

# Methoden der CO<sub>2</sub>-Messung

Dr. Marcel Strätz, GKS  
Dr. Ragnar Warnecke, GKS

29. Dreiländertreffen  
Bad Ischl, 12. - 13.10.2025

# Agenda

1. Emissionshandel und GKS
2. Methoden der CO<sub>2</sub>-Ermittlung
3. Einsatz der kontinuierlichen CO<sub>2</sub>-Messung am GKS
4. Bestimmung des biogenen CO<sub>2</sub>-Anteils
5. Zusammenfassung

# 1. Emissionshandel und GKS

# Emissionshandel

- Emissionshandel als Kernelement der **Klimapolitik**
- Einführung durch Klimaschutzabkommens von Kyoto (1997)
- Gründung **Deutsche Emissionshandelsstelle** (DEHSt) 2004
- Pariser UN-Klimaschutzabkommen 2015 → Erderwärmung < 2 °C
- „Green Deal“ → EU erster **klimaneutraler Kontinent** → 2050 Treibhausgasneutral
- Kontinuierliche Weiterentwicklungen im Emissionshandel
- Ansatz des Emissionshandels:
  - „**Begrenzen und Handeln**“ (Cap and Trade) → Reduktion auf marktwirtschaftlicher Basis
  - Impulse klimaschonendes Verhalten & Investitionen grüne Technologien
  - Einnahmen für CO<sub>2</sub>-Zertifikate für **Klima- und Transformationsfond**
- Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (**TEHG**) & Brennstoff-Emissionshandelsgesetz (**BEHG**)

# GKS-Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt GmbH

## Anlagen: (Inbetriebnahme 1990 & 1994)

- Energieteil: 2 Linien á 63 MW BWL → Steinkohle & Trockenklärschlammverbrennung
- Müllteil: 3 Linien á 21 MW BWL → Hausmüllverbrennung

## Aufgaben:

- Bereitstellung von Fernwärme für 4 Gesellschafter
- Entsorgung der Abfälle für 9 kommunale Gesellschafter

## Daten:

- Kohleeinsatzmengen: ~ 30.000 t/a
- Ø Betriebsstunden Energieteil: ~ 3.500 h/a
- Mülldurchsatz: ~ 190.000 t/a
- Ø Betriebsstunden Müllteil: ~ 8.200 h/a
- Fernwärmeabgabe: ~ 320 GWh/a
- Stromeinspeisung: ~ 100 GWh/a

