

---

# Emissionsarme Produktionswirtschaft

---



## 1. Einführung

Emissionen := Schadstoffausstoß in Luft/Wasser/Boden

Ziel: Gestaltung, Planung und Steuerung von Produktionsanlagen mit dem Ziel der integrierten, medienübergreifenden Vermeidung/ Verminderung von Emissionen unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit

Kennzahlen zur Umwelt:

- Materialeffizienz = Materialinput / hergestellte Produkte
- Gefahrstoffquote = Materialinput der Gefahrstoffgr. A,B,C / Materialinput
- Sekundärrohstoffquote = Sekundärrohstoffe / Materialinput
- Energieeffizienz = Energieeinsatz / hergestellte Produkte
- Abfallquote = gesamtes Abfallaufkommen / hergestellte Produkte
- Wassereinsatzeffizienz = Wasserinput / hergestellte Produkte

Wiederverwendung - Weiterverwendung - Wiederverwertung - Weiterverwertung

## 2. Gesetzliche Grundlagen

EU- Gesetzgebung, Begriffsdefinitionen:

- Verordnung (VO): gilt unmittelbar, für EU verbindlich, keine nationalen Gesetze notwendig
- Richtlinie (RL): verbindliche Forderung zur Umsetzung in nationales Recht, ist nicht unmittelbar gültig

## 2.1 Medienübergreifende Gesetzgebung

Europa:

### Integrierte Vermeidung & Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU RL)

- Hintergrund: umweltverträgliches Wachstum als Gemeinschaftsaufgabe
- Ziel: Erreichen eines hohen Schutzniveaus für Umwelt durch medienübergreifende Betrachtung
  - è Vermeidung und Verminderung statt Verlagerung
- Instrumente:
  - Betreiberpflichten:
    - keine wesentliche Verschmutzung der Umwelt
    - BVT, beste verfügbare Technologien: effizienteste, fortschrittlichste Technologie für Planung, Bau, Wartung, Betrieb und Stilllegung von Anlagen mit vertretbaren Kosten/Nutzen-Verhältnis und praktischer Eignung
    - Vermeidung von Abfallerzeugung
    - effizienter Umgang mit Energie
    - Vorbeugung von Unfällen, Vermeidung von Risiken
  - Genehmigungen für Alt- und Neuanlagen
    - alle notwendigen Maßnahmen zum Umweltschutz als Ganzes
    - Emissionsgrenzwerte erfüllen
    - BVT (s.o.)
    - Störfallmaßnahmen
    - umfangreiche Unterlagen zum Umweltschutz

Bund:

### Umweltstatistiken (UStatG 1994)

- Erhebungen alle 2 Jahre beginnend 1997 über Abfälle, Abwasser, Emissionen in die Luft, Unfälle
- für Entsorgungsunternehmen nach KrW-AbfG und zulassungsbedürftige Anlagen

## 2.2 Bereich Wasserrecht

Bund:

### Wasserhaushaltsgesetz (WHG)

- è Grundsätze über Erlaubnis und Bewilligung zur Benutzung von Gewässern
- è Überprüfung und Sanierung von Anlagen (Stand der Technik)
- è Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
- è Wassereinsparungen

### KlärschlammVO

### AbwasserherkunftsVO

### Abwasserabgabengesetz (AbwAG)

Abgabe nach Schädlichkeit

Länder:

LandesabwasserGLandeswasserG

Kommunen:

AbwassersatzungBetriebe (mit Abwasser > 750 m<sup>3</sup>/d):Gewässerschutzbeauftragter

Stellungnahme Investitionsentscheidungen

Mitwirkung bei Vermeidung des Abwasseraufkommens

**2.3 Bereich Immissionsrecht** (insbes. [EU])

Bund:

Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)

n Luftverschmutzung und Lärm

n Emissionsgrenzwerte

n Stand der Technik

n Ermächtigung der Länder

n Anlagenbezogen (z.B. Kraftwerke),

n Produktbezogen (z.B. Rasenmäherlärm)

n Gebietsbezogen

TA Luft

Richtwerte

BImSchV: z.B. GroßfeuerungsanlagenVO (GfAVO)Benzin-Blei-Gesetz (BzBIG)

