

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



Abschlussbericht

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



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

Machbarkeitsstudie

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

AZ IV-9-042 IC3

gerichtet an das



Aachen, den 31.07.2007

iv. R. Haymann

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

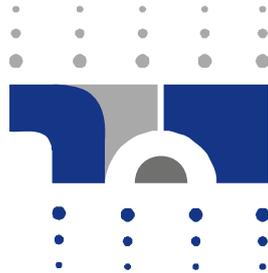
Projektpartner



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
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
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
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
www.stadtwerke-warburg.de



Südzucker AG
Werk Warburg
Bahnhofstraße 80
34414 Warburg
Dipl.-Ing. Christian Voß
Email: christian.voss@suedzucker.de
www.suedzucker.de

Inhalt

Verzeichnis der Tabellen	VII
Verzeichnis der Bilder	IX
Zusammenfassung	1
1 Veranlassung	6
2 IST-Stand der Abwasserbehandlung	8
2.1 IST-Stand der Abwasserbehandlung der Südzucker AG Warburg.....	8
2.2 IST-Stand der Abwasserbehandlung Kläranlage Warburg.....	15
2.2.1 Technische Daten der Kläranlage zur Ausbaugröße.....	15
2.2.2 Ermittlung der derzeitigen Anschlussgröße und maßgeblichen Rahmenbedingungen einer Bemessung	16
3 Beschreibung von ausgewählten Szenarien	21
3.1 Szenario 1: Aerobe Mitbehandlung von vorbehandeltem Abwasser der Südzucker AG und Erweiterung der Schlammbehandlung	21
3.2 Szenario 2: Erweiterung der Schlammbehandlung Kläranlage Warburg und Bau einer anaeroben Behandlungsanlage auf dem Gelände der Südzucker AG	24
3.2.1 Beschreibung der Verfahrenstechniken und Maßnahmen für die Südzucker AG und die Kläranlage Warburg.....	24
3.2.2 Bemessung der Anaerobstufe Südzucker AG.....	27
3.3 Szenario 3: Anaerobe Mitbehandlung des Erdtransportwassers in der kommunalen Schlammfäulung	29
3.3.1 Beschreibung der Verfahrenstechniken und Maßnahmen für die Südzucker AG und Kläranlage Warburg	29
3.3.2 Szenario 3a: Anaerobe Teilstrombehandlung des Erdtransportwassers in der kommunalen Faulungsanlage	30
3.3.3 Szenario 3b: Vollständige anaerobe Behandlung des Erdtransportwassers nach dem Anaeroben Belebungsverfahren in der kommunalen Faulungsanlage	35

3.4	Szenario 4: Neubau einer Faulungsanlage auf dem Gelände der kommunalen Kläranlage zur Behandlung der kommunalen Klärschlämme und des Erdtransportwassers der Südzucker AG	41
3.4.1	Beschreibung der Verfahrenstechniken und Maßnahmen für die Südzucker AG und Kläranlage Warburg	41
3.4.2	Bemessung der Anaerobstufe für die gemeinsame Behandlung der Abwässer der Südzucker AG und der Schlämme der Kläranlage Warburg.....	42
3.4.3	Betriebsfall: Außerbetriebnahme eines Faulbehälters zu Wartungszwecken	44
4	Erfassung und Darstellung der Investitions- und Jahreskosten der unterschiedlichen Szenarien.....	45
4.1	Investitionskostenberechnung für die Szenarien 1, 2, 3a, 3b und 4	45
4.1.1	Ausgangsdaten der Investitionskostenberechnungen.....	45
4.1.2	Szenarienunabhängige Maßnahmen und Investitionskosten („Ohnehinkosten“).....	47
4.1.3	Maßnahmen und Investitionskosten Szenario 1.....	48
4.1.4	Maßnahmen und Investitionskosten Szenario 2.....	48
4.1.5	Maßnahmen und Investitionskosten Szenario 3a.....	50
4.1.6	Maßnahmen und Investitionskosten Szenario 3b.....	50
4.1.7	Maßnahmen und Investitionskosten Szenario 4.....	51
4.2	Ergebnis und Investitionskostenvergleich.....	53
4.3	Ermittlung der Jahreskosten für die Szenarien 1, 2, 3a, 3b und 4.....	54
4.3.1	Grundlagen und Annahmen zur Ermittlung der Jahreskosten.....	54
4.3.2	Vergleich der Jahreskosten	57
5	Diskussion der Szenarien.....	59
6	Weitere Optionen.....	64
6.1	Erhalt der Betriebssicherheit der Faulung bei Revisionen und Beibehaltung der Leistungsreserven im Bereich der biologischen Abwasserreinigung	64
6.2	Co-Fermentation.....	65
6.3	Faulgasnutzung als „Bio-Erdgas“	66

7	Resümee und Handlungsempfehlungen.....	68
8	Literatur.....	70
9	Anhang.....	72

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 0.1:	Ranking der Szenarien unter ökonomischen, Innovations- und betriebstechnischen Aspekten	4
Tabelle 2.1:	Spezifische Belastung, Volumenströme, Frachten sowie Einwohnergleichwerte von Fallwasser/Überschusskondensat und Erdtransportwasser (Erfahrungswerte Südzucker und Analysenergebnisse)	13
Tabelle 2.2:	Frachtermittlung für saisonale Belastungen der Kläranlage Warburg	20
Tabelle 3.1:	Bemessungsergebnisse der unterschiedlichen Belastungsphasen – Szenario 1	22
Tabelle 3.2:	Bemessungsergebnisse der unterschiedlichen Belastungsphasen – Szenario 2	26
Tabelle 3.3:	Bemessungsergebnisse der unterschiedlichen Belastungsphasen – Szenario 3a	34
Tabelle 3.4:	Bemessungsergebnisse der unterschiedlichen Belastungsphasen – Szenario 3b	37
Tabelle 3.5:	Ermittlung der erforderlichen Verdünnungswassermengen für unterschiedliche Kalkbelastungen im Erdtransportwasser	39
Tabelle 3.6:	Maximale Auslastung der Kläranlage in Abhängigkeit der Temperatur und des Schlammvolumenindexes für eine aerobe Schlammstabilisierung	44
Tabelle 4.1:	Tagesmaxima der Schlammengen für die Auslegung der maschinellen Schlammwässerung und des Trockners	46
Tabelle 4.2:	Bruttoinvestitionskosten für „Ohnehin“-Maßnahmen	47
Tabelle 4.3:	Bruttoinvestitionskosten für die Variante 1 auf der Kläranlage Warburg und der Südzucker AG	48
Tabelle 4.4:	Bruttoinvestitionskosten für das Szenario 2a auf der Kläranlage Warburg und der Südzucker AG	49
Tabelle 4.5:	Bruttoinvestitionskosten für das Szenario 2b auf der Kläranlage Warburg und der Südzucker AG	49
Tabelle 4.6:	Bruttoinvestitionskosten für Szenario 3a auf der Kläranlage Warburg	50
Tabelle 4.7:	Bruttoinvestitionskosten für Szenario 3b auf der Kläranlage Warburg	51
Tabelle 4.8:	Bruttoinvestitionskosten Szenario 4 auf der Kläranlage Warburg	53

Tabelle 4.9:	Zusammenstellung der Bruttoinvestitionskosten	54
Tabelle 4.10:	Jahresschlammengen aus den saisonal unterschiedlich anfallenden Schlammengen für die Varianten.....	56
Tabelle 4.11:	Personalbedarf für die Kläranlage Warburg und die Südzucker AG in Abhängigkeit der Szenarien.....	57
Tabelle 4.12:	Zusammenstellung der Jahreskosten abzüglich der Stromerlöse	57
Tabelle 6.1:	Positivliste für biogene Abfälle, die ohne Einzelnachweis grundsätzlich für eine Mitbehandlung in Faulbehältern geeignet sind (MUNLV NRW, 2001)	65
Tabelle 7.1:	Ranking der Szenarien unter ökonomischen, Innovations- und betriebs- technischen Aspekten.....	68

Verzeichnis der Bilder

Bild 1.1:	Luftbildauszug Werk Südzucker AG Warburg und Teichanlage Südzucker AG sowie Kläranlage Warburg (Quelle: Google earth)	6
Bild 2.1:	Südzucker Warburg (Luftbild, Quelle: Google earth)	8
Bild 2.2:	Aktuelles Abwasserreinigungskonzept der Fa. Südzucker AG (Werk Warburg) während der Kampagne (Quelle Südzucker AG).....	9
Bild 2.3:	Kläranlage Warburg (Luftbild, Quelle: Google earth).....	10
Bild 2.4:	Teiche Südzucker Zachariasgrund (Luftbild, Quelle Goggle earth)	10
Bild 2.5:	Aktuelles Abwasserreinigungskonzept der Fa. Südzucker AG (Werk Warburg) außerhalb der Kampagne (Quelle Südzucker AG)	12
Bild 2.6:	Verfahrensbild Kläranlage Warburg	16
Bild 2.7:	Auswertung der Betriebsdaten der Kläranlage zur Ermittlung des Anschlussgrades zu unterschiedlichen Belastungszeiten (Rüben-Kampagne und Kampagne freie Zeit).....	17
Bild 2.8:	Jahresganglinien Trockenwetterzufluss, CSB-Konzentration und Temperatur im Zulauf zur biologischen Stufe	18
Bild 2.9:	Jahresganglinien Trockenwetterzufluss, NH ₄ -N-Konzentration und Temperatur im Zulauf zur biologischen Stufe	19
Bild 3.1:	Prozentuale Anteile der monatlichen Abwasserteilstrommengen, die zur Kläranlage abgeführt werden – Szenario 1.....	21
Bild 3.2:	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...	23
Bild 3.3:	Prozentuale Anteile der monatlichen Abwasserteilstrommengen, die zur Kläranlage abgeführt werden – Szenario 2.....	25
Bild 3.4:	Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg Szenario 2: Behandlung des Erdtransportwassers in einer Anaerobanlage der Südzucker AG	27
Bild 3.5:	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	31

Bild 3.6:	Prozentuale Anteile der monatlichen Abwasserteilstrommengen, die zur Kläranlage abgeführt werden – Szenario 3a.....	33
Bild 3.7:	Prozentuale Anteile der monatlichen Abwasserteilstrommengen, die zur Kläranlage abgeführt werden – Szenario 3b.....	36
Bild 3.8:	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	38
Bild 3.9:	Fließbild des anaeroben Belebungsverfahrens für Szenario 3b und Übersicht über die Beckenvolumina für unterschiedliche Kalkkonzentrationen im Abwasser der Südzucker AG (Lastfall 100 % anaerobe Erdtransportwassermitbehandlung auf der kommunalen Kläranlage)	40
Bild 3.10:	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	42
Bild 6.1:	Energierückgewinnung mit Schlamm-Wärmetauscher (Rekuperator) am Klärwerk Duisburg Kaßlerfeld des Ruhrverbandes (ATV-Handbuch, Klärschlamm, 1996, Seite 201).....	67

Zusammenfassung

Die Stadt Warburg und die Südzucker AG haben bislang im Bereich der Abwasser- und Schlammbehandlung in der Form zusammengearbeitet, dass die Stadt Warburg die stark stickstoffhaltigen warmen Überschusskondensate (Abwasser aus der Zuckerproduktion) direkt über die Kanalisation und das kohlenstoffhaltige Erdtransportwasser (Abwasserteilstrom aus der Rübenreinigung) nach einer Dekantierung in Absetz- und Stapelteichen und einer weitergehenden anaeroben Vorbehandlung in den Stapelteichen aerob mitbehandelt hat. Aufgrund der hohen Abwassertemperatur im Winter und der erhöhten Kohlenstoffkonzentration im Abwasser konnte effizient und sicher eine Stickstoffelimination erfolgen. Des Weiteren ist im Vergleich zu anderen Anlagen mehr Überschussschlamm (aus der Kohlenstoffelimination des Erdtransportwassers) angefallen, der in der Faulung entsprechend auch mehr Biogas erzeugt hat. Der ausgefaulte Schlamm wurde gemeinsam mit der Rübenerde im Zachariasgrund (im Besitz der Südzucker AG) endgelagert. Da diese Vorgehensweise nicht mehr dem Stand der Technik entspricht, wurde im Rahmen dieser Studie nach verfahrenstechnischen Konzepten gesucht, um zum einen die Inhaltsstoffe insbesondere im Erdtransportwasser energetisch zu nutzen und zum anderen Synergien beim Betrieb der Abwasserbehandlung sowohl bei der Südzucker AG als auch bei der Stadt Warburg so zu erhalten bzw. zu optimieren, dass jeder der Beteiligten sich nur um sein Kerngeschäft kümmern muss.

Aufgrund der Ausbaugröße der Kläranlage von ca. 70.000 E und einer Auslastung von weniger als 50 % besitzt die Kläranlage Warburg große Leistungsreserven im Bereich der Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung. Hieraus ergab sich eine Vielzahl von verfahrenstechnischen Möglichkeiten die industriellen Abwässer der Südzucker AG im Verbund mit dem kommunalen Abwasser der Stadt Warburg zu reinigen. Die Mitbehandlung bringt sowohl Vorteile für die Stickstoffelimination durch eine ausreichende Versorgung mit Kohlenstoff für die Denitrifikation wie für die Schlammentwässerung, da durch die hohen Kalkkonzentrationen, die zum Teil und je nach Verfahrenstechnik variieren, der Schlamm ein gutes Absetzverhalten (ausgedrückt über den Schlamminde) aufweist und eine bessere Schlammentwässerung möglich ist.

Auf Basis von Erfahrungswerten zur Abwasserbelastung der Südzucker AG und den Abwasseranalysen während der Rübenkampagne 2006 wurden unterschiedliche verfahrenstechnische Szenarien hinsichtlich ökonomischer und betrieblicher Aspekte betrachtet. Hierbei wurde auch untersucht, in wieweit die vorhandene Anlagensubstanz in neue Konzepte eingebunden werden kann bzw. neue Anlagen zu errichten sind. Aus ökonomischen Gründen war es Ziel, möglichst viel der in einem guten Zustand befindlichen Bausubstanz in ein Konzept mit einzubeziehen.

Das Kernproblem bei der Behandlung des Erdtransportwassers ist der hohe Kalkgehalt, der im Messprogramm mit einem Spitzenwert von ca. 3.800 mg/L ermittelt wurde und zu erheblichen Betriebsproblemen führt, wenn die Anlagentechnik nicht entsprechend ausgelegt wird.

Es wurden mehrere Szenarien ausgearbeitet zu denen abwassertechnische Berechnungen durchgeführt wurden. Bei der Ermittlung der Investitions- und Betriebskosten wurden sogar die Veränderungen in der Abwassermenge der Teilströme und Frachten über die einzelnen Monate des Jahres berücksichtigt, da es sich bei Zuckerindustrie um einen Kampagnebetrieb handelt. Folgende Varianten wurden unterschieden:

Szenario 1: Aerobe Mitbehandlung von vorbehandeltem Südzucker-Abwasser + Erweiterung der Schlammbehandlung.

Diese Variante beschreibt den Ist-Zustand, bzw. berücksichtigt die max. mögliche Menge an Erdtransportwasser zur Mitbehandlung in der kommunalen Kläranlage der Stadt Warburg

Szenario 2: Erweiterung der Schlammbehandlung Kläranlage Warburg und Bau einer anaeroben Behandlungsanlage auf dem Gelände der Südzucker AG. Hierbei wurde die Anaerobstufe nach dem Kontaktschlammverfahren vorgesehen, welches sich im Bereich der deutschen Zuckerindustrie bei den hohen Kalkgehalten bewährt hat. Unterschieden wird zwischen Variante a) Mitbehandlung des anaeroben ÜS-Schlammes auf der kommunalen Kläranlage und Variante b) Entsorgung dieses Schlammes in Eigenregie der Südzucker AG gemeinsam mit der Rübenerde im Zachariasgrund.

Szenario 3: Behandlung des Erdtransportwassers anaerob in den Faulbehältern der Stadt Warburg.

Szenario 3a: Teilstrombehandlung des Erdtransportwassers in der kommunalen Faulungsanlage (Ausschwemmreaktor) gemeinsam mit dem kommunalen Klärschlamm mit dem Ziel nur so hohe Kalkkonzentrationen zuzulassen, dass es zu keinen Kalkausfällungen im Reaktor kommt und Restbehandlung in der vorhandenen Teichanlage

Szenario 3b: Vollständige anaerobe Behandlung des Erdtransportwassers gemeinsam mit dem kommunalen Klärschlamm in den in Reihe betriebenen nachgerüsteten Faulbehältern der kommunalen Faulungsanlage nach dem Anaeroben Belebungsverfahren. Als Absetzbecken wird ein nicht benötigtes Nachklärbecken umgerüstet (Szenario 3b) oder alternativ ein neues anaerobes Nachklärbecken (Szenario 3b erweitert) errichtet. Durch Verdünnung mit nicht eingedicktem Klärschlamm sowie mit gereinigtem Abwas-

ser aus der kommunalen KA werden die Kalk-Konzentrationen auf ein handhabbares Niveau im Faulbehälter gehalten und anschließend nach erfolgter CO₂-Strippung gezielt ausgefällt.

Szenario 4: Neubau einer Faulungsanlage nach dem anaeroben Belebungsverfahren auf dem Gelände der kommunalen Kläranlage zur Behandlung der kommunalen Klärschlämme und des Erdtransportwassers der Südzucker AG. Hierbei soll das Erdtransportwasser der Zuckerfabrik gemeinsam mit dem kommunalen Schlamm in einem neu zu errichtenden voll durchmischten Reaktor, der baulich und betriebstechnisch auf den hohen Kalkgehalt abgestimmt ist, nach dem anaeroben Belebungsverfahren betrieben werden. Von den zwei Faulbehältern wird einer abgerissen, der verbleibende Faulbehälter wird zu einem Absetzbecken umgebaut. Für Wartungszwecke kann der Faulbehälter außer Betrieb genommen werden und die Schlammstabilisierung erfolgt aerob. Alternativ wurde auch die Errichtung von 2 Faulbehältern (Szenario 4 _{erweitert}) betrachtet. Die vorhandenen, nicht genutzten Voreindicker würden als Nacheindicker genutzt, um hier nach erfolgter CO₂-Strippung gezielt Kalk ausfällen zu lassen.

Die entwickelten Szenarien lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

Gruppe 1: Neubau von Anlagen, gemäß dem Stand der Technik, die auf die Behandlung von Erdtransportwasser abgestimmt sind (Szenario 4 und 4_{erweitert}) bzw. nur dieses Abwasser behandeln können (Szenario 2a , Szenario 2b)

Im Szenario 2a und 2b wird auf dem Gelände der Südzucker AG eine Anlage nach dem Stand der Technik errichtet, die temporär während der Kampagne und in der Nachlaufzeit betrieben wird. Das anfallende Faulgas wird der Kläranlage Warburg übergeben. Im Szenario 4 wird geplant auf dem Gelände der Kläranlage zur Behandlung des Erdtransportwassers eine Anlage nach dem anaeroben Belebungsverfahren, dass erfolgreich in der Papierindustrie eingesetzt wird, zu errichten.

Gruppe 2: technische Umrüstung der Anlagen der Kläranlage damit eine vollständige bzw. Teilstrom Mitbehandlung des Erdtransportwassers möglich ist (Szenario 3a , Szenario 3b)

Im Szenario 3a und 3b wurde angestrebt die vorhandenen Anlagenressourcen im Schlammbereich optimal zu nutzen. Im Szenario 3a wurde eine Mitbehandlung eines Teilstroms des Erdtransportwassers in der Faulung betrachtet, wobei die Faulung technisch nur instand gesetzt wurde. Die verfahrenstechnische Anpassung an den kalkhaltigen Stoffstrom erfolgte über die Zugabemenge. Im Szenario 3b wurde die vorhandene

Anlagentechnik derart umgeplant, dass ein anaerobes Belebungsverfahren umgesetzt werden kann.

Die Diskussion der einzelnen Szenarien zeigt, dass eine ausschließlich ökonomische Betrachtung nicht zielführend, da, obwohl die Investitionskosten eine Schwankungsbreite von ca. 1,4 Mio. € aufweisen, diese auf die Jahreskosten keinen wesentlichen Einfluss haben. Deshalb wurden neben ökonomischen zusätzlich betriebliche Aspekte und das Maß an Konventionen in ein Ranking der einzelnen Szenarien einbezogen, was in der Tabelle 0.1 aufgeführt ist.

Tabelle 0.1: 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 _{erweitert}	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 _{erweitert}	6,70	4	742.857	2	optimal	<u>1</u>	2
* Anmerkung: Aussagen über die Betriebssicherheit der Faulung können nicht gemacht werden → Hier besteht Untersuchungsbedarf							

Unter den Szenarien weist das Szenario 2b die höchste Betriebssicherheit auf. Auch die Szenarien 3b und 4 inkl. ihrer Erweiterungsmaßnahmen (Szenario 3b_{erweitert}, Szenario 4_{erweitert}) sind als betriebsicher einzustufen, obwohl zu Maßnahmen zur Kalkabscheidung nur Erfahrungen z.B. aus dem Bereich der Papierindustrie vorliegen. Risiken bergen diese beiden Verfahren, weil es keinerlei großtechnische Erfahrungen bei der gemeinsamen Behandlung von Zuckerfabrikabwasser und kommunalem Faulschlamm gibt. Es gibt ebenfalls keine gesicherten Erkenntnisse darüber, inwieweit die anaerobe Schlammstabilisierung des Klärschlammes durch den Betrieb als anaerobes Belebungsverfahrens und die damit zu erfolgende Entkopplung der Verweilzeit von Abwasser und Schlamm gelingt.

Die im Szenario 3b erforderliche Verdünnung des Erdtransportwassers und Klärschlammes mit gereinigtem Abwasser, die notwendig ist um massive Kalkausfällungen in den Trichterspitzen der vorhandenen Faulbehälter zu verhindern, birgt ebenfalls ein Risiko.

Des Weiteren ist positiv zu bewerten und zu berücksichtigen, dass durch die Erweiterung der Faulungsanlage der Stadt Warburg Anlagenreserven zur Industrieabwasserbehandlung geschaffen werden, die z.B. auch zur Co-Fermentation flüssiger Abfälle außerhalb der Rübenkampagne oder bei Wegfall des Industrieabwassers genutzt werden können.

Als Ergebnis der Machbarkeitstabelle ist abschließend festzuhalten:

Der Neubau einer als Kontaktschlammverfahren betriebenen Anaerobanlage gemäß Szenario 2 ist das bekannteste und betriebsicherste technische Verfahren für die Erdtransportwasserbehandlung.

Für das in den Szenarien 3b und 4 vorgestellte anaerobe Belebungsverfahren liegen Betriebserfahrungen außerhalb der Zuckerabwasserbehandlung vor. In diesen Szenarien wird durch die gemeinsame Abwasser- und Schlammbehandlung aus dem kommunalen und industriellen Bereich abwassertechnisches Neuland betreten. Darüber hinaus bietet Szenario 3b den Vorteil der Möglichkeit eines stufenweisen Vorgehens beim Anlagenausbau sowie den Vorteil dass auf der Kläranlage vorhandene Anlagenteile, die derzeit nicht genutzt werden auf diese Weise am effizientesten eingesetzt werden. Daher wird Szenario 3b zur Umsetzung empfohlen.

1 Veranlassung

Die Stadt Warburg und das Werk Warburg der Südzucker AG behandeln ihr Abwasser gemeinsam und führen die Schlamm Entsorgung ebenfalls gemeinschaftlich durch.

Derzeit wird der Teilstrom (Erdtransportwasser = Waschwasser der angelieferten Rüben zzgl. Wasser aus der Kalkofenwäsche) des Abwassers der Südzucker AG traditionell in großen unbelüfteten Teichen (siehe Bild 1.1) der natürlichen Selbstreinigung überlassen. 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. In Abhängigkeit der Auslastung der kommunalen Kläranlage wird das zwischengespeicherte Wasser aus den Stapelteichen in den Zulauf zur kommunalen Kläranlage geleitet. Der zweite Teilstrom Fallwasser (Wasser aus der Zuckerproduktion) wird direkt der städtischen Kläranlage zugeführt, mit dem kommunalen Abwasser gereinigt und in den Vorfluter Diemel abgeleitet



Bild 1.1: Luftbildauszug Werk Südzucker AG Warburg und Teichanlage Südzucker AG sowie Kläranlage Warburg (Quelle: Google earth)

Die Entwicklung eines 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 (ETW) in den Entschlammungsteich Zachariasgrund der Südzucker AG von den Genehmigungsbehörden als nicht mehr zeitgemäß angesehen wird.

Aufgrund eines erheblichen Rückganges an verschiedenen industriellen Einleitern im städtischen Einzugsgebiet sind auf der kommunalen Kläranlage Anlagenreserven im Bereich der Stickstoffelimination und der Schlammbehandlung vorhanden, die einer Nutzung durch eine geänderte und optimierte Abwasserbehandlung der Südzucker AG zur Verfügung gestellt werden könnten. Hierzu wird zusätzliche Energie benötigt, die zum Teil über eine Biogasnutzung der Abwässer der Zuckerfabrik bereitgestellt werden könnte.

Die Erzielung synergetischer Effekte, insbesondere hinsichtlich einer energetischen Nutzung des Abwassers der Zuckerfabrik, sowie der gemeinsamen Behandlung der Abwasser- und Schlammteilströme aus dem industriellen und kommunalen Bereich ist bei der Entwicklung des Abwasserkonzeptes in den Vordergrund zu stellen. Insbesondere die unmittelbare Nähe des Werks der Südzucker AG und der Kläranlage Warburg (siehe Bild 1.1) ermöglicht eine im Verbund betriebene Abwasserbehandlung, bei der Potentiale der Abwasserströme nachhaltig genutzt werden können.

Die Ausarbeitung eines Abwasserreinigungsverbundkonzeptes erfolgte sowohl auf Basis von Erfahrungswerten, insbesondere der Südzucker AG zur Charakterisierung des industriellen Abwassers, als auch auf Basis von gewonnenen Daten eines Messprogramms im November/ Dezember 2006 zur Ermittlung der Belastung dieses industriellen Abwassers. Mit diesen Daten sollten die auf Basis der Erfahrungswerte durchgeführten Anlagenmessungen verifiziert und präzisiert werden. Das Messprogramm hat jedoch gezeigt, dass die Belastung des industriellen Abwassers der Südzucker AG während der Rübenkampagne 2006 sehr deutlich von den Erfahrungswerten abweicht, so dass die erarbeiteten Szenarien zu den Verbundkonzepten grundlegend überarbeitet werden mussten.

