

# **- Chlor - unterschätzte Kostenexplosion in der EBS-Verbrennung**

**Dipl.-Ing. Reinhard Schu,**  
EcoEnergy Gesellschaft für  
Energie- und Umwelttechnik mbH  
Walkenried am Harz

**Technikforum  
Ersatzbrennstoffe für Industrieanlagen  
VDI-Wissensforum  
28./29. April 2008**

# Inhalt des Vortrags

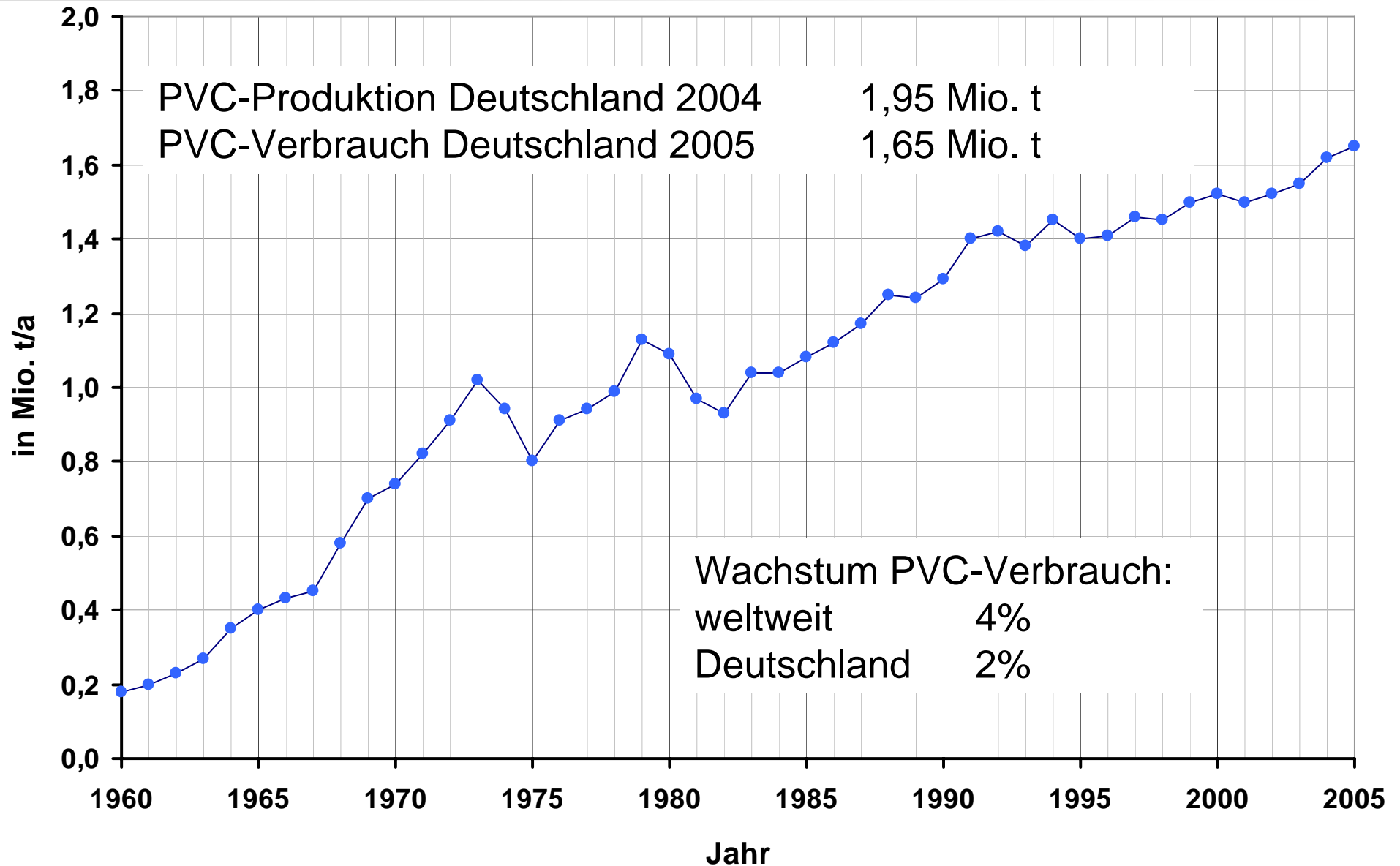
1. Einleitung
2. Charakterisierung der Abfälle
3. Nachkalkulation der Gesamtkosten durch gestiegene Chlorgehalte
4. Preisanpassung in EBS-Verträgen
5. Nachrüstooptionen für die Abgasreinigung
6. Abgasreinigung für EBS bei Rostverbrennungsanlagen

## 2. Charakterisierung der Abfälle

Hausmüll	Ersatzbrennstoff / Gewerbeabfall
hoher feuchter Organikanteil, hoher Wasseranteil, niedriger Heizwert < 10 MJ/kg	geringer feuchter Organikanteil, niedriger Wasseranteil, hoher Heizwert > 11 MJ/kg
niedriger Schwermetallgehalt niedriger Chlorgehalt 0,4% - 0,9%	mäßiger Schwermetallgehalt hoher Chlorgehalt > 1%, in Teilchargen >> 2%

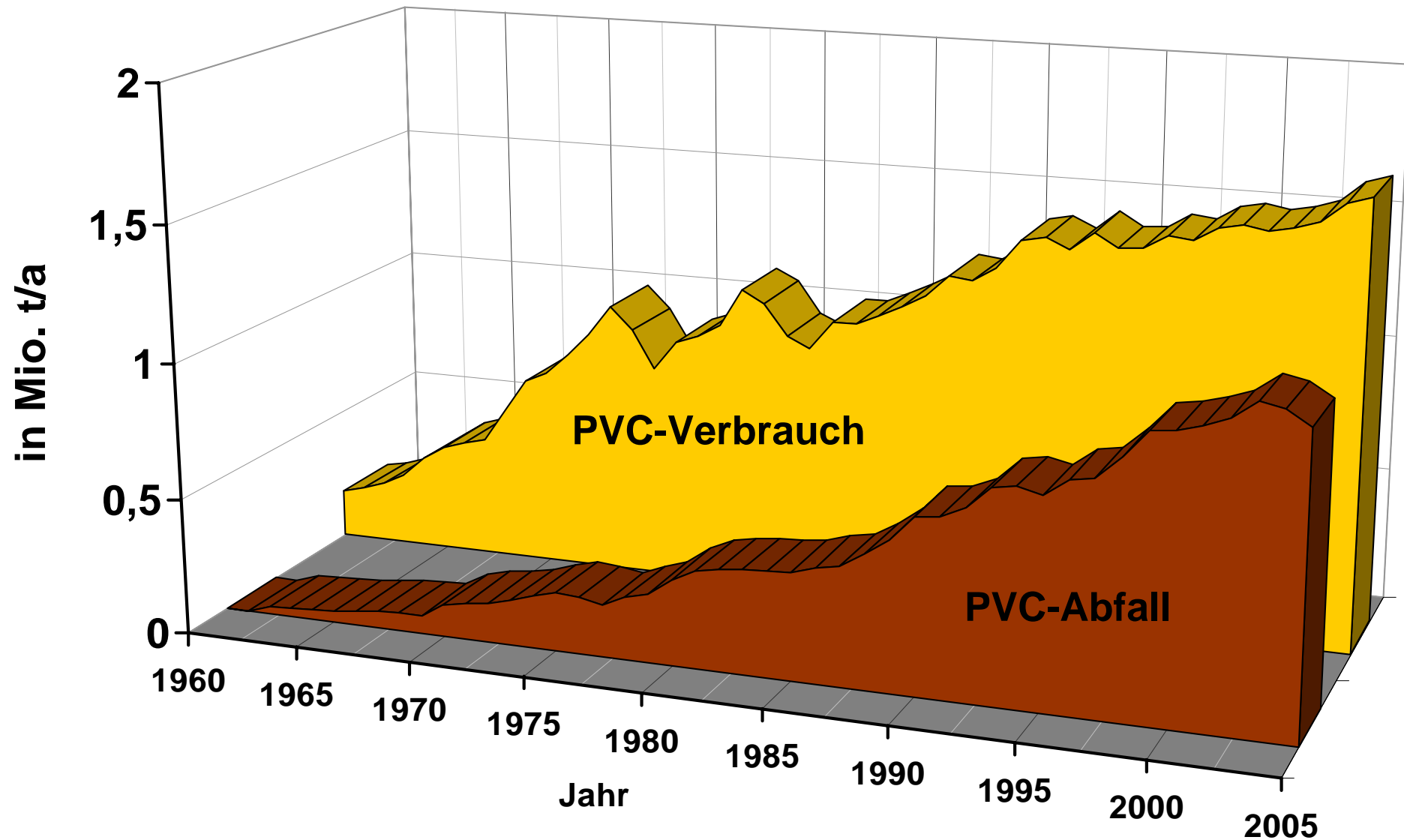
- **Woher kommt Chlor - Chlorverbrauch und Chloreinsatz in Deutschland**
- **Chlorgehalte im Abfall / Ersatzbrennstoff**
- **Prognose der Entwicklung der Chlorgehalte in Ersatzbrennstoffen**
- **Schlussfolgerungen für die Betreiber von EBS-Kraftwerken**
- **Einfluss von CO<sub>2</sub>-Zertifikathandel auf die EBS-Menge und –Qualität**
- **Novellierte EU-Abfallrahmenrichtlinie – Recycling und Energieeffizienz**

