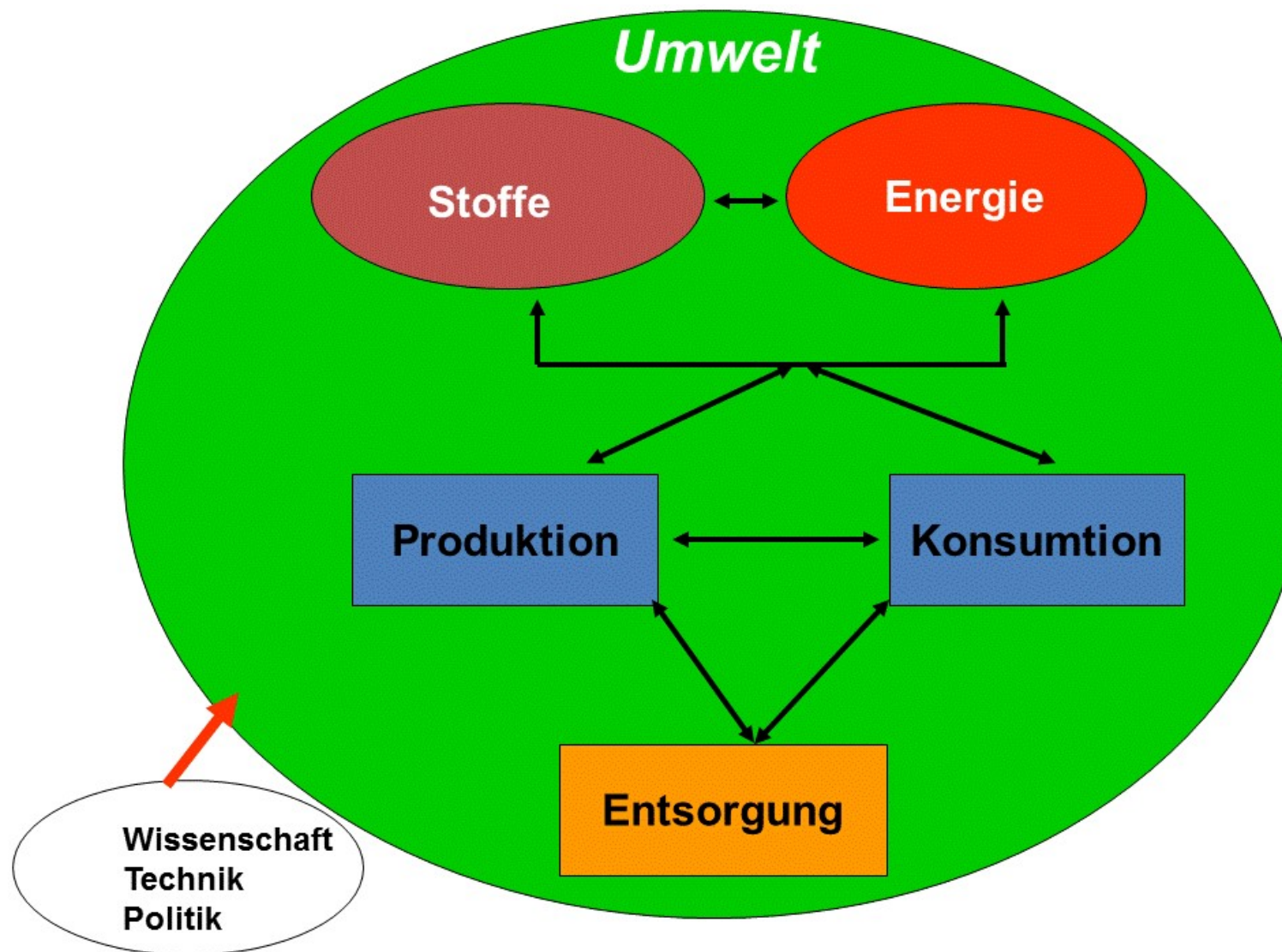


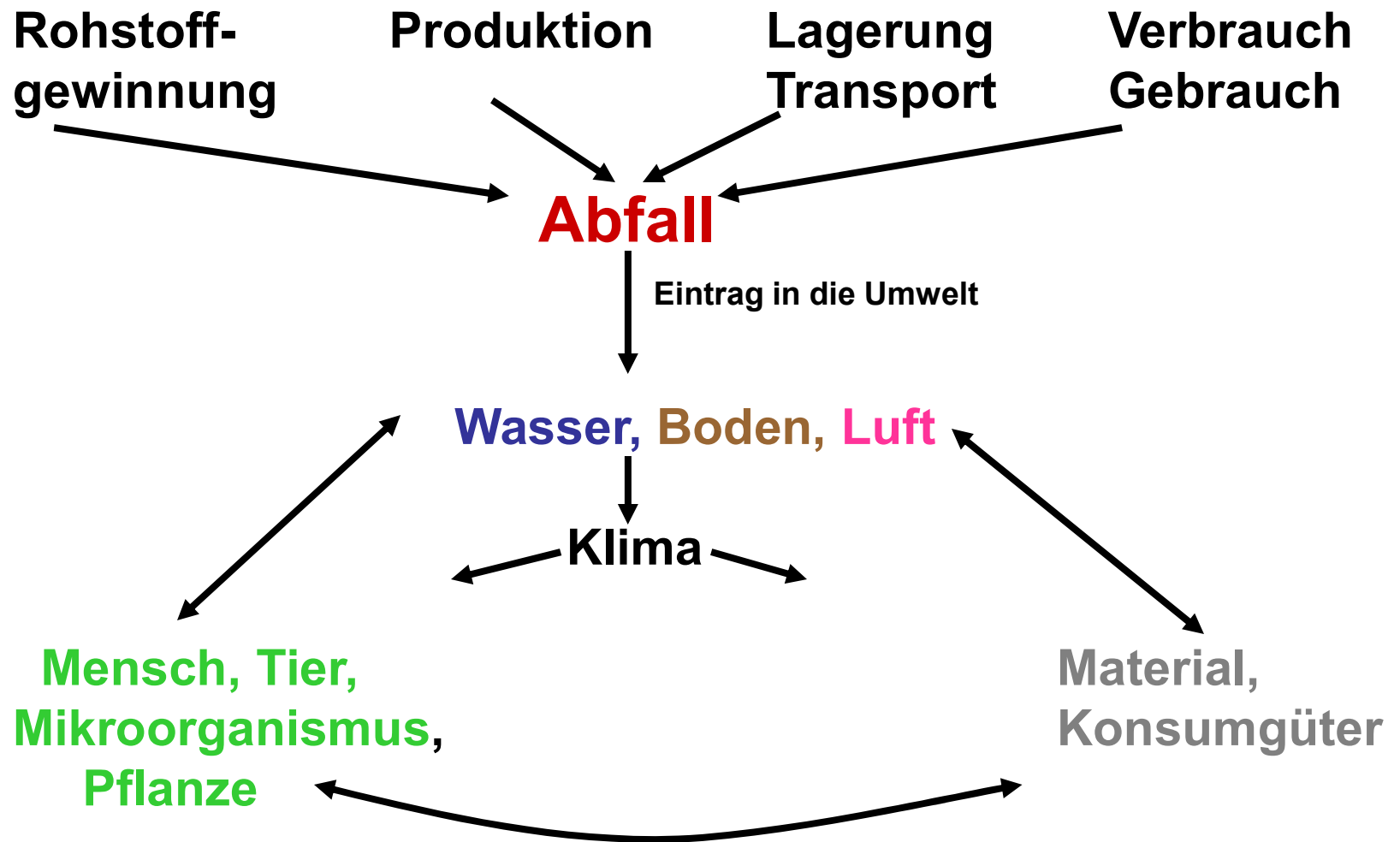
UC-12

9.0 Entsorgung



9.1 Reststoffe, Abfälle

Entstehung von Abfall und dessen Wechselwirkung mit der Umwelt



Die Umweltchemie der radioaktiven und nuklearen Reststoffe und Abfälle werden in dieser Vorlesung nicht besprochen (siehe Vorlesung „Radiochemie“).

