

Abfalltechnik

1 Mensch und Abfall

- Entstehung des **Abfallproblems** bei Aufgabe des Nomadentums.
- Vor 6500 a: Abwasserrohre aus Ton, Abfallsammelraum im Orient.
- Jerusalem: Kehrichtdeponie, Kompostierung von organischem Material, Verbrennung von anorg. Stoffen, Entwässerungssystem.
- Griechen, Römer: Betrieb von Wasserleitungen, Abwasserkanäle. Reinigung durch Kriegsgefangene. Strassenreinigung sollte durch Bürger durchgeführt werden, funktionierte nicht. Sammlung der Abfälle und Fäkalien durch Sklaven in Tongefässen bei Bürgerhäuser. Untergang des römischen Reichs führte zur Vergessenheit der Stadtreinigung.
- **Mittelalter**: Unhygienische Zustände, meterhoher, stinkender Schlamm auf ungepflasterten Strassen. ⇒ Pflasterung der Strassen brachte Besserung.
- Reinigung der Strasse durch Polizei oder Bürger (vor Haus). Dirnen in Wien, Berlin und Bern (Strassennutzer).
- 19. Jhd: **Cholera**seuche, Erkenntnisse von Hygiene und Sterblichkeit durch Engländer. Aufbau eines effizienten Entsorgungssystem, Sammelgut auf Deponien. Geringe Kapazität der Deponie führte zur **Abfallverbrennung**. Grösster Erfolg mit Verbrennungszellen. Abfall von Hand eingeschauft, Diskontinuierliche Verbrennung. Entfernung der Asche mit Brechstangen.
- DE: Engl. Ofenkonstruktion funktionierte nicht. Grund: Abfall ≠ Abfall.
- CH: 1854: Cholera, 1863: Sanierung des **Abfall- und Kloakewesen**. Bis anhin: Sammlung der Fäkalien und Abfälle in Ehgräben, Einleitung in die Limmat.
- Regelmässige Abfuhr von Hauskehricht. Abfallbeseitigung wurde 1904 mit der KVA ZH gelöst.
- Funktionsweise: Müllaufgabe von oben über Vorherd zur Zelle (Vortrocknung)
Schlacke mit Brechstangen in Kippwagen ausgeräumt
- Einführung von einheitlichen Eimern mit passenden Kehrichtwagen, bis 1970 in Betrieb. (System **Ochsner**)
- Bern: 18. Jhd: Strassenreinigung durch Strafgefangene. Anfang 20. Jhd: Probleme mit Deponierung ⇒ Abfallsortierung durch Strafanstalt (Metall, Glas, Ton, Porzellan, Lumpen, Leder, Papier. Rest wurde kompostiert und als Kultivator eingesetzt.)
1954: KVA in Betrieb mit Fernwärmenetz

2 Abfallbewirtschaftung

- Umfasst Entstehung, Behandlung und Endlagerung von Abfallstoffen und Folgeprodukten. Stofffluss im Bereich

menschlicher Aktivitäten soll aufgezeigt, analysiert und optimiert werden. *Abb. Skript S.30.*

- Leitgedanken: vermeiden, vermindern, verwerten
- Probleme heute:
 - Verstärkung von Littering durch Einführung der Sackgebühr.
 - Recycling & Entsorgung sind (private) Wirtschaftszweige geworden
 - Engpässe der Verbrennungsleistung, verbotene Deponien und Abfallexport durch Einführung des Deponieverbots.

2.1 Definitionen

Abfall Bewegliche Sachen, welche der Besitzer nicht mehr haben will. Hat für Besitzer keinen Wert mehr, Aufbewahrung ist mit Kosten/ Nachteilen verbunden. Kann als Produkt verwertet oder als Abfall beseitigt werden.

Siedlungsabfälle Haushaltsabfälle und ähnliche Abfälle aus Gewerbe und Industrie, Strassenkehricht und Marktabfälle. Wird durch öffentliche Hand entsorgt. Zusammensetzung im 21. Jhd:

Hauskehricht und Gartenabfälle	60%
Sperrgut	15%
Gewerbeabfälle	20%
Strassen-, Marktabfälle	5%

Sonderabfälle Nicht kompostierbar, nicht ohne Zusatzaufwand deponierbar, nicht in KVA entsorgbar.

Pasten: Ölschlämme Farbschlämme, Destillationsrückstände, Tankreinigungsrückstände.

Flüssigkeiten: Lösungsmittel, organisch verschm. Säuren und Laugen, Laborchemikalien, Altöl,...

Feststoffe: Altmedikamente, kontaminierte Filter, Verpackungsmaterial, Farb-, Lack-, & Spraydosen,...

Klärschlamm Besteht aus allem was in WC gelangt: Altöl, Chemikalien, Schwermetall, Waschmittel, Krankheitserreger, Parasiten. Verwendung als Dünger verboten.

2.2 Entstehung von Abfall

Primärer Sektor Rohstoffabbau, ist kein wirkliches Abfallproblem, ausser durch Hilfsstoffe.

Sekundärer Sektor Rohstoffverarbeitung und Konsum. Entstehung von unverwertbaren Rückständen.

Tertiärer Sektor Dienstleistungen (Transport). Kein zusätzlicher Abfall.

Einhaltung von „vermeiden, vermindern, verwerten“ durch Gesetzgebung, Aufklärung und Geldbeutel.

2.3 Abfallbehandlung

Abfallbehandlung umfasst Einsammlung, Transport, Verarbeitung und Endlagerung.

Verarbeitung des Abfalls:

mechanisch- biologische Anlage (MBA) Auftrennung der Abfälle. (*Skript S.317, ZF S. 11*)

KVA ohne Vorbehandlung verbrennen. Dampf für Stromproduktion/ Fernwärme. Mehrstufige Abgasreinigung, Verbrennungsrückstände auf Deponie.

Deponie Nur für Rest- und Inertstoffe.

Phasen der Abfallwirtschaft, CH Wilde Deponie (1960er), Einfluss des Gewässerschutzgesetz (1970er), umweltverträgliche KVA (ab 1986).

2.4 Gesetze und Verordnung (Skript S.40ff.)

Leitbild Juni 1986 Grundsätze und Ziele: Umweltverträgliche, regionale Entsorgung, Abfallplanung der Kantone, keine organische Stoffe im Endlager, private Entsorgung wird nicht subventioniert, kosten-/ risikogerechte Gebühren, Recycling anstreben.

USG Schutz von Lebewesen, Lebensgemeinschaften und Lebensräume vor schädlichen und lästigen Einwirkungen. Regelung von Luftverunreinigungen, Lärm, Erschütterung und Strahlen durch Grenzwerte. Bund beaufsichtigt und koordiniert, Kantone vollziehen.

GSchG Sicherstellung von Trink- und Brauchwasser. Nachteilige Einwirkung verhindern und beheben. Bund beaufsichtigt und koordiniert, Kantone vollziehen. Förderung von gewissen Einrichtungen und Massnahmen (N-Elimination, etc.)

StoV Umweltgerechtes Verhalten im Umgang mit Stoffen ist Pflicht, Einschränkungen und Verbote müssen eingehalten werden, Stoffe auf Umweltverträglichkeit prüfen und beurteilen, Fachleute für spezielle Stoffe.

LRV Begrenzung der Emissionen, an Ort erfassen und ableiten ⇒ keine übermässigen Immissionen, Kontrollpflicht und Sanierungspflicht, nur trockene Wald-, Feld- & Gartenabfälle im Freien verbrennen.

TVA Recycling kann vorgeschrieben werden, brennbare Abfälle thermisch nutzen, Kantone für Abfallplanung zuständig, Nicht brennbare Abfälle umweltinert auf Deponien lagern.

AltIV Schema „Katastererfassung, Überwachungsbedarf, Sanierungsdringlichkeit, notwendige Massnahmen“ für Beurteilung der belasteten Standorte. Sanierung durch Dekontamination und Sicherung des Standortes (langfristige Ausbreitungsverhinderung).

VSS Regelung von Abgabe, Transport, Annahme von Sondermüll, Bewilligungspflichten, Erfassungspflichten. Definition von Sondermüll im Anhang.

GSchV Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung und andere nachteilige Veränderungen, Wasserqualitätsanforderung, Restwassermenge, Wasserentnahme, Kantone erstellen Entwässerungspläne, Versickerungsverbot von verschmutztem Wasser.

UVPV Neuanlagen, gewisse Änderungen an bestehenden Anlagen müssen der UVP unterzogen werden. UVP umfasst Ausgangszustand, Vorhaben, inkl. Umweltschutzmassnahmen und Katastrophenschutz, verbleibende Belastung, Massnahmen und Kosten für weitere Verminderung.

StfV Schutz vor Störfällen. Für Betriebe und Transportwege auf denen gefährliche Güter transportiert werden. Regelung der Sicherheitsmassnahmen und besonderen Massnahmen.

3 Herkunft und Zusammensetzung

Herkunft

Häusliche Abfallstoffe Hausmüll, Sperrmüll, Spergut, Gartenabraum

Strassenkehricht, Marktabfälle Abrieb, Litter, Laub, Auswaschung, Winterdienst, Marktabfälle, Tierkot

Klärschlamm

Abfälle aus Industrie und Gewerbe Aufgeteilt in allgemeiner und betriebsspezifischer Müll.

Ölabfälle

Tierische Abfälle Kadaver, Schlachthofabfall

Krankenhausabfälle

Altpneus

Bauschutt, Aushub von Baustellen

Radioaktive Abfälle aus Industrie und Medizin

Zusammensetzung Schwankung im Lauf des Jahres/ der Zeit. Anstieg des **Heizwerts**, da weniger Asche, aber mehr Papier/ Kunststoff verbrannt wird. Heizwert wird nicht durch Recycling beeinflusst, da Metall, Glas, Papier und Karton wiederverwertet wird. Für Umweltbelastung relevant ist die physikalische und chemische Zusammensetzung.

