

Abfälle als Rohstoffquelle – welches Potential steckt darin?

Dr. Ing. Martin F. Lemann

AVUT Consulting Dr. Ing. Martin F. Lemann

Abfall - Verfahrens - Umwelt - Technik

Stägenbuckstrasse 15B, CH-8600 Dübendorf

tel & fax: +41-44-821 54 18, mobil: +41-79-436 28 32, e-mail: info@avut.ch

home page: www.avut.ch

Inhaltsangabe

- Einleitung – aktuelle Situation auf dem CH-Abfallmarkt
- Vorstellung der Wertstoffrückgewinnung aus Müllschlacke durch ZAR
- Vorstellung der hydrothermalen katalytischen Methanisierung von Klärschlamm durch Hydromethan AG
- Zusammenfassung / Schlussfolgerungen

Einleitung – aktuelle Situation auf dem CH-Abfallmarkt

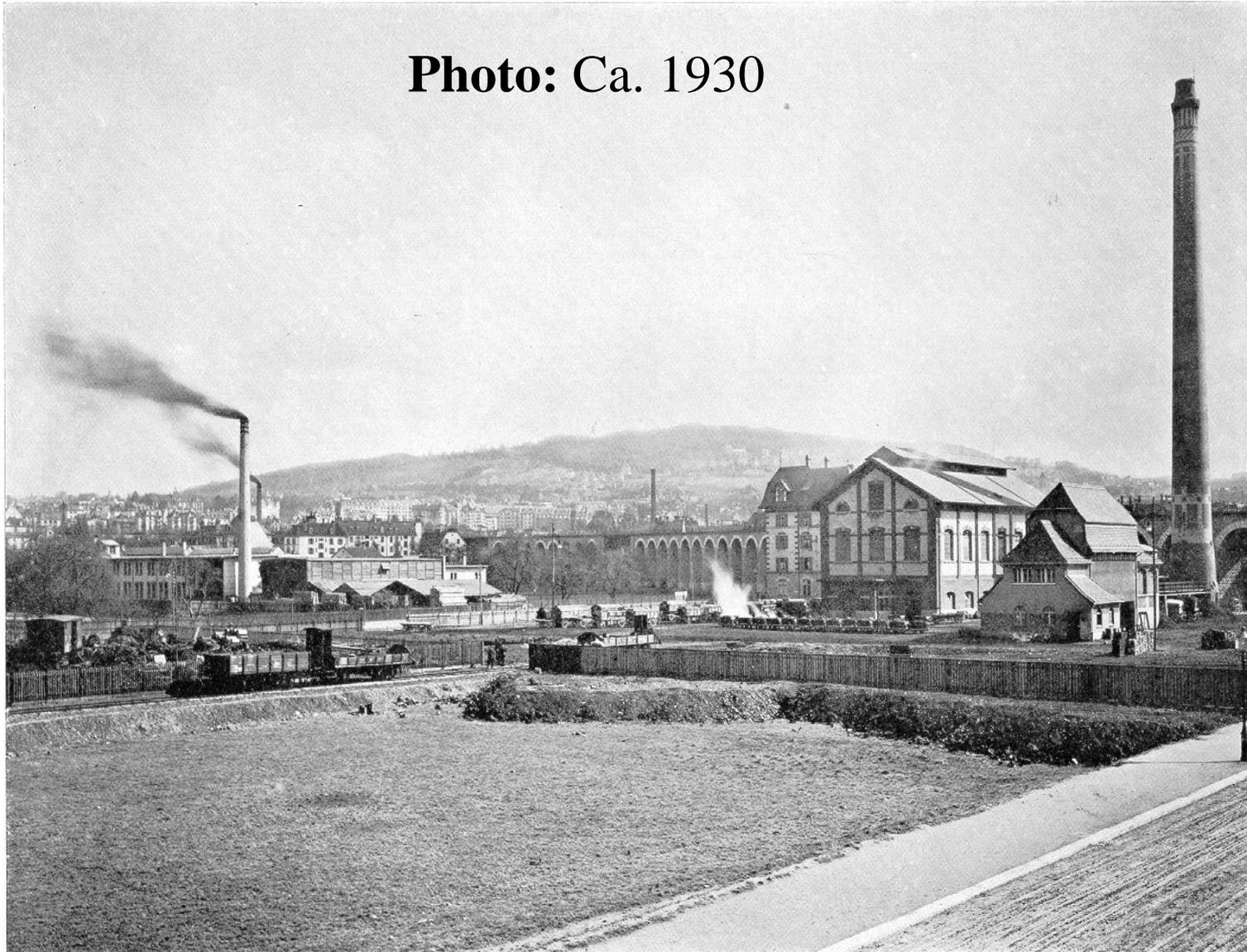
Stadt Zürich: Kehrichtverbrennungsanstalt

Gesamtansicht

Photo: Ca. 1930

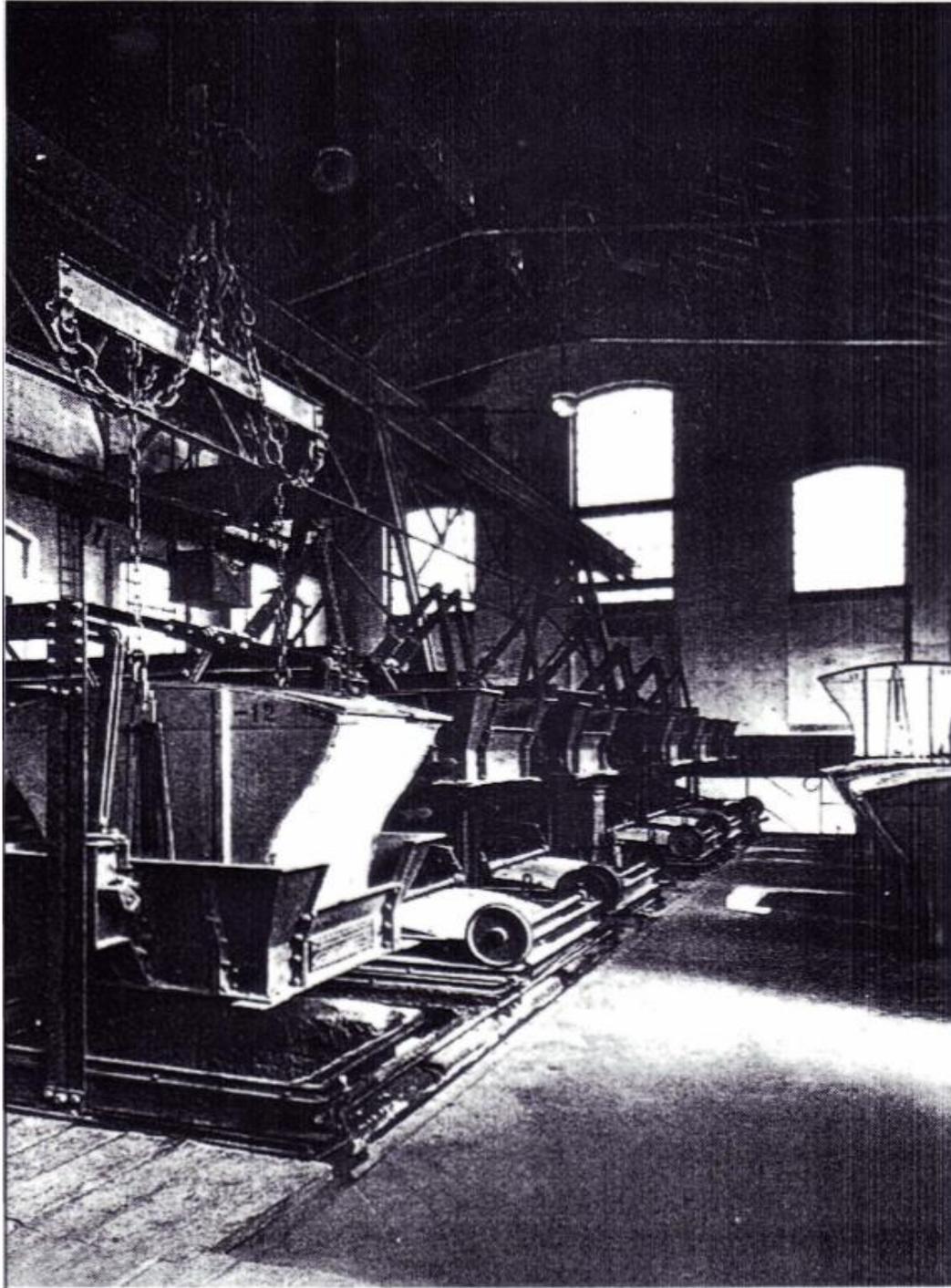
**1. IB der
Müllverbren-
nung in Zürich:**
10. Mai 1904
System:
Horsfall-
Destructor

**IB der
Nachrüstung:**
04. Januar 1928
System:
Heenan+Froud





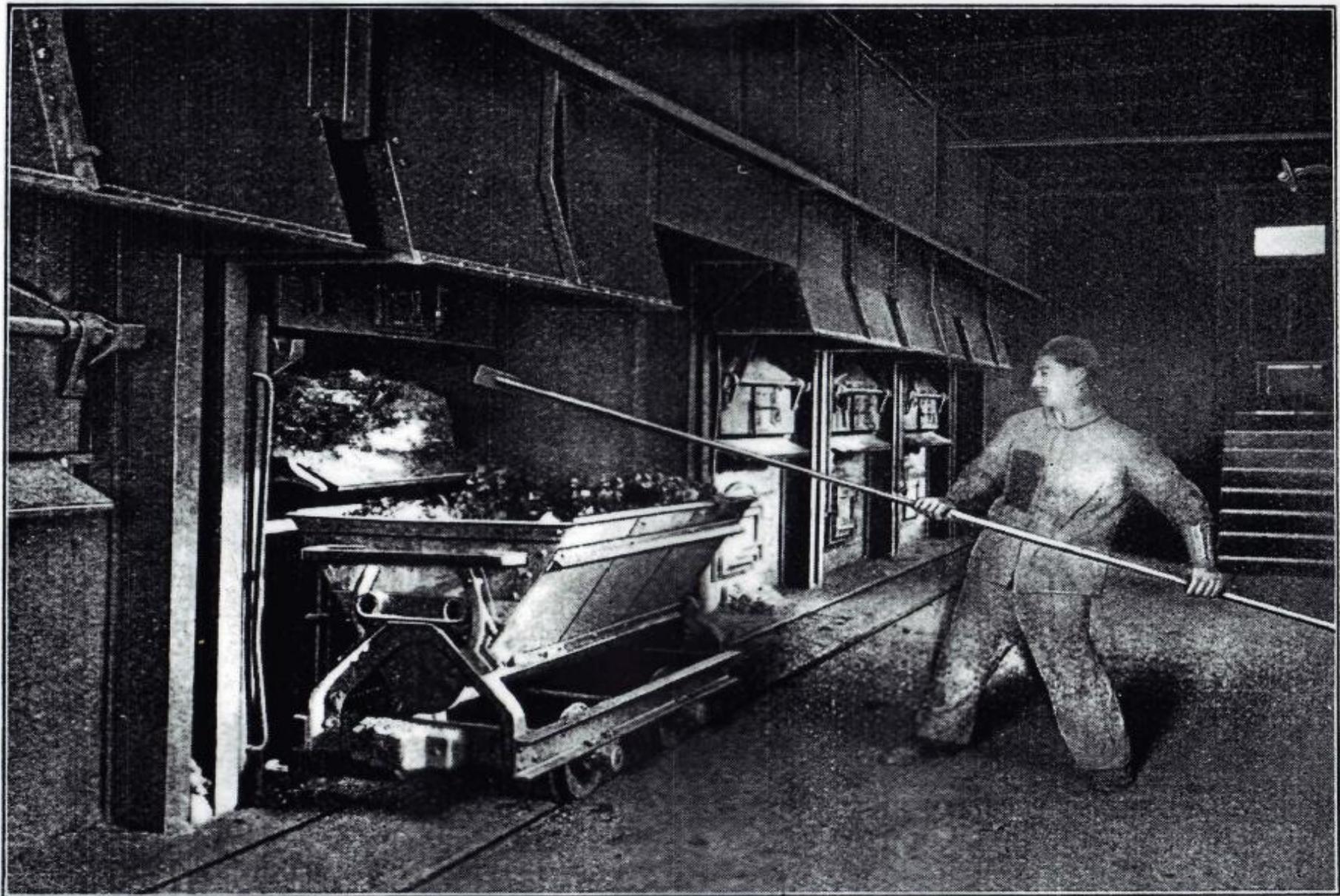
In den Anfangsjahren musste der Kehricht noch von Hand in die Öfen gefüllt werden.



1908 wurde die mechanische Beschickung der Ofenzellen mit Kehrtrichtwagen-segmenten eingeführt.

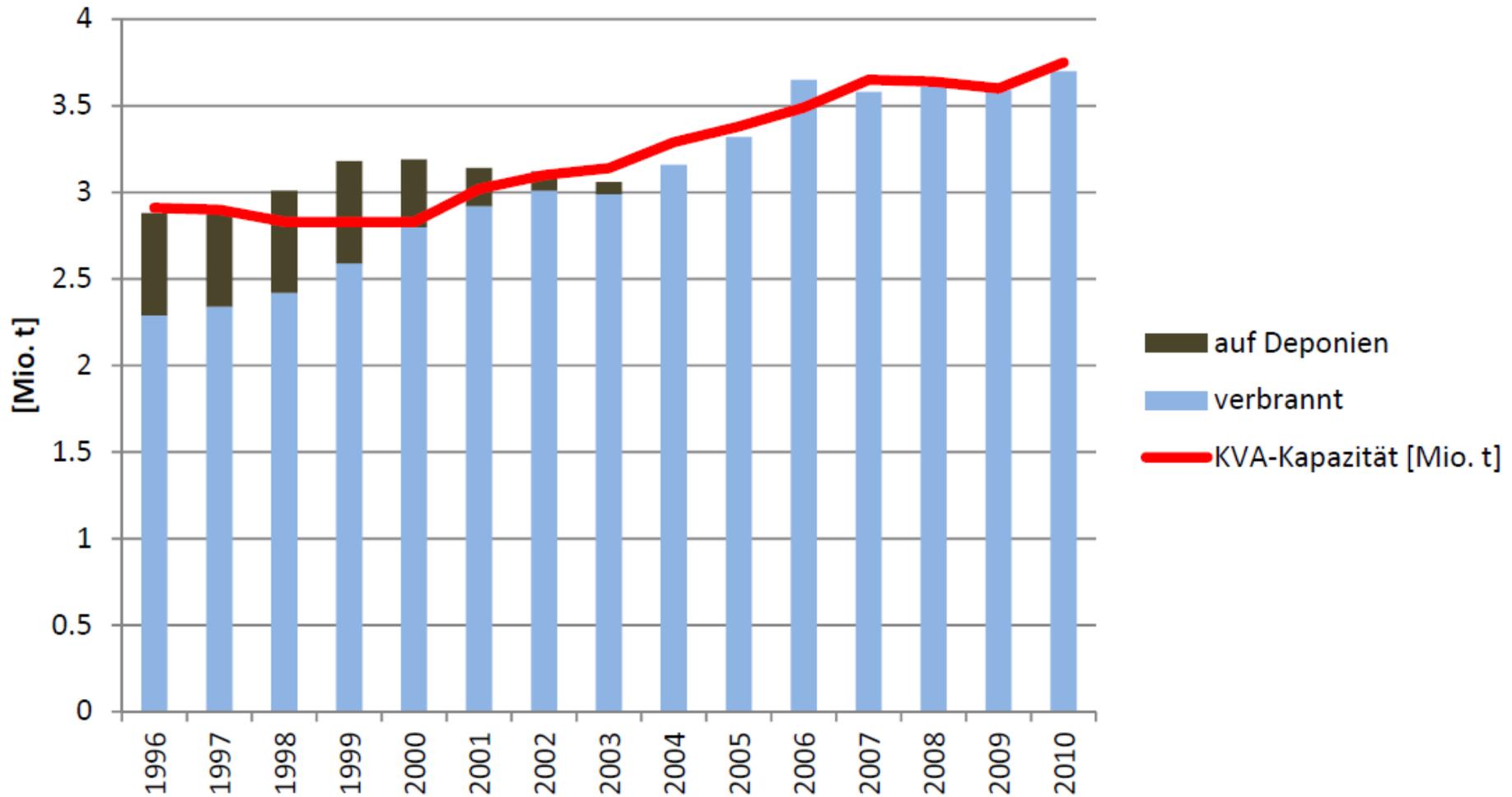
KEHRICHTWAGENSEGMENTE





Alte Ofenanlage (Entschlackung)