## 2.1 Woher kommt Chlor - Chlorverbrauch und Chloreinsatz in Deutschland



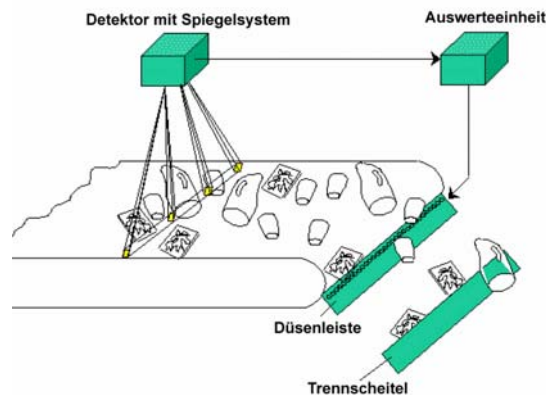
## 2.1 Woher kommt Chlor - Chlorverbrauch und Chloreinsatz in Deutschland

Verändert nach Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V.



## 2.2 Chlorgehalte im Abfall / Ersatzbrennstoff

Abfallart	Chlorgehalt	davon: Chlor aus PVC und andere Kunststoffe	davon: „Hintergrundrauschen“
Sortierreste Baumischabfall	2% - 8%	1,6% - 7,5%	0,4%
Sortierreste DSD	1% - 4 %	0,6% - 3,5%	0,4%
<b>Gewerbeabfall</b>	<b>1% - 5%</b>	<b>0,6% - 4,5%</b>	<b>0,4%</b>
Haus- und Geschäftsmüll	0,4% - 0,8%	0,1% - 0,3%	0,3% - 0,6%
hausmüllähnlicher Gewerbeabfall	0,6% - 1,5%	0,2% - 1,1%	0,4%



### NIR-Technik:

Erfassungsquote Chlor > 50% kaum möglich

Chloranreicherung > 20% kaum möglich

Anforderungen werkstoffliche Verwertung: > 85% PVC-Anteil

**Was passiert mit dem chlorhaltigen Rückstand ?**

**Zwischenlager – Tongrube – MVA – EBS-Kraftwerk ?**

## 2.3 Prognose der Entwicklung der Chlorgehalte in Ersatzbrennstoffen

### Vorgehen zur Abschätzung des aktuellen Chlorgehalts:

- **Makrobetrachtung EcoEnergy: 2,4% im Gewerbeanfall**  
(Recherche Abfallanalysen – „Gewerbeabfall als Unbekannte“)
  
- **Feldstudie** in Schleswig-Holstein: **2,2% im EBS-Vorprodukt**  
Stoffstromdesign, Ralf Ketelhut, Nov. 2007
  
- **Studien Kunststoffabfälle - unterschiedliche Aussagen:**
  - > **2% im EBS-Vorprodukt**
  - Consultic im Auftrag von Tecpol/BKV, April 2008
  - Consultic im Auftrag Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V. (AGPU)
  - AGPU-Veröffentlichungen

## 2.3 Prognose der Entwicklung der Chlorgehalte in Ersatzbrennstoffen

### Makrobetrachtung EcoEnergy

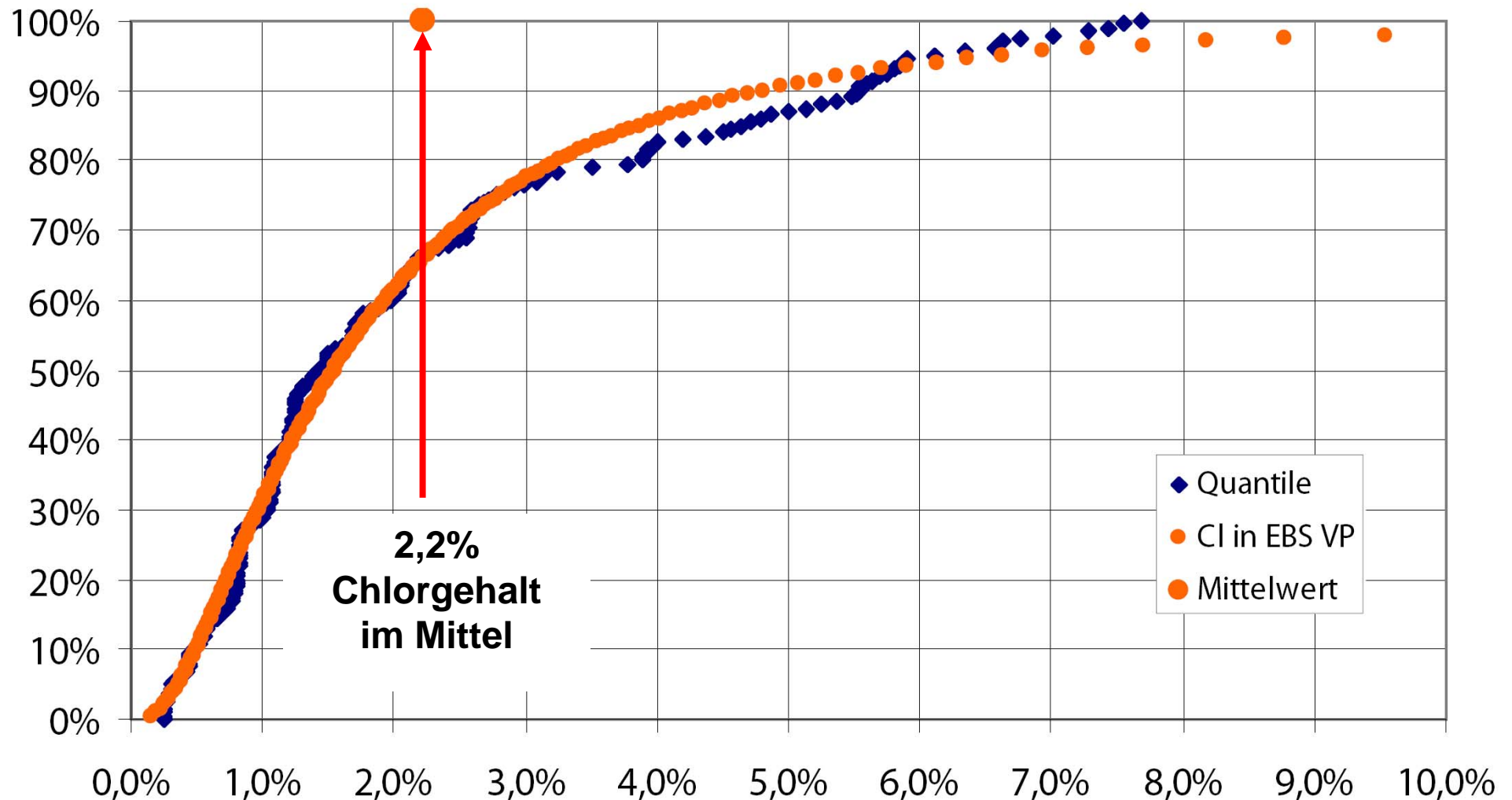
Recherche Abfallanalysen – „Gewerbeabfall als Unbekannte“

PVC-Senke	Menge Abfall	darin: PVC Menge	resultierender Chlorgehalt aus PVC	Chlor - Hinter- grundrauschen	Chlorgehalt gesamt
<b>Basis: PVC und andere chlorhaltige Kunststoffe im Abfall: 1.100.000 t/a (2005)</b>					
PVC-Abfall 2005		1.100.000 t/a			
Recycling Vinyl 2010	?	660.000 t/a „Annahme“	2003: 14.255 t 2004: 18.077 t 2005: 38.793 t 2006: 82.812 t 2007: 149.463 t	-	ca. 50%
Hausmüll und hausmüll- ähnlicher Gewerbeabfall	20 Mio. t	100.000 t/a	0,3%	0,5%	0,8 %
restliche gewerbliche Abfälle	10 Mio. t	340.000 t/a	1,9 %	0,5%	<b>2,4 %</b>

Durchschnitt: 1,3% Chlorgehalt



## Feldstudie EBS-Vorprodukt 2006 bis 2007 in Schleswig-Holstein



*Chlorgehalte in EBS-Vorprodukten nach*

*Ketelhut, R.: Qualitätssicherung für Ersatzbrennstoffe in Schleswig-Holstein. Abschlussbericht, November 2007*

## Interessenskonflikt – Abfallwirtschaft und PVC-Industrie

Daten der PVC-Industrie bzw. deren Interessensvertreter:

48,4 Mio. t/a Post-Consumer Abfälle (Siedlungsabfälle, Gewerbeabfälle)

3,8 Mio. t/a Post-Consumer Kunststoffabfälle darin enth.

