

# Interkommunaler Teil-Energienutzungsplan zur energetischen Klärschlammverwertung für drei Gemeinden des ILE Nationalparkgemeinden e.V.





# Interkommunaler Teil-Energienutzungsplan zur energetischen Klärschlammverwertung für drei Gemeinden des ILE Nationalparkgemeinden e.V.

#### Auftraggeber:

Gemeinde Spiegelau Konrad-Wilsdorf-Straße 5 94518 Linden bei Spiegelau

#### Auftragnehmer

Institut für Energietechnik IfE GmbH an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden Kaiser-Wilhelm-Ring 23a 92224 Amberg

#### Gefördert durch das

Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

#### Bearbeitungszeitraum:

Februar bis Mai 2021



# **INHALTSVERZEICHNIS**

A	Abbildungsverzeichnis2		
N	Nomenklatur 3		
1	Ein	leitung	4
2	Ziel	setzung und Aufgabenstellung	5
3	Tec	hnische Möglichkeiten der Klärschlammverwertung	8
	3.1	Klärschlammfaulung	10
	3.2	Klärschlammentwässerung	10
	3.3	Klärschlammtrocknung	13
	3.4	Klärschlammmonoverbrennung	15
	3.5	Stoffliche Verwertungsmöglichkeiten	16
4	Auf	bau einer fundierten Datengrundlage	19
5	Sta	Stand und Potential der Klärschlammfaulung25	
6	Definition einer Entwässerungsstruktur		26
	6.1	Ökonomische Bewertung der Entwässerungsmöglichkeiten im ILE-Cluster	28
	6.2	Ökologische Bewertung der Entwässerungsvarianten	30
7	Varianten zur Klärschlammverwertung		33
	7.1	Szenario 1: Entwässerung und thermische Verwertung	33
	7.2	Szenario 2: Monoverbrennung	35
	7.2.	1 Szenario 2a: Monoverbrennung ILE Gemeinden + LK Regen	35
	7.2.	2 Szenario 2b: Monoverbrennung im Verbund	36
	7.3	Szenario 3: Stoffliche Verwertungsmöglichkeiten	36
8	Wir	tschaftlichkeitsbetrachtung der Klärschlammverwertungsvarianten	37
	8.1	Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	37
	8.2	Kostenbestandteile	39
	8.3	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	42
9	Zus	ammenfassung und Ausblick	46



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entsorgung des bayerischen Klärschlamms im Jahr 20175
Abbildung 2: Entsorgung des im Landkreis Regen anfallenden Klärschlamms 2016 bis 20186
Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Klärschlammmenge und TS-Gehalt8
Abbildung 4: Schritte der Klärschlammbehandlung9
Abbildung 5: Beispiel einer Schneckenpresse zur Klärschlammentwässerung11
Abbildung 6: Entwässerungskonzept
Abbildung 7: Solar- und Bandtrockner
Abbildung 8: Schema einer Trocknungsanlage
Abbildung 9: Der OxFA-Prozess
Abbildung 10: Verfahrensschema blueFLUX
Abbildung 11: Darstellung der Kläranlagenstruktur in den ILE Gemeinden19
Abbildung 12: Klärschlammanfall nach Größenklassen
Abbildung 13: Aktuelle Entwässerungsstrukturen und Potentiale im ILE Bereich21
Abbildung 14: Theoretisches Abwärmepotential im Landkreis Regen22
Abbildung 15: Wärmemengen zur Klärschlammtrocknung23
Abbildung 16: Entwässerungscluster im Bereich der ILE Gemeinden
Abbildung 17: Bewertung der zusätzlichen Frachten durch Filtratwasser29
Abbildung 18: jährliche Kosten der Entwässerungsvarianten30
Abbildung 19: CO <sub>2</sub> -Emissionen durch Strombedarf für Entwässerung und Transport  Nassschlamm
Abbildung 20: Auszug möglicher Klärschlammverwertungsanlagen in Bayern34
Abbildung 21: Übliche Gesamtentsorgungspreise 2018 ILE + LK Regen38
Abbildung 22: Jährliche Fahrtstrecken zur Klärschlammverwertung der ILE Gemeinden 39
Abbildung 23: Investitionskosten
Abbildung 24: jährliche Betriebskosten
Abbildung 25: spezifische Klärschlammverwertungskosten 44



# Nomenklatur

ENP Energienutzungsplan

CO<sub>2</sub> Kohlenstoffdioxid

TS Trockensubstanz

EW Einwohnerwert

EWG Einwohnergleichwert

kWh Kilowattstunde

kg Kilogramm

to Tonne

TM Trockenmasse

GK Größenklasse

GK 1 1 - 1.000 EW

GK 2 1.001 - 5.000 EW

GK 3 5.001 - 10.000 EW

GK 4 10.001 - 100.000 EW

GK 5 > 100.000 EW

NH4-N Ammoniumnitrat



# 1 Einleitung

In den vergangenen Jahren hat sich die Situation der Klärschlammverwertung deutlich verschärft. Eine landwirtschaftliche Ausbringung ist im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben nur noch eingeschränkt möglich. Darüber hinaus sind die Kosten für die Verwertung durch externe Dienstleister zum Teil um mehr als das Doppelte angestiegen. Zusätzlich werden einige aktuelle Entsorgungswege für Klärschlamm, wie z.B. die Mitverbrennung in Kohlekraftwerken künftig nicht mehr verfügbar sein. Für viele Kommunen ist somit eine langfristige Planung der Klärschlammverwertung nicht möglich.

Ziel des Konzeptes ist es, eine mittel- und langfristig gesicherte, wirtschaftliche und umweltfreundliche Lösung im Hinblick auf die Verwertung des in den kommunalen Kläranlagen des in drei Gemeinden des ILE Nationalparkgemeinen e.V. anfallenden Klärschlammes aufzuzeigen.

Hierbei soll für die ILE Gemeinden ein logistisch und verfahrenstechnisch optimiertes Konzept zur Klärschlammverwertung im ländlichen Raum entwickelt werden, welches eine maximale energetische und in einem zweiten Schritt stoffliche Verwertung wertvoller Inhaltsstoffe anstrebt. Dabei soll auch auf Erkenntnisse aus dem interkommunalen Teil-Energienutzungsplan für den Landkreis Regen zurückgegriffen werden. Mit diesem Konzept wird das Ziel verfolgt, die Vorteile der interkommunalen Klärschlammverwertung auch über Landkreisgrenzen hinaus nutzbar zu machen.

Aus ökologischer Sicht können durch eine sinnvolle thermische Klärschlammentsorgung, Schadstoffe aus dem Stoffkreislauf entnommen werden und damit in den verschiedenen Umweltmedien minimiert werden. Außerdem ist davon auszugehen, dass auch das Klimaschutzziel der Gemeinden des ILE Nationalparkgemeinden e.V., hier insbesondere die Reduzierung der Treibhausgase dargestellt als CO<sub>2</sub>-Emissionen, positiv beeinflusst wird.



# 2 Zielsetzung und Aufgabenstellung

Klärschlamm ist der bei der Abwasserbehandlung in Kläranlagen anfallende Schlamm und beschreibt eine Mischung aus pastösen Stoffen und Feststoffen, die bei der Abwasserreinigung durch Sedimentation anfallen und einer gesonderten Behandlung unterliegen. Er gilt als Paradebeispiel eines dezentral entstehenden Abfallproduktes regenerativer Art. Neben der Eigenschaft als Träger wertvoller Pflanzennährstoffe (insbesondere Phosphor) wirkt Klärschlamm als Schadstoffsenke, da neben der Anreicherung der im Abwasser vorhandenen Schwermetalle ebenso eine Anreicherung organischer Schadstoffe stattfindet. Entsprechend soll die landwirtschaftliche Ausbringung von Klärschlamm eingeschränkt werden. Eine Verschärfung der Grenzwerte in der derzeit gültigen Klärschlammverordnung wird nur zu einer zeitlichen "Streckung" des Schadstoffeintrages führen. Des Weiteren ergeben sich aus der Düngemittelverordnung (2017) und der Klärschlammverordnung (2017) erhöhte bürokratische Anforderungen an die landwirtschaftliche Ausbringung. Durch die rückläufige Zahl der nutzbaren Flächen und damit einhergehend sinkenden Zahl an Landwirten, welche eine Ausbringung ermöglichen, ist auch mit einem Anstieg der Entsorgungskosten zu rechnen.

Dabei setzt Bayern bevorzugt auf die thermische Verwertung des Klärschlammes. Somit sollen Schadstoffe aus dem Stoffkreislauf entfernt werden. Zur Rückführung der Wertstoffe soll beispielsweise die Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammasche in den Fokus gerückt werden.

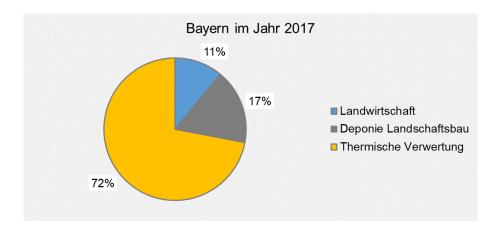


Abbildung 1: Entsorgung des bayerischen Klärschlamms im Jahr 2017(Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik)



Die Abbildung zeigt, dass im Jahr 2017 knapp drei Viertel des bayerischen Klärschlamms der thermischen Verwertung zugeführt wurde und damit den wichtigsten Entsorgungsweg darstellt. Gut 17 % des Klärschlammes wurden dem Landschaftsbau zugeführt. Darunter ist die Rekultivierung bzw. Deponierung von Klärschlamm zu verstehen. Der Anteil an landwirtschaftlich ausgebrachtem Klärschlamm betrug rund 10 %.

Knapp die Hälfte des bayerischen Klärschlamms wurde außerhalb des Freistaats dem Landschaftsbau oder der Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerken zugeführt. Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt, dass der Trend in Richtung thermischer Verwertung des Klärschlamms geht, wie es auch vom Freistaat Bayern gefordert wird.

Allerdings zeigt sich insbesondere in ländlich geprägten Landkreisen häufig ein deutlich höherer Anteil an landwirtschaftlich ausgebrachtem Klärschlamm. Gleichzeitig ist es auf vielen Kläranlagen der Größenklassen 1 und 2 nicht möglich, den Rohschlamm weiter zu behandeln. Vor allem die Entwässerung ist vielerorts technisch nicht realisierbar. Diese ist eine Grundvoraussetzung zur weiteren Verwertung des Klärschlamms in der (Mit-)Verbrennung oder Trocknung. Eine Umstrukturierung der Klärschlammverwertung in ländlichen Regionen ist daher häufig nur durch interkommunale Zusammenarbeit umsetzbar. Diese Situation ist ebenfalls im ILE Nationalparkgemeinden e.V. erkennbar, wie in Abbildung 2 dargestellt.

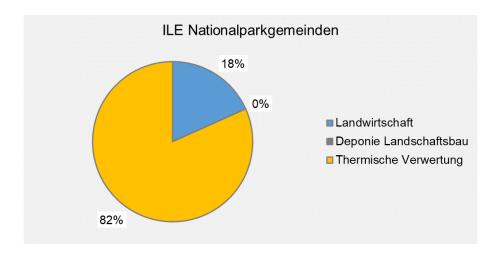


Abbildung 2: Entsorgung des im Landkreis Regen anfallenden Klärschlamms 2016 bis 2018

Der Anteil der thermischen Verwertung liegt bereits bei 82 %, gut 18 % wird landwirtschaftlich ausgebracht. Für die Anteile der Entsorgung in Landwirtschaft und Landschaftsbau sollen entsprechend der Zielsetzung der Bayrischen Staatsregierung den Anteil zur thermischen Verwertung stetig zu erhöhen, alternative Lösungen gefunden werden.