Abfälle

Definition im Sinne des Abfallgesetzes [§1 (1) AbfG]:

„... bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigen will oder deren geordnete Entsorgung zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit, insbesondere des Schutzes der Umwelt, geboten ist.“

Sammlung und Aufbereitung von „Reststoffen“ (Abfällen)

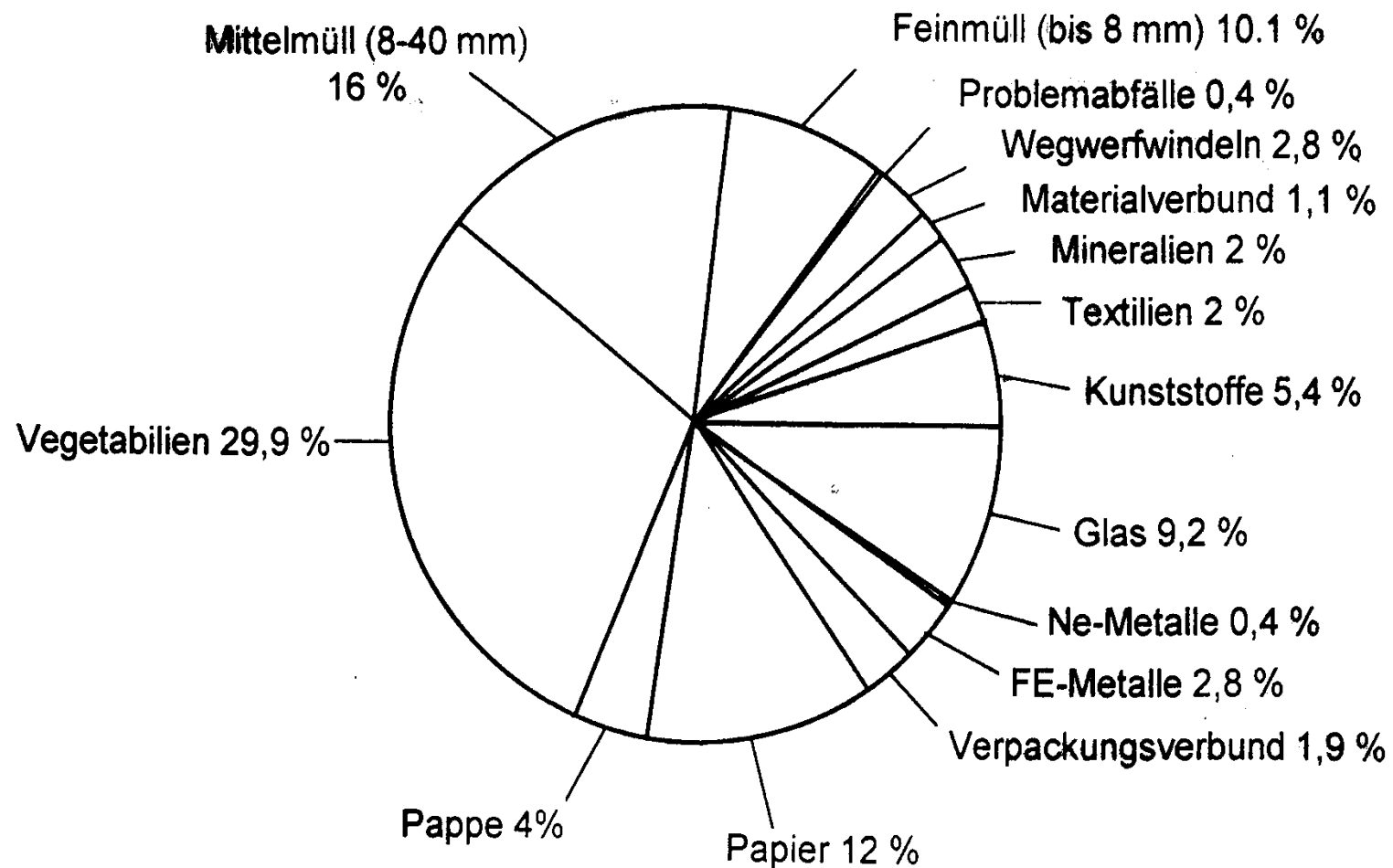
- **Getrennte Wert- und Schadstofffassung im Hausmüll**
- **Duales System für Verpackungsabfälle**
- **Behandlung von Massenabfällen**
(z.B. Baggergut)
- **Chemisch-physikalische Behandlung von Industrieabfällen**
Entgiftung (Cyanid durch Natriumhypochlorit), Emulsionstrennung
(z.B. Flockung, Adsorption)

Reststoffabtrennung ist erfolgt... dann Entsorgung der Abfälle

- *Deponie*
- *Müllverbrennung*
- *Vergärung Kompostierung von Bioabfällen*

9.2 Deponie

Hausmüllzusammensetzung BR Deutschland



Deponiekonzept

- **Geologie (hydrogeologische und geotechnische Gesichtspunkte)**
- **Dichtung (allseitig wirksames Dichtungssystem)**
- **Entsorgung (Erfassung und Ableitung der Wässer und Gase)**
- **Betrieb (nach Stand von Wissenschaft und Technik)**
- **Überwachung**
- **Nachsorge, Kontrolle**

⇒ **Forderung: Immissionsneutralität**

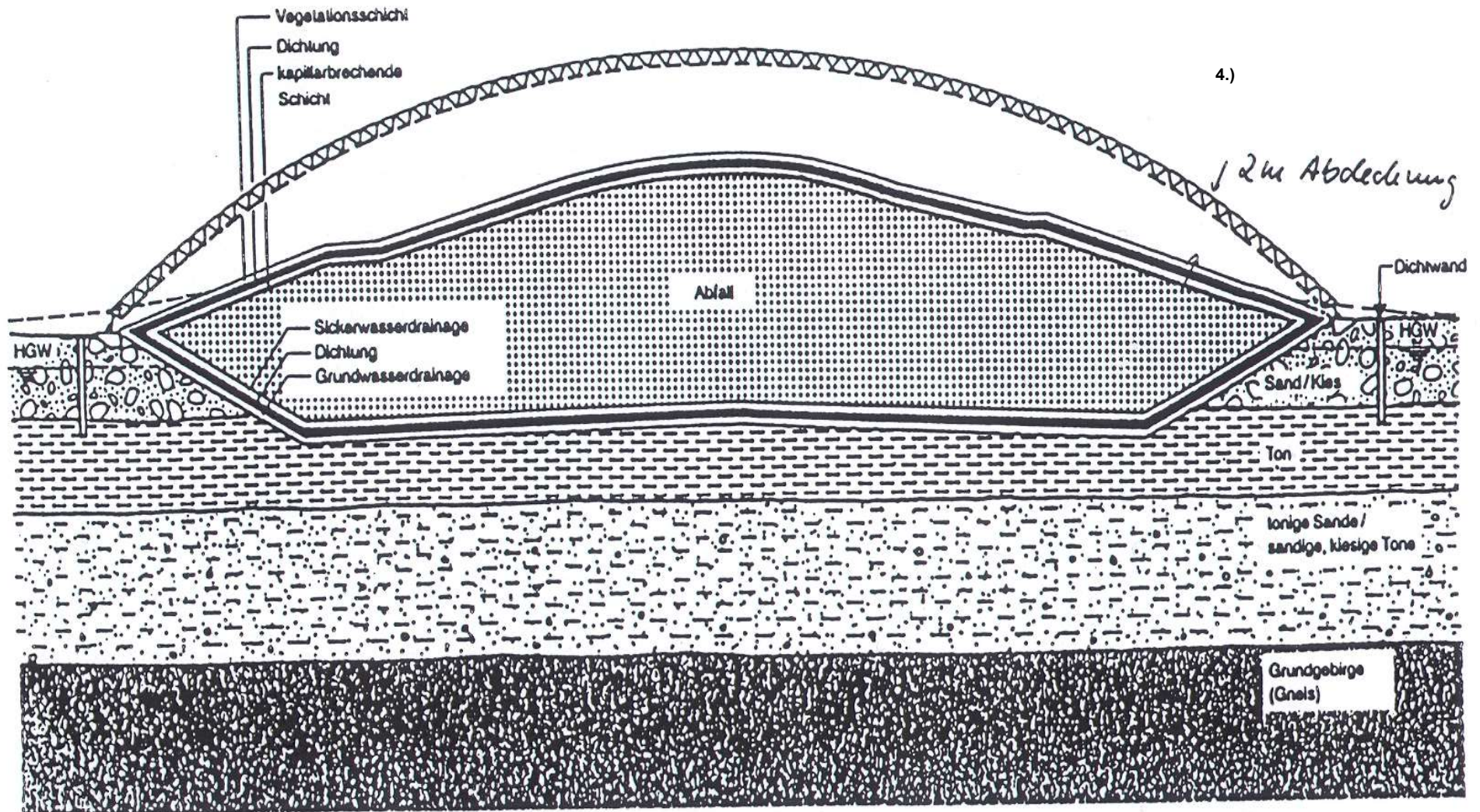
Ausstattungsmerkmale einer geordneten Deponie

(Barrieren)

- **Untergrundabdichtung (Mindestdichtigkeit von 10^{-8} m/s)**
- **Einrichtungen zur Erfassung und Behandlung (Ableitung) des Sickerwassers**
- **Anlagen zur Erfassung und Behandlung bzw. Verwertung von Deponiegas**

