VOK KORROSIONSSCHUTZ-FACHTAGUNG 2026 · LINZ

Effizienz und Compliance Korrosionsschutz

Eine techno-ökonomische Analyse von Einweg- versus Mehrwegstrahlverfahren unter Berücksichtigung der Gefahrstoffsanierung

Thomas Nöhrer · M.A.L. Mechatronik Ges.m.b.H.

Freitag, 09.10.2026

M|A|L MECHATRONIK

EINSTIEG

Bevor ich anfange

WER HIER SPRICHT

M.A.L. Mechatronik ist Maschinenbauer. Wir bauen und verkaufen unter anderem mobile Anlagen, die Strahlmittel rücksaugen und wieder aufbereiten.

Ich spreche heute über ein Verfahren, das wir selbst verkaufen.

EINSTIEG

Drei Spielregeln für die nächste halbe Stunde

1

Herkunft jeder Zahl

Veröffentlichte Quelle, Auskunft oder eigene Projekterfahrung

2

Schätzungen benannt

Wo geschätzt wird, wird es dazugesagt

3

Eigene Anlage nur einmal

Als Beispiel für die Technik, nicht als Angebot

MAL MECHATRONIK

WAS SIE MITNEHMEN SOLLEN

Eine Rechnung, die Sie mit Ihren eigenen Preisen nachrechnen können.

M|A|L MECHATRONIK

ÜBERSICHT

Worum es heute geht

1	**Normativer Rahmen und Qualitätssicherung**	Strahlmittelwahl und Standzeit
2	**Verfahrensvergleich Einweg gegen Mehrweg**	Technik und Ressourceneffizienz
3	**Wirtschaftlichkeitsanalyse**	Einkauf, Logistik, Entsorgung
4	**Herausforderung Gefahrstoffsanierung**	Asbest, Blei, PCB, PAK
5	**Fazit und Ausblick**	Grenzen und Kernbotschaften

M|A|L MECHATRONIK

1

Normativer Rahmen und Qualitätssicherung

Was die Wahl des Strahlmittels mit der Standzeit der Beschichtung zu tun hat

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 1 · NORMATIVER RAHMEN

Der größte Hebel der Korrosionsprävention

88,3 %

der US-Ausgaben für Korrosionsprävention entfallen auf Beschichtungen

Jede Beschichtung ist nur so gut wie die Oberfläche darunter.

Eine amerikanische Zahl, nicht eigens für Strahlarbeiten erhoben. Sie zeigt, wo der Hebel liegt.

Quelle FHWA / CC Technologies / NACE International, Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States, 2002

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 1 · NORMATIVER RAHMEN

Vier Prüfgrößen der gestrahlten Fläche

1 **Reinheitsgrad**
ISO 8501-1

2 **Rauheitsprofil**
ISO 8503

3 **Staub**
ISO 8502-3

4 **Salz**
ISO 8502-6 und -9

Alle vier hängen auch davon ab, womit gestrahlt wird.

KAPITEL 1 · QUALITÄTSSICHERUNG

Kantiger Stahlguss wird im Umlauf rund



Messbare Wirkung auf die Haftung der Beschichtung

Quelle KTA-Tator, Untersuchung zu recyceltem Stahlguss kantig

Kaum ein Korn erlebt 200 Umläufe

Die meisten Körner sind verbraucht, bevor sie sich rundlaufen.

Umlauf je Düse	**≈ 1 t je Stunde**
Verbrauch je Düse	**≈ 10 kg je Stunde**
Verlust je Umlauf	**≈ 1 %**
Verweildauer im Mittel	**≈ 100 Umläufe**

Erfahrungswerte M.A.L. Mechatronik, 10-mm-Düse, kein Messwert aus einer Studie

M|A|L MECHATRONIK

Das Betriebsgemisch hält die Kantigkeit konstant

1 **Strahlen** → 2 **Rücksaugen und klassieren** → 3 **Feinanteil austragen** → 4 **Frisches Korn nachführen**

Ergebnis ist ein Gleichgewicht aus Körnern unterschiedlichen Alters. Die Kantigkeit bleibt im Mittel konstant, statt dass die ganze Füllung gleichzeitig abstumpft.

