

Geowissenschaftliche Aspekte der Technikentwicklung Verfügbarkeit von Rohstoffen und Umweltprobleme

V/S/Ü Prof. Dr. Walter Franke

Zur Form der Lehrveranstaltung:

Die Themen werden meist vom Dozenten vorgegeben und vorgetragen. Sie können und sollen aber bei Verständnisschwierigkeiten sofort Fragen stellen und müssen gewärtig sein laufend selbst zu Wissensstand und persönlicher Meinung befragt zu werden. - Ziel der Lehrveranstaltung ist also nicht nur Wissensvermittlung, sondern auch die Förderung, bzw. Schulung des sprachlichen Ausdruckvermögens im fachwissenschaftlichen Bereich. Sie können so durch Ihre eigene Beteiligung die Form, den Ablauf und bis zu einem gewissen Grade den Inhalt der Lehrveranstaltung beeinflussen. – Die Skripte ist kein Lehrbuch; sie soll Ihnen die Anfertigung von Notizen während der LV ersparen.

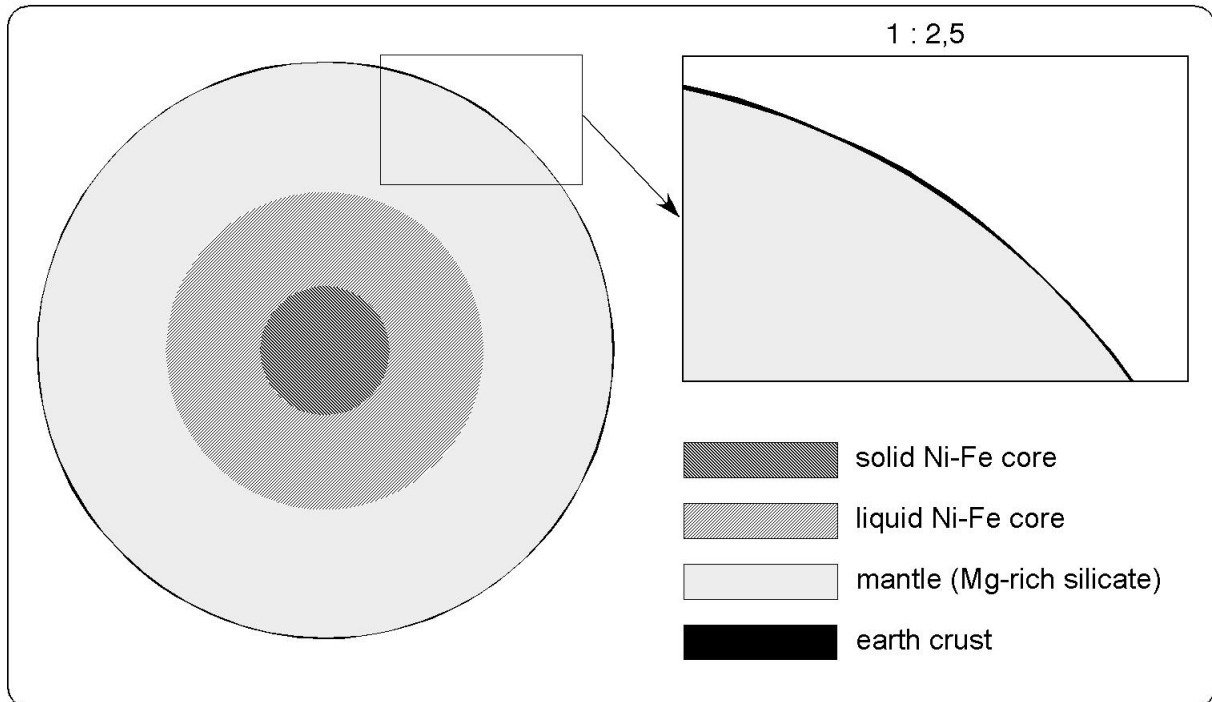
Vorbemerkung: Früher hat man Abfälle der Produktion einfach auf ein freies Stück Land aufgehäuft (Halde), bzw. in ein gerade vorhandenes Loch gekippt (Deponie). Die Erkenntnis ist nicht neu, dass damit oft erhebliche Gefahren für Mensch und Tier, bzw. Pflanzen verbunden sind. Archäologische Ergebnisse und mittelalterliche Gewerbeordnungen lassen darauf schließen. Mit höherer Bevölkerungsdichte, vermehrter und vielfältiger Technikanwendung und verbesserten Kenntnissen in Medizin und Biowissenschaften hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass jeder Prozeß, soweit irgend möglich, so geführt werden sollte, dass auch die Abfälle noch zu etwas Brauchbarem, (Recyclingverfahren) bzw. in einen für den biologischen Kreislauf ungefährlichen Stoff umgesetzt werden.

Überlegungen und technische Umsetzungen hierzu sind durch das ständige Abwägen zwischen wirtschaftlichen Notwendigkeiten (Ökonomie) einerseits und Gesichtspunkten des Umweltschutzes (Ökologie) andererseits gekennzeichnet. Wer bei diesen wirklich wichtigen Angelegenheiten mitdiskutieren will, sollte wenigstens die prinzipiellen Techniken kennen. Hilfreich ist auch ein Einblick in die übrigen massgebenden gesellschaftlichen Faktoren. (Gesetzgebung und wie sie zustande kommt, politische Entscheidungsfindung und Lobbyismus, betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte, die Rohstoffversorgung und Konkurrenzfähigkeit der Unternehmen, Subventionspolitik usw.)

Im Rahmen der LV wird speziell auf Probleme der Rohstoffbeschaffung, des Bergbaus und der Verhüttung von Erzen eingegangen.

Der Aufbau, bzw. die Variation eines Verfahrens ist Aufgabe von Verfahrenstechnikern, zusammen mit anderen Naturwissenschaftlern. Als Geowissenschaftler(in) kommt man im Beruf u.U. in die Lage sich in einem solchen Team wiederzufinden. Diese Lehrveranstaltung soll Ihnen helfen, dabei einen guten Eindruck zu machen und dort schnell und vernünftig mitarbeiten zu können. Bei einer Anstellung in einem kleineren Unternehmen müssen Sie eventuell als einziger naturwissenschaftlich gebildeter Mensch die Entscheidung für erhebliche Investitionen treffen.

The internal structure of the earth



Einführung: Umwelt, Mensch und Technik

Die Erde ist annähernd eine Kugel mit einem Radius von 6.370 km. Die Abbildung zeigt den Aufbau der Erde. Ein fester Erdkern aus einer Fe-Ni-Legierung wird umgeben von einem flüssigen Erdkern ähnlicher Zusammensetzung. Die Temperatur des Kerns liegt bei ca. 5.000°C. Die Hauptmasse der Erde entfällt auf den Erdmantel; die Erdkruste hat nur eine Dicke zwischen 6 – 15 km unter den Ozeanen und 25 – 65 km im Bereich der Kontinentalplatten. Organismen leben nur in der Troposphäre, im Meer und in einer dünnen Schicht an der Oberfläche der Erdkruste; praktisch ist nur eine extrem dünne Schicht von bis zu 20 km Dicke an der Oberfläche der Erde von Organismen besiedelt. Die Umwelt der Menschen ist die Oberfläche der Erde. - Nur etwa 25% der Erdoberfläche sind geeignet für dauerhafte Besiedlung.

Zahlreiche Gefahren: **Geo risks** Auswirkungen der Plattentektonik wie Erdbeben, Vulkanausbrüche, (Lavaströme, Pyroklastische Ströme, Lahare) - Tsunamis; Auswirkungen von Wetterphänomenen wie Stürme, Bergstürze, Landrutschungen, Überschwemmungen, Dürreperioden..

Tiefe Seen mit CO₂-Zutritt am Grund: Gefahr des Aufschäumens bei plötzlicher Vermischung! - Die Zahl der Opfer von Naturkatastrophen pro Jahr schwankt zwischen 20000 und über 100000.

Die Erkenntnisse der Paläontologie und der Molekularbiologie zeigen, dass seit mindestens 2,5 Milliarden Jahren die biologische Evolution stattfindet. (Prokaryoten-Eukaryoten – Mehrzeller- usw.) Diese Evolution ist progressiv, d.h. die Entwicklung führt zu komplexeren und leistungsfähigeren Lebewesen im Lauf der Erdgeschichte. **(Exponentielle Entwicklung)** Die Progression wird nur erkennbar bei Betrachtung genügend langer Zeitabschnitte: Die Länge der Zeitabschnitte, bei den Progression erkennbar wird, verkürzt sich mit fortschreitender biologischer Evolution. - Viele Arten

sind im Laufe der Evolution ausgestorben. (Mindestens 99% der Mehrzeller) – Organismen verändern ihre Umwelt, diese Veränderung kann die eigene Art, aber auch andere Arten begünstigen oder benachteiligen. - Es gibt auch evolutionären Stillstand: Mollusken, Milben, einige Insekten, Nautilus, Haie. – Kurz vor dem Aussterben von Arten, bzw. der Reduzierung auf wenige Gattungen tritt zuweilen Riesenwüchsigkeit auf: Ammoniten, Saurier.-

Die evolutionären Vorgänger des heutigen Menschen (Hominiden) haben seit mindestens 3,5 Millionen Jahren Werkzeuge benutzt; regelmässiger Gebrauch des Feuers ist wahrscheinlich mindestens 1 Million Jahre alt. Das Alter der species homo sapiens ist umstritten, neuere Datierungen lassen auf ca. 200.000 a schliessen.- Wir können davon ausgehen, dass auch schon die frühen Generationen von homo sapiens die gleiche geistige Leistungsfähigkeit hatten wie heutige Generationen.

Die in dieser Zeit erfolgten evolutionären Anpassungen sind offenbar extrem gering. Kennzeichnung des Menschen: Energie sparender aufrechter Gang, Fähigkeit zur Temperaturregulierung durch Schweissabsonderung, kann mehrere Tage ohne Nahrung auskommen, vergrössertes Hirn, Sprache, verlängerte Jugend = verlängerte Lernperiode, prinzipiell lernfähig fast lebenslang. Körperlich ein Lebewesen das alles einigermassen kann: Kurz-, Mittel- und Langstreckenlauf, Weit- und Hochsprung, schwimmen, tauchen, klettern. Bei einem hypothetischen Wettkampf in diesen Disziplinen mit anderen Säugetieren wäre der Mensch nirgends auf den vorderen Plätzen, allerdings wäre homo sapiens fast die einzige species, die in allen Disziplinen antreten kann und wenigstens Plätze im unteren Mittelfeld erzielt.- Positive Ausnahme: Extremer Langstreckenlauf! – Auch bei den Sinneswahrnehmungen Sehen, Hören, Riechen nur durchschnittliche Leistungen.

Als „Technik“ ist zu verstehen was der Mensch nutzt, um seine Lebensumstände zu verbessern; frühe und wichtige Techniken sind Werkzeuge, Waffen, Fallen, Bekleidung, Bau von Unterkünften, Zähmung und Züchtung von Tieren, Anbau und Zuchtwahl von Pflanzen (Ackerbau), Keramik, Gewinnung von Metallen (Blei, Cu, Bronze, Eisen), Boots- u. Schiffsbau. – Als Energiequelle diente lange Zeit nur menschliche und tierische Arbeit, später Wind- und Wasser-Mühlen (Etwa seit 7ten Jahrhundert), Dampfmaschine Ende 18tes Jahrhundert, seit dieser Zeit Kohleabbau in grösserem Umfang, Erdöl seit etwa Mitte des 19ten Jahrhunderts, Erdgas erst seit etwa 80 Jahren.

Alle Technikentwicklungen bis ins Mittelalter erfolgten nach der Methode: Genaue Naturbeobachtung – Nachdenken – Herumprobieren (trial and error).- Entwicklung einer modernen Naturwissenschaft erst seit etwa 400 Jahren.

Die technischen Entwicklungen des homo sapiens entsprechen einer Fortsetzung der Evolution mit anderen Mitteln

Technikentwicklung ist viel schneller als evolutionäre Anpassung, aber sie erfordert die Informationsübertragung von Generation zu Generation.

Es besteht die Gefahr eines Traditionsabbruchs!

Beispiele:

Gusseisen in China lange vor der Neuerfindung in England. Geriet in Vergessenheit aus strittigen Gründen (Bürokratie?)

Die perfekte *Bearbeitung von Flint* geriet in Vergessenheit in der Bronzezeit und wurde neu „entdeckt“ durch Archäologen..

Hydronalium ist eine Legierung aus viel Mg +t wenig Al mit geringer Dichte. Wurde in Deutschland entwickelt für den Flugzeugbau, verboten dort nach 1945. Bearbeitung auf der Drehbank nur möglich mit spezieller Bohremulsion, sonst Selbstentzündung. 1990 benutzt von Schweizer Firma für den Bau von Satelliten. Das Rezept für die passende Bohremulsion fand man erst nach längerer Recherche beim Feinmechanikermeister der Mineralogie der FU Berlin.

Nach statistischen Erhebungen waren Mitte der 90er Jahre etwa 20% der Forschungsausgaben der Chemischen Industrie in den USA und in Deutschland eigentlich überflüssig, da man versäumt hatte eine genügend genaue Literaturrecherche durchzuführen.

Technikentwicklung führt zu exponentiellen Entwicklungen: Beispiele sind die Transportgeschwindigkeit, Rechenkapazität, Zahl der Publikationen, Bevölkerung.

Formale Analogien zwischen biologischer Evolution und technischer Entwicklung.↓

Biologische Evolution ist progressiv - Entwicklung führt zu komplexeren und leistungsfähigeren Organismen.

Progressivität wird nur erkennbar bei Betrachtung genügend langer Zeitabschnitte

Die Länge der Zeitabschnitte, bei denen Progression erkennbar wird, wird kürzer bei fortschreitender Evolution

Evolutionärer Stillstand bei einigen Arten

Organismen verändern ihre Umwelt, sie schaffen so Bedingungen, die ihre eigene Art oder andere Arten begünstigen oder benachteiligen.

Viele Organismen sind ausgestorben

Kurz vor dem Aussterben von Arten, bzw. der Reduzierung auf wenige species tritt zuweilen Gigantismus auf.

Vernetzte Systeme - Nahrungsketten
Symbiose

Technikentwicklung ist progressiv – Neuere Techniken sind komplexer und leistungsfähiger.

Progressivität wird nur erkennbar bei Betrachtung hinreichend langer Zeiten.

Die Länge der Zeitabschnitte, bei denen Progression erkennbar wird, wird kürzer bei fortschreitender Technikentwicklung

Unveränderte Techniken: flechten, weben, spinnen, angeln.

- Verdrängung alter Techniken
- Veränderung der ökologischen, wirtschaftlichen und damit der politischen Bedingungen

Feuersteinbearbeitung, Eisen nach dem Rennfeuerverfahren

Zeppelin, Dampfmaschine, mechanische Musikautomaten, Raddampfer, Flugboote

Ölquelle bis Tankstelle, bzw. Kraftwerk
Maschine = Kombination von Mechanik + Elektronik usw.

*Progression = exponentielle
Entwicklung*

Überblick zum Inhalt der Lehrveranstaltung

Besprochen werden sollen nacheinander Zerkleinerungs-, Sortier- und Trenn-Prozesse, also die Grundlagen der Verfahrenstechnik (process engineering). Es folgt ein kurzer Überblick über historische Verfahren samt moderner Varianten: Gewinnung von Kupfer, Bronze, Zinn, Eisen, Gold. Als Beispiel eines chemischen Prozesses und seiner Beeinflussung durch Politik, Technikstand usw. bis heute wird die Geschichte der Sodaherstellung behandelt.

Der Zusammenhang zwischen Ökonomie, Ökologie, Verfahrenstechnik und Gesellschaft wird diskutiert.

Verfügbarkeit von Rohstoffen :Mineralische Rohstoffe sind endlich!

Schließlich sollen spezielle **Umweltprobleme** besprochen werden. Stichworte: Abwasserbehandlung, Klimaänderung, Müllnotstand, Tieflagerung, u.a.

Achten Sie bitte im Verlauf des Seminars auf zwei Gesichtspunkte, die Ihnen zuerst möglicherweise selbstverständlich erscheinen mögen:

1. Eine Technik muss möglich sein.

Beispiele: Die Gasturbine wurde vor dem Verbrennungsmotor "erfunden", ca. Mitte des 19. Jahrhunderts. Die technische Ausführung scheiterte, da damals keine geeigneten Werkstoffe zur Verfügung standen.-

Die Technologie der Herstellung von Gusseisen kannten vor etwa 2000 Jahren schon die Chinesen; die Technik geriet in Vergessenheit, wahrscheinlich scheiterte sie am Mangel billiger mechanischer Energie zum Betrieb der Gebläse. Das Gusseisen wurde im 18. Jahrhundert in England neu und unabhängig erfunden, als in Form der Dampfmaschine billig genügend mechanische Energie zur Verfügung stand.

- Fallschirm und Hubschrauber wurden bereits von Leonardo da Vinci konzipiert. -

Die Theorie der Holographie wurde von Dennis Gabor 1948 entwickelt, technisch möglich wurde sie erst in den 60er Jahren durch den Laser.

2. Ein technischer Prozeß muß entweder wirtschaftlich lohnend sein oder aus gesellschaftlichen Gründen gewünscht werden. – Zuweilen ist es schwer zu entscheiden, welcher der beiden genannten Gründe wesentlich für die Realisierung eines technischen Projekts ist, insbesondere bei Staatsaufträgen z.B. Rüstung. - Man kann eine Technik nicht isoliert vom gesellschaftlichen Umfeld betrachten. – Beide Forderungen können sich auch widersprechen; dies ist häufig der Fall bei umweltbelastenden Produktionstechniken, speziell in Entwicklungsländern.

Beispiele: Ägyptische Pyramiden, SDI (strategic defense initiative), Braunkohlentagebau in der DDR, bemannte Raumfahrt, Transrapid.

Zerkleinerung (Mahlung) (comminution)

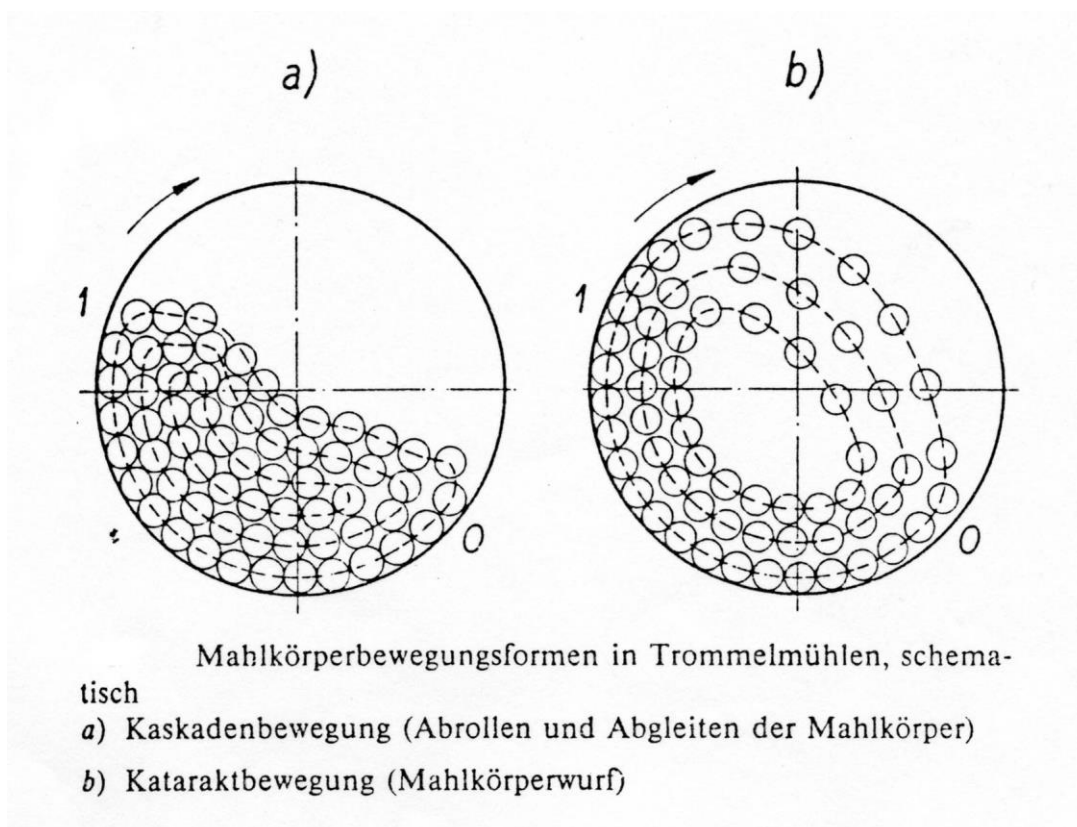
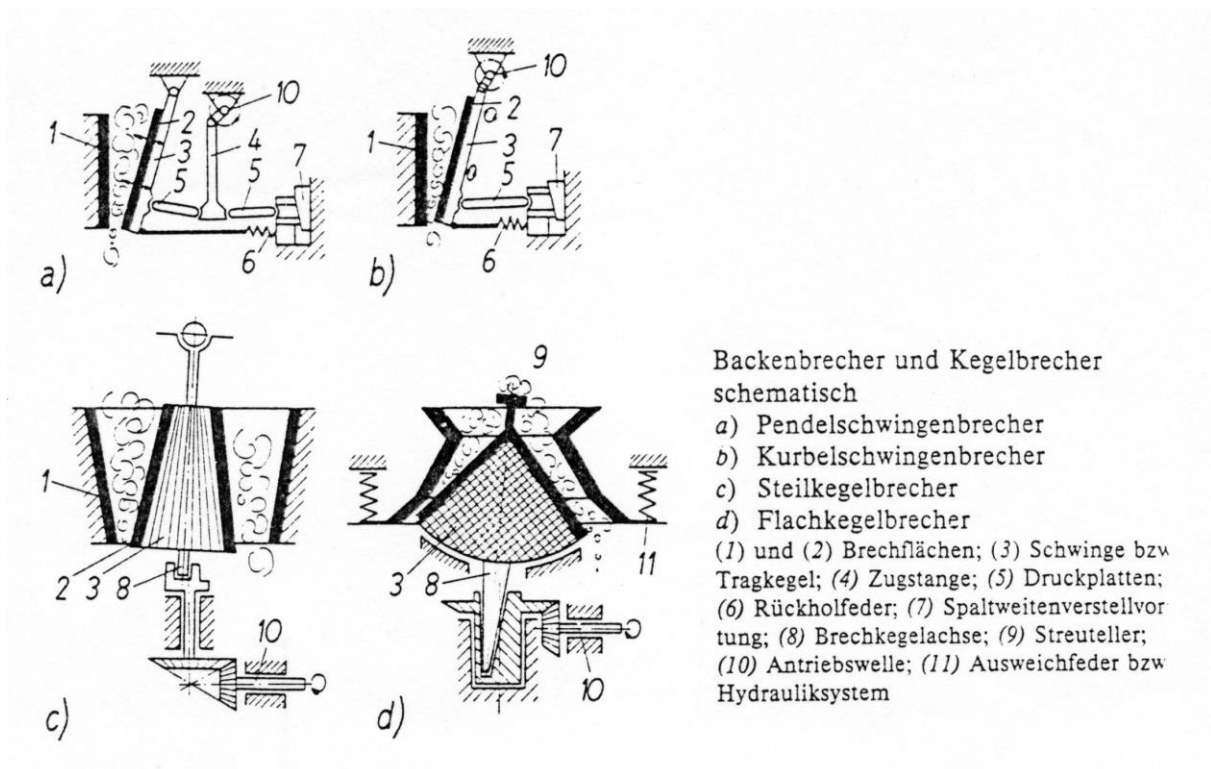
Bei fast allen technischen Prozessen müssen, sofern feste Stoffe beteiligt sind, Zerkleinerungsvorgänge eingeschaltet werden.

<u>Methode</u>	<u>Prinzip</u>	<u>Geräte</u>
Druck:	starke Kräfte ohne Beschleunigung	Backenbrecher Kegelbrecher
Reibung:	Scherende Beanspruchung	Scheibenmühle Schwingmühle
Schlag:	Wirkung durch Schwerkraft (Fall)	Kugelmühle Stabmühle
Prall:	Beschleunigung ohne Mitwirkung der Schwerkraft	Prallmühle Stiftmühle Strahlmühle

Durch Druck, Scherung oder Schlag werden Minerale vorzugsweise entsprechend ihrer Spaltbarkeit ohne Rücksicht auf Korngrenzen zerkleinert. Das Mahlgut enthält daher oft Kornverwachsungen. - Bei Prallzerkleinerung werden Korngrenzen bevorzugt. Falls das Mahlgut durch physikalische Methoden anschliessend entsprechend dem Mineralbestand getrennt werden soll, ist also eine Prallzerkleinerung vorteilhafter. – Historische Mahtechniken kombinieren meist Druck+Reibung (Mörser/Getreidemahlung usw.)

Bei Feinmahlung müssen mit abnehmender Korngröße zunehmend die Gitterkräfte der Minerale aufgebrochen werden. Darum nimmt mit abnehmender Korngröße die notwendige Energie stark zu. Die praktische Grenze der Feinmahlbarkeit ist abhängig von der Mahlmethode und der Substanz. Sie liegt in der Regel bei 0.5 bis 2 μm .

Bei Mahlung in Luft erfolgt oft eine Wiederverbackung durch Adhäsion; durch Mahlen in Wasser oder anderen Flüssigkeiten werden die Adhäsionskräfte der neu geschaffenen Oberfläche durch die Flüssigkeit abgesättigt, bzw. zurückgedrängt. Sehr feine Pulver haben eine grosse Oberfläche pro Masse. Sie reagieren bei chemischen Umsetzungen leichter. Bei manchen Stoffen kann bei intensiver Mahlung das Kristallgitter beeinflusst werden. Es können Hochdruckphasen auftreten (z.B. bei Calcitmahlung kann Aragonit entstehen). Örtlich können Spitzendrucke bis ca. 2 kbar auftreten. Es kann auch das Gitter stark gestört werden, die Substanz wird im Extremfall röntgenamorph.



Meist wird für einen technischen Prozess eine bestimmte Korngröße benötigt. **Es ist praktisch unmöglich ein Mahlgut zu erhalten, in welchem nur eine Korngröße vorliegt!!**

Meist wird verlangt: kleiner als ... μm , bzw. von ... bis ... mm.

Dies wird durch **Sortiervorgänge** erreicht: Siebung, Schlämmung, Windsichten, Zentrifugieren oder Hydrozyklonanwendung.