Schematischer Gelände- und Deponieschnitt

(unmaßstäblich)



Vorgänge bei der Verwitterung in Deponien

(nach Schenkel; in Blume „Handbuch des Bodenschutzes“)

physikalische Verwitterung

chemische Verwitterung

biologische Verwitterung (Verrottung)

Vorgang:

Spalten- und
Rissbildung durch
wechselnden
Wassergehalt und
Frosteinwirkung

primär durch die im Niederschlag
gelösten Gase der Luft
(Sauerstoff und
Kohlendioxid)

Umwandlung organischer
Substanzen durch
Mikroorganismen
im aeroben Medium

Folgen:

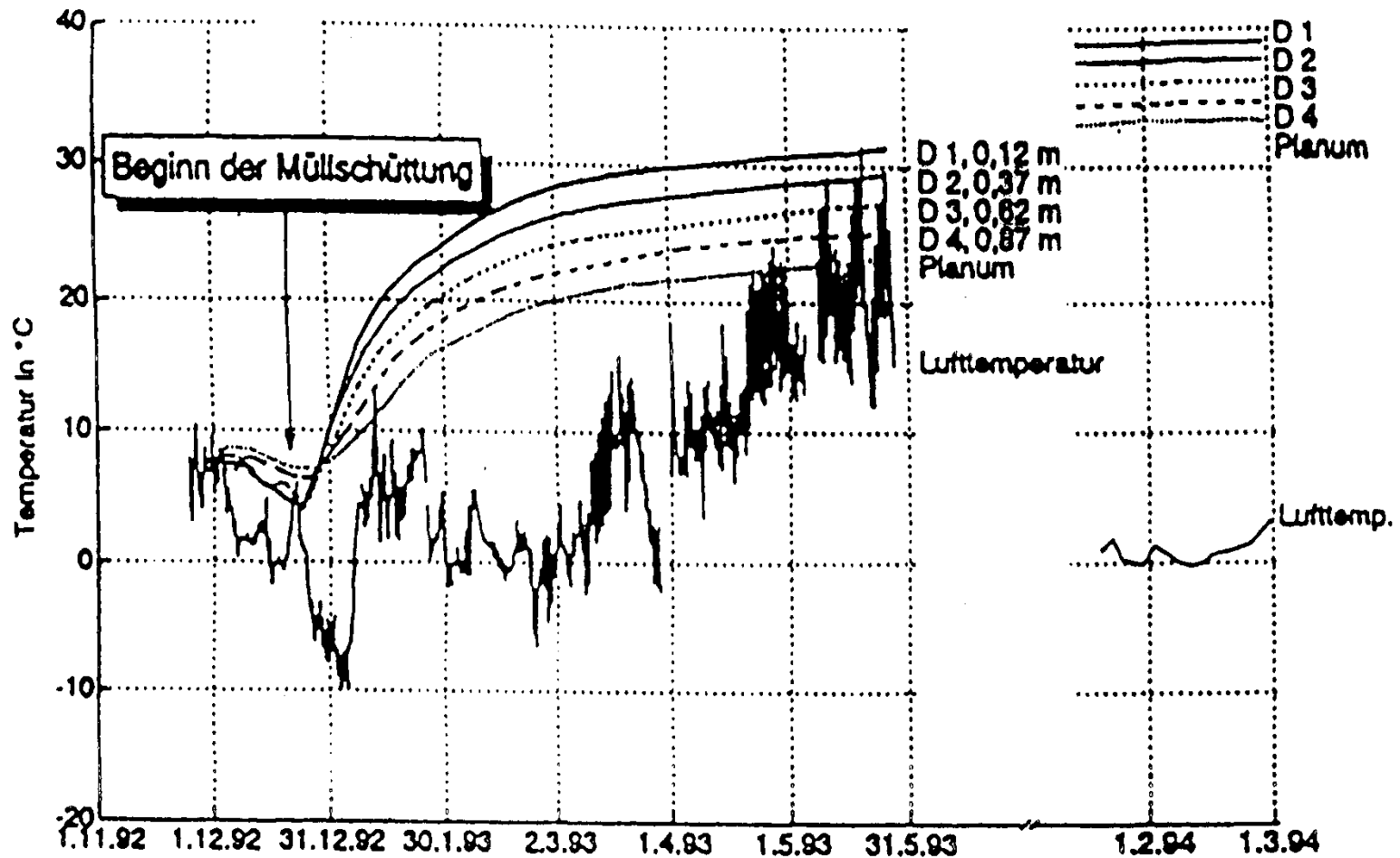
Intensivierung der
chemischen und
biologischen
Verwitterung

Senkung des pH, Auflösung von
Feststoffen (Erdalkali- und
Schwermetallverbindungen)
durch Kohlensäure, Oxidation
und Auflösung von Produkten
der Vererzung von Fe, Mn, S

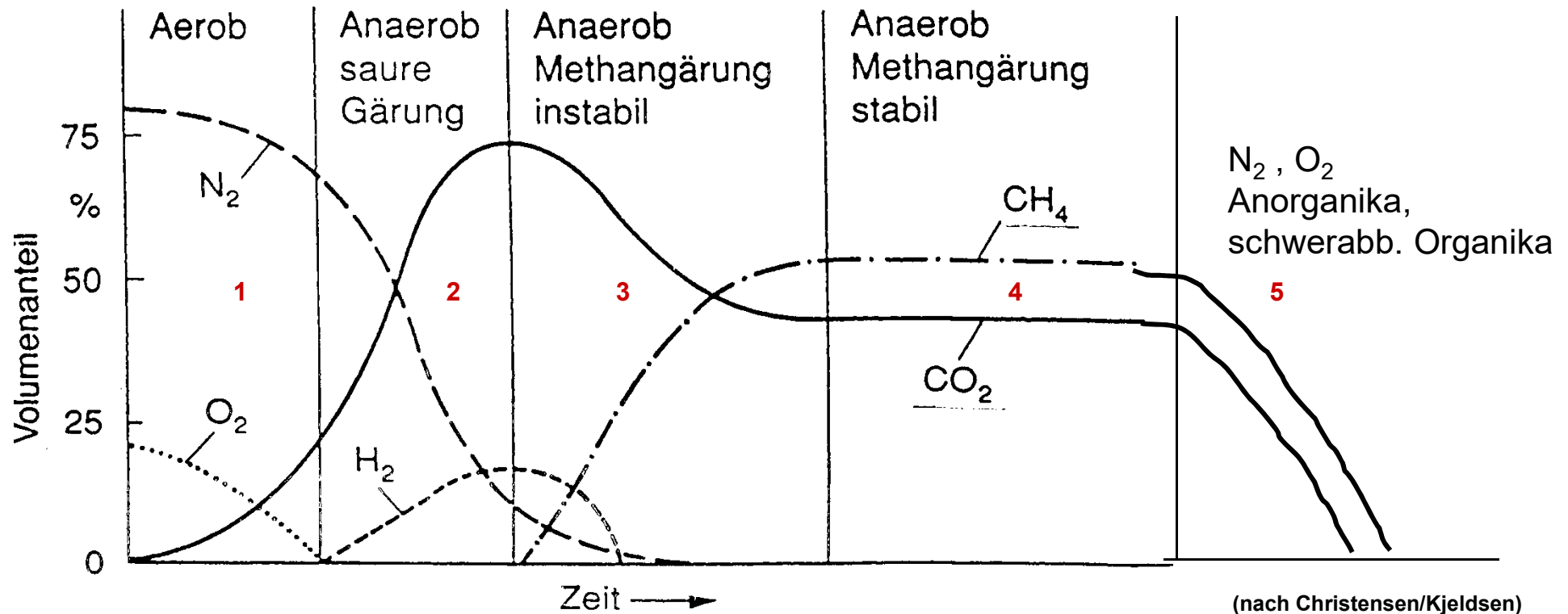
durchgreifende Oxidation
organischer Verbindungen
zu Kohlendioxid sowie von
N, S, P zu Nitrat, Sulfat,
Phosphat

Temperaturen in der Basisdichtung nach Beginn der Müllschüttung

(Deponie Augsburg-Nord, hydrogeologisches Messfeld der TU München)