2 IST-Stand der Abwasserbehandlung

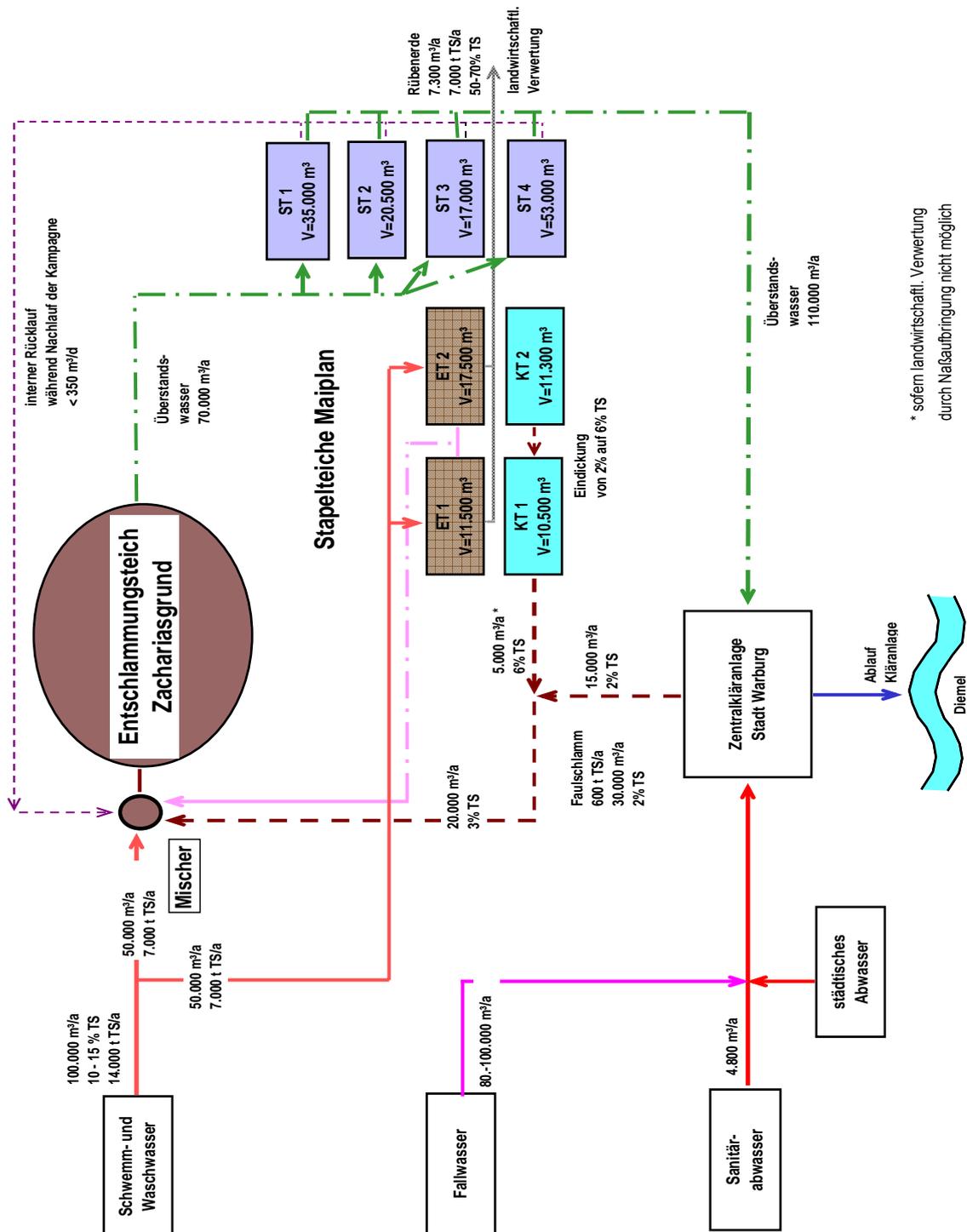
2.1 IST-Stand der Abwasserbehandlung der Südzucker AG Warburg

Abwässer aus der Zuckerindustrie sind gekennzeichnet durch ihren nur saisonalen Anfall und die sehr unterschiedlichen Nährstoff- und Feststoffgehalte der einzelnen Abwasserteilströme. Traditionell wurden Zuckerfabrikabwässer in großen unbelüfteten Teichen der natürlichen Selbstreinigung überlassen. Siebwirkung, Adsorption, Ionenaustausch und Abbauvorgänge der im Wasser und Boden vorkommenden Bakterien und anderen Organismen bewirkten eine Reinigung des Abwassers, die lange den Ansprüchen des Umweltschutzes genügte (ATV, 1990).



Bild 2.1: Südzucker Warburg (Luftbild, Quelle: Google earth)

Im Werk Warburg der Fa. Südzucker AG (SZ) (siehe Bild 2.1) fallen zwei bedeutende Abwasserteilströme – Fallwasser/Überschusskondensat und Erdtransportwasser – an. Das Fallwasser zeichnet sich durch hohe Stickstoff-Konzentration und das Erdtransportwasser durch hohe Kohlenstoff-Konzentration aus. Diese Abwasserströme werden wie folgt behandelt (siehe Bild 2.2):



* sofern landwirtschaftl. Verwertung durch Naßaufbringung nicht möglich

Bild 2.2: Aktuelles Abwasserreinigungskonzept der Fa. Südzucker AG (Werk Warburg) während der Kampagne (Quelle Südzucker AG)

Das Fallwasser/Überschusskondensat wird während der Rübenkampagne mit Wassertemperaturen zwischen 50 °C und 60 °C direkt in die kommunale Kläranlage (siehe Bild 2.3) abgeleitet. Das Erdtransportwasser wird in Teiche geleitet, in denen die im Erdtransportwasser mitgeführten absetzbaren Bodenpartikel sedimentieren (siehe Bild 2.4). Zu Beginn und Ende einer Rübenkampagne, in denen sehr geringe Trockensubstanzgehalte

im Erdtransportwasser vorliegen, können die Erdteiche (ET) umgangen und der Entschlammungsteich Zachariasgrund direkt beschickt werden. Grundsätzlich wird derzeit das dekantierte Erdtransportwasser der Eindickteiche zusammen mit dem Überschussschlamm der kommunalen Kläranlage über einen Mischer dem Zachariasgrund (siehe Bild 2.4) zugeführt.



Bild 2.3: Kläranlage Warburg (Luftbild, Quelle: Google earth)



Bild 2.4: Teiche Südzucker Zachariasgrund (Luftbild, Quelle Goggle earth)

Der in der Kläranlage Warburg anfallende Überschussschlamm wird ohne eine vorherige Eindickung in einen Faulbehälter geführt und behandelt. Die Faulbehälter werden wechselweise jährlich betrieben, so dass nur ein Faulbehälter immer in Betrieb ist. Der ausgefaulte Schlamm wird zusammen mit dem während der Kampagne anfallenden Schwemm- und Waschwasser (Erdtransportwasser) über einen Mischer dem Klärteich Zachariasgrund (Gesamtvolumen: 300.000 m³, verfügbares Volumen: 100.000 m³) zugeführt.

Durch Zugabe des ausgefaulten Schlammes soll das Erdtransportwasser mit Biomasse angeimpft werden, um den Abbau der organischen Inhaltsstoffe des Erdtransportwassers zu forcieren. Der Klärschlamm aus der kommunalen Kläranlage setzt sich mit einem sehr geringen Anteil abgewaschener Rübenerde im Zachariasgrund ab und bleibt dort deponiert. Der wässrige Überstand wird hingegen aus dem Zachariasgrund in die Stapelteiche gepumpt und dort ohne weitere Belüftung zwischengespeichert (siehe Bild 2.4). Während der Stapelzeit erfolgt ein weitgehender anaerober/aerober Abbau des Erdtransportwassers. In Abhängigkeit der Auslastung der kommunalen Kläranlage wird das zwischengespeicherte Wasser aus den Stapelteichen in den Zulauf zur Kläranlage geleitet (Das Verfahrensschema der aktuellen Abwasser- und Schlammbehandlung der Südzucker AG Warburg in der Kampagne freien Zeit ist in Bild 2.5 dargestellt).

Das anfallende Erdtransportwasser kann durch konsequente Wassereinsparung und Wasserkreislaufführung ca. zwanzigfach höher organisch belastet sein als durchschnittliches kommunales Abwasser. Im Mittel können Konzentrationen > 16.000 mg CSB/L und 70 mg N_{ges}/L auftreten. Phosphor ist in diesem Abwasser nur in Spuren vorhanden.

Im Allgemeinen können die Belastungen der Abwasserteilströme mit den in Tabelle 2.1 aufgeführten Konzentrationen beschrieben werden. Diese Werte beruhen auf Erfahrungswerten der Südzucker AG. Zusätzlich wurden während der Kampagne 2006 Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse ebenfalls in der Tabelle 2.1 zusammengestellt sind.

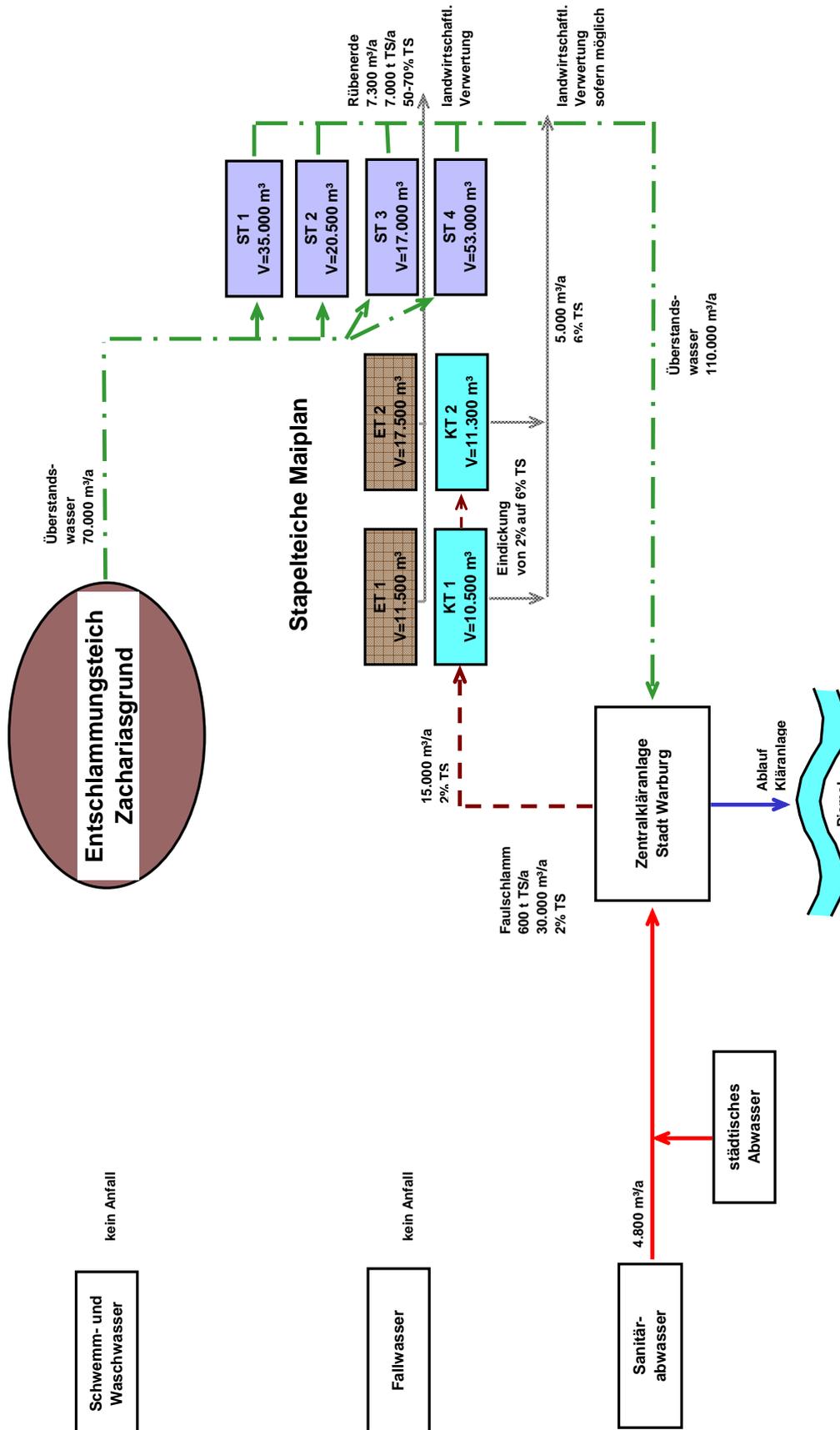


Bild 2.5: Aktuelles Abwasserreinigungskonzept der Fa. Südzucker AG (Werk Warburg) außerhalb der Kampagne (Quelle Südzucker AG)

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

Parameter	Einheit	Erdtransport- wasser	Fallwasser/ Überschuss- kondensat	Erdtransport- wasser	Fallwasser/ Überschuss- kondensat
$Q_{\max,h}$	m ³ /h	60	100	28	131
$Q_{\max,d}$	m ³ /d	1.440	2.400	2.630	3.699
$Q_{d,85\%Perzentil}$	m ³ /d	-	-	660	3.140
$Q_{d,Median}$	m ³ /d	-	-	443	3.034
Q_{Jahr}	m ³ /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 _{min}	°C	2	50	2	50

Die Analysen aus dem Jahr 2006, die von der Südzucker AG selbst durchgeführt wurden, zeigen eine Abwasserbelastung, die erheblich von den Erfahrungswerten in Tabelle 2.1 abweicht.

Da die Verarbeitung von Zuckerrüben ein Kampagnebetrieb (i.d.R. von September bis Weihnachten) ist, fallen die produktionsbedingten Abwässer nur über diesen Zeitraum des Jahres (in der Regel über 24 Stunden je Wochentag) an. Die Auswertung von Daten der SZ und der Stadt Warburg hat ergeben, dass eine Jahresabwassermenge von rd. 290.000 m³/a zur Kläranlage geführt wird. Die darin enthaltenen differierenden Abwässer der Zuckerfabrik fallen zeitlich unterschiedlich an. Das Fallwasser/Überschusskondensat wird derzeit ohne Zwischenspeicherung über das öffentliche Kanalnetz zur Kläranlage abgeleitet. Der Anfall des Fallwassers und die Behandlung in der kommunalen Kläranlage erstrecken sich über einen Zeitraum von Mitte September bis Ende Dezember. Das Erdtransportwasser wird, wie bereits oben beschrieben, in den Teichen gesammelt. Das infolge natürlicher Abbauprozesse vorbehandelte Erdtransportwasser (ca. 80 %-ige CSB-Reduzierung während der Lagerung) wird in Abhängigkeit der Belastung der Kläranlage Warburg auf der Kläranlage mitbehandelt, so dass sich der Zeitraum zur Behandlung des Erdtransportwassers weit über den Kampagnezeitraum hinaus erstreckt. Das Fleißbild zum Behandlungskonzept außerhalb der Kampagnezeit ist in Bild 2.5 dargestellt.

Die während der Kampagne in der Zuckerfabrik von den Rüben abgewaschene Erde wird - nach Behandlung in Stapelteichen - der landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt.

Diese in der Zuckerfabrik Warburg vorgenommene Art der Abwasserbehandlung weicht von den Verfahren ab, die im Entwurf des Merkblattes M 713 der DWA dargestellt sind (DWA, 2005).

Die meisten der in Deutschland betriebenen Zuckerfabriken verfügen über eine eigene Abwasserbehandlungsanlage bestehend aus Anaerob-Stufe und anschließender Nitrifikations- und Denitrifikationsstufe, in der die Überschusskondensate mit dem anaerob vorbehandelten Abwasser gemeinsam gereinigt werden (AUSTERMANN-HAUN, 2002; JÖRDENING, 2000; BALKWITZ und FISCHER, 1991). Das in der Anaerobstufe entstehende Biogas wird energetisch genutzt. Eine gemeinsame Behandlung des hoch belasteten Zuckerfabrikabwassers mit den Klärschlämmen einer kommunalen Kläranlage wird noch nicht umgesetzt.

2.2 IST-Stand der Abwasserbehandlung Kläranlage Warburg

2.2.1 Technische Daten der Kläranlage zur Ausbaugröße

Die Abwasserreinigung der Kläranlage Warburg wurde für eine Ausbaugröße von 70.000 E bemessen. Die ausgewählte Verfahrenstechnik, dargestellt in Bild 2.6, beinhaltet folgende Behandlungsstufen und Einleiter:

Brauerei		Direkteinleitung des Abwassers einer Brauerei
ETW		Erdtransportwasser der Südzucker AG
Rechenanlage	RE	2-straßig, Stababstand 10 mm
Regenüberlaufbecken	RÜB	Trennbauwerk (TB) und Rundbecken mit $V=1.440 \text{ m}^3$
Sandfang	SF	Belüfteter Sand-/ Fettfang
Vorklärung	VKB	Rundbecken mit $V = 1.740 \text{ m}^3$
Belebung	BB	2 Rundbecken mit $V_{\text{ges}} = 10.080 \text{ m}^3$
Nachklärung	NKB	2 Rundbecken, mit je $A = 962 \text{ m}^2$, $T = 2,18 \text{ m}$, $V = 2.096 \text{ m}^3$ 1 Rundbecken, $A = 819 \text{ m}^2$, $T = 1,98 \text{ m}$, $V = 1.624 \text{ m}^3$

Die Schlammbehandlung ist ausgeführt als anaerobe Stabilisierungsanlage bestehend aus:

Voreindickung	VE	2 Rundbecken, je $V = 100 \text{ m}^3$, derzeit nicht in Betrieb
Faulung	FB	2 Faulbehälter, je $V = 1.400 \text{ m}^3$ ($V_{\text{ges}} = 2.800 \text{ m}^3$), derzeit 1 Faulbehälter in Betrieb, 1 Faulbehälter in Revision
Gasbehälter	GB	2 Niederdrucktrockengasbehälter mit 50 m^3 und 200 m^3
Nacheindickung	NE	1 Rundbecken, $V = 280 \text{ m}^3$
Faulschlammwässerung		nicht vorhanden
Verteilerbauwerk	VB	
Rücklaufschlammumpwerk	RS-PW	
Blockheizkraftwerk	BHKW	2 Maschinen mit insgesamt 100 kW

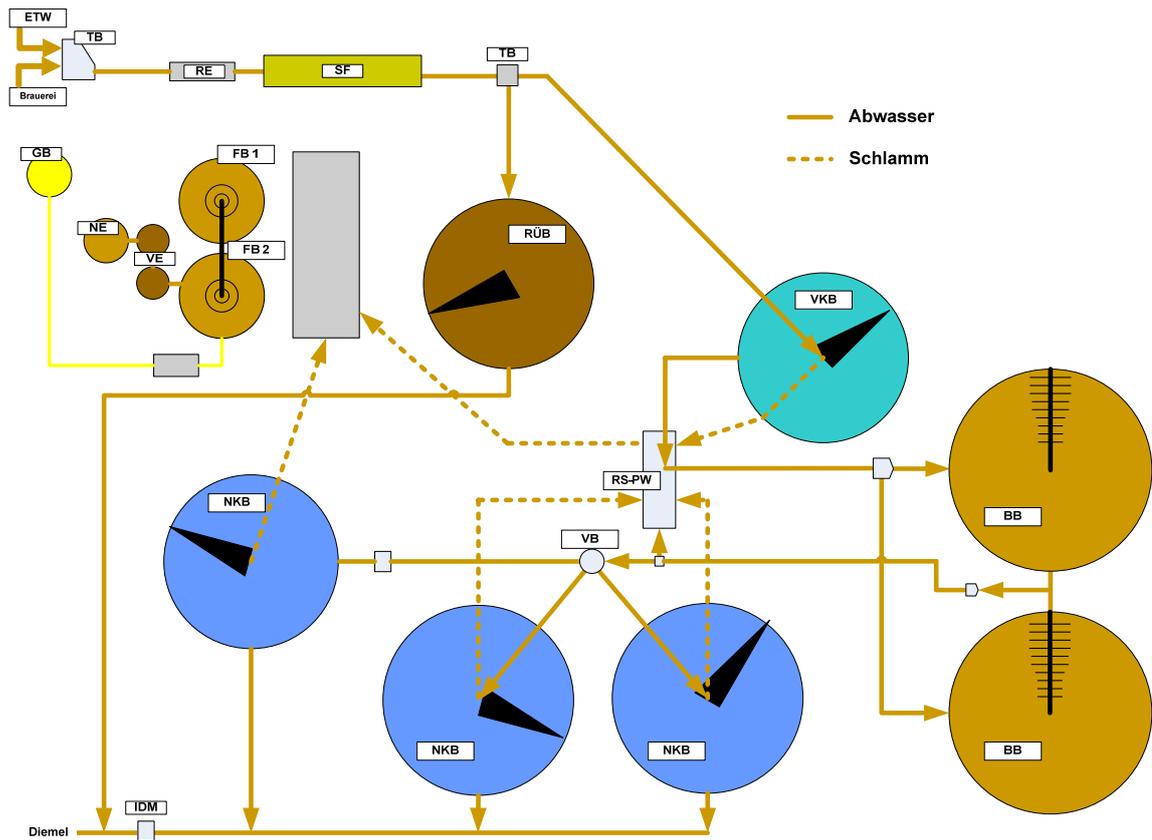


Bild 2.6: Verfahrensbild Kläranlage Warburg

2.2.2 Ermittlung der derzeitigen Anschlussgröße und maßgeblichen Rahmenbedingungen einer Bemessung

2.2.2.1 Anschlussgröße

Die Auswertung der Betriebsdaten der Kläranlage für das Jahr 2005 hat zu folgenden Ergebnissen hinsichtlich der derzeitigen kommunalen Anschlussgröße geführt (vgl. Bild 2.7):

- Kampagne freie Zeit 21.100 E (Basis: spez. $B_{d,BSB5} = 60 \text{ g}/(\text{E}\cdot\text{d})$)
- Kampagne 32.000 E (Basis: spez. $B_{d,NH4-N} = 8,8 \text{ g}/(\text{E}\cdot\text{d})$)
- ganzjährig: 22.500 E

Für einen sicheren Anlagenbetrieb für die kommunalen Einleiter ist eine Anlagengröße von ca. 30.000 E erforderlich, um Spitzen, die aus den kleineren Industrie-einleitungen und eventuellen zusätzlichen Anschlüssen neuer Siedlungen kommen, abpuffern zu können.

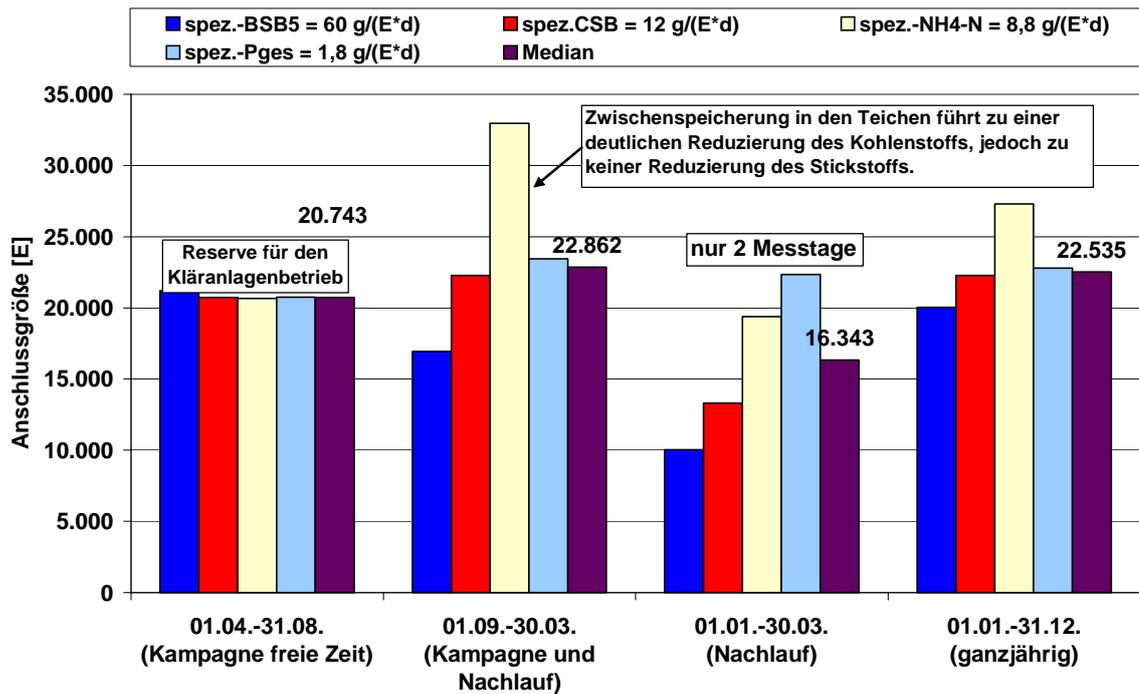


Bild 2.7: Auswertung der Betriebsdaten der Kläranlage zur Ermittlung des Anschlussgrades zu unterschiedlichen Belastungszeiten (Rüben-Kampagne und Kampagne freie Zeit)

2.2.2.2 Auslegungsdaten bezogen auf den IST-Zustand

In Bild 2.8 ist der Jahrgang der Abwassermenge (nur Trockenwetter), der Abwassertemperatur und des CSB dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass mit Start der Rübenkampagne bei der Südzucker AG die Abwassertemperatur in der Kläranlage Warburg stark ansteigt (bis auf 25 °C) und erst nach Abschluss der Kampagne ab Ende Dezember wieder auf 10 °C absinkt.

Betrachtet man die Konzentrationsganglinie für den Parameter NH₄-N (Bild 2.9) so steigt ab April die Konzentration bis zum Ende der Rübenkampagne an. Die niedrigen Konzentrationen an CSB- und Stickstoff in den ersten Monaten des Jahres sind auf hohe Abwassermengen zurückzuführen, wobei zu vermuten ist, dass die Entleerung der Absetzteiche durch eine Verdünnung zu der Konzentrationsabsenkung geführt hat.

Ab April steigt die CSB-Konzentration wieder auf ein erhöhtes Niveau, das sich auch durch die Zugabe des Abwassers der Südzucker AG während der Rübenkampagne nicht deutlich erhöht.

