

# Wasser und Abwasser in Megastädten

Semizentrale Systeme für die zukünftige Ver- und Entsorgung



© Cosalux und Susanna Neumast

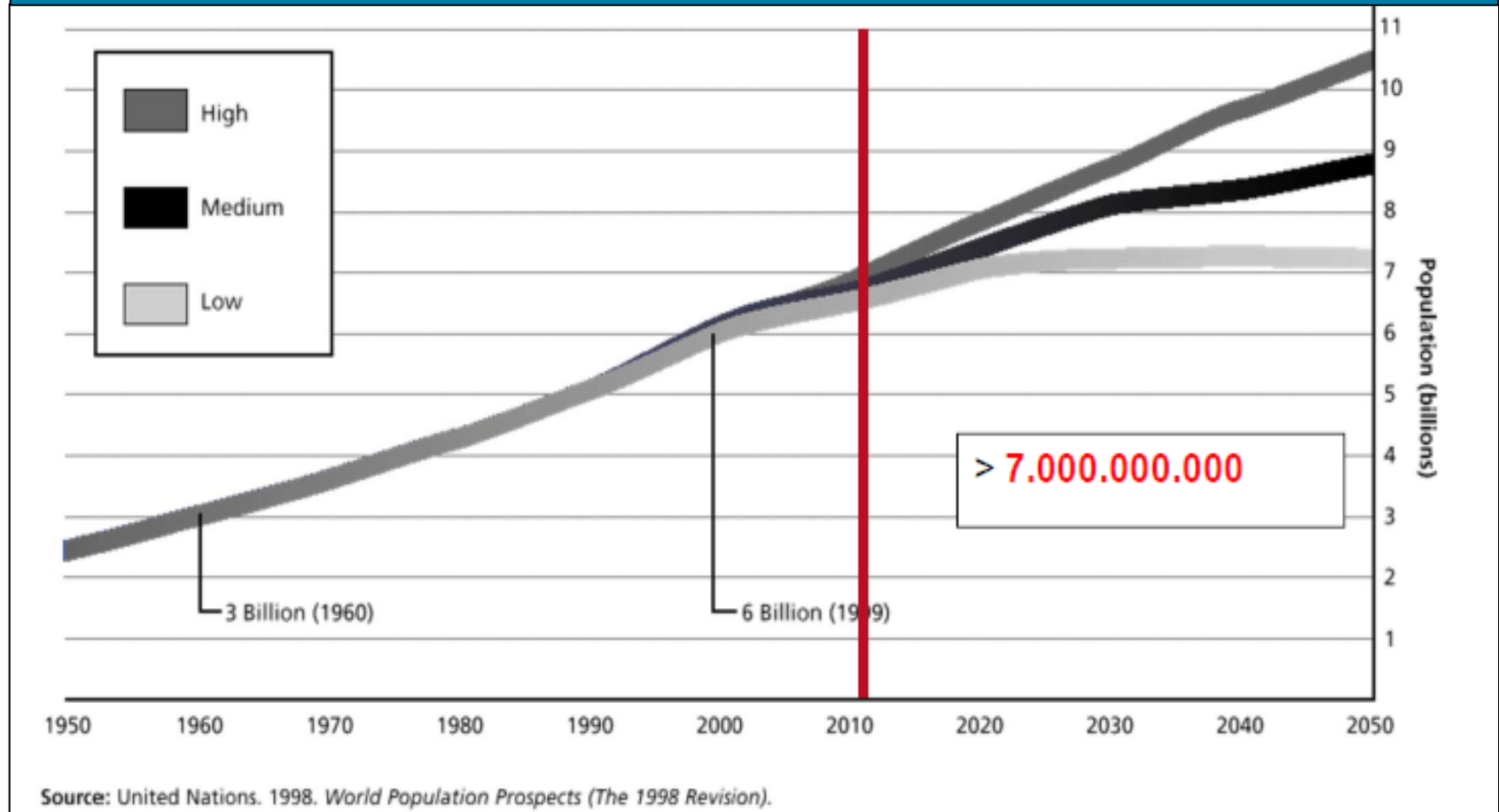
## Gliederung

---

- Modernes Wassermanagement: Megatrends – Herausforderungen - Anforderungen
- „SEMIZENTRAL“: Konzept – Realisierung - Projekt
- Technische Lösungsansätze
  - Beispiel 1: Softsensoren für die CSB-Bestimmung
  - Beispiel 2: Optimale Regelung der Biogasproduktion
  - Beispiel 3: Dynamische Simulation des Brauchwassernetzes
- Danksagung

# Globale Herausforderungen für die Wasserwirtschaft

Weltweites Bevölkerungswachstum: ca. 8 - 9 Mrd. Menschen im Jahr 2030



Quelle: Peter Cornel, Institut IWAR, TU Darmstadt, Vortrag „Abwasser als Ressource – Mode oder Paradigmenwechsel“, 2013

# Globale Herausforderungen für die Wasserwirtschaft

Urbanisierung: Zuwachs in den Städten mehr als 1 Mio. Menschen pro Woche

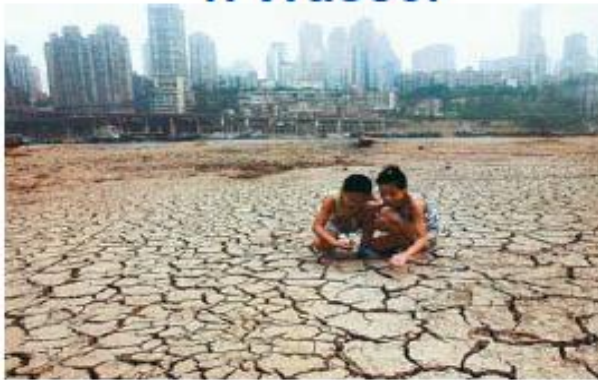


Quelle: Peter Cornel, Institut IWAR, TU Darmstadt, Vortrag „Abwasser als Ressource – Mode oder Paradigmenwechsel, 2013

# Globale Herausforderungen für die Wasserwirtschaft

## Weltweite Verknappung der Ressourcen

### 1. Wasser



Jialing/Chongqing 2006;  
[www.zeitschrift.com/magazin/54-wasser.jpg](http://www.zeitschrift.com/magazin/54-wasser.jpg) 26.5.2013

### 2. Energie



<http://www.hvc-mobility.com> 26.5.2013

### 3. Nährstoffe (P, N, ..)



[www.baecktrade.de](http://www.baecktrade.de) 26.5.2013

## Wie steht es um die Ressource Wasser?

---

- Etwa **1,2 Milliarden** Menschen haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser.
- Etwa **2,6 Milliarden** Menschen haben keinen Zugang zu sanitären Einrichtungen.
- Etwa **10 %** der Weltbevölkerung sind an Kläranlagen angeschlossen.
- Etwa **2,2 Millionen** Menschen sterben jährlich durch verunreinigtes Trinkwasser.
- Am **28. Juli 2010** nimmt die Vollversammlung der Vereinten Nationen das Recht auf Zugang zu sauberem Wasser in die allgemeine Erklärung der Menschenrechte auf.
- Staaten und internationale Unternehmen sollen den Auf- und Ausbau von **Wasserinfrastruktursystemen** vorantreiben, besonders in Ländern der dritten Welt.

