

# Entwicklung eines Konzeptes zur Steigerung der Energieeffizienz und Betriebssicherheit sowie zur Optimierung des gekoppelten Systems Klär-/Biogasanlage

F. Uhlenhut<sup>1\*</sup>, S. Steinigeweg<sup>1</sup>, W. Lindenthal<sup>1</sup>, A. Borchert<sup>1</sup>

<sup>1</sup> EUTEC

*Fachbereich Technik,  
Hochschule Emden/Leer  
Constantiaplatz 4, D-26723 Emden*

*K. Wellbrock, M. Grottker  
Fachhochschule Lübeck  
Mönkhofer Weg 239  
23562 Lübeck*

*\*Vortragender Autor, e-mail: frank.uhlenhut@hs-emden-leer.de*



Innovationsforum Wasserwirtschaft, 10.10.2011

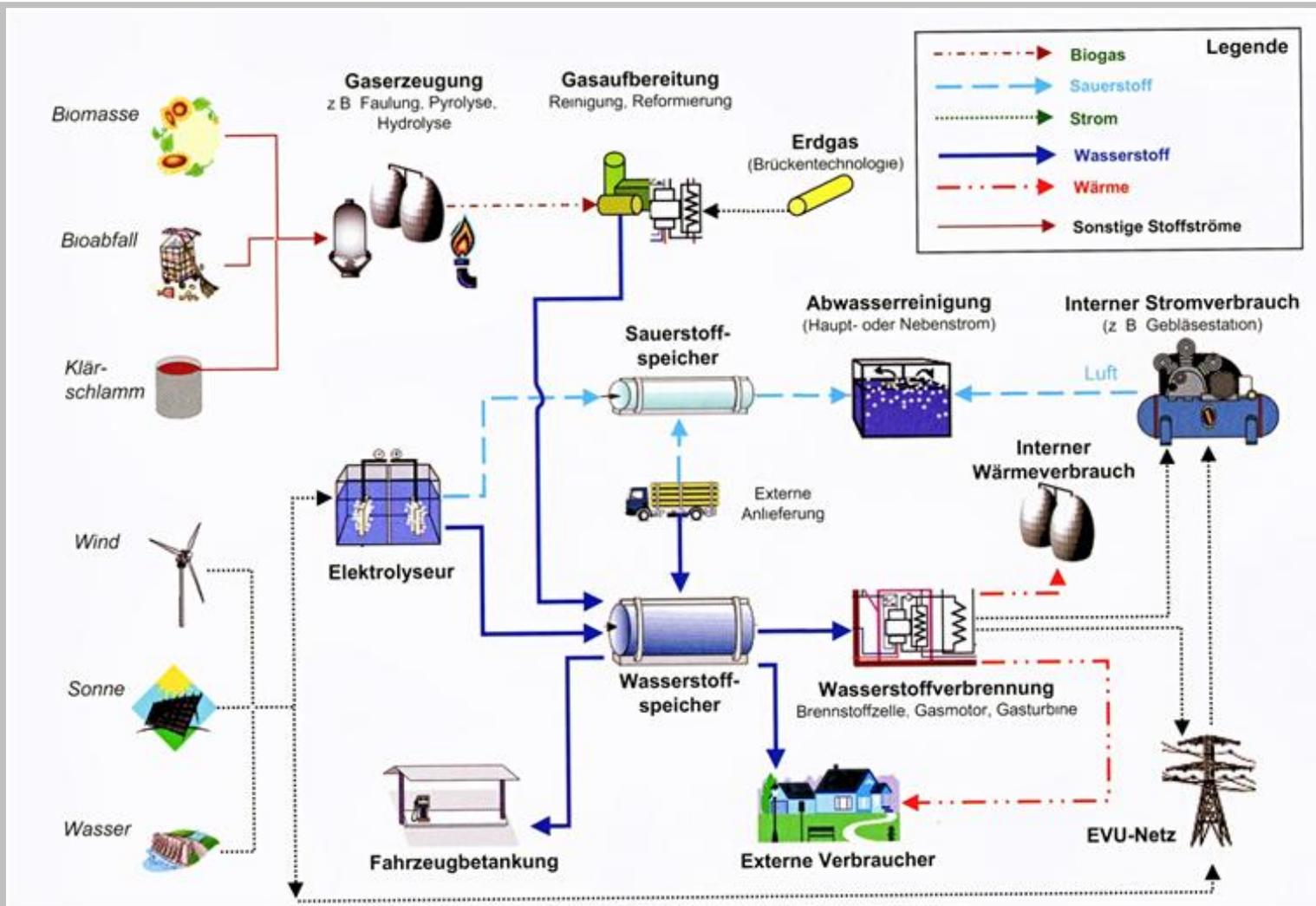
# Gliederung

- Einleitung/Motivation
- Bisherige Arbeiten
  - Bestandserfassung
    - Kläranlage Emden
    - Kläranlage Reinfeld
    - VAK Reinfeld
  - Simulation der Kläranlage Emden
  - Potenzialabschätzung
- Ziele des Hauptprojektes

# Einleitung/Motivation

- Anteil der Abwasserreinigung am gesamten kommunalen Strombedarf beträgt rund 35 % [*G. Seibert-Erling*].
- Insgesamt werden in Deutschland jährlich rund 4.400 GWh elektrischer Energie für die Abwasserreinigung aufgewendet und dadurch ca. 3 Mio. t CO<sub>2</sub> ausgestoßen [*UBA 2008, Schmitt 2010*].
- Steigende Energiekosten und Zielvorgabe einer CO<sub>2</sub>-Reduzierung ⇒ Auch Abwasserreinigung muss effizienter gestaltet werden! ⇒ Energieeffizienzsteigerung und Nutzung eigener Energieträger.
- Über eine Kombination klassischer Energieträger (Faulgas, Klärschlamm) mit nicht unterbrechungsfrei verfügbaren Energien (Windenergie, Solarenergie) könnten Kläranlagen einen Beitrag zur Abdeckung der Residuallast leisten.

# Einleitung/Motivation



Entwurf für ein gekoppeltes Gesamtsystem zur zukünftigen Energieversorgung.  
 [Dohmann und Schröder, 2011]

# Bisherige Arbeiten

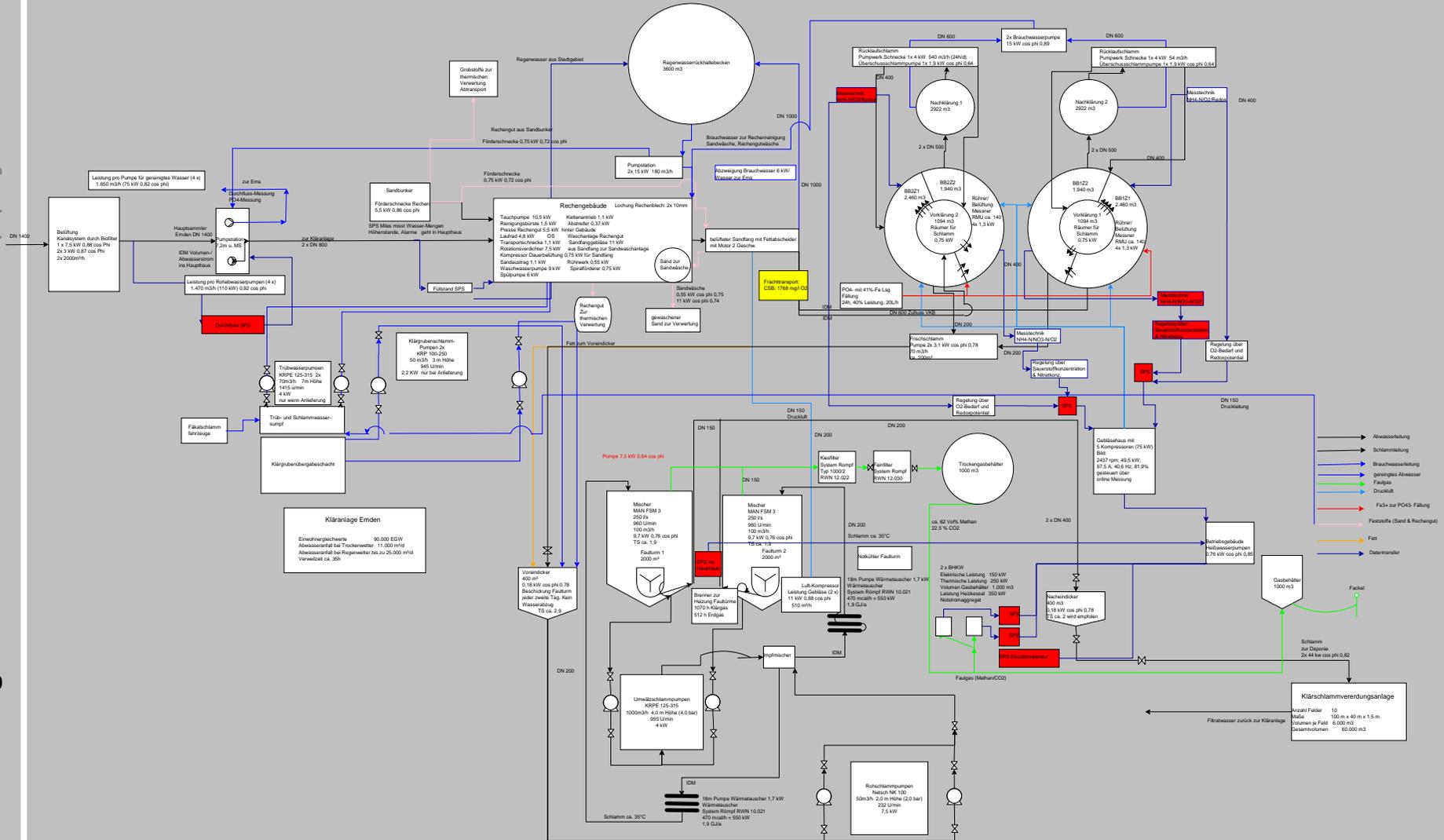
# Bestandserfassung

- Erfassung von:
  - Anlagen- und Prozess-Steuerung
  - Volumen- und Stoffströme
  - Energieverbrauch für einzelne Anlagenteile/Prozesse
  - Online-Daten der Kläranlage Emden mit dem Aqualogic-System der Firma Passavant-Intech GmbH für die Belebungsbecken und die Belüftung
  - Online-Daten der Stadtwerke Emden für die Kläranlage Emden

# Bestandserfassung – KA Emden

2. Ziele des Hauptprojektes

1. Bisherige Arbeiten



# Bestandserfassung – KA Emden

2. Ziele des Hauptprojektes

1. Bisherige Arbeiten



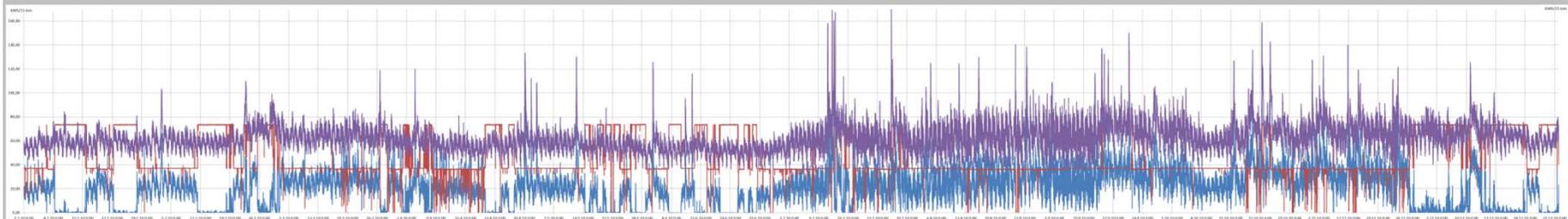
# Bestandserfassung – KA Emden

- 90.000 EW; 75.000 EW angeschlossen
- 11.000 m<sup>3</sup> – 25.000 m<sup>3</sup> Abwasser pro Tag
- Klärschlamm zum Faulturm:
  - 150 m<sup>3</sup> alle 2 Tage in jeden Faulturm
- Klärschlamm vom Faulturm zur Vererdung:
  - 150 m<sup>3</sup> alle 2 Tage aus jedem Faulturm
- Verbrauch elektrische Energie:
  - 2.224.653,96 kWh/a ⇒ 29,33 kWh/(a\*EW)
  - 741.718,26 kWh/a von Stadtwerken
  - 1.482.935,70 kWh/a aus BHKW
- Gewinnung elektrische Energie BHKW:
  - 737.419 kWh/a aus Klärgas
    - 564.898 m<sup>3</sup> (simuliert: 541.946 m<sup>3</sup>)
  - 859.531 kWh/a aus Erdgas
  