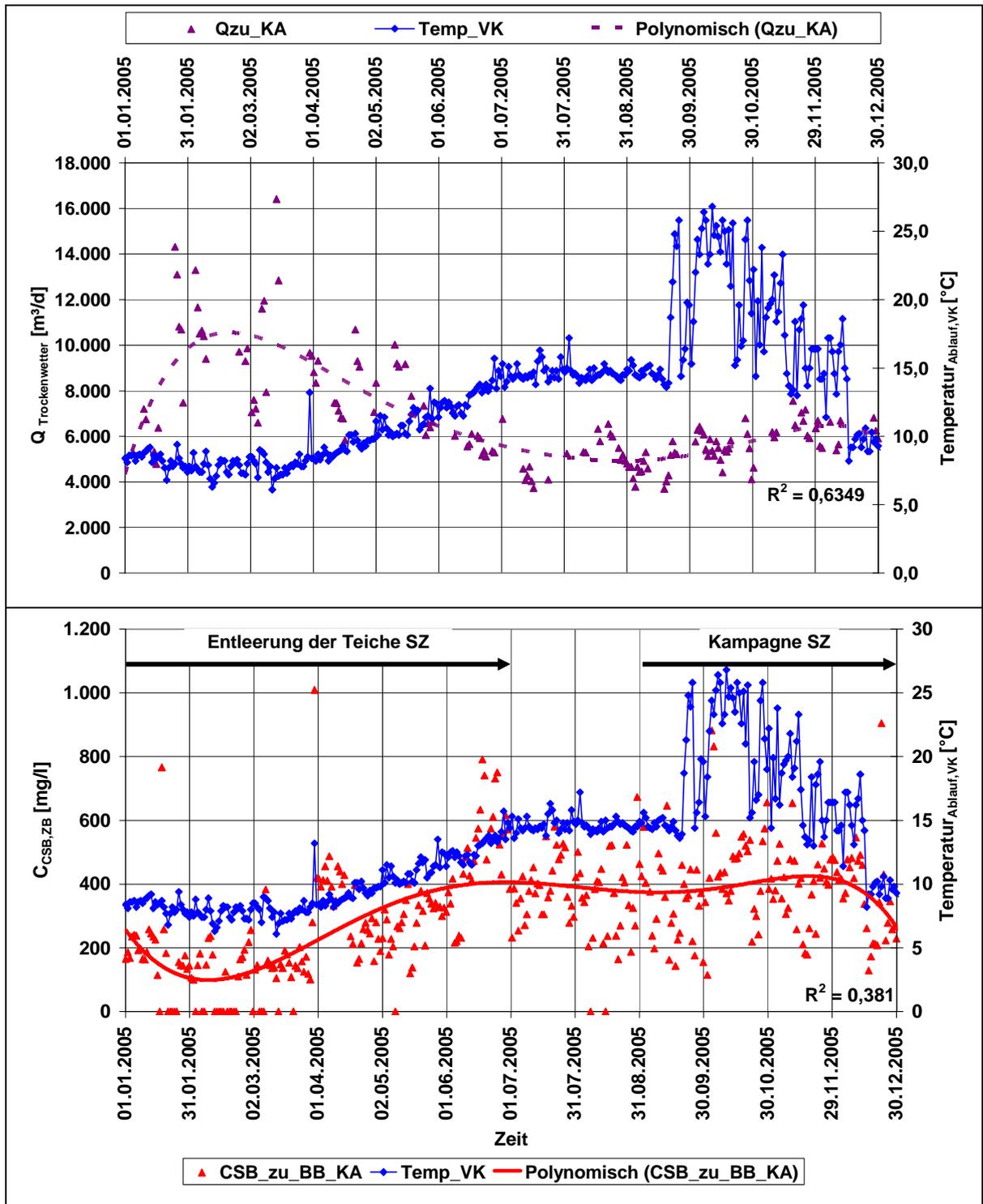


Bild 2.8: Jahresganglinien Trockenwetterzufluss, CSB-Konzentration und Temperatur im Zulauf zur biologischen Stufe

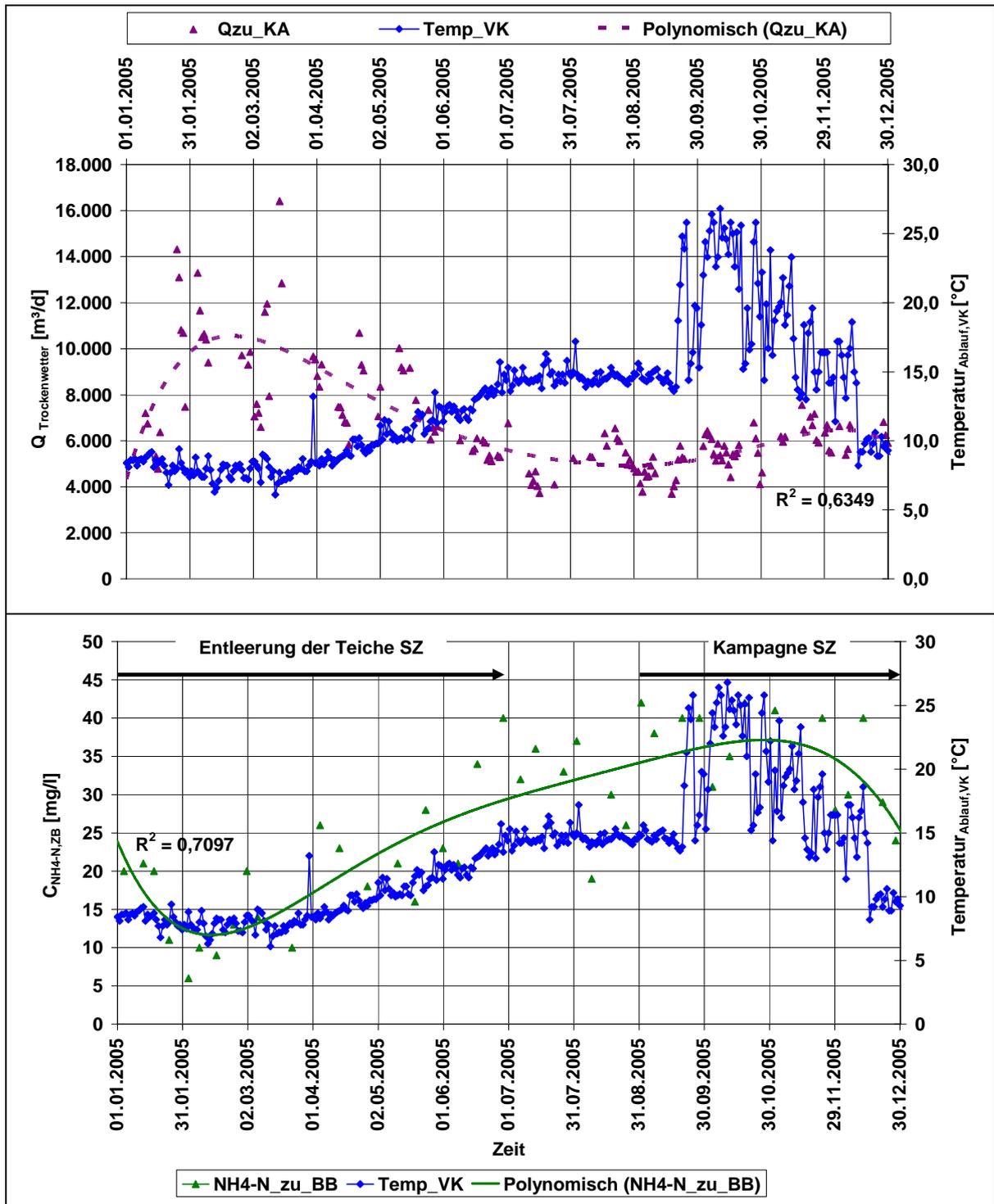


Bild 2.9: Jahresganglinien Trockenwetterzufluss, $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration und Temperatur im Zulauf zur biologischen Stufe

Die Datenauswertung für die unterschiedlichen saisonalen Belastungen der Kläranlage hat zu den in Tabelle 2.2 aufgeführten Belastungen der Kläranlage geführt.

Tabelle 2.2: Frachtermittlung für saisonale Belastungen der Kläranlage Warburg

Auswertung Daten Kläranlage Warburg 2005	Q_d [m ³ /d]	B_{d,BSB5} [kg/d]	B_{d,CSB}SZ [kg/d]	B_{d,NH4-N} [kg/d]	B_{d,Pges} [kg/d]
Kampagne freie Zeit 01.04.-31.08.	6.598	1.272	2.488	145	37
Kampagne mit Nachlauf 01.09.-30.03.	8.028	1.017	2.673	231	42
nur Nachlauf 01.01.-30.03.	7.565	602	1.596	136	40
ganzjährige Betrachtung 01.01.-31.12.	7.704	1.203	2.673	191	41
Daten Südzucker 2006					
Erdtransportwasser	660	6.200	10.540	20	4,3
Fallwasser	3.140	505	1.010	160	0

Zur Erfassung der technischen Maßnahmen, die zum einen für die Behandlung des Industrieabwassers und zum anderen für die kommunale Abwasserbehandlung durchgeführt werden müssen, ist es erforderlich für den fiktiven Lastfall „Kläranlage Warburg“ ohne Abwasser der Südzucker AG“ als Basisszenario zu berechnen. Für die Auslegung der Kläranlage **ohne** die Abwässer der Südzucker AG wurden folgende Eingangsdaten festgelegt:

- Anschlussgröße 30.000 E
- Temperatur 10 °C
- Trockenwetterzufluss 9.367 m³/d
- Fremdwasserzufluss (geschätzt) 1.870 m³/d
- Mischwasserzufluss 1.328 m³/h
- BSB₅-Zulaufrecht 1.810 kg/d
- CSB-Zulaufrecht 3.620 kg/d
- NH₄-N-Zulaufrecht 210 kg/d

Aus der klärtechnischen Berechnung auf Basis obiger Annahmen ergeben sich folgende Ergebnisse:

- erf. Belebungsbeckenvolumen 6.738 m³
- Schlammalter 19 d
- QPS+QÜS 2.273 kg TS/d
- Faulgasanfall 636 m³/d

Die Mitbehandlung der Abwässer der Südzucker AG ist Bestandteil der derzeitigen Kläranlagenauslegung. Die ermittelten fiktiven Beckenvolumina, Schlamm- und Gasmengen beschreiben den derzeitigen rein kommunalen Anteil.

3 Beschreibung von ausgewählten Szenarien

Zur gemeinsamen Behandlung des kommunalen Abwassers und der Abwässer der Südzucker AG stehen unterschiedliche Verfahrenskonzepte zur Verfügung. Hierbei können Teilstrombehandlungen sowohl auf dem Gelände der Zuckerfabrik wie auch der kommunalen Kläranlage umgesetzt werden. Auf Basis der Erfahrungswerte der Südzucker AG und der Messwerte des Analyseprogramms der Kampagne 2006 wurden unterschiedliche Abwasserentsorgungs-Szenarien erarbeitet.

3.1 Szenario 1: Aerobe Mitbehandlung von vorbehandeltem Abwasser der Südzucker AG und Erweiterung der Schlammbehandlung

Für dieses Szenario wird die in Kapitel 2.1 beschriebene Betriebsweise zur Abwasserbehandlung während der Kampagne- und Nachlaufzeit beibehalten. D.h. das Überschusskondensat/Fallwasser wird direkt über das öffentliche Kanalnetz zur Kläranlage geführt und das anfallende Erdtransportwasser (ETW) wird in den Teichen zwischengelagert und in Abhängigkeit der Auslastung der Kläranlage sowie nach Abschluss der Kampagne der Kläranlage dosiert zugeführt. Durch die geringe Auslastung der Kläranlage sind die Leistungsreserven derzeit so groß, dass während der Kampagne neben dem kommunalen Abwasser und dem Überschusskondensat/ Fallwasser nahezu die Hälfte des anfallenden Erdtransportwassers (323 m³/d) direkt mitbehandelt werden kann (Bild 3.1). Die Mitbehandlung führt neben den erhöhten Aufwendungen für die Belüftung zu einer größeren Biogasmenge, die energetisch zur Schlamm Trocknung und Stromerzeugung genutzt wird.

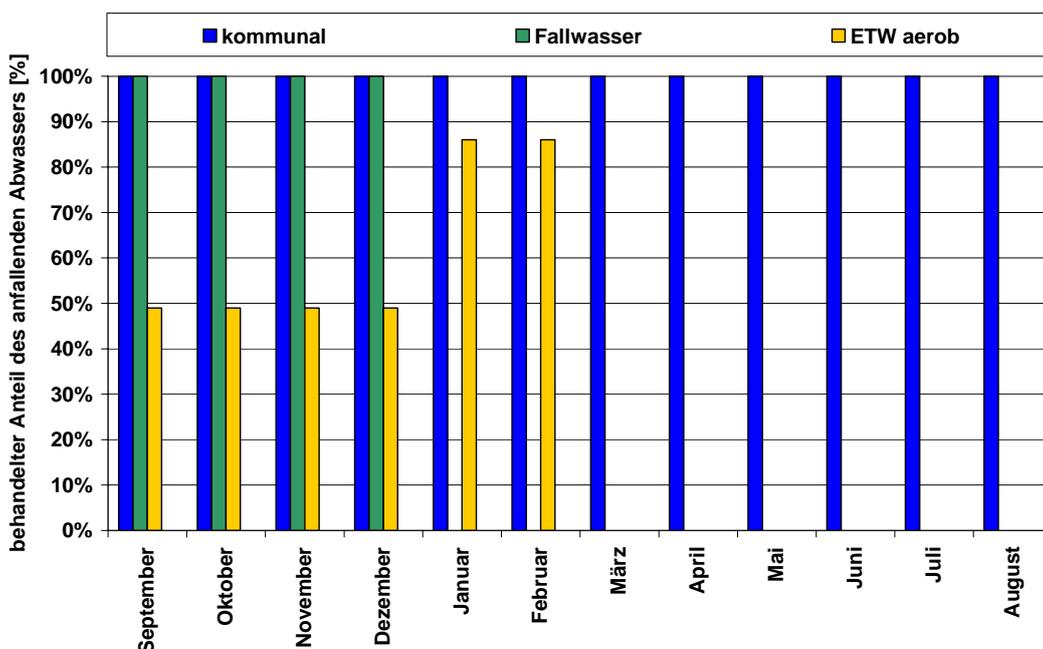


Bild 3.1: Prozentuale Anteile der monatlichen Abwasserteilstrommengen, die zur Kläranlage abgeführt werden – Szenario 1

Diese Änderung der Abwasserzusammensetzung hat Auswirkungen auf die Bemessung der Kläranlage. Zum einen steigt das erforderliche Belebungsbeckenvolumen von 6.738 m³ (nur kommunales Abwasser) auf 8.386 m³ an und zum anderen nimmt der erforderliche Sauerstoffbedarf von 2.788 kg/d (nur kommunales Abwasser) auf 7.757 kg/d zu (Tabelle 3.1). Nach Abschluss der Kampagne können der Kläranlage 567 m³/d an zwischengespeichertem Erdtransportwasser zugeführt werden, wobei eine CSB-Restbelastung in Höhe von 2/3 der Ausgangsbelastung angenommen wurde.

Tabelle 3.1: Bemessungsergebnisse der unterschiedlichen Belastungsphasen – Szenario 1

Parameter	Einheit	Kampagnezeit Sep – Dez	Nachlaufzeit Jan – Feb	Kampagne freie Zeit Mrz - Aug
Q _{kommunal}	m ³ /d	9.370	9.370	9.370
Q _{Fallwasser}	m ³ /d	3.140	-	-
Q _{Erdtransportwasser}	m ³ /d	323	568	-
Q _{gesamt Kläranlage}	m ³ /d	13.193	10.298	9.370
B _{d,CSB,kommunal}	kg/d	3.620	3.620	3.620
B _{d,Nges,kommunal}	kg/d	340	340	340
B _{d,CSB,SZ}	kg/d	-	-	-
B _{d,Nges,SZ}	kg/d	-	-	-
B _{d,CSB,SZ,KA,aerob}	kg/d	6.175	6.043	-
B _{d,Nges,SZ,KA,aerob}	kg/d	170	17	-
B _{d,CSB,SZ,KA,anaerob}	kg/d	-	-	-
B _{d,Nges,SZ,KA,anaerob}	kg/d	-	-	-
erf. V _{BB}	m ³	8.386	7.980	6.738
V _{Denitrifikation} /V _{BB}	m ³ /m ³	0,1	0,1	0,22
t _{TS}	d	11	11	19
T _{Bemessung}	°C	13	13	10
OV _d	kg /d	7.757	7.299	2.788
V _{NK}	m ³	5.816	5.816	4.194
B _{ÜS,d,kommunal}	kg/d	2.182	2.235	2.273
B _{ÜS,d,SZ,anaerob KA}	kg/d	1.385	1.331	-
B _{ÜS,d,SZ,anaerob SZ}	kg/d	-	-	-
Q _{Faulgas,kommunal}	m ³ /d	611	626	636
Q _{Faulgas,SZ,anaerob KA}	m ³ /d	388	373	-
Q _{Faulgas,SZ,anaerob SZ}	m ³ /d	-	-	-
Q _{Faulgas, gesamt}	m ³ /d	999	999	636

Die derzeit auf der Kläranlage Warburg vorhandenen technischen Anlagen müssen zur gemeinsamen Behandlung, des durch Lagerung in den Stapelteichen vorbehandelten

Industrieabwassers wie des kommunalen Abwassers, in Teilen saniert und neu errichtet werden (vgl. Bild 3.2). Im Einzelnen sind dies:

- Erneuerung der Rechenanlage
- Neubau Schlammentwässerung, z.B. mit einer Kammerfilterpresse
- Neubau Schlamm-trocknung, kommunaler Schlamm und Schlamm aus Fallwasser, Erdtransportwasser (mit geringer CSB-Belastung)
- Sanierung eines Faulbehälters
- Neubau Prozesswasserspeicher

Diese Maßnahmen stellen ein minimales Sanierungskonzept dar, bei dem Maßnahmen ergriffen werden, die „ohnehin“ durchgeführt werden müssen, wenn eine fachgerechte Schlamm-entsorgung sichergestellt werden soll.

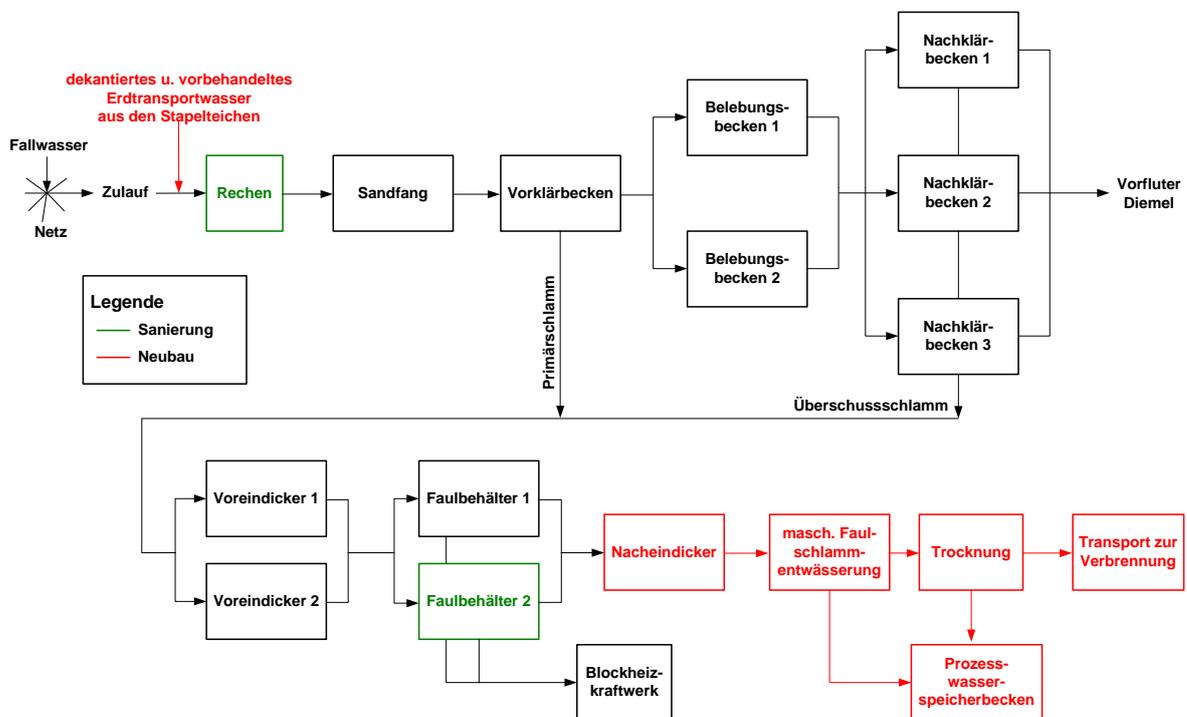


Bild 3.2: Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg, Szenario 1: Zuleitung des Fallwassers über die Kanalisation, Vorbehandlung des Erdtransportwassers in Stapelteichen

3.2 Szenario 2: Erweiterung der Schlammbehandlung Kläranlage Warburg und Bau einer anaeroben Behandlungsanlage auf dem Gelände der Südzucker AG

Dieses Szenario beinhaltet die getrennte Behandlung des kommunalen und industriellen Abwassers. Für die Schlamm Entsorgung werden die zwei Alternativen einer getrennten bzw. gemeinsamen Entsorgung betrachtet. Die Gasnutzung erfolgt ausschließlich durch die Kläranlage Warburg, die auch die stickstoffhaltigen Fallwässer und den Ablauf der anaeroben Industrieabwasserbehandlung aerob nachbehandelt.

3.2.1 Beschreibung der Verfahrenstechniken und Maßnahmen für die Südzucker AG und die Kläranlage Warburg

Im Rahmen des Szenario 2 ist geplant, mindestens 80 % des Erdtransportwassers anaerob in einer Anlage der Südzucker AG zu behandeln. Da das Erdtransportwasser einen hohen Kohlenstoffgehalt aufweist, stellt dieses Behandlungsverfahren für diesen Abwasserteilstrom den Stand der Technik dar. Das anaerob vorgereinigte Abwasser, das noch eine Restbelastung hinsichtlich des CSB in Höhe von 10 % des Ausgangs-CSBs aufweist, muss auf der Kläranlage aerob nachbehandelt werden.

Das Überschusskondensat/ Fallwasser wird zunächst von der Südzucker AG zur Aufheizung des Erdtransportwassers genutzt. Die Abwasserbehandlung dieses Teilstromes erfolgt jedoch weiterhin auf der Kläranlage Warburg. Aus diesem Grund muss zur Aufrechterhaltung der Stickstoffelimination während der Kampagnezeit ein Bypass aktiviert werden können, der ca. 10-30 % des Erdtransportwassers an der Anaerobanlage der Zuckerfabrik vorbei zur Kläranlage führt. Der Betrieb des Bypasses ist nicht während der gesamten Kampagnezeit erforderlich, bietet jedoch die Möglichkeit der Zuführung von leicht verfügbaren Kohlenstoffverbindungen zur Sicherung der Denitrifikation, um auf Stickstoff-Frachtspitzen reagieren zu können.

In Bild 3.3 ist die prozentuale Aufteilung der Abwasservolumenströme der Stadt Warburg und der Südzucker AG, bezogen auf die aerobe bzw. anaerobe Behandlung in der Kläranlage oder in der Zuckerfabrik, für die einzelnen Monate dargestellt.

Die sich aus der Belastung für die Kläranlage ergebenden Anlagengrößen, Schlamm-, Gas- und Luftmengen zur aeroben Abwasserbehandlung sind in der Tabelle 3.2 zusammengestellt.

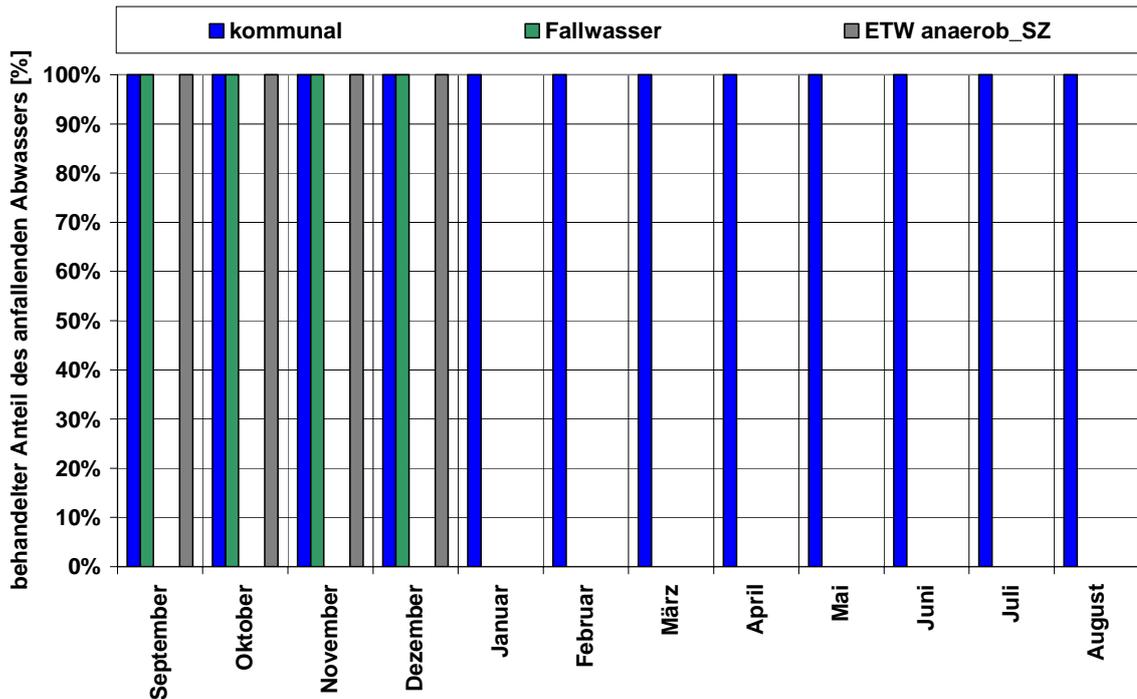


Bild 3.3: Prozentuale Anteile der monatlichen Abwasserteilstrommengen, die zur Kläranlage abgeführt werden – Szenario 2

Das bei der anaeroben Abwasserbehandlung entstehende Faulgas wird der Kläranlage zur Stromerzeugung und Wärmegewinnung für die Schlamm-trocknung zur Verfügung gestellt.

Da bei der anaeroben Abwasserbehandlung der Erdtransportwässer erhebliche Kalk-mengen anfallen, werden folgende Szenarien im Hinblick auf die Schlamm-entsorgung betrachtet:

- a) Die Kalkschlamm-mengen werden über die kommunale Kläranlage gemeinsam mit dem kommunalen Schlamm entsorgt. Für diese Alternative werden die Kosten er-mittelt, da sowohl die Kläranlage Warburg wie auch die Südzucker AG hiervon betroffen sind.
- b) Die Südzucker AG entsorgt die Kalkschlamm-mengen separat zusammen mit der Rü-benerde. Die Südzucker AG gibt hierfür Kosten in Höhe von 4 - 5,5 €/Mg an, die aus-schließlich zu ihren Lasten gehen.

Tabelle 3.2: Bemessungsergebnisse der unterschiedlichen Belastungsphasen – Szenario 2

Parameter	Einheit	Kampagnezeit Sep - Dez	Nachlaufzeit Jan - Feb	kampagnefreie Zeit Mrz - Aug
Q_{kommunal}	m ³ /d	9.370	9.370	9.370
$Q_{\text{Fallwasser}}$	m ³ /d	3.140	-	-
$Q_{\text{Erdtransportwasser}}$	m ³ /d	660	-	-
$Q_{\text{gesamt Kläranlage}}$	m ³ /d	13.170	9.370	9.370
$B_{\text{d,CSB,kommunal}}$	kg/d	3.620	3.620	3.620
$B_{\text{d,Nges,kommunal}}$	kg/d	340	340	340
$B_{\text{d,CSB,SZ}}$	kg/d	10.540	-	-
$B_{\text{d,Nges,SZ}}$	kg/d	20	-	-
$B_{\text{d,CSB,SZ,KA,aerob}}$	kg/d	2.064	-	-
$B_{\text{d,Nges,SZ,KA,aerob}}$	kg/d	180	-	-
$B_{\text{d,CSB,SZ,KA,anaerob}}$	kg/d	-	-	-
$B_{\text{d,Nges,SZ,KA,anaerob}}$	kg/d	-	-	-
erf. V_{BB}	m ³	6.166	6.738	6.738
$V_{\text{Denitrifikation}}/V_{\text{BB}}$	m ³ /m ³	0,28	0,22	0,22
t_{TS}	d	13	19	19
$T_{\text{Bemessung}}$	°C	13	10	10
OV_{d}	kg O ₂ /d	4.723	2.788	2.788
V_{NK}	m ³	5.816	4.194	4.194
$B_{\text{ÜS,d,kommunal}}$	kg/d	2.182	2.273	2.273
$B_{\text{ÜS,d,SZ,anaerob KA}}$	kg/d	435	-	-
$B_{\text{ÜS,d,SZ,anaerob SZ}}$	kg/d	527	-	-
$Q_{\text{Faulgas,kommunal}}$	m ³ /d	611	636	636
$Q_{\text{Faulgas,SZ,anaerob KA}}$	m ³ /d	122	-	-
$Q_{\text{Faulgas,SZ,anaerob SZ}}$	m ³ /d	4.743	-	-
$Q_{\text{Faulgas, gesamt}}$	m ³ /d	5.476	636	636

Für diese Szenarien sind neben den „Ohnehin“-Maßnahmen (s.o. Kapitel 3.1) zusätzliche technische Erweiterungsmaßnahmen erforderlich (siehe auch Bild 3.4).