KAPITEL 1 · QUALITÄTSSICHERUNG

Die Kontrolle gehört auf die Fläche

NEUWARE

Die Produktnorm ISO 11126 gilt ausdrücklich nur für unbenutztes Material.

IM UMLAUF

Für Strahlmittel im Umlauf gibt es keine Produktnorm.

Geprüft wird auf der Fläche, unmittelbar vor dem Beschichten.

MAL MECHATRONIK

2

Verfahrensvergleich Einweg gegen Mehrweg

Technische Performance, Ressourceneffizienz und Umweltschutz im Baustellenbetrieb

M|A|L MECHATRONIK

KAPITEL 2 · VERFAHRENSVERGLEICH

Einweg und Mehrweg sind eine Skala

EINWEG

Kupferhüttenschlacke

Hochofenschlacke

Schmelzkammerschlacke

einmal verstrahlt, dann entsorgt

Granat

begrenzt mehrwegfähig, rund vier Zyklen

Kundenrückmeldung

MEHRWEG

Stahlkies

Hartgusskies

mineralisch, zum Beispiel Korund

im Kreislauf geführt

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 2 · VERFAHRENSVERGLEICH

Warum der Unterschied besteht

SPRÖDE

Schlacke

Kann die Aufprallenergie nicht durch Verformung abbauen

zerspringt beim Aufprall

ZÄH

Stahlkies

Verformt sich unter der Aufprallenergie, statt zu brechen

übersteht viele Umläufe

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 2 · VERFAHRENSVERGLEICH

Was Sie auf der Baustelle merken

ERSTENS · STAUB

Weniger Feinanteil

Das Korn zerplatzt nicht. Der Strahler sieht, was er tut.

ZWEITENS · FLÄCHENLEISTUNG

+20 bis 30 %

Das schwerere metallische Korn trägt mehr Energie in die Oberfläche.

Flächenleistung beim Umstieg von Schlacke auf Stahlkies, Erfahrungswert aus Projekten von M.A.L., kein Messwert aus einer Studie

M|A|L MECHATRONIK

KAPITEL 2 · RESSOURCENEFFIZIENZ

Ein Kilogramm ersetzt fünfzig

1 kg Mehrwegstrahlmittel

ersetzt

50 kg Einwegschlacke

Schlacke	40 bis 60 kg je m²
Mehrweg	0,8 bis 1,2 kg je m²

Erfahrungswerte aus Projekten, abhängig von Altbeschichtung, Rostgrad und Geometrie. Verbraucht wird nur, was zu Staub zerfällt oder beim Rücksaugen verloren geht.

M|A|L MECHATRONIK

10.000 m² bei 50 kg je m²

Einweg, 500 t Schlacke

20 Fuhren zur Baustelle und 20 zur Deponie



Mehrweg, 10 t Strahlmittel



eine einzige Fuhre

Anmerkung nach VOK Vortrag – inkl. Vorhaltemenge sind es 2 Fuhren

Weniger Material, weniger Verkehr, weniger Abfall.

Ein Kästchen entspricht einer Lkw-Fuhre mit 25 t Nutzlast, eigene Kalkulationsannahme

M|A|L MECHATRONIK

3

Wirtschaftlichkeitsanalyse

Materialbeschaffung, Logistik und Entsorgung, gerechnet mit Preisen aus Österreich

M|A|L MECHATRONIK

KAPITEL 3 · DIE BEZUGSGRÖSSE

Gerechnet wird mit der Tonne Schlacke, die Sie gar nicht erst brauchen.

nicht kaufen

nicht transportieren

nicht entsorgen

MAL MECHATRONIK

Strahlmittelpreise, lose ab Werk

Strahlmittel	je Tonne, ohne Transport
Einwegschlacke	295 bis 350 €
Stahlkies	1.300 bis 1.500 €
Hartgusskies	1.200 bis 1.500 €