  - Einspeisung ins Netz:  
114.015,90 kWh/a

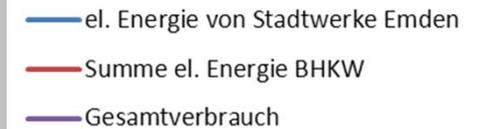
# Bestandserfassung – KA Emden

KA Emden:

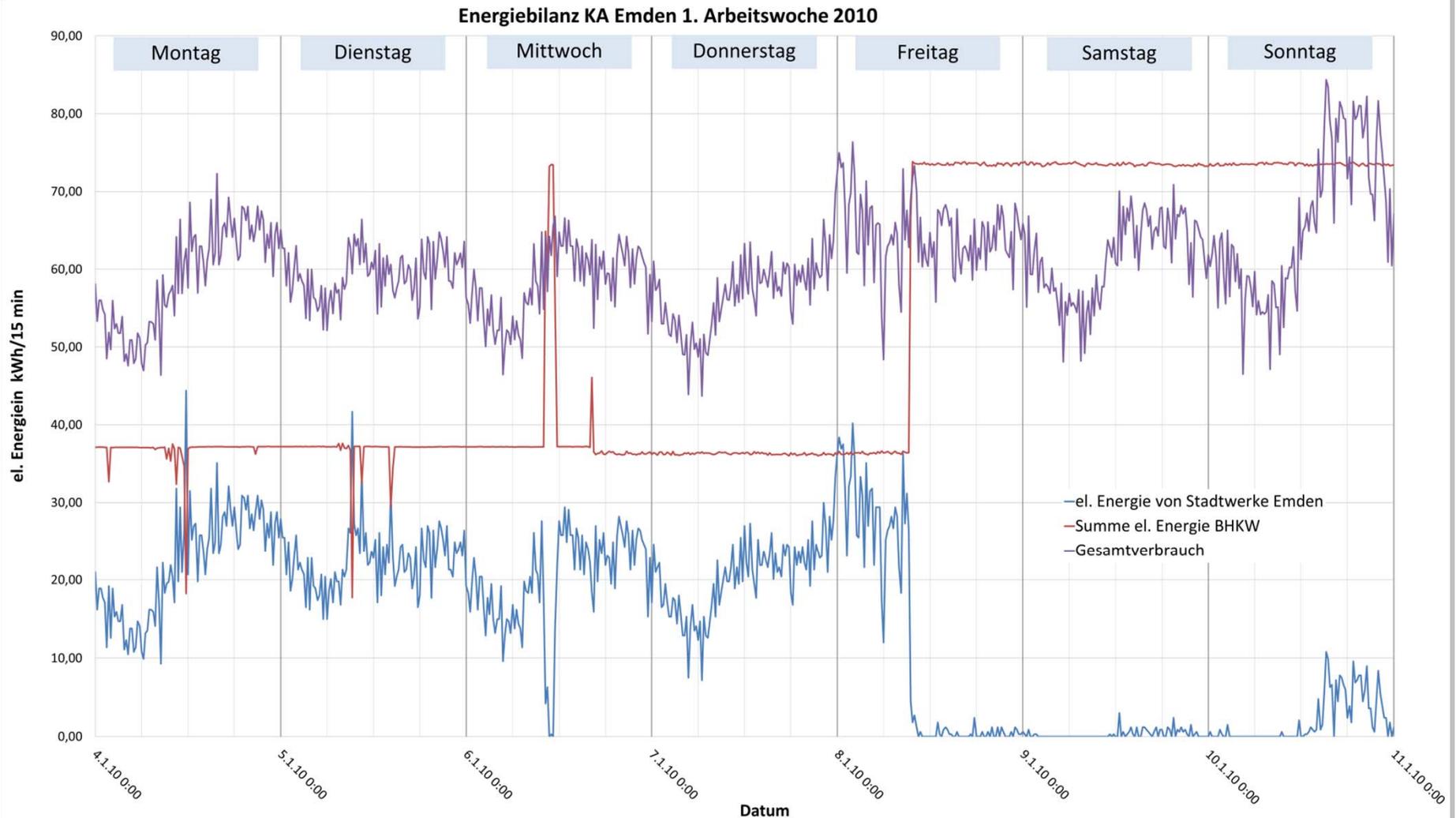
Vergleich der selbst erzeugten und von den Stadtwerken gelieferten elektrischen Energie zum Verbrauch der KA.



Jahresverlauf



# Elektrische Energie – KA Emden



1. Arbeitswoche 2010 (04.01. – 11.01.2010)

# Elektrische Energie – KA Emden

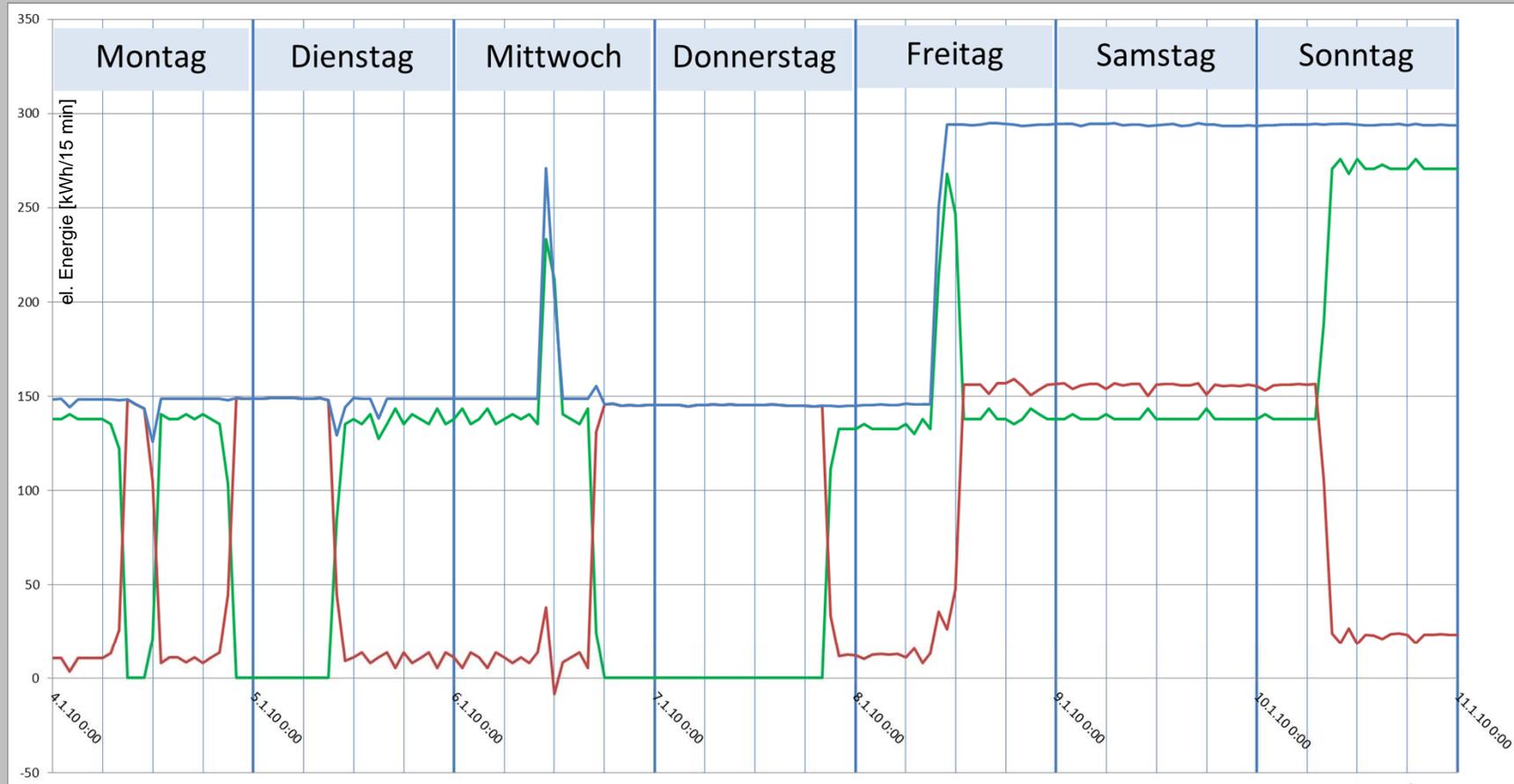
KA Emden:

Vergleich der aus Klärgas und aus Erdgas in den BHKWs erzeugten elektrischen Energie.



# Elektrische Energie – KA Emden

KA Emden: Vergleich der aus Klärgas und aus Erdgas in den BHKWs erzeugten elektrischen Energie.



1. Arbeitswoche 2010 (04.01. – 11.01.2010)

Innovationsforum Wasserwirtschaft, 10.10.2011

Folie 13

# Bestandserfassung – KA Reinfeld

2. Ziele des Hauptprojektes

1. Bisherige Arbeiten

Kenndaten der KA Reinfeld	
Jahresschmutzwassermenge	Zulauf 565,000 m <sup>3</sup> /a
	Ablauf 521,000 m <sup>3</sup> /a
Tagesmittel	Zulauf 1,549 m <sup>3</sup> /d
	Ablauf 1,426 m <sup>3</sup> /d
Energieverbrauch	gesamt 766.290 kWh/a 747.758 kWh/a (für das Jahr 2009 / 2010)
	pro EW 58.9 / 57.5 kWh/(EW*a) (bezogen auf 13.000 EW)
Energieerzeugung	z. Zt. keine; BHKW ist in Revision
Faulgasproduktion	gesamt 132,110 m <sup>3</sup> /a
	theo. Energieausbeute 792,660 kWh/a (bei 6 kWh/m <sup>3</sup> Biogas; ATV M 372)

Referenzwert:

**ca. 35 bis 44 kWh/(EW\*a)**

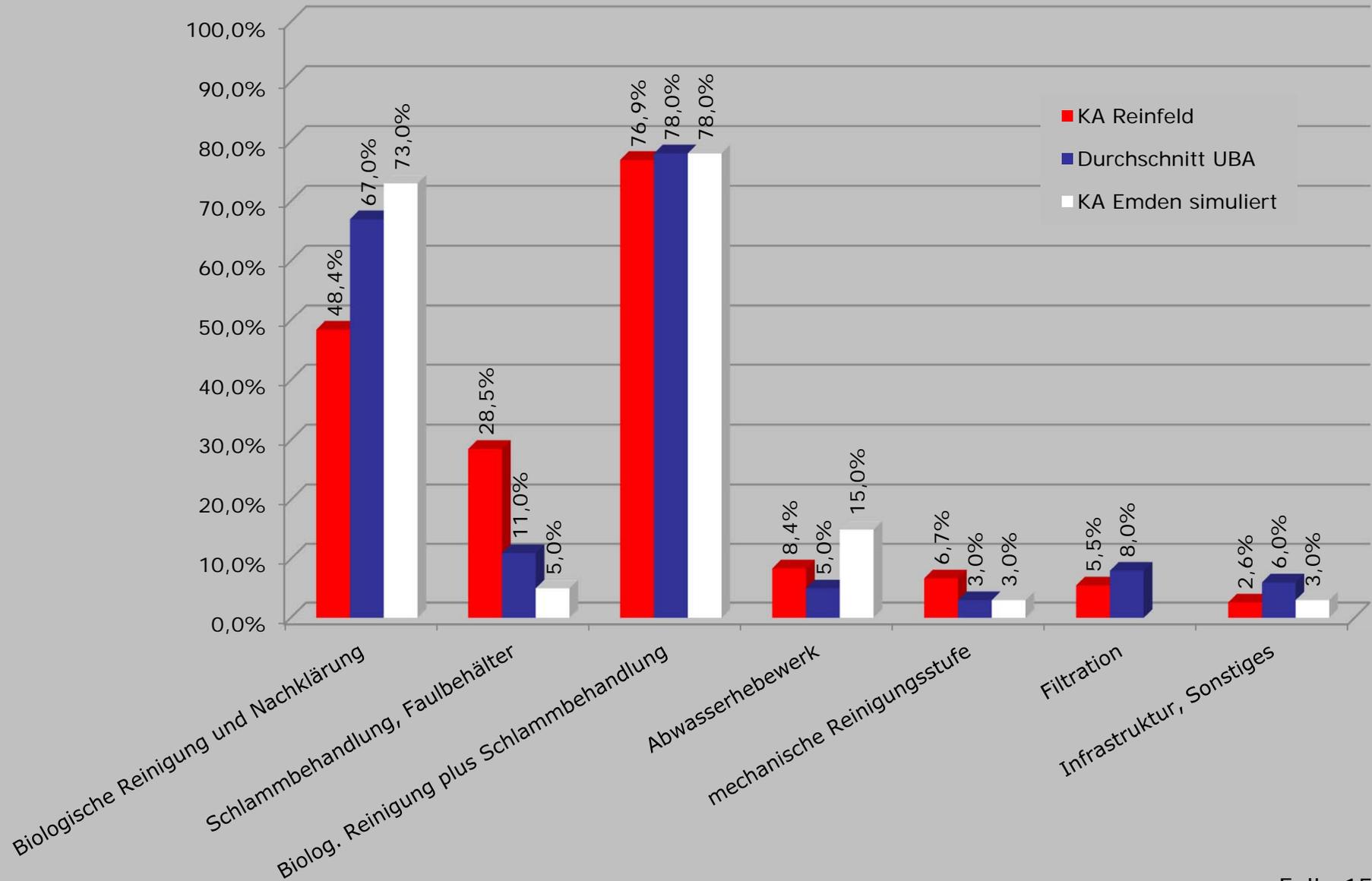
(Umweltbundesamt, 2009)