Zwar wird bereits ein Großteil des Klärschlammes thermisch verwertet, allerdings ist darunter die Entsorgung von entwässertem Klärschlamm durch ein Dienstleistungsunternehmen zu verstehen, welches den Klärschlamm in den häufigsten Fällen der Mitverbrennung in Kraftwerken oder der Zementindustrie zuführt. Verträge zur Entsorgung des Klärschlammes werden in den meisten Fällen nur über ein Jahr angeboten, wodurch keine langfristig kalkulierbare und auch gesicherte Entsorgung möglich ist.

Die Zielsetzung der ILE-Nationalparkgemeinden liegt darin, eine gemeinsame, langfristige und ökonomische sowie ökologische Klärschlammverwertung auszuarbeiten und umzusetzen. Die interkommunale Zusammenarbeit bietet die Möglichkeit Standortvorteile und Synergien optimal zu nutzen, dabei sollen auch die Erkenntnisse aus dem Teil-ENP für den Landkreis Regen geprüft und analysiert werden.

Das Konzept zur interkommunalen Klärschlammverwertung soll eine neutrale Gegenüberstellung vorhandener Technologien zur Klärschlammverwertung bilden. Grundlegende Voraussetzung ist entwässerter Klärschlamm. Neben der thermischen Verwertung besteht auch die Möglichkeit zur stofflichen Verwertung von Klärschlamm, diese Option soll analysiert werden.

Folgende Gliederungspunkte sind in der Ausarbeitung des Klärschlammkonzepts von elementarer Bedeutung:

- Umfassende Datenerhebung zu den kommunalen Kläranlagen
  - Datenerhebung
  - o Vor-Ort-Besichtigungen und Gespräche mit den Beteiligten
- Analyse der technischen Möglichkeiten der Klärschlammbehandlung
  - o Klärschlammfaulung
  - Klärschlammentwässerung
  - o Klärschlammtrocknung
  - Stoffliche Verwertung
  - Thermische Verwertung
- Potenzielle Standorte zur Klärschlammtrocknung
- Aufbau verschiedener Trocknungsszenarien
- Potenzielle Standorte für Klärschlammverbrennungsanlagen
- Berechnung der Transportstrecken sowie der damit verbundene CO<sub>2</sub>-Ausstoß
- Grobprüfung der Wirtschaftlichkeit
- Anlagensteckbriefe



# 3 Technische Möglichkeiten der Klärschlammverwertung

Ziel der Klärschlammbehandlung ist es, die Schlammmenge zunächst zu reduzieren und anschließend einer energetischen und stofflichen Verwertung zuzuführen. Die Reduktion der Schlammmenge wird im Wesentlichen durch die Verringerung des Wassergehaltes erreicht.

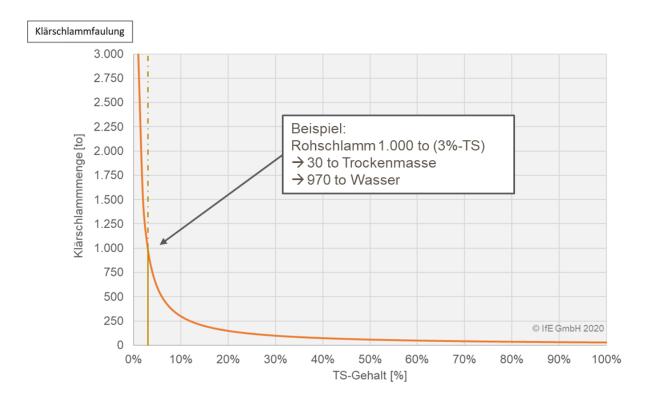


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Klärschlammmenge und TS-Gehalt<sup>1</sup>

Abbildung 3 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der Klärschlammmenge und dem Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) des Klärschlammes. Im Beispiel wird eine Rohschlammenge von 1.000 to bei einem TS-Gehalt von 3 % betrachtet. Diese beinhaltet in diesem Zustand 30 to Trockenmasse (TM) sowie 970 to Wasser. Bei einer Verdopplung des TS-Gehaltes reduziert sich die Klärschlammenge um die Hälfte. Bei einem TS-Gehalt von 25 % verringert sich diese Schlammenge beispielsweise auf 120 to.

Die Reduktion des Wassergehalts im Klärschlamm wird im Wesentlichen durch zwei Verfahrensschritte erreicht. Im ersten Schritt wird der Klärschlamm entwässert, sodass ein akzeptables Transportvolumen erreicht wird.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> In Anlehnung an DWA-M-366 Maschinelle Schlammentwässerung



Je nach Verwertungsweg folgt darauf die Trocknung des Klärschlamms an geeigneten Standorten. Schließlich wird der Klärschlamm der Verwertung zugeführt.

Aufgrund des hohen energetischen Potentials der Klärschlammfaulung, darf diese im Konzept nicht außer Acht gelassen werden. Durch die Faulung kann zum einen Strom und Wärme gewinnbringend erzeugt und zum anderen eine Klärschlammreduktion erreicht werden.

Abbildung 4 stellt die wesentlichen Schritte der Klärschlammbehandlung von der Klärschlammfaulung über die Entwässerung und Trocknung bis zur Verwertung schematisch dar. Dabei wird die Erhöhung des TS-Gehaltes und damit verbundene Reduktion der Klärschlammmenge während der Entwässerung und Trocknung veranschaulicht. Klärschlamm liegt im Durchschnitt mit etwa 3 %-TS vor und wird anschließend auf etwa 25 %-TS entwässert.

Sollte eine Trocknung genutzt werden, ist ein Trockensubstanzgehalt von 90 % anzustreben.

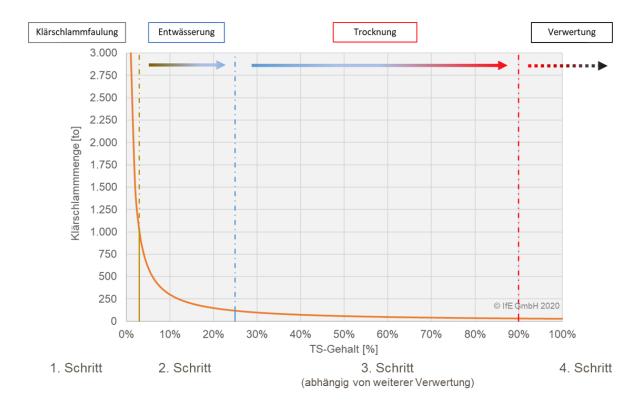


Abbildung 4: Schritte der Klärschlammbehandlung



#### 3.1 Klärschlammfaulung

Unter Klärschlammfaulung ist die Produktion von Synthesegas aus Klärschlamm zu verstehen. Durch Luftmangel entsteht ein brennbares Gas, welches zum Beispiel in einem BHKW oder einer Turbine zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt werden kann. Durch Eigennutzung der Energie wird die Energiebilanz der Anlagen positiv beeinflusst. Zusätzlich kann die Klärschlammmenge um bis zu 30 % reduziert werden.

Das theoretische Potential zur Erzeugung von Strom und Wärme aus der gesamten Klärschlammenge der ILE Gemeinden liegt jährlich bei ca. 240.000 kWh Strom und ca. 420.000 kWh Wärme.

#### 3.2 Klärschlammentwässerung

Rohschlamm, welcher an den Kläranlagen nach der Abwasserreinigung anfällt, hat einen durchschnittlichen Trockengehalt von etwa 3 %. Zur Reduktion der Transportmengen ist es empfehlenswert, wenn der Klärschlamm auf ca. 20 - 25 %-TS entwässert wird. Die Transportmenge reduziert sich dadurch um mehr als 85 %. Damit einhergehend können Transportkosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen gesenkt werden.

Entwässerung kann durch stationäre oder mobile Entwässerungssysteme erfolgen. Die Wahl der Entwässerung muss für jede Kläranlage individuell hinsichtlich verschiedener Faktoren geprüft werden. Schwerpunkte in der Entscheidungsfindung liegen in der Wirtschaftlichkeit, der technischen Umsetzbarkeit und der zukünftigen Ausrichtung des Standorts (Zusammenschluss, Neubau, etc.).

Das Filtratwasser muss in der Regel der Kläranlage dosiert zugeführt werden, um hohe Belastungen der Kläranlage zu vermeiden. Vor allem bei der mobilen Entwässerung sind dafür häufig Filtratwasserspeicher notwendig.

Der Vorteil von stationären Entwässerungssystemen ist einerseits die kontinuierliche Betriebsweise, wodurch auf die aktuelle Reinigungsleistung der Biologie Rücksicht genommen werden kann. Filtratwasserspeicher fallen, falls benötigt, deutlich kleiner aus als bei mobiler Entwässerung. Aufgrund kleinerer Aggregate im Vergleich zu mobilen Entwässerungsanlagen, ist mit reduzierten Stromspitzen zu rechnen, wodurch Betriebskosten gesenkt werden. Ein weiterer positiver Effekt von stationär betriebenen Entwässerungen ist der stetige Optimierungsprozess dieser Anlagen, welcher vom Betriebspersonal vorangetrieben wird.



Der kontinuierliche Betrieb reduziert außerdem die Abhängigkeit von Drittanbietern, welche durch die große Nachfrage häufig nicht kurzfristig greifbar sind. Als Nachteil sind der relativ hohe Investitionsaufwand und (wenn auch nur zu einem geringen Anteil) zusätzliche Personalkosten zu werten.



Abbildung 5: Beispiel einer Schneckenpresse zur Klärschlammentwässerung (Quelle: IEA Derflinger GmbH)

Die mobile Entwässerung erfordert kein eigenes Personal, dies wird in der Regel vom Dienstleister übernommen. Außerdem ist keine Investition notwendig. Durch den diskontinuierlichen Betrieb und hohe Durchsatzmengen ist ein Filtratwasserspeicher notwendig, ansonsten ist mit einer Überlastung und Beeinträchtigung der biologischen Reinigungsstufe zu rechnen. Die vergleichsweise große Anlagentechnik und hohen Durchsatzmengen führen bei mobilen Entwässerungssystemen häufig zu Stromspitzen, welche sich nachteilig auf die Energiebilanz der Kläranlagen und den Strompreis auswirken.

Die mobile Entwässerung kann auch interkommunal betrieben werden. Hierzu schließen sich mehrere Gemeinden zusammen und betreiben eine mobile Entwässerung, welche dann vom Kläranlagenpersonal vor Ort für einen vereinbarten Zeitraum genutzt wird. Vorteil dabei ist, dass die mobile Entwässerung durch dieses Vorgehen für jeden Teilnehmer eine gewisse Planungssicherheit bietet. Außerdem führt der Betrieb im Verbund zu reduzierten Investitionsund Betriebskosten (Wartung- und Instandhaltung). Die bestehende Zusammenarbeit der drei Gemeinden in Form des ILE Nationalparkgemeinden e.V. ist ebenfalls als großer Vorteil zu werten, welche die Kommunikation und Organisation erheblich verbessert.



Von Nachteil sind Auf- und Abbauvorgänge, welche wiederum Personal binden. Das Risiko von Ausfällen durch unsachgemäßen Betrieb steigt mit zunehmender Zahl von Anlagenbetreibern. Zudem ist eine gewisse Witterungsabhängigkeit gegenüber der stationären Entwässerung gegeben, welche vor allem in der Region des Bayerischen Waldes zu tragen kommen kann. Der Betrieb einer mobilen Entwässerung ist bei Schnee und niedrigen Temperaturen nicht oder nur eingeschränkt möglich.