Bei der Produktion Schadstoffe verbannen und wiederverwertungsgerechte Produkte (gleichartige Materialien, einfache Auftrennung) erzeugen um Abfallproblem zu dämmen.

Je grösser das BSP, desto höher die Abfallmenge. Einführung der Sackgebühr führte während kurzer Zeit die Abfallmenge.

Andere Kontinente Erste Priorität: Versorgung mit sauberem Wasser. Gesundheitsprobleme durch Luftverschmutzung (Kohleheizung, Industrialisierung), ungesicherte Deponien. ⇒ Gefährdung von Luft, Wasser, Boden.

3.1 Zusammenhang zwischen Ökonomie und Ökologie

Ökonomie Wirtschaft, Wirtschaftlichkeit, Sparsamkeit

Prinzip der Ökonomie optimalste Bedürfnisbefriedigung

Ökologie gesamte Wissenschaft von Beziehungen des Organismus zur umgebenden Aussenwelt. Hat besondere Bedeutung für Lösung von Umweltproblemen gewonnen.

Arbeitslosigkeit ⇒ Landflucht ⇒ sanitäre Probleme in Städten.

Notwendige Investition für sauberes Wasser, einfache sanitäre Infrastr. und med. Betreuung: 40 Mia.\$/ a.

Optimierte Ressourcennutzung ist sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvoll.

4 Siedlungsabfälle

4.1 Varianten zur Charakterisierung

- Menge an Produkten, die konsumiert werden (Problem: Wann wird gekauftes Produkt Abfall?)
- Direkte Analyse des Abfallstromes (Handsortierung)
- Analyse der durch Abfallverbrennung entstandenen Endprodukte. (Was wurde verbrannt?)
- Probleme durch ständige Änderung der Zusammensetzung und Menge.
- **Abfallmenge** Der potentielle Abfall kann nicht über Verkaufs-, Produkt-, Importstatistiken ermittelt werden, da Güter andere Lagerdauer haben. Statistische Erfassung bei der Entsorgung nötig.
- **Abfallzusammensetzung** Von Hand nach Sortierkategorien (Papier, Karton, Glas, Metalle, Kunststoffe, Küchenabfälle, Gartenabfälle, Asche Schlacke) auftrennen und gewichtsmässig erfassen. Internationale Definitionen für Charakterisierung fehlen.

4.2 Stoffflussanalyse

1. Mengenmässig wichtigste Güter für menschliche Hauptaktivitäten
2. Welche Güter haben umwelt- und ressourcenrelevante Stoffe? Wie gelangen diese zurück in Boden, Wasser, Luft?
3. Veränderung und Abhängigkeit des Güterflusses von Privathaushalten
4. Zukünftige Bedarf von Entsorgungsanlagen abschätzen mit Stoffwechselmodell für Privathaushalte?
 1. Erstellung Güterflussschema
 2. Stoffflüsse aufgrund Indikatoren
 3. Änderung Input \Rightarrow Output abschätzen

4.3 Ökobilanz

- ökologische Gewichtung der Stoffflussanalyse für
 - Produkt (Lebensweg eines Produkts), Dienstleistung, Produktionsprozess, Institution
 - systematische Erfassung und einheitliche Bewertung aller Stoff- & Energieflüsse
 - Erfassung der Umwelteinwirkungen
- Bestandteile
 - Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmen
 - Sachbilanz mit Mengengrößen
 - ökologischen Umweltauswirkungen wie Treibhauseffekt, Eutrophierung, Versauerung, . . .
 - Auswertung der Wirkungskategorien

4.4 Siedlungsabfallmatrix (SA-Matrix)

Darstellung (*Skript S.92*) aller Stoffdaten für

- Verbrennungsrechnungen bei KVA-Dimensionierung
- Zusammensetzung Deponiesickerwasser
- Darstellung der Müllkompostkomponenten
- Abfallströme aus MBA
- Bestimmung der Schadstofffrachten

SA-Matrix kann aus Produktion und Konsumverhalten ermittelt werden. Jährliche anfallende Abfallmengen und Gewichtsanteile der einzelnen Stoffgruppen sind schlecht erfassbar.

4.4.1 Direkte Abfallanalyse

1. **Stichprobenplan** für Analysegebiet
2. Sortierung auf Sortiertisch mit Siebboden (8 mm \varnothing)
3. **Siebrückstand** Mittelmüll, Fraktion II inklusive vegetabiler Rest, organische Fraktion
4. **Siebdurchfall** Feinmüll, Fraktion I inklusive Mineralien

Vorgesehene **Sortierfraktionen**: Papier, Pappe, Kunststoffe, Textilien, Holz (Leder Gummi), Verbundverpackungen, Feinmüll, Organische Fraktion, Metalle, Problemabfälle (Batterien), Glas, Inertstoffe.

4.4.2 Analyse Abfallbehandlungsprodukte

Analyse der Rückstandsbehandlungsprodukte. **Vorteil**: Produkte sind homogenisierter und kleinere Menge als Stichprobe. **Nachteil**: Kann nur Aussagen über Gesamtmüll und nicht über einzelne Fraktionen machen (da homogenisiert).

Heizwert = Energie (Leistungsinhalt) pro Abfallmenge. Heizwertberechnung durch Aufzeichnung von Dampf- und Abfallmengen, genauer als Müllanalyse.

Schwermetall

Müllanalyse ev. nicht repräsentativ \Rightarrow analytische Bestimmung des Gehaltes in Schlacke, Kesselasche, Flugstaub und Produkte der Rauchgasreinigung.

5 Abfallbehandlung und Recycling

Entropiezunahme minimieren durch Erhöhung der Energie- & Ressourcenproduktivität und der Verminderung von Abfall- & Schadstoffherzeugung.

Primärsektor Rohstoffabbau. Zunahme der Entropie

Sekundärsektor Herstellung von Gut. Entropie nimmt ab.

Tertiärsektor Gütertransport. Entropie sinkt/ steigt.

Abfalleinsammlung Aufkonzentration \Rightarrow Entropie sinkt. \Rightarrow Überprüfung mit einer Ökobilanz ob Recycling lohnt (Wo braucht es mehr Entropie, Neuerzeugung oder Recycling?)

Abfallrezirkulation Vermeidung der Degradierung von hochwertigen Ressourcen.

Verdünnung „The solution to pollution is not the dilution“

Einsammlung Allessammlung (Kerichtsäcke): Ein Behälter für alles, muss aus Hygienegründen ein- zweimal pro Woche abgeholt werden. Bequem für Bevölkerung. Erhöhung der Entropie, Wiederverwertung nur durch Sortieranlage.

Getrennte Sammlung: Mehrere Behälter notwendig, Hol- (Papier), Bringsystem (Glas, PET). Wille und minimale Bil-

dung muss vorhanden sein. Entropie bleibt gleich, Recycling leicht.

5.1 Abfallrecycling Zürich

Vorsorge mit Massnahmen Abfälle vermeiden/ verhindern

Subsidiarität Problemlösung durch Produzenten, Konsumenten und private Organisationen. Erst sekundär durch Gemeinden.

Verursacherprinzip Entsorgungskosten trägt Verursacher.

5.2 Duales System DSD AG Deutschland

VerpackV: Transport- und Umverpackungen müssen durch Hersteller und zurückgenommen, wieder verwendet oder der stofflichen Wiederverwertung zugeführt werden. Pfandpflicht für Getränke-, Dispersionsfarben-, Wasch- und Reinigungsmittelverpackungen.

Gründung der DSD GmbH. Unternehmen sichern sich durch Beitritt das Recycling ihrer Verpackungen (grüner Punkt). DSD beauftragt Entsorgungsunternehmen um Müll abzuholen (blaue Tonne Papier, gelbe Tonne Kunststoff-, Verbund-, Metallverpackung) und zu sortieren. Spezialisierte Verwertungsbetriebe recyceln den Müll. **Probleme:** Lizenzgebühr wurde auf Konsument abgewälzt, Verpackung nicht vermieden. Konkurrenzfirmen wurden gegründet. Trennung der gemischten gelben Tonne teuer.

Werkstoffrecycling gebrauchter, sortenreiner Kunststoff zu Sekundärrohstoff aufbereiten.

Rohstoffrecycling Mischkunststoff in chemische Grundbausteine zerlegen, Sekundärrohstoff in Stahlwerken oder Raffinerien.

Energetische Verwertung Kunststoffverbrennung für Energiegewinnung \Rightarrow Trennung von Müll sinnlos.

Recycling von...

- **Papier** 1t Rohstoffpapier: 110'000 l Wasser, 2500 kWh Energie. 1t Altpapier: 22'000 l Wasser, 800 kWh, Fasern aus AP kann fünfmal recyclet werden, dannach sind die Fasern zu kurz. EU: Recyclingrate: 52.1%.
- **Glas Herstellung** prozessbedingter CO₂-Ausstoss, *Recycling* energiebedingter CO₂-Ausstoss. Glas kann beliebig oft recycelt werden. CH: 91% werden recycelt und 64% der Glasverpackungen daraus hergestellt. Vorgezogene Entsorgungsgebühr wird erhoben. **Mehrwegflaschen:** Umlaufzahl von 25 \Rightarrow 97% muss zurückgebracht werden.
- **Kunststoffrecycling** CH: Seit 1960 fünffacher Kunststoffkonsum. 4% der Erdölförderung für Kunststoff.
 - **CH:** recycelt wird PET, Transportverpackung, Harassen, PE-Folien und PVC-Bodenbeläge. Andere Materialien lohnt sich ökonomisch und ökologisch nicht.
 - **PET-Recycling CH** Max thermische Nutzung von 2500 t PET. Verein PET-Recycling-Schweiz sammelt Einwegflaschen (82% Rückkaufquote, bei allen Verkaufsstellen). Vorgezogener Recyclingbeitrag zur Rückführung

in Wirtschaftskreislauf. PET wird zu Ballen gepresst, aufgetrennt, gereinigt und zerkleinert. Regranulat wird für Verpackungsmaterial von Nicht-Lebensmitteln und für Textilfasern eingesetzt. Sandwichprinzip für Getränkeflaschen: Innen und aussen Neumaterial, Mitte: Regranulat. Nach Behandlung mit Natronlauge kann PET wieder für Getränkeproduktion verwendet werden.