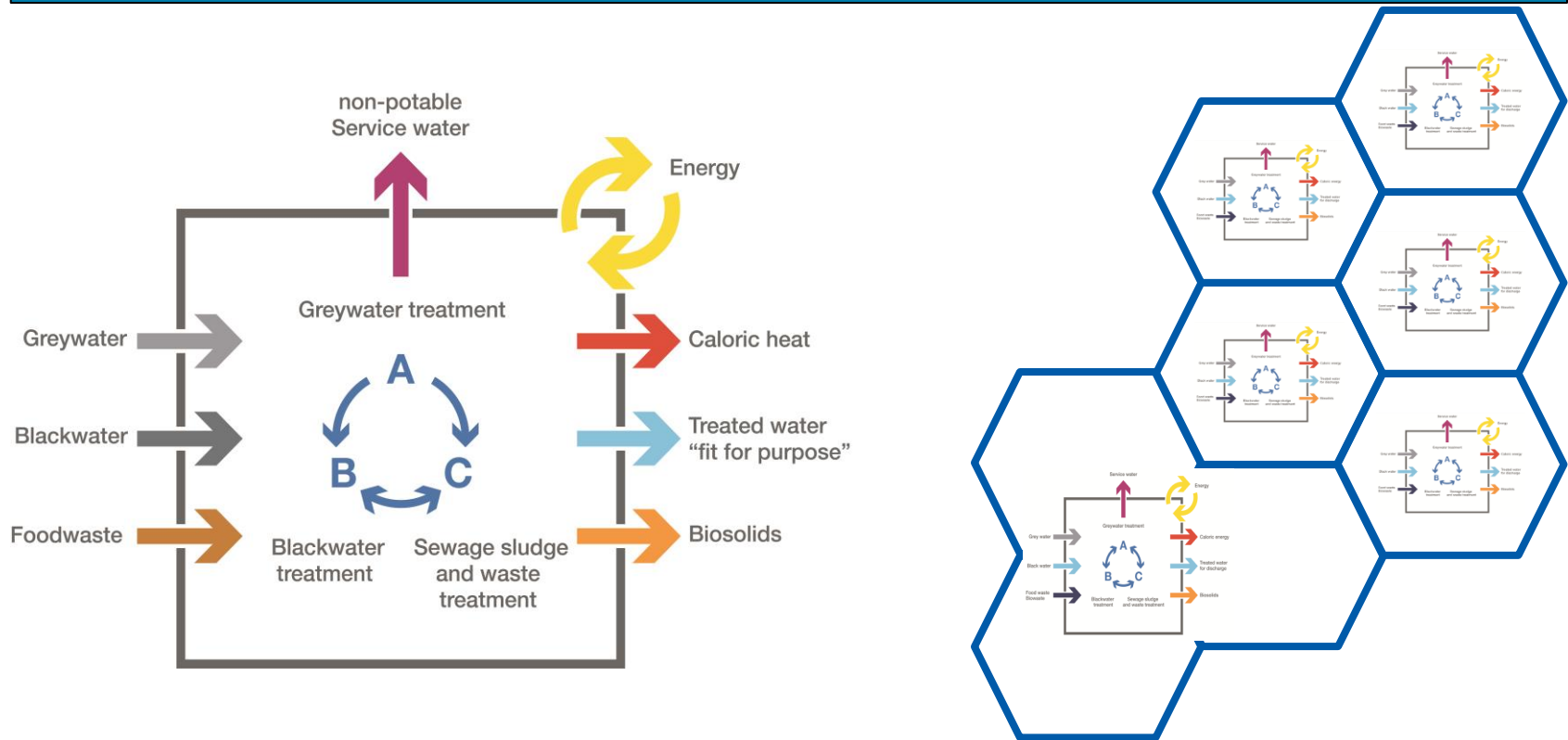
# Anforderungen an ein modernes Wassermanagement

---

- **Dezentralisierung**, um
  - Wasser effizient wiederverwenden,
  - Wärme rückgewinnen und
  - Energie aus Bioabfällen erzeugen zu können.
- **Modularisierung**, um
  - Grau- und Schwarzwasser getrennt aufbereiten zu können,
  - Wasser, Abwasser, Abfall und Energie integral zu betrachten und
  - die Prozesse einheitlich und multiplizierbar zu gestalten.
- **Kleinräumige** Infrastrukturen (geringere Vulnerabilität!), um
  - flexibel und anpassbar zu bleiben,
  - einen professionellen Betrieb handhabbarer zu machen und
  - eine geschlossene Bauweise (emissionsarm) zu ermöglichen.

# Das Konzept „SEMIZENTRAL“

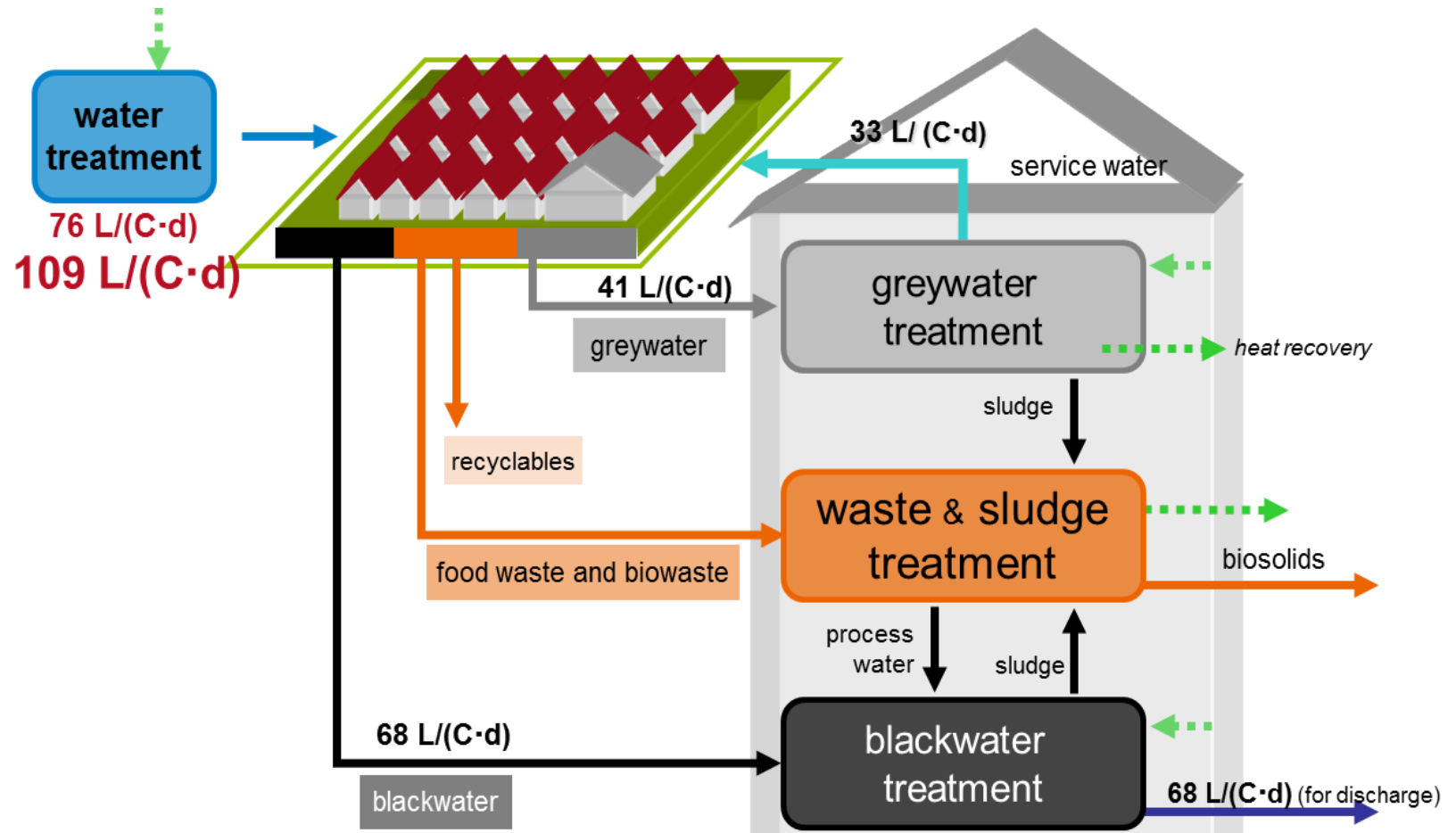
SEMIZENTRAL bedeutet in der Umsetzung ein **Ver- und Entsorgungszentrum (VEZ)** als kompaktes Gebäude („So klein wie möglich, so groß wie nötig“)