Folgende zusätzliche Maßnahmen des Szenarios 2 sind zu berücksichtigen:

- Bau einer Anaerobanlage für die Zuckerfabrik
- Erweiterung BHKW, Neubau eines Gasbehälters

Für die Schlamm Entsorgung sind die Alternativen zu berücksichtigen:

- Mitbehandlung der Schlämme der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg

- Ablagerung der Schlämme der zuckerfabrikseigenen Anaerobanlage im Zachariasgrund (Besitz Südzucker AG)

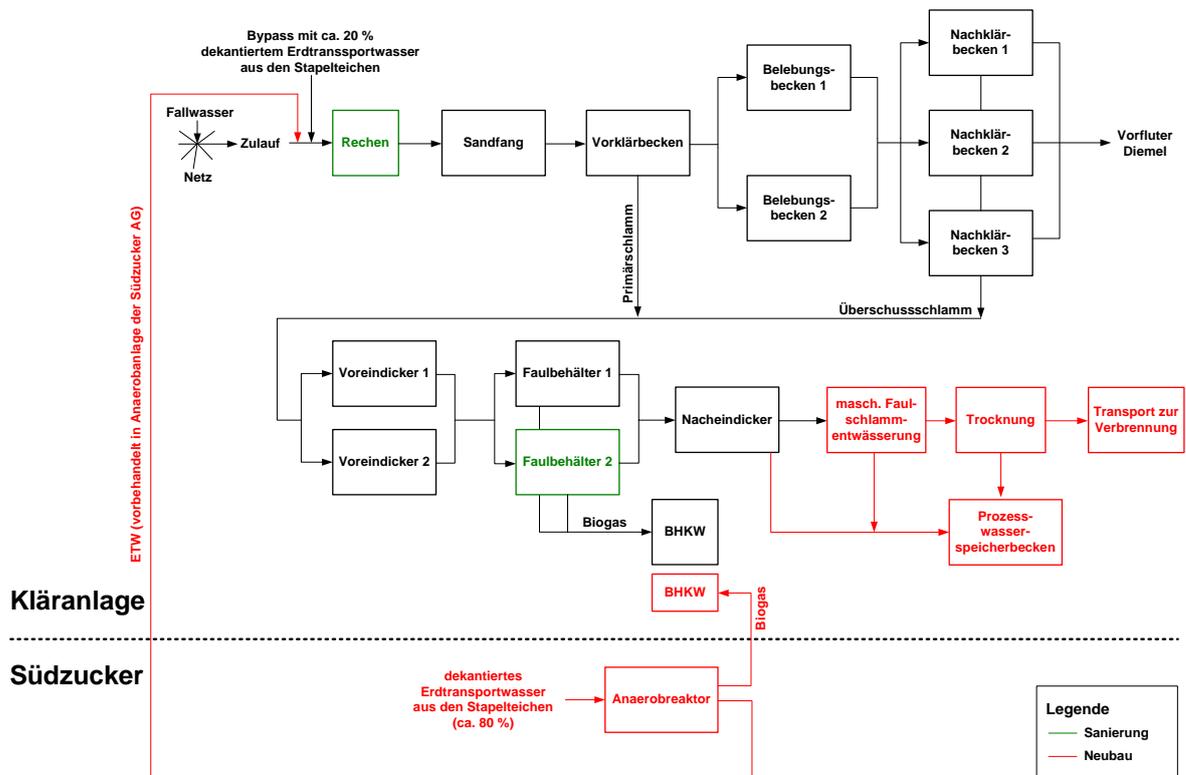


Bild 3.4: Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg
Szenario 2: Behandlung des Erdtransportwassers in einer Anaerobanlage der Südzucker AG

3.2.2 Bemessung der Anaerobstufe Südzucker AG

Die Bemessung der Anaerobanlage der Südzucker AG erfolgt für mittlere wie maximale Belastungen.

$$\text{Erdtransportwasseranfall} = 28 \text{ m}^3/\text{h} = 660 \text{ m}^3/\text{d}$$

CSB-Tagesfracht aus dekantiertem Erdtransportwasser:

$$B_{d,CSB,mittel} = 660 \text{ m}^3/\text{d} \times 17,8 \text{ kg}/\text{m}^3 = 11.682 \text{ kg}/\text{d}$$

$$B_{d,CSB,max} = 660 \text{ m}^3/\text{d} \times 24,8 \text{ kg}/\text{m}^3 = 16.368 \text{ kg}/\text{d}$$

Auslegungsdaten der Anaerobstufe:

- Versäuerung: Verzicht auf getrennte Versäuerung wegen hohen Versäuerungsgrades der Auflandung von 50-60 %
- Methanreaktor: CSB-Raumbelastung des Methanreaktors bei Auslegung mit Gaseinpressung: $B_{R,CSB} = 10 \text{ kg CSB}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$

- Entgasungsbecken: $t_R = 10$ Minuten
- Zwischenklärung: Oberflächenbeschickung $q_A = 0,25$ m/h bezogen auf den Zulauf bei einem Rücklaufverhältnis von 100 % (Randwassertiefe = 4 m)

Methanreaktor (Annahme ca. 80 % der CSB-Zulauffracht werden abgebaut):

$$\text{erf. } V_{\max} = 16.368 \text{ kg CSB/d} : 10 \text{ kg CSB}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}) = 1.637 \text{ m}^3$$

$$\text{erf. } V_{\text{mittel}} = 11.682 \text{ kg CSB/d} : 10 \text{ kg CSB}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}) = 1.168 \text{ m}^3$$

(Volumen FB 2 Faulbehälter Kläranlage 1.400 m³)

gewählt: Reaktor Durchmesser 12 m, Höhe H = 16 m, $V_{\text{gesamt}} = 1.810 \text{ m}^3$

$$t_R = 1.810 \text{ m}^3 : 28 \text{ m}^3/\text{h} = 64,6 \text{ h} = 2,69 \text{ d}$$

Entgasungsbecken möglichst auf Betriebsgelände:

$$\text{erf. } V = 28 \text{ m}^3/\text{h} \times 10 \text{ min} = 5 \text{ m}^3$$

Zwischenklärung:

$$\text{erf. } A = 28 \text{ m}^3/\text{h} : 0,25 \text{ m/h} = 112 \text{ m}^2 \rightarrow \text{erf. } d = 11,94 \text{ m}$$

gewählt: Durchmesser 13 m

vorh. A unter Berücksichtigung der Ablaufrinnen mit $b = 0,30 \text{ m}$, $A = 120 \text{ m}^2$

$$\text{vorh. } V = \pi \times (13 \text{ m})^2 / 4 \times 4 = 530 \text{ m}^3 \text{ (Randtiefe 4 m)}$$

Maximaler und mittlerer Gasanfall in der Kampagnezeit:

$$\text{Maximaler Gasanfall: } 16.368 \text{ kg/d} \times 80 \% \times 0,50 \text{ m}^3/\text{kg CSB}_{\text{el.}} = 6.547 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Mittlerer Gasanfall: } 11.682 \text{ kg/d} \times 80 \% \times 0,50 \text{ m}^3/\text{kg CSB}_{\text{el.}} = 4.743 \text{ m}^3/\text{d}$$

3.3 Szenario 3: Anaerobe Mitbehandlung des Erdtransportwassers in der kommunalen Schlammfäulung

Da aufgrund der derzeit geringen Auslastung der Kläranlage der Stadt Warburg im Bereich der Schlammbehandlung ein Faulbehälter nicht genutzt wird, wird untersucht, inwieweit dieses Faulraumvolumen zur anaeroben Abwasserbehandlung und damit Biogasproduktion genutzt werden kann.

3.3.1 Beschreibung der Verfahrenstechniken und Maßnahmen für die Südzucker AG und Kläranlage Warburg

Aufgrund von ökologischen Aspekten ist die anaerobe Behandlung des Abwassers der Zuckerfabrik einer aeroben Behandlung immer vorzuziehen. Neben der deutlich geringeren Schlammproduktion bei der anaeroben Behandlung kann auch Energie aus dem freiwerdenden Biogas erzeugt werden, wohingegen bei einer aeroben Behandlung der Wässer ein höherer Energieaufwand zur Belüftung anfiel. Allerdings muss der Calciumgehalt des Erdtransportwassers berücksichtigt werden, damit es durch Kalkausfällungen nicht zu schwerwiegenden Prozessbehinderungen kommt.

Aufgrund des hohen Kalkgehaltes des Abwassers der Südzucker AG (Messkampagne 2006: im Mittel 1.300 mg/L, minimal 780 mg/L, maximal 3.800 mg/L; Erfahrungswert ca. 2.000 mg/L) ist daher eine Mitbehandlung in den bestehenden trichterförmigen Faulbehältern der Anlage als problematisch einzustufen. Ein sicherer Betrieb kann nur mit einer Konzentration deutlich kleiner als 1.000 mg/L erfolgen. Dies bedeutet, entweder die Zugabemenge an ETW in den Anaerobreaktor soweit zu reduzieren, dass die Konzentration im Faulbehälter nicht über 1.000 mg/L steigt, oder alternativ das zufließende Abwasser der Südzucker AG soweit zu verdünnen, bis eine Konzentration < 1.000 mg/L erreicht wird.

Das Überschusskondensat/ Fallwasser wird in Analogie zu den bereits beschriebenen Szenarien der Kläranlage direkt zugeleitet. Aufgrund der hohen Temperatur dieses Volumenstroms sollte die Zugabe aus energetischer Sicht nicht wie bisher über das öffentliche Kanalnetz erfolgen, sondern über eine separate wärmeisolierte Rohrleitung. Somit kann die Wärme des Fallwassers zur Aufheizung des kalten Erdtransportwassers genutzt und der Energiebedarf zur Aufheizung des Anaerobreaktors reduziert werden. Bautechnisch kann die wärmeisolierte Leitung gemeinsam mit der Leitung für das Erdtransportwasser in einen Graben gelegt werden.

Aufbauend auf diesen Rahmenbedingungen für Behandlungskonzepte werden zwei Varianten des Szenarios abgeleitet und dargestellt.

Szenario 3a: Es werden ca. 12 % des Erdtransportwassers direkt in die kommunale Faulungsanlage geleitet. Das verbleibende Erdtransportwasser wird zum Teil in den Teichen zwischengespeichert und sowohl während der Kampagnezeit als auch in der Nachlaufzeit direkt in die Faulungsanlage gefahren, um hier die Restkonzentrationen an CSB noch in Biogas umzuwandeln. Das restliche Erdtransportwasser (88 %) wird aerob in der Kläranlage behandelt. Das Fallwasser wird über die öffentliche Kanalisation der Kläranlage zugeführt.

Szenario 3b: Es werden 95% des Erdtransportwassers direkt in die kommunale Faulungsanlage übernommen. Das verbleibende Erdtransportwasser wird in den Teichen zwischengespeichert und bei Bedarf direkt in die anaerobe biologische oder die aerobe biologische Stufe der Kläranlage geführt.

3.3.2 Szenario 3a: Anaerobe Teilstrombehandlung des Erdtransportwassers in der kommunalen Faulungsanlage

3.3.2.1 Verfahrenstechnik

Diese Variante sieht vor, dass ein Teilstrom des Erdtransportwassers direkt in den Faulbehältern der Kläranlage mitbehandelt wird. Um dem Problem von Kalkablagerungen entgegen zu wirken, wird die Menge an anaerob zu behandelndem Industrieabwasser entsprechend der Schlammmenge gedrosselt.

Für dieses Szenario sind neben den „Ohnehin“-Maßnahmen (beschrieben in Kapitel 3.1) zusätzliche technische Erweiterungsmaßnahmen erforderlich (siehe auch Bild 3.5).

Zusätzliche Maßnahmen des Szenarios 3a:

- Bau einer Abwasserleitung zum Transport des Erdtransportwassers direkt zur Kläranlage
- Erweiterung BHKW, Gasbehälter oder Einspeisung des Biogases ins Erdgasnetz

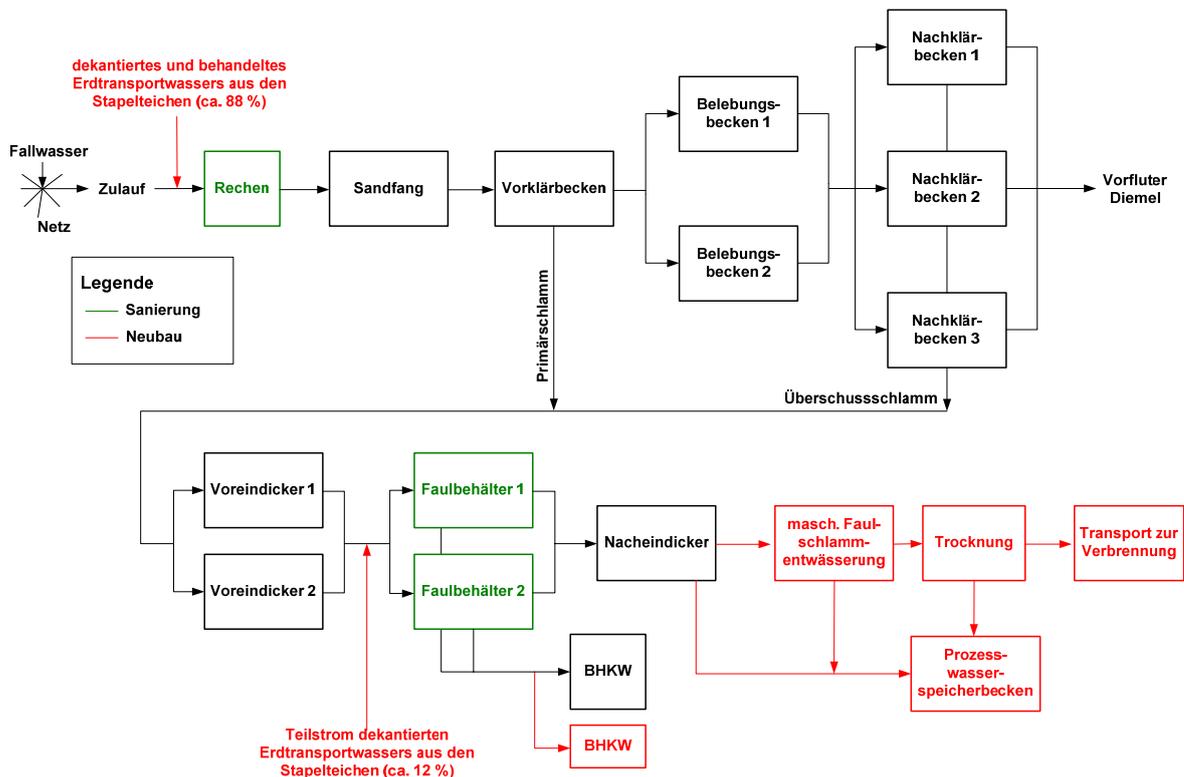


Bild 3.5: Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg
Szenario 3a: Teilstrombehandlung des Erdtransportwassers der Südzucker AG in der Faulungsanlage der Kläranlage Warburg

3.3.2.2 Bemessung der kommunalen Anaerobstufe als Ausschwemmreaktoren

Schlammfall der kommunalen Kläranlage: 30.000 m³/a mit 2 % TS = 82 m³/d

Bei Betrieb eines Faulbehälters beträgt die Aufenthaltszeit derzeit:

$$t_R = 1.400 \text{ m}^3 : 82 \text{ m}^3/\text{d} = 17 \text{ d.}$$

Beim Betrieb beider Faulbehälter und Zumischung von Zuckerfabrikabwasser muss die Aufenthaltszeit konstant bleiben. Das bedeutet, dass maximal eine Erdtransportwassermenge von $Q_d = 82 \text{ m}^3/\text{d}$ zugemischt werden kann. Diese Menge entspricht einem Anteil von 12,4 % der täglichen Erdtransportwassermenge von 660 m³/d.

Die Eindickung des kommunalen Schlammes auf 4 % TS führt zu einer Reduzierung der Schlammmenge auf 41 m³/d.

Bei einer Verweilzeit von $t_R = 17 \text{ d}$ und einem Volumen von 2.800 m³ ergibt sich eine maximale tägliche Zugabemenge von 165 m³/d. Darin sind allerdings bereits 41 m³/d an kommunalem Faulschlamm enthalten, so dass 124 m³/d Erdtransportwasser zugegeben werden können.

Des Weiteren ist zu prüfen, ob bei einer Zugabemenge von 124 m³/d Erdtransportwasser Kalkausfällungen im Reaktor zu erwarten sind. Zur Beantwortung der Frage wird die Dissertation von SVARDAL (1991) herangezogen und folgende Annahmen getroffen:

- Alkalität des dekantierten Erdtransportwassers resultiert ausschließlich aus Calcium; die „Soda-Alkalität“, hervorgerufen durch die Kationen K⁺, Na⁺ und NH₄⁺, wird zu Null angenommen.
- Calcium-Konzentration im Erdtransportwasser: 784 mg/L bis 3.784 mg/L entsprechend 18,5 mmol/L Ca²⁺ bis 95 mmol/L Ca²⁺ bei einem Molgewicht von 40,078 g/mol.
- CSB im Erdtransportwasser: 13.700 mg/L bis 24.800 mg/L (Mittelwert = 19.475 mg/L)
- Erdtransportwasseranfall: 28 m³/h = 660 m³/d
- abbaubarer CSB im kommunalen Faulschlamm = 0,0 mg/L

Nach SVARDAL (1991) können unter den zuvor genannten Annahmen im günstigsten Fall 10 mmol/L = 400 mg/L an Ca²⁺ bei einem eliminierten CSB von 10.000 mg/L in Lösung bleiben. Bei einem eliminierten CSB von 5.000 mg/L reduziert sich die in Lösung zu haltende Ca²⁺-Konzentration auf lediglich 370 mg/L.

Daraus folgt, dass wenn die Faulbehälter als Ausschwemmreaktoren betrieben werden, Erdtransportwasser und Faulschlamm maximal im Verhältnis 1:1 gemischt werden können. Die Calcium-Konzentrationen betragen somit zwischen 250 mg/L und 1.000 mg/L und die CSB-Konzentrationen zwischen 6.850 mg/L und 12.400 mg/L. Es wird somit zu Ausfällungen kommen, die jedoch wahrscheinlich mit dem Schlamm ausgetragen und zu keinen Betriebsproblemen führen werden. Allerdings führt eine Erhöhung des TS-Gehaltes des kommunalen Faulschlammes von 2 % auf 4 % infolge der Kalkausfällungen zu keiner deutlichen Leistungssteigerung der anaeroben Behandlungsstufe. Des Weiteren ist zu beachten, dass für eine ausschließlich anaerobe Behandlung des Erdtransportwassers pro Jahr theoretisch ein Zeitraum von 60.000 m³ : 82 m³/d = 730 d erforderlich wäre. Hieraus folgert, dass ein Teil des Erdtransportwassers im Zeitraum von September bis einschließlich Januar aerob behandelt werden muss (Bild 3.6). Dies erfolgt, indem das Abwasser wie bisher weitgehend in den Teichen zwischengespeichert und somit biologisch vorbehandelt wird.

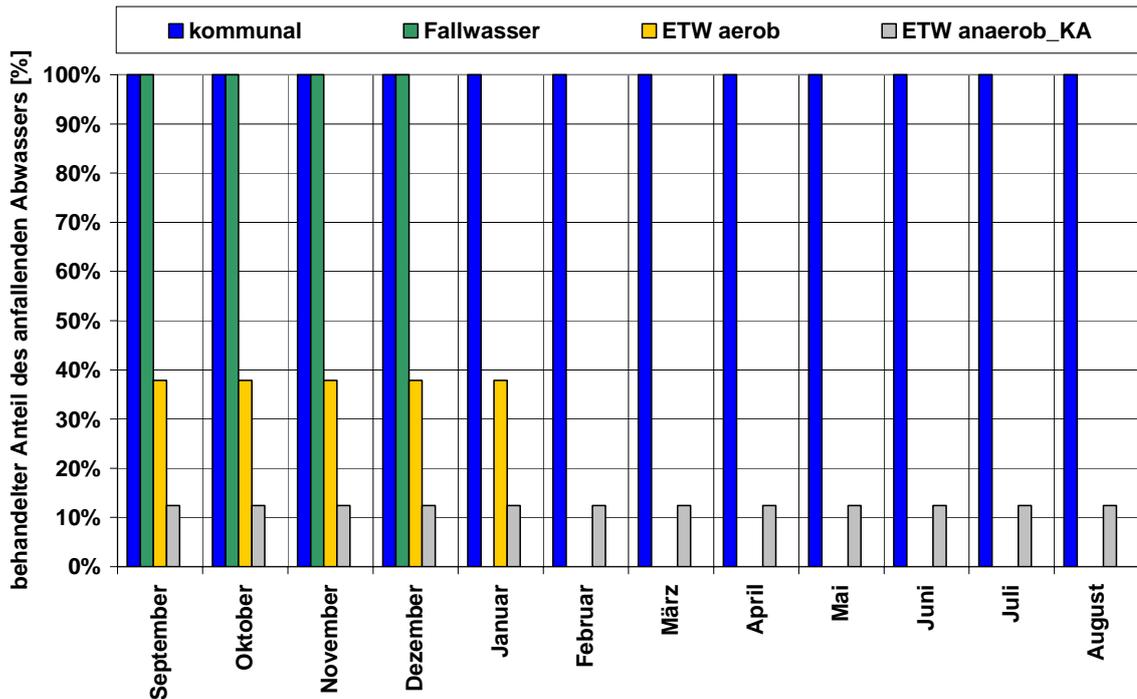


Bild 3.6: Prozentuale Anteile der monatlichen Abwasserteilstrommengen, die zur Kläranlage abgeführt werden – Szenario 3a

Die Bemessungsdaten für das Szenario 3a sind in Tabelle 3.3 aufgeführt.

Werden 82 m³/d an dekantiertem Erdtransportwasser im Faulbehälter der Kläranlage anaerob mitbehandelt, so kann der zusätzliche Gasanfall bei Ansatz einer CSB-Eliminationsrate von 95 % und einem spezifischen Gasanfall von 0,50 m³ Faulgas/kg CSB_{eliminiert} während der Kampagne und für einen zusätzlichen Monat (4 Monate pro Jahr) werden ermittelt zu:

$$82 \text{ m}^3/\text{d} \times 19,4 \text{ kg CSB}/\text{m}^3 \times 0,95 \times 0,50 \text{ m}^3/\text{kg CSB}_{\text{el.}} = 755 \text{ m}^3/\text{d} = 22.650 \text{ m}^3/\text{Monat}$$

Diese Gasausbeute reduziert sich außerhalb der Kampagne, da bereits 70 % des CSB im Stapelteich abgebaut sind, auf:

$$82 \text{ m}^3/\text{d} \times 19,4 \text{ kg CSB}/\text{m}^3 \times 0,30 \times 0,95 \times 0,50 \text{ m}^3/\text{kg CSB}_{\text{el.}} = 226 \text{ m}^3/\text{d} = 6.800 \text{ m}^3/\text{Monat.}$$

Tabelle 3.3: Bemessungsergebnisse der unterschiedlichen Belastungsphasen – Szenario 3a

Parameter	Einheit	Kampagnezeit Sep – Dez	Nachlaufzeit Jan	Nachlaufzeit Feb – Aug
Q_{kommunal}	m ³ /d	9.370	9.370	9.370
$Q_{\text{Fallwasser}}$	m ³ /d	3.140	-	-
$Q_{\text{ETW,aerob}}$	m ³ /d	250	250	-
$Q_{\text{ETW,anaerob}}$	m ³ /d	82	82	82
$Q_{\text{gesamt Kläranlage}}$	m ³ /d	12.842	9.702	9.452
$B_{\text{d,CSB,kommunal}}$	kg/d	3.620	3.620	3.620
$B_{\text{d,Nges,kommunal}}$	kg/d	340	340	340
$B_{\text{d,CSB,SZ}}$	kg/d	-	-	-
$B_{\text{d,Nges,SZ}}$	kg/d	-	-	-
$B_{\text{d,CSB,SZ,KA,aerob}}$	kg/d	4.005	2.670	-
$B_{\text{d,Nges,SZ,KA,aerob}}$	kg/d	168	7,6	-
$B_{\text{d,CSB,SZ,KA,anaerob}}$	kg/d	1.310	873	655 / 437
$B_{\text{d,Nges,SZ,KA,anaerob}}$	kg/d	2,5	2,5	2,5
erf. V_{BB}	m ³	7.661	6.385	
$V_{\text{Denitrifikation}}/V_{\text{BB}}$	m ³ /m ³	0,11	0,22	
t_{TS}	d	11	13	
$T_{\text{Bemessung}}$	°C	13	13	
OV_{d}	kg /d	6.962	5.311	
V_{NK}	m ³	5.816	5.816	
$B_{\text{ÜS,d,kommunal}}$	kg/d	2.182	2.273	2.273
$B_{\text{ÜS,d,SZ,aerob KA}}$	kg/d	1.155	574	-
$B_{\text{ÜS,d,SZ,anaerob KA}}$	kg/d	62	41	31 / 21
$Q_{\text{Faulgas,kommunal}}$	m ³ /d	611	636	636
$Q_{\text{Faulgas,SZ,aerob KA}}$	m ³ /d	323	161	-
$Q_{\text{Faulgas,SZ,anaerob KA}}$	m ³ /d	755	504	378 / 226
$Q_{\text{Faulgas, gesamt}}$	m ³ /d	1.689	1.301	1.014 / 862

3.3.3 Szenario 3b: Vollständige anaerobe Behandlung des Erdtransportwassers nach dem Anaeroben Belebungsverfahren in der kommunalen Faulungsanlage

3.3.3.1 Verfahrenstechnik

Zur Umsetzung dieser Verfahrenstechnik wird das Erdtransportwasser (ETW) direkt nach Sedimentation der absetzbaren Inhaltsstoffe in den Teichen der Zuckerfabrik in die Faulbehälter der Kläranlage geleitet. Die Faulbehälter werden in Reihe betrieben.

Um Kalkablagerungen zu vermeiden, wird in Analogie zu Verfahrenstechniken in der Papierindustrie die Kalkkonzentration durch Verdünnung des Zulaufstroms z.B. mit Ablauf von der Nachklärung oder entkarbonisiertem Prozesswasser der Faulungsanlage auf $< 1.000 \text{ mg/L}$ eingestellt. Die sich in Abhängigkeit der Ausgangskalkkonzentrationen ergebenden unterschiedlichen Durchflussmengen erfordern zur Einhaltung definierter Durchflusszeiten unterschiedlich große Beckenvolumina. Nach Passage der Faulbehälter wird das im Schlamm gebundene Gas durch eine Vakuumentgasung abgezogen und der Schlamm einem Nachklärbecken zugeführt. Dort findet eine klassische Phasenseparation statt, wobei der abgesetzte Schlamm teilweise als Rücklaufschlamm zurück in die Faulbehälter gepumpt und der Rest als Überschussschlamm einer Eindickung zugeführt wird. Die abgetrennte Klarphase wird zuerst einer CO_2 -Strippung zur Ausfällung der gelösten Kalkmengen und anschließend einem Sedimentationsbecken (Eindicker) zugeführt. In dem Eindicker setzen sich insbesondere die vormals gelösten Kalkmengen ab. Diese Kalkschlämme sollen anschließend gemeinsam mit den Überschussschlämmen aus den anaeroben Nachklärbecken maschinell entwässert werden.

Zur Sicherstellung einer ausreichenden Umwälzung der Faulbehälter werden Faulschlammwischer (z.B. Fabrikat Halberg oder Träxler) vorgesehen, die anstelle einer üblichen Umwälzleistung von sechs Volumeneinheiten pro Tag während der Kampagnezeit eine 12-fache Volumenumwälzung des Faulbehälters ermöglichen. Diese Aggregate sind in der Lage Schlämme mit einem ca. 4 %-igen TS-Gehalt in Schwebelage zu halten. Da mit einem derart zusammengesetzten Schlamm bislang keine Referenzen vorliegen, ist ein Einsatz vorab zu untersuchen.