- **FR:** Vorwiegend wertstoffliches PET-Recycling.
- **DE:** Auftrennung des Inhalts aus der gelben Tonne in „Folie“, sortenreine „Kleinfraktionen“ und „Mischkunststoffe“.

5.3 Mechanische Verfahrensschritte

Trennen/ sortieren: Trenngrösse: Stoffeigenschaften (Dichte, Grösse, Leitfähigkeit, Ferromagnetismus, Oberflächenverhalten, Molekülstruktur).

Trommel-, Schwingsiebe Trennung nach Grösse.

Dichtesortierung Nasse Verfahren „Schwimm- Sink- Verfahren“, „Hydrozyklon“ (weist auch Klassierungseffekt auf) und Dekanter (Zentrifuge, wo leichtere Teilchen als Flüssigkeit mit dieser und schwerere im Schlammabzug aufgefangen werden). **Trockene Verfahren** wie „Zickzacksichtung“ oder „Windsichtung“.

Oberflächenspannung Für Flotation durch die Zugabe von Tensiden und Schaumbildnern hydrophil machen.

Magnetabscheider Ausnutzung des Ferromagnetismus, Wirbelstromabscheider induzieren Wirbelströme und lenken magnetisierte Teilchen ab.

Elektroabscheider laden Teilchen auf, Auftrennung im E-Feld. Leitfähigkeiten $> 10^9$ er Potenz.

Analyse der **Molekülstruktur** und mit Luftdüsen vom Band blasen. **Klauben** von Hand oder automatisch.

Zerkleinern mittels **Schnitt und Prall**. Einsatz von Hammermühlen, weiche Kunststoffe müssen versprödet werden.

Waschen einweichen, trennen, abscheiden. Reinigung des Abwassers!

Trocknen in zwei mechanischen (Flieh- und Schwerkrafttrennung von Feststoff und Flüssigkeit) und einer thermischen Stufe.

5.4 werkstoffliches Kunststoffrecycling

Agglomerieren: Granulat durch Pressen oder Anschmelzen an Oberfläche verbinden.

Granulatumschmelzung Umschmelzung der Kunststoffe für neue Produkte herzustellen. *Thermoplast* (70- 80% der Kunststoffe) können beliebig oft erwärmt (bestimmter Temperaturbereich) und verformt werden. *Skript S.137*. Qualitätsverbesserung ist mit geringem Aufwand (Filter) möglich.

5.5 rohstoffliches Kunststoffrecycling

Thermische Behandlung der Kunststoffpolymere. Wiederverwertung als petrochemische Produkte (kurzkettige KW). **Hydrierung** Absättigung der Bruchstellen durch erhöhter Temperatur und Druck. **Vergasungsverfahren** Vergasungsmittel

(Wasserdampf, Luft, CO₂), 1200°C, 25 bar erzeugen brennbare Synthesegase. Abfallprodukt: phenolhaltiges Abwasser. **Pyrolyse** Produkte: Gas, Öl, Teer, Koks ⇒ Nur für Heizzwecke: nicht wirtschaftlich!

5.6 Energetisches Kunststoffrecycling

- Prozessbedingtes Mitverbrennen von Mischkunststoffen bei Stahlproduktion. Dient als Reduktionsmittel. Kohlenstoff entzieht dem Erz bei 2000 °C Sauerstoff.
- konventionelle Hausmüllfeuerung: Kunststoff lässt sich gut verbrennen.

Bauabfälle Erhaltung des Gebäudes mit Anpassungsmassnahmen. Kontrollierter Rückbau von Gebäuden, möglichst viel Abbruchmasse wieder verwerten. Materialien sortenrein und unzerstört mittels **Mehrmuldenkonzept** sammeln. **Einstoffmulden** für Aushub, Holz, Metalle; in Deponie. **Mulde für vermischte Inertstoffe** für Beton, Backsteine, Keramik, Glas; ins Recycling. **Brennbares Material** Papier, Karton, Kunststoff, Kleinholz; in KVA. **Bausperrgut** ölhaltiges Material, Chemikalien; Sortieranlage.

Elektronikgeräte: Materialvielfalt reduzieren, Problemstoffen vermeiden, schadstoffhaltige Bauteile kennzeichnen, Erleichterung der Demontage und Wiederverwendung von Teilen. Umweltgerechte Fertigung, Verringerung von Energie- und Ressourcenverbrauch.

CH: Händler, Hersteller und Importeure sind verpflichtet Elektronik zurückzunehmen. Kostendeckung erfolgt über vorgezogenen Recyclinggebühr.

Demontagewerk: Demontage teilweise von Hand, danach im Kettenschlägerwerk grob zerschlagen, Einzelkomponenten separieren, Eisen- und Nichteisen- Metalltrennung über Magnet-, Wirbelstrom- und Elektroabscheider. Metalle in Metallindustrie, Bildröhren Sondermüll. **Haushaltskühlgeräte** FCKW wird vor Ort abgesaugt und thermisch vernichtet.

Entsorgung von E-Schrott in fernen Osten mittels umweltverschmutzende und gesundheitsbedrohende Praktiken.

Altautos Entsorgungsschritte

1. Fahrzeug trocken legen
2. Wiederverwertbare Bestandteile entfernen und zur Wiederverwertung aufbereiten
3. Carosserie und Unterbau in Shredder ⇒ Eisenschrott für Stahlindustrie und RESH

Entsorgung Stahl und Eisen kein Problem; **Kunststoffe** Probleme in Recycling durch Qualitätsanforderung, **NE-Metalle** sortenrein kein Problem. **Reifen** Recycling durch Aufgummierung. **andere Materialien** als RESH (nicht ausbaubare Kunststoffe, elektrische Kabel, Glas, Innenverkleidung, ...).

RESH Gemisch von zerkleinertem Kunststoff, Gummiteilen, Kabelreste, Textilien, Glas- und Farbsplitter; RESH enthält mehr Zink, Blei, Cadmium, Chlor und organische Bestandteile ⇒ KVA- Verbrennung problematisch.

DE: Auto kann kostenlos an Hersteller zurückgebracht werden. Verwertung von 85 Gewichtsprozenten. **Problem:** Leichtbau-

weise aus Kunststoff senkt Kraftstoffverbrauch, straft jedoch die Hersteller, da Metall leichter zu recyceln ist.

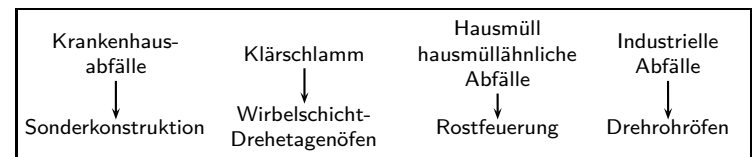
6 Thermische Behandlung

Stapelung und Vorbehandlung von brennbaren Abfällen: Waage am Eingang, Ablagerung im Müllbunker. **Stapelvolumen** Material für drei bis vier Tagen (Feiertage, Anlange läuft weiter).

Müllbunkertypen Skript S.160.

Spermmüll wird zerkleinert ⇒ Oberfläche ↑, Brennwert ↑, Verstopfung ↓. Zerkleinerung erfolgt durch Brecher und Scheren. Kranführer mischt Abfall möglichst homogen (einheitlicher Brennwert) mit Müllgreifer (Fassung von 6 – 8m³ ≡ 1t)

Verbrennung Je sauberer (≡ homogener) ein Brennstoff, desto vollständiger die Verbrennung. Abfall ist ein sehr schlechter Brennstoff. Vereinfachung der chemischen Bindung durch Verbrennung. Verbrennungsrückstände können gezielt vor Deponierung behandelt werden. Massive Volumen und Gewichtsreduktion, Gas entweicht, 1 t Müll ⇒ 0.3 t Rückstand, 1m³ ⇒ 0.1m³, inerter Rückstand. Verbesserung der Hygiene.



Verbrennungsphasen

Trocknung, Entgasung, Zündung, Vergasung, Verbrennung, Ausbrand

Trocknung: Mülltemperatur: 100°C, Energie stammt aus Verbrennungszone (Strahlung) oder vorgewärmte Primärluft (Unterwind) 180°C. Luftstrom dient dem Abtransport des verdampften Wassers.

Entgasung: Temperaturanstieg auf 250°C, Übergang in Entgasungsvorgang, Abspaltung und Austreibung von flüchtiger Bestandteile (meist KW), Entstehung von Schwelgas, keine Verbrennung, O₂ nicht relevant.

Zündung Schwelgase entzünden sich nicht homogen. Rost verteilt Zündnester gleichmässig, O₂ wichtig.

Vergasung hohe Temperaturen (durch Verbrennung, ca. 400 °C) zersetzen feste Bestandteile, Brenngas entsteht. Bei höherer Temperatur Rost gefährdet.

Verbrennung erfolgt durch Schwelgase und Brenngase im Feuerraum oberhalb Müllbett mit O₂ (wichtig für vollständige Verbrennung), Temperatur 1000 °C

Ausbrand noch brennbaren Bestandteile der Schlacke glühen aus, Schwelgase gelangen in Feuerraum, Rost verteilt Glühnester homogen um O₂ rasch mit Schwelgasen in Kontakt zu bringen.