Zeitliche Veränderung der Gasphase von SiedlungsabfalldPONEN

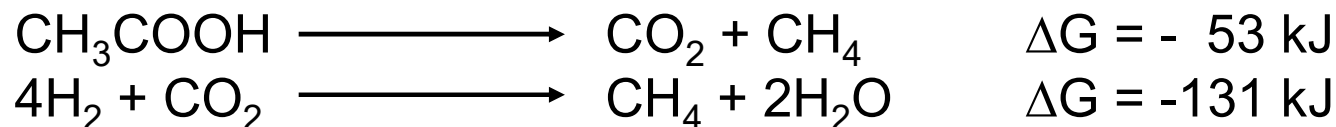


- in einer kurzen aeroben Phase nach der Ablagerung werden die meisten organischen Bestandteile durch den Luftsauerstoff in CO_2 und Wasser umgewandelt, **1**
- in einer ersten anaeroben Phase nimmt die Bakterienaktivität zu, es bilden sich flüchtige Fettsäuren, CO_2 und auch H_2 , die saure Reaktion setzt verstärkt Metallionen frei, **2**
- Aktivität methanogener Bakterien nimmt zu, Bildung von Schwefelwasserstoff und Erhöhung des pH-Wertes, dadurch nimmt die Löslichkeit der Schwermetalle ab, **3**
- die Methanbildung stabilisiert sich bei 50-65% der gesamten Gasproduktion, Anteile an flüchtigen Fettsäuren und Wasserstoff nehmen ab, **4**
- am Ende bleiben nur noch schwer abbaubare org. Stoffe zurück, es beginnt Stickstoff und Sauerstoff in die Deponie zu diffundieren **5**

Mittlere Zusammensetzung von Deponiegas bei Hausmüldeponien

Komponente	Formel	Volumenanteil
Methan	CH ₄	60%
Kohlendioxid	CO ₂	38%
Stickstoff	N ₂	0,45%
Sauerstoff + Argon	O ₂ + Ar	0,13%
Ethan	C ₂ H ₆	0,01%
Schwefelwasserstoff a)	H ₂ S	60 ppm

a) Neben Verbindungen wie Ethylmercaptan, C₂H₅SH, hauptsächlich verantwortlich für die Geruchsentwicklung



9.3 Müllverbrennung

Thermische Behandlung von Abfällen

Ziele:

- **schädliche oder gefährliche Inhaltsstoffe des Abfalls sollen zerstört und immobilisiert (mineralisiert) werden**
- **Volumen und Menge des Abfalls soll vermindert werden**
- **Stoffe sollen zumindest energetisch genutzt werden**
- **verwertbare Abfallkomponenten sollen rückgewonnen werden (z.B. aus Metall-Kunststoff-Verbundwerkstoffen)**

Thermische Behandlungsprozesse

- Verbrennung

(Stoffumwandlung bei höherer Temperatur in Anwesenheit von Sauerstoff, hier $T > 850^{\circ}\text{C}$)
25% des Hausmülls wird in Deutschland verbrannt, Schweiz 80%

- Pyrolyse (Entgasung)

(Stoffumwandlung unter Zuführung von Wärme, weitestgehend unter Sauerstoffausschluss)
Tieftemperaturpyrolyse: $< 550^{\circ}\text{C}$, Mitteltemperaturpyrolyse: $550 \dots 800^{\circ}\text{C}$, Hochtemperaturpyrolyse: $> 800^{\circ}\text{C}$
Schritte: Zersetzung (Depolymerisation-Kettenbruchstücke), dann Polymerisation zu Teer

- Vergasung

Kombination von Verbrennung und teilweiser Pyrolyse
Kohlenstoffhaltige Anteile zu CO bei hohen Temperaturen, dann weitere Verbrennung oder Nutzung

- Hydrierung

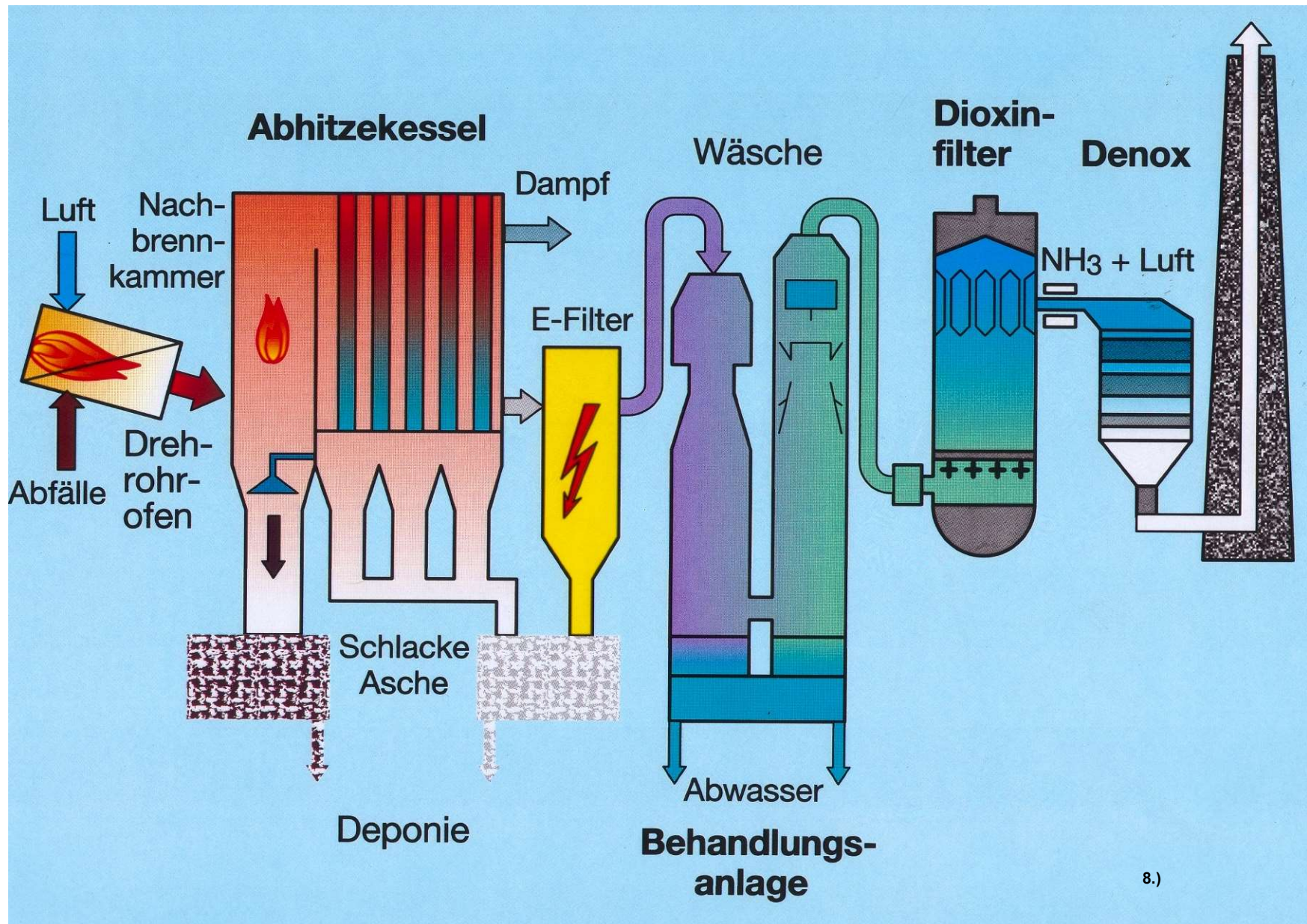
thermische Zersetzung unter Sauerstoffausschluss in Gegenwart von Katalysatoren, danach Reaktion mit Wasserstoff

