
Emissionen in die Umwelt

1. Einführung

- Emission - Transmission - Immission
- Schadstoffe
 - primäre Schadstoffe: keine Umwandlung
 - sekundäre Schadstoffe: Umwandlung in der Atmosphäre
- Smog
 - London-Smog: Schwefeldioxid und Staub
 - Photochemischer-Smog (L.A.-Smog): Ozonbildung durch Sonneneinstrahlung auf NO_x , CO, C_nH_m
- Emissionsminderungsmaßnahme (EMM)
 - primär: Einsatzstoffsubstitution \Rightarrow Vermeidung von Emissionen
 - Technologieänderung
 - Technologiesubstitution
 - sekundär: 'end-of-pipe', Abgasreinigung
- Quellen
 - anthropogene Quellen
 - stationäre Quellen (Punkt, Fläche)
 - mobile Quellen (Linie)
 - biogene Quellen (z.B. Wälder, Vulkane, Sümpfe)
- Emissionsarten: stofflich, thermisch, akustisch, radioaktive, elektromagnetische, optische, strukturelle Emissionen

2. Quellen und Schadstoffe

- Schwefeldioxid (SO_2): Energieerzeugung \Rightarrow Versauerung
- Stickoxide (NO_x): Verkehr
 - thermisches NO (durch Stickstoffanteil der Luft, bei hohen Temperaturen)
 - Brennstoff NO (durch Stickstoffanteil des Brennstoffes)
- Kohlenmonoxid (CO): Verkehr, unvollständige Verbrennung
- Kohlendioxid (CO_2): Energieerzeugung, Brennstoffeinsatz
 \Rightarrow Treibhauseffekt: Global Warming Potential (GWP)
- Ammoniak (NH_3): Tierhaltung
- flüchtige organische Verbindungen (VOC)
 - Entstehung durch Verkehr: Abgase, Betankung, Tankstellen, Verdunstung, Lagerung, Umschlag, Rohöllager, running losses
 - Nichtmethan (NMVOC): Lösemittel
 - FCKW
 \Rightarrow Ozonabbau: Ozone Depletion Potential (ODP)
 - Methan (CH_4): Landwirtschaft
 - Dioxin und Furan (PCDD, PCDF)
 - bes. bei Müllverbrennungsanlagen (MVA), Sinteranlagen
 - Prädioxin: Bildung aus chlorierten Benzolen o.ä.
 - de-novo: Bildung aus nicht chlorierten Benzolen o.ä.
 - durch unvollständige Verbrennung
 - EMM: Adsorption mit Aktivkohle, KNV (s.u.)

- Staub: Industrieprozesse, Feuerungen, Schüttungen
- Asbest
 - ⇒ Krebserzeugung
- Lachgas (N₂O): besonders bei Wirbelschichtfeuerungen (WSF)
- Schadstoffbildung bei Verbrennungsprozessen
 - Produkte der vollständigen Verbrennung: CO₂, H₂O
 - Produkte der unvollständigen Verbrennung: CO, Ruß, C_nH_m
 - Nebenprodukte der vollständigen Verbrennung: NO_x
 - Produkte aus Brennstoffverunreinigungen: SO_x, H₂S, NO_x, Flugaschen

3. Emissionserfassung

- Messungen
 - Emissionsmessung ↔ Immisionsmessungen
 - Kalibrierung der Meßgeräte (durch Prüfgase)
 - Meßfehler
 - zufällige Fehler (Veränderungen des Meßobjektes, der Geräte, ...)
 - systematischer Fehler/ Bias (vermeidbar)
 - Meßreihen durchführen
 - ⇒ Mittelwert und Standardabweichung
 - Zuverlässigkeit:
 - Spezifität (Erfassung Meßsubstanz unter Ausschluß anderer)
 - Richtigkeit (Vermeidung systematischer Fehler)
 - Präzision oder Reproduzierbarkeit
 - kontinuierliche ↔ diskontinuierliche Verfahren
 - physikalisches ↔ chemisches Meßprinzip
 - Auswahl des Meßverfahrens
 - Bestimmungsgrenze
 - Meßunsicherheit
 - Querempfindlichkeit (gegenüber Störkomponenten)
 - Verfügbarkeit der Ergebnisse
 - Punkt- oder Netzmessungen
 - Geräte: IR/UV Fotometer, Konduktometrie, Chromatographie, ...
- Kataster
 - zeitlicher Bezug - räumlicher Bezug - Sachbezug
 - Methodik:
 - Punktquellen: Messung → Schätzung der Grundlage: $E_{ij} = E_{ij}^{\text{spez.}} \cdot \lambda_j$
 - Flächenquellen:
 - Top Down: $E_i = E_i^{\text{spez.,fix}} \sum \lambda_j$
 - Bottom Up: $E_i = \sum E_{ij}^{\text{spez.}} \lambda_j$
 - Bsp. Hausheizungen über Wärmeverbrauch
 - Linienquellen: $E_{mn} = E_{mn} \cdot P \cdot k$ (P= Fahrleistung, k= Kaltstartfaktor, m= Fahrzeugtyp, n= Straßentyp)
 - Aggregation zu Gesamtemissionen in Region
 - Regionales Kataster (nach BImSchG)
 - Nationales Kataster (EMUKAT des Umweltbundesamtes)
 - Internationales Kataster (OECD, CORINAIR, EMEP)