Immer ist das Grobkorn durch Feinstkorn kontaminiert. Durch Nasssiebung oder andere Nassprozeße wird eine bessere Trennung erreicht.

Jeder technische Prozeß kann als **Trennvorgang** aufgefaßt werden :

1) Physikalische Trennung

Gemische von verschiedenen festen Phasen (z.B. Minerale) werden mit dem Ziel verarbeitet eine oder mehrere feste Phasen rein , bzw. so rein wie möglich oder nötig zu erhalten. (Schweretrennung , Magnettrennung, Flotation, → durch elektrostatische Aufladung u.a.)

Trennungen können auch fest/flüssig erfolgen: Filtrieren, Zentrifugaltrennung, Flotation, Extraktion u.a. Sortiervorgänge.

Trennungen fest/gasförmig: → Entstaubungstechniken

Flüssig/flüssig → Destillation

2) Chemische Trennung

Hierbei werden aus dem Stoffgemisch ein oder mehrere Stoffe abgeschieden, die wirtschaftlich interessant sind.

Meist, aber nicht immer, wird der gesamte Rohstoff in eine flüssige Phase übergeführt (Lösung oder Schmelze), anschließend wird in einem oder mehreren Schritten das interessierende Element, bzw. der Stoff abgetrennt.

Dabei wird in der Regel ein **Phasenübergang** benutzt:

Fällung (flüssig/fest) - Extraktion (flüssig/flüssig) - Ionenaustausch (flüssig/fest)

Kristallisation (flüssig/fest) - Destillation+Kondensation (flüssig/gas/flüssig)

Sublimation (fest/gas) - Lösung (fest/flüssig, bzw. gas/flüssig)

Bei Trennungen ist ein wichtiges Prinzip zu beachten:

Es ist fast stets möglich ein Stoffgemisch, z.B. A+B wirtschaftlich so zu trennen, dass hochreines A erhalten wird; dafür fällt der Stoff B verunreinigt mit etwas A an. Eine quantitative Trennung ist oft möglich, sie ist dann aber meist unverhältnismässig teuer. Einige Trennverfahren liefern prinzipiell keine quantitativen Ergebnisse.

Dieses sehr theoretisch klingende Prinzip hat zuweilen große wirtschaftliche Bedeutung:

-Verbesserungen bei Aufbereitungsverfahren können dazu führen, dass die Abfälle älterer Produktionsverfahren plötzlich wertvolle Rohstoffe sind! (Cu-Erze - Tsumeb)

- Heap leaching: Durch Bakterien werden Feinstanteile von Erzen in lösliche Verbindungen überführt, intensiv angewendet seit etwa 20 Jahren.

Zu unterscheiden ist, auch nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten, zwischen Verfahren bei niedrigen Temperaturen (bis etwa 200°C) und Hochtemperaturverfahren, bei denen Schmelzen auftreten.

Beispiele : **Niedrige Temperatur (Wässrige Lösungen bis 80 bar)**

Auflösung, Selektive Auflösung, Selektive Ausfällung,
Flüssig - Flüssig - Extraktion, Destillation, Oxydation,
Reduktion, Ionenaustausch, biologische Verfahren

Hohe Temperatur

Schmelzen, Sintern, Festkörperreaktionen, Rösten, (Oxydation),
Schmelzen mit Kohle (als Reduktionsvorgang), Bildung von nicht
mischbaren Schmelzen.

Rationalisierungseffekte sind in den letzten 70 Jahren vielfach durch den Ersatz von Hochtemperaturverfahren durch Niedrigtemperaturverfahren erzielt worden! – Am effektivsten in Bezug auf Energieverbrauch sind biologische Verfahren, sie sind aber oft zu langsam. - Praktisch setzen sich alle technischen Prozesse aus mehreren Schritten zusammen.

Manchmal fallen in technischen Prozessen feine Pulver an, die so nicht weiterverarbeitet werden können. In solchen Fällen ist nicht eine Zerkleinerung, sondern eine Erhöhung der Korngröße gefragt. Ausweg ist die **Pelletisierung**, bzw. **Brikettierung**. (Beispiele: Btaunkohlen-Briketts – Pelletisierung von Magnetitpulvern zum Einsatz im Hochofen)

Sortierprozesse

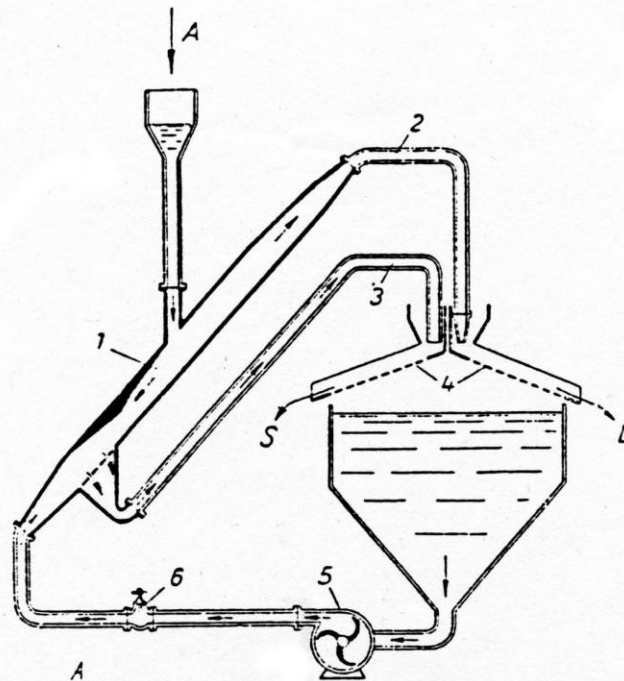
Siebung

Durch Siebe lassen sich Korngemenge in Größenfraktionen aufspalten. Die Untergrenze liegt im technischen Bereich bei etwa 100 µm.

Flotation (Schaumschwimmaufbereitung) (froth flotation)

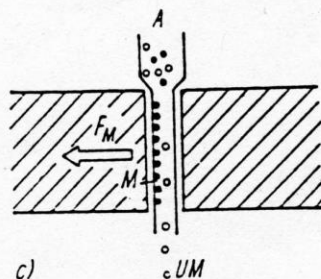
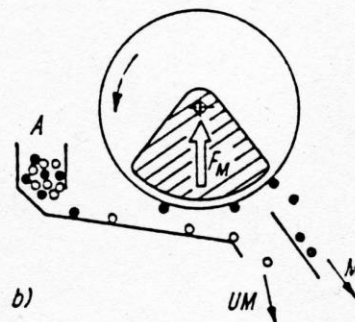
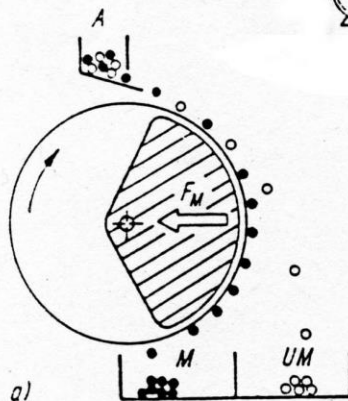
Bei der Flotation werden die Körner einer bestimmten Mineralsorte, unabhängig von ihrer Dichte, in einer wässrigen Suspension ("Trübe") zum Aufschwimmen gebracht. Dies geschieht dadurch, dass nur sie allein durch spezifische oberflächenaktive Stoffe, die sogenannten "Sammler" hydrophobiert, also wasserabweisend gemacht werden. Dadurch heften sie sich an Luftblasen, die von unten in die Trübe eingeblasen werden. Der entstehende kurzlebige Schaum wird abgeschöpft. *Sammler* sind langkettige Kohlenwasserstoffe, die an einem Ende eine anionische oder kationische Gruppe tragen. - **Eine Flotierung ist nie quantitativ!!!** - Flotierbar ist der Korngrenzenbereich 360 bis 20 µm, optimal der Bereich 125 bis 63 µm, Feinstanteile stören.

Logische Folge: Bei der Erzaufbereitung fallen stets Reste an, das sogenannte Ausbringen (yield) ist stets kleiner als 100% !



Sortierapparat *Lavodune*

- (1) Trennrohr; (2) Leichtgutaustrag;
 (3) Schwergutaustrag; (4) Regelventile;
 (5) Überlaufwehr; (6) Bergebecherwerk
 A Aufgabe; L Leichtgut; S Schwergut



Wirkprinzipien für Trennungen in magnetischen Feldern

- a) Ablensortierung (Trommelmagnetscheider mit oberer Aufgabe)
 b) Aushebesortierung (Trommelmagnetscheider mit unterer Aufgabe)
 c) Rückhaltesortierung (Plattenmagnetscheider)

A Aufgabe; M magnetisches Produkt; UM unmagnetisches Produkt

Die Flotierbarkeit ist eine Eigenschaft der Kristalloberfläche. Deshalb verhalten sich frisch erzeugte Oberflächen (Mahlung) eventuell ganz anders, als angewitterte Oberflächen. Einen grossen Einfluß haben zugesetzte Salze, bzw. organische Verbindungen und der pH - Wert.

Ein sehr spezieller Fall wird bei der Diamanttrennung aus Schwermineralkonzentraten eingesetzt. Diamant ist sehr hydrophob, haftet aber an Fetten. Die Schwerminerale werden im Wasserstrom über eine Walze mit Schmalzaufgabe gegeben, im wesentlichen haften nur die Diamanten daran. (Gewinnung durch Abschälen und Schmelzen des Schmalzes).

Trennung unter Ausnutzung der Dichte

Im Labor werden seit etwa 130 Jahren sog. Schwereflüssigkeiten mit einer Dichte zwischen etwa 2,89 und 4,1 benutzt. Alle klassischen Schwereflüssigkeiten sind extrem giftig und ausserdem teuer. (Preise pro Liter: € 160 bis über 1000!) Deshalb wird diese Technik nur im Labor angewendet. Neuerdings gibt es für die Dichte 2,98 eine ungiftige Flüssigkeit, eine gesättigte Lösung von Natriumpolywolframat (Literpreis ca. 500,- €). Zur Trennung höherer Dichten muss immer noch mit Clerici-Lösung gearbeitet werden. Das ist eine gesättigte äquimolare Lösung von Thallium-malonat und Thallium-formiat, also extrem giftig und teuer. (Dichte = 4,1)

Großtechnisch wird Schwimmsinktrennung nur mit gesättigten NaCl-Lösungen (für Plastiktrennung, Trennung von Bernstein von Braunkohle), bzw. mit Schwerertrüben auf Basis von Ferrochrom, bzw. Ferrosilizium oder Magnetit plus Wasser (z. B. Kohlewäsche) durchgeführt.

Technisch wichtiger sind Verfahren, bei denen wässrige Suspensionen sortiert werden: Ausschlammverfahren, Goldwäscherschüssel, sowie Schwing-, Schüttel- und **Stoßherde**. Prinzip des letztgenannten Verfahrens: Wasser bewegt sich in laminarer Strömung über eine rechteckige, zu einer Ecke hin flach geneigte, ebene Unterlage, dann ist die Geschwindigkeit unmittelbar auf der Ebene Null, die höchste Geschwindigkeit hat die Schicht an der Grenze zur Luft. Mineralkörner mit engbegrenzter Korngröße, die sich mit dem Wasserfilm bewegen, neigen dazu, sich nach ihrer Dichte zu sortieren.

Die schweren Minerale verharren mehr im Bereich der niedrigen Geschwindigkeit, während die leichteren Körner in den Bereich höherer Geschwindigkeit kommen und schneller wandern. Zur Beschleunigung wird die schiefe Ebene in Querrichtung periodisch angestoßen. Die Abwärtskomponente der Bewegung wird so von einer Querkomponente überlagert. - Es wird ständig Suspension zugeführt, die Minerale trennen sich fächerförmig auf und können am Rand getrennt aufgefangen werden. Die Auftrennung ist nicht quantitativ möglich!

Hydrophobe Minerale, wie Graphit oder MoS₂, wandern an der Grenzfläche zur Luft, also unabhängig von der Dichte.

Eine Trennung ist nur im Korngrößenbereich zwischen 1 und 0,1 mm möglich. Die Korngrößenvariation sollte möglichst gering sein. Der Erfolg hängt von vielen Geräteparametern ab.

Man kann nach folgender Formel abschätzen, ob eine Trennung sinnvoll ist:

$$K = \frac{\text{Dichte (Schwermineral)} - 1}{\text{Dichte (Leichtmineral)} - 1}$$

Bei K grösser 2,5 ist die Trennung gut möglich, bei K=1,25 und kleiner hat es keinen Zweck es zu versuchen. Bei K - Werten dazwischen hängt der Erfolg stark von der Korngröße und Kornform ab.

Literatur: "Gesteinsaufbereitung im Labor" Paul Ney, Ferdinand Enke Verlag
Stuttgart 1986
Schubert "Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe" (in 3 Bänden)
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1984

Die Trennung mit dem **Hydrozyklon** ist ein Trennverfahren, bei dem sowohl die Dichte, als auch Korngrösse und Kornform für die Sortierung von Bedeutung ist.

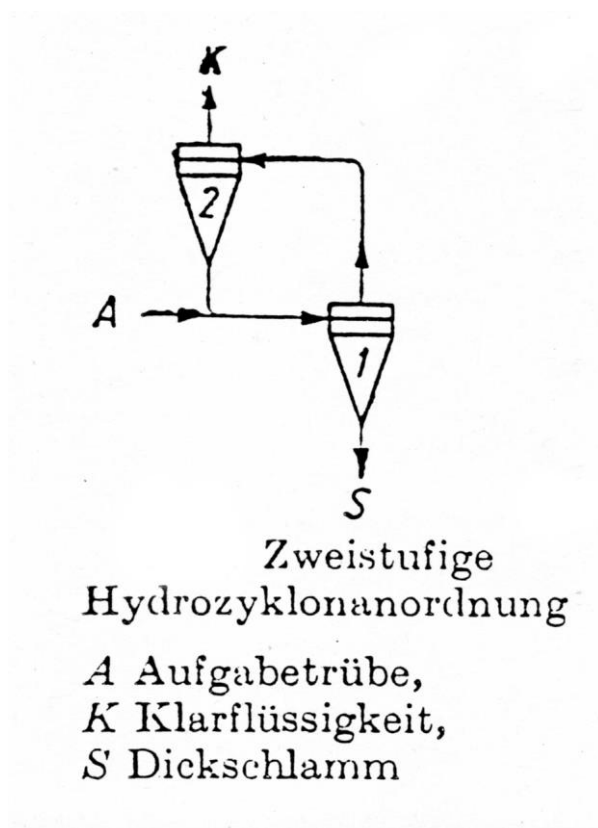
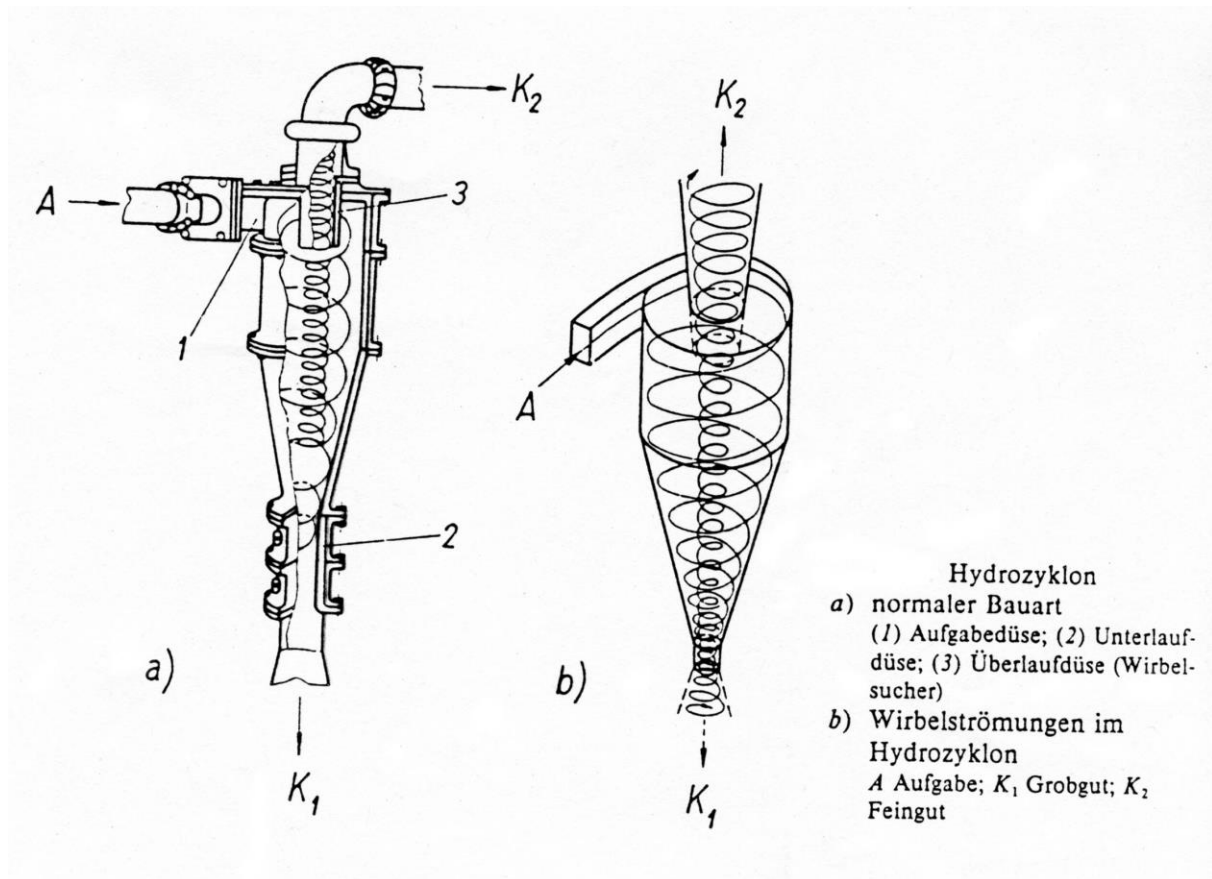
Die Suspension (Trübe aus Wasser + Korn kleiner 2 mm) wird mit turbulenter Strömung tangential in ein Rohr eingeführt, das sich nach unten verjüngt. In das oben geschlossene Rohr ragt von oben ein offenes Rohr mit geringerem Durchmesser ein. Es bildet sich ein Wirbel aus, die groben, bzw. schweren Partikel werden unten ausgetragen, die feinen, bzw. leichteren Teile oben. Es werden meist mehrere Hydrozyklone in Kaskade geschaltet. - Das Verfahren arbeitet preiswert und kontinuierlich, z.B. bei der Trennung von Sand und Tonmineralen. - Prinzipiell ähnlich, aber diskontinuierlich, funktioniert die Humphryspirale. Sie wird angewendet bei der Trennung von Schwermineralen (z.B. Zinnstein) von Gangart.

Noch heute benutzt wird die Goldwäscherpfanne bei der Gewinnung von Gold, bzw. Edelsteinen aus Seifen. Anwendung auch bei der Prospektion auf Zinnstein und andere Seifenminerale. "Automatische" Verfahren sind Trennrinnen mit Leisten, Teppichen. Historisches Verfahren: "Goldenes Vlies" (Schafsfell in Bachbett gelegt fängt Goldfitter ein. Durch Verbrennen des Fells wurde schließlich das Gold gewonnen).

Die **Handsartierung** ist zweifellos das älteste Verfahren. Im Erzbergbau wurde es auch "klauben" genannt, engl. "handpicking". Es wird heute nur noch angewendet, wenn entweder die Löhne sehr niedrig sind, bzw. das zu trennende Gut sehr teuer ist. Ein "modernes" Beispiel war die Handsortierung des Inhalts der Gelben Tonne im Dualen System bis etwa 2004. - Wirtschaftliche Beispiele: Diamanten, Edelsteine, aber auch pegmatitischer Orthoklas für die Porzellanindustrie. - Kann heute zuweilen automatisiert werden, z.B. Trennung von Glas nach Farben. - Im Labor lohnt es bei feinkörnigen Präparaten, wenn man nur wenige Körner zur Identifizierung braucht, z.B. zur Lichtbrechungsbestimmung oder für ein Röntgen-diffraktogramm. Das Verfahren muss oft angewendet werden, um genügend reines Material für eine radioaktive Altersbestimmung zu erhalten. (Zirkone)

Windsichten trennt nach Korngrösse, bzw. Kornform annähernd unabhängig von der Dichte. Beispiele : Trennung von Spreu von Weizen, Abtrennung von Lepidolith von Gangart in Entwicklungsländern.

(Sedimentationsanalyse: Trennung nach Sinkgeschwindigkeit (Stokes'sches Gesetz) zur Trennung von Korngrößenfraktionen, Trennung von sand, silt und Ton, kann durch **Zentrifugieren beschleunigt werden.**)



Magnetscheidung

Theoretische Grundlagen siehe Lehrbücher der Physik, bzw. Ney: "Gesteinsaufbereitung im Labor"

Diamagnetische Stoffe erfahren in einem inhomogenen Magnetfeld eine Querkraft senkrecht zu den Feldlinien, und zwar so, dass sie aus dem Bereich hoher Magnetfelddichte herausgedrängt werden. Bei paramagnetischen Stoffen ist es umgekehrt, sie unterliegen einer Querkraft in Richtung höherer Magnetfelddichte. Ferromagnetische Stoffe sind selbst Magnete. In technischen Prozessen können sehr einfach ferromagnetische Stoffe, wie Eisen oder Magnetit, von allen anderen getrennt werden. Es ist aber auch möglich para- von diamagnetischen Materialien zu trennen, bzw. diese beiden Fraktionen in sich nach dem Grad des Dia- bzw. Paramagnetismus (Suszeptibilität) aufzutrennen. Magnetscheidungen sind energetisch günstig und meist kontinuierlich durchführbar.

Magnettrennung ist ein wichtiger Bestandteil bei der Gewinnung von Mineralfraktionen aus Gesteinen in der geologischen Forschung - Voraussetzung ist eine enge Kornfraktion und die Vermeidung von Verunreinigungen durch anhaftendes Feinkorn (Naßsieben, Schlämmen).

Regeln zur Verfahrenstechnik Ökonomisch sinnvoll sind:

Gleichmäßige Zusammensetzung des "Rohstoffs"

Möglichst geringer Bedarf an Energie

**Hoher Durchsatz pro Zeit - Große Anlage
Voraussichtlich gleichmäßiger Betrieb für 10 bis 25 a**

Zu beachten: Sind mehr als eine kondensierte Phase beteiligt, so ist die Anlage meist nur für den vorgesehenen Zweck und Durchsatz wirtschaftlich zu betreiben.

Dagegen sind chemische Prozesse in homogener Lösung nur von P, T und chem. Zusammensetzung abhängig. Hier tritt das Problem des „Dual Use“ auf. – Beispiel: In pharmazeutischen Anlagen kann man je nach Beschickung und Temperaturführung Medikamente, Herbizide oder Kampfstoffe herstellen!

Prinzipielle Methoden der Abfallbehandlung

Vermeiden (Prozess ändern oder Verzicht)

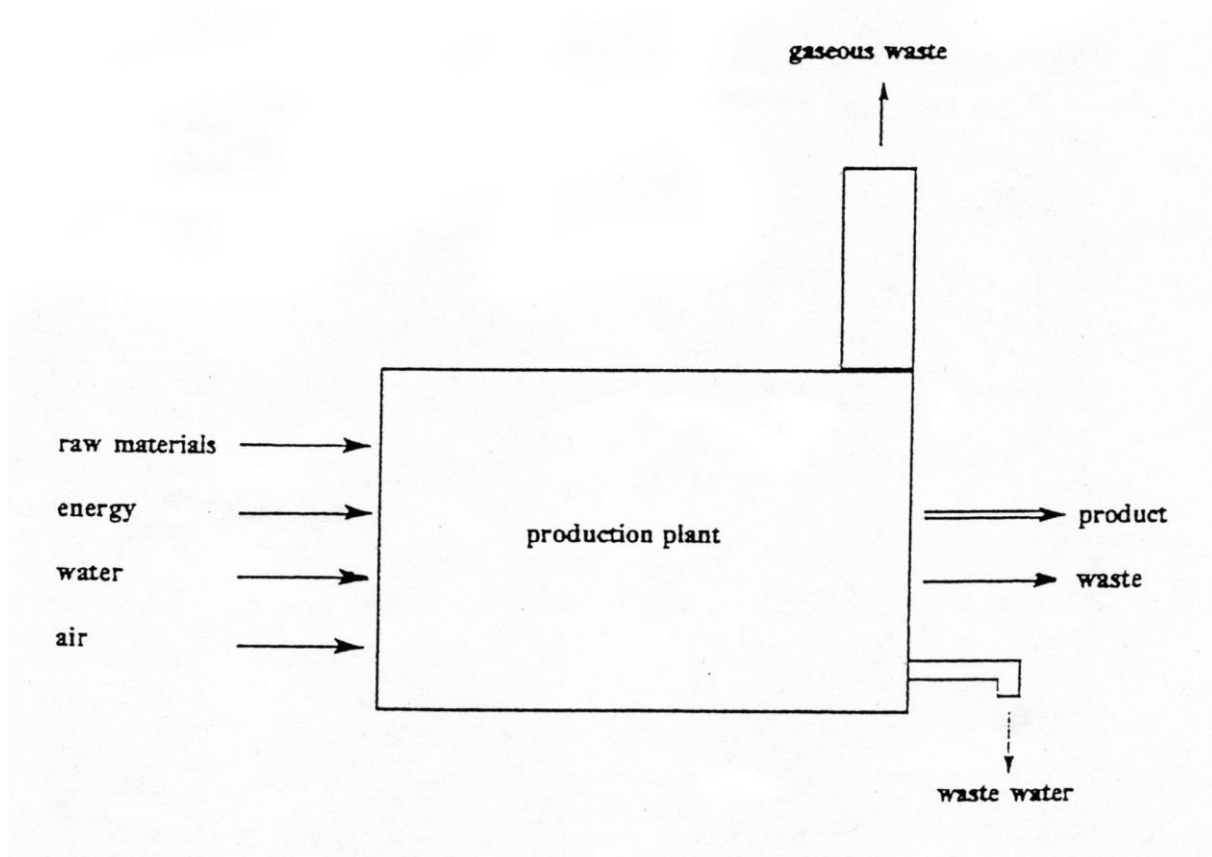
Verwerten (Abfall ist Rohstoff in einem anderen Prozess)

Recycling (Abfall ist Rohstoff für gleiches oder ähnliches Produkt)

Verdünnen + Verteilen (Schornsteinmethode)

Konzentrieren + Verpacken (Deponie)

Die Methoden 4 und 5 sind sogenannte "end of the pipe"-Verfahren. Im Zweifelsfall sind Verfahren nach 1 bis 3 vorzuziehen. – Zuweilen ist schwer zu unterscheiden zwischen Verwertung und Recycling. Vorrang hat, wenn möglich, die Vermeidung!