Bei einem Wirkungsgrad (elektr.) von 23 % wie in Emden nur 182.311 kWh/a

# Energieverteilung Verbraucher

2. Ziele des Hauptprojektes

1. Bisherige Arbeiten



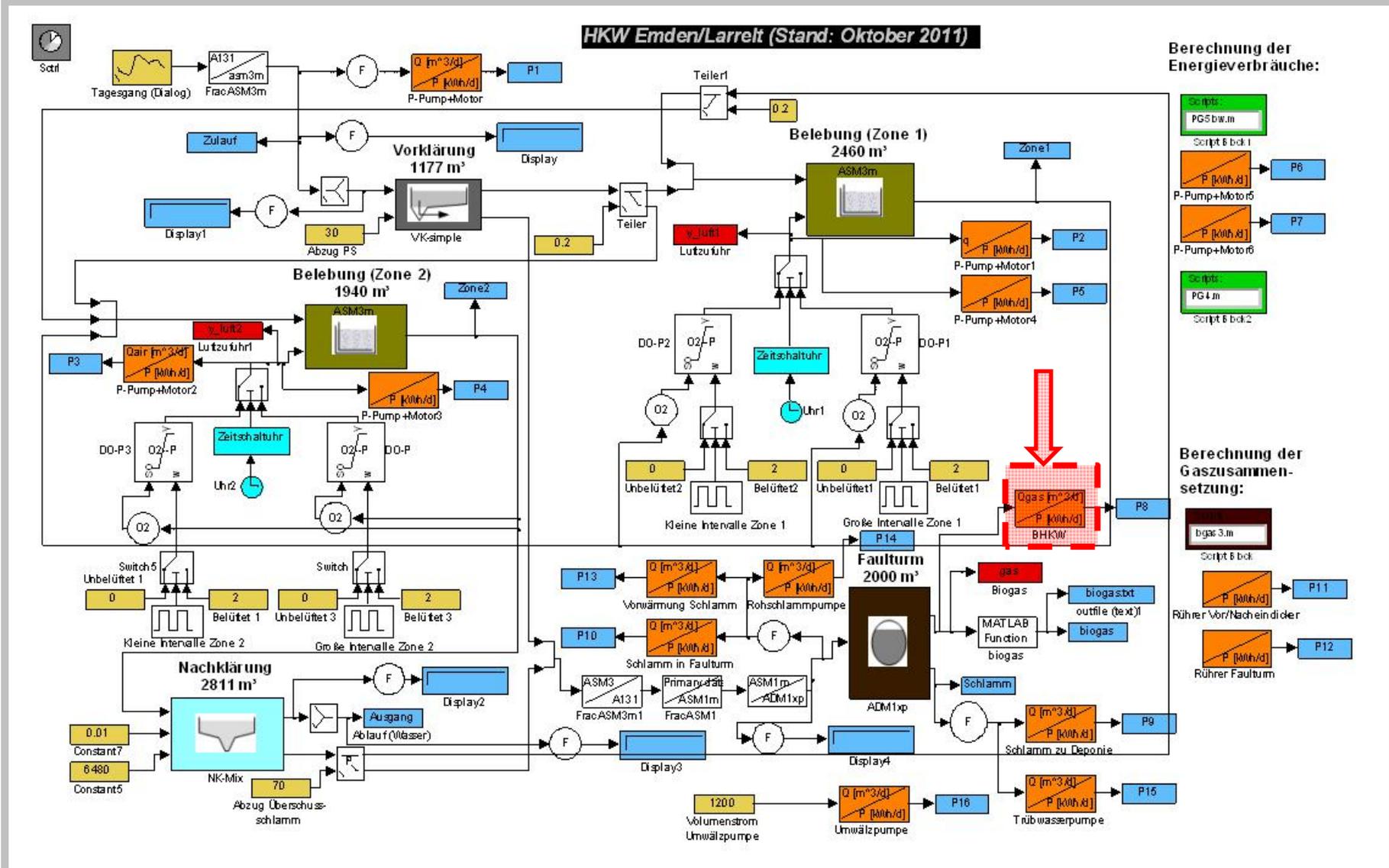
# Simulation der Kläranlage Emden

- Simulation der Kläranlage mit Modellansatz ASM3 unter SIMBA<sup>®</sup>5 und 6:
  - Erfassung der online-Daten der Kläranlage Emden
  - Umstellung des vorhandenen SIMBA<sup>®</sup>5-Modells auf SIMBA<sup>®</sup>6
  - Variation der Parameter um bestehende Anlage abbilden zu können
  - Datenermittlung mit Labormessungen (Tagesgang: CSB,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{O}_2$ )
  - Verifikation des Modells mit eigenen Messungen