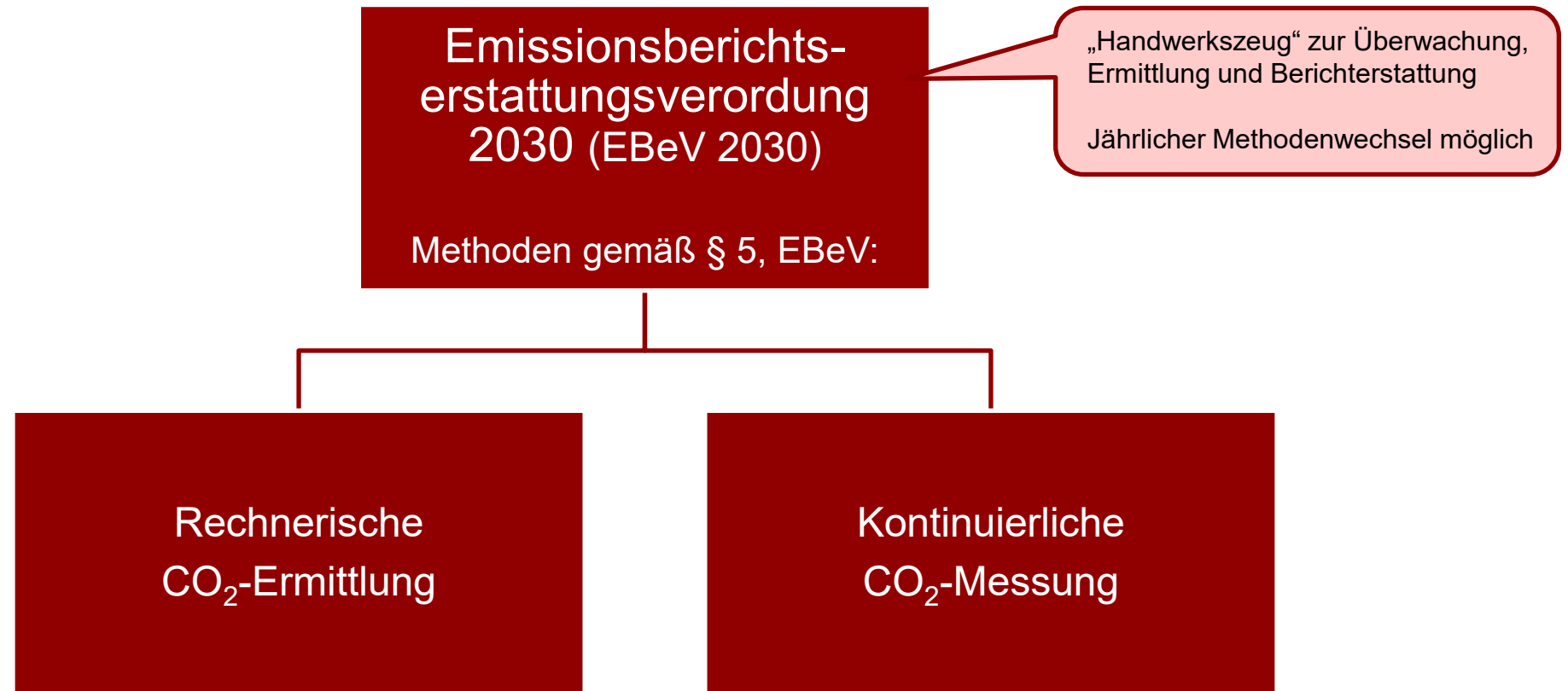


# Gesetzliche Grundlagen (Deutschland) - GKS

- GKS ist eine nach **BImSchG** genehmigte Anlage (17. BImSchV)
- **GKS-Energieteil**
  - Seit **2005** im Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (**TEHG = EU-ETS 1**)
  - Kauf von TEHG-CO<sub>2</sub>-Zertifikaten über EEX, volatile Preise
  - ~ 75.000 t<sub>CO2</sub>/a (fossiles CO<sub>2</sub>); ~ 5,5 Mio. €/a
- **GKS-Müllteil**
  - Seit **2024** mit Abfall im Brennstoff-Emissionshandelsgesetz (**BEHG = nEHS**)
  - Kauf von BEHG-CO<sub>2</sub>-Zertifikaten über EEX, fixe Preise
  - Festpreisphase für CO<sub>2</sub>-Zertifikate bis 2025 (2021: 25 € ..... 2024: 55 €, 2026: 55 - 65 €)
  - ~ 75.000 t<sub>CO2</sub>/a (fossiles CO<sub>2</sub>); ~ 3,5 Mio. €/a (2024)

## 2. Methoden der CO<sub>2</sub>-Ermittlung

# Methoden der CO<sub>2</sub>-Ermittlung



# Rechnerische CO<sub>2</sub>-Ermittlung

„**Brennstoffmenge x Berechnungsfaktoren**“

## ➤ **Brennstoffmenge**

- Durchsatzmenge → differenziert nach AVV-Nr. („Sorten“)
- Berücksichtigung von Lagerbestandsänderungen

## ➤ **Berechnungsfaktoren**

- Veröffentlichte Literaturwerte\* / Individuelle Festwerte (jährlicher Kontrollanalyse)\*
- Analyseergebnisse nach den Regeln der Technik\*
- Standardfaktoren aus EBeV 2030 (z. B. Abfall: Anlage 2 Teil 5)

## ➤ **Biogene Anteile - Berechnungsmethoden**

- Standardfaktoren (z. B. EBeV2030)
- Genehmigte Analysewerte

\* mit Behörde (DEHSt) abzustimmen

# Kontinuierliche CO<sub>2</sub>-Messung (KEMS)

„**Messung CO<sub>2</sub>-Konzentration & Abgasvolumenstrom**“ (§ 12 EBeV 2030)

➤ **Emissionsrechner** (CO<sub>2</sub>-Konzentration & Abgasvolumenstrom)