Länder (nicht überall):

LänderImG

Betrieb:

Immissionsschutzbeauftragter

- Hinwirken auf Entwicklung und Einführung umweltfreundlicher Verfahren und Produkte, Nutzung von Abwärme
- Stellungnahme bei Investitionsentscheidungen
- Kündigungsschutz

## 2.4 Bereich Abfallrecht (insbes. [RP])

Europa:

### RL Abfall (91)

- Def.: Abfall = bewegliche Sache, derer sich Besitzer entledigt, entledigen will oder muß
- Maßnahmen: Vermeidung und Verringerung von Abfällen, thermische oder stoffliche Verwertung
- Kontrolle: Erstellung von Abfallwirtschaftsplänen
- Kosten trägt Abfallbesitzer
- Abfallverzeichnis: European Waste Catalogue

### RL Gefährliche Abfälle (91)

- Verzeichnis über explosive, krebserregende, reizende, infektiöse Abfälle
- Mischen verboten
- Kontrolle (Lagerung, Kennzeichnung, Verpackung)

### RL Batterien und Akkumulatoren (91)

- Quecksilberanteil < 0,025 %
- Kennzeichnungssystem

### RL Verpackungen und Verpackungsabfälle (94)

- Harmonisierung auf EU- Ebene
- Priorität: Vermeidung > Wiederverwertung > stoffliche Verwertung > andere Verwertungen > Verringerung der entgeltigen Beseitigung
- Ziel: 50-65 Ma-% müssen verwertet werden (Ausnahmen: Portugal, Griechenland, Irland)
- Kennzeichnungs- und Informationssystem
- Grenzwerte für Schwermetalle

### RL über Verbrennung von Abfällen

- Verminderung + Beschränkung von Umweltbelastung und gesundheitlichen Schäden
- Betriebsbedingungen und Emissionsgrenzwerte
- Schornsteinhöhen, Messungen
- Sanierung und Stilllegung

Bund:

### Abfallgesetz (AbfG von 1986 außer Kraft)

- 1972: Beseitigung
- 1976: Transportkontrolle (1. Novelle)
- 1982: KlärschlammVO (2. Novelle)
- 1985: Sonderabfall (3. Novelle)
- 1986: von Müllbeseitigung zu Abfallwirtschaft (4. Novelle)
- Def.: Abfall = Gegenstand, dessen sich Besitzer entledigen will oder dessen Entsorgung dem Wohl der Öffentlichkeit dient

Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-AbfG) (94, in Kraft 10/96)

- Umsetzung der EU- Abfall RL
- Förderung Kreislaufwirtschaft
- Vermeidung, Verwertung und ordnungsgemäße Beseitigung von Abfällen
- Unterscheidung in Abfälle zur Verwertung und Beseitigung; bisher Abfälle und Wertstoffe
- Vermeidung > stoffliche = thermische Verwertung > Beseitigung
- Abfallwirtschaftskonzepte für Betriebe > 2000 t/a (bzw. > 200 kg/a bes. überwachungsbed. Abf.)
  - Aufstellung von jährlichen Abfallbilanzen
  - Produktverantwortung über gesamten Lebenszyklus  
è Produktherstellung und -gestaltung
  - Planungsverantwortung: Beseitigung, Genehmigung
  - Abfallbeauftragter (s.u.)
  - fünfjährige Entsorgungssicherheit
  - Anpassung an aktuellen Stand der Technik bei Verwertung, Entsorgung und Ersatz von Einsatzstoffen

TA Abfall / TA Sonderabfall

- technische und organisatorische Anforderungen an Lagerung, Behandlung, Verbrennung und Ablagerung

TA Siedlungsabfall

- Trennung verschiedener Abfallfraktionen
- Umweltverträgliche Behandlung und Ablagerung sicherstellen
- Entsorgungssicherheit gewährleisten

AltöIVO

Länder:

LAbfG BW (Novelle 96)

- KrW-AbfG begleitend, harmonisierend
- Abfallgebühren
- Bio- und Grünabfälle müssen von restl. Müll getrennt werden !