Brennbare Abfälle und KVA-Kapazität 1996 - 2010





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

BAFU

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt BAFU

Abteilung Abfall, Stoffe, Biotechnologie

Verwertete Abfälle aus Haushalt und Gewerbe

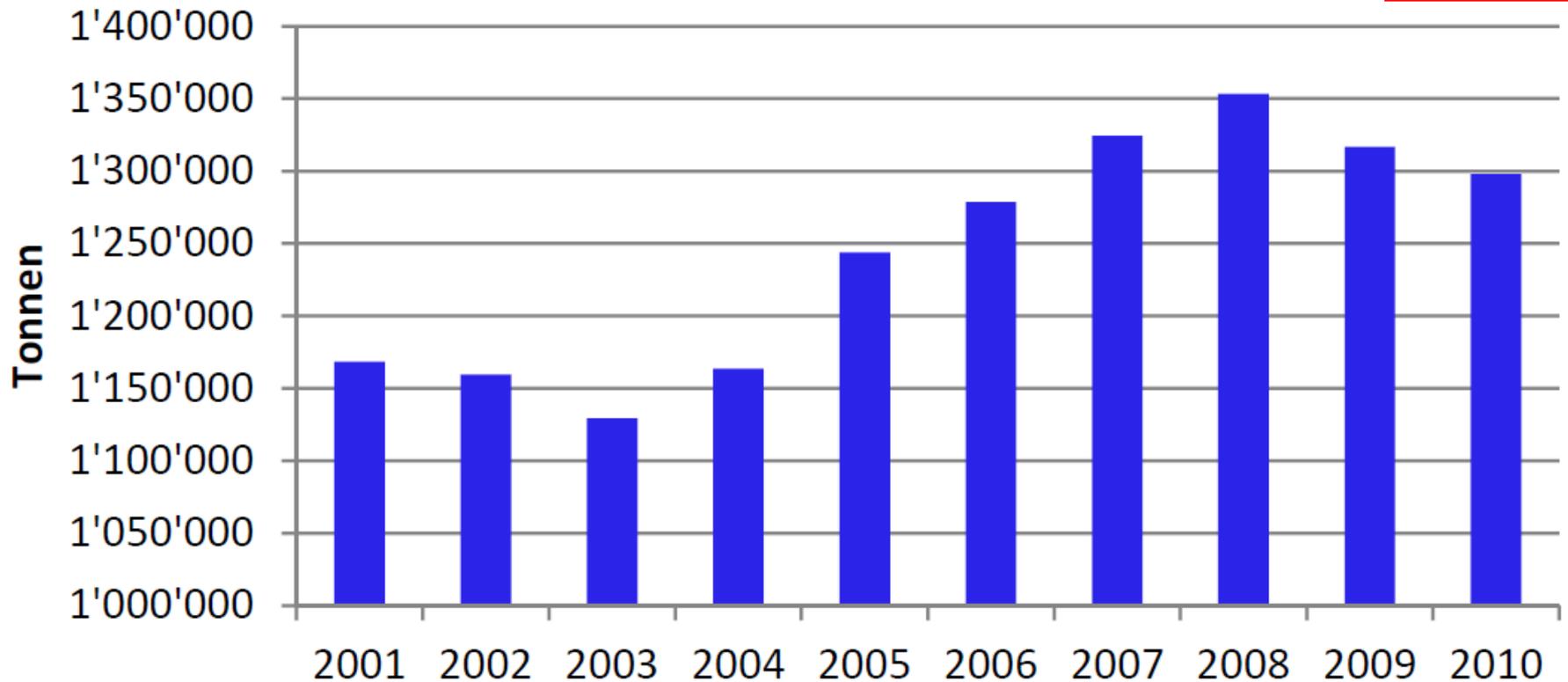
	Verwertete Menge pro Einwohner	Verwertete Menge gesamt	Sammelquote
Altpapier	165 kg	1'297'848 t	85%
in zentralen Anlagen kompostierte oder vergärte biogene Abfälle (ohne Haus- und Quartierkompost)	120 kg	930'000 t	k.A.
Glas (Hohlglas)	43.9 kg	345'443 t	94%
Elektrische und elektronische Geräte	15 kg	122'500 t	k.A.
Textilien	6.6 kg	52'052 t	k.A.
PET-Getränkeflaschen	4.7 kg	36'637 t	80%
Weissblech (Konservendosen + Deckel)	1.6 kg	12'600 t	84%
Aluminiumverpackungen davon Dosen	1.0 kg 0.9 kg	8'500 t 6'900 t	91%
Batterien	0.30 kg	2'365 t	69%
Total verwertet aus dem Bereich Haushalt und Gewerbe	357 kg/Einw.	2'807'945 t	

Separatsammlungen in der Schweiz

Quelle: BAFU 2011

Separat gesammeltes Papier und Karton 2001 - 2010

**2010:
85%**

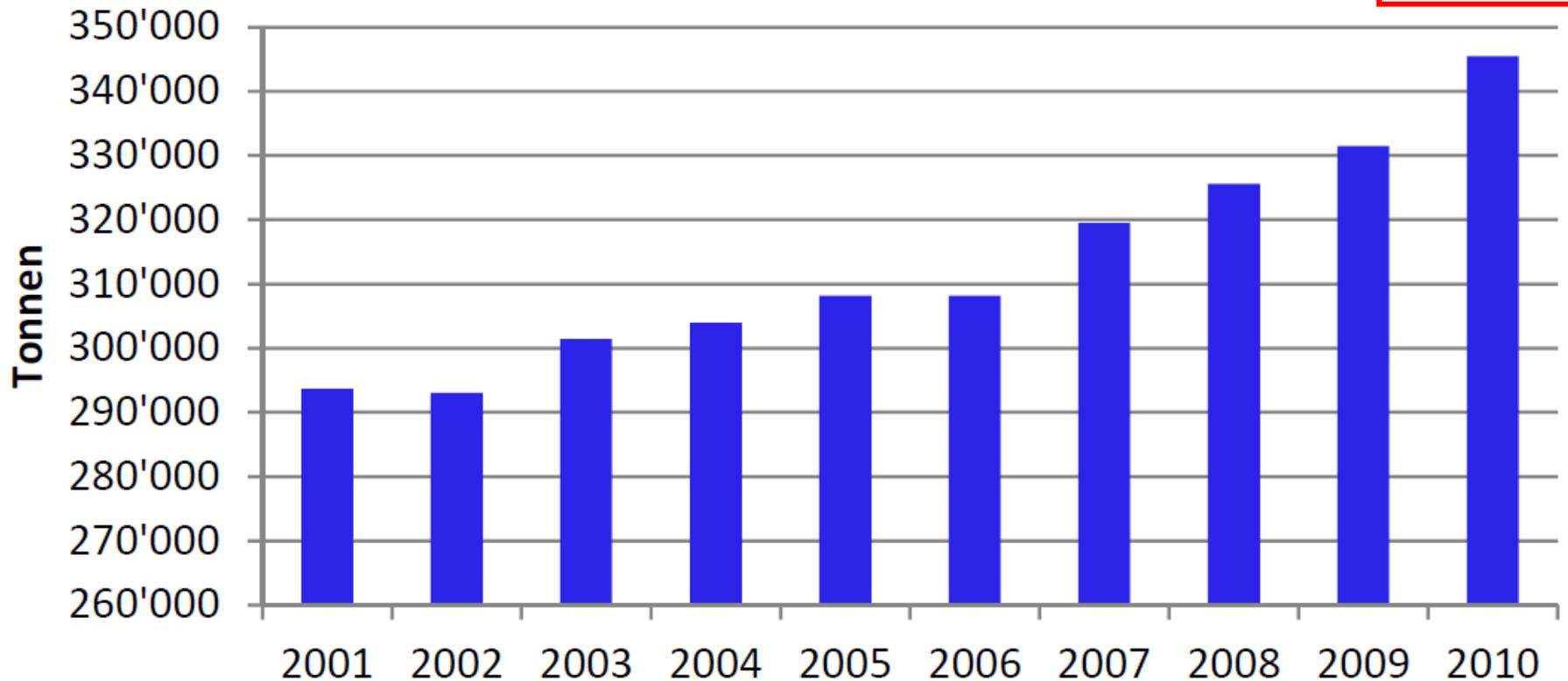


Separatsammlungen in der Schweiz

Quelle: BAFU 2011

Separat gesammeltes Hohlglas 2001 - 2010

2010:
94%

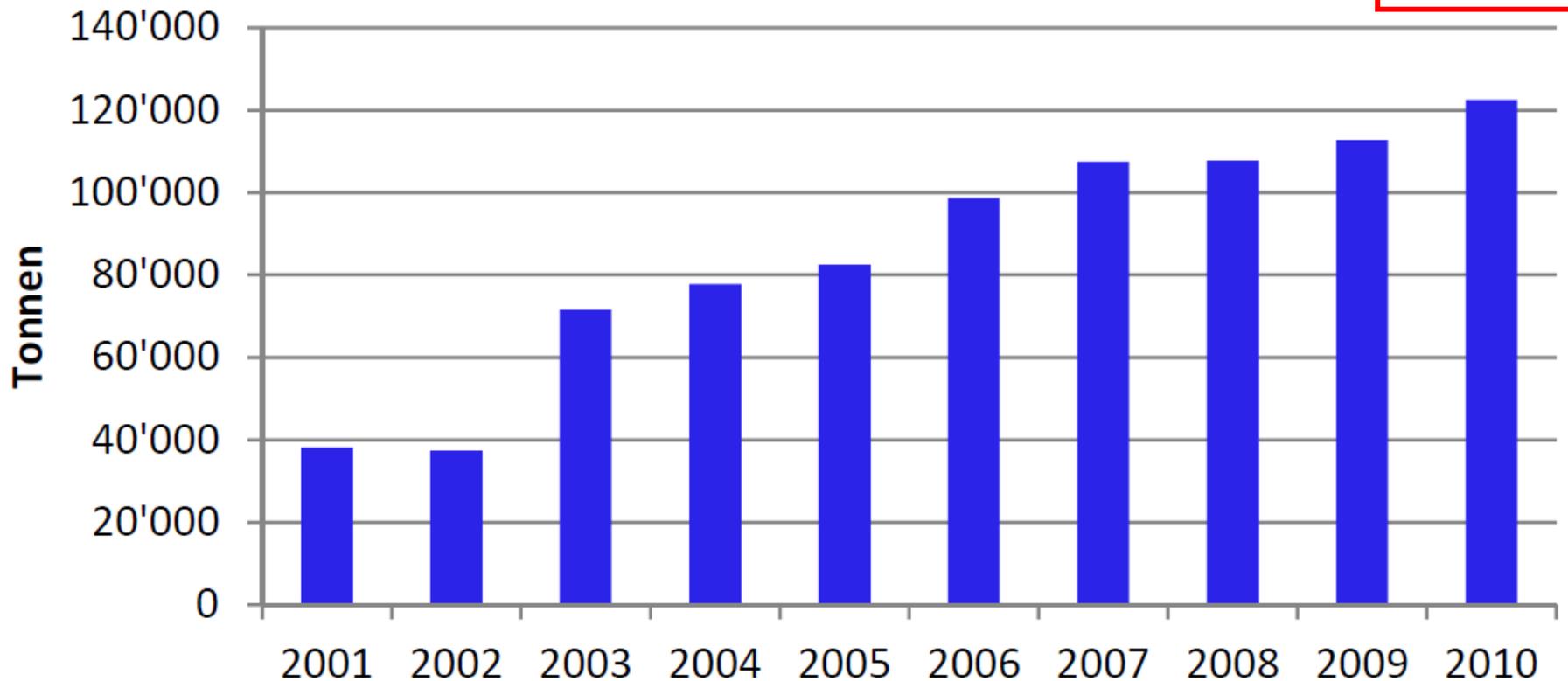


Separatsammlungen in der Schweiz

Quelle: BAFU 2011

Separat gesammelter Elektronikschrott 2001 - 2010

2010:
k.A.



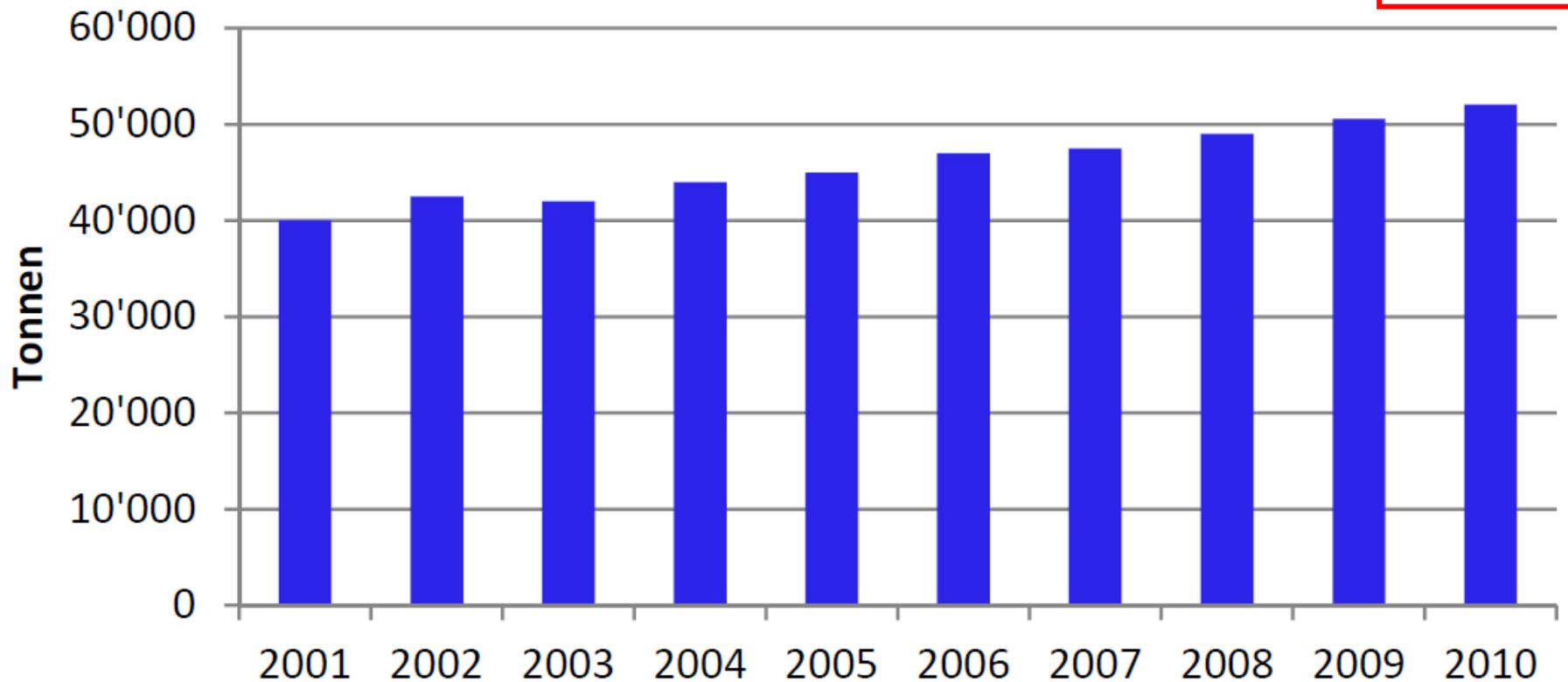
Separatsammlungen in der Schweiz

BAFU

Quelle: BAFU 2011

Separat gesammelte Textilien 2001 - 2010

2010:
k.A.

