

Energie in der Wasser- und Abfallwirtschaft



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp

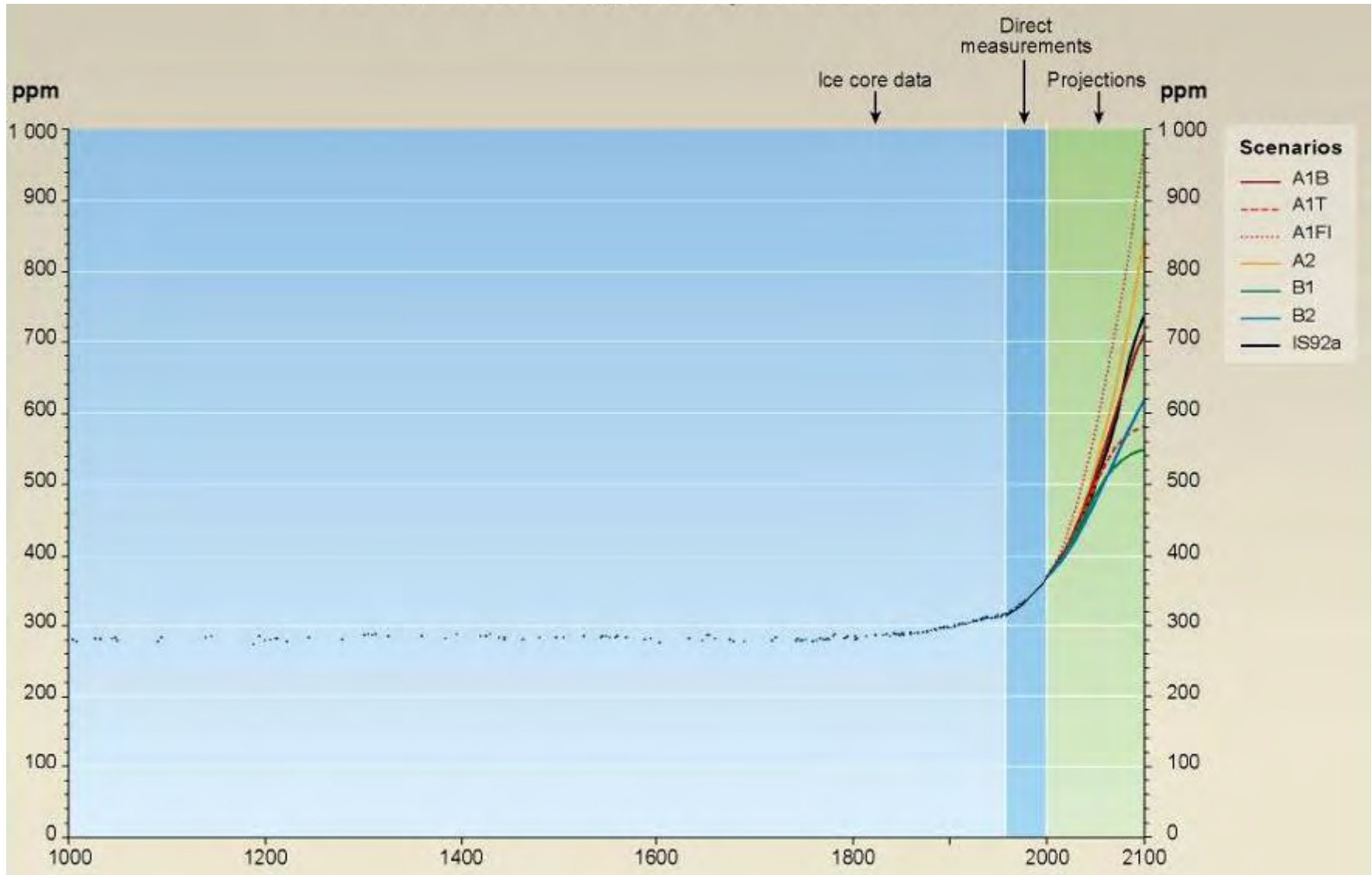
IFAT 2008

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

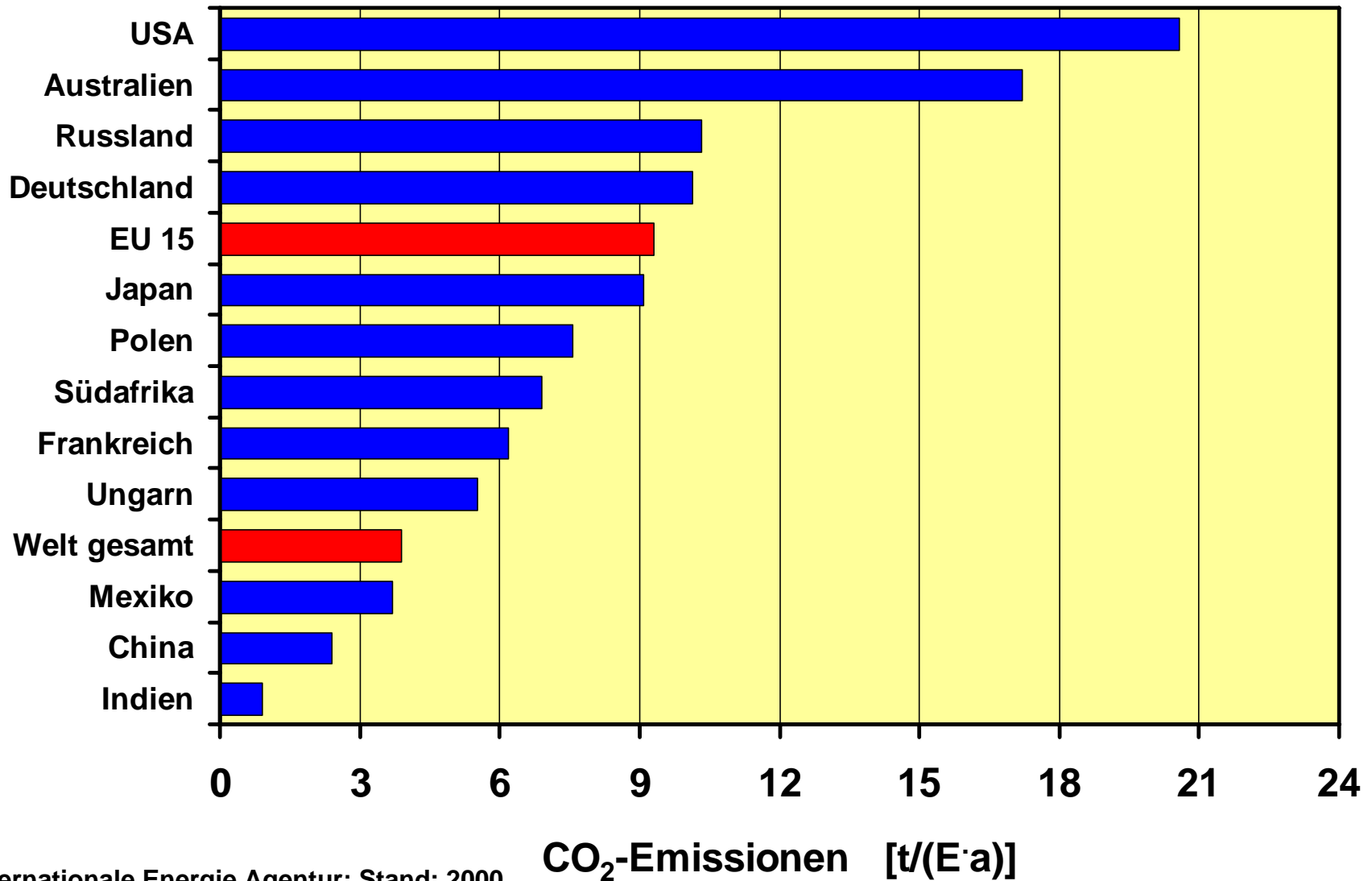
Inhalt

- ➔ **CO₂-Emissionen und Klimawandel**
- ➔ **Beitrag der Wasser- und Abfallwirtschaft**
- ➔ **THG-Emissionen bei der Abwasserreinigung**
- ➔ **Energiegehalt des Abwassers**
 - Biochemische Energie
 - Wärmeenergie
 - Potentielle Energie
- ➔ **Energiesparmassnahmen auf Kläranlagen**

CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre



Pro-Kopf-CO₂-Emissionen im internationalen Vergleich



Internationale Energie Agentur; Stand: 2000

CO₂-Emissionen [t/(E·a)]

Folgen des Klimawandels

➔ Anstieg des Meeresspiegels

- Abschmelzen von Eis (Pole, Inlandsgletscher)
- Wärmeausdehnung der Meere
- Überschwemmung von Küstengebieten
 - Bangladesch, Malediven, deutsche Küsten

➔ Häufung extremer Wetterverhältnisse

- Wirbelstürme
- Dürreperioden
- Starkregen
- Überschwemmungen

➔ Gefahr abrupter Klimaveränderungen

- Beeinflussung von Meeresströmungen (Golfstrom,....)
- Absterben großer Waldregionen