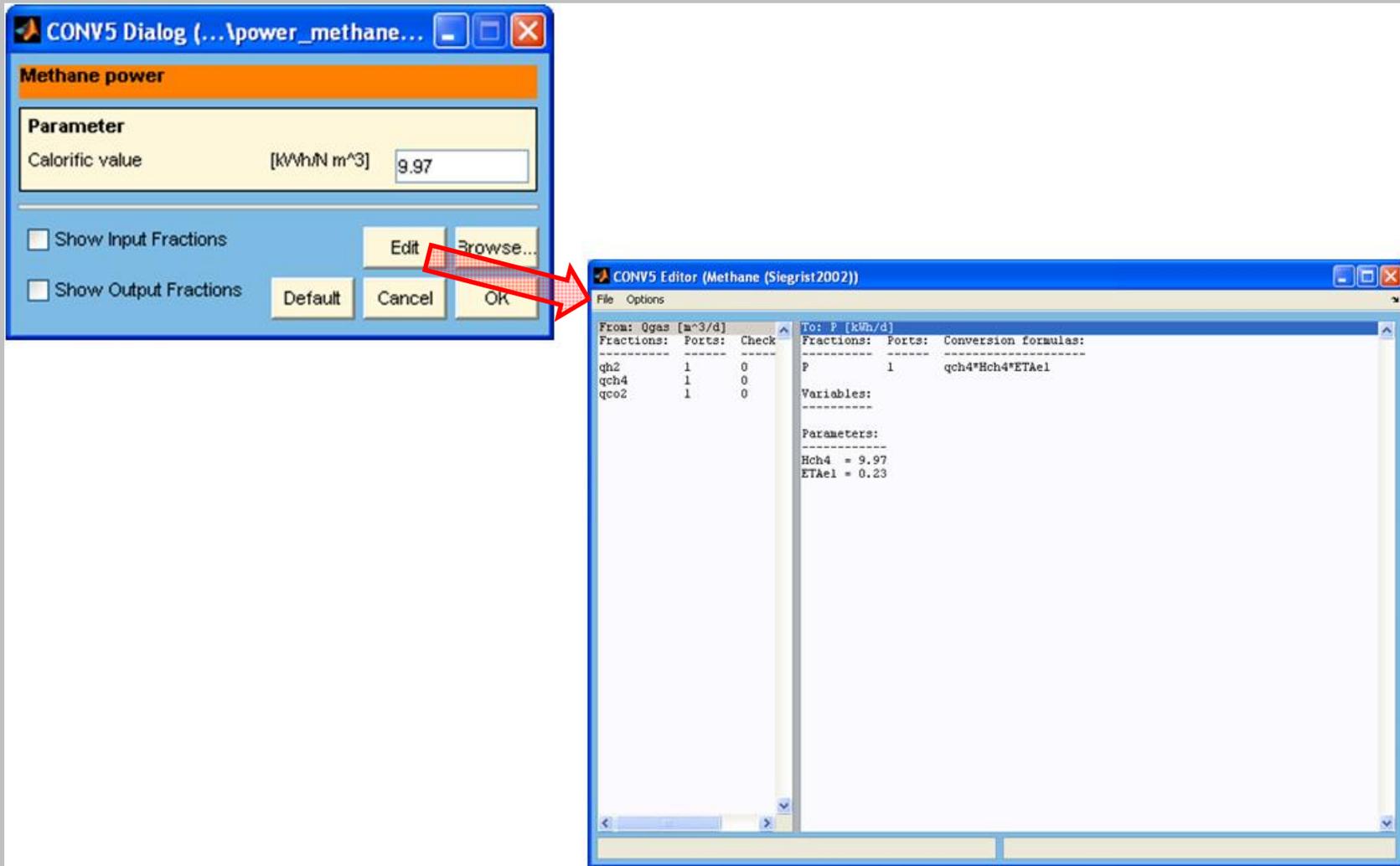
# Nachbildung der Belüftung – KA Emden

2. Ziele des Hauptprojektes

1. Bisherige Arbeiten



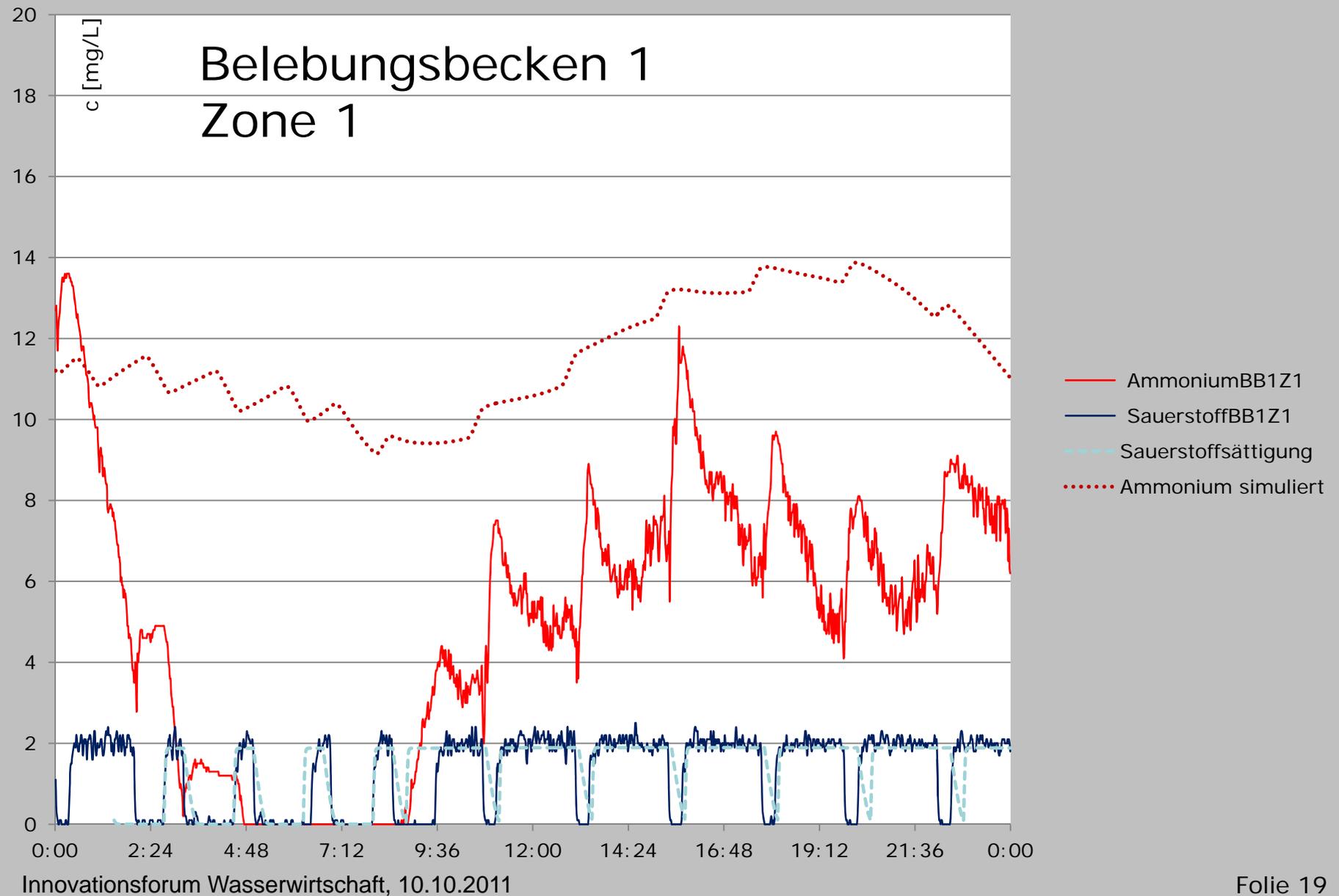
# Berechnung der Energie mit Energieblöcken



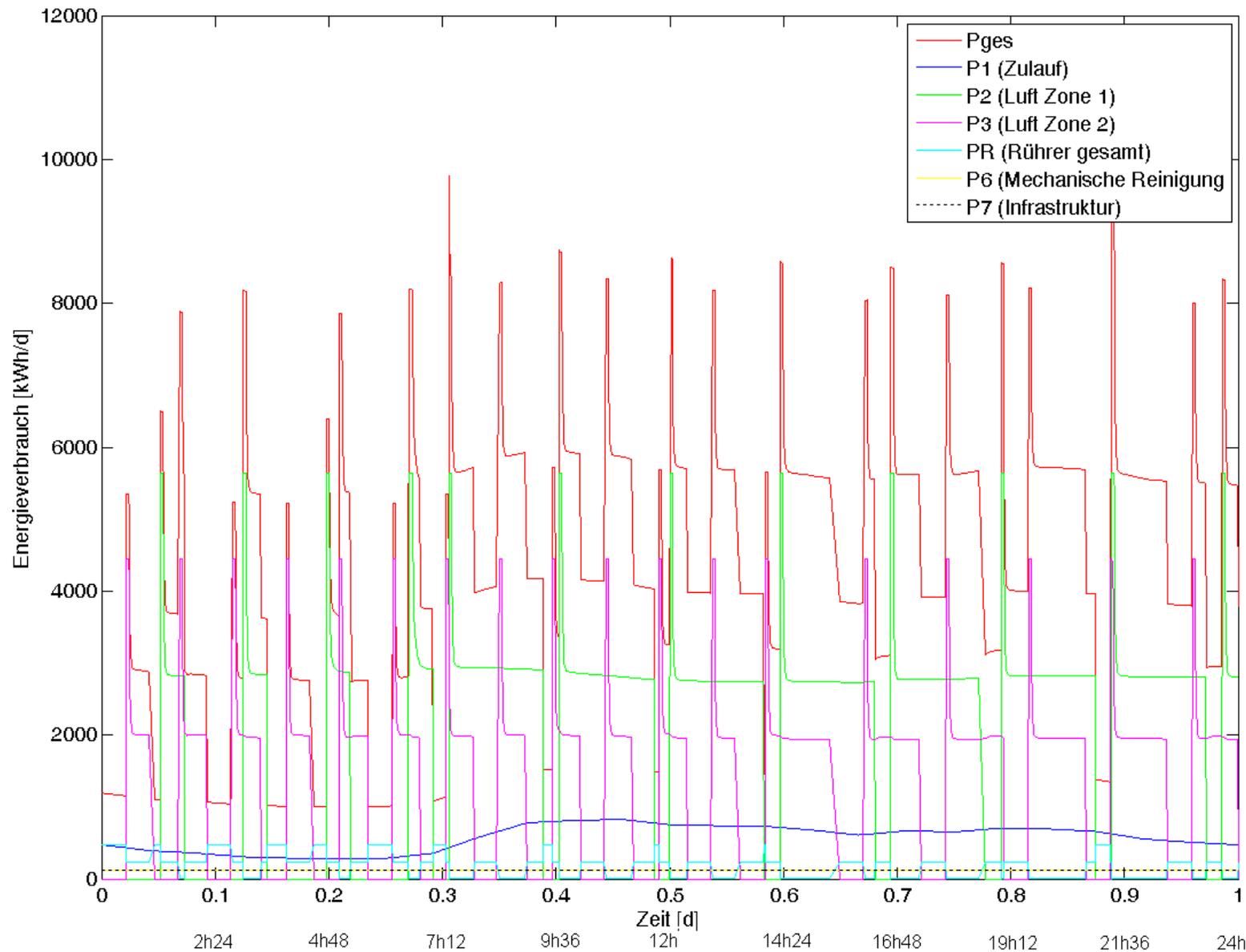
# Beispiel: Vergleich Messwerte/Simulation

2. Ziele des Hauptprojektes

1. Bisherige Arbeiten



# Berechnung der Energie für KA Emden



# Ausblick Hauptprojekt

# Ausblick Hauptprojekt

## Allgemeine Ziele:

- Verstehen der Prozesse
- Simulation der Prozesse
- Intensivierung der Prozesse
- Energieeinsparung bei der Abwasserbehandlung
- Optimierung der Energiegewinnung bei der Faulung
- Steigerung der Betriebssicherheit

# Ausblick Hauptprojekt

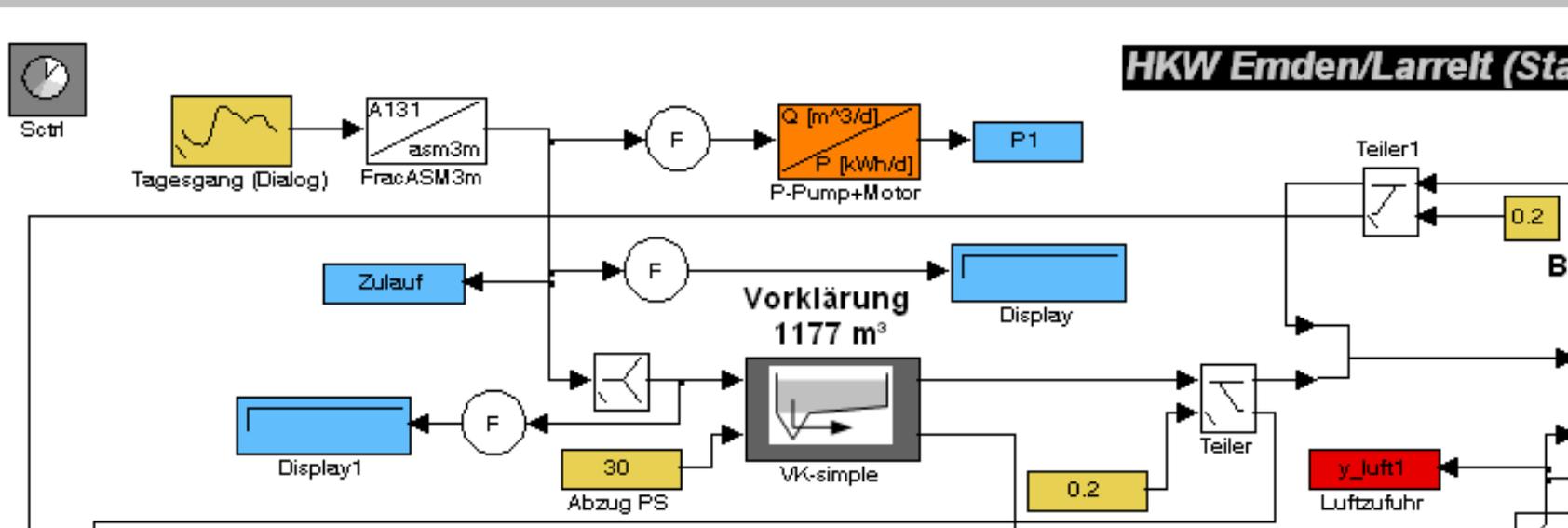
- Auf Basis vorhandener Simulationstools und -untersuchungen soll eine Verknüpfung beider Komponenten erfolgen, um eine Optimierung des Gesamtsystems Kläranlage-/Biogasanlage unter ökonomischen und ökologischen Aspekten zu erreichen.
- Dabei werden insbesondere auch die optimale Reststoffnutzung (fest/flüssig) und die Betriebssicherheit im Fokus der Betrachtungen stehen.
- Das Gesamtkonzept soll zunächst auf der Versuchs- und Ausbildungskläranlage (VAK) Reinfeld getestet werden.
- Anschließend Einsatz auf der kommunalen Kläranlage Emden (*und Reinfeld; Stufe 3*).
- Überprüfung der vorgeschlagenen Änderungen mittels des Sensitivitätsmodells nach F. Vester (weiche Faktoren können in das Wirkungsgefüge eingebunden werden).

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen???