- Geprüfte & kalibrierte Messeinrichtungen
- Alle Betriebszustände, in denen CO<sub>2</sub> freigesetzt wird
- Gesamt-Jahres-Brennstoffemission mit eignungsgeprüfter Datenerfassung

➤ **Biogene Anteile - Bestimmungsmethoden**

- **<sup>14</sup>C-Methode** (Radiocarbonmethode) auf Grundlage der EN ISO 13833
- Mengengewichtete Biomasseanteile der Abfallgruppen gemäß **Anlage 2 Teil 5** (EBeV 2030)
- **Bilanzierungsmethode** auf Grundlage der ISO 18466

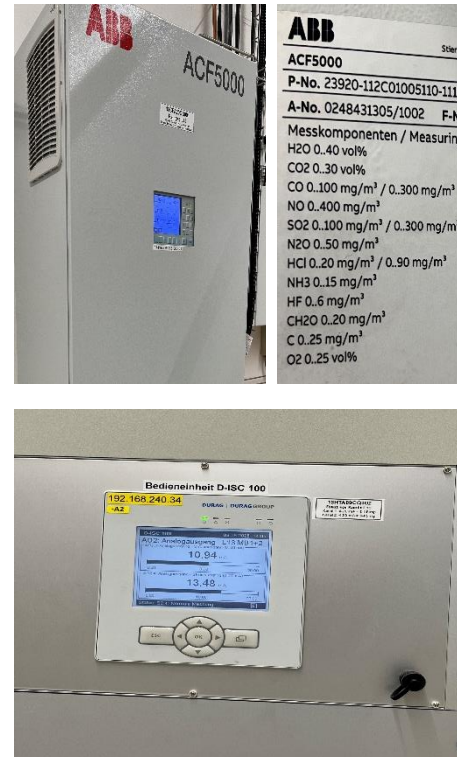
### 3. Einsatz der kontinuierlichen CO<sub>2</sub>-Messung am GKS

