

# Innovatives Betriebs- und Verfahrenskonzept zur energetischen Nutzung von kommunalem und industriellem Abwasser im Verbund - Machbarkeitsstudie -



für das



Ministerium für Umwelt und  
Naturschutz, Landwirtschaft und  
Verbraucherschutz des Landes  
Nordrhein-Westfalen

Projektpartner:

- Fachbereich Bauingenieurwesen  
Labor für Siedlungswasserwirtschaft  
Prof. Dr.-Ing. Ute Austermann-Haun
- TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH  
Ingenieurgesellschaft für Wasser-,  
Abwasser- und Abfallwirtschaft mbH

Kurzbericht



Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen  
Mies-van-der-Rohe-Str. 1 • 52074 Aachen  
Tel: 0241 80 25207 • Fax: 0241 80 22285 • [isa@isa.rwth-aachen.de](mailto:isa@isa.rwth-aachen.de)

# Kurzbericht

zum Forschungsvorhaben:

**„Innovatives Betriebs- und Verfahrenskonzept zur  
energetischen Nutzung von kommunalem und  
industriellem Abwasser im Verbund“  
– Machbarkeitsstudie –**

für das



**Aachen, den 31.07.2007**



Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp  
(Institutsdirektor)

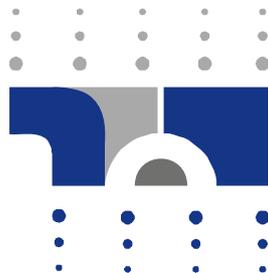
## Projektbeteiligte



Institut für Siedlungswasserwirtschaft  
der RWTH Aachen  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp  
Mies-van-der-Rohe-Str. 1  
52074 Aachen  
Tel.: 0241 80 25207  
Fax: 0241 80 22285  
Email: [isa@isa.rwth-aachen.de](mailto:isa@isa.rwth-aachen.de)  
[www.isa.rwth-aachen.de](http://www.isa.rwth-aachen.de)



Fachbereich Bauingenieurwesen  
Labor für Siedlungswasserwirtschaft  
Prof. Dr.-Ing. Ute Austermann-Haun  
Emilienstr. 45  
32756 Detmold  
Tel.: (05231) 769 827  
Fax : (05231) 769 819  
Email : [ute.austermann-haun@fh-luh.de](mailto:ute.austermann-haun@fh-luh.de)  
[www.fh-luh.de/fb3](http://www.fh-luh.de/fb3)



TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH  
Ingenieurgesellschaft für Wasser-,  
Abwasser- und Abfallwirtschaft mbH  
Bismarckstrasse 2-8, 52066 Aachen  
Tel.: (49) 0241 / 50 00 05  
Fax.: (49) 0241 / 53 54 88  
Email: [m.schroeder@tum-aachen.de](mailto:m.schroeder@tum-aachen.de)  
[www.tuttahs-meyer.de](http://www.tuttahs-meyer.de)

## Verbundpartner



Stadtwerke Warburg  
Landfurt 1  
34404 Warburg  
Tel.: 05641/908-44  
Fax : 05641/908-38  
Email : [helmut.schmitz@stadtwerke-warburg.aov.de](mailto:helmut.schmitz@stadtwerke-warburg.aov.de)  
[www.stadtwerke-warburg.de](http://www.stadtwerke-warburg.de)



Südzucker AG  
Werk Warburg  
Bahnhofstraße. 80  
34414 Warburg  
Dipl.-Ing. Christian Voß  
Email: [christian.voss@suedzucker.de](mailto:christian.voss@suedzucker.de)  
[www.suedzucker.de](http://www.suedzucker.de)

## Inhalt

<b>Verzeichnis der Tabellen .....</b>	<b>IV</b>
<b>Verzeichnis der Bilder .....</b>	<b>IV</b>
<b>1      Veranlassung und Ziele .....</b>	<b>1</b>
<b>2      Vorgehensweise .....</b>	<b>3</b>
<b>3      Ergebnisse .....</b>	<b>12</b>
<b>4      Literatur .....</b>	<b>21</b>

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2.1:	Spezifische Belastung, Volumenströme, Frachten sowie Einwohnergleichwerte von Fallwasser/ Überschussskondensat und Erdtransportwasser (Erfahrungswerte Südzucker und Analyseergebnisse).....	4
Tabelle 3.1:	Zusammenstellung der Bruttoinvestitionskosten .....	14
Tabelle 3.2:	Zusammenstellung der Jahreskosten abzüglich der Stromerlöse .....	16
Tabelle 3.3:	Ranking der Szenarien unter ökonomischen, Innovations- und betriebstechnischen Aspekten.....	19

## Verzeichnis der Bilder

Bild 2.1:	Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg, Szenario 1: Zuleitung des Fallwassers über die Kanalisation, Vorbehandlung des Erdtransportwassers in Stapelteichen.....	6
Bild 2.2:	Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg Szenario 2: Behandlung des Erdtransportwassers in einer Anaerobanlage der Südzucker AG .....	7
Bild 2.3:	Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg Szenario 3a: Teilstrombehandlung des Erdtransportwassers der Südzucker AG in der Faulungsanlage der Kläranlage Warburg.....	9
Bild 2.4:	Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg Szenario 3b: Behandlung des Erdtransportwassers der Südzucker AG mit dem kommunalen Klärschlamm mittels anaerobem Belebungsverfahren mit dem vorhandenen Faulbehälter der Kläranlage Warburg.....	10
Bild 2.5:	Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg Szenario 4: Behandlung des Erdtransportwassers der Südzucker AG mit dem kommunalen Klärschlamm in einem neuen Anaerobreaktor auf der Kläranlage Warburg.....	11