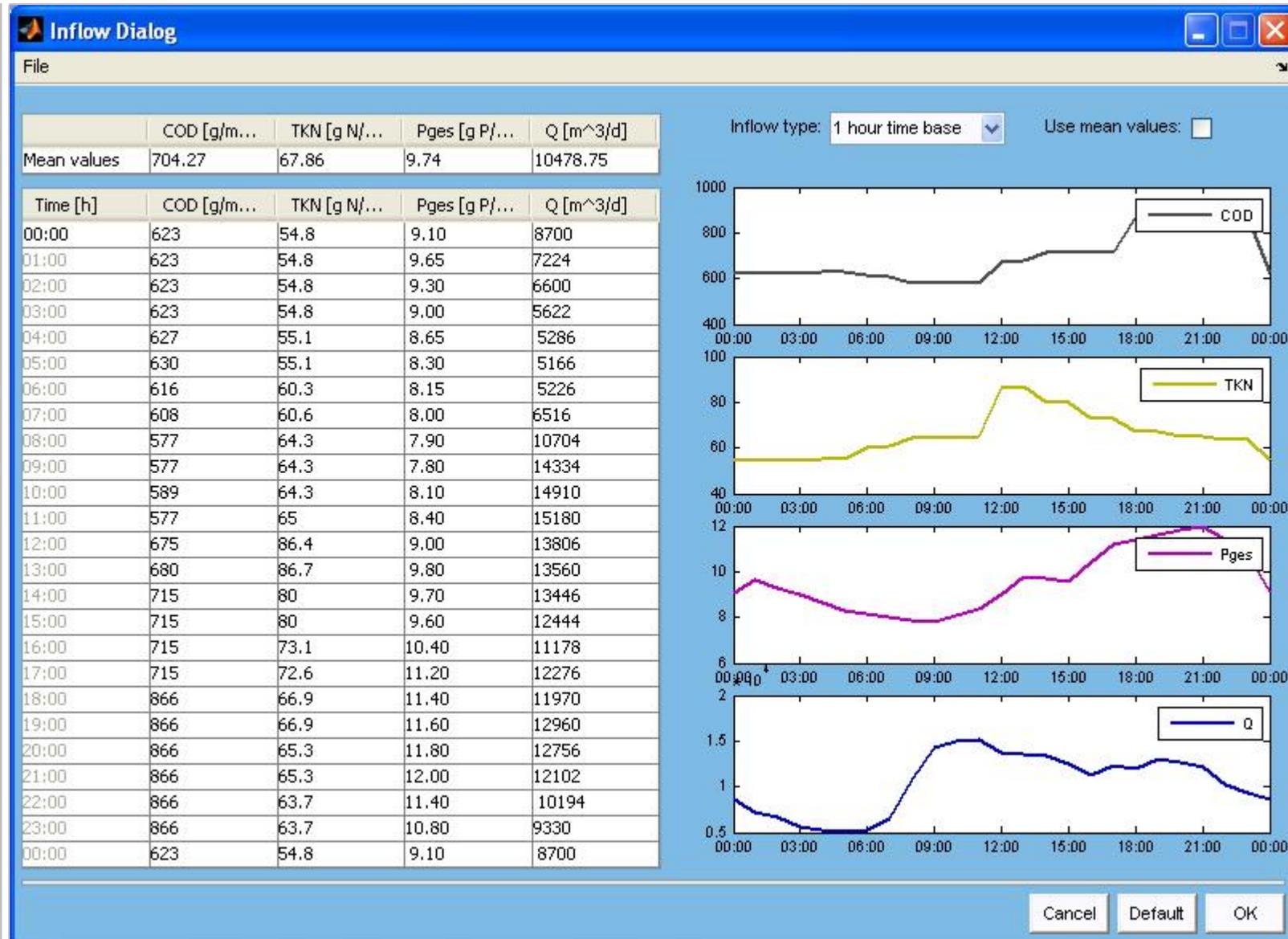


# Nachbildung der Belüftung im Modell - KA Emden

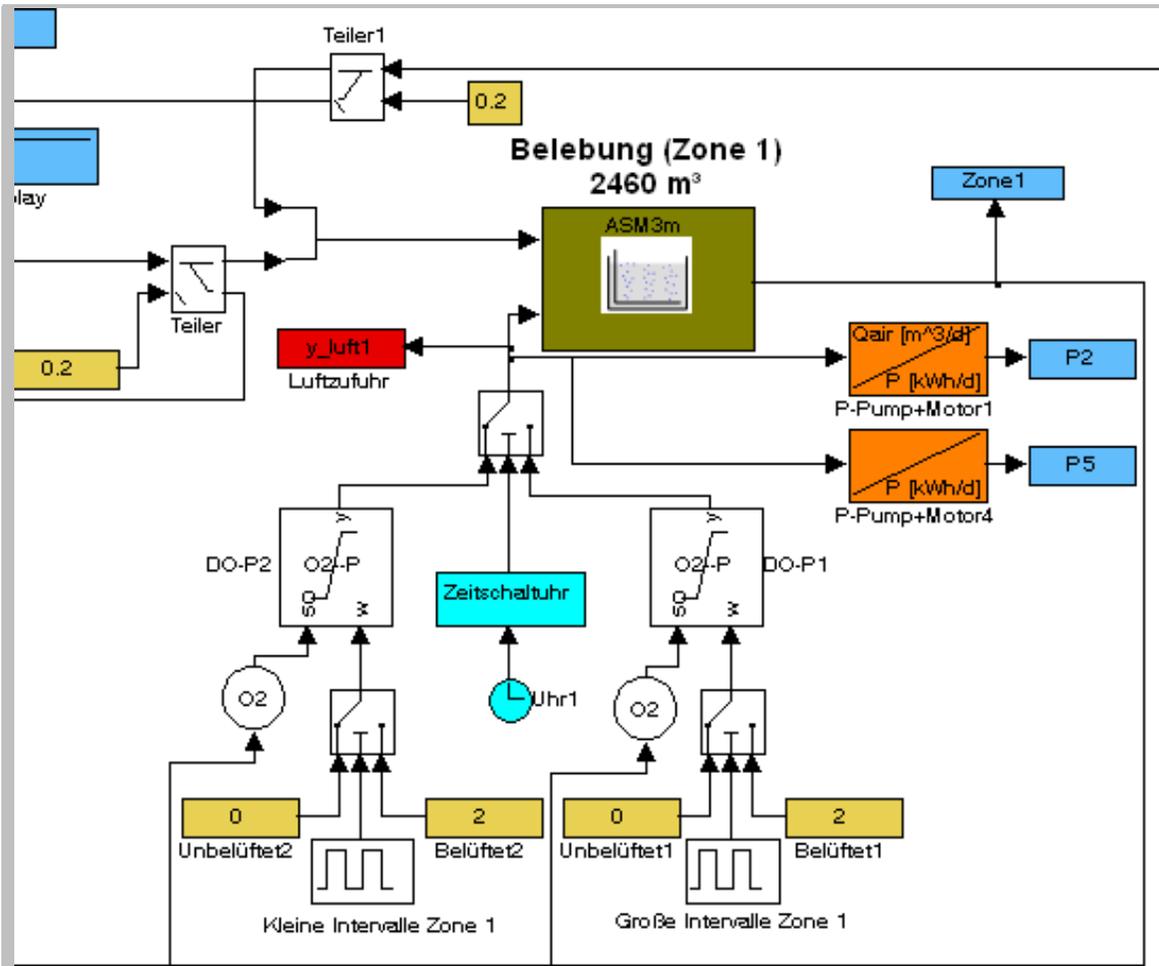


- Tagesgang (Volumenstrom, CSB, TKN)
- Konverter-Block zur Umrechnung in die 13 Datensätze für die Stoffgruppen des ASM3 (Activated Sludge Model No.3) sowie den Volumenstrom
- Energieverbrauch der Pumpen des Hebewerks abhängig vom Tagesgang
- Teiler für 2 identischen Straßen
- Vorklärbecken mit Volumen und täglichen Primärschlamm-Abzug
- Teiler, der 20 % des Abwasserstroms als Kohlenstoff-Quelle in Zone II des Belebungsbeckens leitet, während 80 % des Abwasserstroms in Belebungszone 1 geleitet werden

# Nachbildung der Belüftung im Modell - KA Emden



# Nachbildung der Belüftung im Modell - KA Emden

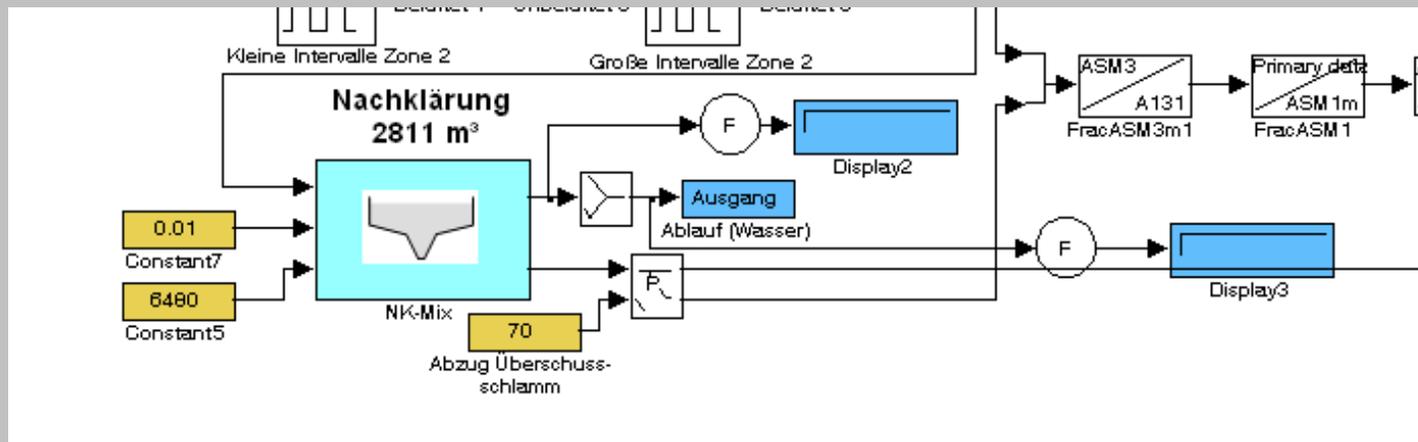


- Belebungszone I mit Volumen
- Zeitschaltuhr: zwei verschiedene Belüftungsintervalle für den oxischen und anoxischen Betrieb in Belebungszone I
- Berechnung (über Ziel-Sauerstoffgehalt der Lösung) der benötigten Luftmenge pro Zeit

Ausgabe:

- Energieverbrauch Gebläse und Rührer
- Konzentrationen aller 13 Stoffgruppen des ASM3-Modells, Volumenstrom
- Übergabe der Werte an Belebungszone II

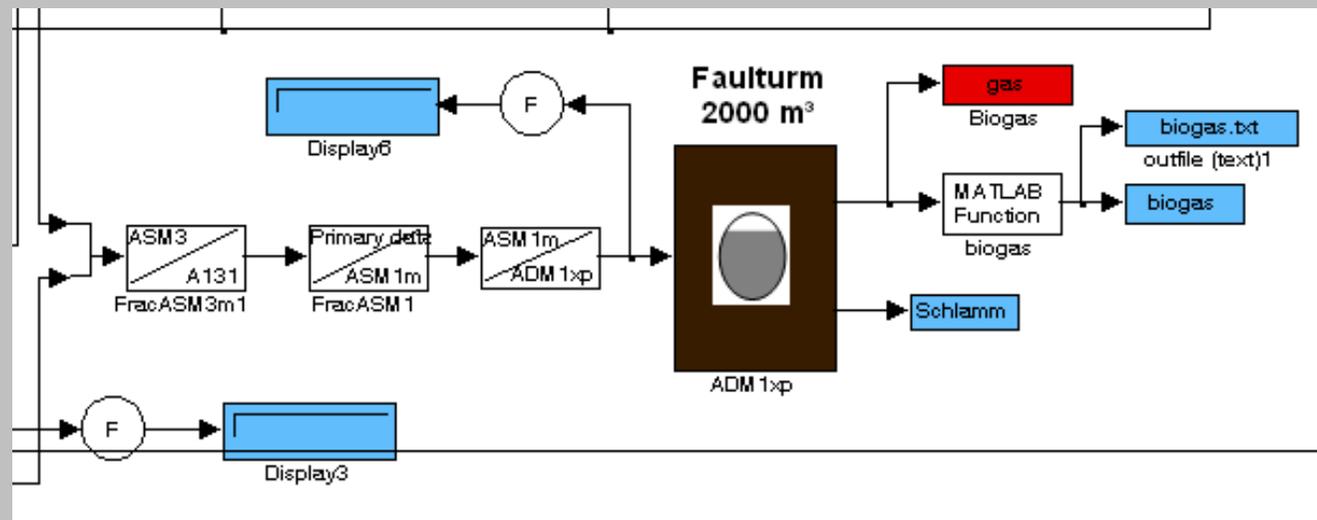
# Nachbildung der Belüftung im Modell - KA Emden



Nachklärbecken:

- Absetzen des Klärschlammes und Rückführung als Rücklaufschlamm in Belebungszone I
- Teilstrom von 70 m<sup>3</sup>/d wird als Überschussschlamm mit Primärschlamm aus der Vorklärung in die Faultürme geleitet.