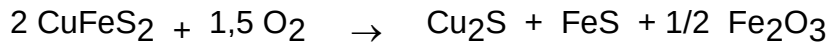
Das **Fließbild** gibt, sehr vereinfacht, die Stoffströme einer Produktionsanlage wieder. Zur ökonomischen Bewertung müssen die entsprechenden Kosten, bzw. Gewinne berücksichtigt werden. Selbstverständlich sind dabei auch zu berücksichtigen Löhne, Gehälter, Steuern und Abgaben, Wartungs- und Reparaturkosten, Zinsen und Tilgungen, Kosten für Schulung, Werbung usw. bis hin zu Bestechungsgeldern (Die waren bis Ende 1999 in Deutschland steuerlich absetzbar!).

In der Bilanz sind entsprechend den gesetzlichen Vorschriften auch Rückstellungen, Verlustnachträge, Abschreibungen von Investitionen, Immobilien usw. zu berücksichtigen. (Die Bilanz ist Grundlage der Besteuerung, durch Veränderung in der Bewertung der oben angeführten Posten kann der Gewinn, bzw. der Verlust vergrößert oder verkleinert werden!)

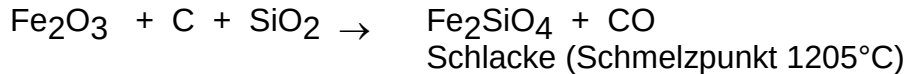
Bei Firmenimperien kann das Produkt einer Firma A eventuell das Rohmaterial, bzw. das Zwischenprodukt einer anderen Firma B sein. Durch bewusst niedrige Preise des Produkts A kann dann der Gewinn der Firma B erhöht werden, d.h. der Gewinn wird dadurch ganz legal von Firma A nach Firma B verlagert. Bei international tätigen Konzernen liegt die Firma B meist in einem Land mit niedrigen Gewinnsteuersätzen!

Kupfergewinnung (Moderner Prozeß)

Röstarbeit :



Schmelzarbeit :

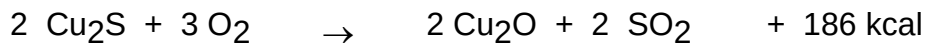


Zurück bleiben als Kupferstein mit Schmelzpunkt ca. 900° C $\Rightarrow$ $\text{Cu}_2\text{S} + \text{FeS}$

Verblaserösten des Kupfersteins im Konverter
(Auskleidung MgO - Steine):



diese Schlacke wird abgegossen



Produkt ist sogenanntes Schwarzkupfer mit 94 - 98 % Cu.

Raffinieren: Es wird zuerst oxydierend geschmolzen, dann unter reduzierenden Bedingungen: Zn , As , Sb , Pb verflüchtigen sich, Fe und Ni gehen in die Schlacke. Reste an S werden als SO₂ entfernt, schließlich wird durch C restliches Cu₂O zu Cu reduziert.

Endprodukt ist Garkupfer mit 99 % Cu. -

Elektrolytische Raffination: Fe, Co, Ni, Zn bleiben in Lösung, im Anodenschlamm finden sich Au, Ag, Se, Te, und Pt - Metalle.

Reines Cu ist weich und hat eine hohe Leitfähigkeit: Verwendung heute nur als Stromleiter, zuweilen als Dichtmaterial.

– Kupfer als Waffe und Werkzeug in vorgeschichtlicher Zeit, Cu wird durch Fremdstoffe härter.,As, Sb (Ötzi!)

Bronze: Legierung mit Sn, bessere techn. Eigenschaften haben Cu-As-Legierungen, bei der Herstellung treten aber Arsenikdämpfe auf, sind darum in der Technikgeschichte nur extrem kurz genutzt worden!

Messing : Legierung mit Zn - Aluminiumbronzen (Münzen)

Konstantan: Legierung mit Ni, deren elektr. Widerstand praktisch temperaturunabhängig ist.

Kupfergewinnung seit etwa 7000 a!!

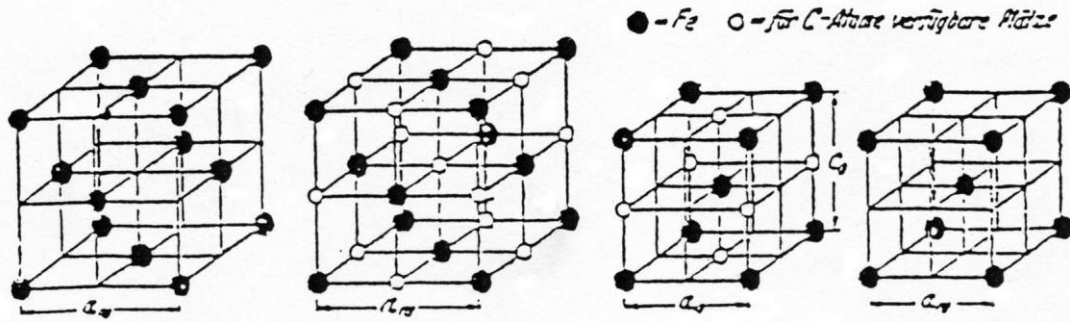
Eisen

Eigenschaft	Phasenbezeichnung	Struktur bzw . Zusammensetzung
weich	FERRIT	raumzent. Fe, löst nur sehr wenig C
weich	AUSTENIT	flächenzent. Fe mit C auf Zwischengitterplätzen
hart	CEMENTIT	Fe_3C rhombisch
hart	LEDEBURIT	Eutektikum von Fe_3C mit an C gesättigtem Austenit
hart	MARTENSIT	verzerrtes Gitter von raumzent. Fe übersättigt mit C
hart	PERLIT	Eutektikum von Ferrit und Cementit

Martensit wird durch sehr schnelle Abkühlung von Austenit erzeugt und ist metastabil. Beim Erwärmen geht Martensit im festen Zustand in Ferrit und Cementit über.

Schmied- und härtbare Zusammensetzungen liegen zwischen 0,5 - 1,5 % C . Solche Werte wurden bei geeigneter Verfahrensweise beim Rennfeuerungsverfahren (bloomery hearth process) erreicht, das über mehrere tausend Jahre bis ins 19. Jahrhundert hinein üblich war.

Dagegen führt das Hochofenverfahren (blast furnace) zu einem Eisen mit ca. 3,2 bis 4 % C (Gußeisen). Dies schmilzt ohne vorher zu erweichen bei ca. 1200° C und läßt sich gut gießen, es ist jedoch hart, spröde und nicht schmiedbar. Um daraus Stahl zu machen, muss ein erheblicher Teil des C selektiv oxydiert werden. (Frischen) - Durch Zulegierung von Ni, Cr, Mn und Si werden die Stabilitätsgrenzen im Phasendiagramm Fe - C erheblich verschoben.



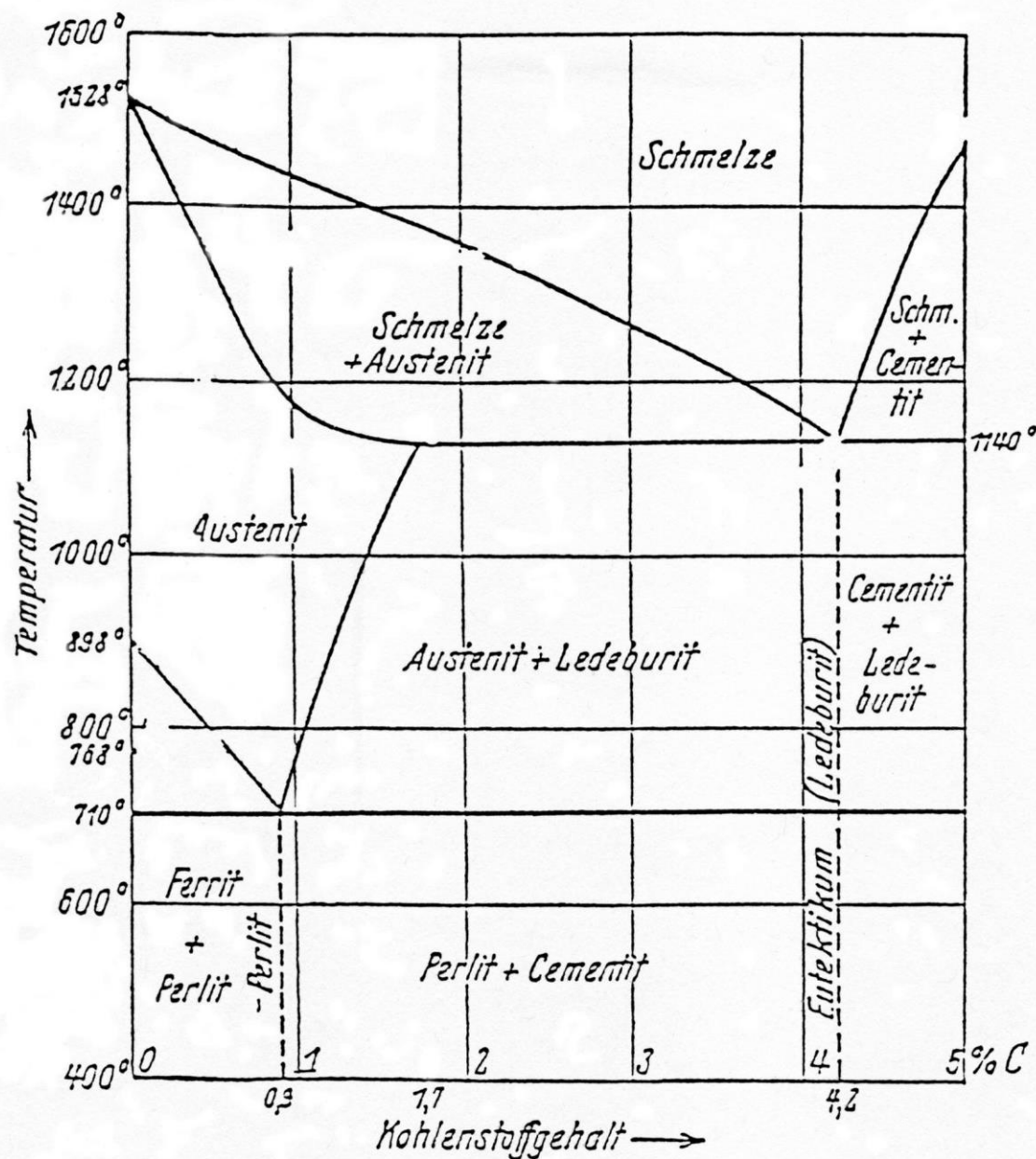
γ -Eisen
 $a_\gamma = 3,59 \text{ \AA}$ (extrapoliert auf Raumtemp.)

Austenit
 $a_\gamma = 3,63 \text{ \AA}$ (bei 3 Atom % C)

Martensit
 $a_\gamma = 2,84, c_\gamma = 3,00 \text{ \AA}$ (bei 8 Atom % C)

α -(δ)-Eisen
 (Ferrit)
 $a_\gamma = 2,98 \text{ \AA}$

Feinbau von Gefügebestandteilen der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen.

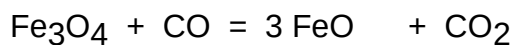
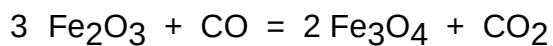


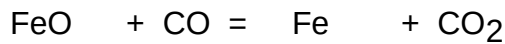
Zustandsdiagramm
von Eisen-Kohlenstoff-Legierungen (vereinfacht).

Rennfeuerverfahren (wurde wahrscheinlich durch Zufallsbeobachtungen bei der Kupfer- Verhüttung entdeckt).

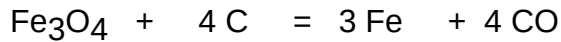
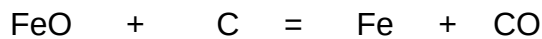
Beschickung : $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{C} + \text{SiO}_2$

Ab 400° C sog. indirekte Reaktionen, alle exotherm!



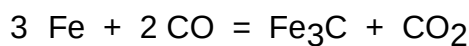


Ab ca. 800° C sog. direkte Reaktionen:

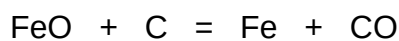


Ein großer Teil (mind. **2/3**) des FeO reagiert mit SiO₂ zu Fayalit, der oberhalb ca.1200° C eine dünnflüssige Schlacke bildet.

Durch die folgenden Reaktionen wird das Fe kohlenstoffhaltig :

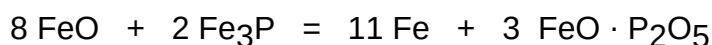


Da die Schlacke aber viel FeO enthält, wird nach der Gleichung :



wieder ein Teil des C aus dem flüssigen Fe entfernt.

Der hohe FeO - Gehalt der Schlacken verbrennt auch den Phosphorgehalt :

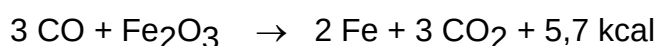


So konnten auch stark P-haltige Erze, wie vivianithaltiges Raseneisenerz verhüttet werden. Nachteile: Ergebnis ist eine Luppe, die erst durch Schmieden von Schlacken befreit werden muss. Verschiedene Partien hatten unterschiedliche C - Gehalte; ebenfalls durch mehrfaches Schmieden erst zu verteilen.(Damaszener Stahl) Nur höchstens ein Drittel des Eisens wird gewonnen, der Rest geht in die Schlacke. - Im Mittelalter wurde das Schmieden durch Hammerwerke erledigt, die mit Wasserkraft betrieben wurden. Davon zeugen noch einige Ortsnamen in der Mark Brandenburg, bzw. der Hammerstrom bei Peitz im Spreewald.

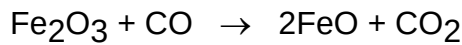
Das Rennfeuerverfahren wurde vor etwa 4 500 a erfunden.

Der Hochofenprozess

Die zur Darstellung des Roh- oder Gusseisens gewöhnlich verwendeten Hochöfen sind Schachtöfen von meist 20 bis 25 m Höhe aus feuerfesten Schamotte-Steinen. Von oben wird oxidisches Eisenerz zu faustgroßen Stücken zerkleinert, schichtweise abwechselnd mit Koks eingetragen, während von unten durch sogenannte *Windformen* vorgewärmte Druckluft eingeblasen wird. Diese verbrennt den Koks, und das dabei gebildete Kohlenoxid macht das Eisen aus seinen Oxiden frei:



Die Reaktion ist umkehrbar. Dem Le Chatelier-schen Prinzip entsprechend, verschiebt sich das Gleichgewicht mit steigender Temperatur nach links. Daher erfolgt diese Reaktion vorwiegend in dem oberen, weniger heißen Teil des Hochofens. Zum Teil geht in dieser Zone die Reduktion nur bis zum Eisen (II) - oxid :



In dem unteren, sehr heißen Teil erfolgt Reduktion unmittelbar durch den Kohlenstoff



Die Hitze ist in der untersten Ofenzone so gross, dass das Eisen schmilzt und abfließt. Der hierdurch und durch die Verbrennung des Kokes frei werdende Raum wird kontinuierlich durch die nachsinkende Beschickung wieder aufgefüllt.

Das unmittelbare Produkt sind Gußeisen + Schlacke.

Zur Stahlerzeugung muß ein Teil des Kohlenstoffgehaltes durch Einblasen von Luft in die Eisenschmelze verbrannt werden. (Windfrischen) Auch störende Gehalte an P und S werden so entfernt. In der Schmelze gelöstes FeO wird durch Zusatz von Ferromangan entfernt. (Desoxidation)

Heute wird ein erheblicher Teil des Eisens durch Aufschmelzen von Schrott erzeugt. Dabei gehen viele Verunreinigungen oder Legierungselemente (Zn, Pb, Sn, Cr) in die Schlacke oder Flugstäube über (Erhebliche Probleme für Umweltschutz und Recycling!)

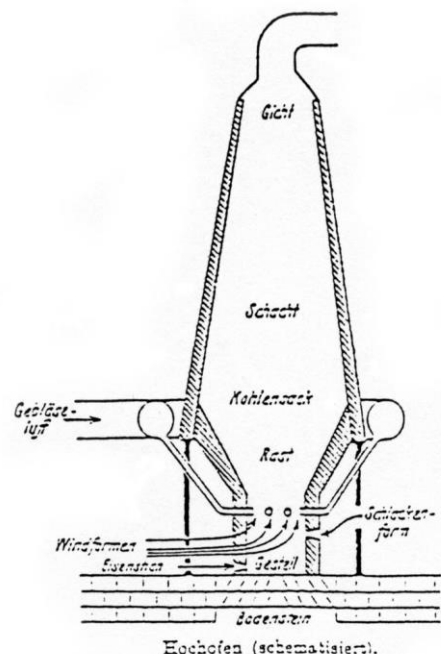
Moderne Variante des Rennfeuerverfahrens (Korff-Verfahren):

Stark SiO_2 -haltige Eisenoxide lassen sich nicht wirtschaftlich im Hochofen verhütten.

Solche Erze können bei niedrigen Temperaturen nach intensiver Zerkleinerung in Drehrohröfen mit CO , H_2 oder Erdgas reduziert werden. Nach erneuter Mahlung wird das Fe per Magnettrennung gewonnen und erst anschließend geschmolzen.

Zinn

Wird praktisch ausschließlich durch Reduktion von Kassiterit (SnO_2) mit Kohle und Fe-Schrott hergestellt. - Da Zinnstein meist als Seifenmineral gewonnen wird, enthält er noch andere Seifenminerale, die oft Nb- und Ta-haltig sind. Die Gehalte an Nb und Ta bleiben in der Schlacke und werden daraus gewonnen. (Auflösung in Flußsäure und selektive Extraktion der Tantal- und Niobfluoride mit Methylisobutylketon) Tantal hat steigende Bedeutung zur



Herstellung von Elektrolytkondensatoren für die Mikroelektronik und als korrosionsfestes Material in der Chemietechnik.

Es wird bis heute versucht die Verhüttung von Zinnstein zu verbessern: Bei Gegenwart von Silikaten oder Quarz in der Gangart enthält die Schlacke erhebliche Mengen an Zinnsilikaten.

Etwa 20% des Bedarfs wird durch Recycling gedeckt.

Wichtigste Anwendungen:

Weißblech (Konservendosen), Weichlote (Lötzinn), Legierungen (Bronze, Lagermetalle), Trübungsmittel für Emaile, Organische Zinnverbindungen (TBT Tributylzinn für Schiffsanstriche, hat biologische Wirkungen, inzwischen verboten!), früher Zinnfolie (Stanniol), heute völlig verdrängt durch Al-Folie oder Plastik.

Durch den Übergang von der Feuerverzinnung zur elektrolytischen Zinnplattierung um 1960 wurde nur noch ca. 1/3 pro Fläche benötigt. - Zusätzlich wurden Konserven in Industrieländern durch Tiefkühlketten verdrängt. Fast alle Konservendosen haben heute innen eine Kunststoffauskleidung. - Der Weltverbrauch an Zinn ist praktisch seit Anfang der 60er Jahre stagnierend, teils rückläufig und liegt bei 200.000 t/a. Der Zinnpreis schwankte teilweise erheblich, trotz des Versuchs Preiskartelle zu bilden und ist weit hinter den Preissteigerungsraten für Industriewaren zurückgeblieben. Auswirkungen auf Länder, deren Exporterlöse stark vom Zinnpreis abhängig waren: Bolivien, Indonesien und Malaysia.

Beginn der Bronzezeit vor ca. 5000 a.

(**Blei** wird seit mindestens ca. 6000 a genutzt: Gewichte, zum Verbinden von Ton-Rohren, Dichtungsmaterial, Klammern für Gesteinsblöcke, Bleirohre, Geschosse)

Erzaufbereitungsverfahren werden laufend verbessert; Ziel ist dabei überwiegend eine Energieeinsparung und die Nutzung auch geringwertiger Erze, sowie die Vermeidung von Umweltbelastungen. Neben rein technischen Verfahren spielen dabei zunehmend biologische Verfahren eine Rolle, insbesondere das **heap leaching**. Dabei wird das geeignet zerkleinerte Erz in Halden oder einem Bioreaktor mit einer Lösung umgesetzt, in dem ein oder mehrere Mikroorganismen die gewünschten Metalle in Lösung bringen.

Ein 2002 erstmalig erfolgreich erprobtes Verfahren ist das **phytomining**: Speziell gezüchtete perennierende Pflanzen werden auf einem Boden angebaut, der etwa mind. 0,05% Ni enthält. Die Pflanzen speichern bis zu 2% Ni in den Blättern, die nach der Veraschung etwa 30 - 40% Ni enthalten und nach üblichen Verfahren weiter verarbeitet werden. Erste Versuche ergaben eine Ernte von ca. 20t Ni/ha.

Mikroorganismen werden auch eingesetzt um in Abwässern (waste water) gefährliche Elemente abzuscheiden. So ist es z.B. möglich Selen bis unter die Nachweisgrenze zu entfernen oder Nitrate fast quantitativ in Stickstoff überzuführen. Mit geeigneten Bakterien lässt sich gelöstes Arsen in unlösliches Arsensulfid überführen.

Die französische Bergbaubehörde BRGM fand 2002 anhand von Forschungen an Abwässern einer alten Goldmine bei Limoges ein Bakterium der Thiomonas-Gruppe, das

dreiwertiges As in fünfwertiges As umwandelte. As(III) ist sehr viel giftiger als As(V), ausserdem lassen sich Arsenationen leicht durch Fällung mit Fe(III)-Ionen entfernen.

Technische Entstaubungsverfahren

Staubkammern = Nur für Partikel größer etwa 50 µm, Wirkungsgrad meist unter 50%!

Zyklone = Partikelabscheidung bis etwa 5 µm, Wirkungsgrad bis etwa 90%.

Gewebefilter (Sack- und Schlauch-Filter = Textil, Kunststoff und Metallgewebefilter)
Maschenweite ist sehr viel größer als die abzuscheidenden Stäube, bis 1 µm wirksam, Wirkungsgrad bis 99%.

Liegen Aerosole oder saure Abgase vor, so werden nasse Verfahren angewendet:

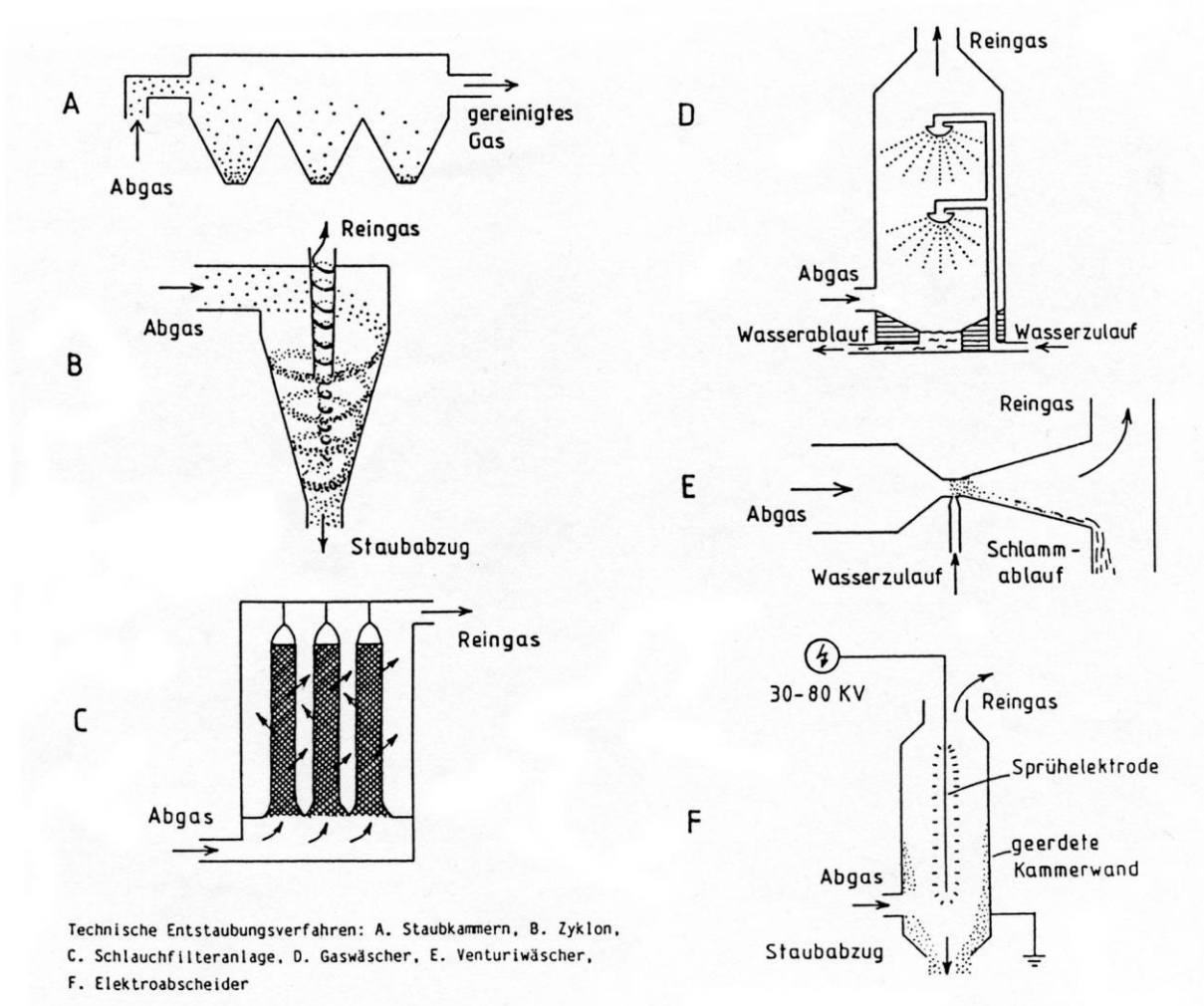
Gaswäscher (bis ca. 25 µm, Wirkungsgrad um 75%) oder
Venturiwäscher (Teilchen um 1 µm, Wirkungsgrad meist über 90%)

Elektroabscheider haben einen hohen Wirkungsgrad (95-99%) für auch sehr feine Partikel, allerdings ist der Energieverbrauch erheblich.

