aufwendungen der Anteile N,P,K in 1 m ³ Urin
		N	P	K	
Wasser	[Kg H ₂ O/kg]	2,2	8,7	61	188 kg H ₂ O
CO₂ Äquivalent	[Kg CO ₂ Äq/kg]	7,6	1,3	1,2	73 kg CO ₂ Äq

- ▶ für jeden Aufbereitungsschritt des Urins würden entsprechende Aufwendungen erforderlich



Aufnahme von Carbamazepin

- ▶ **Roh-Urin** als Dünger mit **10fach überhöhter** Carbamazepin-Konzentration
- ▶ → Carbamazepinaufnahme im unteren mg-Bereich/kg TS
- ▶ geringes Risiko?





Nutzen des Urin bei indirekter Nutzung

▶ Gewinnung

- ▶ Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP)
- ▶ Wert ca. 480 €/Mg MAP (unhydriert)
- ▶ MAP: geringe Belastung an Schwermetallen, Mikroverunreinigungen

▶ Reststoff

- ▶ (Abwasser) hoch mit Ammonium befrachtet
- ▶ Rückgewinnung durch Strippung
- ▶ Produkt Ammoniumsulfat : Wert 170 €/Mg (8 % N und 6 % S)

▶ offene Fragen

- ▶ Kosten für Fällung und Strippung
- ▶ kaliumreiches Restwasser
- ▶ Mikroverunreinigungen im Restwasser

Differenzierung des Stoffstroms Grauwasser



- ▶ **stark belastetes Grauwasser** (35 L/(E*d))
 - ▶ aus Waschmaschinen,
 - ▶ aus Spülmaschinen und
 - ▶ Küchenabwasser

 - ▶ **schwach belastetes Grauwasser** (40 L/(E*d))
 - ▶ aus Badewannen,
 - ▶ aus Duschen und
 - ▶ aus Handwaschbecken
- **zur Aufbereitung geeignet**
- ▶ Aufbereitungsverfahren abhängig von der Nutzung
 - ▶ je höherwertig die Nutzung desto höher der „Wert“ des Wassers (→ die Kosten der Behandlung)





Grauwasser

▶ Wertstoffe

Wasser:	27.400	l/(E*a)
N:	0,4	kg/(E*a)
P:	0,2	kg/(E*a)
K:	0,4	kg/(E*a)
S:	1,0	kg/(E*a)

- ▶ **Wert** : 20 €/E*a) (in Anlehnung an Trinkwasser u. Recyclingquote 50%)

▶ Bemerkungen

- ▶ als Gesamtstrom nicht nutzbar, nur mit hohem Aufwand
- ▶ Teilstromaufbereitung möglich
- ▶ kaum Nährstoffe enthalten
- ▶ hohe CSB-Belastung
- ▶ **organische Mikroverunreinigungen** (Medikamentenrückstände (medizinischen Salben), Rückstände aus Personal-Care-Products)

Nutzung – Qualitäten - Behandlung

Nutzung von Betriebswasser	nutzungsspezifische rechtliche Anforderungen	Auswahl möglicher Behandlungsverfahren
a) Versickerung oder b) Einleitung in das Gewässer	a) kommunale Satzungen b) Anforderungen der AbwV (ABWV, 2004)	Teichanlage Bodenfilter
Bewässerung	DIN 19650 (DIN 19650, 1999)	Teichanlage, Bodenfilter, Wirbelbettreaktor, Rotationsscheibenkörper, Membranbioreaktor



Bildquelle: Kit Wassertechnik, Huber



Nutzung – Qualitäten - Behandlung

Nutzung von Betriebswasser	nutzungsspezifische rechtliche Anforderungen	Auswahl möglicher Behandlungsverfahren
Toilettenspülung	<ul style="list-style-type: none"> - Berliner Merkblatt „Betriebswassernutzung in Gebäuden“; (BERLIN, 1995) - EU-Badegewässerrichtlinie (RL 76/160/EWG, 1975; RL 2006/7/EG, 2006) 	Teichanlage, Bodenfilter, Wirbelbettreaktor, Rotationsscheibenkörper, Membranbioreaktor
Teilnutzung Waschmaschinen + Geschirrspülmaschinen	keine definierten Anforderungen, daher Rückgriff auf: <ul style="list-style-type: none"> - EU-Badegewässerrichtlinie (RL 76/160/EWG, 1975; RL 2006/7/EG, 2006) - Trinkwasserverordnung (TRINKWV, 2001) 	Privater Bereich Wirbelbettreaktor, Rotationsscheibenkörper, Membranbioreaktor Öffentlicher Bereich Belebung + Nanofiltration, Umkehrosmose, MBR + RO





Nutzen des Grauwassers

▶ Gewinnung

- ▶ nur definierte schwachbelastete Teilströme nutzbar
- ▶ direkte Wärmerückgewinnung möglich

▶ Reststoff

- ▶ „Reststrom“-Grauwasser muss behandelt werden
- ▶ Schlamm der Abwasseraufbereitung muss entsorgt werden

▶ offene Fragen

- ▶ Mikroverunreinigungen im Brauchwasser
- ▶ Festlegung von Qualitäten für unterschiedliche Nutzungen
- ▶ Anforderungen an technische Anlagen