$$\text{R-Cl} + \text{H}_2 \rightarrow \text{R-H} + \text{HCl}$$

Wesentliche Systeme einer Müllverbrennungsanlage

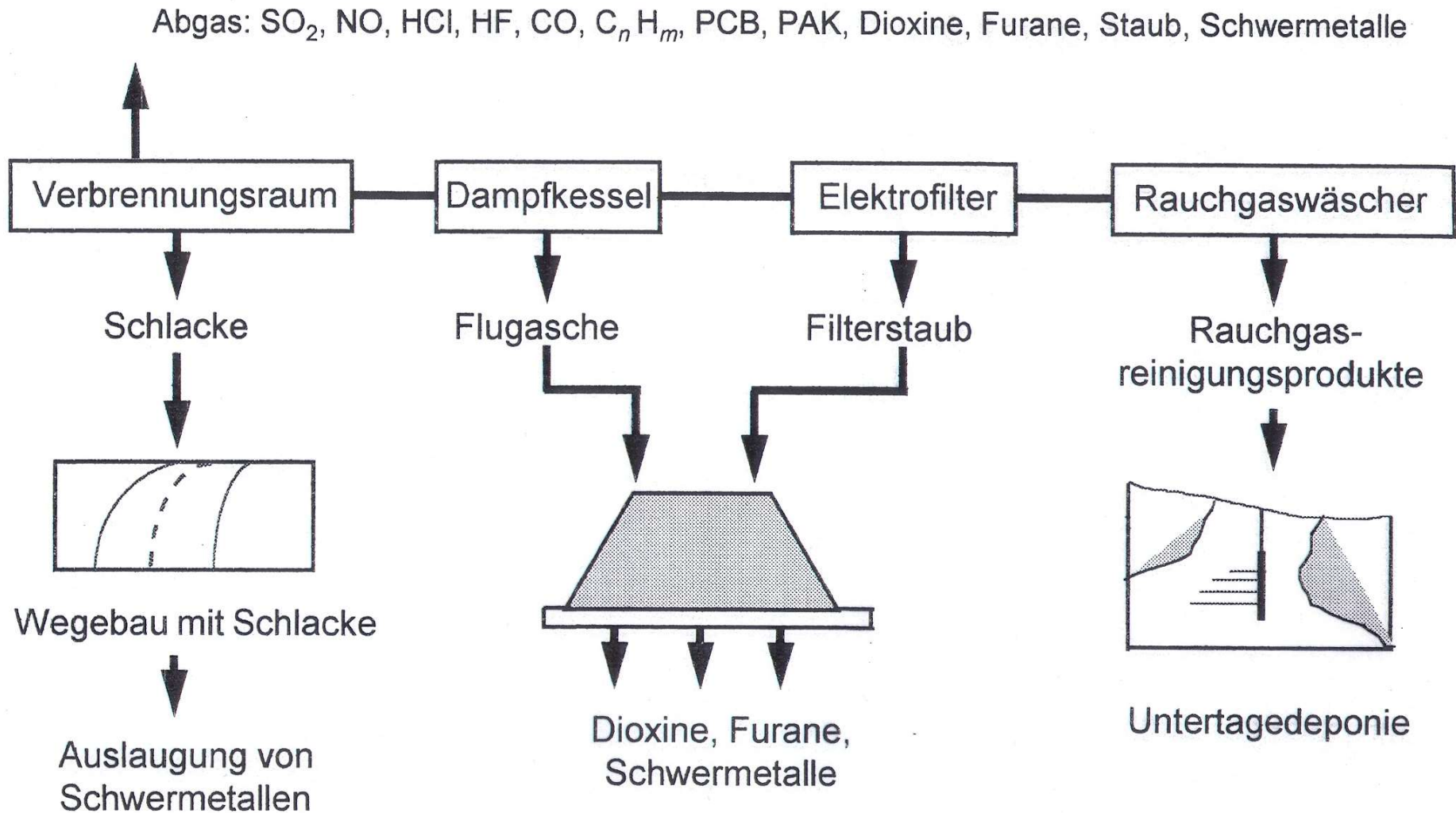
- Müllbunker mit Aufgabevorrichtung**
- Verbrennungsraum**
- Rauchgaskühleinrichtung (oft mit Wärmenutzung)**
- Entschlackungseinrichtung**
- Rauchgasreinigungsanlage**

Abfallverbrennungsanlage



Schadstoffströme bei der Müllverbrennung

5.)



Eine technologische Herausforderung ist es, den Gehalt an Dioxinen sowohl in den Filterstäuben, als auch im Abgas selbst niedrig zu halten.

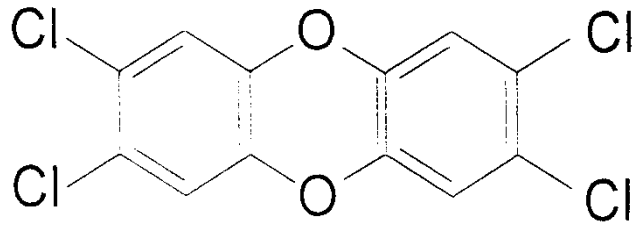
Dioxinbildung - Dioxinzerstörung

Bildung:

- **aus chlororganischen Verbindungen**
(als Nebenprodukte bei der Synthese von Chlorphenolen, Gas-Festkörperreaktionen)
- **aus „anorganischem“ Chlorid**
(z.B. Luftoxidation von bituminöser Kohle bei 600°C in Gegenwart von Chlorwasserstoff oder Chlor)

Zerstörung:

- **thermische Gasphasenreaktion (>1200°C)**
- **katalytische Verfahren**
- **photochemische Zerstörung**
- **Reaktion mit Natrium**
- **Hydrolyse**



Rauchgasreinigung

- Reduzierung der Emissionen (NO_x , Dioxine)
- Untersuchungen zur Prozessführung:
 - * verminderter Mülleintrag ergibt reduzierte Belegungsdichte und damit niedrige Dioxin/Furan-Werte
 - * hoher Lufteintrag vermindert Dioxin/Furan-Werte
 - * hoher Feuchtigkeitsgehalt, geringe Dioxin/Furan-Werte
 - * mittels Nasswäsche Abscheidungsgrade von 90%
 - * mittels Wasserstoffperoxid können gasförmig vorliegende Dioxine (Furane) zerstört werden

Rückstandsbehandlung

- pro Tonne Müll fallen etwa 250-350 kg Schlacke und Asche an, ca. 20-40 kg Filterstaub und ca. 8-45 kg Reaktionsprodukte aus Reinigungsstufe
- Rückstände werden zum Teil verwertet, zum Teil deponiert
- Rückstandsbehandlung (zukünftig) Waschen, Sintern, Schmelzen
- Zusammensetzung der Rohschlacken:
 - 3-5% Unverbranntes
 - 7-10% Eisen- und Nichteisenmetalle
 - 5-7% grobstückiges und 80-83% feinstückiges Material (Beton, Ziegel, Steine, Schlackebrocken, Glas, Keramik, Porzellan)
- mittels Aufbereitungsverfahren sollen aus Schlacke und Filterstäuben Metalle wiedergewonnen werden
- Verfestigungs- und Waschverfahren (immobilisierende Zuschlagstoffe zusetzen)
- durch Schmelzverfahren Schlacke (auch Filterstäube) in auslaugungsfestes Produkt überführen

- Anreicherung typischer Schwermetalle in Schlacken und Filterstäuben aus Verbrennungsanlagen

Element	Erdkruste (g/kg)	Schlacke (g/kg)	AF	E-Filterstaub (g/kg)	AF
Zink	0,07	4...15	140	13...39	370
Blei	0,013	1...17	750	6...50	1200
Cadmium	0,0002	0,01...0,14	200	0,2...0,6	2000

AF = Anreicherungsfaktor im Vergleich zum Elementgehalt in der Erdkruste

- Nachgewiesene organische Verbindungsklassen in MVA-Schlacken

Bestandteile	Massenanteil auf Trockenmasse (%)
--------------	-----------------------------------

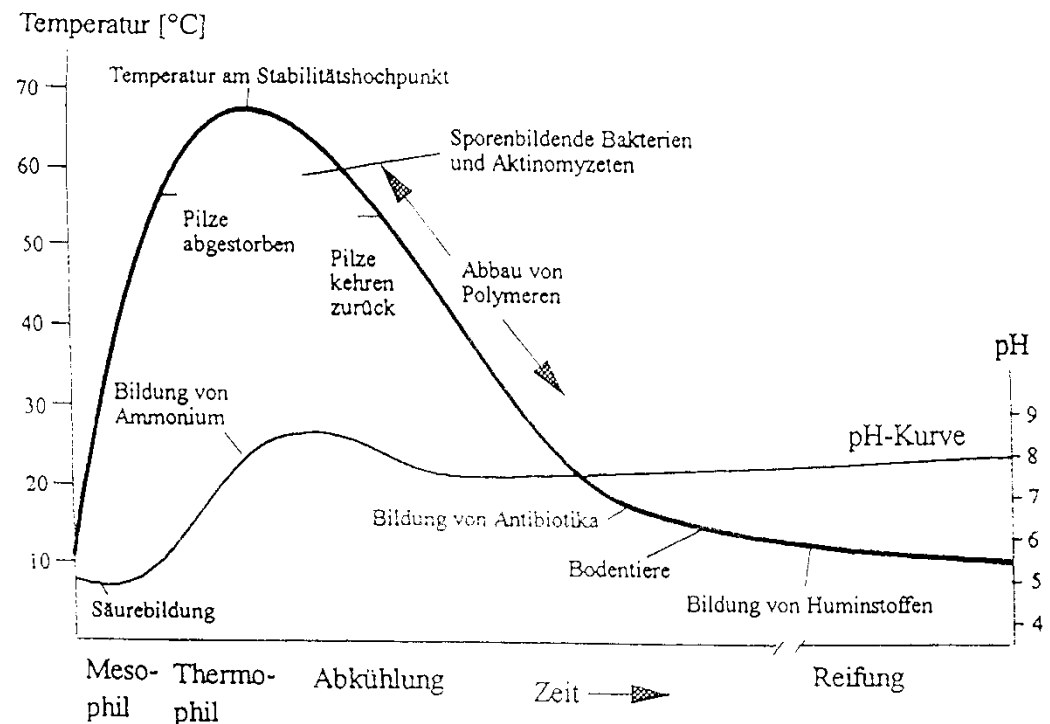
Teer und Leichtöl
Gas
Koks
(Wasser

44	
18	→ Alkane: 2000 µg/kg
22	PAK: 100 µg/kg
16)	Fettsäuren: 30000 µg/kg
	Phenole: 300 µg/kg
	Phthalate: 3000 µg/kg