Viele Filterstäube enthalten giftige Substanzen wie Schwermetalle, zuweilen auch Dioxine. (Immer wenn bei Verfahrenstemperaturen zwischen ca. 500° und 1100°C organische Stoffe und Chloride miteinander reagieren.)

Russpartikel-Filter für Dieselmotoren sind keramische Filterelemente, meist aus SiC. – Belegung wird durch Staudruckmessung kontrolliert – Bei hoher Belegung wird durch elektronisches. Motormanagement die Temperatur des Filters erhöht und durch Luftüberschuss die Belegung abgebrannt.- Aus prinzipiellen Gründen ist eine 100% Entfernung nicht möglich!

Renault stattete Dieselfahrzeuge mit einem anderen System aus. Dem Dieseltreibstoff werden sehr geringe Mengen an Tri-Indenyl-Cer zugemischt. Bei der Verbrennung entstehen Ceroxide, an diese Nanometer großen Partikel lagert sich der Russ an. Nach der Gleichung $2 \text{ CeO}_2 = \text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{O}$ wird bei Luftüberschuss der Russ oxidiert.



Grenzkonzentrationen

Für viele in die Luft freigesetzte Fremdstoffe gibt es gesetzlich definierte Grenzwerte.

MEK = maximale Emissionskonzentration (Masse pro Kubikmeter) wird direkt im Abgasstrom einer Anlage gemessen.

MIK = maximale Immissionskonzentration (Masse pro Kubikmeter)
Wird am Einwirkungsort gemessen, verschiedene Werte für 1/2 Stunde, 1 Stunde, 1 Jahr. (Wert der nach aktuellem Wissensstand als unbedenklich gilt.)

IW = Immissionsgrenzwert (Masse pro Kubikmeter)
Praktisch identisch mit MIK, aber andere Mittelwertbildung:
IW 1 = Jahresmittelwert - IW 2 = ist ein Kurzzeitwert, der als eingehalten gilt, wenn 95% der Meßgrößen unter diesem Wert liegen! Durch diese Definition werden lokale Spitzenwerte noch toleriert. - Ist von Bedeutung bei der Diskussion um Feinstaub und tolerable Ozongehalte in bodennaher Luft!!

Festlegung in TA-Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft), dies ist eine Ausführungsbestimmung zum Bundesimmissionsschutzgesetz.

MAK = maximale Arbeitsplatzkonzentration

Grenzkonzentration am Arbeitsplatz bei 8 Stundentag und 45 Arbeitsstunden pro Woche für gesunde erwachsene Personen. - Erstmalig von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG eingeführt. -

Für cancerogene und mutagene Substanzen gibt es keine MAK-Werte!! Hierfür gelten dann

TRK = technische Richtkonzentration

(Bundesministerium für Arbeit u. Sozialordnung) - Sollen Risiko am Arbeitsplatz gering halten, werden wissenschaftl. Erkenntnissen und neuen Reinigungsverfahren angepaßt.

Schließlich gibt es für Trinkwasser EU-Richtlinien, bzw. nationale Verordnungen mit zulässigen Höchstkonzentrationen in ppm. Insbesondere für Pestizidgehalte in Lebensmitteln gibt es Grenzkonzentrationen:

ADI = (acceptable daily intake)

Es werden Fütterungsversuche mit zwei verschiedenen Tierarten (Ratten, Mäuse, Kaninchen, Schweine) über die gesamte Lebensdauer und mit zwei Folgegenerationen durchgeführt. Die höchste Dosis in mg/kg (Körpergewicht) die noch keine Erkrankung hervorruft wird als "no effect level" bezeichnet. Ein hundertstel dieser Dosis wird als ADI angenommen. - Hieraus wird errechnet:

PL = (permissible level) = ADI mal durchschnittliches Körpergewicht geteilt durch Tagesverbrauch des Lebensmittels.

Ist relativ umstritten, da man sich um das durchschnittliche Körpergewicht, besonders aber um den kulturabhängigen Tagesverbrauch streiten kann! Viele Pestizide sind fettlöslich, reichern sich also in entsprechenden Fettpolstern an. (In den achtziger Jahren war der durchschnittliche US-Bürger deshalb wegen seines Gehalts an DDT eigentlich für den Verzehr als Lebensmittel nicht zugelassen!)

LD₅₀ = (letal dosis 50%) kennzeichnet die Dosis in mg Substanz pro kg Körpergewicht, bei der 50% der behandelten Versuchstiere sterben.

Abwasserbehandlung

Schwermetalle lassen sich als Sulfide, Hydroxide oder Phosphate durch Fällung entfernen.

Dabei ist zu beachten: Als Sulfide werden die Elemente der H₂S - Gruppe gefällt, also Pb, Hg, Cu, Bi, As, Sb, Cd. Bei Hydroxidfällung wird bei Cd, Ni und Cu keine Trinkwassernorm erreicht. - Sulfidfällung heute meist durch Zusatz von Lösungen, die den Sulfidschwefel gebunden enthalten, vorherige Analyse des Schwermetallgehalts notwendig.

Viele Schadstoffe, insbesondere As, können an frisch gebildetem Fe-III-hydroxid absorbiert werden. - Zuviel Phosphat (Herkunft aus Waschmitteln, bzw. durch Dünger - Auswaschung) wird als AlPO₄, bzw. FePO₄ gefällt, dabei werden Schwermetalle ebenfalls entfernt, der Niederschlag ist dann aber eventuell als Sondermüll zu behandeln. - Ein erhebliches Problem stellt die Entfernung der meist als Suspension anfallenden Niederschläge dar (Gewährleistung der Filtrierbarkeit). - Salzhaltige Lösungen werden heute meist durch Umkehrosmose aufkonzentriert.

Grundwasser kann durch Kontakt mit Sulfiderzen kontaminiert werden.

Beispiele: Namibia (Schwefelwasserstoff durch Pyrit), bzw. Bangladesch (Arsen)

Erhebliche Umweltprobleme verursachen häufig die Abwässer von Anlagen zur Aufbereitung von Erzen. Sie werden im internationalen Sprachgebrauch als **tailings** bezeichnet. Flotationsabwässer und Rückstände enthalten fast immer Schwermetallsulfide, die weiter zu Sulfaten oxidieren. Bei Anwendung einer sauren Laugung (Fast immer Schwefelsäure, die vor Ort aus Schwefel oder Pyrit produziert wird!) fallen auch stark saure Abwässer an. Sehr oft bildet sich als Reaktionsprodukt Jarosit $\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$, der bei etwa $\text{pH}=2,5$ ausfällt und Schwermetalle wie Cu, Pb u.a. enthält. (statt K wird auch Na oder H_3O eingebaut). Bei der Deponie in Schlammteichen besteht im borealen oder ariden Klima die Gefahr der Staubausschwehung, sowie allgemein die Gefahr eines Dammbrochs, (1998 Fa. Boliden in Spanien / Rumänien Ende 90er mit Extremlastung von Theiss u. Donau mit Cyanid) bzw. der Grundwasserverschmutzung (Rössing/Namibia mit U) - Abhilfe: Immobilisierung von Schwermetallen durch Kalk + Apatit.

(Kosten für Sanierung des Uranbergbaus (DDR) nach 1992: 7,5 Milliarden €)

Grundwasserströme könnten durch reaktive Barrieren von AOX + Schwermetallen gereinigt werden.. - Einsatz von Fe-schrott, Ca-phosphat, Kalk - Schwierigkeiten: Wegen der hohen Dichte ist es schwierig das Fe gleichmässig zu verteilen! Bis heute kein praktischer Einsatz.

Die bei der Massentierhaltung auftretenden Abfälle (Gülle) werden meist als Dünger in der Landwirtschaft verwendet. Wie generell bei Überdüngung üblich wird dabei das Grundwasser durch Nitrat belastet.

Kläranlagen für kommunale Abwässer wurden erst im 20. Jahrhundert eingeführt. Vorher wurden die Abwässer einfach in den nächsten Fluß eingeleitet. (Berlin pumpte früher seine Abwässer auf Rieselfelder. Diese Technik musste später wegen Gefährdung des Grundwassers aufgegeben werden; die Flächen gelten teils noch heute als schwermetallbelastet.)

Im Prinzip werden dabei Feststoffe durch Absetzen entfernt $\Rightarrow$ Klärschlamm, es schließt sich eine biologische Reinigung an. Der Klärschlamm wurde früher meist als Dünger genutzt, dies ist wegen des gestiegenen Schwermetallgehalts (Cd, Hg, Cu, Pb) heute oft nicht mehr möglich. Es ist deshalb vielfach notwendig den Klärschlamm zu trocknen und zu verbrennen.

Innerhalb der EU sind noch viele Kommunen nicht an eine Kläranlage angeschlossen!

Praktisch lassen sich fast alle organischen Verunreinigungen durch **biologische Behandlung** eliminieren.

Bei der Benutzung von Mikroorganismen ist zu beachten :

1. Bei optimalen Bedingungen für das Wachstum erfolgt Teilung, d.h. Massenverdoppelung etwa alle 20 bis 30 Minuten! Exponentieller Vorgang.
2. Optimale Bedingungen sind definiert durch Temperatur, pH, E_h (Redoxpotential), Konzentration von Nährstoffen, Salinität, Konzentration von Giftstoffen u.ä.
3. Bevorzugtes Vorkommen an der Phasengrenze fest/flüssig, oder der Dreiphasengrenze fest/flüssig/gasförmig. Bei Reaktion in homogener Lösung (Bioreaktor) muss gerührt und eventuell Luft zugeführt werden.

4. Fast jede organische Substanz wird von irgendeinem Mikroorganismus abgebaut, d.h. als Energiequelle benutzt.
5. Fast alle Bakterien bilden widerstandsfähige "Ruheformen", bzw. überleben in geringer Zahl. In einem offenen System werden deshalb nach einiger Zeit automatisch die Bedingungen für die optimale Bedingungen herrschen.
6. Bakterien (Prokaryonten) können genetische Information untereinander austauschen.
7. Die einzige Methode um Mikroorganismen zuverlässig abzutöten, ist die intensive Bestrahlung mit UV, bzw. Gammastrahlung.
8. Ein Bakterium kommt selten allein, d.h. fast immer ist an einem mikrobiellen Abbau mehr als ein Stamm beteiligt. Bei der Abwasserbehandlung ist dies erwünscht, bei pharmazeutischem Einsatz müssen dagegen umfangreiche Vorkehrungen getroffen werden, um Fremdkeime auszuschließen. (Desinfektion, luftdichter Abschluß gegen Atmosphäre, Filter in der Luftzufuhr).

Zur Charakterisierung von Abwässern dienen bestimmte Parameter, neben den Schwermetallgehalten (normalerweise in ppm angegeben) sind dies:

Der Gehalt an oxydierbaren Substanzen, gemessen als **CSB** (chemischer Sauerstoffbedarf), er wird ermittelt durch Titration mit KMnO_4 oder Bichromat in saurer Lösung. Nachteil: Permanganat oxydiert nicht alle organischen Substanzen (z.B. Ketone), Chromat oxydiert auch einige anorganische Stoffe. Relevant ist der biologische Sauerstoffbedarf.

Hier wird der beim biologischen, aeroben Abbau innerhalb von 5 Tagen verbrauchte Sauerstoff gemessen. **BSB₅ - Wert** (Angabe in mg / L).

Als sehr grobe Abschätzung gilt: Den BSB₅ - Wert erhält man durch Halbieren des CSB - Wertes. Das ist insofern hilfreich, als der CSB - Wert leicht und schnell erhältlich ist, dagegen ist der BSB₅ - Wert erst mit teurer Versuchsanordnung nach 5 Tagen zu bestimmen.

(Inzwischen gibt es Biosensorverfahren zur Schnellermittlung des BSB₅-Wertes)

Zur Beurteilung kommunaler Abwässer gibt es Erfahrungswerte. So gibt ein Einwohner im Mittel pro Tag soviel organische Stoffe ab, dass bei 20° C zur Oxydation in 5 Tagen etwa 60g Sauerstoff verbraucht werden = **GW** (Einwohnergleichwert). Leiten auch landwirtschaftliche Betriebe Abwässer ein, so gibt es entsprechende Werte = **GVE** = Großvieheinheit. 1GVE = 13 GW.

Zur Charakterisierung des Gehalts an Chlorkohlenwasserstoffen (CKW) dient der **AOX** - Wert. (absorbierbare organisch gebundene Halogene) - (Entstehen z.B. bei der Reaktion von Chlor, bzw. Hypochlorit mit Fetten)

Entfernung von CKWs: Wasser wird über bestimmte, granulierten Kunststoffe geleitet, in denen sich die CKWs lösen. Das Kunststoffbett kann durch Aceton gestrippt werden.

Sehr schädlich sind Öl und Treibstoffe (Diesel, Heizöl), deswegen ist, wo immer notwendig, ein mechanischer Ölabscheider vorzusehen. – Fettabscheidung bei Betrieben die Lebensmittel verarbeiten (Gaststätten, Großküchen usw.).

Besonders unangenehm sind Emulsionen (Öle + Wasser + Tenside). Emulsionsspaltung ist z.B. durch partielle Elektrolyse möglich. Die Schädlichkeit von Ölen ist oft nicht so sehr gesundheitlich begründet, vielmehr weil dadurch Wasser seine Trinkwasserqualität verliert.

Weiter spielen in der Wassertechnologie (Trinkwasser) sogenannte Summenparameter eine entscheidende Rolle:

TOC : Total organic carbon >0,1 mg/l

COD : Chemical oxygen demand > 2 mg/l

DOC : Dissolved organic carbon > 0,1 mg/l

AOX : Adsorbable organic halides > 1 mg/l

BOD : Biochemical oxygen demand > 2 mg/l

Chemikaliengesetz u. EG-Richtlinie v. 1994: PEC/PNEC- Konzept.: predicted no-effect concentration - Eine EU-Initiative (**Reach**) fordert Nachweis des Gefährdungspotentials für **alle** technisch genutzten Stoffe und nicht nur für neuentwickelte Substanzen. - Industrie schätzte Kosten von 1 Milliarde €, die in ca.10 – 15 a insgesamt anfallen.! Inzwischen geltendes EU-Recht, Umsetzung bis ca. 2020 **REACH** (Registration Evaluation Autorization and restriction of **C**hemicals)

Cyanidionen in Abwässern sind toxisch für aerobe Mikroorganismen und müssen deshalb aus Abwässern entfernt werden, bevor diese einer Kläranlage zufließen:

- Oxidation mit NaClO oder H₂O₂ zu HCNO⁻, anschließend Hydrolyse zu Ammoniumcarbonat.
- HCN + CH₂O (Formaldehyd) ⇒ CH₂OHCN (Glykonitril) ⇒ CH₂OHCOOH (Hydroxiessigsäure) ist biologisch abbaubar.

Cyanide treten in Galvanikbetrieben auf, + **Goldbergbau!!** Verfahren zur mikrobiologischen Entfernung von Cyaniden aus Abwässern werden z.Zt. entwickelt.

Schwermetalle lassen sich aus Galvanikabwässern auch durch Ionenaustauscher entfernen. Normale Ionenaustauscher auf Polystyrolbasis sind hierfür zu teuer. Aus Buchenholz oder Chitin lassen sich durch Einführung einer Phosphatgruppe billige Austauscher herstellen. Bei Verwendung von Holz steigt die Dichte von 0,88 auf 1,3 g/cm³ (günstig), es wird eine Kapazität von 3 bis 4 meq/g erreicht. Bei der Regeneration nimmt allerdings die Kapazität stark ab. Der regenerierte Austauscher wird dann kompostiert oder verbrannt.

Eine bedeutende Quelle der Umweltverschmutzung ist der Einsatz von Quecksilber bei der Goldgewinnung. Es wurde 1998 geschätzt, dass weltweit fast 20 Mio. Menschen in der "wilden" Goldgewinnung tätig sind und dabei pro Jahr 550 t Hg freisetzen! (z. B. in Brasilien und Philippinen)

Da das Hg verdampft wird, gehen sicher erhebliche Teile in org. Verbindungen über. Dimethylquecksilber und das Methylquecksilberion sind sehr viel toxischer als das einfache Hg-Ion.

Jede Art von Bergbau ist ein Eingriff in das bestehende Ökosystem-

Große Fortschritte im Bergbau: Ca. 1830 Stahlseile statt Hanfseile und Einführung der Davy'schen Sicherheitslampe / Ende des 19. Jahrhunderts Karbidlampen – Batteriebetriebene Kopflampen nach 1970, vor etwa 25 Jahren Kopflampen mit LED.

Verfügbarkeit von mineralischen Rohstoffen

Mineralische Rohstoffe sind endlich und zudem nicht überall verfügbar. Bereits im Neolithikum (Jungsteinzeit) ist aufgrund von archäologischen Befunden ein weitreichender Tauschhandel von Feuerstein (flint) und Aktinolit nachweisbar. Vor ca. 12000 Jahren bildeten sich im Bereich von Euphrat und Tigris arbeitsteilige Gesellschaften auf Basis von Landwirtschaft.- Verbesserung der schon länger bekannten Keramik – Mit der Nutzung von Kupfer, Bronze und Eisen wurde die Erzbeschaffung extrem wichtig. Die Eroberung Englands durch die Römer war wahrscheinlich mindestens teilweise motiviert durch die Zinnvorkommen in Cornwall. (Spanien Rio Tinto: Nutzung der Eisenerze seit römischer Zeit) Damals Bergbau vorwiegend unter Einsatz von Sklaven.

15. bis 20. Jahrhundert Kolonisierung:- Ausbeutung von Erzvorkommen (Gold + Silber) - Starke Nachfrage nach Erzen durch Technikentwicklung seit Mitte des 19ten Jahrhunderts. – Bildung von großen Minenkonzernen seit dieser Zeit.
BHP= Broken Hill Proprietaries / Rio Tinto / Banca & Biliton, Anglo American u.a.

Gegenwärtiges Interesse in Deutschland seitens der Politik: Bis 1985 lieferten 2 große Minen und zahlreiche kleinere Minen SEE-Elemente, besonders gefragt waren Neodym und Samarium für Permanentmagnete. Ende der 80er Jahre eröffnete die VR China eine grosse Bastnäsit Mine (CeFeCO_3) und unterbot die bisherigen Preise: Fast alle Minen in Amerika, Canada und Australien mußten schließen. Seit den 90er Jahren verstärkte Nutzung von Windkraftanlagen deren Generatoren mit Permanentmagneten bestückt sind. Vor einigen Jahren drosselte China den Export und die Preise stiegen stark an.(Etwa auf das Preisniveau von 1984!) Die westlichen Minen werden gegenwärtig wieder in Betrieb genommen.

Starke Preisschwankungen treten immer wieder auf bei allen mineralischen Rohstoffen. (Siehe z.B. bei Zinn Seite 23) Meist werden die Schwankungen durch eine Veränderung in der Nachfrage verursacht! Dies war auch so beim plötzlichen Preisanstieg für Seltene Erden: China baut die Windkraftnutzung stark aus, die Exportbeschränkung war wesentlich hierdurch bedingt.Es ist zu vermuten das China eine strategischeReserve (stock pile) anlegt.

Stock piles für Cu und andere Metalle wurden in den USA seit 1939 angelegt und nach dem Koreakrieg 1953 verstärkt. Ähnliche, sehr viel kleinere stock piles auch in Japan, Großbritannien, Schweiz und Schweden. Auswirkungen auf die Weltmarktpreise lang- und mittelfristig recht gering.

Angebotsseite: Neue Bergwerke sind sehr teuer, von der Prospektion über Erkundung durch Bohrungen, Planung, Auffahren der Mine, Errichtung der Aufbereitung (plant) bis zum Beginn der Förderung vergehen etwa 10 Jahre .Der Betrieb lohnt sich meist nur, wennn die Vorräte für etwa 20 Jahre ausreichen.und nach ca. 5 bis 10 Jahren Förderung die Investitionssumme + Verzinsung verdient ist!

Danach sind die Erlöse minus laufender Betriebskosten pure Reingewinne! Sehr rentabel für große Minenkonzerne die viele Bergwerke verschiedenen „Alters“ betreiben und darum stets genügend cash flow haben: Preisschwankungen können in der Reingewinnphase leicht verkraftet werden.

Dies ist ein Grund für die Firmenaufkäufe (merger) von Rio Tinto und B. B. und B (früher BHP) vor ca. 15 Jahren. Neben solchen großen Minenkonzernen gibt es noch viele Dutzend mittelgroße Firmen, die in der Regel nur eine oder wenige Minen betreiben. Der Sitz der Verwaltungen vieler Minengesellschaften konzentriert sich auf nur drei Städte: London, Vancouver und Perth in Westaustralien.

Junior companies sind sehr kleine Firmen, meist finanziert durch venture capital, die nur Exploration betreiben und ihre claims im Erfolgsfall mit hohem Gewinn an größere Firmen verkaufen.- Der Metallmarkt für ein Metall ist meist ein Oligopol: Zwei bis drei Anbieter produzieren mehr als 50%, mehrere kleinere Produzenten den Rest.- Erhebliche Anteile des Bedarfs (10 bis 40%) werden oft durch Recycling gedeckt. – Große Konzerne schließen in einigen Fällen langfristige Lieferverträge zu Fixpreisen ab.(Rössing Uran 20 Jahre ca. 1980-2000.)

Sehr kleine Lagerstätten sind für größere Firmen fast immer uninteressant, z.B- viele Pegmatitlagerstätten. Sie werden von speziellen Kleinunternehmen abgebaut. Das Erz, meist ohne Aufbereitung und Verarbeitung, wird an größere Firmen abgegeben oder direkt vermarktet. – Viele Erze sind durch Gehalte von U + Th radioaktiv, z.B Columbit und Tantalit (coltan). Die wenigen Firmen die solche Erze verarbeiten scheuen die höheren Kosten, darum erfolgt zur Zeit kein Abbau.- Uran, bzw. Th enthalten auch manche Minerale die wegen ihres Gehalts an Seltenen Erden interessant sind.

Zahlreiche Metalle sind **Koppelprodukte**: Beim Abbau bestimmter Lagerstätten fallen mehrere Metalle an:

Vanadium wird überwiegend als Nebenprodukt bei der Verarbeitung von Titanomagnetit gewonnen ($V = 0,3 - 1\%$). Hauptprodukt ist Fe und Ti.

ZnS enthält in manchen Lagerstätten geringe Anteile von Cd, Thallium, Germanium und Gallium. (Die Gewinnung ist also nur gemeinsam mit dem Zn möglich.)

Gallium läßt sich auch aus bestimmten Bauxiten gewinnen.

Viele Cu-Erze enthalten 0,01 bis 0,5% Molybdädisulfid, die Hauptmenge der Mo-Produktion erfolgt auf diese Weise.

Viele Lagerstätten führen neben Kupferkies auch PbS und ZnS. Bei der Kupferelektrolyse fallen als Anodenschlamm auch geringe Mengen an Gold und Platin an. Dieser Schlamm deckt auch den gesamten Bedarf an Tellur, bzw. Selen.

PbS Bleiglanz enthält sehr geringe Gehalte an Silber, die gesamte Produktion von Ag wird heute so erzielt.

Nachfrageseite

Die Nachfrage nach Rohstoffen wird durch die Verwendung im technischen Prozeß bestimmt. Das kann die Nachfrage schnell ändern wenn „alte“ Techniken durch „neue“ Techniken verdrängt werden, Eine Vorhersage ist schlecht möglich, Vorhersagen führten oft in Irre. Beispiele.

1985 nahm man an, dass die Umstellung auf Glasfasertechnik bei der Nachrichtenübertragung die Preise für Kupfer senken würde. Statt dessen ist der Kupferpreis extrem gestiegen! – In den 60er Jahren wurden viele afrikanische Staaten unabhängig und hatten einen hohen Investitionsbedarf, Banken gaben hohe

Kredite unter der Annahme stark steigender Rohstoffpreise für die Minenprodukte dieser Staaten Da diese Annahme sich als völlig falsch erwies, führte es zu einer erdrückenden Schuldenlast dieser Staaten.

Hohe Preise fördern auch Substitutionen: Tantal wird zunehmend durch das häufigere und billigere Niob ersetzt - Al statt Cu bei Kabeln für Fernübertragung von Strom - Ersatz von Fe oder Al durch Kunststoffe im Fahrzeugbau.

Der Handel mit Metallen erfolgte bis etwa 1980 nur an der LME London Metall Exchange im internationalen Maßstab, sowie an der Commodity Exchange New York, weitgehend beschränkt auf Nordamerika und unterlag in beiden Fällen zwar freiwilligen aber strengen Regeln. Inzwischen wurde die Londoner LME von der Börse in Hongkong aufgekauft und der Handel wurde seit Mitte der 80er weitgehend liberalisiert. Dadurch heute stärkerer Einfluß auf die Preise durch Spekulationen von Firmen und Organisationen, die das Metall weder selbst brauchen noch liefern wollen.

Eine Ausnahme in Bezug auf die Nachfrage ist der **Goldhandel**. Nur ca. 12 bis 15% der Produktion wird in der Industrie benötigt –Die Nachfrage ist daher ausschließlich bedingt durch die Nachfrage für Schmuck oder Wertanlage -. Gold ist eine sichere, aber langfristig unrentable Wertanlage.- Mindestens 30.000 t Gold lagern weltweit in Banktresoren. Auch langfristig wird es möglich sein den Au-Bedarf der Industrie zu decken. In den letzten 60 Jahren ist der Goldpreis mit teils extremen Schwankungen etwa parallel zur Inflation gestiegen. Derzeitiger Preis für Gold etwa 30 €/g.

Ähnlich große Schwankungen bei Silber durch Spekulationen.

Ein sehr spezieller Fall sind die Metalle der Platingruppe **PGM** (platinum metal group)
Ruthenium – Rhodium – Palladium
Osmium – Iridium –Platin

Ru und Os sind leicht oxydierbar und treten in mehreren Wertigkeiten auf.

Rh und Ir sind sehr hart und chemisch sehr beständig.

Pd und Pt sind dagegen weich – sehr gefragt als Katalysator.

Alle PGM gehören zu den very rare elements, Clarke Werte zusammen 0,02 ppm.

Eine große Lagerstätte, das Merenski reef im Bushveld Komplex in Südafrika mit Fördererzen zwischen 2 und 5 ppm liefert ca. 80% der Produktion. Die meisten anderen Produzenten sind Ni-Minen, die PGM als Koppelprodukt liefern (Rußland 15% und Canada 5%)

Verteilung der Elemente innerhalb der PGM:

Pt und Pd sind etwa gleich häufig und machen zusammen 88 bis 92% der PGM aus.