# 1 Veranlassung und Ziele

Die bei der Zuckerproduktion anfallenden Abwässer des Warburger Werkes der Südzucker AG werden in der Kläranlage der Stadt Warburg behandelt. Das Abwasser, das bei der Zuckerproduktion entsteht, setzt sich aus Erdtransportwasser und Fallwasser/ Überschussskondensat zusammen. Bei dem Erdtransportwasser handelt es sich um das Wasser, das nach dem Waschen der angelieferten Rüben anfällt. Dieses Wasser hat nach Dekantierung einen CSB zwischen 10 und 20 g/L. Die stark mit Kalk angereicherten Wässer aus der Wäsche des Kalkofengases werden dem Erdtransportwasser zugemischt und führen zu einem Kalkgehalt im Erdtransportwasser zwischen 500 und 2.000 mg/L Ca (DWA, 2007). Fallwasser und Überschussskondensat fallen bei der Zuckerherstellung direkt an. Sie haben eine Konzentration von 200 bis 250 mg/L CSB und 50 bis 150 mg/L Ammonium-Stickstoff. Derzeit wird der Teilstrom Erdtransportwasser der Südzucker AG traditionell in großen unbelüfteten Teichen der natürlichen Selbstreinigung überlassen. Nach einer gewissen Sedimentationszeit wird das Überstandswasser nach und nach der Kläranlage zugeführt. Siebwirkung, Adsorption, Ionenaustausch und Abbauvorgänge der im Wasser und Boden vorkommenden Bakterien und anderen Organismen bewirken eine Reinigung des Abwassers, die lange den Ansprüchen des Umweltschutzes genügt. Der zweite Teilstrom Fallwasser wird hingegen direkt der städtischen Kläranlage zugeführt. Ziel dieser Machbarkeitsstudie ist die Erarbeitung eines Abwasser- und Klärschlammbehandlungskonzeptes, das die derzeitigen ökologischen Standards erfüllt und ökonomisch ist. Die Entwicklung dieses neuen Behandlungskonzeptes, das einen Verbund der industriellen und der kommunalen Abwasserbehandlung beinhalten soll, wird erforderlich, da das Zuführen/ Deponieren von kommunalem Klärschlamm gemeinsam mit den Sedimenten des Erdtransportwassers in den Entschlammungsteich „Zachariasgrund“ auf dem Gelände der Südzucker AG von den Genehmigungsbehörden als nicht mehr zeitgemäß angesehen wird. Aufgrund eines erheblichen Rückganges des auf der Kläranlage zu behandelnden industriellen Abwassers anderer Einleiter stehen auf der kommunalen Kläranlage Anlagenreserven im Bereich der Stickstoffelimination und der Schlammbehandlung zur Verfügung, die für eine geänderte und optimierte Abwasserbehandlung der Abwässer der Südzucker AG genutzt werden könnten. Zur Elimination der zusätzlichen relativ hohen Stickstoff- und Kohlenstofffrachten wird zusätzliche Energie benötigt, die zum Teil über eine Biogasnutzung, resultierend aus einer teilweise anaeroben Behandlung der Abwässer der Zuckerfabrik, bereitgestellt werden könnte.

Die Erzielung synergetischer Effekte, insbesondere hinsichtlich einer energetischen Nutzung des bei der Behandlung des kohlenstoffreichen Abwassers der Südzucker AG anfallenden Biogases sowie der gemeinsamen Behandlung der Abwasser- und Schlammteilströme aus dem industriellen und kommunalen Bereich, ist bei der Entwicklung des Abwasserverbundkonzeptes in den Vordergrund zu stellen. Darüber hinaus begünstigt die

unmittelbare Nähe der Anlagen der Südzucker AG und der Kläranlage Warburg eine im  
Verbund betriebene Abwasser- und Klärschlammbehandlung.

## 2 Vorgehensweise

Zur Erstellung eines Abwasserreinigungsverbundkonzeptes war es zunächst erforderlich, den derzeitigen Stand der Abwasserbehandlung der Südzucker AG und der Kläranlage Warburg zu erfassen und zu dokumentieren. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Abwässer der Südzucker AG nicht über das gesamte Kalenderjahr anfallen. Während der Kampagne (September bis Dezember) fallen sowohl Erdtransportwasser als auch Fallwasser/ Überschussskondensat an, wobei das Erdtransportwasser in die Absetzteiche und das Fallwasser in die Kläranlage geleitet wird. Das Überstandswasser wird nach weitestgehender Phasenseparation in der sogenannten Nachlaufzeit in die Kläranlage geleitet. Zeiträume, in denen weder Fallwasser noch Überstandswasser in der Kläranlage Warburg mitbehandelt werden, werden als Kampagne freie Zeit bezeichnet.

Bezüglich der Belastung der Abwässer der Südzucker AG wurde zur Charakterisierung des industriellen Abwassers sowohl auf Erfahrungswerte der Südzucker AG als auch auf Ergebnisse eines im November/ Dezember 2006 durchgeführten Messprogramms zurückgegriffen. Hier wurde deutlich, dass die tatsächliche Abwasserbelastung stark von den Erfahrungswerten abweicht (Tabelle 2.1).

**Tabelle 2.1: Spezifische Belastung, Volumenströme, Frachten sowie Einwohnergleichwerte von Fallwasser/ Überschusskondensat und Erdtransportwasser (Erfahrungswerte Südzucker und Analyseergebnisse)**

Parameter	Einheit	Erdtransport-	Fallwasser/ Überschuss-	Erdtransport-	Fallwasser/ Überschuss-
		wasser	kondensat	wasser	kondensat
		Erfahrungswerte		Analyseergebnisse (24.09.06 – 15.12.06)	
$Q_{\max,h}$	m <sup>3</sup> /h	60	100	28	131
$Q_{\max,d}$	m <sup>3</sup> /d	1.440	2.400	2.630	3.699
$Q_{d,85\%Perzentil}$	m <sup>3</sup> /d	-	-	660	3.140
$Q_{d,Median}$	m <sup>3</sup> /d	-	-	443	3.034
$Q_{Jahr}$	m <sup>3</sup> /a	-	-	~ 60.000	~ 230.000
$C_{CSB,max}$	mg/L	22.000	1.000	24.800	561
$C_{CSB,Mittel}$	mg/L	16.000	300	19.475	359
$C_{CSB,Median}$	mg/L	-	-	17.800	247
$B_{d,CSB,Mittel}$	kg/d	23.040	720	10.540	1.010
$B_{d,CSB,Median}$	kg/d	-	-	7.817	702
EGW	E	192.000	6.000	87.833	8.416
CSB/BSB	-	2	1,7	1,7	2
$B_{d,BSB,Mittel}$	kg/d	11.520	424	6.200	505
$B_{d,BSB,Median}$	kg/d	-	-	4.598	351
EGW	E	192.000	7.059	103.333	8.416
$C_{Nges,max}$	mg/L	30	130	55	60
$C_{Nges,Mittel}$	mg/L	70	60	41	52
$C_{Nges,Median}$	mg/L	-	-	21	46
$B_{d,Nges,Mittel}$	kg/d	101	144	20	160
$B_{d,Nges,Median}$	kg/d	-	-	14	140
EGW	E	9.164	13.091	1.818	22.857
$C_{Calcium,max}$	mg/L	2.000	0	3.784	0
$C_{Calcium,min}$	mg/L	500	0	784	0
$B_{d,Calcium,Mittel}$	kg/d	1.800	0	1.302	0
$B_{d,Calcium,Median}$	kg/d	-	-	1.093	0
$C_{Pges,geschätzt}$	mg/L	2	0	2	0
$B_{d,Pges,geschätzt}$	kg/d	3	0	3	0
Temperatur <sub>min</sub>	°C	2	50	2	50

Die Kläranlage Warburg ist für 70.000 E ausgelegt. Die Verfahrenstechnik beinhaltet eine Rechenanlage, einen Sandfang, eine Vorklärung, eine Belebungsstufe und eine Nachklärung. Zusätzlich verfügt die Kläranlage Warburg über eine Schlammbehandlung bestehend aus einer Voreindickung, einer Faulung, einem Gasbehälter, einer Nacheindickung sowie einer Faulschlammwässerung und einem Blockheizkraftwerk.

