



GEMEINDE RUDERSBERG  
KA MITTLERES WIESLAUFTAL

Ingenieurleistungen  
für Kläranlagen und Kanalisation  
Gesamtplanung·Abwicklung·Betreuung

Hörvelsinger Weg 23 89081 Ulm  
Postfach 35 45 89025 Ulm

Telefon: (07 31) 96 41 - 0  
Telefax: (07 31) 6 06 63 Zentrale  
Telefax: (07 31) 9 60 95 38 Geschäftsleitung

E-Mail: [ulm@sag-ingenieure.de](mailto:ulm@sag-ingenieure.de)  
Internet: [www.sag-ingenieure.de](http://www.sag-ingenieure.de)

**über 100 Jahre Umweltschutz**

## Studie

# ERTÜCHTIGUNG SCHLAMMTROCKNUNGSANLAGE

Aufgestellt: Ulm, im September 2020  
Döpp/Wirtz

**SAG-Ingenieure**

VN: P08571 / 172746

### Geschäftsführer:

Dipl.-Ing. Wolfgang Benz

Sitz der Gesellschaft Ulm,  
Amtsgericht Ulm HRB 10  
USt.-ID DE 147034813

### Niederlassungen:

Hamburg (HH) · Hannover (Nds) · Troisdorf (NRW)  
Wiesbaden (HE) · Büdingen (HE)  
Karlsruhe (West-BW) · Schramberg (Süd-BW) · Isny (Allgäu)  
München (BY) · Würzburg (BY) · Forchheim (BY)  
Erfurt (TH)

## **INHALT**

<b>1. Veranlassung</b>	<b>3</b>
<b>2. Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1 Betriebsdatenauswertung	4
2.2 Funktionsweise der Trocknung	7
2.3 Entsorgungssicherheit	7
2.3.1 Bisheriger Entsorgungsweg	7
2.3.2 Zukünftiger Entsorgungsweg	9
<b>3. Schwachstellenanalyse</b>	<b>10</b>
3.1 Wender	10
3.2 Staubanfall	10
3.3 Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung	11
3.4 Wärmeeintrag durch Wärmepumpe	11
3.5 Temperatur in der Trocknungshalle	11
3.6 Belastete Atmosphäre	12
3.7 Schlammwässerung	12
<b>4. Variantenvergleich</b>	<b>14</b>
4.1 Variante 1: Ertüchtigung der bestehenden Trocknung	14
4.2 Variante 2: Neubau einer Trocknung	16
4.3 Variante 3: Stilllegung der Trocknung und Nutzung der Fläche als Schlamm-lager	18
<b>5. Vergleich der Varianten</b>	<b>20</b>
5.1 Wirtschaftlichkeitsvergleich	20
5.2 Sensitivitätsanalyse	22
5.3 Bewertungsmatrix	23
<b>6. Schlussbemerkung</b>	<b>24</b>

## 1. VERANLASSUNG

Die Gemeinde Rudersberg betreibt auf der Kläranlage Mittleres Wieslaufstal eine Solartrocknungsanlage. Diese soll den anfallenden entwässerten Klärschlamm trocknen, so dass die Entsorgungsmenge reduziert werden kann.

Die Leistungsfähigkeit der Trocknungsanlage ist seit Jahren unzureichend, so dass ein großer Teil des entwässerten Schlamms „nass“ entsorgt werden muss. Des Weiteren ist die gesamte Anlage störungsanfällig.

In der vorliegenden Studie wird die weitere Nutzung der Trocknungsanlage untersucht.

Dabei werden drei Varianten betrachtet:

1. Variante 1: Ertüchtigung der bestehenden Trocknung
2. Variante 2: Neubau einer Trocknung
3. Variante 3: Stilllegung der Trocknung und Nutzung der Fläche als Schlamm-lager

Die verschiedenen Varianten werden beschrieben, Investitionskosten ermittelt und wirtschaftlich miteinander verglichen. Auch erfolgt ein Vergleich mit Bewertungskriterien. Dieser stellt eine Risikoabschätzung sowie die Zukunftsfähigkeit der betrachteten Varianten dar.

## 2. GRUNDLAGEN

Als Grundlage für die vorliegende Studie dienen die Betriebstagebücher der Jahre 2018 und 2019 sowie die Entwurfsplanung zur Umstellung der Kläranlage auf anaerobe Schlammstabilisierung.

### 2.1 Betriebsdatenauswertung

Zunächst wird die IST-Situation auf der Kläranlage Mittleres Wieslaufthal dargestellt. Dafür werden die Betriebsdaten der Jahre 2018 und 2019 ausgewertet.

**Tabelle 1: Betriebsdaten Schlammbehandlung 2018 und 2019**

	2018	2019		Bemerkung
Schlamm zur Entwässerung	9.051	7.798	m <sup>3</sup> /a	
TR ÜSS (Silo)	3,3	3,7	%	Annahme
Fracht zur Entwässerung	299	289	t TR/a	
Abgabe entwässert	880	950	t/a	
TR entwässert	21,6	20,1	%	
Fracht entwässert	190	191	t TR/a	
Abgabe getrocknet	121	109	t/a	
TR getrocknet	90	90	%	Annahme
Fracht getrocknet	109	98	t TR/a	

Aus der Betriebsdatenauswertung wird ersichtlich, dass ein Großteil der entwässerten Schlammmenge ungetrocknet abgefahren wird (2018: 880 t/a, 2019: 950 t/a).

Die Menge an getrockneten Schlamm beträgt 2018 121 t/a und 2019 109 t/a.

In Folge der Umstellung auf anaerobe Schlammstabilisierung werden sich die Schlamm-mengen und Zusammensetzung der Schlämme verändern. Diese Mengen und Zusammensetzungen werden mit Hilfe von Literaturdaten ermittelt.