Vollständigkeit der Verbrennung ist abhängig von

- gute Durchmischung Brennstoff - Oxidationsmittel, ist durch Rost gewährleistet (Primärluft).
Durchbläser vermeiden mit grossen Druckverlust für Unterwind und Aufteilung des Rostes in verschiedene Luftzonen.
- Starke Durchmischung des Müll auf Rost \Rightarrow homogener Brennstoff (abhängig von Rostkonstruktion: Walzen-, Vorschub-, Rückschubrost).
- Strömungsführung der Schwel- und Brenngase und Sekundärluftzugabe so, dass Rauchgase vollständig ausbrennen \Rightarrow brennbaren Gase so lange wie möglich in heisser Zone. Bauform des Feuerraumes wesentlich:

Gleichstromfeuerung: Abfall und Rauchgas gleichgerichtet. Gut für heutige hohe Heizwerte, schlecht für Trocknung

Gegenstromfeuerung Abfall und Gas durchströmen Feuerraum entgegengerichtet, gut für feuchten Abfall, Gefahr durch unverbrannte Schwelgase (Furan, Dioxin!)

Mittelstromfeuerung: Abzug der Rauchgase in Mitte des Feuerraumes. Kompromiss, gut geeignet für breites Heizwertband, kann jedoch auch zu Strahlenbildung führen.

Strahlenbildung verhindern durch **Sekundärluftzufuhr** zwischen Feuerraum und erstem Kesselzug \Rightarrow unverbrannte Gase und O_2 so verwirbeln, dass sie verbrennen können. Auch entstaubte Rauchgase können als Sekundärluft gebraucht werden. Führt zur Minimierung der Rauchgasmenge und Reduktion von N_2 .

6.1 Aufbau einer KVA

Entladehalle mit Müllbunker, Krananlage, Müllbeschickung, Verbrennungsrost mit Feuerraum, Entschlacker, Dampfkessel mit Luftkondensator und Strom- oder Fernwärmeerzeugung, Flugascheabscheidung, Rauchgasreinigung mit Abwasserreinigungsanlage.

6.2 Stoffbilanz der Müllverbrennung

Bekannte Grössen: Zusammensetzung der Abfälle (chemisch), Verbrennungsgleichungen der brennbaren Anteile, Erfahrungen und Messungen aus KVA.

Komponenten der Stoffbilanz (Zeitpunkt):

Eingangsseite Abfall und Verbrennungsluft

Ausgangsseite Abgase (Verbrennungsprodukte + Luftüberschuss + Luftfeuchtigkeit), Feste Rückstände (Schlacke + Rauchgasreinigungsrückstände)

6.3 Energiebilanz der Müllverbrennung

(über ein Jahr) Bekannte Grössen: Stoffbilanz, Heizwert der Abfälle aus Abfallmatrix, Verbrennungsgleichungen, Spezifische Wärmekapazitäten, Erfahrungswerte.

Theoretischer Heizwert: $H_u[MJ/kg] = 34.8 \cdot C + 93.9 \cdot H + 10.5 \cdot S + 6.3 \cdot N - 10.8 \cdot O - 2.5 \cdot H_2O$ Werte in [kg/kg].

min. Luftbedarf $L_{min} = 8.89 \cdot C + 26.67 \cdot H + 3.33 \cdot S - 3.33 \cdot O$ [m^3/kg]

min. Abgasmenge $V_g = 1.87 \cdot C + 11.2 \cdot H + 0.7 \cdot S + 0.8 \cdot N + 1.24 \cdot W(\text{aus Brennstoff}) + \lambda \cdot L_{min} \cdot 1.6 \cdot \chi + (\lambda - 1) \cdot$

$0.21 \cdot L_{min} + \lambda \cdot 0.79 \cdot L_{min}(\text{aus Luft})$ [m^3/kg]

W : Wasseranteil [kg/kg], χ : Umgebungsluftfeuchte [kg/kg], λ : Luftüberschuss

Komponenten der Energiebilanz (über ein Jahr)

Nutzenergie Strom- und Wärmeabgabe, Strom und Wärmebedarf

Verluste Feuerungs- und Kesselverluste, Kondensationsverluste, Abgasverluste, Verluste in festen Rückständen.

6.4 Feuerungsleistungsdiagramm

Verarbeitung verschiedener Müllzusammensetzung: KVA muss grosse Bandbreite bezüglich Heizwert, Mülldurchsatz, Müllzusammensetzung, Rauchgaszusammensetzung abdecken. \Rightarrow Feuerungsleistungsdiagramm (*Skript S. 180*). Verbrennungsprozess muss innerhalb der mechanischen und thermischen Grenzen des Diagramms erfolgen.

Feuerungsleistungsregelung

Eingang = Vorgaben: Wenig beeinflussbar: Schüttgewicht, Ascheanteil, Wasseranteil, Heizwert. Für Regelung nutzbar: Durchsatz, Schichthöhe; Verbrennungsmittel: Art, Menge, Verteilung, Temperatur.

Ausgang = Ziele: Maximierung von Mülldurchsatz, thermischer Leistung, Schlacken- und Rückstandsausbrand. Minimierung von Schlackenschadstoffgehalt, Schlackenvolumen, Abgasschadstoffemissionen.

Sechs Verbrennungsphasen laufen optimal ab \leftrightarrow drei t erfüllt.

	Pyrolyse	Gaswandlung	Verbrennung			
	Trocknung	Entgasung	Zündung	Vergasung	Verbrennung	Ausbrand
	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow
O_2	-	-	+	-	+	-
T [°C]	100-180	100-250	400-800	-400	-1000	400-1000

Temperature Vollständiger Ablauf der Verbrennungsphasen

Time Verweilzeit genug lang

Turbulence Genügend intensive Durchmischung von Brennstoff und Verbrennungsmittel

Max. Mülldurchsatz bei max. Schlacken- und Rückstandsausbrand und min. Abgasschadstoffemission \Rightarrow max. thermische Leistung mit min. Schlackenschadstoffgehalt und Schlackenvolumen.

Regelung des Verbrennungsprozesses durch

Brennstoff Mülldurchsatz und Schichthöhe durch thermische Leistung und O_2 -Gehalt des Abgases als Störgrossen vorgegeben. Durch Beschickungsparameter (Hub, Geschwindigkeit, stop and go des Dosierstössels) und Rostzonenparameter festgelegt.

Verbrennungsmittel Art, Menge, Verteilung und Temperatur werden durch thermische Leistung, Temperatur und O_2 -Gehalt im Abgas vorgegeben.

6.5 Pyrolyse- oder Schwelbrennverfahren

Pyrolyse thermische Zersetzung organischer Substanzen ohne Oxidationsmittel (Entgasung, Verschmelzung). Idee: Räumliche

Trennung der 6 Verbrennungsphasen um Vorgänge zu optimieren. Pyrolyse umfasst dabei die Vorgänge Trocknung und Entgasung. Verfahren grosstechnisch nicht durchgesetzt.

Aufbereitung von Müll im Trommelreaktor für Schwelgasverbrennung (Verweilzeit: 45-90 Min):

-150°C Trocknung und Desorption H₂O

-250°C Beginn der Zersetzung, Abspaltung von CO₂, CO, Zerstörung von Zellulose

-400°C Hauptphase, Methan, KW, org. Schadstoffe (HCl, H₂S, NH-Verbindungen) entweichen

-480°C Nachpyrolyse, Zersetzung thermisch stabiler Zellulosereste

>600°C thermische Aromatisierung von Benzol, Beginn Decarboxylierung von anorganischen Karbonate

Bis 270°C endothermer Prozess, danach exotherm.

PKA-Verfahren Müll wird mechanisch aufgearbeitet, dass zuletzt **BRAM** (Brennstoff aus Müll) in Schweltrommel gelangt. Zerkleinerung, Metalle ausscheiden. Kammwalzensortieranlage sortiert schwere Fraktion aus (ca. 50% ⇒ Wiederverwertung/ Deponie). Leichtfraktion wird getrocknet, dann folgt Pyrolyse. Thermisch behandeltes Schwelgas muss aufwendig gereinigt werden, ein Teil wird in Anlage zur Aufrechterhaltung der Pyrolyse verbrannt, Rest kommt in Gasmotor (Stromproduktion) Pyrolyserest wird danach verbrannt oder deponiert.

Schwelbrenn-Verfahren (SBV) Weiterentwicklung des PKA aufgrund der mühsamen Wasseraufbereitung und dem Pyrolyserest, der nicht mehr verwendbar ist. Müllzerkleinerung, Pyrolyse bei 450°C, Siebung des Pyrolyserückstandes: über 5 mm wird sortiert, Rest gemahlen, Gemahlene wird mit Schwelgasen verbrannt bei 1200-1300°C, Abzug der flüssigen Schlacke in Wasserbad, Energiegewinnung über Abhitzekegel, Rauchgasreinigung ohne Abwasser inkl. Entstickung und Dioxin/ Furanabscheidung. Reststoffe sind inert und können deponiert/ im Strassenbau verwendet werden.

Gegenüberstellung Pyrolyse – Rostfeuerung Vorteile gegenüber Rost: Geringere Abgasmenge; PKA: BRAM gut lagerbar, Gas kann extern verwendet werden. SBV: hygienisierte Schmelzschlackengranulat ist werkstofftauglich, Brennstoff Müll wird homogenisiert ⇒ vollständigere Verbrennung.

-: Grosser apparativer Aufwand, grosse Verschleissprobleme. PKA: 50% des Mülls unbehandelt auf Deponie, Aufwand für Abwasserreinigung.

von Roll- RCP- Verfahren Pyrolyseverfahren, im nachfolgenden Reduktionsofen werden Schwermetalle abgereichert.