**0,5 Mio t/a Post-Consumer PVC-Abfälle in Kunststoffabfällen enth.**

→ 0,5% Chlor aus PVC im Durchschnitt ohne Hintergrundrauschen

→ 0,9% - 1,2% Chlor aus PVC im Durchschnitt mit Hintergrundrauschen

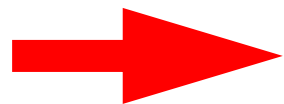
**0,5 Mio. t/a PVC-Abfälle?**

Datenerhebung erfolgte 2003 über Fragebögen!

### Berechnungsmethode

0,7 Mio. t/a - 1995: Studien HTP im Auftrag von AGPU von 1998

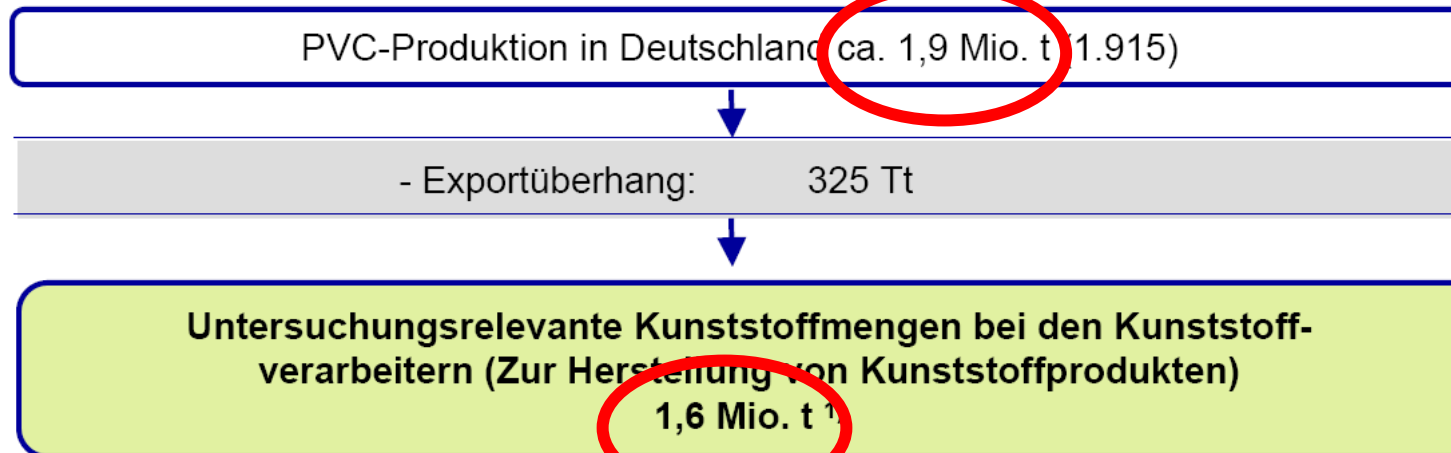
1,1 Mio. t/a - 2005: Berechnung EcoEnergy, Steigerung von 4% - 5% p. a.



**Diskrepanz: 0,3 - 0,5 Mio. t/a PVC-Abfälle?**

# B PVC-Gesamtproduktion und Verbrauch zur Herstellung von PVC-Produkten in Deutschland 2003

## Produktions- und Verarbeitungsmenge in Deutschland 2003



### ▪ Kunststoffproduktion

2003 wurde in Deutschland rund 1,9 Mio. t PVC (Poly-Vinyl-Chlorid) produziert.

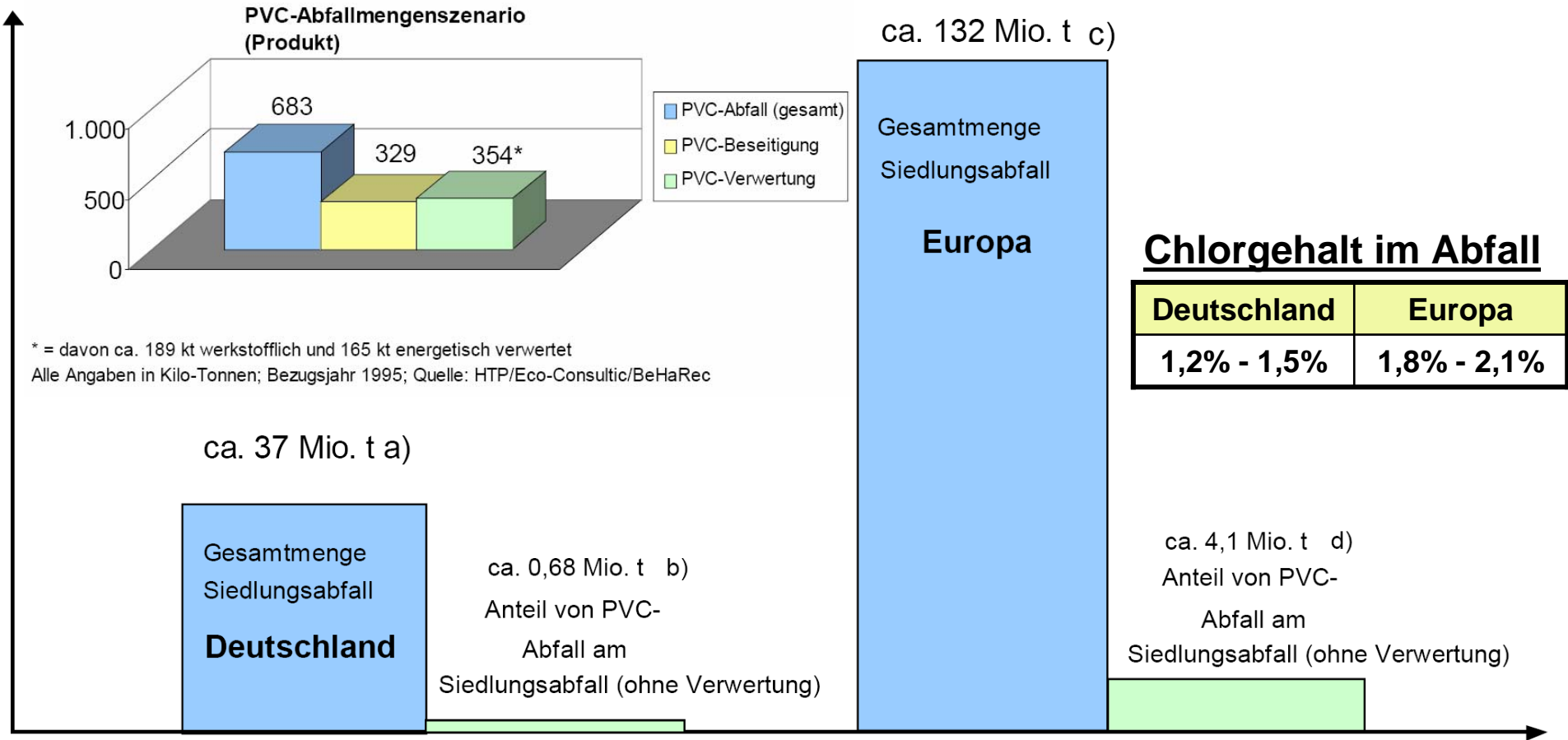
Die Produktionsmenge stieg hierbei von 1.685 kt in 2001 auf 1.915 kt in 2003. Dies entspricht einer Steigerung von insgesamt 13,7% bzw. 6,7% p.a.

### ▪ Kunststoffverarbeitung

Die verarbeitete Menge von PVC-Polymeren bei Kunststoffverarbeitern betrug rund 1,6 Mio t.

Dies bedeutet eine Steigerung im Vergleich zu 2001 von 5,3% (2001: 1.510 kt).