Folgen des Klimawandels

➔ Klimaveränderungen

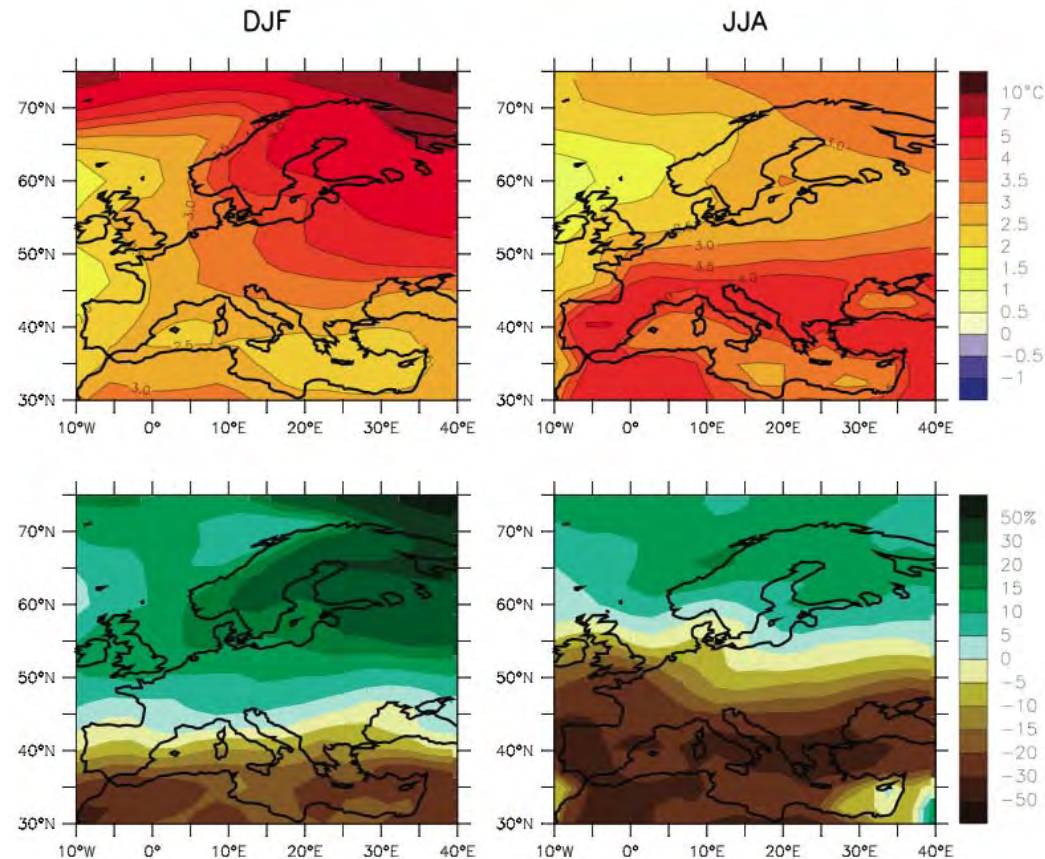
- Temperatur [°C]
 - Winter: +3,0
 - Sommer: +1,5 bis +3,5
- Niederschlag
 - Winter: +5 bis +20 %
 - Sommer: ±0 bis -15 %

➔ Anstieg der Extreme

- Niederschlagsintensität
- Temperatur
- Dauer der Ereignisse

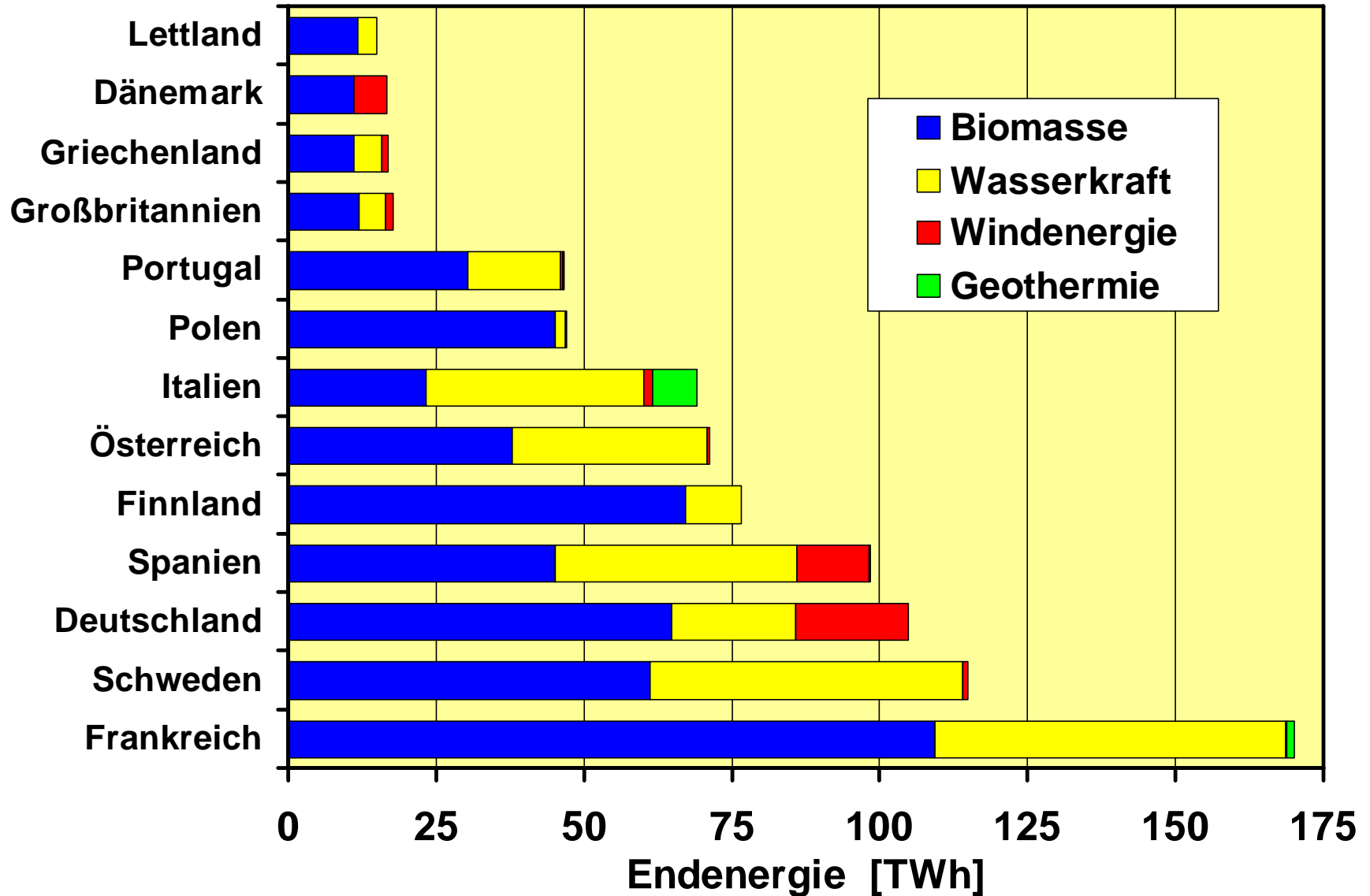
➔ Anstieg der Häufigkeit der Extreme

➔ Unsicherheiten noch groß

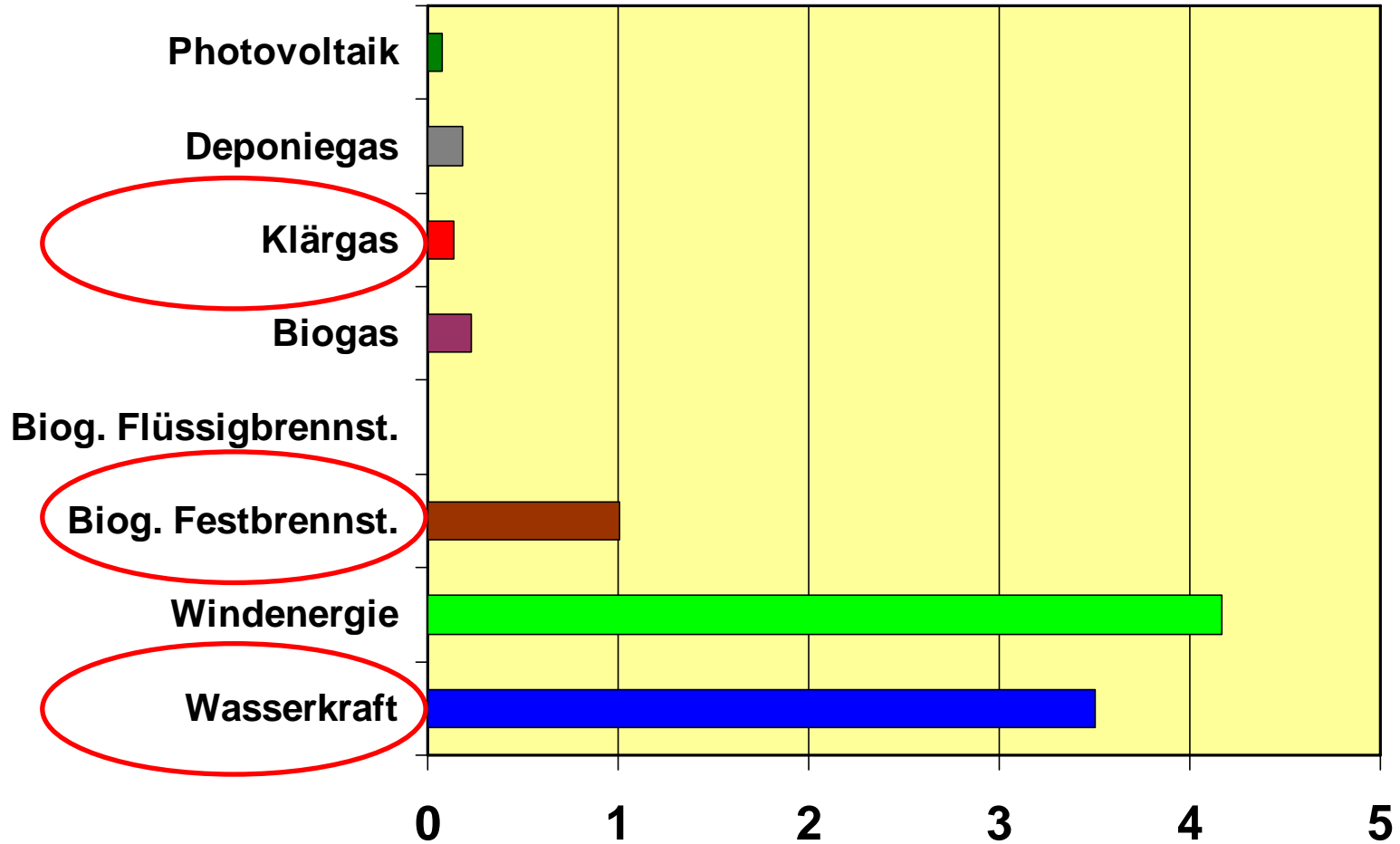


Prognostizierte Veränderungen der Temperatur und des Niederschlags in Europa (IPCC, 2007)