Zur Sicherstellung einer Kalkkonzentration von $< 1.000 \text{ mg/L}$ im Faulbehälter wird zum einen Verdünnungswasser aus dem Ablauf der Nachklärbecken der Abwasserreinigung und zum anderen zu gleichen Teilen Verdünnungswasser aus dem weitestgehend kalkfreien Ablauf der Kalkschlammeindickung in den Faulbehälter geführt. Der Primär- und Sekundärschlamm der kommunalen Kläranlage wird nicht wie allgemein üblich eingedickt, sondern direkt mit seinem hohen Wassergehalt in die Faulbehälter gepumpt. Hierdurch wird direkt eine Verdünnung des kalkhaltigen Erdtransportwassers erzielt. Auf Basis der

Schlammraten, die je nach Szenario unterschiedlich sind, kann für den ungünstigsten Fall der Anteil der Schlammfracht aus Primär- und Überschussschlamm der Kläranlage zu 2.100 kg/d mit einem TS-Gehalt von 4 g/L angesetzt werden, woraus sich eine Menge von 525 m³/d Schlammwasser ergibt.

Da aus betrieblichen Gründen ein Vollastbetrieb nicht anzustreben ist, wird empfohlen, nur 95 % des Erdtransportwassers direkt anaerob zu behandeln. Damit ergibt sich die in Bild 3.7 dargestellte Verteilung der Abwasserteilmengen im Zulauf der Kläranlage im Jahresverlauf.

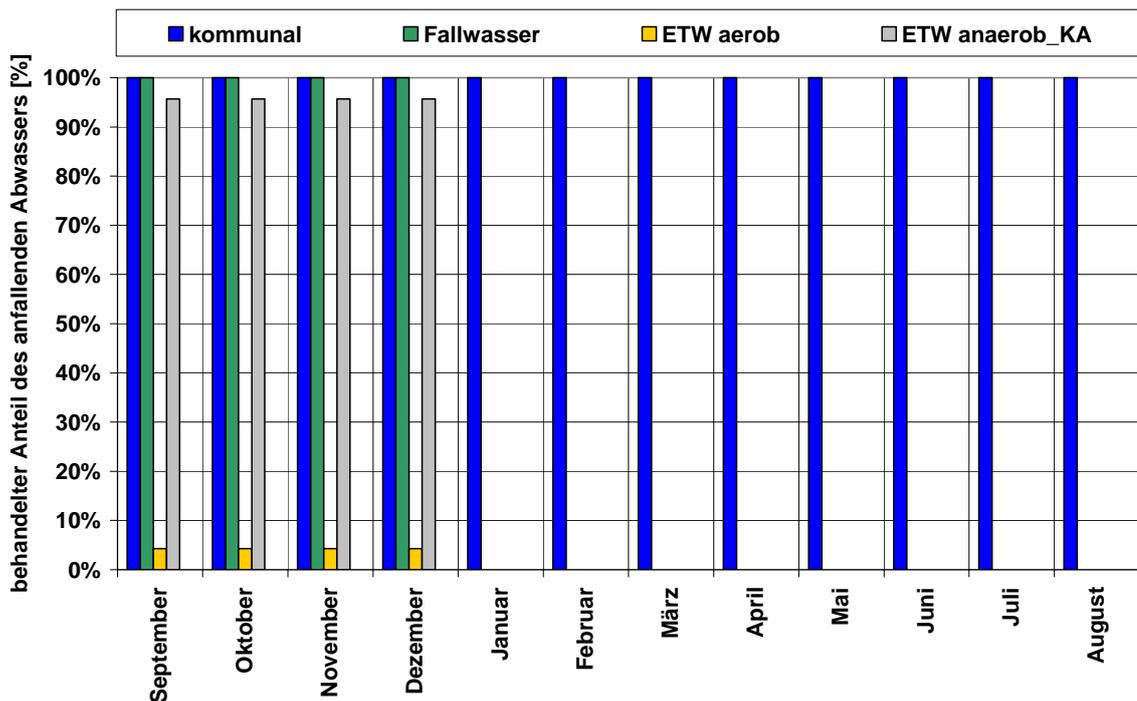


Bild 3.7: Prozentuale Anteile der monatlichen Abwasserteilmengen, die zur Kläranlage abgeführt werden – Szenario 3b

Danach ergeben sich die in Tabelle 3.4 aufgelisteten Belastungen und Bemessungsergebnisse.

Tabelle 3.4: Bemessungsergebnisse der unterschiedlichen Belastungsphasen – Szenario 3b

Parameter	Einheit	Kampagnezeit Sep – Dez	Nachlaufzeit Jan – Feb	Kampagne freie Zeit Mrz – Aug
Q_{kommunal}	m ³ /d	9.370	9.370	9.370
$Q_{\text{Fallwasser}}$	m ³ /d	3.140	-	-
$Q_{\text{ETW,aerob}}$	m ³ /d	28	-	-
$Q_{\text{ETW,anaerob}}$	m ³ /d	632	-	-
$Q_{\text{gesamt Kläranlage}}$	m ³ /d	13.170	9.370	9.370
$B_{\text{d,CSB,kommunal}}$	kg/d	3.620	3.620	3.620
$B_{\text{d,Nges,kommunal}}$	kg/d	340	340	340
$B_{\text{d,CSB,SZ}}$	kg/d	-	-	-
$B_{\text{d,Nges,SZ}}$	kg/d	-	-	-
$B_{\text{d,CSB,SZ,KA,aerob}}$	kg/d	447	-	-
$B_{\text{d,Nges,SZ,KA,aerob}}$	kg/d	161	-	-
$B_{\text{d,CSB,SZ,KA,anaerob}}$	kg/d	10.093	-	-
$B_{\text{d,Nges,SZ,KA,anaerob}}$	kg/d	19,2	-	-
Erf. V_{BB}	m ³	6.144	6.738	6.738
$V_{\text{Denitrifikation}}/V_{\text{BB}}$	m ³ /m ³	0,29	0,22	0,22
t_{TS}	d	13	19	19
$T_{\text{Bemessung}}$	°C	13	10	10
OV_{d}	kg /d	4.662	2.788	2.788
V_{NK}	m ³	5.816	4.194	4.194
$B_{\text{ÜS,d,kommunal}}$	kg/d	2.182	2.273	2.273
$B_{\text{ÜS,d,SZ,aerob KA}}$	kg/d	413	-	-
$B_{\text{ÜS,d,SZ,anaerob KA}}$	kg/d	479	-	-
$Q_{\text{Faulgas,kommunal}}$	m ³ /d	611	636	636
$Q_{\text{Faulgas,SZ,aerob KA}}$	m ³ /d	116	-	-
$Q_{\text{Faulgas,SZ,anaerob KA}}$	m ³ /d	4.539	-	-
$Q_{\text{Faulgas,gesamt}}$	m ³ /d	5.266	636	636

Für dieses Szenario sind neben den „Ohnehin“-Maßnahmen (siehe Kapitel 3.1) zusätzliche technische Erweiterungsmaßnahmen erforderlich (siehe auch Bild 3.8).

Zusätzliche Maßnahmen des Szenarios 3b:

- Errichtung einer Vakuumentgasung
- Errichtung eines anaeroben Nachklärbeckens durch Umbau des vorhandenen Nachklärbeckens ($V = 1.624 \text{ m}^3$) mit Abdeckung

- Verdünnungsstation für das Erdtransportwasser aus dem Ablauf der Kläranlage und dem Ablauf des Klärbeckens nach der CO₂-Strippung
- wärmeisolierte Rohrleitung vom Werk Südzucker AG zur Kläranlage für Überschuss-/ Fallwasser inkl. Wärmetauscheranlage
- Errichtung eines CO₂-Strippers
- Einbau eines Klärbeckens zur Kalkabscheidung (2 vorh. Voreindicker V= 2 x 100 m³)
- Erweiterung BHKW, Gasbehälter oder Einspeisung des Biogases ins Erdgasnetz

Das bei der anaeroben Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG entstehende Faulgas wird zur Stromerzeugung und Wärmegewinnung für die Schlamm-trocknung genutzt.

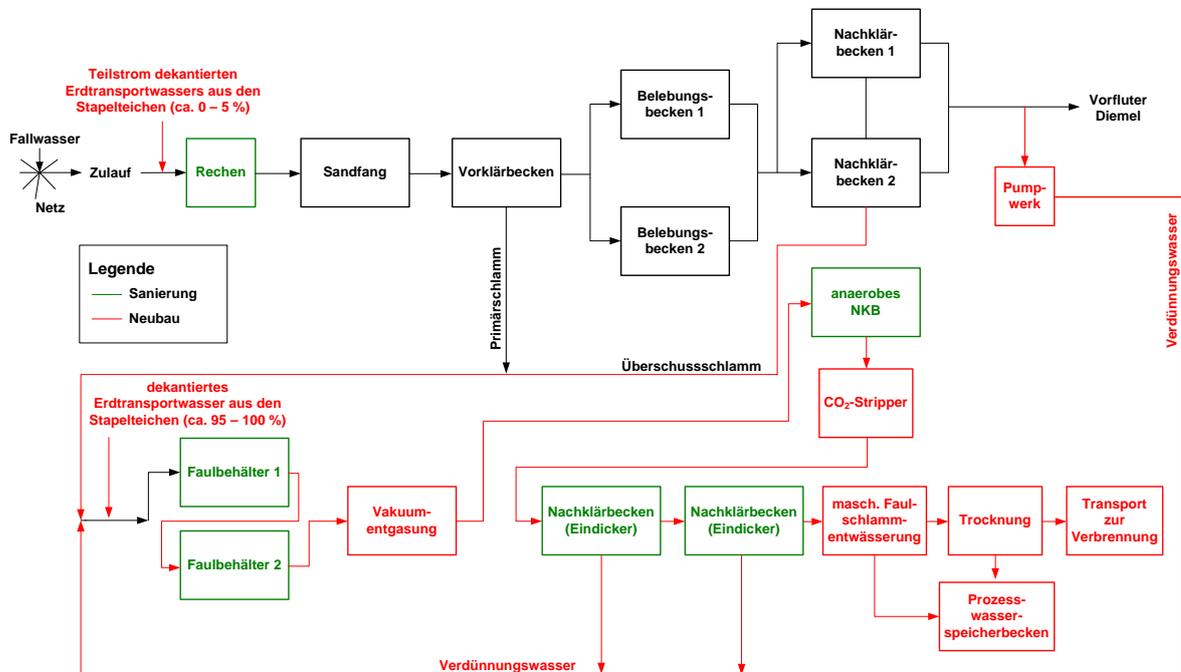


Bild 3.8: Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg
Szenario 3b: Behandlung des Erdtransportwassers der Südzucker AG mit dem kommunalen Klärschlamm mittels anaerobem Belebungsverfahren mit dem vorhandenen Faulbehälter der Kläranlage Warburg

3.3.3.2 Bemessung der kommunalen Anaerobstufe als anaerobes Belebungsverfahren

Die Ermittlung des in den Faulbehältern mit zu behandelnden Erdtransportwassers erfolgt über die Raumbelastung. Aufgrund der nicht optimalen Geometrie der Faulbehälter wird die maximale Raumbelastung unter Berücksichtigung einer verminderten Aktivität zu 4 kg CSB/(m³·d) angesetzt (BISCHOFBERGER et al., 2005; AUSTERMANN-HAUN 2002).

Die Bemessung der Anaerobanlage erfolgt für mittlere wie maximale Belastungen mit:

$$\text{Erdtransportwasseranfall} = 28 \text{ m}^3/\text{h} = 660 \text{ m}^3/\text{d}$$

CSB-Tagesfracht aus Erdtransportwasser:

$$B_{d,CSB,mittel} = 660 \text{ m}^3/\text{d} \times 17,7 \text{ kg/m}^3 = 11.682 \text{ kg/d}$$

$$B_{d,CSB,max} = 660 \text{ m}^3/\text{d} \times 24,8 \text{ kg/m}^3 = 16.368 \text{ kg/d}$$

Auslegungsdaten der Anaerobstufe gemäß des anaeroben Belebungsverfahrens:

- Methanreaktor: CSB-Raumbelastung $B_{R,CSB} = 4 \text{ kg CSB}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$
- Anaerobe Nachklärung: Oberflächenbeschickung $q_{A,max} = 0,25 \text{ m/h}$ bezogen auf den Zulauf bei einem Rücklaufverhältnis von 100 %

Methanreaktor:

$$\text{erf. } V_{max} = 16.368 \text{ kg CSB/d} \times 95\% / 4 \text{ kg CSB}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}) = 3.887 \text{ m}^3$$

$$\text{erf. } V_{mittel} = 11.682 \text{ kg CSB/d} \times 95\% / 4 \text{ kg CSB}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}) = 2.774 \text{ m}^3$$

(Volumen der 2 Faulbehälter Kläranlage: 2.800 m³)

Maximaler und mittlerer Gasanfall in der Kampagnezeit (Annahme: 80 % der CSB-Gesamtfracht werden anaerob abgebaut):

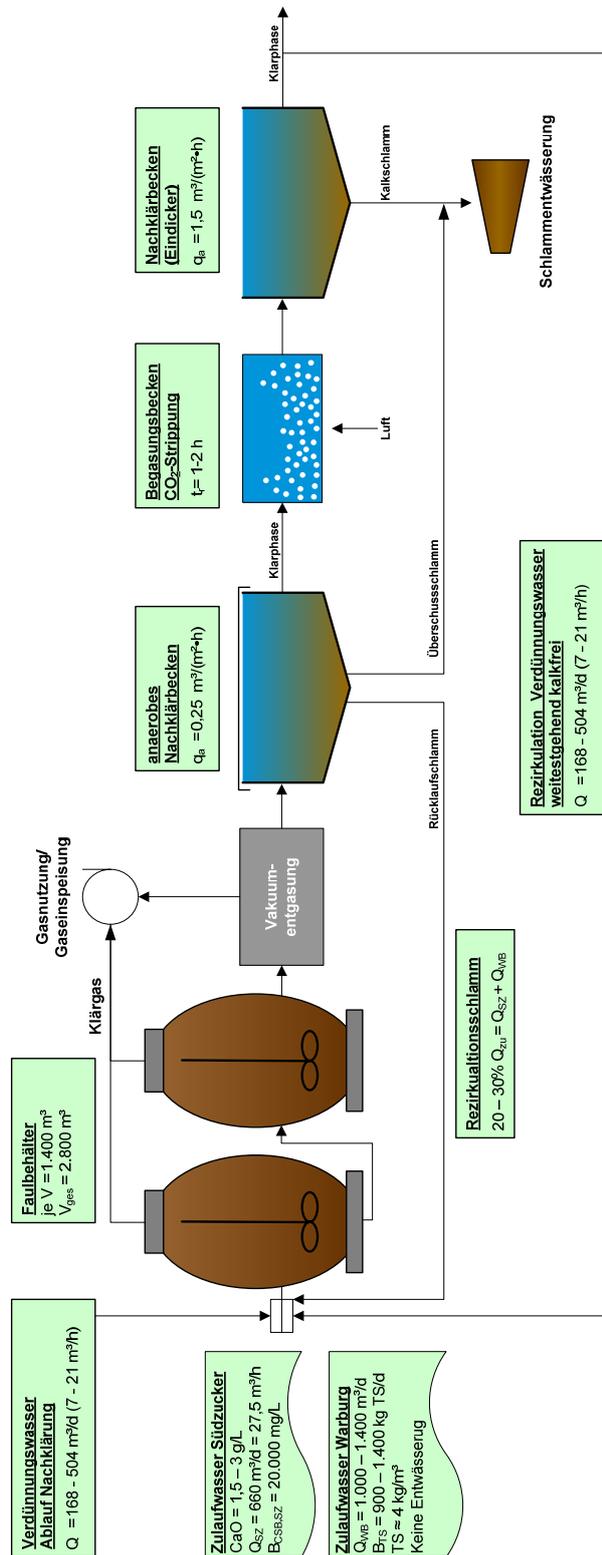
$$\text{Maximaler Gasanfall: } 16.368 \text{ kg/d} \times 0,80 \times 0,50 \text{ m}^3/\text{kg CSB}_{el.} = 6.547 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Mittlerer Gasanfall: } 11.682 \text{ kg/d} \times 0,80 \times 0,50 \text{ m}^3/\text{kg CSB}_{el.} = 4.743 \text{ m}^3/\text{d}$$

Die Auslegungsgrößen für die anderen erforderlichen Verfahrensschritte sind in Bild 3.9 zusammengestellt. Die erforderlichen Volumina bzw. Durchsätze sind in Abhängigkeit der Kalkkonzentration im Erdtransportwasser aufgelistet. Für die unterschiedlichen Kalkkonzentrationen der Südzucker AG ergeben sich die in Tabelle 3.5 aufgeführten Verdünnungswassermengen, für die die Schlammbehandlung ausgelegt werden muss.

Tabelle 3.5: Ermittlung der erforderlichen Verdünnungswassermengen für unterschiedliche Kalkbelastungen im Erdtransportwasser

Kalkbelastung Erdtransportwasser		Erdtransportwasser Südzucker	Schlammmenge Kläranlage Warburg	Summe Wassermengen Südzucker und Kläranlage		Erforderliche Verdünnungswassermenge		Verdünnungswasser aus:	
								Ablauf NKB	Ablauf Ca-Eindickung
[g/L]	[kg/d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /h]	[m ³ /d]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]
1,5	990	660	525	1.185	49	-	-	-	-
2,0	1.320	660	525	1.185	49	135	6	3	3
3,0	1.980	660	525	1.185	49	795	34	17	17
4,5	2.970	660	525	1.185	49	1.785	74	37	37



abgedecktes Nachklärbecken ($t = 3,50 \text{ m}$, $q_b = 0,25 \text{ m}^3/\text{h}$)		CO ₂ -Stripper $t_r = 1 - 2 \text{ h}$		Nachklärbecken ($t = 3,50 \text{ m}$, $q_b = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$)	
m ²	m ³	m ³ (1h)	m ³ (2h)	m ²	m ³
196	686	49	98	36	128
220	770	55	110	37	130
332	1.162	83	166	55	194
495	1.733	124	248	82	289
					m
					6,7
					7
					8
					10

CaOH	g/L	Q _{ZU} = Σ Q _{SZ} , Q _{WB} , Q _{V,NKS} , Q _{V,ANK}	m ³ /h	Faulbehälter (V=2.800 m ³) Aufenthaltszeit	d
1,5	1.185	49	~2,3		
2	1.320	55	~2		
3	1.980	83	~1,5		
4,5	2.970	124	~1		

Bild 3.9: Fließbild des anaeroben Belebungsverfahrens für Szenario 3b und Übersicht über die Beckenvolumina für unterschiedliche Kalkkonzentrationen im Abwasser der Südzucker AG (Lastfall 100 % anaerobe Erdtransportwassertreatment auf der kommunalen Kläranlage)

3.4 Szenario 4: Neubau einer Faulungsanlage auf dem Gelände der kommunalen Kläranlage zur Behandlung der kommunalen Klärschlämme und des Erdtransportwassers der Südzucker AG

3.4.1 Beschreibung der Verfahrenstechniken und Maßnahmen für die Südzucker AG und Kläranlage Warburg

Dieses Szenario ist eine Kombination aus Teilen der Behandlungskonzepte der Szenarien 2 und 3. Allerdings werden den Nachteilen, wie beispielsweise dem saisonalen Anlagenbetrieb und der langen Anlagenstillstandszeit bei Szenario 2 und dem Problem einer nur geringen Mitbehandlungskapazität von energiereichem Abwasser aufgrund von hohen Kalkgehalten und baulich nicht optimalen Rahmenbedingungen des Szenarios 3b, Rechnung getragen. Zum direkten Vergleich mit dem Szenario 3b werden die gleichen Belastungsdaten der Anlage für das Szenario 4 gewählt.

Um Überkapazitäten vor allem in der Kampagne freien Zeit zu vermeiden und dennoch ausreichende Leistungsreserven während der Kampagne zu besitzen, erfolgt die Auslegung nur auf die maximal zu behandelnde CSB-Konzentration bei maximaler Tagesmenge von $B_{d,CSB} = 16.398 \text{ kg CSB/d}$ (vgl. Tabelle 2.1) der Südzucker AG. Eingesetzt werden soll das anaerobe Belebungsverfahren (vgl. Kapitel 3.3.3). Als Klärbecken wird einer der Faulbehälter eingesetzt, der baulich durch die teilweise Verfüllung der Trichterspitze mit Beton und der Anordnung eines Schlammabzugs aus der Trichterspitze verändert wird. Des Weiteren wird eine Verdünnung des Schlammes im Reaktor mit Wasser aus dem Ablauf der Kläranlage erfolgen, damit die Kalkkonzentrationen gesenkt werden können (siehe hierzu auch Kapitel 3.3.3).

Eine Realisierung des Szenarios erfordert zunächst den Neubau eines Anaerobreaktors, der für die Behandlung von Erdtransportwasser und von kommunalem Klärschlamm geeignet ist. Hierzu wird vorgesehen, dass einer der bestehenden Faulbehälter abgerissen wird, da diese keinen optimalen Betrieb zur Behandlung des kalkhaltigen Abwassers der Südzucker AG sicherstellen.

Der neue Anaerobreaktor soll einen flachen Boden haben, der mit leichtem Räumgerät befahrbar sein muss. Des Weiteren muss eine Umwälzeinrichtung im Reaktor installiert werden, die eine Durchmischung derartig schwerer Schlämme sicherstellt (z.B. Gaseinpressung). Um den Anaerobreaktor auch außerhalb der Kampagne nutzen zu können, ist er so zu gestalten, dass auch Co-Fermentate verarbeitet werden können.

Für dieses Szenario sind neben den „Ohnehin“-Maßnahmen (siehe in Kapitel 3.1 zusätzliche technische Erweiterungsmaßnahmen erforderlich (siehe Bild 3.10).

Zusätzliche Maßnahmen des Szenarios 4:

- Neubau eines Anaerobreaktors
- Abriss eines bestehenden Faulbehälters
- Umbau eines Faulbehälters zu einem anaeroben Nachklärbecken
- Errichtung einer Vakuumentgasung
- Bau eines anaeroben Nachklärbeckens oder Umrüstung eines vorhandenen Nachklärbeckens ($V = 1.624 \text{ m}^3$) mit Abdeckung
- Verdünnungsstation für das Erdtransportwasser aus dem Ablauf der Kläranlage und dem Ablauf des Klärbeckens nach der CO_2 -Strippung
- wärme gedämmte Rohrleitung vom Werk Südzucker AG zur Kläranlage Warburg für Überschuss-/ Fallwasser inkl. Wärmetauscheranlage
- Erweiterung BHKW, Gasbehälter oder Einspeisung des Biogases ins Erdgasnetz

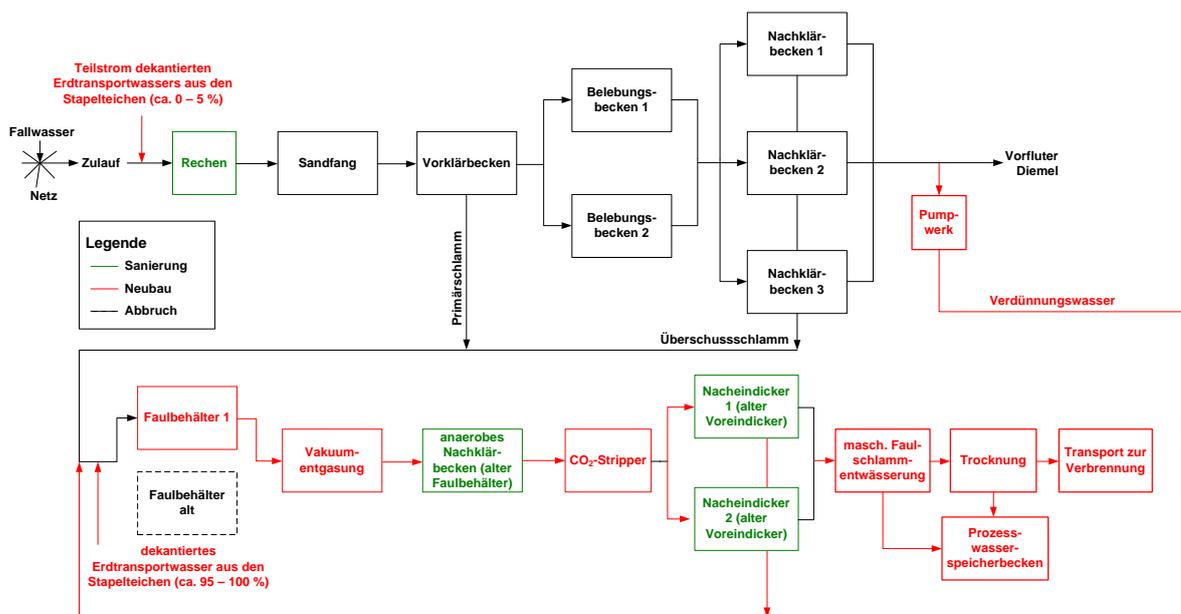


Bild 3.10: Fließbild der Mitbehandlung des Abwassers der Südzucker AG in der Kläranlage Warburg
Szenario 4: Behandlung des Erdtransportwassers der Südzucker AG mit dem kommunalen Klärschlamm in einem neuen Anaerobreaktor auf der Kläranlage Warburg

3.4.2 Bemessung der Anaerobstufe für die gemeinsame Behandlung der Abwässer der Südzucker AG und der Schlämme der Kläranlage Warburg

Die maximale Raumbelastung von Anaerobreaktoren beträgt i.d.R. ca. $10 \text{ kg CSB}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$. Aus Aspekten der Betriebssicherheit und einer ggf. vorhandenen verminderten Aktivität der Biomasse wird die Raumbelastung aufgrund der Behandlung sowohl von kommunalen

lem Klärschlamm wie auch Erdtransportwasser in einem baulich optimierten Faulreaktor mit dem anaeroben Belebungsverfahren auf 8 kg CSB/(m³•d) gesenkt. Da im Szenario 4 lediglich die bautechnische Ausführung des anaeroben Belebungsverfahrens im Vergleich zum Szenario 3b betrachtet wird, sind die Bemessungsannahmen und -ergebnisse mit Ausnahme der Bemessung des Faulraumes und des anaeroben Nachklärbeckens übertragbar. Auf Basis der in Kapitel 3.3.3.2 durchgeführten Berechnungen ergibt sich folgende klärtechnische Berechnung und Anlagenauslegung:

Erdtransportwasser (maximale Menge) 28 m³/h = 660 m³/d
 CSB-Tagesfracht aus Erdtransportwasser: B_{d,CSB,mittel} = 10.540 kg/d
max. B_{d,CSB,max} = 16.368 kg/d

Auslegungsdaten der Anaerobstufe (vgl. Kapitel 3.3.3):

- Methanreaktor: CSB-Raubelastung des Methanreaktors bei Auslegung mit Gaseinpressung: B_{R,CSB} = 8 kg CSB/(m³•d)
- Entgasungsbecken: t_R = 10 Minuten
- Nachklärung: Oberflächenbeschickung q_A = 0,25 m/h bezogen auf den Zulauf bei einem Rücklaufverhältnis von 100 %

Methanreaktor:

erf. V = 16.368 kg/d : 8 kg CSB/(m³•d) = 2.046 m³
 gewählt: Reaktor Durchmesser 15 m, Höhe H = 12 m, V_{gesamt} = 2.120 m³
 t_R = 2.120 m³ : 28 m³/h = 3 d

Nachklärung:

erf. A = 28 m³/h : 0,25 m/h = 112 m² → erf. d = 12 m
 vorhandener Durchmesser des bestehenden Faulbehälters ca. d = 14 m,
 vorhandene Randtiefe ca. t = 4, 5 m,
 vorhandene Oberfläche A = 154 m²
 vorh. V = 844 m³, damit ist der ggf. umgerüstete Faulbehälter ausreichend groß

Maximaler und mittlerer Gasanfall in der Kampagnezeit (Annahme: 80 % der CSB-Gesamtfracht werden anaerob abgebaut):

Maximaler Gasanfall: 16.368 kg/d x 0,80 x 0,50 m³/kg CSB_{el.} = 6.547 m³/d

Mittlerer Gasanfall: 11.682 kg/d x 0,80 x 0,50 m³/kg CSB_{el.} = 4.743 m³/d

Für die Behandlung der Schlämme der Kläranlage wird rechnerisch ein Volumen von ca. 1.400 m³ benötigt. Damit verlängert sich die Faulzeit während der Kampagne freien Zeit deutlich, bzw. kann für die Co-Fermentation genutzt werden. Das Reservevolumen beträgt ca. 700 m³.