LAbfAbgabenGAbfallbeseitigungsVO

Betriebe:

Abfallbeauftragter

- bei Entsorgungsanlagen, bei besonders überwachungsbedürftigen Abfällen
- Hinwirken auf Reduzierung, Verwertung und Entsorgung
- Stellungnahme bei Investitionsentscheidungen

### 3. Umweltzertifizierungen

#### 3.1 EG Ökoaudit

(EMAS: Environmental Management and Auditing System, vgl. auch BS 7750)

- umfaßt Bereiche Energie, RHB- Stoffe, Emissionen (Luft, Wasser, Boden, Lärm), Organisation, Mitarbeiterinformation, Produktplanung, Unfälle
- Veröffentlichen regelmäßiger Umwelterklärungen
- Zertifizierung durch zugelassenen Umweltgutachter (hoheitlich EU)
- angemessene, kontinuierliche Verbesserungen müssen vorhanden sein für Neuzertifizierung
- Umweltprogramm + Umweltmanagementsystem für alle Tätigkeiten des Unternehmens
- Umweltbetriebsprüfung (UBP) mind. alle 3 Jahre
- BVT
- Standortbezogen (nicht für ganzen Konzern, o.ä.)
- Vorteile für Betrieb:
  - Imagegewinn
  - Rationalisierungseffekte
  - Unfallrisiko senken → Versicherungsprämien
  - Vergabe öffentlicher Aufträge
  - Informations-, Kommunikations-, Organisationsverbesserungen

#### 3.2 ISO 14 000 Zertifikat

- privatwirtschaftliches Konzept
- freiwillige Selbstverpflichtungserklärung
- Zertifizierung durch ISO Auditor
- Vermeidung von Umweltbelastungen ( Widerspruch zu BVT)
- organisationsbezogen, d.h. Zertifizierung für Gesamtunternehmen

### 4. Ökobilanz vs. Ökocontrolling

#### 4.1 Ökobilanz:

- Hilfsmittel zur Vorbereitung umweltorientierter Entscheidungen
- **produktbezogen**
- teil des Öko-Controllings
- Vorgehen:
  - Zieldefinition
  - Sachbilanz: Massen- und Energieströme,
  - Wirkungsbilanz (wenn möglich: Zuordnung zu Wirkungsbereichen)
  - Bewertung: Berechnung des Anteils an Gesamtbelastung, Festlegung der relativen Bedeutung der Wirkungsbereiche
- Beurteilung:
  - vollständig ?
  - eindeutig, transparent, genau ?
  - Managementunterstützung ?
  - EMAS/ ISO 14000 erfüllt ?

#### 4.2 Öko-Controlling:

- **unternehmensbezogene** Ökobilanz
- Instrument zur Planung, Analyse, Steuerung und Kontrolle aller umweltrelevanten Aktivitäten
- Ökobilanz + Informations- und Organisationsfunktionen/ -systeme
- Controllingziel: Umweltschutz
- Controllingaufgaben:
  - Originäre Aufgabe: Koordination der Elemente für Handlungen
  - Derivative Aufgabe: Informationsversorgung sicherstellen
  - Integration von Planung und Kontrolle
- Mittel:
  - Qualitätszirkel
  - Wertanalyse - Teams
  - Selbstinitiativgruppen

### 5. ökologische Bewertungsverfahren

#### 5.1 verbal argumentative Verfahren

- ◆ **Umweltberichte**
  - ◆ Bsp. Neff GmbH, Bretten
- ◆ **Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP)**
  - ◆ Phasen: Problemidentifikation → Systembeschreibung → Wirkungsabschätzung → Bewertung → Handlungsempfehlung
  - ◆ Ermittlung, Beschreibung und Bewertung der Auswirkungen auf Lebewesen, Boden, Wasser, Luft, Klima, Landschaft, Kultur
  - ◆ UVP zur Zulassung durch Behörden
- ◆ Produktlinienanalyse
- ◆ **Checklistenverfahren**