Tabelle 2: Ermittlung der Schlammströme nach der Verfahrensumstellung

	Werte	Einheit	Bemerkung
Primärschlamm	24	g/EW*d	aus Entwurfsplanung
	14.430	EW	mittlere EW aus Entwurfsplanung
	346	kg TR/d	
	4	% TR	Annahme
	75	% GV	laut DWA-M 368
	259,74	kg oTR/d	
	8,7	m <sup>3</sup> /d	
Überschussschlamm	40	g/EW*d	aus Entwurfsplanung
	14.430	EW	mittlere EW aus Entwurfsplanung
	577	kg TR/d	
	2,5	% TR	eingedickt (nach VED)
	72	% GV	laut DWA-M 368
	416	kg oTR/d	
	23,1	m <sup>3</sup> /d	
Faulschlamm	675	kg oTR/d	
	50	%	Annahme Abbau organische Fracht
	338	kg oTR/d	
	58	% GV	laut DWA-M 368
	582	kg TR/d	
	3	% TR	Annahme
entwässerter Schlamm	24	% TR	Annahme aufgrund Angebot Fa. Huber
	2,4	m <sup>3</sup> /d	zur Trocknung
	885	m <sup>3</sup> /a	zur Trocknung

Die Auslegung der drei verschiedenen Varianten findet auf Basis der dargestellten Literaturwerte im Zuge der Verfahrensumstellung statt. Die derzeitigen Betriebsdaten werden nur für die Gegenüberstellung der derzeitigen Situation und der Situation nach der Verfahrensumstellung herangezogen.

Für den entwässerten Schlamm wird nicht der vorhandene TR-Gehalt von durchschnittlich 20,5 % angenommen, sondern es wird mit einem TR-Gehalt von 24 % gerechnet. Dieser wurde von der Fa. Huber für den Neubau der Trocknung als Voraussetzung vorgegeben. Mit einem kleineren TR-Gehalt funktioniert die Trocknung nicht.

### Phosphorgehalt im Klärschlamm

Die Entsorgungsmöglichkeiten des Klärschlammes hängt stark mit dem Phosphorgehalt im Klärschlamm zusammen. Durch die Novellierung der Klärschlammverordnung im Jahr 2017 wird es wahrscheinlich dazu kommen, dass bei einem Phosphorgehalt größer 20 g Phosphor / kg Trockenmasse (bzw. 46 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / kg Trockenmasse) eine Phosphorrückgewinnung stattfinden muss.

**Tabelle 3: Auswertung der Klärschlamm-analyse**

	Phosphat ges. (als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Phosphor (P)	Trocken- rückstand
	g/kg	g/kg	%
18.12.2018	54,1	23,6	19,3
14.03.2019	52,2	22,8	19,4
28.05.2019	52,9	23,1	17,5
06.08.2019	50,0	21,8	21,6
25.02.2020	43,6	19,0	18,7

Aus der Tabelle 3 geht hervor, dass der Phosphorgehalt im Klärschlamm bereits jetzt schon über dem geforderten Wert liegt und es wahrscheinlich sein wird, dass eine Phosphorrückgewinnung stattfinden muss. Durch die Verfahrensumstellung und die Verschärfung der Grenzwerte im Bereich des Phosphors wird der Phosphorgehalt im Klärschlamm tendenziell noch ansteigen.

## **2.2 Funktionsweise der Trocknung**

Die Trocknung des entwässerten Klärschlamm erfolgt mittels Wärme. Diese wird einerseits durch die Sonneneinstrahlung (solare Energie) und andererseits durch das Einblasen warmer Luft (Gewinnung mit einer Wärmepumpe) zur Verfügung gestellt.

Der von der Schneckenpresse entwässerte Klärschlamm (TR ca. 20,5 % im Mittel) wird mittels einer Exzentrerschneckenpumpe zur Trocknung gefördert und dort mit einer Förderschnecke über die gesamte Breite der Trocknungsfläche (Lochblechboden) verteilt. Ein über die gesamte Länge der Trocknungsfläche fahrbarer Wender nimmt den Schlamm auf, verteilt ihn über die Länge der Trocknungsfläche und wendet den Schlamm in regelmäßigen Intervallen um. Durch die Sonneneinstrahlung wird die Oberfläche des Schlamm getrocknet. Von unten wird mittels Ventilatoren warme Luft durch ein Lochblechboden eingeblasen, um den Schlamm ebenfalls zu trocknen. Für die Erzeugung der warmen Luft ist eine Wärmepumpe verantwortlich.

Am Ende der Trocknungsfläche wird der getrocknete Schlamm mit Hilfe einer Förderschnecke in einen Container gefördert.

## **2.3 Entsorgungssicherheit**

### **2.3.1 Bisheriger Entsorgungsweg**

Derzeit fallen entwässertes sowie getrockneter Schlamm an. Die anfallenden Mengen variieren, je nach Jahreszeit und Laufzeit der Trocknung (vgl. Tabelle 1).

Die bestehende Schneckenpresse wirft den entwässerten Schlamm in eine Exzentrerschneckenpumpe ab. Die Pumpe fördert den Schlamm entweder in einen Container oder pumpt den Schlamm über eine Rohrleitung (Länge ca. 30 m) zur Trocknung.

Der getrocknete Schlamm wird am Ende des Trocknungsprozesses mittels einer Austragsschnecke ebenfalls in einen Container gefördert.

Bis zuletzt wurden der getrocknet und der maschinell entwässerte Schlamm getrennt entsorgt. Der getrocknete Schlamm wurde in die Biogasanlage nach Böhmenkirch transportiert und dort mit entwässertem Schlamm weiter ausgefault. Der Austrag der Biogasanlage wurde anschließend in die Kompostierung nach Roßleben gefahren. Da die Biogasanlage nicht mehr in Betrieb ist, muss der getrocknete Schlamm anderweitig entsorgt werden.