9.4 Kompostierung/ Vergärung

Kompostierung

- Kompostierung beruht auf mikrobiologischen Stoffwechselprozessen
- aus organischen Stoffen im Müll in einem exothermen Prozess und Kohlendioxidentwicklung ein organomineralisches Bodenverbesserungs- und Düngemittel
(Nitrate, Sulfate, Zellulose und Lignin bilden Humussubstanz)
- Rotteprozess
 - * ausreichende Luftzufuhr
 - * Nährstoffe für Mikroorganismen
 - * pH-Wert zwischen 5 und 8
 - * Beeinträchtigung durch Geruchsbelästigung



Temperatur- und pH- Verlauf vs. Zeit

Gärung



Definition:

ist anaerob verlaufender Prozess zur Energiegewinnung, bei dem der abgespaltene Wasserstoff auf organische Akzeptoren oder CO_2 übertragen wird, die intermediär beim Substratabbau gebildet werden, die dabei reduziert werden

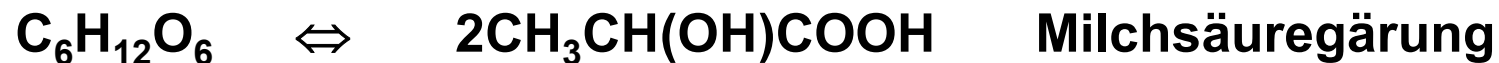
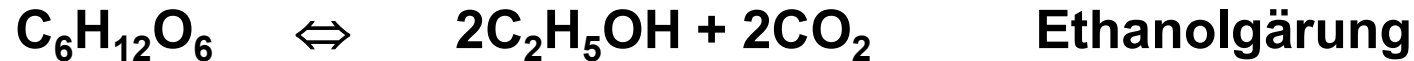
- in der natürlichen Umwelt werden dadurch die in den Gewässerse-dimenten abgestorbenen Organismen und Pflanzenteile abgebaut
- Gärung führt zum unvollständigen Abbau, es erfolgt keine Mineralisierung
- Mögliche Produkte:
Methan, Acetat, Formiat, Propionat, Lactat, H_2 und CO_2

Beispiele:

- *alkoholische Gärung:*
Glucoseabbau über Acetaldehyd als Wasserstoffakzeptor zu Äthanol reduziert
- *Buttersäure-Butanolgärung:*
Eiweiße/Aminosäuren zu H_2 , CO_2 , Acetat, Butyrat-Butanol, Aceton-Isopropanol

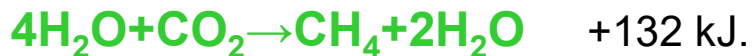
Gärung II

- Unterscheidung nach Hauptstoffwechselprodukten:



Methangärung

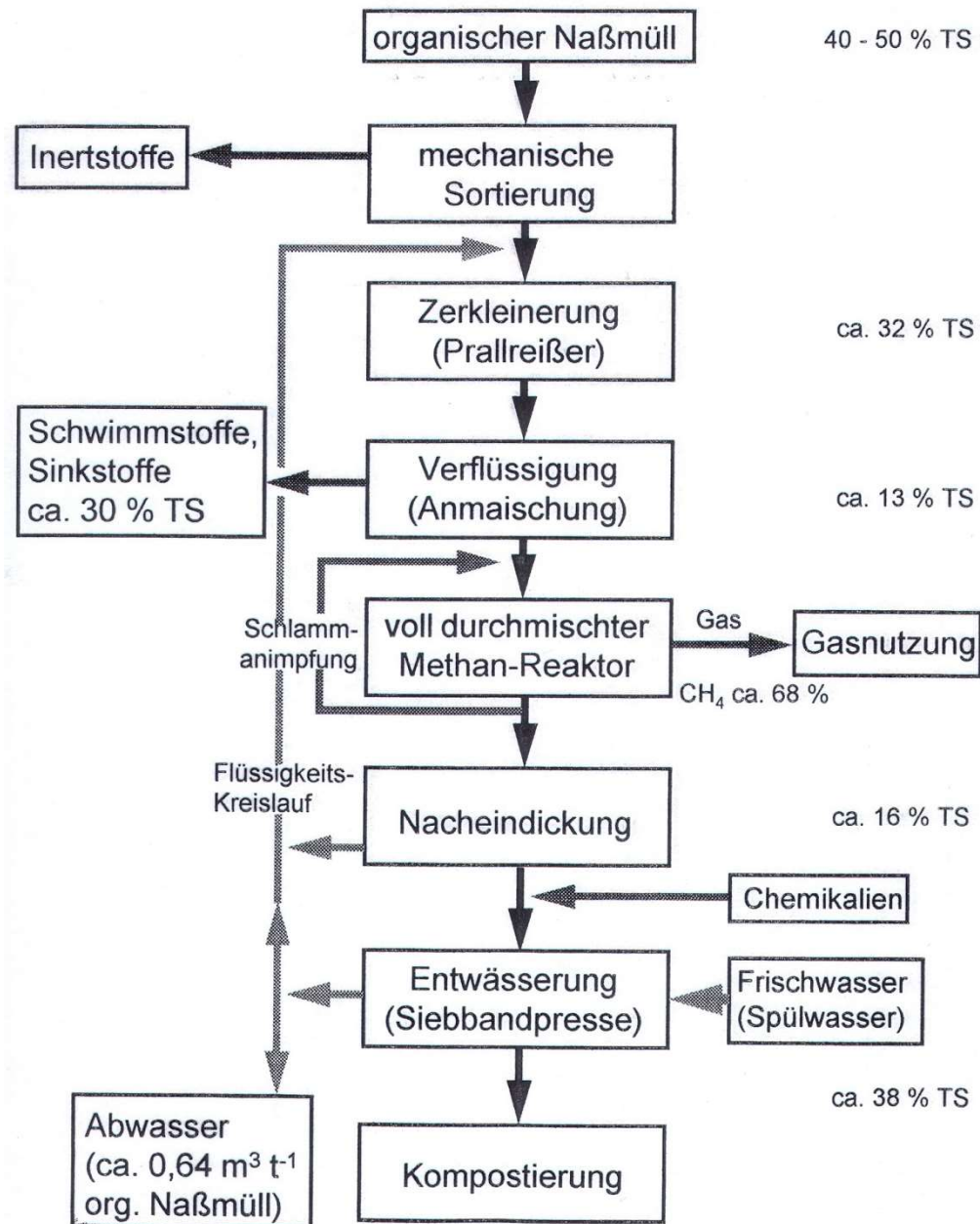
Reaktion, bei der je nach Zusammensetzung des Ausgangsmaterials etwa 70% Methan (CH_4), 10% Wasserstoff und 20% Kohlendioxid von „Methanbakterien“ produziert werden. Die Methanbildner leben anaerob und übertragen aktivierten Wasserstoff auf Kohlendioxid:



Dieser Prozess wird bei der Biogas-Erzeugung genutzt.

- Hydrolyse
- Säuerung
- Methanbildung

Grundfließbild einer Müllgärungsanlage



10.0 Umweltrecht und umweltbezogenes Handeln

Wissenschaft und Technik als Risiko

- **subjektives Empfinden**
- **politisch geprägte Information**
- **Unverständnis....Ungewissheit im Nutzen**
- **„Sprachbarriere zwischen Profi und Laien“**

Risiko nicht abschaltbar, immer vorhanden

Beschreibung der modernen Umweltprobleme

Quantitative und qualitative Unterschiede zwischen den traditionellen und den modernen Umweltzerstörungen:

- an die Stelle *punktueeller* treten *universelle* Probleme:

(Frühindustrielle Umweltschäden blieben lokal oder regional beschränkt. In heutiger Zeit werden global Ökosysteme beeinträchtigt. CO₂- Freisetzung führt zu globaler Erderwärmung.)