# GKS - Messtechnik für kontinuierliche Bestimmung



Reingaskanal mit Messtechnik

Analysatoren



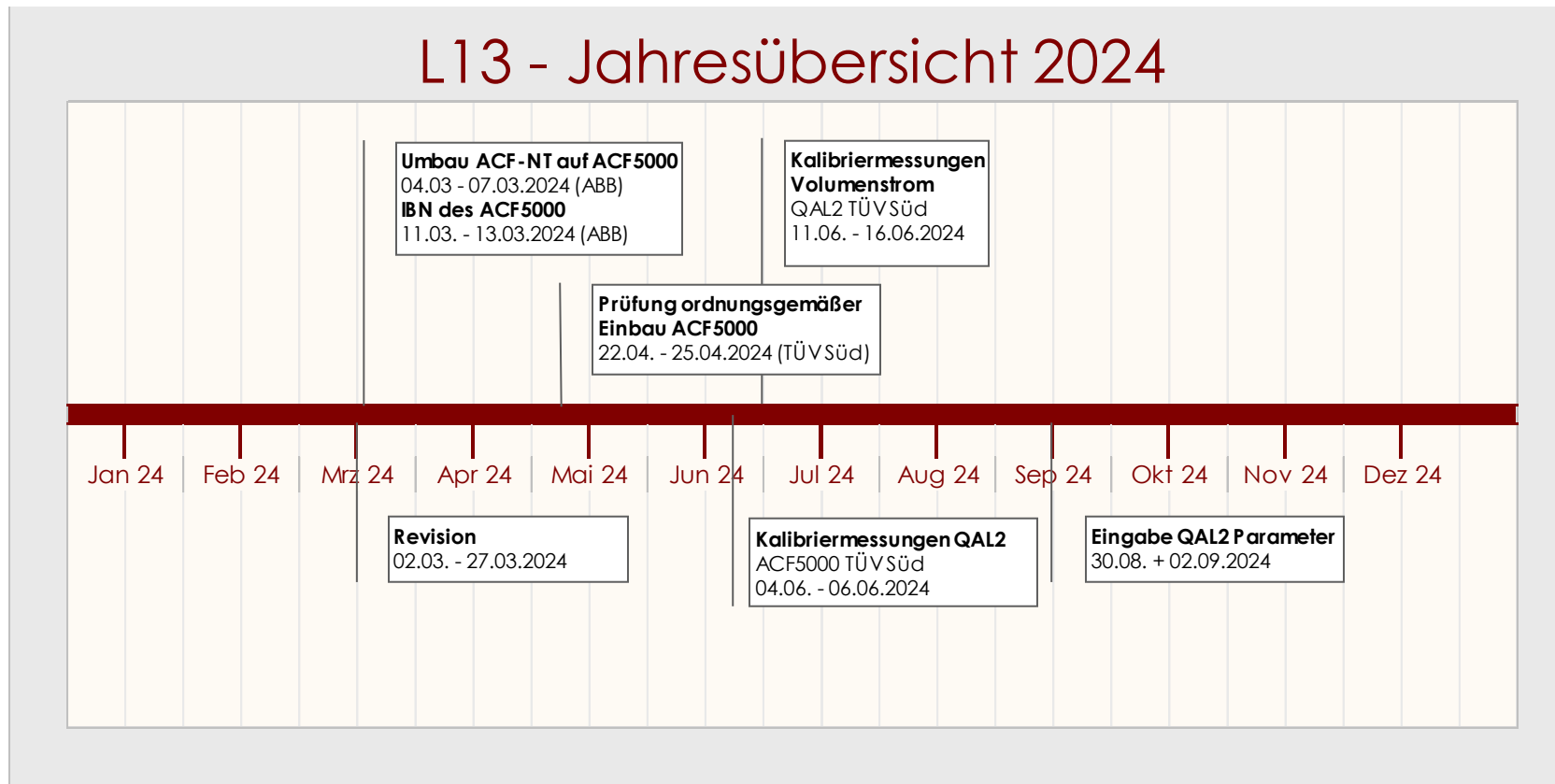
EMI-Rechner & TEHG-Modul



Datentransfer  
zu „Excel“

# GKS - Datenaufbereitung

**Bsp.:** „Ereignisse“ an L13 → „manuelle“ Datenaufbereitung nötig (Umbau, Kalibrierungen etc.)



# GKS - Datenzusammenstellung

## ➤ Betriebsdaten (2024)

- Abfalldurchsatz & Einsatz Heizölmenge
- Mengen an Müllschlacke-, Flugasche- und RGR-Salze
- Dampfproduktion, Dampfdruck- und –temperatur
- Externe Analyseergebnisse (Reststoffe)

## ➤ CO<sub>2</sub>-Emissionsdaten (2024) (in Excel)

- Daten aus EMI-Rechner & TEHG-Modul (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, V)
- Manuelle Datenaufbereitung & Prüfung Ersatzwerte
- Gesamte CO<sub>2</sub>-Menge (Abfall) ~ 183.500 t/a (L11 ~ 69.300 t/a / L12 ~ 55.700 t/a / L13 ~ 58.500 t/a)

**Ermittlung des biogenen & fossilen CO<sub>2</sub>-Anteils?!**

**Wenn die Messwerte vorliegen, können sämtliche Bestimmungsmethoden angewendet werden!**

## 4. Bestimmung des biogenen CO<sub>2</sub>-Anteils

# Bestimmungsmethoden

- 1. Bilanzierungsmethode**
- 2.  $^{14}\text{C}$ -Methode**
- 3. AVV-Standardfaktoren-Methode**

# Bilanzierungsmethode (ISO 18466)

## ➤ Unsicherheit der CO<sub>2</sub>-Frachten

- Messunsicherheiten (T, P, V, CO<sub>2</sub>, ...)
- Unsicherheit bei Bilanz-Methode

