

# Projektbericht

## **KlärschlammReformer-Anlage**

**auf der Kläranlage Renningen**



*07.12.2020*

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
1.1	Ausgangssituation .....	3
<b>2</b>	<b>Vorhabensumsetzung</b> .....	<b>8</b>
2.1	Ziel des Vorhabens .....	8
2.2	Technische Lösung .....	9
2.3	Umsetzung des Vorhabens .....	15
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>17</b>
3.1	Bewertung der Vorhabensdurchführung.....	17
3.2	Umweltbilanz .....	18
3.3	Ascheverwertung und Phosphatrecycling .....	20
3.3.1	Düngemittelverordnung.....	20
3.3.2	Produktqualität .....	20
3.3.3	Pflanzenverfügbarkeit .....	23
3.3.4	Verwertungswege und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten.....	25
<b>4</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>27</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Die Verwertung bzw. Entsorgung von Klärschlämmen aus der Abwasserreinigung befindet sich in einer tiefgreifenden Umbruchphase. Es zeichnet sich ab, dass bisher übliche Verwertungswege zukünftig gar nicht mehr oder nur noch sehr eingeschränkt zur Verfügung stehen werden. So ist die Deponierung von Klärschlämmen inzwischen verboten. Auch die landwirtschaftliche und landschaftsbauliche Verwertung wurde aufgrund der Risiken durch den Eintrag von organischen Schadstoffen, Schwermetallen und Pathogenen zurückgedrängt. Während Schwermetalle durch konsequente Einleiterkontrolle und Pathogene durch entsprechende Behandlungsverfahren teilweise kontrollierbar sind, ist der Eintrag organischer Schadstoffe in das Abwasser und den Klärschlamm nicht beherrschbar. Zu vielfältig sind die Quellen und zu groß ist die Anzahl an potentiell gefährlichen Stoffen. Da über die Wirkungsweise vieler organischer Schadstoffe im Boden sowie deren mögliche Verlagerung in das Grundwasser oder die Nahrungskette erst wenig bekannt ist, erscheint vielen Experten ein Verzicht auf eine bodengebundene Klärschlammverwertung unvermeidlich. Zudem ist inzwischen bekannt, dass Phosphor als eine der wichtigsten Rohstoffkomponenten im Schlamm im Falle der überwiegend eingesetzten Fällung mit Eisensalzen kaum noch pflanzenverfügbar ist [Römer 2013]. Damit entfällt eines der wichtigsten Argumente für die direkte landwirtschaftliche Nutzung des Klärschlammes. Die neugefasste Klärschlammverordnung sieht dementsprechend erhebliche Einschränkungen und umfangreiche Untersuchungs- und Dokumentationspflichten bei der landwirtschaftlichen Verwertung vor [Bundesgesetzblatt 2017].

Allerdings fällt der Klärschlamm in bundesweit etwa 10.000 Kläranlagen an und muss im Falle der heute üblichen, zentralen Verbrennung in Großanlagen vielfach über mehrere hundert Kilometer transportiert werden. Nach Abzug der direkt auf Klärwerken verbrannten Schlammengen verbleiben in Deutschland etwa 6 Mio. t entwässerter Schlämme zum Transport in zentrale Verbrennungsanlagen oder zur anderweitigen Verwertung. Dies entspricht rund 240.000 LKW-Ladungen pro Jahr.

Im Einzelfall kann die bundesweit übliche Mitverbrennung in Großkraftwerken für eine Gemeinde wie beispielsweise Füssen (Bayern) allein für den Klärschlammtransport über 100.000 LKW-Kilometer pro Jahr erfordern. Bevor dort im Jahr 2000 eine solare Trocknungsanlage gebaut wurde, die die Entsorgungsmenge um rund 70 % verringerte, war dies die einzige wirtschaftlich tragbare Lösung [Bux u. Baumann 2003]. Unterstellt man die in

Baden-Württemberg in einer Studie ermittelte durchschnittliche Transportentfernung für Klärschlamm bis zu einer zentralen Verbrennungsstätte von rund 300 km, so ergeben sich deutschlandweit rechnerisch bis zu 120 Millionen LKW-Transportkilometer pro Jahr. Auch wenn die bei einer vollständigen Verbrennung aller Schlämme tatsächlich zurückzulegende Transportstrecke schon aufgrund verschiedener auf großen Klärwerken bereits bestehender Verbrennungsanlagen sowie die je nach Bundesland unterschiedlichen mittleren Transportentfernungen deutlich geringer sein dürfte, bleiben die Verkehrsbelastung und die damit verbundenen Umweltauswirkungen trotzdem erheblich.

Der in der Gesamtbewertung wichtigste Punkt ist jedoch der Sachverhalt, dass bei der heute vielfach praktizierten Mitverbrennung von maschinell entwässerten Klärschlämmen in Kohlekraft- und Zementwerken das im Klärschlamm enthaltene Phosphat nicht wiedergewonnen werden kann. Ein Recycling aus dem Klärschlamm vor der Mitverbrennung ist zwar technisch teilweise möglich, allerdings ist der technische Aufwand sowie der Einsatz an Chemikalien sehr hoch. Gleichzeitig ist die Wiedergewinnungsrate bei den heute bekannten Verfahren auf 30 bis 50 % begrenzt.

Da es sich bei Phosphor um einen knappen, endlichen und nicht ersetzbaren Rohstoff handelt, der für die Welternährung immense Bedeutung besitzt, ist eine möglichst weitgehende Rückgewinnung jedoch langfristig unverzichtbar. Da Europa über keine eigenen mineralischen Phosphatvorkommen verfügt, hat die EU Phosphor in die Liste kritischer Rohstoffe aufgenommen. Die im Klärschlamm enthaltene Menge an Phosphat würde ausreichen, um in Deutschland 40 bis 50 % der Phosphatimporte zu decken [Römer 2013].

Die EU hat sich im Rahmen des „Green Deals“ 2020 mit dem Aktionsplan Kreislaufwirtschaft das Ziel gesetzt, durch die Mobilisierung des Potenzials von Sekundärrohstoffen unabhängiger vom Import kritischer Rohstoffe zu machen [EU 2020].

Als Alternative bietet sich die thermische Schlammbehandlung in Monoverbrennungs- oder -vergasungsanlagen an. Danach kann das in der Asche zurückbleibende Phosphat fast vollständig zurückgewonnen werden. Bei Schlämmen aus der kommunalen Abwasserreinigung wird dabei in der Asche eine Phosphat-Konzentration zwischen 15 und 20 % erreicht. Allerdings sind die auf dem Markt bislang verfügbaren Monoverbrennungsanlagen aus Kostengründen nur auf großen Kläranlagen mit mindestens 200.000 EW einsetzbar. Für die große Zahl an kleinen bis mittelgroßen Anlagen gab es am Markt bislang noch keine wirtschaftlich darstellbare und erprobte Lösung.

Für die aus Ressourcenschutzgründen anzustrebende thermische Verwertung des Klärschlammes in Monobehandlungsanlagen kommt erschwerend hinzu, dass die aktuell verfügbaren Kapazitäten voll ausgeschöpft sind und nur für rund ein Drittel des in Deutschland anfallenden Klärschlammes ausreichen. Soll das Ziel eines weitgehenden Ausstiegs aus der landwirtschaftlichen Verwertung bei gleichzeitiger Wiedergewinnung des Phosphates erreicht werden, müssen dementsprechend beträchtliche zusätzliche Kapazitäten geschaffen werden.

Der Bau von zentralen Großanlagen bedingt allerdings die oben bereits erwähnten Nachteile hinsichtlich des Transportaufwandes. Zudem ist die Standortsuche für derartige Anlagen schwierig, denn die Akzeptanz in der Bevölkerung für zentrale Müll- oder Klärschlammverbrennungsanlagen ist gering und die vielfach sehr langwierigen Genehmigungsverfahren sind politisch nur schwer durchsetzbar. Dezentral einsetzbare Verfahren bieten hier sehr große Vorteile.

Die große Herausforderung liegt entsprechend darin, die genannten technischen Fragestellungen zu lösen und gleichzeitig Investitions- und Betriebskosten in einem Rahmen zu halten, der eine wirtschaftliche Umsetzung zulässt. Dies erfordert an verschiedenen Stellen Innovationen, die deutlich über den bekannten Stand der Technik hinausgehen.

Die Stadt Renningen hat im Bereich der Kläranlage bereits in der Vergangenheit auf innovative Projekte gesetzt und in Kooperation mit Forschungseinrichtungen und Industriepartnern Technologien bereits in einer frühen Entwicklungsphase erprobt und umgesetzt. Die Meilensteine waren wie folgt:

- 1967 Inbetriebnahme des mechanisch-biologischen Klärwerks mit Rechen, Rundsandfang, Kombibecken, Belebung mit Nachklärung für 12.000 Einwohnerwerte.
- 1977 Anpassung des Klärwerks an die fortschreitende Stadtentwicklung. Neubau eines Kombibeckens für Vorklärung und Belebung für 25.000 Einwohnerwerte.
- 1988 Bau eines Faulturms. Mikroorganismen zersetzen die leicht faulenden organischen Stoffe. Der Schlamm wird hygienisiert und um ca. 25 % reduziert. Dabei entsteht verwertbares Methangas.
- 1992 Erweiterung des Betriebsgebäudes. Anpassung an den Stand der Technik.

- 1994 Erweiterung des Klärwerks aufgrund gestiegener gesetzlicher Anforderungen.
- Einbau eines Siebrechens
  - Bau eines belüfteten Sand- und Fettfangs
  - Umbau Kombinationsbecken
  - Bau eines zweiten Nachklärbeckens
  - gezielte Phosphorelimination
  - gezielte Stickstoffelimination
- 2005 Inbetriebnahme der solaren Klärschlamm-trocknungsanlage. Reduktion der zu entsorgenden Klärschlamm-menge von 1.200 auf 400 t pro Jahr

Neben der reinen Leistungsfähigkeit der Kläranlage im Hinblick auf Abwasserreinigung wurde von Seiten der Stadtverwaltung über die Jahre immer ein Augenmerk auf eine optimierte Klärschlamm-entsorgung und auf eine energetische Optimierung Wert gelegt.

Vor 11 Jahren entschied die Stadt Renningen, die ersten Schritte zur Klärschlamm-reduktion mit einer solaren Klärschlamm-trocknung umzusetzen. In der solaren Klärschlamm-trocknung wird der ausgefaulte Schlamm ohne Einsatz thermischer Energie allein durch Solarstrahlung von 20 - 25 %TR auf ca. 70 - 80 %TR getrocknet. Die Massenreduktion beträgt dabei ca. 2/3.

Bisher standen zur weiteren Verwertung nur die Rekultivierung, die Mitverbrennung in Zementwerken oder Kohlekraftwerken zur Auswahl. Aufgrund des Mangels regionaler Verwertungs-kapazitäten fallen bei allen Möglichkeiten lange Transportwege an. Ebenso sind die im Klärschlamm enthaltenen Wertstoffe verloren. Durch die Ankündigung des Bundesumweltministerium 2012 die „Verordnung zur Nutzung wertgebender Bestandteile von Klärschlämmen bei nicht bodenbezogener Verwertung“ / Phosphatgewinnungs-verordnung AbfPhosV werden die bisherigen Entsorgungswege erschwert und dadurch verteuert.

Aus dieser Ausgangslage entstand die Überlegung, nach der solaren Trocknung eine dezentrale thermische Verwertungsstufe zu realisieren. Als Projektpartner für die Umsetzung wurde die Fa. Thermo-System gewählt.

Um die technischen und finanziellen Risiken eines solch innovativen Projekts zu reduzieren, wurde nach entsprechenden Fördermitteln gesucht. Von 2011 bis 2013 wurde erfolglos mit dem Umweltministerium des Landes Baden-Württemberg über Fördermittel verhandelt. Nach Absage durch das UVM wurden mit Unterstützung des Umweltbundesamts 2014 Fördermittel

im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundes beantragt. 2015 erhielt die Stadt Renningen die Förderzusage der KfW über 506.400 EUR (30 % der Investitionssumme).

Die inzwischen novellierte Klärschlammverordnung schränkt die landwirtschaftliche Verwertung und die Mitverbrennung zunehmend stark ein und schreibt eine Phosphatrückgewinnung ab 2032 für alle Kläranlagen vor. Im Zuge dieser neuen Rahmenbedingungen sind die Klärschlamm Entsorgungspreise am Markt in den vergangenen zwei Jahren erheblich angestiegen.

## 2 Vorhabensumsetzung

### 2.1 Ziel des Vorhabens

Mit dem Vorhaben soll das Konzept einer energieeffizienten dezentralen thermischen Klärschlammverwertungsanlage umgesetzt und demonstriert werden. Hierbei sind insbesondere folgende Aspekte von Bedeutung:

1. Die zu entsorgende Masse an Klärschlamm soll durch solare Trocknung und Reformierung auf ein Minimum reduziert werden. Damit sollen auch die erforderlichen Straßentransporte auf ein unvermeidliches Minimum reduziert werden.
2. Der Klärschlamm soll als regenerativer Brennstoff zur dezentralen Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie genutzt werden. Während der elektrische Strom zum Betrieb der Anlage eingesetzt werden soll, wird die überschüssige Wärme zur Unterstützung der Solartrocknung verwendet. Dies ist insbesondere in den Wintermonaten von erheblichem Vorteil und erlaubt eine deutliche Steigerung der Kapazität.
3. Der Schlamm aus Renningen und den umliegenden Gemeinden wird derzeit teilweise mitverbrannt und teilweise in der Rekultivierung entsorgt. Durch die vorgesehene Maßnahme soll eine langfristig gesicherte Verwertung in Eigenverantwortung ermöglicht werden. Damit kann die Abhängigkeit der Kommunen von Entsorgern sowie das damit zusammenhängende Kostenrisiko reduziert werden.
4. Durch Reduktion von Straßentransporten, Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Transport und Mitverbrennung von Klärschlamm in Kohlekraftwerken unter Stützfeuerung, Erzeugung erneuerbarer Energie und Wiedergewinnung von Phosphat soll ein maßgeblicher Beitrag zur Entlastung der Umwelt sowie Einsparung von Energie bei der Abwasserreinigung geleistet werden. Ferner werden Quecksilber, Arsen und Cadmium zu einem großen Teil aus dem Nährstoffkreislauf ausgeschleust.
5. Das im Schlamm enthaltene Phosphat soll wiedergewonnen und je nach Rahmenbedingungen für eine regionale Wiederverwendung als Düngemittel oder für eine externe Aufbereitung bereitgestellt werden.

6. Durch eine interkommunale Zusammenarbeit der Stadt Renningen mit benachbarten Umlandgemeinden sollen einerseits die Umweltauswirkungen der Klärschlammbehandlung minimiert, andererseits die Kosten langfristig auf einem stabilen Niveau in vertretbarer Höhe gehalten werden. Das Vorhaben soll dabei als Modellprojekt für andere ländliche Kommunen dienen.

Die Umsetzung und Demonstration der Realisierbarkeit des Konzeptes soll als Grundlage zur Verbreitung der Technologie an weiteren Standorten dienen, um eine technologische Alternative zu den bestehenden Entsorgungswegen für Klärwerke zwischen 25.000 und 100.000 EW aufzuzeigen, wie sie auch durch die Novellierung der Klärschlammverordnung gefordert wird.

## 2.2 Technische Lösung

Das auf der Kläranlage Renningen umgesetzte Konzept besteht aus einer Solaren Klärschlamm-trocknungsanlage und einem KLÄRSCHLAMMREFORMER zur thermischen Verwertung des getrockneten Schlammes. Beide Anlagenteile wurden von der Firma Thermo-System Industrie- und Trocknungstechnik GmbH geliefert.



**Abbildung 1:** Konzept der Klärschlammverwertungsanlage bestehend aus Solarer Trocknung und KLÄRSCHLAMMREFORMER

Die Solare Klärschlamm-trocknungsanlage besteht aus 2 Hallen mit einer transparenten Eindeckung, in denen der entwässerte Klärschlamm mit Hilfe von Solarenergie getrocknet wird. Ein Belüftungssystem sorgt für die regelmäßige Überströmung des Trocknungsguts und die Abfuhr der feuchtebeladenen Trocknungsluft. Eine Wendemaschine, das ELEKTRISCHE SCHWEIN, wendet den Schlamm und sorgt für eine Strukturierung des Produkts.



**Abbildung 2:** Solare Klärschlamm-trocknungsanlage Renningen



**Abbildung 3:** Solare Klärschlamm-trocknung mit ELEKTRISCHEM SCHWEIN

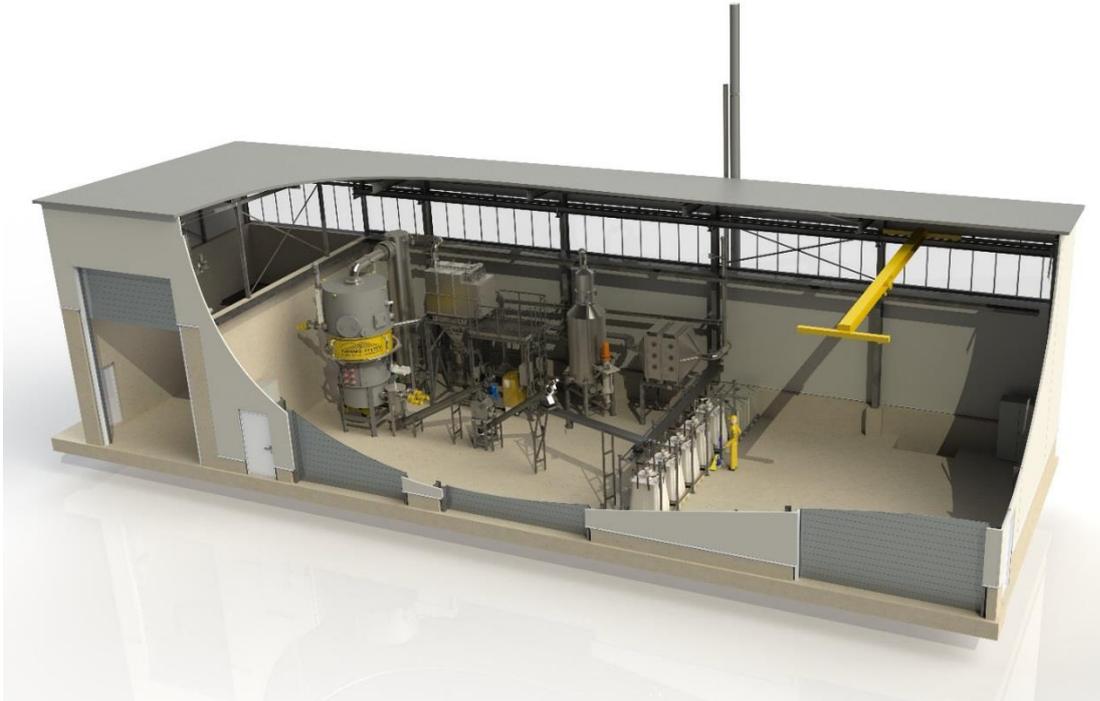
**Tabelle 1:** Technische Daten der Solaren Trocknungsanlage

<b>Solare Klärschlamm-trocknung</b>	
Schlammmenge vor Trocknung	1.900 t/a
TR-Gehalt vor Trocknung	20 - 25 % TR
Organikgehalt des Schlammes	45 - 60 %TR
Schlammmenge nach Trocknung	500 - 650 t/a
TR-Gehalt nach Trocknung	75 - 90 %
Trocknungsleistung	1.250 - 1.400 t/a
Trocknungsfläche	1.150 m <sup>2</sup>
Abwärmeeintrag	0 - 200 kW
Eindeckung	Polycarbonat
Trocknungsverfahren	SolarBatch
Wendetechnik	Elektrisches Schwein
Hersteller	Thermo-System

Der Prozess wird vollautomatisch gesteuert, um eine optimale Trocknungsleistung bei minimalem Energieaufwand zu erzielen. Durch die Nutzung von Abwärme aus dem KLÄRSCHLAMMREFORMER wird die Trocknungsleistung weiter erhöht. Der getrocknete Klärschlamm wird in der Trocknungsanlage zwischengelagert, bis er der KLÄRSCHLAMMREFORMER-Anlage zugeführt wird.

Die KLÄRSCHLAMMREFORMER-Anlage verfügt über einen Annahmehunker für getrockneten Klärschlamm mit einer Aufnahmekapazität von ca. 2,5 Tagen, so dass ein Betrieb über Wochenende ohne Nachbeschickung möglich ist. Aus dem Bunker wird der Schlamm mit Förderschnecken zum KLÄRSCHLAMMREFORMER transportiert, in dem die thermische Umwandlung des Klärschlammes stattfindet. Der KLÄRSCHLAMMREFORMER besteht aus einer Pyrolysezone und einer Oxidationszone für den Schlamm sowie einer Gasbrennkammer zur Verbrennung der entstehenden Pyrolysegase. Die räumliche Trennung der verschiedenen Zonen macht eine unabhängige Regelung der Prozessbedingungen möglich. Die entstehende Asche wird abgekühlt und anschließend in BigBags abgefüllt. Das Rauchgas aus dem KLÄRSCHLAMMREFORMER wird in einem Wärmetauscher abgekühlt und durchläuft eine 3-stufige Gasreinigung bestehend aus Staubfilter, Rauchgaswäscher und Polzeifilter. Dadurch wird sichergestellt, dass die Grenzwerte der 17. BImSchV eingehalten werden.

Die aus dem Rauchgas in Form von Heißwasser ausgekoppelte Wärme wird über die ORC-Turbine zur Erzeugung von elektrischem Strom genutzt und anschließend auf niedrigerem Temperaturniveau der Trocknungsanlage zugeführt.



**Abbildung 4:** KLÄRSCHLAMMREFORMER-Halle mit Annahmehunker, Rauchgasreinigung und BigBag-Befüllstation



**Abbildung 5:** Außenansicht KLÄRSCHLAMMREFORMER-Halle



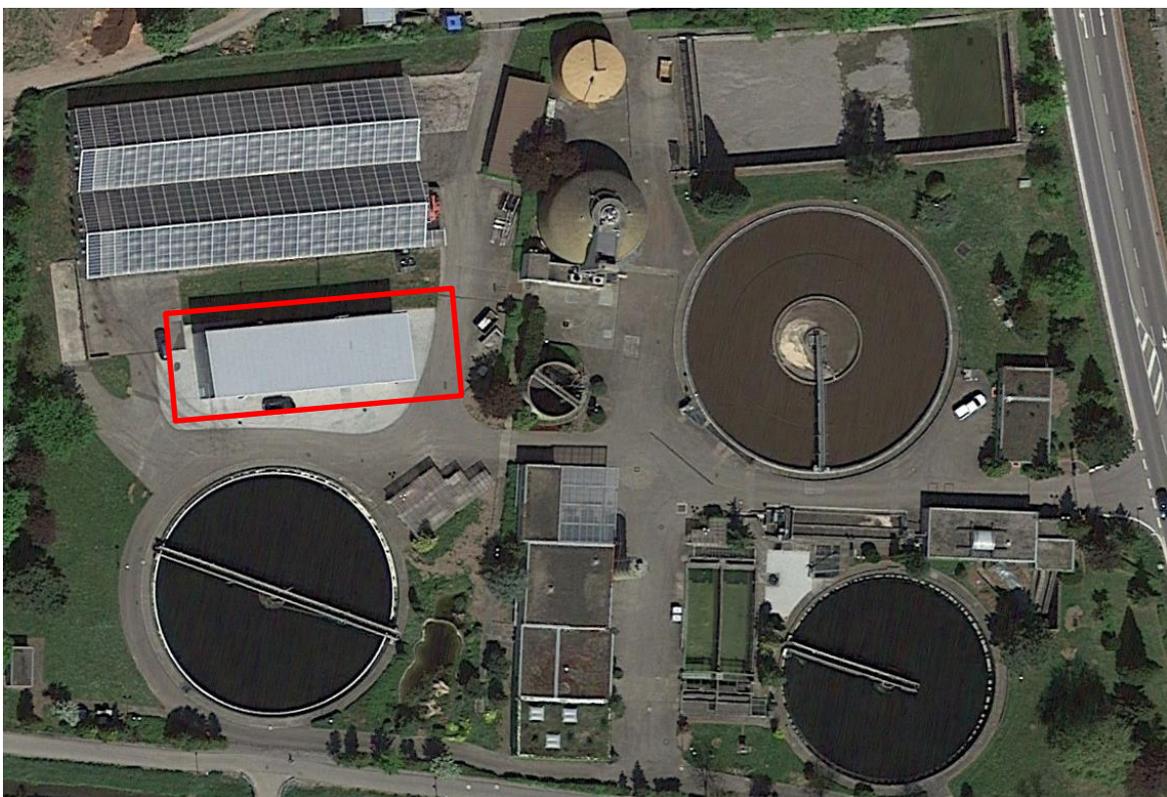
**Abbildung 6:** KLÄRSCHLAMMREFORMER mit Rauchgasreinigung

**Tabelle 2:** Technische Daten der KLÄRSCHLAMMREFORMER-Anlage

<b>KLÄRSCHLAMMREFORMER-Anlage</b>	
Schlammmenge getrocknet Input	800 - 950 t/a
TR-Gehalt	75 - 90 % TR
Organikgehalt des Schlammes	45 - 60 %TR
Aschemenge	250 - 400 t/a
Brennstoffennendurchsatz	150 kg/h
Feuerungsnennwärmeleistung	300 kW
Rauchgasreinigung	3-stufig
Elektrische Leistung ORC-Turbine	bis 20 kW
Abwärme zur Trocknungsanlage	ca. 200 kW
Gebäudefläche (mit Bunker und Erweiterungsfläche)	300 m <sup>2</sup>
Hersteller	Thermo-System



**Abbildung 7:** Kläranlage Renningen mit Solarer Trocknung vor Bau des KLÄRSCHLAMMREFORMERS (2014) [Quelle: Google]



**Abbildung 8:** Kläranlage Renningen mit KLÄRSCHLAMMREFORMER (2018) [Quelle: Google]

## 2.3 Umsetzung des Vorhabens

Aufgrund der Neuheit des anzuwendenden Verfahrens war die Projektumsetzung mit erheblichen Hindernissen und Risiken behaftet. Zwar gab es gewisse Vorkenntnisse und Erfahrungen aus einer Pilotanlage, die jedoch bezüglich der Größe nicht vergleichbar war und welche auch nicht den kompletten Verfahrensablauf abdeckte. Eine weitere Anlage, welche sich mit geringem Zeitvorsprung in der Realisierung befand, war anlagentechnisch zwar teilweise ähnlich, aber auch hier waren noch keine Betriebserfahrungen vorhanden, so dass Unsicherheiten vor allem auch bezüglich der zeitlichen Umsetzung bestanden. Dennoch haben sich alle Projektbeteiligten dazu entschlossen, das Vorhaben durchzuführen.

Die wichtigsten Meilensteine sind wie folgt dargestellt:

2004	Bau der Solaren Klärschlamm-trocknungsanlage
2005	Inbetriebnahme eines Versuchsreaktors zur thermischen Verwertung im Technikumsmaßstab
2011	Konkretisierung der Überlegungen zum Bau einer dezentral thermischen Klärschlammverwertungsanlage
September 2013	Gemeinderatsbeschluss zur Beschaffung einer Anlage zur thermischen Verwertung von Klärschlamm bei 30 % Förderung
2014	Beantragung von Fördermitteln
März 2015	Zuwendungsbescheid des Umweltinnovationsprogramms
April 2015	Gemeinderatsbeschluss zum Bau des KlärschlammReformers
Mai 2015	Auftragsvergabe an Fa. Thermo-System
Juni 2015	Einreichung Bauantrag und Antrag auf Immissionsschutzrechtliche Genehmigung
September 2015	Baugrundgutachten
November 2015	Gemeinderatsbeschluss Vergabe Rohbauarbeiten
Oktober 2016	Anlieferung der meisten Anlagenkomponenten. Verzögerungen bei der Hauptkomponente (Reformer) durch techn. Änderungsbedarf und damit verbundene Änderung von Genehmigung und Fördermitteln
April 2018	Warminbetriebnahme der Anlage, Beginn Schlammverwertung
Juni 2018	TÜV-Prüfung funktionale Sicherheit
September 2018	TÜV-Prüfung Inbetriebnahme
Mai 2019	Emissionsmessungen
Juni 2018-Okt 2020	Anlagenoptimierung
November 2020	Übernahme der Anlage

Im Verlauf des Projekts ergaben sich Verzögerungen im Bau der Anlage, welche einerseits auf das Fehlen geeigneter Standardtechnologien im benötigten Maßstab sowie auf mittlerweile gemachte Erfahrungen aus einer anderen Pilotanlage zurückzuführen waren. Hier haben unvorhergesehene Probleme bei eingesetzten Komponenten dazu geführt, dass diese technisch überarbeitet oder teilweise neu konzipiert werden mussten. Die wichtigsten Punkte sind im Folgenden aufgeführt:

- Sehr hoher Engineering-Aufwand für die Anlagenkomponenten, da im Bereich Rauchgaswärmetauscher und Rauchgasreinigung nicht auf Standard-Komponenten zurückgegriffen werden konnte.
- Änderung der ersten Rauchgasreinigungsstufe aufgrund von Werkstoffproblemen, dadurch Neukonstruktion erforderlich
- Modifikation des Reaktorkonzepts aufgrund von Problemen mit Verschleiß und Aschequalität, dadurch Umkonstruktion und Umbau erforderlich
- erhöhter Aufwand und Nachrüstungen aufgrund widersprüchlicher Angaben von Prüfinstitutionen bezüglich der Einstufung des Rauchgaskessels
- schwierige Terminfindung mit Prüfinstitutionen, extrem lange Vorlaufzeiten
- Änderungsanträge bei Genehmigung und Fördermitteln aufgrund technischer Änderungen
- Lieferverzögerungen bei der ORC-Turbine

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung**

Die Stadt Renningen hat sich zur Durchführung des Vorhabens entschieden, um der Verantwortung einer nachhaltigen Klärschlammverwertung langfristig gerecht zu werden. Umweltaspekte wie Verkehrsverminderung, CO<sub>2</sub>-Einsparung und die Nutzbarmachung des im Klärschlamm enthaltenen Phosphats waren wichtige Motive für die Durchführung des Projekts. Die öffentliche finanzielle Förderung hat entscheidend dazu beigetragen, die mit dem innovativen Verfahrensansatz verbundenen technischen, terminlichen und finanziellen Risiken zu mindern und die Investitionsentscheidung zu erleichtern.

Die terminlichen Verzögerungen wurden zwischen den Projektpartnern abgestimmt und bewusst in Kauf genommen, da hierdurch die Nutzung von Erfahrungen aus anderen Projekten und parallel laufenden Entwicklungsarbeiten einfließen konnten, um dies im Sinne einer höheren technischen Reife und Anlagenzuverlässigkeit nutzen zu können.

Die Erreichung der einzelnen Projektziele stellt sich wie folgt dar:

1. Massenreduktion:

Die zu entsorgende Masse und damit die Transportkilometer konnten deutlich reduziert werden. Bei voller Auslastung der Anlage werden pro Jahr ca. 50.000 LKW-Kilometer eingespart.

2. energetische Nutzung des Klärschlamm:

Der Klärschlamm wird als regenerativer Brennstoff zur dezentralen Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie genutzt. Die Wärme wird in der Klärschlamm-trocknungsanlage genutzt. Die Anlage kann thermisch autark betrieben werden. Der elektrische Energiebedarf der Anlage kann durch die Eigenstromerzeugung deutlich reduziert werden.

3. Unabhängigkeit vom Entsorgungsmarkt/Kostensicherheit:

Auf dem Hintergrund der derzeit extrem steigenden Entsorgungskosten für Klärschlamm bietet die dezentrale thermische Verwertung in Eigenregie Kostensicherheit durch Unabhängigkeit.

4. Durch Reduktion von Straßentransporten, Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Transport und Mitverbrennung von Klärschlamm in Kohlekraftwerken unter Stützfeuerung, Erzeugung erneuerbarer Energie und der Schaffung eines Rohstoffs zur Wiedergewinnung

von Phosphat wird ein maßgeblicher Beitrag zur Entlastung der Umwelt sowie Einsparung von Energie geleistet. Ferner werden die organischen Schadstoffe zerstört und Quecksilber, Arsen sowie Cadmium zu einem großen Teil aus dem Klärschlamm entfernt. Die Asche ist daher gegenüber dem eingesetzten Klärschlamm deutlich schadstoffreduziert.

5. Phosphatwiedergewinnung:

Das im Schlamm enthaltene Phosphat findet sich vollständig in der Asche in einer Konzentration von 15-20 % wieder. Die Pflanzenverfügbarkeit der Phosphate ist sehr gut. Entsprechende Analysen und Pflanzversuche haben dies bestätigt. Allerdings werden die Vorgaben der Düngemittelverordnung aufgrund des hohen Kupfergehalts im Klärschlamm sowie der geänderten Anforderungen bzgl. Wasserlöslichkeit und Aufmahlung derzeit nicht eingehalten. Die Asche kann deshalb momentan nicht direkt als Phosphatdünger eingesetzt werden, sondern muss hierfür entsprechend aufbereitet werden.

6. interkommunale Zusammenarbeit:

Durch die Errichtung eines neuen großen Industriegebiets (Bosch-Areal) fallen zusätzliche Klärschlammengen an, welche in der Anlage mitbehandelt werden. Schlämme aus weiteren Nachbargemeinden sollen zukünftig angenommen werden.

## 3.2 Umweltbilanz

Gegenüber einer zentralen Verbrennung des Klärschlamms ergibt sich mit der Anlage eine deutlich verbesserte Umweltbilanz:

**1. Einsparung von LKW-Transporten:**

Pro Jahr kann mit der solarthermischen Trocknung und dezentralen thermischen Verwertung eine Massenreduktion von etwa 1.600 t erreicht werden. Dies entspricht ungefähr einer Verdopplung der Massenreduktion im Vergleich zur bisherigen reinen Solartrocknung. Dadurch können zusätzlich ca. 25.000 LKW-Kilometer pro Jahr eingespart werden.

## **2. CO<sub>2</sub>-Einsparung:**

Die Einsparung von LKW-Transporten führt zu einer rechnerischen CO<sub>2</sub>-Einsparung in Höhe von ca. 65 t CO<sub>2</sub>/a (104 g CO<sub>2</sub>/tkm) gegenüber der bisherigen Entsorgung von solargetrocknetem Schlamm.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der zentralen thermischen Verwertung entwässerter Schlämme hängen sehr stark vom Verwertungsverfahren bzw. der Kraftwerkstechnologie ab. Dieser Anteil kann daher hier nicht beziffert werden.

## **3. Phosphatrückgewinnung:**

Gegenüber der derzeit üblicherweise praktizierten Mitverbrennung von Klärschlämmen, bei der das enthaltene Phosphat unwiederbringlich verloren geht, wird bei der dezentralen thermischen Verwertung eine unverdünnte Asche mit einem Phosphatgehalt von 15-20 % erzeugt. Im vorliegenden Fall können bei einem Phosphatgehalt von 16,9 % in der Asche und einer anschließenden Ascheaufbereitung jährlich ca. 40 - 60 t Phosphat zurückgewonnen werden. Dies entspricht dem durchschnittlichen mineralischen Phosphatdüngerverbrauch in Deutschland von ca. 17.000 Menschen.

Aufgrund des speziellen Verfahrenskonzepts besitzt die Asche aus dem Klärschlamm-Reformer eine deutlich höhere Phosphatverfügbarkeit im Vergleich zu herkömmlichen Klärschlammverbrennungsanlagen.

## **4. Schadstoffbelastung:**

Bei einer düngerebezogenen Nutzung weist die Phosphatasche eine erheblich geringere Schadstoffbelastung auf als ein mineralischer Phosphatdünger, insbesondere in Bezug auf Uran und Cadmium. Organische Schadstoffe werden im Prozess zerstört. Gegenüber der landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm wird der Eintrag organischer Schadstoffe sowie der von Quecksilber, Cadmium und Arsen erheblich reduziert. Die Abgasemissionen liegen deutlich unterhalb der Grenzwerte der 17. BImSchV und tragen zusammen mit den vermiedenen Transportemissionen somit zu einer Reduzierung der Schadstoffbelastung im Vergleich zur Klärschlammverwertung in zentralen Mono- oder Mitverbrennungsanlagen bei.

### **3.3 Ascheverwertung und Phosphatrecycling**

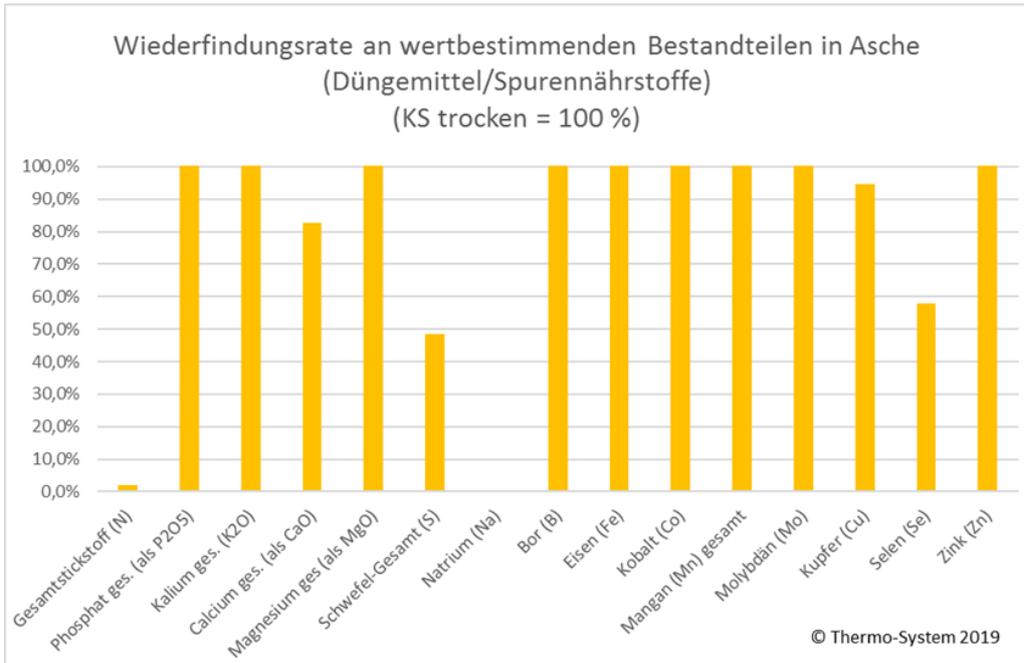
Aufgrund des hohen Phosphatgehalts der Asche ist ein Recycling der Asche anzustreben. Bei einer Deponierung oder Verwertung der Asche als Ersatzbaustoff geht das Phosphat verloren. Die Nutzung als Düngemittel ermöglicht eine Rückführung des Phosphats in den Kreislauf und ist daher anzustreben.

#### **3.3.1 Düngemittelverordnung**

Die Düngemittelverordnung wurde seit Projektbeginn mehrfach novelliert, wodurch der Einsatz von Klärschlammaschen und anderen Recyclingphosphaten erheblich erschwert wurde. Zwar gibt es einen erklärten politischen Willen, den Anteil an Recyclingphosphaten bei den Phosphatdüngern zu steigern, allerdings wurde dies gesetzgeberisch bisher nicht unterstützt. Im Gegenteil haben die Änderungen der Düngemittelverordnung dazu geführt, dass die Aschen derzeit nicht direkt als Düngemittel eingesetzt werden können. Dementsprechend werden mit Uran und Cadmium belastete und unter fragwürdigen Umwelt- und Sozialstandards gewonnene mineralische Phosphatdünger weiterhin bevorzugt und können nicht durch umweltfreundlichere Recyclingphosphate wie Klärschlammasche substituiert werden. Dies ist zwar mit dem Ziel einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft nicht vereinbar, entspricht aber der aktuellen Gesetzeslage. Verschiedene politische Kräfte sowie Fachbehörden und Verbände streben zwar entsprechende Änderungen an. Derzeit ist jedoch noch nicht absehbar, ob und wann sich hierdurch die Rahmenbedingungen ändern werden.

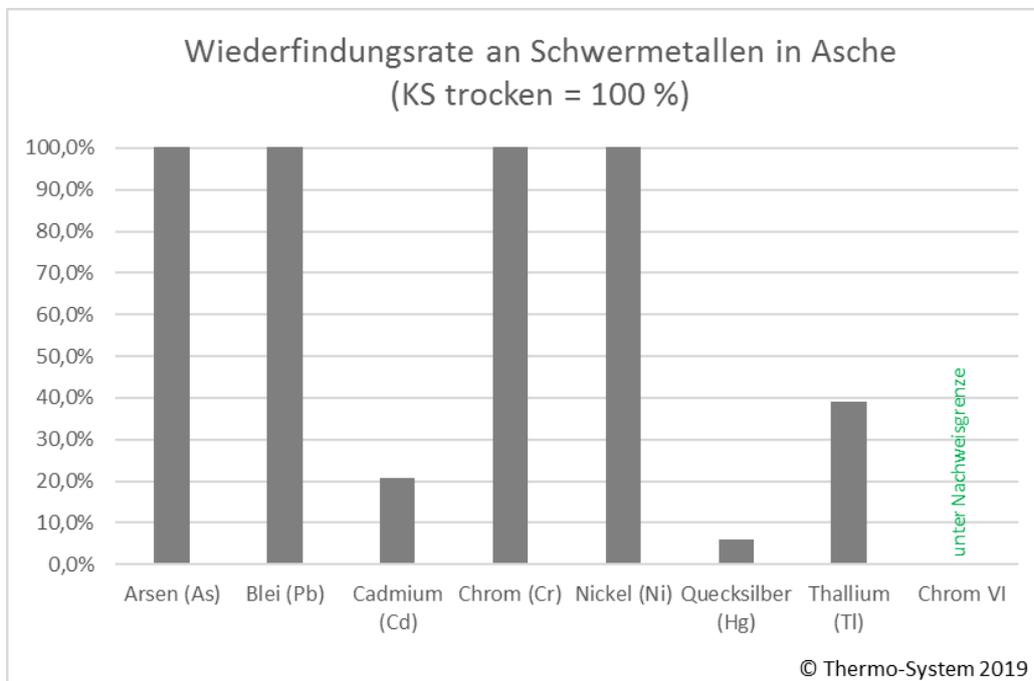
#### **3.3.2 Produktqualität**

Die Ascheanalysen haben gezeigt, dass die Schadstoffgrenzwerte der Düngemittelverordnung bis auf den Wert Kupfer eingehalten werden. Kupfer gilt zwar einerseits als Spurennährstoff und nicht als Schadstoff, dennoch werden in der Düngemittelverordnung Obergrenzen angegeben, über denen ein direkter Einsatz der Asche als Düngemittel nicht zulässig ist. Die wertbestimmenden Bestandteile des Klärschlamm bleiben - mit Ausnahme des Stickstoffs - weitgehend erhalten. Insbesondere Phosphat, Kalium und Magnesium finden sich vollständig in der Asche wieder. Vom Schwefel verbleibt etwa die Hälfte in der Asche.

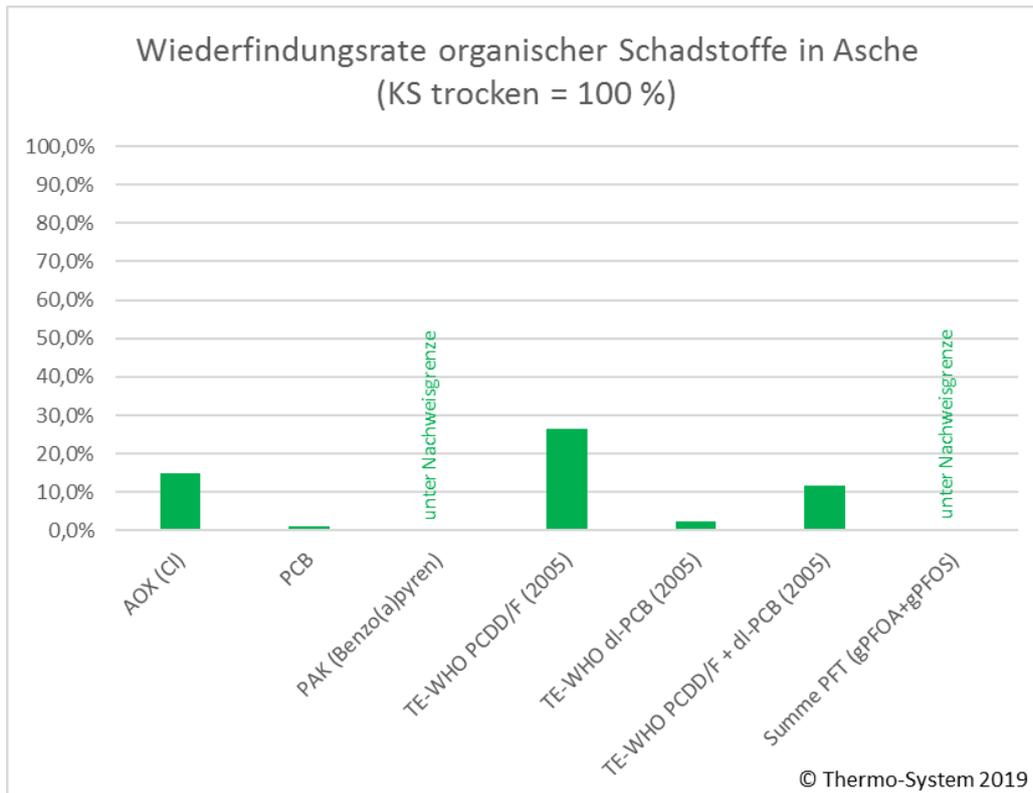


**Abbildung 9:** Wiederfindungsrate an wertbestimmenden Bestandteilen in der Asche

Bei den Schwermetallen findet eine Abreicherung insbesondere von Quecksilber (-95 %) und Cadmium (-80 %), den Bestandteilen mit der höchsten Toxizität, statt. Die organischen Schadstoffe werden vollständig zerstört.



**Abbildung 10:** Wiederfindungsrate an Schwermetallen in der Asche



**Abbildung 11:** Wiederfindungsrate an organischen Schadstoffen in der Asche

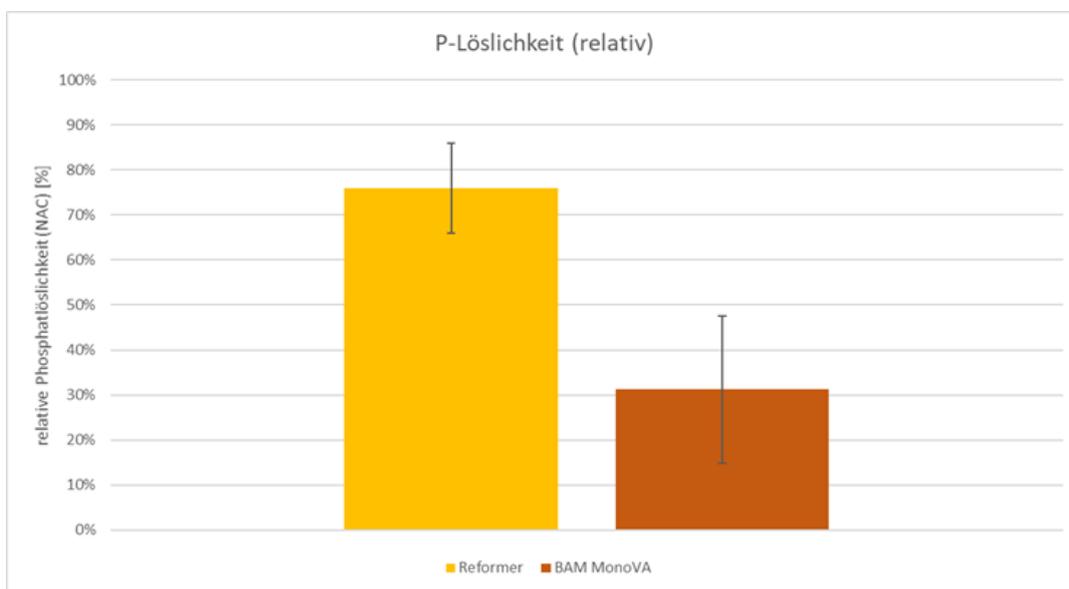
Die Schadstoffgehalte liegen bis auf Kupfer unter den zulässigen Grenzwerten. Da die absoluten Schadstoffgehalte vom jeweiligen Input-Material abhängen, sind die zu verarbeitenden Klärschlämme vorab auf die relevanten Parameter zu untersuchen und die Aschequalität abzuschätzen, um die Konformität mit der Klärschlamm- und Düngemittelverordnung sicherzustellen.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Asche im Vergleich zum Klärschlamm bezüglich des Schadstoffgehalts deutliche Qualitätsverbesserungen aufweist:

- weitgehende Entfernung von Quecksilber (-95 %)
- weitgehende Entfernung von Cadmium (-80 %)
- Zerstörung organischer Schadstoffe

### 3.3.3 Pflanzenverfügbarkeit

Die Pflanzenverfügbarkeit von Phosphat ist neben der Bindungsform von zahlreichen Einflussfaktoren wie Pflanzenart, Phosphatgehalt, pH-Wert und organischem Gehalt des Bodens sowie dem Vorhandensein anderer Nährstoffe abhängig. Dementsprechend ist die Beurteilung der Pflanzenverfügbarkeit sehr komplex und immer im Kontext der jeweiligen Untersuchungsbedingungen zu sehen. Zur objektiven Beurteilung der Pflanzenverfügbarkeit wird häufig die Neutral-ammoniumcitrat-Löslichkeit (NAC) herangezogen [Schick 2009, Kratz et al. 2010, Zeggel et al. 2015, Duboc et al. 2017]. Daher wurde dieser Parameter zur Bewertung der Phosphatverfügbarkeit gewählt.



**Abbildung 12:** Vergleich der Neutral-Ammoniumcitrat-Löslichkeiten (NAC) von Aschen aus dem KlärschlammReformer („Reformer“) sowie von typischen Monoverbrennungsaschen („BAM MonoVA“)

Die Klärschlammaschen aus dem KlärschlammReformer („Reformer“), welche chemisch gefällten Schlamm zum Ursprung haben, weisen Phosphatlöslichkeiten von 60 bis über 80 % auf. Die Monoverbrennungsaschen aus konventionellen Wirbelschichtverbrennungsanlagen liegen hier in einem Bereich von etwa 30 %, typische Aschen mit durchschnittlichen Phosphatgehalten sogar nur zwischen 20 und 30 % („BAM MonoVA“) [Krüger und Adam 2014]. Dies kann durch die unterschiedlichen Verfahrensbedingungen der thermischen Behandlung erklärt werden. Die Beobachtungen zur Phosphatlöslichkeit konnten durch weitergehende Laborversuche untermauert werden.



**Abbildung 13:** *Wachstum von Welschem Weidelgras in Abhängigkeit der Düngungsvariante*  
*[Technische Hochschule Mittelhessen 2020]*

Die Pflanzversuche mit Welschem Weidelgras zeigten bei den Düngungsvarianten mit Asche aus dem Klärschlamm-Reformer sehr gute Ergebnisse, die in vergleichbarer Größenordnung wie marktübliche Phosphatdünger lagen.

### 3.3.4 Verwertungswege und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten

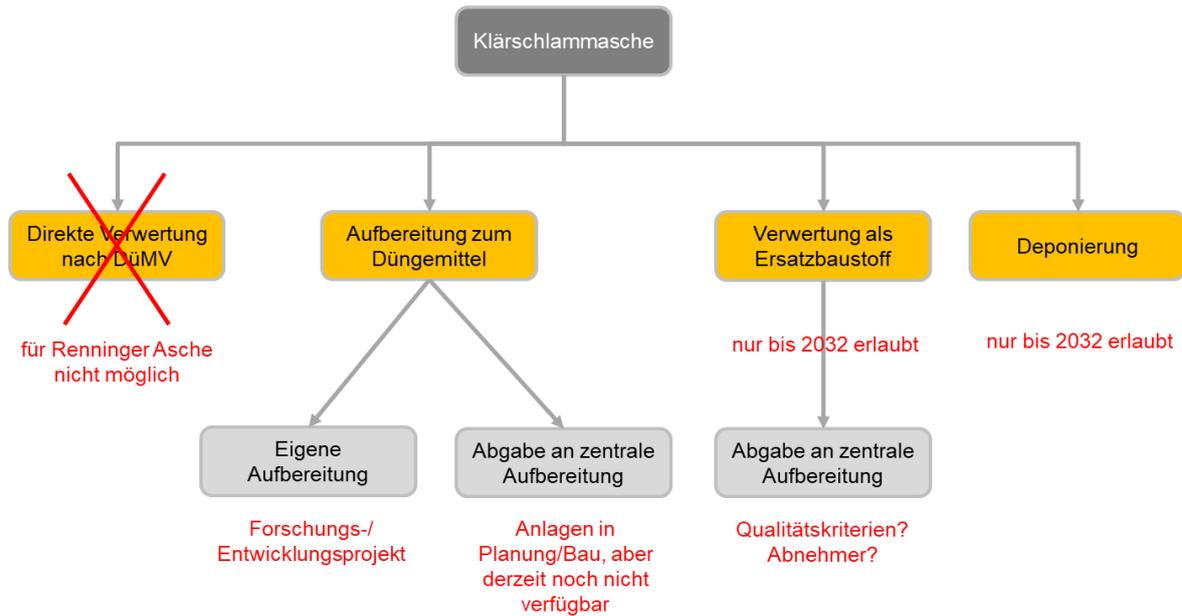
In Deutschland werden bisher lediglich 5 % der Aschen aus der Klärschlammmonoverbrennung als Düngemittel wiederverwertet. Etwa zu jeweils einem Drittel landet die Asche im Bergversatz, wird deponiert oder im Deponie-, Straßen- und Landschaftsbau eingesetzt. Damit ist das enthaltene Phosphat weitgehend verloren und steht für ein Phosphatrecycling nicht mehr zur Verfügung. [Krüger und Adam 2014]

Die Verwendung von Klärschlammasche in der Düngemittelindustrie als Substitut für Rohphosphat stößt grundsätzlich auf Interesse, da der Abbau mineralischer Rohphosphate unter sehr fragwürdigen umweltpolitischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen erfolgt und die Schadstoffkonzentrationen an Cadmium und Uran bei mineralischen Rohphosphaten immer weiter ansteigen. Aufgrund der niedrigen Uran- und Cadmiumgehalte könnte Klärschlammasche als schadstoffarmer Rohstoff zur Verringerung der Schadstoffgehalte beitragen. Allerdings scheinen in der praktischen Umsetzung der Einbindung von Klärschlammaschen in bestehende Düngemittelproduktionslinien derzeit noch technische und betriebliche Herausforderungen zu bestehen, da die Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften der Klärschlammaschen sich von denen des mineralischen Rohphosphats unterscheiden. Es wird daher noch einige Zeit in Anspruch nehmen, bis hierüber eine gesicherte Verwertung möglich ist. Langfristig ist dieser Weg aber von Interesse und sollte weiterverfolgt werden.

Eine alternative Möglichkeit der Ascheverwertung besteht in der direkten Verwendung als Düngemittel, sofern die Vorgaben der Klärschlamm- und Düngemittelverordnung eingehalten werden [AbfKlärV 2019, DüMV 2019]. Aufgrund der Zusammensetzung und Herkunft sind hierfür nicht alle Klärschlämme gleichermaßen geeignet, dennoch ist dieser Weg bei schadstoffarmen Klärschlämmen grundsätzlich möglich.

Wie zuvor dargelegt, weisen die Aschen aus dem KlärschlammReformer in Renningen zwar eine hohe Phosphatverfügbarkeit auf, eignen sich aber aufgrund des hohen Kupfergehalts im Klärschlamm sowie der geänderten Anforderungen bzgl. Wasserlöslichkeit und Aufmahlung ohne weitergehende Aufbereitung derzeit nicht für eine direkte Nutzung als Düngemittel.

Bereits zu Beginn des Projektes wurde aufgrund der noch unklaren Ascheverwertungswege eine zweite Projektstufe zur weiteren Aufarbeitung der Reformeraschen angedacht und baulich in Form einer vergrößerten Halle berücksichtigt.



**Abbildung 14:** Verwertungswege der Klärschlammasche

Bis 2032 besteht noch die Möglichkeit, die Asche auf einer Deponie abzulagern. Allerdings kann in diesem Fall das enthaltene Phosphat nicht in den Kreislauf zurückgeführt werden. Hierzu wäre eine Aufbereitung zum Düngemittel erforderlich. Derzeit sind 3 zentrale Anlagen zur Aufbereitung von Verbrennungsaschen in Deutschland im Bau und weitere in Planung. In absehbarer Zeit wird es möglich sein, diese Anlagen und Verwertungswege technisch und wirtschaftlich zu bewerten.

Eine eigene Aufbereitung der Asche am Standort Renningen wäre aus Nachhaltigkeitsgründen wünschenswert und technisch grundsätzlich denkbar, aber vor allem aufgrund des hohen Kupfergehalts mit erheblichem Aufwand verbunden. Es wird daher empfohlen, die Hintergründe der hohen Kupferbelastung zu untersuchen und die Betriebserfahrungen der derzeit in Bau befindlichen Ascheaufbereitungsanlagen abzuwarten, um die unterschiedlichen Verwertungswege sowie die Machbarkeit einer eigenen Aufbereitung bewerten zu können.

## 4 Literatur

- ANONYM: Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung vom 27.09.2017 (AbfKlärV). Bundesgesetzblatt 2017.
- ANONYM: Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln vom 26.05.2017 (DüMV). Bundesgesetzblatt 2017.
- ANONYM: Mitteilung COM(2020) 98 final der Europäischen Kommission, 2020.
- BUX, M. u. BAUMANN, R.: Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub>-Bilanz der solaren Trocknung von mechanisch entwässertem Klärschlamm. KA Abwasser 2003, 50 (9), 1169–1177.
- DUBOC, O.; SANTNER, J.; GOLESTANI FARD, A.; ZEHETNER, F.; TACCONI, J.; WENZEL, W.W.: Predicting phosphorous availability from chemically diverse conventional and recycling fertilizers. Science of the Total Environment 599/600, 2017. S. 1160-1170
- KRATZ, S.; HANEKLAUS, S.; SCHNUG, E.: Chemical solubility and agricultural performance of P-containing recycling fertilizers. Landbauforschung vTI Agriculture and Forestry Research 60, 2010, S. 227-240
- KRÜGER, O. u. ADAM, C.: Monitoring von Klärschlammmonoverbrennungsaschen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung zur Ermittlung ihrer Rohstoffrückgewinnungspotentiale und zur Erstellung von Referenzmaterial für die Überwachungsanalytik. Umweltbundesamt Texte 49/2014.
- RÖMER, W.: Phosphordüngewirkung neuer Phosphatrecyclingprodukte. Berichte über die Landwirtschaft, Bd. 91, Heft 1, Mai 2013.
- SCHICK, J.: Untersuchungen zu P-Düngewirkung und Schwermetallgehalten thermochemisch behandelter Klärschlammaschen. Ph.D. dissertation, Technical University Braunschweig, 2009
- ZEGGEL, L.; RIEDEL, H.; MARB, C.: Rückholbarkeit von Phosphor aus kommunalen Klärschlämmen - Abschlussbericht. Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (LfU), Augsburg, 2015