Basierend auf Messwerten der Kläranlage Warburg konnte die derzeitige Belastung der Kläranlage ermittelt werden. Bedingt durch den Rückgang industrieller Einleitungen in die Kläranlage entspricht die derzeitige Belastung der Kläranlage einer Anschlussgröße von 30.000 E. Zur Ermittlung der vorhandenen Leistungsreserve wurden bei der Berechnung folgende Eingangsdaten festgelegt:

- Anschlussgröße 30.000 E
- Temperatur 10 °C
- Trockenwetterzufluss 9.367 m<sup>3</sup>/d
- Fremdwasserzufluss (geschätzt) 1.870 m<sup>3</sup>/d
- Mischwasserzufluss 1.328 m<sup>3</sup>/h
- BSB<sub>5</sub>-Zulauf fracht 1.810 kg/d
- CSB-Zulauf fracht 3.620 kg/d
- NH<sub>4</sub>-N-Zulauf fracht 210 kg/d

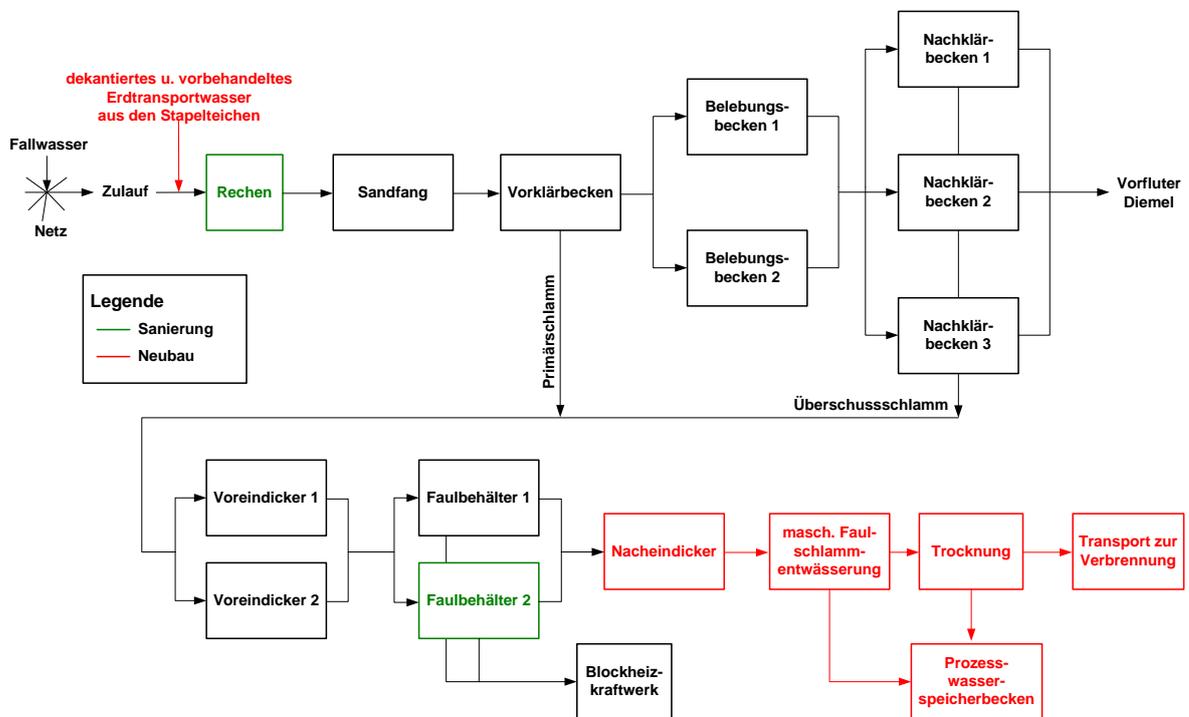
Hieraus ergeben sich aus der klärtechnischen Berechnung folgende Ergebnisse:

- Belebungsbeckenvolumen 6.738 m<sup>3</sup>
- Schlammalter 19 d
- Q<sub>PS</sub>+Q<sub>ÜS</sub> 2.273 kg TS/d
- Faulgasanfall 636 m<sup>3</sup>/d

Auf Basis dieser Daten und der ermittelten Zusammensetzung der Produktionsabwässer der Südzucker AG wurden in einem ersten Schritt fünf unterschiedliche Abwasserentsorgungs-Szenarien erarbeitet.

**Szenario 1 : Anaerobe Teilstrombehandlung**

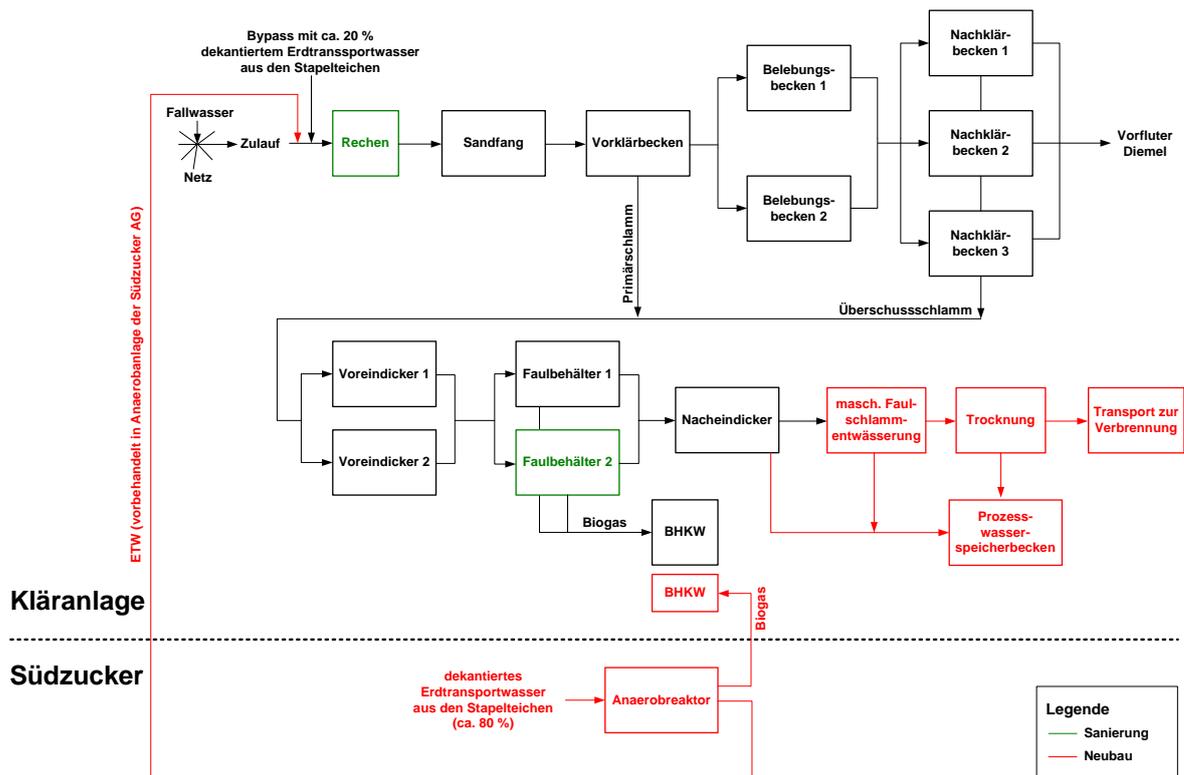
In Szenario 1 wird die ursprüngliche Betriebsweise zur Abwasserbehandlung während der Kampagne- und Nachlaufzeit beibehalten, d.h., die Überschusskondensate/ Fallwässer werden direkt über das öffentliche Kanalnetz zur Kläranlage geführt und das anfallende Erdtransportwasser wird in den Teichen zwischengelagert und in Abhängigkeit der Auslastung der Kläranlage sowie nach Abschluss der Kampagne der Kläranlage dosiert zugeführt. Die Berechnung ergab, dass auf der Kläranlage während der Kampagnezeit neben dem kommunalen Abwasser und den Überschusskondensaten/ Fallwässern nahezu die Hälfte des anfallenden Erdtransportwassers direkt mitbehandelt werden kann. In Bild 2.1 ist das Fließbild zur Abwasserbehandlung im Szenario 1 mit den entsprechenden Sanierungsmaßnahmen und erforderlichen Neubauten dargestellt.