3.4.3 Betriebsfall: Außerbetriebnahme eines Faulbehälters zu Wartungszwecken

Da die Kläranlage nur noch einen statt zwei Faulbehälter in Betrieb hat, sind Vorkehrungen zu treffen, die eine Außerbetriebnahme des Reaktors zur Entnahme eventuell vorhandener Kalkschlämme ermöglichen. Hierzu wird empfohlen, diese Arbeiten in den warmen Sommermonaten durchzuführen, da die Abwassertemperatur hier höher ist, die Belastungen der Südzucker AG nicht vorhanden sind und so die Kläranlage im Niedriglastbereich betrieben wird. Aufgrund der vorhandenen Anlagenkapazitäten kann die Kläranlage dann durch Außerbetriebnahme der Vorklärung als simultane aerobe Schlammstabilisierungsanlage betrieben werden. Hierzu ist der TS-Gehalt im Belebungsbecken auf ca. 4,0 g/L TS anzuheben und die Abwassertemperatur sollte über 12°C liegen. Die örtlichen Rahmenbedingungen für die Bemessung wurden wie folgt gewählt: $V_{BB} = 10.080 \text{ m}^3$, Schlammalter = 25 d und Schlammvolumenindex ISV = 130 mL/g bzw. 100 mL/g. Die sonstigen erforderlichen aus einer Bemessung abgeleiteten Rahmenbedingungen und Belebungsbeckenvolumina sind in der Tabelle 3.6 zusammengestellt.

Tabelle 3.6: Maximale Auslastung der Kläranlage in Abhängigkeit der Temperatur und des Schlammvolumenindexes für eine aerobe Schlammstabilisierung

V_{BB} [m ³]	V_{Deni} [m ³]	V_{NKB} [m ³]	TS_{BB} [g/L]	t_{TS} [d]	T_{Bemess} [°C]	ISV [mL/g]	E_{BSB5} [E]
10.080	3.306	5.816	3,26	25	10	130	21.317
10.080	3.294	5.816	3,26	25	11	130	21.417
10.080	3.283	5.816	3,25	25	12	130	21.517
10.080	3.272	5.816	3,25	25	13	130	21.617
10.080	3.262	5.816	3,25	25	14	130	21.717
10.080	3.253	5.816	3,24	25	15	130	21.817
10.080	3.306	5.816	4,00	25	10	100	26.133
10.080	3.294	5.816	4,00	25	11	100	26.300
10.080	3.283	5.816	4,00	25	12	100	26.450
10.080	3.272	5.816	4,00	25	13	100	26.583
10.080	3.262	5.816	3,99	25	14	100	26.700
10.080	3.253	5.816	3,99	25	15	100	26.817

Die Berechnungen zeigen, dass ein derartiger Anlagenbetrieb möglich ist, so dass ein Faulbehälter über einen längeren Zeitraum von ca. 6 – 8 Wochen außer Betrieb genommen werden kann. Für diese Zeit entfällt jedoch auch die Gasnutzung und es ist mit höheren Betriebskosten für die Belüftung der biologischen Stufe zu rechnen.

4 Erfassung und Darstellung der Investitions- und Jahreskosten der unterschiedlichen Szenarien

4.1 Investitionskostenberechnung für die Szenarien 1, 2, 3a, 3b und 4

Bei den Investitionskostenberechnungen wurde grundsätzlich zwischen Kosten bei der Stadt Warburg und der Südzucker AG unterschieden. In allen Kostenangaben wurde der Mehrwertsteuersatz in Höhe von 19 % berücksichtigt. Die Nebenkosten wie Ing.-Honorare, Prüf- und Nebengebühren wurden, soweit nicht besonders vermerkt, in die Einzelkosten einkalkuliert. Grundstückskosten wurden für zusätzliche Bauteile (MSE, Trockner) mit 4 €/m² kalkuliert. Für die übrigen Anlagenteile (z. B. Anaerobanlage der Südzucker AG) wurden keine Grundstückskosten kalkuliert, da davon ausgegangen wird, dass keine zusätzlichen Grundstücksbeschaffungen erforderlich werden.

4.1.1 Ausgangsdaten der Investitionskostenberechnungen

Im Folgenden sind die einzelnen Maßnahmen aufgeführt und geben einen Überblick über den Umfang von erforderlichen Erweiterungs- bzw. Sanierungsarbeiten.

- a) Maßnahmen zur Erneuerung der Rechenanlage
- b) Maßnahmen zur Schlammmentwässerung
- c) Maßnahmen zur Schlamm Trocknung
- d) Maßnahmen zur Faulbehältersanierung
- e) Maßnahmen zur Sanierung bzw. Erweiterung des BHKW
- f) Maßnahmen zur direkten Zuleitung der Abwässer der Südzucker AG zur Kläranlage Warburg
- g) Maßnahmen zur Prozesswasserbewirtschaftung
- h) Maßnahmen zum Bau eines anaeroben Nachklärbeckens

Bei den Maßnahmen wird für einzelne Szenarien ein unterschiedlicher Umfang festgelegt, weshalb diese Position mit Index gekennzeichnet und für die betroffenen Szenarien separat erläutert wird.

Bei Investitionen für die Maßnahmen (b) Schlammmentwässerung mit Kammerfilterpresse und (c) Schlamm Trocknung, die in Tabelle 4.2 dargestellt sind, wurden die Kosten entsprechend der unterschiedlichen Schlamm mengen jeweils proportional der Schlamm mengen ermittelt. Die Unterschiede der Schlamm mengen in den Szenarien 1 bis 3a sind so gering, dass der Fehler aus der linearen Kostenermittlung vernachlässigbar klein ist.

Die Investitionskosten der Schlammwässerung wurden nach den Tagesspitzenwerten der Schlammengen aus der Faulung kalkuliert (siehe Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Tagesmaxima der Schlammengen für die Auslegung der maschinellen Schlammwässerung und des Trockners

	Schlambeseitigung, Tagesmaxima, Auslegung MSE + Trockner					
	TR zum FB	nach FB	nach MSE	nach MSE	Trockner	Trockner
TR-Anteil:	100 %	70 %	25 %	35 %	70 %	95 %
	[kg TR/d]	[kg TR/d]	[t/d]	[t/d]	[t/d]	[t/d]
„Ohnehin“.	1.989	1.392	5,6	4,0	2,0	1,5
Szenario 1	3.428	2.400	9,6	6,9	3,4	2,5
Szenario 2a	3.238	3.020	12,1	8,6	4,3	3,2
Szenario 2b ^{*)}	2.515	1.760	7,0	5,0	2,5	1,9
Szenario 3a	3.266	2.287	9,1	6,5	3,3	2,4
Szenario 3b	2.954	2.068	8,3	5,9	3,0	2,2
Szenario 4	2.954	2.068	8,3	5,9	3,0	2,2

^{*)} Die Tagesmaxima der Schlammengen Variante 2b beinhalten nicht die Schlammengen der Südzucker-Anaerobanlage (d.h. es wird von der Entsorgung dieses Schlammes weiter im Zachariasgrund ausgegangen)

FB = Faulbehälter; MSE = maschinelle Schlammwässerung

Bei der BHKW-Dimensionierung wurde eine weitgehende Gasnutzung angestrebt, wobei die thermische Nutzung für die Schlamm Trocknung Vorrang vor der Verstromung hat. Somit erfolgt eine direkte Gasverwertung für die Schlamm Trocknung und Gebäudebeheizung mit Gasbrenner.

Für die Berechnung der Kosten der Schlammbehandlung wurde eine möglichst weitgehende Schlammwässerung mit einer Kammerfilterpresse kalkuliert.

Für die jeweiligen Szenarien wurden Investitionsmaßnahmen ermittelt und die hieraus sich ergebenden Kosten nach baulichen und maschinentechnischen Anteilen aus den Kenngrößen wie Durchsatz (m³/h), elektr. Leistung (kW), Leitungslängen und Wassermengen abgeschätzt. Die Beschreibung der Szenarien beinhaltet nur die Erläuterungen zu Maßnahmen, die zusätzlich sind bzw. zuvor noch nicht erläutert wurden.

4.1.2 Szenarienunabhängige Maßnahmen und Investitionskosten („Ohnehinkosten“)

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

- a) Erneuerung der Rechenanlage mit einer Rechenhalle, 2 Feinrechen (3 mm Spaltweite) mit Rechengutwäscher und Rechengutpresse mit Containerverladung
- b) Schlammmentwässerung mit einer Kammerfilterpresse für kontinuierliche Schlamm-entwässerung, Kalkkonditionierer, Ladefahrzeug, Dekanterstahlhalle, Eindickersanierung, M + E-Technik, Schlamm lagerplatz, Einbindungen des Straßen-, Wege- und Grabenbaus
- c) Schlamm-trocknung des kommunalen Schlamm und des Schlammes aus Fallwasser), Umluft-trockner als Band-trockner 120-140°C mit Abgas-nutzung des BHKWs (Anlagenbemessung nach BAHRE und BEWERMEIER (2006), Hochrechnung der Kosten auf Basis der erforderlichen Verdampferleistung).
- d₁) Sanierung eines der beiden Faulbehälter (Kosten aus vergleichbaren Projekten in 2003 geschätzt)
- g) Errichtung eines Prozesswasserspeichers von rd. 200 m³ zum Ausgleich der Tageschwankungen des Prozesswassers mit Rührwerk und Niveaumessung

In der Tabelle 4.2 sind die Bruttoinvestitionskosten für die baulichen und maschinentechnischen Maßnahmen für die „Ohnehin“-Maßnahmen zusammengestellt.

Tabelle 4.2: Bruttoinvestitionskosten für „Ohnehin“-Maßnahmen

Bruttoinvestitionskosten, in allen Szenarios	baulich	maschinell	Summe
a) Erneuerung der Rechenanlage	92.000 €	127.000 €	219.000 €
b) Schlammmentwässerung mit Kammerfilterpresse	405.000 €	488.000 €	893.000 €
c) Schlamm-trocknung, komm. Schlamm und Schlamm aus Fallwasser	345.000 €	390.000 €	735.000 €
d ₁) Sanierung und Betrieb nur 1 Faulbehälter	0 €	360.000 €	360.000 €
g) Prozesswasserspeicher	96.000 €	30.000 €	126.000 €
Summe:	938.000 €	1.395.000 €	2.333.000 €

4.1.3 Maßnahmen und Investitionskosten Szenario 1

Zusätzlich zu den im Kapitel 4.1.2 beschriebenen Investitionsmaßnahmen sind folgende Erweiterungen erforderlich:

- e₁) Ergänzung der bestehenden BHKW-Anlage der Kläranlage Warburg um 1 BHKW mit 100 kW elektrischer Leistung
- f₁) Zuleitung Erdtransportwasser von der Zuckerfabrik zur kommunalen Kläranlage Warburg mit Pumpwerk

In der Tabelle 4.3 sind die Bruttoinvestitionskosten für bauliche und maschinentechnische Maßnahmen in Szenario 1 zusammengestellt.

Tabelle 4.3: Bruttoinvestitionskosten für die Variante 1 auf der Kläranlage Warburg und der Südzucker AG

Bruttoinvestitionskosten Variante 1	baulich	maschinell	Summe
a) Erneuerung der Rechenanlage	92.000 €	127.000 €	127.000 €
b) Schlammwässerung mit Kammerfilterpresse	698.000 €	841.000 €	841.000 €
c) Schlamm Trocknung, komm. Schlamm und Schlamm aus Fallwasser	594.000 €	673.000 €	673.000 €
d ₁) Sanierung und Betrieb nur 1 Faulbehälter	0 €	360.000 €	360.000 €
e) Ergänzung 1 BHKW 100 kW	44.000 €	192.000 €	192.000 €
f ₁) Zuleitung Erdtransportwasser KA + Pumpwerk	187.000 €	12.000 €	12.000 €
g) Prozesswasserspeicher	96.000 €	30.000 €	30.000 €
Summe:	1.711.000 €	2.235.000 €	2.235.000 €

4.1.4 Maßnahmen und Investitionskosten Szenario 2

Zusätzlich zu den im Kapitel 4.1.2 beschriebenen Investitionsmaßnahmen sowie Maßnahmen aus dem Szenario 1 sind folgende Erweiterungen sowohl für Szenario 2a wie auch für Szenario 2b erforderlich:

- e₂) Ergänzung der bestehenden BHKW-Anlage der Kläranlage Warburg um zwei BHKW elektrischer Leistung à 100 kW für den Kampagnebetrieb
- f₂) Ableitung des anaerob behandelten Abwasser sowie des Faulgases von der Zuckerfabrik bzw. der Anaerobanlage der Zuckerfabrik zur Kläranlage Warburg mit Pumpwerk

In der Tabelle 4.4 sind die Bruttoinvestitionskosten für bauliche und maschinentechnische Maßnahmen für das Szenario 2a „Gemeinsame Behandlung der Schlämme der Anaerobanlage Südzucker und der kommunalen Kläranlage“ zusammengestellt.

Tabelle 4.4: Bruttoinvestitionskosten für das Szenario 2a auf der Kläranlage Warburg und der Südzucker AG

Bruttoinvestitionskosten Szenario 2a	baulich	maschinell	Summe
a) Erneuerung der Rechenanlage	92.000 €	127.000 €	219.000 €
b) Schlammmentwässerung mit Kammerfilterpresse	878.000 €	1.058.000 €	1.936.000 €
c) Schlamm Trocknung, komm. Schlamm + aus Fallwasser	748.000 €	847.000 €	1.595.000 €
d ₁) Sanierung und Betrieb nur 1 Faulbehälter	0 €	360.000 €	360.000 €
e ₂) Ergänzung 2 BHKW 100 kW für Kampagne	88.000 €	384.000 €	472.000 €
f ₂) Ableitung Anaerobabwasser, Gas, von Zuckerrfabriks-KA+ Pumpwerk	161.000 €	36.000 €	197.000 €
g) Prozesswasserspeicher	96.000 €	30.000 €	126.000 €
Summe:	2.063.000 €	2.842.000 €	4.905.000 €
Bruttoinvestitionskosten Südzucker AG:			
A) Anaerobanlage Bau- und Betrieb	958.120 €	1.421.880 €	2.380.000 €
Details, s. Aufstellung oben	958.120 €	1.421.880 €	2.380.000 €

Für das Szenario 2b „Getrennte Behandlung und Entsorgung der Schlämme der Anaerobanlage Südzucker und kommunalen Kläranlage“ wird der anfallende Schlamm von der Südzucker AG selbst entsorgt. Hierdurch ändern sich die Bruttoinvestitionskosten der Erweiterungsmaßnahmen auf der Kläranlage, die in Tabelle 4.5 aufgeführt sind.

Tabelle 4.5: Bruttoinvestitionskosten für das Szenario 2b auf der Kläranlage Warburg und der Südzucker AG

Bruttoinvestitionskosten Szenario 2b ohne Schlamm der Südzucker AG	baulich	maschinell	Summe
a) Erneuerung der Rechenanlage	92.000 €	127.000 €	219.000 €
b) Schlammmentwässerung mit Kammerfilterpresse	659.000 €	795.000 €	1.454.000 €
c) Schlamm Trocknung, komm. Schlamm und Schlamm aus Fallwasser	561.000 €	636.000 €	1.197.000 €
d) Sanierung und Betrieb nur 1 Faulbehälter	0 €	360.000 €	360.000 €
e ₂) Ergänzung 2 BHKW 100 kW für Kampagne	88.000 €	384.000 €	472.000 €
f ₂) Ableitung Anaerobabwasser, Gas, von Zuckerrfabriks-KA+ Pumpwerk	161.000 €	36.000 €	197.000 €
g) Prozesswasserspeicher	96.000 €	30.000 €	126.000 €
Summe:	1.657.000 €	2.368.000 €	4.025.000 €
Bruttoinvestitionskosten Südzucker AG:			
A) Anaerobanlage Bau- und Betrieb	958.120 €	1.421.880 €	2.380.000 €
Details, s. Aufstellung oben	958.120 €	1.421.880 €	2.380.000 €

4.1.5 Maßnahmen und Investitionskosten Szenario 3a

Zusätzlich zu den im Kapitel 4.1.2 beschriebenen Investitionsmaßnahmen sind folgende Erweiterungen erforderlich:

- d₂) Sanierung und Betrieb der 2 Faulbehälter (je V = 1.400 m³) der Kläranlage Warburg
- e₁) Ergänzung der bestehenden BHKW-Anlage der Kläranlage Warburg um 1 BHKW mit 100 kW elektrischer Leistung
- f₁) Zuleitung Erdtransportwasser von der Zuckerfabrik zur Kläranlage Warburg mit Pumpwerk

In der Tabelle 4.6 sind die Bruttoinvestitionskosten für bauliche und maschinentechnische Maßnahmen zusammengestellt.

Tabelle 4.6: Bruttoinvestitionskosten für Szenario 3a auf der Kläranlage Warburg

Bruttoinvestitionskosten Szenario 3a	baulich	maschinell	Summe
a) Erneuerung der Rechenanlage	92.000 €	127.000 €	219.000 €
b) Schlammwässerung mit Kammerfilterpresse	665.000 €	801.000 €	1.466.000 €
c) Schlamm Trocknung, komm. Schlamm und Schlamm aus Fallwasser	566.000 €	641.000 €	1.207.000 €
d ₂) Sanierung und Betrieb 2 Faulbehälter	144.000 €	1.080.000 €	1.224.000 €
e ₁) Ergänzung 1 BHKW 100 kW	44.000 €	192.000 €	236.000 €
f ₁) Zuleitung Erdtransportwasser KA FB + Pumpwerk	187.000 €	12.000 €	199.000 €
g) Prozesswasserspeicher	96.000 €	30.000 €	126.000 €
Summe:	1.794.000 €	2.883.000 €	4.677.000 €

4.1.6 Maßnahmen und Investitionskosten Szenario 3b

Zusätzlich zu den im Kapitel 4.1.2 beschriebenen Investitionsmaßnahmen sind folgende Erweiterungen erforderlich:

- d₂) Sanierung und Betrieb der 2 Faulbehälter (je V = 1.400 m³) der Kläranlage Warburg
- d₄) Vakuumentgasungseinrichtung für die optimale Nutzung des Faulgasanfalls beim anaeroben Belebungsverfahren
- d₅) CO₂-Stripper, d.h. Bau eines rd. 175 m³ großen Strippreaktors mit Belüftungseinrichtung für den Lufteintrag
- d₆) Umbau der vorhandenen 2 Voreindicker von je 100 m³ zu Sedimentationsbecken mit Schlammabzug

- d₇) Verdünnungswasserpumpwerk für die Anaerobanlage der Kläranlage Warburg mit Rohrleitungen sowie Mischer für die optimale Einmischung
- e₂) Ergänzung der bestehenden BHKW-Anlage der Kläranlage Warburg um 2 BHKW à 100 kW elektrischer Leistung für die Kampagnezeit
- f₃) Ableitung Erdtransportwasser und Fallwasser (wärmegeämmte Rohrleitung) von der Zuckerfabrik zur Kläranlage Warburg
- h) Umbau eines vorhandenen Nachklärbeckens (NKB 3) als anaerobes Nachklärbecken zur Umsetzung des anaeroben Belebungsverfahrens

In der Tabelle 4.7 sind die Bruttoinvestitionskosten für bauliche und maschinentechnische Maßnahmen zusammengestellt.

Tabelle 4.7: Bruttoinvestitionskosten für Szenario 3b auf der Kläranlage Warburg

Bruttoinvestitionskosten Szenario 3b	baulich	maschinell	Summe
a) Erneuerung der Rechenanlage	92.000 €	127.000 €	219.000 €
b) Schlammwässerung mit Kammerfilterpresse	602.000 €	725.000 €	1.327.000 €
c) Schlamm Trocknung, komm. Schlamm und Schlamm aus Fallwasser	512.000 €	580.000 €	1.092.000 €
d ₂) Sanierung und Betrieb 2 Faulbehälter	144.000 €	1.080.000 €	1.224.000 €
d ₄) Vakuumentgasung	18.000 €	36.000 €	54.000 €
d ₅) CO ₂ -Stripper	63.000 €	63.000 €	126.000 €
d ₆) Voreindickerumbau	48.000 €	24.000 €	72.000 €
d ₇) Verdünnungswasserpumpwerk + Rohrleitungen + Mischer	18.000 €	78.000 €	96.000 €
e ₂) Ergänzung 2 BHKW mit je 100 kW	88.000 €	384.000 €	472.000 €
f ₃) Erdtransportwasserableitung von Südzucker zur KA gemeinsam mit dem Fallwasser	376.000 €	24.000 €	400.000 €
g) Prozesswasserspeicher	96.000 €	30.000 €	126.000 €
h ₁) Anaerob-NKB Umrüstung vorh. NKB3	35.000 €	72.000 €	107.000 €
Summe:	2.092.000 €	3.223.000 €	5.315.000 €

4.1.7 Maßnahmen und Investitionskosten Szenario 4

Die Belastung und Verfahrenstechnik in Szenario 4 ist, bis auf den Neubau eines Faulbehälters anstelle der Nutzung der zwei vorhandenen Faulbehälter und des Umbaus eines Faulbehälters zu einem anaeroben Nachklärbecken und Beibehaltung des dritten Nachklärbeckens (NKB3) für die Abwasserreinigung, identisch zu Szenario 3b.

Zusätzlich zu den im Kapitel 4.1.2 beschriebenen Investitionsmaßnahmen sind folgende Erweiterungen erforderlich:

- d₃) Umbau von einem der bestehenden Faulbehälter der Kläranlage Warburg zu einem Sedimentationsbecken und Abriss des zweiten Faulbehälters samt Neubau

- eines Faulbehälters mit 2.120 m³ in einer für Zuckerfabrikabwasser optimalen Bauform
- d₄) Vakuumentgasungseinrichtung für die optimale Nutzung des Faulgasanfalls beim anaeroben Belebungsverfahren
 - d₅) CO₂-Stripper, d.h. Bau eines rd. 175 m³ großen Strippreaktors mit Belüftungseinrichtung für den Lufteintrag
 - d₆) Voreindickerumbau der vorhandenen 2 Voreindicker von je 100 m³ zu Sedimentationsbecken mit Schlammabzug
 - d₇) Verdünnungswasserpumpwerk für die Anaerobanlage der Kläranlage Warburg mit Rohrleitungen sowie Mischer für die optimale Einmischung
 - e₂) Ergänzung der bestehenden BHKW-Anlage der Kläranlage Warburg um 2 BHKW (elektrische Leistung je 100 kW) für die Zeit der Kampagne
 - f₃) Ableitung Erdtransportwasser und Fallwasser (wärmegeämmte Rohrleitung) von der Zuckerfabrik zur Kläranlage Warburg
 - h) Umbau eines vorhandenen Faulbehälters als anaerobes Nachklärbecken zur Umsetzung des anaeroben Belebungsverfahrens

In der Tabelle 4.8 sind die Bruttoinvestitionskosten für bauliche und maschinentechnische Maßnahmen zusammengestellt.

Tabelle 4.8: Bruttoinvestitionskosten Szenario 4 auf der Kläranlage Warburg

Bruttoinvestitionskosten Szenario 4	baulich	maschinell	Summe
a) Erneuerung der Rechenanlage	92.000 €	127.000 €	219.000 €
b) Schlamm entwässerung mit Kammerfilterpresse	602.000 €	725.000 €	1.327.000 €
c) Schlamm trocknung, komm. Schlamm und Schlamm aus Fallwasser	512.000 €	580.000 €	1.092.000 €
d ₃) Neubau Anaerobreaktor, Abriss und Umbau Faulbehälter	1.392.000 €	816.000 €	2.208.000 €
d ₄) Vakuumentgasung	18.000 €	36.000 €	54.000 €
d ₅) CO ₂ -Stripper	63.000 €	63.000 €	126.000 €
d ₆) Voreindickerumbau	48.000 €	24.000 €	72.000 €
d ₇) Verdünnungswasserpumpwerk + Rohrleitungen+ Mischer	18.000 €	78.000 €	96.000 €
e ₂) Ergänzung 2 BHKW mit je 100 kW	88.000 €	384.000 €	472.000 €
f ₃) Erdtransportwasserableitung von Südzucker zur KA mit Fallwasser	376.000 €	24.000 €	400.000 €
g) Prozesswasserspeicher	96.000 €	30.000 €	126.000 €
h ₂) Anaerob-NKB Umrüstung vorh. Faulbehälter	35.000 €	72.000 €	107.000 €
Summe:	3.340.000 €	2.959.000 €	6.299.000 €

4.2 Ergebnis und Investitionskostenvergleich

Die Ergebnisse der Investitionskosten schätzung für die Szenarios 1 bis 4 sind in Tabelle 4.9 zusammengestellt.

Durch die deutlich erhöhten Schlammfrachten ergeben sich gegenüber der Nulllösung (derzeitiger Kläranlagenbetrieb ergänzt um Sanierungen und Schlamm entsorgung für den derzeitigen Schlamm anfall (vgl. Tabelle 4.2)) in allen Szenarien deutlich höhere Investitionskosten.

Bei Szenario 2a ergeben sich aufgrund der Anaerobanlage bei der Südzucker AG (2,38 Mio. €) und die Erweiterungsmaßnahmen im Bereich der Schlammbehandlung der Kläranlage die deutlich höchsten Investitionskosten. Für das Szenario 2b sind aufgrund der Schlamm entsorgung der Kalkschlämme durch die Südzucker AG die Investitionskosten deutlich geringer, da die Schlamm entwässerung der Kläranlage weniger Schlamm behandeln muss.

Tabelle 4.9: Zusammenstellung der Bruttoinvestitionskosten

	Kläranlage Warburg	Anaerobanlage Südzucker AG	Gesamtinvestition	Kostensteigerung 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 2a	4,91 Mio. €	2,38 Mio. €	7,29 Mio. €	185 %
Szenario 2b ^{*1)}	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 %

^{*1)} Die Investitionskosten des Szenarios 2b beinhalten die Kosten ohne den Schlamm der Anaerobanlage der Südzucker AG (d.h. Entsorgung dieses Schlamms durch die Südzucker AG weiterhin im Zachariasgrund)

4.3 Ermittlung der Jahreskosten für die Szenarien 1, 2, 3a, 3b und 4

Das Projektziel ist die "Identifizierung der aus gesamtwirtschaftlicher Sicht günstigsten Variante der zukünftigen Abwasserbehandlung". In diesem Zusammenhang ist eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung der Varianten erforderlich. Neben den o.a. Investitionskosten sind dafür auch die laufenden Kosten zu berücksichtigen. Alle Kosten werden als „Brutto“-Kosten ausgewiesen

4.3.1 Grundlagen und Annahmen zur Ermittlung der Jahreskosten

Als Wirtschaftlichkeitskriterium werden Jahreskosten [€/a] als Summe von Kapital- und Betriebskosten zu Grunde gelegt:

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

Zur Vergleichbarkeit der Berechnungen wurde allgemein ein kalkulatorischer Zinssatz von 5% und Abschreibungsdauern entsprechend der nachfolgenden Liste zu Grunde gelegt.