- an die Stelle *einfacher* treten *komplexe* Wirkungen:

(Oft können nicht mehr Verursacher und Wirkung eindeutig zugeordnet werden. Auftreten von Synergismen (Waldsterben durch Schwefeloxidgase und Nitrose Gase)

- an die Stelle sofort *sinnlich* wahrnehmbarer Probleme treten Auswirkungen, die nur mit Hilfe *wissenschaftlicher* Analysenmethoden festgestellt werden können:

(Sinnesorgane des Menschen reichen nicht aus, um Schadstoffe zu detektieren, radioaktive Strahlung, Nanopartikel...)

- an die Stelle *reversibler* treten tendenziell *irreversible* Schädigungen:

(Qualität und Quantität des Eintrags von Schadstoffen übersteigen die Regenerationskraft der Natur, deshalb sind viele Umweltschäden irreversibel.)

Negative Folgen der Industrialisierung

- drastischer Anstieg von CO₂ in der Atmosphäre**
- drastischer Anstieg von SO₂ in der Atmosphäre**
- Eintrag von CH₄, NO_x und FCKW in die Atmosphäre**
- Erwärmung der Gewässer**
- Eintrag von Salzen und Nährstoffen in die Flüsse**
- Mobilisierung von Schwermetallen und radioaktiven Stoffen**
- Eintrag synthetischer Gifte in Atmosphäre, Gewässer und Böden**

10.1 Einfluss des Gesetzgebers

Umweltrecht

Prinzipien:

Vorsorgeprinzip

Verursacherprinzip

Kooperationsprinzip

Instrumente:

Planungsinstrumente

Ordnungsrechtliche Instrumente

Abgabenrechtliche Instrumente

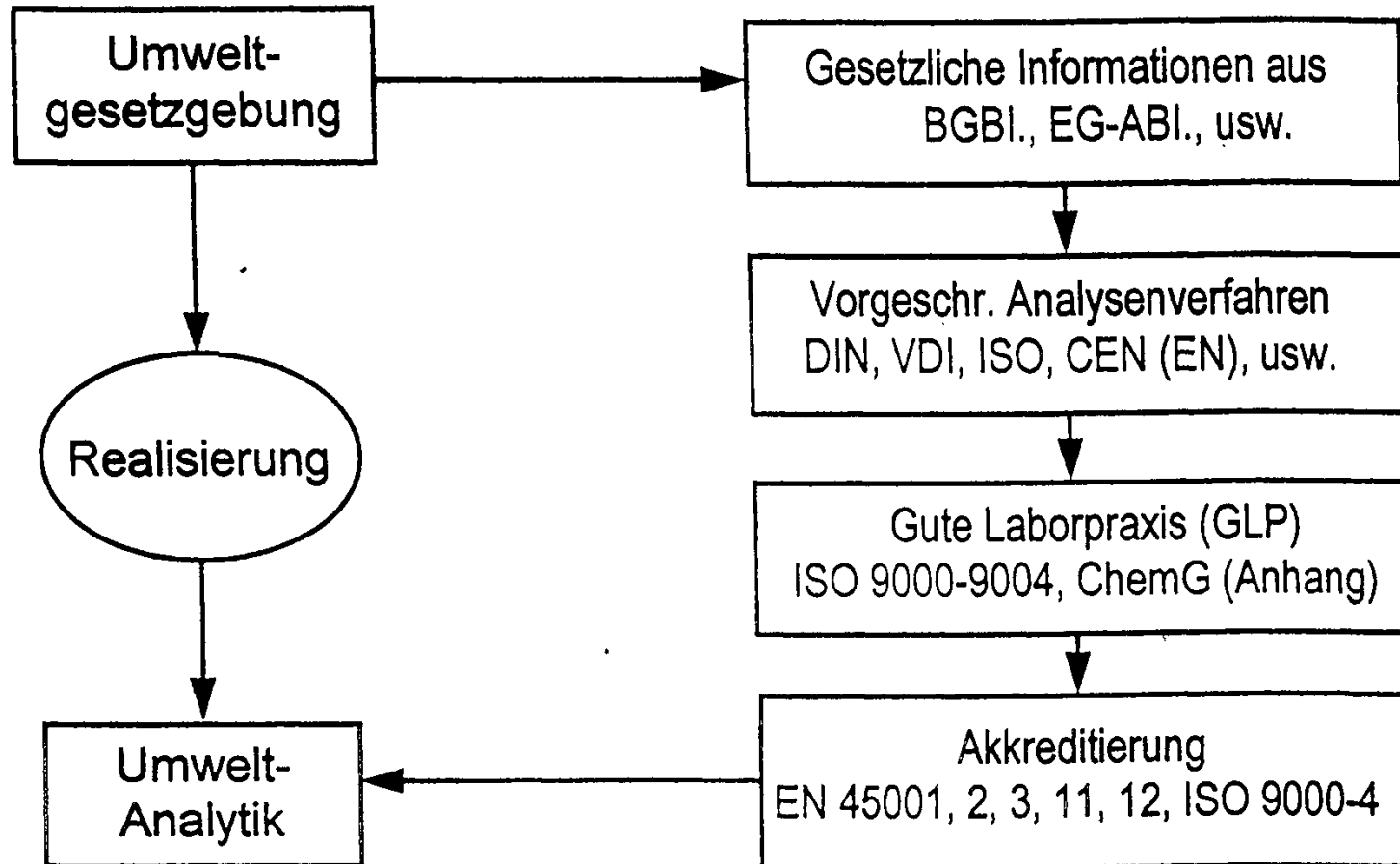
Informelle Instrumente

Umweltverträglichkeitsprüfung

Einfluss des Gesetzgebers und des Gesetzgebungsverfahrens

- * Formulierung von „Umweltzielen“**
- * strenge und verifizierbare nationale Grenzwerte**
- * internationaler Abgleich der Gesetze**
- * konsequente und spürbare Bestrafung bei Nichteinhaltung**
- * realistische Gesetzgebung**
- * Einbeziehung von Interessengruppen in das Gesetzgebungsverfahren ??**

Realisierung der Umweltgesetzgebung



Gesetze, Verordnungen, Richtlinien

Informationen hierzu in:

- **Bundesgesetzblatt (BGBl)**
- **Gemeinsames Ministerialblatt (GMBI)**
- **Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften**
- **Amtsblätter der verschiedenen deutschen Länder**

Umweltgesetze (medienbezogen)

1. Gewässerschutz

Wasserhaushaltsgesetz (WHG), ergänzt durch Abwasserabgabengesetz (AbwAG) und Waschmittelgesetz

2. Luftreinhaltung

**Bundesimmissionsschutzgesetz (BimSchG)
Verwaltungsvorschriften z.B. TA Luft**

3. Abfallvermeidung, -verwertung, -entsorgung

**Abfallgesetz (AbfG), verstärkt durch Kreislaufbewirtschaftungsgesetz
Verwaltungsvorschriften z.B. TA Abfall**

Es ist auch mit den heutigen technischen Hilfsmitteln (modernste Analytik, satellitengestützte Analytik und Bilanzen, EDV...u.a. wertfreie wissenschaftliche Ökobilanzen z.B. für Produktions- oder Energieprozesse aufzustellen, da politischer Lobbyismus dies letztlich verhindert (Wer gibt Geld für welche Studie...!)

Ökobilanzen

Entwicklung – Herstellung – Nutzung – Entsorgung

Fragen:

- Was ist umweltfreundlicher:

Papiertüten oder Kunststoffbeutel?

Einwegflaschen oder Mehrwegflaschen?

schmutziger Joghurt-Becher in Tonne oder gesäuberter?



Bewertungsbilanz!

Warum gibt es Unterschiede in den Umweltstandards zwischen den Staaten (Ökonomie, Lebensstandard, technische und natürliche Bedingungen)?

