

Improving the Energy Balance of the Urban Water Cycle



# **Energetische Situation der Kläranlagen in NW-Europa**

## **IST-Zustand und Zukunftsperspektiven**

J. Hansen, S. Hien, A. Cornelissen, G. Schutz, I. Hobus, G. Kolisch



# Resultate der INNERS-Benchmarking Studie:

	Energy Balance of the UWC	Thermal energy recovery	Chemical and operat. energy	Enabling implementation
Actions	Inventory of data, models for UBC	Compilation of relevant energy data	<b>Benchmark study: operational energy</b>	Disseminate INNERS results to decision makers
	Identify lack of data for UWC	Feasibility studies on thermal energy	Feasibility studies for improvement of energy balance	Disseminate technical knowledge to future specialists
	Energy balance assessment tool (EBAT)	Implementation of thermal energy systems	Demonstration project on energy neutral WWTP	Study the legal and organisational barriers for implementation
	Development of modules for EBAT (EOS / CO <sub>2</sub> -footprint)		Demonstration project on new sanitation concept	
	Collecting data for EBAT		Pilot: energy online system (EOS)	

**Wieviel Energie benötigen wir auf den Kläranlagen in NW-Europa?**

# Generelle Vorgehensweise:



## Literaturstudie:

Resultate von durchgeführten Energieanalysen

## Fragebogen für Kläranlagenbetreiber

- Abwassercharakteristik
- Aufbau der KA; verwendete Technologien
- Ablaufanforderungen
- Gesamtenergieverbrauch
- Biogas- und Energieproduktion
- Energiepreis
- ....

The screenshot shows a questionnaire form with the following sections:

- Treatment steps**
  - inlet and outlet system/pumping station
    - delivery head difference of altitude [m]
    - total installed power (e.g. pumps, Archimedean screw) [kW]
  - Preliminary treatment**
    - screen:  yes  no
    - sand trap:  yes  no
    - grease trap:  yes  no
    - total installed power for aeration (for the aerogrease trap) [kW]
    - primary settler:  yes  no
    - refeeder tank (for the primary settler) [m<sup>3</sup>]
  - Biological treatment**
    - floating filter:  yes  no
    - contact tank:  yes  no
    - wastewater lagoon:  aerobal  anaerobal
    - activated sludge with aerobic stabilization:  yes  no
    - activated sludge with digestion:  yes  no

	A	B
1	please apply the yearly average values	
2	<b>General information</b>	
3	identification / place / name	[-]
4	year	[-]
5	design capacity (P.E.)	[P.E.]
6	P.E.-calculation	[g/PE d]
7	<b>Wastewater characterization</b>	
8	<b>Influent</b>	
9	quantity	[m <sup>3</sup> per day]
10	BOD <sub>5</sub> -load	[kg/d]
11	COD-load	[kg/d]
12	N <sub>tot</sub> -load	[kg/d]
13	NH <sub>4</sub> -load	[kg/d]
14	P <sub>tot</sub> -load	[kg/d]
15	<b>Effluent</b>	
16	quantity	[m <sup>3</sup> per day]
17	BOD <sub>5</sub> -concentration	[mg /L]
18	COD concentration	[mg /L]
19	surveillance value COD	[mg /L]
20	N <sub>tot</sub> -concentration	[mg /L]
21	surveillance value N <sub>tot</sub>	[mg /L]
22	NH <sub>4</sub> -concentration	[mg /L]
23	surveillance value NH <sub>4</sub>	[mg /L]
24	P <sub>tot</sub> -concentration	[mg /L]
25	surveillance value P <sub>tot</sub>	[mg /L]



## Probleme bei der Datenakquisition

- Plausibilität der Daten → ‚redundante‘ Abfragen erforderlich  
(z.B. Abfrage Energieproduktion / Biogasmenge + Wirkungsgrad BHKW)
- Unterschiedliche Definition für 1 EW  
(z.B. D: 120 g /EW/d; LU: Mittelwert aus 5 Parametern)
- Unterschiedlicher Detaillierungsgrad der Daten; keine Daten aus F und UK → Struktur der Abwasserentsorgung

→ **Plausible Daten für 344 Anlagen (mit unterschiedlicher Detaillierung)**

Zusätzlich: Resultate von durchgeführten Energieanalysen (D, A, CH,...)



**inners**

# **Theoretische Betrachtung zu Energiebedarf und -produktion**



**inners**

# **Wieviel nutzbare Energie steckt im Abwasser?**

# Nutzbarer Energieinhalt im Abwasser und Klärschlamm:

**7,3 m<sup>3</sup> Faulgas/EW/a**  
(mit 65% CH<sub>4</sub>)

**E<sub>th(1K)</sub>: 75 kWh/EW/a**



**E<sub>el</sub>: 153 kWh/EW/a**  
(3.49 kWh/ kg CSB)



t<sub>TS</sub> = 12 d;  
64% oTS



**48 kWh/EW/a**



**17 kWh/EW/a E<sub>el</sub>** ← **η<sub>elekt.</sub> = 35%**

**27 kWh/EW/a E<sub>therm.</sub>** ← **η<sub>therm.</sub> = 55%**





**inners**

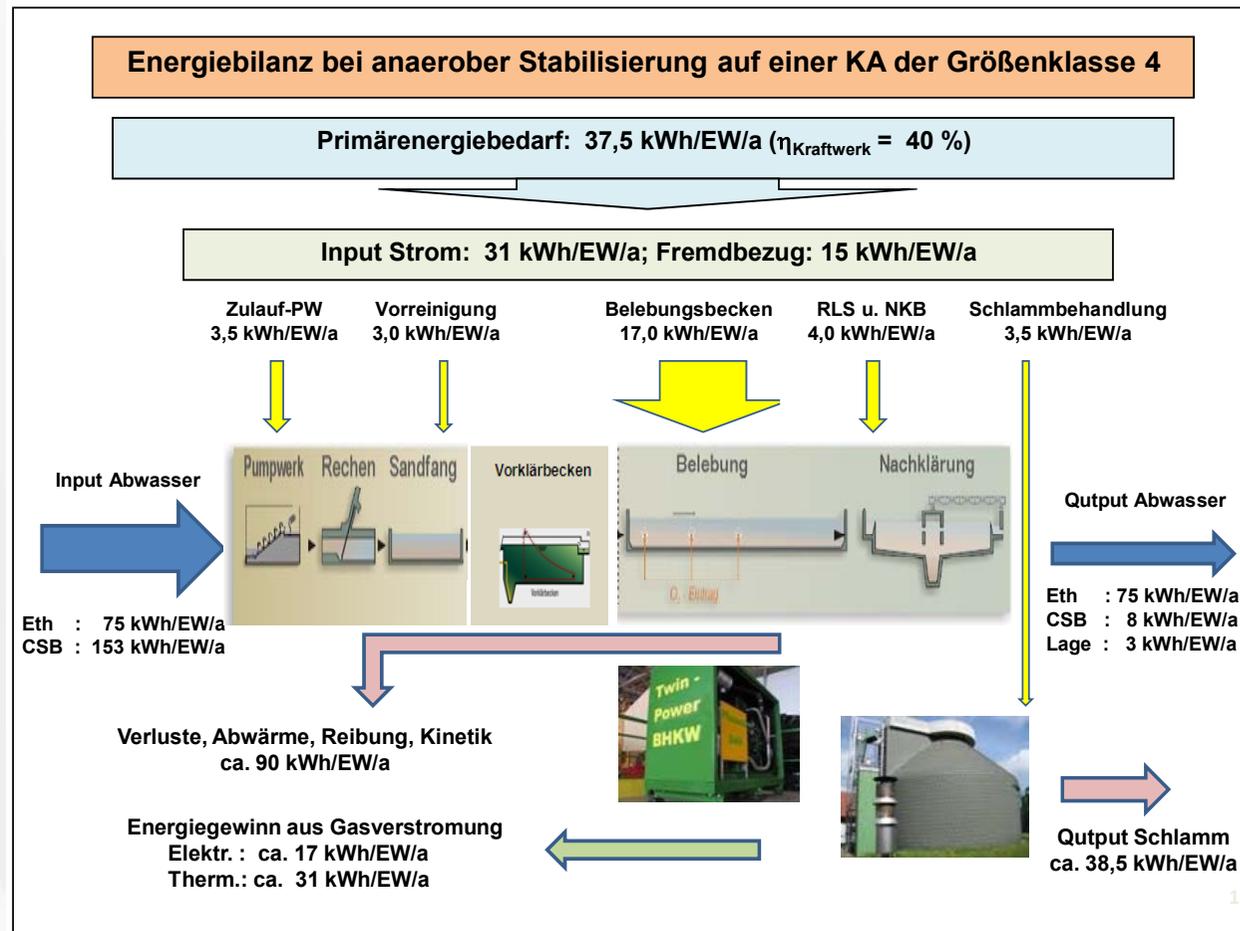
**Wieviel Energie brauchen wir für  
die Abwasserbehandlung?**