Quelle: Peter Cornel, Susanne Bieker, Institut IWAR, TU Darmstadt, Vortrag „The Semizentral approach for fast growing urban areas, 2014



# Energie- und Materialflüsse in einem VEZ



Quelle: Peter Cornel, Susanne Bieker, Institut IWAR, TU Darmstadt, Vortrag „The Semizentral approach for fast growing urban areas, 2014

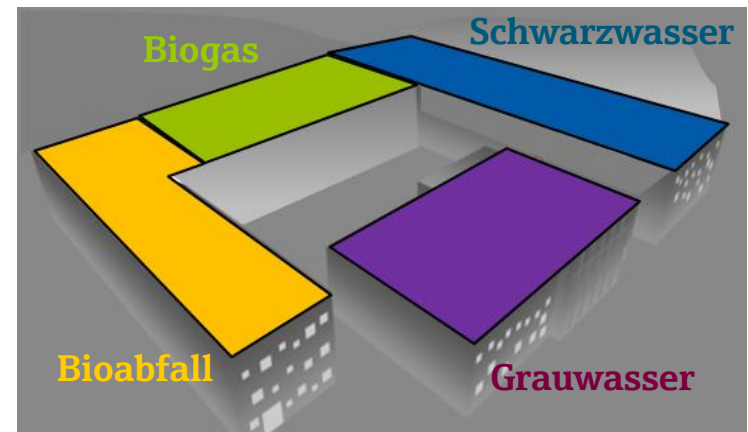
## Grundlegende Merkmale von „SEMIZENTRAL“

---

- Etwa 40 % Wassereinsparung durch Wasserwiederverwendung, z. B. für die Toilettenspülung
- Wärmerückgewinnung aus Grauwasser (Dusche, Badewanne, Waschmaschine)
- Energiegewinnung aus Klärschlamm und Bioabfall
- Landwirtschaftliche Nutzung der nährstoffreichen Reststoffe
- Getrennte Leitungsführungen
- Flexible mitwachsende Struktur
- Abwasser und Abfall sind nutzbare Ressourcen
- Siedlungsbezogene Nutzung der Ressourcen und integrierte Infrastruktur für Wasser, Abwasser, Bioabfall und Energieerzeugung

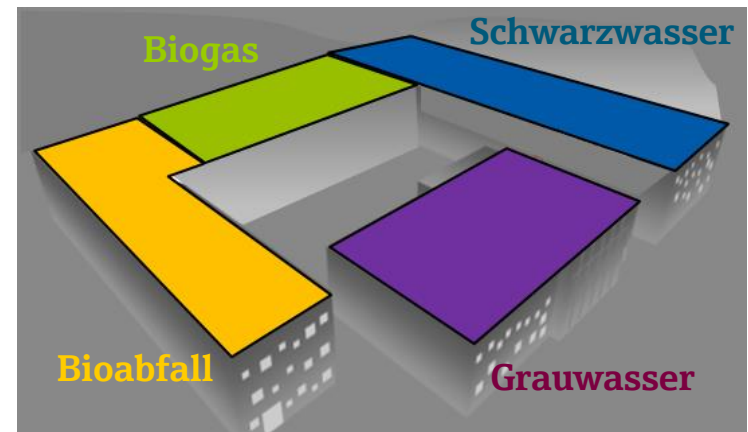
## Aktueller Status von „SEMIZENTRAL“

- Das weltweit erste semizentrale Ver- und Entsorgungszentrum wurde in Qingdao, China gebaut und am 27.04.14 im Rahmen der Weltgartenbauausstellung eröffnet.
  - 12000 angeschlossene Einwohner
  - 720 m<sup>3</sup>/d Grauwasser | 870 m<sup>3</sup>/d Schwarzwasser | 22 m<sup>3</sup>/d Bioabfall
  - 190 m<sup>3</sup>/d Brauchwasser zur Toilettenspülung
  - 4800 kWh/d produzierte elektrische Energie