Ir und Rh je etwa 3 bis 4% der PGM

Preise Pt derzeit bei ca. 31 E pro Gramm./ Pd Preis historisch etwa bei der Hälfte des Pt-Preises. - Rh und Ir sind etwa doppelt so teuer wie Pt.

Historisch zuerst Funde im 19. Jahrhundert als Seifenminerale in Rußland und Kolumbien (Heute erschöpft) Im 19. Jahrhundert auch genutzt als Münzen in Rußland. Vereinzelt auch Münzen im 20. Jahrhundert (Südafrika und Isle of man).

Nutzung in der Industrie: Katalysatoren (Hydrierungen – Oxydation von Ammoniak zu Salpetersäure – Abgaskat im Auto) Pt + Pd + Rh

Hochinertes Tiegelmateriel : Labor , Auskleidung von Schmelzwannen für optische Gläser (Pt +Rh) – Pt für Widerstandsthermometer- Tiegel für industrielle Einkristallzüchtung für Elektronik – Spinddüsen für synthetische Fasern (Pd+Rh)
Soweit möglich Recycling – Der hohe Preis ist wesentlich bedingt durch die hohen Produktionskosten und hier sind sehr wahrscheinlich kaum noch Kostensenkungen zu erzielen. Da die Produktion mittelfristig kaum gesteigert werden kann sind erhebliche Preissteigerungen zu erwarten.

Langfristig bietet sich hier ein Ausweg an: In den „abgebrannten“ Kernbrennstoffen (spent fuel) sind ca. 10% der Spaltelemente leichte PGM (Ru + Rh +Pd). Ihre Halbwertszeiten liegen alle unter 1,1 Jahren.Nach etwa 200 Jahren bietet sich eine Aufarbeitung an da die Gesamtaktivität erheblich gesunken ist (Cs 137 + Sr 90 sind zu 99% zerfallen, Krypton 85 zu 100%). Das Material hat dann einen Gehalt an ca. 3000 ppm an leichten inaktiven Platinmetallen, also 600 mal mehr als das gegenwärtig reichste Erz des Merenski reef. In den verglasten Abfällen der gegenwärtigen Wiederaufarbeitung (HAW) ist der Gehalt noch etwa fünfmal höher. Allerdings ist die Aufarbeitung von Borosikatglas auch erheblich schwieriger; bei spent fuel genügt die Auflösung in Salpetersäure, die PGM bleiben als unlöslicher Rückstand zurück. (Leichtere Aufarbeitung in Russland, dort HAW als Phosphatgläser!)

.....

Diamant (β-C) Jährlich werden ca. 30 t natürliche Diamanten abgebaut, davon 20% für Schmuckzwecke verwendet. Synthetisch werden etwa 100 t pro Jahr erzeugt, seit den 90er Jahren auch ein kleiner Teil Schmuckdiamanten (Rußland). Diamant ist ein wichtiges Industriemineral. (Die hexagonale Modifikation des Kohlenstoffs Lonsdalit läßt sich durch Stoßwellen-Metamorphose künstlich aus Graphit erzeugen und ist als Schleifmittel besser als Diamant, wird aber wegen zu hoher Kosten derzeit kaum genutzt.)

.....

Helium ist zwar das zweithäufigste Element des Weltalls, aber extrem selten auf der Erde; hier bildet es sich aus den Alphateilchen der Zerfallsketten von Uran und Thorium. Diese Produktionsrate ist wegen der extrem langen Halbwertszeiten sehr gering. Das He diffundiert sehr langsam Richtung Erdoberfläche und findet sich mit ca. 5 ppm in der Atmosphäre. Praktisch nutzbar sind Vorkommen von 0,2 bis zu ca. 15 Vol% in manchen Erdgaslagerstätten; wird das Methan verflüssigt, so bleibt das He zurück.Ein amerikanischer Stock pile wurde in den letzten 25 Jahren aufgelöst. Genutzt wird flüssiges Helium als Kühlmittel für Supraleiter (MRT-Geräte), hier etwa ein Drittel des Bedarfs. Andere Anwendungen: Schutzgas bei bestimmten Schweißverfahren, Trägergas in Gaschromatographen (ca. je 10%) und als Füllgas für Luftballone und Luftschiffe (blimp). Der Preis ist in den letzten Jahren stark gestiegen (ca. 100%). Lieferländer: Früher fast nur USA, heute Algerien, Arabische Emirate, Kasachstan, Sibirien. Da kaum Recycling stattfindet sind weitere Preissteigerungen zu erwarten.

.....

Lithium ist mit 30 ppm in der Erdkruste kein seltenes Element; wegen des kleinen Ionenradius kommt es in bauwürdigen Mengen auf primärer Lagerstätte meist nur in Pegmatiten vor. Abbau oft als Koppelprodukt bei sehr großen Pegmatiten. Erhebliche Mengen liegen vor in Form geringer Gehalte in Salzseen; hier läßt sich aus konzentrierten Lösungen das Karbonat durch Soda-Zusatz ausfällen. (Salar de

Atacama in Chile, Salar Uyuni in Bolivien) – Seit 30 Jahren extreme Zunahme des Verbrauchs für Akkus, die sicher weiter steigen wird. Anwendungen ohne Recycling als Legierungsmetall, in der Medizin, in der Chemie und Feuerwerkstechnik. Obwohl Akkus recycelt werden können, ist mit Preissteigerungen zu rechnen. Bereits jetzt wird intensiv Exploration nach neuen Lagerstätten betrieben...

Betrachtet man die Vergangenheit, so sind im Mittel die Preise für mineralische Rohstoffe zwar stark gestiegen, bei Berücksichtigung der Inflationsrate aber nur schwach oder gar nicht, Allerdings hat es immer wieder kurzzeitig (1 bis 10 Jahre) Preisspitzen von bis zu 1000% gegeben! Danach hat sich dann der Preis wieder stabilisiert, allerdings auf höherem Niveau.

Für die Zukunft wird dieser Trend wohl anhalten, allerdings dürfte **in Zukunft die Preissteigerung auch inflationsbereinigt stärker** ausfallen. Grund:. Zunehmende Rücksicht auf Umweltverschmutzung, auf Sicherheit im Bergbaubetrieb und höhere Löhne bei Minenarbeitern. (Südafrika, Türkei, China), teils auch die Verarbeitung von Erzen mit U, bzw. Th-Gehalt. -Nur bei deutlichen Preissteigerungen können alte Minen wieder in Betrieb genommen werden. - Immerhin sind bei einigen Erzen hinreichende Vorkommen für mindestens 200 Jahre gesichert: Steinkohle, Eisen, Kupfer, Zink, Blei.

Die EU hat 2010 eine Liste mit 14 Rohstoffen, bzw Metallen publiziert die sie für kritisch hält:

Antimon, Beryllium, Fluorit, Gallium, Germanium, Graphit, Indium, Kobalt, Magnesium, Niob, PGM, Seltenerdelemente (REE), Tantal und Wolfram.

Schon die Nennung von Antimon, Graphit und Magnesium läßt an der Weisheit der EU zweifeln: Sb wird überwiegend zur Härtung von Blei für Akkumulatoren verwendet und da ist mittelfristig eine starke Reduzierung der Nachfrage zu erwarten; überdies wird in den meisten Industrieländern eine sehr hohe Recyclingrate erreicht. – Hochreiner Graphit kann synthetisch erzeugt werden.- Bei Mg kann eventuell Magnesit für Hochfeuerfest-Steine knapp werden.(Ausweg; Gewinnung aus Seewasser, allerdings etwas teurer) Dagegen wird das Metall, bzw. $Mg(OH)_2$ meist aus $MgCl_2$ -Lösungen gewonnen. Magnesiumchloridlaugen sind ein Abfallprodukt der Kalsalzverarbeitung! In der DDR wurde Magnesiumchloridlauge statt Tausalz benutzt! Riesige Mengen können in Jordanien und Israel aus dem Toten Meer gewonnen werden.

Vor etwa 10 Jahren stellte die EU Forschungsgelder zur Verfügung für ein Projekt zur Suche nach alternativen Rohstoffen für die Aluminiumherstellung. Ein solches Verfahren ist aber bereits in den 30er Jahren in Deutschland entwickelt und angewendet worden. Beim ST-Verfahren wird Ton bei 800°C geglüht und dann im Gegenstromverfahren mit schwefliger Säure unter 7 bar bei ca. 50° C gelaugt. Die Aluminiumsulfidlösung wird filtriert, auf 90°C erwärmt, dabei fällt das Al als basisches Sulfit aus. Durch Druckminderung + weitere Erwärmung (90°C) wird das SO_2 frei und kann erneut verwendet werden. Endprodukt ist Al_2O_3 das nach dem üblichen Bayerverfahren weiter verarbeitet werden kann. Mit dem Verfahren könnten auch heute nicht nutzbare Bauxite mit hohen SiO_2 -Gehalten genutzt werden. Natürlich ist das ST-Verfahren teurer als der heute angewendete Prozeß. (Typischer Fall von Traditionsabbruch: Das ST-Verfahren stand bis in die 60er Jahre noch in deutschen

Lehrbüchern der Anorganischen Chemie. Heute findet sich selbst im Internet keine Spur!)

Der **Weg vom Erz zum Metall** ist sehr verschieden:

Eisenerze werden immer nach der Aufbereitung zur Verhüttung transportiert. Meist erfolgt der Transport auf dem Schiffsweg. Das in der Hütte gewonnene Eisen wird fast immer gleich zum Halbfertigprodukt, bzw Endprodukt verarbeitet. Auch **Manganerze** werden zur Verhüttung transportiert.

Auch das **Aluminiumerz** Bauxit wird stets zur Weiterverarbeitung nach dem Bayer-Prozeß an Standorte in Industrieländern geliefert.; die Schmelzfluss-Elektrolyse ist extrem energieintensiv! Standorte nach Wahl des Strompreises.

Chrom: Das einzige Chromerz ist der Chromit, ein Spinell bei dem ein Teil des Mg durch Fe und ein Teil des Al durch Cr ersetzt ist, Vorkommen in Lagen am Grunde mafischer Intrusionen. Erze mit 45 – 55% Cr dienen der Metallgewinnung, Erze mit geringeren Gehalten werden in der Chemischen Industrie verarbeitet oder dienen zur Produktion von Hochfeuerfeststeinen. Immer wird das Erz zum fernen Verarbeitungsort transportiert.

Titan: Rohstoffe sind Ilmenit FeTiO_3 und Rutil-Sande; Verarbeitung in Industriestandorten (Weisspigmente). –**Zirkonium:** Rohstoffe sind Zirkonsand (ZrSiO_4) und ZrO_4 (baddeleyite), Verwendung: Zirkalloy , Lambdasonden.

Nickel: Abgebaut werden vorwiegend Garnierit, ein Mg-Ni-Schichtsilikat mit Gehalten zwischen 2 und 10% Ni), seltener As-haltige Sulfide. Soweit als möglich erfolgt die Metallgewinnung vor Ort in der Nähe des Bergwerks, da der Transport des Erzkonzentrats teuer ist. Allerdings gibt es auch Minen deren Konzentrat in Industrieländer transportiert wird. Insbesondere die Verarbeitung Arsen- haltiger Ni-Erze ist noch heute problematisch

Dagegen werden **Kupfererze** in der Regel von der Mine bis zum Rohkupfer verarbeitet; dies wird dann transportiert. Die elektrolytische Aufarbeitung erfolgt in Industrieländern, meist dort wo billiger Strom zur Verfügung steht.

Blei- und Zink-Erze kommen oft gemeinsam vor. Der Transport der feuchten und feinkörnigen Flotationskonzentrate ist problematisch. Soweit möglich werden sie darum vor Ort zum Metall verarbeitet.

Zinn: Heute nur noch aus Kassiterit SnO_2 ; das Erz wird vor Ort durch Setzrinnen aufbereitet und meist dort zum Metall verarbeitet Die Schlacke enthält oft noch wesentliche Anteile von Ta + Nb und wird an entsprechende Spezialbetriebe geliefert.

Die meisten anderen Metalle werden in Industrieländern durch Spezialbetriebe aus angelieferten Erzen, Konzentraten oder Abfallprodukten erzeugt.

Ein typischer Betrieb ist die **H.C.Starck GmbH** :

1920 Gründung der H.C.Starck Berlin als Handelsgesellschaft für Erze und Metalle.

1925 Tochtergesellschaft in New York – 1935 Kauf der Werksanlage in Goslar (Verfahren zur Trennung von Nb + Ta, Produktion von Wolfram, WC und Widia, Verarbeitung von MoS₂) 1977 Aufkauf eines Ta-Betriebs in Japan. 1980 Übernahme durch die Bayer AG –Übernahme von Ta-Produzenten in USA, Japan + Thailand.- 2001 Kauf des Werks in Selb (Specialkeramiken + Hartstoffe) – 2007 Aufgekauft durch US-Investoren- 2012 Joint venture mit Fa. In Vietnam zur Erzeugung von Wolfram.

Wenn Rohstoffpreise stark steigen wird die Produktion gesteigert werden oder nach einer Substitution gesucht werden.- Bei extrem teuren Metallen geschieht dies bereits laufend, z.B. Ersatz von PGM für Katalysatoren - .Möglichkeiten für Produktionssteigerung:

- **Aufarbeitung von Bergbaurückständen (Alte Halden).**
- **Unrentable stillgelegte Minen werden wieder in Betrieb genommen**
- **Bekannte Vorkommen, bislang nicht erschlossen da zu wenig rentabel, werden nun aufgefahren.**
- **Neue Lagerstätten werden prospektiert und erschlossen.**

Alle diese Maßnahmen benötigen eine Vorlaufzeit zwischen etwa einem bis zu 12 Jahren. (Juristische, bzw. verwaltungstechnische Vorgänge + technische Entwicklung, Kapitalakquisition)

Alle Länder in Mitteleuropa sind nach 180 Jahren Geologie zwar gut geologisch kartiert, aber das oft nur an der Oberfläche.- Der einzige Staat bei dem auch der Untergrund durch systematische Tiefbohrungen und geophysikalische Erkundung komplett untersucht wurde war die DDR! Die Ergebnisse waren bis 1990 ein streng gehütetes Staatsgeheimnis. Nach dem Beitritt zur Bundesrepublik wurde leider versäumt die Ergebnisse plus Bohrkernarchive der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR in Hannover zu übergeben. Die Bohrkern gehörten jetzt den neuen Bundesländern und durch inkompetente Verwaltungen sind Teile verloren gegangen. .

Neue Lagerstätten (Ohne deutliche Merkmale an der Oberfläche) sind vor allem zu erwarten in Ländern mit großen Flächen :z.B. Australien, Sibirien, Kanada.

Auf den Gebieten Aufbereitung und Hüttentechnik werden laufend große Fortschritte gemacht. Einen Einblick in diese Entwicklung für alle interessierten Personen gibt das mining-engineer-information system. Sie können als Studierende daran kostenlos teilnehmen: Senden Sie eine Email an **amanda@min-eng.com** und bitten Sie in den service von MEI@topica.email-publisher.com aufgenommen zu werden.Sie erhalten dann etwa alle 14 Tage eine email mit Informationen.

Einen ausgezeichneten Überblick auf dem neusten Stand bietet Ihnen das Buch

Die Welt der Rohstoffe - Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte
Von Florian Neukirchen + Gunnar Ries Springer Spektrum Verlag 2014
ISBN 978-3-642-37738-9 zum Preis von 40 €

Düngemittel:

Alle Organismen benötigen für ihren Stoffwechsel u. a. **Phosphat** (ATP ,DNS), **Stickstoff** (Aminosäuren und deren Umwandlungsprodukte) und

Kalium. (besonders wichtig für Pflanzen).

Stickstoffdünger läßt sich seit Beginn des 20. Jahrhunderts durch die Haber-Bosch-Synthese aus Luft gewinnen (Ammoniumnitrat).

Kalisalze sind in Mitteleuropa noch reichlich vorhanden. –

Mittelfristig kritisch dürfte die Versorgung mit Phosphat werden. Hydroxylapatit $\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$ wird aus sedimentären Lagerstätten gewonnen. Die gegenwärtig genutzten reichen Lagerstätten (Florida, China, Marokko, Tansania, Tunesien und Ägypten) dürften in etwa 30-40 Jahren erschöpft sein. Alle Auswege wie die Nutzung armer Lagerstätten und Recycling (Tierknochen und die Abscheidung aus Abwässern) werden zu stark steigenden Preisen führen.

Epidemische Vergiftungserscheinungen durch Hg und Cd traten in den 70er und 80er Jahren in Japan durch Industrieabwässer auf. (Minamata-, bzw. Itai-Itai-Krankheit) Sie führten dazu, dass im extrem industriefreundlichen Japan die Gerichte entschieden die Beweislast umzukehren, d.h. die Industrie musste beweisen, dass die Vergiftungen nicht durch sie verursacht waren!

Bodenverunreinigung

Böden können verunreinigt werden durch Industrieabfälle wie etwa Schwermetalle aus Galvanikbetrieben, Chromate und Arsenverbindungen aus der Tränkung von Eisenbahnschwellen, aber auch organische Verbindungen, wie etwa Diesel, Heizöl, Teeröle u.a.

Früher versuchte man Bodenwäsche (teuer) durchzuführen, heute setzt man zunehmend auch in-situ-Verfahren ein. - Beispiele: Belüftung zur Entfernung flüchtiger Kohlenwasserstoffe. – Tränkung des Bodens mit Nährlösung + Belüftung zur Beschleunigung des aeroben Abbaus organischer Verunreinigungen – Entfernung von Schwermetallen durch in-situ Elektrolyse.

Meerwasserentsalzung

Zur Versorgung mit Brauchwasser spielt die Meerwasserentsalzung für südlich gelegene Inseln, Schiffe und aride Gebiete bereits heute eine bedeutende Rolle (z.B. Kanarische Inseln, Golfregion). Die Bedeutung wird in den nächsten Jahren noch erheblich zunehmen.

Hierfür sind zahlreiche Verfahren vorgeschlagen und auch erprobt worden.

Prinzipiell sind zwei Grundtypen zu unterscheiden:

1. Phasenübergangsverfahren: Entweder Verdampfung und Kondensation des Dampfes oder Gefrierverfahren bei denen entweder reines Wasser oder ein Gashydrat gefriert..
2. Umkehrosmose: Durch Druck wird ein Teil des Wassers durch die Poren einer Kunststoffmembran gepresst, die für die hydratisierten Ionen zu klein sind.

Technisch angewendet wird meist die Verdampfung bei erniedrigtem Druck oder die Umkehrosmose. Technische Probleme sind Korrosion, Schwebstoffe und das Wachstum von Algen und anderen Mikroorganismen in bestimmten Teilen der Anlage. - Angestrebt wird insbesondere geringer Wartungsaufwand, niedriger Energieverbrauch und lange Lebensdauer der Anlage. Die Kosten pro Kubikmeter liegen bei € 3 bis 10, d.h. in einem Bereich der in einigen Industrieländern als Abwasserkosten aufzubringen ist.

Nach Einschätzung der Weltbank litten 1995 etwa 3% der Weltbevölkerung unter Wassermangel und 5% unter Wasserknappheit, gleichzeitig wurde geschätzt, dass im Jahr 2050 sich diese Anteile auf 18%, bzw. 24% erhöhen werden!

Veränderung der Atmosphäre durch menschliche Aktivitäten

Wir leben auf dem Grunde eines Luftozeans, der Atmosphäre. Sie hat für alle Lebewesen mehrere lebenswichtige Funktionen:

1. Sauerstoff - und CO₂ - Vorrat
2. Schutz gegen kurzweilige Strahlung
3. Verminderung der Wärmeabstrahlung der Erde
4. Wärmepuffer aufgrund der spez. Wärme der Lufthülle

Der Druck nimmt mit der Höhe nach der barometrischen Höhenformel exponentiell ab. Als Faustformel gilt, dass der Druck alle 5,5 km Höhe auf die Hälfte seines Wertes fällt.

Man unterscheidet : Troposphäre bis etwa 12 km
Stratosphäre bis etwa 50 km
Mesosphäre bis etwa 90 km

Der Strahlenschutz gegen UV-Strahlung wird durch den Ozongehalt der Stratosphäre bedingt. Das dort durch Strahlung erzeugte Ozon ist also nützlich, wird aber durch FCKWs in einer komplizierten Kettenreaktion zerstört.

Scharf hiervon zu unterscheiden ist das Auftreten von Ozon im Smog in der unteren Troposphäre. Hier ist Ozon als extrem oxydierendes Agens giftig und schädigt alle Lebewesen.

Zur Verminderung der Wärmeausstrahlung der Erde tragen die IR - Absorptionsbanden folgender Gase bei: Wasser, Kohlendioxid, Methan, N₂O, Sauerstoff, Ozon und FCKWs. Da der Gehalt an CO₂ und Methan ständig wächst, muss mit einer Erwärmung der Erdoberfläche gerechnet werden. Dies wird unter dem Schlagwort *Klimakatastrophe* diskutiert.

Wenn die Erdatmosphäre kein Kohlendioxid und keinen Wasserdampf enthalten würde, dann wäre die Jahresmitteltemperatur um etwa 33°C geringer !
Dabei trägt Wasserdampf zu etwa 2/3, das Kohlendioxid zu etwa 1/3 zur Erwärmung bei.

In den letzten 200 Jahren ist der CO₂-Gehalt von 280 ppm (0,28 Promille) auf 360 ppm durch menschliche Aktivitäten gestiegen.

Bei einer Erhöhung der Mitteltemperatur um ein bis 2 Grad sind folgende Auswirkungen ziemlich sicher vorhersagbar:

- Verschiebung von Trockenzonen Richtung Pol um 100 bis 300 km.
- Höhere Windgeschwindigkeiten (Stürme)
- lokale Verstärkung von Wetterextremen (Dürre und Starkregen)
- Waldschäden im humiden und borealen Klima.

Ob auch eine deutliche Erhöhung des Meeresspiegels, bzw. sogar eine Änderung von Meeresströmungen eintreten wird, ist noch Gegenstand von Diskussionen und Modellrechnungen (GFZ Potsdam).

Gashydrate

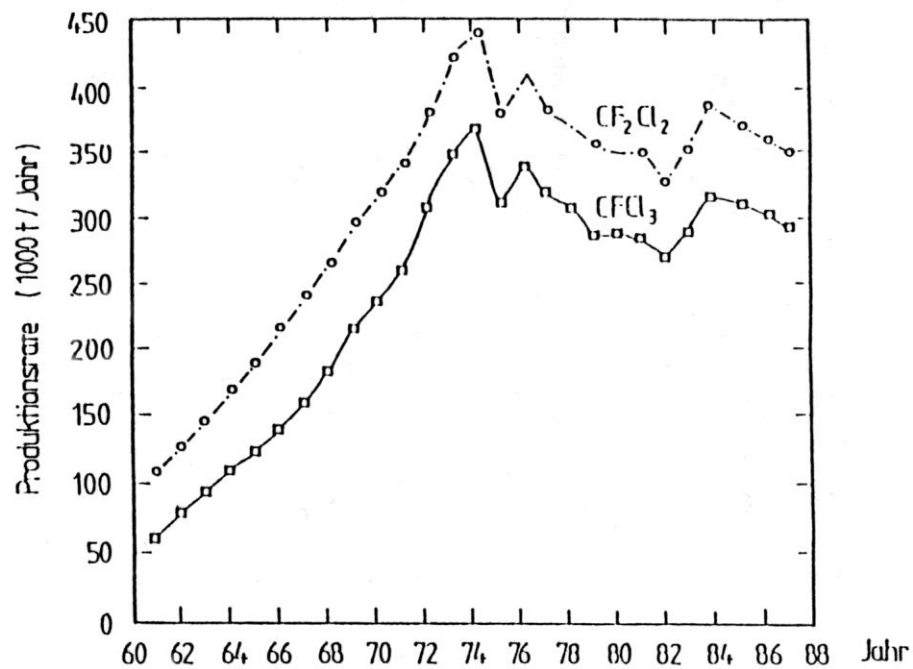
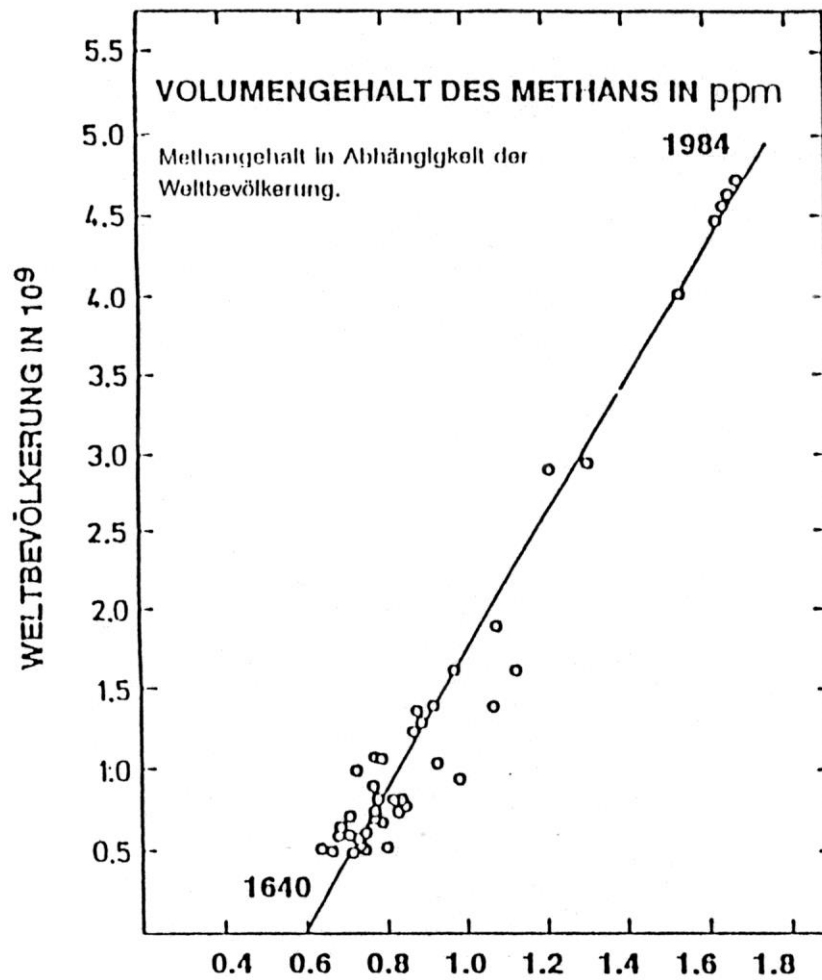
Gashydrate sind feste Stoffe. Bei höheren Gasdrucken kristallisiert Wasser bereits oberhalb 0°C in einer Struktur mit Hohlräumen die teilweise (bis zu 90%) mit kleinen Gasmolekülen gefüllt sind. (Methan, Schwefelwasserstoff, CO₂, niedere Alkane) Die H₂O Struktur besteht, wie im Eis, aus einem kristallographisch definierten Netzwerk von OH₄-Tetraedern. Im Methanhydrat kommen auf ein Methan ca. 6,5 Wassermoleküle. Ein Kubikmeter Methanhydrat (Bei ca. 5°C und 40 bar) wiegt weniger als eine Tonne, das darin gebundene Methan hat bei Normaldruck ein Volumen von 164 Kubikmetern.