# Theoretische Betrachtung:

Musteranlage mit 20.000 EW



inners



NaWas (2012)

- Energiebedarf: 31 kWh/EW/a, davon ca. 60% für Belüftung + Umwälzung
- Energieproduktion (elektr.): 17 kWh/E/a
- **Deckungslücke (Fremdbezug): 14...15 kWh/EW/a**



**inners**

# Ergebnisse aus der Praxis

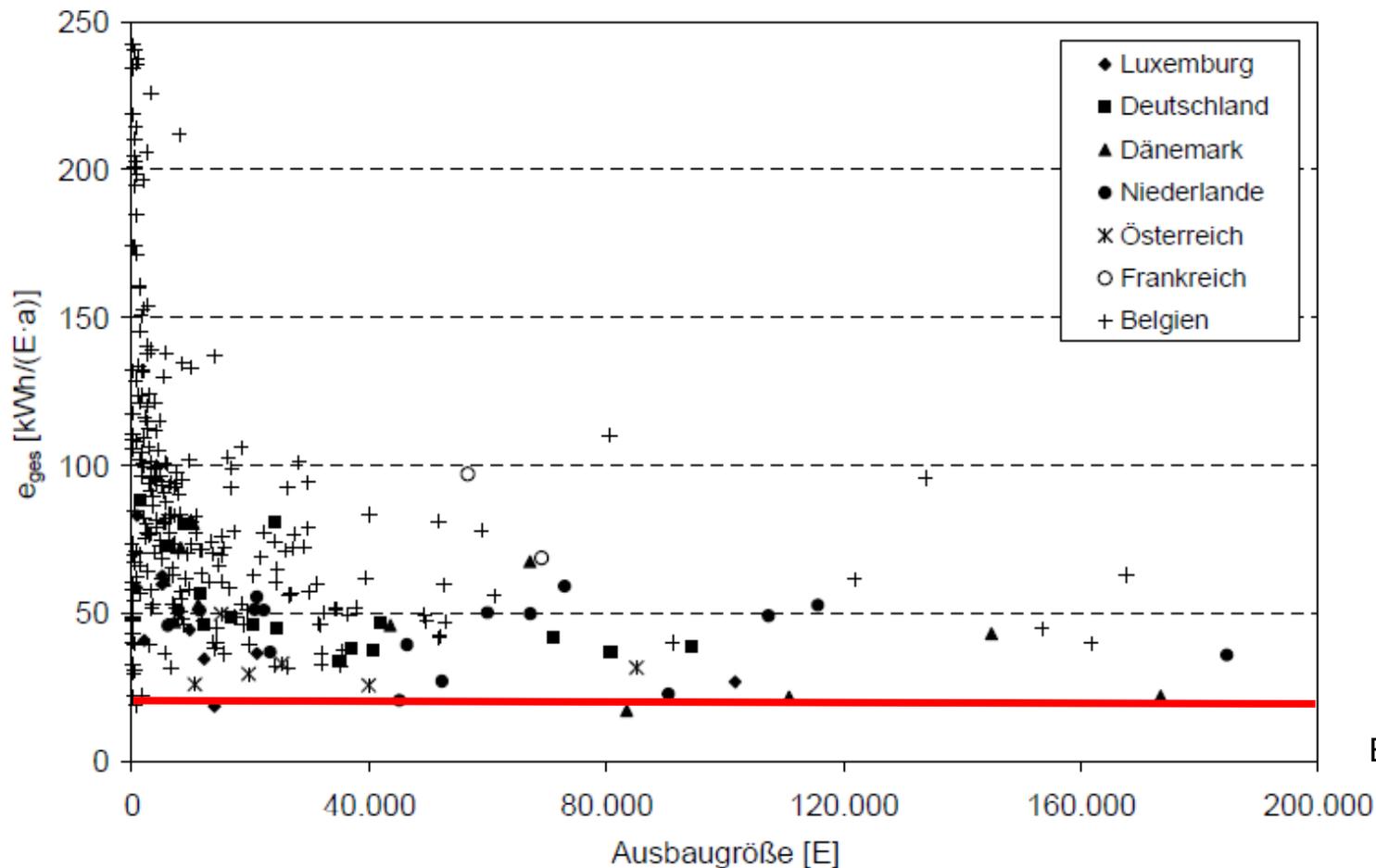
- Energieverbrauch
- Energieproduktion



**inners**

# Energieverbrauch

# Ergebnisse aus der Praxis I:



Becker, Hansen (2013)

- Erhebliche Unterschiede zwischen einzelnen Ländern
- Deutliche Abhängigkeit Energiebedarf – Anlagengröße
- Bei großen Anlagen (> 50.000 E) i.M. geringsten Verbräuche