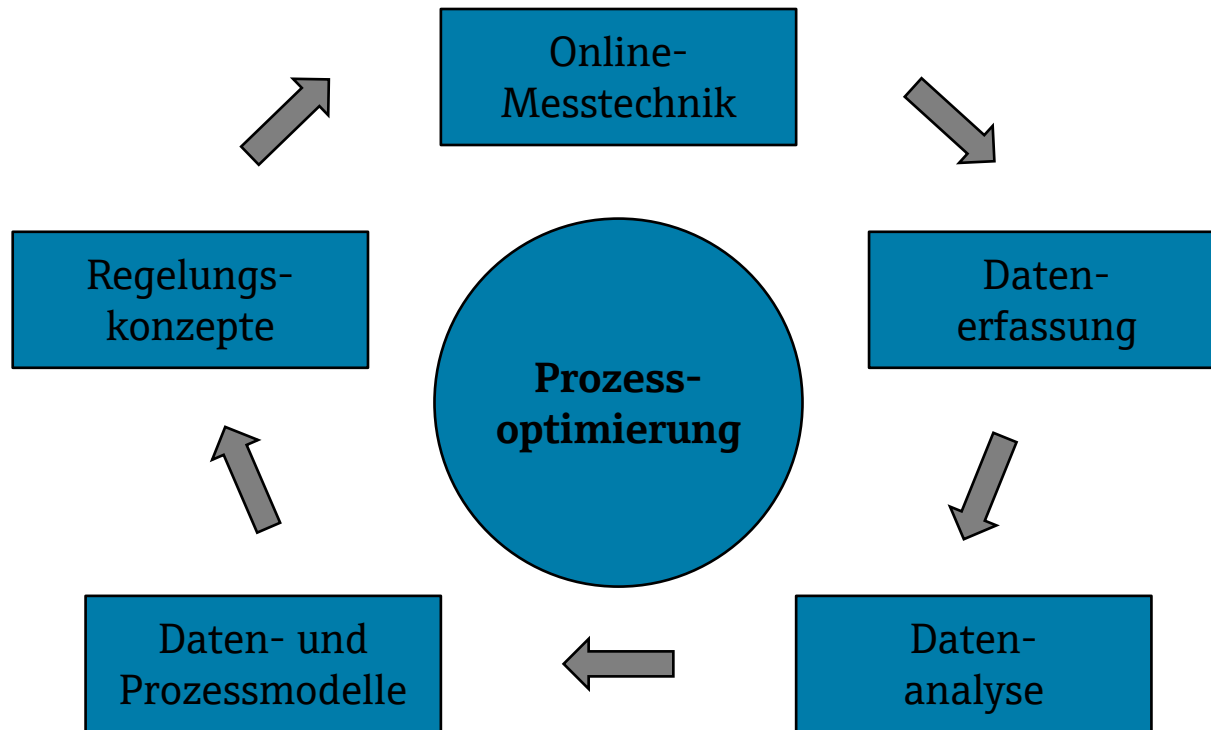


## Aktueller Status von „SEMIZENTRAL“

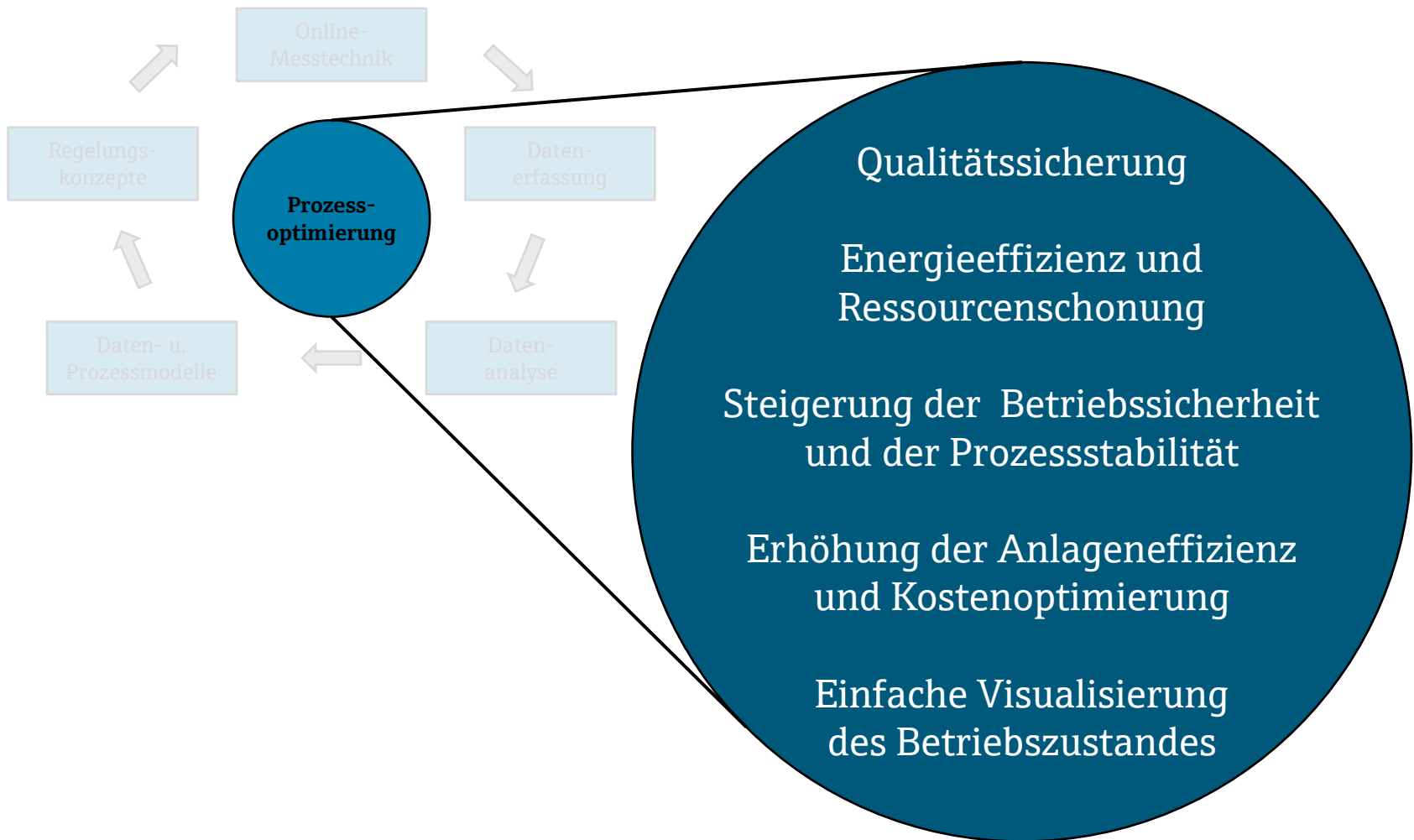
- Die Realisierung erfolgt in einem Deutsch-Chinesischen BMBF-Verbundprojekt unter der Federführung des Instituts IWAR der TU Darmstadt. Insgesamt sind 14 Partner aus Industrie und Forschung an dem Projekt beteiligt.
  - Validierung, Optimierung und Weiterentwicklung von „SEMIZENTRAL“
  - Übertragung des Ansatzes auf andere Standorte
  - Prozessüberwachung und -optimierung



# Herausforderungen für die MSR-Technik



## Herausforderungen für die MSR-Technik



# Herausforderungen für die MSR-Technik

---

## Daten- und Prozessmodelle

Wozu Modelle?

- Abbildung und Beschreibung von komplexen System und Prozessen
- Vorausschauende Betrachtung dynamischer Veränderungen
- Vorhersage von „Mess“-Werten und Prozesszuständen
- Kontinuierliche Anpassung der Sollwerte von Regelgrößen während des Betriebes

Beispiele:

- Modellierung Biogasproduktion
- Simulation Brauchwassernetz

## Datenanalyse

Wozu Datenanalyse?

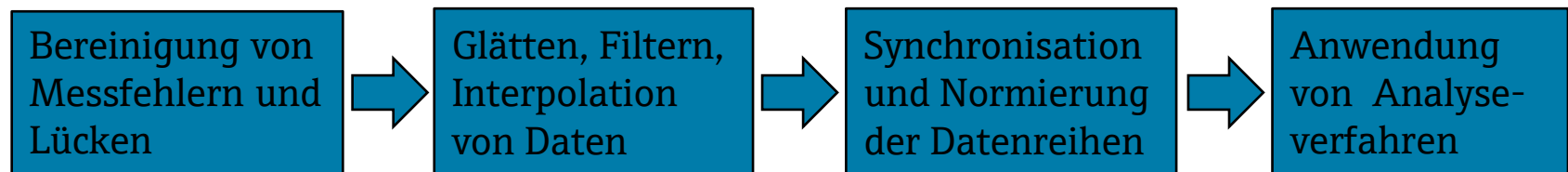
- Mehrdimensionalität (viele Datenreihen)
- Nichtlinearität (kein direkter Zusammenhang)
- Totzeiten (Änderungen sind langsam oder verzögert)
- Störgrößen (Messfehler, Drift, Rauschen)
- Kosten-Nutzen-Verhältnis (ungenutzte Daten = Verlust an Information)

Beispiel:

- CSB-Softsensor

## Beispiel 1: Softsensoren für die CSB-Bestimmung

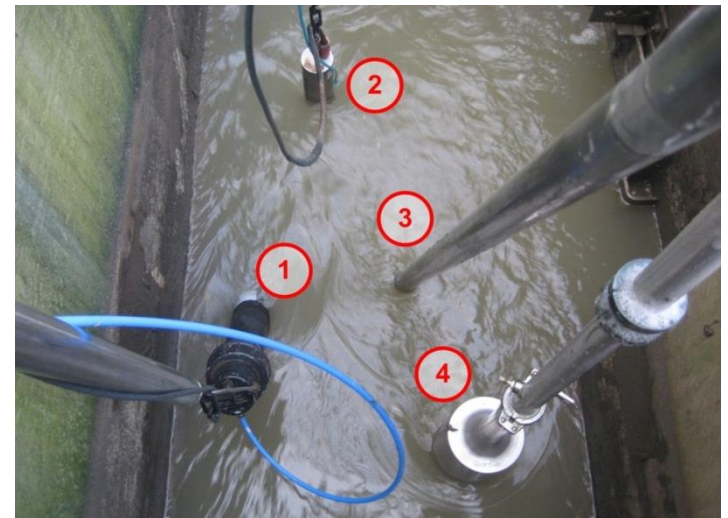
- **Generelle Anforderungen** an die Analysenmesstechnik
  - Einfach handhabbar, wartungsarm
  - Reagenzienfrei, einfache oder vollautomatische Probenaufbereitung
  - Platzsparend, Installation direkt im Prozess
- **Konsequenzen**
  - Optische und elektrochemische Methoden
  - „Intelligente“ Auswertung von Sensordaten (Prozess- u. Sensordiagnose)
- **Lösungsansätze**
  - Berechnung komplexer Zielgrößen aus Standardmessgrößen
  - Softsensoren (Regression-, Korrelations- und Sensitivitätsanalysen)