Nutzung erneuerbarer Energien in ausgewählten EU-Ländern im Jahr 2003



Anteil Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland 2004 [%]



Wasserkraft

**Laufwasserkraftwerk
Laufenburg**



Bildquelle www.dgs.de



**Pumpspeicherwerk
Herdecke**

Bildquelle www.lahmeyer.de



Gezeitenkraftwerk St. Malo

Bildquelle www.planet-wissen.de

Nutzung der Wasserkraft in Deutschland

Anlagengröße	Anzahl	Netto-Engpassleistung	Netto-Erzeugung
	-	MW	TWh/a
Laufwasser- und Speicherkraftwerke			
< 1 MW	4880	415	1,489
> 1 MW	404	2951	14,184
Pumpspeicherkraftwerke			
< 1 MW	1	-	0,002
> 1 MW	14	-	0,476
Gesamt	5299	3366	16,151

Quelle: Wabner 1997

10

Kohlendioxid (CO₂)-Emissionen bei der Abwasserreinigung

➔ **Abbau von Kohlenstoffverbindungen, Nährstoffelimination**

- 36,5 kg CO₂/E•a
- Nicht klimaschädlich

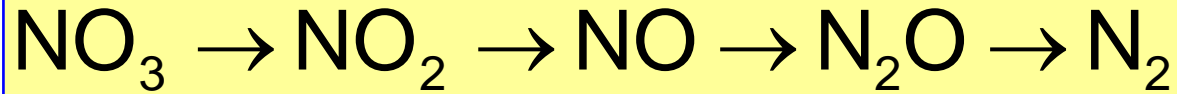
➔ **Indirekten Emissionen aufgrund des Energieverbrauches**

- Mittl. Energieverbrauch: 35 kWh/E•a
- Dt. Energiemix: 0,62 CO₂/kWh

➔ **CO₂-Emissionen: 22 kg CO₂/E•a**

Distickstoffoxid (N₂O)-Emissionen bei der Abwasserreinigung

➔ Oxidationsstufen des Stickstoffs bei der Denitrifikation



➔ Unter ungünstigen Umständen entsteht N₂O

- Niedrige O₂-Werte
- Hohe Sulfid-Konzentrationen
- Zuführung schnell abbaubarer Substanzen
- Stoßweise Belastungen

➔ Umfang: 0,01 – 0,60 (bis 14!) % von N_{ges}

➔ Emission: $0,006 \cdot 12 \cdot 365 = \underline{\underline{26 \text{ g N}_2\text{O}/\text{E} \cdot \text{a}}}$

Methan (CH₄)-Emissionen bei der Abwasserreinigung

➔ **Methanemissionen aus Kanalnetzen, Klär-anlagen und Schlammbehandlungsanlagen**

➔ **Abschätzung der Größenordnung sehr grob**

- CSB-Fracht: 120 g/E•d
- Unkontrolliert vergoren: 5 %
- Methanertrag: 0,32 m³ CH₄/kg CSB
- Dichte CH₄: 0,72 kg/m³_N

➔ **Emission:**

- $120 \times 0,05 \times 0,32 \times 0,72 \times 365 = \underline{504,6 \text{ gCH}_4/\text{E}\cdot\text{a}}$

THG-Emissionen bei der Abwasserreinigung

Gas	Emission <i>g/E•a</i>	CO₂-Äquivalent <i>g CO₂/E•a</i>
CO₂ Kohlendioxid	22.000	22.000
CH₄ Methan	504	11.592
N₂O Distickstoffoxid	26	7.778

Energiegehalt des Abwassers

➔ Energiegehalt der organischen Verschmutzung des Abwassers

- Quelle: Sonnenenergie

➔ Hydrostatische Energie

- Quelle: Sonnenenergie, Pumpenergie

➔ Wärmeinhalt des Abwassers

- Quellen: Primärenergie (Kochen, Duschen, Kühlen,...)
Sonnenenergie (Erdwärme)

Energiegehalt des Abwassers

➔ Energiegehalt der organischen Verschmutzung des Abwassers

■ 120 gCSB/E • d ➔ 43,8 kgCSB/E • a ➔ 175 kWh/E • a

➔ Theoretischer Energiegehalt wird durch Abwasserreinigung und Umwandlung in Faulgas vermindert:

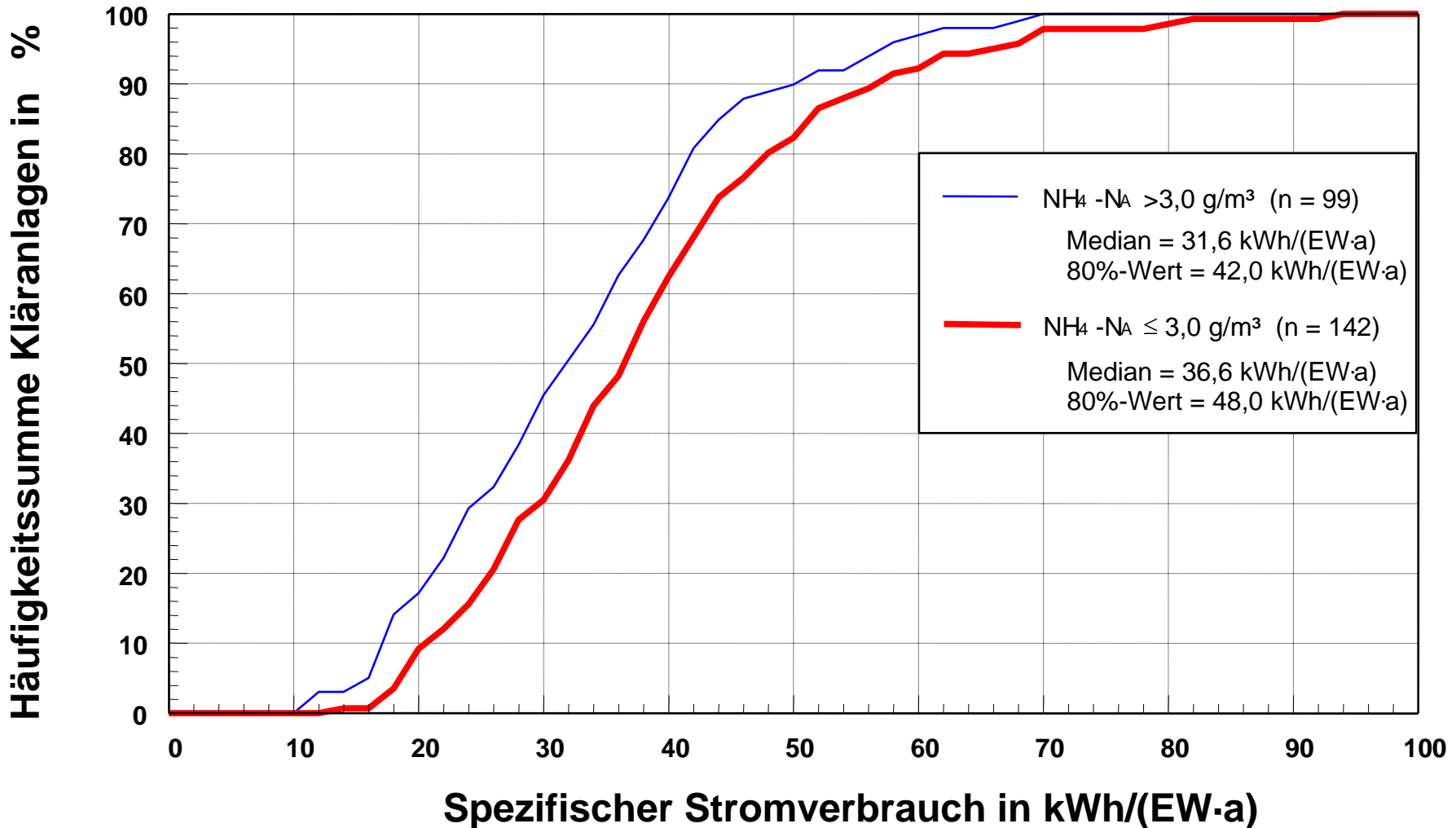
Schlammalter Biologie	Effizienz der Vorklärung	Spezif. Biogas-anfall	Schwankungsbereich	Heizwert	Stromerzeug.
Tage	% BSB-Elimination	l/(EW•d)		kWh/(EW•a)	
8	40	20,7	16,5 – 25,0	49,1	15,7
15	40	18,3	14,5 – 22,0	43,2	13,8
15	20	13,2	10,5 – 15,9	31,3	10,0
15	-	7,8	6,2 – 9,4	18,5	5,9
25	-	4,4	3,5 – 5,3	10,4	3,3

Quelle: Kapp (1994); Loll (2001)