→ **Minimale Energieverbrauch: 20...25 kWh/EW/a**



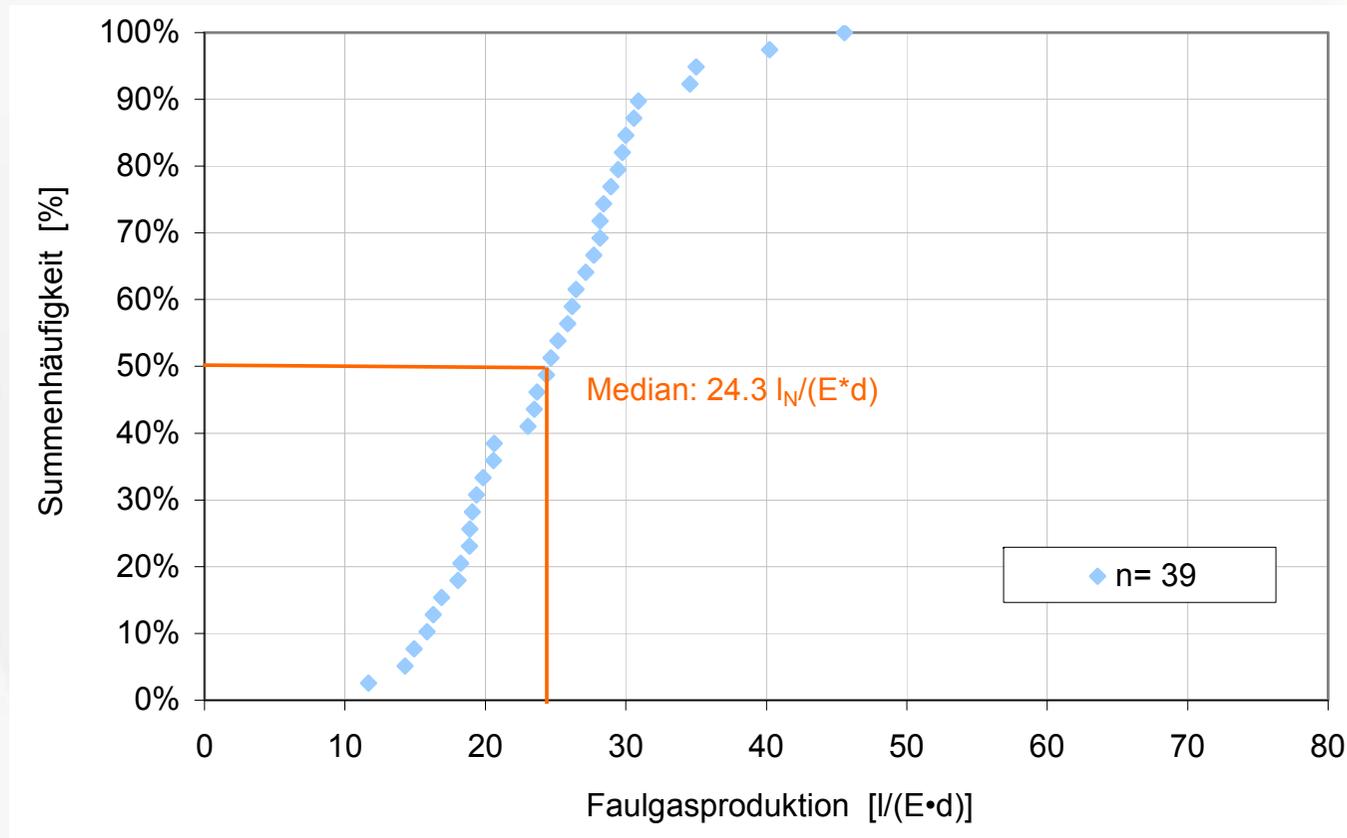
**inners**

# **Energieproduktion aus Biogas**

# Ergebnisse aus der Praxis I:



inners



WiW GmbH (2014)