Im Falle fehlender Kapazitäten in der Biologie oder in Filtratwasserspeicher empfiehlt sich der Zusammenschluss mehrerer (kleiner) Kläranlagen. Größere Kläranlagen können den Klärschlamm kleinerer Abwasseranlagen annehmen und entwässern. Auch der Zusammenschluss mehrerer Kläranlagen durch Überleitung des Abwassers ist eine Option. Schematisch wird das Vorgehen in Abbildung 6 dargestellt.

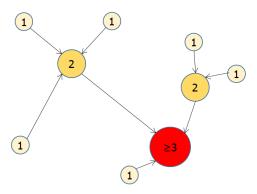


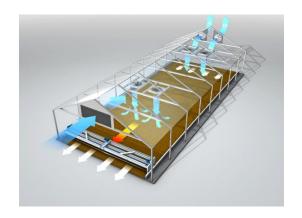
Abbildung 6: Entwässerungskonzept (nach Publikation Klärschlammentsorgung in Bayern)

Voraussetzung zur Annahme von Fremdschlämmen ist die Möglichkeit zur Mischung verschiedener Klärschlämme. In beiden Fällen - Fremdschlammannahme und Überleitung des Abwassers - darf die Biologie der Kläranlagen nicht nachteilig beeinflusst werden.



#### 3.3 Klärschlammtrocknung

Vor dem letzten Verfahrensschritt, der thermischen oder stofflichen Verwertung, kann Klärschlamm mittels Prozesswärme oder Solarenergie getrocknet werden. Hierzu werden meherere Techniken und Vorgehen angeboten, welche sich in der Praxis bereits bewährt haben, wie zum Beispiel Bandtrockner oder solare Trockner.



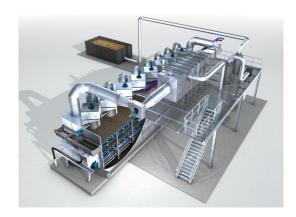


Abbildung 7: Solar- und Bandtrockner (hier Firma Huber SE)

Bei der Klärschlammtrocknung wird zuvor entwässerter Klärschlamm (25 %-TS) unter Einsatz von Wärme oder Sonneneinstrahlung auf Trockengehalt von 75 - 90 %-TS getrocknet, abhängig von der jeweiligen Technik.

Die Wahl des Trocknungssystems ist Bestandteil einer Detailplanung und abhängig von verschiedenen Faktoren wie etwa Abwärmemenge, Temperaturniveau, jährlicher Verfügbarkeit, verfügbarer Fläche, Personal, Kapitaleinsatz, Trockensubstanzgehalt nach Trocknung, und weitere.

Im Vordergrund dieses Konzepts steht die Nutzung bereits vorhandener Abwärmequellen aus Industrie, Gewerbe oder Landwirtschaft (Biogas). Zusätzliche Verbrennung fossiler Brennstoffe zur Trocknung soll weitestgehend vermieden werden. Dadurch kann zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Ausstoß vermieden und bislang ungenutzte Energie sinnvoll eingesetzt werden. In der Regel liegt der durchschnittliche Wärmebedarf zur Trocknung bei 900 bis 1.200 kWh/to<sub>H2O</sub>, abhängig von der Technik und Effizienz. Durch diesen spezifischen Wert kann die benötigte Gesamtwärmemenge zur Trocknung abgeschätzt werden.



Während der Trocknung und der damit verbundenen Abluftreinigung kann, je nach Wahl der Technik, eine zusätzliche Abwassermenge entstehen. In Abbildung 8 werden die wichtigsten Verfahrensschritte einer Klärschlammtrocknungsanlage am Beispiel eines Bandtrockners dargestellt. Bei der Evaluierung ist neben ausreichender Wärmemenge auch auf die aktuelle Auslastung der nachgeschalteten Kläranlage zu achten. Bei der Abluftbehandlung wird in der Regel ein Abluftwäscher zur Entstaubung und Elimination von Schad- und Geruchsstoffen genutzt. Bei diesem Prozessschritt fällt als Produkt eine Ammoniumsulfat-Lösung (ASL) an, welche als Düngemittel genutzt werden kann. Zusätzlich dient ein Biofilter zur weiteren Reduktion von Geruchseinheiten. Bei dieser Reinigungsstufe entsteht eine gewisse Menge an Abwasser, welche in die Kläranlage eingeleitet werden. Zur maximalen Effizienz von Trocknungsanlagen wird die Restwärme aus der Abluft mittels Wärmetauscher zurückgewonnen und der Zuluft zugeführt. Bei diesem Prozess kühlt sich die feuchte Abluft ab, es entsteht ein Kondensat (Brüdenkondensat). Insbesondere die hohen NH<sub>4</sub>-N Konzentrationen können dabei eine erhebliche Belastung für die Biologie der Kläranlage darstellen. Diese Rückbelastung muss in der weiteren Planung beachtet werden.

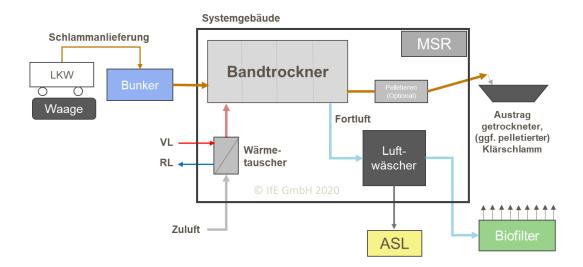


Abbildung 8: Schema einer Trocknungsanlage

Grundsätzlich ist bei Planung einer Klärschlammtrocknungsanlage zu prüfen, ob Entsorgungskapazitäten für getrockneten Klärschlamm vorhanden sind.



#### 3.4 Klärschlammmonoverbrennung

Die thermische Verwertung des Klärschlammes erfolgt entweder über die Mitverbrennung oder die Monoverbrennung. Unter Monoverbrennung ist die alleinige thermische Verwertung eines bestimmten Produkts, im vorliegenden Fall Klärschlamm, zu verstehen. Beispiele für die Mitverbrennung ist der Brennstoffersatz in Kohlekraftwerken, Müllheizkraftwerken oder Zementwerken. Die Kapazitäten zur Verwertung von Klärschlamm sind begrenzt und können nach aktuellem Kenntnisstand nicht zur vollständigen Entsorgung des Klärschlamms beitragen. Vor dem Hintergrund des geplanten Ausstiegs aus der Kohleverstromung werden die Klärschlammmengen, welche der Mitverbrennung zugeführt werden, voraussichtlich weiter sinken. Entsprechend müssen weitere Kapazitäten zur Klärschlammverwertung in Form der Klärschlammmonoverbrennung geschaffen werden.

Ab einem Trockensubstanzgehalt von ca. 55 bis 60 % verbrennt der Klärschlamm selbstständig. Aufgrund der zuvor beschriebenen Möglichkeiten der Klärschlammbehandlung mit oder ohne Trocknung werden Monoverbrennungsanlagen i.d.R. so ausgelegt, dass sowohl Klärschlamm mit ca. 90 % Trockensubstanz und Klärschlamm mit ca. 25 % Trockensubstanz angenommen werden kann. Die bei der Verbrennung entstehende Wärme wird dazu genutzt, Klärschlamm mit 25 % Trockensubstanz vor der Verbrennung zu trocknen.

Dennoch gibt es auch Anlagenkonzepte, welche mit der Verwertung von zuvor getrockneten Klärschlamm (90%-TS) planen. Der Vorteil liegt dabei in einer höheren Wärmeausbeute am Standort der Monoverbrennung, wodurch Strom mittels Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt, oder ein Wärmenetz versorgt werden kann.

Die Klärschlammmonoverbrennung kann durch verschiedene Verfahren umgesetzt werden. Die gängigste Variante bildet die stationäre Wirbelschicht. Diese Anlagen werden im großtechnischen Bereich bis zu einem Klärschlammdurchsatz von 100.000 to<sub>TM</sub>/a von verschiedenen Unternehmen umgesetzt und können als Stand der Technik bezeichnet werden. Darüber hinaus werden weitere Technologien, wie z.B. Drehrohrreaktoren, Rostfeuerungen und Staubfeuerungen eingesetzt. Dezentralere Anlagen im kleineren Maßstab werden vereinzelt umgesetzt und erprobt. Als Beispiel einer kleinen Anlage kann eine stationäre Wirbelschichtanlage auf der Insel Rügen genannt werden, welche einen Durchsatz von etwa 2.000 to<sub>TM</sub>/a vorweist.



#### 3.5 Stoffliche Verwertungsmöglichkeiten

Ergänzend zur thermischen Verwertung des Klärschlamms kann in einer Vorstufe oder ersatzweise eine stoffliche Verwertung des Klärschlamms von Vorteil sein. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um Verfahren, welche sich derzeit noch im Stadium der Forschung und Entwicklung befinden. Zwei Varianten der stofflichen Verwertung werden nachfolgend erläutert.

#### **OxFA-Prozess**

Bei diesem Verfahren handelt es sich um einen katalytischen Prozess zur selektiven Erzeugung von Ameisensäure und Kohlendioxid aus Biomasse.

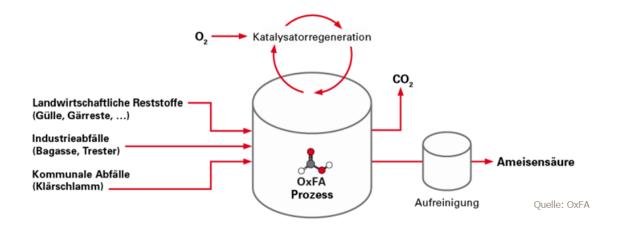


Abbildung 9: Der OxFA-Prozess

Als Input könnte neben Klärschlamm auch andere Biomasse eingesetzt werden wie beispielsweise Gülle, Industrieabfälle oder ähnlichem. Als Produkte des Prozesses entstehen Kohlendioxid, Wasser, Cellulose und als Hauptprodukt Ameisensäure.

Ameisensäure hat ein breites Einsatzspektrum als

- Neutralisierungsmittel
- Säuberungsmittel
- Biozid
- Energiespeicher
- Enteisungsmittel (vor allem zur Enteisung an Flughäfen)



#### **TCR-Technologie**

Beim TCR-Verfahren wird Biomasse thermisch karbonisiert. Klärschlamm kann in diesem Prozess in getrockneter Form verwendet werden. Nach einer katalytischen Reformierung entstehen diverse Produkte, welche in weiteren Prozessen genutzt oder weiter aufgewertet werden. Hierzu ist zu zählen:

- Synthesegas
- Bioöl
- Biokohle
- Wasser

Das Synthesegas kann verwertet werden, beispielsweise in Brennstoffzellen oder BHKW. Auch Bioöl kann in Kraft-Wärme-Kopplung zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden. Vorstellbar ist auch die Anwendung als Kraftstoff in Fahrzeugen. Biokohle kann - abhängig vom Einsatzstoff - als Düngemittel genutzt werden. Bei Klärschlamm sollten die Grenzwerte von Schwermetallen und weiteren Spurenelementen berücksichtigt werden, gegebenenfalls werden die Schwellwerte der Düngemittelverordnung überschritten. Biokohle kann neben der Nutzung als Düngemittel auch als Brennstoff in Kraftwerken zum Einsatz kommen. Bei der Monoverbrennung der Biokohle kann zudem Phosphor rückgewonnen werden, welcher ein wichtiges Düngemittel in der Landwirtschaft ist.