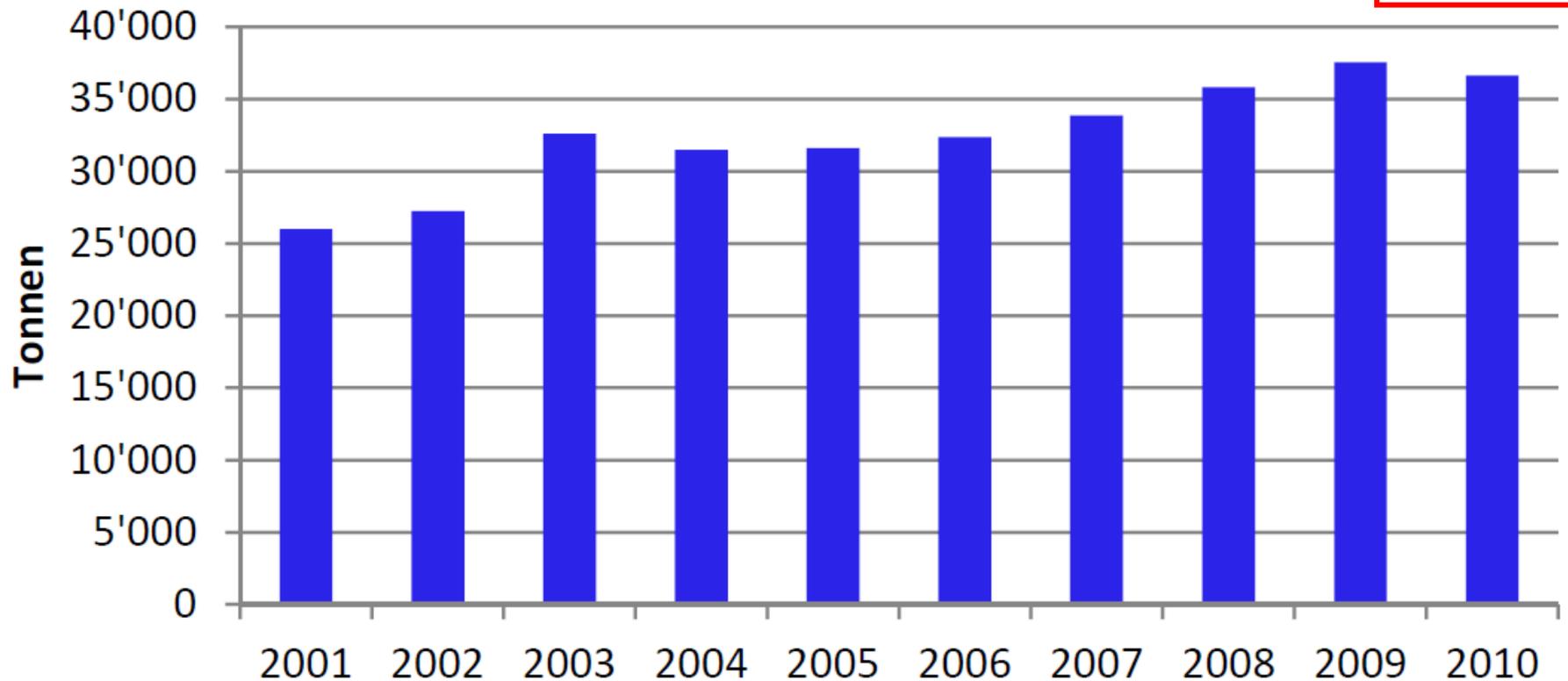


Separatsammlungen in der Schweiz

Quelle: BAFU 2011

Separat gesammelte PET- Getränkeflaschen 2001 - 2010

2010:
80%

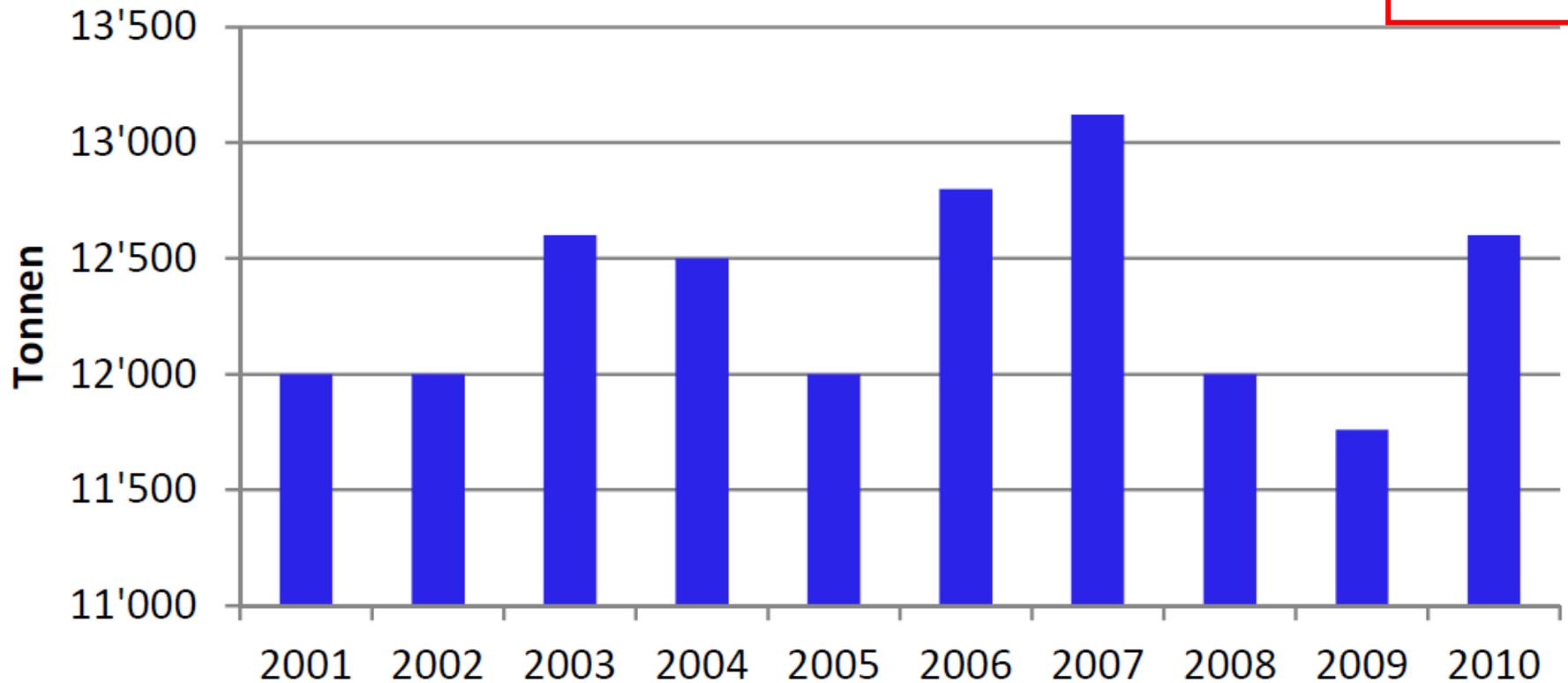


Separatsammlungen in der Schweiz

Quelle: BAFU 2011

Separat gesammeltes Weissblech 2001 - 2010

**2010:
84%**

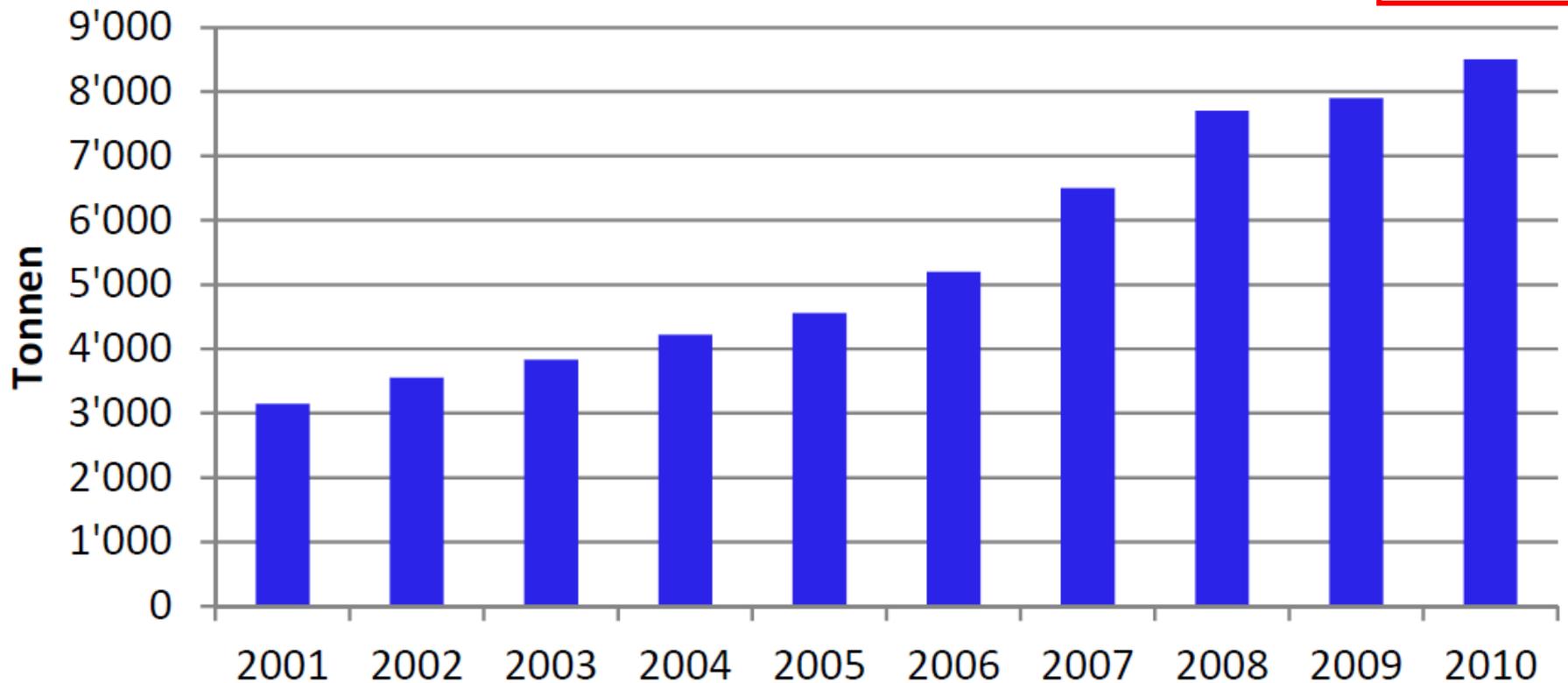


Separatsammlungen in der Schweiz

Quelle: BAFU 2011

Separat gesammeltes Aluminium 2001 - 2010

2010:
k.A.



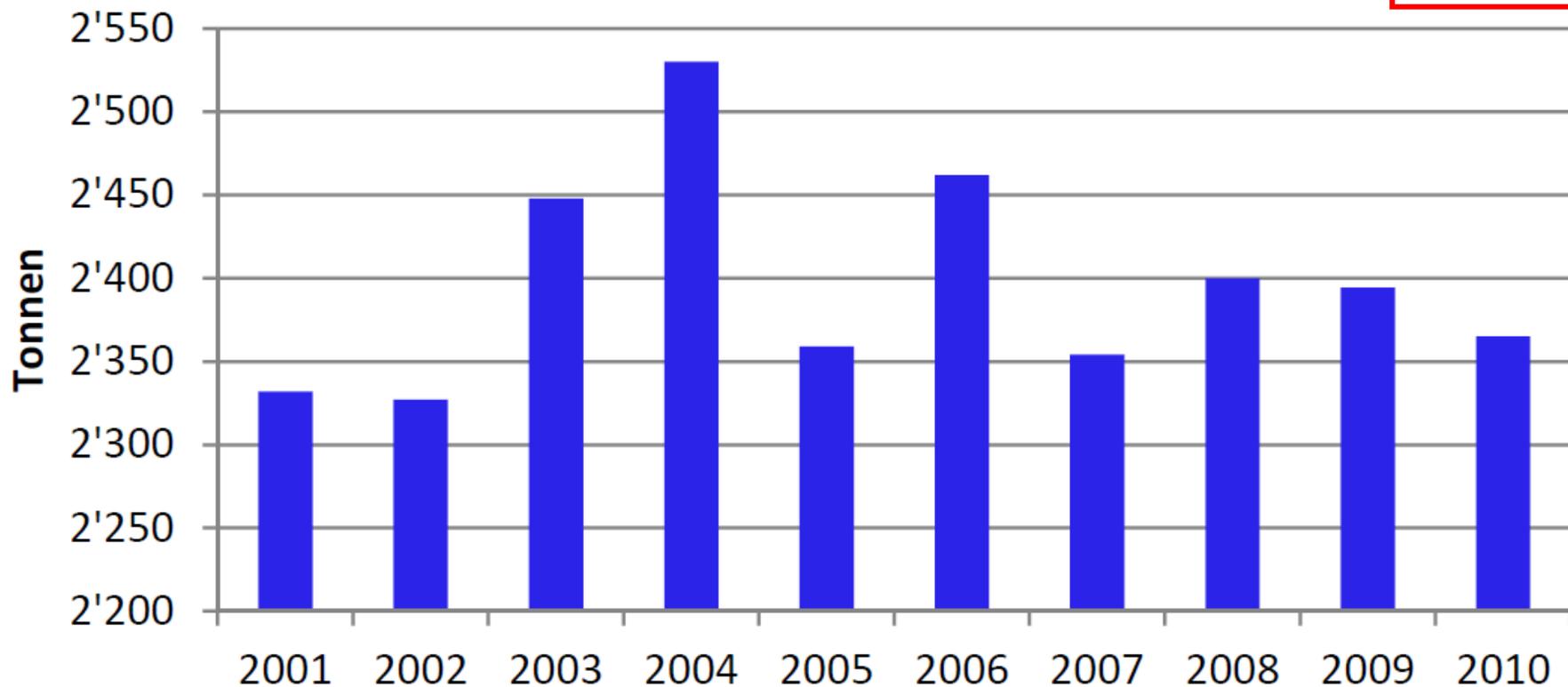
Separatsammlungen in der Schweiz

BAFU

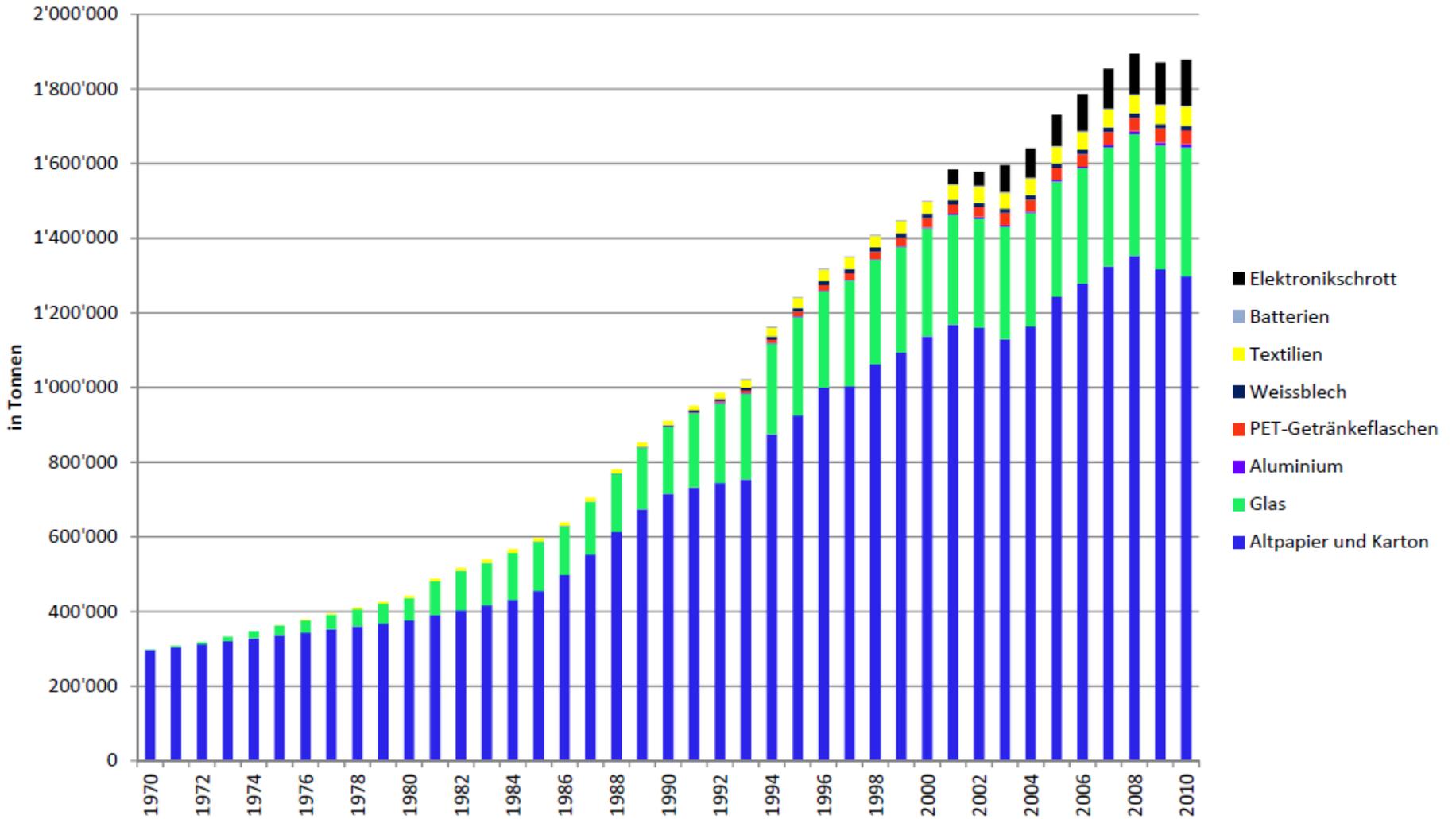
Quelle: BAFU 2011

Separat gesammelte Batterien 2001 - 2010

2010:
69%



Mengen separat gesammelter Siedlungsabfälle 1970 - 2010





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Abfall, Stoffe, Biotechnologie

Referenz/Aktenzeichen: K424-2012

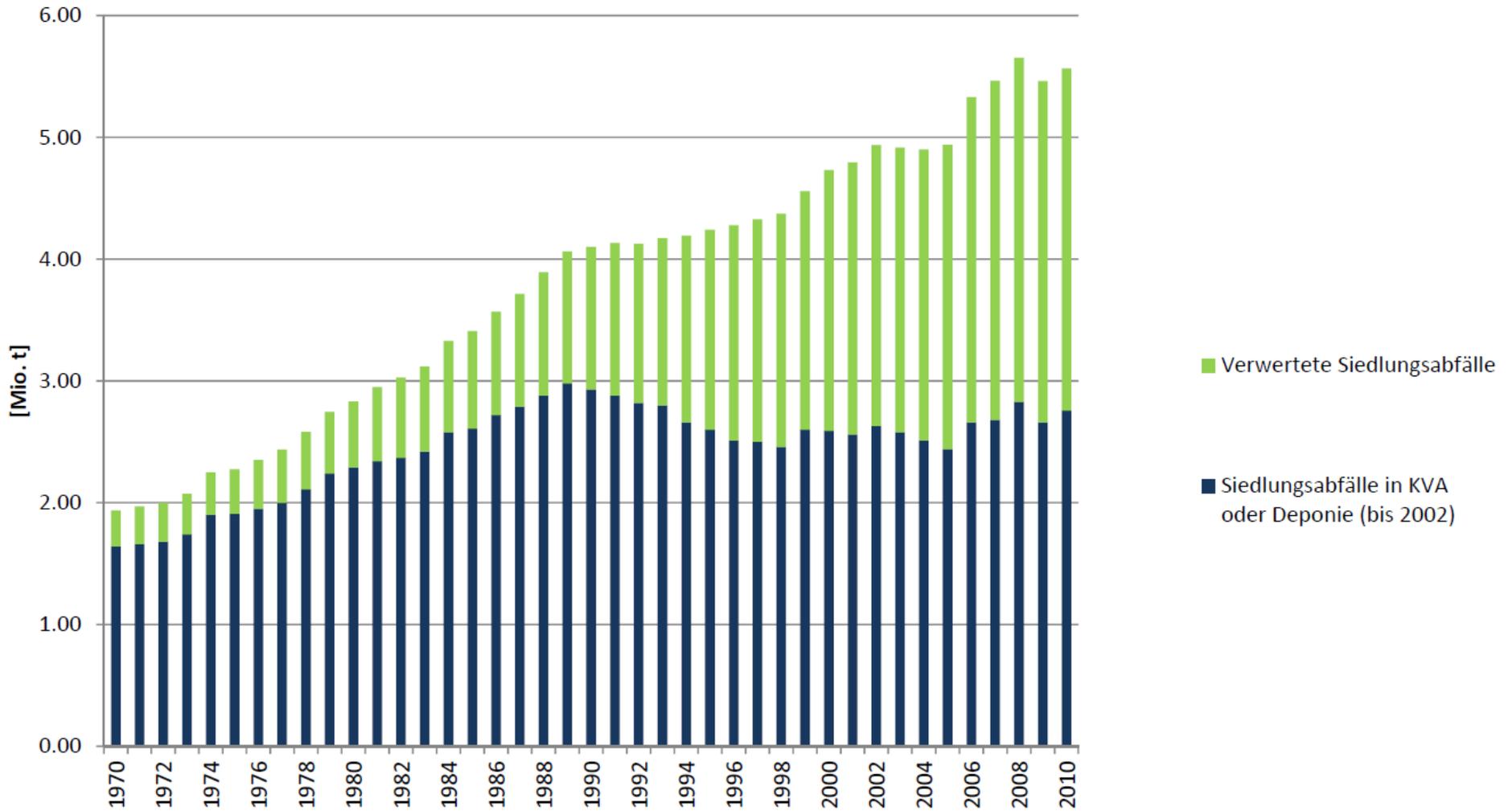
3003 Bern, August 2011

ABFALLMENGEN UND RECYCLING 2010 IM ÜBERBLICK

Einwohnerzahl: 7'866'500

Siedlungsabfälle verbrannt (ohne Importe)	2'760'000 t 349 kg/Einw.
Siedlungsabfälle verwertet	2'808'000 t 357 kg/Einw.
Sonderabfälle (Inland + Export)	1'784'000 t 227 kg/Einw.
Klärschlamm gefault zur Entsorgung anfallend (Schätzung):	TS 210'000 t 26 kg/Einw.