## ➤ Ermittelte Messunsicherheiten (Fehlerfortplanzungen)

- für Gesamt-CO<sub>2</sub>-Fracht = 6,2 %
- für Biogener C-Anteil = 3,3 %

| Kennwert                                                                                                                                                         | Wert   | Einheit                     | Relative Standard-abweichung | Quelle                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Kesselwirkungsgrad <sup>7</sup>                                                                                                                                  | 0,84   | [-]                         | ± 1,5 %                      | Betreiberangabe kontrolliert durch eigene Berechnung      |
| Anfallende Menge an Schlacke                                                                                                                                     | 0,277  | [t FS/t Abfall]             | ± 3 %                        | berechnet anhand übermittelter Gesamtmengen bzw. Analysen |
| Anfallende Menge an Flugasche + RGR-Salzen<br><small>(bei den RGR-Salzen wird berücksichtigt, dass diese etwa 30% an eingebrachten RGR Mittel enthalten)</small> | 0,0233 | [t FS/t Abfall]             | ± 3 %                        |                                                           |
| Mittlerer Wassergehalt der Schlacke                                                                                                                              | 0,152  | [kg H <sub>2</sub> O/kg FS] | ± 5 %                        |                                                           |
| Mittlerer Wassergehalt der Asche + RGR-Salze                                                                                                                     | 0,00   | [kg H <sub>2</sub> O/kg FS] | ± 1 %                        |                                                           |
| Abfallinput <sup>8</sup>                                                                                                                                         |        | [kg / h]                    | ± 3 %                        | Leittechnik                                               |
| Heizölmenge <sup>7</sup><br><small>(angenommene Dichte von 0,84 kg/Liter)</small>                                                                                |        | [Liter/h]                   | ± 2 %                        | Leittechnik                                               |
| Reingasvolumenstrom                                                                                                                                              |        | [kNm <sup>3</sup> /h]       | ± 3,0 %                      | TEHG                                                      |
| O <sub>2</sub> -Konzentration Reingas                                                                                                                            |        | [Vol-% tr.]                 | ± 1,0 %                      | EWR                                                       |
| CO <sub>2</sub> -Konzentration Reingas                                                                                                                           |        | [Vol-% tr.]                 | ± 1,0 %                      | TEHG                                                      |
| Dampfmenge                                                                                                                                                       |        | [Tonnen/h]                  | ± 1,5 %                      | Leittechnik                                               |
| Druck im Dampfkessel                                                                                                                                             |        | [bar absolut]               | ± 1,5 %                      | Leittechnik                                               |
| Temperatur im Dampfkessel                                                                                                                                        |        | [°C]                        | ± 1,5 %                      | Leittechnik                                               |
| Speisewassertemperatur                                                                                                                                           |        | [°C]                        | ± 1,5 %                      | Leittechnik                                               |

EWR .... Emissionswertrechner

Quelle: VIRWa, Prof. Johann Fellner

# Bilanzierungsmethode (ISO 18466)

Auswertung des biogenen & fossilen CO<sub>2</sub>-Anteils durch das Vienna Institut for Ressources and Waste (**VIRWa**) mit Bilanzierungsmethode

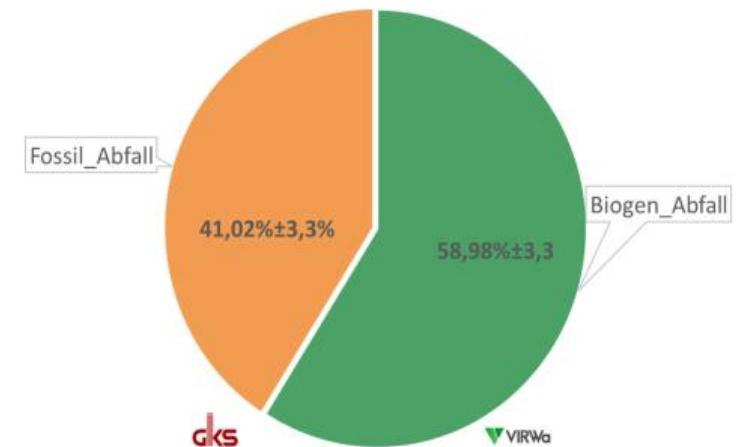
➤ Bsp.: Ergebnisse der **Mülllinie L13**

- CO<sub>2</sub>-Fracht Abfall: ~ 58.500 t<sub>CO2</sub>/a
- biogener Anteil: ~ 59,00 %
  - fossiles CO<sub>2</sub>: ~ 24.000 t<sub>CO2</sub>/a
  - biogenes CO<sub>2</sub>: ~ 34.500 t<sub>CO2</sub>/a

➤ Gesamtemissionen Mülllinie L11 - L 13 (2024)

- CO<sub>2</sub>-Fracht Abfall: ~ 183.500 t<sub>CO2</sub>/a
- Ø biogener Anteil: **~ 59 %**
  - fossiles CO<sub>2</sub>: ~ 75.600 t<sub>CO2</sub>/a
  - biogenes CO<sub>2</sub>: ~ 107.800 t<sub>CO2</sub>/a