An Kontinentalhängen kann Methanhydrat ab etwa 400 m Wassertiefe in Sedimenten bis zu 2 bis 3,2 km Tiefe vorkommen. Das Methan stammt aus der anaeroben Zersetzung von organischen Bestandteilen der Sedimente. In grösseren Tiefen wird durch die geothermische Tiefenstufe das Gashydrat instabil und zerfällt in Methan und flüssiges Wasser. Da Methanhydrat ein Festkörper ist, zementiert es das Sediment und trägt so zur Stabilität des Kontinentalhangs bei.

Gashydrate kommen vor an fast allen Kontinentalrändern, im Mittelmeer, dem Schwarzen Meer und im Baikalsee. Die in Methanhydrat gebundene Menge an Kohlenstoff ist wahrscheinlich grösser als die aller anderen fossilen Energieträger (Öl, Erdgas, Kohle und Torf) – Gashydrate kommen auch in Permafrostböden vor.

Methan in der Atmosphäre ist pro Molekül etwa 30x stärker wirksam als Kohlendioxid in Hinsicht auf die Absorption von IR-Strahlung.. Eine Nutzung von Methanhydraten zur Erdgasgewinnung ist mittelfristig nur in kleinerem Umfang bei Vorkommen in Permafrostböden zu erwarten.

Literatur: G. Bohrmann und W.F. Kuhn: Gashydrate der Meeresböden: Methanspeicher im Ozean. - GMIT Geowissenschaftliche Mitteilungen Nr.23 März 2006 p. 8-18



Jährliche Produktion von CF₂Cl₂ und CFCl₃. (Nach Angaben von 21 Herstellern behelmatet in den OECD-Ländern)

Energie

Definitionen: Die internationale Energieeinheit ist Joule, wissenschaftliche Einheit ist das erg. ($1 \text{ J} = 10^7 \text{ erg}$)

In der physikalischen Chemie wird Energie als Arbeit bezeichnet. - Dagegen ist Leistung = Arbeit pro Zeit. - Leistungseinheit ist das Watt ($1 \text{ W} = \text{J/sec}$) - (1 PS = 735,26 W)

Technisch üblich sind auch einige andere Energie-Einheiten:

Kilowattstunde $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$

Steinkohleneinheit (Brennwert von 1kg Steinkohle) $1 \text{ kg SKE} = 8,14 \text{ kWh}$

Öleinheit (Brennwert von 1kg Erdöl) $1 \text{ kg ÖE} = 11,6 \text{ kWh}$

$1 \text{ m}^3 \text{ Erdgas} = 9 \text{ kWh}$

Wärmemengen werden oft auch in Kalorien angegeben, $1 \text{ cal} = 4,19 \text{ J}$.

Der mittlere jährliche Energiebedarf pro Kopf beträgt in Deutschland z.Zt. ca. 6 t SKE, weltweit schwankt dieser Wert etwa zwischen 0,3 und 11 t SKE.

Primärenergie = Brennwert fossiler Rohstoffe

Endenergie = z.B. Strom , bzw. Wärme im Heizwasser, Treibstoffe

Nutzenergie = tatsächlich genutzte Energie, z.B. Licht, mech. Energie

Auf dem Weg von Primärenergie zu Nutzenergie gehen mindestens 2/3 verloren!

Der weltweite Primärenergie-Verbrauch stieg von 1960 bis 1990 von etwa 5 Mrd.t SKE auf 13 Mrd.t SKE, es wird geschätzt, daß der Wert bis 2050 auf 17 bis 21 Mrd.t SKE steigen wird. (Internationale Verteilung: 50% OECD-Länder, 15% ehemalige Ostblockländer, 35% "Entwicklungsländer")

Der Energieverbrauch international:geschätzt
42% Privat + Kleingewerbe, 31% Industrie, 22% Verkehr.

Verteilung der Endenergie:

Etwa 30% Treibstoffe, 16% Licht + Kraft (Strom), 28% Heizwärme, 27% Prozeßwärme.

Die geschätzte Steigerung des Primärenergiebedarfs für die Zukunft wird praktisch in den "Entwicklungsländern" auftreten. In den Industrieländern + GUS kann der erhöhte Bedarf weitgehend durch verbesserte Energieausnutzung kompensiert werden. - So ist etwa in Deutschland der Energieaufwand pro DM Bruttoinlandsprodukt von 1986 bis 1993 von 2 auf 1,2 kWh/DM gesunken.

Größtes Einsparpotential in Ländern mit gemäßigtem Klima bei Senkung der Heizkosten durch verbesserte Isolierung von Bauten.

In-situ-Kohlevergasung wurde seit den 60er Jahren in den asiatischen Sowjetrepubliken entwickelt. Die australische Firma Lincenergie übernahm das Verfahren in den 90er Jahren und baut eine Anlage in Polen. (Eine in Usbekistan in Betrieb) – Kohleflöze werden angebohrt, entzündet und mit Luft, bzw. Sauerstoff + Wasserdampf versorgt. Das gewonnene Gas enthält $\text{CO} + \text{H}_2 + \text{N}_2$.

Das Gas kann nicht in das Erdgasnetz eingespeist werden (Anderer Brennwert, CO ist giftig!) – Es wird benutzt zum Betreiben von Kraftwerken oder zum Betrieb stationärer Motoren. - Prinzipiell kann daraus auch Methylalkohol oder im Fischer-Tropsch Verfahren Diesel, bzw. Benzin hergestellt werden. (Rationell nur bei Ölpreisen über 120 US-Dollar) **Vorteile:** Es können genutzt werden auch geringmächtige Flöze oder solche in großer Tiefe. **Nachteile:** Die Flöze müssen durch Deckschichten hinreichend isoliert sein vom Grundwassersystem und der Oberfläche. – Nach der Nutzung treten sehr wahrscheinlich Bergschäden ein.

Fracking Bei dieser Technik wird die Umgebung des Bohrlochs im Öl oder Gas führenden Gestein durch Stoßwellen aufgebrochen und so die Wegsamkeit verbessert. Damit die erzeugten Spalten nicht durch den Gebirgsdruck neu verschlossen werden, muß die örtliche Bohrflüssigkeit Quarzsand in Form einer Suspension enthalten. Das wird gewährleistet durch Zusatz von Polymeren (Thixotropie-Effekt), +Tensiden und Biociden. Die Technik wurde in den 50er Jahren auf Ölfeldern in Nahost zur Verbesserung der Ausbeute erprobt und eingesetzt; ebenso bei Erdgasbohrungen in Deutschland in den 60er Jahren. Dabei handelte es sich aber fast immer um senkrechte Bohrungen, die betroffene Landfläche war also begrenzt. Heute können damit sehr tief liegende bituminöse Schiefer erreicht und dann durch waagerechte Bohrungen erschlossen werden. In Mitteleuropa sind dies der Posidonienschiefer im Unteren Jura und einige Formationen der Unterkreide..

Vorteil: Solche Lagerstätten können nur so erschlossen werden.

Nachteile: Das casing (Bohrlochwand) muss im Bereich des Grundwasserleiters und darüber absolut dicht sein, um einen Kontakt mit Methan, Öl oder Bohrflüssigkeit zu vermeiden. Die Biocide und andere Zusätze sind giftig, bzw. biologisch schlecht abbaubar. Das Versprechen der Firmen diese Flüssigkeiten durch Verpressen in ausgebeutete Bohrungen zu entsorgen ist kaum 100%ig zu erfüllen; eine korrekte Aufarbeitung über Tage ist zwar möglich, aber sehr teuer. In den USA sind casing-Defekte in ca. 1 bis 2% der Fälle bekannt geworden. Bei Einzelbohrungen sinkt in drei Jahren der Ertrag um 70 bis 95%. Zur Erhöhung der Ausbeute sind viele waagerechte Bohrungen..notwendig, oft aber auch neue senkrechte Bohrzugänge. Einige höfliche Gebiete in den USA sind mit vielen Bohrungen geradezu übersät. Langfristig sind Senkungen an der Oberfläche nicht auszuschließen.

Diese Technik ist in Frankreich und Italien verboten. – In Deutschland besteht zwar prinzipiell die Möglichkeit für die Zulassung, sie ist aber an Prüfungen durch staatliche Stellen gebunden und nicht möglich für Grundwasserschutzgebiete.

Nutzung von Solarenergie in ariden Gebieten

Eine riesige Menge von Solarenergie steht in den ariden Gebieten der Erde zur Verfügung. Wahrscheinlich ist eine hinreichende Energieversorgung der Menschheit in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts nur durch die mindestens partielle Nutzung dieser unerschöpflichen Resource zu erreichen. In Betracht kommen solarthermische Kraftwerke und Photovoltaik.- Auf der Nordhalbkugel:. Nordafrika (Sahara + Sahelzone), Sinai, Israel+Palestina, Jordanien, Teile von Syrien, Irak und

Persien, die Thar-Wüste in Indien, Teile von Mexiko und der südwestlichen USA. Auf der Südhalbkugel: Grosse Teile von Australien, Teile der Atacama in Südamerika, Namibia, Botswana und die Karoo in der Südafrikanischen Republik. Eine anwendungsreife Technik sind solarthermische Grosskraftwerke nach ca. 25 Jahren Entwicklungszeit und kräftig gefördert durch staatliche Subventionen. (Entsprechende Kraftwerke laufen in Südspanien und den USA) Im Sommer 2009 wurde von einem Industriekonsortium das Programm **desertec** vorgeschlagen: Bau von Dutzenden von entsprechenden Kraftwerken in Nordafrika, Teile des erzeugten Stroms sollten über Gleichstrom-Hochspannungsleitungen bis 2050 ca. 15% des EU-Stromverbrauchs liefern. (Kostenanschlag 400 Milliarden €).

Die Investitionskosten wurden mit 4000 € pro Kilowatt angegeben, dies ist etwa das dreifache konventioneller Kraftwerke und erreicht fast die Investitionskosten von Kernkraftwerken! Es können nur Standorte genutzt werden, die weitgehend frei von Sandstürmen sind, also vorwiegend Kieswüsten und Hochplateaus. Da nur Dampfturbinen vorgesehen waren entsteht ein hoher Bedarf an Wasser für Kühlung. Kritisch sind auch zu bedenken die gesellschaftlich-politischen Bedingungen dieser Länder; es handelt sich de facto ausschliesslich um Diktaturen! Auch nach dem Sturz einiger Diktatoren bleibt die gesellschaftliche Situation extrem unsicher.

Technik: Parabol-Rinnenspiegel fokussieren das gesamte Licht (UV bis IR) auf ein Rohr in der Brennnlinie, ein hochwarmfestes Öl transportiert die Wärme (bis 400°C) ab. In Wärmetauschern wird Dampf für Turbinen erzeugt. Überschüssige Wärme wird in Salzwärmespeicher geleitet und nachts zur Dampferzeugung benutzt. (Ausnützung der Schmelzwärme)

Mögliche Konkurrenz sind Solarturmkraftwerke bei denen Spiegelsysteme das Sonnenlicht allseitig auf einen Wärmefänger auf einen Turm konzentrieren. (In der BRD von 2005-2009 mit etwa 25 Mio. € gefördert) Wahrscheinlicher Vorteil: Kompakter Wärmeträger-Kreislauf ohne bewegliche Leitungsübergänge / Nachteil. Kleinere Energieeinheiten.

Der erhebliche Medienspektakel diene vermutlich mindestens teilweise der rechtzeitigen Propagierung einer Grosstechnik, die mit Recht eine Konkurrenz durch Fotovoltaik und Windkraft in naher Zukunft erwartet. Inzwischen offiziell Ende 2014 der Rückzug des Projekts. (In den USA wird eindeutig schon jetzt der Fotovoltaik der Vorzug eingeräumt) Derzeit (2009) gibt es bei Fotozellen einen Entwicklungswettbewerb zwischen mindestens 5 prinzipiellen Techniken:

Monokristallines Si / polykristallines Si// eine japanische Kombination beider Si-Methoden / extrem dünne Aufdampfschichten aus CdTe oder Sulfiden, bzw. Seleniden von Kupfer, Indium und Gallium (sog. CIS-Technik) / billige, faltbare organische Träger mit org. Fotozellen..

(Übersicht hierzu siehe Spektrum der Wissenschaft 2009 September).

Einwände aus ökologischer Sicht:

Strommonopole (Netz + Grosskraftwerke) behindern dezentrale Anlagen in Europa (Wind, Biogasanlagen, Fotovoltaik) (H. Scheer.- Zementierung der Monopole).- Sinnvoll in Küstennähe bei Kombination mit Meerwasserentsalzung etwa in Saudiarabien, Emirate, Sinai, Akaba + Eilat, Küste des Roten Meeres in Ägypten, in Libyen und küstennahen Standorten in Marokko, dafür sind aber kaum EU- oder nationale Forschungsmittel und Kreditbürgschaften zu bekommen!

Einwände aus ökonomischer Sicht:

In allen Ländern ist Korruption üblich, es muss mit Aufwendungen von mind. 10% der Invest.-Summe gerechnet werden! Notwendig wären auch hinreichend Ingenieure, die Arabisch als Muttersprache sprechen.- Bei einer in den Emiraten gebauten Anlage ergab sich ein Strompreis der weit über den in der BRD derzeit gezahlten Preise lag. Einzelne Gutachten weisen darauf hin, dass ein wirtschaftlicher Betrieb nur zu erreichen ist, falls die Abwärme zur Trinkwassergewinnung aus Meerwasser genutzt wird

Andere Techniken als Dampfturbinen wie Stirlingmotoren sind bislang nicht erprobt worden, sie wären für kleine Einheiten wegen der geringeren Kühlungsprobleme aber vorteilhaft und könnten auch in küstenfernen Gegenden eingesetzt werden.

Sterlingmotor Näheres siehe wikipedia Sterling

Vorteile:

1. Geschlossener Gaskreislauf – Kein Wasser nötig – Keine Verdampfungs-Enthalpie aufzubringen!
2. Extrem Leise
3. Keine chem. Korrosion – Betrieb mit Helium
4. Idealer Wirkungsgrad = $1 - T_{\text{kalt}} / T_{\text{heiß}}$ (T in Kelvin°)

Nachteile:

1. Extreme Anforderungen an präzise mechanische Ausführung und Druckfestigkeit der Zylinder. (α-C, Al-Legierungen)
 2. Hohes Leistungsgewicht (kg pro Watt) und schwierige Regelung der Drehzahl → Nicht brauchbar für Kraftfahrzeuge
-

Nischentechnologien:

Aufwindkraftwerke Leistung ist proportional zu Sammelfläche mal Turmhöhe
Probleme: Staub und starke Stürme

Kaum nutzbar sind **Osmose-Kraftwerke** wegen Algenwachstum

Nutzung von **Wellenkraft** immer wieder propagiert, bislang nur an schottischer Ostküste realisiert. Meist Probleme durch Muschel-Bewuchs und Korrosion.

Gezeitenkraftwerke nur an wenigen Orten möglich

Gentechnik – Biotechnologie

Beide Techniken werden schon seit ca. 10.000 Jahren betrieben:

Züchtung von Tieren + Pflanzen durch bewusste Selektion günstiger Mutationen!

Bearbeitung von Produkten durch Nutzung biologischer Vorgänge: Alkoholische Gärung, Milchsäuregärung (Sauerkraut, Gurken, Silage), Käse usw.

Moderne Gentechnik : Einschleusung von Fremdgenen in DNA durch physikalische oder biologische Verfahren.

Unterscheidung von Biotechnologien:

Rote Biotechnologie zielt auf Produktion von Medikamenten. Oft wird Escheria coli genutzt., neuerdings wird dabei der produzierte Stoff über eine genetisch veränderte Zellwand direkt ins Nährmedium abgegeben. Ausbeuten von 2 bis 11 g pro Liter. Insulinproduktion auf diese Weise ist Stand der Technik!

Grüne Biotechnologie erzeugt genetisch veränderte Pflanzen. Ziel ist meist die Resistenz gegen Schädlinge, bzw. bestimmte Herbizide. Typischer Protagonist ist die Fa. Monsanto mit Gen-Mais, immun gegen den Maiszünzler und das firmeneigenen Herbizid „Roundup“. – Extrem umstritten: Neuerdings eine Unkrautsorte die gegen roundup resistent ist ! - Mais kann sich durch Bestäubung unabsichtlich vermehren, dadurch Genverunreinigung von normalen Mais. (Drohung von Patentverletzung) – Berechtigte Bedenken von Bioproduzenten.

- Die Unschädlichkeit bei Verzehr durch Tier + Mensch ist bislang nicht eindeutig bewiesen. (Intensives Mobbing eines schottischen Wissenschaftlers)- Anders als bei der roten Biotechnologie sind keine langwierigen Tests über mehrere Populationen vorgeschrieben.

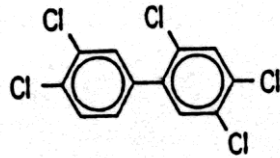
- Monsanto hat das Monopol auf Saatgut + Herbizid. Völlige Abhängigkeit der Landwirte.

Weisse Biotechnologie: Pflanzen werden als Rohstoff nur für die Chemische Industrie genutzt. Nicht zum Verzehr bestimmt. Z. B. Kartoffelsorte Amflora, die hohen Anteil von Amylopektin enthält. – Noch umstritten, falls keine unbeabsichtigte Verbreitung durch Pollenflug möglich ist (z.B. bei Kartoffeln) ist die Nutzung aber sehr wahrscheinlich vernünftig.

Organische Chlorverbindungen:

Polychlorierte Biphenyle (**PCB**) werden als temperaturbeständige Flüssigkeiten zur Wärmeübertragung und Isolierung verwendet.

Typisches Beispiel: Trafoöl. Halbwertszeiten in der Natur: geschätzt zwischen 10 und 100 a. Anreicherung in der Nahrungskette bis zum Faktor 10^4 ! Verursacht Chlorakne, Blutbildveränderungen, ist cancerogenverdächtig. Kein natürliches Vorkommen. Zerstörung durch Oxidation oberhalb 1200° C.

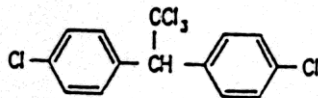


2, 3', 4, 4', 5 - Pentachlorbiphenyl

Chlorkohlenwasserstoffe:

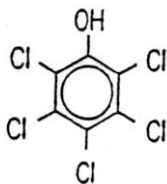
Einfache Chloralkane und Chloralkene haben einen hohen Dampfdruck, werden als Lösungsmittel verwendet (Trichloräthylen/Tetrachlorkohlenstoff) und sind alle Lebergifte. Unter oxydierenden Bedingungen lange Halbwertszeiten in der Natur, unter anaeroben Bedingungen sehr viel kürzer. Leider sind einige Abbauprodukte giftiger als der Ausgangsstoff!

CKWs sind auch einige Pestizide wie **DDT Dichlordiphenyltrichloräthan**.



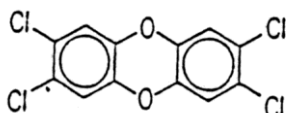
Anreicherung in Nahrungsketten um den Faktor 10^6 ! Über Abbau und Wirkung kleiner Mengen ist biochemisch noch wenig bekannt. Biologische Halbwertszeit wird auf 10 a geschätzt.- Als Ersatz ist Lindan (Hexachlorcyclohexan) heute vorwiegend im Einsatz. Ebenfalls extreme Anreicherung in Nahrungsketten, noch schwerer abbaubar.

Pentachlorphenol (**PCP**)



wirkt fungizid, bakterizid und insektizid, wurde ganz vorwiegend als Holzschutzmittel eingesetzt. Entsteht auch beim Abbau von Hexachlorbenzol, das als Saatgutbeizmittel eingesetzt wird. Hat einen hohen Dampfdruck und breitet sich so überall aus. Da es stark fettlöslich ist, kann es sich in der Nahrungskette anreichern. Vergiftungserscheinungen beim Menschen sind Atemnot, Haut - und Schleimhautreizung, Lähmung, Nierenschäden. In Deutschland ist die Anwendung seit einigen Jahren untersagt.

Als Dioxine werden polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane bezeichnet. Typussubstanz ist **TCDD**



Es entsteht bei der Herstellung eines wirksamen Herbizids als Nebenprodukt. Bekannte Unfälle SEVESO 1976 und Vergiftungen durch massenhaften Einsatz von Entlaubungsmitteln im Vietnamkrieg (agent orange). TCDD ist extrem giftig, wirkt teratogen (keimschädigend) und vermutlich co-cancerogen, d.h. es verstärkt die Krebsbildung anderer Substanzen, akut erzeugt es in grösseren Dosen Chlorakne. Es entsteht auch bei Verbrennungsvorgängen bei Temperaturen unter 1200° C wenn NaCl zugegen ist. Es wird in Sedimenten kaum mikrobiell abgebaut, in Wasser liegt die Halbwertszeit bei 1 bis 3 a. Anreicherung durch extreme Fettlöslichkeit. Entsteht auch beim Verbrennen NaCl-haltiger Substanzen, z.B. von Treibholz.
(Wurde in hohen Konzentrationen in Teerrückständen in Wikingerhütten gefunden!)

Möglichkeit zur Entfernung aus gekühlten Rauchgasen:

Polypropylen (PP) absorbiert bei Temperaturen unter 80° C Dioxine fast quantitativ, bei Temperaturen von über 130° C wird das Dioxin wieder abgegeben!

Die grösste Menge an Cl wird in Form von Vinylchlorid erzeugt, das zu PVC polymerisiert wird. Das Monomere ist giftig, das Polymerisat bei Normaltemperatur harmlos. PVC ist ein sehr guter Kunststoff und wurde viel verwendet. Gefährlich bei der Müllverbrennung, da HCl und bei falscher Temperaturführung in Spuren Dioxine entstehen. Langfristig wird der PVC-Verbrauch deshalb zurückgehen und PVC kontrolliert recycelt werden müssen.

FCKW Bezeichnung für fluorierte Kohlenwasserstoffe, die ausserdem eine C - Cl - Bindung enthalten. Diese Verbindungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie völlig ungiftig sind!

Sie wurden darum etwa ab 1950 in starkem Umfang als Betriebsmittel in Kompressions-Kühlanlagen eingesetzt, später auch als Treibgas für Sprühdosen, bzw. Kunststoffschäume.

Ende der 70er Jahre zeigten sich zwei gravierende Nachteile:

- Bei intensiver UV-Bestrahlung zerfallen FCKWs unter Bildung von Chlor-Radikalen. Dies erfolgt in der Stratosphäre, in einer komplizierten Kettenreaktion wird das Ozon vom Cl-Radikal zerstört.
- Aufgrund ihrer IR-Absorptionsbanden tragen FCKWs erheblich zur Erwärmung der Erdatmosphäre bei.

Alle FCKWs sind chemisch sehr reaktionsträge, über den biologischen Abbau ist relativ wenig bekannt, beobachtet wurde biologischer Abbau bislang nur im reduzierenden Bereich. Alle FCKWs haben niedrige Siedepunkte. - Produktion in den meisten Industriestaaten inzwischen verboten, nicht jedoch die weitere Benutzung und der Import aus GUS oder Drittweltländern!

Chlor wird durch Elektrolyse von NaCl-Lösungen gewonnen, dabei wird zusätzlich NaOH gewonnen. Aus umweltrelevanten Gründen sind die Produktionszahlen seit mehreren Jahren rückläufig, dies hat bereits zu einem Preisanstieg für das Nebenprodukt NaOH geführt.

Müll

Definition: Abfälle bei der Produktion, bzw. im Privathaushalt, die nicht weiterverarbeitet werden und Produkte für die keine Verwendung besteht.

Bis weit ins 19. Jahrhundert stellten Abfälle nur selten bei bestimmten industriellen Prozessen ein Problem dar. Im dörflichen Bereich wurden Abfälle verbrannt, kompostiert oder der Wiederverwendung zugeführt. (Metalle, Lumpen). Im 20. Jahrhundert verschärfte sich das Müllproblem durch folgende Faktoren: Verstädterung der Bevölkerung, Wegfall von Kompostierungsmöglichkeiten und Verbrennung im Haushalt: Gas-, Öl- und Fernheizung, exponentielle Zunahme der Produktion von Gütern (enorme Steigerungen bei Papier, Pappe, Glas, Metallprodukten, Einführung völlig neuer Produkte, wie Plastik, Aluminium), damit entsprechende Steigerung der Abfallmasse im privaten und industriellen Bereich.

Da praktisch alle Produkte nach einer gewissen Gebrauchsdauer zu Müll werden , kann man sagen, dass fast die Gesamtsumme der Produktion der Gesellschaft (zeitlich etwas verzögert) Müll ist.

Durch die Tatsache , daß sich die Gebrauchsdauer eines Produkts in den letzten 100 Jahren eher verringert als verlängert hat, verschärft sich das Problem noch. - Besonders akut wird das Problem in Ländern mit hoher Siedlungsdichte und/oder hohem Lebensstandard.

Im Jahre 1987 fielen laut einem Sachverständigensondergutachten im Auftrag der Bundesregierung insgesamt 243 Millionen Tonnen Müll an. Sie verteilten sich in etwa wie folgt :

25	Millionen t	Hausmüll
32	"	t Produktionsabfälle der Industrie
2,2	"	t nachweispflichtige Sonderabfälle
73	"	t Bergbauabraum (Braunkohlentagebau)

Der Rest bestand aus Bauschutt und Bodenaushub. (Diese Zahlen beziehen sich nur auf die alten Bundesländer!. Wegen verschärfter Bestimmungen dürfte der Wert für nachweispflichtige Sonderabfälle inzwischen grösser sein!)