Der Entsorger des entwässerten Schlammes ist derzeit auch für die Entsorgung des getrockneten Schlammes zuständig. Die Container werden auf einen Umschlagsplatz gefahren, dort entleert, die Schlämme vermischt und anschließend ebenfalls nach Roßleben zur Kompostierung gefahren.

Nach Aussage des derzeitigen Entsorgers stellt ihn der getrocknete Schlamm vor Probleme bzgl. der Entsorgung. Eine Aussage bzgl. der Entsorgungssicherheit für die nächsten Jahre kann zum derzeitigen Zeitpunkt nicht getroffen werden.

Weiterhin ist anzumerken, dass aufgrund der schwankenden Mengen an getrocknetem bzw. entwässertem Schlamm der Entsorger sehr flexibel handeln muss. Diese Flexibilität des Entsorgers wird über die Entsorgungskosten (Preis pro Tonne Schlamm) an die Gemeinde weitergegeben. Aufgrund der Funktionsfähigkeit bzw. der Laufzeit der Trocknung fällt entweder viel oder wenig getrockneter Schlamm an. Durch diese Schwankungen ist auch ein definierter Entsorgungsvertrag (genau definierte Menge) schwierig zu realisieren.

### **2.3.2 Zukünftiger Entsorgungsweg**

Im Rahmen der Studie wurden Preisen als auch Entsorgungsmöglichkeiten für maschinell entwässerten sowie getrockneten Schlamm angefragt.

Für die Entsorgung von maschinell entwässertem Schlamm gibt es auch in Zukunft unterschiedliche und vor allem sichere Entsorgungsmöglichkeiten. Hier gibt es verschiedene Anbieter, die entwässerten Schlamm entsorgen. Bei definierten Mengen können auch in Hinblick auf die Kosten für die Entsorgung bessere Konditionen (Preis pro Tonne Schlamm) als bisher erreicht werden.

Die Entsorgung von getrocknetem Schlamm wird in den nächsten Jahren zusehends schwerer. Der Klärschlamm sollte auf über 90 % TR getrocknet werden, um auch zukünftig eine Entsorgung zu gewährleisten. Für Klärschlämme zwischen 60 – 90 % TR wird die Entsorgung schwierig bis unmöglich.

Für die nächsten 2 Jahre kann die Entsorgung von getrocknetem Schlamm (TR < 90 %) durch weitere Entsorgungsfirmen sichergestellt werden. Über eine zukünftige Entwicklung lässt sich an dieser Stelle keine genaue Aussage treffen.

Des Weiteren muss bei der zukünftigen Entsorgung die Möglichkeit des Phosphorrecyclings mitberücksichtigt werden.

### 3. SCHWACHSTELLENANALYSE

Trotz ausreichend großer Trocknungsfläche können lediglich 1/3 der anfallenden Schlammmenge getrocknet werden. Dies ist zum einen auf den hohen Verschleiß der Trocknung und zum anderen auf die fehlende Wärme zurückzuführen.

Im Folgenden werden für die einzelnen Komponenten der Trocknung Schwachstellen aufgeführt.

#### 3.1 Wender

Der Wender besteht aus einer großen Stahltrommel (Durchmesser ca. 1,5 m) mit Wendeschaukeln. Für den Betrieb des Wenders sind sechs Antriebe notwendig, jeweils zwei für den Längsfahrweg, zwei für den Hub und zwei für das Drehen der Trommel. Die große Anzahl an Antrieben birgt ein Risiko, da bei Ausfall eines Antriebs der gesamte Wender stillsteht.

Durch den ständigen Kontakt der Wendeschaukeln mit dem grobkörnigen Granulat kommt es zu Abnutzungen. Der Spalt zwischen Wendeschaukel und Boden wird im Laufe der Betriebszeit größer, so dass weniger Granulat aufgenommen und gewendet werden kann.

#### 3.2 Staubanfall

Der Wender, der den Schlamm regelmäßig wendet, hat einen Durchmesser von ca. 1,5 m. Der getrocknete Schlamm wird mit dem Wender vom Lochblechboden aufgenommen und fällt aus einer Höhe von 1,5 m auf den Boden zurück. Durch das gleichzeitige Einblasen der Luft von unten durch den Lochblechboden wird Staub aufgewirbelt und in der gesamten Halle verteilt. Die Trocknungsfläche ist von den Gehflächen an der Seite der Trocknungshalle nicht abgeschottet.

Der aufgewirbelte Staub setzt sich auf die Motoren, in den Schaltschrank und auf die Belüfter und verstopft bzw. beschädigt diese. Die Motoren oder die Elektronik im Schaltschrank fallen aufgrund dessen regelmäßig aus und es kommt zu Stillstandszeiten.

### **3.3 Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung**

Die hauptsächliche Trocknungsleistung erfolgt über die Sonneneinstrahlung.

Die Trocknungsfläche ist mit einem Gewächshaus überbaut. Das Gewächshaus besitzt Doppelstegplatten aus Plastik, durch die die Sonnenstrahlen in das Gewächshaus gelangen. Diese Platten sind seit 12 Jahren (Aufbau und Inbetriebnahme der Trocknung) montiert. Durch Witterung und Alterung des Plastiks sind die Platten stark verschmutzt und haben erhebliche Ablagerungen bzw. sind matt/milchig trüb. Dadurch ist der Sonneneinfall beeinflusst bzw. benachteiligt, so dass sich der Wärmeeintrag in die Trocknung reduziert.

### **3.4 Wärmeeintrag durch Wärmepumpe**

Über die gesamte Länge der Trocknungsfläche sind Heizleitungen montiert, welche von der Wärmepumpe gespeist werden. Unter dem Lochblech sind für die Einblasung der warmen Luft Ventilatoren installiert.

