



**Kanton Zürich
Baudirektion**

Ausführungen zur Stellungnahme vom 3.4.23 zum Projektbericht MetExSlag vom März 2023 «Vergleich von verschiedenen Aufbereitungs- verfahren für KVA-Schlacken»

Dr. Leo Morf
AWEL, Sektion Abfallwirtschaft
(Begleitgruppenmitglied des Projekts MetExSlag)

Stellungnahme von Leo Morf (ZH) als Begleitgruppenmitglied des Projekts MetExSlag
zum
Projektbericht MetExSlag

«Vergleich von verschiedenen Aufbereitungsverfahren für KVA-Schlacken»
von Urs Eggenberger, datiert März 2023
der Begleitgruppe per mail zugestellt durch Urs Eggenberger am 16.3.2023



Projektbericht

MetExSlag

Vergleich von verschiedenen Aufbereitungsverfahren
für KVA-Schlacken

Urs Eggenberger

Fachstelle für Sekundärrohstoffe
Institut für Geologie, Baltzerstrasse 1+3, 3012 Bern

Bern, März 2023

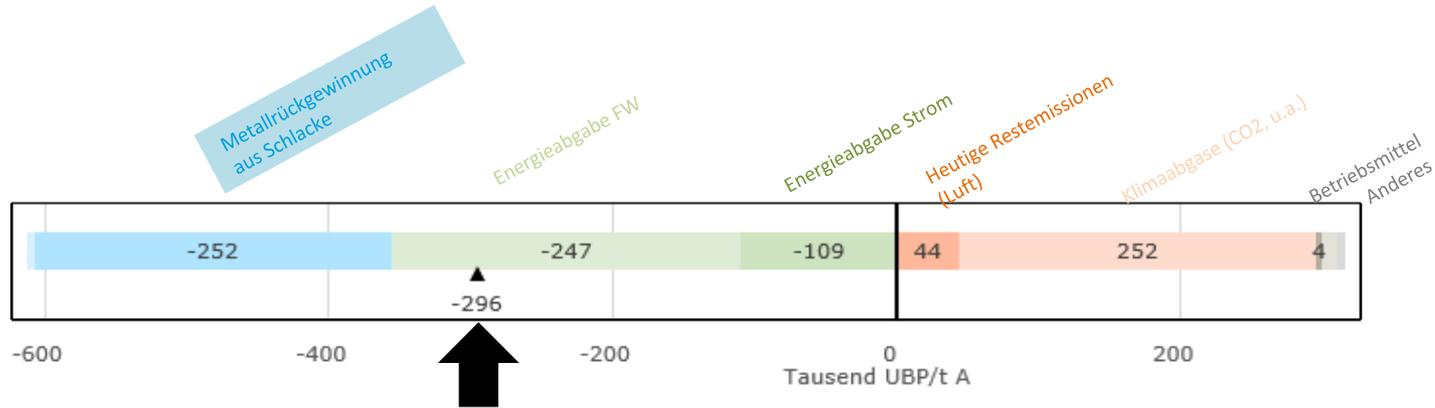


1. Wie gross ist die ökologische Relevanz der Metallrückgewinnung aus KVA-Schlacke?



In einer KVA

Gesamtökologische Bedeutung der Metallrückgewinnung heute in hocheffizienten KVA ähnlich wichtig, wie diejenige der Wärmenutzung (Fernwärme) oder grösser als die der Stromgewinnung - mit zunehmender Bedeutung! (zukünftige CO₂-Neutralität der Energieversorgung)



Gesamtresultat
(Netto-Nutzen)

Bsp. KVA Hagenholz, Stadt Zürich:
Umweltbelastungspunkte (UBP) anhand von
IST-Wertdaten (Auswertung mit dem [KVA Tool](#)
zur Bewertung der Gesamtökologie von KVA)

Ökoeffektivität:

**0.4 Gew.-% NE
aus KVA-Schlacke
zurück in den
Primärmetallkreislauf**



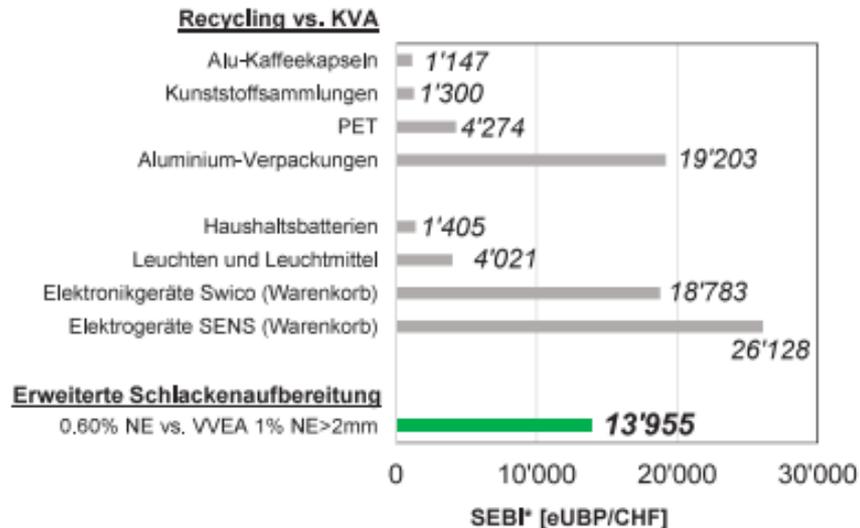
**6%- Anteil
am ökol. Gesamtnutzen
von Massnahmen in der
Siedlungsabfallwirtschaft**

R. Bunge, 2017

In der Abfallwirtschaft

Ökoeffizienz:

Ist für die NE- Metall-
rückgewinnung
aus KVA-Schlacke
im Vergleich
zu anderen Massnahmen
in der Abfallwirtschaft
sehr hoch.



Quelle: R. Bunge, Hochschule
Rapperswil ([link](#))



Fazit 1:

Ökologische Relevanz der NE-Metallrückgewinnung aus KVA-Schlacke ist bedeutend für eine KVA und in der Abfall- und Ressourcenwirtschaft!

→ Verlässlich den IST-Zustand zu bestimmen und Potentiale zu eruieren sind wichtig, um den Stand der Technik zu beschreiben und weiterzuentwickeln.

2. Wo liegt der hauptsächlich ökologische Nutzen der KVA-Schlackenaufbereitung mit Metallrückgewinnung?

Mit einem Zeithorizont bis in 1000 Jahren ist bei der Aufbereitung von KVA-Schlacke mit Metallrückgewinnung der Beitrag zum ökologischen Gesamtnutzen wie folgt:

75-99%*: durch die Substitution von Primärmetallen (Schliessen des NE-Kreislaufes).

1-25%*: durch die Reduktion der Deponie - Nachsorgerisiken (NE-Restgehalt)

[Mehr et al. \(2021\)](#)

* abhängig von der Ökobilanzbewertungsmethode

Neben der Menge der jeweils zurückgewonnenen Metalle hat auch deren spezifische Umweltbelastung (CO₂-eq. bzw. UBP/kg Metall) sehr grossen Einfluss bzgl. der ökologischen Relevanz !

Besonders hoch bei schwierig zu messenden Edelmetallen, wie z.B. Au, Ag!

Substitution von Primärmetallen:	IPCC 2013 (kg CO ₂ -eq)/kg		MdöK (UBP)/kg	
Al	18	1	12'386	1
Cu	5	0.3	132'408	11
Pb	2	0.1	96'846	8
Ag	410	22	4'200'285	339
Au	15'477	843	135'939'002	10'976

Tabelle: Cu, Pb, Ag, Au im Vergleich zu Al; Quelle: [Mehr et al. \(2021\)](#), [Mehr, Haupt, Hellweg \(2021\)](#)



Fazit 2:

Wir brauchen zur Bestimmung des ökologischen Nutzen:

Solide, transparente Information zu effektiven Schmelzausbeuten für die relevanten NE-Metalle aus der KVA-Schlacke!