Vorteil der TCR-Technologie: keine Auswirkung auf die vorgeschaltete Abwasserreinigung und anderer Prozesse wie Klärgasproduktion, Entwässerung und Trocknung.

#### **blueFLUX**

Die Firma blueFLUX bietet ein Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff aus Biomasse an. Das Verfahren ist in drei Prozessschritte gegliedert. Mittels Hydrolyse werden die biogenen Stoffe in festen Kohlenstoff und Wasserdampf getrennt. Anschließend werden die Edukte in einen Flugstromvergaser geleitet, in welchem Kohlenstoff und Wasserdampf zur Wasserstoff-produktion eingesetzt wird. Das darin generierte Synthesegas besteht aus Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid. Durch einen weiteren Prozessschritt, der Wassergas-Shift-Reaktion, wird die Ausbeute an Wasserstoff nochmals gesteigert, indem das Kohlenmonoxid mit Wasserdampf zu Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid reagiert. Reststoffe des Prozesses bleiben in Form einer Schlacke zurück, welche entweder deponiert oder weiter aufbereitet werden kann.



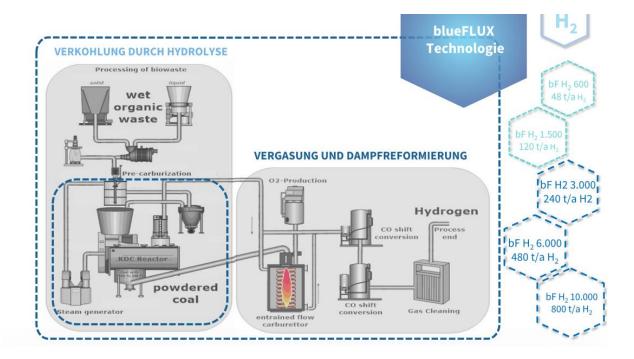


Abbildung 10: Verfahrensschema blueFLUX<sup>2</sup>

Das Verfahrensschema zeigt die drei Wesentlichen Prozessschritte der blueFLUX Technologie. Als Alternative zu Wasserstoff kann der Prozess auch zur Herstellung von Methanol oder Methan genutzt werden. Das Verfahren befindet sich derzeit in der Pilotphase.

\_

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> https://www.bluefluxenergy.com/de/



# 4 Aufbau einer fundierten Datengrundlage

Im Rahmen einer umfassenden Datenerhebung wurden alle kommunalen Kläranlagen hinsichtlich relevanter Parameter erfasst. Neben der Ist-Situation sollen auch die zukünftige Planung sowie mögliche Zusammenschlüsse mitberücksichtigt werden. Aus den erhobenen Daten kann mittels eines Geoinformationssystems (GIS) eine übersichtliche Darstellung verschiedener relevanter Daten erstellt werden, wie in Abbildung 11 bis Abbildung 14 veranschaulicht wird.

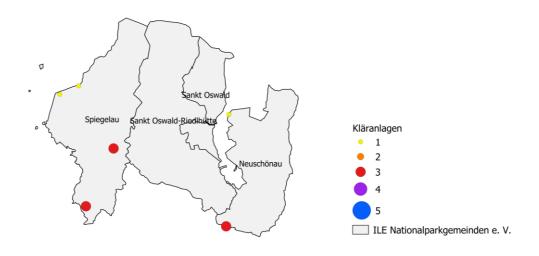


Abbildung 11: Darstellung der Kläranlagenstruktur in den ILE Gemeinden

Die Karte zeigt, dass sechs Kläranlagen der Größenklassen I und III betrieben werden. Die Anzahl wird sich in absehbarer Zeit nicht weiter verändern, da Zusammenschlüsse kleinerer Kläranlagen oder der Anschluss an eine Zentralkläranlage nicht geplant sind. In den Gemeinden befinden sich teilweise kleine Teichkläranlagen, welche zur Abwasserreinigung kleinerer Ortschaften oder von Gastronomie- und Tourismuseinrichtung genutzt werden. Zwei Kläranlagen der Größenklasse III werden saniert, dies betrifft die Kläranlage OT Augrub in der Gemeinde Spiegelau, sowie die Kläranlage des AZV Schönanger-Sankt Oswald. Beide Anlagen sollen vom bisherigen Tropfkörpersystem zu einer SBR-Anlage umgebaut werden. Es ist daher davon auszugehen, dass sich die Klärschlammmenge aufgrund des Belebtschlammverfahrens in den genannten Kläranlagen zukünftig erhöhen wird.



Neben den Klärschlammmengen wurden auch Informationen zur aktuellen und geplanten Klärschlammbehandlung an den kommunalen Kläranlagen erfragt. Hierzu zählen Anlagentyp, Art der Entwässerung, Art der Trocknung und die weitere Entsorgung. Kleinere Anlagen der Größenklassen I und II sind häufig Teichkläranlagen. Der Klärschlamm dieser Anlagen wird nicht kontinuierlich abgeführt, sondern im mehrjährigen Turnus ausgebaggert.

Für eine zielführende Abschätzung der zukünftig anfallenden Klärschlammmengen wird jeweils ein Zeitraum von drei Jahren betrachtet. Wenn in diesem Zeitraum keine aussagekräftigen Mengenangaben erfasst werden können, wird die zu erwartende Klärschlammenge nach Literaturwerten bestimmt. Abbildung 12 zeigt eine Übersicht der jährlich anfallenden Klärschlammenge in den ILE Gemeinden.

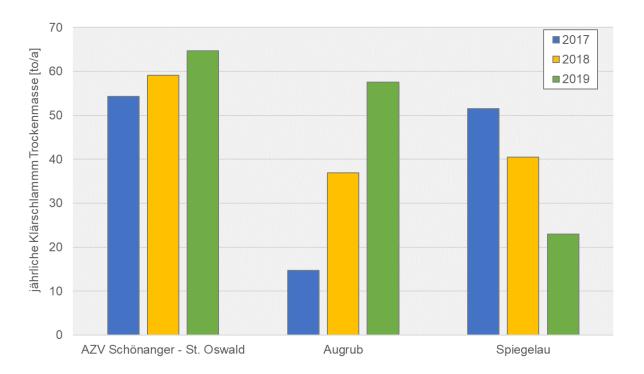


Abbildung 12: Klärschlammanfall nach Größenklassen

Die Schwankung in den Klärschlammmengen in Augrub und Spiegelau kann darauf zurückgeführt werden, dass Schlämme der KA Augrub zum Teil in der KA Spiegelau entwässert wurden. Die Gesamtklärschlammmenge lag im Betrachtungszeitraum bei durchschnittlich 134 to<sub>TM</sub>/a.



Abbildung 13 zeigt die aktuellen Entwässerungsstrukturen im Bereich der ILE Gemeinden. Kläranlagen, an denen derzeit stationär entwässert wird, sind blau umrandet. Die mobilen Entwässerungsaggregate sind schwarz umrandet dargestellt. Während der Bearbeitungsphase des Klärschlammkonzepts herrschen an einigen Standorten bereits Sanierungsmaßnahmen oder stehen kurz vor Beginn. An diesen Standorten besteht das Potential eine stationäre Entwässerung zu prüfen. Diese Standorte werden in der Abbildung mit roter Umrandung dargestellt.

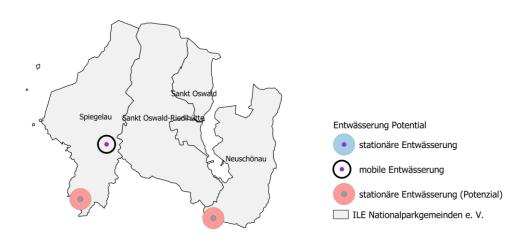


Abbildung 13: Aktuelle Entwässerungsstrukturen und Potentiale im ILE Bereich

Die Analyse der Entwässerungsstruktur zeigt, dass an allen drei Anlagen der GK III bereits eine mobile Entwässerung praktiziert wurde. Im Zuge der Sanierungs- bzw. Neubaumaßnahmen in Augrub und Schönanger-Sankt Oswald, besteht die Möglichkeit eine stationäre Entwässerung zu prüfen und umzusetzen. Bereits zum jetzigen Stand kann davon ausgegangen werden, dass der gesamte Klärschlamm im Betrachtungsgebiet in entwässerter Form zur Verfügung steht. Dies ist die Voraussetzung für jede weitere Form der künftigen Klärschlammverwertung. Entwässerter Klärschlamm hat den Vorteil einer erleichterten Handhabung, geringeren Lager- und Transportvolumen und kann der direkten thermischen Verwertung oder Trocknung zugeführt werden.



Zur Trocknung des Klärschlamms wird, wie bereits eingangs erwähnt, eine gewisse Abwärmemenge benötigt werden. Zur Erfassung geeigneter Wärmequellen wurden Daten in den ILE Gemeinden erhoben. Zudem kann auf Erkenntnisse aus dem Konzept des Landkreis Regen zurückgegriffen werden. Der Fokus liegt dabei auf bestehenden Biogasbetrieben sowie Industrie und Gewerbe. Auf Basis der Datenerhebung konnte in den Gemeinden des ILE Nationalparkgemeinden e.V. kein Biogasbetrieb mit verfügbarer Abwärme ermittelt werden. Auch konnte keine passende industrielle Wärmequelle identifiziert werden. Aus diesem Grund wird nachfolgend die Datenanalyse aus dem Klärschlammkonzept des Landkreises Regen herangezogen. Eine geeignete Biogasanlage steht hier ebenfalls nicht zur Verfügung. Aus industrieller Sicht kommen jedoch drei Betriebe mit Abwärmepotential in Frage. Das höchste theoretisch verfügbare Potential steht am Werk der Firma Pfleiderer in Teisnach zur Verfügung. Abbildung 14 zeigt die Lage der Biogasanlagen sowie industrielle Abwärmepotentiale.

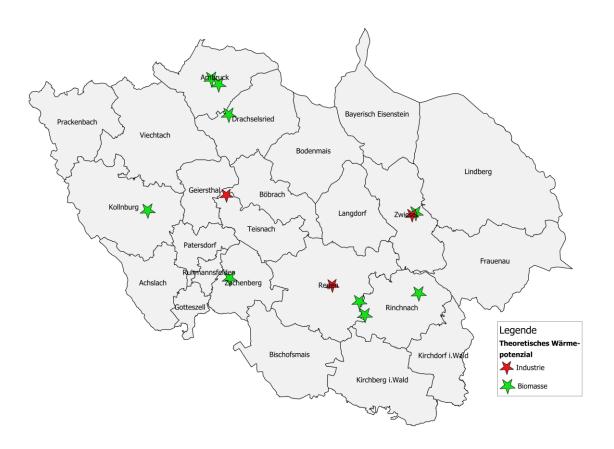


Abbildung 14: Theoretisches Abwärmepotential im Landkreis Regen

Ausschlaggebendes Kriterium zur detaillierten Betrachtung eines Standortes ist die Menge an vorhandener Abwärme und die Möglichkeit zur weiteren Nutzung. Im Rahmen des Klärschlammkonzepts Regen konnte der Standort Teisnach (Pfleiderer) als geeignete Wärmequelle identifiziert werden.