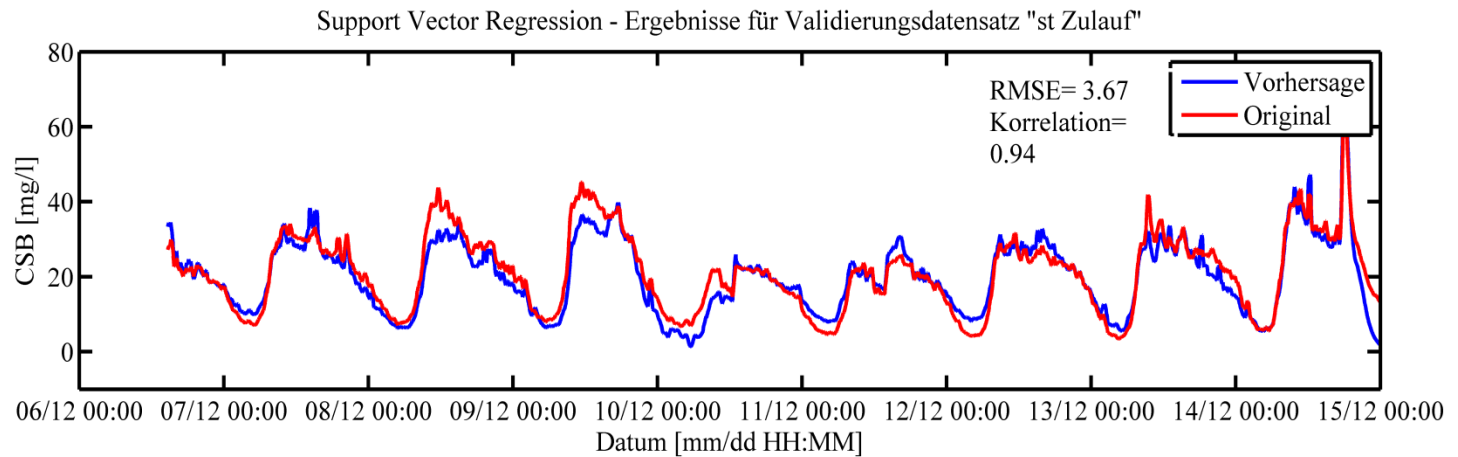
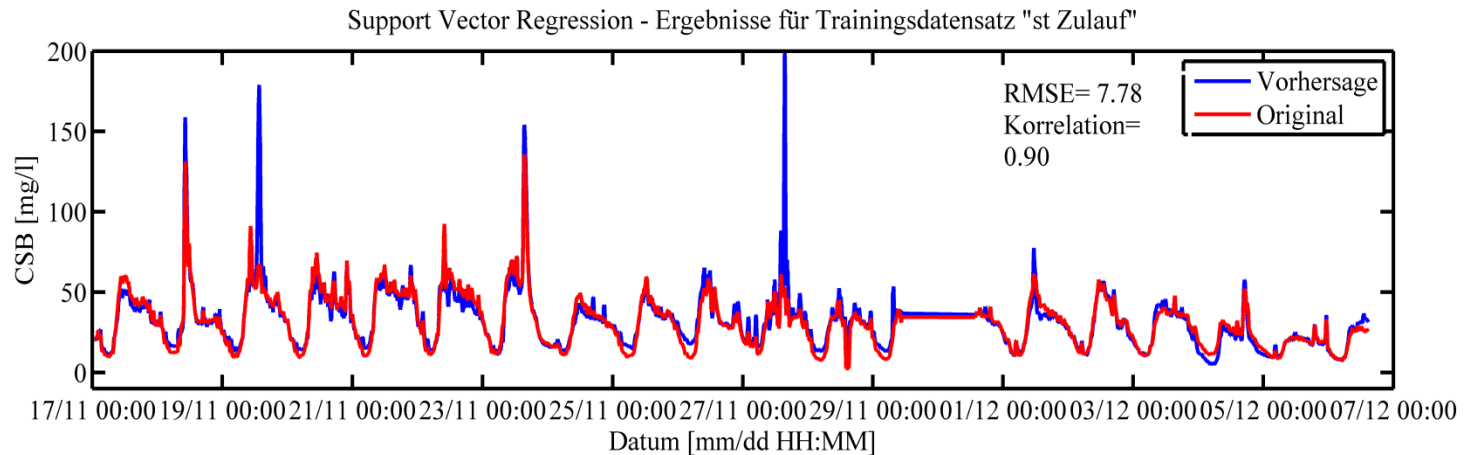
## Beispiel 1: Softsensoren für die CSB-Bestimmung

- Ist die Berechnung des CSB im Zulauf einer KA über Standardmessgrößen möglich?
  - Aufzeichnung von Kenngrößen im Zulauf der Kläranlage Rospe: Durchfluss, Leitfähigkeit, Temperatur, pH, Trübung und CSB
  - Einsatz von Regressionsverfahren (Multivariate Lineare Regression, Multivariate Normale Regression, Least-Squares Regression, Support Vector Regression)
  - Vergleich der Verfahren anhand der Korrelation zwischen vorhergesagtem und gemessenem CSB



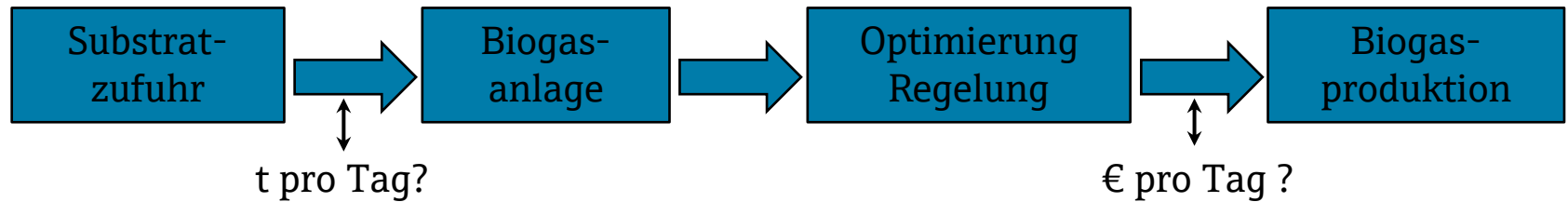
Quelle: Christian Wolf, Gummersbach Environmental Computing Center, FH Köln, unveröffentlichte Ergebnisse, 2014

# Beispiel 1: Softsensoren für die CSB-Bestimmung



Quelle: Christian Wolf, Gummersbach Environmental Computing Center, FH Köln, unveröffentlichte Ergebnisse, 2014

## Beispiel 2: Optimale Regelung der Biogasproduktion



### ■ Generelle Prozessanforderungen

- Bestmögliche Anlagenauslastung
- Hohe Anlagenverfügbarkeit und hohe Prozessstabilität

### ■ Konsequenzen

- Regelung der Substratzufuhr (Kompensation v. Gasertragsschwankungen)
- Umfassende Kontrolle der Eingangsstoffe und der Fermenterbiologie
- Gewinnung von Betriebsinformationen aus Sensor-/Prozessdaten

### ■ Lösungsansätze

- Simulationsmodelle (prädiktive Regelung, dynamische Sollwertanpassung)
- Robuste online-Sensorik für relevante Parameter (z. B. FOS/TAC)

## Beispiel 2: Optimale Regelung der Biogasproduktion

### Herausforderung: Gasertragsschwankungen

Tab.: Richtwerte für die Gasausbeuten aus organischen Reststoffen (KTBL [2007])

Substrat	TS	davon oTS	Biogas- ertrag	Methan- gehalt	Ertrag elektr. Strom
	[%]	[%]	[l <sub>N</sub> /Kg oTS]	[%]	[kWh/Mg FM]
Altbrötchen	65	97	760	53	813
Obsttrester (frisch)	22	98	520	52	187
Bioabfall	40	50	615	60	236
Fettabscheider	5	90	1.000	68	98
Frittierfette	95	87	1.000	68	1.798
Schlempen (Alkoholprodukt.)	6	94	640	59	68
Glycerin	100	99	850	50	1.346
Rapskuchen (15 % Restölgeh.)	91	93	680	63	1.160
Speisereste (mittl. Fettgehalt)	16	87	680	63	182