Verwertete und nicht verwertete Siedlungsabfälle 1970 - 2010



Wertstoffrückgewinnung aus Müllschlacke

Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung



**ZAR - Zentrum für nachhaltige Abfall- und
Ressourcennutzung**

Wildbachstrasse 2

8340 Hinwil

Phone +41 (0)44 938 31 11

Fax +41 (0)44 938 31 08

Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung

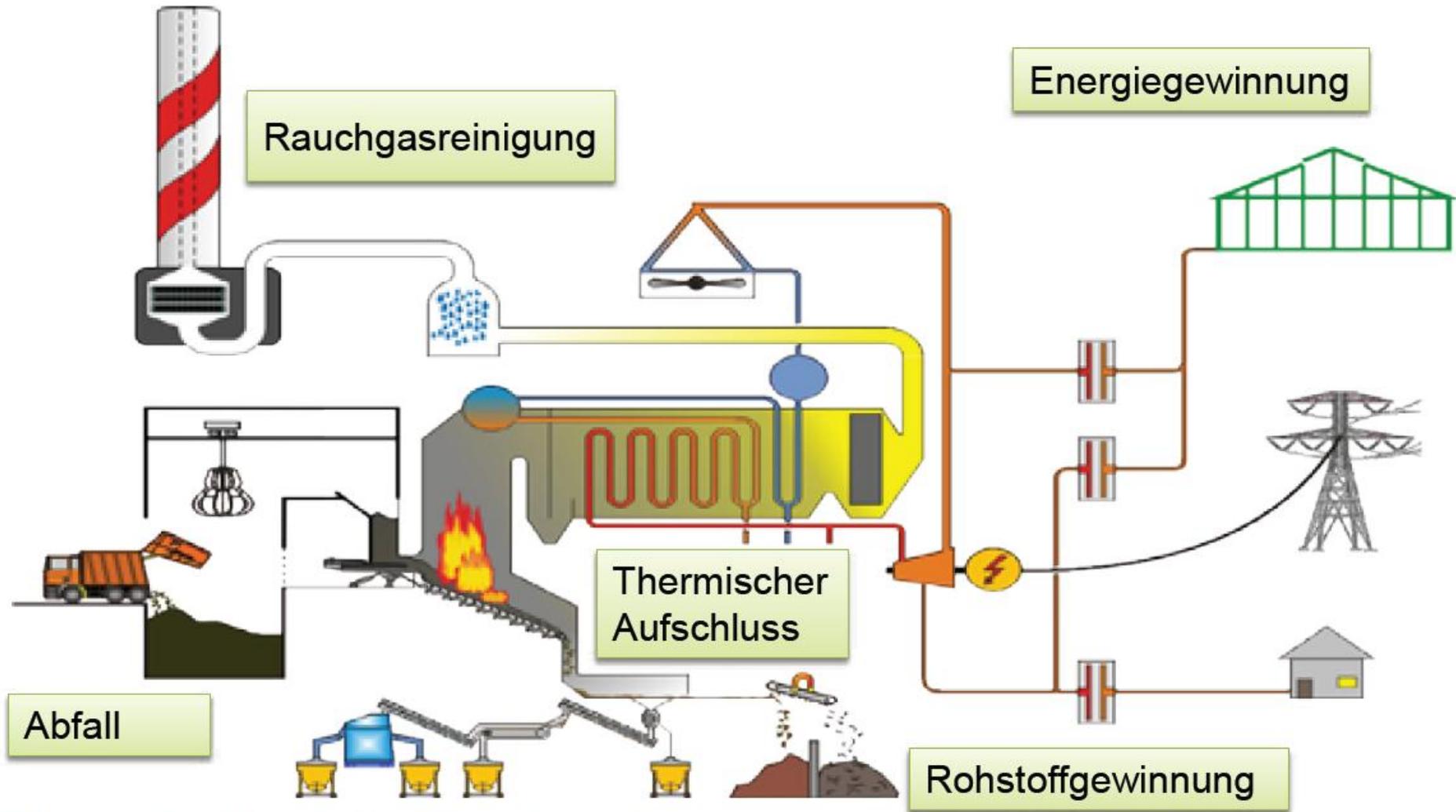
Wertstoffe zu deponieren ist ökologisch und ökonomisch nicht sinnvoll.
Dies gilt auch für die Verbrennungsrückstände.

**Das Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung ZAR
arbeitet für die bessere Wiederverwertung von Wertstoffen.**

Die Material- und Energienutzung soll über den gesamten Lebenszyklus
der Produkte gesehen erhöht und die Notwendigkeit von
Deponielösungen minimiert werden.

**Das ZAR ist die zukunftsweisende Ergänzung bestehender
(Separat-) Sammlungen der schweizerischen Abfallwirtschaft und
leistet als nationales Entwicklungszentrum wegweisende
Praxisbeiträge.**

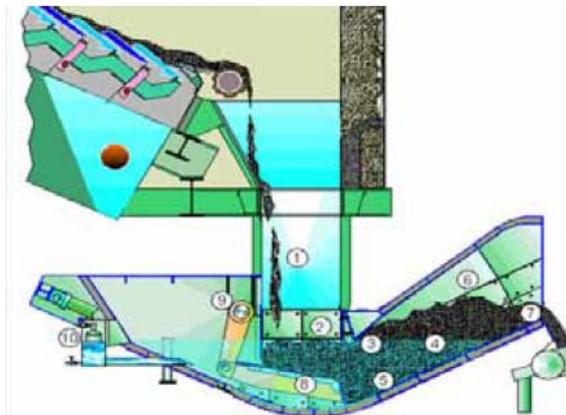
KEZO - Kehrichtverbrennungsanlage Hinwil



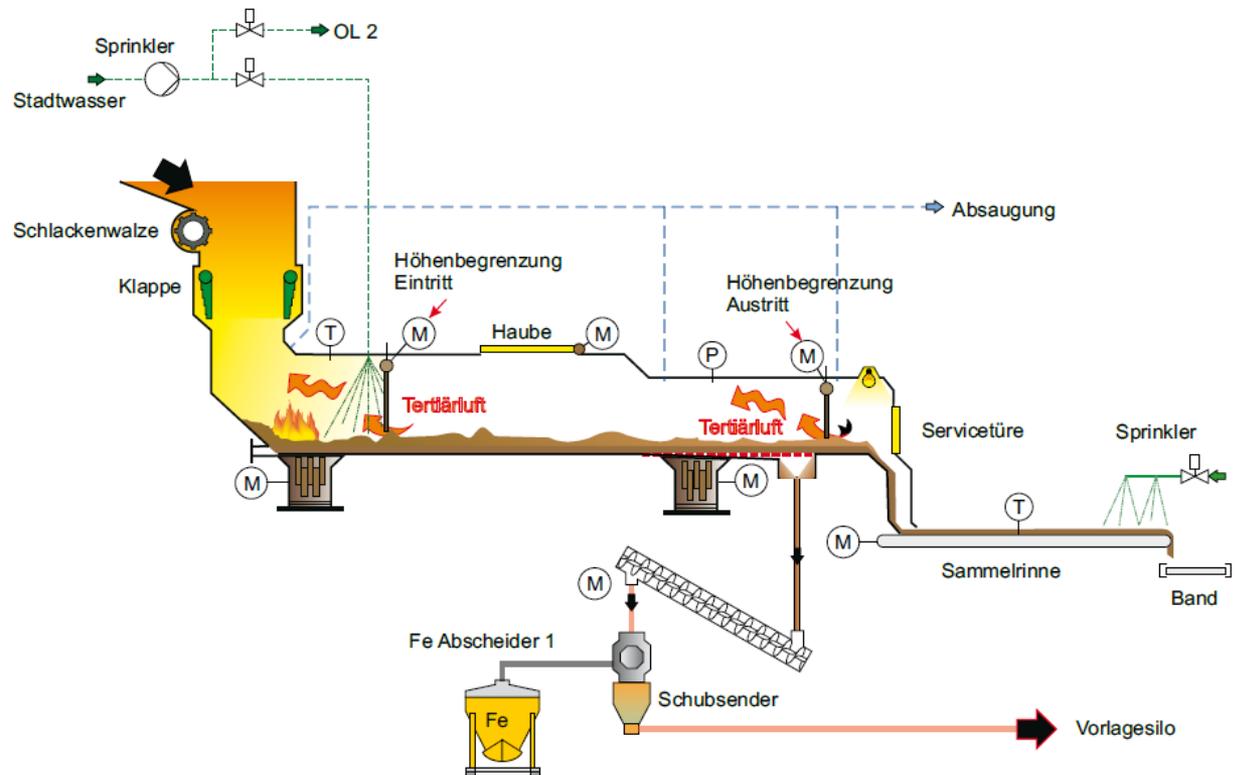
Schema einer thermischen Recyclinganlage

Vom Nass- zum Trockenentschlacker

- Trockener Schlackenausstrag mit Tertiärluft: Unterstützung eines optimalen Verbrennungsprozesses, Schlackenkühlung, Nachverbrennung von organischen Bestandteilen und Windsichtung der Schlacke
- Anteil der Tertiärluft an Gesamtverbrennungsluft: Weniger als 10 %
- Verbrennungsluftmenge bleibt gleich - d.h. Sekundärluftreduktion gemäss Tertiärluftanteil
- Folge davon: CO-Werte im Rohgase bleiben gleich



Nassentschlacker (© Schema Martin GmbH, München)

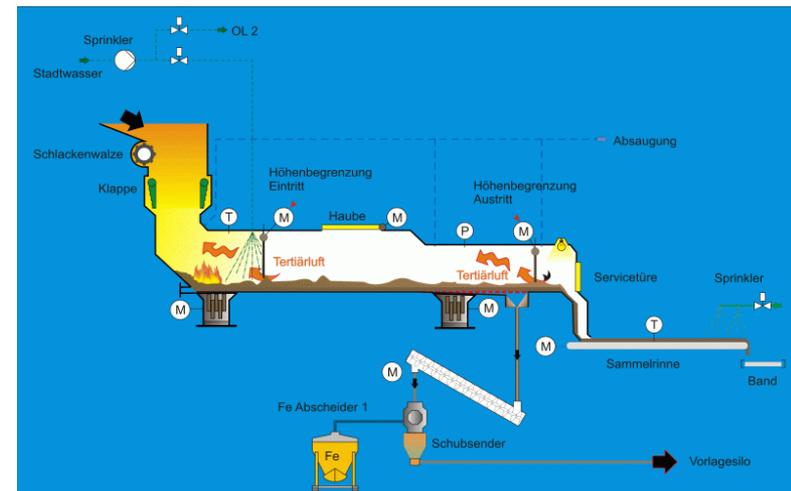


Trockenentschlacker

Vom Nass- zum Trockenentschlacker

Vorteile des Verfahrens:

- Wasserverbrauch in der Müllverbrennungsanlage um ca. 4 % reduzierbar
- Weniger Schlackentransporte, da trocken
- Trockenschlacke hat kleine Glühverluste, da rund 50% organischer Kohlenstoff (TOC) nachverbrennen
- Nassschlacke eluiert bei den kritischen Schwermetallen Blei das 5-fache, bei Cadmium das 25-fache und bei Kupfer das 250-fache gegenüber der Trockenschlacke
- Abbindereaktionen im Nassentschlacker – bei Trockenschlacke zu einem späteren, gewünschten Zeitpunkt auslösbar
- Bei Trockenschlacke bleiben Partikel in ursprünglicher Form erhalten, d.h. Konfektionierung der Schlacke nach Grösse, Gewicht, Farbe, Leitfähigkeit, etc. gut möglich

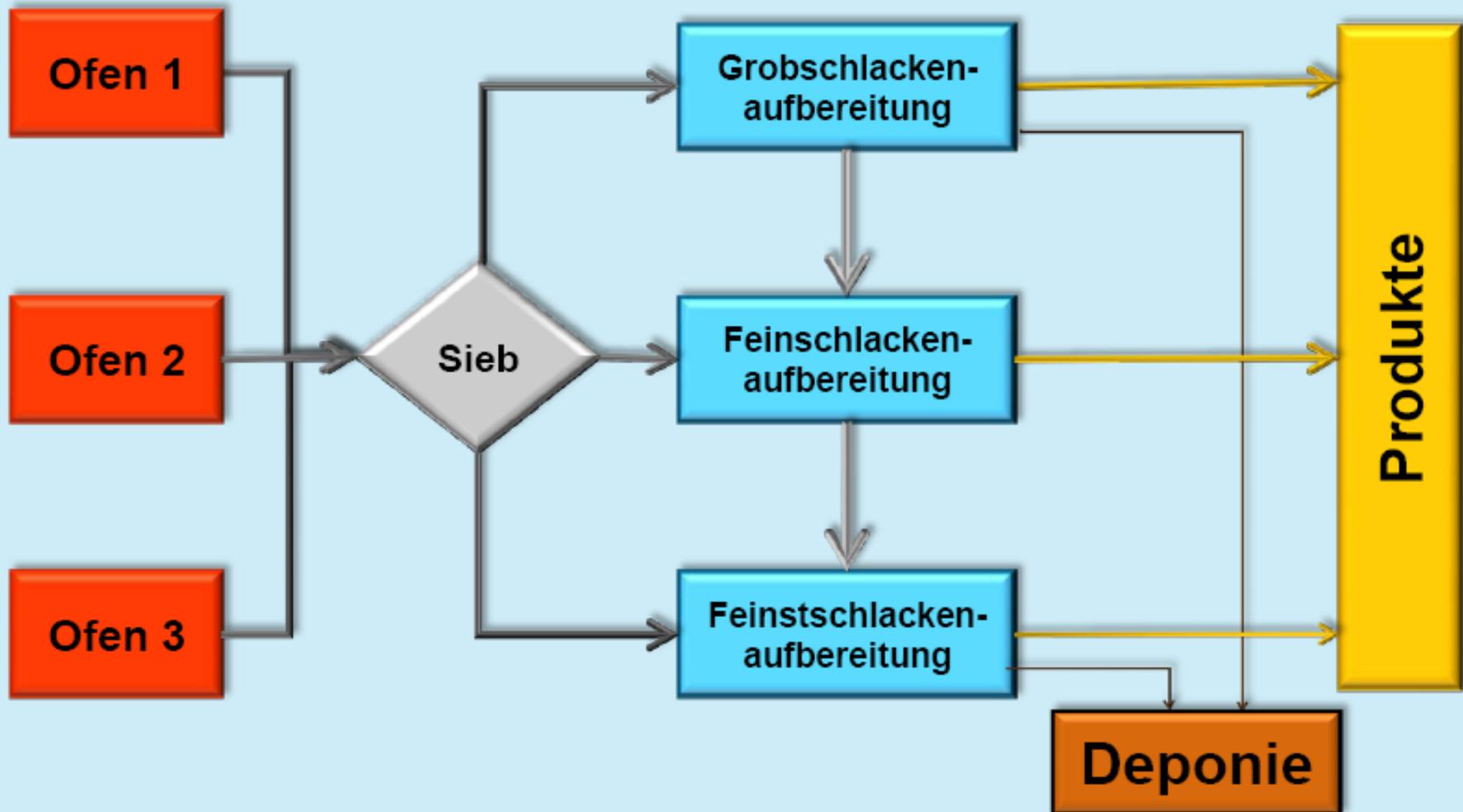


Wertstoffe aus der Müllverbrennung durch Schlackenaufbereitung:

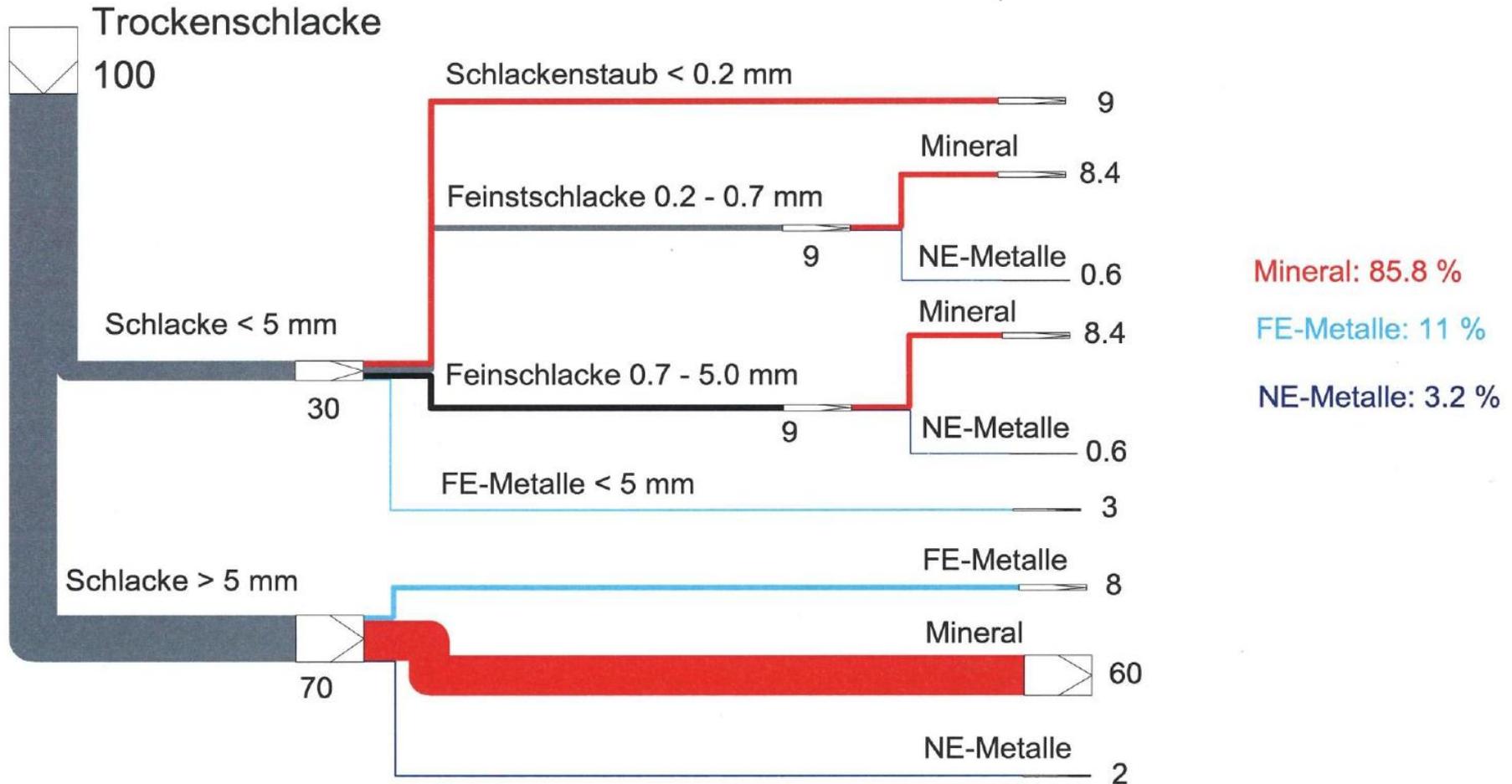
Grob-, Fein- und Feinstschlacke

Zukünftige geplante Schlackenaufbereitung

Behandlung der Schlacke aus allen drei Verbrennungslinien



Potential in der Schlacke



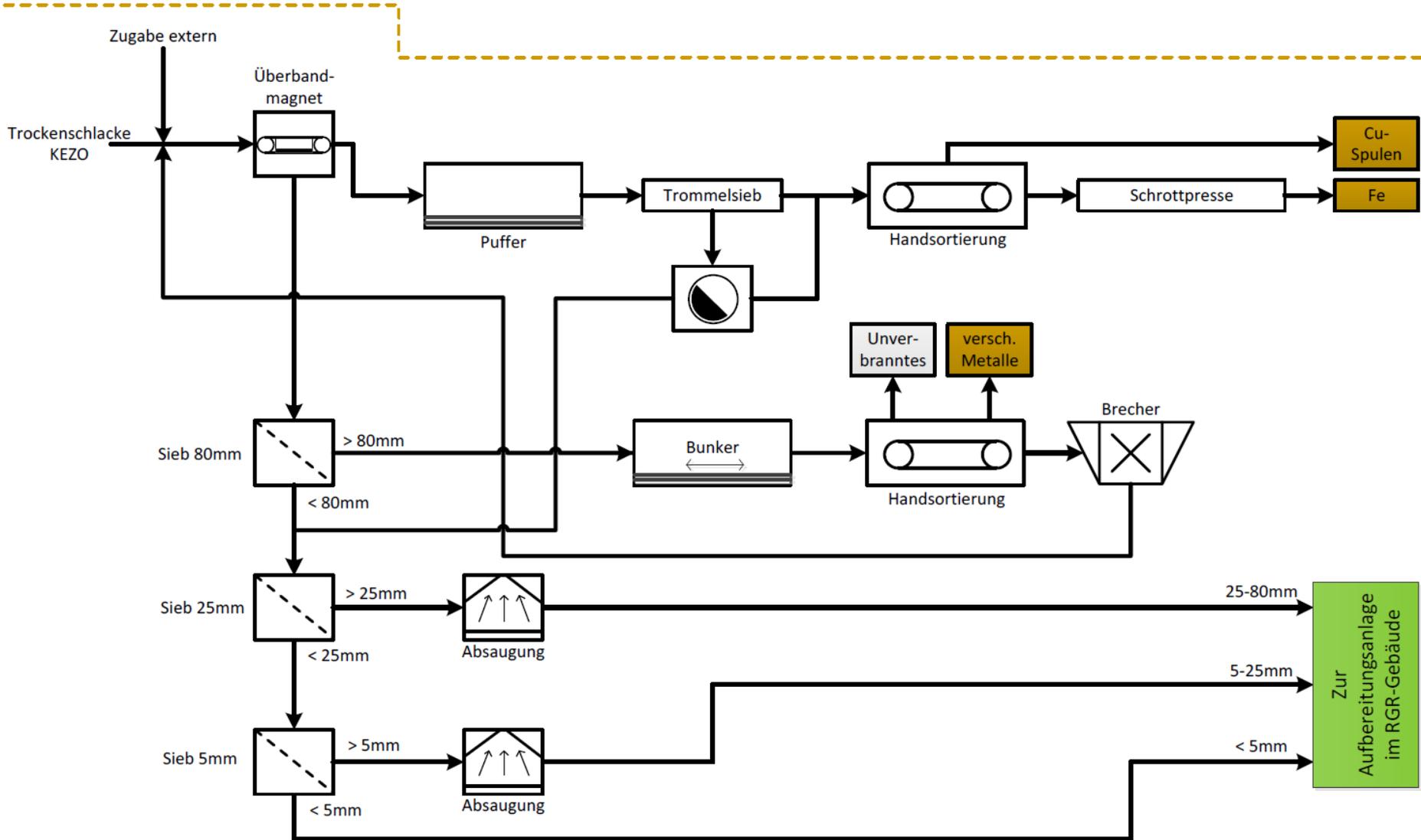
Technische Lösung der Schlackenaufbereitung bei ZAR:

- **Brecher**
- **Sieb**
- **Magnetabscheider**
- **Wirbelstromabscheider**
- **Trenntisch (Schwerkraftseparierung in Wirbelschicht)**

Vorbereitung der trockenen Schlacke

Eisenaufbereitung / Grobteilabtrennung

Geplante, noch nicht umgesetzte Massnahme



Grobschlackenaufbereitung

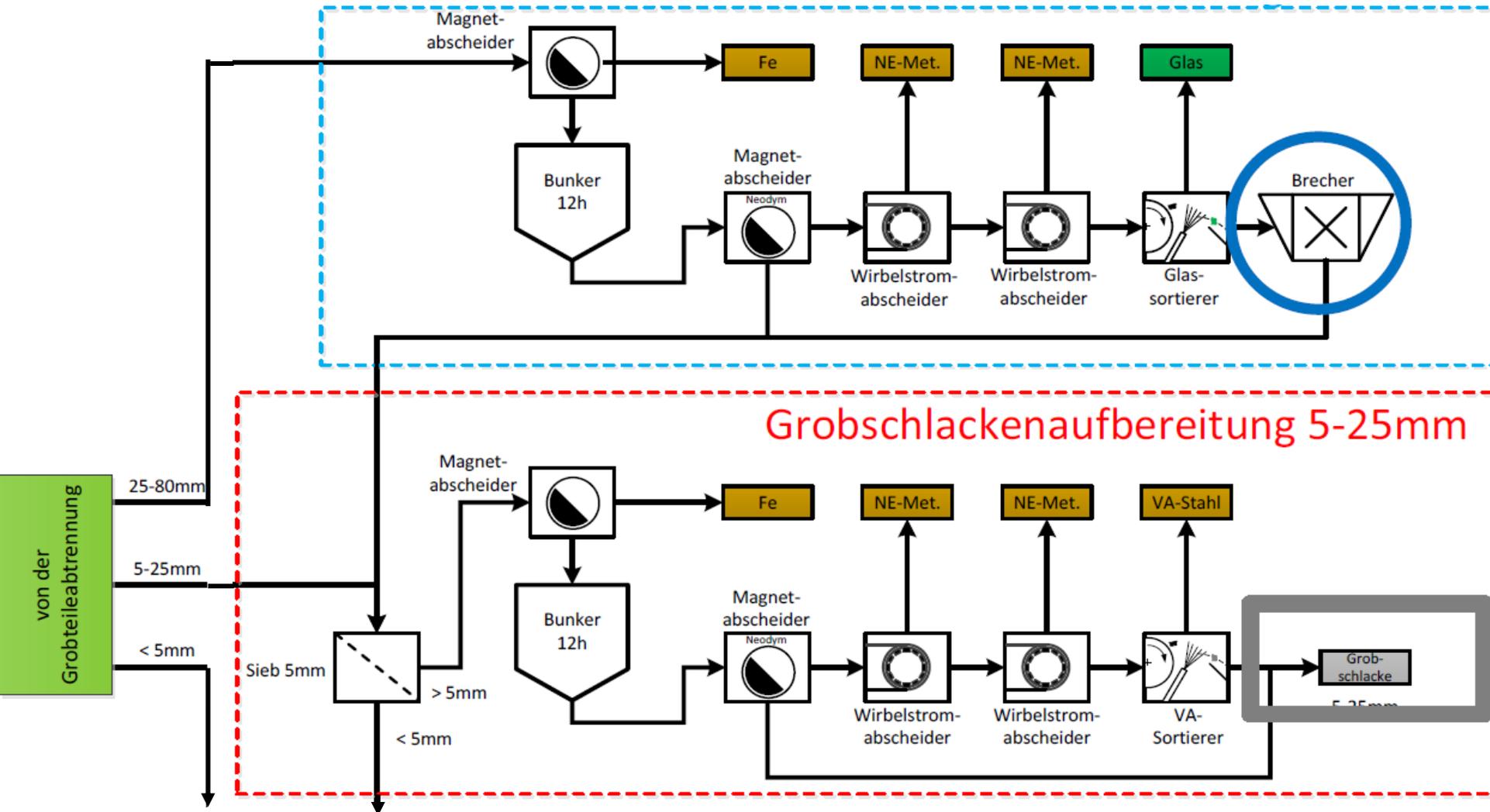
Grobschlacke

Die Aufbereitungsanlage für trockene Grobschlacke (> 5 mm) am Standort der KEZO Hinwil soll 2013 realisiert werden

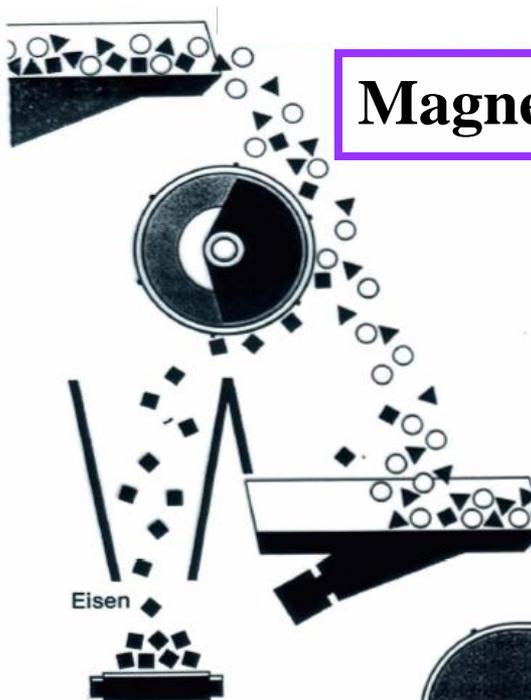


Grobschlackenaufbereitung (5 – 80mm)

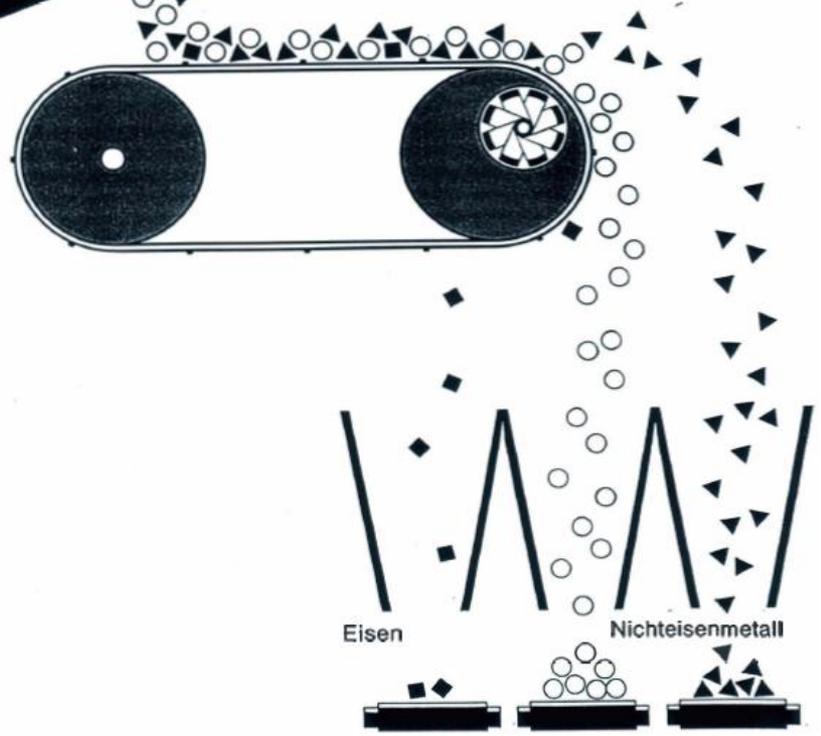
Grobschlackenaufbereitung 25-80mm



Magnetabscheider



Wirbelstromabscheider



Eisen

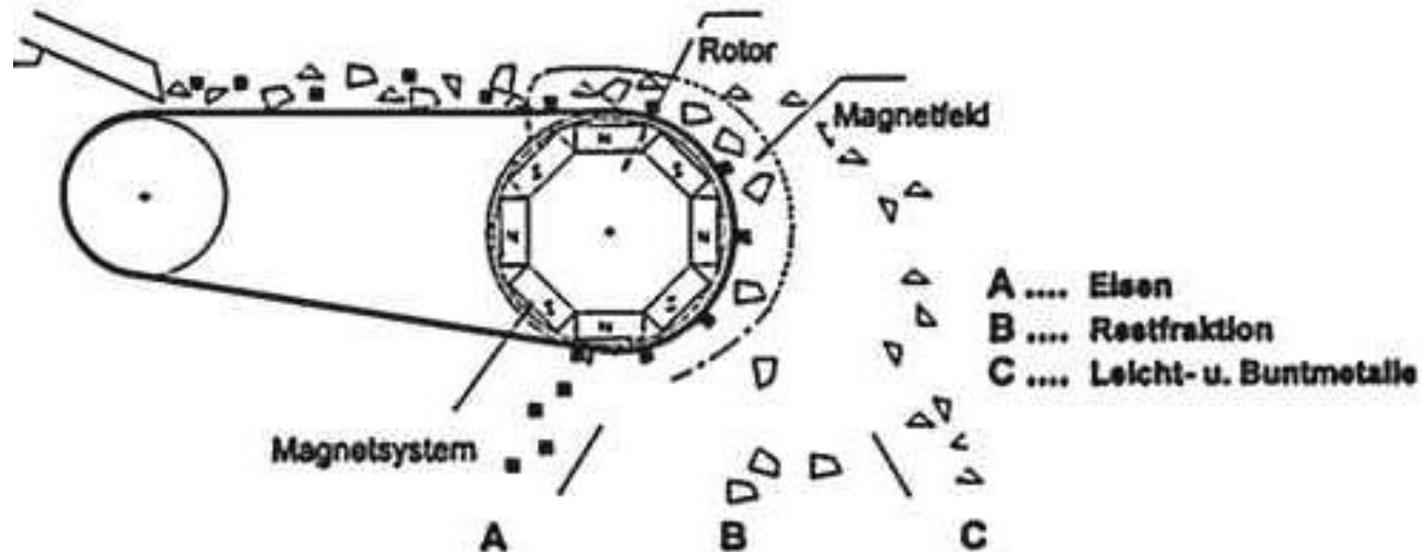
Eisen

Nichteisenmetall

Wirbelstromabscheider

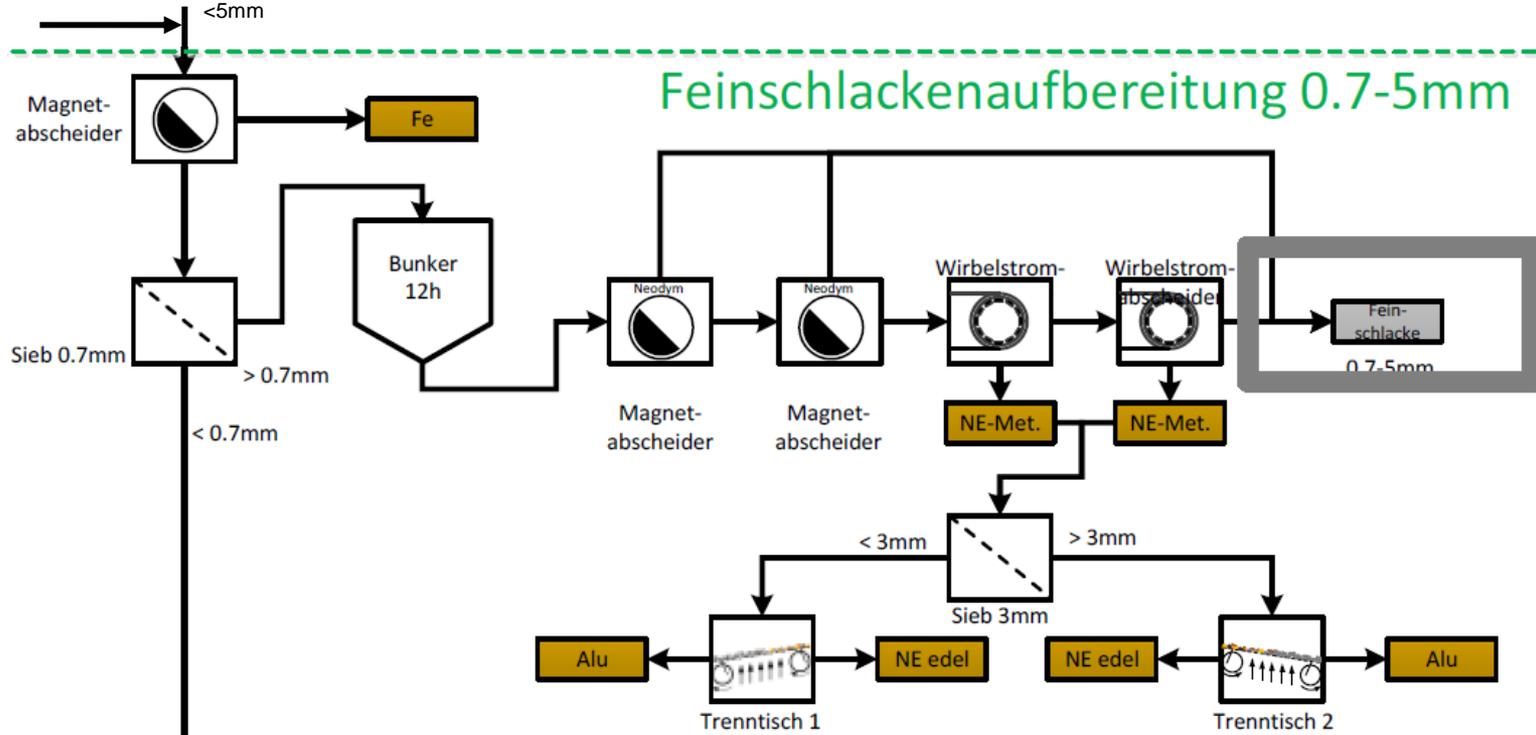
Funktionsprinzip (Eddy-Curent): NE-Metall-Abscheider mit schnell rotierendem Permanentmagnet (Polrad)

- Schnell rotierendes Magnetfeld in der Trommel erzeugt in elektrisch leitenden Schlackenteilchen (NE-Metalle) einen Wirbelstrom
- Wirbelstrom erzeugt ein dem Polrad entgegengesetztes Magnetfeld
- Das magnetisierte NE-Schlackenteilchen wird von der Trommel abgestossen, herausgeschleudert und separiert



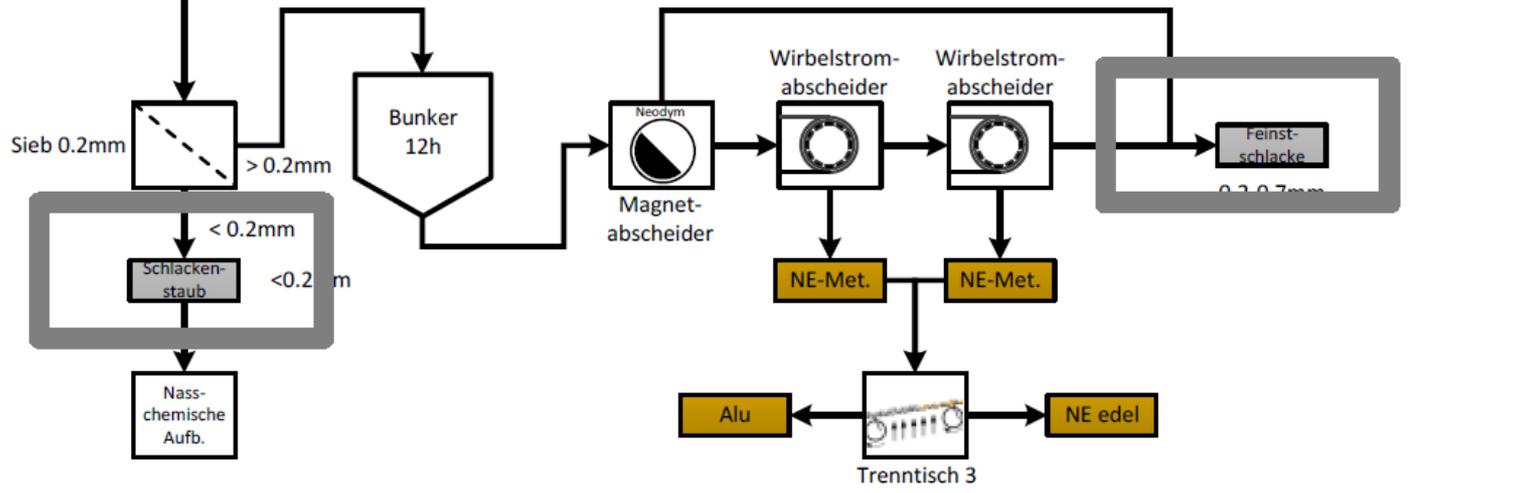
Fein- / Feinstschlackenaufbereitung

Feinschlackenaufbereitung 0.7-5mm



Fein- / Feinstschlacken Aufbereitung

Feinstschlackenaufbereitung 0.2-0.7mm



Feinstschlacke (0.1 – 0.7 mm)

Die Aufbereitungsanlage für die Separierung der Feinstschlacke (0.1 - 0.7 mm) wurde im März 2012 in Betrieb genommen.