Abschreibungszeiträume:

Maschinentechnik	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 (IK) wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} \text{Annuität} &= \text{IK} \times \text{KFAKR} (i,n) \\ &= [i \cdot (1 + i)^n] / [(1 + i)^n - 1] \end{aligned}$$

In der vorgenannten Gleichung sind:

i = Zinssatz in %

n = wirtschaftliche Lebensdauer in Jahren

2. Betriebskosten

- a) Personal, Wartung
- b) Eigenverbrauch Strom
- c) Eigenverbrauch Wärme
- d) Reparaturen, baulich
- e) Reparaturen, Maschinen- und E-Technik
- f) Motoröl
- g) Polymere für Entwässerung
- h) Schlammmentsorgung
- i) Betriebswasser für Kühlung, etc
- j) Trinkwasser
- k) Versicherung, Sonstiges

Für (d) Reparaturen, baulich, (e) Reparaturen, Maschinen- und E-Technik sowie (k) Versicherung und Sonstiges wurden **in allen Szenarios keine Kosten** in Ansatz gebracht. Dies erfolgte, weil die Jahreskosten der Szenarios mit hohen Neuinvestitionen durch die Berechnung der prozentualen Anteile für Reparaturen und Versicherungen gegenüber den Szenarios mit hohen Nutzungen von Altanlageanteilen ungerechtfertigt wirtschaftlich benachteiligt würden. Tatsächlich fallen bei Neuinvestitionen geringere Reparaturkosten an als bei der Nutzung von vielen Altanlageanteilen.

Die Gewinne aus der Eigenstromerzeugung wurden getrennt ausgewiesen.

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 €/m ³
Flockungshilfsmittel	2.500 €/Mg
Motoröl	5.000 €/Mg
Klärschlammmentsorgung entwässert	52,50 €/Mg (20-25 % TS)
Klärschlammmentsorgung 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 BSB₅-Einwohnerwerten zu Grunde gelegt.

Für die Kalkulation der Schlamm Entsorgungskosten wurden die Jahresschlamm m enge n nach Tabelle 4.10 in Ansatz gebracht. Die Schlamm m enge n basieren auf der aus Vorklä rung und Beleb ung sowie direkt in den Faulbehälter geförderten Schlamm m enge nsum men abzüglich der durch die Gaserzeugung bei der Faulung reduzierten TS-Fracht (um ca. 30%).

Tabelle 4.10: Jahresschlamm m enge n aus den saisonal unterschiedlich anfallenden Schlamm m enge n für die Varianten

	TR	nach MSE	nach MSE	Trockner	Trockner
TR-Anteil:	100 %	25 %	35 %	70 %	95 %
Einheiten:	[Mg TR/a]	[Mg/a]	[Mg/a]	[Mg/a]	[Mg/a]
„Ohnehin“	445	1.779	1.270	635	468
Szenario 1	745	2.979	2.128	1.064	784
Szenario 2a	674	2.698	1.927	963	710
Szenario 2b ^{*1)}	610	2.441	1.743	872	642
Szenario 3a	694	2.776	1.983	992	731
Szenario 3b	649	2.597	1.855	927	683
Szenario 4	649	2.597	1.855	927	683
^{*1)} Die Schlamm m enge n der Variante 2b beinhalten nicht den Schlamm der Südzucker Anaerobanlage MSE = maschinelle Schlamm entwässerung					

Der Personalbedarf wurde in Anlehnung an ein Ermittlungsverfahrens der DWA (ATV, 1994; ATV, 1998) ermittelt und ergab sich für die einzelnen Varianten wie in der Tabelle 4.11 angegeben. Aufgrund der nicht optimalen Bedingungen der Faulbehälter im Szenario 3b wird hier ein erhöhter Personalbedarf gesehen. Für das Szenario 2 ist kalkuliert, dass für den Betrieb der Anlage bei der Südzucker AG ca. 0,5 Personen für den Betrieb der Anlage vorgesehen werden müssen.

Tabelle 4.11: Personalbedarf für die Kläranlage Warburg und die Südzucker AG in Abhängigkeit der Szenarien

	Kläranlage Warburg	Anaerobanlage Südzucker AG
IST-Zustand	4	0
Szenario 1	4	0
Szenario 2	4	0,5
Szenario 3a	4	0
Szenario 3b	5	0
Szenario 4	4	0

4.3.2 Vergleich der Jahreskosten

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 4.12: Zusammenstellung der Jahreskosten abzüglich der Stromerlöse

Szenario	Jahreskosten					Strom/ Wärme	Jahreskosten gesamt (netto)	Prozentuale Abweichungen zu S 1
	Kapitalkosten	Betriebskosten	Südzucker)		Jahreskosten gesamt (brutto)	Erlöse, kommunal		
			Kapitalkosten	Betriebskosten				
[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 2a	394.000	451.413	192.800	44.450	1.082.663	-223.700	858.963	+ 13
S 2b ^{**1)}	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

^{**1)} 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

Aus Tabelle 4.12 ist abzulesen, dass je nach Szenario die Jahreskosten für die „Ohnehin“-Maßnahmen ca. 60 bis 47 % der Gesamt-Jahreskosten ausmachen.

Im Ergebnis ist die Variante 4 trotz hoher Investitionskosten die wirtschaftlichste Lösung, da sie die niedrigsten Betriebskosten aufweist und gleichzeitig einen sicheren Betrieb des Faulbehälters gewährleistet.

Die Lösung einer getrennten Abwasserbehandlung gemäß Szenario 2b, d.h. anaerobe Behandlung des Erdtransportwassers durch die Südzucker AG und Schlammmentsorgung durch die Südzucker AG sowie Mitbehandlung des Fallwassers in der kommunalen Kläranlage, erscheint aufgrund der im Vergleich günstigen Investitionskosten aber eher höheren Betriebskosten im Vergleich zu Szenario 3b und 4 ökonomisch weniger vorteilhaft. Für den Anlagenbetrieb ist jedoch festzuhalten, dass dieses Szenario 2b die höchste Betriebssicherheit und Flexibilität aufweist.

Die Szenarien 1, 2a, und 3a sind aufgrund hoher Investitionskosten bzw. Jahreskosten nicht zu empfehlen. Sie zeigen bis auf das Szenario 2a auch betriebliche (Szenario 3a) und ökologische (Szenario 1) Schwächen.

5 Diskussion der Szenarien

Für die Diskussion des wirtschaftlich sinnvollsten Szenarios müssen die wesentlichen Vor- und Nachteile der Szenarien gegenübergestellt werden. Von besonderer Bedeutung sind neben den ökonomischen auch die ökologischen und betriebstechnischen Aspekte. 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 wesentlichen Vor- und Nachteile der einzelnen Szenarien können wie folgt zusammengefasst werden:

Szenario 1

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> • niedrigste Investitionskosten • einfache Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Geruchsprobleme im Bereich der Stapelteiche • hohe Aufwendungen für die Belüftung des Abwassers (aerober Kohlenstoffabbau) • hohe Betriebskosten für die Abwasserbehandlung • vorhandene Anlagenkapazitäten der Kläranlage Warburg im Schlammbereich werden nicht genutzt

Für das Szenario 2 wird eine Unterteilung in 2a und 2b nicht mehr durchgeführt, da sie bis auf die Art der Schlammensorgung durch die Südzucker AG identisch sind, was bereits ökonomisch bewertet wurde, und hier im wesentlichen betriebliche Aspekte diskutiert werden.

Szenario 2

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> • klare Lösung und Zuständigkeiten, da zwei Anlagen • optimaler Betrieb des Methanreaktors für das Industrieabwasser • baulich optimale Anlagentechnik möglich sowohl auf der Kläranlage Warburg als auch bei der Südzucker AG • weitgehende Biogaserzeugung durch anaerobe Vergärung des gesamten Erdtransportwassers • einfache Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen • erprobtes Verfahren mit keinerlei Risiken 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung der Anlage der Südzucker AG nur temporär • hohe Betriebskosten in Szenario 2a • sehr hohe Investitionskosten, da zwei Anlagen saniert bzw. gebaut werden müssen • vorhandene Anlagenkapazitäten der Kläranlage Warburg im Schlammbereich werden nicht genutzt

Für das Szenario 3a, bei dem ein Teilstrom des Erdtransportwassers mitbehandelt wird, lassen sich die folgenden Vor- und Nachteile identifizieren

Szenario 3a

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> • vorhandene freie Anlagenkapazitäten der Kläranlage Warburg im Schlammbereich werden genutzt • geringe Investitionskosten, da auf vorhandene Anlagenkapazität zurückgegriffen werden kann • einfache Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen • Biogaserzeugung durch anaerobe Vergärung von kleineren Anteilen des Erdtransportwassers (ca. 12 %) gemeinsam mit dem kommunalen Klärschlamm 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Betriebskosten im Vergleich zu Szenario 1, 2a/b, 3b und 4 • ein optimaler Faulanlagenbetrieb ist nicht gegeben (Kalkausfällungen möglich) • baulich optimale Anlagentechnik ist nicht vorhanden • Geruchsprobleme im Bereich der Stapelteiche durch Zwischenspeicherung • keine großtechnischen Erfahrungen bei gemeinsamer anaerober Abwasser- und Schlammbehandlung (Schlammeigenschaften, Stabilisierungsgrad, Entwässerbarkeit)

Für das Szenario 3b, bei dem das Erdtransportwasser nahezu vollständig mitbehandelt wird, lassen sich die folgenden Vor- und Nachteile identifizieren:

Szenario 3 b

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> • vorhandene freie Anlagenkapazitäten der Kläranlage Warburg im Schlamm-bereich werden genutzt • optimale Bedingungen zur Wartung der zwei Faulbehälter, da außerhalb der Kampagne ein Faulbehälter für Wartungsarbeiten außer Betrieb genommen werden kann, während der zweite Reaktor allein die Schlammstabilisierung der Kläranlage Warburg aufrechterhält • weitgehende Biogaserzeugung durch anaerobe Vergärung des gesamten Erdtransportwassers gemeinsam mit dem kommunalen Klärschlamm • einfache Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen • geringe Investitionskosten, im Vergleich zu Szenario 2 und 4 da auf vorhandene Anlagenkapazität zurückgegriffen werden kann • keine Geruchsprobleme im Bereich der Stapelteiche 	<ul style="list-style-type: none"> • durch den Einsatz eines Nachklärbeckens der Abwasserbehandlung als anaerobes Nachklärbecken im Schlamm-bereich wird die Anlagenreserve der Abwasserreinigung reduziert ohne Beeinträchtigung der Reinigungsleistung • Erfahrungen mit den geplanten Umwälzeinrichtungen in den Faulbehältern, die mit einem Gemisch aus kommunalem Schlamm und Abwasser aus der Zuckerrübenverarbeitung (Problem hohe Kalkkonzentrationen) beschickt werden, liegen nicht vor. Daher ist zur Erfassung der Problematik der Kalkausfällungen in einem Reaktor mit der Bauform eines klassischen Faulraumreaktors ein großtechnischer Versuchsbetrieb mit den Faulbehältern erforderlich. • baulich optimale Anlagentechnik ist nicht vorhanden • keine großtechnischen Erfahrungen bei gemeinsamer anaerober Abwasser- und Schlammbehandlung (Schlammeigenschaften, Stabilisierungsgrad, Entwässerbarkeit)

Für das Szenario 4, bei dem das Erdtransportwasser nahezu vollständig mitbehandelt wird und das von seiner Belastung der Aufbereitungsanlagen her identisch zum Szenario 3b ist, lassen sich die folgenden Vor- und Nachteile identifizieren:

Szenario 4

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> • vorhandene nicht optimale Anlagentechnik des Faulbehälters wird ersetzt • durch den Einsatz eines Faulbehälters als anaerobes Nachklärbecken im Schlammbereich wird die Anlagenreserve bei der Abwasserreinigung erhalten, so dass bei Wartungen am Faulbehälter der anfallende Überschussschlamm simultan aerob stabilisiert werden kann • freie Anlagenkapazitäten der Kläranlage Warburg im Schlammbereich werden teilweise genutzt (Eindicker, ein Faulbehälter als Nachklärbecken) • geringere Jahreskosten im Vergleich zu Szenario 1 bzw. 2a/b und 3a und 3b, da aufgrund der optimalen Beckenformen weniger Personal benötigt wird • weitgehende Biogaserzeugung durch anaerobe Vergärung des gesamten Erdtransportwassers • einfache Erweiterungsmaßnahmen im Vergleich zu Szenario 3b, da in nicht so großem Umfang im Bestand gebaut werden muss (weniger Provisorien während des Umbaus) • keine Geruchsprobleme im Bereich der Stapelteiche • baulich optimale Anlagentechnik ist vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> • höhere Investitionskosten, da nur auf wenige vorhandene Anlagenkapazität zurückgegriffen werden kann • optimale Bedingungen zur Wartung des einen neuen Faulbehälters sind nicht gegeben, da außerhalb der Kampagne der Faulbehälter außer Betrieb genommen wird, hierdurch kein Biogas anfällt und der Schlamm aerob stabilisiert werden muss, was die biologische Stufe an den Rand der Leistungsfähigkeit und zu höheren Betriebskosten führt • keine großtechnischen Erfahrungen bei gemeinsamer anaerober Abwasser- und Schlammbehandlung (Schlammeigenschaften, Stabilisierungsgrad, Entwässerbarkeit)

Der Vergleich der Vor- und Nachteile der einzelnen Szenarien zeigt, dass aus ökologischen Gründen das Szenario 1 ausscheiden muss, da hier energetisches Potential nicht genutzt wird.

Das Szenario 3a scheidet aufgrund einer geringeren Biogasproduktion im Vergleich zum Szenario 3b und Szenario 4 aus.

Das Szenario 2 ist hinsichtlich der Betriebssicherheit und ökologischer Aspekte als sehr gut zu bewerten. Das Szenario 2a kommt jedoch aus ökonomischen Gründen nicht in Betracht, da es die teuerste Lösung darstellt. Das Szenario 2b stellt aufgrund der Investitionskosten und der hohen Betriebssicherheit ein Konzept der Wahl dar.

Die Szenarien 3b und 4 sind von der Anlagenbelastung und Verfahrenstechnik her identisch. Die wesentlichen Unterschiede liegen in der Anzahl und im Betrieb der Faulraumanlagen (Art der Umwälzung der bestehenden zwei Faulbehälter (Szenario 3b) und Betrieb eines Faulbehälters (Szenario 4)), der Wegnahme von Anlagereserven im Bereich der Nachklärung des Belebungsbeckens (Umbau von Nachklärbecken 3 zu einem anaeroben Nachklärbecken (Szenario 3b)) und der Wartung der Faulbehälter (wechselseitiger Betrieb der Faulbehälter im Wartungsfall bei Szenario 3b oder durch Einsatz der aeroben simultanen Schlammstabilisierung bei der Abwasserreinigung bei Szenario 4).

Im Szenario 3b ist der Aspekt der Wartung der Faulbehälter optimal gelöst. Nach Auffassung der Autoren ist der Betrieb der Faulbehälter mit den Hochleistungsmischern möglich, muss aber in einem großtechnischen Versuch während einer Rübenkampagne erprobt werden, was zu zusätzlichen Kosten führen kann.

Das Szenario 4 ist nachteilig gegenüber dem Szenario 3b aufgrund des einen Faulbehälters und den Problemen bei der Außerbetriebnahme, des Verlustes des Biogases und den höheren Kosten für eine simultane aerobe Schlammstabilisierung während der Wartungsarbeiten. Vorteilhaft gegenüber dem Szenario 3b ist die technisch optimale Ausgestaltung des Faulbehälters. Dieses Szenario 4 stellt aus betriebstechnischer Sicht neben dem Szenario 2b das Konzept der Wahl dar. Es weist die geringsten Jahreskosten und eine ausreichende Betriebssicherheit auf.

6 Weitere Optionen

6.1 Erhalt der Betriebssicherheit der Faulung bei Revisionen und Beibehaltung der Leistungsreserven im Bereich der biologischen Abwasserreinigung

Aufgrund der Bewertung der Szenarien 3b und 4 können beim Szenario 4 statt einem zwei neue Faulbehälter errichtet werden, die baulich optimal für die anaerobe Behandlung des industriellen Abwassers geeignet sind. Hierdurch kann zu Wartungszwecken ein Faulreaktor immer außer Betrieb genommen werden, während der zweite Reaktor die anaerobe Schlammstabilisierung des kommunalen Klärschlammes sichert. Gleichzeitig würde hierdurch die Leistungsreserve der Nachklärstufe der biologischen Abwasserbehandlung bestehen bleiben.

Diese Erhöhung der Betriebssicherheit würde zu weiteren Investitionskosten in Höhe von ca. 400.000 € (6 % Mehrkosten) entsprechend 31.000 €/a Jahreskosten (4 % Mehrkosten) für das Szenario 4 führen. Somit ergeben sich für das Szenario 4 eine Gesamtinvestitionssumme von ca. 6,7 Mio. € und Jahreskosten in Höhe von ca. 743.000 €/a. Mit dieser Anlagenkonfiguration ist ein ganzjähriger Faulbetrieb und die Nutzung von Co-Substraten während der Kampagne freien Zeit möglich.

Die Beibehaltung der Leistungsreserven im Bereich der Nachklärung im Szenario 3b kann durch den Neubau eines anaeroben Nachklärbeckens erfolgen. Hierzu wird ein Volumen von 1.015 m³ mit einem Durchmesser von 18 m (Oberfläche von 250 m²) angesetzt. Die Investitionskosten würden sich auf ca. 571.000 € brutto belaufen. Das Szenario verteuert sich dadurch um den Differenzbetrag, der für die Sanierung des dritten Nachklärbeckens vorgesehen war, und die Herstellungskosten für ein neues Becken um 464.000 € auf 5,78 Mio. € (8 % Mehrkosten). Die Jahreskosten steigen um ca. 4 % von 713.057 €/a auf 742.757 €/a. Hierdurch würden etwaige Risiken beim Bau und Betrieb des „ehemaligen Nachklärbeckens“ als Schlammseparationsbecken vermieden werden.

Aufgrund der geringen Mehrkosten und der höheren Betriebssicherheit der Kläranlage sowohl für den Bau eines zweiten Faulbehälters im Szenario 4 (Erhalt der Betriebssicherheit der Faulung bei Revisionen) als auch für den Bau eines neuen anaeroben Nachklärbeckens im Szenario 3b (Beibehaltung der Leistungsreserven im Bereich der biologischen Abwasserreinigung) sind diese zusätzlichen Optionen bei Umsetzung eines der Szenarien im Rahmen einer Detailplanung unbedingt genauer zu untersuchen. Aus Tabelle 4.12 ist beim Vergleich der erhöhten Jahreskosten für die Szenarien 3b und 4 zu erkennen, dass diese in etwa den Jahreskosten des Szenarios 2b entsprechen.

6.2 Co-Fermentation

Die Faulungsanlage der Kläranlage Warburg weist auch bei Mitbehandlung des Erdtransportwassers der Südzucker AG Leistungsreserven auf, die sowohl während der Kampagne durch zusätzliche Substrate, die möglichst kalkfrei und einen hohen Wasseranteil aufweisen, als auch insbesondere in der Kampagne freien Zeit durch die Zugabe von Co-Substraten gemäß der Tabelle 6.1 aufgefüllt werden könnten. Hierdurch kann die Stromproduktion und der Betrieb der BHKWs optimiert werden. Auf die Schlamm-trocknung muss dann gegebenenfalls verzichtet werden.

Als Co-Substrate sollten nur Stoffe gemäß der Positiv-Liste des Landes NRW Tabelle 6.1 eingesetzt werden.

Tabelle 6.1: Positivliste für biogene Abfälle, die ohne Einzelnachweis grundsätzlich für eine Mitbehandlung in Faulbehältern geeignet sind (MUNLV NRW, 2001)

Positivliste der verwertbaren Abfallarten ¹	Ergänzende Hinweise (Der Abfallherkunftsbereich ist bedarfsweise jeweils am Anfang in Klammern angegeben)	Abfall-Schlüssel, in dem diese Abfälle zusammen mit anderen Abfällen enthalten sind
<ul style="list-style-type: none"> • Rückstände aus <ul style="list-style-type: none"> ○ Maisstärkeherstellung ○ Kartoffelstärkeherstellung • Melasserückstände • Schlamm aus der Speisefertfabrikation • Stärkeschlamm 	(Nahrungsmittelverarbeitung, Abfälle aus der Zubereitung und Verarbeitung von Obst, Gemüse, Getreide, Speiseölen und Konservenherstellung) Verwertung nur, soweit Bestimmungen des Tierkörperbeseitigungs- oder Tierseuchengesetzes ² dem nicht entgegenstehen	Für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Abfälle (02 03 04)
<ul style="list-style-type: none"> • Überlagerte Nahrungsmittel aus der Milchverarbeitung • Molke 	Verwertung nur, soweit Bestimmungen des Tierkörperbeseitigungs- oder Tierseuchengesetzes ² dem nicht entgegenstehen	Für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe (02 05 01)
<ul style="list-style-type: none"> • Überlagerte Nahrungsmittel aus der Back- und Süßwarenherstellung • Teigabfälle 	Verwertung nur, soweit Bestimmungen des Tierkörperbeseitigungs- oder Tierseuchengesetzes ² dem nicht entgegenstehen	Für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe (02 06 01)
<ul style="list-style-type: none"> • Obst-, Getreide, und Kartoffelschlempen • Schlamm aus Brennereien (Alkoholbrennerei) 	(alkoholische und alkoholfreie Getränkeherstellung)	Abfälle aus der Alkoholdestillation (02 07 02)
<ul style="list-style-type: none"> • Malztreber, Malzkeime, Malzstaub • Hopfentreber • Trub und Schlamm aus Brauereien • Schlamm aus Weinbereitung • Hefe und hefeähnliche Rückstände 	(alkoholische und alkoholfreie Getränkeherstellung)	Für Verzehr oder Verarbeitung ungeeignete Stoffe (02 07 04)

Positivliste der verwertbaren Abfallarten ¹	Ergänzende Hinweise (Der Abfallherkunftsbereich ist bedarfsweise jeweils am Anfang in Klammern angegeben)	Abfall-Schlüssel, in dem diese Abfälle zusammen mit anderen Abfällen enthalten sind
<ul style="list-style-type: none"> • Marktabfälle 	Für Verwertung ist nur getrennt erfasste, biologisch abbaubare Fraktion geeignet. Verwertung nur, soweit Bestimmungen des Tierkörperbeseitigungs- oder Tierseuchengesetzes ² dem nicht entgegenstehen	Marktabfälle (20 03 02)
¹ Abfallarten nach Abfallartenkatalog der Ländergemeinschaft Abfall von 1990 ² sowie hierzu erlassene Rechtsverordnungen, siehe hierzu Kapitel 3.2 im Merkblatt (MUNLV NRW, 2001)		

6.3 Faulgasnutzung als „Bio-Erdgas“

Neben der direkten Nutzung des Faulgases zur Wärme- und Stromerzeugung auf einer kommunalen Kläranlage kann auch eine Einspeisung des überschüssigen Gases in ein Erdgasnetz erwogen werden, da das sich durch Gasreinigung und Druckwechseladsorption (CO₂-Elimination) aus dem Faulgas ergebende Produktgas (> 95% Methan) sowohl vom Heizwert als auch dem Wobbe-Index dem LO-Gas sehr ähnlich sein kann. Ein entsprechender leistungsstarker Erdgasanschluss auf der Kläranlage Warburg müsste erstellt werden. Je nach Szenario fallen ca. 500 bis 5.400 m³/d Faulgas mit saisonal hohen Schwankungen an. Die kleinste am Markt verfügbare Druckwechseladsorptionsanlage (DWA) hat einen Mindestdurchsatz von 2.400 m³/d, was einen Einsatz generell bei den Szenarien 2, 3b und 4 ermöglichen würde.

Die Investitionskosten für eine derartige Anlage liegen bei ca. 850.000 € (brutto). Aus 1 m³ Faulgas können 0,6 m³ Erdgas LO gewonnen werden. Für diese drei Szenarien bedeutet dies bei einer Einspeisung von rd. 450.000 m³/a Faulgas (entsprechend 270.000 m³/a Erdgas) und einem Verkaufspreis von ca. 0,04 €/kWh = 0,40 €/m³ Erdgas LO ein theoretisch maximaler Erlös von 108.000 €/a.

Dieser Erlös wird durch den Abzug der Kapital- und Betriebskosten der Druckwechseladsorptionsanlage, d.h. rd. 85.000 €/a Kapitalkosten und rd. 20.000 €/a Betriebskosten nahezu Null.

Die mögliche Erdgaseinspeisung wurde unter Berücksichtigung der o.a. DWA-Kapazität und dem geringeren Gasanfall außerhalb der Saison wie folgt kalkuliert:

$$125 \text{ d} \times 2.400 \text{ m}^3/\text{d} + 240 \text{ d} \times 636 \text{ m}^3/\text{d} = \text{rd. } 450.000 \text{ m}^3/\text{a}.$$

Wegen der fehlenden Wärmeversorgung der Faulung (das Faulgas wird ins Erdgasnetz eingespeist), müsste eine andere Wärmeversorgung, z.B. die Wärmerückgewinnung aus dem Ablauf des Faulreaktors, Erdgas-BHKW, Heizung mit Erdgas oder Öl bzw. Wärmepumpe aus Kläranlagen-Ablaufwasser eingesetzt werden.

Den Ablauf des Faulschlammes aus den Faulbehältern mit 35 bis 37°C hat bereits im vorigen Jahrhundert der Ruhrverband mit Erfolg an der Kläranlage Duisburg Kaßlerfeld (siehe Bild 6.1) zur Wärmerückgewinnung genutzt.