Gerechnet wird jeweils mit der Mitte der Spannen

Bei Stahl hängen die Preise stark vom Energie- und Schrottzuschlag ab

Quelle Marktpreisspannen eines Strahlmittellieferanten, Oktober 2026

Entsorgung und Transport je Tonne

ÖFFENTLICHE PREISLISTE

≈ 101 €

Deponiepark Wels Nord, nicht gefährliche Strahlmittelrückstände, 90 € plus Altlastenbeitrag

GEGENPROBE

100–150 €

Auskunft eines österreichischen Deponiebetreibers

TRANSPORT

≈ 12 €

50 km zur Baustelle und 50 km zur Deponie, eigene Kalkulation

Quellen Felbermayr, Preisliste Umwelt und Ressourcen 2026, SN 31451 · ALSAG § 6, Altlastenbeitrag Baurestmassendeponie seit 01.01.2025

KAPITEL 3 · MASSENBILANZ

Was auf die Baustelle kommt, muss auch wieder weg

Einweg — 50 kg je m², hin und wieder weg



Mehrweg — 1 kg je m², hin und wieder weg



Auch Mehrwegstrahlmittel zerfällt am Ende zu Staub. Der Unterschied liegt allein in der Menge, und die ist fünfzigmal kleiner.

Balkenlängen maßstäblich, Verbrauchswerte aus Projekterfahrung

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 3 · DIE RECHNUNG

Eine Tonne Schlacke gegen 20 kg Mehrweg

1 t Einwegschlacke

≈ 435 €

Einkauf, Transport und Entsorgung

20 kg Mehrwegstrahlmittel

≈ 30 €

Einkauf, Transport und Entsorgung

Ersparnis je Tonne

≈ 405 €

Ränder der Preisspannen 375 bis 436 €

Auf 1.000 m² gerechnet **knapp 21.800 €** gegen **knapp 1.500 €**

Mitte der Preisspannen, Entsorgung Wels Nord inklusive Altlastenbeitrag, Transport eigene Kalkulation, 50 kg Schlacke je m²

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 3 · WOHER DIE 405 € KOMMEN

Der größte Hebel ist der Einkauf



≈ 295 € Einkauf

rund 323 € Schlacke minus rund 28 € Mehrweg

≈ 110 €

Entsorgung und Transport

Mehrweg nur ein Fünfzigstel

Die Entsorgung spart zusätzlich. Bei gefährlichem Strahlschutt wird ihr Anteil deutlich größer.

Balken maßstäblich, je ersetzter Tonne Schlacke · exakt 295,00 € Einkauf + 98,59 € Entsorgung + 11,76 € Transport = 405,35 €

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 3 · AMORTISATION

Ab wann sich eine Anlage rechnet

670 bis 1.040 t

ersetzte Schlacke

entspricht 13.300 bis 20.700 m² bei 50 kg je m²

INVESTITION

270.000 bis 420.000 €

je nach Anlagengröße, ohne Strahlkessel, die brauchen Sie bei Einweg genauso

OHNE STRAHLMITTELSAUGER

470 bis 740 t

Der Sauger mit 80.000 bis 120.000 € wird auch bei Einweg gebraucht

Investition Herstellerangabe M.A.L. Mechatronik, Schwelle gleich Investition geteilt durch rund 405 € Ersparnis je Tonne

M|A|L MECHATRONIK

KAPITEL 3 · NUTZUNGSDAUER

Die Schwelle ist eine Menge, keine Frist



Jahr 1 bis 3

Anlage bezahlt

Jahr 4 bis 10

Ersparnis bei jeder Tonne

Nur einzelne Baustellen? Die Anlage für das Projekt mieten.