# Anteil vom PVC-Abfall am Siedlungsabfall – Daten gemischt 1995 - 2000



Quellen: a) **BDE**, Taschenbuch der Entsorgungswirtschaft, 1999  
 b) **HTP**, PVC-Abfallaufkommen und Verwertung, 1998  
 c) [www.wastewatch.org.uk/informtn/EuropelInter.htm](http://www.wastewatch.org.uk/informtn/EuropelInter.htm); (OCED-Data, 1997), September 1997  
 d) **PROGNOS**; et. al., Mechanical Recycling of PVC wastes, Study for DG XI of the European Commission, 2000

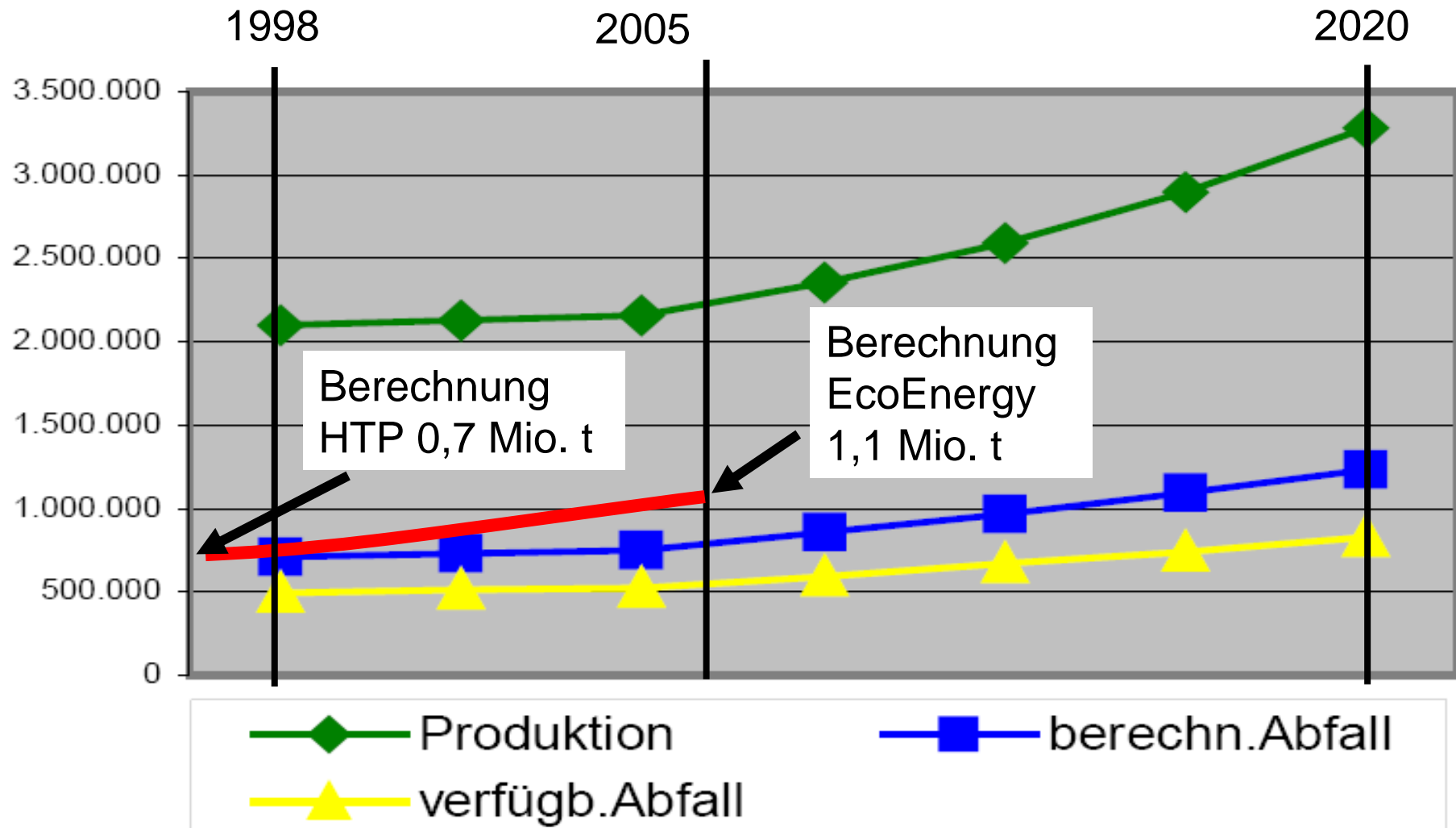
## Anteil vom PVC-Abfall am Siedlungsabfall 1995 - 2000

	Deutschland	Europa
Siedlungsabfall	37 Mio. t/a	132 Mio. t/a
PVC-Abfall	0,68 Mio. t/a	4,1 Mio. t/a
PVC-Anteil	1,8%	3,1%
Chlor aus PVC	0,9%	1,55%
Chlor Hintergrundrauschen	0,3% - 0,6%	0,3% - 0,6%
Chlorgehalt im Abfall	1,2% - 1,5%	1,8% - 2,1%

Makrobetrachtung EcoEnergy:

Ø 1,3% Chlorgehalt im Abfall

## Vergleich PVC-Produktion zu PVC-Abfall von 1998 – 2020 in Deutschland

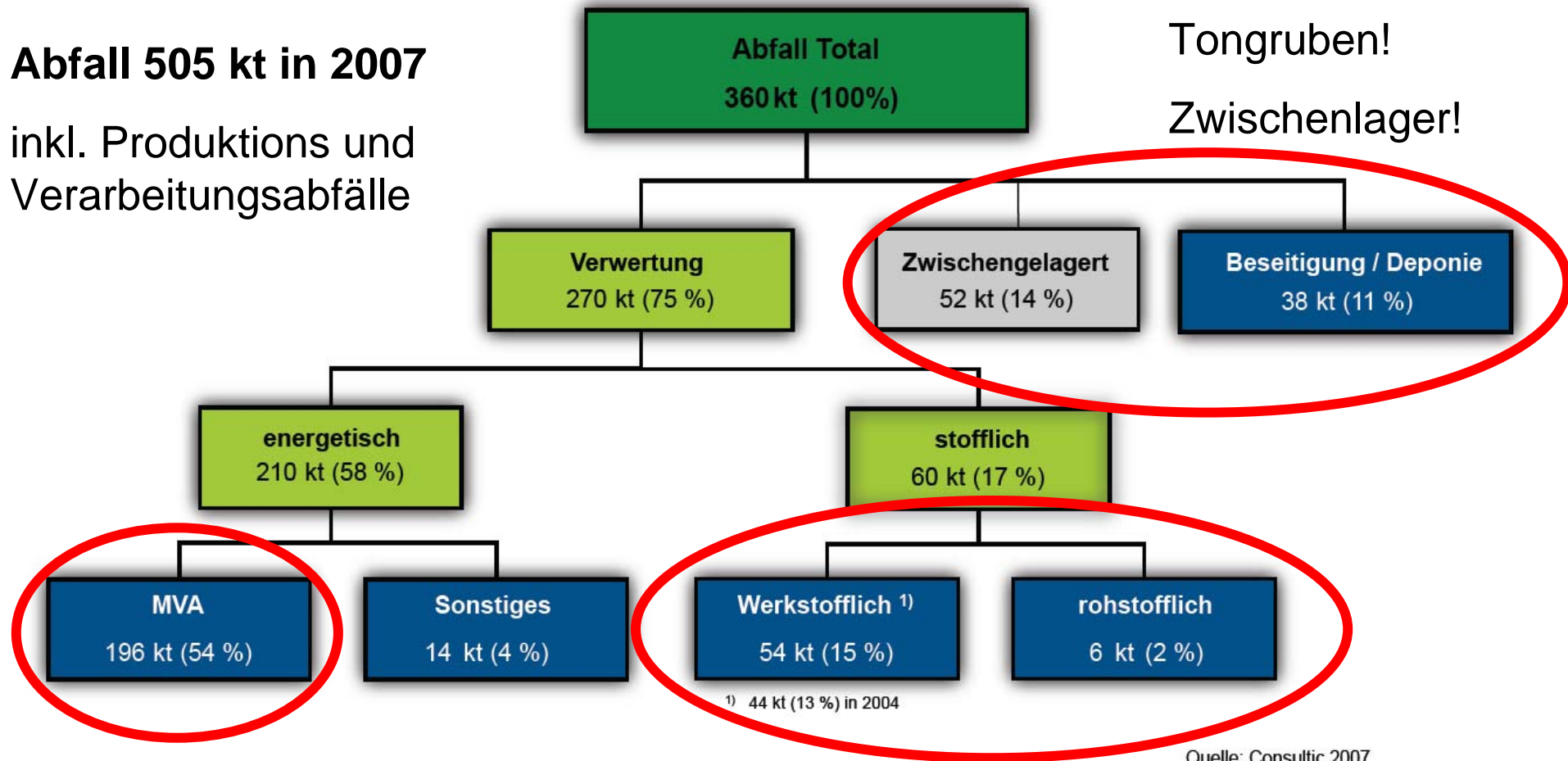


Quellen: Hochrechnung EuPC, 2000 (European Plastics Converters)

**PVC-Abfälle in Deutschland 2005 ohne Produktions- und Verarbeitungsabfälle**

**Abfall 505 kt in 2007**

inkl. Produktions und Verarbeitungsabfälle



Quelle: Consultic 2007

**Verwertung?**  
**> 50% ?**

SVZ und Acelor Bremen  
Verwertung eingestellt!