# Nachbildung der Belüftung im Modell - KA Emden

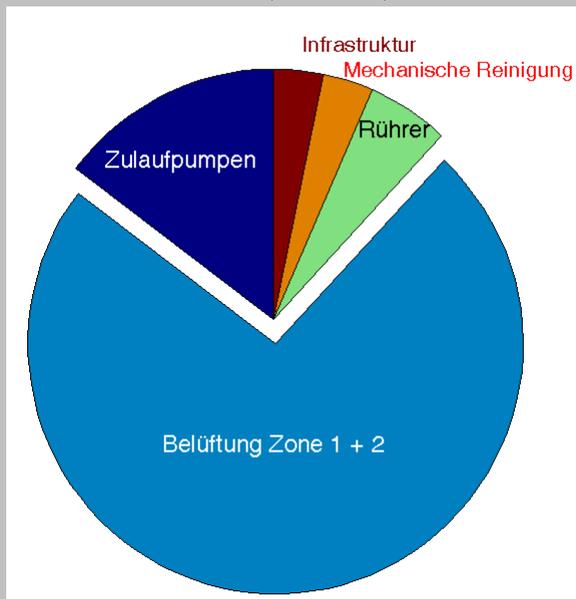
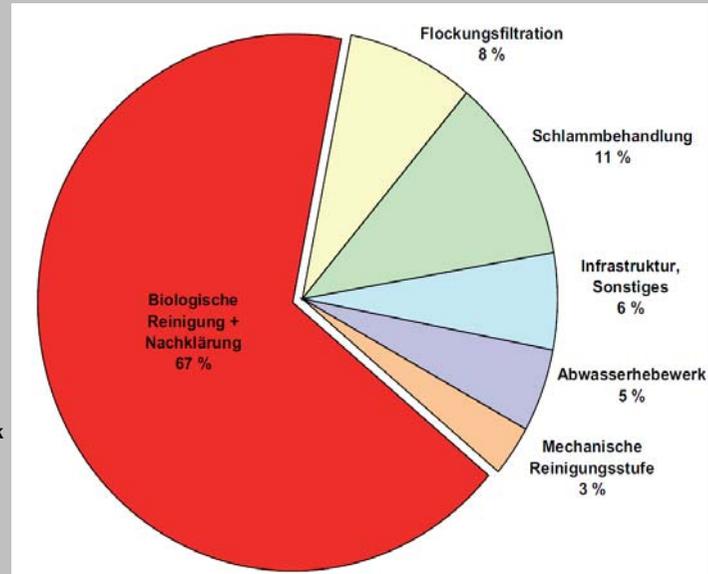
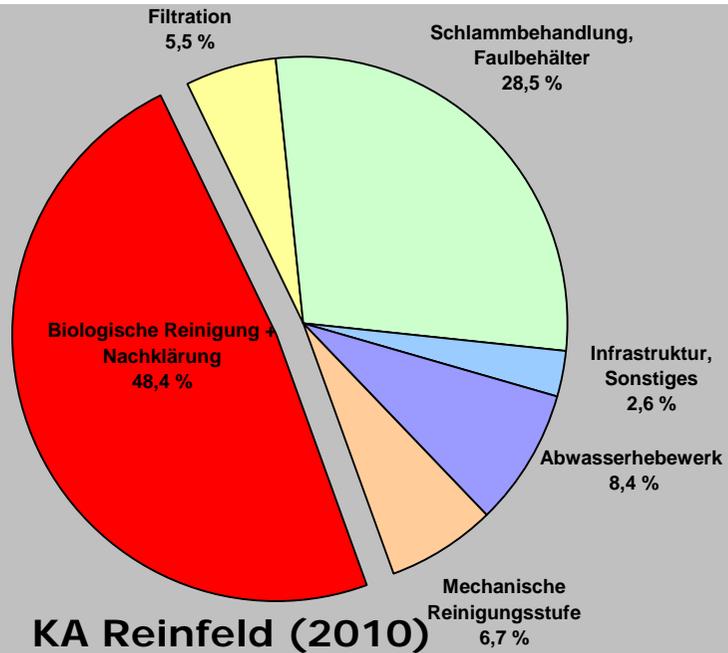


- Konvertierung der Schlamm-Daten von ASM3-Modell zu ASM1-Modell, dann zu ADM1 (Anaerobic Digestion Model No.1) mit insgesamt 33 Stoffgruppen
- Simulation der Umsetzung des Klärschlammes im Faulturm.

Ausgabe:

- Energieverbrauch durch Rührer
- Menge und Zusammensetzung des zu erwartenden Faulgases ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2$ )
- Ablaufwerte des Gesamt-Modells

# Energieverteilung Verbraucher

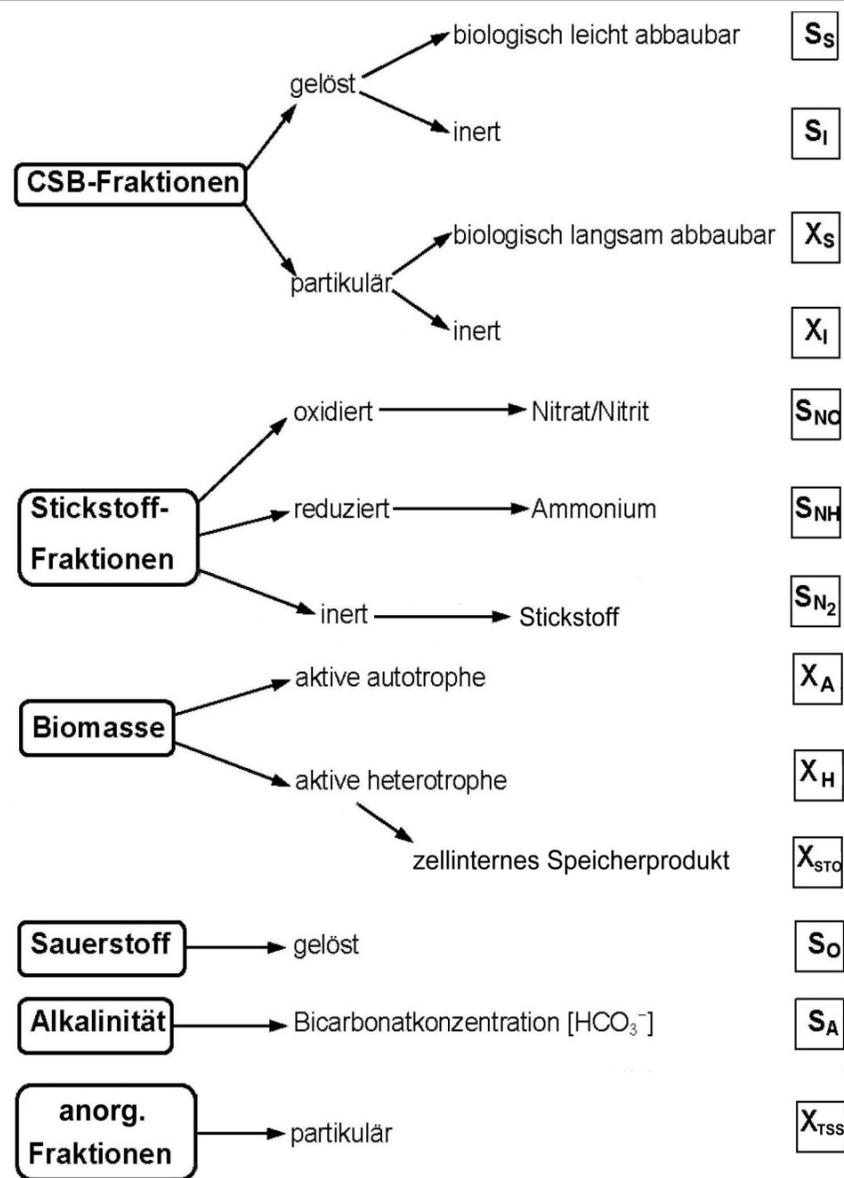


## Simulation der KA Emden

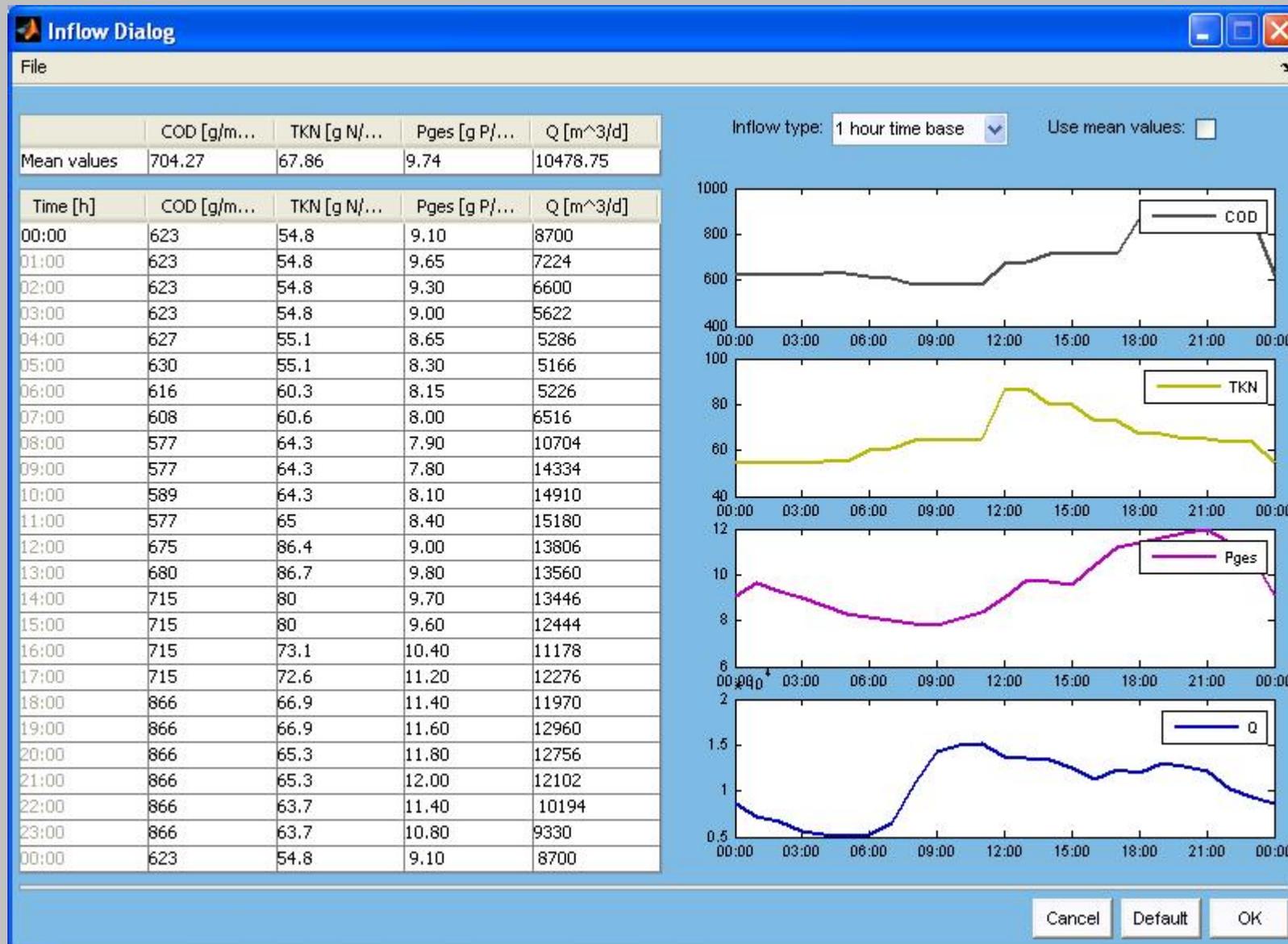
Aufteilung der verschiedenen Energieverbraucher

Zulaufpumpen:	15 %
Belüftung Zone 1 + 2:	73 %
Rührer Belüftung:	5 %
Mechanische Reinigung:	3 %
Infrastruktur:	3 %