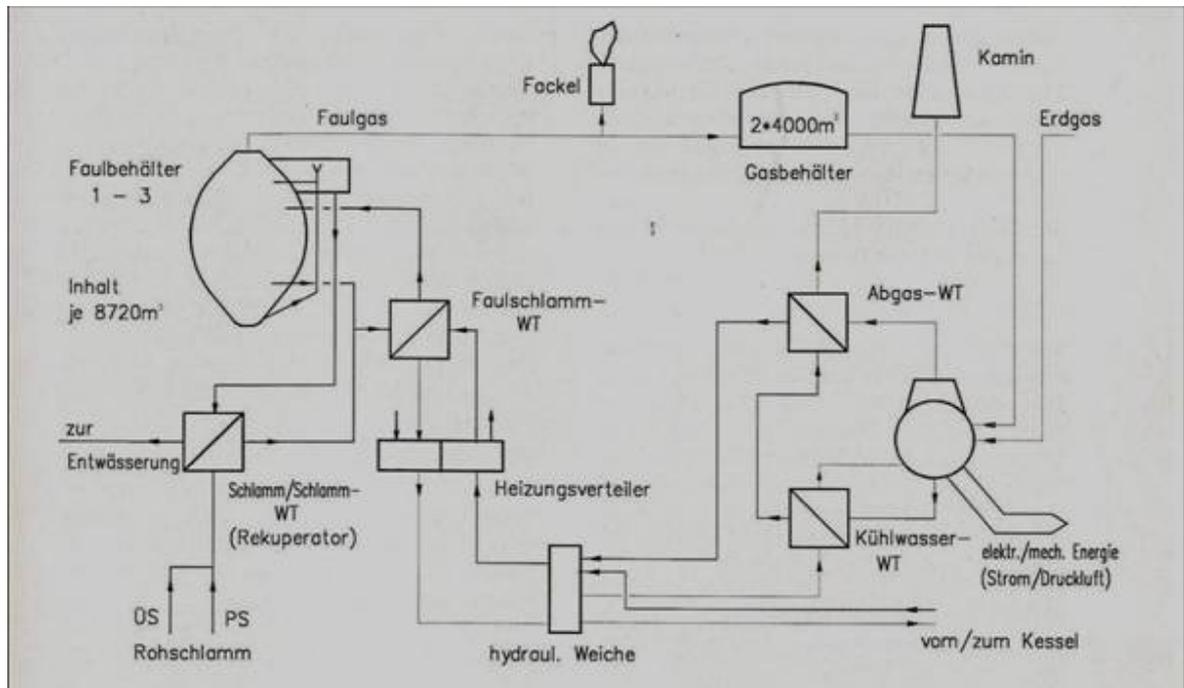


Bild 6.1: Energierückgewinnung mit Schlamm-Wärmetauscher (Rekuperator) am Klärwerk Duisburg Kaßlerfeld des Ruhrverbandes (ATV-Handbuch, Klärschlamm, 1996, Seite 201)

Dazu ist ein Schlamm-/ Schlamm-Wärmetauscher (Rekuperator) erforderlich. Die zurückgewinnbare Wärme aus dem Schlamm ist begrenzt und kann keinesfalls den gesamten Wärmebedarf einer Kläranlage decken. Aus einer Temperaturverringerung des Ablaufschlammes um 5°C könnte eine Wärmemenge von 5,8 kWh/m³ Schlamm zurück gewonnen werden, die zur Aufheizung des Rohschlammes um rd. 5°C eingesetzt werden kann.

Die Kosten für einen derartigen Rekuperator sind stark von den erforderlichen Rohrleitungen für eine derartige Anbindung des Rohschlammes mit der Ablaufschlammleitung abhängig.

Da die Ausführungen zur Einspeisung des Biogases in ein Erdgasnetz gezeigt haben, dass bei nur saisonaler Nutzung die installierte Gasaufbereitungskapazität nicht gewinnbringend eingesetzt werden kann, ist für die Kläranlage Warburg von einer derartigen Faulgasnutzung abzuraten.

7 Resümee und Handlungsempfehlungen

Die Untersuchung der einzelnen Szenarien hat ergeben, dass aus ökonomischen und betrieblichen sowie innovativen Aspekten die nachfolgend in Tabelle 7.1 aufgeführten Szenarien für eine Umsetzung generell in Frage kommen.

Tabelle 7.1: 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	1	3
S 3b	5,32	1	713.057	1	gut*	3	1
S 3b erweitert	5,78	2	742.757	2	gut*	3	1
S 4	6,30	3	711.857	1	sehr gut	2	1
S 4 erweitert	6,70	4	742.857	2	optimal	1	2

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

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

Das Szenario 2b weist die höchste Betriebssicherheit und die meisten Betriebserfahrungen auf. Aufgrund der Maßnahmen zur Kalkabscheidung sind 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 des anaeroben Belebungsverfahrens in den Bereich der Behandlung von temporär anfallendem Erdtransportwasser der Zuckerindustrie gemeinsam mit kommunalem Klärschlamm stellt einen hohen Innovationsgrad dar. Kritisch zu sehen ist die Umwälzung des Gemisches Erdtransportwasser und Klärschlamm und eine gegebenenfalls erforderliche Entleerung im Wartungsfall bei einem konventionellen Faulbehälter mit Trichterspitzze bei 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 ebenerdigem Zugang für Wartungszwecke wie in Szenario 4 betriebstechnisch besser. Risiken bergen diese beiden Szenarien 3b und 4, weil es keinerlei großtechnische Erfahrungen bei der gemeinsamen Behandlung von Zuckerfabriksabwasser und kommunalem Faulschlamm vorliegen. Inwieweit die anaerobe Stabilisierung des Klärschlammes mittels des anaeroben Belebungsverfahrens und die damit zu erfolgende Entkopplung der Verweilzeit von Abwasser und Schlamm gelingt, kann nicht gesichert gesagt werden. Sollte der Klärschlamm nicht stabilisiert sein, so wird sich dies ggf. negativ auf die nachfolgende Schlammmentwässerung auswirken. Hier wirkt sich jedoch der Kalkgehalt im zu entwässernden Schlamm wiederum positiv aus, so dass sich diese beiden Effekte gegebenenfalls aufheben.

Ein weiteres Risiko verbirgt sich in der erforderlichen Verdünnung des Erdtransportwassers und Klärschlammes mit gereinigtem Abwasser aus, wie es in dem Szenario 3b erforderlich ist, um massive Kalkausfällungen in den vorhandenen Faulbehältern zu verhindern, die für deren Handhabung nicht konzipiert sind.

Als weiterer positiver Aspekt ist zu berücksichtigen, 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.

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 Erdtransportwasserbehandlung.

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 den Vorteil einer effizienten Nutzung der vorhandenen Anlagenaggregate. Das Szenario 3b wird daher zur Umsetzung empfohlen.

8 Literatur

- ATV (1990): *Abwasser aus Zuckerfabriken*. Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 7.2.3 „Zuckerindustrie“, Korrespondenz Abwasser, 37 (1990) H. 3, S. 285-289
- ATV (1996): *ATV-Handbuch Klärschlamm*, 4. Auflage, (1996), Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin
- ATV (1996): *Personalbedarf für den betrieb kommunaler Kläranlagen*. Arbeitsbericht des ATV-Fachausschusses 2.12 „Betrieb von Kläranlagen“, Korrespondenz Abwasser, 41 (1996), H. 6, S 973-982
- ATV (1998): *Personalbedarf für den Betrieb kommunaler Kläranlagen*, Merkblatt ATV-271. DWA. Hennef, 1998
- AUSTERMANN-HAUN, U. (2002): *Water purification with anaerobic techniques in the sugar-industry*. Al-Baath University, Homs, Syria, 17.03.2002
- 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
- BALKWITZ, W.-J.; FISCHER, P. (1991): *Anaerobe Abwasserbehandlung mit integrierter Nitrifikation/ Denitrifikation in der Zuckerfabrik Jülich*. Zuckerindustrie, 116 (1991) 3, S. 185-188
- BISCHOFBERGER, W.; DICHTL, N.; ROSENWINKEL, K.-H.; SEYFRIED, C.F.; BÖHNKE, B. (2005): *Anaerobtechnik*. 2. vollständig überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- DWA (2007): *Abwasser aus der Zuckerindustrie*. Merkblatt DWA-M 713, DWA-Arbeitsgruppe IG 2.3 „Zuckerindustrie“
- IMHOFF, K. IMHOFF K. (2007): *Taschenbuch der Städtewässerung*, 30. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag 2007
- JÖRDENING, H.-J. (2000): *Zuckerfabriken*. In: *ATV-Handbuch Industrieabwasser – Lebensmittelindustrie*, Hrsg.: Abwassertechnische Vereinigung e.V., 4. Auflage 2000, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, ISBN 343301467-1
- 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

SVARDAL, K. (1991): *Anaerobe Abwasserreinigung – ein Modell zur Berechnung und Darstellung der maßgebenden chemischen Parameter*. Wiener Mitteilungen Wasser Abwasser Gewässer, Band 95. Hrsg.: Kroiss, H., Technische Universität Wien

9 Anhang

Jahreskostenberechnung der „Ohnehin“-Maßnahmen

Bruttoinvestitionskosten

Bezeichnung	Bau	Maschinen	Zusammen
Summen, Brutto, mit Honoraren	938.000 €	1.395.000 €	2.333.000 €
	täglich TR	Jährlich BB	jährlich aus FB
Schlammmenge	2.070 kg/d	635 t/a	445 t/a
Gasanfall:	459 m³N/d	2.940 kWh/d (primär)	40 kW elekt. Leistung erf.
Gasnutzung:	459 m³N/d	2.940 kWh/d	100 kW elekt. Leistung vorh.
Elektrische Energie:	eigenerzeugt	970 kWh/d Strom	354 MWh/a

Jahreskostenberechnung:

1. Kapitalkosten

Annuität Bauten:	Abschr+Zins	40,0 Jahre	5,00%	54.700 €/a
Annuität Maschinen:	Abschr+Zins	15,0 Jahre	5,00%	134.400 €/a
Kapitalkosten, gesamt:				189.100 €/a

2. Betriebskosten

Personal, Wartung:			3 Pers.	145.500 €/a	
Eigenverbrauch Strom:	826 MWh/a		120,0 €/MWh	99.100 €/a	
Eigenverbrauch Wärme:	1.260 MWh/a		50,0 €/MWh	63.000 €/a	
Reparaturen, baulich:			0,0%	0 €/a	
Reparaturen, Maschinen- und E-Technik:			0,0%	0 €/a	
Motoröl:	0,3 kg / MWh _{el}	0,10 t/a	5.000 €/t	1.000 €/a	
Polymere für Eindickung:		2 t/a	2.500 €/t	4.447 €/a	4,00 kg/tTR
Schlammentsorgung		445 t/a	0,0 €/t	0 €/a	
Betriebswasser für Kühlung, etc:		6.000 m³/a	0,25 €/m³	1.500 €/a	
Trinkwasser:		4.000 m³/a	1,50 €/m³	6.000 €/a	
Versicherung, Sonstiges, nur Masch.:			0%	0 €/a	
Summe Betriebskosten:				320.547 €/a	

Summe Jahreskosten = Kapital- und Betriebskosten: 509.647 €/a

Ertragsberechnung:

Bezeichnungen		Massen	spez. Werte	Erträge
1. Faulgasanfall / -nutzung:	Primärenergie	1.073 MWh/a		
	Strom	336 MWh/a	120,0 €/MWh	40.400 €/a
	erzeugte Wärme	502 MWh/a	50,0 €/MWh	(25.100 €/a)
	davon nutzbar	502 MWh/a	50,0 €/MWh	25.100 €/a

Gesamterlös Faulgasnutzung, keine Schlammabeseitigungskosten 65.500 €/a

Jahreskosten abzüglich Jahresertrag: **444.147 €/a**

Jahreskostenanteil des Szenarios 2a, 2b für die Südzucker AG

Bruttoinvestitionskosten

Bezeichnung	Bau	Maschinen	Zusammen
Summen, Brutto, mit Honoraren	958.120 €	1.421.880 €	2.380.000 €

bei Südzucker zus.

	täglich	Jährlich BB	jährlich aus FB
Schlammmenge KA	2.388 kg/d	871 tTR/a	610 tTR/a

Gasanfall, KA: zur kom. KA (primär) 0 kW elekt. Leistung erf.

Elektrische Energie: eigenerzeugt 0 kWh/d Strom 0 MWh/a

Anmerkungen: Gasnutzungs- und Schlammentsorgungskosten sind der KA Warburg zugerechnet

Jahreskostenberechnung:

1. Kapitalkosten

Annuität Bauten:	Abschr+Zins	40,0 Jahre	5,00%	55.800 €/a
Annuität Maschinen:	Abschr+Zins	15,0 Jahre	5,00%	137.000 €/a
Kapitalkosten, gesamt:				192.800 €/a

2. Betriebskosten

Personal, Wartung:			0,5 Pers.	24.250 €/a
Eigenverbrauch Strom:	89 MWh/a		120,0 €/MWh	10.700 €/a
Eigenverbrauch Wärme:	70 MWh/a		50,0 €/MWh	3.500 €/a
Reparaturen, baulich:			0,0%	0 €/a
Reparaturen, Maschinen- und E-Technik:			0,0%	0 €/a
Motoröl:	0,3 kg / Mwh _{el}	0,00 t/a	5.000 €/t	0 €/a
Polymere für Eindickung:		0 t/a	2.500 €/t	0 €/a
Schlammentsorgung		1.286 t/a	5,5 €/t	7.072 €/a
Betriebswasser für Kühlung, etc:		0 m³/a	0,25 €/m³	0 €/a
Trinkwasser:		4.000 m³/a	1,50 €/m³	6.000 €/a
Versicherung, Sonstiges, nur Masch.:			0%	0 €/a
Summe Betriebskosten:				51.522 €/a

Summe Jahreskosten = Kapital- und Betriebskosten: 244.322 €/a

Ertragsberechnung:

Bezeichnungen		Massen	spez. Werte	Erträge
1. Faulgasanfall / -nutzung:	Primärenergie	0 MWh/a		
	Strom	0 MWh/a	120,0 €/MWh	0 €/a
	erzeugte Wärme	0 MWh/a	50,0 €/MWh	(0 €/a)
	davon nutzbar	0 MWh/a	50,0 €/MWh	0 €/a
Gesamterlös Faulgasnutzung, Schlammabeseitigungskosteneinsparungen				0 €/a

Jahreskosten abzüglich Jahresertrag: **244.322 €/a**

Jahreskostenanteil des Szenarios 2a für die Stadt Warburg

Bruttoinvestitionskosten

Bezeichnung	Bau	Maschinen	Zusammen	
Summen, Brutto, mit Honoraren	2.063.000 €	2.842.000 €	4.905.000 €	
bei Südzucker zus.	958.120 €	1.421.880 €	2.380.000 €	nicht berücksichtigt
	täglich	Jährlich BB	jährlich aus FB + SZ	
Schlammmenge KA	2.617 kg/d	872 tTR/a	674 tTR/a	
Gasanfall, KA, i.M.:	2.254 m³N/d	14.424 kWh/d (primär)		192 kW elekt. Leistung erf., i.M
Gasnutzung:	2.254 m³N/d	14.424 kWh/d		300 kW elekt. Leistung vorh.
Elektrische Energie:	eigenerzeugt	1.145 kWh/d Strom		1.145 MWh/a

Stromertrag zusammen:

Anmerkung zur Gasnutzung: Während der Kampagne kann das Gas der Südzucker-Anlage die Kapazität des BHKW voll nutzen

Jahreskostenberechnung:

1. Kapitalkosten

Annuität Bauten:	Abschr+Zins	40,0 Jahre	5,00%	120.200 €/a
Annuität Maschinen:	Abschr+Zins	15,0 Jahre	5,00%	273.800 €/a
Kapitalkosten, gesamt:				394.000 €/a

2. Betriebskosten

Personal, Wartung:			4 Pers.	194.000 €/a
Eigenverbrauch Strom:	1.020 MWh/a		120,0 €/MWh	122.400 €/a
Eigenverbrauch Wärme:	1.727 MWh/a		50,0 €/MWh	86.400 €/a
Reparaturen, baulich:			0,0%	0 €/a
Reparaturen, Maschinen- und E-Technik:			0,0%	0 €/a
Motoröl:	0,3 kg / Mwh _{el}	0,34 t/a	5.000 €/t	2.000 €/a
Polymere für Eindickung:		3 t/a	2.500 €/t	8.716 €/a
Schlammentsorgung		710 t/a	40,0 €/t	28.397 €/a
Betriebswasser für Kühlung, etc:		14.000 m³/a	0,25 €/m³	3.500 €/a
Trinkwasser:		4.000 m³/a	1,50 €/m³	6.000 €/a
Versicherung, Sonstiges, nur Masch.:			0%	0 €/a
Summe Betriebskosten:				451.413 €/a

Summe Jahreskosten = Kapital- und Betriebskosten: 845.413 €/a

Ertragsberechnung:

Bezeichnungen		Massen	spez. Werte	Erträge
1. Faulgasanfall / -nutzung:	Primärenergie	5.265 MWh/a		
	Strom	1.145 MWh/a	120,0 €/MWh	137.300 €/a
	erzeugte Wärme	3.474 MWh/a	50,0 €/MWh	(173.700 €/a)
	davon nutzbar	1.727 MWh/a	50,0 €/MWh	86.400 €/a
Gesamterlös Faulgasnutzung				223.700 €/a

Jahreskosten abzüglich Jahresertrag: **621.713 €/a**

Jahreskostenanteil des Szenarios 2b für die Stadt Warburg

Bruttoinvestitionskosten

Bezeichnung	Bau	Maschinen	Zusammen	
Summen, Brutto, mit Honoraren	1.385.000 €	2.048.000 €	3.433.000 €	
bei Südzucker zus.	958.120 €	1.421.880 €	2.380.000 €	nicht berücksichtigt
	täglich	Jährlich BB	jährlich aus FB	
Schlammmenge KA	2.617 kg/d	872 tTR/a	610 tTR/a	
Gasanfall, KA, i.M.:	2.254 m³N/d	14.424 kWh/d (primär)		192 kW elekt. Leistung erf., i.M
Gasnutzung:	2.254 m³N/d	14.424 kWh/d		300 kW elekt. Leistung vorh.
Elektrische Energie:	eigenerzeugt	1.145 kWh/d Strom		1.145 MWh/a

Stromertrag zusammen:

Anmerkung zur Gasnutzung: Während der Kampagne kann das Gas der Südzucker-Anlage die Kapazität des BHKW voll nutzen

Jahreskostenberechnung:

1. Kapitalkosten

Annuität Bauten:	Abschr+Zins	40,0 Jahre	5,00%	80.700 €/a
Annuität Maschinen:	Abschr+Zins	15,0 Jahre	5,00%	197.300 €/a
Kapitalkosten, gesamt:				278.000 €/a

2. Betriebskosten

Personal, Wartung:			4 Pers.	194.000 €/a
Eigenverbrauch Strom:	1.015 MWh/a		120,0 €/MWh	121.800 €/a
Eigenverbrauch Wärme:	1.674 MWh/a		50,0 €/MWh	83.700 €/a
Reparaturen, baulich:			0,0%	0 €/a
Reparaturen, Maschinen- und E-Technik:			0,0%	0 €/a
Motoröl:	0,3 kg / Mwh _{el}	0,34 t/a	5.000 €/t	2.000 €/a
Polymere für Eindickung:		3 t/a	2.500 €/t	8.716 €/a
Schlammentsorgung		642 t/a	40,0 €/t	25.690 €/a
Betriebswasser für Kühlung, etc:		14.000 m³/a	0,25 €/m³	3.500 €/a
Trinkwasser:		4.000 m³/a	1,50 €/m³	6.000 €/a
Versicherung, Sonstiges, nur Masch.:			0%	0 €/a
Summe Betriebskosten:				445.406 €/a

Summe Jahreskosten = Kapital- und Betriebskosten: 723.406 €/a

Ertragsberechnung:

Bezeichnungen		Massen	spez. Werte	Erträge
1. Faulgasanfall / -nutzung:	Primärenergie	5.265 MWh/a		
	Strom	1.145 MWh/a	120,0 €/MWh	137.300 €/a
	erzeugte Wärme	3.474 MWh/a	50,0 €/MWh	(173.700 €/a)
	davon nutzbar	1.674 MWh/a	50,0 €/MWh	83.700 €/a
Gesamterlös Faulgasnutzung				221.000 €/a

Jahreskosten abzüglich Jahresertrag: **502.406 €/a**

Jahreskosten des Szenarios 3a

Bruttoinvestitionskosten

Bezeichnung	Bau	Maschinen	Zusammen
Summen, Brutto, mit Honoraren	1.794.000 €	2.883.000 €	4.677.000 €
bei Südzucker zus.	0 €	0 €	0 €
		Jährlich BB	jährlich aus FB
Schlammmenge KA	3.399 kg/d	992 tTR/a	694 tTR/a
Gasanfall, KA:	1.248 m³N/d	7.985 kWh/d (primär)	
Gasnutzung:	1.248 m³N/d	7.985 kWh/d	
Elektrische Energie:	eigenerzeugt	2.503 kWh/d Strom	

106 kW elekt. Leistung i.M. erf.
200 kW elekt. Leistung vorh.

914 MWh/a

Jahreskostenberechnung:

1. Kapitalkosten

Annuität Bauten:	Abschr+Zins	40,0 Jahre	5,00%	104.600 €/a
Annuität Maschinen:	Abschr+Zins	15,0 Jahre	5,00%	277.800 €/a
Kapitalkosten, gesamt:				382.400 €/a

2. Betriebskosten

Personal, Wartung:			4 Pers.	194.000 €/a
Eigenverbrauch Strom:	1.473 MWh/a		120,0 €/MWh	176.700 €/a
Eigenverbrauch Wärme:	1.919 MWh/a		50,0 €/MWh	95.900 €/a
Reparaturen, baulich:			0,0%	0 €/a
Reparaturen, Maschinen- und E-Technik:			0,0%	0 €/a
Motoröl:	0,3 kg / MWh _{el}	0,27 t/a	5.000 €/t	1.000 €/a
Polymere für Eindickung:		4 t/a	2.500 €/t	9.916 €/a
Schlammentsorgung		731 t/a	40,0 €/t	29.226 €/a
Betriebswasser für Kühlung, etc:		16.000 m³/a	0,25 €/m³	4.000 €/a
Trinkwasser:		4.000 m³/a	1,50 €/m³	6.000 €/a
Versicherung, Sonstiges, nur Masch.:			0%	0 €/a
Summe Betriebskosten:				516.742 €/a

4,00 kg/tTR

Summe Jahreskosten = Kapital- und Betriebskosten: 899.142 €/a

Ertragsberechnung:

Bezeichnungen		Massen	spez. Werte	Erträge
1. Faulgasanfall / -nutzung:	Primärenergie	2.915 MWh/a		
	Strom	914 MWh/a	120,0 €/MWh	109.600 €/a
	erzeugte Wärme	1.364 MWh/a	50,0 €/MWh	(68.200 €/a)
	davon nutzbar	1.364 MWh/a	50,0 €/MWh	68.200 €/a

Gesamterlös Faulgasnutzung, Schlammabeseitigungskosteneinsparungen 177.800 €/a

Jahreskosten abzüglich Jahresertrag: **721.342 €/a**

Jahreskosten des Szenarios 3b

Bruttoinvestitionskosten

Bezeichnung	Bau	Maschinen	Zusammen	
Summen, Brutto, mit Honoraren	2.092.000 €	3.223.000 €	5.315.000 €	
bei Südzucker zus.	0 €	0 €	0 €	
	täglich	Jährlich BB	jährlich aus FB	
Schlammmenge KA	3.074 kg/d	927 tTR/a	649 tTR/a	
Gasanfall, KA:	2.254 m³N/d	14.424 kWh/d (primär)		192 kW elekt. Leistung erf.
Gasnutzung:	2.254 m³N/d	14.424 kWh/d		300 kW elekt. Leistung vorh.
Elektrische Energie:	eigenerzeugt	4.760 kWh/d Strom		1.145 MWh/a

Jahreskostenberechnung:

1. Kapitalkosten

Annuität Bauten:	Abschr+Zins	40,0 Jahre	5,00%	121.900 €/a
Annuität Maschinen:	Abschr+Zins	15,0 Jahre	5,00%	310.500 €/a
Kapitalkosten, gesamt:				432.400 €/a

2. Betriebskosten

a) Personal, Wartung:			5 Pers.	242.500 €/a	
b) Eigenverbrauch Strom:	1.059 MWh/a		120,0 €/MWh	127.100 €/a	
c) Eigenverbrauch Wärme:	1.570 MWh/a		50,0 €/MWh	78.500 €/a	
d) Reparaturen, baulich:			0,0%	0 €/a	
e) Reparaturen, Maschinen- und E-Technik:			0,0%	0 €/a	
f) Motoröl:	0,3 kg / Mwh_{el}	0,34 t/a	5.000 €/t	2.000 €/a	
g) Polymere für Eindickung:		4 t/a	2.500 €/t	9.274 €/a	4,00 kg/tTR
h) Schlammentsorgung:		683 t/a	40,0 €/t	27.333 €/a	
i) Betriebswasser für Kühlung, etc:		15.000 m³/a	0,25 €/m³	3.750 €/a	
j) Trinkwasser:		4.000 m³/a	1,50 €/m³	6.000 €/a	
k) Versicherung, Sonstiges, nur Masch.:			0%	0 €/a	
Summe Betriebskosten:				496.457 €/a	

Summe Jahreskosten = Kapital- und Betriebskosten: 928.857 €/a

Ertragsberechnung:

Bezeichnungen		Massen	spez. Werte	Erträge
1. Faulgasanfall / -nutzung:	Primärenergie	5.265 MWh/a		
	Strom	1.145 MWh/a	120,0 €/MWh	137.300 €/a
	erzeugte Wärme	3.474 MWh/a	50,0 €/MWh	(173.700 €/a)
	davon nutzbar	1.570 MWh/a	50,0 €/MWh	78.500 €/a

Gesamterlös Faulgasnutzung, Schlammabeseitigungskosteneinsparungen 215.800 €/a

Jahreskosten abzüglich Jahresertrag: **713.057 €/a**

Jahreskosten des Szenarios 4

Bruttoinvestitionskosten

Bezeichnung	Bau	Maschinen	Zusammen	
Summen, Brutto, mit Honoraren	3.340.000 €	2.959.000 €	6.299.000 €	
bei Südzucker zus.	0 €	0 €	0 €	
	täglich	Jährlich BB	jährlich aus FB	
Schlammmenge KA	2.540 kg/d	927 tTR/a	649 tTR/a	
Gasanfall, KA:	2.254 m³N/d	14.424 kWh/d (primär)		192 kW elekt. Leistung erf.
Gasnutzung:	2.254 m³N/d	14.424 kWh/d		300 kW elekt. Leistung vorh.
Elektrische Energie:	eigenerzeugt	4.760 kWh/d Strom		1.145 MWh/a

Jahreskostenberechnung:

1. Kapitalkosten

Annuität Bauten:	Abschr+Zins	40,0 Jahre	5,00%	194.600 €/a
Annuität Maschinen:	Abschr+Zins	15,0 Jahre	5,00%	285.100 €/a
Kapitalkosten, gesamt:				479.700 €/a

2. Betriebskosten

a) Personal, Wartung:			4 Pers.	194.000 €/a	
b) Eigenverbrauch Strom:	1.059 MWh/a		120,0 €/MWh	127.100 €/a	
c) Eigenverbrauch Wärme:	1.570 MWh/a		50,0 €/MWh	78.500 €/a	
d) Reparaturen, baulich:			0,0%	0 €/a	
e) Reparaturen, Maschinen- und E-Technik:			0,0%	0 €/a	
f) Motoröl:	0,3 kg / Mwh_{el}	0,34 t/a	5.000 €/t	2.000 €/a	
g) Polymere für Eindickung:		4 t/a	2.500 €/t	9.274 €/a	4,00 kg/tTR
h) Schlammentsorgung:		683 t/a	40,0 €/t	27.333 €/a	
i) Betriebswasser für Kühlung, etc:		15.000 m³/a	0,25 €/m³	3.750 €/a	
j) Trinkwasser:		4.000 m³/a	1,50 €/m³	6.000 €/a	
k) Versicherung, Sonstiges, nur Masch.:			0%	0 €/a	
Summe Betriebskosten:				447.957 €/a	

Summe Jahreskosten = Kapital- und Betriebskosten: 927.657 €/a

Ertragsberechnung:

Bezeichnungen		Massen	spez. Werte	Erträge
1. Faulgasanfall / -nutzung:	Primärenergie	5.265 MWh/a		
	Strom	1.145 MWh/a	120,0 €/MWh	137.300 €/a
	erzeugte Wärme	3.531 MWh/a	50,0 €/MWh	(176.500 €/a)
	davon nutzbar	1.570 MWh/a	50,0 €/MWh	78.500 €/a
Gesamterlös Faulgasnutzung, Schlammabeseitigungskosteneinsparungen				215.800 €/a

Jahreskosten abzüglich Jahresertrag: **711.857 €/a**