## 2.3 Prognose der Entwicklung der Chlorgehalte in Ersatzbrennstoffen

Fazit aus der aktuellen Stellungnahme der Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V. zur Rubrik energetische Verwertung von PVC:

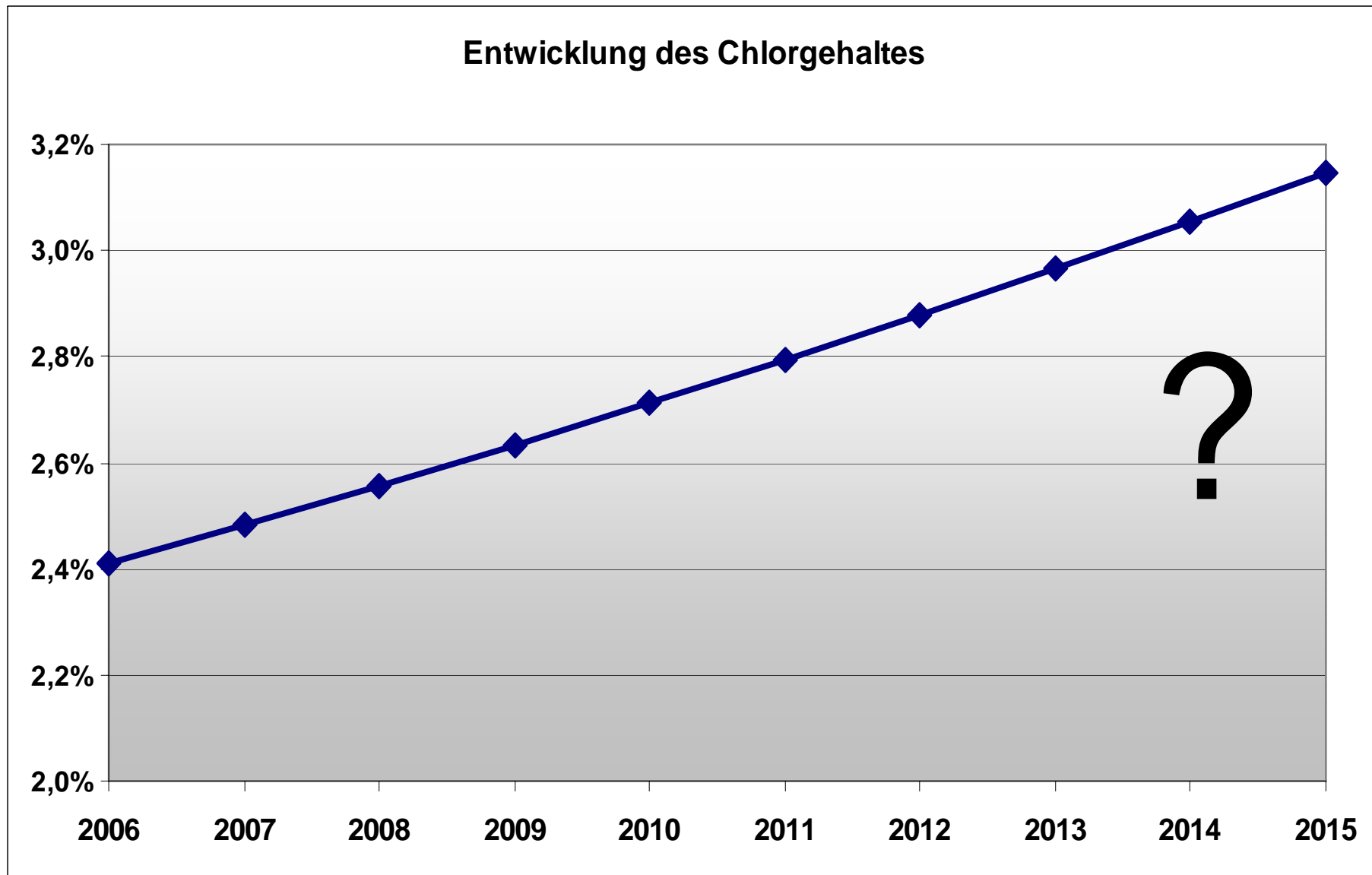
„Das Thema **energetische Verwertung und PVC in der Müllverbrennung** ist in seinen vielfältigen Aspekten durch zahlreiche Studien sehr intensiv erforscht worden. PVC führt in der Müllverbrennung nur zu marginalen Mehrkosten. Deshalb ist es nicht sinnvoll, PVC-Abfälle aus der Müllverbrennung fern zu halten oder einen **speziellen Deckungsbeitrag für PVC-Produkte** zu erheben. Die gute Datenlage lässt generell den Schluss zu, dass PVC in der Verbrennung keinen Problemstoff darstellt.“

### Berechnung EcoEnergy:

**400 – 700 €/t PVC Mehrkosten in MVA oder EBS-Kraftwerk**



## 2.3 Prognose der Entwicklung der Chlorgehalte in Ersatzbrennstoffen



## 2. 4 Schlussfolgerungen für Betreiber von EBS-Kraftwerken

- PVC-Verwertungskosten von 400 €/t bis 700 €/t
- Weitergabe der realen Kosten aufgrund des Chloreintrags
- Qualitätssicherungssystem
- EBS-Lieferant sollte eine PVC-Entfrachtung durchführen:
  - am Abfallentstehungsort bei den Gewerbetreibenden
  - separate Einsammlung von stark PVC-haltigen Abfällen
  - EBS-Aufbereitung zur PVC-Entfrachtung

Selbst wenn 50% des PVC-haltigen Abfalls mit 20% PVC-Anteilen einer separaten Verwertung zugeführt würden, verbleiben immer noch im Mittel > 2% Chlor in den heizwertreichen Abfällen zur energetischen Verwertung.

- Technische Maßnahmen zum Umgang mit PVC bei bestehenden Anlagen:
  - Korrosionsschutz
  - Nachrüstung von Wäschern

Neben einer klaren Preispolitik bei steigenden Chlorgehalten im EBS ist planerisch genügend Platz für eine spätere Erweiterung der Abgasreinigung vorzusehen. Moderate Dampfparameter von nicht über 400 °C sind vor diesem Szenario zur Reduzierung der erwarteten Korrosionsprobleme empfehlenswert.

## 2. 5 Einfluss von CO<sub>2</sub>-Zertifikathandel auf die EBS-Menge und Qualität

Zusammensetzung EBS: 60% fossil, 40% nativ organisch (massebezogen)  
75% fossil, 25% nativ organisch (energiebezogen)

da fossile Bestandteile doppelt so hohen Heizwert haben

⇒ **CO<sub>2</sub>-Emissionspotenzial von EBS**: 57 g CO<sub>2</sub>/MJ

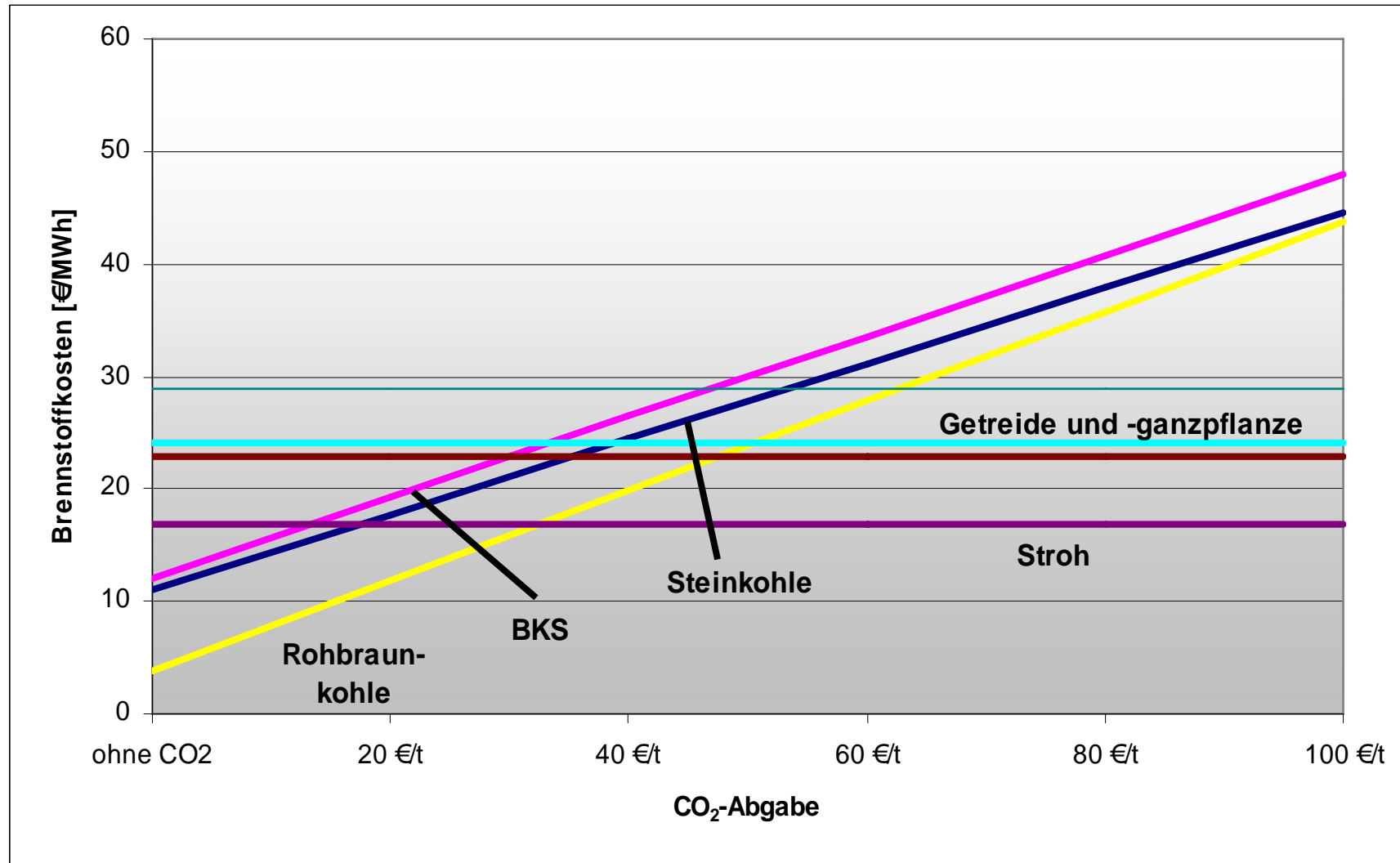
⇒ 0,8 t CO<sub>2</sub>/t EBS bei 14 MJ/kg