Zur Trocknung des gesamten Klärschlamms aus den Gemeinden des ILe Nationalparkgemeinden e.V. und des Landkreises Regen wird eine Wärmemenge von etwa 5,1 bis 5,9 Mio. kWh benötigt. Der relativ große Bereich zwischen mittlerer und maximaler Wärmemenge ist auf schwankende Klärschlammmengen im betrachteten Zeitraum von 2017 bis 2019 zurückzuführen. Abbildung 15 zeigt den Bereich des Wärmebedarfs zur verfügbaren Kapazität der Firma Pfleiderer.

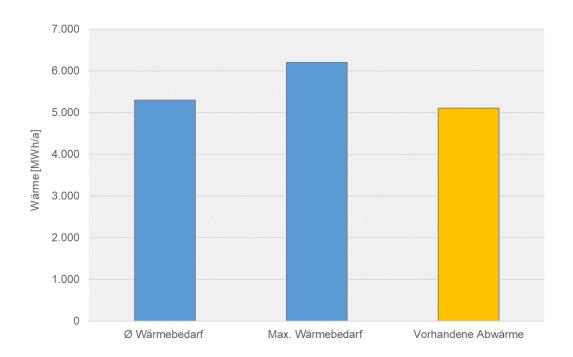


Abbildung 15: Wärmemengen zur Klärschlammtrocknung

Mit der theoretisch verfügbaren Wärmemenge des Industriebetriebs kann der durchschnittliche Wärmebedarf zur Trocknung des Klärschlamms nicht gedeckt werden. Hierzu müssten weitere Kapazitäten geschaffen werden, beispielsweise durch Wärmeauskopplung aus Prozessdampf oder Wärmerückgewinnungsmaßnahmen.

Seit Abschluss des KS-Konzepts Regen haben sich am Standort der Firma Pfleiderer zudem Veränderungen in der Energiebereitstellung ergeben. Die bis dato vorhandene Wärmeerzeugung mittels Braunkohle wird auf regenerative Biomassefeuerung umgestellt. Damit einhergehend ist zu erwarten, dass weitere Verbesserungen im Anlagenbetrieb vorgenommen werden, wodurch die verfügbare Abwärmemenge weiter sinkt. Im nachfolgenden wird daher auf die Möglichkeit der zentralen Klärschlammtrocknung nicht weiter eingegangen.



Für die Trocknung des Klärschlammes aus den ILE Gemeinden und dem Landkreis Regen wäre ein zweiter Trocknungsstandort notwendig. Die Ergebnisse aus dem Klärschlammkonzept Regen zeigen, dass die Klärschlammtrocknung mit den höchsten Gesamtkosten verbunden ist. Im Falle einer zusätzlichen Trocknungsanlage würden diese Kosten noch weiter steigen, was aus wirtschaftlicher Sicht nicht empfehlenswert ist. Auch die zusätzliche Energiebereitstellung mittels Erdgases oder Hackschnitzelkessel ist nicht empfehlenswert. Die zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Energiebereitstellung können durch Reduktion der Transportmenge und der damit einhergehenden reduzierten Transportemissionen nicht kompensiert werden.



# 5 Stand und Potential der Klärschlammfaulung

Durch Ausfaulen der gesamten Klärschlammmenge im Bereich des ILE Nationalparkgemeinden e.V. kann theoretisch eine Klärgasmenge von ca. 108.600 m<sub>N</sub>³ pro Jahr erzeugt werden. Durch hocheffiziente Nutzung des Gases in Form der Kraft-Wärme-Kopplung kann daraus jährlich rund 240.000 kWh Strom und zusätzlich etwa 420.000 kWh Wärme bereitgestellt werden. Derzeit werden die anaerobe Schlammstabilisierung und damit einhergehende Stromund Wärmeerzeugung an keiner der Kläranlagen genutzt. Die Klärschlammfaulung ist in der Regel an Kläranlagen ab 15.000 EW Ausbaugröße zu finden. Eine nachträgliche Umstellung des Verfahrens zur anaeroben Schlammstabilisierung ist demnach nicht vorgesehen und auch nicht empfohlen.



## 6 Definition einer Entwässerungsstruktur

Mit der Strukturierung der Klärschlammentwässerung werden unterschiedliche Ziele verfolgt. Unter anderem ist die Entwässerung des gesamten kommunalen Klärschlammes sicherzustellen, wodurch Transportmengen und -wege weitestgehend reduziert werden. Zudem ist bei entsprechender Nachrüstung oder Neuinstallation von Entwässerungen, sowie bei kommunalen Zusammenschlüssen darauf zu achten, dass die Reinigungsleistung der Kläranlagen nicht negativ beeinflusst wird.

Aus Kapitel 4 ist bekannt, welche Standorte bereits stationär oder mobil Klärschlamm entwässern. Eine Erkenntnis daraus ist, dass der Schlamm zum Status Quo mit etwa 25 %-TS vorliegt. Nachfolgende Darstellung zeigt die Kläranlagenstandorte der Kommunen des ILE Nationalparkgemeinden e.V. und ergänzend des Landkreises Regen mit der jeweiligen Art der Entwässerung und eine Empfehlung für die zukünftige Art der Entwässerung. Außerdem werden Entwässerungscluster gebildet. Diese zeigen die Zusammenschlüsse über die Gemeinde- und Landkreisgrenzen hinaus. Die hier dargestellten Zusammenschlüsse sind aus Sicht des IfE und auf Basis der Erkenntnisse dieses Konzepts empfehlenswert und werden den Gemeinden der Kommunen zur weiteren Umsetzung in diesem und nächstem Jahr nahegelegt. Für einen Teil der Kommunen bestehen mehrere Möglichkeiten hinsichtlich Art der Entwässerung und Umfang der Zusammenschlüsse. Insbesondere in der Entscheidung, den Klärschlamm künftig mobil oder stationär zu entwässern, sind zum Teil beide Varianten möglich. In diesen Fällen sollten Detailbetrachtungen der Wirtschaftlichkeit sowie der Rückbelastung angestellt werden, die sich durch Probepressungen mit verschiedenen Entwässerungsaggregaten konkretisieren lassen. Auf die Situationen in den einzelnen Entwässerungsclustern sowie mögliche alternative Wege für die jeweiligen Gemeinden sind in den Kläranlagensteckbriefen im Anhang beschrieben.



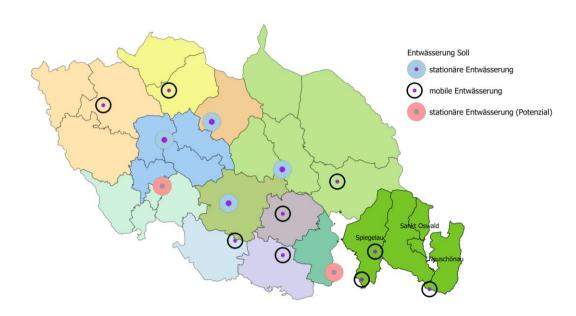


Abbildung 16: Entwässerungscluster im Bereich der ILE Gemeinden

Die Übersicht zeigt, dass in einigen Gemeinden des Landkreises Regen bereits eine Möglichkeit zur Entwässerung vorhanden ist. Das Klärschlammkonzept des Landkreises Regen bildet mehrere Cluster, welche die gemeinsame, interkommunale Entwässerung ermöglichen. Für die ILE Gemeinden wurde im Rahmen dieses Konzepts geprüft, welche Landkreisübergreifenden Synergien hinsichtlich Entwässerung genutzt werden können. Aufgrund der Struktur umliegender Gemeinden ist jedoch ersichtlich, dass hier keine Kapazitäten einer stationären Entwässerung genutzt werden können.

Daher wird für die ILE ein separates Entwässerungscluster vorgeschlagen. Die geplanten Neuund Umbaumaßnahmen an den Kläranlagen führen zu einer homogenen Verteilung der Kläraschlammmengen über die Standorte hinweg. Neben der stationären Entwässerung an den künftig sanierten Anlagen ist daher der Betrieb einer mobilen Presse auf interkommunaler Ebene vorstellbar. Im nachfolgenden Kapitel sollen die ökonomischen und ökologischen Aspekte der Entwässerungsvarianten gegenübergestellt werden.



#### 6.1 Ökonomische Bewertung der Entwässerungsmöglichkeiten im ILE-Cluster

Die Varianten zur Entwässerung gliedern sich wie folgt in

Variante 0: Lohnentwässerung

Variante 1: interkommunale mobile Entwässerung

Variante 2: stationäre, zentrale Entwässerung

Variante 0 bildet den derzeitigen Stand der Klärschlammentwässerung und -entsorgung. Klärschlamm wird dabei über einen externen Dienstleister entwässert und entsorgt. Dies geschieht 2- bis 3-mal pro Jahr an jeder der zentralen Kläranlagen. Die Kosten für diese Form der Entwässerung liegen in der Regel bei 5 - 8 €/m³ an Nassschlamm.

Variante 1 sieht den Betrieb einer mobilen Presse vor, welche vom ILE Nationalparkgemeinden e.V. beschafft und betrieben wird. Der Vorteil dieser Variante liegt dabei in der Aufteilung der Investitions- und Betriebskosten. Zudem wird kein Gebäude zur Entwässerung notwendig sein, da sich das Entwässerungsaggregat auf einem Anhänger befindet. Beim Betrieb dieser mobilen Entwässerung ist ein gewisser Puffer in der Durchsatzleistung vorzusehen. Dies ermöglicht es, Ausfallzeiten zu kompensieren und in Notfällen auch höhere Schlammfrachten schnell zu entwässern.

Variante 2 umfasst den Betrieb einer zentralen, stationären Entwässerung. Auch hier wird die Presse in der ILE betrieben, jedoch ortsfest an einer Kläranlage. Der Klärschlamm aus den übrigen Kläranlagen wird in Form von Nassschlamm mit ca. 3 %-TS an die zentrale Kläranlage geliefert und entwässert. Dabei muss berücksichtigt werden, dass durch diese Vorgehensweise zusätzliche Schmutzfrachten über das Filtratwasser der zentralen Kläranlage zugeführt werden. Dies muss bei der Dimensionierung der zentralen Kläranlage (hier Augrub oder AZV Schönanger-Sankt Oswald) berücksichtigt werden. Bezogen auf den aktuellen Stand der Kläranlagen wurde die Abschätzung der zusätzlichen BSB-Frachten im Rahmen des Konzepts überschlägig geprüft. Dies ist in Abbildung 17 zusammengefasst.



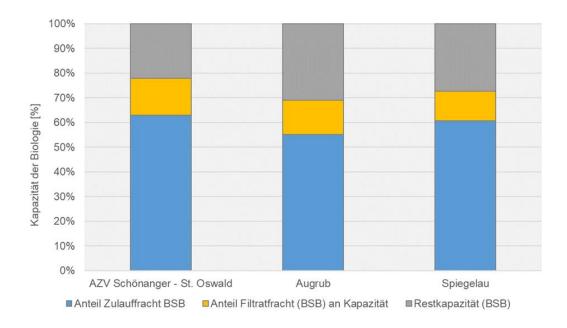


Abbildung 17: Bewertung der zusätzlichen Frachten durch Filtratwasser

Ausgehend von den derzeitigen Klärschlammmengen, welche in Zukunft steigen werden (siehe Erläuterung Kapitel 4) könnte an jeder der drei Kläranlagen der GK III eine zentrale Entwässerung betrieben werden.

Im Weiteren wird aufgrund fehlender Test-Entwässerungen angenommen, dass die Entwässerungsergebnisse der Varianten gleich sind, angesetzt wird ein TS-Gehalt von 25 %. Begründet wird diese Annahme damit, dass eine Kammerfilterpresse zwar tendenziell höhere TS-Gehalte ermöglicht, jedoch können mobile bzw. stationäre Pressen, welche von den Kommunen betrieben werden, auf den Klärschlamm optimiert werden.