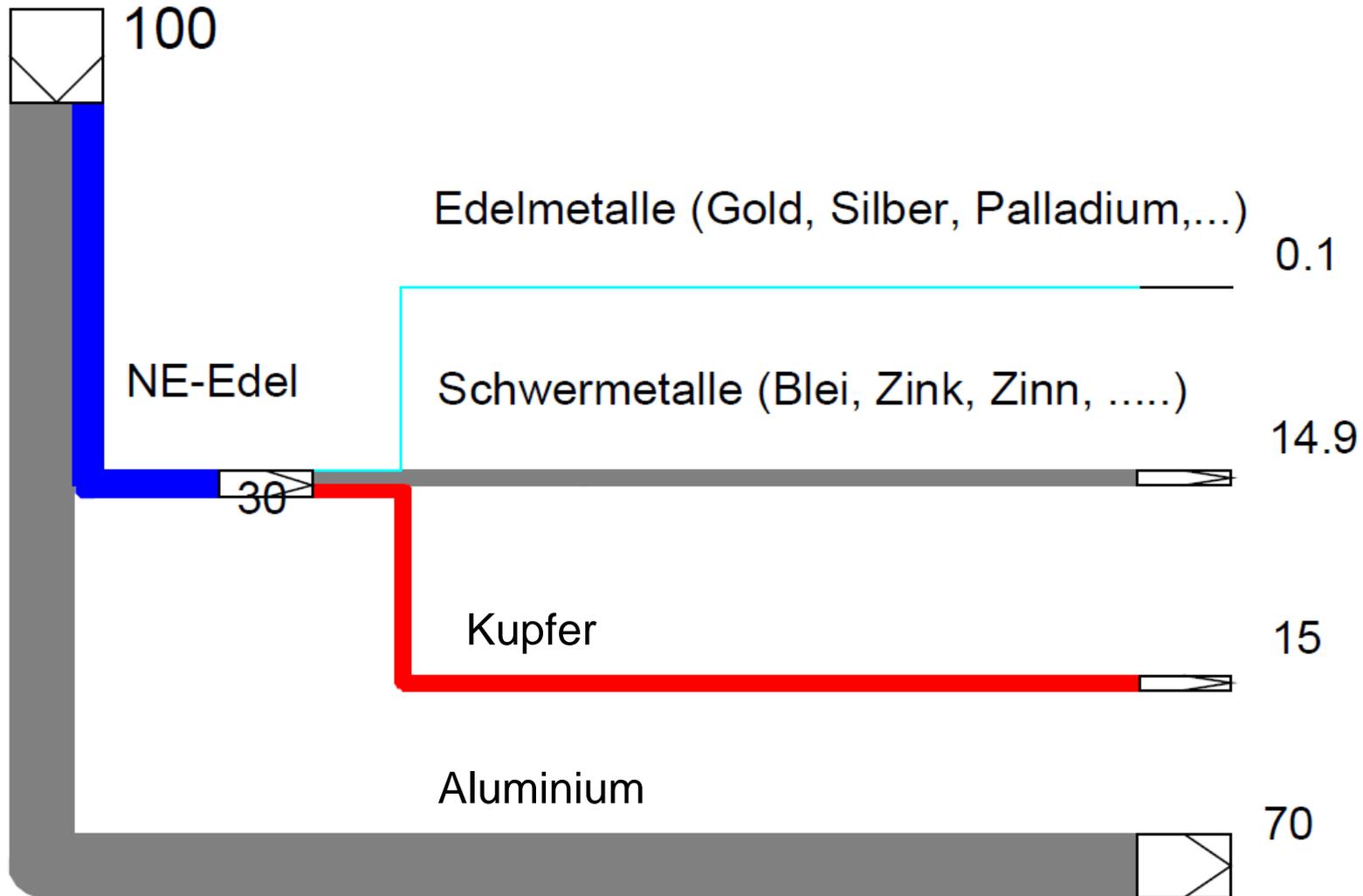
Das Ziel ist: Die NE-Metallaufbereitung

NE-Metalle – ein gefragtes Produkt

- 2010: Inbetriebnahme der Aufbereitungsanlage für NE-Metalle
- Herstellung von zwei Aluminium- und zwei NE-Edelfraktionen - Partikelgrösse 0.7 - 3.0 / 3.0 - 5.0 mm
- 2011: Verkauf von 100 Tonnen Aluminium an Schmelzwerke im Ausland
- 2011: 2 x 25 Tonnen NE-Edelfraktion produziert
- Bisherige Annahme: Anteil Edelmetalle (Gold, Silber, Palladium, etc.) in der NE-Edelfraktion 0.7 - 3.0 mm höher als in der Fraktion 3.0 – 5.0 mm
- Analysen zeigen dass in beide Fraktionen ähnlicher Gehalt
- Hohe Anreicherung der verschiedenen Metalle – z.B. Kupfer in beiden Fraktionen über 60 %



NE-Metall-Anteil der Feinschlacke (0.7–5.0mm)



Materialzusammensetzung in Gewichts-% der NE-Metalle 0.7 - 5 mm

Wirbelstromabscheider

- Die Abscheidung der NE-Metalle in der KEZO erfolgt über zwei in Serie geschaltete Wirbelstromabscheider
- Ein Wirbelstromabscheider hat einen Wirkungsgrad von ca. 75 %, d.h. rund 75 % elementare NE-Metalle (ohne VA Metalle) werden abgeschieden
- Durch die Serienschaltung der zwei Wirbelstromabscheider ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad von 93.8 %
- Die durchschnittliche Abscheideleistung des Wirbelstromabscheiders mit 75 % wird als ungenügend betrachtet
- Schrägstellung des Wirbelstromabscheiders erhöht den Wirkungsgrad



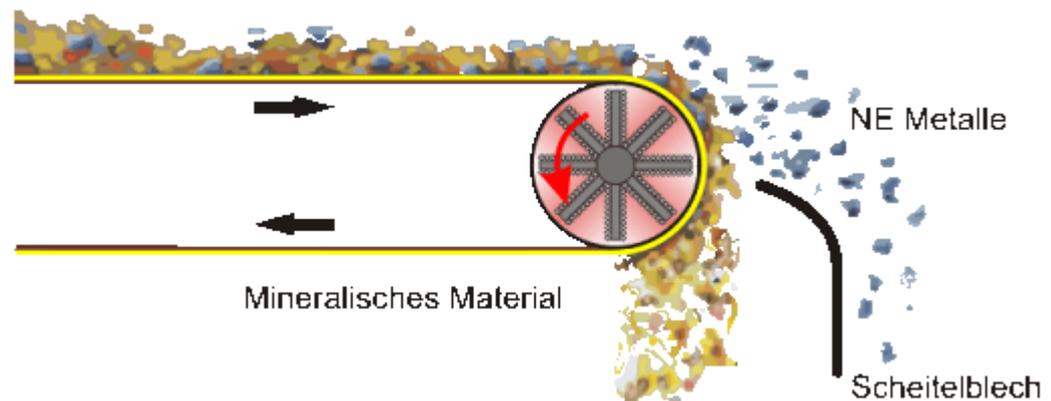
Wirbelstromabscheider

Parametern zur Qualität der NE-Abscheidung:

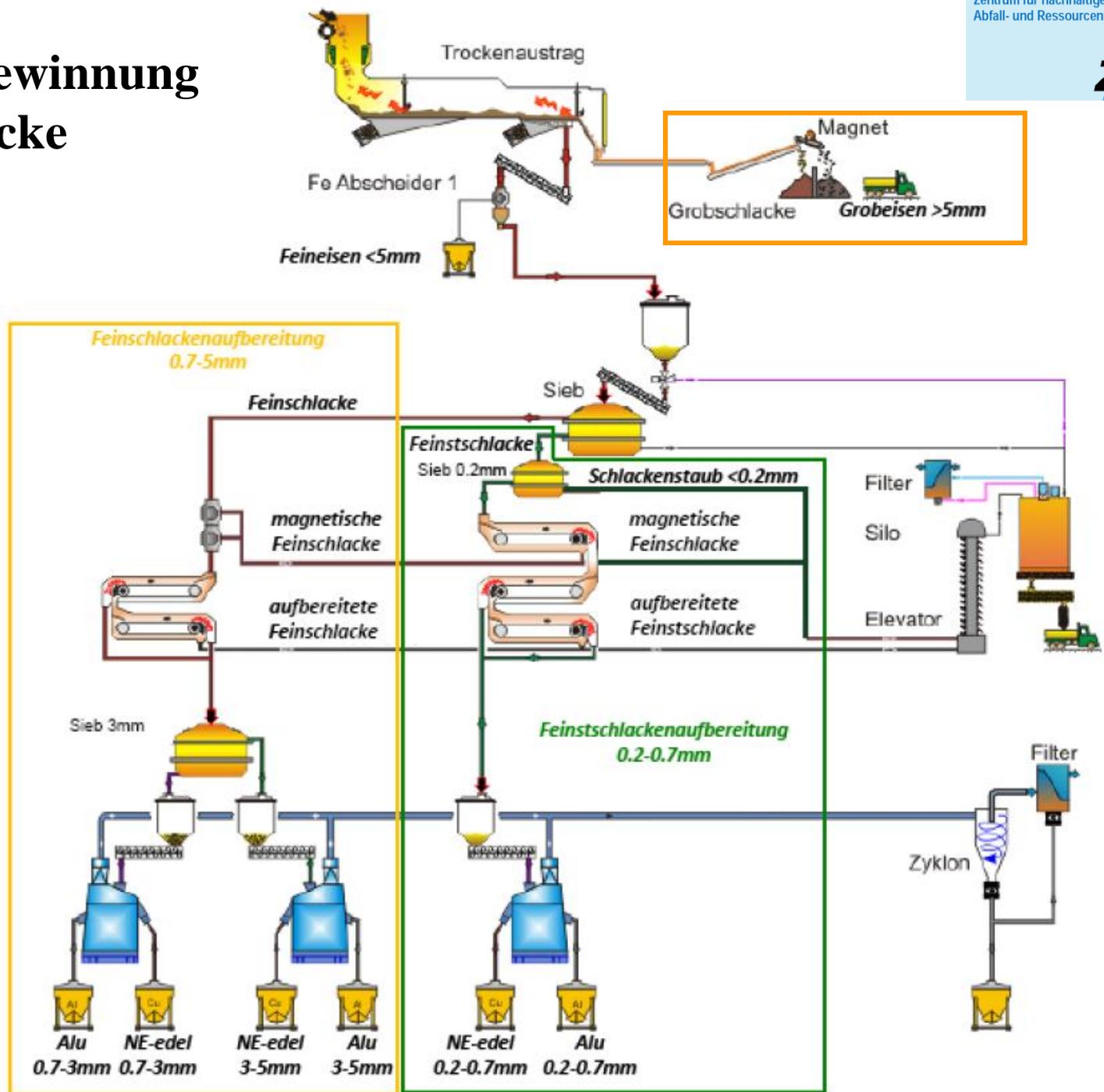
- Material
- Form des Körpers
- Kraft des Magnetfeldes in der Trommel
- Anzahl Magnetpole in der Trommel
- Drehzahl des Magnetfeldes in der Trommel
- Drehrichtung des Magnetfeldes
- Drehzahl des Transportbandes
- Stellung des Scheitelbleches

Kenndaten der installierten NE-Abscheider:

- Magnetstärke[Gauss]:12'500
- Anzahl Pole [-]:44
- Drehzahl Rotor[UPM]:5'000
- Installierte Leistung[KW]:6.8



NE-Metall-Gewinnung aus der Schlacke



Methanisierung von Klärschlamm

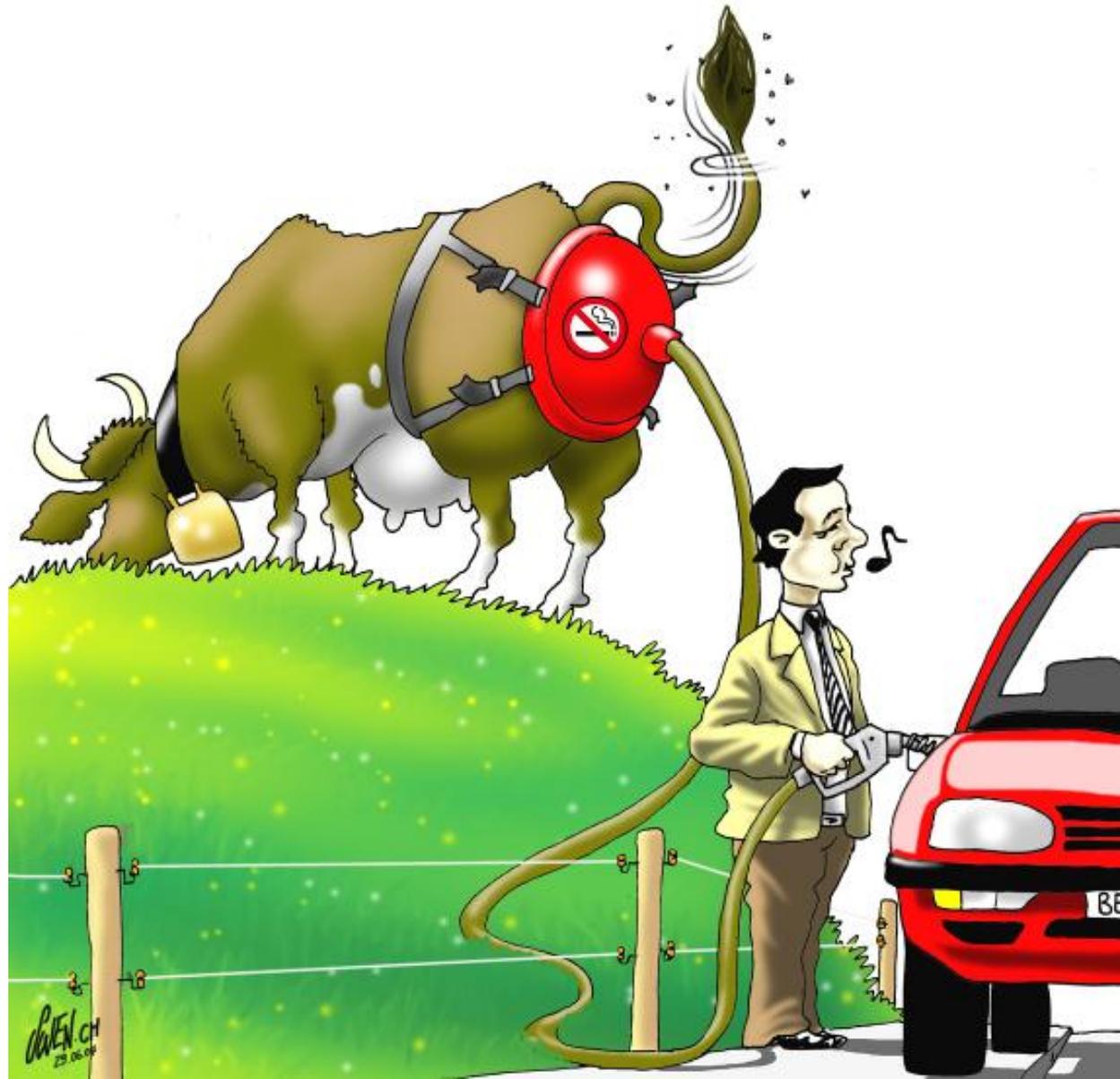
Hydrothermale katalytische Methanisierung von wässrigen Biomassen in überkritischem Zustand

Hydromethan AG, Villigen (Dr. Ing. Martin Lemann, CFO www.hydromethan.ch)

Paul Scherrer Institut, Villigen (Dr. Ing. Fredi Vogel, CTO www.psi.ch)

KASAG, Langnau i.E. (Dipl. Ing. Beat Stucki, CFO www.kasag.ch)

Wie kommt das Methan in
den Tank?