⇒ **Kunststoffanteil: 1 t CO<sub>2</sub>/t Kunststoff normiert auf 14 MJ/kg**

Bei 50 €/t CO<sub>2</sub>-Zertifikat müssen 40 €/t EBS mehr eingenommen werden, sollte der CO<sub>2</sub>-Zertifikathandel ab 2013 auch auf energetische Verwertungsanlagen für Abfälle ausgeweitet werden.

# „Brennstoffkosten“ feste Brennstoffe – CO<sub>2</sub>-Relevanz

2013; ohne Zertifikateausstattung



## Strompreise 2013

**100% Zertifikat-Zukauf:**

**Stromgestehungskosten fossile Kraftwerke: 100 – 150 €/MWh**

**Vergleich:**

**Windkraft: 50 – 90 €/MWh**

**Fotovoltaik: 150 – 300 €/MWh**

**Geothermie: 100 – 160 €/MWh**

**Wasserkraft: 40 – 120 €/MWh**

**Biomasse: 100 – 150 €/MWh**



Mitverbrennung von Biomasse – auch aufbereitet - aus dem Abfallbereich

## 2. 5 Einfluss von CO<sub>2</sub>-Zertifikathandel auf die EBS-Menge und Qualität

### Marktmechanismen:

- biogene Abfälle wie Sperrabfall, Altholz, schlechtes Papier sowie biogene Fraktion aus MBA usw. für Kohlekraftwerke und Zementindustrie
- Verstärkung Kunststoffrecycling bei erhöhten CO<sub>2</sub>-Zertifikatpreisen und steigenden Ölpreisen

### Konsequenz für EBS-Menge und Qualität

- Mengenrückgang – Biomasse und Wertstoffe
- Qualitätsverschlechterung
- Chloranstieg im Restgemenge

## 2. 6 Novellierte EU-Abfallrahmenrichtlinie – Recycling und Energieeffizienz

### Verwertung von PVC:

- Einsatz im Hochofen zur Reduktion oder Methanolproduktion
  - zukünftig nicht als stoffliches Recycling anerkannt (Entwurf)
- energetische Verwertung stark PVC-haltiger Abfälle
  - hohe Dampfparameter → sehr anspruchsvoll durch hohen Chlorgehalt
  - Ausweg: effektive Kraft-Wärme-Kopplung erforderlich, jedoch kaum vorhanden

Einhaltung der Energieeffizienzkriterien der EU-Abfallrahmenrichtlinie werden durch PVC bzw. hohen Chlorgehalt erschwert

 keine Alternative zur energetischen Verwertung für PVC-Gemische (< 30% PVC)

 Recyclingquoten müssen von den sortenrein erfassbaren Kunststoffen und anderen Wertstoffen erfüllt werden

 PVC reichert sich im Abfall zur energetischen Verwertung weiter an

### 3. Nachkalkulation der Gesamtkosten durch gestiegene Chlorgehalte

#### Parameter

- Verfügbarkeit: spezifische Kosten aufgrund korrosionsbedingter Stillstände bzw. verlängerter Revisionszeiten
- Wartungskosten: durch Korrosionsschäden
- Betriebsmittelkosten Abgasreinigung
- Entsorgung fester Reaktionsprodukte bei trockener und quasitrockener Abgasreinigung
- Rostschlacke- und Ascheentsorgung



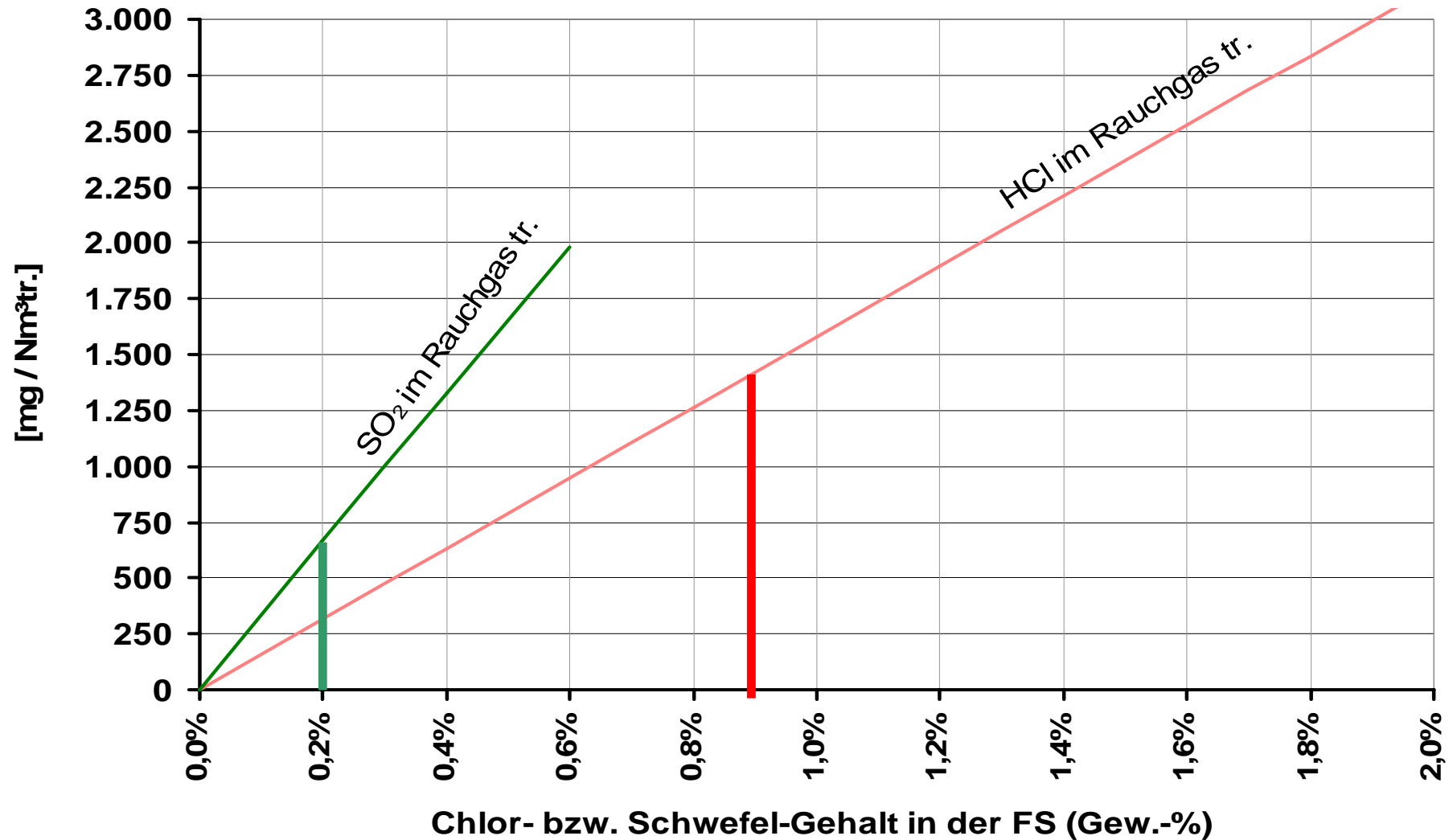
**400 – 700 €/t PVC Mehrkosten in MVA oder EBS-Kraftwerk**