Thermoselect-Verfahren Müllverdichtung, Entgasung, Vergasung, Gasreinigung, Gasverbrennung (PKA-Verfahren ohne Müllaufbereitung). Verdichtung erfolgt durch Schrottpresse, Pyrolyse erfolgt bei 600°C, pyrolysiertes Feststoff gelangt mit Roh-Synthesegas in Hochtemperaturreaktor (2000°C). Zugabe von O₂ wird Rest C zu CO₂ und zu CO reduziert. Ebenso Wasserdampf: H₂O + C = CO + H₂. Gas ist verunreinigt, Rückstände aus Abwasserreinigung ist Sondermüll.

Vorteile gegenüber Rost: Kompakte Modulbauanlage, geringere Abgasmenge, Schmelzgranulat als Baustoff nutzbar. **Nachteile** Energieausbeute geringer, grosser Aufwand für O₂-Herstellung, Verschleissprobleme, Sicherheitsrisiko (reiner Sauerstoff, Explosivegase)

7 Rauchgasreinigung

Ziel: durch Reduktion der Luftemissionen die Luftimmissionen verkleinern.

Allgemeine Gasgleichung: $p \cdot V = m \cdot R \cdot T = c \cdot T \Rightarrow$ Luft und Abgasgrenzwerte beziehen sich auf Normalvolumen (1013 mbar und 273 K), für KVA: 11 Vol%O₂.

Luftschadstoffe

Partikelförmige Substanzen Fest- oder Flüssigstoffe in Gas oder Dampf fein verteilt

Stäube Feststoffteilchen in Trägermedium suspendiert und grosser als Kolloide (ca. 0.5-500 μm)

Aerosole Dispersionen von Fest- oder Flüssigstoffen. Wenn sichtbar Rauch oder Nebel, bilden sich durch Kondensation oder chemische Reakt. (Durchm. 0.01-1 μm). Abscheidung durch Wachstum mittels Kondensation.

Im Gesetz ist nur von Staub die Rede. Grenzwerte für Schwermetalle, die als Aerosole vorliegen. Bei gasförmigen Verunreinigungen gibt es Unsicherheiten im Gesetz. Es wird von gasförmigen Substanzen gesprochen, diese können jedoch auch als Aerosole vorliegen. ⇒ Grenzwerte für Verbindungen, nicht für Staube oder Gase!

19. Jhd: erste Filtersysteme auf den Markt (inkl. Nassabscheider), 1910 Elektrofilter. Abgeschieden wurde jedoch nicht wegen Lufthygiene sondern wegen Wiederverwertung von wertvollen Materialien. Änderung nach 2. Weltkrieg ⇒ Vorschriften und Gesetze

Filterübersicht: *Skript S.202*

7.1 Mechanische Abscheider

Schwerkraftabscheider -

Trägheitsabscheider Richtungsänderung im Gasstrom führt durch Trägheit zum Niederschlag von Partikeln an Oberfläche. Nicht effizient, ausser bei Tropfenabscheidung hinter Nassabscheidern.

Fliehkraftabscheider, Zyklon Trägheitskraft wird durch aufgezogene Drehbewegung erhöht. Feststoffabzug ist problematisch, da Partikel erneut in Rauchgasstrom gelangen könnte ⇒ Tangential- und Axialzyklone. Parallel- und Serieschaltung für Abscheidegraderhöhung. *Abb Skript S.207*. Können auch zur Flugstaubabscheidung verwendet werden, falls Flugstaub weiterverwendet wird.

Filternder Abscheider Abscheidegrad > 99.9%. *Filtermaterial*: Nadelfilze, Teflon oder PTFE-Fasern. *Form*: Schlauch, Flächen, Kassetten, Patronen. *Abreinigungsverfahren*: mechanisch (rütteln, klopfen), pneumatisch (Nieder-/ Hochdruck-

spülung), Rückspülung notwendig (*Abb Skript S.209ff*). Werden hinter KVA eingesetzt, Gas darf nicht zu heiss sein.

7.2 Elektrischer Abscheider

Partikelaufladung durch Anlagerung von ionisierten Gasmolekülen oder Elektronen. Partikel $>0.5 - 1 \mu\text{m}$ durch Feld-/Stossaufladung. Negative Ionen und Elektronen treffen auf Staubteilchen und laden sie auf, bis Feld andere Gasionen abweist. Partikel $<0.2 \mu\text{m}$ durch Diffusionsladung. Gasionen machen thermische Diffusionsbewegung und treffen unabhängig von Feld auf Partikel. Sprühelektrode sorgt für negative Ladung. Die Partikel wandern zur positiven Niederschlagselektrode und bleiben dort haften. Abreinigung durch periodisches Klopfen. Partikel gehen in Staubunker.

Einfluss auf Abscheidung haben Form der Sprühelektrode, Abstand zwischen Niederschlagsplatten, Gasströmungsgeschwindigkeit, Wanderungsgeschwindigkeit der Partikel, spezifischer elektrischer Staubwiderstand.

Wirksamste Gasreinigungsapparate, Abscheidegrad $>99.9\%$, auch für grosse Gasmengen geeignet. Kann mit Kupfer als Katalysator Furan-/Dioxinbildung fördern.

7.3 Nassabscheider

Feine Partikel und Gase durch Anlagerung an Wassertropfen vergrössern, damit sie abscheidbar sind. Wasser kann mit Säuren und Laugen zur besseren Gasabscheidung konditioniert werden. Tropfen oder Wasserfilm mit Abgas in Kontakt bringen, Wasser ableiten und reinigen.

Sprühurm ohne Einbauten bis 30 m hoch. Gas strömt mit ca. 1 m/s, Wasser wird auf verschiedenen Ebenen mit 1 bis 5 l/m³ Rauch eingesprüht. *Einsatz* wenn Schadgasabscheidung erreicht werden soll und Feststoffe im Waschwasser vorhanden sind. Verstopfungsfahr durch Feststoffe. Staubabscheidungsgrad schlecht. Gute Abscheidung von Gas, abhängig von Kontaktfläche, Partialdruckgefälle, Temperatur und Löslichkeit der Gase. Erhöhung der SO₂-Abscheidung durch Zugabe von Neutralisationsmittel (Natronlauge, Kalkmilch). Führt zur Erhöhung des pH-Werts. Durch Neutralisation entstehen Salze die zu Aerosolbildung, Verkrustung und Verstopfung führen können.

Füllkörperkolonne gleicht Aufbau wie Sprühurm, zwischen Eindüseebenen: **Füllkörper** um Kontaktfläche zu vergrössern. Verweilzeit und Temperatur beeinflussen die Austauschvorgänge. Hohe Turbulenz, tiefe Temperatur und grosse Kontaktfläche erhöhen Absorption. Füllkörper muss alle 2 Meter unterbrochen werden, damit Wasser frisch verteilt werden kann (Randgängigkeit). *Gefahr*: Anbackung und Verstopfung. Keine SO₂-Abscheidung durch Kalkmilch, nur NaOH \Rightarrow Verstopfung durch Gips.

Natriumkarbonatpufferung Mit CO₂ Bildung von NaCO₃ und NaHCO₃. Ansteigende SO₂-Konzentration \Rightarrow H₂CO₃ wird ausgetrieben und Na⁺-Ionen verbinden sich zu Natriumsulfat.

Venturiwascher für Partikelabscheidung $<1\mu\text{m}$. Im verjün-

genden Teil wird Gas beschleunigt und Waschflüssigkeit zugegeben. Gas zerschlägt Flüssigkeit in kleine Tropfen. \Rightarrow Stossabscheidung im Diffusor. Durch Trägheit der Partikel folgend diese nicht den Stromlinien. Dies führt zum Zusammenstoss mit den Wassertropfen. Auch Gase sind abscheidbar.

Kondensationswäscher Gute Abscheidung von Feinstpartikel durch Übersättigung der Rauchgase mit Wasserdampf wird Kondensation ausgelöst. Übersättigung geschieht durch Mischen zweier Gasströme, durch adiabatische Expansion und durch Kühlung. Es entsteht **Schleppdiffusion**: Dampfmoleküle schleppen Partikel mit; **Turbulente Agglomeration**: benetzte Teile agglomerieren besser als trockene; Teilchenwachstum durch Kondensatanlagerung.

7.4 Kombianlagen

Nasselektrofilter Aerosolabscheidung. Rauchgase vor Filter werden wasserdampfgesättigt bei ca. 65°C. Kühlung der Gase und Eindüsung von Wasser \Rightarrow Teilchenwachstum und Reinigung der Niederschlagsrohre.

Elektrodynamischer Venturi Feinstaub und Aerosolabscheidung. Einsatz nach zweistufiger Nassreinigung. Vergrösserte Partikel des Venturiwäschers werden durch Hochspannungselektrode negativ geladen. Stossabscheideeffekt wird erhöht, Erhöhung des Abscheidegrads trotz kleinerem Druckverlust

Ionisierender Nasswäscher Rauchgase werden vor der Füllkörperpackung durch ionisierende Hochspannungszone durchströmen.

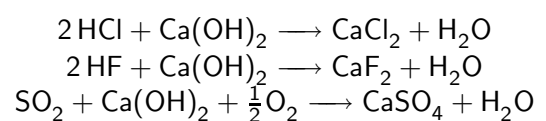
8 Rauchgasreinigung (RGR), Rückstandsbehandlung

Forderungen

- Staub-, Aerosol- und Schadgasabscheidung.
- Einhaltung alle gesetzlichen Emissionsvorschriften
- Möglichst kleine Rückstandsmengen von konzentrierten Schadstoffen, die deponiert werden müssen
- Wertstoffresirkulation, sofern Abnehmer vorhanden
- Minimaler Energie- & Betriebsmittelverbrauch
- Hohe Betriebssicherheit

Trockene Rauchgasreinigungssystem Hintereinanderschaltung von zwei Rauchgasreinigungseinrichtungen (Schadgasabsorption, Staubabscheideaggregat).