#### 5.2 naturwissenschaftlich orientierte Verfahren

- ◆ **krit. Volumina**
  - ◆ belastetes Luftvolumen =  $\sum (\text{Emission Schadstoff}_i / \text{GW Schadstoff}_i)$
  - ◆ dito belastet Wasservolumen, belasteter Boden
  - ◆ Energieäquivalenzwert =  $\sum$  aufgebrauchte therm. + elektr. Energie [MJ]
  - ◆ vgl. auch: Global Warming Potential (GWP), ODP, ... → [EU]
- **Ökonomische Buchhaltung (Müller-Wenck, St. Gallen)**
  - F-lin: linearer Verlauf
    - Ökofaktor<sub>i</sub> =  $\text{FK}_i^{-2} F_i \cdot 10^{12}$  UBP
    - mit  $F_i$  = aktueller Fluß der Belastung [t/a] oder [kWh/a]
    - und  $\text{FK}_i$  = kritischer maximal zulässiger Fluß der Emissionen in der Region
  - auch F-log, F-par, ... als Zusammenhang zwischen Ökofaktor und relativer Nutzung der Ressource
  - Bewertung:  $\sum \text{Emission}_i \cdot \text{Ökofaktor}_i$
- Äquivalenzziffernrechnung
- Wirkungsindikatoren

### 5.3 Aktivitätsanalyse (Input - Output - Betrachtung)

- Produktionsfunktionen
  - Leontief, Gutenberg, Heinen  $\Rightarrow$  ungeeignet
  - Engineering Production Function  $\Rightarrow$  zu komplex
- Aktivitätsvektor:  $v_j$  mit  $v_{ij} < 0$  Input sonst Output
- Vorgehen:
  - (a) Messen: zu teuer, meist nicht möglich
  - (b) Prozeßsimulation:
    - Stöchiometrie der chem. Reaktionen
    - Thermodynamik
    - Reaktionskinetik
- Problem: Rekursionen  $\Rightarrow$  Iteration mit Abbruchkriterium
- Matrixmethode von Heijungs
  - $v_j$  aufteilen in  $a_j$ : Wirtschaftsgüter und  $b_j$ : Umweltgüter
  - $V = [A_{r \times n}, B_{r \times n}]^T$
  - Spezialfall:  $r=n \Rightarrow A$  quadratisch  $\Rightarrow$  keine Kuppelproduktion
  - Erhaltungssatz: LGS:  $Ap = \alpha \Rightarrow p = A^{-1} \alpha$
  - Umweltrelevante Stoffflüsse:  $\beta = B p$
  - Stoffstromnetze: auf Petri-Netzen basierend

### 5.4 relativ abstufende Verfahren

- ◆ Nutzwertanalyse
- ◆ **ABC- XYZ- Methode des IÖW, Berlin**
  - ◆ Handlungsbedarf: A(dringend) - B (mittelfristig) - C (kein)
  - ◆ Mengenrelevanz X (hoch) - Y (mittel) - Z (gering)
  - ◆ Betrachtung vor- und nachgelagerter Stufen (  $\leftrightarrow$  Ök. Buchhaltg.)
  - ◆ Erschöpfung von (nicht) regenerativen Ressourcen berücksichtigen
  - ◆ Probleme:
    - ◆ normativ, ethnisch
    - ◆ mangelnde Quantifizierbarkeit
    - ◆ Unsicherheit, Vernetzung
    - ◆ Systemgrenzen

## 5.5 kostenorientierte Verfahren

- ◆ erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung
- ◆ **Umweltkostenanalyse**

◆ **Rentz: EMM- Kosten**

$K_{EM} = \text{Invest.abh.Kosten} + \text{betriebsmittelabh. Kosten} +$   
 Personalkosten + sonst. Kosten + Folgekosten - Verkaufserlöse  
 (Prod.)

$$K_{EM} = \sum a_j (I_j - \Delta I_j) + \sum m_i p_i + \sum A_l p_l + \sum S_n + \sum F_q - \sum |E_u|$$