**Bild 2.1:** Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg, Szenario 1: Zuleitung des Fallwassers über die Kanalisation, Vorbehandlung des Erdtransportwassers in Stapelteichen

## Szenario 2: Getrennte Behandlung des Erdtransportwassers und des kommunalen Abwassers

Szenario 2 beinhaltet im Wesentlichen die getrennte Behandlung des kommunalen und industriellen Abwassers. Das Fallwasser/ Überschusskondensat wird weiterhin auf der Kläranlage behandelt. Das Erdtransportwasser wird hingegen auf dem Gelände der Südzucker AG anaerob vorbehandelt und die anfallenden Prozesswässer der Kläranlage zugeführt. Hierbei werden ca. 20 % der CSB-Fracht des in der Anaerobanlage der Südzucker AG vorbehandelten Abwassers im Bypass direkt zur kommunalen Kläranlage geleitet, um die Stickstoffelimination dort zu sichern. Zur Energieeinsparung wird das sehr warme Fallwasser vor der Ableitung zur Kläranlage zur Aufheizung des Anaerobreaktors genutzt. Für die Schlammensorgung werden die zwei Alternativen einer getrennten Entsorgung durch die Südzucker AG bzw. einer gemeinsamen Entwässerung und Entsorgung mit dem kommunalen ausgefaulten Klärschlamm betrachtet. Die Nutzung des zusätzlich anfallenden Biogases (aus der anaeroben Behandlung des Erdtransportwassers auf dem Gelände der Südzucker AG) erfolgt ausschließlich auf der Kläranlage Warburg. Das Verfahrensschema für dieses Szenario ist in Bild 2.2 abgebildet.



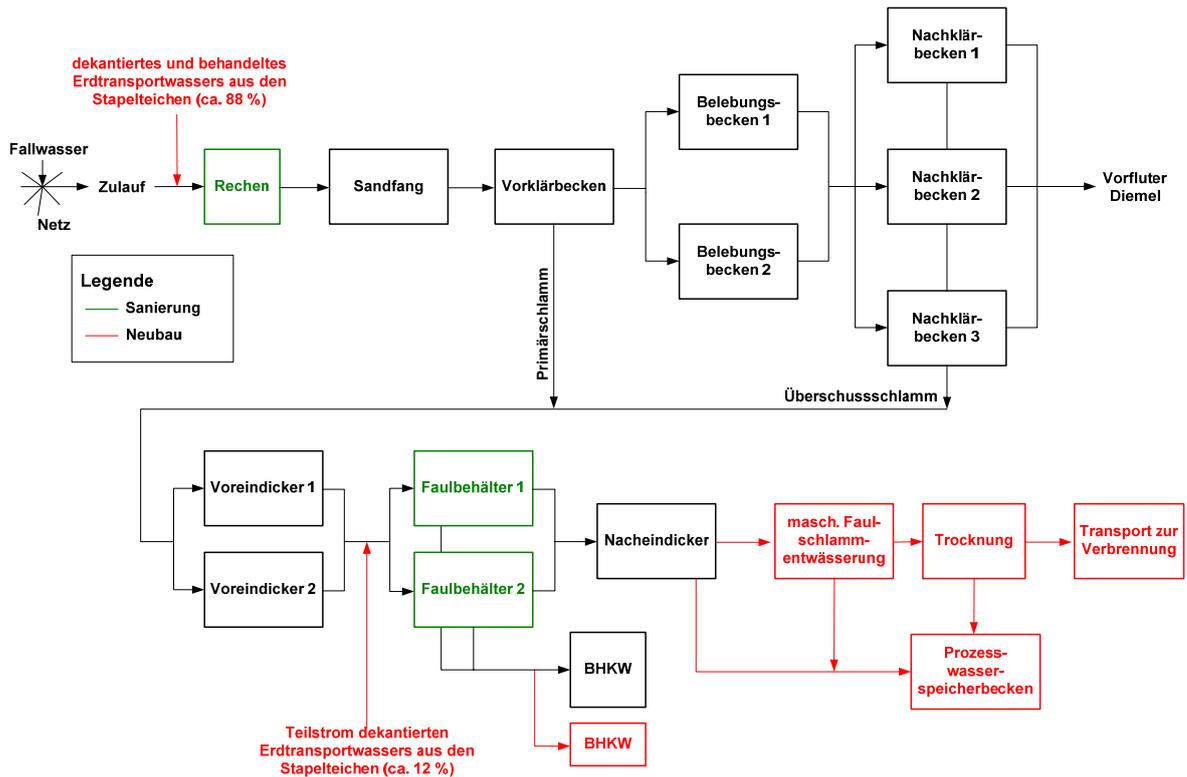
**Bild 2.2:** Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg  
**Szenario 2: Behandlung des Erdtransportwassers in einer Anaerobanlage der Südzucker AG**

### Szenario 3 : Teilstrom- bzw. Vollstrombehandlung des Erdtransportwassers in der kommunalen Faulungsanlage

Aufgrund der derzeit geringen Auslastung der kommunalen Kläranlage der Stadt Warburg im Bereich der Schlammbehandlung wird ein Faulbehälter nicht genutzt. Daher wurde untersucht, inwieweit dieses Faulraumvolumen zur anaeroben Abwasserbehandlung und zusätzlichen Biogasproduktion eingesetzt werden kann. Neben einer im Vergleich zu einer aeroben Abwasserbehandlung deutlich geringeren Schlammproduktion beinhaltet dieses Szenario als weiteren Vorteil die Möglichkeit der Energieerzeugung aus Biogas. Eine aerobe Behandlung des stark kohlenstoffhaltigen Abwassers führt hingegen infolge des erhöhten Sauerstoffbedarfes zu einem höheren Energieaufwand. Die anaerobe Mitbehandlung des kalkhaltigen Erdtransportwassers kann jedoch aufgrund von Kalkausfällung zu schwerwiegenden Prozessbehinderungen führen, was eine dosierte Zugabe des Erdtransportwassers erfordert. Damit die im Fallwasser gespeicherte Wärmeenergie zur Aufheizung des Anaerobreaktors genutzt werden kann, ist die Installation einer wärmeisolierten Rohrleitung erforderlich, damit bei der Abwasserableitung zum Reaktor möglichst wenig Wärmeenergie verloren geht.