16

Energieverbrauch und Reinigungsleistung

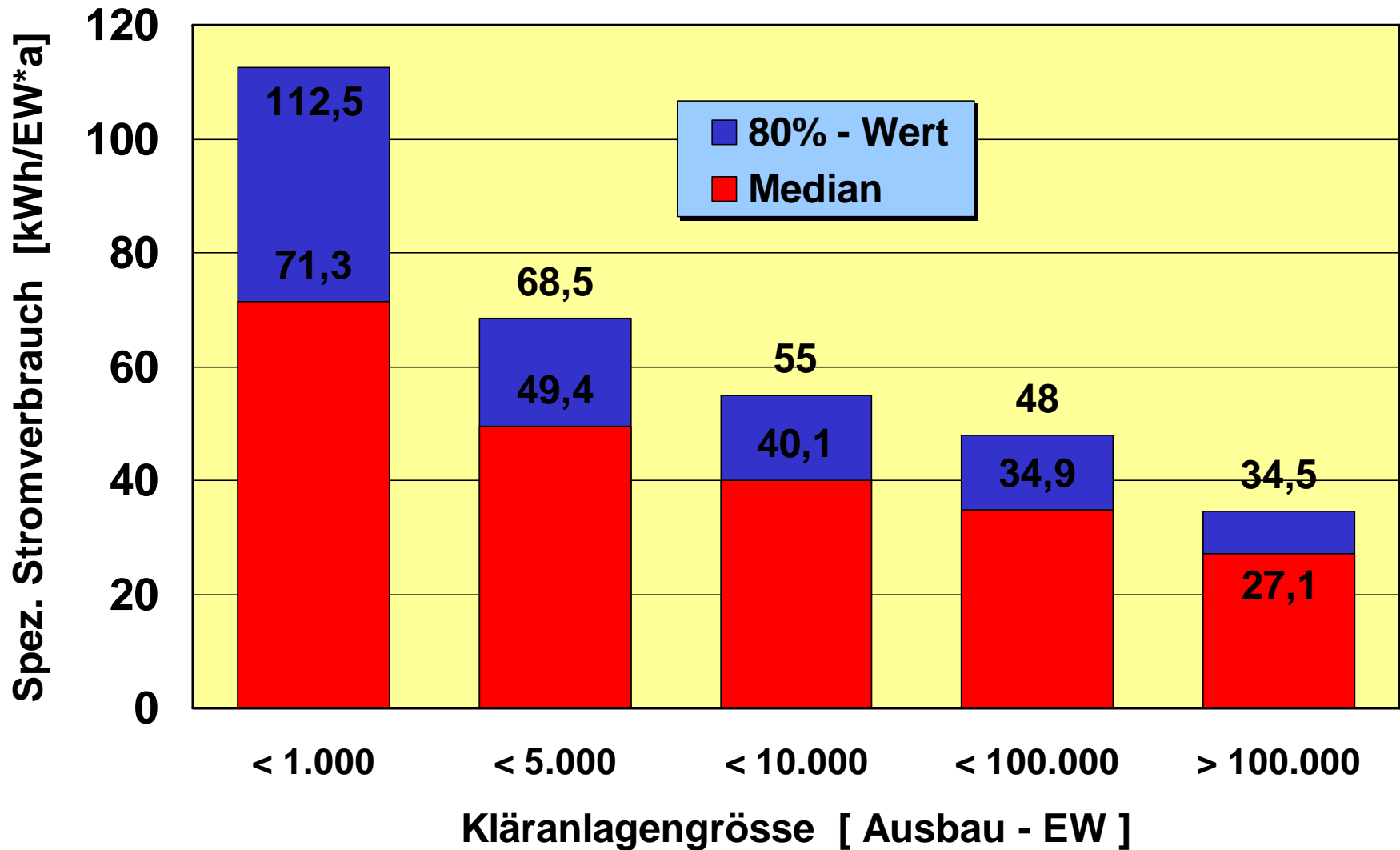
➔ Die Stickstoffelimination beeinflusst den Energieverbrauch



Quelle: Roth

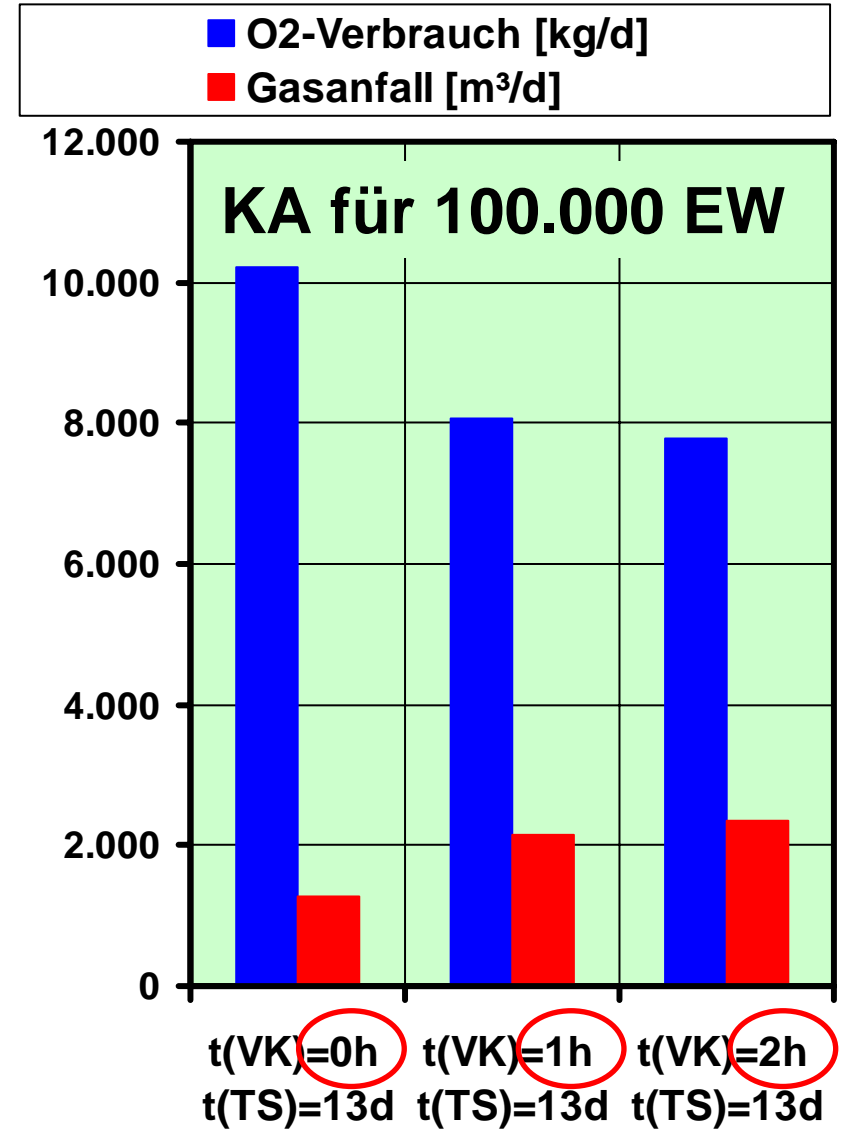
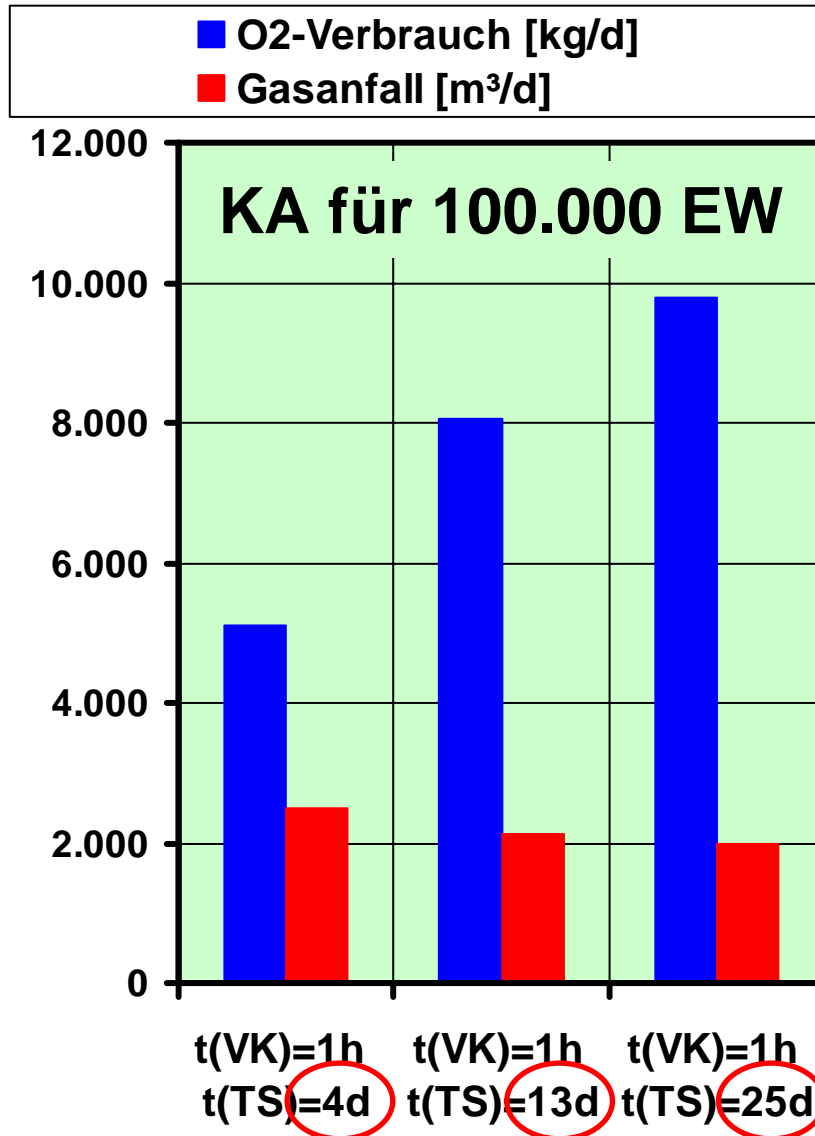
17