Annahme Nutzungsdauer rund zehn Jahre, Beispiel mit Amortisation nach drei Jahren

MAL MECHATRONIK

4

Herausforderung Gefahrstoffsanierung

Asbest, Blei, PCB und PAK, Rechtslage in Österreich und Reduktion gefährlicher Abfälle

M|A|L MECHATRONIK

KAPITEL 4 · EINES VORWEG

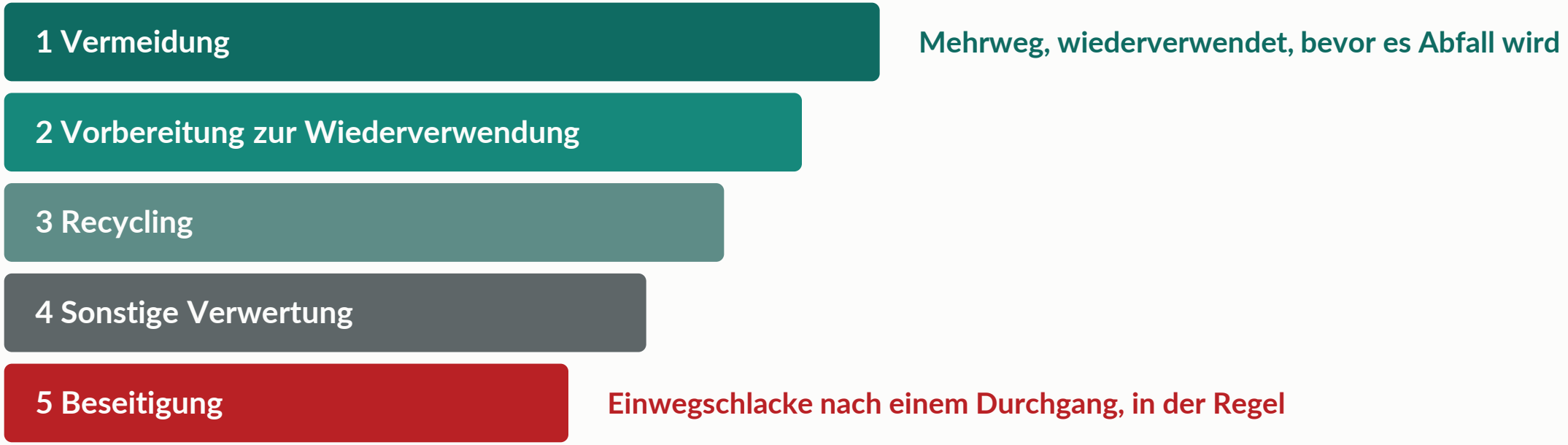
Ein Gefahrstoff ändert nicht die Menge an Strahlmittel. Er ändert Kosten und Regeln.

Wie viel Strahlmittel je m² gebraucht wird, hängt allein vom Zustand der Oberfläche ab, von Rostgrad, Zunder und Altbeschichtung.

Anmerkung nach VOK Vortrag – kann die Vorhaltemenge nicht auf einer anderen Baustelle wiederverwendet werden und muss entsorgt werden, erhöht das den Strahlmittelverbrauch pro m² bei Gefahrstoffsanierungen – bei sehr kleinen Baustellen wirkt sich das aus, bei größeren relativiert sich das.

M|A|L MECHATRONIK

Die Abfallhierarchie ist geltendes Recht



Quelle AWG 2002 § 1 Abs. 2 (Hierarchie) und § 2 Abs. 5 Z 3 (Abfallvermeidung, auch durch Wiederverwendung von Produkten)

M|A|L MECHATRONIK

KAPITEL 4 · EIN EINWAND

Ist Schlacke nicht selbst Kreislaufwirtschaft?

Nebenprodukt der Hütte
ein zweites Leben beim Strahlen

→

Gute Verwertungswege
etwa im Zement und im Straßenbau

→

Nach einem Durchgang
vermischt mit Rost, Zunder und Altbeschichtung, in der Regel Deponie

Aus einem verwertbaren Rohstoff wird beseitigter Abfall.

Eisenhüttenschlacke in Deutschland 2024, 96 % von 11,8 Mio. t genutzt, davon 7,1 Mio. t als Hüttensand im Zement · FEhS-Institut, Eisenhüttenschlacken kompakt 2025

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 4 · ABFALLVERZEICHNIS

Zwei Schlüsselnummern für Strahlmittelrückstände

31451

nicht gefährlich

mit anwendungsspezifischen nicht schädlichen Beimengungen

31440

gefährlich

mit anwendungsspezifisch schädlichen Beimengungen

Die Laboranalyse gegen die Grenzwerte des jeweiligen Gefahrstoffs entscheidet.