#### Szenario 3a : Teilstrombehandlung in der kommunalen Faulungsanlage

Aufbauend auf diesen Rahmenbedingungen werden zwei weitere Szenarien abgeleitet. In Szenario 3a werden ca. 12 % des anfallenden Erdtransportwassers nach Dekantierung in den Stapelteichen während der Kampagne und in der Nachlaufzeit in die kommunale Faulungsanlage geleitet, um hier den restlichen enthaltenen Kohlenstoff in Biogas umzuwandeln. Die übrigen 88 % des Erdtransportwassers werden aerob in der Kläranlage behandelt. Das Fallwasser wird über die öffentliche Kanalisation der Kläranlage zugeführt. In Bild 2.3 ist das Fließbild zu diesem Verfahrenskonzept dargestellt.

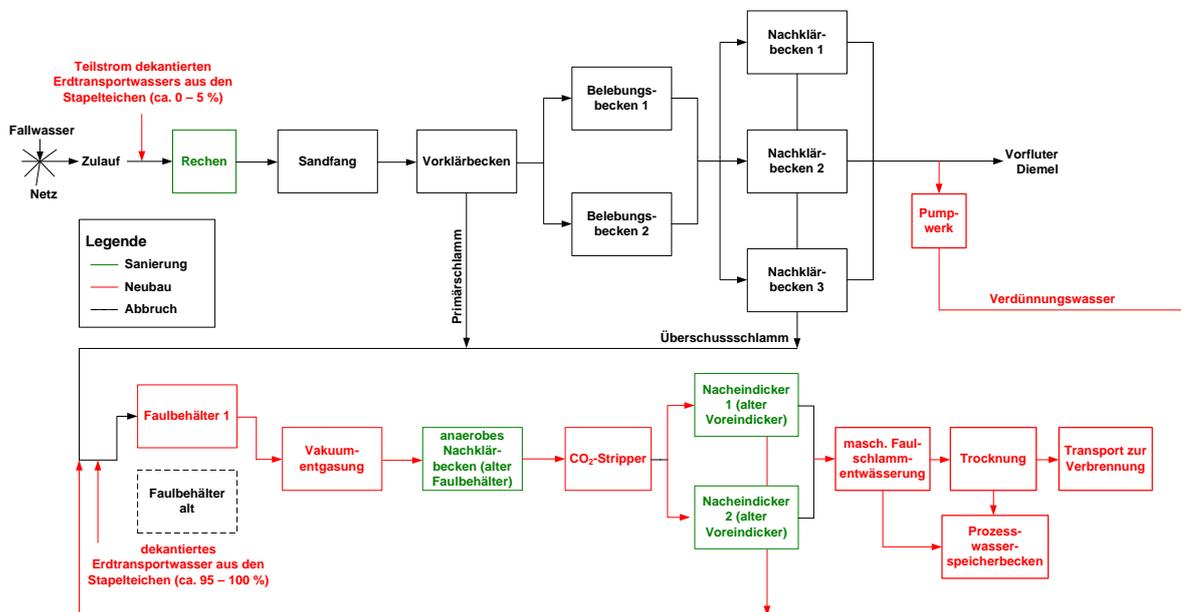


**Bild 2.3:** Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg  
**Szenario 3a:** Teilstrombehandlung des Erdtransportwassers der Südzucker AG in der Faulungsanlage der Kläranlage Warburg



### Szenario 4: Vollstrombehandlung des Erdtransportwassers

Szenario 4 ist eine Kombination aus Teilen der Behandlungskonzepte der Szenarien 2 und 3b. Hierdurch soll den Nachteilen, wie beispielsweise dem saisonalen Anlagenbetrieb und der langen Anlagenstillstandszeit bei Szenario 2 und den baulich nicht optimalen Rahmenbedingungen des Szenarios 3b, Rechnung getragen werden. Die Abwasserbehandlung in Szenario 4 soll wie in Szenario 3b durch das anaerobe Belebungsverfahren erfolgen, wobei die Faulreaktoren neu gebaut werden, um betriebliche Vorteile, wie bei Szenario 2 durch an das kalkhaltige Erdtransportwasser angepasste Faulbehälter (ebene Böden und gute Zugänglichkeit im Wartungsfall), zu erhalten. Das Fließbild des Szenarios 4 mit den entsprechenden Sanierungsmaßnahmen und erforderlichen Neubauten ist in Bild 2.5 dargestellt.



**Bild 2.5:** Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg  
**Szenario 4: Behandlung des Erdtransportwassers der Südzucker AG mit dem kommunalen Klärschlamm in einem neuen Anaerobreaktor auf der Kläranlage Warburg**

Zur Evaluierung der einzelnen Szenarien wurden folgende Aspekte berücksichtigt:

- die Reinigungsleistung der Kläranlage,
- die Betriebssicherheit und Stabilität des Abwassereinigungsprozesses und der Schlammbehandlung,
- die technische Machbarkeit (Kalkfällung),
- Investitions- und Jahreskostenvergleich,
- die Kapazität der vorhandenen Belebungsbeckenbelüftungseinrichtungen,
- der Flächenbedarf.

### 3 Ergebnisse

Bei den Investitionskostenberechnungen wurde grundsätzlich zwischen Anteilen der Kosten der Stadt Warburg und der Südzucker AG unterschieden. In allen Kostenangaben wurde der Mehrwertsteuersatz in Höhe von 19 % berücksichtigt. Die Nebenkosten wie Ingenieur-Honorare, Prüf- und Nebengebühren wurden, soweit nicht besonders vermerkt, in die Einzelkosten einkalkuliert. Grundstückskosten wurden für zusätzliche Bauteile (maschinelle Schlammwässerung (MSE) und Trockner) mit 4 €/m<sup>2</sup> kalkuliert. Für die übrigen Anlagenteile (z. B. Anaerobanlage der Südzucker AG) wurden keine Grundstückskosten kalkuliert, da davon ausgegangen wird, dass keine zusätzlichen Grundstücksbeschaffungen seitens des Unternehmens erforderlich werden. Die Anlagenbemessung erfolgte gemäß dem Stand der Technik. Die Kosten wurden auf Basis bestehender Projekte, Erfahrungswerten und einschlägigen Literaturquellen ermittelt (BAHRE, BEWERMEIER, 2006).

Für die bestehende Kläranlage Warburg wird davon ausgegangen, dass unabhängig von der Mitbehandlung der Abwässer der Südzucker AG Bau- und Bauunterhaltungsmaßnahmen notwendig werden. Im Folgenden werden neben diesen „Ohnehin“-Maßnahmen auch szenarienspezifische Maßnahmen aus Gründen der Nachvollziehbarkeit und Transparenz aufgelistet:

#### „Ohnehin“-Maßnahmen

- a Erneuerung der Rechenanlage mit einer Rechenhalle, 2 Feinrechen (3 mm Spaltweite) mit Rechengutwäscher und Rechengutpresse mit Containerverladung
- b Schlammwässerung mit einer Kammerfilterpresse für kontinuierliche Schlammwässerung, Kalkkonditionierer, Ladefahrzeug, Dekanterstahlhalle, Eindickersanierung, M + E-Technik, Schlamm Lagerplatz, Einbindungen des Straßen- und Wegebbaus, Gräben, Planungs- und Nebenkosten
- c Schlamm Trocknung des kommunalen Schlammes und des Schlammes aus Fallwasser), Umlufttrockner als Bandtrockner 120-140°C mit Abgasnutzung des BHKWs
- d<sub>1</sub> Sanierung eines der beiden Faulbehälter
- g Errichtung eines Prozesswasserspeichers von rd. 200 m<sup>3</sup> zum Ausgleich der Tageschwankungen des Prozesswassers mit Rührwerk und Niveaumessung,