Energieverbrauch und Anlagengröße



Quelle: Roth

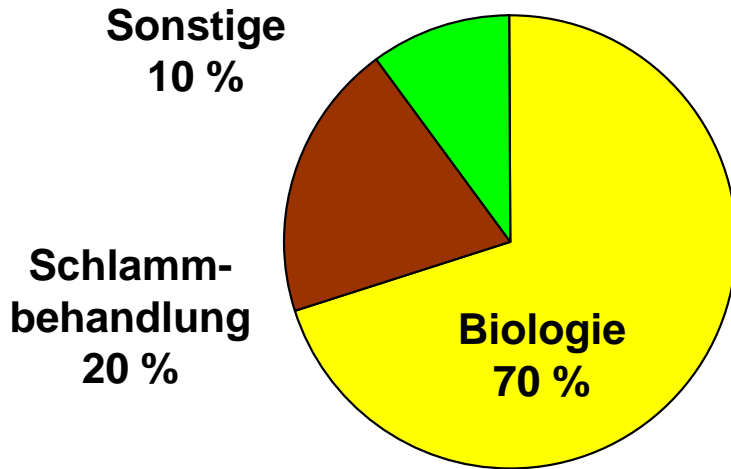
Verfahrenstechnik und Energiebilanz



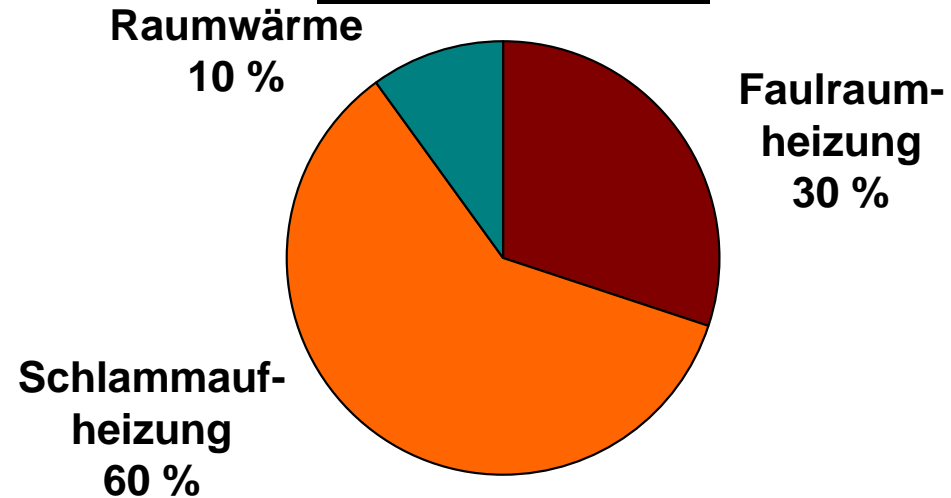
Quelle: Handbuch „Energie in Kläranlagen“ (1999)

Typische Energiestruktur einer KA mit Faulung

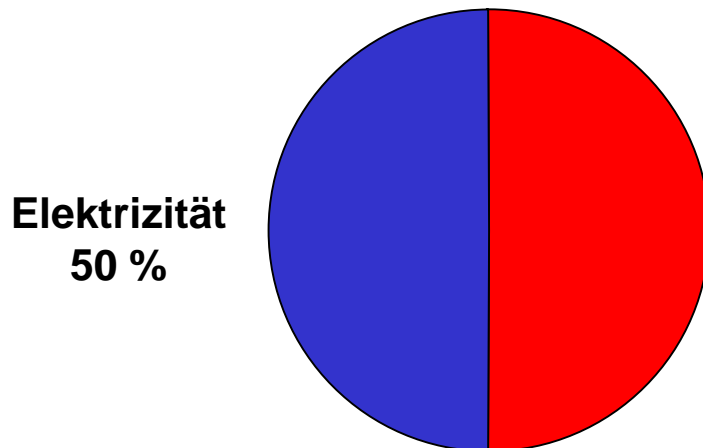
Elektrizitätsverbrauch



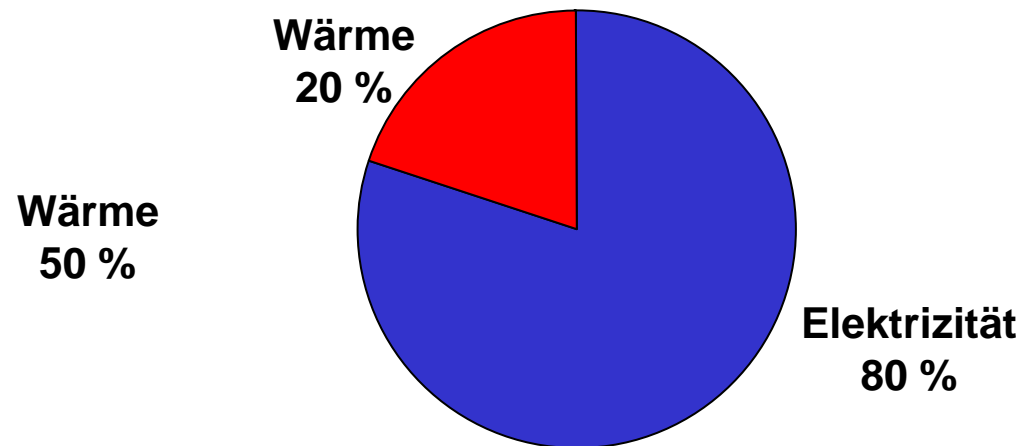
Wärmeverbrauch



Energieverbrauch



Energiekosten



Konsequenzen für die Abwasserreinigung

➔ **Der Energieverbrauch von Kläranlagen ist weiter zu reduzieren**

- Wahl der Verfahrenstechnik
 - Tropfkörper
 - Zweistufigkeit
- Hinterfragung scharfer Ablaufanforderungen

➔ **Die Energiegewinnung aus Abwasser und Klärschlamm ist zu erhöhen**

- Mehr Faulungsanlagen
- BHKW auf allen Faulungsanlagen
- BHKW mit höherem Wirkungsgrad
- Co-Fermentation

Prioritäten bei Energiesparmaßnahmen

- ➔ **1. Schritt: Energiebedarf an der Quelle reduzieren:**
 - Abwasseranfall reduzieren
 - richtige Dimensionierung der Anlagen
 - Anwendung von energiesparenden Verfahren der Abwasser-/Schlammbehandlung, etc.
- ➔ **2. Schritt: Energiesparmaßnahmen:**
 - Motoren mit hohen Wirkungsgraden
 - Regelungen nach effektivem Bedarf
 - Einsatz von energiesparsamen Geräten wie Sparlampen, etc.
 - Wärmedämmung (nur bei Fremdenergiebezug)
- ➔ **3. Schritt: Effiziente Deckung des restlichen Energiebedarfs:**
 - Nutzung des gesamten Klärgases mit Kraft-Wärme-Kopplung
 - Nutzung anfallender Abwärme (aus Prozessen oder Abwasserwärme)
 - Restbedarf mit konventionellen Anlagen decken

Energetische Beurteilungskriterien

- ➔ **Energetische Beurteilungskriterien sind abhängig von:**
 - Anlagengröße
 - Verfahrenstechnik
- ➔ **Richtwerte:** Realistisch erreichbarer Wert
- ➔ **Idealwerte:** Theoretischer Wert, nur unter optimalen Bedingungen erreichbar
- ➔ **Datengrundlage:**
 - Durchgeführte Feinanalysen
 - Umfrage in NRW
 - Umfrage in BW (Dr. Roth)
 - Modellberechnungen

Energetische Beurteilungskriterien

- ➔ e_{ges} = gesamter spezifischer Stromverbrauch der Anlage
[kWh/EW * a]
- ➔ e_{BB} = spezifischer Stromverbrauch der Belebungsanlage
[kWh/EW * a]
- ➔ N_1 = energetisch verwerteter Anteil des Faulgases [%]
- ➔ N_2 = Anteil der Faulgasnutzung in Kraft oder Strom [%]
- ➔ N_3 = spezifische Faulgasproduktion [l/kg oTRzu]
- ➔ V_E = Eigenversorgungsgrad Elektrizität [%]
- ➔ V_W = Eigenversorgungsgrad Wärme [%]

Energetische Beurteilungskriterien (Auszug): Gesamter Elektrizitätsverbrauch [kWh/EW•a]

Reinigungsziel	Kläranlagengröße (aktuelle Belastung in [EW])					
	10 – 30.000		30 – 100.000		>100.000	
	Richtw	Idealw.	Richtw	Idealw.	Richtw	Idealw.
BSB – Elimination $t_{TS} = 5$ Tage; mit Faulung	(27)	(21)	(24)	(18)		
Nitrifikation und Denitrifikation $t_{TS} = 13$ Tage; mit Faulung	34	26	30	23	26	20
Simultane, aerobe Schlammstabilisierung $t_{TS} = 25$ Tage; ohne Faulung	40	31				

- ➔ Zuschlag für Hebewerke: 0,5 kWh/EW•m•a
- ➔ Zuschlag für Filtrationsanlage: Richtwert: 3 kWh/EW•a
Idealwert: 2 kWh/EW•a

Konsequenzen für die Abwasserreinigung

➔ **Der Energieverbrauch von Kläranlagen ist weiter zu reduzieren**

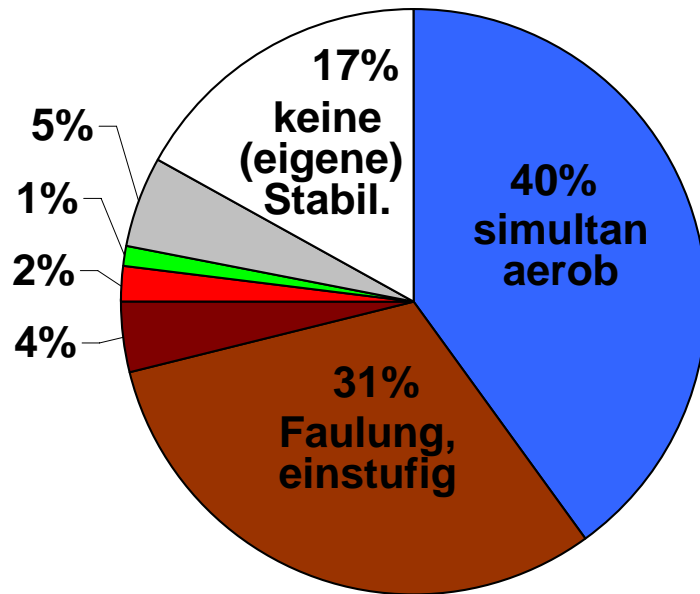
- Wahl der Verfahrenstechnik
 - Tropfkörper
 - Zweistufigkeit
- Hinterfragung scharfer Ablaufanforderungen

➔ **Die Energiegewinnung aus Abwasser und Klärschlamm ist zu erhöhen**

- Mehr Faulungsanlagen
- BHKW auf allen Faulungsanlagen
- BHKW mit höherem Wirkungsgrad
- Co-Fermentation