**Ergebnisse Mülllinie L13**  
CO<sub>2</sub>-Anteile des verbrannten Abfalls  
[CO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>Abfall in %]



Quelle: Vienna Institute for Resources and Waste (VIRWa), Prof. Johann Fellner

# $^{14}\text{C}$ -Methode (EN ISO 13833)

## Parallel GKS-Interne Auswertung mit $^{14}\text{C}$ -Methode

- Mobiles  $^{14}\text{C}$ -Probeentnahmegerät
- Kontinuierliche Rauchgasentnahme und Absorption in Kartusche
- Messzeitraum: ~ 30 Tage & anschließende Laboranalyse
- $^{14}\text{C}$ -Gehalt entspricht biogenem Kohlenstoff
- Messzeitraum GKS: 11.2023 - 03.2025



| Mülllinie    | Biogener<br>CO <sub>2</sub> Anteil<br>[%] |
|--------------|-------------------------------------------|
| L11          | 54%                                       |
| L11          | 57%                                       |
| L11          | 54%                                       |
| L13          | 55%                                       |
| L13          | 62%                                       |
| L13          | 55%                                       |
| L13          | 55%                                       |
| L12          | 52%                                       |
| Durchschnitt | 56%                                       |

# AVV-Standardfaktoren-Methode

- Jahres-Mülldurchsatz
  - Aufgeteilt nach **AVV-Nummern**
  - Gruppierung nach Nummer 1 - 8 (Anlage 2 Teil 5)
- Berechnung der **CO<sub>2</sub>-Emissionen** (biogen und fossil) mit Daten gemäß Anlage 2 Teil 5 (EBeV 2030)
- Berechnungsergebnisse GKS:
  - CO<sub>2</sub>-Gesamt: ~ 168.000 t<sub>CO2</sub>/a
  - fossiler CO<sub>2</sub>-Anteil: 48 %
  - biogener CO<sub>2</sub>-Anteil: **~ 52 %**
  - 2024: 45 €/tCO<sub>2</sub> → ~ 3,5 Mio. €/a



Teil 5 Standardwerte zur Berechnung von Brennstoffemissionen in den Fällen des § 2 Absatz 2a BEHG

| Nummer | Brennstoff                                                    | Abfallschlüssel gemäß Abfallverzeichnis-Verordnung                                                                                                       | Biomasseanteil | Umrechnungsfaktor | Heizwert der Originalsubstanz | Heizwertbezogener Emissionsfaktor |
|--------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1      | Leichtverpackungen-Sortierreste                               | 15 01 05                                                                                                                                                 | 32,0 %         | 1 t/t             | 18,1 GJ/t                     | 0,0839 t CO <sub>2</sub> /GJ      |
| 2      | Gewerbeabfall                                                 | 15 01 06<br>15 02 02<br>17 09 03<br>17 09 04<br>18 01 04<br>19 12 08<br>20 01 32                                                                         | 48,9 %         | 1 t/t             | 13,3 GJ/t                     | 0,0888 t CO <sub>2</sub> /GJ      |
| 3      | Sortierreste aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung | 19 12 10<br>19 12 12                                                                                                                                     | 50,0 %         | 1 t/t             | 10,0 GJ/t                     | 0,0949 t CO <sub>2</sub> /GJ      |
| 4      | Restabfall                                                    | 02 02 03<br>02 03 04<br>15 01 01<br>19 05 99<br>19 08 01<br>20 01 08<br>20 02 01<br>20 02 03<br>20 03 01<br>20 03 02<br>20 03 03<br>20 03 06<br>20 03 99 | 53,5 %         | 1 t/t             | 8,8 GJ/t                      | 0,0982 t CO <sub>2</sub> /GJ      |
| 5      | Spermmüll                                                     | 20 03 07                                                                                                                                                 | 60,3 %         | 1 t/t             | 16,0 GJ/t                     | 0,0857 t CO <sub>2</sub> /GJ      |
| 6      | Altholz                                                       |                                                                                                                                                          |                |                   |                               |                                   |
| 6a     | Altholz AI und AII                                            | 03 01 05<br>17 02 01                                                                                                                                     | 95,0 %         | 1 t/t             | 15 GJ/t                       | 0,0867 t CO <sub>2</sub> /GJ      |
| 6b     | Altholz AIII, AIV, PCB                                        | 15 01 03<br>19 12 07<br>20 01 38                                                                                                                         | 90,0 %         | 1 t/t             | 15 GJ/t                       | 0,0867 t CO <sub>2</sub> /GJ      |
| 7      | Klärschlamm                                                   |                                                                                                                                                          |                |                   |                               |                                   |
| 7a     | Kommunaler Klärschlamm                                        | 19 08 05                                                                                                                                                 | 100,0 %        | 1 t/t             | ***                           | ***                               |
| 7b     | Industrieller Klärschlamm                                     | 19 08 11<br>19 08 12<br>19 08 13<br>19 08 14                                                                                                             | 30,0 %         | 1 t/t             | ***                           | ***                               |
| 8      | alle übrigen Abfälle                                          | alle übrigen Abfallschlüssel                                                                                                                             | 0,0 %          | 1 t/t             | 10,0 GJ/t                     | 0,0949 t CO <sub>2</sub> /GJ      |