### **Zusätzliche Maßnahmen Szenario 1**

- e<sub>1</sub> Ergänzung der bestehenden BHKW-Anlage der Kläranlage Warburg um 1 BHKW mit 100 kW elektrischer Leistung
- f<sub>1</sub> Zuleitung Erdtransportwasser von der Zuckerfabrik zur kommunalen Kläranlage mit Pumpwerk

### **Zusätzliche Maßnahmen Szenario 2**

- e<sub>2</sub> Ergänzung der bestehenden BHKW-Anlage der Kläranlage Warburg um 2 BHKW mit je 100 kW elektrischer Leistung für die Kampagne
- f<sub>2</sub> Ableitung des anaerob behandelten Abwassers sowie des Faulgases von der Zuckerfabrik bzw. der Anaerobanlage der Zuckerfabrik zur Kläranlage Warburg mit Pumpwerk

### **Zusätzliche Maßnahmen Szenario 3a**

- d<sub>2</sub> Sanierung und Betrieb der 2 Faulbehälter (je V = 1.400 m<sup>3</sup>) der Kläranlage Warburg
- e<sub>1</sub> siehe oben
- f<sub>1</sub> siehe oben

### **Zusätzliche Maßnahmen Szenario 3b**

- d<sub>2</sub> siehe oben
- d<sub>4</sub> Vakuumentgasungseinrichtung für die optimale Nutzung des Faulgasanfalls beim anaeroben Belebungsverfahren
- d<sub>5</sub> CO<sub>2</sub>-Stripper, d.h. Bau eines rd. 175 m<sup>3</sup> großen Strippreaktors mit Belüftungseinrichtung für den Lufteintrag
- d<sub>6</sub> Umbau der vorhandenen 2 Voreindicker von je 100 m<sup>3</sup> zu Sedimentationsbecken mit Schlammabzug
- d<sub>7</sub> Verdünnungswasserpumpwerk für Anaerobanlage der Kläranlage Warburg mit Rohrleitungen sowie Mischer für die optimale Einmischung
- e<sub>2</sub> siehe oben
- f<sub>3</sub> Ableitung Erdtransportwasser und Fallwasser (wärme gedämmte Rohrleitung) von der Zuckerfabrik zur Kläranlage Warburg
- h Umbau eines vorhandenen Nachklärbeckens (NKB 3) als anaerobes Nachklärbecken zur Umsetzung des anaeroben Belebungsverfahrens

#### Zusätzliche Maßnahmen Szenario 4

- d<sub>3</sub> Umbau von einem der bestehenden Faulbehälter der Kläranlage Warburg zu einem Sedimentationsbecken und Abriss des zweiten Faulbehälters samt Neubau eines 2.100 m<sup>3</sup> Faulbehälters in einer für Zuckerfabriksabwasser optimalen Bauform
- d<sub>4</sub> – d<sub>7</sub> siehe oben
- e<sub>2</sub> siehe oben
- f<sub>3</sub> siehe oben
- h<sub>2</sub> Umbau eines vorhandenen Faulbehälters als anaerobes Nachklärbecken zur Umsetzung des anaeroben Belebungsverfahrens

Die Ergebnisse der Investitionskostenschätzung für die Varianten 1 bis 4 sind in Tabelle 3.1 zusammengestellt.

Durch die deutlich erhöhten Schlammfrachten ergeben sich gegenüber dem IST-Zustand, ergänzt um Sanierungsmaßnahmen und Maßnahmen zur Schlamm Entsorgung unter Ansatz des derzeitigen Schlammanfalls, in allen Szenarien deutlich höhere Investitionskosten im Vergleich zu den „Ohnehin“-Maßnahmen.

Bei Szenario 2 ergeben sich infolge der Anaerobanlage bei der Südzucker AG (ca. 2,4 Mio. €) und Schlammmitbehandlung in der kommunalen Kläranlage die höchsten Investitionskosten.

**Tabelle 3.1: Zusammenstellung der Bruttoinvestitionskosten**

	Kläranlage Warburg	Anaerobanlage Südzucker AG	Gesamtinvestition	Mehrkosten gegenüber Szenario 1
„Ohnehin“-Maßnahmen	2,33 Mio. €	0,00 Mio. €	2,33 Mio. €	-
Szenario 1	3,95 Mio. €	0,00 Mio. €	3,95 Mio. €	100 %
Szenario 2(a)	4,91 Mio. €	2,38 Mio. €	7,29 Mio. €	185 %
Szenario 2(b <sup>*1)</sup> )	3,43 Mio. €	2,38 Mio. €	5,81 Mio. €	147 %
Szenario 3a	4,68 Mio. €	0,00 Mio. €	4,68 Mio. €	119 %
Szenario 3b	5,32 Mio. €	0,00 Mio. €	5,32 Mio. €	135 %
Szenario 4	6,30 Mio. €	0,00 Mio. €	6,30 Mio. €	160 %

<sup>\*1)</sup> Die Investitionskosten des Szenarios 2b beinhalten die Kosten ohne den Schlamm der Anaerobanlage der Südzucker AG (d.h. Entsorgung dieses Schlammes durch die Südzucker AG weiterhin im Zachariasgrund)

Das Projektziel ist die "Identifizierung der aus gesamtwirtschaftlicher Sicht günstigsten Variante der zukünftigen Abwasserbehandlung". In diesem Zusammenhang ist eine gesamt wirtschaftliche Betrachtung der Szenarien erforderlich. Neben den oben aufgeführten

ten Investitionskosten sind dafür auch die laufenden Kosten zu berücksichtigen. Als Wirtschaftlichkeitskriterium werden Jahreskosten [€/a] als Summe von Kapital- und Betriebskosten zu Grunde gelegt:

1. Kapitalkosten nach LAWA-Leitlinien (Annuität aus Abschreibung und Verzinsung)

Zinssatz: 5 %

Abschreibungszeiträume:

Maschinenteknik	10-15 Jahre (je nach Aggregat)
Elektro-, Haus- und MSR-Technik	10 Jahre
Bautechnik	40 Jahre

Die Annuität wurde jeweils als Produkt aus dem Kapitalwiedergewinnungsfaktor ( KFAKR) und den Investitionskosten wie folgt berechnet:

$$\text{Annuität} = \text{Investitionskosten (IK)} \times \text{KFAKR (i,n)}$$

$$i = \text{Zinssatz in \%}$$

$$n = \text{Nutzungsdauer in Jahren}$$

2. Betriebskosten

- Personal, Wartung
- Eigenverbrauch Wärme
- Polymere für Entwässerung
- Betriebswasser für Kühlung, etc
- Sonstiges
- Eigenverbrauch Strom
- Motoröl
- Schlamm Entsorgung
- Trinkwasser

Die Verbrauchskosten (brutto) wurden nach folgenden Grunddaten kalkuliert:

Strom (Eigenverbrauch)	0,12 €/kWh
Strom (EEG-Einspeisung)	0,0767 €/kWh (Strom aus den ersten 500 kW)
Wärme = Gaspreis (Annahme)	0,05 €/kWh
Trinkwasser	1,50 €/m³
Flockungshilfsmittel	2.500 €/Mg
Motoröl	5.000 €/Mg
Klärschlamm Entsorgung entwässert	52,50 €/Mg (20-25% TS)
Klärschlamm Entsorgung getrocknet	40 €/Mg (90-95% TS)
Personalkosten, Facharbeiter	48.500,00 €/a

In den Jahreskosten wurde der Stromverbrauch nach den Richtwerten (nicht Idealwerten)

des Energiehandbuchs NRW (MÜLLER et al, 1999) basierend auf BSB<sub>5</sub>-Einwohnerwerten berücksichtigt.