Detaillierte Auswertung von 39 Anlagen

→ **Gro ß e Spanne zwischen ca. 11 und > 40  $I_N/EW/d$**

→ **Ca. 70% der Anlagen zwischen 18 und 30  $I_N/EW/d$**

→ **Median Biogasanfall: 24,3  $I_N/EW/d$**



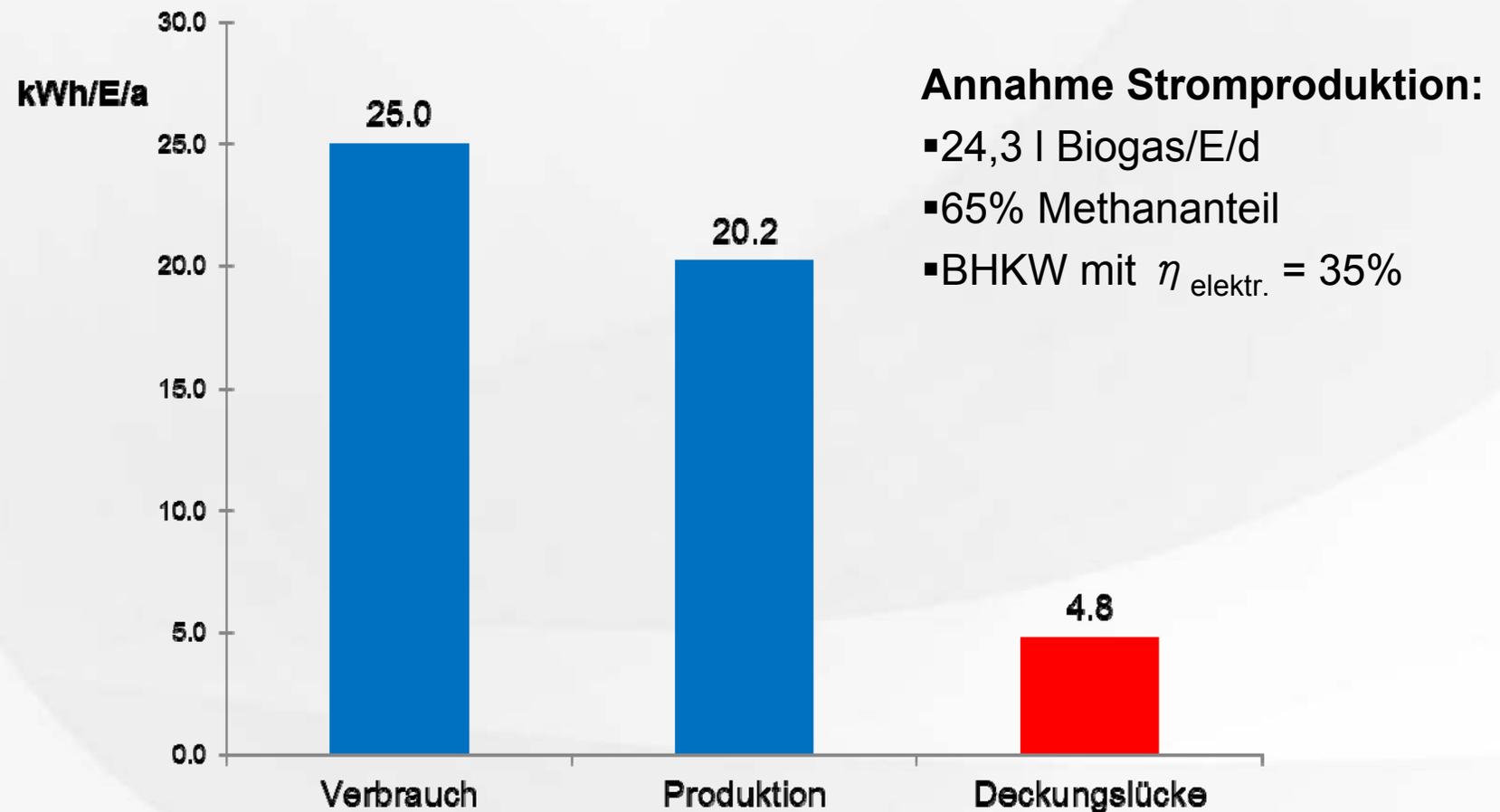
**inners**

# **Theoretische Betrachtung**

## **Verbrauch - Produktion**



## Gegenüberstellung von Verbrauch und Produktion



→ Theoretische Deckungslücke<sub>Strom</sub> von ca. 5 kWh/EW/a



**inners**

# **Eigendeckungsgrade Praxis:**

## **Wärme und Strom**

# Eigendeckungsgrad Wärme



**inners**

**Ergebnisse aus der Praxis:**

Eigendeckungs- grad Wärme	A	CH	D
(%)	97,4	95,0	92,2

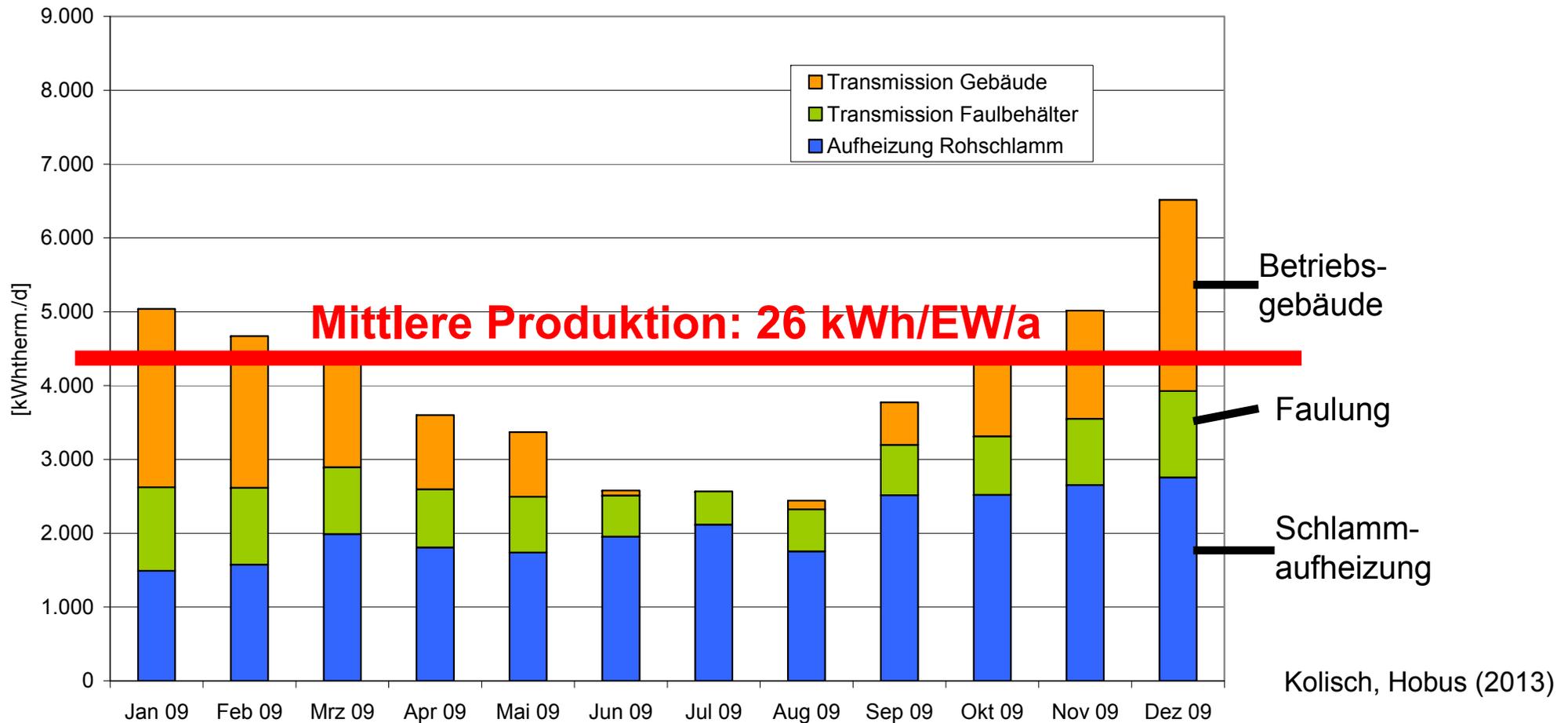
Becker, Hansen (2013)

In Ländern wie A, CH, D: Eigendeckungsgrad nahe 100%

→ **Wärmeautarkie (in Jahresbetrachtung) in der Praxis nahezu Realität**

→ aber: Wärmeüberschuss im Sommer, Defizite im Winter

# Thermischer Energiebedarf– KA mit 60.000 EW



→ Im Winter etwa doppelter Verbrauch (bei etwa gleicher Produktion)

# Eigendeckungsgrad Strom



**inners**

## Ergebnisse aus der Praxis:

Eigendeckungsgrad Strom	CH	D	NL
(%)	55,3	39,7	49,9

Becker, Hansen (2013)

- **Eigendeckungsgrade i.d.R. zwischen 40 und 55%**
- Unter Berücksichtigung des Verbrauchs (best-case: 25 kWh/E/a):  
**Deckungslücke (bei Faulungsanlagen) zwischen 10 und 15 kWh/E/a**



## Gesamtenergiebedarf:

- Abhängigkeit des spez. Energiebedarfs von der Anlagengröße
- Anlagen mit Schlammfäulung sind energetisch günstiger als Anlagen mit aerober Stabilisierung
- Erhebliche Unterschiede zwischen einzelnen Ländern in NW-Europa

## Eigendeckung Wärme:

- **Wärmeautarkie bei Faulungsanlage in Jahresbilanz möglich**; Eigendeckungsgrade in der Praxis nahe 100%
- aber: monatliche Bedarfsschwankungen (Defizit Winter, Überschuss Sommer)

## Eigendeckung Strom:

- Maximale Eigendeckungsgrade<sub>Strom</sub> in der Praxis bei ca. 55% (bei einzelnen Anlagen höher)

→ **Deckungslücke Elektrizität: ca. 10...15 kWh/E/a** (theoretisch: 5 kWh/E/a)



**inners**

**Worauf sind Unterschiede  
zwischen Ländern in NW-Europa  
zurückzuführen?**



## mögliche Faktoren:

- Verwendete Reinigungstechnologien
- Ablaufanforderungen und Reinigungsleistung
- Abwasserzusammensetzung
- Topographie, Besiedlungsdichte
- Energiepreise
- ‚nationale‘ Bedeutung des Themas ‚Energie‘

## Reinigungstechnologien:

Bsp. CH: in Zukunft flächendeckender Einsatz von Technologien zur Reduzierung von Mikroschadstoffen

Krebber et al. (2013)

Verfahren	Spanne Günstig – ungünstig (kWh/m <sup>3</sup> )	Mittlerer Energiebedarf (kWh/m <sup>3</sup> )	Mittlerer Energiebedarf (kWh/E/a)
Ozonung	0,02 – 0,41	0,16	11,7
Pulveraktiv- kohle	0,02 – 0,13	0,075	5,5
Filtration granulierte A-Kohle	0,06 – 0,17	0,11	8,0