Die Heizleitungen werden über die Wärmepumpe und den Wärmetauscher gespeist. Die Energie wird aus dem Ablaufwasser gewonnen. Die Wärmepumpe ist bereits 12 Jahre alt und der Wärmetauscher scheint zugesetzt zu sein, so dass die benötigte Wärmemenge nicht mehr vollständig zur Verfügung gestellt werden kann. Weiterhin ist das Ablaufwasser gerade in den Wintermonaten entsprechend kalt, sodass nur ein geringer Temperaturgradient für die Erzeugung von Wärme zu Verfügung steht.

### **3.5 Temperatur in der Trocknungshalle**

Die Hauptkomponenten der Elektrotechnik sind in einem Schaltschrank direkt auf dem Wender untergebracht. Hier sind Frequenzumrichter der Motoren sowie die Steuerungselektronik eingebaut.

Für die Begrenzung der Fahrwege sind elektrische Stoppschalter an den Enden der Trocknungsfläche montiert. Der Wender, die Antriebe bzw. der Schaltschrank wird über Schleppkabel, welche an der Decke des Gewächshauses montiert sind, mit Strom versorgt.

In den Sommermonaten treten Temperaturen im Bereich von 50 °C oder mehr auf. Diese hohen Temperaturen sind für eine gute Trocknungsleistung optimal.

Die elektrischen Komponenten im Schaltschrank (Kabelverbindungen, Frequenzumrichter, etc.) sind diesen hohen Temperaturen direkt ausgesetzt. Für einige Komponenten, wie z.B. die Frequenzumrichter, sind diese Temperaturen nicht förderlich. Bei zu hohen Temperaturen fallen diese Komponenten aus und verursachen somit Stillstandszeiten.

Auch kam es im Schaltschrank bereits aufgrund der hohen Temperaturen zu Verformungen oder zum Schmelzen von Kabel bzw. Verbindungen.

### **3.6 Belastete Atmosphäre**

Der entwässerte Schlamm wird über der Trocknungsfläche verteilt. Aufgrund der fehlenden Wärme/Energie wird dieser nicht schnell genug getrocknet, sodass es zu einer Ausgasung von Ammoniak aus dem Schlamm kommt. Dieser geht in die Luft über und verteilt sich in der gesamten Trocknungshalle.

Durch die Feuchtigkeit in der Luft (verdampftes Wasser) greift der Ammoniak die Stahlträger des Gewächshauses sowie sämtliche metallischen Verbindungen und Werkstoffe (z.B. Kabelpripschen) an. Diese weisen daher erhebliche Korrosionsschäden auf.

Zusätzlich stellt die belastete Atmosphäre (Ammoniak, Staub, ...) ein Risiko für das Kläranlagenpersonal dar, sollte dieses Arbeiten in der Trocknungshalle durchführen.

### **3.7 Schlamm-entwässerung**

Bei der ausgeschriebenen Trocknung wurde ein Eingangs TR-Gehalt von 26 % gefordert. Dieser wird mit dem vorhandenen Entwässerungsaggregat nicht erreicht (vgl. Tabelle 1). Der Mittelwert der ausgewerteten Jahre liegt bei 20,8 %.

Laut DWA-M 366 sollte mit einer Schneckenpresse ein TR-Gehalt bei der Entwässerung von aerob stabilisiertem Überschussschlamm von 18 – 24 % erreicht werden können.

Somit liegt das Entwässerungsergebnis eher im unteren Bereich. Für eine gut funktionierende Trocknung ist jedoch eine gut funktionierende Schlamm-entwässerung essenziell, so dass an dieser Stelle darauf hingewiesen wird, dass für den Weiterbetrieb einer Trocknung das Entwässerungsaggregat erneuert werden sollte.

Durch die Verfahrensumstellung auf anaerobe Stabilisierung sollte sich das Entwässerungsverhalten des Schlammes verbessern, so dass laut DWA-M 366 mit einer Schneckenpresse TR-Gehalte von 20 – 28 % möglich sind.

VORABZUG

## 4. VARIANTENVERGLEICH

### 4.1 Variante 1: Ertüchtigung der bestehenden Trocknung

Diese Variante sieht vor die bestehende Trocknungsanlage zu ertüchtigen, so dass sie betriebssicherer funktioniert. Zusätzlich wird der Rück- und Neubau des gesamten Gewächshauses mitbetrachtet.

Für die Ertüchtigung der bestehenden Trocknung fallen folgende Arbeiten an:

- Austausch des Wenders
- Austausch der Trommellagerung mit Kette und Räder Fahrbahn
- Austausch der Schleppkabel inkl. neue Verkabelung
- Anpassungen der Wenderlaufbahn (Bauarbeiten)
- Erneuerung des Lochblechs
- Erneuerung der Fußbodenheizung
- Austausch der Ventilatoren
- Erneuerung des Gewächshauses
- Erneuerung der Schalt- und Steueranlage

Der Aufbau des neuen Wenders unterscheidet sich von dem bestehenden im Durchmesser der Doppelschaufel. Dieser ist etwas kleiner, so dass die bestehenden Laufbahnwände um ca. 10 cm abgesägt werden müssen. Die Größe der bestehende Trocknungsfläche bleibt erhalten.

#### Vorteile:

- Kürzere Sanierungszeiten als Variante 2
- Geringere Entsorgungskosten

#### Nachteile:

- Gewährleistung nur für erneuerte Anlagenteile
- Staubproblem kann nicht beseitigt werden
- Entsorgungssicherheit ist nicht gegeben
- Nicht die gesamte Schlammmenge kann getrocknet werden.