Quelle Abfallverzeichnisverordnung 2020, Abfallverzeichnis im EDM-Portal des Ministeriums

M|A|L MECHATRONIK

Was in Österreich anders ist

Thema	Regel	Grundlage
Ablagerung	Gefährliche Abfälle nur untertage	DVO 2008 § 4
Folge	Gefährlicher Strahlschutt wird behandelt oder untertage entsorgt	DVO 2008
Nachweis	Begleitschein, Daten ins elektronische Register	ANV 2012
Asbest	Nur Arbeitgeber auf öffentlicher Liste, Nachweis 8 Wochen vor Beginn	GKV 2025 § 26

Zum Vergleich Deutschland, Strahlmittelabfälle mit gefährlichen Stoffen können oberirdisch deponiert werden, etwa bei der KKA Kreis Kleve, Preisliste 2026

KAPITEL 4 · KOSTEN

Gefährlicher Strahlschutt, die Rechnung

Entsorgung gefährlich

200–250 €/t

Auskunft Deponiebetreiber, inkl. Altlastenbeitrag

1 t Schlacke gesamt

≈ 560 €

gerechnet mit 225 €/t

Ersparnis je Tonne

≈ 527 €

statt rund 405 € bei nicht gefährlich

Die Anlage ist bezahlt nach rund **510 bis 800 t**

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 4 · DER FAKTOR 50

10.000 m², Analyse über dem Grenzwert

Einweg — **500 t gefährlicher Abfall**



Mehrweg — **10 t Strahlmittel**



Dazu kommt bei beiden Verfahren derselbe Abtrag von der Oberfläche, also Rost, Zunder und Altbeschichtung.

Balkenlängen maßstäblich, Strahlmittel ohne Abtrag, 50 kg Schlacke bzw. 1 kg Mehrweg je m²

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 4 · EIN ZWEITER EINWAND

> **Der Rest aus der Wiederaufbereitung ist konzentriert, wird eher gefährlich eingestuft und nicht jede Deponie nimmt ihn.**

Bei Schlacke bleibt der verdünnte Strahlschutt oft unter dem Grenzwert.

Darauf vier Antworten.

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 4 · VIER ANTWORTEN

Verdünnen löst das Problem nicht

1

Die Schadstoffmenge ist gleich

Das Blei kommt aus der Altbeschichtung, nicht aus dem Strahlmittel. Verdünnen ändert die Konzentration, nicht die Menge auf der Deponie.

2

Das Risiko trägt Einweg

Ob die Verdünnung reicht, zeigt erst die Analyse nach dem Strahlen. Liegt sie darüber, sind es 500 statt 10 t gefährlicher Abfall.

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 4 · VIER ANTWORTEN

Auf Verdünnung kalkuliert man nicht

3

Paragraf 15 AWG

Grenzwerte nur durch Vermischen einzuhalten, ist nicht zulässig. Wie weit das beim Strahlen greift, ist eine Rechtsfrage.

4

Der ungünstigste Fall

Mehrwegrest gefährlich, Schlacke nicht. Die Ersparnis sinkt nur von 405 auf

≈ 403 € je t

AWG 2002 § 15 Abs. 2 Z 2 lit. a · Rechnung mit 100,60 €/t für Schlacke und 225 €/t für den Mehrwegrest

M|A|L MECHATRONIK

KAPITEL 4 · FALLBEISPIEL

MAL Kombi Rev I, mobile Wiederaufbereitung



Vorabscheider

Siebtrommel

Kaskaden-Windsichter

Magnetabscheider mit Entmagnetisierung

Silo, zurück in bis zu 6 Strahlkessel

magnetische und nichtmagnetische Mehrwegstrahlmittel

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 4 · FALLBEISPIEL

Für Gefahrstoffe entscheidend, ein geschlossenes System

- Gesamte Abluft über Filterpatronen der Klasse H
- Staubaustrag überall in Endlossäcke
- Strahlkessel staubdicht angebunden
- **Aufstellung im Weißbereich**

Am Projektende wird das belastete Strahlmittel sicher verpackt und, wenn möglich auf der nächsten Gefahrstoffbaustelle weiterverwendet oder als gefährlicher Abfall entsorgt.