**Stellungnahme Pkt. 4:
Keine genug repräs.
Mengen
für Schmelzen**

3. Wie ist der ökologische Nutzen der Metallrückgewinnung aus KVA-Schlacke zu bestimmen (Methoden)?

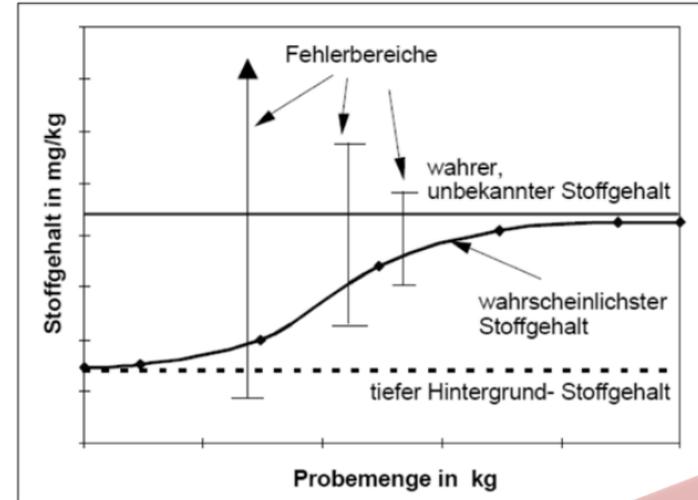
Sampling-/ Messmethoden:

Um repräsentative, nicht verzerrte Resultate garantieren zu können, ist die Theory of sampling (TOS) konsequent anzuwenden.

Repräsentative Stichproben umfassen gemäss TOS drei wichtige Konzepte

[\(Esbensen und Wagner 2014\)](#):

- i) Korrektheit (sampling correctness)
- ii) Unverzerrtheit (sampling bias)
- iii) Varianz (sampling variance)



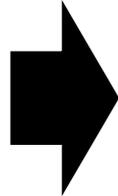
Quelle: [Skutan and Haag \(2018\)](#),
adaptiert an Pitard, 1998

Stellungnahme Pkt. 4:
Keine genug repräs. Mengen
für Schmelzen

Wahl der Systemgrenzen für Messungen

i) GUT (Korngrößenbereich für NE-Gehaltsbestimmung in KVA-Schlacke)

1. Verschiedene Labor-Methoden* für gleiche Schlackenaufbereitungs-Technik:
→ Einzelne Korngrößenbereiche werden unterschiedlich/nicht betrachtet.
2. Verschiedene Labor-Methoden* für unterschiedliche Techniken
→ 1. sowie wird Material unterschiedlich in Korngrößenbereiche transferiert und unterschiedlich erfasst



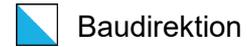
Die Folge ist bei gleich bleibender Grundgesamtheit (Schlackenmenge <16mm): Gemessener NE-Gehalt ist gegenüber wahrem NE-Gehalt systematisch kleiner. Dies gilt für Restschlacke (Verlust in die Deponie) und Rohschlacke (Potential).

Stellungnahme Pkt. 2 :
Betrachtungsweise mit VVEA-VH (2-16mm) nicht ausreichend, und Methodenvergleich fehlt