→ Erhöhung des Energiebedarfs von i.M. ca. 8 kWh/E/a zu erwarten

# Abbauaufwand + Reinigungsleistung:



**inners**

	AT	BE	D	DK	LU	NL
kWh/kg CSB <sub>abgebaut</sub>	0.74	1.67	0.94	1.06	1.86	0.75
kWh/kg Nges <sub>abgebaut</sub>	11.6	17.0	12.4	10.9	139.1	9.4

- Länder wie AT, D, DK, NL in etwa auf einem Niveau
- BE und LU z.T. deutlich höher

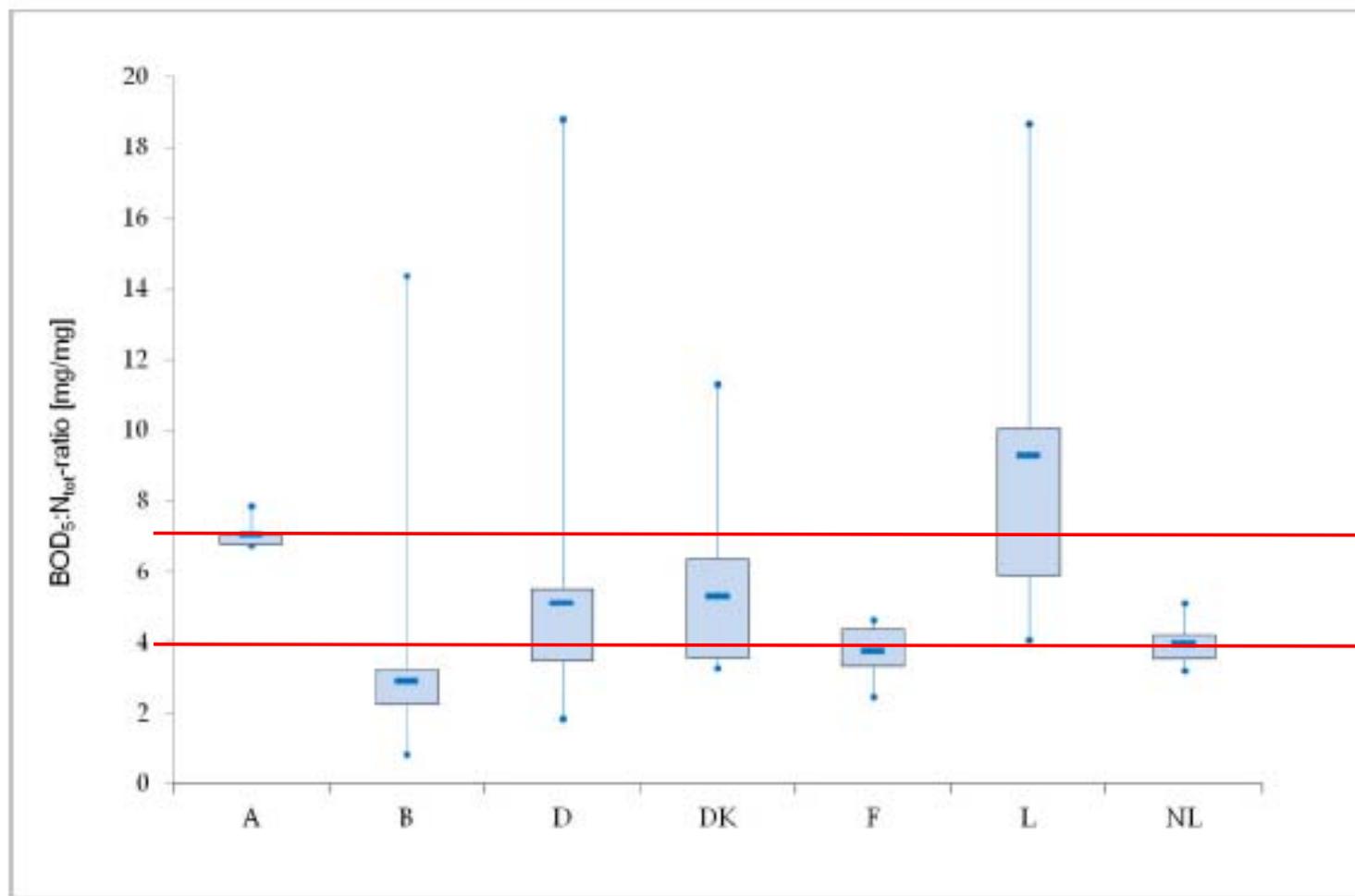
→ Hohe Anzahl an relativ kleinen Anlagen in Be

→ In Luxemburg auf vielen Anlagen nur Nitrifikation, daher Anteil des 'abgebauten' Stickstoffs nur klein

# Abwasserzusammensetzung:



inners



Günstige Spanne für N/DN bei ca. BSB/N von 4/1 bis 7/1

→ Länder 'ausserhalb' der günstigen Spanne haben höheren Energieverbrauch (nicht alleiniger Faktor)



## mögliche Faktoren:

- ✓ Verwendete Reinigungstechnologien
- ✓ Ablaufanforderungen und Reinigungsleistung
- ✓ Abwasserzusammensetzung
- ✓ Topographie, Besiedlungsdichte
- ✓ Energiepreise
- ✓ ‚nationale‘ Bedeutung des Themas ‚Energie‘
- ✓ ...

→ **Mix aus vielerlei Faktoren**



## mögliche Faktoren:

- ✓ Verwendete Reinigungstechnologien
- ✓ Ablaufanforderungen und Reinigungsleistung
- ✓ Abwasserzusammensetzung
- ✓ Topographie, Besiedlungsdichte
- ✓ Energiepreise
- ✓ ‚nationale‘ und ‚individuelle‘ Bedeutung des Themas ‚Energie‘