◆ Erweiterung von (1): **Stoffflußorientierte Umweltkostenrechnung**

$$K^{KrW} = K_I^{KrW} + K_{\text{Stofffluß}}^{KrW} + K_{\text{Prozeß}}^{KrW} + K_{\text{Sonst}}^{KrW}$$

mit  $K_I^{KrW}$ :

(a) Altanlage muß ersetzt werden:

(i) vergleichbare Anlage mit und ohne EMM:

$$\hat{=} K_I^{KrW} = I_{\text{integr. Anlage}} - I_{\text{reine Anlage}}$$

(ii) keine vergleichbare Anlage

$$\hat{=} K_I^{KrW} = 0$$

(b) Altanlage könnte weiter genutzt werden

$$\hat{=} I_{\text{integr. Anlage}} - RW_{\text{alte Anlage}}$$

mit  $K_{\text{Stofffluß}}^{KrW} = \text{Beschaffungskosten der Inputfaktoren} +$   
 Verkaufserlöse/ kosten

mit  $K_{\text{Prozeß}}^{KrW} = \text{Personalkosten} + \text{Energiekosten}$

mit  $K_{\text{Sonst}}^{KrW} = \text{Gemeinkostenanteile für Personal, Vertrieb,}$   
 Logistik, die bei Realisierung des Kreislaufwirtschaftskonzeptes  
*zusätzlich* entstehen

## 6. Demontage

- Explosionsdarstellung
- Demontagegraph mit alternativen Handlungsmöglichkeiten
- Darstellung als Gozinto-Graph
- Modellierung der Demontage (siehe auch IP3)
  - $\max \sum (p_i y_{i,1} - d_i y_{i,2}) - \sum x_j c_j^z$   
 (Verwertungserlöse - var. Beseitigungskosten - var. Demontagekosten)
  - unter  $y_i = y_i^a + \sum x_j v_{ij}$  (Demontage- Graph)
  - $y_i = y_{i,1} + y_{i,2}$  (Mengenbilanzrestriktionen)
  - $y_{i,1} \leq a_i$  (Absatz)
- REGOPT: Modellierung der Standortplanung als **Warehouse Location Problem** (WLP) (vgl. IP1)
  - $\min (K_{\text{Transport Quelle} - i} + K_{\text{fix}} \text{ und var. In } i + K_{\text{Transport } i - \text{Senke}})$
  - unter vollst. Transport, nur realisierte Demontagezentren, Kapazität, Nichtnegativität

## 7. Umweltintegriertes Produktionsmanagement

erweiterter Kapitalwert:

$$\max (C_0 = \sum_{t=0}^T \left( \sum_{j=1}^n (I_j^t x_j^t) + \sum_{j \in J'} \sum_{i=1}^m (v_{ij}^t c_{ij}^t) \right) (1+r)^{-t})$$

unter  $\sum v_{ij}^t \leq v_i^{GW}$  (Emissionsgrenzwert)  
 $x_j^t \in \{0,1\}$

Erweiterung:

- ◆ Förderung besonders umweltfreundlicher Anlagen ( $a_j^t$ ):  $(I_j^t - a_j^t I_j^t) x_j^t$
- ◆ Emissionssteuern, Abfallabgaben ( $b_{ij}^t$ ):  $((c_{ij}^t - b_{ij}^t) v_{ij}^t)$

Kritik:

- Gesetzgeber: nicht alle externen Kosten können richtig internalisiert werden (Best. der Parameter für Gesetzgeber)
- Unternehmen: Methodik gut erweiterbar und nur internalisierte Kosten entscheidungsrelevant