Projektentwicklung

- **2010 - Pilotversuche im Labor von PSI erfolgreich abgeschlossen**
- **2011- Planung Demonstrationsanlage 1 t/h mit drei Optionen für Standort**
- **2012/13 - Inbetriebnahme Demo-Anlage und Optimierung biologischer Reststoffe**
- **2014 – kommerzielle Tätigkeit**
- **Finanzierung – Marktentwicklung:**
 - Swiss Electric Research SER
 - Bundesamt für Umwelt BAFU
 - Förderfond des Kantons Aargau
 - Privatinvestoren



- **Katalytische Hochdruckvergasung durch Methanisierung in wässriger Phase**
- **Abscheidung der Nährsalze und Rückführung in den Kreislauf**
- **Auch nicht vergärbare organische Anteile werden vergast**
- **Energieautarker Prozess**
- **Hoher Prozesswirkungsgrad der Biomasse zu Methan von 60-70 %**

Methan – das natürliche Produkt aus Biomasse

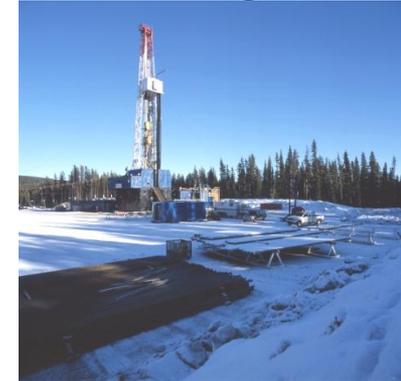
SNG



Biogas



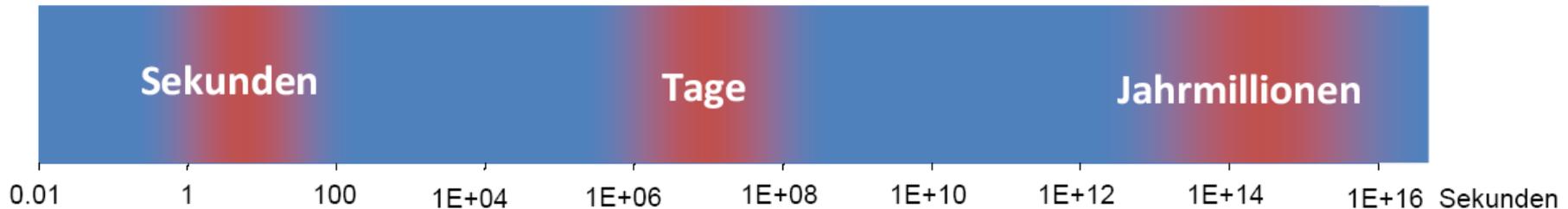
Erdgas



Katalytische Methanierung

Mikrobiologische Vergärung

(Geo-)thermische Umwandlung

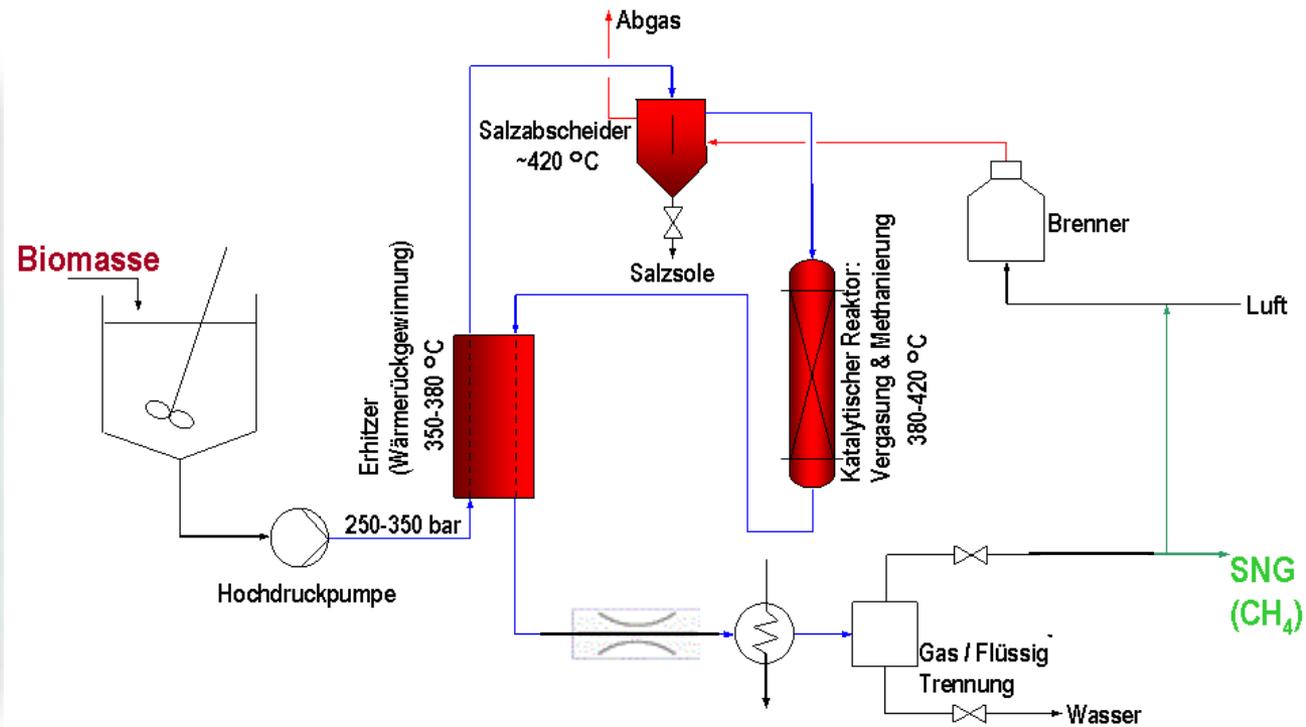


2nd Generation Biogas

Der Unterschied liegt in der Geschwindigkeit der Methan-Bildung

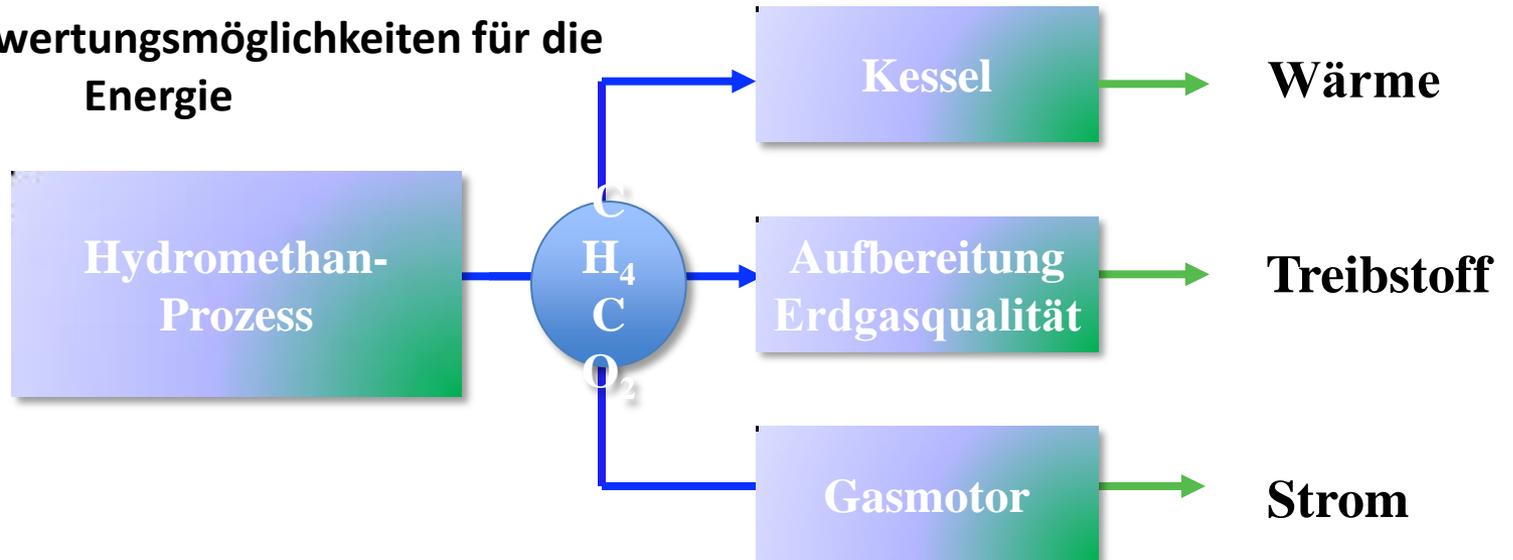
Kritischer Punkt von Wasser:
374,15 Grad C / 220,4 bar

Vereinfachtes Prozessflussbild





Vielfältige Verwertungsmöglichkeiten für die Energie





Erneuerbare Energie aus biologischen Reststoffen - Anwendungsgebiete

- **Rückstände aus Lebensmittel- und Getränkeindustrie**
- **Land- und Forstwirtschaft**
- **Gewerblich-industrielle und kommunaler Abwasserentsorgung**
- **Papierindustrie**
- **Thermochemische Syntheseverfahren**
- **Haushalt und Gewerbe**
- **Biodieselherstellung**



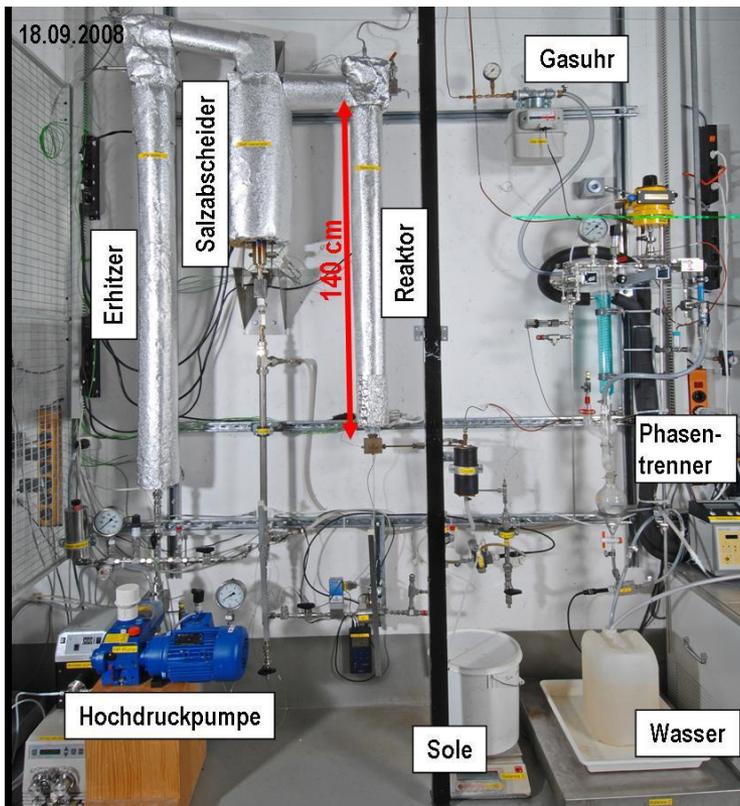
Beispiel Rückstände aus Lebensmittel- und Getränkeindustrie

- **Kafferrückstände**
- **Zucker**
- **Melasse**
- **Biertreber**
- **Fruchttrester**
- **Müllereiabfälle**
- **Schlachtabfälle**

Qualitätsanforderungen

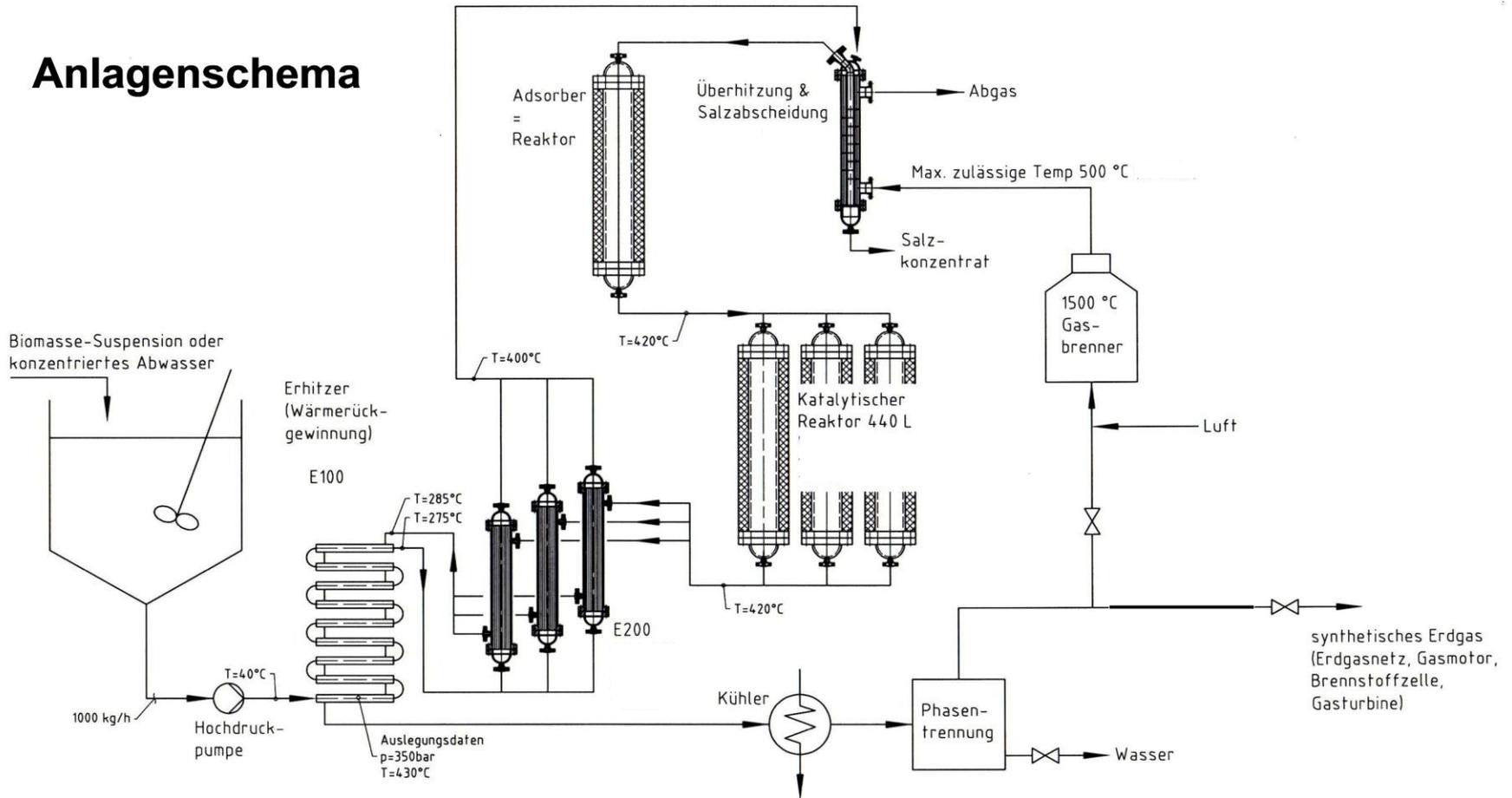
- **mindestens 10 % Organikanteil**
- **Schwefel (?)**
- **pumpfähig**

Realisierung im Labor – Kontinuierliche Laboranlage KONTI-2

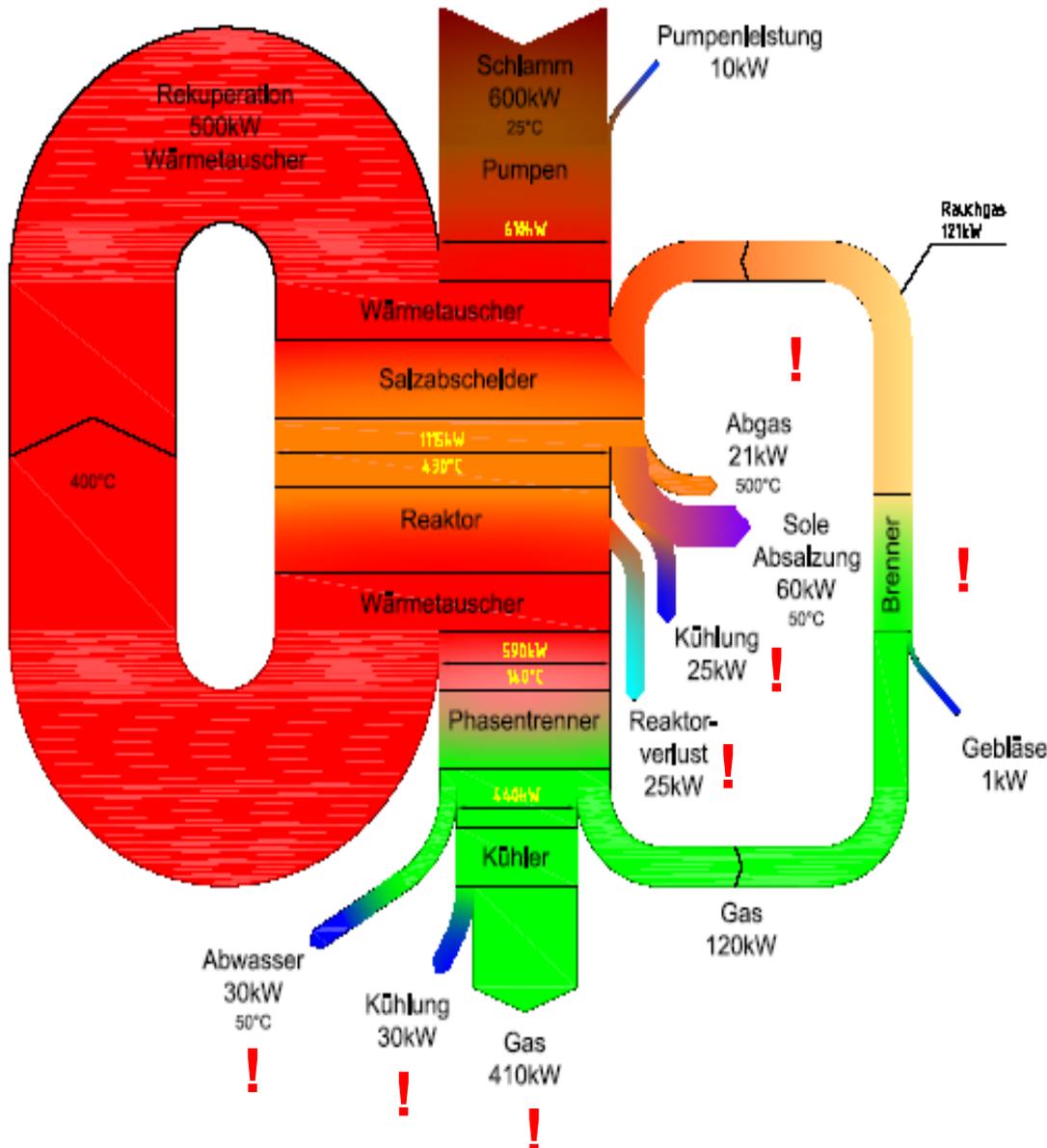


- Druck bis zu 350 bar
- Durchsatz 1 kg/h
- Bis zu 500°C max. Fluidtemperatur
- On-line Messung von: Druck, Temperaturen, el. Leitfähigkeiten sowie Gaszusammensetzung
- Off-line Messung: Element- und Ionenanalytik (ICP-OES, Ionenchromatographie), Kohlenstoffbestimmung (TOC/TIC)

Anlagenschema



Kritischer Punkt von Wasser:
374,15 Grad C – 220,4 bar



Optimierungspotential

- Energierückgewinnung optimieren
- Verluste von 30% minimieren
- Ziel: Wirkungsgrad von 70 auf 80% erhöhen (+ 60kW)

Marktpotential CH: Verbrennung

Industrie	ARA	FLV	LMI	HGN	Total	Prozent
Biomasse feucht zur Verbrennung (Trocknung) t/J	2'480'000	160'000	640'000	1'889'269	5'193'269	86.08%
Biomasse feucht zur Vergärung t/J	0	31'909	69'514	159'791	237'214	4.35%
Biomasse feucht zur Kompostierung t/J	0	4'145	51'613	519'082	574'840	9.57%
Total produzierte Biomasse [TS < 30%]	2'480'000	196'054	761'127	2'568'142	6'005'323	100.00%

Gründe:

Gate Fee Hydromethan: CHF 130 - 180 CHF

Kompostierung/Vergärung ist günstiger mit Gate Fee: 30 - 40 CHF

Vergärung von Gülle ist günstiger mit Gate Fee: 0 - 15 CHF

ARA: Kläranlagen

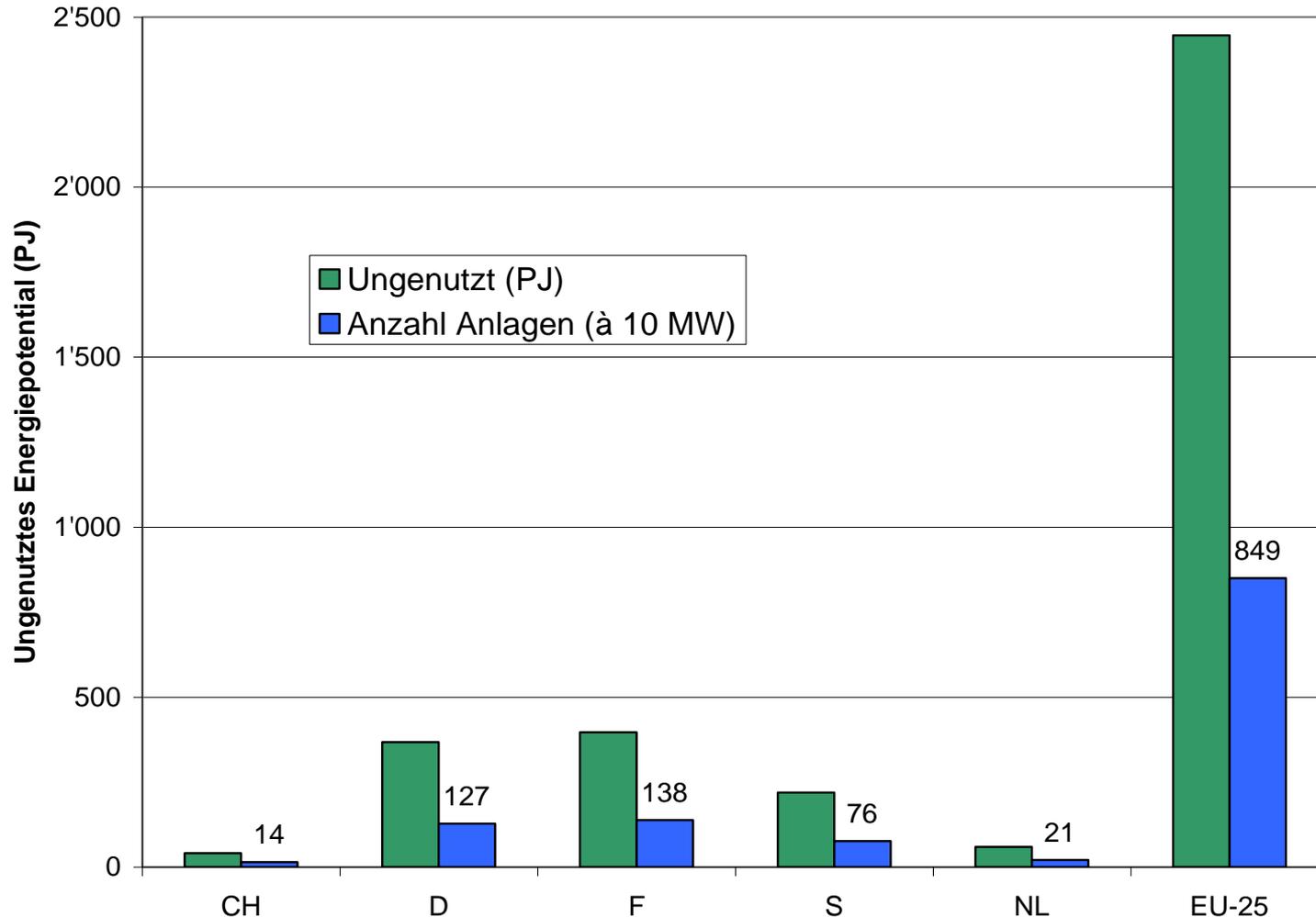
FLV: Fleischverarbeitung

LMI: Lebensmittelindustrie

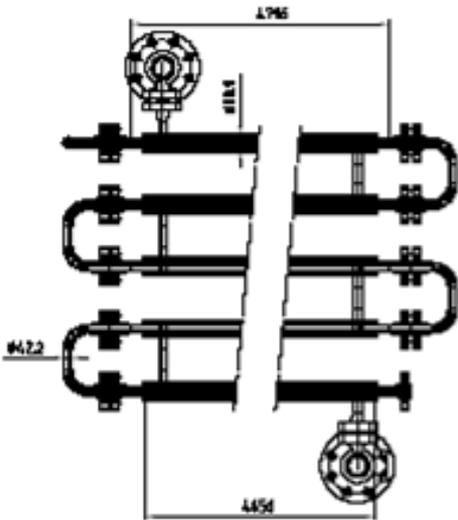
HGN: Haushalte und Gastronomie

Grüne Balken: Ungenutztes Langfrist-Potential von Abfallbiomasse in der Schweiz, Deutschland, Frankreich, Schweden, Holland, EU-25-Raum

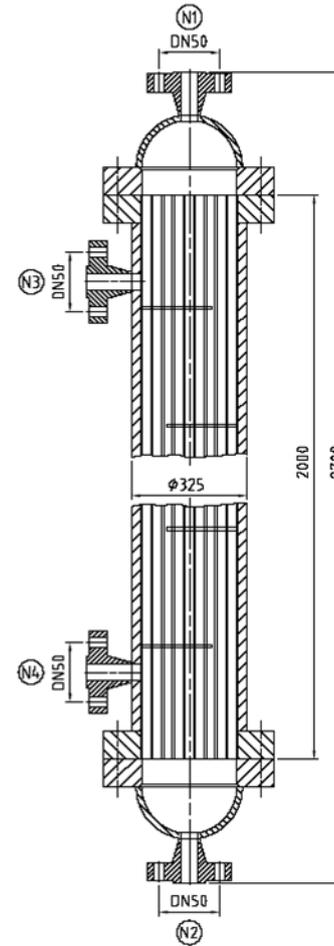
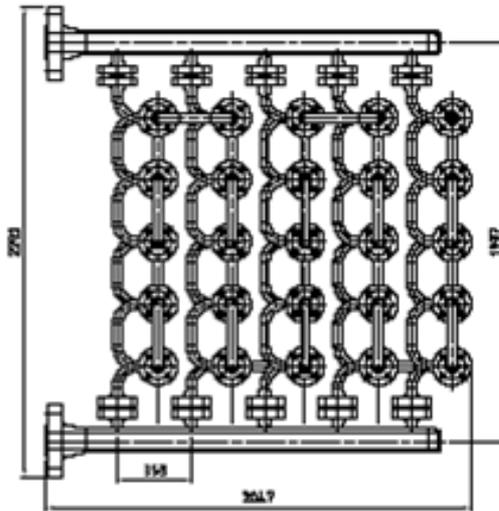
Blaue Balken: geschätztes Marktpotential (Stückzahl) für hydrothermale Methanierungsanlagen à 10 MW Feedleistung (ca. 10 t/h nasse Biomasse mit 20-25% TS)



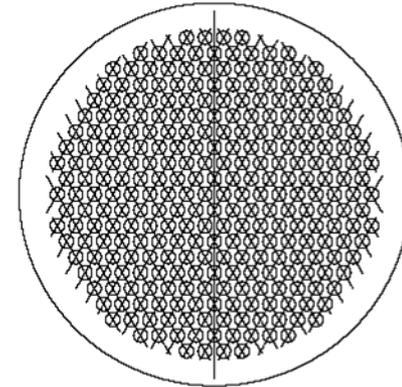
Wärmetauscher



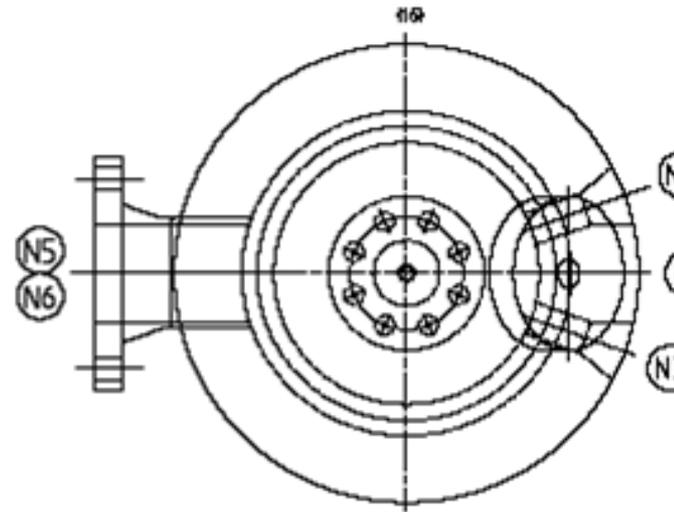
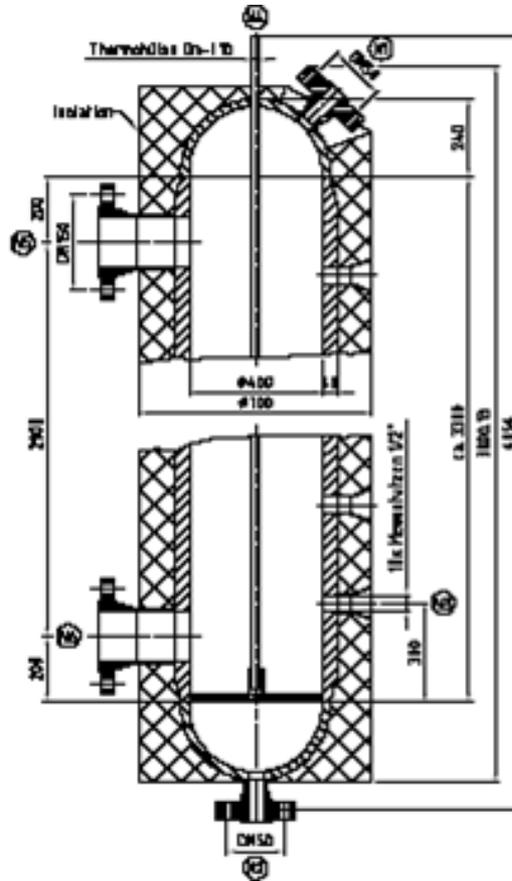
Doppelrohr-WT

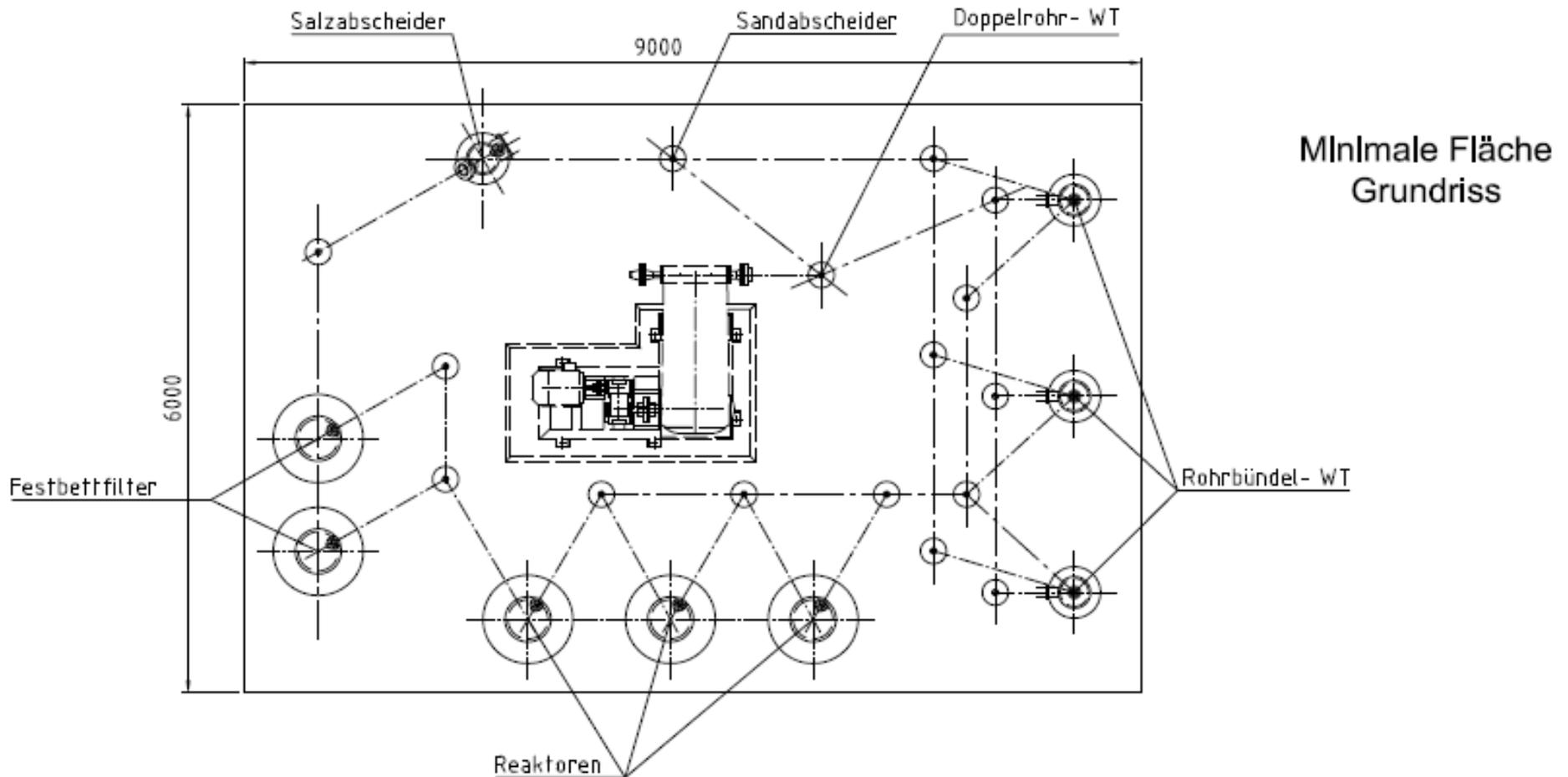


Rohrbündel-WT

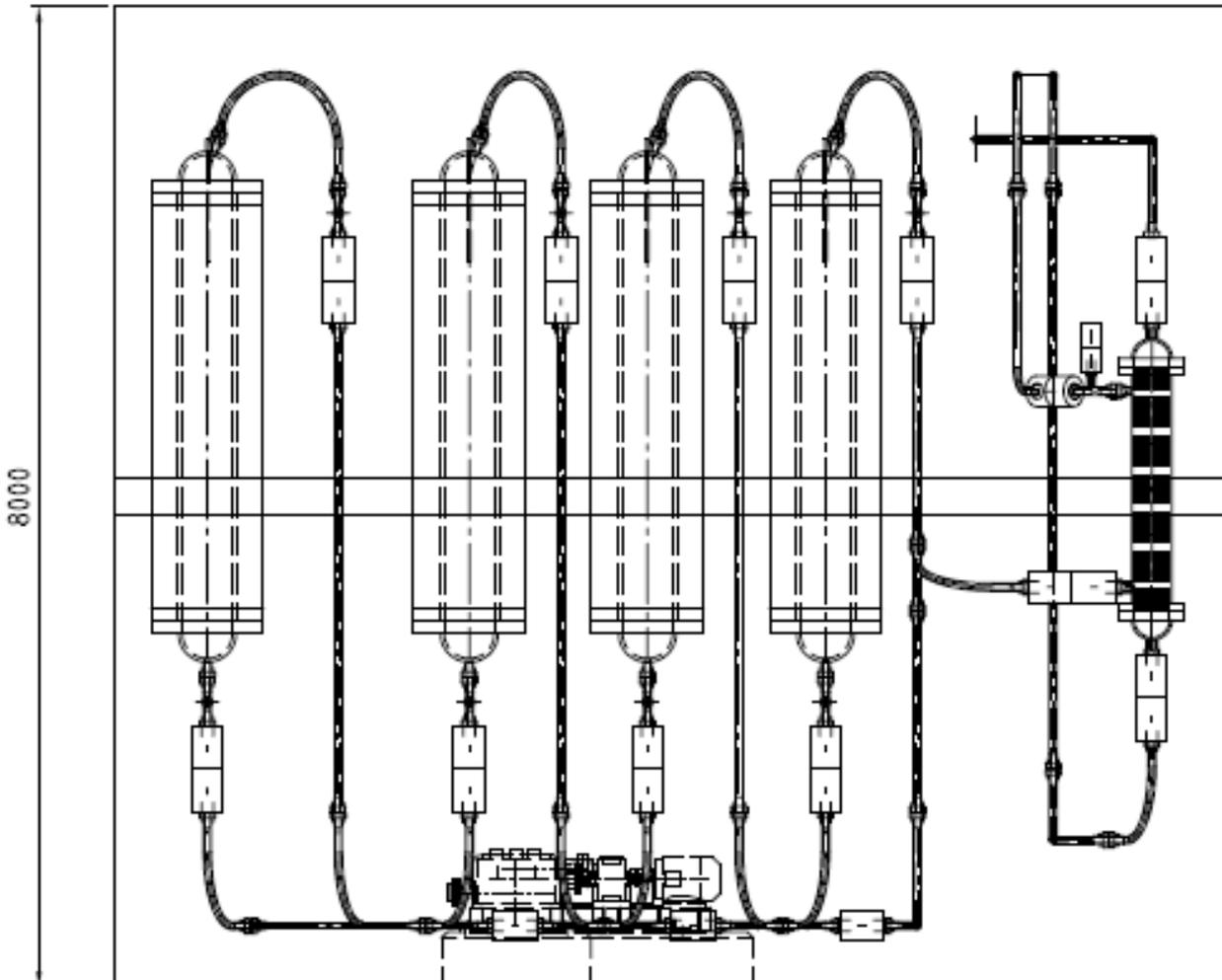


Katalytischer Reaktor





Minimale Fläche
Längsschnitt



Zusammenfassung / Schlussfolgerungen

- Das Recyclingpotential ist in der Schweiz annähernd ausgeschöpft
- Steigende Abfallmengen erhöhen den Recyclinganteil
- Die KEZO Hinwil beweist, dass die Wertstoffrückgewinnung (Eisen, NE-Metalle) aus Müllschlacke möglich ist
- NE-Metalle stellen einen positiven Marktwert dar – Edelmetalle werden vermutlich zu tief vergütet, da nicht getrennt vorhanden
- Nachteil der Trockenentschlackung ist, dass heutige Kehrichtverbrennungsanlagen mit Nassentschlackern ausgerüstet sind und die Betreiber eine Nachrüstung fürchten
- Das Staubproblem bei der Fein-/Feinstschlackenaufbereitung ist nicht zu unterschätzen
- ZAR plant ein regionales Schlackenaufbereitungszentrum
- Die hydrothermale Vergasung weist einen hohen energetischen Wirkungsgrad auf
- Die Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm ist über die hydrothermale Schlammbehandlung möglich
- Die Materialfrage ist noch nicht geklärt
- Das Verfahren soll in eine Pilotanlage getestet werden