Klassifizierung von Umweltstandards

1. Raumbezogene Standards

2. Emissionsbezogene Standards

Normen zur Begrenzung der Emission von Schadstoffen in Umweltmedien, sowie zur schadlosen Beseitigung von Abfällen

3. Immissionsbezogene Standards

Normen zum Schutz von Pflanzen, Tieren, Sachgütern; Begrenzung der Schadstoffkonzentration in den Umweltmedien, die mittel oder unmittelbar die vom Menschen aufgenommene Schadstoffmenge bestimmen

4. Produktbezogene Standards

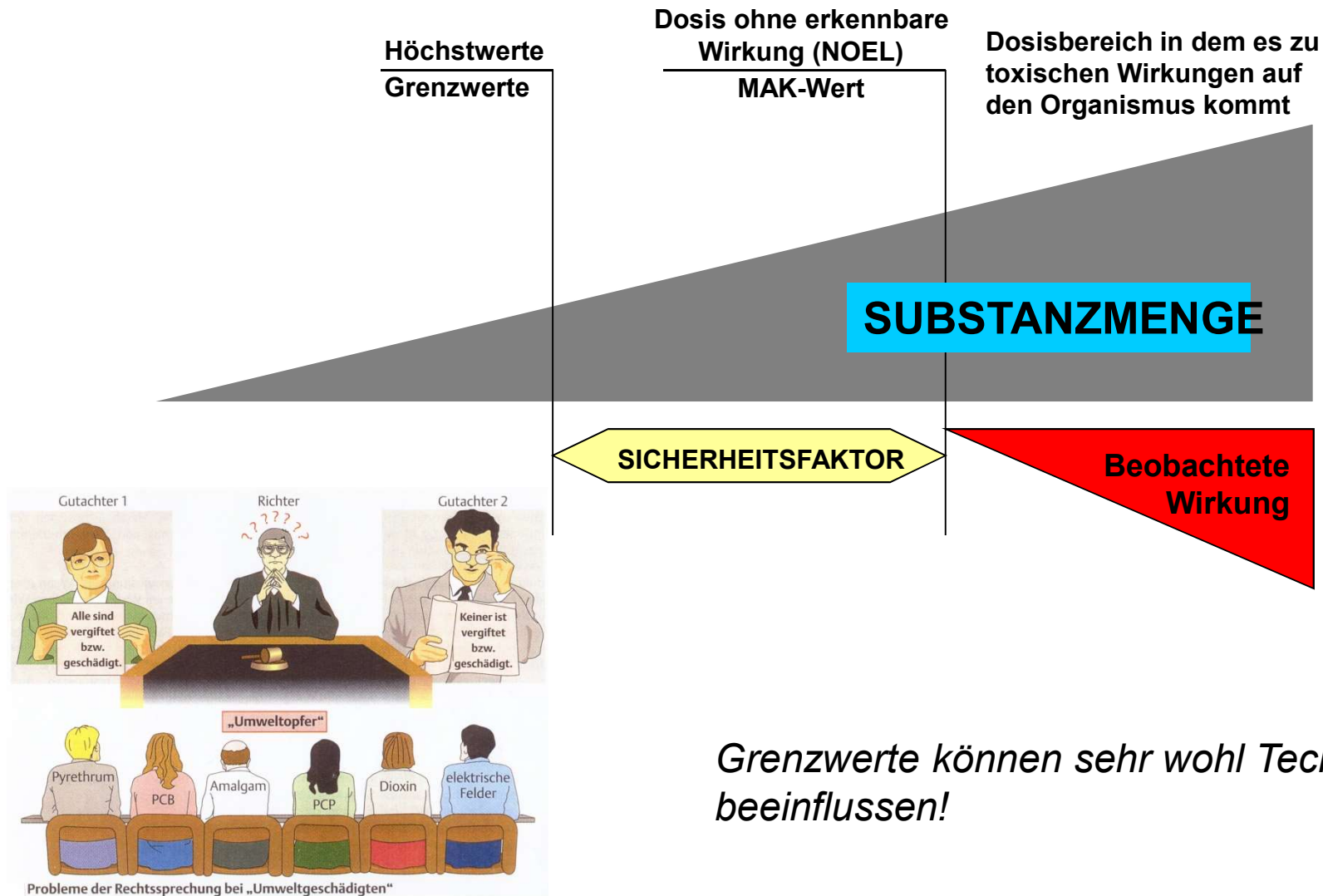
Regelung der Verminderung der Freisetzung von Schadstoffen bei Verwendung bestimmter Produkte und Erzeugnisse und den Umgang mit gefährlichen Stoffen

5. Biologische Standards

Begrenzung der maximal tolerierbaren Schadstoffkonzentration im menschlichen Organismus auf ein medizinisch unbedenkliches Maß

Grenzwert als juristisches Instrument, damit Mindestanforderungen eingehalten werden.

Substanzmenge / beobachtete Wirkung



Grenzwerte können sehr wohl Technologien beeinflussen!

10.2 Wirkung von Umweltschutzzielen auf die Stoffproduktion

*Großtechnische Umweltmaßnahmen bei „Massenprodukten“ bringen entscheidende Verbesserungen
(Rauchgasentschwefelung, PKW-Katalysator, Abwasserreinigung...)*

Maßnahmen zur Senkung der Schadstoffe

(verstärkt seit den 70er Jahren)

- **Rauchgasentschwefelung in Großfeuerungsanlagen**
- **Stopp bzw. Verringerung der FCKW-Produktion**
- **Verstärkte Kontrolle und Dokumentation der Emissionswerte**
- **Dokumentation von Unfällen**
- **Umstellung von Produktionsabläufen**
(neue Technologien, „energiebewusste“ und „abfallbewusste“ Produktion, neue Katalysatoren, Optimierung der Anlage- und Regelungstechnik, Substitution umweltbelastender Hilfsstoffe)

⇒ **produktintegrierter Umweltschutz**

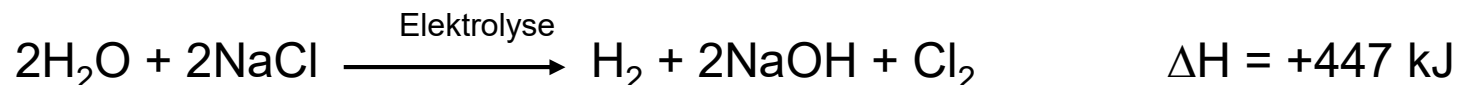
Umstellung von Produktionsabläufen bei Massenprodukten

- Senkung der Schadstoffproduktion muss am Ort der Entstehung ansetzen \Rightarrow Veränderungen in großtechnischen Verfahren unter Umweltgesichtspunkten
 - besonders effektiv bei chemischen Massenprodukten Cl_2 , NaOH , H_2SO_4 , HNO_3 usw.

Chloralkali-Elektrolyse:

- jährliche Chlorproduktion in der Bundesrepublik: 3,4 Mio. t
- Verwendung in allen Zweigen der Chemie
z.B. Wasseraufbereitung, Papier, Teflon, Reinst-Silizium, Silikone, Epoxide, Polyurethane, PVC, Polycarbonate usw.

Chemie des Prozesses



- * Trennung von Hin- und Rückreaktion, Nebenreaktionen)
- * Amalgamverfahren (klassisches Verfahren)
- * Problem: **Hg**, Energiebilanz!

Durch neues Verfahren (Membran-Verfahren), bessere Umweltbilanz erreicht!

Verfahrensvergleich

	Amalgam	Diaphragma	Membran
Gleichstromverbrauch kWh/t Chlor	3300 bis 3600	2800 bis 3000	2500 bis 2700
Gesamtenergiebedarf kWh/t Chlor, im Mittel (50%ige NaOH / O ₂ - freies Chlor)	3700	3700	3000
Solereinigung	relativ einfach	relativ einfach (Natursole möglich)	aufwendig
Laugequalität	50%ige chloridarme Lauge aus der Zelle	aufwendige Laugen- aufarbeitung; Lauge enthält noch ca. 1% Chlorid	ca. 30-35%ige chlorid-arme Lauge aus der Zelle
Verfahrensspezifische Erfordernisse für Ar- beits-/Umweltschutz Betrieb	Verwendung von Quecksilber als Kathodenmaterial Laständerungen möglich	Verwendung von Asbest für die Diaphragmen Laständerungen schädigen das Diaphragma	keine Laständerungen möglich
Chlorqualität	<1% O ₂ in Cl ₂ weitere Reinigung vielfach nicht nötig	2-3% O ₂ , vielfach Nachreinigung durch Kondensieren / Verdampfen	1-3% O ₂ , vielfach Nachreinigung durch Kondensieren / Verdampfen

10.3 Persönlicher Einfluss

*Doppelzüngigkeit bei Nutzung des technischen Fortschritts und Vorspielung des Umweltbewusstseins.
Auf Nichts verzichten wollen, aber der Retter der Umwelt sein.
Nutze zwar Deponien, Brücken und Autobahnen, aber baut diese nicht in meinem Umfeld!*

Technik (Umwelt) und „persönliche Einstellung“

Nach Huber [1.64] findet man die

"traditionellen Fortschritts- Optimisten"

gegenwärtig kaum mehr, allenfalls in Gestalt einzelner Euphoriker und Propagandisten.

"Strukturkonservatismus und Wirtschaftsliberalismus"

ist die wohl am meisten verbreitete Haltung im Wirtschaftsmilieu und in der spätliberal- neokonservativen Politik.

"Techniknachbesserer"

findet man vor allem in Gestalt von Sozialdemokraten und Gewerkschaftern.

"Eingeschränkte Fortschrittsskeptiker"

gibt es vor allem im Umfeld der protestantischen und katholischen Kirche.

"Technik- und Industriekritiker"

schließlich gehören vor allem zum Umfeld der neuen sozialen Bewegungen und der Grünen.