Zuerst wird im Reaktor Ca(OH)₂ in Rauchstrom geblasen \Rightarrow Durch Absorption der Schadgase und Reaktion mit Kalziumhydroxid Ca(OH)₂ entstehen Salze



Als Reaktor dienen Venturireaktor, Zyklon oder Drallkontaktstrecke. Elektro-/ Schlauchfilter als zweites Aggregat.

- + Keine Korrosionsprobleme da trocken, Stäube, Schadgase (teilweise) gut abscheidbar.
- Quecksilber schlecht, Stickoxide nicht abscheidbar. Betriebssicherheit hoch, solange Anlage läuft.

Halb- oder quasitrockenes RGRS Prinzip gleich wie trockenes System, jedoch mit Kalkmilcheindüsung \Rightarrow spezifischer Kalziumhydroxidverbrauch kleiner als bei Trockenverfahren

Nasses Rauchgasreinigungssystem Nach Verlassen des Kessels werden Rauchgase in 2-3 feldrigen Elektrofilter von Flugstäuben gereinigt, dann gelangen sie in den Wäschbereich.

Quenche Kühlung und Sättigung der Rauchgase

Saure Wäsche Abscheidung von HCl und HF

Neutrale Wäsche mit NaOH, Abscheidung von Schwefeldioxid.

Feinstaub- und Aerosolabscheidung -

Waschwasser im Gegenstrom zum Rauchgas. Waschwasser muss mehrstufig in ARA aufbereitet werden. Es entsteht Dickschlamm und salzhaltiges Abwasser. Neutralisation mit Kalkmilch. Daher keine Schwefeldioxide in der Abschlämung \Rightarrow Gefahr der Gipsbildung. Gesetzlichen Vorschriften können ausser für Stickoxid und Dioxin/ Furan eingehalten werden.

Stickoxidabscheidung, NO_x ist Reizstoff. *Entstehung*:

- in sauerstoffarmer Flamme, Temperatur $>1300^\circ\text{C}$ (untergeordnete Rolle)
- N_2 - Verbindungen aus Brennstoff werden reduziert und zu NO_x aufoxidiert
- N_2 reagiert mit O_2 , bei Temperaturen $>1000^\circ\text{C}$, Reduktion durch Optimierung der Feuerung.

Massnahmen *Primär* Optimierung der Feuerung. *Sekundär* NO_x in N_2 und Sauerstoffverbindungen zerlegen.

Low- NO_x -Brenner (Primär)

- **Stufenverbrennung** Aufteilung der Flamme in brennstoffreiche und brennstoffarme Zone \Rightarrow Entschärfung der Flammentemperatur, Optimierung des Sauerstoffgehaltes.
- **Rauchgasrezirkulation** freie Sauerstoff zur Stockstoffoxidation nimmt ab.

Trockenes SNCR Verfahren (Selektive Nicht Katalytische Reduktion): Basiert auf Reaktion von NO_x mit Ammoniak

1. $4 \text{NO} + 4 \text{NH}_3 + \text{O}_2 \longrightarrow 4 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$ erwünscht
2. $4 \text{NH}_3 + 5 \text{O}_2 \longrightarrow 4 \text{NO} + 6 \text{H}_2\text{O}$ unerwünscht
3. $4 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$ unerwünscht

1. Reaktion läuft bei $850-1000^\circ\text{C}$
2. Höhere Temperaturen \Rightarrow Verbrennung von Ammoniak. Ammoniak wird in Strahlungsteil des Abhitzekessels in mehreren Ebenen eingedüst (Temperaturschwankungen berücksichtigen!). Überschuss bleibt in der sauren Wäschestufe hängen (\Rightarrow Rückgewinnung).

Trockenes SCR (Selektive Katalytische Reduktion) Tiefere Temperatur mittels Katalyse \Rightarrow Keine Verbrennung von Ammoniak.

Rohgasschaltung DeNox zwischen E-Filter und Rauchgasreinigung

- + Rauchgase sind genügend heiss
- Gefahr von Katalysatorgift durch saures Schadgas und Schwermetall
- Verstopfung durch Staub

Reingasschaltung DeNox nach Rauchgasreinigung

- + geringe Gefahr von Katalysatorgiften
- Erhitzung des Rauchgas

8.1 Dioxin/Furan- Problematik

Illegale Abfallverbrennung ist grösste Dioxin-/ Furanquelle, Haushalte produzieren so 40% der Gesamtbelastung. Grenzwert für KVA wurde über Giftigkeit bestimmt. Dioxin-/ Furanisomere werden über einen Äquivalenzfaktor zum Seveso-Dioxin (2,3,7,8- TCDD, am giftigsten) verknüpft. Die Bestimmung der Emission geht über Summierung aller gemessenen Isomeren, welche mit den entsprechenden Äquivalenzfaktoren multipliziert werden. \Rightarrow TE-Wert (Total Equivalent).

Primärmassnahmen zur Dioxin-/ Furanzerstörung im Abfall, Verhinderung der Neubildung durch

- Optimale Feuerführung wie Brennstoffhomogenisierung, Minimierung des Sauerstoffüberschusses, Verbesserung der Feuerleistungsregelsystems, Durchmischung brennbarer Gase.
- Staubablagerung vermeiden (Staubastragminimierung aus Feuerung)
- Inhibierung im Feuerraum durch Zugabe von Ammoniak

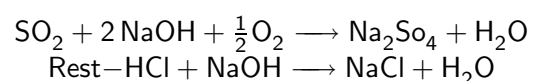
Sekundärmassnahmen Teilweise adsorbiert, teilweise gasförmig im Rauchgas.

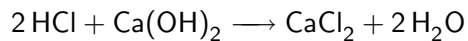
- Additivzugabe von Aktivkohle zur trockenen Rauchgasreinigung
- Additivzugabe von Aktivkohle zum Nasswäscher
- Dioxin/ Furan- Reduktion im DeNO_x-Katalysator
- Festbettfilter: in Schichten aus Herdofenkoks werden organische und anorganische Schadstoffe zurückgehalten.
- Flugstromabsorber: Polzeifilter aus Aktivkohle

8.2 Abwasserbehandlung der Rauchgasreinigung

- Eindampfung mit Kalkmilch neutralisierter Abwässer im heissem Rauchgasstrom durch Sprühtrockner
- Abwasserbehandlung ohne Wertstoffrückgewinnung, der entstehende Filterkuchen wird deponiert, das salzhaltige Abwasser in Vorflut leiten.
- Abwasserbehandlung mit Erzeugung von Wertstoffen. Salz (NaCl , CaSO_4), Salzsäure HCl, Schwermetall (Pb, Zn).

Salzgewinnung Gegenstromschaltung (die Wasserführung im Rauchgasreinigungssystem verläuft entgegen der Rauchgasführung) gelangt bei NaOH-Neutralisation natriumsulfathaltige Salzlösung in saure Wäscherstufe.





Neutralisation: $2 \text{HCl} + \text{Ca(OH)}_2 \longrightarrow \text{CaCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

Umsalzung: $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{NaCl} + \text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$

Flockung und Fällung führt zu Gipsschlamm mit Schwermetallen in Hydroxid- oder Sulfatform. Schlammabtrennung, Eindampfung des salzhaltigen Abwassers.

Chemisch-physikalische Behandlung der Rückstände ca. 280 kg Rückstände pro Tonne Abfall

- Direkte Entsorgung: Schlacke geht nach Fe-Abtrennung direkt auf Reaktordeponie. Kesselasche, Flugstäube und Schlämme werden in „big bags“ verpackt und in Untertagedeponien abgelagert.
- Neutrale oder saure Wäsche: Kesselasche und Flugstäube werden gewaschen, \Rightarrow lösliche Anteil ins Waschwasser. Waschwasser wird in ARA gereinigt. Die gewaschenen Rückstände gelangen auf Reststoffdeponie.

Thermische Behandlung der Rückstände

- Bei sämtlichen thermischen Verfahren werden Dioxin/Furane zerstört.
- 1. Ziel: möglichst viel Schwermetall aus Rückständen zurückgewinnen.
- 2. Ziel: möglichst viel Schwermetall in Glasmatrix zur Deponierung in Reststoff-/Inertstoffdeponie einbinden.

9 Altlastenproblematik

Prinzipiell gelangen nur noch Rückstände aus Verbrennung in Deponie.

- **Inertstoffdeponie:** Deponie für wenig schadstoffhaltige Abfälle, ohne Vorbehandlung ablagerungsfähig \Rightarrow endgültige Ablagerung (Abgase und Abwasser dürfen keine Schadstoffe enthalten). Zugelassen sind Abfälle, die chemisch, physikalisch stabil sind, die über 95% aus gesteinsähnlichem Material bestehen und die Schwermetallgrenzwerte einhalten.
- **Reststoffdeponie:** Für Stoffe mit erhöhtem Schwermetallanteil und geringem organischen Anteil. Keine chemischen oder biologischen Vorgänge. Schwermetalle müssen in schwer löslichen Form vorliegen. Rückstände aus der RGR müssen gewaschen und verfestigt sein, Rückstände und Schlämme aus metallverarbeitenden Industrie.
- **Reaktordeponie:** Früher: unbehandelte Abfälle deponiert \Rightarrow Bildung giftiger, brennbarer Gase und schadstoffbelastete Sickerwässer. Heute: dürfen Schlacke aus KVA oder inerte Abfälle abgelagert werden.
- **Eluattest:** Dient der Abschätzung des Gefährdungspotentials von Sickerwässers eines Reststoffs. Je nach Wert kann der Reststoff auf eine Inert- oder Reststoffdeponie gebracht werden.
- **Altlasten** (sanierungsbedürftigte, belastete Standorte). Werden in Deponie-, Unfall-, und Betriebsstandorte un-

terteilt. Das Schutzgut Grundwasser ist am häufigsten gefährdet. Bei der Sanierung gilt primär das Prinzip des Quellenstopps. Es soll sicherstellen, dass keine Schadstoffe mehr in die Umwelt gelangen. Freisetzungspotential wird mittels einer Abkapselung vermindert. Das Schadstoffpotential wird durch In Situ oder Ex Situ Verfahren vermindert.