* Hier vereinfacht nur bzgl. berücksichtigter Korngrößenbereiche unterschiedlich

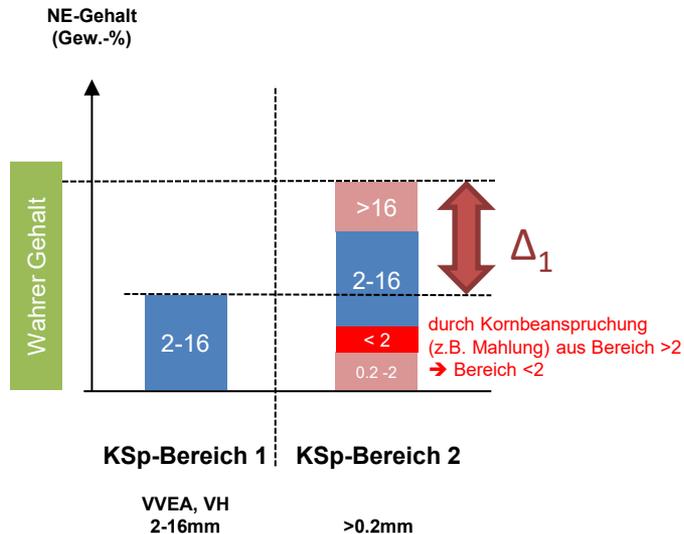
Ein Beispiel

(Schematisch, vereinfacht dargestellt, ohne allfällig stattfindende Korrosionsverluste):



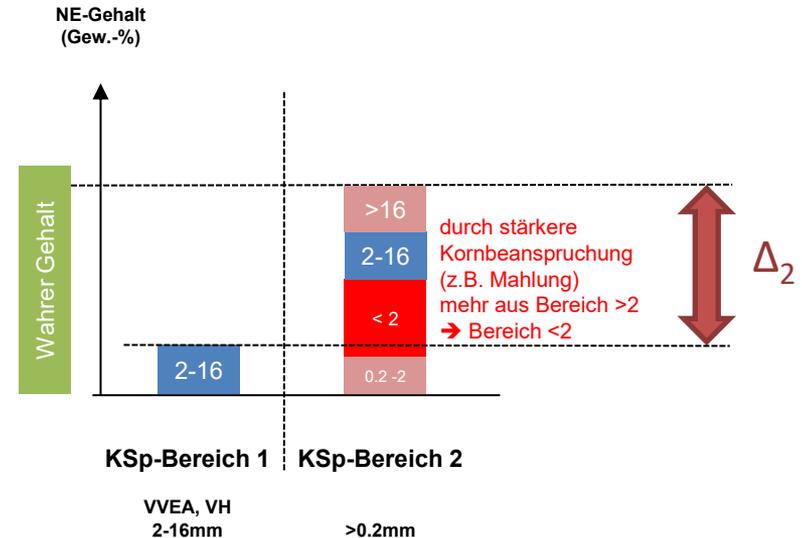
Technik 1

(Schlackenaufbereitungsanlage A mit schwacher Kornbeanspruchung bzw. schonende Zerkleinerung)

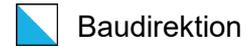


Technik 2

(Schlackenaufbereitungsanlage B mit starker Kornbeanspruchung bzw. forcierter Mahlung)



ii) PROZESSE (Prozesskette)