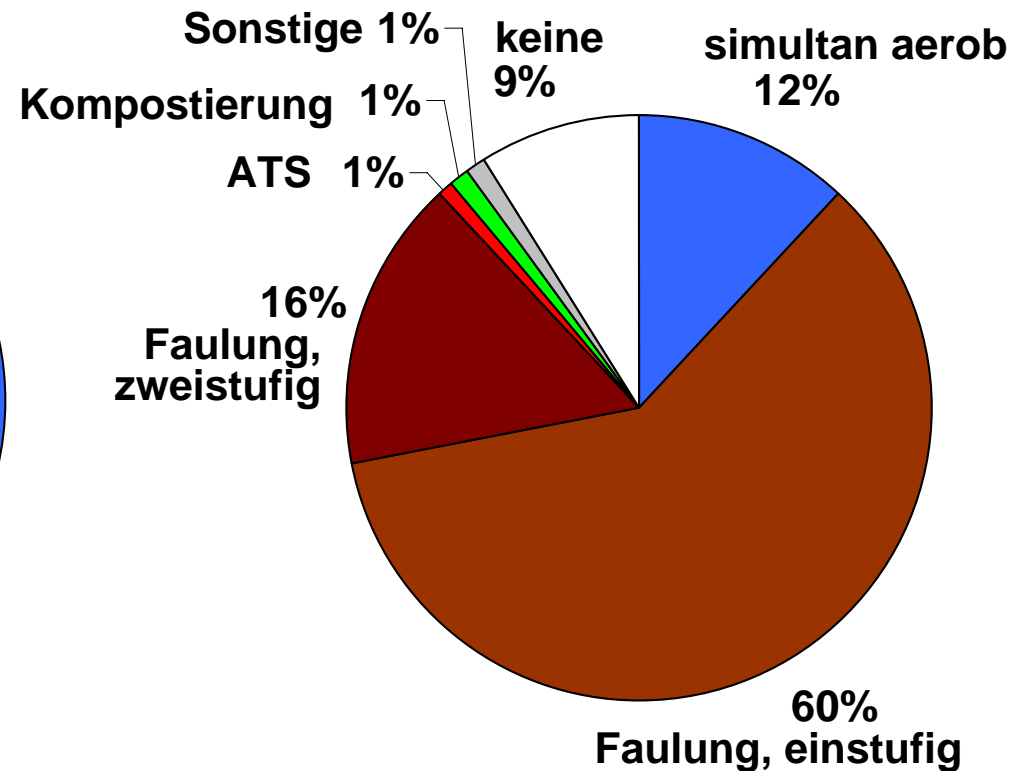
Stabilisierung

bezogen auf ABA:



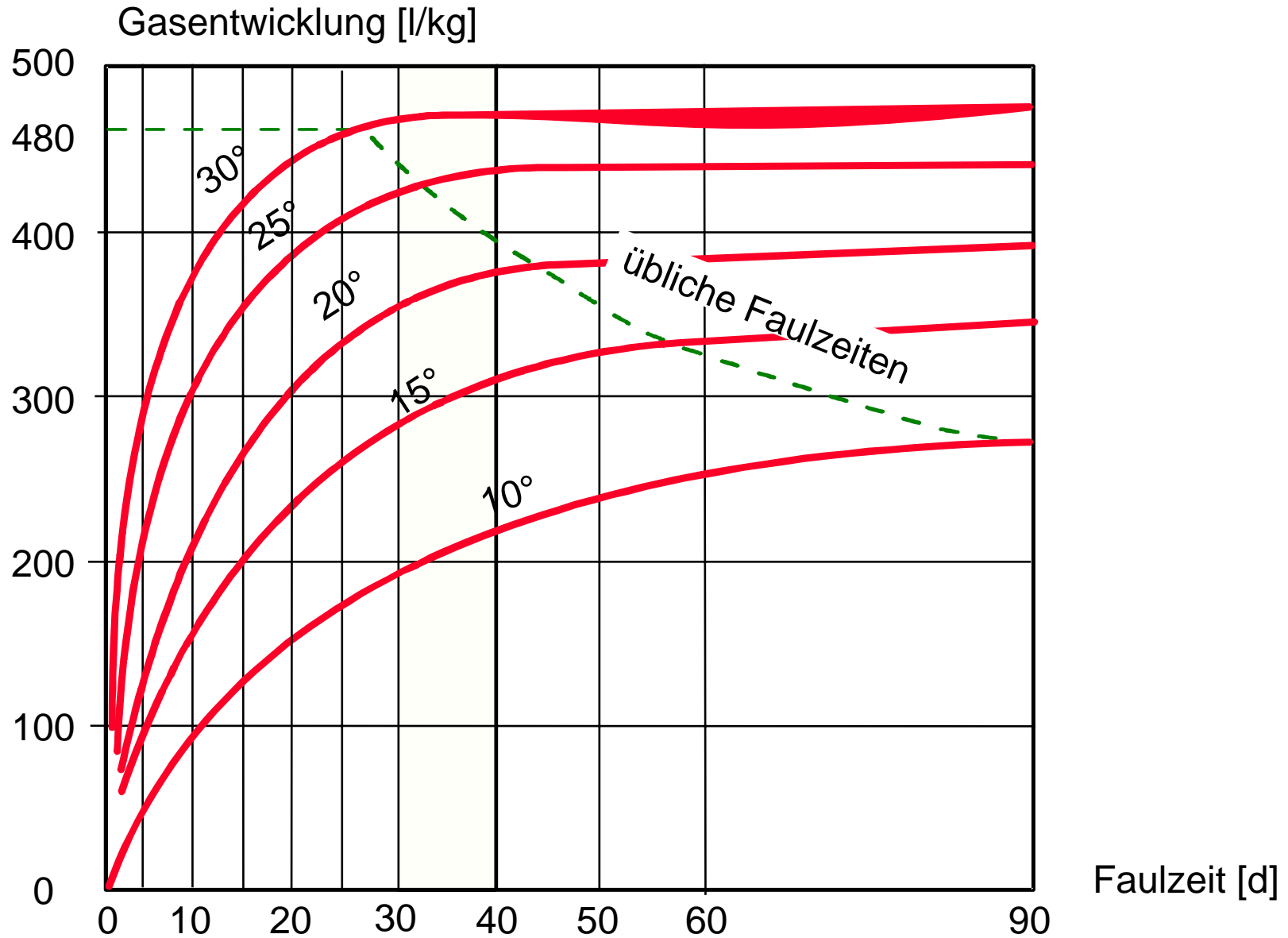
Datenbasis: 3.100 ABA

bezogen auf EW:



Datenbasis: 99 Mio. EW

Klärgasanfall



Klärgasproduktion

➔ Die Klärgasproduktion hängt ab von:

- Schlammmenge
- Schlammbeschaffenheit
- Toxische Einflüsse
- Faulraumvolumen
- Zugabe externer Stoffe