Investitionskosten:

	Investitionskosten	Annahme (n= 15/30 Jahre, Zins: 0,5 %)		Kapitalkosten
		Nutzung	KFAKR	
Bauarbeiten	101.195 €	30 Jahre	0,03598	3.641 €/a
Klärtechnische Einrichtung	654.500 €	15 Jahre	0,06936	45.399 €/a
EMSR-Technik	125.000 €	15 Jahre	0,06936	8.671 €/a
Ertüchtigung der bestehenden Trocknung netto	880.695 €			57.710 €/a
Mehrwertsteuer (19 %)	167.332 €			10.965 €/a
Ertüchtigung der bestehenden Trocknung brutto	1.048.027 €			68.675 €/a
Baunebenkosten (25 %)	262.007 €			17.169 €/a
<b>Gesamtkosten brutto (gerundet)</b>	<b>1.310.000 €</b>			<b>85.800 €/a</b>

Betriebskosten:

	Menge	Spezifische Kosten	Jahreskosten
Personalkosten	0,5 MA/a	50.000 €/a	25.000 €/a
Kosten Erdgas für Wärme	399.339 kWh/a	0,05 €/kWh	19.967 €/a
Eingesparter Stromeinkauf	288.953 kWh/a	-0,138 €/kWh	-39.875 €/a
Schlamm-sorgung trocken (77 %)	240 t/a	140 €/t	33.600 €/a
Schlamm-sorgung entwässert (24 %)	120 t/a	125 €/t	15.000 €/a
Wartung BHKW			6.000 €/a
Wartung (Ansatz 1,0 % vom Invest)			8.807 €/a
<b>Betriebskosten netto</b>			<b>68.498 €/a</b>
<b>Betriebskosten brutto (gerundet)</b>			<b>81.500 €/a</b>

## 4.2 Variante 2: Neubau einer Trocknung

In dieser Variante wird der Neubau einer Trocknung vorgesehen. Dafür wird die gesamte bestehende Trocknung inkl. des Gewächshauses zurückgebaut und an gleicher Stelle eine neue Trocknungshalle nach aktuellem Stand der Technik errichtet.

Der Neubau führt, aufgrund der Überarbeitung der Trocknungsanlage durch den Hersteller, insgesamt zu einer deutlichen Reduzierung der Ausfallzeiten und somit zu einer Reduzierung der Entsorgungskosten aufgrund der geringeren zu entsorgenden Schlammmenge.

Für den Neubau einer Trocknung fallen folgende Arbeiten an:

- Demontage des vorhandenen Trocknungsanlage inkl. Gewächshaus
- Abriss der vorhandenen Wände
- Betonarbeiten
- Montage der neuen Trocknungsanlage
- Anpassungen der vorhandenen SPS/PLS

Laut Herstellerangaben kann an gleicher Stelle eine neue Trocknung errichtet werden. Jedoch muss dazu gesagt werden, dass folgende Randbedingungen erfüllt sein müssen:

- Eingangs-TR-Gehalt von 24 %
- BHKW Leistung von 110 kW über das gesamte Jahr

Für die Trocknung des gesamten anfallenden Klärschlammes ( $TR_{\text{entwässert}} = 24 \%$ ) wäre eine Trocknungsfläche von ca. 400 m<sup>2</sup> erforderlich. Auf der vorhandenen Fläche kann eine Trocknung mit einer Fläche von ca. 360 m<sup>2</sup> realisiert werden, so dass ein Teil des anfallenden entwässerten Schlammes ungetrocknet abgefahren werden müsste.

Mit der neuen Trocknung wird im Mittel ein TR-Gehalt von 75 – 77 % erreicht.

### Vorteile:

- Gewährleistung für die gesamte Trocknungsanlage
- Staubproblematik wird beseitigt/verringert (neue technische Lösung)
- Geringe Entsorgungskosten
- Geringere Stillstandszeiten

Nachteile:

- Entsorgungssicherheit ist nicht gegeben
- Höhere Investitionskosten
- Nicht die gesamte Schlammmenge kann getrocknet werden.

Investitionskosten:

	Investitionskosten	Annahme (n= 15/30 Jahre, Zins: 0,5 %)		Kapitalkosten
		Nutzung	KFAKR	
Bauarbeiten	145.695 €	30 Jahre	0,03598	5.242 €/a
Klärtechnische Einrichtung	617.000 €	15 Jahre	0,06936	42.798 €/a
EMSR-Technik	140.000 €	15 Jahre	0,06936	9.711 €/a
Neubau einer Trocknung netto	902.695 €			57.751 €/a
Mehrwertsteuer (19 %)	171.512 €			10.973 €/a
Neubau einer Trocknung brutto	1.074.207 €			68.723 €/a
Baunebenkosten (25 %)	268.552 €			17.181 €/a
<b>Gesamtkosten brutto (gerundet)</b>	<b>1.342.800 €</b>			<b>85.900 €/a</b>

Betriebskosten:

	Menge	Spezifische Kosten	Jahreskosten
Personalkosten	0,3 MA/a	50.000 €/a	15.000 €/a
Kosten Erdgas für Wärme	399.339 kWh/a	0,05 €/kWh	19.967 €/a
Eingesparter Stromeinkauf	288.953 kWh/a	-0,138 €/kWh	-39.875 €/a
Schlamm-trocknung trocken (77 %)	250 t/a	140 €/t	35.000 €/a
Schlamm-trocknung entwässert (24 %)	85 t/a	125 €/t	10.625 €/a
Wartung BHKW			6.000 €/a
Wartung (Ansatz 1,0 % vom Invest)			9.027 €/a
<b>Betriebskosten netto</b>			<b>55.743 €/a</b>
<b>Betriebskosten brutto (gerundet)</b>			<b>66.300 €/a</b>

### **4.3 Variante 3: Stilllegung der Trocknung und Nutzung der Fläche als Schlamm-lager**

Diese Variante sieht vor die gesamte Trocknung zurück zu bauen und an gleicher Fläche ein über-dachtes Schlamm-lager zu errichten.