Beispiel Nutzung: Wasch- bzw. Geschirrspülmaschinen



▶ Qualität:

- ▶ RL 76/160/EWG
- ▶ RL 2006/7/EG
- ▶ TrinkwV

▶ Technik:

- ▶ SBR (z.B. Festbettanlage) + UV
- ▶ Membranbiologie + UV
- ▶ Temperatur bei Nutzung > 60 °C oder nur erste Waschgänge

▶ Kosten:

- ▶ wie Nutzung Toilettenabwasser zzgl. UV-Anlage und Einsatzbeschränkung der technischen Anlagen



Bildquelle: Kit Wassertechnik

Regenwasser



▶ Inhaltsstoffe

pH:	5,2 – 7,5 [-]
S:	5,1 – 139 mg/L
Pb:	0,09 – 0,3 mg/L
Zn:	0,04 – 0,5 mg/L
Cu:	0,01 – 0,2 mg/L



- ▶ **Wert:** aufbereitet ähnlich Trinkwasser (1,5 €/m³)

▶ Bemerkungen

- ▶ in Menge und zeitlichem Anfall sehr inhomogen
- ▶ nur schwachbelastetes Regenwasser (z.B. Dachflächen)
- ▶ ggf. hohe Belastung mit Schwermetallen
- ▶ organische Verunreinigungen
- ▶ Schadstoffbelastungen aus der Luft

Bildquelle: Geberit AG

Definition schwach belastetes Regenwasser



- ▶ Herkunft schwach belasteten Regenwassers
 - ▶ **„Dachflächen“**,
 - ▶ mit und ohne üblichen Anteilen an unbeschichteten Metallen wie Kupfer, Zink, Blei. Gründächer, Terrassenflächen, Wiesen und Kulturland (~ Kategorie 1+2+3 in DWA A 138)
 - ▶ **„Hofflächen“**,
 - ▶ PKW-Parkplätze ohne häufigen Fahrzeugwechsel, Garagenzufahrten, wenig befahrene Verkehrsflächen (DTV < 300 Kfz/24h), Gehwege, Radwege (~ Kategorie 4+5 in DWA A 138)
 - ▶ **„Straßen“**
 - ▶ mit DTV 300-5.000 Kfz, wie Anlieger-, Erschließungs- und Kreisstraßen (entspricht Kategorie 6 in DWA A 138)
- ▶ Nutzungen wie aufbereitetes Grauwasser i. d. R. geringerer Behandlungsaufwand



Weitergehende systemische Aspekte

- ▶ **Zusammenführung häuslicher und gewerblicher/industrieller Abwässer**
 - ▶ Schwierigkeiten der Behandlung?
 - ▶ Inhaltsstoffe?
 - ▶ Nutzenpotenziale (derzeit nicht abschätzbar)
 - ▶ Umweltverhalten der Produkte?

- ▶ **technischer Aufbau von Nutzungskaskaden in Abhängigkeit der Siedlungsstrukturen**
 - ▶ Grad der Dezentralisierung von Anlagen
 - ▶ Qualitätssicherung der Anlagen und recycelten Stoffströmen
 - ▶ Ausbringungs-/ Transporttechnik bei geringen Konzentrationen
 - ▶ Akzeptanz der Produkte



Zusammenfassung



- ▶ **NASS-Produkte:** der Wert beträgt jährlich mehrere 100 Mio. €
- ▶ **Schwarzwasser:** „der Wert“ der Nährstoffe ist größer als der der Energie
- ▶ **Gelbwasser:** Struvit und Ammoniakwasser bzw. Ammoniumsulfat sind weitgehend frei von Schadstoffen
- ▶ **Gelb-, Braun-, Schwarzwasser:** bei allen anderen Produkten sind organische Mikroverunreinigungen mit den Nährstoffen vermischt → Forschungsbedarf
- ▶ **Grauwasser / Regenwasser:** die Aufbereitung von Nutzwasser ist technisch problemlos und am Markt verfügbar
- ▶ **Systemdenken** muss erweitert werden → Forschungsbedarf
- ▶ **Kosten-/ Produktakzeptanz des Nutzers**
→ Kommunikationsbedarf



In Anlehnung an Justus von Liebig „Landwirtschaft und Canalisation der Städte (1876)“



- ▶ „...wird es nöthig sein, diesselbe (hier: **die Canalflüssigkeit**) **dahinzuleiten, nämlich auf das platte Land, wo sie unmittelbare Verwendung finden kann...**“
 - ▶ „Voraussichtlich werden Einrichtungen dieser Art (zum Nährstoffrecycling)...grosse Summen kosten.... Allein einmal muss dies geschehen... (um die Landwirtschaft weiter zu betreiben)“
- ➔ Dies gilt nicht nur für die Wiederverwertung der Nährstoffe, sondern auch für evtl. notwendige Schadstoffentfrachtung



▶ Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

▶ Dr.-Ing. Heinrich Herbst

Grontmij Deutsche Projekt Union GmbH
T: +49 221 57402-744
E: heinrich.herbst@grontmij.de

▶ PD Dr. Joachim Clemens

gewitra GmbH
T: +49 228 2667882
E: clemens@gewitra.de