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit werden Richtpreisangebote, Erfahrungs- und Literaturwerte herangezogen. Bei den Preisangaben handelt es sich um Netto-Beträge. Der Betrachtungszeitraum für Maschinentechnik beträgt 15 Jahre, für Bautechnik 30 Jahre. Strombezugskosten für den Betrieb liegen bei 20 ct/kWh, dies spiegelt das Mittel der Kläranlagen wider. Weitere Betriebskosten umfassen Brauchwasser (hier Brunnenwasser), Fällmittelbeschaffung, Wartungs- und Instandhaltungskosten, sowie Personalkosten. Für Variante 2 sind zusätzliche Kosten für Gebäude und Wartung zu berücksichtigen. Nachfolgende Abbildung zeigt den Vergleich der jährlichen Kosten dieser Entwässerungsaggregate.



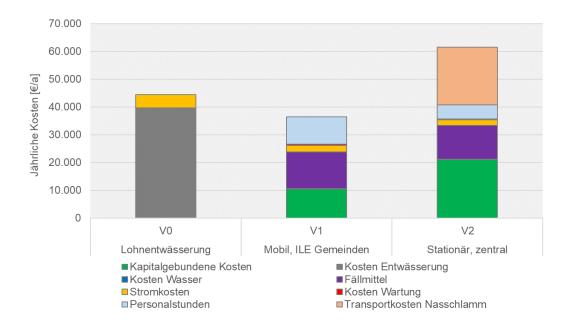


Abbildung 18: jährliche Kosten der Entwässerungsvarianten

Die Bilanz zeigt einen Vorteil bei Variante 1 gegenüber Variante 0 von etwa 8.000 € pro Jahr. Variante 2 bildet mit mehr als 60.000 € pro Jahr zur Entwässerung keine Alternative zu Variante 0. Hier sind vor allem die hohen Investitionskosten in das Gebäude (erhöhte Kapitalkosten) sowie die Kosten für den Klärschlammtransport von Nachteil.

Basierend auf den Erkenntnissen dieser wirtschaftlichen Grobprüfung ist eine Konkretisierung von Variante 1 empfehlenswert. Die spezifischen Kosten zur Klärschlammentwässerung belaufen sich in Variante 1 auf ca. 6,5 €/m³ bzw. 54 €/to entwässerten Klärschlamm.

#### 6.2 Ökologische Bewertung der Entwässerungsvarianten

Ergänzend zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sollen auch die Aspekte der Treibhausgasemissionen bewertet werden. Diese können durch Transport von Klärschlamm und durch den Strombedarf zum Betrieb der Entwässerung entstehen.

Ersterer betrifft lediglich Variante 2. Für die Bewertung der Emissionen wird angenommen, dass Kläranlage Augrub als zentrale Anlage genutzt wird. Für den Transport des Klärschlammes von Spiegelau nach Augrub wird mit jährlich rund 94 LKW mit einer Kapazität von 20 Tonnen vom AZV Schönanger-Sankt Oswald gerechnet.



Von Spiegelau werden etwa 64 LKW erwartet. Der jährliche Transportweg beträgt demnach etwa 1.800 km, was einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß von rund 1,23 Tonnen<sup>3</sup> pro Jahr entspricht.

Für die Berechnung der Emissionen durch Entwässerung wird der jährliche Energiebedarf zur Klärschlammentwässerung abgeschätzt. Zur Lohnentwässerung (V0) wurden bislang Kammerfilterpressen genutzt. Die Literatur<sup>4</sup> nennt für diese Art der Entwässerung einen spezifischen Strombedarf von 1,8 - 2,0 kWh/m³. Für Schneckenpressen wird ein Energiebedarf von 0,6 - 1,0 kWh/m³ angenommen. Im Mittel lässt sich daraus folgern, dass der Energiebedarf für Kammerfilterpressen etwa dem 2,4-fachen von Schneckenpressen entspricht. Der Gesamtenergiebedarf der Schneckenpressen basiert auf Herstellerangaben. Dementsprechend wird der Strombedarf der Variante 0 berechnet. Für Variante 2 wird angenommen, dass eine zentrale Entwässerung effizienter betrieben werden kann als eine mobile Variante. Der CO<sub>2</sub>-Äquivalten für Strommix aus dem öffentlichen Netz wird mit 557,667 g/kWh⁵ angesetzt. Die resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen für Strombezug und Transport werden in nachfolgender Abbildung grafisch gegenübergestellt.

<sup>3</sup> Nach GEMIS "LKW-Diesel-40t-Zug-DE-2020-Basis"

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> DWA-M-366 Maschinelle Schlammentwässerung

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Nach GEMIS Strommix Direkt + Vorkette



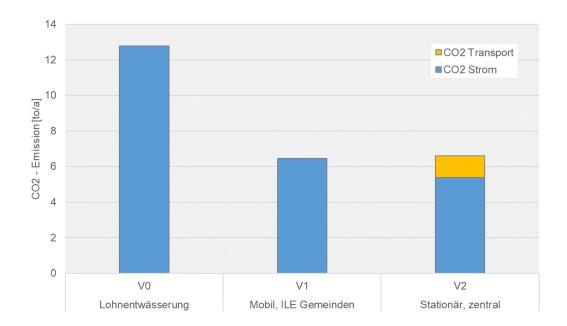


Abbildung 19: CO₂-Emissionen durch Strombedarf für Entwässerung und Transport Nassschlamm

Verglichen zu den Transportemissionen für Klärschlammtransport wird deutlich, dass eine energieeffiziente Entwässerung ein höheres Einsparpotential birgt als verminderte Transportmengen. Die Varianten 1 und 2 können verglichen zur Lohnentwässerung mehr als 6 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr einsparen.



## 7 Varianten zur Klärschlammverwertung

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebene Optimierung der Klärschlammfaulung sowie die Strukturierung der Klärschlammentwässerung bilden die Basis für die weitere Klärschlammbehandlung. Diese ist hauptsächlich von der finalen Art der Klärschlammverwertung abhängig. In den Szenarien werden die verschiedenen Wege der Klärschlammbehandlung und Verwertung für die Gemeinden des ILE Nationalparkgemeinden e.V. betrachtet.

- Szenario 1: Entwässerung und thermische Verwertung
- Szenario 2a: Thermische Verwertung ILE Gemeinden + LK Regen
- Szenario 2b: Thermische Verwertung im Verbund

#### 7.1 Szenario 1: Entwässerung und thermische Verwertung

In diesem Szenario wird der Transport des entwässerten Klärschlammes in eine thermische Verwertungsanlage außerhalb des ILE Nationalparkgemeinden e.V. dargestellt. Hierfür sind, abgesehen von der Entwässerung, keine weiteren Behandlungsschritte vorgesehen, dementsprechend ist mit relativ geringen Investitionskosten zu rechnen. Verwertungsmöglichkeiten für den entwässerten Klärschlamm bestehen derzeit in der Mitverbrennung (Kohlekraftwerke, Müllheizkraftwerke, z.T. Zementindustrie) oder der Klärschlammmonoverbrennung.

In der Mitverbrennung wird der entwässerte, nicht getrocknete Klärschlamm aufgrund des hohen Wassergehaltes häufig zur Temperaturregelung genutzt. Vor dem Hintergrund des geplanten Ausstieges aus der Stromerzeugung mittels Kohlekraftwerke sowie zunehmender Kapazitätsengpässe in der Mitverbrennung, sollten darüber hinaus weitere Verwertungsmöglichkeiten eruiert werden.

Zusätzliche Kapazitäten werden durch Klärschlammmonoverbrennungsanlagen geschaffen. Abhängig vom Anlagen- und Wärmekonzept, kann entwässerter oder getrockneter Klärschlamm zur thermischen Verwertung genutzt werden. Die Verwertungsmöglichkeiten sind nachfolgender Karte zu entnehmen.



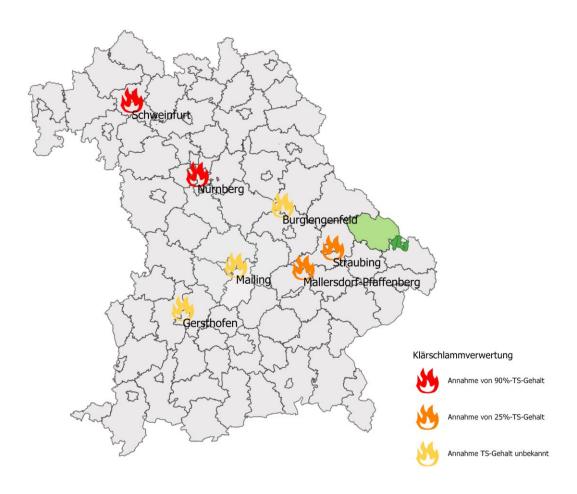


Abbildung 20: Auszug möglicher Klärschlammverwertungsanlagen in Bayern

Bei der Annahme von entwässertem Klärschlamm wird dieser mittels Wärme aus dem Verbrennungsprozess getrocknet und der Verbrennung zugeführt. Diese Art der Betriebsführung ist beispielsweise in der geplanten Monoverbrennung der Stadt Straubing vorgesehen. Aus diesem Grund wird die geplante Anlage in Straubing als potenzieller Verwertungsweg in diesem Szenario gewählt. Der entwässerte Klärschlamm wird mittels LKW nach Straubing transportiert.



Die Auswirkung der hohen Transportmengen und -entfernungen werden in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Kapitel 8 näher erläutert. Ein wichtiger Aspekt bei der thermischen Verwertung ist die anschließende Rückgewinnung von Phosphor. Das Anlagenkonzept der Monoverbrennung Straubing berücksichtigt die zukünftige Rückgewinnung von Phosphor zur Wiederverwendung als Düngemittel.

Neben der geplanten Klärschlammmonoverbrennung in Straubing ist eine weitere geplante Monoverbrennung im Umfeld des ILE Nationalparkgemeinden e.V. bekannt, diese befindet sich in der Nähe Mallersorf-Pfaffenberg. In beiden Fällen sprechen die hohen Verwertungskapazitäten, sowie die räumliche Nähe zu den ILE Gemeinden für diese Anlagen.

### 7.2 Szenario 2: Monoverbrennung

In dieser Variante der Klärschlammentsorgung wird die thermische Verwertung des Klärschlamms in Form der Monoverbrennung untersucht. Es wird dabei zwischen der Monoverbrennung im kleineren Verbund (ILE Gemeinden + LK Regen), also jährlich etwa 8.900 Tonnen Klärschlamm mit 25 %-TS und der Verbrennung im Verbund aus mehreren Landkreisen untersucht. Daher wird in zwei Unterkategorien unterschieden.

Die Kosten für Investition, Betriebsmittel und weiterer Entsorgung wurde in Abstimmung mit diversen Herstellern, Anbietern von Dienstleistungen sowie Planungs- und Architekturbüros zusammengetragen und anschließend technologieoffen und wissenschaftlich neutral bewertet.