10 Kompostierung

Ab Mitte 20. Jhdt: Gemeinsamer Betrieb von Müllkompostwerk und KVA. Rückgang der Kompostieranlagen, da Qualität nur für gewisse Anwendungsfälle ausreichend war, ungenügende Beratung des Verbrauchers, Überschreitung der Schwermetallgrenzwerte. Anstieg des getrennt gesammelten Grünguts.

Kompostierungsmöglichkeiten Garten, Quartier mit Betreuergruppe, Gemeinde-/ regionale Kompostieranlage

Rotteprozess Gut abbaubare organische Substanzen werden durch Mikroorganismen zu CO_2 und H_2O abgebaut. Endprodukt: Humusdünger (Erde). Simulation des natürlichen Kreislaufs, technische Beschleunigung. Prozess ist abhängig von Temperatur, Sauerstoffgehalt und Wassergehalt.

Humus Gemisch aus abgestorbenen tierischen und pflanzlicher Zellen.

Aerobe Verrottung Verbrennung unter Sauerstoffverbrauch, rund 40% des Rohmaterials werden zu CO_2 und H_2O umgewandelt.

Anaerobe Verrottung Verfaulung/ Vergärung, es entstehen Methangas und übel riechende Stoffe wie Schwefelwasserstoff.

Bei beiden Prozessen besteht die Gefahr der Selbstentzündung, da sie exotherm sind. Wärme durch Umschichten und Belüftung abführen.

Kompost Dünger mit gebundenem Nährstoffgehalt.

Frischkompost junger Kompost, hygienisch bedenklich.

Reifekompost mehrere Monate alt, braun. Holzteile erkenntlich. In Hobbygärten für Erdenmischung.

10.1 Anlagentechnik zur Kompostierung/ Vergärung

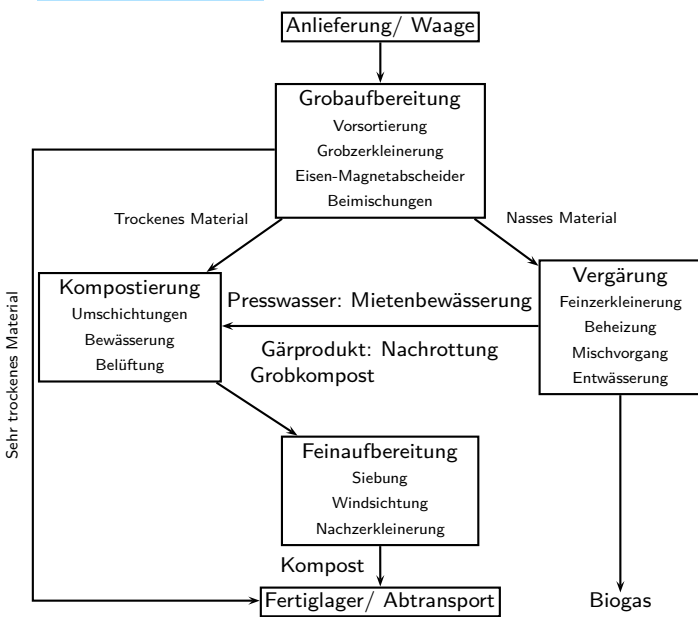
Kompostierverfahren Genügend Sauerstoff durch Strukturmaterial und Umschichtung. Feldrand-, Mieten-, Boxen-, Container-, Kanal-, Tunnel-, Tafelmietenkompostierung.

Anlagentechnik zur Vergärung Prozess unter Luftabschluss in Behältern. Unterscheidung von mesophiler ($35\text{-}40^\circ\text{C}$) und thermophiler ($55\text{-}60^\circ\text{C}$) Vergärung. Endotherme Reaktion \Rightarrow je höher der Energieeinsatz umso kürzer die Aufenthaltszeit im Reaktor, desto höher der Zersetzungsgrad und desto grösser die Gasausbeute.

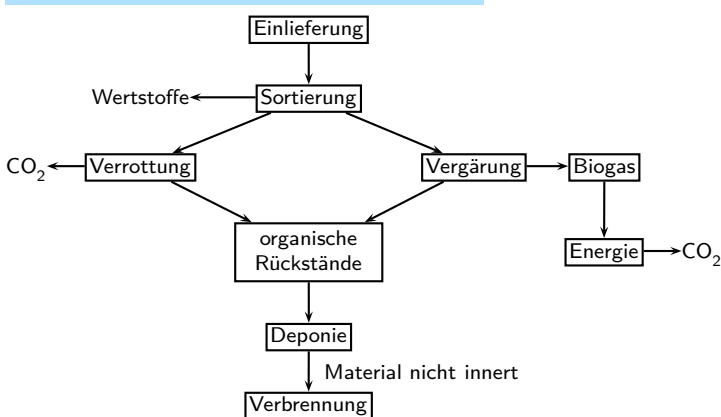
- Einstufig: Hydrolyse, Versäuerung und Methanisierung in einem Behälter
- Zweistufig: räumliche Trennung von Hydrolyse und Versäuerung von Methanisierung

- Dreistufig: zusätzliche 3. Verfahrensstufe zum verstärktem Abbau der Zellulosefasern

Kombiverfahren



Mechanisch- biologische Verfahren



lung: Verbrennung, chemische Spaltung

- Toxische anorganische Verbindungen (Schwermetalle). Behandlung: Verfestigung, Ablagerung
- Anorganische Salze, bestehend aus wasserlöslichen Salzmischungen. Behandlung: chemische Bindung, Ablagerung
- Anorganische Inertstoffe. Behandlung: direkte Ablagerung

Klassifizierung der Abfälle: Festlegung der Leitkomponente (Kategorie mit der größten Umweltrelevanz).

Chemisch-physikalische Behandlungsanlage (CPB)

Behandlung von Abfällen die nicht brennbar, aufgrund flüssiger oder schlammförmiger Konsistenz nicht deponierbar und für ARA nicht zumutbar sind.

anorganische Abfälle Altsäuren, Laugen, galvanische Konzentrate, Dünnschlämme

organische Abfälle Bohr-/ Schneideölemulsionen, Öl- Wasergemische und Ölschlämme

Behandlung organisch belasteter Abfälle

Wasser, mit Öl, Fett und Feststoffen verunreinigt.

Chemische Emulsionstrennung: Zerstörung der Ladung der Öltröpfchen durch Zugabe von Salzen. Es bilden sich grosse Öltröpfchen die sich durch Flotation abtrennen lassen.

Thermische Emulsionstrennung: Trennung durch Ausnutzung der unterschiedlichen Siedetemperaturen.

Membrantechnik: Ultrafiltration, Emulsion wird durch poröse Membran gepresst.

Sondermüllverbrennung Verbrennung erfolgt sobald genügend brennbares Material vorhanden. Da flüssige, pastöse und feste Abfälle (inhomogen!) verbrannt werden, eignet sich ein Drehrohrofen mit nachgeschalteter Brennkammer (Verweilzeit: ≈ 1 h, Temperatur: 1200-1300°C).

Krematorium Quecksilberemissionen aus Amalgam- Zahnfüllungen belasten Umwelt. Anlage besteht aus Einäscherungs-ofen (Etagen-/ Flachbettöfen), Rauchgaskühlung und Rauchgasreinigung.

11 Sonderabfälle

Abfallarten: Betriebsspezifische Industrie- und Gewerbeabfälle, Öl-Abfälle, tierische Abfälle, Krankenhausabfälle, Altautos, radioaktive Abfälle

Anfangs betriebsinterne Entsorgung (Verklappung). Gewässerschutzgesetz und Katastrophen führten zum Umdenken.

Heute nach TVA müssen Sonderabfälle getrennt gesammelt und verbrannt werden.

Batterien Enthalten wertvolle Rohstoffe und giftige Schwermetalle. Einschmelzung der Batterien in der Hochtemperatur-Verwertungsanlage mit elektrischem Induktionsofen. Zurückgewinnung von Eisen, Mangan, Zink und Quecksilber.

Kategorien von Sonderabfällen

- Chemisch-thermisch zerstörbare Verbindungen. Behand-

12 Klärschlämme

Anstieg der Schlammmenge ist auf die verbesserte Klärtechnik wie Stickstoffelimination und Phosphatfällung zurückzuführen. Schadstoffe und hygienische Bedenken (BSE) führten zum Austragungsverbot.

Entsorgungswege

- Produktbezogene Verbrennung: Zur Produktion von Zement, Asphalt und anderen Baustoffen. Die Schadstoffe müssen eingebunden oder zurückgehalten werden.
- Nutzung des Energieinhalts durch Verbrennung: Energieinhalt im Klärschlamm möglichst optimal nutzen.

Zementindustrie: Klärschlamm muss vorgängig getrocknet werden. Erst mechanische Trocknung mit Dekanter, Zentrifu-

ge oder Filterpresse. Thermische Entwässerung bis unter 10 Gew% Restfeuchte mit Stromtrocknung oder Kontakttrocknung.

Stromtrocknung heisse Rauchgase strömen über feuchten Schlamm.

Kontakttrocknung Schlamm steht in Kontakt mit einer beheizten Wand.

Verbrennung mit Müll Vorteile: Volumenreduktion, geruchsfreie, hygienisierte Rückstände, Energieverwertung, minimale Belastung der Umwelt, Schlamm muss nur mechanisch entwässert werden. Dieser Klärschlamm ist energetisch neutral, da die Verdampfung gleichviel Energie braucht wie sie liefert ⇒ kann mit beliebiger Menge Abfall verbrannt werden.