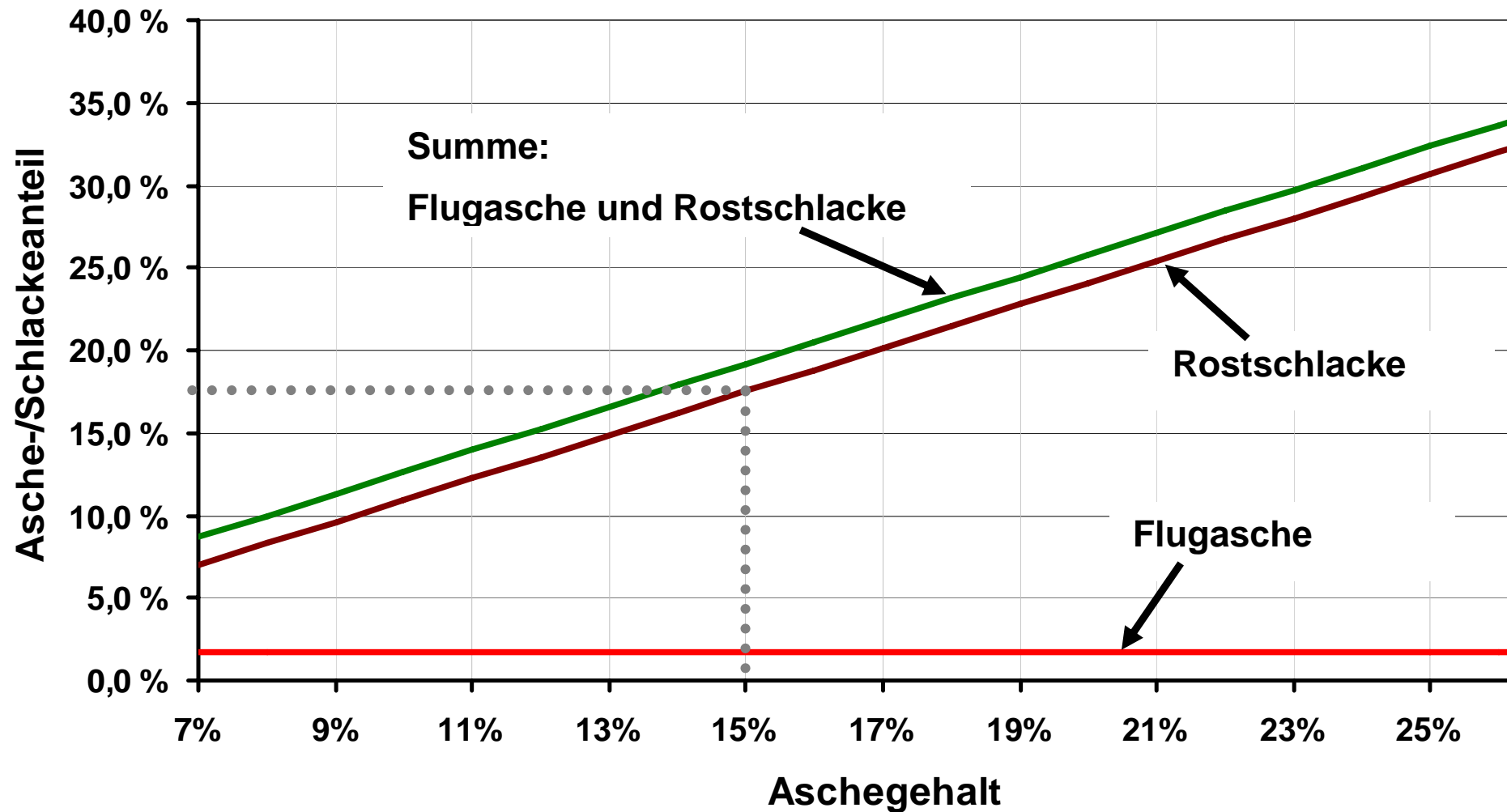
## Betriebsmittelkosten Abgasreinigung EBS-Kraftwerk bei < 1% Chlor

	Menge pro t EBS	Preis Betriebsmittel	spez. Kosten EBS
Ammoniakwasser	3 - 6,5 l	140 - 160 €/m <sup>3</sup>	0,4 - 1 €/t
Herdofenkoks	1- 2 kg	330 - 400 €/t	0,35 - 0,8 €/t
Kalkhydrat	20 - 40 kg	140 - 150 €/t	2,8 - 6 €/t
<b>SUMME</b>			<b>4 - 7 €/t</b>
<i>alternativ Branntkalk</i>	<i>25 - 45 kg/ t EBS</i>	<i>80 - 100 €/t</i>	<i>2 - 4,5 €/t</i>
<i>alternativ Natriumbikarbonat</i>	<i>12 - 24 kg/ t EBS</i>	<i>200 €/t</i>	<i>2,4 - 4,8 €/t</i>

## Rohgasbelastung bei EBS mit 14 MJ/kg



## Flugasche und Rostschlacke in Abhängigkeit vom Aschegehalt



## Zukünftige Änderungen Rostschlacke- und Flugasche-Entsorgung

- Altdeponieregelung läuft 2009 aus, Deponiekosten für Rostschlacken werden steigen  
Preisstand 2008: 30 – 50 €/t
- Bergeversatz von Flugstäuben wird u. U. nicht mehr als Verwertung anerkannt, die Preise werden durch die kommunale Umordnung des Entsorgungsweges und das Ausbleiben der Mengen aus dem europäischen Ausland wahrscheinlich steigen  
Preisstand 2008: 80 – 120 €/t für Deutschland  
> 200 €/t für Frankreich

## 4. Preisanpassung in EBS-Verträgen - Preisgleitformeln

$$P - Cl = \left[ CG' - \frac{Hu'}{Hu} CG \right] \bullet 1.100 \text{ €/t} \quad (1a) \text{ Korrektur Mehrpreis Chlormenge}$$

$$P - Cl = \left[ CG' - \frac{Hu'}{Hu} CG \right] \bullet 900 \text{ €/t} \quad (1b) \text{ Korrektur Minderpreis Chlormenge}$$

$$P - S = \left[ SG' - \frac{Hu'}{Hu} SG \right] \bullet 180 \text{ €/t} \quad (2a) \text{ Korrektur Mehrpreis Schwefelmenge}$$

$$P - S = \left[ SG' - \frac{Hu'}{Hu} SG \right] \bullet 120 \text{ €/t} \quad (2b) \text{ Korrektur Minderpreis Schwefelmenge}$$

$$P' = P \frac{Hu'}{Hu} \text{ €/t} \quad (3) \text{ Preisanpassung Heizwert}$$

$$P - FA = FA \bullet \left[ 1 - \frac{Hu'}{Hu} \right] \bullet 100 \text{ €/t} \quad (4a) \text{ Preisanpassung Flugasche}$$

$$P - RA = \frac{1}{65\%} \left[ (AG' - 1,7\%) - \frac{Hu'}{Hu} (AG - 1,7\%) \right] \bullet 36 \text{ €/t} \quad (4b) \text{ Preisanpassung Rostschlacke}$$

$$P\text{-aktuell} = P' + (P - Cl) + (P - S) + (P - FA) + (PRA)$$

## Berechnungsbeispiel EBS-Preis von 0,9% Chlor auf 2% Chlor

### EBS-Qualität neu

Heizwert	<b>Hu'</b>	<b>16</b>	MJ/kg
Chlorgehalt aktuell	<b>CG'</b>	<b>2,00%</b>	%
Schwefelgehalt aktuell	<b>SG'</b>	<b>0,20%</b>	%
Aschegehalt aktuell	<b>AG'</b>	<b>20%</b>	%

### Rahmenbedingungen EBS-Vertrag

Verwertungspreis EBS	<b>Po</b>	<b>80</b>	€/t
Heizwert	<b>Hu</b>	<b>14</b>	MJ/kg
Chlorgehalt Basis	<b>CG</b>	<b>0,9%</b>	%
Schwefelgehalt Basis	<b>SG</b>	<b>0,2%</b>	%
Aschegehalt Basis	<b>AG</b>	<b>15,0%</b>	%
Flugaschemenge von Aschegehalt	<b>FAG</b>	<b>1,70%</b>	%
Wassergehalt Rostschlacke	<b>WG-RA</b>	<b>35%</b>	%
Behandlungskosten Flugasche	<b>FA</b>	<b>100</b>	€/t
Behandlungskosten Rostschlacke	<b>RA</b>	<b>36</b>	€/t

### Ergebnis

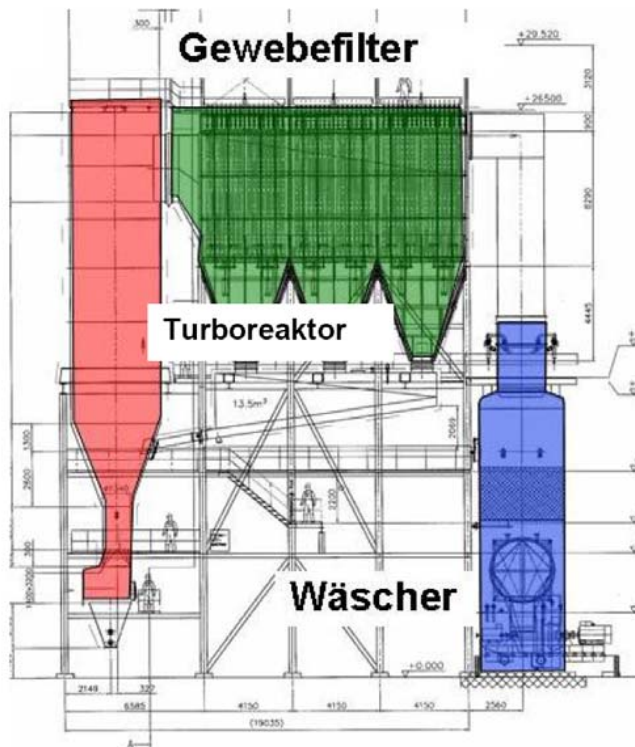
Korrekturpreis Chlormenge	<b>P-CI</b>	11,66	€/t
Korrekturpreis Schwefelmenge	<b>P-S</b>	-0,03	€/t
Korrekturpreis Flugasche	<b>P-FA</b>	-0,24	€/t
Korrekturpreis Rostschlacke	<b>P-RA</b>	1,72	€/t
Preis heizwertangepasst	<b>P'</b>	91,43	€/t
<b>Summe Preisänderung</b>	<b>P-aktuell</b>	<b>104,53</b>	<b>€/t</b>