Im Jahre 2013 fielen 43 Mio t Haushaltsabfälle an; das entspricht etwa 456 kg pro Kopf. Nach einer Schätzung enthielten diese Abfälle 7,5 Mio t Wertstoffe, bzw. 95 kg pro Bundesbürger. Gewonnen im Jahr 2013 wurden immerhin Sekundärrohstoffe im Wert von etwa 14 Mio € aus dem Müll!

Man kann sich Zahlen und Mengen dieser Größenordnung schlecht vorstellen. Rechnet man diese Mengen unter Berücksichtigung der Schüttdichte und des spezifischen Gewichts in Volumen (m³) um und nimmt man an, dass aus diesem Volumen ein Wall gebaut wird, der 10 m hoch und 10 m breit ist, so ergibt sich eine Länge von 1000 km! Das entspricht etwa der Entfernung Basel - Rügen.

Davon wären etwa je 100 km aufgebaut aus Hausmüll, bzw. Industrieabfällen und etwa 10 km beständen aus giftigem Sondermüll.

Das Beispiel zeigt die quantitative Bedeutung des Müllproblems.

Zu bedenken ist ferner, dass nur Bodenaushub und Bergbauabraum allein ein quantitatives Problem darstellen. Schon im Bauschutt können gesundheitsbedenkliche Stoffe enthalten sein (Asbest, Kupferleitungen, Plastik, Teer, Öle usw.).

Ein qualitatives Problem stellen die anderen Müllsorten dar. Dies gilt insbesondere für den sogenannten Hausmüll. Sondermüll muß gesetzlich hinsichtlich des Inhalts deklariert sein. Industrieabfälle entstammen einer gleichartigen, laufenden Produktion, deshalb sollte der Stoffinhalt zeitlich konstant und bekannt sein.

Dagegen ist der Hausmüll geradezu eine unbekannte Größe und einer geordneten industriell - verfahrenstechnischen Verarbeitung ohne vorherige "Vergleichsmässigung" nicht vernünftig zugänglich. Es sind verschiedene Strategien vorgeschlagen worden, um das Problem zu lindern (In Deutschland "Grüner Punkt", Duales System).

1. Vermeidung (Gesetzlicher Druck zur Verringerung der Einwegverpackungen durch Pfandpflicht, Wiederverwendung , bzw. Recycling insbesondere bei Industrieabfällen).
2. Getrennte Sammlung von Müllsorten (Verbesserung der Recyclingrate insbesondere bei Glas, Papier, Eisen, Plastik und Eröffnung der Möglichkeit der Kompostierung für geeignete Teile).
3. Verbrennung (Dies wird häufig von umweltaktiven Gruppen der Gesellschaft abgelehnt).
4. "Geordnete" Deponierung

Unter Fachleuten herrscht dabei Einigkeit, dass in oberirdischen Deponien nur solche Stoffe abgelegt werden sollten, die keine Schadstoffe an das Grundwasser und die Luft abgeben.

Akzeptiert man diese vernünftige Forderung, so ergibt sich ein Problem, dies ist ohne thermische Behandlung des Hausmülls nämlich völlig unmöglich!

Richtig ist, dass ältere Müllverbrennungsanlagen Schadstoffe an die Luft abgeben und die entstehende Schlacke bezüglich ihrer weiteren Verwendungsfähigkeit noch viel zu wünschen übrig läßt. - (Aluminium in Schlacken führt zur Bildung vonWasserstoff!!)

Ausserdem läuft die unregelte Verbrennung in älteren Verbrennungsanlagen in einem weiten Temperatur- und Redox-Intervall ab, dadurch entstehen viele Schadstoffe wie z.B. Dioxine und zu viele Stickoxide. Moderne Anlagen haben diese Fehler nicht, sind aber teuer: Im Jahre 2000 wurden die Kosten der **Müllverbrennung** auf DM 85 bis 200 pro Tonne geschätzt.

Als mögliches, verbessertes Verfahren ist die **Verschwelung** vorgeschlagen worden. Dabei wird der zerkleinerte Müll unter weitgehendem Luftabschluß auf 300° bis 450° C erhitzt. Alle organischen Substanzen gehen dabei in eine lockere kohlige Masse über, es entsteht ausserdem eine große Menge brennbares Gas (Wasserstoff, CO, Methan + andere Kohlenwasserstoffe, Wasserdampf, Essigsäure, CO₂).

Dioxinbildung kann dabei nicht auftreten. Die Gasmenge reicht aus, um die für den Prozess benötigte thermische Energie aufzubringen. Der Schwelrückstand ist keimfrei und trocken, er kann in normalen Kohlekraftwerken oder in speziellen Wirbelschichtöfen verfeuert werden. Vorteil: Mehrere kleinere Schweleinheiten können dem örtlichen Bedarf angepaßt werden, der kohlige Rückstand müßte aber dann zu einer Anlage geeigneter Größe zur Verwertung abgegeben werden.

Fe-Schrott kann magnetisch abgetrennt werden. Das Verfahren ist in Pilotanlagen erprobt, aber bislang kaum im Einsatz. - Einige Großfirmen versuchen dagegen konventionell arbeitende Müll-Verbrennungsanlagen aus ihrer Angebotspalette den Kommunen mit teils unfairen Argumenten und mit Schmiergeldzahlungen zu empfehlen (Köln 2002).

Da auch Abwässer und Rauchgase entsprechend behandelt werden müssen, hätte eine einzige Anlage, die etwa den Großraum Berlin zu entsorgen hätte, zweifellos die Dimension einer mittleren Chemischen Fabrik und also einen entsprechenden Investitionsbedarf!

Zu unterscheiden von Hausmüllverbrennungsanlagen sind

Sondermüllverbrennungsanlagen in denen nicht mehr weiterzuverarbeitende Industrieabfälle, wie Lackschlämme, chlorhaltige Substanzen u. ä. vernichtet werden. Durch geeignete Temperaturführung, Einsatz von Sauerstoff oder mit Sauerstoff angereicherter Luft und geeignete Abgasbehandlung können moderne Anlagen als unbedenklich angesehen werden. (Problem heute meist: Lange Genehmigungsverfahren, Anwohnerproteste.)

Beispiel für historische Entwicklung: "Gegenwärtig wird ein Abfallabgabengesetz diskutiert. Es sieht eine Vermeidungsabgabe von 100,-DM/t für Sonderabfall und 25,-DM/t für andere Massenabfälle vor. Zusätzlich sollen Deponieabgaben von 15 bis zu 100 ,-DM/t erhoben werden." (Angaben von 1991, gegenwärtige Kosten und Abgaben teils schon weit höher!!)

Eine **Deponie**, die organische Stoffe enthält, stellt prinzipiell einen **Bioreaktor** dar. Die organischen Inhaltsstoffe werden durch Mikroorganismen umgewandelt. Als Abbauprodukt entsteht dabei unter anderem Methan. CH_4 ist ein Gas, das erheblich zum Treibhauseffekt beiträgt. Es schädigt im Bodenbereich ausserdem viele Pflanzen. Da es praktisch unmöglich ist, die Deponie völlig gegen Regenwasser abzudichten, entsteht laufend Deponiesickerwasser, das meist Schwermetalle und organische Schadstoffe enthält. Es ist nicht genau bekannt wie lange es dauert, bis alle organischen Stoffe zersetzt sind; Schätzungen liegen bei über 100 a. Die Kontrolle und Bearbeitung des Sickerwassers muß im Fall von toxischen Schwermetallgehalten wahrscheinlich noch länger aufrechterhalten werden! Das Methangas sollte durch Bohrlöcher gefasst und verbrannt werden. (Deponie Wannsee bis 1999: Nutzung des Methans zur Heizung.)

Die größeren Mülldeponien der Nachkriegszeit sind deshalb eine finanzielle Zeitbombe. Die Sanierung, d.h. die nachträgliche Abschottung vom Grundwasser, Sickerwasserfassung, Verbesserung der Abdeckung und eventuelle Gasfassung kostet bis zu 50 Mio. € pro Fall. Die laufenden Kosten danach pro Jahr können etwa 0,5 - 1 Mio. € betragen.

In England sind die Deponiemöglichkeiten inzwischen schon soweit ausgenutzt, daß man dazu übergeht Altdeponien aufzugraben, Schrott magnetisch zu entfernen, den Rest zu verbrennen und erneut zu deponieren. Dabei wird 2/3 des Volumens eingespart.

Tieflagerung

Giftige Abfallprodukte können auch in Bergwerken gelagert werden, in Deutschland vorwiegend in Salzstöcken, z.B. Herfa-Neurode, dort nur rückholbare Zwischenlagerung.! - Stillgelegte Kalibergwerke in Thüringen werden zur Endlagerung genutzt. Eigentlich ist die Endlagerung von brennbaren Abfällen, bzw. von Produkten die brennbare Gase bilden verboten. - Bereits mehrere Unfälle wegen Nichtbeachtung dieser Regelung. - Typisches Einlagerungsprodukt sind Filterstäube. - Geeignet für Stoffe die wegen des Gehalts an giftigen Elementen deponiert werden müssen(As, Cd, Ni.). – Verbesserung der Auslaugungsresistenz durch Einbindung in Zementmatrix oder hydraulisch abbindende Braunkohlenflugaschen. -Toxische organische Substanzen lassen sich vor der Einlagerung durch chemische Reaktionen (Meist Hochtemperaturoxidation) in ungiftige Stoffe umwandeln.

Ein Beispiel für die Zusammenhänge zwischen Technik , Wirtschaft , Politik und Umweltproblemen

Seife wird aus Fett und Soda hergestellt. Bis etwa 1850 wurde Soda aus der Asche von Seetang und Strandpflanzen gewonnen. Hauptexportland war Spanien. Während der Französischen Revolution waren aus politischen Gründen (Seeblockade) keine Einfuhren möglich, es herrschte empfindlicher Mangel an Seife. Daraufhin rief der Wohlfahrtsausschuß dazu auf, ein Verfahren zu entwickeln, das es gestattet, Soda aus Natriumchlorid herzustellen (Meersalz).

1791 gelang es Nicolas Leblanc ein solches Verfahren auszuarbeiten. Es setzte das NaCl mit Schwefelsäure zu Natriumsulfat und Salzsäure um, das Natriumsulfat wurde dann mit Kohle und Kalk geglüht, wobei Soda (Natriumcarbonat) und Calciumsulfid entstand.

Leblanc erhielt eine Belobigung des Wohlfahrtsausschusses. Nach Beendigung der Seeblockade war das Leblanc-Verfahren gegenüber der importierten Tangasche nicht konkurrenzfähig. Leblanc ging in Konkurs und endete 1806 im Armenhospital von St.Denis durch Selbstmord. - 8 Jahre später konnte der steigende Bedarf an Soda nicht mehr durch Tangasche-Importe in die Industrieländer gedeckt werden. Hauptabnehmer war inzwischen die Glasindustrie. Das Leblanc-Verfahren wurde in steigendem Umfang zuerst in England, dann auch in Frankreich und Deutschland zur Sodaproduktion eingesetzt. Anfangs stellten die Abfallprodukte (Salzsäure und Calciumsulfid) ein großes Problem dar. Die Fabrikanten hätten die Salzsäure am liebsten ohne weiteres an die Luft austreten lassen, wenn nicht die Zerstörung des Pflanzenwuchses in der Nähe der Fabriken die Regierung veranlasst hätte hiergegen besondere Gesetze zu erlassen, wie die preußische Alkaliakte 1863.

Erst ein Verfahren zur Herstellung von Chlorkalk (Bleichmittel in der Tuchindustrie) sorgte ab 1866 für den Verbrauch der Salzsäure.

Ebenso konnte man das Calciumsulfid nicht im Freien lagern, da sich an feuchter Luft langsam Schwefelwasserstoff bildete; Schwefelwasserstoff riecht nicht nur

unangenehm nach faulen Eiern, er ist auch erheblich giftiger als Blausäure! - In England baute man besondere Schiffe, mit denen man das Calciumsulfid aufs offene Meer transportierte und dort versenkte. Erst etwa 30 Jahre später entwickelte man ein Verfahren zur Produktion von Schwefelsäure aus dem Calciumsulfid.!!

1863 betrug die Weltproduktion an Leblanc-Soda 300.000 Tonnen, die Produktion aus spanischer Tangsoda war völlig zum Erliegen gekommen.

1838 ließen sich zwei Engländer ein Verfahren zur Sodaherstellung aus Natriumchlorid, Kohlensäure und Ammoniak patentieren. Da Ammoniak grosstechnisch jedoch nicht verfügbar war, wurde das Verfahren erst ab 1865 angewendet, als durch die steigende Leuchtgasproduktion genügend Ammoniak zur Verfügung stand und durch Kautschuk eine hinreichende Dichtung der Anlage möglich war. Dieses von Ernest Solvay verbesserte Verfahren ist energetisch und deshalb auch kostenmäßig günstiger, als der Leblanc-Prozeß und verdrängte bis zum Beginn des Ersten Weltkrieges den Leblanc-Prozeß völlig. Solvay wurde ein reicher Mann und der Gründer eines der größten Chemiekonzerne des späten 19. Jahrhunderts.(Dupont) 1914 wurden weltweit etwa 3 Millionen Tonnen Solvay-Soda erzeugt. - Beim Solvay-Prozeß fällt als einziges Abfallprodukt Calciumchlorid an, das über Abwässer und die Flüsse ins Meer geleitet wird.

Schlussfolgerungen:

1. Staatliche Maßnahmen und Gesetze zum Umweltschutz gab es schon in frühindustrieller Zeit; sie zwingen meist die Industrie zur Entwicklung verbesserter Verfahren. Häufig, aber nicht immer, sind diese verbesserten Verfahren selbst für die Industrie ökonomisch günstiger als die alten Prozesse.

2. Es gibt keine Technik ohne Abfälle!

3. Normalerweise setzt sich die kostengünstigere Technik durch, siehe Solvay - kontra Leblanc - Prozeß. Nur in politischen Ausnahmesituationen kann dies anders sein. –

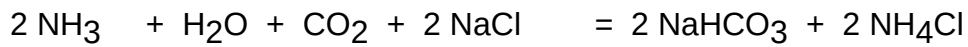
Historische Beispiele hierfür sind die Herstellung von Benzin und Diesel aus Kohle in Nazideutschland und während der Apartheid in der Südafrikanischen Republik. (Wegen des Ölboykotts gegen die Südafrikanische Republik.) Aluminiumgewinnung aus Ton in Nazideutschland.

4. Ein Verfahren wird erst anwendbar, wenn zusätzlich zur prinzipiellen Erkenntnis sowohl die Rohstoffe zur Verfügung stehen, als auch die Apparaturen konstruiert werden können. - Erste Versuche zur Herstellung von Soda nach dem Solvay - Verfahren scheiterten an mangelnder Dichtigkeit der Apparate. Erst die Entwicklung von Kautschuk brachte hier den Durchbruch.- Die Gasturbine wurde Mitte des 19. Jahrhunderts erfunden; sie ist energetisch günstiger als der Verbrennungsmotor, konnte aber nicht gebaut werden, da es damals keine Werkstoffe gab, die genügende Festigkeit bei hohen Temperaturen aufwiesen.

Leblanc - Prozess



Solvay - Prozess



Spezielle Recyclingprobleme

Beim Recycling von Abfällen muss die Summe = (Recycling-Kosten minus Verkaufserlöse) kleiner sein als mögliche Deponiekosten.

Salzschlacke: Beim Einschmelzen von Al-Schrott wird die Schmelze mit NaCl abgedeckt. - NaCl wird in Wasser gelöst, Rest = Salzschlacke. - Problem:

Die Schlacke enthält fein verteilt: Al, Al-Carbid, Korund, Spinell, Glas, MnS, sowie Si, und Phosphide + Sulfide des Al. Bei Berührung mit Wasser entwickeln sich Phosphorwasserstoff, Schwefelwasserstoff + Methan.(Selbstentzündung) - Probleme der Vermarktung der Reststoffe.

Altreifen werden meist in Zementrohröfen als Heizzuschlag verbrannt. An Recyclingverfahren wird geforscht. Probleme: Schlecht zu zerkleinern - Enthalten Gewebe, bzw. Draht, Russ, amorphe Kieselsäure und Schwefel.

Altbatterien + Kleinakkus: Enthalten: Zn, Cu, Edelstahl, Manganoxide, Zinkchlorid, Cadmium, Hg, Ag, Li und Li-Salze, Kohle, Plastik. - Mehrere Verfahren wurden vorgeschlagen, keines ist wirtschaftlich, da nicht genügend Mengen zur Verfügung stehen. Erst eine jahrelange EU-weite Sammlung mit Pfandpflicht würde genügend Mengen für eine wirtschaftliches Recycling aufbringen.

Beim Einschmelzen von Eisenschrott entsteht ein Flugstaub der neben Eisenoxiden noch Oxide von Zink, Mangan, Titan, Aluminium, Zinn und leider manchmal etwas Cadmium und Blei (Früher Mennige als Rostschutzfarbe) enthält. Die Rückgewinnung des Zn ist bislang nicht vernünftig gelungen, da ein Teil des Zn als Gahnit, also als Zn-Al-Spinell vorliegt und darum unlöslich in Säure ist.

Elektronikschrott ist im Prinzip ein wertvoller Rohstoff; der Cu-gehalt ist höher als der von konventionell abgebauten Kupfererzen, zusätzlich enthält das Material interessante Mengen an Gold, Zinn, Tantal. - Nachteile: Gehalte von Brom, bzw. Chlor im Kunststoffanteil - Früher Glas durch Monitore, neuerdings Flachbildschirme, d.h. die Zusammensetzung ändert sich, Aufarbeitung lohnt nur falls genügend Mengen über viele Jahre in gleichbleibender Zusammensetzung zur Verfügung stehen. - Ein amerikanischer Bergbauexperte hat vorgeschlagen allen Elektronikschrott der USA in einem aufgelassenen Tagebau zu sammeln und die Aufarbeitung erst vorzunehmen, wenn genügend Masse angesammelt ist (In ca. 25 Jahren). Derzeit immer noch Export in Entwicklungsländer, dort Schrottverwertung von Hand, Reste auf Deponie mit Umweltfolgen.

Versuche zur Umwandlung „minderwertiger“ organischer Substanzen in Treibstoffe

gibt es seit 100 Jahren. Schon 1902 zeigten Sabatier + Senderens, dass sich ein Gemisch von CO und Wasserstoff bei 250°C durch einen Ni-Katalysator exotherm zu Methan + Wasser umsetzen lässt. . - 1913 gelang Bergius die Druckhydrierung von Torf und Braunkohle, das Verfahren wurde in den 20er Jahren technisch genutzt (450°C/200bar). 1924 setzten Fischer + Tropsch Wassergas (CO + H₂) bei niedrigem Druck zu Kohlenwasserstoffen um. Während des 2. Weltkriegs wurden in Deutschland pro Jahr ca. 600.000 t Treibstoff so erzeugt. Aus CO + Wasserstoff lässt sich auch leicht Methanol erzeugen.-

In den 90er Jahren bauten VEBA und BASF in Schwarze Pumpe eine Anlage, die Kunststoff-Abfälle, Holz und andere Abfälle zu Methanol umsetzte. (2004 wegen mangelnder Förderung in Insolvenz gegangen).

Nach einem amerikanischen Verfahren (Conagra) lassen sich alle organischen Substanzen (Schlachtabfälle) weitgehend in vermarktbare Produkte umsetzen: Nach Zerkleinerung und Mischung mit Wasser wird auf ca. 300°C erhitzt (ca. 100 bar), es folgt eine plötzliche Entspannung des Drucks (Platzen von Zellen) und eine Fraktionierung + Crackung bei 500°C. Die Ausbeute an brennbarem Gas deckt den Energiebedarf, sonst entstehen KWs + Kohle.- Das Verfahren ist schwierig zu beherrschen bei wechselnden Gehalten an Halogenen. Der Preis der KWs liegt ca. beim 2-fachen von Erdölprodukten (ca. 150 US-Dollar)., aber beim Vergleich mit Kosten der Müllverbrennung ist das Verfahren u. U. konkurrenzfähig.

Fazit: Technisch machbar, aber beim gegenwärtigen Erdölpreis nicht wirtschaftlich.

Entfernung von organischen Spurensstoffen aus Trinkwasser.

Es ist damit zu rechnen, dass zunehmend Spuren von Pestiziden und Antibiotika in Trinkwasser auftreten werden (Herkunft aus Landwirtschaft und Massentierhaltung). Prinzipiell ist es möglich solche Substanzen durch Oxidation mit Ozon oder Wasserstoffsuperoxid zu entfernen. - Gegenwärtige Forschungen: Das Wasser wird in dünner Schicht über ein mit TiO_2 bedampftes Kieselglas geleitet, das von der anderen Seite mit UV bestrahlt wird. - Mögliche Verbesserung durch UV produzierende LEDs die direkt in die Lösung eintauchen + Einbindung des Anatas in eingetrocknetes Kieselgel auf Betonoberfläche.

Als **Asbest** werden faserförmige Minerale bezeichnet. Zwei Sorten: Chrysotil, bzw. Hornblende./ Chrysotil ist ein Zweischicht-Mg-OH-Schichtsilikat in Röllchenform von grau-weißer Farbe./ Krokydolit, bzw. Amosit sind NaFe-Amphibole, Farbe blau, bzw. braun..

Gefährlich sind Fasern mit Durchmessern unter $5\ \mu\text{m}$ und einem Verhältnis Länge zu Durchmesser von 3 und mehr. Solche Fasern können von Makrophagen nicht umschlossen und Richtung Bronchialepithel abtransportiert werden. Auch andere Fasern dieser Dimension sind gefährlich, falls sie nicht durch Makrophagen abbaubar sind. Als Folge von Alveolenverletzung kann eine Vernarbung des Lungengewebes auftreten, beim Wandern der Fasern im Körper Mesotheliom (Krebs des Lungenfells) bzw. Bauchfellkrebs. Zwischen der Belastung und der Erkrankung können Zeiträume von bis zu 30 Jahren liegen. – Die Gesundheitsgefährdung ist seit den 30er Jahren bekannt. Die Verwendung von Asbest wurde in Deutschland erst 1993 verboten.

- Auf kaum einen anderen Gebiet so intensiver Lobbyismus der Industrie, aber auch soviel Überreaktion von seiten der Öffentlichkeit.
-

Umweltschutzmaßnahmen im Spannungsfeld von Politik und Industrie

Es ist unmöglich alle hinsichtlich Umweltschutz wünschbaren Maßnahmen gleichzeitig und gleichwertig in Angriff zu nehmen! Dies ist auch von den führenden Industrienationen nicht finanzierbar. Außerdem ist es notwendig, mindestens bei den Maßnahmen zu den Themen "Klima" und "Ozonloch", die Maßnahmen international zu organisieren.

Es müssen also Prioritäten gesetzt werden. Bei der Diskussion hierüber versuchen insbesondere Industrielobbyisten eigene Interessen durchzusetzen, da ihnen genügend Geld zur Verfügung steht, teilweise mit erstaunlichem Erfolg. Noch erstaunlicher ist höchstens der meistens erschreckend miserable Informationsstand bei Politikern und Journalisten.

Nach Festlegung einer Priorität ist sozusagen das Ziel bestimmt; es beginnt nun in aller Regel eine erneute Diskussion auf welchem Weg ein solches Ziel erreicht werden soll. Praktisch kommen fast nur legislative Maßnahmen in Betracht. (Gesetze, Verordnungen Internationale Abkommen). - **Verbote** sind nur sinnvoll, wenn sie kontrollierbar sind und Verstöße mit hinreichend hohen Strafen geahndet

werden, d.h. die Strafe muß den durch den Verstoß erzielbaren wirtschaftlichen Vorteil deutlich überschreiten.

Langfristig sind wahrscheinlich am geeignetsten solche Maßnahmen, die umweltfreundliche Produktionsweisen, bzw. entsprechendes Verhalten, wirtschaftlich begünstigen. Dabei ist aber zu bedenken, daß solche Maßnahmen bei der Industrie oft kurzfristig nicht greifen, da die vorhandenen Anlagen aus wirtschaftlichen Gründen nicht abgebaut oder umgerüstet werden können..

Eine Massnahme die erstmalig in Japan für Luftschadstoffe in Rauchgasen praktiziert worden ist, stellt das Lizenzverfahren dar. Dabei erhalten einzelne Betriebe eine Lizenz zur Schadstoffemission. Der Preis wird progressiv angesetzt, d.h. es wird pro Jahr immer teurer, die Lizenzen dürfen gehandelt werden. Dieses Verfahren hat sich in Japan bei der Verringerung der Schwefeldioxid-Emission sehr gut bewährt; viel schneller als erwartet wurden die Emissionen durch Einführung neuer Techniken radikal gesenkt. – Ein ähnliches Verfahren wird weltweit bei der Reduzierung der Kohlendioxidemission im internationalen Rahmen angestrebt und ist sehr umstritten da durch Lobbyismus meist zu industriefreundlich. Die Lizenzen wurden so anfangs ohne Zahlung durch die Betriebe vergeben !.

Relativ einfach zu bestimmen ist, welche Maßnahme die Priorität Eins bekommen sollte: FCKWs zerstören die stratosphärische Ozonschicht, dadurch bedingte, erhöhte UV-Strahlung kann Menschen, Pflanzen und Tiere schädigen, die Folgen sind unabsehbar. Außerdem tragen FCKWs mit etwa 20% Anteil zum anthropogenen Treibhauseffekt bei. Deshalb sollte schleunigst die Produktion von allen organischen Verbindungen eingestellt werden, die Chlor und Fluor im gleichen Molekül enthalten und flüchtig sind. Dies betrifft auch einen Teil der gegenwärtig von der Industrie diskutierten und erprobten Ersatzstoffe! - Einen wesentlichen Anteil an den auf diesem Gebiet bislang erzielten Fortschritten in Industrieländern hatten PR - Kampagnen von Greenpeace.

Mittelfristig realisierbar in den Industrieländern sollte auch eine starke Einschränkung der Verwendung der hochgiftigen Schwermetalle Quecksilber und Cadmium sein. Hier hat die Industrie in Voraussicht kommender gesetzlicher Beschränkungen in den letzten 50 Jahren die Emissionen schon radikal vermindert. Das Ziel sollte eine Beschränkung des Einsatzes dieser Metalle auf Produkte sein, die recycelbar sind und bei denen das Recycling durch Pfandpflicht (Batterien, Akkus) wirtschaftlich mit Anreizen belohnt wird.

Ein erhebliches Problem stellt in vielen Teilen der Welt die Wasserversorgung dar. Mit weiter zunehmender Weltbevölkerung wird dies in einigen Regionen sogar ein existenzbedrohendes Problem werden. (z.B. Nah-Ost- Region).