4. rechtliche Rahmenbedingungen

⇒ siehe Zusammenfassung EAPW Kapitel 2

5. Technische Maßnahmen der Emissionsminderung

- Verfahren zur Abgasreinigung
 - Entstaubung (Dust Removal)
 - Massenkraftabscheider
 - Querstromabscheider
 - (Hydro-)Zyklon
 - Filternde Abscheider
 - Faserschichtfilter
 - Grob- und Schwebstofffilter
 - Schlauch- und Taschenfilter
 - Schüttschichtfilter
 - Elektrische Abscheider (E- Filter)
 - Aufladung der Ionen, Ablagerung an Kathode
 - kleine Korngrößen, großer Volumenstrom ($V\&$)
 - Naßabscheider (Wäscher)
 - Waschturm
 - Wirbelstromwäscher
 - Venturiwäscher
 - Entschwefelung (DeSO_x)
 - Kalksteinwäsche (naß)
Einsatzstoff: CaCO₃ ⇒ Kuppelprodukt: Gips
 - Sprühabsorptionsverfahren
Einsatzstoff: CaO ⇒ Calciumsulfat/-sulfid
 - Ammoniakverfahren (⇒ Ammoniumsulfat)
 - Wellmann-Lord
regeneratives Verfahren, ⇒ Schwefelsäure, elementarer Schwefel
 - Entstickung (DeNO_x)
 - Primärmaßnahmen:
 - Luftüberschußparameter
 - Rauchgasrezirkulation
 - NO_x-arme Brenner
 - Brennstoffstufung im Feuerraum
 - Sekundärmaßnahmen:
 - SCR - Reaktor
Einsatzstoff: Ammoniak (NH₃) ⇒ ^{Katalysator} ⇒ N₂
Anordnung: high dust – low dust – tail gas
 - SNCR – Reaktor
bes. Braunkohlefeuerung wegen geringerer NO_x Bildung
Einsatzstoff: Ammoniak (NH₃) ⇒ N₂
höhere Temperaturen erforderlich, geringe Minderungsrate (25-50%)

- Verminderung von VOCs
 - Oxidationsverfahren
 - Thermische Nachverbrennung (TNV) (750 – 1000 °C)
 - Mindestbeladung gefordert
 - Energiezufuhr erforderlich (Erdgas)
 - Katalytische Nachverbrennung (KNV) (300 – 500 °C)
 - Katalysator: Edelmetalle auf Metall, Metalloxide auf Keramik
 - Katalysatorgifte: Halogen- und Metallverbindungen
 - KFZ- Katalysator (300 – 850 °C)
 - Umwandlung von Kohlenwasserstoffen (C_nH_m , CO, NO_x)
 - Lambda- Sonde regelt Luft- Kraftstoff Verhältnis
 - bei Luftmangel entsteht: H_2S (fauler Geruch)
 - bei Luftüberschuß entsteht: SO_3
 - Absorption
 - Aufnahme einer Gaskomponente durch lösende Flüssigkeit (wässrig oder organisch)
 - Hauptanwendungsgebiet: DeSOx
 - Adsorption
 - Anlagerung von Gas- oder Dampfmolekülen an der inneren Oberfläche hochporöser Feststoffe
 - Adsorptionen: Aktivkohle, Aktivkoks, organische Stoffe, Kalkhydrat, ...
 - Anwendungsbeispiele: DeSOx, Dioxine (PCDD) und Furane (PCDF), Lösemittelrückgewinnung
 - Biofilter
 - Abbau durch Mikroorganismen, Material: Torferde, Kompost, ...
 - hauptsächlich: Geruchsbeseitigung
 - Wirkungsgrad: 80 – 90 %
 - Biowäscher
 - Trennung von Schadstoffsorption und -abbau
 - Belebtschlammverfahren (Wäscher + Belebtschlammbecken mit Belüftung)
 - Tropfkörperverfahren
 - Abbaubare Stoffe: Alkohole, Glykole, Ester, Ketone, Aldehyde
 - Wirkungsgrad: 75 – 85%
 - Membranverfahren (Lösemittel)
 - Kondensationsverfahren (z.B. FCKW, Lösemittel, $Konz_{min}$ gefordert)

- Kosten der EMM
 - nach VDI 3800 (Rentz) → siehe Zusammenfassung EAPW Kap. 5.4
 - Umweltökonomische Gesamtrechnung (UGR)
 - Entnahmen, Verbrauch von Rohstoffen
 - Emissionen, Umweltschutzmaßnahmen
 - ergänzend zur Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR)
 - monetäre und nicht monetäre Faktoren
 - Datensammlung → Analyse der Zusammenhänge → Bewertung in monetären Größen → Szenarien, Prognosen
 - Beispiele:
 - Müllverbrennungsanlagen (MVA)
 - RGR: Entstaubung, Entstickung, Entschwefelung, Adsorption, Aerosol-Abscheider
 - Thermoselect: Müllvergasung (vgl. Kohlevergasung)
 - QSL Bleigewinnung
 - klassisch: Sinter + Schachtofen
 - neu: QSL – Reaktor
- ⇒ Emissionsminderung