Das Schlamm-lager besteht aus einer Überdachung, welche von einer Seite zugänglich ist. Es wird vorgesehen, dass die Kläranlage über mehrere Container verfügt, welche mit Hilfe einer Förder-schnecke beschickt werden können.

Für den Vergleich mit den anderen beiden Varianten wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass ein TR Gehalt des entwässerten Schlammes von 24 % erreicht wird. Dementsprechend fallen nach der Verfahrensumstellung 885 t/a entwässertes Schlamm an (vgl. Tabelle 2).

Für die Umsetzung dieser Variante fallen folgende Arbeiten an:

- Demontage des vorhandenen Trocknungsanlage inkl. Gewächshaus
- Anpassungen im Bereich der Bodenplatte und Wände (Teilabriss)
- Neuerrichtung einer Überdachung
- Montage einer Fördereinrichtung zur Beschickung der Container
- Anpassungen im Bereich der EMSR-Technik

Vorteile:

- Reduzierter Personalaufwand
- Entsorgungssicherheit ist gegeben (entwässertes Schlamm)

Nachteile:

- Höhere Entsorgungskosten (größere Schlamm-menge)

Investitionskosten:

	Investitionskosten	Annahme (n= 15/30 Jahre, Zins: 0,5 %)		Kapitalkosten
		Nutzung	KFAKR	
Bauarbeiten	261.000 €	30 Jahre	0,03598	9.390 €/a
Klärtechnische Einrichtung	67.000 €	15 Jahre	0,06936	4.647 €/a
EMSR-Technik	68.000 €	15 Jahre	0,06936	4.717 €/a
Stilllegung der Trocknung und Nutzung als Schlamm-lager netto	396.000 €			18.755 €/a
Mehrwertsteuer (19 %)	75.240 €			3.563 €/a
Stilllegung der Trocknung und Nutzung als Schlamm-lager brutto	471.240 €			22.318 €/a
Baunebenkosten (25 %)	117.810 €			5.580 €/a
<b>Gesamtkosten brutto (gerundet)</b>	<b>589.100 €</b>			<b>27.900 €/a</b>

Betriebskosten:

	Menge	Spezifische Kosten	Jahreskosten
Personalkosten	0,1 MA/a	50.000 €/a	5.000 €/a
Energiekosten	13.750 kWh/a	0,188 €/kWh	2.585 €/a
Schlamm-entsorgung entwässert (24 %)	885 t/a	125 €/t	110.625 €/a
Wartung (Ansatz 1,0 % vom Invest)			3.960 €/a
<b>Betriebskosten netto</b>			<b>122.170 €/a</b>
<b>Betriebskosten brutto (gerundet)</b>			<b>145.400 €/a</b>

Eine (extreme) Alternative („Null-Variante“) zum Umbau der Trocknung als Schlamm-lager ist die Stilllegung der Trocknung ohne Rück- bzw. Umbau. Der entwässerte Schlamm würde über den Container im neuen Maschinengebäude entsorgt werden. Die Container müssten „nur“ durch das Kläranlagenpersonal umgesetzt und zwischengelagert werden.

Für diese „Null-Variante“ stellen sich die Betriebskosten wie folgt dar:

	Menge	Spezifische Kosten	Jahreskosten
Personalkosten	0,2 MA/a	50.000 €/a	10.000 €/a
Energiekosten	13.750 kWh/a	0,188 €/kWh	2.585 €/a
Schlamm-entsorgung entwässert (24 %)	885 t/a	125 €/t	110.625 €/a
<b>Betriebskosten netto</b>			<b>123.210 €/a</b>
<b>Betriebskosten brutto (gerundet)</b>			<b>146.600 €/a</b>

## 5. VERGLEICH DER VARIANTEN

### 5.1 Wirtschaftlichkeitsvergleich

Die zur monetären Bewertung der beiden Systeme durchgeführte Kostenvergleichsrechnung erfolgt nach den Vorgaben der „Leitlinie zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Richtlinie)“ (8. Auflage) der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Dabei findet der Kostenvergleich auf Basis der Jahreskosten statt. Diese setzen sich aus den jeweiligen Kapital- und Betriebskosten zusammen.

Für die Kostenvergleichsrechnung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Nutzungsdauer Bautechnik: 30 a
- Nutzungsdauer Klärtechnische Einrichtung: 15 a
- Nutzungsdauer EMSR-Technik: 15 a
- Realzinssatz: 0,5 % p.a.

Die Jahreskosten sind in den Investitionskostentabellen am Ender der jeweiligen Variante dargestellt.

Die nachfolgende Tabelle enthält eine Gegenüberstellung der betrachteten drei Varianten hinsichtlich der Jahreskosten.