# Vergleich der Methoden (Bestimmung biogener & fossiler CO<sub>2</sub>-Anteil)

## ➤ <sup>14</sup>C-Methode

- Messgerät ~ 40.000 €; <sup>14</sup>C-Analyse ~ 1.000 €/Analyse
- 12 Analysen/a ~ 12.000 €/a; Wartung/Service ~ 10.000 €/a; Personalkosten ~ 3.000 €/a
- GKS-Auswertung: biogener C-Anteil ~ 56 % → „mittlerer“ biogener Anteil → fossiler C-Anteil ~ 44 %
- Probleme mit Messgerät & Technik (Korrosion, Verschmutzung, Temperaturen, etc.) // Umbau- und Prüfaufwand

## ➤ AVV-Standardfaktoren-Methode

- Keine Anschaffungskosten, Infrastruktur (Waage, Waagen-Software, etc.) vorhanden
- Korrekte AVV-Nr.-Zuordnung der Anlieferungen nötig
- GKS-Auswertung: biogener C-Anteil ~ 52 % → „geringer“ biogener Anteil → fossiler C-Anteil ~ 48 %

## ➤ Bilanzierungsmethode

- TEHG-Modul ~ 5.000 €; Kalibrierungen ~ 11.000 €/a (für 3 Mülllinien)
- Auswertung Bilanzierungsmethode ~ 30.000 €/a (für 3 Mülllinien)
- Biogener C-Anteil ~ 59 % → „hoher“ biogener Anteil → fossiler C-Anteil ~ 41 %

**Einsparpotential bei 180.000 t<sub>CO2</sub>/a:  $\Delta 7\% = 12.600 \text{ t}_{\text{CO2}}/\text{a} \rightarrow 12.600 \text{ t}_{\text{CO2}}/\text{a} * 45 \text{ €/t}_{\text{CO2}} \sim \Delta 0,55 \text{ Mio. €/a}$**

## 4. Zusammenfassung

# Zusammenfassung

- GKS-Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt mit Energie- und Müllteil
- Energieteil des GKS im TEHG & Müllteil des GKS im BEHG
- Grundlagen für Emissionshandel des Müllteil: BEHG und EBeV 2030
- Rechnerische CO<sub>2</sub>-Ermittlung → „Brennstoffmenge x Berechnungsfaktoren“
- Kontinuierliche CO<sub>2</sub>-Messung → „Messung CO<sub>2</sub>-Konzentration & Abgasvolumenstrom“
- Bestimmungsmethoden Biomasseanteil: Bilanzierungsmethode, <sup>14</sup>C-Methode, AVV-Standardwerte
- Untersuchungsergebnisse am GKS
  - Bilanzierungsmethode → Ø biogener Anteil ~ 59 % & fossiler Anteil ~ 41 %
  - <sup>14</sup>C-Methode → Ø biogener Anteil ~ 56 % & fossiler Anteil ~ 44 %
  - AVV-Standardwerte → Ø biogener Anteil ~ 52 % & fossiler Anteil ~ 48 %
- Favorisierte Variante nach Anwendung und Wirtschaftlichkeit: **Bilanzierungsmethode**

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