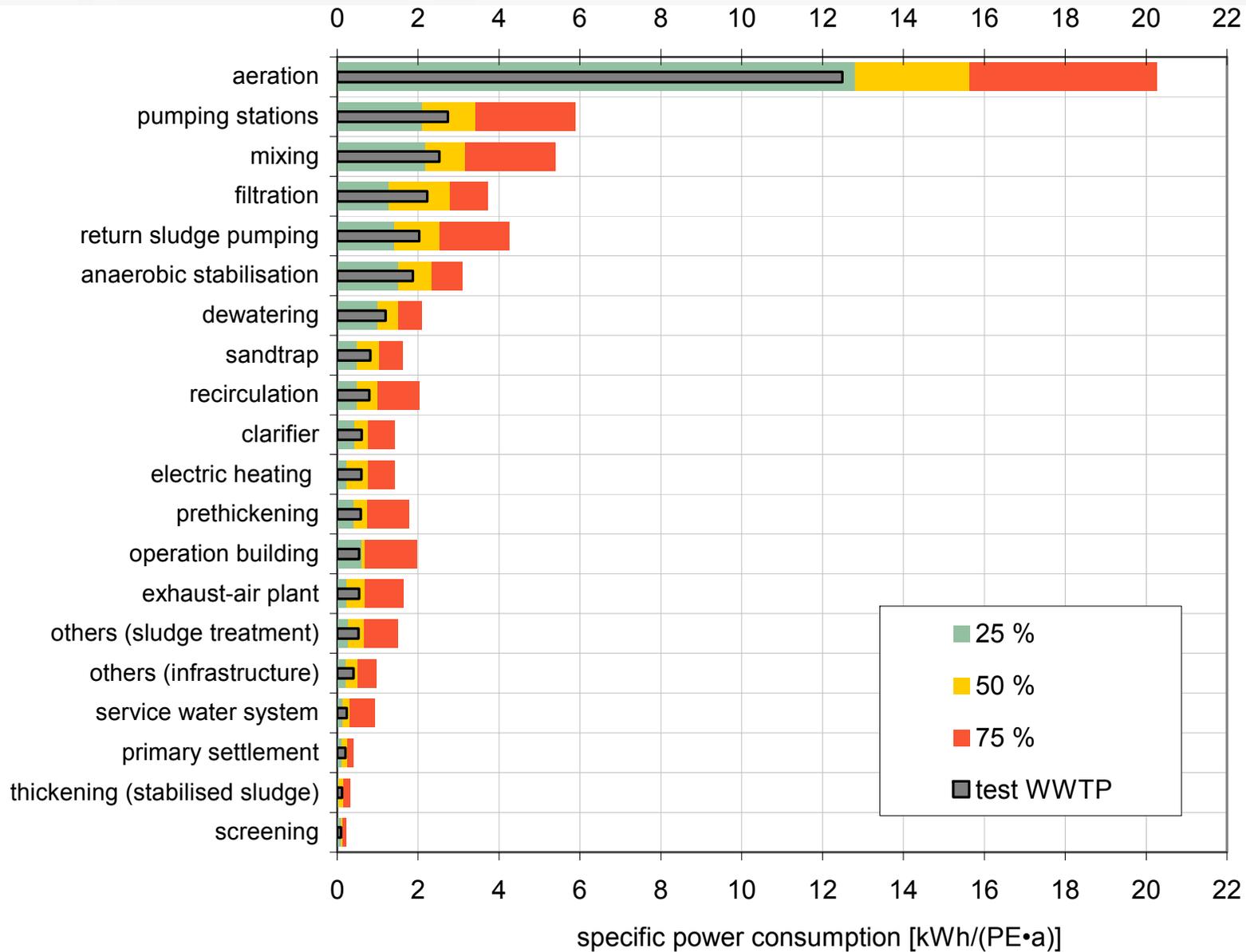
**inners**

# **Einsparpotenziale in NW-Europa**

# Einsparpotenzial hinsichtlich Verfahrensstufen



inners



## Abschätzung des Einsparpotenzials in NW-Europa

(Be, F, D, Irl, Lu, NL, CH, UK)

### Annahmen für Berechnung:

- 250 Mio Einwohner
- Durchschnittlicher Anschlussgrad: 97%
- Energieverbräuche der Kläranlagen in Größenklassen entsprechend INNERS-Benchmarking
- Zielwerte abgeleitet aus Energieanalysen unterschiedlicher Länder:

< 1.000 EW	70 kWh/E/a
1.000 – 5.000 EW	45
5.001 – 10.000 EW	35
10.001 – 100.000 EW	30
> 100.000 EW	25



## Untersuchung unterschiedlicher Szenarien

**Baseline Scenario:** aktueller Energieverbrauch

**Szenario 1:** Benchmarkingwerte (Zielwerte) werden für alle KA erfüllt

**Szenario 2:** zusätzlich auf allen Anlagen > 50.000 EW

→ Prozesswasserbehandlung mit DEMON-Prozess (- 9 kWh/E/a;

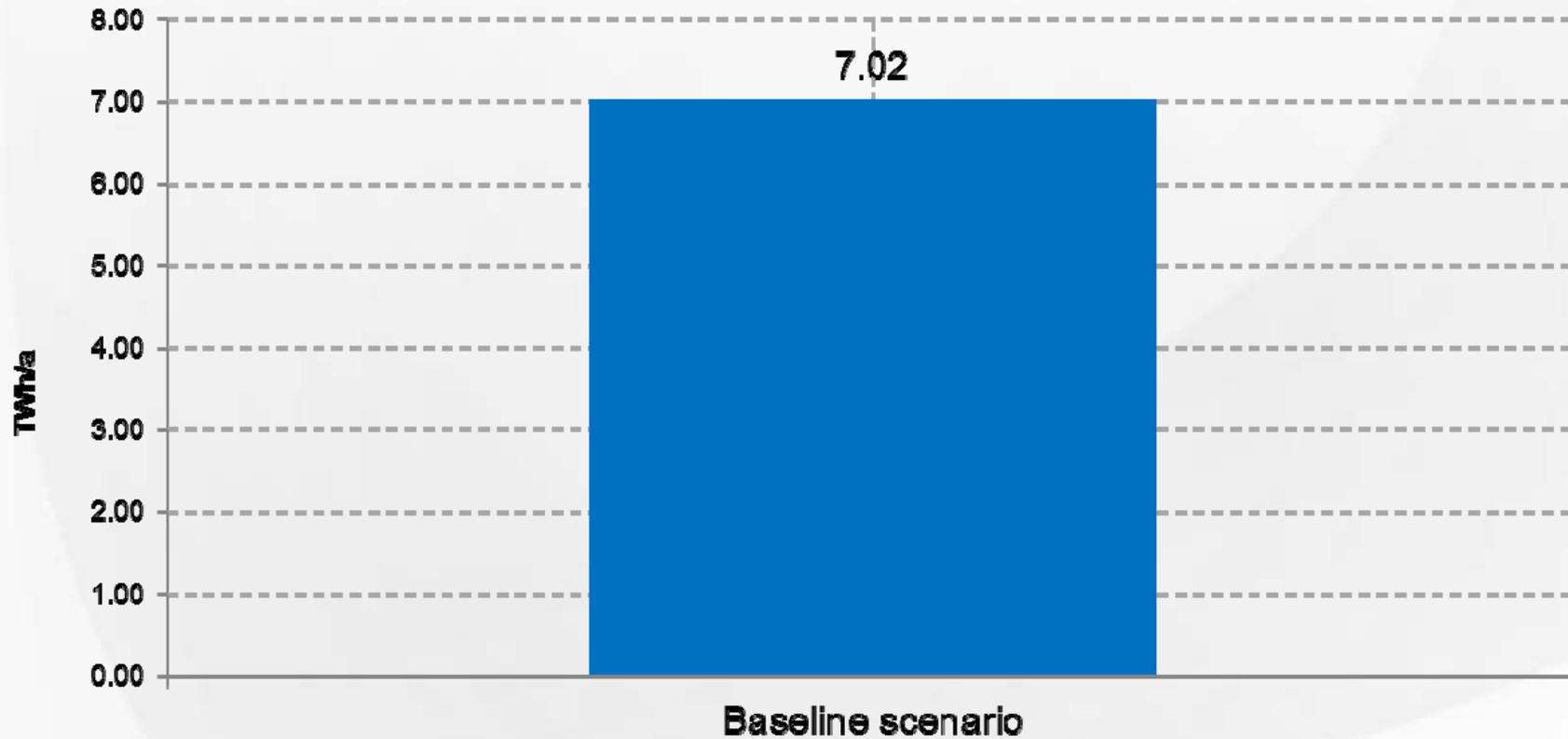
Rosenwinkel 2011)