MAL MECHATRONIK

5

Fazit und Ausblick

Wo das Verfahren an Grenzen stößt und was bleibt

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 5 · GRENZEN

Drei Grenzen, die dazugehören

1

Die Wirtschaftlichkeit hat eine Untergrenze

Unter 670 bis 1.040 t in zehn Jahren lieber mieten oder einen Nachunternehmer mit Anlage beauftragen

2

Das Mehrwegkorn altert

Ohne laufendes Nachdosieren liefert der Kreislauf irgendwann ein anderes Strahlbild

3

Die Datenlage

Preise sind Auskünfte von dieser Woche, Verbrauchswerte sind Erfahrungswerte

MAL MECHATRONIK

KAPITEL 5 · ZUM MITNEHMEN

Vier Sätze zum Mitnehmen

1 **Keine Haltungsfrage**
Die Abfallhierarchie steht im Abfallwirtschaftsgesetz und gilt auch auf der Baustelle.

2 **Es rechnet sich, der größte Hebel ist der Einkauf**
Rund 405 € je ersetzter Tonne Schlacke, bei gefährlichem Strahlschutt mehr.

3 **Der Faktor 50 bei Gefahrstoffen**
Wirkt direkt auf die Menge gefährlicher Abfälle, vorausgesetzt, das System ist geschlossen.

4 **Prüfen Sie die Zahlen**
Die Formel ist einfach, setzen Sie Ihre eigenen Preise ein.

MAL MECHATRONIK

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Ich freue mich auf Ihre Fragen.

Thomas Nöhrer

M.A.L. Mechatronik Ges.m.b.H. · Kranichbergstraße 16a, 2640 Enzenreith

thomas.noehrer@mal-mechatronik.com · +43 664 888 74 146

www.mal-mechatronik.com

ANHANG · FÜR DIE FRAGERUNDE

Selbst nachrechnen

ERSPARNIS JE ERSETZTER TONNE SCHLACKE

(Schlacke + Entsorgung + Transport) − (Mehrweg + Entsorgung + Transport) ÷ 50

je Tonne	Einweg	Mehrweg
Strahlmittel, Mitte der Spanne	322,50 €	1.375,00 €
Entsorgung Wels Nord inkl. ALSAG	100,60 €	100,60 €
Transport, eigene Kalkulation	12,00 €	12,00 €
Je ersetzter Tonne Schlacke, Mehrweg ÷ 50	435,10 €	29,75 €

Ersparnis 405,35 € je Tonne · Schwelle = Investition ÷ Ersparnis je Tonne

M|A|L MECHATRONIK

ANHANG

Quellen

RECHT UND NORMEN

Abfallwirtschaftsgesetz 2002, § 1 Abs. 2, § 2 Abs. 5, § 15 Abs. 2

Abfallverzeichnisverordnung 2020, SN 31451 und 31440

Deponieverordnung 2008, § 4

Altlastensanierungsgesetz, § 6

Abfallnachweisverordnung 2012

Grenzwerteverordnung 2025, § 26

ISO 8501-1, ISO 8503, ISO 8502-3, -6, -9, ISO 11126

STUDIEN, PREISE, ERFAHRUNG

FHWA / CC Technologies / NACE, Corrosion Costs and Preventive Strategies, 2002

KTA-Tator, recycelter Stahlguss kantig

FEhS-Institut, Eisenhüttenschlacken kompakt 2025

Felbermayr, Preisliste Umwelt und Ressourcen 2026 · KKA Kreis Kleve, Preisliste D 2026

Marktpreisspannen eines Strahlmittellieferanten und Auskunft eines Deponiebetreibers, Oktober 2026

Erfahrungswerte und Herstellerangaben M.A.L. Mechatronik

M|A|L MECHATRONIK