### 7.2.1 Szenario 2a: Monoverbrennung ILE Gemeinden + LK Regen

Die thermische Verwertung von Klärschlamm der ILE Gemeinden und des LK Regen entspricht einer kleinen Anlagengröße. Üblicherweise liegen die Verbrennungskapazitäten etwa bei der drei- bis vierfachen Menge. Entscheidendes Kriterium neben der Wirtschaftlichkeit der Anlage ist die Verfügbarkeit von geeigneten Flächen. Diese müssen über einen ausreichenden Wärmeabsatz verfügen, idealerweise liegt der Standort in unmittelbarer Nähe zu, oder in einem Industriegebiet. Zudem können in einem Gewerbe- bzw. Industriegebiet Voraussetzungen zur Umsetzung einer Klärschlammmonoverbrennung geschaffen werden.



Im Rahmen der Konzeptphase konnte kein Standort für eine Monoverbrennung definiert werden. Daher wird im nachfolgenden zunächst ein fiktiver Standort gewählt, anhand dessen die Wirtschaftlichkeit einer kleinen Monoverbrennungsanlage näherungsweise berechnet werden soll.

### 7.2.2 Szenario 2b: Monoverbrennung im Verbund

Üblicherweise werden Monoverbrennungen ab einer jährlichen Durchsatzmenge von ca. 30.000 Tonnen entwässertem Klärschlamm umgesetzt. Zur Einordnung der Wirtschaftlichkeit einer kleinen Monoverbrennung auf Landkreisebene soll in diesem Fall eine Anlage im Verbund aus drei bis vier Landkreisen betrachtet werden. Da auch für diese Anlage bislang kein geeigneter Standort vorliegt, wird dieser fiktiv gewählt.

### 7.3 Szenario 3: Stoffliche Verwertungsmöglichkeiten

Ergänzend zur Klärschlammtrocknung kann die stoffliche Verwertung des Klärschlamms eine innovative, ökologische sowie ökonomisch sinnvolle ergänzende Maßnahme sein. Beispiele hierfür werden in Kapitel 3.5 erläutert. Diese befinden sich derzeit noch im Stadium der Forschung und Entwicklung, weshalb diese Form der Klärschlammverwertung derzeit als interkommunale Lösung nicht praktikabel ist und im weiteren Verlauf nicht weiter betrachtet wird. Vielmehr ist die stoffliche Verwertung nach derzeitigem Stand der Technik eine individuelle Maßnahme, welche an größeren Kläranlagen zu Forschungszwecken Anwendung finden kann. Die Entwicklungen dieser und weiterer Varianten sollte weiter im Blick gehalten werden. Innovative Lösungen können zukünftige eine alternative zur thermischen Verwertung sein.



# 8 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Klärschlammverwertungsvarianten

### 8.1 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Szenarien soll in Form eines spezifischen Entsorgungspreises dargestellt werden. Dafür wurden die Kosten für die einzelnen Behandlungsschritte ermittelt. Diese lassen sich in verschiedene Kostenblöcke aufteilen:

- Entwässerung
- Transport (Verbrennung, Entsorgung)
- Thermische Verwertung

Zum Vergleich der einzelnen Szenarien soll ein Referenzwert der Entsorgungskosten gebildet werden. Dieser basiert auf den ermittelten durchschnittlichen Entsorgungskosten der ILE Gemeinden. Zudem werden, für einen transparenteren Vergleich, auch die Kosten des Landkreises Regen berücksichtigt. Im Rahmen dieses Konzepts liegen die Preise für die Entsorgung des Klärschlamms der Jahre 2018 und 2019 vor. Zudem können auf statistische Erhebungen des Freistaat Bayern und auf Erfahrungswerte des IfE zurückgegriffen werden. Im Allgemeinen können die gängigen Entsorgungskosten in die Bereiche Entwässerung, Verladung und Transport sowie Entsorgung unterteilt werden. Abbildung 21 zeigt die spezifischen Entsorgungskosten der Gemeinden des ILE Nationalparkgemeinden e.V. und des LK Regen.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den im gesamten Klärschlammkonzept dargestellten Kosten und Erlösen um **Nettobeträge** handelt.



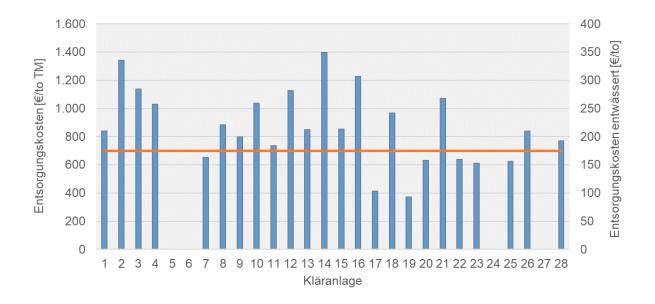


Abbildung 21: Übliche Gesamtentsorgungspreise 2018 ILE + LK Regen

Das Diagramm stellt die Gesamtentsorgungskosten dar. Die zum Teil deutlichen Unterschiede zwischen den Kläranlagen bzw. Gemeinden können verschiedene Gründe haben. In der Regel ist davon auszugehen, dass günstigere Entsorgungskosten bei landwirtschaftlicher Entsorgung und im Falle von Langzeitverträgen zur Klärschlammentsorgung vorliegen. Beide Formen der Entsorgung werden in Zukunft nicht mehr oder nur eingeschränkt verfügbar sein. Dadurch ist mit einem deutlichen Anstieg der Entsorgungskosten in diesen Kommunen zu rechnen. Der durchschnittliche Entsorgungspreis (Gesamtentsorgungskosten je Tonne entwässerter Klärschlamm) liegt nach der Datenerfassung bei knapp 175 €/to. Die aktuellen Preisentwicklungen deuten darauf hin, dass die Gesamtentsorgungspreise mittelfristig bei 200 €/to (inklusive Entwässerungskosten) oder darüber liegen können. Die Kosten der Gemeinden des ILE Nationalparkgemeinden e.V. liegen im Betrachtungszeitraum bei durchschnittlich 204 €/to entwässerten Klärschlamm.



#### 8.2 Kostenbestandteile

Die Kosten für die **Entwässerung** werden auf Basis der Berechnungen aus Kapitel 6 definiert. Es wird davon ausgegangen, dass eine mobile Entwässerung auf ILE Ebene betrieben wird. Die prognostizierten Kosten zur Entwässerung liegen demnach bei etwa 215 €/to<sub>TM</sub> berücksichtigt. Dies entspricht etwa 6,5 €/m³ Nassschlamm mit 3 %-TS.

Die Kosten für den **Transport** des Klärschlammes wurden auf Basis eines Logistikkonzepts für die drei ILE Gemeinden gebildet. Dabei wurden die Transportwege sowie entsprechende Transportmengen des Klärschlammes für jede Kläranlage individuell bestimmt. In Abbildung 22 werden die gesamten jährlichen LKW-Strecken für die verschiedenen Szenarien dargestellt.

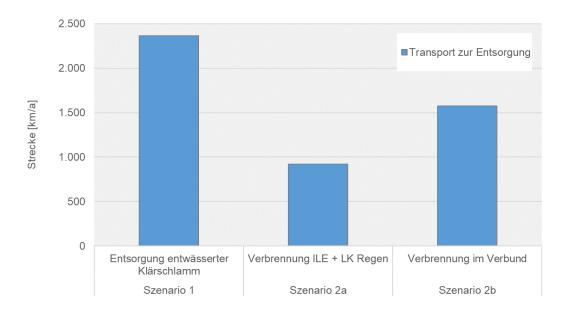


Abbildung 22: Jährliche Fahrtstrecken zur Klärschlammverwertung der ILE Gemeinden



Bei der Berechnung der notwendigen Transportstrecke wird überschlägig davon ausgegangen, dass die Transportkapazität einer LKW-Fuhre bei 20 Tonnen liegt. In Szenario 1 wird der entwässerte Klärschlamm der Gemeinden des ILE Nationalparkgemeinden e.V. zur geplanten Monoverbrennungsanalage Straubing transportiert. Für diesen Transport muss jährlich eine Gesamtstrecke (nur Hinfahrten) von ca. 2.370 km zurückgelegt werden. Diese Strecke reduziert sich in den weiteren Szenarien deutlich. Hier sind geringere Transportstrecken nötig. Die geringste jährliche Transportstrecke kann in Szenario 2a erreicht werden, gegenüber Szenario 1 reduziert sich diese um etwa 61 %. Die Transportentfernungen werden in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Berechnung der Transportkosten herangezogen.

Neben einer Kosteneinsparung führt die Transportminderung auch zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Als Berechnungsgrundlage wird angenommen, dass der spezifische CO<sub>2</sub>-Aussstoß durch den Transport von Klärschlamm bei 688 g/km liegt<sup>6</sup>. Eine LKW-Fracht entspricht einer Klärschlammmenge von 20 Tonnen, es wird angenommen, dass es keine Leerfahrten gibt. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren sich linear mit der Transportentfernung. Somit können die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Szenario 1 von jährlich ca. 1,63 Tonnen auf rund 0,6 Tonnen in Szenario 2a verringert werden.

In den Szenarien 2a und 2b wird die thermische Verwertung des Klärschlammes in Monoverbrennungsanlagen betrachtet. Die Investitionskosten zur **thermischen Verwertung** basieren auf den Angeboten von Herstellern verschiedener Anlagengrößen und -technologien. Die Investitionskosten können in folgende Bestandteile gegliedert werden.

- Monoverbrennungsanlage (incl. Bandtrockner, Zwischenbunker, Mahlanlage, Dosierung und Produktförderung, Brenner und Kessel, Dampfturbine, Abgasreinigung und Emissionsmessung, Leittechnik, Stahlbau und Rohrleitungen, Fracht, Montage und Inbetriebnahme),
- Gebäude (incl. Tragwerk, Gebäudehülle, Türen, Tore, Haustechnik und Betonarbeiten)
- Anlagenperipherie (incl. Bunker, Bunkertechnik, Trockengutsilo, Inertisierungsanlage, Installation Schalt- und Steuerungsanlage, Messtechnik, Biofilterwanne, Außenanlagen, wie z.B. Zaunanlagen und Parkflächen)
- Nebenkosten (Planung, Genehmigung, Fachgutachten, etc.)

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Quelle: GEMIS-Datenbank, LKW-Diesel-40t-Zug-DE-2020-Basis



Der Betrachtungszeitraum wird auf 20 Jahre festgelegt. Die Anlagenkapazität wird so gewählt, dass der gesamte Klärschlamm der drei ILE Gemeinden und des Landkreises Regen thermisch verwertet werden kann. Zum Vergleich und zur Überprüfung von Skalierungseffekten wird zusätzlich eine Monoverbrennungsanlage mit der dreifachen Verbrennungskapazität betrachtet, dies entspricht Szenario 2b.

Zu den betriebsgebundenen Kosten werden nachfolgende Bestandteile gezählt:

- Strombezug
- Abwasseranfall
- · Entsorgung der Asche
- Betriebsmittel, wie z.B. Sorbtionsmittel
- Entsorgung sonstiger Abfälle
- Personalkosten
- Wartung und Instandhaltung

Gegebenenfalls kann überschüssige Wärme nahegelegenen Wärmeabnehmern zur Verfügung gestellt werden, wodurch zusätzliche Gewinne erzielt werden können.



### 8.3 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In diesem Kapitel werden die Szenarien durch Berechnung der spezifischen Entsorgungskosten miteinander verglichen.

Zunächst werden die notwenigen Investitionskosten gebildet. In der Referenzvariante und Szenario 1, der Entsorgung des entwässerten Klärschlamms, sind keine Investitionen in Trocknung oder Verbrennung notwendig. Individuelle Ausgaben für die Nachrüstung stationärer oder mobiler Entwässerungen werden in der nachfolgenden Abbildung nicht beachtet, diese sind in der ökonomischen Betrachtung (siehe Kapitel 0) der Entwässerung angeführt und werden im Weiteren in Form spezifischer Kosten dargestellt.