### ⇒ Multiple Attribute Decision Making (MADM)

- mehrere Zielkriterien ⇒ Zielkonflikte
- unvergleichbare Maßeinheiten
- endliche Zahl an zulässigen Handlungsalternativen ⇒ diskreter Lösungsraum
- Vorgehen
  - (1) Kriterienauswahl
  - (2) Skalierung von Kriterien (Skalenwahl, Transformation)
  - (3) Normierung der Zielerreichungsgerade:
    - linear:
      - $f_i^*(a_j) = (f_i(a_j) - f_{i,\min}) / (f_{i,\max} - f_{i,\min})$  bei zu maximierenden Kriterien
      - $f_i^*(a_j) = (f_{i,\max} - f_i(a_j)) / (f_{i,\max} - f_{i,\min})$  bei zu minimierenden Kriterien
    - vektoriell:
      - $f_i^*(a_j) = f_i(a_j) / (\sqrt{\sum f_i(a_j)^2})$
  - (4) Bestimmung der pareto-effizienten Alternativen  
Erfüllung der „harten“ Restriktionen
  - (5) Gewichtung der Kriterien mittels Gewichtungsvektor (mit  $\sum=1$ )
  - (6) Wahl der richtigen Nutzenfunktion  
z.B. max Nutzwert:  $NW(a_j) = \sum f_i(a_j) w_i$  mit  $w_i \in \{0,1\}$

⇒ Outranking Verfahren

## 8. Produktionsplanungssysteme (PPS)

- klassisches PPP:
  - $\max ( DB_{\text{klass}} = \sum DB_{\mu} x_{\mu} )$   
unter  $NB_{\text{klass}} =$  Nachfragerestriktionen, Produktionskapazitäten, Nichtnegativität
- Erweiterung um Abfälle:
  - $\max ( DB_{\text{Umw}} = DB_{\text{klass}} - \sum \sum ( K_i^{\text{Tr}} d_j + K_i^{\text{Rec}} ) y_{ij} )$   
unter  $NB_{\text{Umw}} = NB_{\text{klass}}$ , Recyclingkapazitäten, vollst. Allokation
- Erweiterung um Emissionen in die Luft:
  - $\max DB_{\text{Umw}}$   
unter  $NB_{\text{U2}} = NB_{\text{Umw}}, \sum e_{\mu k} x_{\mu} \leq GWE_k$  (Grenzwert)
- Erweiterung um Abwässer:
  - $\max DB_{\text{Umw}} - \sum \sum w_{\mu r} x_{\mu} a_r$   
unter  $NB_{\text{U2}}, \sum w_{\mu r} x_{\mu} \leq GWW_r$  (Grenzwert)
- Ablaufplanung (MP):
  - Anlagen mit hohem Wirkungsgrad, niedrigen Emissionen vorrangig
  - gleichmäßige Belegung
  - Transport- und Liegezeiten vermeiden
  - abfallintensive Umrüstungen vermeiden

## 9. Beispiele

### 9.1 Integriertes Hüttenwerk (S.102ff, S.120ff, S.170ff)

- ◆ (Kokerei)
- ◆ Sinteranlage
  - Feinerz + Kalkstein + Brantkalk + Dolomit + Luft  $\Rightarrow$  Sinter + Sintergas
  - Sinterband
- ◆ Hochofen: Koks + Sinter + ...  $\Rightarrow$  Roheisen + Schlacke + Gichtgas + ...
- ◆ (Roheisenentschwefelung)
- ◆ Stahlwerk
  - Elektrolichtbogenofen (Elektrostahl)
  - Konverter: LD Ofen (Oxygenstahl) durch Sauerstoffblasen
- ◆ Strangguß (mit Brennschneidemaschine)
- ◆ Sekundärmetallurgie
- ◆ Walzwerk
- n Reststoffe: Schlacken, Schrott, Stäube, ...
- n Ausblick: Kokerei, Sinter, HO  $\Rightarrow$  Schmelzreduktionsanlage

### 9.2 Altautorecycling (S.58ff, S.144ff)

- ◆ hoher Anteil an Flüssigkeiten (Kraftstoffe, Bremsflüssigkeit, Kühlerflüssigkeit, Öle, Schmierfette, Scheibenwaschwasser)
- ◆ derzeitige Fraktionen: Schrott, NE-Metall, Nichtmetall, Altöle, Batterie, Reifen
- ◆ demnächst: zusätzlich: Glas, Kunststoffe, Kabel (Kupfer) und therm. Verwertung der Reststoffe