In Teilen der Industrieländer werden Grundwasservorräte durch Technikfolgen bedroht, Grundwasserabsenkung durch Braunkohlentagebau, Kontaminationen durch Mülldeponien und andere Altlasten, Nitratbelastung durch Düngemittel, Pestizide + Antibiotika.

In den sog. " Entwicklungsländern " fehlt es in vielen ländlichen Gebieten überhaupt an einer hygienisch vertretbaren Trinkwasserversorgung. Das gleiche gilt für viele der rasch wachsenden Städte dieser Länder. In den äußeren Elendsbezirken ist

meist schon jetzt die Wasserversorgung nicht hinreichend gewährleistet. (Beispiel: Die Choleraepidemie in Peru 1991/92) Schlagwort "Favela-Syndrom"

Ein Umdenken müßte auch in Bezug auf die sog. "Entwicklungshilfe" stattfinden. Diese Hilfe wurde bis etwa 1970 unter dem Verständnis bewilligt, dass die Staaten der 1. Welt den Staaten der 3. Welt helfen, damit diese eines Tages den gleichen Lebensstandard erreichen wie die Geberländer. Wir wissen heute, dass schon bei ernsthafter Annäherung an dieses Ziel, ohne entsprechende Änderung der Produktionsprozesse und des Energieverbrauchs, das Ökosystem Erde soweit geschädigt würde, daß dies eine Katastrophe für die gesamte Menschheit zur Folge hätte.

Als Ziel kann heute nur noch angestrebt werden der Bevölkerung dieser Länder ein menschenwürdiges Leben zu ermöglichen, ohne Hunger, ohne Seuchen, mit hinreichender Behausung, Bekleidung, Bildung, Gesundheitsversorgung und Arbeit; das Ganze in Eigenverantwortung der entsprechenden Länder. Da viele Länder der sog. 1. Welt diese Ziele nicht einmal für Teile der eigenen Bevölkerung annähernd erfüllen können, bzw. wollen, muss bezweifelt werden, daß dieses Ziel durch "Entwicklungshilfe" erreichbar ist.

Die Regierungen der Industrieländer sollten aber wenigstens Abschied nehmen von der bisher geübten Praxis die Entwicklungshilfe als indirekte Subvention für die eigene, nationale Industrie zu benutzen, bzw. sie unter das Primat der Außen- und Wirtschaftspolitik zu stellen. Ca. 8% der "Entwicklungshilfe" Deutschlands kam der VR China zugute (2003), ebenso steht in den USA bei den Empfängerländern Israel in einer Spitzenposition! - Im Durchschnitt werden 0,2 % des Bruttosozialprodukts der hochentwickelten Industrieländer für Entwicklungshilfe aufgewendet. Global sind das etwa 50 Milliarden US \$, also knapp soviel wie die BRD pro anno für den Aufbau Ost aufbringt!! – Etwa ein Drittel der Aufwendungen der EU für Katastrophenhilfe und Entwicklung wurde bis 2003 von Deutschland aufgebracht; zeitweise konnte davon ein nicht unbeträchtlicher Teil wegen der unverhältnismässig schwerfälligen Verwaltung nicht ausgegeben werden!

Beispiele für sinnvolle Entwicklungshilfe im ländlichen Bereich wären:

Robuste Wasserpumpen mit Solar-, bzw. Windkraftantrieb - Lokale Stromversorgung im ländlichen Bereich durch Solar- u. Windenergie. Robuste Kleintraktoren.

Aufbau von Industrien im Entwicklungsland für dortigen Bedarf: Baustahlproduktion auf Schrottbasis - Zementproduktion aus lokalen Rohstoffen für den regionalen Bedarf.

Industrieprodukte speziell für Entwicklungsländer: Produktion von Kfz ohne überflüssige Elektronik, die stabil sind und mit normalem Werkzeug repariert werden können. - Robuste, billige Fahrräder und Mopeds. - Strassenbau unter Einsatz einheimischer Arbeitskräfte.

Solche Produkte, bzw. Anlagen müssten speziell für den jeweiligen Zweck konstruiert werden. (robust, wartungsfreundlich, notfalls dafür etwas weniger effektiv als entsprechende Techniken für Industrieländer). Sie müssten so konstruiert sein, dass sie auch im tropischen Klima, bzw. bei hoher Staubbelastung einsatzfähig sind und sie müssten schließlich in großer Zahl für viele Länder geliefert werden, um den Stückpreis niedrig zu halten. - Von wenigen Ausnahmen abgesehen, werden solche

Massnahmen in den Industrieländern nicht einmal erwogen! (Ausnahme Chinesische Fahrräder für Afrika.)

Kernenergie (Grundlage für Diskussion im Seminar)

Spaltbare Isotope haben die Eigenschaft nach Einfang eines "thermischen" Neutrons in zwei Kerne zu zerfallen. Die Tochterkerne sind radioaktiv, in der kurzfristigen Stoffbilanz der Zerfallskette treten im Mittel 2,5 Neutronen und eine Massendifferenz von etwa 0,22 auf.

Diese Massendifferenz tritt zu etwa 90% als Wärme und 10% als β - und Gamma-Strahlung auf. (Die Wärmeproduktion von 1 kg spaltbarem Material ist etwa so gross wie der Heizwert von 2500 t Kohlenstoff.) – **Etwa 7% der Energie tritt durch den Weiterzerfall der Spaltprodukte mit so grosser zeitlicher Verzögerung auf, dass eine Nutzung im Reaktor nicht möglich ist!!**

Die Tochterkerne verteilen sich über die Ordnungszahlen 34 (Se) bis 68 (Er).
(Hauptbestandteile: Seltene Erden, Zirkonium, Molybdän, Cäsium, Barium, Strontium, Ruthenium, Palladium und Technetium.)

Spaltbare Isotope sind insbesondere U 235 (Zu 0,7% in Natururan enthalten) und Pu 239, das durch Neutroneneinfang aus Uran 238 im Kernreaktor gebildet wird.

Da mehr Neutronen pro Zerfall freierwerden, als pro Zerfall benötigt werden, kann eine Kettenreaktion eintreten:

Ungebremste Kettenreaktion = Atombombe (Ablauf in Bruchteilen einer Sekunde, Neutronendichte nimmt Lawinenartig zu.)

Kontrollierte Kettenreaktion = Kernreaktor (Neutronendichte bleibt gleich)

Die Steuerung der Kettenreaktion im Reaktor ist möglich durch drei Faktoren:

1. Verlangsamung durch verzögerte Neutronen. Etwa 0,7 % aller Neutronen werden erst durch Zerfallsreaktionen der Tochterkerne mehrere Sekunden später frei.

2. Steuerung durch Neutronenabsorption. (Bor, Kadmium in Form von Steuerstäben)

3. Selbstregulierung durch Temperatureinfluss (Mit steigender Temperatur nimmt der Vermehrungsfaktor ab. Der Vermehrungsfaktor ist das Verhältnis der Neutronendichte in zwei aufeinanderfolgenden "Generationen".)

Da vorwiegend langsame, "thermische" Neutronen zur Spaltung führen, werden im Reaktor die schnellen Elektronen durch "Moderatoren" gebremst. Moderatoratome sind: H, D und C bzw. Be.

Nur etwa 70 - 80 % des spaltbaren Materials sind nutzbar, da einige Spaltprodukte wie Xenon einen so hohen Neutroneneinfangquerschnitt haben, daß die Kettenreaktion zum Stillstand kommt.

Ein sehr großer Anteil der Wärmeproduktion tritt erst verzögert beim radioaktiven Zerfall der Tochterkerne auf, deshalb muß ein Reaktor auch nach Unterbrechung der

Kettenreaktion (durch volles Einfahren der Steuerstäbe) noch gekühlt werden, sonst heizt er sich weiter auf, bei etwa 800°C reagiert die Zirkalloy-Legierung der Brennstabhülle mit Wasserdampf unter Wasserstoffentwicklung, das spaltbare Material schmilzt bei ca. 2200°C. Dabei würden erhebliche Anteile der Spaltprodukte gasförmig und als Schwebstoffe freigesetzt.

(core melt = Größter anzunehmender Unfall = GAU)

Dies trat beim Tschernobyl-Reaktor 1987 infolge einer Konstruktionsänderung + mangelnder Information der Bedienungsmannschaft in einer Extremsituation während eines Tests ein.-

Wichtigster Grund für Ablehnung von Kernenergieerzeugung:

Bei Totalausfall der Energieversorgung eines Reaktors mit Strom durch Sabotage oder Unfall tritt innerhalb von Stunden ein GAU ein. (Gilt für alle derzeit existierenden flüssigkeitsgekühlten Reaktoren!)

Die "abgebrannten" Brennstäbe eines Reaktors haben bei der Entnahme eine Aktivität von etwa $0,5 \times 10^6$ Curie/t, d.h. sie sind fast so radioaktiv wie reines Radium! Sie werden daher im Kernkraftwerk für eine gewisse Zeit (2 bis 50 a) in Abklingbecken unter Wasser aufbewahrt. - Ausser den Spaltprodukten, dem Uran 238, dem nicht umgesetztem Spaltisotop U 235 und dem durch Neutroneneinfang aus U 238 gebildetem Plutonium 239 enthalten die Brennstäbe noch andere Pu-Isotope, Np 237, Am 243 und geringe Mengen anderer Transurane (Curium); diese sind praktisch alle α -Strahler. (Gesamtmenge der Transurane etwa 1% der Masse)

Radioaktive Isotope können nicht vernichtet werden. (Ausnahme: Transmutation, aber extrem teuer) Man muß den natürlichen Zerfall abwarten:

Nach 10 Halbwertszeiten ist noch $1/1000$ der ursprünglichen Menge vorhanden, nach 20 Halbwertszeiten der 10^{-6} Teil.

Halbwertszeiten einiger Nuclide in abgebrannten Brennstäben

Nuclid	T 1/2
Sr 90	28,5 a
Cs 137	30,17 a
J 129	$1,57 \times 10^7$ a
Pu 239	24110 a
Np 237	$2,1 \times 10^6$ a
Am 243	7370 a
Tc 99	$2,1 \times 10^5$ a
Zr 93	$1,5 \times 10^6$ a
Tritium 3	12,3 a (Gas!)
Kr 85	10,8 a (Gas!)

Man müßte eigentlich die abgebrannten Brennstäbe etwa 100 a zwischenlagern und dann den radwaste so lagern, dass er für mindestens 0,5 Millionen Jahre sicher vom

biologischen Kreislauf getrennt bleibt! (Kein Kontakt mit Grund- oder Oberflächenwasser)

Es gibt hierfür zwar zahlreiche Vorschläge, bislang wurde aber keine Tonne Material dieser Art derart bearbeitet und gelagert, alle hochaktiven Abfälle der Kernenergienutzung sind derzeit provisorisch zwischengelagert. (Dabei ist die Bezeichnung provisorisch in vielen Fällen, insbesondere bei Anlagen in der ehemaligen Sowjetunion, aber teils auch in den USA und England eine freundliche Umschreibung für eine verantwortungslose Schlamperei!)

Maßeinheiten für Radioaktivität und ihre biologischen Wirkungen

Curie = $3,7 \times 10^{10}$ Zerfälle pro Sekunde (Entspricht 1g Radium 226)

Bequerel = 1 Zerfall pro Sekunde

Für eine gegebene Menge eines Isotops läßt sich die Radioaktivität über die Halbwertszeit und das Atomgewicht errechnen. - Damit ist noch nichts ausgesagt über die physikalische, bzw. biologische Wirkung, da Curie, bzw. Bequerel nichts aussagen ob beim Zerfall α , β oder Gammastrahlung auftritt und welche Energie die Strahlung hat!!

Wirkungen werden über ihre Ionisierungsleistung bestimmt.

1 Röntgen (R) ist diejenige Dosis einer Gammastrahlung, die durch Ionisierung bei der Absorption in 1 g Luft 84 erg, bzw. in 1g Wasser 94 erg erzeugt.

radio absorbed dosis = rad / 1 rad ist die Dosis einer beliebigen Strahlung durch die in 1 kg des bestrahlten Stoffes die Energie 0,01 Watt absorbiert wird.

Später Einführung einer neuen Einheit **Gray (Gy) = 100 rad**

Trotz gleicher Ionisierungsleistungen haben verschiedene Strahlungsarten unterschiedliche biologische Wirksamkeit, besonders α -Teilchen und Neutronen haben eine bis zu 20fach stärkere biologische Wirkung!

Durch Multiplikation von rad mit strahlungsspezifischen Faktoren entsteht = rem (roentgen equivalent man)

1 rem ist die Dosis einer Strahlung, welche die gleiche biologische Wirkung hervorruft wie 1 rad harter Gammastrahlung.

Später Einführung einer neuen Einheit **Sievert (Sv) = 100 rem**

Um im Wirrwar zurecht zu finden gibt es zwei Faustregeln:

1 Curie erzeugt in 1m Abstand innerhalb einer Stunde die Dosis 1 Röntgen.

Für Gammastrahlen gilt bei Einwirkung auf biologisches Gewebe:

1 Röntgen entsprechen etwa 1 rad, bzw. 1 rem.

α -Teilchen sind außerhalb des Körpers wegen ihrer kurzen Reichweite in Luft ungefährlich. - Bei Inkorporation oder Inhalation des α -Strahlers sind sie wegen der bis zu 20fach höheren Wirksamkeit extrem gefährlich.

Noch gefährlicher sind Neutronen die effektiv nur durch Wasser gebremst, bzw. absorbiert werden. Darum im organischen Gewebe starke Schädigung. Neutronen durchqueren auch Metalle fast ungebremst! (Ausnahmen: Cd, B, Gd.)

Technik – Trends - Prognosen

Regierungen, Internationale Organisationen, Firmen und andere Organisationen neigen dazu von Zeit zu Zeit sogenannte Experten damit zu beauftragen zukünftige Entwicklungen zu beurteilen. Dabei geht man von einer Bestandsaufnahme aus (Entwicklung in der jüngeren Vergangenheit bis zur Gegenwart) und versucht unter Berücksichtigung von Randbedingungen (Politischer und wirtschaftlicher Art) zukünftige Entwicklungen abzuschätzen. – Dabei ist dann in der Regel die Bestandsaufnahme relativ seriös, die Prognostizierung erweist sich aber meist als Unsinn, da die Randbedingungen schlecht zu schätzen sind.

Zitat Stanislaw Lem: „Die Voraussage der *politischen* Zukunft der Welt ist ebenso unmöglich, wie die Voraussage des Ablaufs einer erheblichen Anzahl von Simultanschachspielen, deren Resultate die nächste „Generation von Spielern“ bestimmen werden. Allein die Trends der Grundlagenforschung lassen sich in ihren Hauptrichtungen voraussagen.“ –

Zahlreiche Beispiele im Kleinmaßstab belegen das täglich: Olympische Spiele, Tennisturniere, Fußballtoto, langfristige Wetterprognosen, aber vor allem die Geschichte selbst.

Zusätzliche häufige **Fehler:**

- Tendenz zur **linearen Extrapolierung**.
- **Unterschätzung** beim Einfluss zukünftiger naturwiss.-technischer Innovationen
- ¹**Überschätzung** der Möglichkeiten der Weiterentwicklung von begonnenen techn. Entwicklungen (z.B. Kernfusion) -

F+E ist die Abkürzung von Forschung und Entwicklung (research+development)

Forschung zielt auf Erkenntnisgewinn, als Entwicklung versteht man alle Schritte zwischen Forschungserkenntnis und technisch-industrieller Anwendung (Produktion). Die beiden Bereiche sind oft schwer voneinander abzugrenzen. Da technische Fortschritte in der Tat volkswirtschaftlich interessant sind, neigen Politiker und Behörden dazu F+E-Vorhaben gegenüber reiner Grundlagenforschung bei der Forschungsförderung zu bevorzugen.

Deshalb werden heute Anträge auf Forschungsförderung. sehr oft als F+E deklariert. Da die Genehmigungsinstitution oft nur ungenügende Sachkenntnis besitzt und die Fachgutachter „ein Auge zudrücken“, werden auch Anträge genehmigt bei der eine technische Anwendung allenfalls eine sehr schwache Hoffnung oder pure Fantasie ist. (In den USA wurden seit den 60er Jahren viele Forschungen, auch im Bereich der Geowissenschaften, auf diese Weise aus dem Rüstungsetat gefördert.)

Bei jedem Förderungsantrag besteht ein Problem für die Genehmigungsbehörde: Für die Bearbeitung entsteht bürokratischer Aufwand u.a. durch eine notwendige Kontrolle (Rechnungsprüfung u. Erfolgskontrolle, Gutachten) Um diesen Aufwand zu begrenzen, werden Anträge die auf große oder mittelgroße Summen lauten gegenüber sehr kleinen Summen bevorzugt. Dieses Problem trat zuerst auf bei Anträgen auf politische Entwicklungshilfe in den 80er Jahren.(GFZ und Ministerium für Entwicklungshilfe)

In den letzten 30 Jahren sind ähnliche Tendenzen auch bei der Förderung wissenschaftlicher Forschung zu beobachten. (Forschergruppen und Sonderforschungsbereiche) Universitätspräsidenten verstehen sich heute als Forschungsmanager und agieren in Hinsicht auf Mittelvergabe innerhalb der Uni als Vorgesetzte gegenüber den wirklich Forschenden.. Allerdings sind sie in diese Rolle durch politische Vorgaben gedrängt worden (Excellenzinitiative) und die extrem bürokratische Umsetzung des Bologna-Plans der EU in Deutschland hat dazu stark beigetragen.

2012 brachten Bund und Länder insgesamt 8,5 Milliarden € für FuE auf; davon entfielen ca. 2×10^9 € auf die DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), der Rest auf die überregionalen Forschungsgesellschaften (Helmholtz, Max Planck, Leibnitz, Fraunhofer u.a.) Zum Vergleich: „Aufbau Ost“ ca. 50, Militäretat ca. 33 Milliarden €.

Nur ein Teil dieser Summe landet bei der Grundlagenforschung, ein anderer Teil bei Vorhaben im Verbund mit der Industrie. Bei solchen Vorhaben trägt die Industrie 50% der Kosten. .Da Firmen über gute Bilanzbuchhalter verfügen, dürfte ein Teil der nachgewiesenen Kosten der Industrie fiktiv sein. Bis Ende der 90er Jahre stellten Firmen in der Regel die Gehälter + Löhne der angeblich nur mit dem Projekt beschäftigten fest angestellten Mitarbeiter in Rechnung. Nachdem die Bundesregierung diese Rechnungslegung ausschloß, erhob sich dagegen überraschend kein Protest.(Beispiel für andere Methoden in der Vorlesung)

Die Ausgaben der Industrie in 2013 betrugen 1,7 Mrd. € für gemeinsame Projekte mit Universitäten + Forschungsgesellschaften (Einschließlich Zuwendungen aus Stiftungen)

Forschungsförderung als FuE wird auch von der EU betrieben (Aber nur für bestimmte Themen); die Antragsstellung ist dort sehr aufwendig und kompliziert, in der Regel müssen speziell in Seminaren geschulte Mitarbeiter damit betraut werden. (Diese Seminare sind kostenpflichtig.)

Ein erheblicher Teil der an Unis + Forschungseinrichtungen befristet beschäftigten Wissenschaftler und Doktoranden wird aus den oben geschilderten Mitteln bezahlt.. Vielleicht zählen Sie eines Tages auch dazu.

Literatur:

Zur Rohstoffproblematik.

Florian Neukirchen + Gunnar Ries "Die Welt der Rohstoffe - Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte." Springer-Spektrum 2014

Zur Kernenergie :

Karlsruher Nuklidkarte ISBN 3-92-1879-18-3

H. Lindner „ Grundriß der Atom –und Kernphysik „ Fachbuchverlag Leipzig

A.G. Herrmann „ Radioaktive Abfälle „ Springer Verlag 1983

D.G. Brookins “ Geochemical Aspects of Radioactive Waste Disposal” Springer Verlag 1984

„Geowissenschaftliche Aspekte der Endlagerung radioaktiver Abfälle“, Enke Verlag Stuttgart 1979

I.S. Roxburgh “ Geology Of High-Level Nuclear Waste Disposal “, Verlag Chapman and Hall 1987

V. M. Chernousenko „ Chernobyl – Insight from the inside“, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York 1991

Allgemein:

A. Heintz, G. Reinhardt „ Chemie und Umwelt „ Vieweg 1990

V. Koß „ Umweltchemie“ Springer-Verlag 1997

Th. Bürke, R. Wengenmayr „ Erneuerbare Energie“ Wiley-VCh 2009

Zu Fragen der Prognostizierung zukünftiger Entwicklungen :

Stanislaw Lem „ Die Vergangenheit der Zukunft „ Insel Verlag 1992

Stanislaw Lem „Die Technologiefalle“ – Essays Insel Verlag 2000

Seit 1997 gibt es im Internet auch Altlasten-Fachinformationen unter der Bezeichnung Alfa Web im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Forschungszentrums Karlsruhe und der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Dort sind auch ganze Standardwerke zum Thema online abrufbar.

Die Adresse lautet: <http://www.uis-extern.um.bwl.de/ifu/abt5/altlasten/index.html>

Grosses Umweltinformationsnetzwerk in Deutschland mit Schnittstellen zu mehreren Datenbanken : www.gein.de

Informationen des Forschungsverbunds erneuerbare Energien der Fraunhofer-Gesellschaft www.fvee.de

Ausblick

Die Entwicklung von Wissenschaft und Technik verläuft exponentiell, dies zeigt insbesondere ein Blick auf die entsprechende Entwicklung der letzten 200 Jahre.

Die Ansätze zur modernen Naturwissenschaft (und damit zur modernen Technik) reichen zwar weit in die Geschichte zurück; der deutlich sichtbare Aufschwung

beginnt im 16ten Jahrhundert mit Mathematik, Astronomie und Physik. Er ist gekennzeichnet durch die konsequente Anwendung der Mathematik auf die Beobachtung und in der Physik und Chemie insbesondere durch das Experiment! Um Ursache und Wirkung wirklich zu erfassen werden dabei möglichst alle Randbedingungen konstant gehalten, nur ein Parameter wird geändert und die jeweilige Änderung einer Grösse in Abhängigkeit davon wird erfasst und mathematisch beschrieben.

Dies hat einen grossen Vorteil: Mit wenigen Experimenten wird eine Formel gewonnen, die in einem weiten Bereich angewendet werden kann. (Die Grenzen der Anwendbarkeit ergeben sich wiederum durch Experiment oder Erfahrung)

Leider ergibt sich auch ein Nachteil: Naturwissenschaftler neigen aufgrund dieser Tatsache, die sie immer wieder per Ausbildung erleben, zum monokausalen Denken. Dies war bis weit ins 20te Jahrhundert die Regel und tritt auch heute noch in Diskussionen oft auf. - Die Entwicklungen der letzten Jahrzehnte haben gezeigt, dass insbesondere im Bereich umweltrelevanter Probleme viele Faktoren eine Rolle spielen und rein monokausale Analysen nicht weiterhelfen. (Beispiele: Ursachen von Klimaänderungen und Vorschläge zur Abhilfe, Giftwirkungen auf Organismen durch gleichzeitige Einwirkung verschiedener Stoffe)

Die Entwicklung der Chemie zur modernen Wissenschaft setzte im 18ten Jahrhundert ein, in der Geologie im 19ten, in der Biologie und Medizin eigentlich erst im 20ten Jahrhundert (Molekularbiologie).

Die Mathematik ist streng genommen keine Naturwissenschaft, sondern die konsequente Anwendung der Logik auf den Umgang mit Symbolen (Zahlen sind auch nur Symbole)

Einige philosophische Regeln:

Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile

Eine Steigerung der Quantität eines Parameters kann zu einem Umschlag in die Qualität führen.

If anything may go wrong, it will do so some time. (Murphys law)

Antinomien (Gegensätze die sich tatsächlich oder scheinbar ausschließen)

Chaos (Unordnung) ----- Ordnung

Im naturwissenschaftlichen Bereich sind dies **Ordnung** und **Unordnung** bei Festkörpern. Totale Ordnung würde herrschen wenn der Ort aller Teilchen (Atome) genau mathematisch vorhersagbar wäre. Totale Unordnung falls keinerlei mathematische Aussagen zur Ordnung möglich wären.

Kristalle sind dreidimensional periodische Anordnungen von Atomen; ein absolut reiner Einkristall ohne Baufehler (Versetzungen, Leerstellen und Fremdatome) wäre also ein Kandidat für die totale Ordnung, allerdings nur am absoluten Nullpunkt. Die

Realität zeigt, dass es keine Einkristalle ohne Baufehler gibt; zudem ist der absolute Nullpunkt ² nach dem dritten Satz der Thermodynamik unerreichbar.

Unterkühlte Schmelzen (Gläser) sind ein Beispiel für allerdings nur partielle Unordnung. Alle röntgenographischen Untersuchungen zeigen, dass mathematische Aussagen über Nahordnungen möglich sind.- Auch Flüssigkeiten und Gase zeigen keine totale Unordnung, immer sind mindestens statistische mathematische Aussagen zum Zustand möglich; (Gasgesetz, Viskosität).

Die Erfahrung zeigt, dass die technische Nutzung von Festkörpern meist durch Abweichung von der Ordnung bedingt ist.(Halbleiter).

Auch im gesellschaftswissenschaftlichen Bereich gibt es solche Antinomien:

Freiheit ----- Sicherheit

Markt ----- Planwirtschaft

Demokratie ----- Diktatur.

Inhalt

3	Technikentwicklung und biologische Evolution
7	Zerkleinerung
8	Sortierung und Trennung
15	Abfälle der Produktion
17	Kupfer
19	Eisen
24	Zinn / Grenzwerte für Luft
25	Entstaubung TA-Luft
27	Abwässer – Kläranlagen
30	Trinkwasser
31	Verfügbarkeit von Mineralischen Rohstoffen
38	Meerwasserentsalzung / Bodenverunreinigung
39	Veränderungen der Lufthülle durch menschliche Aktivitäten
40	Gashydrate
42	Energie
44	Solarenergie
46	Gentechnik
47	Organische Cl-Verbindungen
49	Müll

52	Ein Beispiel für Zusammenhänge zwischen Technik, Wirtschaft, Politik und Umweltproblemen
54	Recycling—Probleme
56	Umweltschutz / Industrie/ Politik - „Entwicklungshilfe“
58 -61	Kernenergie
61	Das Problem von Prognosen
62	Forschung und Entwicklung
63	Literatur
64	Schlußbetrachtung