**Fakt: Die Abfallarten schwanken bezüglich Sorte und Menge fast jeden Tag!**

2014-05-20 GF Biothan

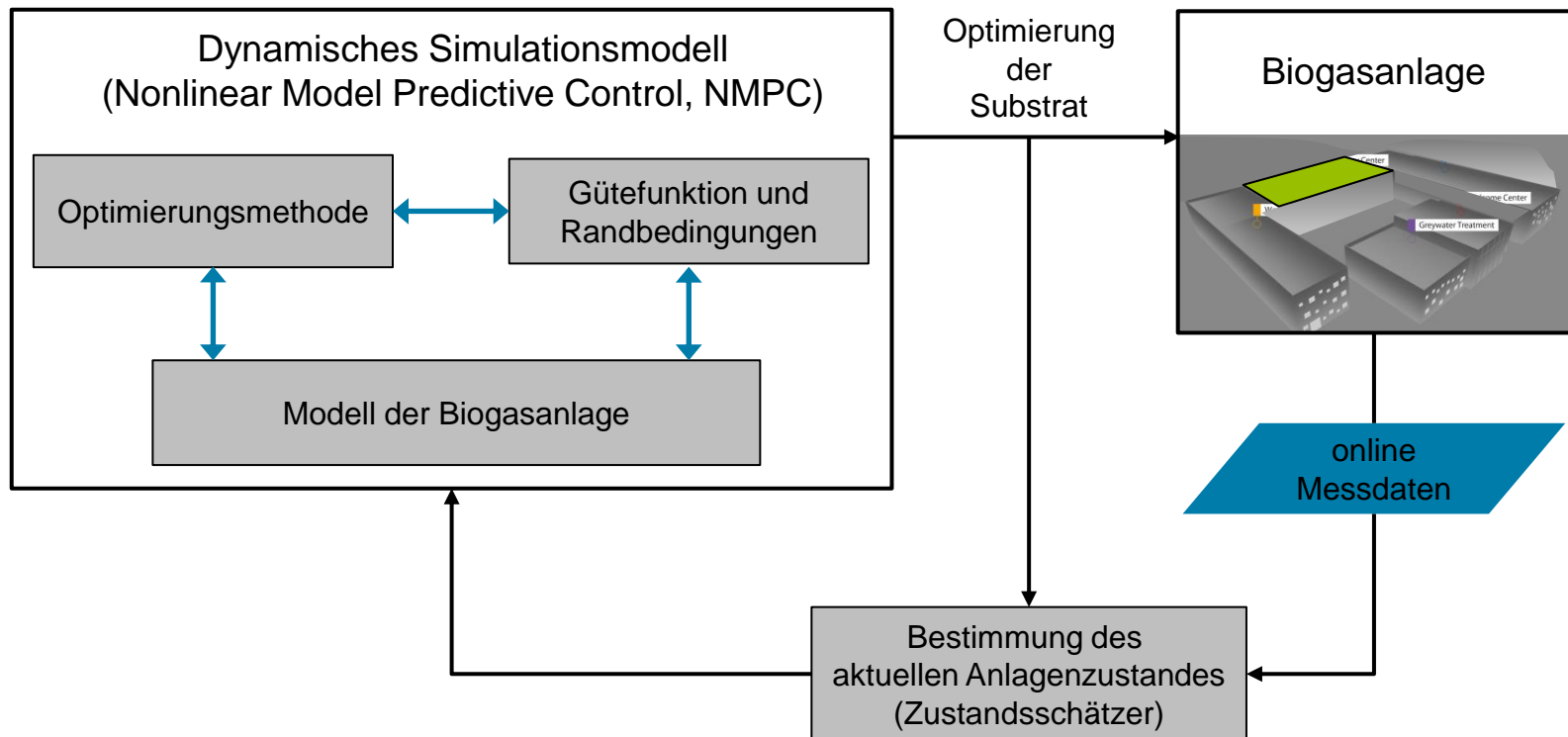
Folie 27



Eine ähnliche Variabilität liegt beim VEZ vor!

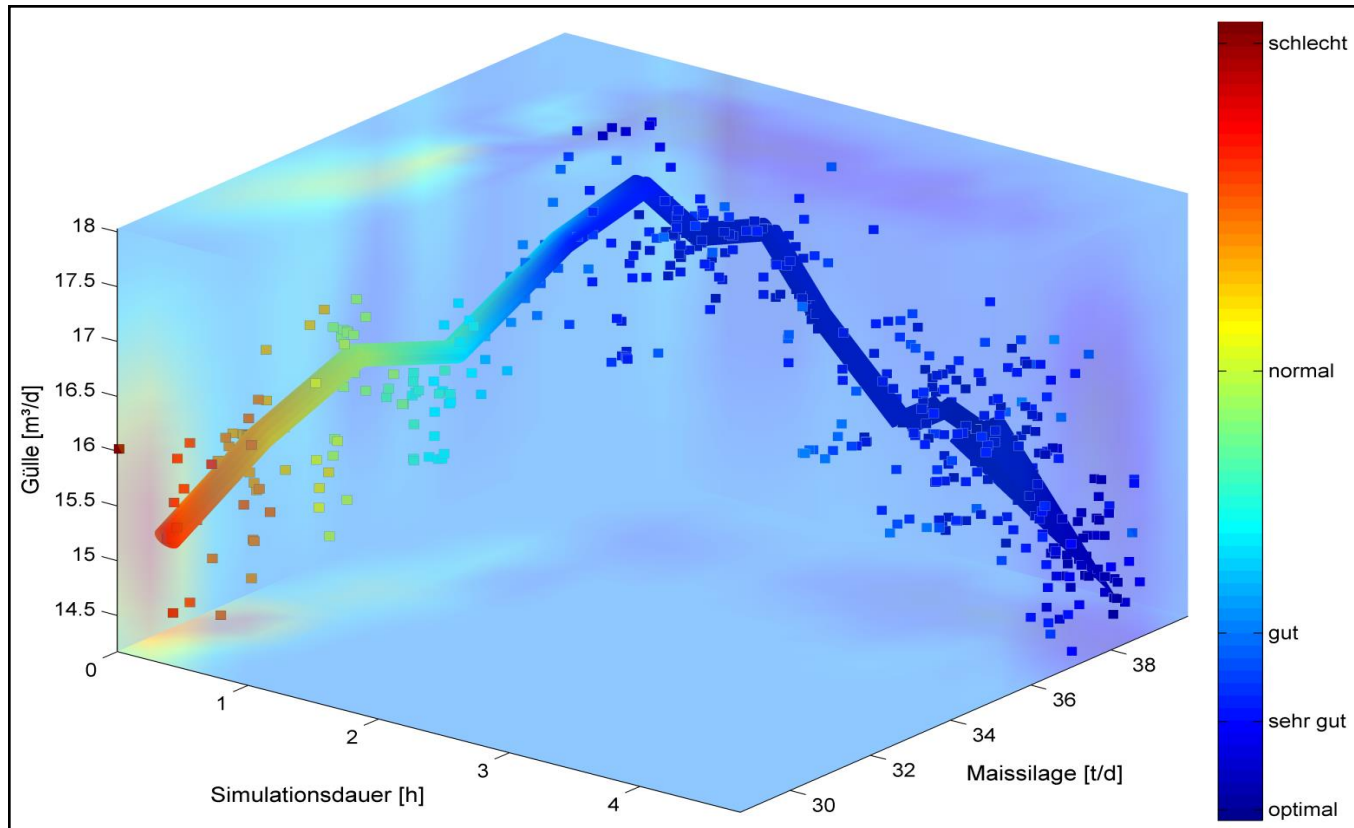
Quelle: Wiese, J.: Vortrag „Mess- und Automatisierungstechnik einer modernen, anaeroben Bioabfallbehandlungsanlage“, Biogas-Workshops beim 21. SIMBA-Anwendertreffen, 20. Mai 2014, Erfurt

## Beispiel 2: Optimale Regelung der Biogasproduktion



- Hohe Anlagenauslastung und hohe Prozessstabilität zu jedem Zeitpunkt erfordern komplexe, intelligente Regelungssysteme.