Baudirektion

Aufbereitung

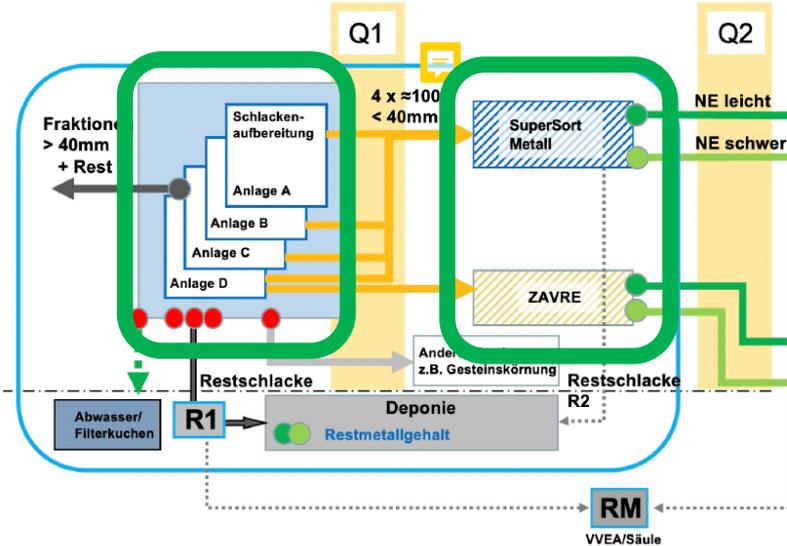
> Probennahmekonzept Q1

Veredelung

Veredelung

Q2 supersort©metall

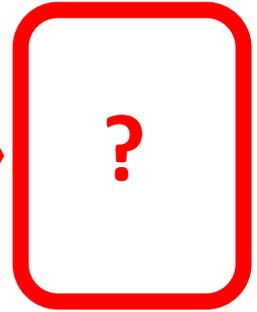
Schmelzprozess



NE-leicht bzw. NE-schwer				NE-Mix	
<8 mm	8-20 mm	20-30	30-40		
L1F	L1	L2	M1	M2	
	S1	S2			
Aufbereitung + Abluft		R2S	R2E		

NE-leicht bzw. NE-schwer				NE-Mix	
<8 mm	8-15 mm	15-30	30-40		
L1F	L1	L2	M1	M2	
	S1	S2			

Veredelung Q2 Thermorevolv...



Stellungnahme Pkt. 4:
Für Schmelzprozess nach Veredelung:
Keine ausreichend repräsentativen Messungen
der Schmelzausbeuten

iii) Art der Material-Bilanzen



Baudirektion

Bewertungskriterien sind der üblicherweise angewandten Technologie angepasst zu wählen.

Im Falle der Schlackenaufbereitung mit NE-Rückgewinnung ist die angewandte Technologie praktisch ausschliesslich mechanische Verfahrenstechnik.

Diese Verfahren können bekannterweise chemisch-gebundene Verbindungen nicht trennen bzw. in eine Form zur Substitution von Primärmaterialien umwandeln.

Bem.: Nur abgetrennte und aufbereitete Metallfraktionen werden am Schluss einer Schmelze zugeführt.

Stellungnahme Pkt. 1:
Gesamtchemiebilanzen alleine
sind nicht zielführend



Fazit 3: Wir brauchen

i) Messmethoden, welche

- dem TOS-Konzept gerecht werden (Sampling)
- die in den letzten Jahren stattgefundene technologische Entwicklung abbilden können; VVEA-Vollzugshilfe 2-16mm ist überholt

ii) Eine Systemgrenzenwahl, welche die relevanten Prozesse der ganzen Prozesskette einbezieht.

iii) Einer Technik entsprechende Bewertungskriterien

→ Ansonsten Fehlbeurteilungen bezüglich:

- NE-Ausbeuten (*falls nicht direkt im Schmelzwerk bestimmt*)
- NE-Einträge in Deponien
- NE-Potentiale in Rohschlacken

Wichtigste Punkte der Stellungnahme zum Bericht vom März 2023



Baudirektion

1: Gesamtchemiebilanzen alleine nicht zielführend

Gesamtchemische Bilanzen erst zielführend, wenn andere Techniken (aufwändige Waschverfahren, Schmelzverfahren etc.) ins Spiel kommen sollten. Dann ist neben dem ökologischen Nutzen einer zusätzlichen Metallrückgewinnung nicht partikulär vorliegender Metalle aber auch mit deutlich grösserem Aufwand (= ökologische Belastungen) zu rechnen.

Empfehlung: Zusätzlich zu den Gesamtchemiebilanzen auch die partikulären NE-Metallanteile bzw. deren «Bilanzen» bestimmen und darstellen.