**Szenario 3:** zusätzlich auf allen Anlagen > 10.000 EW

→ ‚vierte Reinigungsstufe‘ (A-Kohle, Ozonung) zum Abbau von Mikroschadstoffen (+ 8 kWh/E/a; Krebber et al. 2013)



**inners**

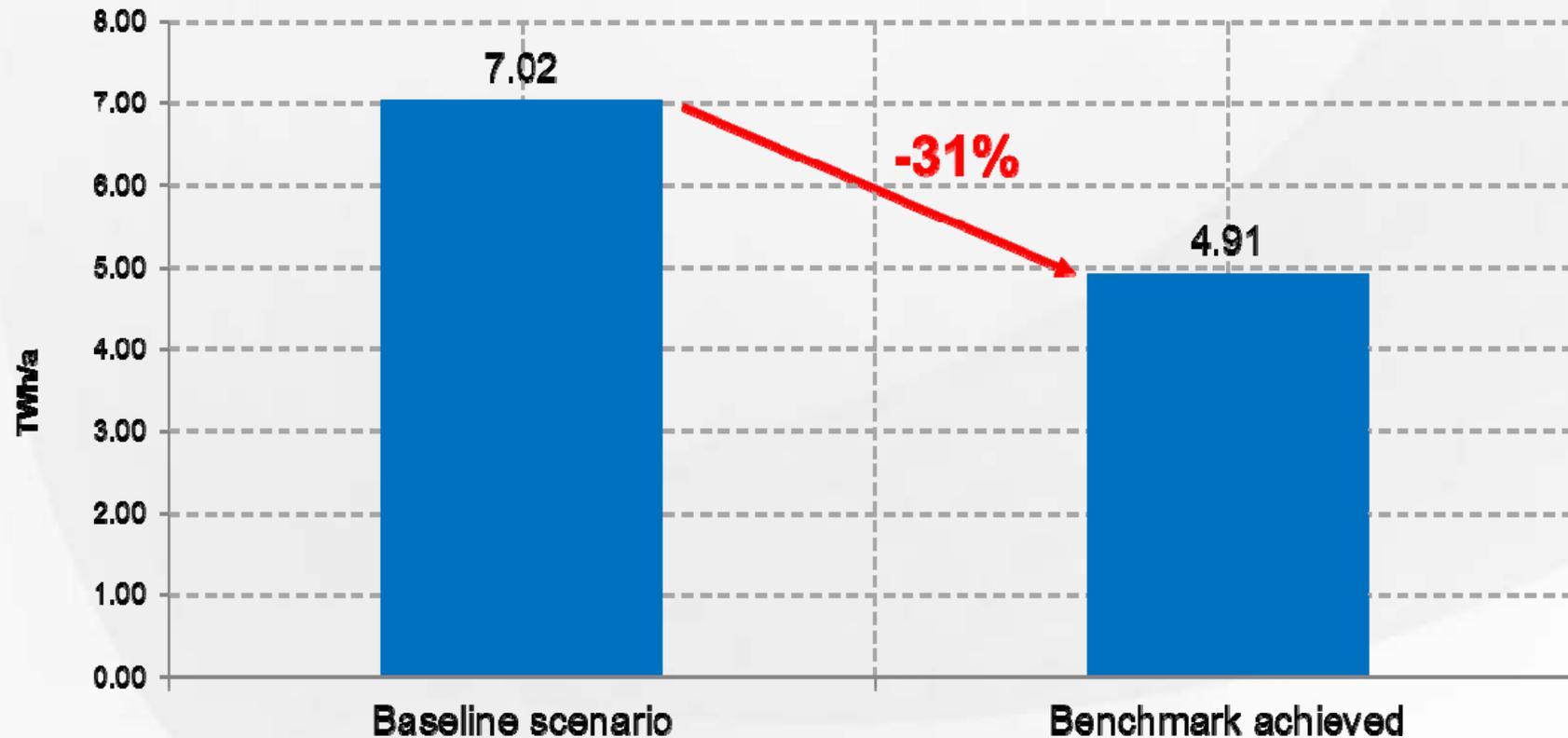


Zum Vergleich:

**Aktueller Energiebedarf des Landes Luxembourg: 8 TWh**



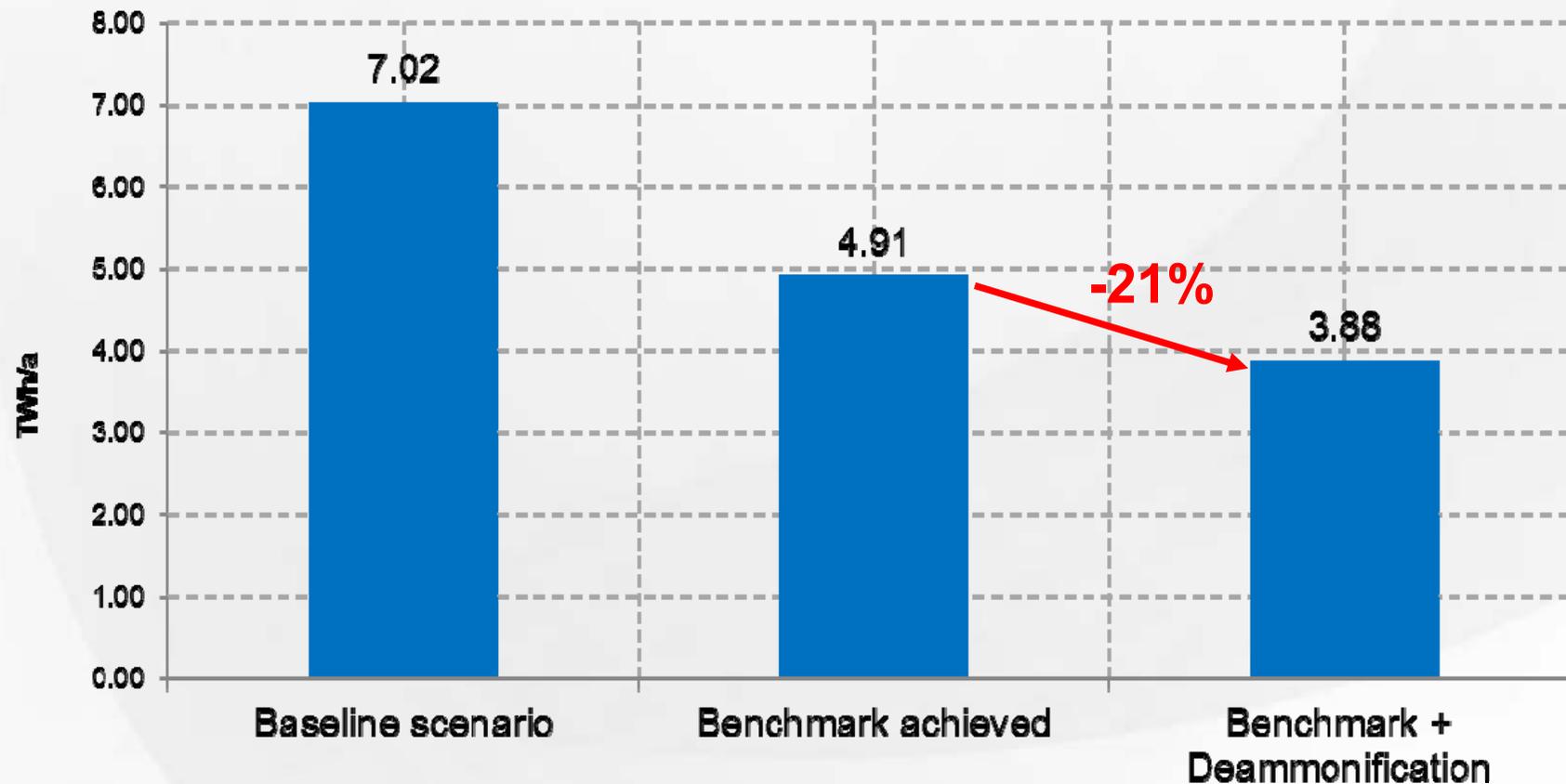
**inners**



→ **Einsparung entspricht Jahresverbrauch von ca. 525.000 Vier-Personen Haushalten**