# 13 Fraktionen im Modellansatz ASM3

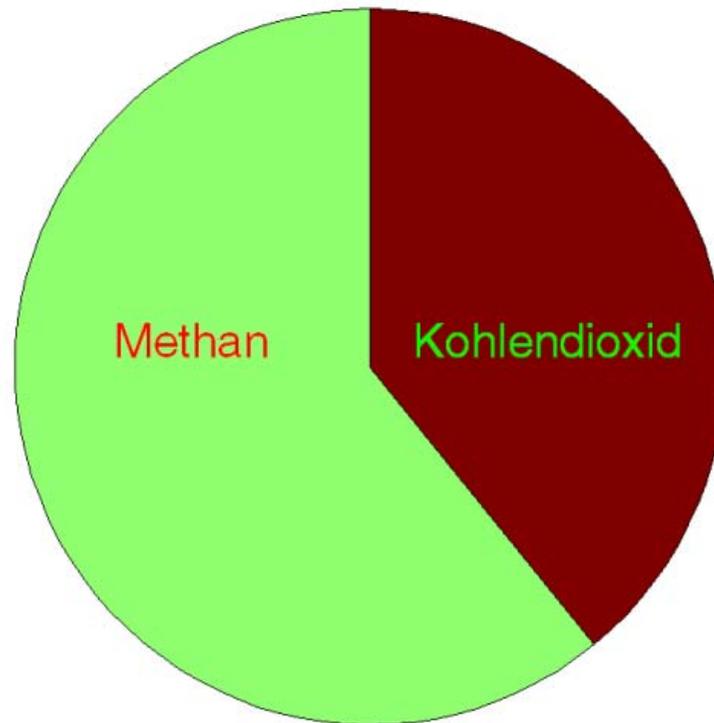


# Nachbildung des Tagesgangs im Modell - KA Emden



# Biogasproduktion nach Simulation - KA Emden

Aufteilung der verschiedenen Biogaskomponenten

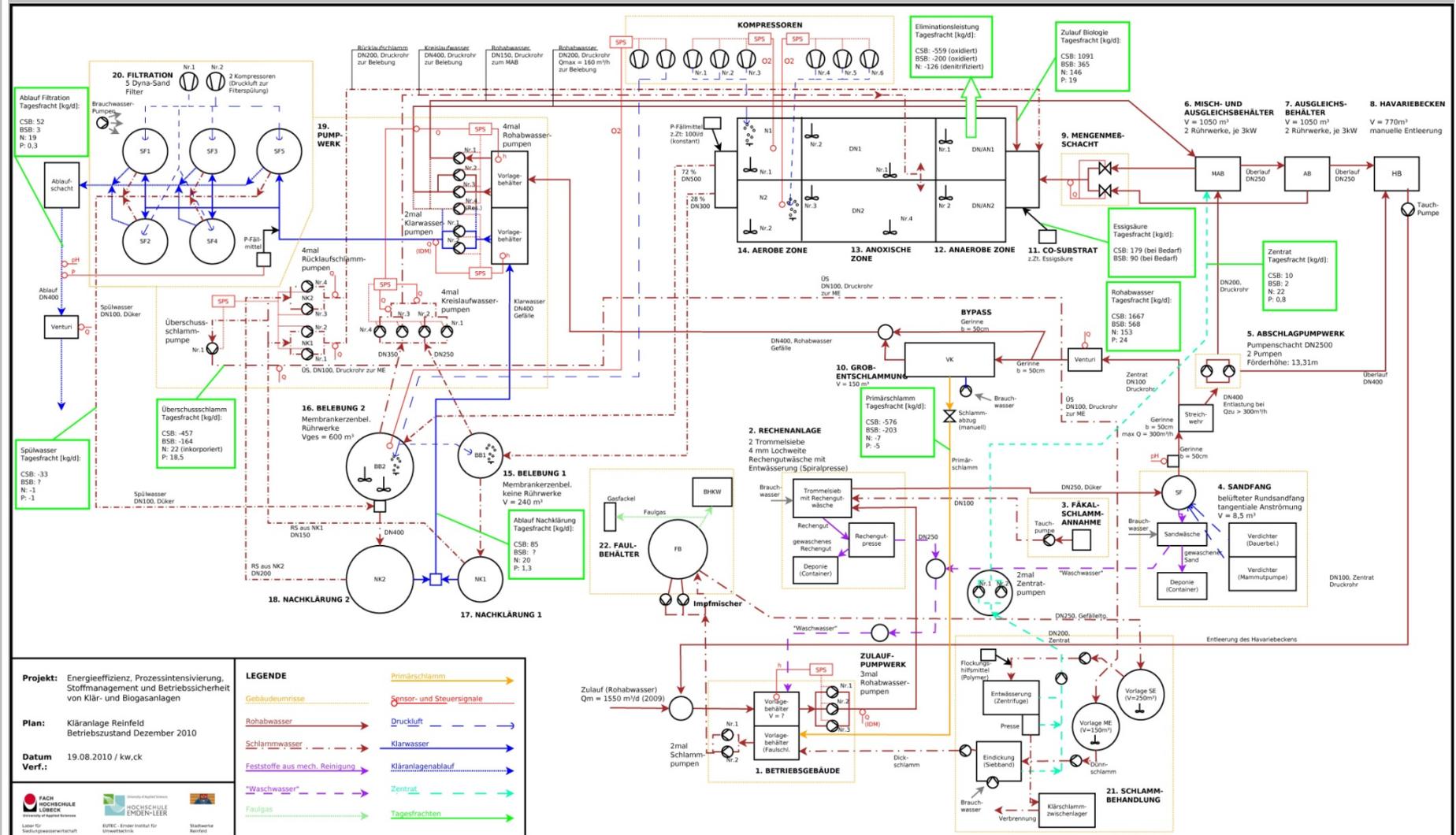


Wasserstoff: 0 %
Methan: 61 %
Kohlendioxid: 39 %

Biogasertrag: 1.484,7849 [m<sup>3</sup>/d]  
= 541.946,486 [m<sup>3</sup>/a]

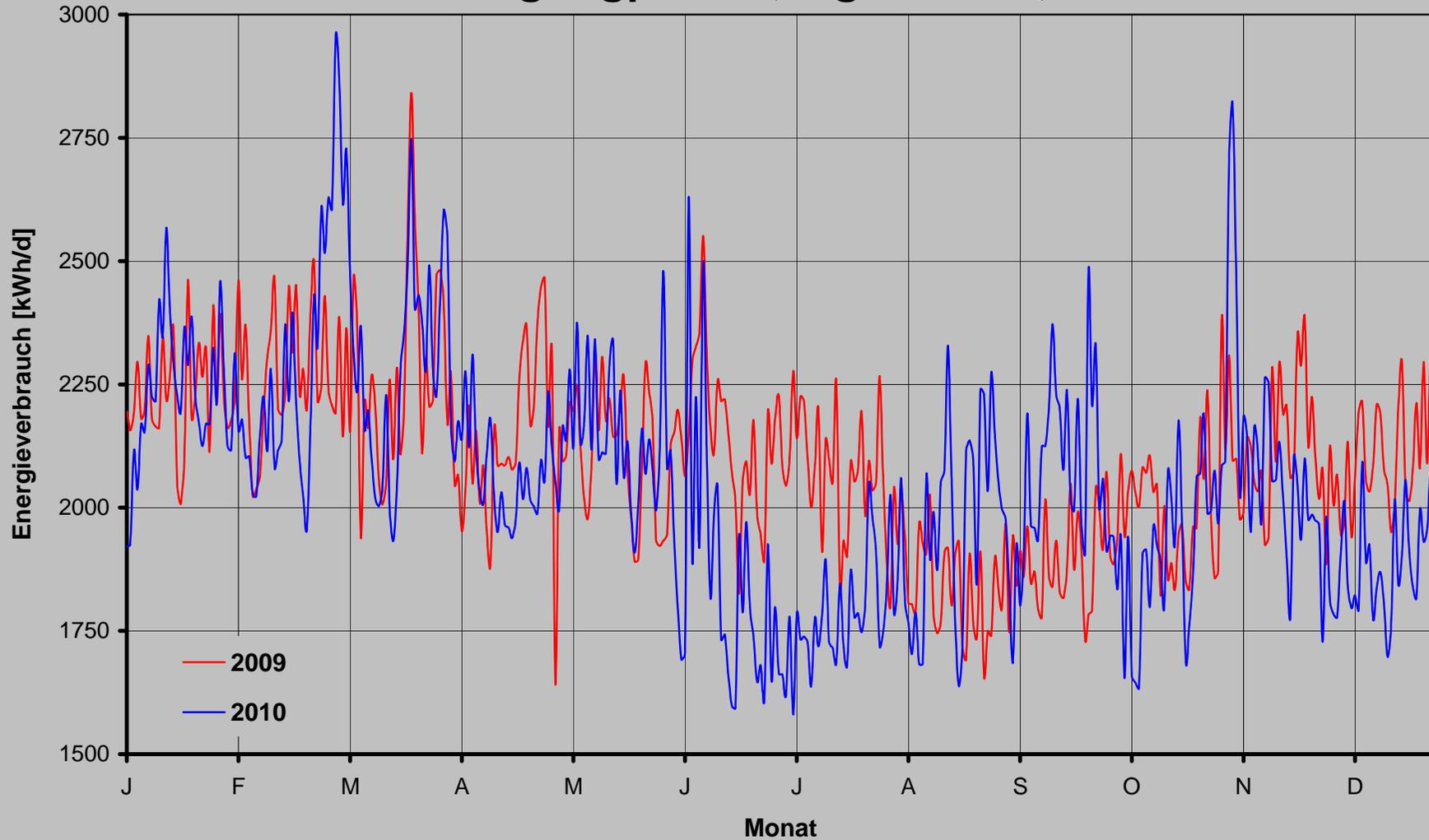
KA Emden:  
Klärgas erzeugt in 2010:  
564.898 m<sup>3</sup>