➔ Biologische Reinigungsverfahren

- Belebungsverfahren
- Tropfkörper / Tauchkörper
- Biofilter

➔ Grad der Vorreinigung

➔ Schlammalter

➔ Schlammstabilisierung

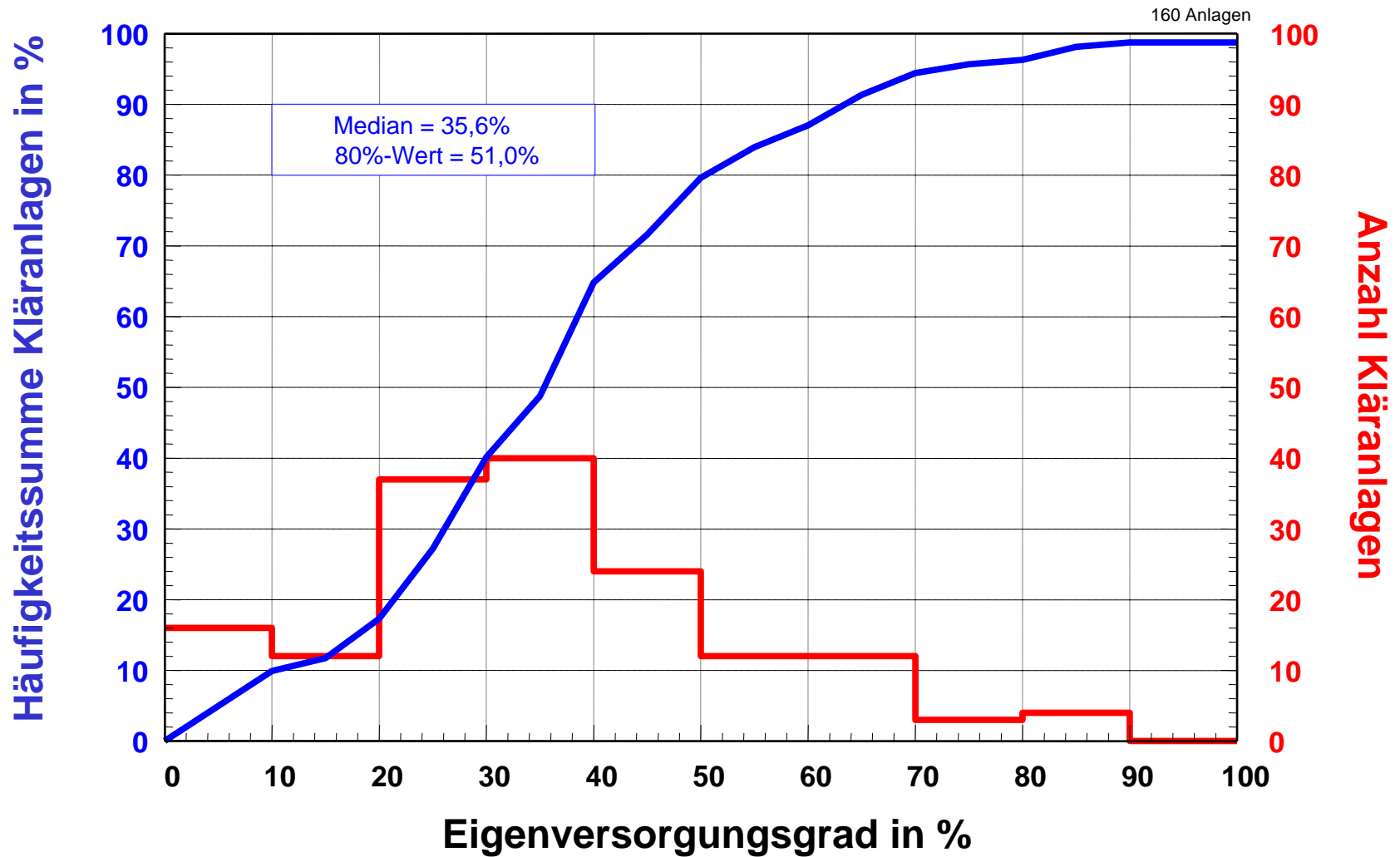
➔ Ein oder Zweistufigkeit

- AB-Verfahren
- „konventionelle“ Zweistufigkeit

➔ Externe Kohlenstoffzugabe



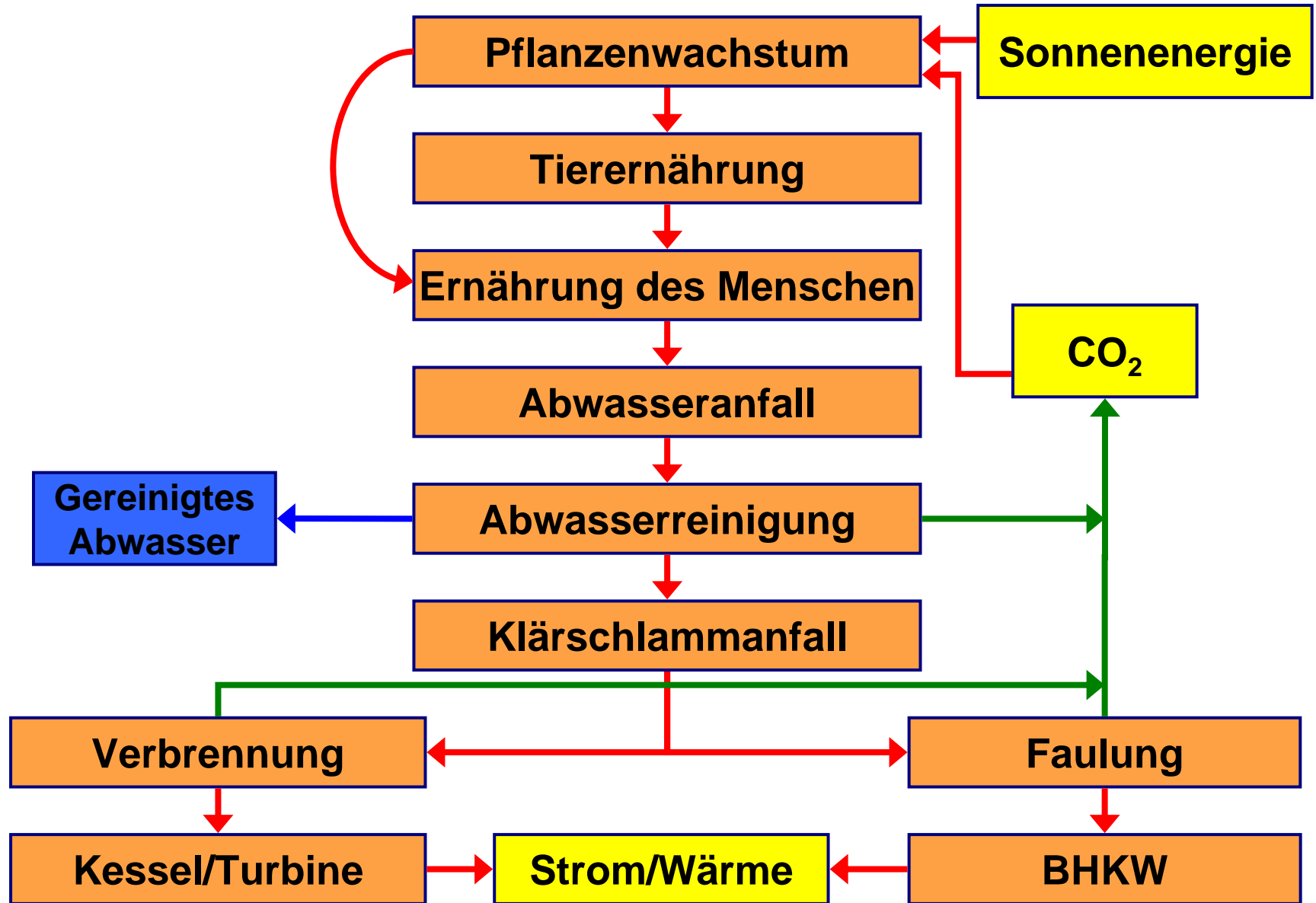
Eigenstromerzeugung auf Kläranlagen in BW