Die Gewinne aus der Eigenstromerzeugung wurden getrennt ausgewiesen.

Die Jahreskosten wurden aus den o.a. Kapitalkosten (Annuität) zuzüglich der Betriebskosten ermittelt. Die Netto-Gesamtjahreskosten ergeben sich aus den Jahreskosten abzüglich der Stromerlöse aus der Eigenstromerzeugung.

**Tabelle 3.2: Zusammenstellung der Jahreskosten abzüglich der Stromerlöse**

Szenario	Jahreskosten					Strom/ Wärme Erlöse kommunal	Jahres- kosten, gesamt (netto)	Prozentuale Abweichungen zu S 1
	Kapital- kosten	Betriebs- kosten	Südzucker)		Jahres- kosten gesamt (brutto)			
			Kapital- kosten	Betriebs- kosten		Jahres- kosten gesamt (brutto)		
[S]	[€a]	[€a]	[€a]	[€a]	[€a]	[€a]	[€a]	[%]
„Ohnehin“	189.100	320.547			509.647	-65.500	444.147	
S 1	315.000	565.742			880.742	-121.700	759.042	0
S 2(a)	394.000	451.413	192.800	44.450	1.082.663	-223.700	858.963	+ 13
S 2(b <sup>*1</sup> )	278.000	445.406	192.800	51.522	967.728	-221.000	746.728	- 2
S 3a	382.400	516.742			899.142	-177.800	721.342	- 5
S 3b	432.400	496.457			928.857	-215.800	713.057	- 6
S 4	479.700	447.957			927.657	-215.800	711.857	- 6

<sup>\*1</sup>) Die Jahreskosten der Variante 2b beinhalten nicht die Schlammmentwässerung/-trocknung des Schlammes der Südzucker Anaerobanlage, die geringeren Erlöse resultieren aus geringerer Nutzungsmöglichkeit der Wärme für die Schlamm-trocknung

Der Vergleich der netto Gesamt-Jahreskosten ergibt, dass Szenario 4 trotz hoher Investitionskosten die günstigste Variante darstellt. Aus Tabelle 3.2 ist abzulesen, dass je nach Szenario die Jahreskosten für die Maßnahmen, die ohnehin durchzuführen sind, einen Anteil von ca. 60 % bis 47 % der Gesamt-Jahreskosten einnehmen.

Die Lösung einer getrennten Abwasserbehandlung, d.h. anaerobe Behandlung des Erdtransportwassers durch die Südzucker AG und Mitbehandlung des Fallwassers in der kommunalen Kläranlage (Szenario 2), erscheint aufgrund der hohen Investitionskosten nicht vorteilhaft. Ähnliches gilt für Szenario 1, bei dem eine aerobe Behandlung des Erdtransportwassers nach einer anaeroben/ aeroben Vorbehandlung in den Speicherteichen erfolgt, bevor das Überstandswasser gemeinsam mit dem kommunalen Abwasser in der Kläranlage Warburg behandelt wird.

Von besonderer Bedeutung sind neben den ökonomischen auch die ökologischen und betriebstechnischen Aspekte. Für die Diskussion des wirtschaftlichsten und ökologisch sinnvollsten Szenarios müssen die wesentlichen Vor- und Nachteile der Szenarien ge-

genübertgestellt werden. Es ist anzustreben, die Inhaltsstoffe des Erdtransportwassers weitestgehend energetisch zu nutzen. Gleichzeitig darf die Mitbehandlung dieses industriellen Abwassers nicht den stabilen Betrieb der kommunalen Kläranlage gefährden. Aus wirtschaftlichen Gründen sind die freien Anlagenkapazitäten der Kläranlage im Bereich der Schlammbehandlung in ein neues Konzept zu integrieren.

Die bedeutensten Vor- und Nachteile der einzelnen Szenarien können wie folgt zusammengefasst werden:

<b>Szenario</b>	<b>Vorteil</b>	<b>Nachteil</b>
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Investitionskosten</li> <li>• einfache Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geruchsprobleme</li> <li>• hohe Betriebskosten</li> <li>• Anlagenkapazitäten ungenutzt</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• baulich optimale Anlagentechnik (KA Warburg und Südzucker AG)</li> <li>• weitgehende Biogaserzeugung aus komplettem Erdtransportwasser</li> <li>• einfache Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen</li> <li>• erprobtes Verfahren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nur temporäre Nutzung der Südzucker Anlage</li> <li>• hohe Betriebskosten in Szenario 2a</li> <li>• sehr hohe Investitionskosten</li> <li>• ungenutzte Anlagenkapazitäten auf KA Warburg</li> </ul>
3a	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung freier Anlagenkapazitäten auf KA Warburg</li> <li>• geringe Investitionskosten</li> <li>• einfache Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen</li> <li>• Biogaserzeugung durch anaerobe Vergärung von Erdtransportwasser (ca. 12 %) und Klärschlamm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Betriebskosten</li> <li>• Kalkausfällungen möglich</li> <li>• Geruchsprobleme in Stapelteichen durch Zwischenlagerung</li> <li>• keine großtechnischen Erfahrungen</li> </ul>
3b	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung freier Anlagenkapazitäten auf KA Warburg (Faulbehälter)</li> <li>• optimale Bedingungen zur Wartung der Faulbehälter</li> <li>• weitgehende Biogaserzeugung (ca. 100 % Erdtransportwasser)</li> <li>• einfache Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen</li> <li>• Rückgriff auf vorhandene Anlagenkapazitäten</li> <li>• keine Geruchsprobleme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzierung der Anlagenreserve durch Nutzung eines Nachklärbeckens (anaerobes Nachklärbecken)</li> <li>• keine Erfahrung zu gemeinsamer Behandlung von kommunalem und Zuckerfabrikabwasser (Kalkausfällungen)</li> <li>• Anlagentechnik nicht in optimaler Weise vorhanden</li> </ul>

Szenario	Vorteil	Nachteil
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung eines Faulbehälters als anaerobes Nachklärbecken</li> <li>• teilweise Nutzung freier Anlagenkapazität (KA Warburg)</li> <li>• Geringere Jahreskosten</li> <li>• weitgehende Biogaserzeugung</li> <li>• einfache Erweiterungsmaßnahmen</li> <li>• keine Geruchsprobleme (Stapelteiche)</li> <li>• Betrieblich optimaler Anaerobreaktor wird gebaut</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• höhere Investitionskosten</li> <li>• keine optimalen Bedingungen zur Wartung des einen neuen Faulbehälters, der ggf. außerhalb der Kampagne außer Betrieb gehen muss</li> <li>• keine großtechnischen Erfahrungen bei gemeinsamer anaerober Abwasser- und Schlammbehandlung</li> </ul>

Aufgrund der positiven wirtschaftlichen Bewertung der Szenarien 3b und 4 lassen sich auch weitere Optionen betrachten, die zu einer Erhöhung der Betriebssicherheit bei Revisionen und Beibehaltung der Leistungsreserven im Bereich der biologischen Abwasserreinigung führen würden. Hierzu gehört der Bau eines zweiten Faulbehälters in Szenario 4<sub>erweitert</sub> sowie der Bau eines neuen anaeroben Nachklärbeckens in Szenario 3b.