# Bestandserfassung – KA Reinfeld



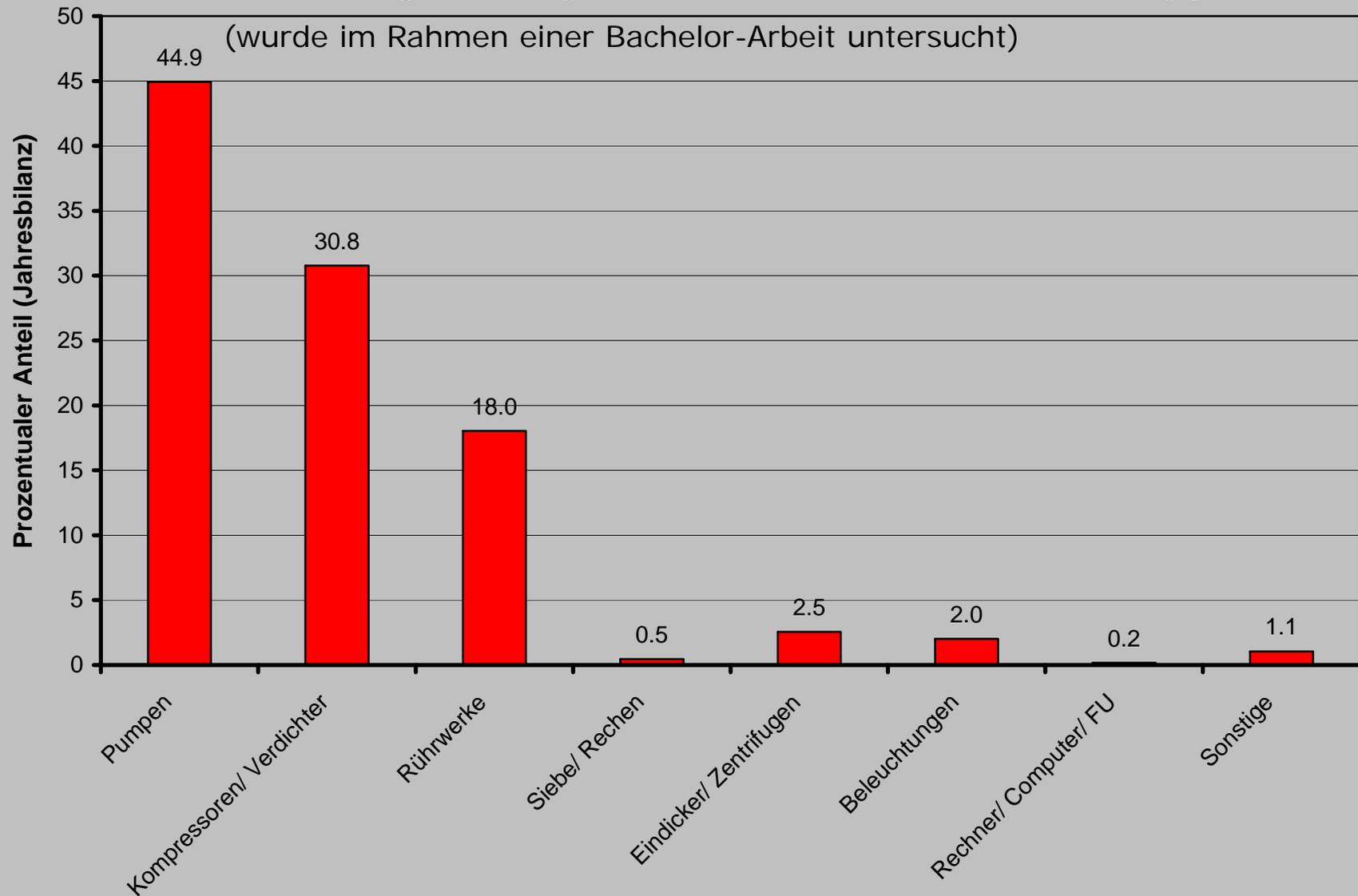
# Bestandserfassung – KA Reinfeld

## Jahres-Lastgangprofil (Tageswerte)

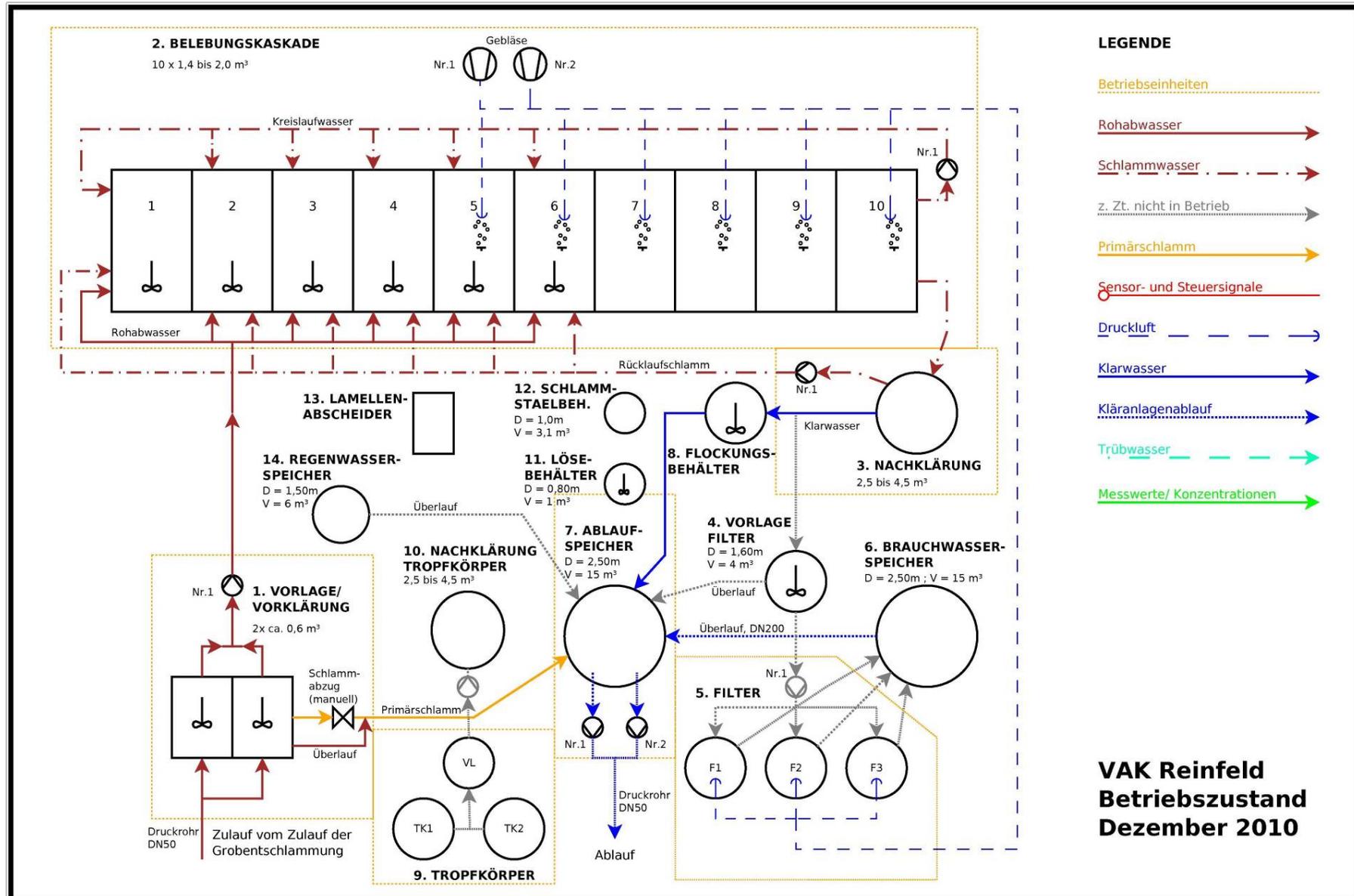


# Bestandserfassung – KA Reinfeld

## Vorläufige Energiebilanz nach Verbrauchertypen

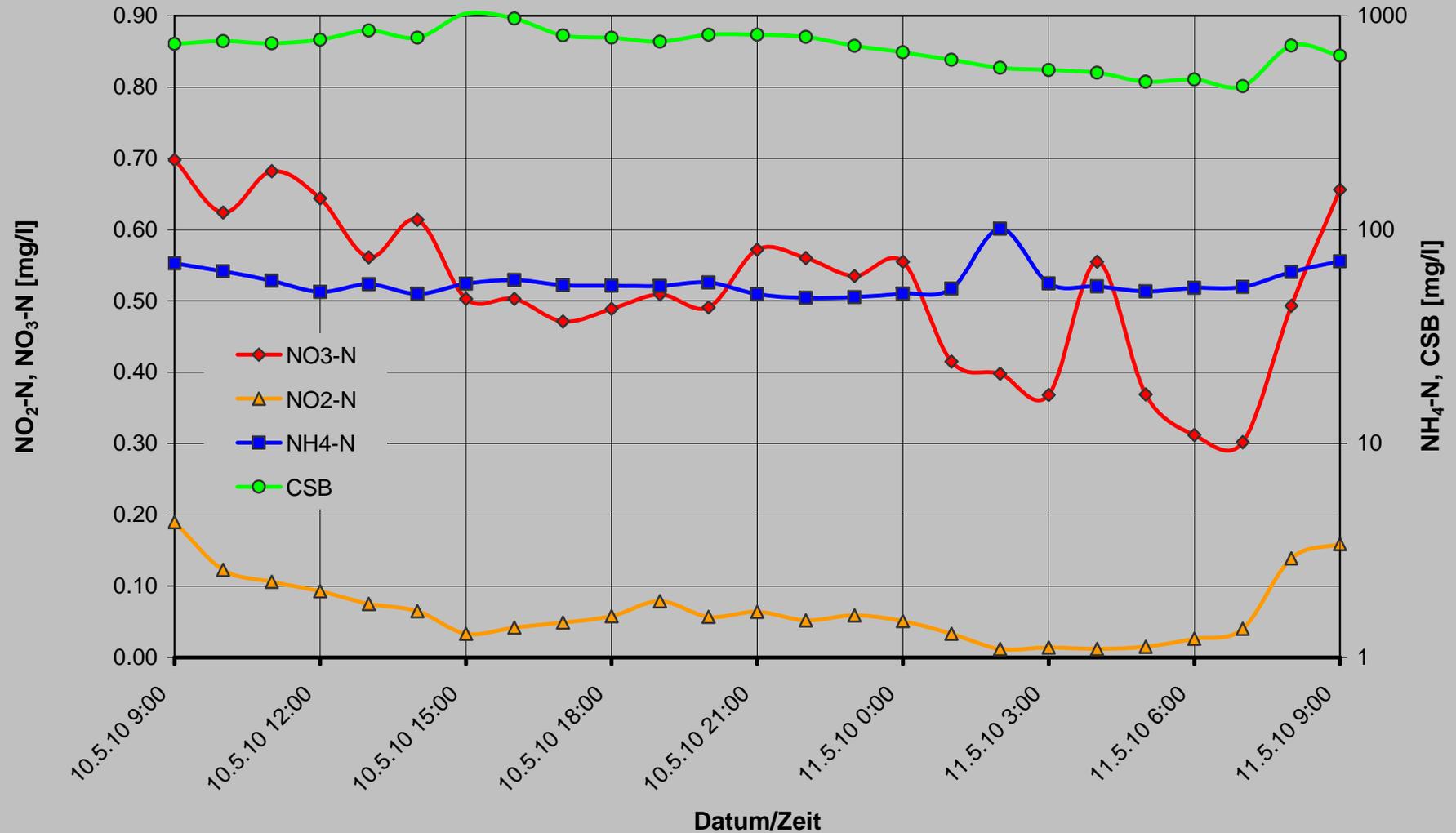


# Bestandserfassung – VAK Reinfeld



# Bestandserfassung – VAK Reinfeld

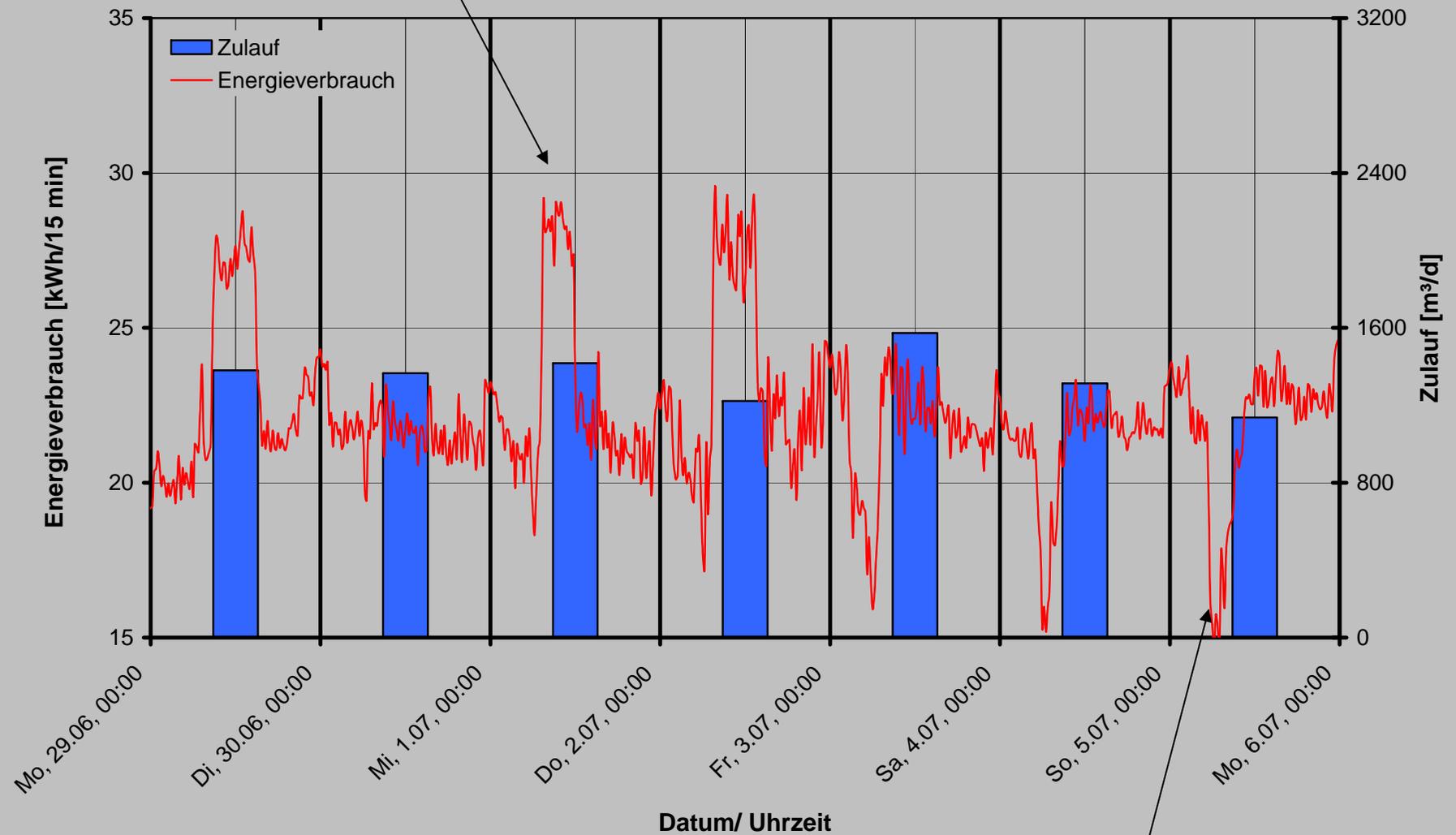
## Zulaufkonzentrationen, Tagesgang



# Bestandserfassung – KA Reinfeld

mittägliche Verbrauchsspitze (werktags)

## Trockenwetterabfluss



nächtliches Verbrauchstief  
(v.A. an Wochenenden)