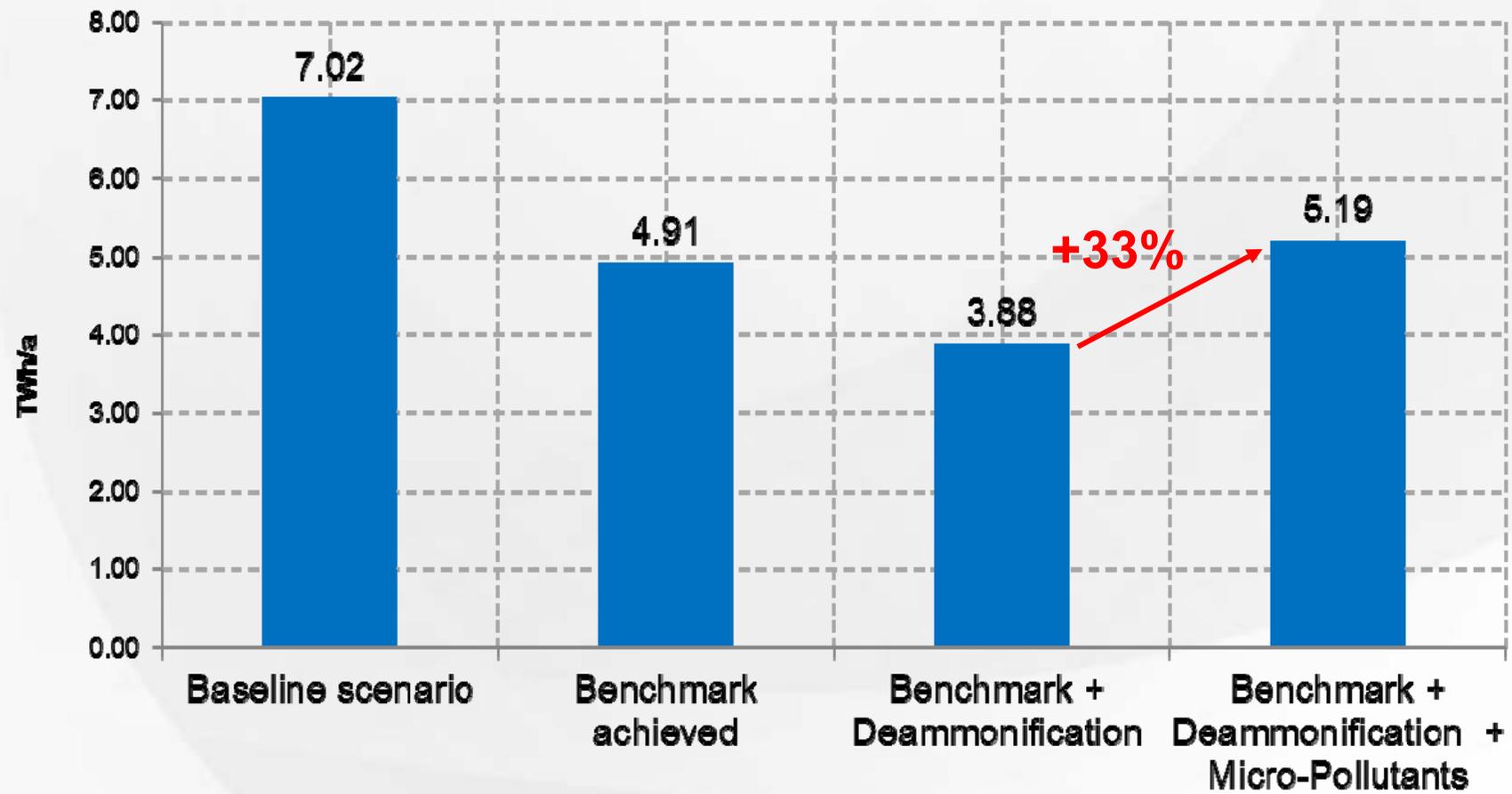
**inners**



→ **Zusätzliche Einsparung entspricht Jahresverbrauch von ca. 250.000 Vier-Personen Haushalten**



**inners**





**inners**

# **Fazit und Ausblick**



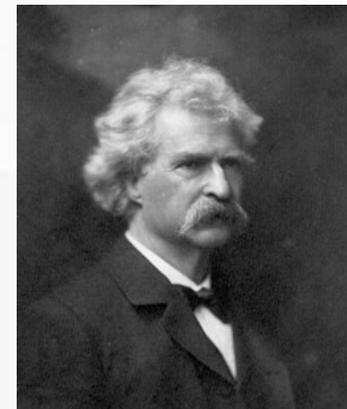
- Kläranlagen sind große Energieverbraucher (v.a. Belüftung, Mischen, Pumpen)
- Erhebliches Potenzial zur Eigenenergieerzeugung
- Energieverbrauch ist sehr heterogen auf Kläranlagen in NW-Europa
- vielerlei Gründe hierfür; aber insbesondere: 'Einstellung' zum Umgang mit Energie auf Kläranlagen (national/individuell)
- Erhebliches Potenzial für energetische Optimierungen in NWE vorhanden
- Zusätzliche Anforderungen (Bsp. Mikroschadstoffe) werden zu z.T. deutlichem Anstieg auf einzelnen KA führen



**inners**

**„Man könnte viele Beispiele für unsinnige Ausgaben nennen, aber keines ist treffender als die Errichtung einer Friedhofsmauer. Die, die drinnen sind, können sowieso nicht heraus, und die, die draußen sind, wollen nicht hinein.“**

**Mark Twain**





**innern**

- **Projekte wie INNERS tragen zum Austausch von Erfahrungen, Technologien und Methoden bei und sind wichtige ‚Leuchtturmprojekte‘**
- **Was ist möglich? Was ist sinnvoll?**



**inners**

LUXEMBOURG  
INSTITUTE  
OF SCIENCE  
AND TECHNOLOGY

**LIST**



UNIVERSITÉ DU  
LUXEMBOURG

**WiW**mbh



Joachim.Hansen@uni.lu

Investing in Opportunities



This project has received  
European Regional  
Development Funding  
through INTERREG IV B.



INTERREG IV B