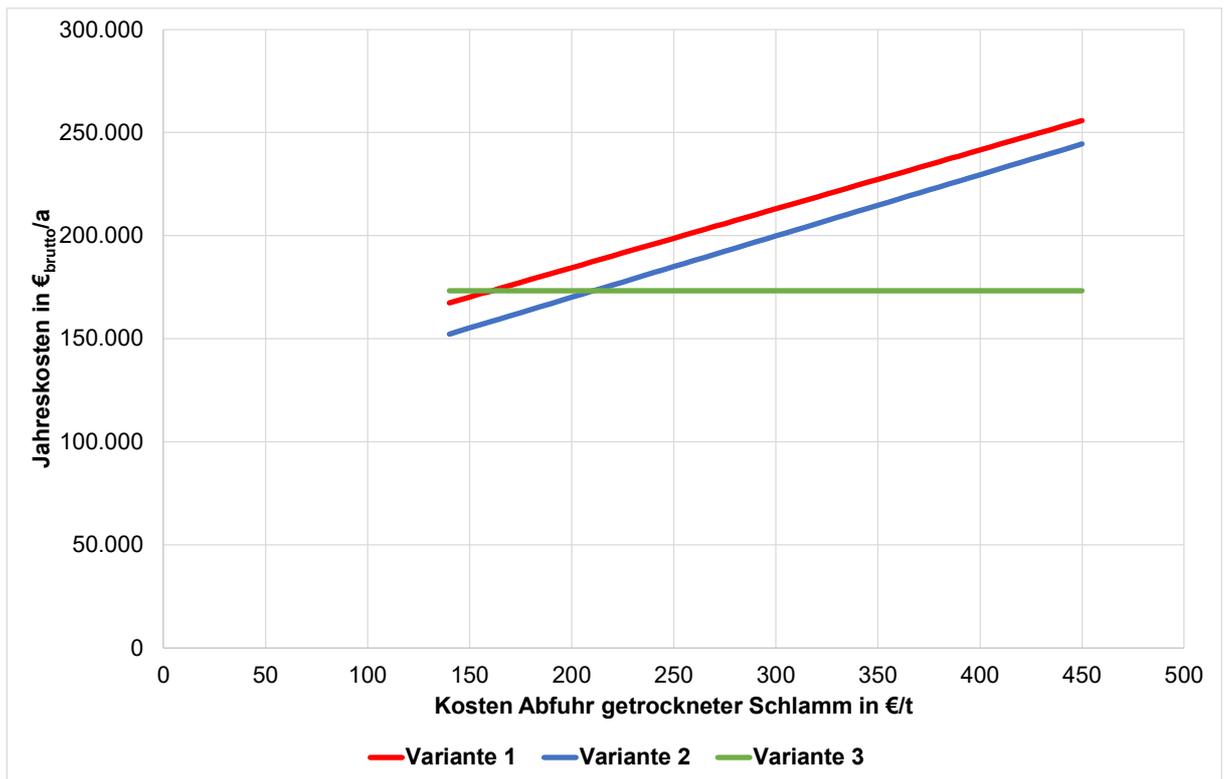
	Variante 1: Ertüchtigung der bestehenden Trocknung	Variante 2: Neubau einer Trocknung	Variante 3: Stilllegung der Trocknung und Nutzung als Schlammlager
Investitionskosten netto	880.695 € <sub>netto</sub>	902.695 € <sub>netto</sub>	396.000 € <sub>netto</sub>
Mehrwertsteuer (19 %)	167.332 €	171.512 €	75.240 €
Investitionskosten brutto	1.048.027 € <sub>brutto</sub>	1.074.207 € <sub>brutto</sub>	471.240 € <sub>brutto</sub>
Baunebenkosten (25 %)	262.007 €	268.552 €	117.810 €
<b>Gesamtinvestitionskosten brutto (gerundet)</b>	<b>1.310.000 €<sub>brutto</sub></b>	<b>1.342.800 €<sub>brutto</sub></b>	<b>589.100 €<sub>brutto</sub></b>
<b>Kapitalkosten</b>	<b>85.800 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>85.900 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>27.900 €<sub>brutto/a</sub></b>
Betriebskosten netto	68.498 € <sub>netto/a</sub>	55.743 € <sub>netto/a</sub>	122.170 € <sub>netto/a</sub>
<b>Betriebskosten brutto (gerundet)</b>	<b>81.500 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>66.300 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>145.400 €<sub>brutto/a</sub></b>
<b>Jahreskosten</b>	<b>167.300 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>152.200 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>173.300 €<sub>brutto/a</sub></b>

In einer weiteren Gegenüberstellung wird die „Null-Variante“ noch mit betrachtet.  
 Bei dieser Variante fallen nur die Betriebskosten an.

	Variante 1: Ertüchtigung der bestehenden Trocknung	Variante 2: Neubau einer Trocknung	Variante 3: Stilllegung der Trocknung und Nutzung als Schlamm-lager	"Null-Variante": Stilllegung der Trocknung ohne Rückbau
Investitionskosten netto	880.695 € <sub>netto</sub>	902.695 € <sub>netto</sub>	396.000 € <sub>netto</sub>	0,00 € <sub>netto</sub>
Mehrwertsteuer (19 %)	167.332 €	171.512 €	75.240 €	0,00 €
Investitionskosten brutto	1.048.027 € <sub>brutto</sub>	1.074.207 € <sub>brutto</sub>	471.240 € <sub>brutto</sub>	0,00 € <sub>brutto</sub>
Baunebenkosten (25 %)	262.007 €	268.552 €	117.810 €	0,00 €
<b>Gesamtinvestitionskosten brutto (gerundet)</b>	<b>1.310.000 €<sub>brutto</sub></b>	<b>1.342.800 €<sub>brutto</sub></b>	<b>589.100 €<sub>brutto</sub></b>	<b>0 €<sub>brutto</sub></b>
<b>Kapitalkosten</b>	<b>85.800 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>85.900 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>27.900 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>0 €<sub>brutto/a</sub></b>
Betriebskosten netto	68.498 € <sub>netto/a</sub>	55.743 € <sub>netto/a</sub>	122.170 € <sub>netto/a</sub>	123.210 € <sub>netto/a</sub>
<b>Betriebskosten brutto (gerundet)</b>	<b>81.500 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>66.300 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>145.400 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>146.600 €<sub>brutto/a</sub></b>
<b>Jahreskosten</b>	<b>167.300 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>152.200 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>173.300 €<sub>brutto/a</sub></b>	<b>146.600 €<sub>brutto/a</sub></b>

VORABZUG

## 5.2 Sensitivitätsanalyse



Die Abbildung zeigt die Abhängigkeit der Jahreskosten der drei betrachteten Varianten von den Kosten der Schlammentsorgung des getrockneten Schlammes. Dabei wurden für die Variante 1 und 2 die Mengen an entwässertem und getrocknetem Klärschlamm aus der vorherigen Berechnung angesetzt.