2: Methode gemäss Vollzugshilfe (BAFU 2-16mm) nicht ausreichend bzw. überholt

Empfehlung:

- **Separaten Bericht zum Methodenvergleich, wie vorgesehen, auch öffentlich machen.**
- **Im Bericht möglichst die Methode mit den repräsentativsten (nicht verzerrten) Resultaten für den Vergleich zwischen den Verfahren verwenden.**
- **Auch detaillierte Resultate der Restmetallbestimmungen der R2-Schlacken im Bericht in einem Anhang darstellen.**



3: Bericht ist zu wenig detailliert und nicht klar nachvollziehbar bezgl. der Vorgehensweise zur Bestimmung der Anteile ökologisch (und ökonomisch) relevanter zurückgewonnener NE-Metalle

Empfehlung: In einer Revision unklare Teile des Berichts überarbeiten/ergänzen.

4. Keine ausreichend repräsentativen Messungen der Schmelzausbeuten

Empfehlung:

Der Bericht ergänzen mit den fehlenden detaillierten Daten zu den Versuchen aus den supersortmetall-Versuchen (Gesamtschmelzanalysen für relevante Metalle je Anlage A-D). Allfällig grosse Differenzen der Metallerträge beim Vergleich der Schmelzanalysenresultate auf Basis der Gesamtmengen im Bericht diskutieren und beschreiben. Falls notwendig noch vorhandene Rückstellproben verwenden.

Fazit und Empfehlungen für nächste Schritte

1. **Bericht, wenn möglich bzgl. der Empfehlungen überarbeiten/ ergänzen; Alternativ: Stellungnahmen im Anhang veröffentlichen.**
2. **Anpassung der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA): Probennahme von Abfällen für den Teil zur Schlacke**
Nach neustem Kenntnisstand durch die Uni Bern (G. Weibel) mit S. Skutan erarbeiteter Methodenbeschrieb steht ab Ende Jahr dafür zur Verfügung.
3. **Erhebung der ökol. relevanten Daten zur Metallrückgewinnung aus KVA-Schlacke (Fokus Schmelzerträge).**

**Vielen Dank
für die Aufmerksamkeit
und ihr Interesse!**

BACK-UP

Zu Folie 4 bzgl. Ökoeffektivität:

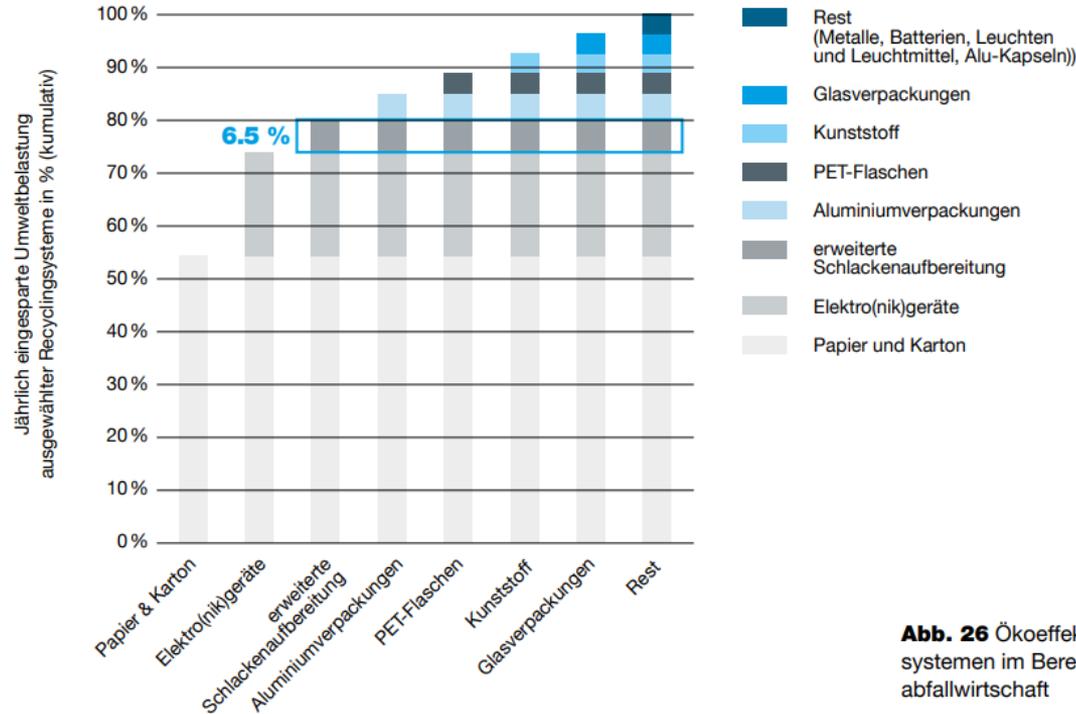
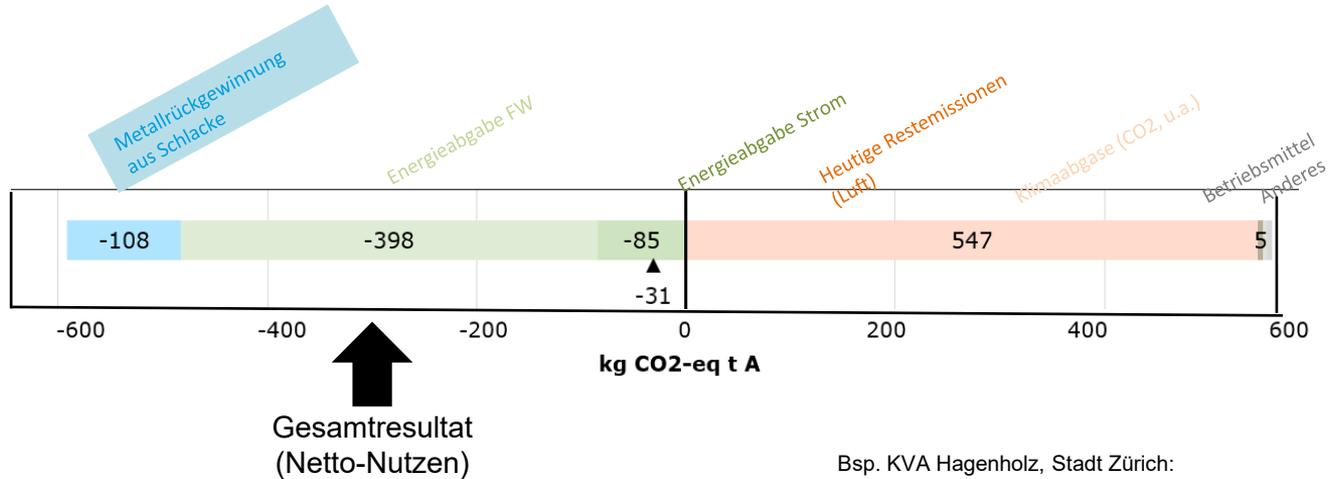


Abb. 26 Ökoeffektivität von Recyclingsystemen im Bereich der Siedlungsabfallwirtschaft

Siehe Massnahmenplan [Abfall- und Ressourcenwirtschaft Kt. ZH](#)
Quelle:
R. Bunge, 2017

Zu Folie 2: CO₂-Netto-Emissionen statt UBP:



Bsp. KVA Hagenholz, Stadt Zürich:
kg CO₂-eq./t Abfall anhand von
 IST-Wertdaten (Auswertung mit dem [KVA Tool](#)
 zur Bewertung der Gesamtkölogie von KVA)

Böni (10min.)

- Prozesskette zeigen
- Aufzeigen der Systemgrenze im Projekt
- Schlussfolgerungen daraus
 - Diskrepanzen quantitativ

- Fazit: Für Betrieb relevant sind zurückgewonnene Metalle.
- Bericht hat in dieser Form «keinen» Nutzen
- Stellungnahme in soll Bericht
- Nächste ökol. Bilanz ist für Betrieb relevant



- - Bericht sollte Aussage zu Schmelzausbeuten liefern, kann es aber nicht
- Bericht sollte Bilanz für partikulär vorliegende Metalle für möglichst vollständigen Korngrößenbereich liefern, kann es aber nicht