## Beispiel 2: Optimale Regelung der Biogasproduktion



- Durch die Bewertung des aktuellen Prozesszustandes und Anpassung des Sollwertes sind Ertragssteigerungen bis zu 20 % möglich.

Quelle: Wolf, C., Gaida, D., Bongards, M.: Steuerungs- und Regelungskonzepte für landwirtschaftliche Biogasanlagen. In: Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven (3), 225 – 234, Kassel, 2013

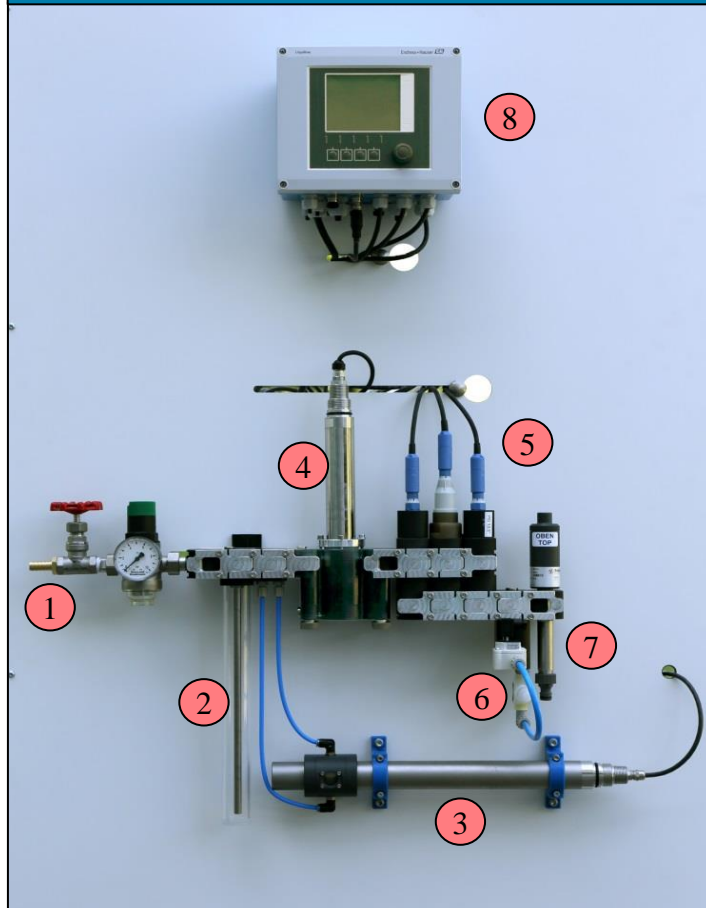
## Beispiel 3: Modellierung des Brauchwassernetzes

---

- **Generelle Anforderungen** an das Modul „Brauchwasser“
  - Einhaltung der Qualitätsziele an den Übergabepunkten
  - Regelung der Chlordesinfektion im VEZ
- **Konsequenzen**
  - Multiparameter-Qualitätsüberwachung an strategischen Kontrollpunkten
  - Bewertung der Netzdynamik und Rückkopplung auf das Chlorungsmodul
- **Lösungsansätze**
  - Multiparameter-Sensorik für die QS an strategischen Kontrollpunkten
  - Quasistationäres Netzmodell und Simulation der Chlorzehrung
  - Online-Simulation (Prädiktion Netzzustandes, Optimierung Desinfektion)
  - Ableitung von Parametermustern (Ursache-Wirkungs-Korrelation) und des Wiederverkeimungsrisikos (Chlorzehrungskinetik, Summenparameter)
  - Aufbau eines risikobasierten und prozessorientierten Risikomanagements

## Beispiel 3: Modellierung des Brauchwassernetzes

### Multiparameter-Messpanel für die kontinuierliche Qualitätsüberwachung

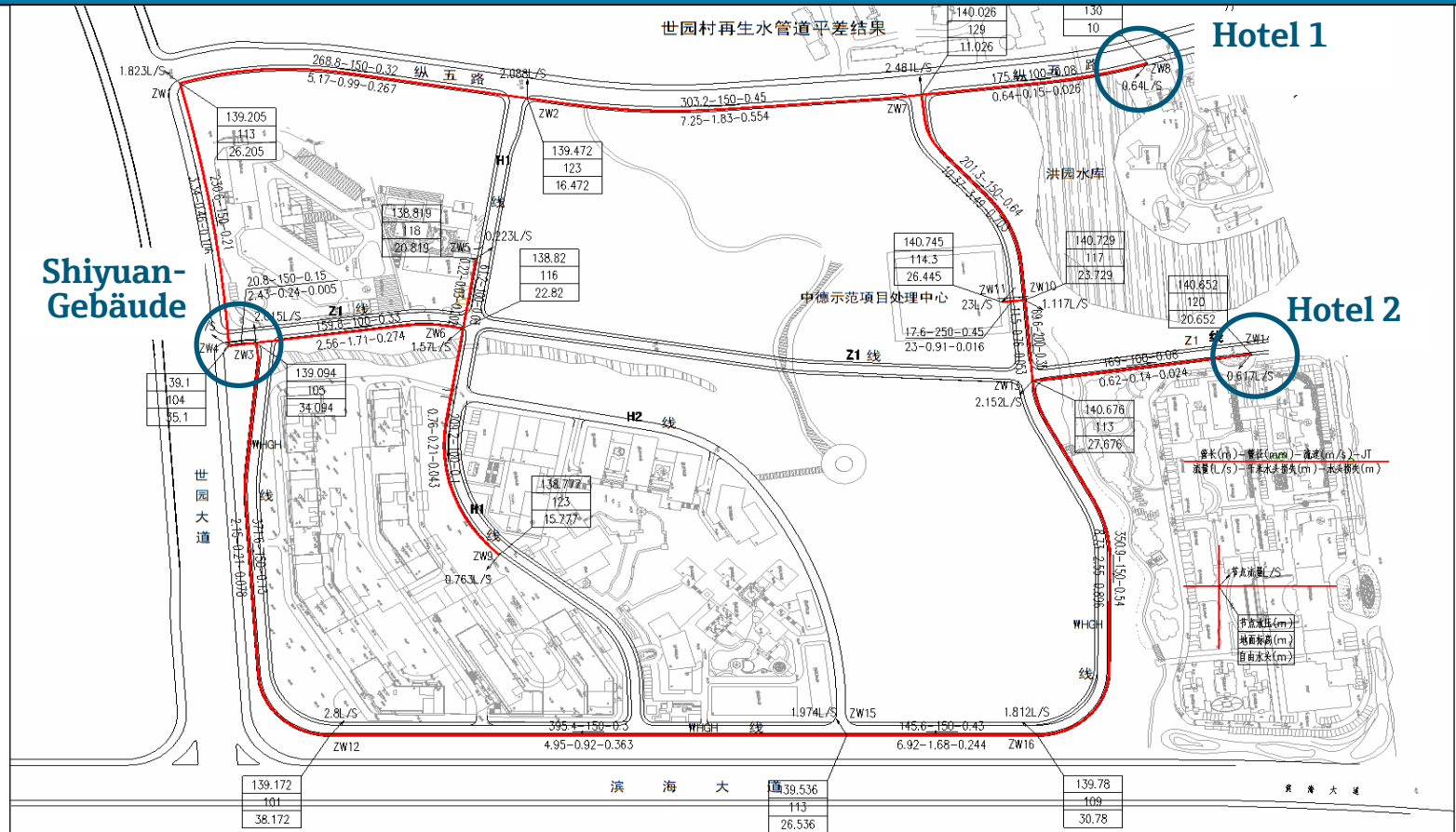


- (1) Zulaufstutzen mit Ventil und Druckminderer
- (2) Blasenfalle mit Entlüftungsventil und Steigrohr
- (3) SAK-Sonde mit Armatur
- (4) Trübungssonde mit Armatur
- (5) Multisensormodul für pH, Chlor und Redox
- (6) Durchflussmesser
- (7) Ablaufstutzen mit Belüftungsventil
- (8) Multikanaltransmitter