Bei der Betrachtung wurde angenommen, dass der Preis für die Entsorgung des entwässerten Schlammes sowie die betrachteten Jahreskosten der Variante 3 konstant bleiben.

Als Ergebnis ist ersichtlich, dass bis zu einem Preis von 165 €/t (Variante 1) bzw. 215 €/t (Variante 2) für die Entsorgung des getrockneten Schlammes die Varianten mit Trocknung wirtschaftlicher sind. Derzeit wird mit einem Preis von 140 €/t gerechnet.

Jedoch wird an dieser Stelle angemerkt, dass die Entsorgungssicherheit des getrockneten Schlammes nur für die nächsten zwei Jahre gegeben ist und darüber hinaus bisher keine Aussage getroffen werden kann.

### 5.3 Bewertungsmatrix

Für den Verfahrensvergleich sind jedoch nicht nur die monetären Aspekte, sondern auch die technischen Aspekte von Bedeutung.

Um die Varianten untereinander vergleichen zu können, wird eine Bewertungsmatrix mit ausgewählten monetären und technischen Kriterien erstellt.

Die Kriterien erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Bewertung erfolgt auf die vorhandenen Bedingungen auf der Kläranlage Mittleres Wieslaufal und lässt sich somit nicht auf andere Kläranlagen übertragen.

Die Kriterien wurde nach ihrer Bedeutung für die Entscheidungsfindung gewichtet. Die Bewertung der Kriterien findet mit einer Punkteverteilung von 1 – 5 (1 sehr gut, 2 gut, 3 neutral, 4 negativ, 5 sehr negativ) statt.

Bewertungskriterien	Gewichtung	Variante 1: Ertüchtigung der bestehenden Trocknung		Variante 2: Neubau einer Trocknung		Variante 3: Stilllegung der Trocknung und Nutzung als Schlamm-lager	
		Punkte	Punkte inkl Gewichtung	Punkte	Punkte inkl Gewichtung	Punkte	Punkte inkl Gewichtung
Investitionskosten	25,00%	5	1,25	5	1,25	3	0,75
Betriebskosten	25,00%	3	0,75	2	0,50	5	1,25
Entsorgungssicherheit	25,00%	4	1,00	4	1,00	1	0,25
Betriebssicherheit	15,00%	5	0,75	3	0,45	2	0,30
Arbeitsschutz	10,00%	5	0,50	3	0,30	2	0,20
<b>Summe</b>	<b>100,00%</b>		<b>4,25</b>		<b>3,50</b>		<b>2,75</b>
<b>Nutzwert</b>		<b>65%</b>		<b>79%</b>		<b>100%</b>	

## 6. SCHLUSSBEMERKUNG

In der vorliegenden Studie wurde die vorhandene Schlamm-trocknungsanlage untersucht.

Dabei wurden drei Varianten betrachtet:

- Variante 1: Ertüchtigung der bestehenden Trocknung
- Variante 2: Neubau einer Trocknung
- Variante 3: Stilllegung der Trocknung

Wirtschaftlich gesehen ist der Neubau einer Trocknung die zu wählende Variante. Diese hat aufgrund der geringeren Betriebskosten die geringsten Jahreskosten. Dies hängt vor allem mit der zu entsorgenden Menge an Klärschlamm zusammen, da die Investitionskosten der Stilllegung deutlich geringer sind als der Neubau.

Aufgrund dessen wurden die Entsorgungskosten des Klärschlammes in einer Sensitivitätsanalyse noch genauer untersucht. Daraus geht hervor, dass bis zu einem Preis von 165 - 215 €/t getrockneter Schlamm, die beiden Trocknungsvarianten weiterhin wirtschaftlicher sind.

Ein weiterer Punkt, der beleuchtet wurde, ist die Entsorgungssicherheit der beiden verschiedenen Schlämme. Dieser spielt auch im technischen Vergleich der Varianten eine entscheidende Rolle. Für den entwässerten Schlamm kann die Entsorgung in den nächsten Jahren gewährleistet werden. Für den getrockneten Schlamm hingegen wird die Entsorgung, laut Aussage von Entsorgungsbetrieben, immer schwieriger werden.

Weiterhin spielt auch das Entwässerungsaggregat selbst eine entscheidende Rolle. Mit der derzeitigen Schneckenpresse wird ein Entwässerungsgrad von ca. 20 % TR erreicht. Mit diesem Entwässerungsergebnis müssen jährlich ca. 1.100 t Schlamm entsorgt oder getrocknet werden.

Mit einer neuen Schneckenpresse können Entwässerungsgrade von ca. 24 % TR erreicht und somit die Schlammmenge auf ca. 885 t/a reduziert werden. Bei dem Einsatz einer Zentrifuge als Entwässerungsaggregat (nur bei Stilllegung der Trocknung möglich) können Entwässerungsgrade von ca. 28 % TR erreicht werden. Die Schlammmenge reduziert sich somit auf ca. 760 t/a.

Diese Reduzierungen wirken sich auf die Entsorgungskosten aus, da weniger Schlamm entsorgt werden muss. Der Austausch des Entwässerungsaggregats ist allerdings mit neuen Investitionskosten verbunden.

Aufgrund der Entsorgungssicherheit und der technischen einfachen Lösung erscheint die Stilllegung der Trocknung die technisch sinnvollere und zukunftssichere Variante und wird aus heutiger Sicht empfohlen.

Aufgestellt: Ulm, im September 2020  
Döpp/Wirtz

Anerkannt: .....

.....  
**SAG-Ingenieure**

.....  
**Die Bauherrschaft**