Da die Faulungsanlage der Kläranlage Warburg auch bei Mitbehandlung des Erdtransportwassers der Zuckerfabrik Leistungsreserven aufweist, wäre die Mitbehandlung von Co-Substraten nach Positivliste für biogene Abfälle (MUNLV NRW, 2001) eine weitere Option dieses Potential zu nutzen, um die Stromproduktion und den Betrieb der BHKW zu optimieren.

Eine mögliche Faulgasnutzung als „Bio-Erdgas“ bei einer nur saisonalen Nutzung der erforderlichen Gasaufbereitungskapazität (Druckwechseladsorptions-Anlage) kann nicht wirtschaftlich eingesetzt werden, weshalb für die Kläranlage Warburg von einer derartigen Faulgasnutzung abzuraten ist.

Die Untersuchung der einzelnen Szenarien hat ergeben, dass aus ökonomischen und betrieblichen Aspekten die nachfolgend in Tabelle 3.3 aufgeführten Szenarien für eine Umsetzung generell in Frage kommen.

**Tabelle 3.3: Ranking der Szenarien unter ökonomischen, Innovations- und betriebstechnischen Aspekten**

Szenario	Investitionssumme		Jahreskosten		Wertung Betrieb		Innovation
	[Mio. €]	Ranking	[€/a]	Ranking		Ranking	Ranking
S 2b	5,81	2	746.728	2	optimal	<u>1</u>	3
S 3b	5,32	<u>1</u>	713.057	<u>1</u>	gut*	3	<u>1</u>
S 3b <sub>erweitert</sub>	5,78	2	742.757	2	gut*	3	<u>1</u>
S 4	6,30	3	711.857	<u>1</u>	sehr gut	2	<u>1</u>
S 4 <sub>erweitert</sub>	6,70	4	742.857	2	optimal	<u>1</u>	2

\* Anmerkung: Aussagen über die Betriebssicherheit der Faulung können nicht gemacht werden  
 → Hier besteht weiterer Untersuchungsbedarf

Nach Auffassung der Autoren ist eine ausschließlich ökonomische Betrachtung nicht Ziel führend, obwohl die Investitionskosten eine Schwankungsbreite von ca. 1,4 Mio. € aufweisen, dies aber auf die Jahreskosten keinen wesentlichen Einfluss hat. Daher muss eine Empfehlung vor dem Hintergrund Betriebssicherheit und Innovationsgrad ausgesprochen werden.

Auch wenn das Szenario 2b die optimale Betriebssicherheit und die meisten Betriebserfahrungen vorweisen kann, so sind aufgrund der Maßnahmen zur Kalkabscheidung die Szenarien 3b und 4 inkl. ihrer Erweiterungsmaßnahmen als betriebssicher einzustufen, auch wenn hierzu nur Erfahrungen z.B. aus dem Bereich der Papierindustrie vorliegen. Die Übertragung der Technologie der anaeroben Belebungsverfahren in den Bereich der Behandlung von temporär anfallendem Erdtransportwasser der Zuckerindustrie gemeinsam mit kommunalem Klärschlamm stellt einen hohen Innovationsgrad dar. Problematisch zu sehen ist der Aspekt der Umwälzung des Gemisches aus Erdtransportwasser und Klärschlamm und eine gegebenenfalls erforderliche Entleerung bei einem konventionellen Faulbehälter mit Trichterspitze wie in Szenario 3b. Hier müsste erst durch einen stufenweisen Ausbau der Faulungsanlage zum anaeroben Belebungsverfahren die Umsetzbarkeit geprüft werden. Für einen reibungslosen Umwälzbetrieb ist ein Behälter mit flachem Boden und ebenerdigen Zugang für Wartungszwecke wie in Szenario 4 betriebstechnisch besser.

Als weiterer Aspekt muss berücksichtigt werden, dass durch die Erweiterung der Faulungsanlage der Stadt Warburg für diese eine Anlagenreserve zur Industrieabwasserbehandlung geschaffen wird, die auch anderweitig genutzt werden kann, z.B. zur Co-Fermentation flüssiger Abfälle außerhalb der Rübenkampagne oder bei Wegfall des Industrieabwassers.

Aus betrieblichen Gründen und vor dem Hintergrund des Potentials zur Implementierung einer Verfahrenstechnik für einen neuen Anwendungsbereich wird empfohlen, in Anlehnung an die Szenarien 3b und 4 das anaerobe Belebungsverfahren umzusetzen.

Als Ergebnis der Machbarkeitsstudie ist abschließend festzuhalten:

Aufgrund vorliegender Erfahrungen ist der Neubau einer Anaerobanlage nach dem Kontaktschlammverfahren das bekannteste und betriebssicherste technische Verfahren für die Behandlung von Erdtransportwasser.

Für das in den Szenarien 3b und 4 vorgestellte anaerobe Belebungsverfahren liegen Anwendungsfälle außerhalb der Zuckerabwasserbehandlung vor.

Innovativ aber auch mit Risiken behaftet sind die Szenarien 3b und 4 in denen auch das anaerobe Belebungsverfahren umgesetzt wird. Beide Varianten betreten durch die gemeinsame Abwasser- und Schlammbehandlung abwassertechnisches Neuland. Variante 3 b bietet den Vorteil der Möglichkeit eines stufenweisen Vorgehens beim Anlagenausbau und wird daher zur Umsetzung empfohlen. Die vorhandenen Anlagenteile auf der kommunalen Kläranlage werden hierbei am effizientesten genutzt.

## 4 Literatur

- BAHRE, G., BEWERMEIER, L. (2006): *Klärschlamm-trocknung als Baustein einer preiswerten Entsorgung*. In: GWA – Gewässerschutz – Wasser – Abwasser. 39. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft. Hrsg.: Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft
- DWA (2007): *Abwasser aus der Zuckerindustrie*. Merkblatt DWA-M 713, DWA-Arbeitsgruppe IG 2.3 „Zuckerindustrie“
- MÜLLER, E. A., KOBEL, B., KÜNTI, T., PINNEKAMP, J. (1999): *Handbuch Energie in Kläranlagen*. Hrsg.: Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW
- MUNLV NRW (2001): *Co-Fermentation von biogenen Abfällen in Faulbehältern von Kläranlagen*, *Berichte zur Umwelt Bereich Abwasser*. Band 22. Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, ISBN 3-9807642-3-0