Wirbelschichtfeuerung Für Erzeugung von Wasserdampf für Strom und Fernwärme, hervorragender Stoff- und Wärmeübergang, niedrige NO_x- Emission, SO₂- Bindung.

13 Wirtschaftliche Aspekte

Kosten: „vermeiden“ < „vermindern“ < „verwerten“ < „umweltgerecht entsorgen“

Abfallmenge ∝ BSP

EU: vorgezogene Entsorgungsgebühren: Finanzierung des nicht kostendeckenden Wertstoffrecyclings

Inhaltsverzeichnis

1	Mensch und Abfall	1
2	Abfallbewirtschaftung	1
2.1	Definitionen	1
2.2	Entstehung von Abfall	1
2.3	Abfallbehandlung	1
2.4	Gesetze und Verordnung (<i>Skript S.40ff.</i>)	2
3	Herkunft und Zusammensetzung	2
3.1	Zusammenhang zwischen Ökonomie und Ökologie	2
4	Siedlungsabfälle	3
4.1	Varianten zur Charakterisierung	3
4.2	Stoffflussanalyse	3
4.3	Ökobilanz	3
4.4	Siedlungsabfallmatrix (SA-Matrix)	3
4.4.1	Direkte Abfallanalyse	3
4.4.2	Analyse Abfallbehandlungsprodukte	3
5	Abfallbehandlung und Recycling	3
5.1	Abfallrecycling Zürich	4
5.2	Duales System DSD AG Deutschland	4
5.3	Mechanische Verfahrensschritte	4
5.4	werkstoffliches Kunststoffrecycling	4
5.5	rohstoffliches Kunststoffrecycling	4
5.6	Energetisches Kunststoffrecycling	5
6	Thermische Behandlung	5
6.1	Aufbau einer KVA	6
6.2	Stoffbilanz der Müllverbrennung	6

6.3	Energiebilanz der Müllverbrennung	6
6.4	Feuerungsleistungsdiagramm	6
6.5	Pyrolyse- oder Schmelzbrennverfahren	6
7	Rauchgasreinigung	7
7.1	Mechanische Abscheider	7
7.2	Elektrischer Abscheider	8
7.3	Nassabscheider	8
7.4	Kombianlagen	8
8	Rauchgasreinigung (RGR), Rückstandsbehandlung	8
8.1	Dioxin/Furan- Problematik	9
8.2	Abwasserbehandlung der Rauchgasreinigung	9
9	Altlastenproblematik	10
10	Kompostierung	10
10.1	Anlagentechnik zur Kompostierung/ Vergärung	10
11	Sonderabfälle	11
12	Klärschlämme	11
13	Wirtschaftliche Aspekte	12

Abkürzungsverzeichnis

AltIV	Altlastenverordnung
ARA	Abwasserreinigungsanlage
BSP	Bruttosozialprodukt
GSchG	Gewässerschutzgesetz
GSchV	Gewässerschutzverordnung
KVA	Kehrichtsverbrennungsanlage
LRV	Luftreinhalteverordnung
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlung
PTFE	Polytetrafluoräthylen
RESH	Residue from Shredder
StFV	Verordnung über den Schutz von Störfällen
StoV	Verordnung über umweltgefährdende Stoffe
TVA	Technische Verordnung über Abfälle
USG	Umweltschutzgesetz
UVPV	Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung
VSS	Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen

Index

- Ökologie, 2
 Ökonomie, 2
 Ölabfälle, 2
- Abfälle aus Industrie und Gewerbe, 2
 Abfall, 1
 Abfall- und Kloakewesen, 1
 Abfallarten, 11
 Abfallmenge, 3
 Abfallproblems, 1
 Abfallrezirkulation, 3
 Abfallverbrennung, 1
 Abfallzusammensetzung, 3
 Aerobe Verrottung, 10
 Agglomerieren, 4
 Allesammlung, 3
 Altautos, 5
 AltIV, 2
 Altpneus, 2
 Anaerobe Verrottung, 10
 Andere Kontinente, 2
 Anlagetechnik zur Vergärung, 10
 anorganische Abfälle, 11
 Ausbrand, 5
- Bauabfälle, 5
 Bauschutt, Aushub von Baustellen, 2
 Bausperrgut, 5
 Behandlung organisch belasteter Abfälle, 11
 BRAM, 7
 Brennbares Material, 5
 Brennstoff, 6
- Chemisch-physikalische Behandlung der Rückstände, 10
 Chemische Emulsionstrennung, 11
 Cholera, 1
- Demontagewerk, 5
 Deponie, 2
 Dichtesortierung, 4
 DSD, 4
 Duales System, 4
 Durchbläser, 6
- Einstoffmulden, 5
 Elektroabscheider, 4
 Elektrodynamischer Venturi, 8
 Elektronikgeräte, 5
 Eluattest, 10
 Energetische Verwertung, 4
 Entgasung, 5
 Entsorgung, 5
 Entsorgungswege, 11
- Füllkörper, 8
 Füllkörperkolonne, 8
 Feinstaub- und Aerosolabscheidung, 9
 Feststoffe, 1
 Filternder Abscheider, 7
 Flüssigkeiten, 1
 Fliehkraftabscheider, Zyklon, 7
 Forderungen, 8
 Frischkompost, 10
- Gegenstromfeuerung, 6
 Getrennte Sammlung, 3
 Glas, 4
 Gleichstromfeuerung, 6
 Granulatumschmelzung, 4
 GSchG, 2
 GSchV, 2
- Häusliche Abfallstoffe, 2
 Halb- oder quasitrockenes RGRS, 9
 Haushaltskühlgeräte, 5
 Heizwert, 3
 Heizwerts, 2
 Humus, 10
 Hydrierung, 4
- Inertstoffdeponie, 10
 Ionisierender Nasswäscher, 8
- Kategorien von Sonderabfällen, 11
 Klärschlamm, 1, 2
 Klauben, 4
 Kombiverfahren, 11
 Kompost, 10
 Kompostierungsmöglichkeiten, 10
 Kompostierverfahren, 10
 Kondensationswäscher, 8
 Kontakttrocknung, 12
 Krankenhausabfälle, 2
 Krematorium, 11
 Kunststoffrecycling, 4
 KVA, 1
- Leitbild Juni 1986, 2
 LRV, 2
 Luftschadstoffe, 7
- Müllbunkertypen, 5
 Magnetabscheider, 4
 mechanisch- biologische Anlage (MBA), 1
 Mechanisch- biologische Verfahren, 11
 Mehrmuldenkonzept, 5
 Mehrwegflaschen, 4
 Membrantechnik, 11
 min. Abgasmenge, 4
 min. Luftbedarf, 6
 Mittelalter, 1
 Mittelstromfeuerung, 6
 Molekülstruktur, 4
 Mulde für vermischte Inertstoffe, 5
- Nasselektrofilter, 8
 Nasses Rauchgasreinigungssystem, 9
 Natriumkarbonatpufferung, 8
 Neutrale Wäsche, 9
- Oberflächenspannung, 4
 Ochsner, 1
 organische Abfälle, 11
- Papier, 4
 Pasten, 1
 PET-Recycling CH, 4
 Phasen der Abfallwirtschaft, CH, 2
 PKA-Verfahren, 7
 Primärer Sektor, 1
 Prinzip der Ökonomie, 2
 Pyrolyse, 5, 6
- Quenche, 9
- Radioaktive Abfälle aus Industrie und Medizin, 2
 Rauchgasrezirkulation, 9
 Reaktordeponie, 10
 Regelung, 6
 Reifekompost, 10
 Reingasschaltung, 9
 RESH, 5
 Reststoffdeponie, 10
- Rohgasschaltung, 9
 Rohstoffrecycling, 4
 Rotteprozess, 10
- SA-Matrix, 3
 Salzgewinnung, 9
 Saure Wäsche, 9
 Schleppdiffusion, 8
 Schwelbrenn-Verfahren (SBV), 7
 Schwerkraftabscheider, 7
 Schwermetall, 3
 Sekundärer Sektor, 1
 Sekundärluftzufuhr, 6
 Siebdurchfall, 3
 Siebrückstand, 3
 Siedlungsabfälle, 1
 Sonderabfälle, 1
 Sondermüllverbrennung, 11
 Sortierfraktionen, 3
 Sperrmüll, 5
 Sprühturm ohne Einbauten, 8
 Stapelvolumen, 5
 StFV, 2
 Stichprobenplan, 3
 Stickoxidabscheidung, 9
 StoV, 2
 Strassenkehricht, Marktabfälle, 2
 Stromtrocknung, 12
 Stufenverbrennung, 9
 Subsidiarität, 4
- Tertiärer Sektor, 1
 Theoretischer Heizwert, 6
 Thermische Behandlung der Rückstände, 10
 Thermoselect-Verfahren, 7
 Tierische Abfälle, 2
 Trägheitsabscheider, 7
 Trennen/ sortieren, 4
 Trenngrösse, 4
 Trockene Rauchgasreinigungssystem, 8
 Trockenens SCR, 9
 Trockenes SNCR Verfahren, 9
 Trocknen, 4
 Trocknung, 5
 Trommel-, Schwingsiebe, 4
 Turbulente Agglomeration, 8
 TVA, 2
- USG, 2
 UVPV, 2
- Venturiwascher, 8
 Verbrennung, 5
 Verbrennung mit Müll, 12
 Verbrennungsmittel, 6
 Verbrennungsphasen, 5
 Verdünnung, 3
 Vergasung, 5
 Vergasungsverfahren, 4
 VerpackV, 4
 Verursacherprinzip, 4
 von Roll- RCP- Verfahren, 7
 Vorsorge, 4
 VSS, 2
- Waschen, 4
 Werkstoffrecycling, 4
 Wirbelschichtfeuerung, 12
- Zündung, 5
 Zementindustrie, 11
 Zerkleinern, 4