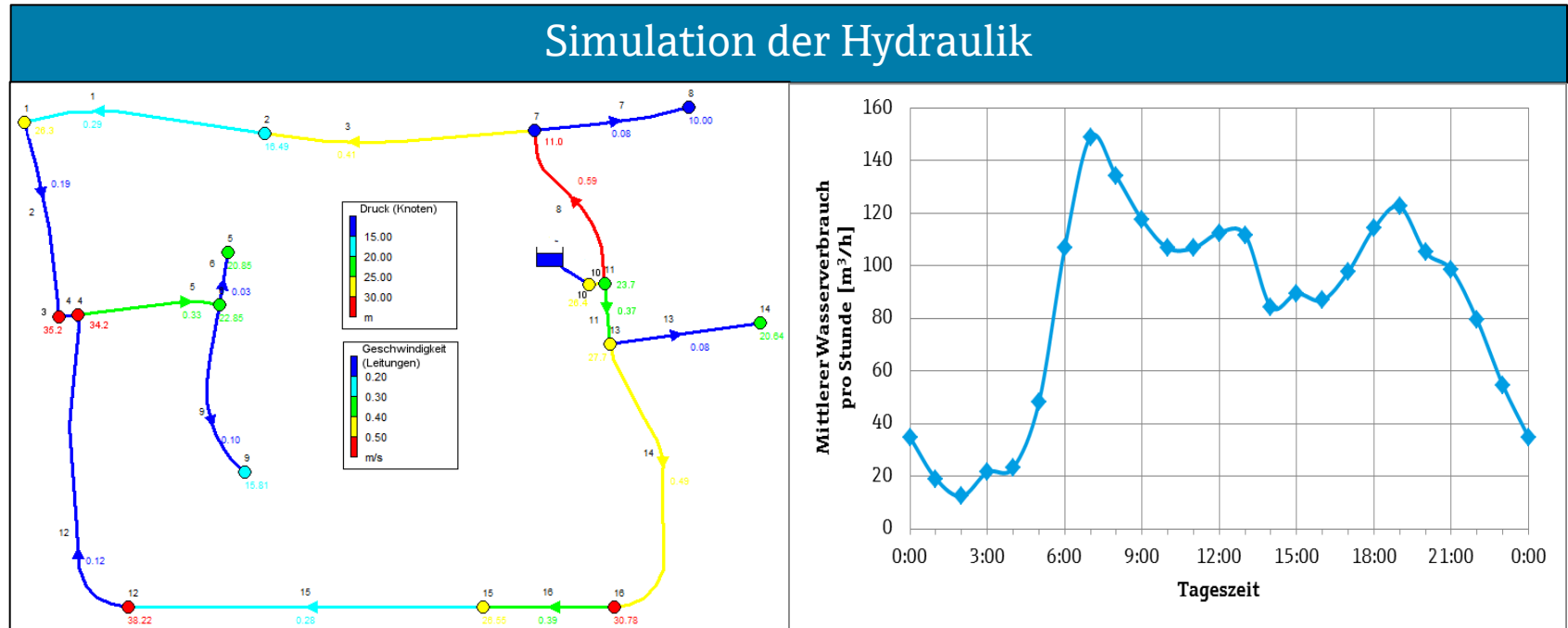


# Beispiel 3: Modellierung des Brauchwassernetzes

## Leitungsführung des Brauchwassernetzes mit Übergabepunkten



# Beispiel 3: Modellierung des Brauchwassernetzes

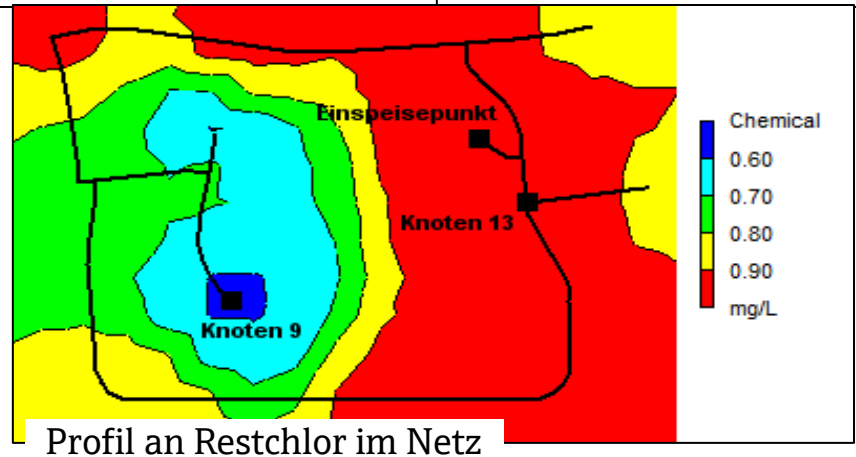
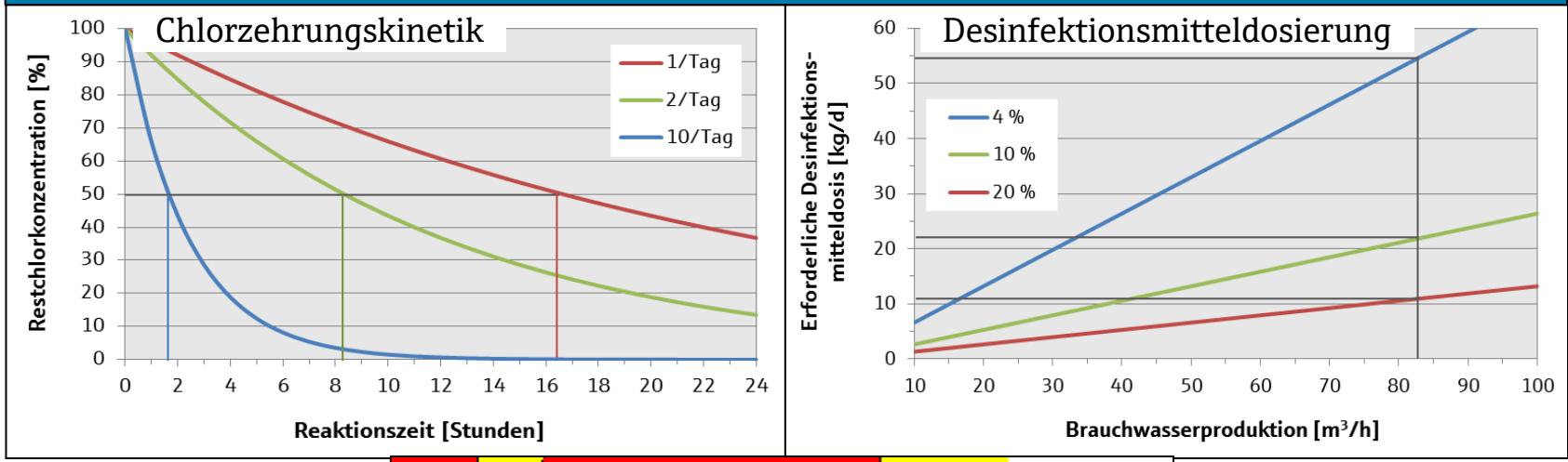


Stationäre Modellierung

Verbrauchsprofil für die quasistationäre Modellierung

# Beispiel 3: Modellierung des Brauchwassernetzes

## Simulation der Chlorkonzentration im Netz



# Danksagung

---



Prof. Dr.-Ing. Peter Cornel



Prof. Dr.-Ing. Martin Wagner



Dr.-Ing. Susanne Bieker



# Danksagung

---



Prof. Dr. Michael Bongards



Dr. Christian Wolf



Dipl.-Ing. Peter Kern



# Danksagung

---

... dem



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

und Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.