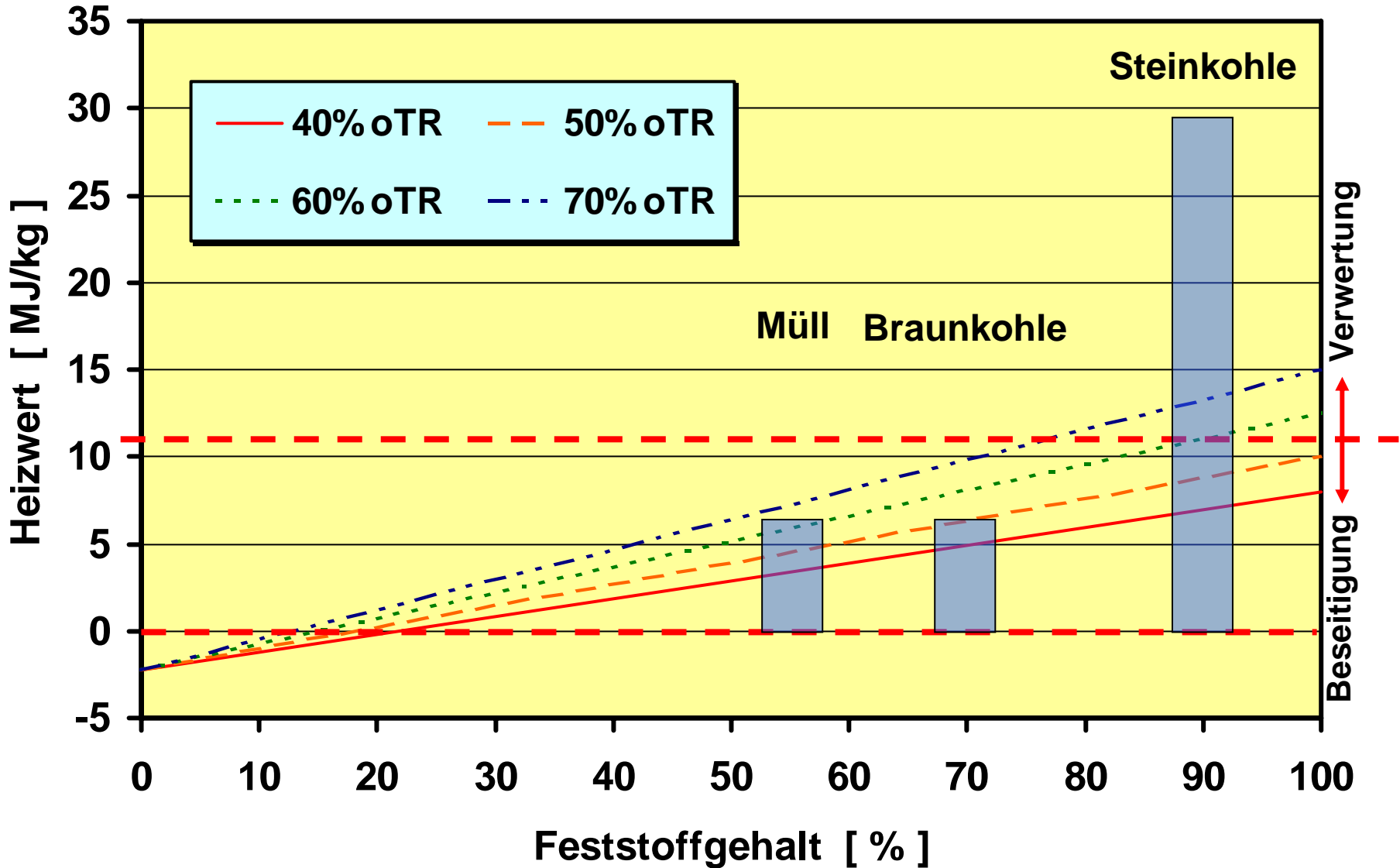
Quelle: Roth

30

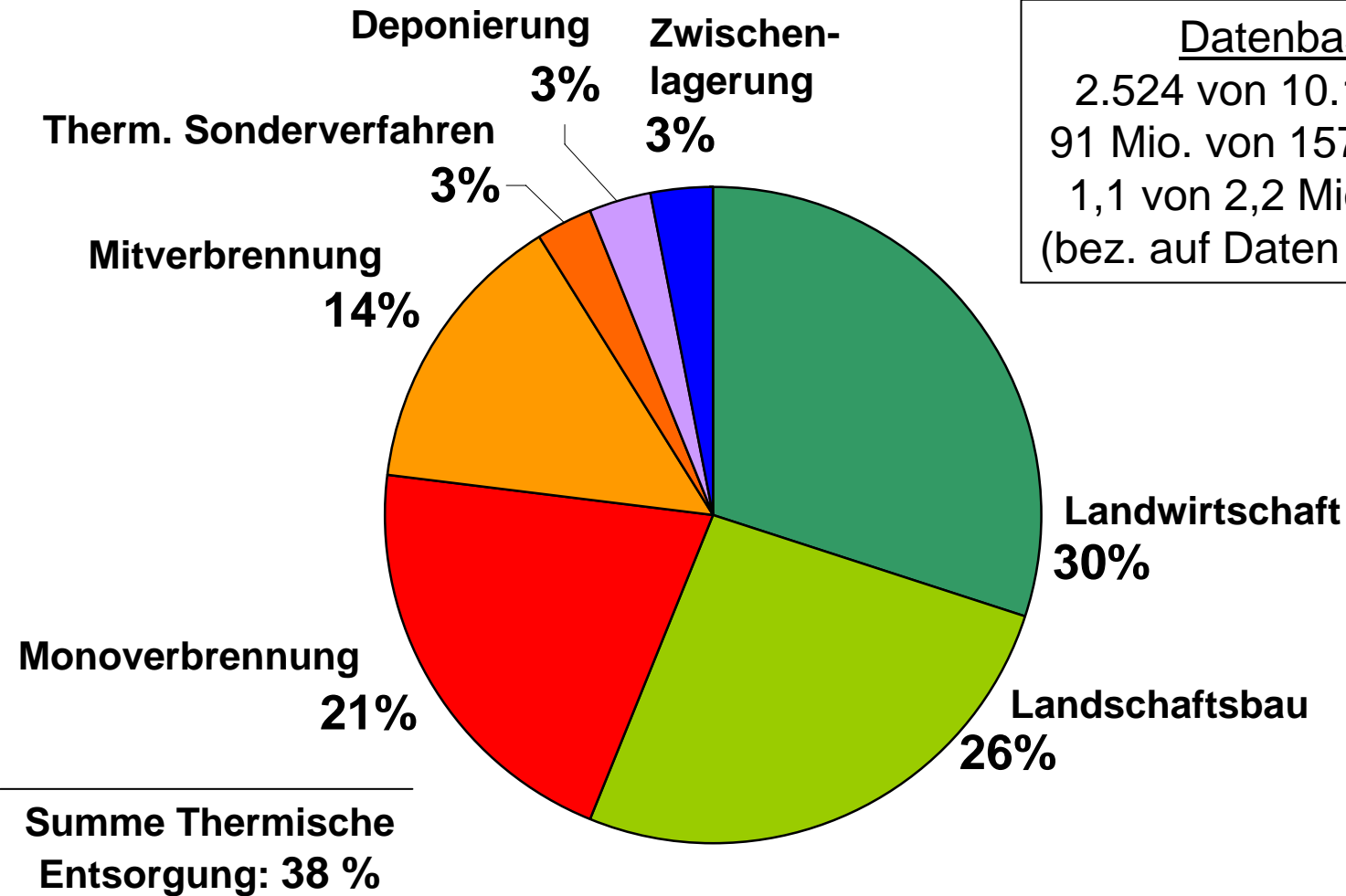
Energetische Nutzung des Klärschlammes



Heizwert von Klärschlämmen

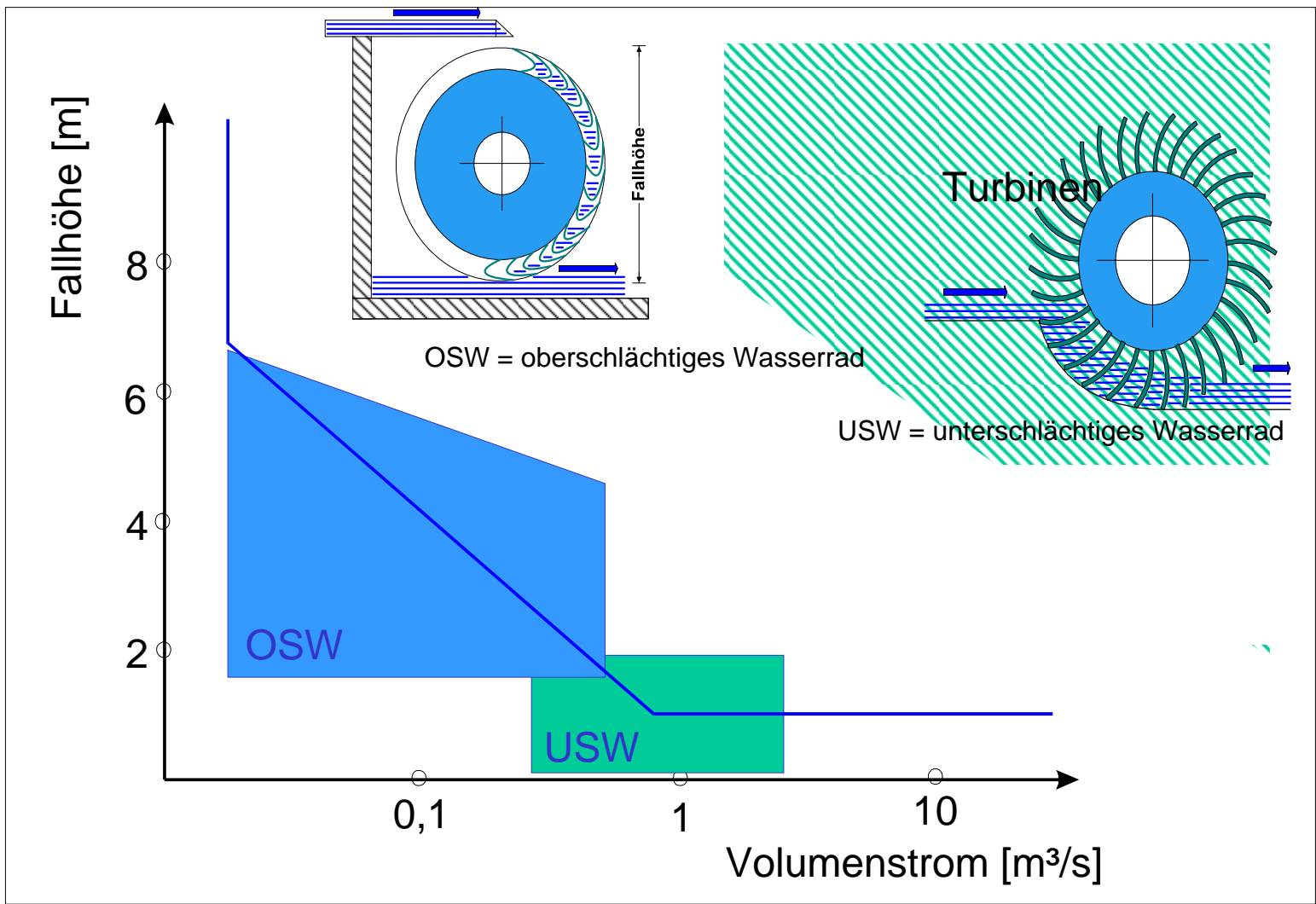


Klärschlammverbleib 2003



Datenbasis:
2.524 von 10.188 ABA
91 Mio. von 157 Mio. EW
1,1 von 2,2 Mio. Mg m_T
(bez. auf Daten des StBA)

Einsatzbereiche ober- und unterschlächtiger Wasserräder



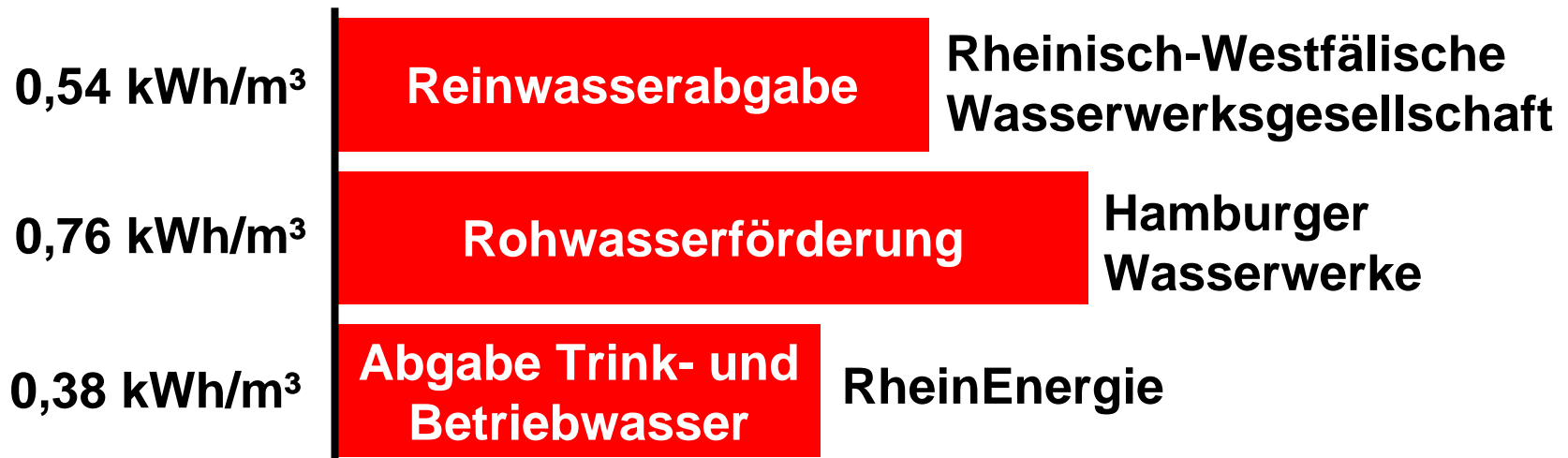
Einbau des Wasserrades



**kein standardisiertes Bauwerk
=> besondere Maßnahmen**

Energieverbrauch der Trinkwasserversorgung

- ➔ **Stark schwankender Energiebedarf**
 - Rohwasserart und -qualität
 - Größe und Topographie des Versorgungsgebietes
- ➔ **Vor- und nachgeschaltete Schritte berücksichtigen**
 - Brennen von Kalk
 - Schlammbehandlung und Entsorgung
- ➔ **Negativ: Abkehr von naturnahen Verfahren**
- ➔ **Beispielhafte Energieverbräuche:**



Beitrag zur Reduktion von THG - Emissionen

Trinkwasserbereitstellung

- ➔ Austausch energieaufwändiger gegen weniger energieintensive Anlagen,
- ➔ Überprüfung der eingesetzten Betriebsmittel und Aufbereitungschemikalien zur Minimierung der vor und nachgeschalteten Schritte
- ➔ Verminderung von Wasserverlusten bei der Aufbereitung und Verteilung

Am Ort des Wasserverbrauchs durch Optimierung der Wasserqualität

- ➔ Optimierte bzw. definiert eingestellte Wasserqualität.
- ➔ Ansatz bei der Wasserhärte
- ➔ Härtebedingte Verluste bei der Warmwasserbereitstellung sowie durch den Zusatzbedarf an Wasch- und Reinigungsmitteln ergibt einen erhöhten Energiebedarf.

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit !**