

Dokumententyp  
**Bericht**

Datum  
**17.03.2020**

# UNABHÄNGIGES GUTACHTEN **PROJEKT SWISSZINC**



## PROJEKT SWISSZINC

Dokumententyp **Bericht**  
Version **200**  
Datum **17.03.2020**  
Durchgeführt von **Martin Brunner**  
**Ruedi Frey**  
**Andi Spörri**  
**Isolde Erny**  
**Florian Landerer**  
Überprüft von **MBR**  
Genehmigt von **MBR**  
Titelbild: **Zinkplatten aus FLUREC-Verfahren, Stefan Schlumberger, KEBAG 2019**

Ramboll AG  
Hardturmstrasse 132  
CH-8005 Zürich

<https://ramboll.com/energy>

## INHALT

<b>1.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Management Summary</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
3.1	Hintergrund	5
3.2	Ziele und Vorgehensweise	5
<b>4.</b>	<b>Stand der Technik zur Metallrückgewinnung aus Filteraschen</b>	<b>6</b>
4.1	FLUWA	6
4.2	FLUREC	8
4.3	Verwertungsmöglichkeiten für Hydroxidschlämme	10
<b>5.</b>	<b>Swisszinc-Projekt</b>	<b>14</b>
5.1	Technische Aspekte SwissZinc-Anlage	14
5.2	Wirtschaftliche Aspekte	17
5.3	Sensitivitätsanalyse	18
5.4	Gesetzgebundene Aspekte	19
5.5	Risikoanalyse	19
5.6	Entsorgungssicherheit	20
5.7	Projektorganisation	21
5.8	Planungskosten der nächsten Projektphase	21
<b>6.</b>	<b>Ökologie</b>	<b>23</b>
6.1	Analyse bestehender Studie	23
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassende Empfehlungen</b>	<b>25</b>
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>27</b>
<b>9.</b>	<b>Anhang</b>	<b>28</b>
9.1	Stand der Technik FLUWA	28
9.2	Massen- und Energiebilanz FLUREC	30
9.3	Extensive Fassung von Kapitel 4.3	31
9.4	Plausibilisierung von „Logistik von Hydroxidschlämmen“	39
9.5	Ökologie	40
9.6	Vergleich der Komplexbildner Cyanex272 und D2EHPA	44
9.7	Referenz zu Solventextraktions Prozessen	45
9.8	Einschätzung der Referenzanlagen von Tecnicas Reunidas	47
9.9	Einschätzung zur Solventextraktion	48
9.10	Zusammenstellung der Grunddaten	49
9.11	Investitionskosten SwissZinc-Anlage	50
9.12	Betriebskostenzusammenstellung und Auswirkung auf die Gate-Fee	51
9.13	Varianten Beschrieb	52
9.14	FLUREC-Verfahren	55
9.15	SwissZinc-Verfahren	56

## 1. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>ABA</b>	<i>Abwasserbehandlungsanlage</i>
<b>BAFU</b>	<i>Bundesamt für Umwelt</i>
<b>CaO</b>	<i>Branntkalk</i>
<b>Cd</b>	<i>Cadmium</i>
<b>Cl</b>	<i>Chlor</i>
<b>Cu</b>	<i>Kupfer</i>
<b>D2EHPA</b>	<i>Di-(2-ethylhexyl)phosphoric acid (Komplexbildner)</i>
<b>FLUREC</b>	<i>Flugasche-Recycling</i>
<b>FLUWA</b>	<i>Saure Flugaschenwäsche</i>
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	<i>Wasserstoffperoxid</i>
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	<i>Schwefelsäure</i>
<b>HCl</b>	<i>Salzsäure</i>
<b>HS</b>	<i>Hydroxidschlamm</i>
<b>HZI</b>	<i>Hitachi Zosen INOVA</i>
<b>IZA</b>	<i>International Zinc Association</i>
<b>KEZO</b>	<i>KVA-Betreiberin in Hinwil</i>
<b>LCA</b>	<i>Life cycle analysis (Lebenszyklusanalyse)</i>
<b>Pb</b>	<i>Blei</i>
<b>REACH</b>	<i>EU-Chemikalien Verordnung</i>
<b>SDHL</b>	<i>Steht für die Namen der Erfinder des Wälzverfahrens: Saage, Dittrich, Hasche und Langbein</i>
<b>SO<sub>2</sub></b>	<i>Sulfat</i>
<b>SX</b>	<i>Solventextraktion</i>
<b>TS</b>	<i>Trockensubstanz</i>
<b>UBP</b>	<i>Umweltbelastungspunkte</i>
<b>UTD</b>	<i>Untertagdeponie</i>
<b>VOC</b>	<i>Volatile organic compounds (Flüchtige organische Verbindungen)</i>
<b>VVEA</b>	<i>Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen</i>
<b>ZAR</b>	<i>Stufung Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung</i>
<b>Zn</b>	<i>Zink</i>

## 2. MANAGEMENT SUMMARY

Um das weitere Vorgehen breiter abzustützen, hat die SwissZinc AG gemeinsam mit sieben schweizerischen KVA ein unabhängiges Expertengremium beauftragt, die aktuellen Resultate des SwissZinc-Verfahrens zu plausibilisieren und das Projekt im Hinblick auf Ökonomie, Ökologie und Entsorgungssicherheit zu prüfen. Nachfolgend die Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse.

**Hydroxidschlamm-Menge und -Zusammensetzung:** Das SwissZinc Projekt ist auf eine Verwertungsmenge von 29'000 t/a HS ausgelegt (dies entspricht 100% der in der Schweiz zu erwartenden Hydroxidschlammmenge), aktuell fallen in der Schweiz nur 17'000 t/a (inkl. KEBAG) an. Der Bau weiterer FLUWA-Anlagen ist geplant, die Realisierung ist jedoch stark verzögert, so dass bei Betriebsaufnahme der SwissZinc möglicherweise nicht die erwarteten Hydroxidschlamm-Mengen zur Verfügung stehen. Die Zusammensetzung der Hydroxidschlämme weist - aufgrund der unterschiedlichen FLUWA Fahrweise in den verschiedenen Anlagen - eine grosse Schwankungsbreite auf. Die Zink-Gesamtfracht ist plausibel, aber teilweise die Konzentration relativ gering, was die Betriebskosten der SwissZinc Anlage erhöht. Ebenfalls ist die Ausbeute von Blei und Kupfer in fast allen FLUWA-Anlagen sehr gering, was zwar weder ein technisches oder wirtschaftliches Risiko für das Projekt darstellt, aber den ökologischen Nutzen des Projektes schmälert.

**Fazit: Insgesamt stellen die von SwissZinc erarbeiteten Grundlagen und getroffenen Annahmen eine nachvollziehbare und robuste Basis für die weitere Projektentwicklung dar. Ein gewisses Risiko ist die zeitgerechte Realisierung der noch fehlenden FLUWA Anlagen, um bei Betriebsbeginn die für einen wirtschaftlichen Betrieb notwendigen Hydroxidschlamm-Mengen verarbeiten zu können. Wird die VVEA zeitgerecht umgesetzt, wird dieses Risiko erheblich reduziert.**

**Verwertungsmöglichkeiten für Hydroxidschlämme:** Die Verwertung von Hydroxidschlämmen im Ausland ist, insbesondere in Wälzrohranlagen, etabliert. Die Kapazitäten der Wälzrohrbetriebe sind ausreichend, es sind derzeit keine Hinweise auf eine ungenügende Verwertungskapazität oder steigende Preise bekannt. Dennoch ist zu bedenken, dass Hydroxidschlämme für Wälzrohrbetriebe aufgrund des geringen Zinkgehalts nicht besonders attraktiv sind. Die fehlende Rückgewinnung von Kupfer stellt in Hinblick auf die Vollzugshilfe zur VVEA ein gewisses Risiko dar, falls neben Zink auch für andere Metalle Rückgewinnungsraten vorgegeben werden.

**Fazit: Die Verwertung von Hydroxidschlämmen in Wälzrohranlagen ist ein etabliertes Verfahren. Im Vergleich zu Stahlwerkstäuben ist die in Wälzrohranlagen behandelte Menge der Hydroxidschlämme sehr klein, es sind daher keine Engpässe zu erwarten. Die Volatilität der Annahmepreise für Zinkhydroxidschlämme in der Schweiz hat sich aber in der Vergangenheit als sehr hoch erwiesen. Es ist daher nicht möglich, Aussagen zur Entwicklung der Verwertungspreise zu machen.**

**Technische Machbarkeit des SwissZinc Verfahrens:** Das SwissZinc-Verfahren nutzt dieselben Grundprozesse wie das bewährte FLUREC-Verfahren, das Upscaling dieser Prozesse wird als unproblematisch gesehen. Mit dem SwissZinc-Verfahren werden unterschiedliche Hydroxidschlämme verwertet, während das FLUREC-Verfahren das FLUWA-Filtrat nur einer Anlage verarbeitet. Daher ist eine Aufbereitung der Hydroxidschlämme notwendig. Diese Schritte werden zwar als unkritisch gesehen, sollten aber im weiteren Engineering optimiert werden. In der Solventextraktion ist der Einsatz eines aktiveren Komplexbildners vorgesehen. Sollte dies wider Erwarten zu einer Verschlechterung der Ergebnisse führen, ist ein Wechsel zum bisherigen Produkt problemlos möglich.

**Fazit: Die technische Machbarkeit des SwissZinc-Verfahrens ist - insbesondere auf Basis der langjährigen Erfahrungen mit dem FLUREC-Verfahren - gegeben. Die technischen Risiken durch Upscaling, Prozessanpassungen und ergänzende Prozessschritte werden als unkritisch gesehen.**

**Wirtschaftlichkeit:** Die von SwissZinc ermittelten Betriebsmittelkosten stimmen gut mit eigenen Berechnungen und Abschätzungen überein. Eine Ausnahme davon bildet das Zinkpulver, dessen Verbrauch nach unserer Berechnung höher ist. Die Investitionskosten für das Projekt werden von SwissZinc mit CHF 69 Mio. ( $\pm 30\%$ ) beziffert, die Aufteilung auf einzelne Positionen ist aber nur sehr marginal dargestellt. Eigene Kostenabschätzungen liegen im Mittel bei CHF 66 Mio., je nach Annahme zwischen 55 und 81 Mio. CHF und damit in der Schwankungsbreite der SwissZinc Abschätzung. Die tieferen Investitionskosten, zusammen mit anderen Faktoren, führen nach unserer Berechnung zu einem Annahmepreis von ca. 230 CHF/t. Bezüglich Sensitivität der Annahmen ist der wesentlichste Einflussfaktor auf die Wirtschaftlichkeit der Anschlussgrad der KVA, bzw. die zeitgerechte Umsetzung der FLUWA Projekte (siehe oben).

**Fazit: Die von SwissZinc angegebenen Investitionskosten von CHF 69 Mio.  $\pm 30\%$  können bestätigt werden und liegen im Rahmen der dem Projektstand entsprechenden Genauigkeit. Ebenfalls bestätigt werden können die Behandlungskosten von 262 CHF/t  $\pm 30\%$  (Basis Hydroxidschlamm mit 30% TS) bei einem Anschlussgrad der KVA von 85% und der zeitgerechten Umsetzung der FLUWA Projekte.**

**Entsorgungssicherheit:** Das Thema Entsorgungssicherheit ist in den Unterlagen von SwissZinc nur marginal behandelt. Da die gesamte Anlage nur einstrassig ausgeführt ist, müssen für dieses Thema im weiteren Projektverlauf Lösungen gefunden werden. Möglichkeiten dafür sind eine genügend grosse Dimensionierung des Bunkers, externe Zwischenlager und die Aufrechterhaltung von Entsorgungsverträgen mit dem Ausland.

**Fazit: Dem Thema Entsorgungssicherheit muss im weiteren Projektverlauf eine hohe Priorität eingeräumt werden. Aufgrund der relativ kleinen Jahresmenge und unproblematischen Eigenschaften der Hydroxidschlämme wird dieses Thema aber nicht als projektkritisch gesehen.**

**Projektorganisation:** Überlegungen, wie das Projekt organisatorisch weitergeführt werden soll, sind nicht dokumentiert. Da sich das Wissen für den Bau der Anlage aktuell auf einzelne Personen beschränkt, ist eine geeignete Projektorganisation kritisch für den Erfolg des Projektes.

**Fazit: In einem nächsten Schritt muss zwingend eine geeignete Projektorganisation gefunden und das aktuelle Know-how breit abgestützt werden, um eine erfolgreiche Realisierung des Projektes zu gewährleisten.**

**Ökologie:** Die in der Studie gewählte Vorgehensweise entspricht grundsätzlich dem aktuellen wissenschaftlichen Standard zur Durchführung von Ökobilanzen. Die Hauptaussage, dass die Verwertung mit dem SwissZinc-Verfahren ökologisch besser ist als die Verwertung in ausländischen Wälz- und Zinkverhüttungsverfahren, kann bestätigt werden. Die Höhe des ökologischen Vorteils wurde in der vorliegenden Studie eher unterschätzt, da im Zweifelsfall Annahmen durchgehend zu Gunsten des Wälz- und Zinkverhüttungsverfahrens getroffen wurden.

**Fazit: Das SwissZinc Verfahren schneidet auch bei konservativer Betrachtung ökologisch besser ab als die Verwertung mit Wälzrohrverfahren. Werden auch weitere ökologische Vorteile wie z.B. das zurückgewonnene Kupfer in die Berechnung einbezogen, ist das SwissZinc- Verfahrens ökologisch sogar wesentlich besser.**

**Zusammenfassung und Empfehlung:** Die Resultate des bisherigen SwissZinc-Projektes sind plausibel, es sind keine unkalkulierbaren Risiken erkennbar. Das SwissZinc-Verfahren ist ökologisch wesentlich besser als die heutige Verwertung und die Behandlungskosten vergleichbar.

Die Autoren befürworten, unter Berücksichtigung der in diesem Bericht gemachten Empfehlungen, die nächste Phase des Projektes in Angriff zu nehmen.

## 3. EINLEITUNG

### 3.1 Hintergrund

Am 1. Januar 2021 tritt die neue Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA) schweizweit in Kraft. Darin ist auch eine Rückgewinnungspflicht von Metallen aus KVA-Flugaschen gemäss Stand der Technik festgehalten. Die Metallrückgewinnung erfolgt gegenwärtig entweder über das FLUWA-Verfahren mit anschliessendem Export von Hydroxidschlämmen (HS) ins Ausland (Wälzrohr oder hydrometallurgischer Prozess) oder mit dem FLUREC-Verfahren. Ersterer Weg führte in der Vergangenheit seitens der Schweizer KVAs zu Bedenken, weil die Kosten für die Abnahme einer Tonne Hydroxidschlamm sehr variabel und intransparent waren.

Aus diesem Grund und dem Interesse eine schweizerische und ökologischere Lösung zu finden, wurde das Projekt SwissZinc gestartet. In Anlehnung an das bestehende FLUREC-Verfahren soll dieses Projekt aus einer zentralisierten Anlage bestehen, in der die Metalle Blei, Kadmium und Kupfer in Form eines Zementats und Zink in seiner Reinform zurückgewonnen werden. Die Anlage soll nicht gewinnorientiert betrieben und im Besitz der Schweizer KVAs sein.

Vor diesem Hintergrund wurde Ramboll beauftragt alle Arbeiten, die die Machbarkeit dieses Projektes SwissZinc umfassten und vorliegen, zusammen mit einem unabhängigen Experten-Gremium zu analysieren und plausibilisieren.

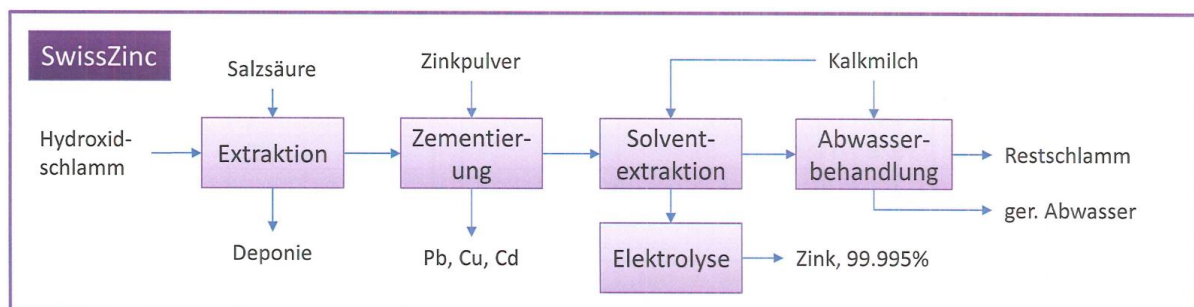


Abbildung 1: Schematische Darstellung des SwissZinc-Verfahrens

### 3.2 Ziele und Vorgehensweise

Die Plausibilisierung soll in erster Linie mit einem unvoreingenommenen Blick das Projekt be- und durchleuchten. Ziel ist nicht nochmals alles neu zu planen, sondern die bereits bestehenden Arbeiten auf dessen Durchführbarkeit und deren ökologischen wie auch ökonomischen Auswirkungen zu beurteilen und evtl. Verbesserungen vorschlagen.

Der vorliegende Bericht beleuchtet zuerst den Stand der Technik in drei wichtigen Aspekten im Hinblick auf den Erfolg des Projekt SwissZinc. Das FLUWA-Verfahren erzeugt den Hydroxidschlamm und somit das Input-Material für die SwissZinc-Anlage, das FLUREC-Verfahren ist die Basis für das grössere aber ähnliche „SwissZinc-Verfahren“ und die Verwertungswege des Hydroxidschlamms zeigen die Alternativen zum vorgeschlagenen Projekt auf die gegenwärtig auch praktiziert werden. Im zweiten Teil wird das Projekt SwissZinc genauer betrachtet und anhand von drei möglichen Szenarien verfahrenstechnisch und ökonomisch bewertet. Der letzte Teil, überprüft und plausibilisiert die gemachte vergleichende Ökobilanz zwischen den heutigen Verwertungsweisen und dem zukünftigen SwissZinc-Projekt. Nachrechnungen sowie weiterführende Empfehlungen wurden teilweise durchgeführt oder ansatzweise behandelt.



## 4. STAND DER TECHNIK ZUR METALLRÜCKGEWINNUNG AUS FILTERASCHEN

### 4.1 FLUWA

#### 4.1.1 Übersicht

Die bestehenden FLUWA-Anlagen unterscheiden sich in wesentlichen Punkten, die einen Einfluss auf die Menge und Zusammensetzung des Hydroxidschlammes und damit auf den zukünftigen Betrieb von SwissZinc haben.

Gut untersucht und dokumentiert sind die unterschiedlichen Mengen und Zusammensetzungen an Flugasche resp. deren Zink-Gehalte und weitere Komponenten. Andere Faktoren haben aber ebenso einen Einfluss auf die Menge und Zusammensetzung des Hydroxidschlammes:

- Fahrweise der Extraktion (pH-Wert, Verweilzeit, RedOx-Potential)
- Zusammensetzung der verwendeten Säure (Quenchwasser), insbesondere hinsichtlich Sulfat- und Ammonium-Gehalt
- Entwässerung der Aschesuspension resp. Feststoff-Schlupf des Filters
- Verwendete Additive in der Abwasserbehandlung (anorganische resp. organische Schwefelverbindungen, Eisenchlorid, Kalkmilch)
- Entwässerung des HS (diverse Filtertypen mit mechanischer Entwässerung und teilweise thermischer Trocknung)

#### 4.1.2 Hydroxidschlamm-Zusammensetzung und Einflussfaktoren

Neben der Zusammensetzung der Flugasche (Zn-Gehalt) haben die Fahrweise der Extraktion und die Führung der Abschlammung der neutralen Rauchgaswäscher-Stufe einen wesentlichen Einfluss auf die Zusammensetzung des HS.

Die Parameter der Extraktion

- pH-Wert-Einstellung durch Asche/Quenchwasser-Verhältnis resp. zusätzliche Dosierung von HCl
  - RedOx-Potential-Einstellung durch Zudosierung von Wasserstoffperoxid
- können durch Nachrüstung/Umbau bestehender FLUWA's und die entsprechende Fahrweise relativ einfach angepasst/optimiert werden und haben insbesondere einen Einfluss auf den Gehalt der Elemente Blei und Kupfer im HS.

Aufwändiger wird ein Umbau zur separaten Behandlung der neutralen Wäscherabschlammung, da dies eine zweite Abwasser-Behandlungsstrasse (mit separater Abtrennung von Gips) bedeutet.

Diese Zusammenhänge werden detaillierter im Anhang 9.1 erläutert.

#### 4.1.3 VVEA-Auswirkungen auf die FLUWA

SwissZinc geht für die ökologische und ökonomische Betrachtung des Projekts von optimierten Bedingungen im Betrieb der FLUWA-Anlagen aus. Diese Bedingungen sind voraussichtlich in der VVEA vorgesehen, was eine Anpassung des FLUWA-Betriebs zur Folge hätte. Diese Anforderungen sind in das SwissZinc-Projekt integriert worden. Der Stand heute zeigt, dass für die Einhaltung dieser Anforderungen auf mehreren Anlagen noch Nachrüstungsbedarf besteht.. Dies betrifft insbesondere die Fahrweise der Extraktion, die Führung der SO<sub>2</sub>-Wäscher-Ausschleusung und mögliche zukünftige Massnahmen zur Reduktion des Dioxin-Gehaltes in der gewaschenen Asche:

- Nachrüstung von H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Dosiervorrichtungen inkl. Mess- und Regeltechnik; ev. zusätzliche HCl-/ Kalkmilch-Dosierungen
- Nachrüstung einer separaten Behandlungsstrasse für die Abschlammung der neutralen Wäscherstufe (separate Gipsfällung)



#### 4.1.4 Plausibilität der Ausgangslage Hydroxidschlamm für das SwissZinc-Projekt

Zwischen der installierten Verfahrenstechnik und der heutigen Betriebsweise der FLUWA-Anlagen und der im SwissZinc-Projekt angenommenen „optimierten“ FLUWA klafft eine teilweise erhebliche Lücke, die nicht nur mit einer zusätzlichen  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Dosierung zu schliessen ist. Entweder muss diese Lücke gemäss VVEA mit dem entsprechenden Aufwand (der noch zu schätzen wäre) überwunden werden, oder die SwissZinc-Anlage muss mehr auf die aktuelle „FLUWA-Landschaft“ ausgerichtet werden.

Das bei der im vorliegenden Bericht wirtschaftlichen Nachrechnung betrachtete Szenario „Heute“ geht deshalb von einer nicht wesentlich veränderten Zusammensetzung des HS aus.

#### 4.1.5 Zukünftige Entwicklungen FLUWA

##### 4.1.5.1 Dioxinabreicherung und Einfluss auf HS-Zusammensetzung

Die VVEA schreibt einen maximalen Dioxingehalt von 1000 ng/kg (als TEQ, bez. TS) in der behandelten Asche vor. Da durch den FLUWA-Prozess die (wasserunlöslichen) Dioxine durch die Massenabnahme aufkonzentriert werden, verschärft sich das Problem zusätzlich. Untersuchungen des ZAR und von HZI zeigen, dass die meisten der untersuchten KVA's diesen Grenzwert im Mittel einhalten - dass aber auch Ausreisser nach oben den Grenzwert überschreiten.

Stand Heute gibt es 3 bekannte Verfahren, um Dioxine zu reduzieren und damit den Grenzwert auch gesichert einhalten zu können:

- a) Thermische Zerstörung unter Luftabschluss (FAHO, „Hagenmaier-Trommel“) vor FLUWA
- b) Flotation („ExDiox“)/ Abtrennung und Rückführung der stark belasteten Fraktion während FLUWA
- c) Rückführung der gewaschenen Asche in die Feuerung („ReFire“) nach FLUWA

Alle 3 Varianten bedeuten erhebliche Zusatzinvestitionen in den einzelnen KVA's und haben teilweise auch Einfluss auf die Zusammensetzung des HS und damit auf das SwissZinc-Projekt:

##### a) FAHO, „Hagenmaier-Trommel“

Eine thermische Behandlung der gewaschenen Asche ist aufgrund des Wassergehaltes und des damit verbundenen Energiebedarfs nicht sinnvoll. Eine der FLUWA vorgelagerte thermische Behandlung hat auf den Betrieb der Extraktion möglicherweise einen positiven Einfluss, da metallisches Aluminium oxidiert wird und dadurch die Dosierung von  $\text{H}_2\text{O}_2$  reduziert werden kann.

Entwicklungsstand: Keine Referenzen in der Schweiz, aber 37 Anlagen in Betrieb in Japan

##### b) ExDiox

Die zusätzliche Flotationsstufe nach der „normalen“ Extraktion hat vermutlich keinen relevanten Einfluss auf die Zusammensetzung des HS.

Entwicklungsstand: Getestet, aber noch nicht grosstechnisch umgesetzt

##### c) ReFire

Da in der gewaschenen Flugasche enthaltener Schwefel mindestens teilweise wieder als  $\text{SO}_2$  freigesetzt wird, muss sinnvollerweise die Sulfatfracht aus der neutralen Wäscherstufe separat behandelt werden (separate Gipsfällung); realistisch ist dies wohl nur für Neuanlagen.

Entwicklungsstand: Grosstechnisch umgesetzt in Ingolstadt (DE); ausführlich getestet bei KEBAG

## 4.2 FLUREC

### 4.2.1 Übersicht Verfahrenstechnik

Das FLUREC-Verfahren ist ein Prozess, der seit 2013 am Standort der KVA KEBAG in Zuchwil in Betrieb ist. Diese Anlage ist eine neue Variante zur Metallrückgewinnung aus KVA-Filteraschen. Das Verfahren teilt sich in 5 Hauptschritte (siehe Anhang 9.2 und 9.14), wovon der erste Schritt die FLUWA darstellt (Ascheextraktion), gefolgt von einer Zementation, der Solventextraktion (SX) und der Zinkelektrolyse, zusätzlich zu einem unumgänglichen Abwasserbehandlungsschritt. Das monetäre Hauptprodukt stellt das zurückgewonnene Zink dar.

In der FLUWA wird das Salzsäure-haltige Quenchwasser aus der nassen Rauchgasreinigung mit der Flugasche vermischt. Dies hat zur Folge, dass die Schwermetalle durch die starke Säure mobilisiert werden und gleichzeitig die alkalische Asche neutralisiert. Ein Vakuumbandfilter trennt die schwermetallhaltige Lösung vom Rest, dem Filterkuchen, und führt sie zur Zementierung.

Die Zementation stellt ein gängiges Verfahren der Hydrometallurgie dar und wird in gleicher Weise, nur eben in sulphatischen Elektrolyten auch in der primären Zinkmetallurgie zur Reinigung der Lösung durchgeführt. Dabei verdrängt das unedlere Metall, in diesem Fall metallisches Zinkpulver, edlere aus der Lösung, wodurch neben Kadmium, Blei und Kupfer auch andere edlere Metalle zementiert werden. Das eingesetzte Zinkpulver geht dabei nicht verloren, muss aber im letzten Schritt, der Elektrolyse, unter Einsatz von elektrischer Energie zurückgewonnen werden. Auch stellt jeder Filtrationsschritt eine Verlustquelle für das in Lösung befindliche Zink dar (Ascheextraktion, Zementationsschritt).

Das nach wie vor teilweise verunreinigte Filtrat aus dem Zementationsschritt wird mit dem Solventextraktions-Schritt weiter gereinigt. Weiter wird dabei das Zink-Ion mittels eines sogenannten Komplexbildners von einem salzsauren Elektrolyten in einen für die Elektrolyse notwendigen sulfatischen Elektrolyten überführt.

Die Verunreinigungen aus der Solventextraktion werden zur Abwasserbehandlungsstufe geführt, in der sie neutralisiert, gefällt und filtriert werden, bevor gereinigte Abwasser ins kommunale Abwassernetz eingeleitet wird.

### 4.2.2 Erfahrung mit dem Verfahren

Die grosse Herausforderung der Anlage ist die Transformation von einem Teilprodukt des Abfalls zu einem hoch reinen Endprodukt. Die Variation der Inputstoffe aus der Flugasche muss über die mehreren Stufen abgefangen werden, damit am Schluss eine maximale Reinheit des zurückgewonnen Zinkes machbar ist. Die sensibelste Stufe ist dabei die Solventextraktion, da sich die chemischen und physikalischen Parameter möglichst wenig verändern dürfen.

Die Erfahrung zeigte, dass je konstanter der ganze Prozess geführt wird, desto besser das Endprodukt. Faktoren, die diese Konstanz störten, waren nach Aussagen des Betreibers zu 90 % menschlicher Natur, wie z.B. Eingriffe in den Betrieb. Weitere Faktoren waren auch die täglichen Unterbrüche der FLUWA (22.5h x 7 Tage die Woche) oder Änderungen im Quenchwasser. Aus diesen Gründen, wurde unter anderem ein 120 m<sup>3</sup> Tank zwischen der FLUWA und der sensibleren Solventextraktion installiert, um solche Schwankungen zu reduzieren.<sup>1</sup>

### 4.2.3 Investitions- und Betriebskosten

Der Bau der FLUREC-Anlage inklusive Sensorik, Verkabelung, Inbetriebnahme und Nachträgen hatte insgesamt einen Umfang von 18 Mio. CHF. Zum Bau der FLUREC-Anlage war auch noch ein Retrofit der FLUWA-Anlage notwendig, was zusätzlich weitere 8 Mio. CHF kostete.

<sup>1</sup> Informationen von KEBAG

#### 4.2.4 Chancen und Risiken des Up-Scalings

Ein Hochdimensionieren einer solchen Anlage ist auch mit Risiken und Chancen verbunden. Folgende Herausforderungen sind dabei anzuführen:

- Kleine Maßstäbe erlauben eine bessere Homogenisierung in Laugungs- und Mischbehältern und damit für gewöhnlich ein höheres Ausbringen. Bei einem Up-Scaling kann es daher zur Verminderung ermittelter Ausbringungswerte kommen. Hier ist vor allem auf die korrekte Auslegung von Rührwerken zu achten (Dimension, Geometrie und Motorleistung)
- Up-Scaling-Effekte ergeben sich ebenfalls in der Filtrationstechnik. Hier erfolgt auch häufig ein Wechsel des Filtersystems. Für sehr kleine Maßstäbe eignen sich zumeist keine Filterpressen, während sie für größere Maßstäbe eines der gängigsten Systeme darstellen. Hier können sich Änderungen im Feuchtegehalt des Filterkuchens und damit Verluste ergeben. Dabei ist darauf zu achten, welche Systeme Verwendung finden, ob und wie nachgewaschen wird, wie etwaige Waschwässer behandelt werden.
- Die Elektrolyse von Zink aus sulfatischen Lösungen ist heute Standard und weltweit in zahlreichen Größenordnungen realisiert. Allerdings stellt die Zinkelektrolyse in ihrer Funktion keine ganz einfache Methode zur Gewinnung von hochreinem Zink dar.
- Insgesamt ist das Risiko eines Up-Scalings sicherlich eng verbunden mit den entsprechenden Anlagenbauern und deren Erfahrung für die entsprechende Größenordnung in den Bereichen Laugung, Filtration, Solventextraktion (Misch- und Trennvorgänge) und Elektrolyse.
- Es muss aber auch für den Bereich der Hydrometallurgie positiv erwähnt werden, dass etwaige Fehler im Up-Scaling leichter und zumeist mit geringerem Kostenaufwand korrigiert werden können im Vergleich zu pyrometallurgischen Ofenanlagen.

### 4.3 Verwertungsmöglichkeiten für Hydroxidschlämme

#### 4.3.1 Vorgehen und Datengrundlagen

Die Aussagen beruhen auf Datengrundlagen, welche von Swiss Zinc zur Verfügung gestellt wurden: Projekt-Berichte, Dokumentation zum Wälzprozess und verschiedenen europäischen Anlagen mit dem SDHL-Wälzprozess in Spanien und Deutschland, sowie zur Hydrometal in Belgien. Die Dokumentation wurde soweit möglich ergänzt und plausibilisiert durch Abklärungen mit Experten per Telefon und Mail. Dies waren Camenzind (KVA Thun, Mitglied Geschäftsleitung), Dr. Grund und Dr. Spirlet (International Zinc Association IZA, Manager Sustainable Development und Manager Regulatory Affairs), sowie Dr. Hauser (BAFU, Sektionschef Industrieabfälle). An die Befesa wurde eine schriftliche Anfrage Anfang November 2019 zu aktuellen Zahlen gestellt, auf die Befesa aber nicht reagierte.

In den (wenigen) Punkten in denen Angaben der von Swiss Zinc zur Verfügung gestellten Dokumentation nicht überprüft werden konnten oder unplausibel scheinen, wird darauf hingewiesen.

#### 4.3.2 Aktuelle Situation der Verwertung von Hydroxidschlamm

##### 4.3.2.1 Verwertungsverfahren

Derzeit entstehen in der Schweiz jährlich ca. 3'900 t (Trockenmasse) Hydroxidschlämme aus dem FLUWA Verfahren. Würden alle Schweizer Flugaschen von KVAs mit FLUWA behandelt, wären es 8'800t Hydroxidschlämme [1]. Schweizer Hydroxidschlämme werden heute für die Verwertung exportiert. Die Verwertungskette kann mehrere Glieder zwischen Abgeber (KVA) über Mittler und Verwertungsbetriebe bis zur Herstellung von Produkten enthalten. Es gibt mehrere etablierte Exporteure und Verwertungsbetriebe von Hydroxidschlamm [1].

Gemäss Swiss Zinc ([1]) gelangen aktuell ca. 94% der Schlämme in Wälzrohranlagen und 6% in ein hydrometallurgisches Verfahren in Belgien. Es sind gemäss IZA weitere Verwertungsverfahren für zinkarme Abfälle (unter 15% Zinkgehalt) denkbar, darunter der Schachtofen der DK Recycling und Roheisen GmbH<sup>2</sup> und der imperial smelting-Ofen der Huta Cinku Miasteczko Slaskie (HCM) in Polen<sup>3</sup>. Es ist nicht bekannt, ob diese Anlagen Hydroxidschlämme annehmen können und dürfen. Es werden keine weiteren Angaben zu diesen Verfahren gemacht.

##### 4.3.2.2 Kapazitäten

Es gibt eine Vielzahl von **Wälzrohrbetrieben** in Europa. Bisherige Schweizer Exporte gingen nach Deutschland und Frankreich [1][2]. Wälzrohrbetriebe nehmen gem. Auskunft von IZA Materialien mit einem Zinkgehalt von mindestens 15%, eher 20% an, ab dann wird der Prozess für sie wirtschaftlich. Swiss Zinc [3] zufolge gehen Hydroxidschlämme ab einem Zinkgehalt >10% ins Wälzrohr und andernfalls in eine Untertagedeponie (UTD). Jede Anlage, von der Daten vorliegen, verarbeitet mehr als das Zehnfache der Schweizer Jahresproduktion von Hydroxidschlamm. Limitierend für die Annahmekapazität von Hydroxidschlamm könnte gem. IZA deren teilweise sehr niedriger Zinkgehalt sein. Andererseits sei es bei entsprechend hohem Annahmepreis aber denkbar, dass solches Material trotzdem angenommen wird. Es ist nicht bekannt, welche weiteren Faktoren neben dem Zinkgehalt (z.B. Gehalt von Schadstoffen und physikalische Parameter) die Annahmekapazität limitieren. Ein Rückgang der Stahlwerkstäube und damit der Anzahl Wälzrohrbetriebe ist gem. IZA derzeit nicht absehbar. Swiss Zinc [1] gibt dagegen an, dass Wälzrohranlagen bereits heute in Bezug auf Hydroxidschlämme eine beschränkte Kapazität haben und sich die Situation bei einer Zunahme von Hydroxidschlamm verschärfe. Diese Aussage konnte nicht erhärtet werden, die vorhandenen Hinweise deuten aber darauf hin, dass die Verwertungskapazität nicht kritisch ist.

<sup>2</sup> <https://www.dk-duisburg.de/>

<sup>3</sup> <https://hcm.com.pl/>

Für das **hydrometallurgische Verfahren** gibt es gem. IZA ebenfalls mehrere Anlagen, darunter die Hydrométal<sup>4</sup> in Belgien, die TIB Chemicals<sup>5</sup> und die Wocklum<sup>6</sup> in Deutschland. Aufgrund der vorliegenden Daten ist nicht bekannt, wie viele Hydroxidschlämme die Anlagen annehmen.

#### **Massen- und Energiebilanzen, sowie Emissionen und Stoffflüsse**

Die folgenden Aussagen in Bezug auf Energie- und Prozessmittel gelten für SDHL-**Wälzrohrverfahren**. Aus der Dokumentation von Swiss Zinc geht nicht hervor, ob Schweizer Hydroxidschlämme nur in SDHL-Anlagen gehen und das BAFU achtet beim Erteilen einer Exportbewilligung nicht darauf (Auskunft BAFU). Wälzrohrbetriebe sind auf die Verwertung von Stahlstäuben ausgelegt. Daneben verwerten sie weitere zinkreiche Abfälle, je nach Anlage bis zu ca. 20%, über deren Zusammensetzung nichts bekannt ist. Das Verfahren hat einen hohen Energiebedarf (und hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen) und benötigt mit Kalk, Koks, Wasser und Luft keine gefährlichen Stoffe. Es entsteht das Produkt Wälzoxid mit ca. 55 – 65% Zink und Wälzschlacke als Abfall. Letztere besteht hauptsächlich aus Eisenoxid, Kalk und Quarz, enthält aber auch Schwermetalle [4]. Die Emissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe und Staub, sowie für Abwasser werden bei den betrachteten Anlagen eingehalten [5] [6].

In Bezug auf das **hydrometallurgische Verfahren** fehlen Angaben zu Energie- und Massebilanz, sowie zu Emissionen und Reststoffen praktisch ganz. In Bezug auf die Hydrométal ist bekannt, dass Zink-Sulfat für die Pigmentindustrie gewonnen wird [3].

#### *4.3.3 Chancen und Risiken von wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten*

##### **4.3.3.1 Kosten**

Gem. einer VBSA-Umfrage an alle FLUWA-KVAs aus dem Jahr 2014 (auf diese wird verwiesen im Zwischenbericht 1 vom 21.04.2017 der SwissZinc [3]) zahlen KVA 320 – 400 CHF/t für die Verwertung von Hydroxidschlämmen in Wälzrohranlagen und 350 CHF/t für die Verwertung mit dem hydrometallurgischen Verfahren inkl. Transport. Für KVA ist die Zusammensetzung der Kosten intransparent und die Preisaufteilung zwischen Mittlern und Verwertungsbetrieben ist nicht bekannt. Relevante Einflussfaktoren auf die Preise sind die Metallpreise, die Gehalte an erwünschten (wertvollen) und unerwünschten Elementen, der physikalische Zustand, der Transport- und Verwaltungsaufwand sowie die Verarbeitungskosten. Es ist keine Aussage möglich, ob die Kosten in Zukunft steigen.

##### **4.3.3.2 Rechtliche Vorgaben für die Metallrückgewinnung und den Umweltschutz**

Der Export von Hydroxidschlämmen für die Metallrückgewinnung ist gem. Auskunft des BAFU künftig grundsätzlich weiterhin denkbar und entspricht den Vorgaben der neuen VVEA [7]. Es bestehen derzeit keine Hinweise auf Exportbeschränkungen von Hydroxidschlämmen aufgrund ungenügenden Metallrückgewinnungsgrades. In der Schweiz bestehen derzeit keine Vorgaben für die Metallrückgewinnung aus Flugaschen, dies wird aber voraussichtlich in einer Vollzugshilfe geregelt [2]. Die Zinkausbeute im Wälzrohrverfahren ist hoch, sie beträgt gem. IZA 95%. Weiter wird Pb zurückgewonnen (85% Metallausbeute) und Cl und Cd (>80% Metallausbeute), aber kein Cu. Die Zinkausbeute weiterer Verfahren ist nicht bekannt.

<sup>4</sup> <https://www.jgi-hydrometal.be/cms/index/cms/page/homepage/lang/en>

<sup>5</sup> <https://www.tib-chemicals.com/>

<sup>6</sup> <https://wocklum-gruppe.de/>

Aus rechtlicher Sicht stellen primär der Umgang mit Reststoffen, gefolgt von Emissionen in die Umwelt ein Exportrisiko dar, da sie im Konflikt mit der Schweizer Gesetzgebung stehen könnten. Gem. BAFU sind die europäischen Grenzwerte gerade in Bezug auf die Luftreinhaltung generell gut. In Bezug auf den Umgang mit Reststoffen wurde dagegen ein Exportverbot in eine polnische Anlage öffentlich. Es wurde erteilt aufgrund der Verwendung der Wälzschlacke mit hohem Schwermetallgehalt zur Wiederauffüllung von Materialentnahmestellen statt einer Deponierung [4]. Gem. IZA ist in Europa Wälzschlacke entweder REACH-registriert und damit ein Produkt, oder aber sie geht in den Deponiebau. In der Praxis sei in den EU-Mitgliedsländern die Regulierungen aber teilweise sogar innerhalb eines Landes in verschiedenen Regionen unterschiedlich. Gemäss BAFU wird die Ausfuhr von Hydroxidschlämmen grundsätzlich dann bewilligt, wenn der Entsorgungsweg bekannt, umweltverträglich und dem Stand der Technik entsprechend ist. In Bezug auf Wälzschlacken sollte der Schutz der Umwelt in vergleichbarer Weise gewährleistet werden wie es in der Schweiz vorgegeben wäre. Generell können gemäss Auskunft des BAFU Verwertungsanlagen im Ausland nur dann mit Schweizer Anlagen verglichen werden, wenn es in der Schweiz eine vergleichbare Anlage gibt. So wäre FLUREC gem. BAFU nicht mit anderen Verfahrenstypen, wie z.B. dem Wälzrohrverfahren vergleichbar.

Da der Einsatz von Wälzschlacke im Strassenbau (gem. REACH-Registrierung in Ordnung) in der Schweiz nicht geregelt ist, wird diese jeweils im Einzelfall geprüft. Bei den Anlagen, zu denen heute Exporte stattfinden wurde dies geprüft. Entsprechend ist der Umgang von einzelnen Anlagen mit ihrer Wälzschlacke ein potentiell rechtliches Risiko für den Export von Hydroxidschlämmen, welches aber schon für diverse Anlagen ausgeräumt wurde.

Im Hinblick auf die Zukunft sind den befragten Experten keine Entwicklungen der Schweizer und EU-Umweltstandards bekannt, welche den Export und die Behandlung von Hydroxidschlämmen künftig hindern oder fördern könnten. Gem. IZA stehen Wälzrohrbetriebe grundsätzlich unter dem Druck, den CO<sub>2</sub>-Fussabdruck zu senken und die Metallausbeute zu erhöhen, was auch aus der Sicht der Schweizer Umweltgesetzgebung wünschenswert ist. Weiter wird in der EU an Recyclingverfahren für zinkarme Abfälle geforscht, da es für grosse zinkarme Abfallströme bisher keine (wirtschaftliche) Verwertungsverfahren gibt.

#### 4.3.4 Beurteilung und Fazit

##### 4.3.4.1 Plausibilität der Angaben

Die meisten Angaben der von Swiss Zinc zur Verfügung gestellten Dokumentation sind, soweit eine Überprüfung möglich war (Befesa reagierte nicht auf eine Anfrage), plausibel. Es konnte lediglich die gem. Swiss Zinc [1] stark limitierte Kapazität von Wälzrohranlagen nicht bestätigt werden. Es ist allerdings möglich, dass insbesondere Hydroxidschlämme mit niedrigem Zinkgehalt nur dann von Wälzrohrbetrieben angenommen werden, wenn ein erhöhter Preis gezahlt wird, welcher die Unwirtschaftlichkeit der Zinkrückgewinnung kompensiert.

##### 4.3.4.2 Datenlücken

Es gibt sehr viele Datenlücken. In Bezug auf Massen- und Energiebilanzen, sowie Emissionen und Stoffflüsse liegen nur zu Wälzrohrbetrieben Angaben vor. Dies ist allerdings mit heute ca. 94% der Hydroxidschlammverwertung der relevanteste Prozess.

Es ist nicht bekannt, ob Verwertungsengpässe für Hydroxidschlämme entstehen könnten, oder ob die Verwertungskapazitäten zunehmen könnten.

##### 4.3.4.3 Fazit

Die Verwertung von Hydroxidschlämmen im Ausland ist etabliert, insb. in Wälzrohranlagen. Weitere Verwertungsverfahren sind prinzipiell denkbar. Die Kapazitäten der Wälzrohrbetriebe sind ausreichend. Dies gilt auch, wenn nur die Anlagen, welche in den letzten Jahren Hydroxidschlämme annahmen, berücksichtigt werden. Es ist derzeit nicht möglich, Aussagen zur künftigen Entwicklung der Preise zu machen. In Bezug auf die rechtliche Situation ist noch nicht bekannt, ob mögliche Vorgaben zur Rückgewinnungsrate von Zink und anderen Metallen in der Vollzugshilfe zur VVEA Verfahrenstypen oder Anlagen ausschliessen würden. Der Zink-Rückgewinnungsgrad von Wälzrohrbetrieben ist sehr hoch, der von weiteren Verfahrenstypen dagegen nicht bekannt. Ein derzeit bekanntes rechtliches Risiko für den Export von Hydroxidschlämmen ist allerdings die Verwertung von Wälzschlacken, welche sich trotz einheitlicher Regulierung auf EU-Ebene in der Praxis von Anlage zu Anlage unterscheiden kann. Ob die jeweilige Verwertung aus Sicht der Schweizer Umweltvorgaben akzeptabel ist, muss für jede Anlage individuell abgeklärt werden. Dies ist für verschiedene Anlagen im Rahmen von bereits erteilten Exportbewilligung erfolgreich geschehen. Dabei wurde aber auch ein Fall bekannt, in dem der Einsatz von Wälzschlacke als Produkt ohne entsprechende REACH-Registrierung aufgrund der Schwermetallgehalte als nicht zulässig eingestuft wurde. Das Risiko für ein generelles Exportverbot von Hydroxidschlämmen in alle denkbaren Anlagen wird dennoch als gering eingestuft. Generell werden die Anlagen im Ausland gem. BAFU mangels eines vergleichbaren Anlagentyps in der Schweiz auch künftig jeweils einzeln in Bezug auf die Erfüllung der Schweizer Umweltstandards überprüft.

Es ist generell trotz vorhandener Verwertungskapazitäten und wenig bekannter Risiken für den Export von Hydroxidschlämmen nicht möglich, eine Aussage darüber zu treffen, ob die heute angewandten Verfahren im Ausland die beste denkbare Verwertungslösung darstellen: Es gibt weder für Hydroxidschlämme noch für andere zinkarme Abfälle ein etabliertes Verwertungsverfahren. Die IZA beurteilt vor diesem Hintergrund die Entwicklung eines Verwertungsverfahrens für zinkarme Abfälle als positiv.



## 5. SWISSZINC-PROJEKT

Das Projekt SwissZinc wurde über die letzten Jahre auf dem Niveau der Machbarkeit von unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet und berechnet. Das vorliegende Kapitel bearbeitet und beurteilt zusammenfassend die geleisteten Arbeiten.

### 5.1 Technische Aspekte SwissZinc-Anlage

Der Vorteil der ausgearbeiteten SwissZinc-Lösung liegt darin, dass sowohl apparativ wie verfahrenstechnisch die geplante Anlage sehr ähnlich zur bestehenden FLUREC-Anlage bei KEBAG ist und damit wesentliche Erfahrungen und somit auch die Machbarkeit übertragen werden können. Einige Unterschiede ergeben sich trotzdem und werden in den folgenden Unterkapitel erläutert.

#### 5.1.1 „Laugungsstufe“ und Abtrennung des Reststoffes

Während bei KEBAG die metallhaltige saure Lösung nach der FLUWA zur Solvent-Extraktion geführt wird, muss diese bei SwissZinc erst durch das Rücklösen von Hydroxidschlamm hergestellt werden. Die geplante Rührkesselskaskade für die Rücklösung lehnt sich an die gängige Extraktion der FLUWA an. Da die saure Suspension sowieso in einem Pufferbehälter gesammelt wird, wäre auch eine Lösung mit Batch-Betrieb und dadurch besserer Kontrolle der Input-Stoffströme möglich.

Für die Filtration der Suspension und Entwässerung des verbleibenden Schlammes ist eine Filterpresse vorgesehen. Diese hat den Vorteil der maximalen Entwässerung. Nachteilig könnte eine suboptimale Spülung des Filterkuchens sein; insbesondere aufgrund der hohen Chlorid-Konzentration bei Rücklösung mit HCl wird ein leicht löslicher Anteil im Filterkuchen verbleiben, der möglicherweise dessen Qualität als Reststoff gemäss VVEA (Eluattest-Kriterium) kompromittiert.

Einer möglichst guten Vormischung der angelieferten HS-Schlämme ist bei der Detailplanung (Auslegung Krananlage, Grösse des Bunkers etc.) Beachtung zu schenken.

#### 5.1.2 Zementation

Die Zementationsstufe ist ähnlich ausgelegt wie in der FLUREC-Anlage. Zinkpulver wird in einem Rührkessel dem Filtrat hinzugefügt und anschliessend anstelle eines Bandfilters (FLUREC) mit einer Filterpresse filtriert um ein möglichst trockenes Zementat bzw. möglichst viel Zink in Lösung zu erhalten. Einen entscheidenden Einfluss auf den Erfolg dieser Stufe ist die notwendige Menge an Zinkpulver. Während SwissZinc von einer jährlichen Menge von 200 Tonnen pro Jahr ausgeht, wird anhand der zur Verfügung gestellten Dokumenten und eigenen Berechnungen empfohlen, von mindestens 280 t/a (85% KVA-Beteiligung) auszugehen. Die Diskrepanz ergibt sich aus dem Weg der Berechnung: SwissZinc rechnet die HS-Zusammensetzung über die Flugaschen und die erwarteten FLUWA-Extraktionsausbeuten (Bsp. Pb: 38 g/kg TS im HS<sup>7</sup>); in der vorliegenden neu gemachten Berechnung wurden direkt die Mengen und Zusammensetzung des HS-Schlammes (Beispiel Pb: 53 g/kg TS im HS) gemäss Projektdokumentation [2] (s. 16) verwendet – was wohl eher einem *worst-case* für den Zinkpulververbrauch (und einem *best-case*) für die ökologischen Betrachtungen des Pb-Recyclings) entspricht.

Dieser Zinkpulver-Wert wird entweder durch die stöchiometrische Berechnung (ausgehend von der zukünftigen HS-Zusammensetzung) oder einfach durch eine Hochrechnung des FLUREC-Verfahrens zum SwissZinc-Verfahren erhalten.

<sup>7</sup> 571 t/a Pb in FA; 59 % Pb-FLUWA Extraktionsausbeute = 338 t Pb/a; 8700 t HS (100%)/a => 38 g Pb / kg HS (100% TS);

Die Option einer zweistufigen Zementierung wie in der FLUREC-Anlage würde den Zn-Rückgewinnungsgrad erhöhen. Ob es aber auch im Aufwand-Ertrag-Verhältnis Sinn macht, muss im Rahmen des Bauprojektes abgeklärt werden.

Die Kapazität der Stapel-/Pufferbehälter zwischen den einzelnen Verfahrensabschnitten wurde gegenüber der bestehenden FLUREC-Anlage im Verhältnis zur Durchsatzleistung klein gewählt (Beispiel Stapeltank vor Solventextraktion: FLUREC: 45 m<sup>3</sup>, SwissZinc: 60 m<sup>3</sup>).

Um die Betriebssicherheit und Gesamt-Verfügbarkeit bei Störungen einzelner Abschnitte zu erhöhen, wäre eine höhere Pufferkapazität (z.B. vor der Solventextraktion) sinnvoll.

#### *5.1.3 Solventextraktion*

Ein erwähnenswerter Unterschied ist die Verwendung eines anderen Komplexbildners. In der FLUREC Anlage wird heute Cyanex272 erfolgreich verwendet und in der SwissZinc-Anlage soll D2EHPA eingesetzt werden. Das neue Mittel ist bezüglich Anwendung in der Schweiz unbekannt aber genießt in anderen weltweiten Zink-Solventextraktions-Anlagen (für Primärzink) einen guten Ruf. Es ist sensibler auf pH-Schwankungen als Cyanex272, zeigt aber deutlich höhere Extraktionskapazitäten auf. Ob für die Zink-Solventextraktion aus KVA-Hydroxidschlämmen das effizientere D2EHPA sich auch besser eignet als der bis anhin „bekannte“ Komplexbildner, kann nicht beurteilt werden und ist deshalb ein gewisses Risiko. Im Falle, dass es sich nicht eignet, besteht jedoch die Möglichkeit wieder auf das Cyanex272 zurückzukehren ohne, dass grosse bauliche Massnahmen notwendig sind. Im Anhang 9.6-9.9 befindet sich ein Vergleich der beiden Komplexbildner sowie eine Beurteilung und Sammlung von bestehenden Zink-Solventextraktions-Anlagen weltweit.

Das Lösungsmittel Shellsol D70 wird heute in der bestehenden FLUREC-Anlage wie auch in der zukünftigen SwissZinc-Anlage eingesetzt werden. In der Solventextraktion verdampft ein Anteil dieses Lösungsmittel und wird über die Lüftung abgeführt. Normalerweise fallen darauf VOC-Entscheidungsabgaben und würde den Preis pro Tonne Lösungsmittel um ein Mehrfaches erhöhen. Seit 2018 ist jedoch die KEBAG von dieser Abgabe befreit, weil die diese Abluft direkt wieder in den Bunker geführt wird und die flüchtigen organischen Verbindungen im Kessel zerstört werden.

#### *5.1.4 Abwasserbehandlung*

Auch die Abwasserbehandlung ist ein bewährtes und risikoarmes Verfahren. Ein Unterschied zwischen den beiden Anlagen besteht jedoch. Der Hydroxidschlamm, der nach der Abtrennung der Metalle (und dem Strippen des Ammoniaks) aus der Abwasserbehandlung im FLUREC-Verfahren bei der KEBAG resultiert, kann direkt in die Feuerung rückgeführt werden. Die Hauptfracht an Sulfat wird aufgrund Wäscherschaltung über die gewaschene Asche ausgetragen und flüchtige Metalle werden vorgängig abgetrennt. Bei SwissZinc wird diese Rückführung des ABA-Schlammes in die Feuerung nicht mehr möglich sein, da der Betrieb unabhängig von der KEBAG funktionieren soll und da – je nach Zusammensetzung des angenommenen HS – erhebliche Mengen an Schwefel im Rückstand sein können (die zu erhöhter SO<sub>2</sub>-Freisetzung resp. erhöhtem NaOH-Verbrauch führen würden).

#### 5.1.5 Massenbilanz

Die angegebenen Massenströme für das Projekt SwissZinc wurden alle überprüft und grösstenteils auch nachgerechnet. Basis waren dafür Erfahrungen von Experten, Literaturangaben und Hochrechnungen vom FLUREC-Verfahren. Anhang 9.10 fasst alle wichtigen Massenströme zusammen und dient auch als Basis für die Wirtschaftlichkeitsprüfung.

Ausgangspunkt sind die schweizweiten Kehrichtabfälle von durchschnittlich 4.1 Mio. Tonnen pro Jahr, die durch die Verbrennung wiederum ca. 75'000 - 80'000 Tonnen Flugasche produzieren (ca. 1.9 % vom ursprünglichen Abfallgewicht). Darin sind etwa 37-40 kg Zink pro Tonne Flugasche enthalten. Die Flugaschen sollen in Zukunft komplett durch die dezentralen FLUWA-Anlagen in den Schweizer KVAs gehen und ca. 29'000 Tonnen Hydroxidschlamm (30% TS) produzieren. Weil heute nicht alle KVAs ihre Flugaschen in eine Saure Flugaschenwäsche führen, werden zur Zeit etwa 17'000 Tonnen Hydroxidschlamm (30% TS) produziert. Durch die geplanten Neubauten oder Erweiterungen von FLUWA-Anlagen ist die Kapazitätssteigerung gut möglich aber nicht garantiert und somit ein Risiko. Voraussetzung dafür ist einerseits die Beteiligung aller Abfallverbrennungsanlagen am Projekt SwissZinc sowie die Bereitschaft der betroffenen Betreiber, die ihre Flugaschen nicht durch eine FLUWA führen, dies in den kommenden Jahren gemäss VVEA bzw. dem Stand der Technik anzupassen bzw. umzusetzen. In der Machbarkeitsphase ist SwissZinc seitens des Projektes diesem Risiko entgegengekommen und berechnete das ganze Projekt mit einer Beteiligung, finanziell wie auch bezüglich Stofffluss, von 85% wie auch von 100% aller KVAs. Ein weiteres wesentliches Risiko ist die Fahrweise aller Schweizer FLUWAs. Wie in Kapitel 4.1 erläutert worden ist, gibt es je nach Betrieb der Anlage wesentliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Hydroxidschlämme. Die Schwermetallausbeute ist gegenwärtig im Durchschnitt tiefer als für das Projekt SwissZinc angenommen. Nur die KEBAG führt ihre FLUWA zur Zeit auf einer sogenannten „optimierten“ Fahrweise. Entscheidend ist, ob in Zukunft auch bei den anderen FLUWA-Anlagen auf diese verbesserte Schwermetallausbeute umgestellt wird und wie resp. wo die Gipsfällung stattfindet.

Die Frage der Mengen (Stichwort Beteiligung) und der Konzentrationen wird im folgenden Kapitel 5.2 anhand unterschiedlicher Szenarien aus finanzieller Sicht genauer dargestellt und plausibilisiert.

## 5.2 Wirtschaftliche Aspekte

### 5.2.1 Investitionskosten

SwissZinc präsentiert Investitionskosten für die ganze Anlage mit einem Umfang von 69 Mio. Schweizer Franken ( $\pm 30\%$ ) mit einer Auslegung, die gesamten Schweizer Flugaschen bzw. Hydroxidschlämme aus Flugasche zu verarbeiten. Die Aufteilung dieses Betrags ist sehr knapp dargestellt und deshalb schwierig nachzuvollziehen. Aus diesem Grunde wurde die ganze Anlage nochmals neu geschätzt, basierend auf Erfahrungen, marktüblichen Preisen von Komponenten und den Investitionskosten der FLUREC-Anlage.

Anhang 9.11 fasst die Investitionskosten zusammen.

Diese neue Schätzung liegt zwischen 55 und 81 Mio. CHF mit einem Erwartungswert von 66 Mio. CHF und befindet sich innerhalb der Planungsungenauigkeit von  $\pm 30\%$ . In diesem Sinne wird die bestehende Schätzung von SwissZinc als plausibel eingeschätzt.

Der Finanzplan mit der Aufwendung des Eigenkapitals (13 Mio. CHF) und der Unterstützung des Bundes (3 Mio. CHF Umwelttechnologieförderung) ist gut und detailliert beschrieben und wird auch mit den ambitionierten 15 Jahren Abschreibungszeit als realisierbar eingeschätzt.

### 5.2.2 Betriebskosten

Die in der Projektdokumentation [1] erwähnten Betriebskosten wurden einzeln kontrolliert und nachberechnet. Die Einheitskosten wie auch die Mengenangaben konnten grösstenteils bestätigt werden. Angaben wie zum Beispiel zu Zinkpulver oder Branntkalk wurden nach eigenen Berechnungen kleinere Abweichungen zum ursprünglichen Wert gefunden. Ausschlaggebend sind dabei hauptsächlich die Annahmen für die Berechnungsgrundlagen, die die Betriebskosten verändern und schlussendlich die Gate-Fee<sup>8</sup> für die angenommene Hydroxidschlammmenge<sup>9</sup>.

Im Gegensatz zu den mehrheitlich konservativen Annahmen, wurden die HS-Menge und -Zusammensetzung von SwissZinc optimistisch gewählt. Es ist nicht garantiert, dass bis zur Fertigstellung der SwissZinc-Anlage die Menge an HS von den heutigen 17'000 t/a auf die 25'000 (85 % KVA-Beteiligung) bzw. 29'000 t/a (100%) sich erhöhen wird. Noch entscheidender und somit fragwürdiger, ist der Betrieb der optimierten FLUWA. Ob die FLUWA-KVAs die notwendigen Anpassungen zur Erfüllung des Standes der Technik (VVEA und Vollzugshilfe) bis zur geplanten Inbetriebnahme von SwissZinc im Jahr 2025 ebenfalls umgesetzt haben, kann aus heutiger Perspektive nicht garantiert werden. Zuletzt stellte sich auch die „unternehmerische“ Frage, ob die von SwissZinc schon analysierte Variante mit Schwefelsäurelaugung doch mehr Kosten einsparen würde? Um die Auswirkung dieser drei kritisierten Annahmen zu visualisieren, wurden drei Szenarien erstellt.

<sup>8</sup> Exkl. den Transportkosten von ca. 32 CHF/t HS

<sup>9</sup> In der Projektdokumentation [1] [3] wird erläutert, dass die SwissZinc Anlage nur kostendeckend und nicht gewinnorientiert geführt wird. Das in Zukunft verkaufte Zink reicht nicht aus, um den Betrieb und Kapitalaufwand zu decken. Aus diesem Grunde wird ein Annahmepreis für den Hydroxidschlamm verlangt, um die restlichen Kosten zu decken. Ausführlichere Erläuterungen sind hier [2] zu finden.

Folgende Tabelle fasst die Betriebskosten und deren Auswirkung auf die Gate-Fee in Funktion der unterschiedlichen Annahmen zusammen. Erstes Szenario (0) ist das Basis Szenario, das von SwissZinc berechnet und vorgeschlagen wurden. Nr. 1 beschreibt das Szenario, in dem die SwissZinc-Anlage heute mit den aktuellen HS-Mengen und Zusammensetzung in Betrieb gehen würde, die Anlage aber für 29'000 t/a ausgelegt ist. Szenario Nr. 2.1 ist das analoge Szenario von Nr. 0, aber mit den neu berechneten Grundlagen vom Expertenteam. Nr. 2.2 ist das gleiche Szenario wie Nr. 2.1 aber mit 100 % KVA-Beteiligung. Das letzte Szenario Nr. 3 beschreibt eine Zinkgewinnungs-Optimierung, in der anstelle von Salzsäure, Schwefelsäure verwendet wurde. Anhang 9.13 erläutert die Szenarien genauer.

**Tabelle 1 Betriebskosten und Gate-Fee der unterschiedlichen Szenarien**

Szenarien:	0)	1)	2.1)	2.2)	3)
	Angaben SwissZinc	Heute	Neurechnung SwissZinc		Zn-Optimiert
Beteiligung	85%	100%	85%	100%	100%
<b>Betriebskosten</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>
Betriebsmittel	2'573'048	953'027	2'747'107	3'204'168	2'236'419
Personal	1'800'000	1'625'000	1'625'000	1'625'000	1'625'000
Wartung und Unterhalt (% von Prozessanlagekosten)	900'000	953'400	953'400	953'400	953'400
Entsorgung Rückstände	602'000	600'000	525'980	610'120	2'166'360
<b>TOTAL</b>	<b>5'875'000</b>	<b>4'131'000</b>	<b>5'851'000</b>	<b>6'393'000</b>	<b>6'981'000</b>
<b>Berechnung des Annahmepreises P_Gate</b>					
angenommene HS-Menge (30%) [t/a]	25'000	17'000	25'000	29'000	29'000
Betriebskosten [CHF/a]	5'875'048	4'131'427	5'851'487	6'392'688	6'981'179
Abschreibungskosten [CHF/a]	4'275'333	4'020'000	4'020'000	4'020'000	4'020'000
Zinkpreis [CHF/t]	2'120	2'120	2'120	2'120	2'120
<b>Gate Preis [CHF/t HS (30%)</b>	<b>262</b>	<b>386</b>	<b>229</b>	<b>194</b>	<b>214</b>

Die Neuberechnung von 0) zu 2.1) führt zu ca. 7% höheren Betriebsmittelkosten aber wegen den primär tieferen Investitions- und Betriebskosten ist eine ca. 13% tieferer Gate-Fee zu erwarten. Szenario 3 weist wegen der günstigeren Säure und geringeren Mengen von Branntkalk klar tiefere Betriebsmittelkosten auf. Dem spielen jedoch die Kosten für die Entsorgung entgegen und führen schlussendlich nicht zu einem günstigeren Annahmepreis. Das heutige Szenario 1) demonstriert deutlich, dass das SwissZinc Projekt zu signifikant höheren Annahmepreise führen würde. Im Anhang 9.12 ist die gesamte Tabelle ersichtlich.

### 5.3 Sensitivitätsanalyse

SwissZinc hat bereits eine umfassende und plausible Sensitivitätsanalyse erstellt. Die drei unterschiedlichsten Variablen dieses Gutachtens, wurden nochmals mit einem ähnlichen Vorgehen auf deren Sensitivität geprüft. Am stärksten schlägt auch wieder die HS-Menge aus, gefolgt von den HS-Zusammensetzung und der Investitionskosten. Erwähnenswert ist auch, dass HS-Mengen und -Zusammensetzung auch kumulierbare Wirkungen haben können und das Resultat noch stärker verändern.

	Basiswert	Best-Case	Sensitivität					Worst-Case
			Min		229 CHF/t HS		Max	
HS-Mengen (optimiert)	25000 t/a	29'000	178				305	17'000
HS-Zusammensetzung	Opt. FLUWAs	Opt. FLUWAs	229				293	Stand 2019
Investitionskosten	66 Mio. CHF	55 Mio	190				271	80 Mio
			79	129	179	279	329	379

**Abbildung 2: erweiterte Sensitivitätsanalyse SwissZinc**

## 5.4 Gesetzgebundene Aspekte

### 5.4.1 VVEA

Die VVEA (Stand 1.1.2019) schreibt im Artikel 32 Absatz g vor, dass Metalle (Mehrzahl) aus der Filterasche zurückgewonnen werden müssen, jedoch nicht wie und wo. Genauer zur Rückgewinnung wird in der Vollzugshilfe definiert (letzter, noch nicht verabschiedeter Stand Dezember 2019).

Diese Bestimmung tritt ab 1.1.2021 in Kraft, d.h. bis dann müssen alle KVA-Betreiber ihre Filteraschen einer Rückgewinnung von Metallen (= FLUWA, da keine anderen Verfahren verfügbar sind) zuführen.

### 5.4.2 Rückgewinnung von Metallen

Der letzte Stand der Vollzugshilfe sieht folgende Präzisierungen zum Themenkreis Metallrückgewinnung aus Filterasche vor:

- Kriterien, wann Kesselasche mitbehandelt werden muss
- Abscheidung von Quecksilber (aus Quenchwasser)
- Minimale Extraktionsraten für Pb und Zn (als Funktion des Gehalts in der unbehandelten Asche)

Die im vorhergehenden Entwurf enthaltene Forderung zur Extraktionsausbeute von Cu wurde abgeschwächt („die Möglichkeit zur Rückgewinnung von Cu ist einzuplanen“).

Dies bedeutet für Betreiber von FLUWAs, dass sie (bis auf weiteres resp. ab Inkrafttreten der VVEA) eine H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Dosierung nachgerüstet haben müssen. Die Dosiermenge kann jedoch auf eine „mittlere“ Menge eingestellt werden, die für Pb ausreicht (siehe dazu detaillierte Erläuterungen im Anhang 9.1).

Weder VVEA noch die Vollzugshilfe dazu geben Vorgaben, wo und wie die Rückgewinnung der Metalle (die aus der Filterasche extrahiert und in einen Metallhydroxidschlamm überführt wurden) zu geschehen hat. Die Verwertung kann also sowohl nach dem SwissZinc-Prinzip wie auch im Ausland mit einem Wälzrohr erfolgen. Es wird jedoch erwartet, dass die Vollzugshilfe den Stand der Technik bezüglich FLUWAs anpassen wird, sodass alle Flugaschen durch eine optimierte Anlage geführt werden *müssen* und somit dem Projekt SwissZinc mit höheren Schwermetallausbeuten zum Vorteil käme. Wann diese Anpassung kommen wird, ist in der Verantwortung der Vollzugshilfe.

## 5.5 Risikoanalyse

### 5.5.1 Beurteilung der aktuellen Risikoanalyse

Es wurde von SwissZinc eine Risikoanalyse erstellt. Diese schätzt einerseits die Risiken für SwissZinc und andererseits auch die Risiken deren zukünftigen Aktionären, den KVA-Betreibern, ein. Wie in der Projektdokumentation erwähnt, sind die zwei wichtigsten Risiken für SwissZinc die legislatorischen Rahmenbedingungen und die Technische Machbarkeit.

Würde die VVEA-Metallrückgewinnungspflicht aufgehoben werden, hat dies grosse oder sogar fatale Auswirkungen auf das Projekt. Der Eintritt eines solchen Falles ist jedoch sehr unwahrscheinlich und kann dank Einbindung des Bundes in das Projekt, das Risiko mit grosser Wahrscheinlichkeit vernachlässigt werden.

Das Risiko der technischen Machbarkeit, insbesondere die Solventextraktion, ist schwieriger einzuschätzen. Der Erfolg zur Rückgewinnung von SHG Zink mit einer Reinheit von 99.995 % liegt hauptsächlich beim gewählten Lieferanten aus Spanien, Tecnicas Reunidas. Gegen dieses Risiko

spricht nur der bestätigte Erfolg der schon bestehenden FLUREC-Anlage, die sich aber in ein paar wenigen Aspekten von der SwissZinc-Anlage differenziert.

Weitere Risiken wie z.B. die Beteiligung der KVA's, die Hydroxidschlamm-Zusammensetzung und der Zinkpreis sind ebenfalls zu beachten, weil sie die Bewirtschaftung mit grösseren finanziellen Aufwänden erschweren würden. Die Machbarkeit selbst ist aber durch diese Unklarheiten nicht gefährdet.

#### 5.5.2 Weitere Risiken

##### 5.5.2.1 Trockenverfahren

Für die Abschätzung der zur Verfügung stehenden Hydroxidschlämme, wurde die Annahme getroffen, dass KVA's in Zukunft nicht auf Trockenverfahren umstellen werden resp. – wenn Trockenverfahren gewählt werden – die Flugasche nach wie vor vorgängig mit einem Elektrofilter abgeschieden wird (wie z.B. bei KEZO installiert).

Einen (negativen) Einfluss auf die FLUWA haben Trockenverfahren, bei dem Flugasche mit Additiven vermischt werden (z.B. Planung Neuanlage Genf-Cheneviers). Dies bedeutet einen erhöhten Säurebedarf in der entsprechenden FLUWA; auf die Zusammensetzung des HS (und damit auf das SwissZinc-Projekt) hat dies jedoch keinen oder nur geringen Einfluss.

Aufgrund des Vermischungsverbotes der VVEA ist in jedem Fall eine separate Abscheidung der Flugasche vor der Rauchgasreinigung notwendig. Der finanzielle Aufwand, statt saurem Wasser zugekaufte Salzsäure einzusetzen, ist minim (ca. 15 CHF/t FA). Es kann daher angenommen werden, dass bei einem Überschuss der zu behandelnden Flugasche, der Markt die Fremdaschebehandlung übernimmt.

##### 5.5.2.2 Dioxine

Momentan ist noch unklar, welche Verfahrensvariante zur Reduktion der Dioxingehalte sich durchsetzen wird. Aus Sicht der Gutachter ist jedoch die thermische Dioxinzerstörung vor der eigentlichen FLUWA die sinnvollste Variante – auch wegen des Vorteils, dass sie keinen (negativen) Einfluss auf die einzelnen FLUWA's resp. das SwissZinc-Projekt hat.

## 5.6 Entsorgungssicherheit

Die Entsorgungssicherheit wird in der Projektdokumentation kaum beschrieben und sollte bei der Weiterführung des Projektes berücksichtigt werden. Falls das Projekt SwissZinc nicht zustande kommt, ist die Entsorgungssicherheit (Verwertung im Ausland) gewährleistet. Wenn die SwissZinc-Anlage realisiert wird, ist ein Konzept im Falle eines längeren Ausfalls oder einer Revision mit längeren Stillstandzeiten (z.B. 3 Monate) für die Notentsorgung zu entwickeln. Weil die jährlichen HS-Mengen nicht sehr gross sind, besteht kein erhebliches Risiko. Ein Notentsorgungskonzept ist aber dennoch zu empfehlen, um zu klären, wie gross der Bunker dimensioniert wird und/oder ob weitere Lösungen in Betracht gezogen werden müssen: Zum Beispiel eine externe Lagerungsmöglichkeit oder eine Aufrechterhaltung der Entsorgungsverträge mit dem Ausland. Die zweistrassige Ausführung der wesentlichen Verfahrensschritte ist aus Kostengründen nicht zu empfehlen.



## 5.7 Projektorganisation

Eine konkrete Projektorganisation für die weiterführenden Arbeiten ist nicht bekannt und das Know-How liegt momentan sehr konzentriert bei wenigen Personen. Aus diesem Grunde ist für den Erfolg des Projektes eine geeignete Projektorganisation für die Abwicklung zu empfehlen.

## 5.8 Planungskosten der nächsten Projektphase

Ergänzend zum Grundauftrag wurde Ramboll gebeten, eine Kostenschätzung für die weiteren Planungsphasen abzugeben. Gewünscht war primär eine Kostenschätzung für die SIA Phase 32 (Bauprojekt), später wurde der Auftrag insofern erweitert, dass der maximale Kreditrahmen für die nächste Projektphase bis zur Baubewilligung (SIA 33) abgeschätzt werden sollte.

Die SIA Norm 112 definiert als Grundlage für ein Bauprojekt ein abgeschlossenes Vorprojekt, wobei folgende Informationen vorliegen müssen (nachfolgend für den Anlagenbau interpretiert, Angaben auszugsweise):

- Verfahrenstechnisches Konzept (Verfahrensfließbilder, Energie- und Massenbilanzen)
- Wesentliche weitere Konzepte (Anlagenbetriebskonzept inkl. Wartung und Unterhalt, EMSRL und Automatisierungskonzept)
- Aufstellungsplanung, Montagekonzept
- Architektur, Raumkonzept
- Vorbericht Umweltverträglichkeit, Vorentscheide Behörden
- Investitions- und Betriebskosten
- Organisation des Planungsteams

Auf dieser Basis ist festzustellen, dass der aktuelle Projektstand nicht als abgeschlossenes Vorprojekt bezeichnet werden kann. Die vorliegenden Informationen entsprechen aus Sicht der Experten eher einer Vorstudie (SIA Phase 2). In diesem Sinne ist der nächste vorzusehende Planungsschritt das Vorprojekt (SIA 31).

Nachfolgend die Überlegungen zur Bestimmung der Planungskosten. Die zusammenfassende Tabelle ist auf der folgenden Seite zu finden.

Um die **Planungskosten** des Generalplaners abzuschätzen wurde das SIA Honorarmodell genutzt. Dazu wurden alle Anpassungsfaktoren auf 1 gesetzt und der mittlere Stundensatz auf 140 CHF/h festgelegt. Dieses ergibt erfahrungsgemäss eine oberste Grenze der Planungskosten. Ramboll geht davon aus, dass unter Marktbedingungen die Angebote 10-20% unter diesem Wert liegen werden. Diese Abschätzung wurde sowohl für die von Ramboll errechneten mittleren («nominal») wie auch maximalen («maximal») Baukosten gemacht, was Planungskosten von CHF 2.73 Mio. bzw. CHF 3.16 Mio. ergibt. Zusätzlich wurde für die Ausschreibung des Generalplaners ein Betrag von CHF 80'000 eingesetzt.

**Planungskosten Técnicas Reunidas (TR):** Für die Arbeiten zur Dimensionierung Anlage, Erstellung des Layouts sowie einer detaillierten Kostenschätzung schätzt Ramboll einen maximalen Engineering Aufwand von 1500 h. Dies ergibt Engineeringkosten von CHF 240'000. Ramboll empfiehlt nachdrücklich den genauen Lieferumfang des Engineerings mit TR festzulegen und auf dieser Basis die Kosten zu verhandeln bzw. Konkurrenzangebote einzuholen.

**SwissZinc Projektorganisation:** Für die nächste Projektphase muss SwissZinc eine eigene Organisation aufbauen. Um die nächste Phase möglichst umgehend beginnen zu können wird für die

Budgetierung davon ausgegangen, dass ein externer Projektleiter engagiert wird. Bei einer Dauer von Vor- und Bauprojekt von 1.5 – 2 Jahren wird dafür mit Kosten von CHF 400'000 gerechnet.

**Studien/Versuche zur Prozessoptimierung:** Für die weitere Dimensionierung der Anlage und noch zu tätigen prozesstechnischen Untersuchungen werden Kosten von bis CHF 270'000 budgetiert. Darin enthalten sind Abklärungen im Zusammenhang mit dem neu eingesetzten Komplexbildner D2EHPA und der optimalen Rückgewinnung bzw. Verwertung der im Hydroxidschlamm enthaltenen Metalle Kupfer und Blei. Das Gesamtverfahren soll dabei auch hinsichtlich eines möglichst geringen CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks optimiert werden (ökologische Optimierung).

**Pilotierung:** Wir gehen davon aus, dass insbesondere der Verfahrensabschnitt «Auflösung Hydroxidschlamm» - für den es in der geplanten Form keine Referenz gibt – pilotiert werden muss. Für Anlagen (Behälter, Rührwerke), Betriebsmittel und Personal (Annahme 4-6 Monate) werden Kosten von insgesamt CHF 300'000 geplant.

Zusätzlich wird eine Reserve von 5% auf diese Gesamtkosten hinzugerechnet und als Rahmenkredit definiert. Alle erwähnten Kosten werden in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

**Tabelle 2: Planungskosten der nächsten Projektphasen (SIA 31-33)**

	nominal	maximal
	[CHF]	[CHF]
<b>Aufwandbestimmende Baukosten</b>	<b>53'086'000</b>	<b>64'372'000</b>
<b>Ausschreibung Generalplaner</b>	<b>80'000</b>	<b>80'000</b>
<b>Planerleistungen SIA Phasen 31-33</b>	<b>2'730'000</b>	<b>3'160'000</b>
Vorprojekt	710'000	820'000
Bauprojekt	1'330'000	1'520'000
Bewilligungsverfahren/ Auflagenprojekt	690'000	820'000
<b>Engineering Técnicas Reunidas (TR)</b>	<b>240'000</b>	<b>240'000</b>
<b>Projektleitung SwissZinc</b>	<b>400'000</b>	<b>400'000</b>
<b>Studien/Versuche zur Prozessoptimierung</b>	<b>220'000</b>	<b>270'000</b>
Komplexbildner	80'000	100'000
Cu/Pb Rückgewinnung	120'000	140'000
Ökologische Optimierung	20'000	30'000
<b>Pilotierung HS-Auflösung</b>	<b>300'000</b>	<b>300'000</b>
Anlagen	100'000	100'000
Betriebsmittel	50'000	50'000
Personal	150'000	150'000
<b>Gesamtkosten Projekt bis Baubewilligung [CHF]</b>	<b>3'970'000</b>	<b>4'450'000</b>
Reserve 5%	198'500	222'500
<b>Rahmenkredit (inkl. maximale Kosten TR) [CHF]</b>	<b>4'200'000</b>	<b>4'700'000</b>

Auf Basis der obigen Überlegungen ergibt sich ein **Kostendach für die nächste Projektphase** von «nominal» CHF 4.2 Mio. und «maximal» CHF 4.7 Mio.

## 6. ÖKOLOGIE

### 6.1 Analyse bestehender Studie

Der Prüfung wurden die internationalen Normen ISO EN 14040 (2006) und 14044 (2006) zu Grunde gelegt. Geprüft wurde sinngemäß zu den in der LCA-Rahmennorm 14040 vorgegebenen Kriterien, ob:

- die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden mit dieser Internationalen Norm übereinstimmen.
- der zugrundeliegende Untersuchungsrahmen in Bezug auf die zu beantwortende Fragestellung adäquat und sinnvoll definiert sind.
- die getroffenen Modellannahmen klar deklariert und nachvollziehbar begründet sind.
- die angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet sind und dem Stand der Ökobilanz-Technik entsprechen.
- die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmäßig sind.
- die Auswertungen die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Ökobilanz berücksichtigen.
- der Bericht transparent und in sich stimmig ist, das bedeutet auch:
- ob die Beantwortung der Fragestellung schlüssig aus den Resultaten hergeleitet wird.

Die in den folgenden Unterkapiteln zusammengefassten Stellungnahmen zur kritischen Prüfung der Ökobilanzstudie zum Projekt SwissZinc sind gegliedert nach den unterschiedlichen Phasen einer Ökobilanz und einem zusammenfassenden Fazit:

- Ziel und Untersuchungsrahmen
- Sachbilanz (Lebenszyklusinventar, LCI)
- Wirkungsabschätzung (LCIA) und Interpretation
- Zusammenfassendes Fazit

#### 6.1.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Insgesamt ist der festgelegte Untersuchungsrahmen wie die funktionelle Einheit, die inhaltlichen, geografischen und zeitlichen Systemgrenzen und die gewählten Methoden zur Wirkungsabschätzung (Umweltindikatoren) abschliessend beschrieben und hinsichtlich der zu beantwortenden Zielsetzungen als geeignet und zielführend einzuordnen.

#### 6.1.2 Sachbilanz (Lebenszyklusinventar, LCI)

Die Vorgehensweise für die Erstellung der Sachbilanz, der getroffenen Annahmen sowie der Daten- und Berechnungsgrundlagen ist, wenn auch vergleichsweise knapp, weitgehend nachvollziehbar beschrieben, stützt sich auf den Vorgaben gemäß ISO 14040 und 14044 ab und ist konsistent hinsichtlich des definierten Ziels und Untersuchungsrahmens.

Die verwendeten Daten sind zeitlich aktuell, in Bezug auf die zu modellierenden Verwertungswege repräsentativ und erscheinen aus Sicht des Gutachters plausibel. Auch hier sind im Sinne einer konservativen Betrachtung jegliche Annahmen bzw. Unsicherheiten zugunsten der Exportlösung ausgelegt (d.h. Röstprozess weglassen, keine Input- bzw. Zinkgehalt-abhängige Modellierung des Wälzprozesses).

Der verwendete Cut-off Modellierungsansatz zum Umgang mit dem Recyclingnutzen – was bedeutet, dass keine ökologischen Gutschriften für die Rückgewinnung der anderen Metalle gegeben werden – ist zwar aus der Ökobilanzpraxis legitim und wirkt sich ebenfalls zugunsten der Exportlösung aus. Allerdings wäre aus Sicht des Gutachters – wie z.B. auch von EU und dem Deutschen Umweltbundesamt empfohlen – eine Aufteilung der Aufwände und Gutschriften für den vorliegenden Fall zielführender und für den Vergleich der beiden Verwertungswege aussagekräftiger. Im Sinne eines konservativen Vergleichs zugunsten der Hydroxidschlammverwertung im Wälz- und

Zinkverhüttungsprozess ist der gewählte „cut-off“ Ansatz aber durchaus zu rechtfertigen. Alternative Allokationsansätze würden die Resultate des ökologischen Vergleichs zugunsten der SwissZinc-Lösung verschieben.

#### 6.1.3 Wirkungsabschätzung (LCIA)

Mit der Wahl von zwei Methoden zur Bilanzierung der Gesamtumweltbelastungen (UBP 2013, Re-CiPe) ergänzt um ausgewählte Umweltwirkungskategorien (z.B. Klimawandel, Humantoxizität) erlaubt die Studie einen aussagekräftigen und umfassenden ökologischen Vergleich der beiden Verwertungswege für die Hydroxidschlämme. Obwohl die gesamtaggregierenden Methoden nach der ISO-Norm nicht zulässig sind, wird sie vom Gutachter als zielführend beurteilt und entspricht der gängigen Praxis.

Die entsprechenden Resultate inklusive der Sensitivitätsanalysen sind im Bericht vergleichsweise knapp illustriert und interpretiert. Aus Sicht des Gutachters wäre zudem für ein besseres Verständnis der Ökobilanz respektive zur besseren Einordnung der getroffenen Annahmen eine Illustration der Beiträge von einzelnen Prozessschritten (z.B. Anlieferungstransporte, Wälzprozess, Zinkverhüttung) bzw. der unterschiedlichen Prozessinputs und -Outputs (Strom, Wärme, Emissionen, etc.) wünschenswert.

#### 6.1.4 Interpretation

Die gezogenen Schlussfolgerungen zum ökologischen Vergleich der beiden Verwertungswege werden aus den Resultaten der unterschiedlichen Umweltindikatoren abgeleitet und beantworten die eingangs formulierte Zielsetzung grundsätzlich, aber aus Sicht des Gutachters nicht abschliessend (vgl. unten und nächstes Unterkapitel). Wie im vorangehenden Unterkapitel bereits angemerkt, ist die Interpretation der Bewertungsergebnisse vergleichsweise knapp. Eine systematische Illustration und Beschreibung der Beiträge von unterschiedlichen Teilprozessen bzw. von verschiedenen Inputs (Material/Rohstoffe, Energie) und Outputs (Emissionen) ins Produktsystem würde das Verständnis und die Einordnung der Sensitivität der getroffenen Annahmen verbessern und wäre aus Sicht des Gutachters wünschenswert.

#### 6.1.5 Zusammenfassendes Fazit

Im Folgenden werden die wesentlichen Aussagen der unabhängigen Prüfung zusammengefasst:

- Die in der Studie gewählte Vorgehensweise entspricht grundsätzlich dem aktuellen wissenschaftlichen Standard zur Durchführung von Ökobilanzen, weshalb die darin enthaltenen Aussagen als robust eingeordnet werden.
- Die getroffene Hauptaussage, dass die VVEA-konforme Verwertung der Hydroxidschlämme im SwissZinc-Verfahren gegenüber der Verwertung in ausländischen Wälz- und Zinkverhüttungsverfahren aus ökologischer Sicht vorzuziehen ist bzw. im schlechtesten – und schwer legitimierbaren – Fall gleichwertig ist, wird seitens des Gutachters durch die durchgeführte Studie unterstützt.
- Allerdings ist eine Aussage zur Höhe des ökologischen Vorteils auf Basis der vorliegenden Studie aus Sicht des Gutachters nicht abschliessend möglich, weil diverse – teils umstrittene Annahmen – klar zu Gunsten des Wälz- und Zinkverhüttungsverfahrens ausgelegt wurden (insbesondere „cut-off“ Ansatz) und auch nicht im Rahmen von Sensitivitätsanalysen genauer betrachtet wurden, und entsprechend
- ist der Unterschied zwischen den beiden Verfahren aus Sicht des Gutachters klar unterschätzt und müsste aufgrund der Charakteristika der beiden Verwertungsansätze klarer zu Gunsten des SwissZinc-Verfahrens ausfallen.

## 7. ZUSAMMENFASSENDE EMPFEHLUNGEN

Aus der Analyse des Projektes lassen sich folgende Empfehlungen zur Verbesserung und/oder Risikominimierung ableiten:

Die Mehrheit der Annahmen sind konservativ gewählt und sprechen damit für robuste Folgerungen für die Machbarkeit. Die Plausibilität kann insbesondere in zwei Punkten hinterfragt werden: die Hydroxidschlamm-Menge und -Zusammensetzung. Der von der VVEA übernommene Erwartungswert von 29'000 t/a HS ist ambitioniert, weil heute nur 17'000 t/a (inkl. KEBAG) zur Verfügung stehen würden und die Realisierung weiterer FLUWA-Anlagen in der Entsorgungsbranche sich verzögern. Dazu kommt, dass von einer sogenannten «optimierten» FLUWA-Anlage, wie die KEBAG es betreibt und die Vollzugshilfe erwartet ausgegangen wird. Dabei weisen die Zusammensetzungen der Hydroxidschlämme von den verschiedenen FLUWA-Anlagen ganz unterschiedliche Zink- und Schwermetallkonzentrationen aus.

- Deshalb wird empfohlen, für die Wirtschaftlichkeitsrechnung, auch bei den HS-Mengen und -Zusammensetzung konservative Annahmen zu treffen.

Insgesamt kann gesagt werden, dass die Zink-Rückgewinnung weitgehend der FLUREC-Anlage resp. dem Stand der Technik entspricht und deshalb keine besonderen technische Risiken darstellt. Die technische Machbarkeit der SwissZinc-Anlage kann also bestätigt werden. Es wird empfohlen, auf folgende Aspekte zu achten:

- Die Annahme, Zwischenlagerung und Mischung der Hydroxidschlämme ist im Detail zu planen um eine genügende Homogenisierung sicherzustellen
- Die Laugung soll als Batch und nicht als kontinuierliches Verfahren ausgeführt werden um eine vollständige Auflösung der Hydroxidschlämme sicherzustellen.
- Die Zementierung ist vorzugsweise zweistufig auszuführen um eine optimale Ausnützung des Zinkpulvers zu ermöglichen.
- Es sind in der Gesamtanlage genügend Pufferkapazitäten vorzusehen um Stillstände und Schwankungen in der Zusammensetzung der Hydroxidschlämme auszugleichen.

Die von SwissZinc ermittelten Betriebs- und Investitionskosten stimmen gut mit eigenen Berechnungen und Abschätzungen überein. Kleinere Abweichungen sind vorhanden wie z.B. die erhöhten Zinkpulvermengen, die für die Zementation von Kupfer, Blei und Kadmium benötigt werden. Es wird empfohlen die Zinkpulvermenge zu prüfen und gegebenenfalls anzupassen.

Das Thema Entsorgungssicherheit ist in den Unterlagen von SwissZinc nur marginal behandelt. Da die gesamte Anlage nur einstrassig ausgeführt ist, müssen für dieses Thema im weiteren Projektverlauf Lösungen gefunden werden. Möglichkeiten dafür sind eine genügend grosse Dimensionierung des Bunkers, externe Zwischenlager und die Aufrechterhaltung von Entsorgungsverträgen mit dem Ausland.

Um die in den SwissZinc Unterlagen (und ursprünglich von der Vollzugshilfe) angenommenen Schwermetallkonzentrationen in den Hydroxidschlämmen zu erreichen, sind in den KVA wesentliche Änderungen in der Wäscherschaltung (keine Vermischung von sulfat- und chloridhaltigen Abwässern) und/oder im Betrieb der FLUWA (pH, Regelung, Zugabe von  $H_2O_2$ ) notwendig. Es wird den KVA-Betreibern empfohlen zu untersuchen, welche Massnahmen in den KVA nachzurüsten sind um die angestrebte optimierte FLUWA-Fahrweise zu erreichen. Darauf aufbauend sollte ein „Masterplan“ inkl. Kostenschätzung erstellt werden, um die Umsetzung der Nachrüstungen der KVA sicherzustellen.

Der Zinkgehalt der Hydroxidschlämme ist von KVA zu KVA (aufgrund der Fahrweise der Anlage) sehr unterschiedlich. Um die Betriebskosten (insbesondere die Entsorgungskosten der Störstoffe) zu minimieren, wird vorgeschlagen, ein Anreizsystem mit Preisstaffelung je nach Wertmetall- resp. Störstoffgehalt zu gestalten.

## 8. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] SwissZinc AG, «Projektdokumentation,» SwissZincAG, 2019.
- [2] SwissZinc AG, «Schlussbericht Phase 1,» SwissZinc, 2018.
- [3] SwissZinc AG, «Zwischenbericht 1 vom 21.04.2017,» SwissZinc, 2017.
- [4] Bundesverwaltungsgericht, *Urteil vom 22. August 2017, Parteien: Spaltag AG gegen BAFU. Gegenstand: geplante Ausfuhr von Abfällen.*, 2017.
- [5] B. Z. F. GmbH, «Aktualisierte Umwelterklärung 2016,» Befesa, 2016.
- [6] B. Z. Aser, *Environmental Statement 2017*, 2017.
- [7] S. Bundesrat, *Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen. (Abfallverordnung, VVEA) vom 4. Dezember 2015*, Stand am 1. Januar 2019.
- [8] Rytec AG, «Logistik von Hydroxidschlamm,» SwissZinc AG, 2018.
- [9] L. Morf, *KVA-Rückstände Schweiz*, Zürich, 2010.
- [10] C. F. G. D. J. Rütten, Processing EAF Dust Through Waelz Kiln and ZINCX Solvent Extraction: The Optimum Solution. Proc. of EMC 2011, Düsseldorf, Germany, 2011.
- [11] S. Hellweg, «Studie zum ökologischen Vergleich der Zink-Produktion aus KVA-Hydroxidschlamm: SwissZinc-Verfahren und Befesa-Verfahren,» ETH Zürich, Zürich, 2018.



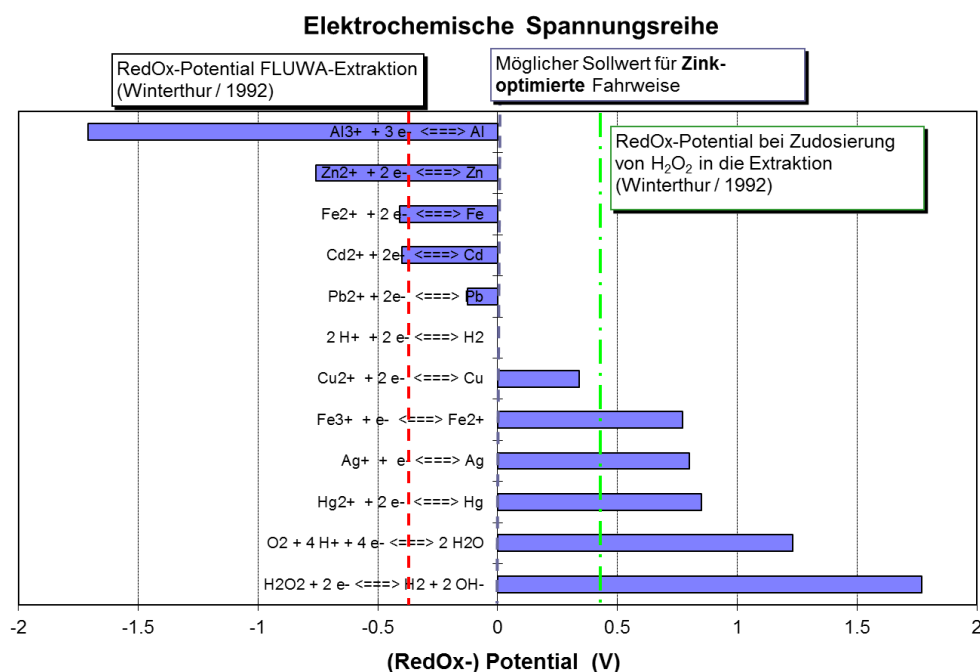
## 9. ANHANG

### 9.1 Stand der Technik FLUWA

#### 9.1.1 Redox-Potential Extraktion ( $H_2O_2$ -Dosierung) und pH-Wert

Durch den Anteil an metallischem Aluminium in Flugasche (FA) stellt sich bei der Extraktion ein negatives RedOx-Potential ein, das im Extremfall zur Zementierung und damit Nicht-Extraktion von Cadmium führen kann. Ohne Zugabe von Oxidationsmittel werden lösliche Pb- und Cu-Verbindungen zu metallischem Pb und Cu zementiert und mit der gewaschenen Asche ausgetragen. Die Einstellung des RedOx-Potentials erfolgt z.B. über die Zudosierung von Wasserstoff-Peroxid  $H_2O_2$ . Mit ca. 50 – 70 l pro t FA kann die Ausbeute an Cu maximiert werden; mit ca. 30 – 40 l pro t FA kann die Zementierung von Pb verhindert und die Ausbeute an Zn, Cd und Pb optimiert werden.

Stand 2019 wird jedoch nur bei KEBAG dauernd  $H_2O_2$  dosiert; die übrigen FLUWA-Anlagen müssten die Dosierung (Tanklager, Dosierpumpe, RedOx-Messung) noch nachrüsten resp. dauerhaft betreiben, um den Grundlagen der VVEA bzw. dem Stand der Technik zu genügen.



**Abbildung 3: elektrochemische Spannungsreihe mit effektivem RedOx-Potential in Abhängigkeit der Peroxid-Dosierung (Quelle: Von Roll Umwelttechnik, 1993)**

Bei zu hohen pH-Werten bei der Feststoff/Flüssig-Trennung auf dem Vakuumbandfilter kann ein Teil der bereits gelösten Metalle wieder ausfallen; eine mögliche Nachdosierung von HCl in den 2. (und allenfalls 3.) Extraktionsbehälter wirkt diesem unerwünschten Effekt entgegen.

#### 9.1.2 Führung der Wäscherabschlammung (Sulfat-Gehalt Extraktion resp. HS)

Alle Nasswäscher in den Schweizer KVA's bestehen aus einer sauren (HCl-Abscheidung) und einer (mit NaOH) neutralisierten Stufe (zur  $SO_2$ -Abscheidung).

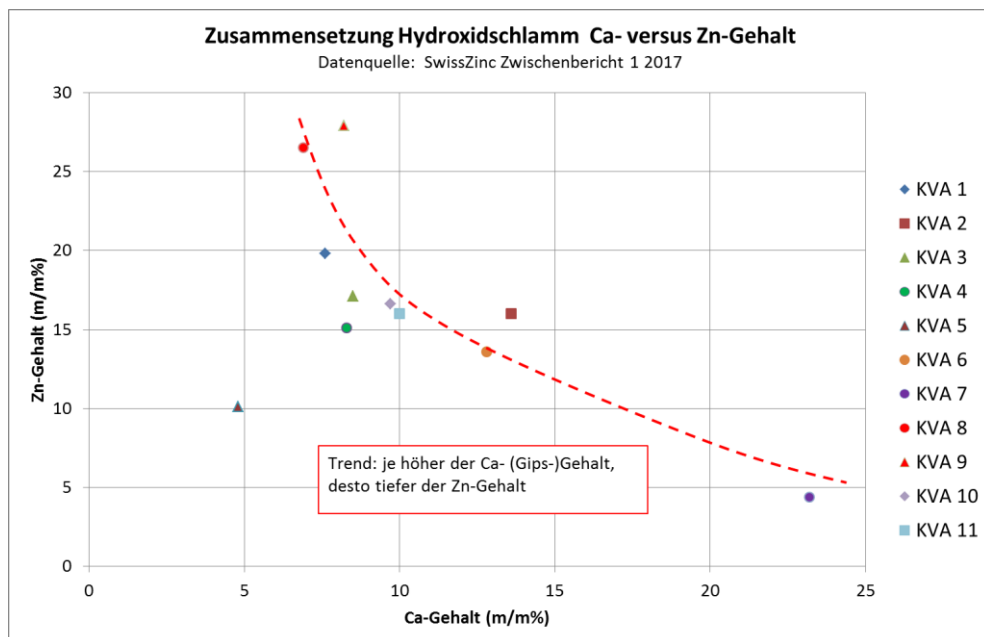
Die Ausschleusung des neutralen Wassers erfolgt zum Teil separat, zum Teil in Kaskade in die saure Stufe.

Wird das sulfathaltige Wasser separat abgeschlämmt, aber nicht in einer separaten ABA-Linie (wie Buchs SG) behandelt, fällt durch die Neutralisation mit Kalkmilch Gips aus, der den Zink-Gehalt des Hydroxid-Schlammes „verdünnt“. Eine Möglichkeit, diesen gewichtigen Nachteil zu verhindern, stellt eine separate Gipsfällung dar. Dazu muss das ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -haltige) Wasser der neutralen Stufe mit dem ( $\text{CaCl}_2$ -haltigen) gereinigten Abwasser zusammengemischt werden und der Gips separat (z.B. mit einem Vakuumbandfilter) abgetrennt werden. Dies macht in Kombination mit einer FLUWA zwei separate Feststoffabscheidungen (einmal für Hydroxidschlamm, einmal für Gips) notwendig.

Bei Abschlammung in Kaskade wird das sulfathaltige Quenchwasser in der Extraktion mit Calcium aus der Flugasche zusammengeführt; ist genügend Ca vorhanden, wird das Sulfat bis zur Löslichkeitsgrenze als Gips ausgefällt und mit der gewaschenen Asche ausgetragen. Soll die Asche zwecks Dioxin-Reduktion in die Feuerung zurückgeführt („refire“), führt dies jedoch zu einem erheblichen Mehrverbrauch an NaOH durch das teilweise freigesetzt  $\text{SO}_2$ .

Ist in der Extraktion nicht genügend Ca für eine vollständige Gipsfällung vorhanden, muss Kalkmilch (und ev. gleichzeitig HCl, um den pH-Wert zu kontrollieren) dosiert werden.

Aus Sicht des SwissZinc-Projekts (gültig auch für die Verwertung im Wälzrohr) ist der Gips-Gehalt im HS zu minimieren, da der Gips die Menge HS (Transportkosten) und die verbleibende Reststoffmenge nach der Rücklösung erhöht.



**Abbildung 4: Zink-Gehalt als Funktion des Ca-Gehaltes im HS – je mehr Gips erst in der ABA statt in der Extraktion ausgefällt wird, desto „verdünnter“ ist der Zn-HS**

## 9.2 Massen- und Energiebilanz FLUREC

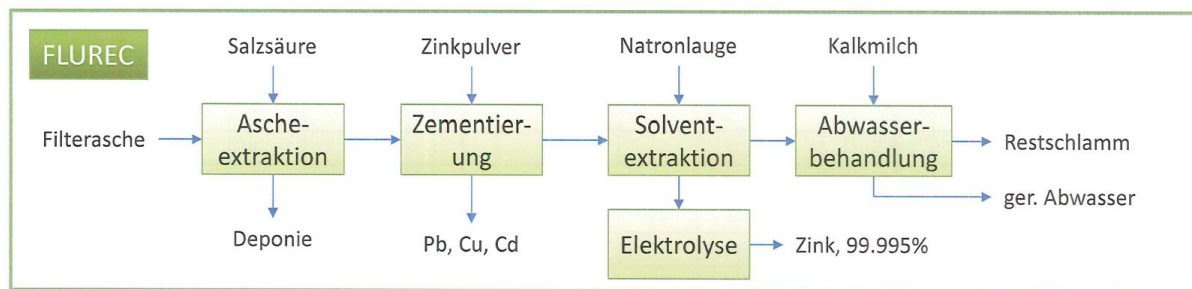


Abbildung 5: Schematische Darstellung des FLUREC-Verfahrens

Tabelle 3: Massenbilanz FLUREC-Verfahren

FLUREC Massenbilanz

		FLUWA						FLUREC					
Bezeichnung	Einheit	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Abfallinput	t/a	213'581	220'649	218'207	219'344	219'613	220'852	222'025	221'898	225'580	221'485	223'174	
Fremdasche (KEZO, Silo 2)	t OS/a	1'317	93	0	0	3'068	3'659	3'318	3'477	3'122	3'201	3'051	
KEBAG Asche Silo 1	t OS/a							3'054	3'034	2'920	3'066	2'956	
Schlacke	t OS/a	49'928	52'476	50'774	49'973	52'484	52'320	52'277	52'843	50'479	52'300	52'952	
gew. Filterasche <sup>*)</sup>	t OS/a	4'923	3'946	3'847	3'677	5'763	6'240	6'255	6'453	5'809	6'067	6'884	
Hydroxidschlamm	t OS/a	930	841	1'401	1'377	2'415	1'290	876	199	0	0	0	
Aktivkohle mit Hg	t OS/a	105	98	92	104	113	108	100	105	87	97	67	
Hg-IT-Harz	t OS/a		0.5	0.5	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0				
Zinkpulver	t/a TS								33.9	37.0	43.0	32.0	
Zementat	t OS/a		0	0	0	67		94	95	123	120	86	
Zink	t/a		0	0	0	0	50	180	170	242	247	231	
Betriebsmittel													
NaOH 50%	t/a	1'020	680	824	872	880	1'093	1'273	1'567	1'706	1'802	1'976	
H2O2 35%	t/a	43	104	117	122	284	302	283	320	300	308	298	
HCl 33%	t/a	205	172	148	211	474	435	379	473	446	591	637	
HOK	t/a	56	56	54	60	59	57	52	53	57	56	57	
CaO	t/a	725	809	848	880	718	694	580	550	486	424	480	
NH4OH	t/a								1'340	1'394	1'374	1'434	
H2SO4	t/a								177	194	111	58	

### 9.3 Extensive Fassung von Kapitel 4.3

#### 9.3.1 Aktuelle Situation der Verwertung von Hydroxidschlamm

##### Datengrundlage von Swisszinc:

Swiss Zinc stellte neben den Projekt-Berichten folgende Dokumentation zur Verfügung:

- Dokumentation zum Wälzprozess (Billerbeck et al. undatiert)
- Dokumentation zu drei europäischen Anlagen des Typs Wälzverfahren mit dem SDHL-Wälzprozess von Befesa aus den Jahren 2014 und 2016: Es handelt sich um Anlagen in Aser in Spanien, in Freiberg und in Duisburg in Deutschland. Es gibt darin folgende Angaben zu Wälzverfahren mit dem SDHL-Wälzprozess: Stoffflüsse, Energiebedarf, Schadstoffgehalte von Abluft und Abwasser, sowie CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Dokumentation zu Hydrométal in Belgien.
- In Bezug auf das Wälzrohrverfahren fehlen Angaben zur Schadstoffbelastung der Wälzschlacke. Weiter fehlen Angaben spezifisch zur Massen- und Energiebilanz von Hydroxidschlamm, da diese zusammen mit Stahlwerkstäuben und anderen zinkhaltigen Abfällen behandelt werden. Ebenso fehlen Angaben zu „klassischen“ Wälzverfahren
- In Bezug auf das hydrometallurgische Verfahren, sowie weitere mögliche Verfahren fehlen Angaben zu Energie- und Massebilanz, sowie zu Emissionen und Reststoffen
- EBP hat die Datengrundlagen und Aussagen von Swiss Zinc soweit möglich mit Herrn Roman Camenzind (KVA Thun, Mitglied Geschäftsleitung), Frau Dr. Sabina Grund (International Zinc Association IZA, Manager Sustainable Development), sowie Dr. André Hauser (BAFU, Sektionschef Industrieabfälle), plausibilisiert. An die Befesa wurde eine schriftliche Anfrage Anfang November 2019 zu aktuellen Zahlen gestellt, auf die Befesa nicht reagierte.

#### Verwertung von Hydroxidschlamm

##### 9.3.1.1 Verwertungsverfahren und Kapazitäten

- Derzeit entstehen in der Schweiz jährlich aus 38'500 t Flugasche ca. 3'900 t (Trockenmasse) Hydroxidschlamm aus dem FLUWA Verfahren. (Swiss Zinc 2018). Die jährlich anfallende Menge Flugaschen gem. Swiss Zinc ist plausibel, Weibel (2017) gibt jährlich rund 75'000 t/a an. Würden alle Flugaschen von ca. 78'500t/a (Swiss Zinc 2018) mit FLUWA behandelt, würden 8'800t Hydroxidschlamm (Swiss Zinc 2019) anfallen, welche exportiert werden müssen. Die Menge ist plausibel (Überschlagsrechnung: aus 38'500 t Flugaschen werden ca. 3'900 t Hydroxidschlamm hergestellt, also müssten es aus 78'500 t Flugaschen rund 7'950 t sein).
- Inwiefern Hydroxidschlamm aus der Schweiz die einzigen sind, welche in Europa anfallen, ist nicht abschliessend bekannt. Gemäss eigenem Wissen und verschiedenen Aussagen wird diese Form der sauren Rauchgaswäsche hauptsächlich in der Schweiz praktiziert.
- Schweizer Hydroxidschlamm enthalten gem. Swiss Zinc (2017) 4 – 28 Gewichtsprozent Zink (bezogen auf die Trockenmasse). Weiter enthalten sie (Angaben sind gerundet) die Elemente Ca (5 – 23%), Cd (0.1 – 0.3%), Cl (2 – 23%), Cu (0.01 – 0.3%), Mg (2 – 8%), Pb (0.2 – 1.5%) und Si (0.4 – 2.5%).

##### Verwertungsverfahren

- Schweizer Hydroxidschlamm werden heute für die Verwertung exportiert. Die Verwertungskette kann mehrere Glieder zwischen Abgeber (KVA) über Mittler und Verwertungsbetriebe bis zur Herstellung von Produkten enthalten. KVAs mit FLUWA übergeben ihre Hydroxidschlamm typischerweise Mittlern, welche auch die Exportnotifikation beim BAFU einholen. Von Swiss Zinc (2019) genannt werden die Chiresa AG, die Spaltag, Airmercury und die Sovag/Veolia. Dieses Vorgehen wurde von der KVA Thun und dem BAFU bestätigt. Es kommt vor, dass diese inländischen Mittler die Hydroxidschlamm einem Mittler im Ausland übergeben (Spaltag der Sudamin in Deutschland), welche sie wieder weiterleitet (Swiss Zinc 2017).

- Gemäss Angaben von Swiss Zinc (2019) gelangen 94% der Schlämme in Wälzrohranlagen. Weitere 6% gehen in ein hydrometallurgisches Verfahren in Belgien. Es ist nicht bekannt, ob alle KVA welche Hydroxidschlämme abgeben, Angaben dazu gemacht haben. Angesichts des angegebenen durchschnittlichen Trockensubstanzgehalts der Schlämme (Swiss Zinc 2018) von 30% muss ein Grossteil der KVA Angaben gemacht haben (14'600 t/a verwertete (feuchte) Hydroxidschlämme haben einen Trockensubstanzgehalt von rund 4'400 t/a, was sogar etwas über der jährlich entstehenden Hydroxidschlammmenge liegt). Von der Sovag/Veolia (Swiss Zinc 2019), sowie von Airmercury (Angabe der KVA Thun) ist bekannt, dass sie die Hydroxidschlämme der Revatech in Belgien<sup>10</sup> übergeben, eher sie ins Wälzrohrverfahren gehen. Gem. KVA Thun führt z.B. die Spaltag selbst auch eine Aufbereitung der Hydroxidschlämme durch analog zur Revatech. Es ist nicht bekannt, ob alle Hydroxidschlämme aufbereitet werden, ehe sie in eine Wälzrohranlage gehen.
- Eine Ergänzung der Akteure, sowie die Plausibilisierung der Mengenangaben zu Ländern und Anlagen mit dem BAFU ist nicht möglich, da die Akteure und deren Geschäftsbeziehungen, welche sie in den Notifikationen offenlegen zum Geschäftsgeheimnis gehören. Das BAFU bestätigt allerdings, dass mit Abstand die meisten Hydroxidschlämme ins Wälzrohrverfahren gehen und nur ein kleiner Teil in eine hydrometallische Behandlung.
- Es sind gemäss Auskunft von IZA folgende weitere Verwertungsverfahren für zinkarme Abfälle (unter 15% Zinkgehalt) denkbar: Die DK Recycling und Roheisen GmbH<sup>11</sup>, welche einen Schachtofen betreibt, sowie die Huta Cinku Miasteczko Slaskie (HCM) in Polen<sup>12</sup>, welche einen imperial smelting-Ofen betreibt und Blei und Zink zurückgewinnt. Es ist nicht bekannt, ob diese Anlagen Hydroxidschlämme annehmen können und dürfen.

## Kapazitäten

### Wälzrohrverfahren:

- Beim Wälzrohrverfahren handelt es sich um eine Verhüttung oder pyrometallurgische Aufbereitung. Wälzrohrbetriebe nehmen gem. Auskunft von IZA typischerweise Materialien mit einem Zinkgehalt von mindestens 15%, eher 20% an, ab dann wird der Prozess für sie wirtschaftlich. Die Aussage von Swiss Zinc (2017), derzufolge exportierte Hydroxidschlämme ab einem Zinkgehalt > 10% ins Wälzrohr gehen und andernfalls in einer Untertagedeponie (UTD) abgelagert werden ist aufgrund obiger Aussage plausibel.
- Es gibt mehrere Anlagen in Europa. Dazu gehören gem. Auskunft von IZA z.B. Befesa (Anlagen in Spanien, Frankreich, Deutschland, Schweden und der Türkei, ((Billerbeck et al. undatiert)), Glencore (Porto Vesme, Italien), KCM (Plovdiv, Bulgarien) und Boleslaw (Polen). Swiss Zinc (2017) nennt ferner die Harz-Metall/Recyclex<sup>13</sup> in Goslar. Die KVA Thun nennt weiter die Recytech<sup>14</sup> in Frankreich. Gem. Angaben von Swiss Zinc (2018, 2019) gehen die Exporte zu Anlagen in Deutschland und Frankreich. Das BAFU bestätigte, dass Exporte in verschiedene europäische Länder bewilligt werden.
- Die Anlagen, von denen Daten vorliegen, verwerten mengenmässig jeweils mehr als das zehnfache der Schweizer Jahresproduktion von Hydroxidschlamm. Befesa Freiberg verwertet im Jahr 2014 knapp 200'000 t zinkhaltige Abfälle, davon rund 4'500 t mit den LVA-Codes 19 01 05 und 19 02 05. Ob es sich dabei tatsächlich um Hydroxidschlämme aus Schweizer KVA handelt ist allerdings nicht bekannt. Die Befesa Zinc Aser in Spanien (Befesa 2017) verwertete 2012 – 2016 jährlich rund 150'000 t zinkhaltige Abfälle. Wie viel davon Hydroxidschlämme sind, geht aus der Dokumentation nicht hervor.

<sup>10</sup> [http://www.revatech.be/en/revatech/revatech\\_physico\\_chimic.html](http://www.revatech.be/en/revatech/revatech_physico_chimic.html)

<sup>11</sup> <https://www.dk-duisburg.de/>

<sup>12</sup> <https://hcm.com.pl/>

<sup>13</sup> <https://recylex.eu/de/harz-metall/>

<sup>14</sup> <https://www.recytech.fr/en/>

- Swiss Zinc (2019) gibt allerdings an, dass Wälzrohranlagen bereits heute in Bezug auf Hydroxidschlämme eine beschränkte Kapazität haben und sich die Situation bei einer Zunahme von Hydroxidschlämmen verschärfe.

### **Hydrometallurgisches Verfahren**

- Auch hier gibt es gem. Auskunft von IZA mehrere Anlagen: z.B. die Hydrometal<sup>15</sup> in Belgien, die TIB Chemicals<sup>16</sup> und die Wocklum<sup>17</sup> in Deutschland.
- Für die Hydroxidschlammverwertung sind hydrometallurgische Verfahren heute von untergeordneter Bedeutung, gem. Swiss Zinc (2019) gingen über den betrachteten Zeitraum gerade 6% in diese Verwertung (800 t/a (feuchte) Hydroxidschlämme).
- Aufgrund der vorliegenden Daten ist nicht bekannt, wie viele Hydroxidschlämme die Anlagen annehmen.

### **Weitere Verfahren**

- Aufgrund der vorliegenden Daten ist nicht bekannt, wie viele Hydroxidschlämme die Anlagen annehmen, sofern sie es überhaupt dürfen.

#### **9.3.1.2 Massen- und Energiebilanzen, sowie Emissionen und Stoffflüsse**

##### **Wälzrohrverfahren:**

- Beim Wälzrohrverfahren wird gemäss Auskunft von IZA unterschieden zwischen dem SDHL-Verfahren und dem klassischen Verfahren, wobei ersteres sich mittlerweile weitgehend durchgesetzt habe. Die folgenden Aussagen in Bezug auf Energie- und Prozessmittel gelten für SDHL-Wälzrohrverfahren, da die vorliegende Dokumentation von entsprechenden Anlagen stammt. Nach Auskunft der IZA sind Anlagen welche das SDHL-Wälzverfahren, resp. das klassische Verfahren einsetzen typischerweise in Bezug auf Energieverbrauch, Emissionen und Stoffflüsse untereinander vergleichbar. Gemäss Auskunft von IZA ist das SDHL-Verfahren gegenüber dem klassischen Verfahren in Bezug auf den Carbon-Footprint optimiert, es werden aufgrund von reduziertem Reduktionsmitteleinsatz (Koks) pro t Produkt 40% weniger CO<sub>2</sub> emittiert.
- Die Dokumentation von Swiss Zinc macht keine Aussage dazu, ob Schweizer Hydroxidschlämme nur in SDHL-Anlagen gehen. Gemäss Auskunft BAFU wird beim Erteilen einer Exportbewilligung nicht darauf geachtet, da die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus abfallrechtlicher Sicht nicht massgeblich sind (Auskunft BAFU).
- **Ausgangsmaterial:** Wälzrohrbetriebe sind auf die Verwertung von Stahlstäuben ausgelegt. Daneben verwerten sie weitere zinkreiche Abfälle. Abgesehen von Hydroxidschlämmen ist nichts über die Zusammensetzung der anderen Abfälle bekannt.
- **Produkt:** Pro t zinkhaltigem Ausgangsmaterial (bestehend aus rund 20% nicht näher spezifizierten zinkhaltigen Abfällen und 80% Stahlwerkstäuben) entstehen ca. 0.37 t Wälzoxid (Billerbeek et al. undatiert). Dieses enthält 55 – 65% Zink. Das Wälzoxid wird entweder direkt an Abnehmer geliefert, oder aber mittels Gegenstromwäsche aufgereinigt, wobei der Zinkgehalt auf 65 – 70% erhöht wird. Anschliessend gelangt das gewaschene Wälzoxid in die hydrometallurgische Zinkgewinnung. Diese hydrometallurgische Zinkgewinnung (Laugung von Wälzoxid und Elektrolyse zur Gewinnung metallischen Zinks) ist gem. Auskunft der IZA nicht zu verwechseln mit hydrometallurgischen Verfahren zur Zinkgewinnung aus Hydroxidschlämmen, welche nicht zwingend ein metallisches Produkt herstellen. Bei der Laugung werden Pb und Cd abgetrennt.

<sup>15</sup> <https://www.jgi-hydrometal.be/cms/index/cms/page/homepage/lang/en>

<sup>16</sup> <https://www.tib-chemicals.com/>

<sup>17</sup> <https://wocklum-gruppe.de/>

- **Eingesetzte Stoffe:** Pro t zinkhaltigem Ausgangsmaterial werden 96 kg Kalk (Schlackebildner), 141 kg Koks (Reduktionsmittel), 142 kg Wasser, sowie 267 kg Sauerstoff benötigt. (Billerbeck et al. undatiert). Das Wasser ist je nach Anlage nur zum kleinsten Teil Trinkwasser, verwendet wird auch Regenwasser und «industrial Water», welches im Kreis geführt wird (Befesa 2016, Befesa 2017). Der Sauerstoff stammt aus der Luft. (Billerbeck et al, undatiert).
- **Energiebedarf des Verfahrens:** Je nach Quelle 0.141 – 0.145 MWh/t trockenem Ausgangsmaterial (Befesa 2016), resp. 1.54 – 1.61 MWh/t trockenem Ausgangsmaterial (Befesa 2017). Wieso sich die Energieverbräuche von Freiberg und Aser um einen Faktor 10 unterscheiden, ist nicht bekannt. Die Energieträger sind vor allem Erdgas und Strom, in geringen Mengen auch Diesel und Heizöl (Befesa 2016, Befesa 2017).
- **Reststoffe:** Es entstehen pro t zinkhaltigem Ausgangsmaterial folgende Abfälle: ca. 0.6 - 0.68 t Wälzschlacke sowie 0.6 t Abgas (Befesa 2016, Billerbeck et al undatiert). Weiter entstehen aus der Wälzoxidwäsche pro t gewaschenem Wälzoxid 0.1 – 0.15 t Mischsalz und 0.05 t Salzlösung (Befesa 2016).  
Die Wälzschlacke besteht hauptsächlich aus Eisenoxid, Kalk und Quarz, enthält aber auch Schwermetalle (Bundesverwaltungsgericht 2017).  
Über die Schadstoffgehalte von Mischsalz und Salzlösung ist nichts bekannt.
- **Emissionen:** Es entstehen Abgas, Abwasser und Lärm. Das Abgas besteht hauptsächlich aus CO<sub>2</sub>, es fallen pro t trockenem Ausgangsmaterial 0.45 - 0.53 tCO<sub>2</sub> an (Befesa 2016, Befesa 2017). Das Abgas wird nach einer Abgasreinigung (Befesa 2016) in die Atmosphäre emittiert. Die Grenzwerte für Luftschadstoffe und Staub, sowie für Abwasser werden eingehalten (Befesa 2016).

#### Weitere Verfahren:

- In Bezug auf das hydrometallurgische Verfahren, sowie weitere mögliche Verfahren fehlen Angaben zu Energie- und Massebilanz, sowie zu Emissionen und Reststoffen praktisch ganz. In Bezug auf die Hydrométal ist bekannt, dass Zink-Sulfat für die Pigmentindustrie gewonnen wird (Swiss Zinc 2017).
- Gemäss IZA stellen hydrometallurgische oder andere Verfahren zur Zinkgewinnung aus Hydroxidschlämmen nicht zwingend metallisches Zink her, sondern direkt ein zinkhaltiges, handelbares Produkt.
- Das BAFU kann keine Angaben aufgrund von Exportnotifikationen liefern, denn diese unterstehen dem Geschäftsgeheimnis der Exporteure.

### 9.3.2 Chancen und Risiken von wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten

#### Kapazität

- Eine mögliche Limitierung der Kapazität von Wälzrohrbetrieben könnte auftreten bei niedrigen Zinkgehalten unter 15 – 20%. Es ist aber denkbar, dass sie bei einem entsprechenden Annahmepreis auch kleinere Mengen von Material mit geringerem Zinkgehalt annehmen. Es ist nicht bekannt, welche weiteren Faktoren neben dem Zinkgehalt (z.B. Gehalt von Schadstoffen und physikalische Parameter) die Annahmekapazität limitieren. Eine weitere Limitierung der Kapazität könnte auftreten, wenn weniger Stahlwerkstäube anfallen, da diese der Hauptgrund für das Bestehen von Wälzrohrbetrieben sind. Gem. IZA ist dies derzeit nicht absehbar.
- Aufgrund der vorliegenden Daten ist für weitere Verfahren nicht bekannt, welche Risiken für die Annahmekapazitäten von Hydroxidschlämmen bestehen.



## **Kosten**

- Auswertungen einer VBSA-Umfrage an alle FLUWA-KVAs aus dem Jahr 2014 (auf diese wird verwiesen im Zwischenbericht 1 vom 21.04.2017 der SwissZinc [3]) zeigen Kosten für die abgebenden KVA von 320 – 400 CHF/t für die Verwertung im Wälzrohrverfahren. Diese beinhalten alle Kosten ab KVA inkl. Transport. Gemäss derselben Quelle sind die Entsorgungskosten seit der Veröffentlichung des prognostizierten Annahmepreises von 250 CHF/t Hydroxidschlamm durch Swiss Zinc im Jahr 2016 gesunken auf unter 250 CHF/t. Die KVA Thun gab an, dass der Preis in den letzten Jahren stabil bei 300 CHF/t gelegen habe. Sie wissen dabei nicht, wie die Preisaufteilung zwischen dem Schweizer Exporteur, der Aufbereitungsanlage in Belgien und dem Wälzrohrbetrieb in Frankreich ist.
- Die Verwertung mit dem hydrometallurgischen Verfahren kostete gem. Swiss Zinc (2017) im Jahr 2014 350 CHF/t. Auch hier sind alle Kosten ab KVA inkl. Transport beinhaltet.
- Gem. Swiss Zinc (2017) ist die Kostengestaltung für KVA intransparent. Dies ist gem. Aussage der IZA plausibel. Grundsätzlich ist gem. IZA die Preisbildung zur Verwertung von Hydroxidschlamm Gegenstand der Verhandlung zwischen Verarbeiter und Anlieferer. Relevante Einflussfaktoren sind dabei die Metallpreise, die Gehalte an erwünschten (wertvollen) und unerwünschten Elementen, der physikalische Zustand, der Transport- und Verwaltungsaufwand sowie die Verarbeitungskosten. Dass zwischen KVA und Verwertungsbetrieb ein oder sogar zwei Mittler stehen können, trägt vermutlich zur Intransparenz der Preise für die KVA bei.
- Es sind keine Aussagen möglich, ob die Kosten in Zukunft steigen oder sinken.

## **Rechtliche Vorgaben für die Metallrückgewinnung und den Umweltschutz**

- Der Export von Hydroxidschlamm für die Metallrückgewinnung entspricht den Vorgaben der neuen VVEA: Es müssen ab 2021 gem. VVEA alle Flugaschen einem Verfahren zur Metallrückgewinnung unterzogen werden (Schweizer Bundesrat Stand 2019). Die Zinkausbeute im Wälzrohrverfahren beträgt gem. IZA 95%. In Bezug auf Pb beträgt sie 85%, in Bezug auf Cl und Cd jeweils über 80% (diese gehen alle ebenfalls ins Wälzoxid). Cu geht hingegen laut Swiss Zinc (2019) in die Wälzschlacke, auch laut IZA gibt es für Cu keine Ausbeute. Die Zinkausbeute von weiteren Verfahren ist nicht bekannt. Vorgaben für die Metallrückgewinnung aus Flugaschen bestehen derzeit nicht, dies wird gemäss Aussage von Swiss Zinc (2018) voraussichtlich in einer Vollzugshilfe zur VVEA geregelt.
- Aus rechtlicher Sicht stellen der Umgang mit Reststoffen, sowie Emissionen in die Umwelt von Anlagen ein Exportrisiko dar, da sie im Konflikt mit der Schweizer Gesetzgebung stehen könnten.
- Gem. BAFU ist es beim Export von Hydroxidschlamm zu einem Wälzrohrbetrieb insbesondere wichtig, wie die Wälzschlacke deponiert wird. Eine Probe von Wälzschlacke aus Boleslaw enthält Schwermetalle, und gilt insb. wegen der hohen Gehalte von Zn (22'700 mg/kg), Cd (26 mg/kg), Ni (1'230 mg/kg) und Pb (1'900 mg/kg) als Sonderabfall mit gefährlichen Eigenschaften, der auf eine Deponie des Typs C muss (Bundesverwaltungsgericht 2017). Gem. IZA ist in Europa Wälzschlacke REACH-registriert und geht in den Deponiebau. In der Praxis sei in den EU-Mitgliedsländern die Regulierungen aber teilweise sogar innerhalb eines Landes in verschiedenen Regionen unterschiedlich. Gemäss BAFU wird die Ausfuhr von Hydroxidschlamm grundsätzlich dann bewilligt, wenn der Entsorgungsweg bekannt, umweltverträglich und dem Stand der Technik entsprechend ist. In Bezug auf Wälzschlacken sollte der Schutz der Umwelt in vergleichbarer Weise gewährleistet werden wie es in der Schweiz vorgegeben wäre. Generell können gemäss Auskunft des BAFU Verwertungsanlagen im Ausland nur dann mit Schweizer Anlagen verglichen werden, wenn es in der Schweiz eine vergleichbare Anlage gibt. So wäre FLUREC gem. BAFU nicht mit anderen Verfahrenstypen, wie z.B. dem Wälzrohrverfahren vergleichbar. Da der Einsatz von Wälzschlacke im Strassenbau (gem. REACH-Registrierung in Ordnung) in der Schweiz nicht geregelt ist, wird diese jeweils im Einzelfall geprüft. Bei den Anlagen, zu denen heute Exporte stattfinden wurde dies geprüft. Entsprechend ist der Umgang von

einzelnen Anlagen mit ihrer Wälzschlacke ein potentiell rechtliches Risiko für den Export von Hydroxidschlamm, welches aber schon für diverse Anlagen ausgeräumt wurde.

- In Bezug auf die Klassierung besteht bei Hydroxidschlamm eine gewisse Uneindeutigkeit, die jedoch für den Export nicht massgeblich ist. Hydroxidschlamm werden, wie das BAFU bestätigt, unter folgenden LVA-Codes exportiert: 19 01 05, 19 02 05 und 19 08 13 (Swiss Zinc, 2018). Bei allen drei Codes handelt es sich um Sonderabfallcodes.
- Es sind keine Entwicklungen der Schweizer und EU-Umweltstandards bekannt, welche den Export und die Behandlung von Hydroxidschlamm künftig behindern oder fördern könnten. Gem. IZA stehen Wälzrohrbetriebe aber grundsätzlich unter dem Druck, sich zu verbessern, wobei sie teilweise gegenläufigen Ansprüchen genügen müssen: einerseits muss der CO<sub>2</sub>-Fussabdruck gesenkt werden, andererseits sollte das Recycling erhöht werden.
- Eine mögliche Chance für die Verwertung von Hydroxidschlamm im Ausland ist, dass gem. IZA an Recyclingverfahren für zinkarme Abfälle geforscht wird. Es gibt in der EU weitere zinkarme Abfallströme, welche in grossen Mengen anfallen für die es bisher kein (wirtschaftliches) Standardverfahren gibt. Dazu gehören z.B. Stahlwerkstäube mit geringem Zinkgehalt und Schlamm aus der Zinkherstellung (enthalten auch Eisen, Indium und Germanium).

### 9.3.3 Beurteilung und Fazit

#### **Plausibilität der Angaben:**

Die meisten Angaben der von Swiss Zinc zur Verfügung gestellten Dokumentation sind, soweit eine Überprüfung möglich war (Befesa reagierte nicht auf eine Anfrage), plausibel. Es konnte lediglich die gem. Swiss Zinc [1] stark limitierte Kapazität von Wälzrohranlagen nicht bestätigt werden. Es ist allerdings möglich, dass insbesondere Hydroxidschlamm mit niedrigem Zinkgehalt nur dann von Wälzrohrbetrieben angenommen werden, wenn ein erhöhter Preis gezahlt wird, welcher die Unwirtschaftlichkeit der Zinkrückgewinnung kompensiert. Die Mengenangaben von Swiss Zinc (2019) sind teilweise schwer vergleichbar und voneinander leicht abweichend, weil manchmal von feuchtem Hydroxidschlamm und manchmal von der Trockenmasse gesprochen wird (z.B. Hydroxidschlamm-Mitverarbeitung im Wälzrohrverfahren von jährlich 14'600 t/a (feucht); jährlich in der Schweiz anfallende Menge Hydroxidschlamm von 3'900 t/a (trocken)). Bei einer Umrechnung der feuchten Mengen aufgrund der angegebenen durchschnittlichen Trockenmasse von 30% erhält man knapp 4'400 t/a, was einem Unterschied von ca. 12% entspricht. Dies ist angesichts des geringen Detailgrads der vorliegenden Betrachtungen nicht viel.

- Datenlücken in Bezug auf Hydroxidschlamm-Verwertung:
- Es gibt sehr viele Datenlücken, aber nicht alle sind relevant.
- **Wälzverfahren:** In Bezug auf Massen- und Energiebilanzen, sowie Emissionen und Stoffflüsse liegen nur zu Wälzrohrbetrieben Angaben vor. Damit liegen zwar Angaben zum relevantesten Prozess vor, da Wälzrohrbetriebe aktuell fast 95% der Hydroxidschlammverwertung gewährleisten. Auf der anderen Seite ist es aber nicht möglich, das Wälzrohrverfahren mit hydrometallurgischen Verfahren oder sogar anderen Verfahren für zinkarme Abfälle zu vergleichen. Zudem fehlen Angaben für die Weiterverarbeitung des Wälzoxids bis zum Produkt.
- Aufgrund der vorliegenden Daten ist nicht bekannt, welche weiteren Faktoren neben dem Zinkgehalt (z.B. Gehalt von Schadstoffen und physikalische Parameter) die Annahmekapazität von Wälzrohranlagen limitieren könnten.
- **Andere Verfahren:** In Bezug auf hydrometallurgische Verfahren sind keine Angaben zum Rückgewinnungsrate von Zink und anderen Metallen, sowie zur Kapazität bekannt. Es ist nicht bekannt, ob weitere Anlagentypen Annahmekapazitäten für Hydroxidschlamm hätten. In Bezug auf das hydrometallurgische Verfahren, sowie weitere mögliche Verfahren fehlen auch Angaben zu Energie- und Massebilanz, sowie zu Emissionen und Reststoffen praktisch ganz. Dies

wiegt aufgrund ihrer heute geringen Bedeutung für die Hydroxidschlammverwertung nicht schwer.

- **Allgemein:** Es ist nicht bekannt, ob Verwertungsengpässe entstehen könnten durch eine Zunahme der Anlieferung europäischer Hydroxidschlämme aus KVAs, oder steigende Verwertungsvorgaben für andere zinkhaltigen Abfälle aus Europa, welche derzeit noch deponiert werden. Es ist nicht bekannt, ob durch eine Zunahme von Verwertungsvorgaben für zinkhaltige Abfälle die Verwertungskapazitäten von bestehenden oder neuen Anlagentypen zunehmen könnten.

## Fazit

- Es gibt zwei etablierte Verwertungsverfahren für Hydroxidschlämme mit jeweils mehreren Anlagen in Europa: Das Wälzrohrverfahren und das hydrometallurgische Verfahren, wobei heute ersteres mit Abstand (fast 95% der verarbeiteten Mengen) dominiert.
- Aufgrund der Vielzahl an Wälzrohrbetrieben, welche eine pyrometallurgische Aufbereitung von Hydroxidschlämmen durchführen können, sowie aufgrund der Daten zu den jährlich verwerteten Abfallmengen je Wälzrohr-Anlage und der geringen Mengen von Hydroxidschlämmen ist es plausibel, dass derzeit genügend Verwertungskapazität in Wälzrohrbetrieben besteht. Es ist derzeit nicht möglich, Aussagen zur künftigen Verwertungskapazität oder zur Entwicklung der Preise zu machen. Risiken in Bezug auf die Kapazitäten sind nicht bekannt; aufgrund der vorliegenden Datenlage sind bei Wälzrohrbetrieben am ehesten Annahmeprobleme bei Hydroxidschlämmen mit niedrigem Zinkgehalt zu erwarten.
- In Bezug auf die Verwertungskosten sind keine Aussagen möglich, inwiefern ein Risiko besteht, dass sie in Zukunft steigen. Die Kosten sind für die KVA nicht zuletzt aufgrund von den zwischengeschalteten Mittlern nicht besonders transparent. Dennoch scheint es Gründe zu geben, dass sich die Lösung bewährt. So kann eine KVA die Verantwortung für Transport, Lagerung und Aufbereitung, sowie auch Exportnotifikation und Preisverhandlungen mit den Abnehmern am Werkort abgeben.
- Aus rechtlicher Sicht ist im Moment kein Risiko für die Verwertung von Hydroxidschlämmen mit den heute gängigen Verfahren ersichtlich. Es ist allerdings noch offen, ob mögliche Vorgaben zur Rückgewinnungsrate von Zink und anderen Metallen in der Vollzugshilfe der VVEA bestimmte Verfahrenstypen oder Anlagen ausschliessen würden. Generell würden Anlagen im Ausland gem. Aussage des BAFU mangels eines vergleichbaren Anlagentyps in der Schweiz auch künftig, wenn eine Lösung in der Schweiz bestünde, nicht an Schweizer Umweltstandards gemessen. Es scheint aber zentral, dass sie europäische Umweltvorgaben einhalten. Da die Praxis von Land zu Land und sogar innerhalb von Ländern unterschiedlich ist, ist es notwendig, dies für jede Anlage individuell abzuklären. In Bezug auf die Entsorgungssicherheit heisst dies, dass die verschiedenen Anlagen, zu denen das BAFU bereits eine Exportbewilligung erteilt hat (unter der Annahme, dass sie weiterhin europäische Umweltstandards einhalten) vermutlich auch künftig die Entsorgung von Hydroxidschlämmen gewährleisten können.
- Zusammengefasst ist auf der Basis der vorliegenden Informationen und der zusätzlich getroffenen Abklärungen die Hydroxidschlammverwertung im Ausland eine hinsichtlich Metallrückgewinnung und Einhaltung von Umweltvorgaben funktionierende Lösung. Beim Export von Hydroxidschlämmen ist es aufgrund von der heterogenen Umsetzung europäischer Normen wichtig, dass die einzelnen Anlagen kritisch überprüft werden, wie es das BAFU bereits heute tut. Im Hinblick auf den Klimaschutz ist es zudem empfehlenswert, dass Schweizer Hydroxidschlämme in Wälzrohranlagen des SDHL-Typs geschickt werden, und nicht in konventionelle Anlagen, da damit viel CO<sub>2</sub> eingespart wird.
- Ob die heute angewandten Verfahren im Ausland tatsächlich für Hydroxidschlämme die beste Lösung sind, ist nicht leicht zu beantworten, da es spezifisch für Hydroxidschlämme kein typisches Verwertungsverfahren gibt. Die IZA beurteilt vor diesem Hintergrund jede Anstrengung, Verwertungsverfahren für Hydroxidschlämme und andere zinkarme Abfälle zu entwickeln als

positiv. In dem Sinne sind sowohl Anstrengungen in der EU, als auch das SwissZinc-Verfahren eine Chance für eine gute Verwertung nicht nur für Hydroxidschlämme, sondern auch für andere, mengenmässig relevantere zinkarme Abfallströme aus der EU.

#### **Quellen / verwendete Grundlagen:**

- Billerbeck et al. (undatiert): Verarbeitung von Filterstäuben aus der Elektrostahlerzeugung im Wälzprozess
- Befesa Zinc Freiberg GmbH (2016): Aktualisierte Umwelterklärung 2016
- Befesa Zinc Aser (2017): Environmental Statement 2016
- Bundesverwaltungsgericht (2017): Urteil von 22. August 2017. Parteien: Spaltag AG gegen Bundesamt für Umwelt BAFU. Gegenstand: Geplante Ausfuhr von Abfällen.
- Swiss Zinc AG (2017): SwissZinc: Zwischenbericht 1 vom 21.04.2017
- Swiss Zinc AG (2018): Schlussbericht Phase 1 2016/2017/2018
- Swiss Zinc AG (2019): Projektdokumentation Mai 2019
- Schweizer Bundesrat (Stand 2019): Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen. (Abfallverordnung, VVEA) vom 4. Dezember 2015 (Stand am 1. Januar 2019)

#### 9.4 Plausibilisierung von „Logistik von Hydroxidschlämmen“

Die Zinkgewinnung aus sekundären Konzentraten wie beispielsweise dem Wälzoxid erfolgt weltweit mit wenigen Ausnahmen über die primäre hydrometallurgische Route. Um Chlorgehalte zu minimieren erfolgt meist vor dem Einsatz die Waschung mit Sodalösungen.

Der Ryttec-Bericht [8] beschreibt im Zuge der Ermittlung einer Ökobilanz im Bereich „Erweiterte Transportbetrachtung“ die Wege vom Anfall des Hydroxidschlammes bis zur Zinkproduktion und der Weg des Zinks zurück in die Schweiz.

- Der Weg von der Schweiz bis Freiberg ist korrekt. Hier wird das Material zu Zinkoxid umgewandelt welches dann auch Vorort gewaschen wird.
- Der Weg von Freiberg nach Bilbao (Spanien) existiert aber, dass die gesamte Menge verarbeitet wird, ist nicht korrekt. Der Weg zur Zinkproduktion nach Nordenham-Glencore (Deutschland) oder zu Nyrstar in Belgien bzw. Niederlande ist deutlich kürzer.
- Von Nordenham (Deutschland) bzw. Belgien/Niederlande gelangt dann das Zink wieder in die Schweiz. Auch dieser Weg ist um vieles kürzer als jener von Bilbao, abgesehen davon, dass es in Bilbao keine Produktion von metallischem Zink gibt.
- Auch die angeführte „Brikettierung“ existiert nicht.

Die Transportbilanz des Berichtes ist damit falsch.

Betrachtet man die transportierten Massen im Anhang zeigen sich hier ebenfalls sehr eigenartige Werte. Dabei entstehen aus 8966 t Hydroxidschlamm 8277 t zu transportierendes Wälzoxid.

Rechnet man mit 25 % Zn im Hydroxidschlamm sind darin etwa 2250 t Zn enthalten. Bei einem Zinkgehalt von mindestens 65 % im gewaschenen Wälzoxid würde dies 3450 t bedeuten. Selbst wenn hier noch 15 % Feuchte dazugerechnet werden, entsteht eine Transportmasse von knapp 4000 t. Warum hier mehr als das Doppelte angenommen wird ist unverständlich.

Gleiches gilt für die Menge an rückgeführtem Zink in die Schweiz.

Aus diesen Gründen ist die Verwertbarkeit des gesamten Berichtes in Frage zu stellen.

## 9.5 Ökologie

### 9.5.1 Analyse bestehender Studie

Der Prüfung wurden die internationalen Normen ISO EN 14040 (2006) und 14044 (2006) zu Grunde gelegt. Geprüft wurde sinngemäß zu den in der LCA-Rahmennorm 14040 vorgegebenen Kriterien, ob:

- die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden mit dieser Internationalen Norm übereinstimmen.
- der zugrundeliegende Untersuchungsrahmen in Bezug auf die zu beantwortende Fragestellung adäquat und sinnvoll definiert sind.
- die getroffenen Modellannahmen klar deklariert und nachvollziehbar begründet sind.
- die angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet sind und dem Stand der Ökobilanz-Technik entsprechen.
- die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmäßig sind.
- die Auswertungen die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Ökobilanz berücksichtigen.
- der Bericht transparent und in sich stimmig ist, das bedeutet auch:
- ob die Beantwortung der Fragestellung schlüssig aus den Resultaten hergeleitet wird.

Die in den folgenden Unterkapiteln zusammengefassten Stellungnahmen zur kritischen Prüfung der Ökobilanzstudie zum Projekt SwissZinc sind gegliedert nach den unterschiedlichen Phasen einer Ökobilanz und einem zusammenfassenden Fazit:

- Ziel und Untersuchungsrahmen
- Sachbilanz (Lebenszyklusinventar, LCI)
- Wirkungsabschätzung (LCIA) und Interpretation
- Zusammenfassendes Fazit

#### 9.5.1.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Die vergleichende Ökobilanz dieser Studie vergleicht die Variante SwissZinc (Weiterentwicklung des FLUREC Prozesses) mit dem heutigen Verwertungsweg im Wälz- und Zinkverhüttungsprozess im Ausland und soll darüber Klarheit schaffen, welcher der beiden VVEA-konformen Verwertungswege aus ökologischer Sicht für die Schweiz zu bevorzugen ist.

Bezugnehmend auf das Ziel und die Verwendung der vorliegenden Studie ist die gewählte **funktionelle Einheit** der Produktion von 1kg special high grade (SHG) Zink (> 99.995% Reinheit) für die Beantwortung der Fragestellung als geeignet und zielführend zu beurteilen.

Die gewählte **Systemabgrenzung** umfasst die Produktion von sekundärem SHG-Zink aus dem Hydroxidschlamm, welcher aus der sauren Flugaschenwäsche (FLUWA) entsteht. Das entsprechende Produktsystem ist für beide Verwertungswege ausreichend nachvollziehbar beschrieben und umfasst sämtliche Prozesse, die zur Aufbereitung des Hydroxidschlammes zu sekundärem SHG-Zink erforderlich sind. Dies beinhaltet die Anlieferungstransporte des Hydroxidschlammes zum Ort der Verwertung sowie die jeweiligen Aufbereitungsschritte für die beiden verglichenen Verwertungswege inkl. der Deponierung von Rückständen bzw. der Wälzschlacke aus dem Wälzprozess. Der Ausschluss von bestimmten Prozessen – in diesem Fall die aufgrund ihrer untergeordneten ökologischen Relevanz vernachlässigte Infrastruktur und die Röststufe als ersten Schritt im Zinkverhüttungsprozess – ist nachvollziehbar begründet und beeinflusst die Resultate des Vergleichs zugunsten der heutigen Exportlösung (konservative Annahme zugunsten der SwissZinc-Lösung). Das der Ökobilanz zugrundeliegende FLUWA-Setup, d.h. die in der Schweiz aktuell eingesetzten FLUWA-Verfahren oder ein FLUWA-Verfahren mit optimierter Extraktionsausbeute für die Metalle Blei, Cadmium, Kupfer und Zink, wird aus dem Bericht nicht klar. Gemäss Auskunft von SwissZinc, wurde jedoch das optimierte FLUWA-Setup angewendet. Diese Annahme hat einerseits einen Einfluss auf die Transportleistung, da die Metallkonzentration festlegt, welche Menge an

Hydroxidschlamm für die Rückgewinnung von 1kg SHG Zink zu den unterschiedlich entfernten Verwertungsverfahren transportiert werden muss. Andererseits muss davon ausgegangen werden, dass die Metallkonzentration im Hydroxidschlamm die Material- und Energieinputs im Verwertungsschritt selbst verändert. In Anbetracht der Zielsetzung der Studie bzw. der für die Schweiz ab 1. Januar 2021 geltenden Bestimmungen zur Rückgewinnung von Metallen aus Filteraschen ist es aus Sicht des Gutachters korrekt, dass in der vorliegenden Studie mit einem optimierten FLUWA-Setup gerechnet worden ist, um die zukünftige Situation adäquat abzubilden.

Der **Zeithorizont** der Studie bezieht sich grundsätzlich auf die aktuelle Situation, welche mit Daten aus den Jahren 2015-2018 für die beiden Verwertungswege repräsentativ abgebildet ist. Jedoch beinhalten die verglichenen Produktsysteme (Wälzprozess und Zinkverhüttung, SwissZinc-Verfahren) prospektive Komponenten. Dies betrifft die bereits angesprochene Optimierung des FLUWA-Prozesses bezogen auf die Extraktionsausbeuten (vgl. Ausführungen oben), wie auch Aspekte von Skalierungseffekten im Fall der SwissZinc-Lösung.

Die in der Studie eingesetzten **Methoden zur Wirkungsabschätzung** (Umweltindikatoren) sind klar beschrieben und werden für den vorliegenden Vergleich der beiden Verwertungswege als geeignet befunden.

Insgesamt ist der festgelegte Untersuchungsrahmen wie die funktionelle Einheit, die inhaltlichen, geografischen und zeitlichen Systemgrenzen und die gewählten Methoden zur Wirkungsabschätzung (Umweltindikatoren) abschliessend beschrieben und hinsichtlich der zu beantwortenden Zielsetzungen grundsätzlich als geeignet und zielführend einzuordnen.

#### 9.5.1.2 Sachbilanz (Lebenszyklusinventar, LCI)

Die Vorgehensweise für die Erstellung der Sachbilanz, der getroffenen Annahmen sowie der Daten- und Berechnungsgrundlagen ist, wenn auch vergleichsweise knapp, weitgehend nachvollziehbar beschrieben, stützt sich auf den Vorgaben gemäß ISO 14040 und 14044 ab und ist konsistent hinsichtlich des definierten Ziels und Untersuchungsrahmens.

Die Vordergrunddaten zu Material- und Energieinputs wurden im Fall der SwissZinc-Verwertungswege in enger Zusammenarbeit mit der Stiftung ZAR und der Firma Tecnicas Reunidas SA erarbeitet (z.B. Strombedarf, Strommix, Salz- und Schwefelsäure, gebrannter Kalk). Dabei wurden KEBAG-Betriebsdaten aus dem FLUREC-Betrieb mit Filteraschen als Inputmaterial verwendet und anhand von Erfahrungen der Tecnicas Reunidas SA auf die Hydroxidschlämme als Inputmaterial übertragen. Detailliertere Ausführungen, wie die entsprechenden Anpassungen im Teilprozess des Salzsäureaufschlusses vorgenommen wurden, wären aus Sicht des Gutachters zu begrüßen und würden die Nachvollziehbarkeit verbessern. Dasselbe gilt für den Strommix, dessen unterschiedliche Anteile von Schweizer KVA-Strom, CH-Mix und EU-Mix nicht spezifiziert sind. Ebenso sind im Bericht keine Angaben bzw. Ausführungen zum „upscaling“ auf die Verwertung aller Schweizer Hydroxidschlämme zu finden.

Was den Wälz- und Zinkverhüttungsprozess anbelangt, so basieren die Vordergrunddaten zum Wälzprozess auf Betriebsdaten aus der BEFESA Umwelterklärung des Standorts Freiburg aus dem Jahre 2016. Entsprechend konnte der Wälzprozess nicht inputabhängig bzw. auf den Hydroxidschlamm bezogen modelliert werden, da sich die erwähnten Daten auf die gesamten angenommenen zinkhaltigen Abfälle beziehen. Dies ist aus Sicht des Gutachters legitim bzw. die einzige gangbare Möglichkeit. Auch hier wäre es zu begrüßen, wenn auf diesen Aspekt respektive auf die dadurch in Kauf genommene Unsicherheit (Sensitivität der Annahme) im Bericht kurz qualitativ eingegangen würde. Die Modellierung des nachgelagerten Zinkverhüttungsprozesses basiert auf Literaturangaben sowie analogen Daten aus dem SwissZinc-Verfahren (Teilprozess Zinkelektrolyse). Die Hintergrunddaten wurden – mit der wohlbegründeten Ausnahme der Salzsäure – aus ecoinvent v3.4 übernommen, was einem hohen und international anerkannten Qualitätsstandard entspricht. Im Falle der Salzsäure wurde auf ecoinvent v3.3 zurückgegriffen, weil laut Ansicht der Autoren der dort abgebildete Markt-Mix die aktuelle Situation besser abbildet. Darüber hinaus

wurde den Unsicherheiten rund um den Einsatz der Salz- und Schwefelsäure über Sensitivitätsanalysen Rechnung getragen, was sehr begrüßt wird.

Um die mit dem Recycling verbundenen Nutzen, wie z. B. Einsparungen an Neumaterial für die Folgeprodukte, zu berücksichtigen, verwendet man in Ökobilanzen verschiedene Allokationsansätze. Im vorliegenden Fall wurde für die Modellierung der sogenannte „cut-off“ Ansatz gewählt, was bedeutet, dass keine ökologischen Gutschriften für die über das SHG-Zink hinaus produzierten Recyclingprodukte (Cd, Pb, Cu) gegeben werden. Dieser Ansatz ist aus Sicht des Gutachters insofern kritisch zu hinterfragen, als dass die beiden verglichenen Verwertungswege für Hydroxidschlämme ein unterschiedliches Spektrum an Metallen mit unterschiedlichen Extraktionsausbeuten zurückgewinnen und diese Annahme den ökologischen Vergleich entsprechend beeinflusst. Alternative Ansätze – die u.a. vom Deutschen Umweltbundesamt und von der Europäischen Union im Product Environmental Footprint (PEF) empfohlen werden – teilen die Recyclinggutschriften und -aufwände respektive die Gutschrift für die Verwendung von Rezyklaten zwischen den involvierten Produktsystemen auf.

Für die Wahl des Allokationsansatzes gibt es keine abschliessend richtige oder falsche Herangehensweise.

Aus Sicht des Gutachters wäre aber eine (im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse ergänzende) Aufteilung der Aufwände und Gutschriften für den vorliegenden Fall zielführender und für den Vergleich der beiden Verwertungswege aussagekräftiger. Im Sinne eines konservativen Vergleichs zugunsten der Hydroxidschlammverwertung im Wälz- und Zinkverhüttungsprozess ist der gewählte „cut-off“ Ansatz aber durchaus zu rechtfertigen. Alternative Allokationsansätze würden die Resultate des ökologischen Vergleichs zugunsten der SwissZinc-Lösung verschieben.

#### 9.5.1.3 Wirkungsabschätzung (LCIA)

Die Berechnung der Umweltwirkungen basierte auf mehreren Methoden zur Wirkungsabschätzung. Die Methoden der ökologischen Knappheit (UBP 2013) und ReCiPe total sind zwei unterschiedliche Methoden zur Bewertung der Gesamtumweltbelastungen, indem diverse verschiedene Umweltwirkungskategorien (z.B. Ozonabbau) zu einem „single score“ aggregiert werden, während die Wirkungsindikatoren „Klimawandel“, Ökotoxizität (Süßwasser) und Humantoxizität ausgewählte isolierte Umweltbelastungen abdecken.

Die Verwendung von zwei unterschiedlichen, dem «state-of-the-art» entsprechenden Methoden zur Bewertung der Gesamtumweltbelastung ist sehr zu unterstützen, da die unterschiedlichen Methoden den Fokus unterschiedlich stark auf die verschiedenen Umweltwirkungskategorien richten, und die Schlussfolgerungen entsprechend je nach Methode unterschiedlich ausfallen können. Obwohl nach der ISO-Norm 14040/44 eine solche Gesamttaggregation (UBP 2013, ReCiPe total) nicht zulässig ist, sind die beiden Indikatoren für diese Studie als zielführend zu erachten, da gerade aus Nachhaltigkeitssicht eine aggregierte Aussage über die ökologischen Auswirkungen vom Auftraggeber klar erwünscht war. Dabei wird vom Gutachter der Standpunkt vertreten, dass eine Gewichtung aufgrund wissenschaftlicher Evidenz (ReCiPe total) oder anhand gesellschaftlicher Werte (UBP 2013) besser ist als eine isolierte Betrachtung ausgewählter Wirkungskategorien oder als alle Wirkungen ISO-konform wiederzugeben, und damit die (subjektive) Gewichtung damit dem Leser zu überlassen.

Die entsprechenden Resultate inklusive der Sensitivitätsanalysen sind im Bericht vergleichsweise knapp illustriert und interpretiert. Aus Sicht des Gutachters wäre zudem für ein besseres Verständnis der Ökobilanz respektive zur besseren Einordnung der getroffenen Annahmen eine Illustration der Beiträge von einzelnen Prozessschritten (z.B. Anlieferungstransporte, Wälzprozess, Zinkverhüttung) bzw. der unterschiedlichen Prozessinputs und -Outputs (Strom, Wärme, Emissionen, etc.) wünschenswert.



#### 9.5.1.4 Interpretation

Die gezogenen Schlussfolgerungen zum ökologischen Vergleich der beiden Verwertungswege werden aus den Resultaten der unterschiedlichen Umweltindikatoren abgeleitet und beantworten die eingangs formulierte Zielsetzung grundsätzlich, aber aus Sicht des Gutachters nicht abschliessend (vgl. unten und nächstes Unterkapitel). Wie im vorangehenden Unterkapitel bereits angemerkt, ist die Interpretation der Bewertungsergebnisse vergleichsweise knapp. Eine systematische Illustration und Beschreibung der Beiträge von unterschiedlichen Teilprozessen bzw. von verschiedenen Inputs (Material/Rohstoffe, Energie) und Outputs (Emissionen) ins Produktsystem würde das Verständnis und die Einordnung der Sensitivität der getroffenen Annahmen verbessern und wäre aus Sicht des Gutachters wünschenswert.

Auch wenn der Einfluss von Datenunsicherheiten auf die vergleichenden Resultate im Rahmen einer Unsicherheitsanalyse nicht analysiert wurde, ist den Datenunsicherheiten in den Schlussfolgerungen durch die +/-5%-Regel ausreichend Rechnung getragen. Dies insbesondere auch deswegen, weil:

- in allen in Frage kommenden Fällen mit konservativen Annahmen, d.h. zu Gunsten Wälz- und Zinkverhüttungsprozesses, gerechnet wurde (z.B. keine Skalierungseffekte für SwissZinc, Vernachlässigung Röststufe),
- sich der gewählte „cut-off“ Ansatz im Vergleich zu alternativen (und auch empfohlenen Ansätzen) klar zum Vorteil des Wälz- und Zinkverhüttungsprozesses auswirkt, und
- weil sich die Schlussfolgerungen auf die Betrachtung ohne Berücksichtigung der Kupfer-Emissionen aus der Deponie beziehen (wie bereits erwähnt sind die Kupfer-Emissionen aus Sicht des Gutachters für einen fairen Vergleich jedoch dringlich einzubeziehen, da dies einen klaren ökologischen Vorteil des SwissZinc-Verfahrens darstellt, der auch bewertet werden soll).

Entsprechend unterstützt die vorliegende Studie die Aussage, dass die Verwertung der Hydroxidschlämme im SwissZinc-Verfahren ökologisch vorteilhaft ist, erlaubt aber keine abschließende Einschätzung des ökologischen Nutzens im Vergleich zum Export der Hydroxidschlämme.

#### 9.5.1.5 Fazit

Die in der Studie gewählte Vorgehensweise entspricht dem aktuellen wissenschaftlichen Standard zur Durchführung von Ökobilanzen. Die getroffene Hauptaussage, dass die VVEA-konforme Verwertung der Hydroxidschlämme im SwissZinc-Verfahren gegenüber der Verwertung in ausländischen Wälz- und Zinkverhüttungsverfahren aus ökologischer Sicht vorzuziehen ist, wird seitens des Gutachters durch die durchgeführte Studie unterstützt. Allerdings ist eine Aussage zur Höhe des ökologischen Vorteils auf Basis der vorliegenden Studie aus Sicht des Gutachters nicht abschliessend möglich, weil diverse – teils umstrittene Annahmen – klar zu Gunsten des Wälz- und Zinkverhüttungsverfahrens ausgelegt wurden und auch nicht im Rahmen von Sensitivitätsanalysen genauer betrachtet wurden. Der Unterschied zwischen den beiden Verfahren ist aus Sicht des Gutachters unterschätzt und müsste aufgrund der Charakteristika der beiden Verwertungsansätze klarer zu Gunsten des SwissZinc-Verfahrens ausfallen.

## 9.6 Vergleich der Komplexbildner Cyanex272 und D2EHPA

- D2EHPA: Selektiver gegenüber Metallen die in der Elektrolyse stören würden (Cu, Cd, Co, Ni), neben Halogenen und Magnesium. Der Aufnahme von Eisen in der organischen Phase muss durch einer „Batch“-weisen Behandlung mit konzentrierter HCl entgegengewirkt werden (Im Scorpion Werk wird 6M HCl verwendet).

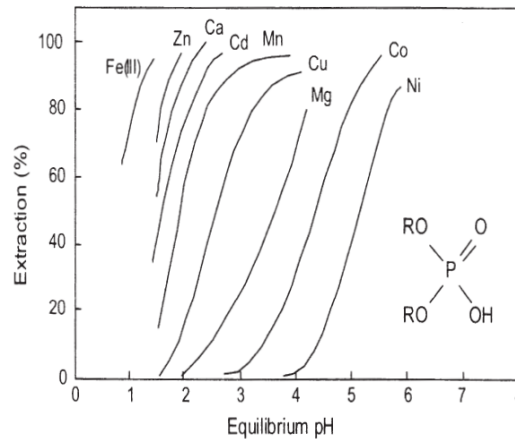


Abbildung 6: pH Abhängigkeit der Kationen in einer D2EHPA-SX Anlage

- Cyanex 272: Im Allgemeinen kann festgehalten werden, dass Cyanex272 höhere pH Werte benötigt um dieselben Metalle wie D2EHPA zu extrahieren. Der Grund hierfür ist, dass Phosphinsäurederivate schwächere Säuren als die Phosphorsäure sind. Des Weiteren lassen sich Hinweise darauf finden, dass die spezifischen Extraktionsraten mit D2EHPA etwas höher sind<sup>18</sup>.
- Es zeigt sich auch, dass Cyanex 272 über einen breiteren pH-Bereich akzeptable Ergebnisse liefert, während D2EHPA in einem schmalen pH-Bereich gute Extraktionsraten zeigt.
- Hinsichtlich Temperaturabhängigkeit zeigt sich für beide Extraktionsmittel die gleiche Entwicklung.
- Offensichtlich zeigt D2EHPA deutlich höhere Extraktionskapazitäten als CYANEX 272
- Die meisten Ergebnisse beziehen sich jedoch auf Extraktionen aus sulfatischem Medium.
- Kostenunterschiede:
- Cyanex ca. 42.5 USD/kg, D2EHPA ca. 5.8 CHF/kg.

<sup>18</sup> <https://doi.org/10.1080/01932691.2017.1402338>

## 9.7 Referenz zu Solventextraktions Prozessen

### Scorpion mine

- STANDORT: Namibia, 25 Kilometer nördlich von Rosh Pinah
- DURCHSATZ: 90.000 t SHG Zink (Kapazität 150.000 t /Jahr für oxidisches Zinkerz). Nach Rückgang der Reserven war vorerst eine Umstellung auf sulfidische Konzentrate geplant. In den letzten Jahren fand diese Investition jedoch nicht statt und es wurde die Anlage laut mündlicher Auskunft Vedanta (Februar 2019) lediglich mit einer Kapazität von 70000 t gefahren. Angeblich scheint es aber weitere Erzreserven zu geben.
- INBETRIEBNAME: Inbetriebnahme der oxidischen Skorpion Mine war 2003. Die neue Röstanlage für das sulfidische Erz soll 2020 in Betrieb genommen werden.
- EINGESETZTES MATERIAL: Zink-Erzkonzentrate
- ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN:
  - [www.vedanta-zincinternational.com](http://www.vedanta-zincinternational.com)
  - Das Einsatzmaterial der Hütte wird momentan geändert auf sulfidisches Einsatzmaterial. Dafür wird ein Röster gebaut, wobei die SX Anlage als „Laugenreinigung“ beibehalten wird.

### Akita Zinc Japan (2010)

- STANDORT: Japan
- DURCHSATZ: 25.000 t SHG Zink/Jahr
- INBETRIEBNAME: 2010
- EINGESETZTES MATERIAL: Waelz oxid
- ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN:
  - [www.dowa.co.jp](http://www.dowa.co.jp)
  - Dies ist ein Zubau zu einem bestehende Zinkwerk (Brownfield Lösung)

### AZR American Zinc Recycling (Horsehead)

- STANDORT: USA, Mooresboro, NC
- DURCHSATZ: 135.000 t/Jahr
- INBETRIEBNAME: 2013/2014
- EINGESETZTES MATERIAL: Waelz Oxid und Verzinkungsrückstände
- ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN:
  - Horsehead meldete in der Vergangenheit Insolvenz an (chapter 11 filing). Als einziger Zinkproduzent in den USA ist er von strategischer Bedeutung und wird damit seitens des Staates gestützt. Zurzeit berichtet AZR aber von „Reparaturen“ in deren SX-Anlage in Mooresboro und eine geplante Wiederinbetriebnahme im ersten Quartal 2020. Dies lässt darauf schließen, dass die SX-Anlage seit der Horsehead-Insolvenz nicht mehr in Betrieb war.
  - Seitens Vertretern von Horsehead wurde vor etwa fünf Jahren berichtet, dass man aufgrund zu geringer Effizienz der SX-Anlage nicht die geforderte Reinheit des Elektrolytzinks erreichen konnte und damit keine börsenfähige Qualität, da die Verunreinigungen zu hoch waren. Hierbei handelte es sich um eine mündliche Auskunft.
  - Ebenfalls wurde berichtet, dass aufgrund zahlreicher weiterer Probleme die Anlage nur zu 25 % ihrer Kapazität gefahren werden konnte.

**Portovesme (Glencore)**

- STANDORT: Sardinien, Italien
- DURCHSATZ: 53.000 t/Jahr (nur SX-Anteil)
- INBETRIEBNAME: 2013
- EINGESETZTES MATERIAL: Waelz Oxid
- ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN: „Brownfield Lösung“

**Metalquimica SPAIN (zincex process)**

- INBETRIEBNAME: 1976 (1992 geschlossen)
- DURCHSATZ: 8500 t SHG Zinc

**Portugal Quimigal (zincex process – D<sub>2</sub>EHPA)**

- INBETRIEBNAME: 1980 (1995 geschlossen)
- DURCHSATZ: 11.500 t SHG zinc,

**Met-Mex Penoles (OUTOTEC Technologie, nicht Technicas Reunidas)**

- STANDORT: Torreon, Mexico
- 2017 wurde ein Auftrag an Outotec erteilt, der unter Anderem wahrscheinlich auch die Installation einer SX-Anlage beinhaltete (geplante Inbetriebnahme 2018).

## 9.8 Einschätzung der Referenzanlagen von Tecnicas Reunidas

Linie Tecnicas Reunidas bietet seit etwa 4 Jahrzehnten die Solventextraktion für Zink an und war in der Lage, einige industrielle Anlagen zu realisieren. Outotec bietet seit etwa 10 Jahren ebenfalls SX für Zink an und hat eine Anlage in Planung/Bau, sodass man hier nicht auf Erfahrungswerte zurückgreifen kann.

Im Falle von Tecnicas Reunidas ist grundsätzlich festzustellen, dass es etwas eigenartig anmutet, dass die SX für eine so lange Zeit postuliert und angeboten wird (auch beispielsweise als Substitution der Zementation in primären Standard-Zinkhütten) und dennoch kaum Anlagen umgesetzt sind bzw. zum Teil wieder geschlossen wurden.

Es wird sehr gerne die Scorpion-Anlage in Namibia als Vorzeiganlage erwähnt. Hierzu muss man aber wissen, dass die Solventextraktion hier nicht als Alternative zu einer Standardzinkhütte eingesetzt wurde, sondern aufgrund des Vorliegens eines sehr speziellen Erztyps (nicht sulfidisch, wie der Großteil der Erze), der insgesamt eine unübliche Verfahrenstechnik erfordert. Darum stellt sich natürlich die Frage inwieweit Scorpion tatsächlich als Referenz zu sehen ist. Die Anlage in den USA Horsehead/AZR ist nicht in Betrieb und wurde nach Auskunft der Betreiber auch in der aktiven Zeit wegen unterschiedlicher Probleme nur zu etwa 25 % Auslastung betrieben. Eines der Probleme war laut Aussagen eine zu geringe Reinheit des erzeugten Elektrolyten und damit das Problem keine SHG-Zink-Qualität erreichen zu können. Hier wird seitdem sehr viel unter «vorgehaltener Hand» diskutiert (damit leider nicht zitierfähig).

Dann wären noch Akita Zinc und Glencore. Von Akita gibt es Berichte, dass die Anlage gut läuft. Dies sind allerdings wenige Berichte auf deren Homepage/Veröffentlichungen. Die Schwierigkeit ist, dass hier kaum kritische Literatur existiert und fast ausschließlich seitens Tecnicas Reunidas publiziert wurde, was natürlich die ganze Sache stets im positiven Licht erscheinen lässt.

Zusammengefasst muss gesagt werden, dass es überaus schwierig ist, aus den bestehenden Anlagen zu lernen, weil diese entweder außer Betrieb sind oder kaum Information verfügbar ist.

## 9.9 Einschätzung zur Solventextraktion

In der Literatur [9] finden sich entsprechende Berechnungen für industrielle Anlagen, welche Wälzoxid mittels sulfatischer Laugung und anschließender Solventextraktion in eine Gewinnungselektrolyse überführen. Der Zinkgehalt im Wälzoxid ist dabei deutlich höher als jener im Hydroxidschlamm. Ebenfalls wird im vorliegenden Beispiel keine Zementation durchgeführt.

Ein Vergleich erscheint zum Teil zulässig, da sich die vorliegenden Daten auf eine Tonne produziertes Zink und nicht auf das Ausgangsmaterial beziehen und die Zementation zumindest anlagentechnisch (CAPEX) keinen entscheidenden Mehraufwand darstellt.

Schwieriger gestalten sich die Betriebskosten (OPEX), da hier der zusätzliche Zinkverbrauch für die Zementation zu berücksichtigen ist. Die vorliegenden Daten wurden von Tecnicas Reunidas S.A. 2011 veröffentlicht. Weitere Recherchen ergeben kaum Informationen zu Anlagenkosten. Die gegenständliche Veröffentlichung bezieht sich auf eine Zinkhütte mit einer Zink-Produktion von 100 000 t/a, was einer durchschnittlichen eher kleineren Zinkhütte entspricht. Die Produktion soll vollständig durch Wälzoxid gespeist werden, welches gelöst und über Solvenextraktion gereinigt wird.

Damit ergibt sich weiter die Schwierigkeit eines „Downscalings“ um einen Vergleich zu ermöglichen. Da die gegenständliche SwissZinc-Anlage eine überaus kleine Einheit darstellt und keine weltweit existierende Anwendung von Solventextraktion im Zinkbereich unter 25 000 t/a Zink vorliegt, ist davon auszugehen, dass in diesem Maßstab ohnehin keine Vergleichsdaten verfügbar sind.

Folgende Daten sind laut Literatur für die angesprochene 100 000 t/a Anlage verfügbar (alle Angaben pro t SHG-Zink):

Reagents and utilities:	350 USD/t
Labour:	100 USD/t
Maintenance:	25 USD/t
Contingency:	50 USD/t
Sum:	525 USD/t

Da man hier alleine bei der Gewinnungselektrolyse von einem Energieaufwand von 3400 kWh/t ausgeht, erscheint die erste Position als zu niedrig, speziell für mitteleuropäische Verhältnisse. Eine Korrektur auf 425 USD/t und damit eine Summe von 600 USD/t wäre hier wahrscheinlich zulässig da sich auch die spezifischen Personalkosten bei kleineren Anlagen für gewöhnlich nach oben entwickeln. Für SwissZinc liegen die Kosten zwischen 1'600 und 2'800 CHF/t SHG Zink, beinhaltet aber nicht nur die Solventextraktion sondern auch die restlichen Verfahrensschritte sowie die Investitionskosten.

Des Weiteren gibt es Hinweise, dass in der vorliegenden Berechnung von Tecnicas Reunidas keinerlei Kosten für die Entsorgung von Abfällen enthalten sind.

Vergleicht man diese Werte auch unter Berücksichtigung eines „Downscalings“ mit den Angaben zum SwissZinc Verfahren, erscheinen die von SwissZinc angenommenen CAPEX (64 Mio. CHF) und OPEX (ca. 2500 CHF pro erzeugter Tonne Zink) als überaus seriös und plausibel. Der Faktor 50 zwischen dem geplanten SwissZinc-Verfahren und einer dargestellten Industrieanlage mit gängigen jährlichen Produktionsmengen im Zinksektor lässt natürlich die Frage offen, ob ein Vergleich wirklich möglich ist.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die geplante SwissZinc-Anlage dermaßen klein ist, dass die Anlagentechnik eine Speziallösung/Sonderanfertigung darstellt, welche keine Vergleichswerte zulässt, da die kleinste der wenigen verfügbaren industriell umgesetzten Anlagen bereits mehr als eine Zehnerpotenz größer ist. Ein direkter Kostenvergleich ist daher nicht realistisch.

Eine realistische Beurteilung ist nur dann möglich, wenn SwissZinc eine detaillierte Liste der Anlagentechnik mit Anschaffungskosten vorlegt und entsprechend Zeit für den Vergleich mit Kleinanlagen zur Verfügung steht.

## 9.10 Zusammenstellung der Grunddaten

Tabelle 4: Übersicht der Grunddaten

	Einheit	Vollausbau 85 % Beteiligung		Vollausbau 100% Bet.		Stand 2019
		Menge	Preis [CHF/Einheit]	Menge		
<b>Betriebsmittel</b>						
Brantkalk CaO	t/a	3'100	196	3'647		-
Strom (3.5 kWh/kg Zn)	MWh/a	8'370	69	9'847		-
Zinkpulver	t/a	170	3'092	200		-
Salzsäure (32%)	t/a	9'730	40	11'447		-
Schwefelsäure (96 %)	t/a	450	92	529		-
Trinkwasser	m3/a	128'800	1.6	151'529		-
Warmwasser	m3/a	551'400	0.1	648'706		-
Wasser enthärtet	m3/a	8'500	5.8	10'000		-
Kühlwasser	m3/a	68'360	0.10	80'424		-
Betriebswasser	m3/a	7'360	0.09	8'659		-
Komplexbildner	t/a	1	5'865	1		-
Lösungsmittel (ohne VOC-Abgabe)	t/a	7	1'081	8		-
<b>Betrieb</b>						
Entsorgung	t/a	4'300	140	5'059		-
Unterhalt (1.5 % von CAPEX)	CHF/a	616'078	-	616'078		-
Personal (13 Vollzeitstellen)	CHF/a	1'800'000	-	1'800'000		-
Abschreibungszeit	a	15	-	15		-
<b>Weiteres</b>						
Abfallmenge für SwissZinc	Mio. t/a	3.5		4.1		
Flugasche für SwissZinc (FA)	t/a	68'000		80'000		
Hydroxidschlamm 100% TS	t/a	7'480		8'800		
Hydroxidschlamm (30% TS)	t/a	25'000	-	29'000		17'000
Zinkmenge FA (Zinkgehalt FA: 40 kg/t)	kg Zn/t FA	2'720		3'200		
Zinkmenge HS (Zn Ausbeute FLUWA: 65%)	kg Zn/t HS	1'768		2'080		
Zinkproduktion SHG (SwissZinc Ausbeute: 97%)	t/a	2'000	-	2'320		750
Gate-fee	CHF/t	262	-			-
Zinkpreis	CHF/t	2'120	-	2120		-
Zinkgehalt Asche	kg Zn / t FA	40	-	40		-
Zinkgehalt HS (bez. TS)	g/kg Zn	240	-	240		150
Pb-Gehalt HS (bez. TS)	g/kg Pb	53	-			1.5
Cd-Gehalt HS (bez. TS)	g/kg Cd	3.0	-			1.3
Cu-Gehalt HS (bez. TS)	g/kg Cu	15	-			0.13
Ursprüngliche Investitionskosten	Mio. CHF	69	-			-
Zins	%	1.4%	-			-

## 9.11 Investitionskosten SwissZinc-Anlage

Die Neuberechnung der Anlage ist eine Synthese von Marktpreisen vergleichbarer Komponenten (hauptsächlich von KVAs), eigenen Abschätzungen und den Ist-Kosten für den Bau der FLUREC-Anlage

Die Investitionskosten beinhalten die dazugehörigen Rohrleitungen, Armaturen, Behälter, Reaktoren, Pumpen, Bühnen, EMSR-Geräte, Montage, IBN und Dokumentation.

**Tabelle 5: Investitionskosten**

<u>Objekt/Position</u>	<u>Kostenschätzung</u>		
	tief	mittel	hoch
Schlamm bunker	1'500'000	1'900'000	2'570'000
HS-Laugung	1'417'500	3'100'000	5'940'000
Zementierung	1'559'400	2'700'000	3'960'000
Solventextraktion	5'040'000	5'470'000	5'470'000
Elektrolyse	6'090'000	6'090'000	6'090'000
ABA & Abluft	3'230'000	3'800'000	5'130'000
Automatische Zn-Ernte	3'580'000	3'640'000	3'640'000
Chemikalienversorgung	891'000	1'100'000	1'860'000
EMSRL	2'848'800	3'336'000	3'420'000
Diverses	1'165'000	1'390'000	1'733'000
Engineering (Anlagen)	4'662'000	5'560'000	8'010'000
<b>Total Anlagen</b>	<b>31'983'700</b>	<b>38'086'000</b>	<b>47'823'000</b>
Gebäude	12'000'000	15'000'000	17'000'000
<b>Total Anlagen und Gebäude</b>	<b>43'983'700</b>	<b>53'086'000</b>	<b>64'823'000</b>
Projektleitung	6'598'000	7'963'000	9'723'000
Baurechtzins	200'000	200'000	200'000
Erstbefüllung	500'000	500'000	500'000
Unvorhergesehenes	2'374'000	2'780'000	4'010'000
Lizenz Solventextraktion	1'300'000	1'300'000	1'300'000
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>54'955'700</b>	<b>65'829'000</b>	<b>80'556'000</b>
<b>Amortisation</b>			
Beitrag Bund	3'000'000	3'000'000	3'000'000
Eigenkapital (85% Beteiligung)	13'000'000	13'000'000	13'000'000
Finanzierung auf Kapitalmarkt	38'955'700	49'829'000	64'556'000
Zinssatz	0.014	0.014	0.014
Abschreibungsdauer	15	15	15
Abschreibung pro Jahr	2'597'000	3'322'000	4'304'000
Zins	545'000	698'000	904'000
<b>Jährlicher Kapitalaufwand</b>	<b>3'142'000</b>	<b>4'020'000</b>	<b>5'208'000</b>



## 9.12 Betriebskostenzusammenstellung und Auswirkung auf die Gate-Fee

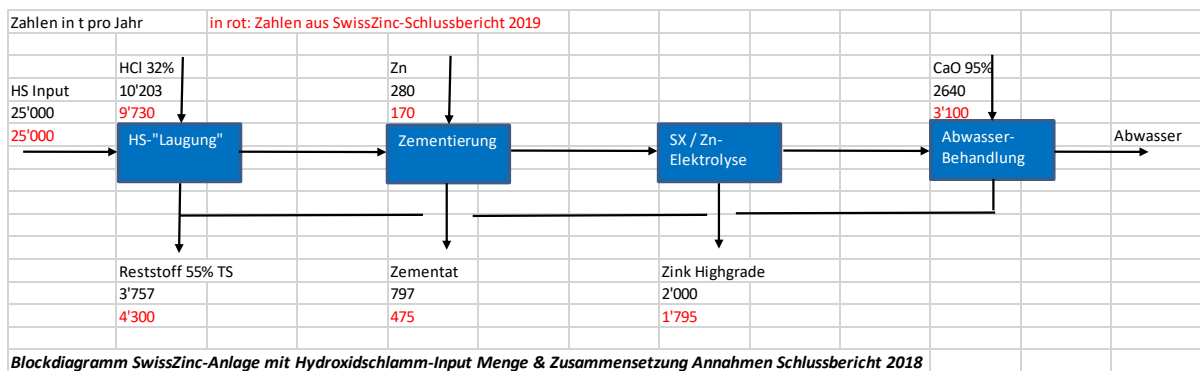
**Tabelle 6: Betriebskosten**

Szenarien:	0)	1)	2.1)	2.2)	3)
	Angaben SwissZinc	Heute	Neurechnung SwissZinc		Zn-Optimiert
	85%	100%	85%	100%	100%
Beteiligung					
<b>Betriebsmittel</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>
Komplexbildner	13'000	2'610	5'916	8'074	2'350
Lösungsmittel	-	3'000	6'800	9'280	2'701
Lösungsmittel VOC	-	-	-	-	-
Brantkalk CaO	604'500	314'340	507'692	597'285	556'530
Strom	577'530	222'525	593'400	688'344	619'806
Zinkpulver	618'400	24'736	865'760	1'004'900	219'532
Salzsäure HCl 32%	389'200	249'120	408'120	473'440	-
Trinkwasser	206'080	78'377	206'080	242'447	218'307
Warmwasser	55'140	20'971	55'140	64'871	58'411
Wasser enthärtet	49'300	18'750	49'300	58'000	52'225
Schwefelsäure H2SO4 96%	41'400	15'745	41'400	48'706	498'612
Diverse + Reserve	11'000				
Kühlwasser	6'836	2'600	6'836	8'042	7'242
Betriebswasser	662	252	662	779	702
<b>Gesamt</b>	<b>2'573'048</b>	<b>953'027</b>	<b>2'747'107</b>	<b>3'204'168</b>	<b>2'236'419</b>
<b>Betriebskosten</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>	<b>Kosten [CHF/a]</b>
Betriebsmittel	2'573'048	953'027	2'747'107	3'204'168	2'236'419
Personal	1'800'000	1'625'000	1'625'000	1'625'000	1'625'000
Wartung und Unterhalt (% von Prozessanlagekosten)	900'000	953'400	953'400	953'400	953'400
Entsorgung Rückstände	602'000	600'000	525'980	610'120	2'166'360
<b>TOTAL</b>	<b>5'875'000</b>	<b>4'131'000</b>	<b>5'851'000</b>	<b>6'393'000</b>	<b>6'981'000</b>
<b>Berechnung des Annahmepreises P_Gate</b>					
angenommene HS-Menge (30%) [t/a]	25'000	17'000	25'000	29'000	29'000
Betriebskosten [CHF/a]	5'875'048	4'131'427	5'851'487	6'392'688	6'981'179
Abschreibungskosten [CHF/a]	4'275'333	4'020'000	4'020'000	4'020'000	4'020'000
Zinkpreis [CHF/t]	2'120	2'120	2'120	2'120	2'120
<b>Gate Preis [CHF/t HS (30%)</b>	<b>262</b>	<b>386</b>	<b>229</b>	<b>194</b>	<b>214</b>

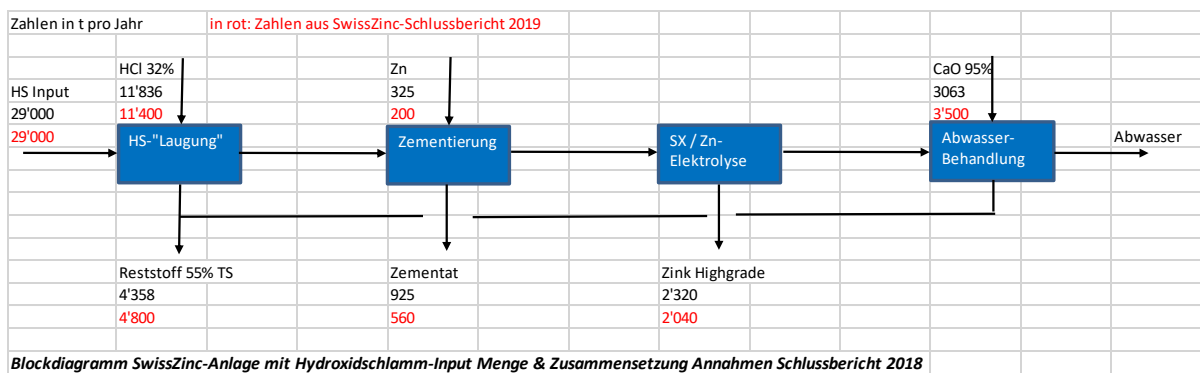
### Erläuterungen:

- HS-Zusammensetzung wurde gemäss [1] angewendet und hat dementsprechend Einfluss auf CaO, HCl, Zn-Pulver und die Rückstände
- Strom: 3.5 kWh pro kg Zink plus 0.8 kWh pro kg Zink für den Rest der Anlage
- Wartung und Unterhalt jährlich 2% von CAPEX
- Zinkpulver: stöchiometrische Berechnung der Zinkmenge für die Zementierung von Pb, Cu und Cd und diese aufsummiert. Davon 10% Überstöchiometrie.
- Entsorgung: 140 CHF/t





**Abbildung 8: Szenario 2.1, mit 85 % KVA Beteiligung**



**Abbildung 9: Szenario 2.2, mit 100 % KVA Beteiligung**

### 9.13.3 Szenario 3 (ökonomische Variante)

Aus der Sicht eines wirtschaftlichen Betriebs der SwissZinc-Anlage, der trotzdem eine weitgehende (Hg, Zn, Cd) resp. teilweise (Pb) Entfrachtung der Flugaschen und Rückgewinnung der Metalle ermöglicht, sollten bei der Maximierung der Ausbeute von Cu und Pb Abstriche gemacht werden. Damit könnte auch die Verwendung von Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) anstelle von Salzsäure (wieder) in Betracht gezogen werden.

Die hohe Salzfracht im Abwasser der SwissZinc-Anlage wurde zwar mit der EAWAG-Studie als tragbar und zulässig eingestuft; die Anlieferung und der Umschlag von über 11'000 t Salzsäure jährlich ist trotzdem unschön und birgt auch ein wirtschaftliches Risiko: Der Preis für das „Nebenprodukt“ ist an die Produktion von Chlororganischen Stoffen gekoppelt; wird deren Produktion (z.B. aus politischen Gründen – die Chlororganischen Stoffe sind letztlich auch ein relevanter Faktor in der Abfallwirtschaft) gedrosselt, steigt der HCl-Preis.

Wir haben deshalb eine Variante mit Verwendung von Schwefelsäure statt Salzsäure modelliert. Dem geringeren Säureverbrauch steht eine höhere Reststoffmenge entgegen.

Bei der Zusammensetzung des HS wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

Zn 235 g/kg (wie Annahme SwissZinc für optimierte FLUWA's)

Cd 3 g/kg (wie Annahme SwissZinc für optimierte FLUWA's)

Pb 17.4 g/kg (Messwerte VRI von Tests 1998 bei KEBAG, mit RESH-Mitverbrennung und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Dosierung, Extraktionsraten aus der Flugasche von rund 60% – die von SwissZinc erwarteten 53 g/kg im HS sind nicht nachvollziehbar)

Cu 0.13 g/kg (wie HS-Zusammensetzung Heute, d.h. ohne gezielte Cu-Extraktion)

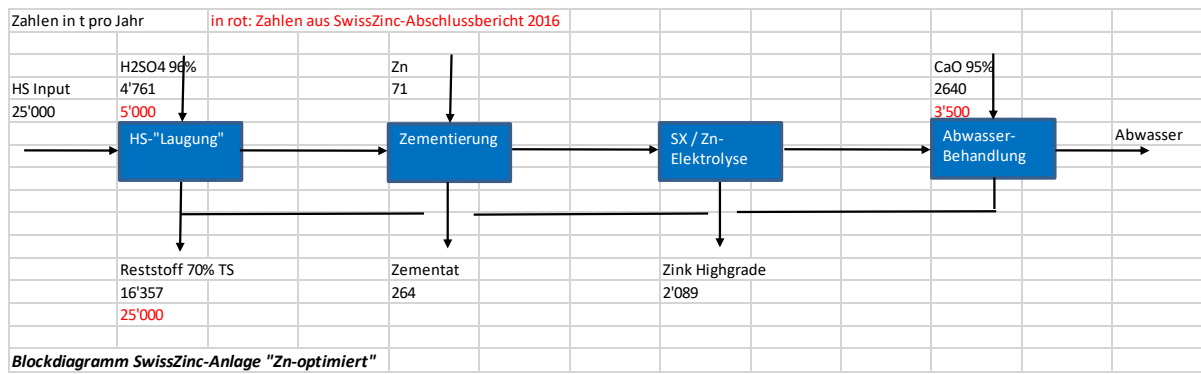
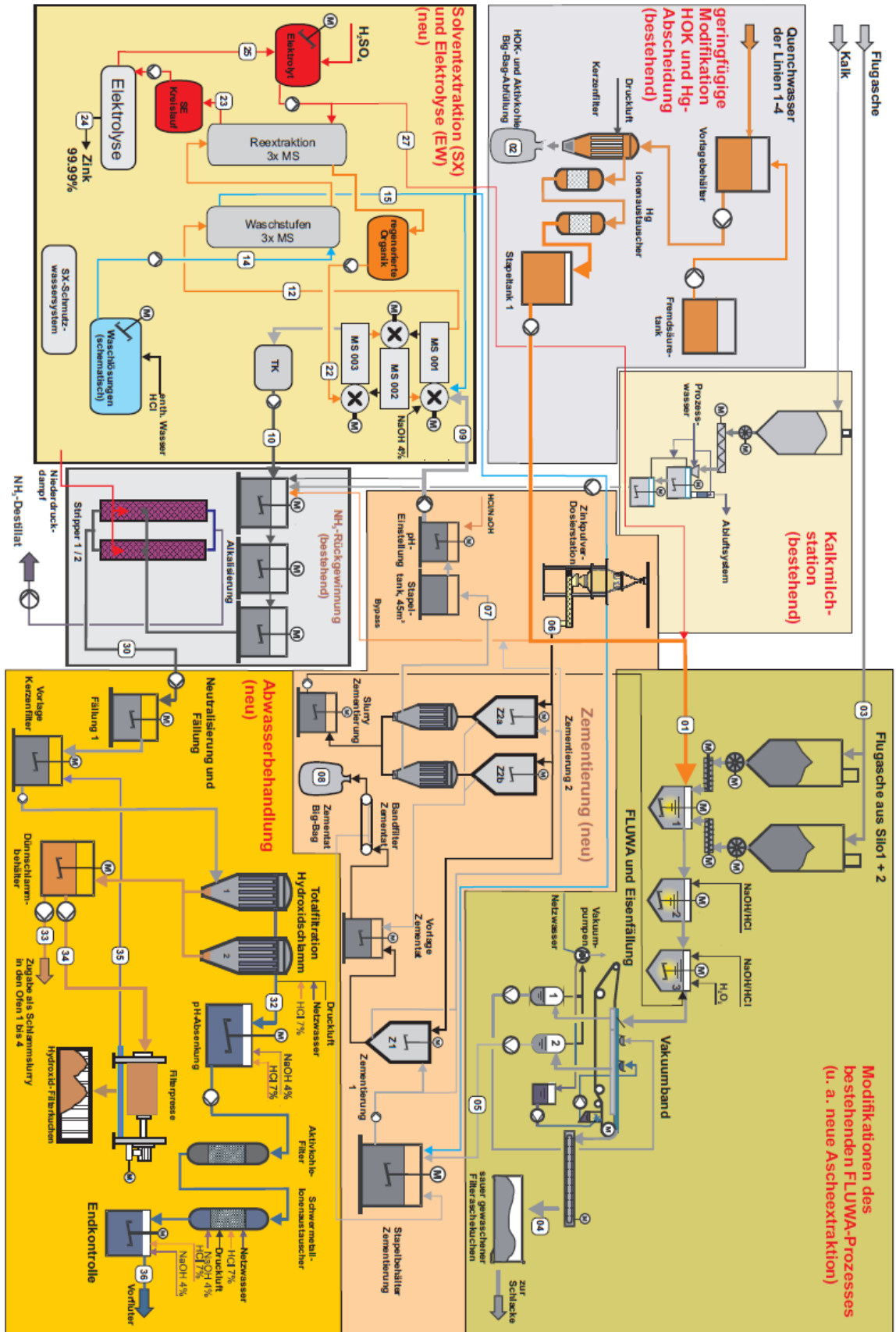


Abbildung 10: Szenario 3, ökonomische Variante mit Schwefelsäure

## 9.14 FLUREC-Verfahren



**SwissZinc - Grundfliessbild**  
(17.10.2018)