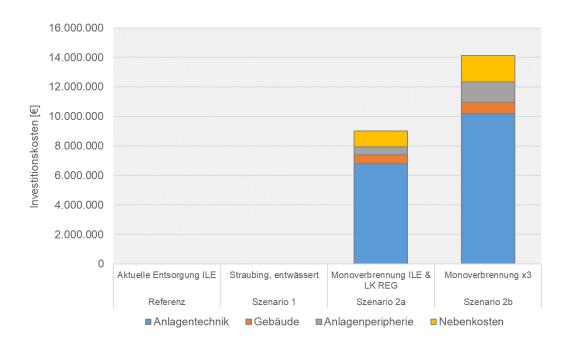


Abbildung 23: Investitionskosten

Das Diagramm der Investitionskosten zeigt, dass die Investitionskosten je nach Szenario zwischen 9,0 und 14,1 Mio. € liegen. Die Verwertung von Klärschlamm aus 3 Landkreisen erfordert die höchsten Investitionen, wenngleich die spezifischen Kosten je beteiligten Landkreis bei der Variante 2b geringer sind als in Szenario 2a.

Die unterschiedlichen Betriebskosten wurden in Kapitel 8.2 zusammengefasst. Die Verteilung dieser Kosten zeigt sich in folgender Darstellung.



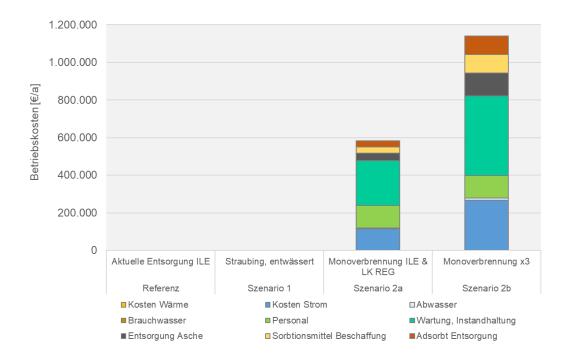


Abbildung 24: jährliche Betriebskosten

Die Betriebskosten von Szenario 2a liegen bei 580.000 € pro Jahr. Die höchsten jährlichen Betriebskosten von 1.140.000 € entstehen bei der Verbrennung des Klärschlamms im Verbund. Die größten Bestandteile umfassen Strombedarf sowie Wartung und Instandhaltung.

Für eine vergleichbare Darstellung aller Szenarien werden die spezifischen Entsorgungspreise je Tonne Klärschlamm berechnet. Dieser wird in Abbildung 25 bezogen auf eine Tonne Trockenmasse (to™), sowie bezogen auf eine Tonne entwässertem Klärschlamm mit einem Trockensubstanzgehalt von 25 % dargestellt.



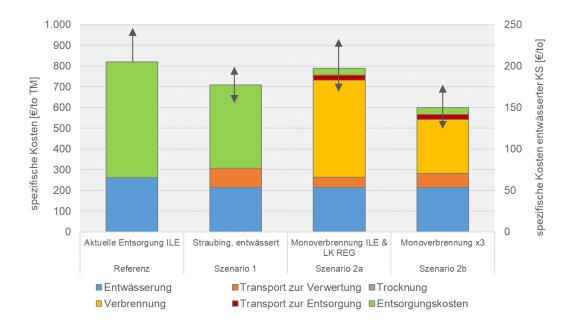


Abbildung 25: spezifische Klärschlammverwertungskosten

Die Basis jeder Variante wird durch die Entwässerung des Klärschlamms gebildet. Dieser Bestandteil wird bei Betrieb einer stationären Entwässerung häufig vernachlässigt. Zusätzlich zu den absoluten Werten wird die zukünftige Preisentwicklung prognostiziert. Hier zeigt sich, dass die Kosten der Referenzvariante eine steigende Tendenz vorweisen. Zusammen mit Szenario 1 ist hier die größte Abhängigkeit zu den Entsorgungspreisen (Marktpreisen) gegeben.

Der Gesamtentsorgungspreis der Referenzvariante liegt bei knapp 215 €/to entwässerten Klärschlamm. Diese Kosten basieren auf den Jahren 2018 und 2019 (siehe Kapitel 8.1). Dabei sind sowohl die Kosten für die Klärschlammentwässerung als auch die Kosten für Transport und Entsorgung der ILE Gemeinden mitinbegriffen. Aufgrund stark steigender Entsorgungspreise ist davon auszugehen, dass der Entsorgungspreis der Referenzvariante sich zukünftig noch weiter erhöhen kann.

Der für das Szenario 1 berechnete Verwertungspreis liegt verglichen zur Referenz niedriger. Den größten Anteil bilden in dieser Variante die Entsorgungskosten des entwässerten Klärschlammes. Je nach Entwicklung des Abnahmepreises an der jeweiligen externen Monoverbrennungsanlage kann dieser Anteil entsprechend große Auswirkungen auf die spezifischen Entsorgungskosten haben. Im Vergleich zu den weiteren Szenarien fallen hier die höchsten Transportkosten an. Gleichzeitig bilden sie den geringsten Anteil an den gesamten Entsorgungskosten.



In den beiden letzten Varianten werden die Verwertungskosten für die Errichtung einer Monoverbrennungsanlage dargestellt. Dabei wird in Szenario 2a die thermische Verwertung des gesamten Klärschlammes aus den Gemeinden des ILE Nationalparkgemeinden e.V. und dem Landkreis Regen angenommen. Die Verwertungskosten liegen in diesem Fall bei ca. 200 €/to je Tonnen entwässerter Klärschlamm. Die Erweiterung der Anlagenkapazität in Szenario 3b zeigt signifikante Vorteile im spezifischen Gesamtentsorgungspreis gegenüber den anderen Varianten. Nach erster Einschätzung können Gesamtkosten von 150 €/to erreicht werden.

Die Abweichung der berechneten Werte in Abbildung 25 nimmt von Szenario 1 bis Szenario 2b ab. Hier zeigt sich die geringere Abhängigkeit der Schwankungen am Markt bzw. die geringere Abhängigkeit von Drittanbietern.

In den Varianten 3a und 3b bildet die Anlagentechnik, also der Betrieb einer Monoverbrennungsanlage den höchsten Anteil an den Gesamtentsorgungskosten. Gleichzeitig sind die Anteile für Transport und Entsorgung am geringsten. Für Monoverbrennungsanlagen dieser Kapazitäten (8.500 Tonnen und 30.000 Tonnen) gibt es derzeit nur wenige Referenzanlagen. Daher wurde bei der Kostenaufstellung ein Unsicherheitsfaktor bereits berücksichtigt.



## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Konzeptes wurden Wege zur energetischen Klärschlammverwertung in drei Gemeinden des ILE Nationalparkgemeinden e.V. aufgezeigt und bewertet. Basierend auf einer fundierten Datenerhebung in Verbindung mit Vor-Ort-Terminen auf den Kläranlagen zeigt sich, dass bereits an allen größeren Kläranlagen der GK III eine Entwässerung des Klärschlammes möglich ist. Dies ist die Voraussetzung für alle Varianten der Klärschlammverwertung ist die Entwässerung der gesamten Klärschlammmenge des Landkreises.

Zur nachhaltigen Kostensenkung der Entwässerung des gesamten Klärschlammes wurde ein interkommunales Entwässerungskonzept erstellt. Dieses stellt die Grundlage für alle betrachteten Szenarien zur Klärschlammentsorgung dar. Die individuelle Beschreibung dieses Entwässerungskonzepts wird je Kommune in den Anlagensteckbriefen erläutert.

Für die Verwertung des Klärschlammes wurden drei Szenarien betrachtet. Szenario 1 umfasst die externe Entsorgung des entwässerten Klärschlamms in einer Monoverbrennungsanlage. Eine weitere Verwertung in Form der Trocknung oder thermischen Verwertung im Landkreis ist hier nicht vorgesehen. Die Trocknung des Klärschlamms kann im Fall vorhandener Abwärmequellen und einer geeigneten Entsorgung sinnvoll sein. Dies ist jedoch im Bereich der ILE Gemeinden nicht möglich, da verfügbare Abwärmequellen nicht vorhanden sind. Auch durch die Hinzunahme von Erkenntnissen aus dem Klärschlammkonzept des Landkreises Regen ist der Betrieb einer zentralen Klärschlammtrocknung aufgrund mangelnder Abwärmekapazitäten nicht sinnvoll. Die vollständige energetische Verwertung des Klärschlamms der ILE Gemeinden und des Landkreises Regen bzw. im Verbund mehrerer Landkreise wird in den Szenarien 2a und 2b beschrieben. Der Unterschied beider Anlagen liegt im Klärschlammdurchsatz. Damit einhergehend sinken mit steigender Anlagengröße die Betriebskosten und die spezifischen Investitionskosten. Variante 2b, die thermische Klärschlammverwertung im Verbund mehrerer Landkreise, kann im Vergleich zu den übrigen Varianten die geringsten Entsorgungskosten vorweisen und ist zum aktuellen Stand die wirtschaftlichste Lösung. Zugleich ist hier die geringste Abhängigkeit von Dritten und den marktüblichen Entsorgungspreisen gegeben. Allerdings konnte im Rahmen dieses Konzepts kein geeigneter Standort ermittelt werden, weshalb die Betrachtungen anhand eines Beispielstandortes im Landkreis durchgeführt wurden. Eine der größten Hürden in Variante 2b ist der hohe organisatorischen Aufwand und die hohe Investition in die Anlagentechnik. Die Gemeinden haben sich bereits bei einer gemeinsamen Sitzung zum Zwischenstand des Konzepts darauf verständigt, die externe Verwertung des entwässerten Klärschlamms (Szenario 1) zu priorisieren.



Deshalb sollen noch vorhandene Kapazitäten im Anlagenkonzept der Monoverbrennungsanlage in Straubing oder Mallersdorf-Pfaffenberg gesichert werden.

Den Kommunen des Landkreises werden daher folgende Handlungsschritte empfohlen. Zunächst sollte in diesem und nächsten Jahr die dargestellte Entwässerungsstruktur durch interkommunale, mobile Entwässerung gebildet werden. Zur Sicherung der Verwertungskapazitäten in der externen Monoverbrennungsanlage sollten zeitnah Absprachen mit dem Betreiber der geplanten Anlagen getroffen werden.

Des Weiteren können die Gemeinden des ILE Nationalparkgemeinden e.V. und des Landkreises Regen, basierend auf den Erkenntnissen der interkommunalen Klärschlammkonzepte, die weitere Umsetzung einer gemeinsamen Klärschlammverwertung in Form eines Ressourceneffizienz-Netzwerks fortzuführen. Im Rahmen dieses Netzwerkes kann die Verwertung des Klärschlamms durch thermische Verwertung (Szenario 2a oder 2b) konkretisiert werden. Parallel dazu sollten vorhandene Verwertungskonzepte in umliegenden Landkreisen oder Zweckverbänden geprüft werden. Hierzu sind beispielsweise die Planungen zu einer Trocknungsanlage im Landkreisen Freyung-Grafenau oder ein möglicher Verbund zur Klärschlammverwertung mit Kommunen des Landkreises Cham zu zählen. Darüber hinaus sollten auch die Möglichkeiten zur stofflichen Verwertung weiterverfolgt und analysiert werden, sodass schnellstmöglich auf künftige Neuerungen Bezug genommen werden kann.