## Fazit:

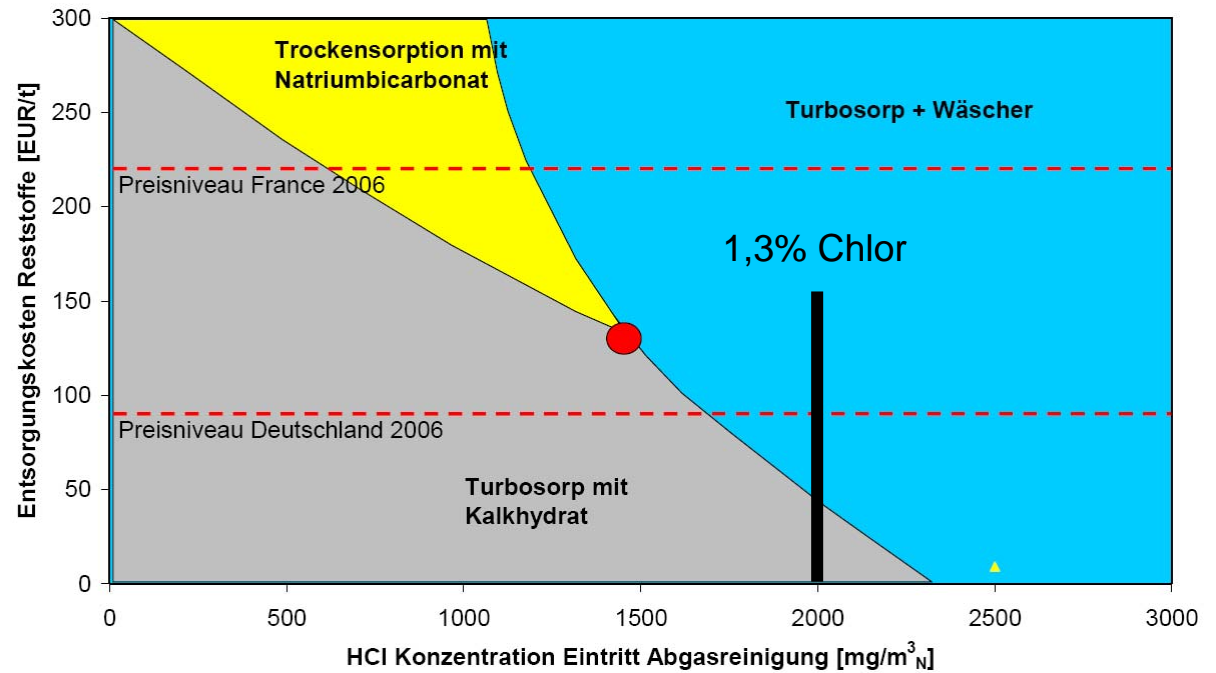
- Eine Tonne Chlor produziert Kosten von 900 – 1.400 €
- 0,1% Chlorerhöhung ergeben ca. 1,2 €/t EBS Mehrkosten
- < 1% Chlor im EBS zukünftig nicht erreichbar ohne NIR-Technik
- 2% Chlor ergeben schon heute ca. 15% - 20% Mehrkosten gegenüber den Projektansätzen mit < 1% Chlorgehalt
- pro Jahr erhöhen sich die Chlorgehalte im EBS um ca. 0,1%-Punkt

Sollten sich die Chlorgehalte bis 2015 auf 3% erhöhen, ergibt sich ein um 30% erhöhter Entsorgungspreis bei MVA oder EBS-Kraftwerk!

## 5. Nachrüstoptionen für die Abgasreinigung



Quelle: Von Roll Inova



Quelle: Von Roll Inova



## 6. Abgasreinigung für EBS bei Rostverbrennungsanlagen

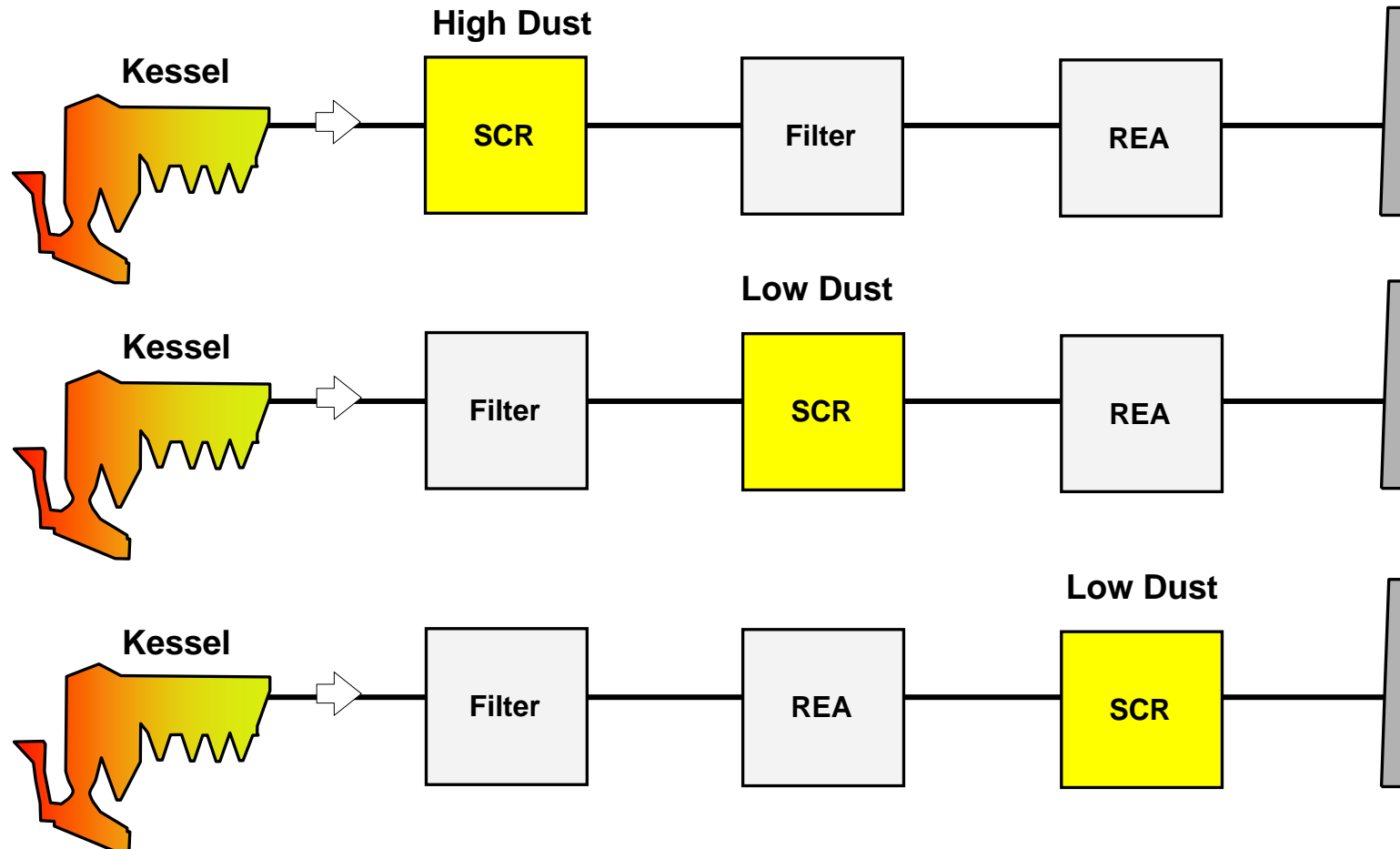
Leitparameter	Prämisse	Maßnahme
NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub>	<u>37. BImSchV</u> < 100 mg/Nm <sup>3</sup> NO <sub>x</sub> <u>TA-Luft erwartet</u> < 10 mg/Nm <sup>3</sup> NH <sub>3</sub>	SCR-Katalysator
HCl, SO <sub>x</sub> -	PVC steigend	nasse Abgasreinigung Chlorrecycling?
Schwermetall	17. BImSchV BergversatzVO	Kat. Metall-Shift + Aschewäscher
Dioxine, Furane	17. BImSchV	DIO <sub>x</sub> -Kat. ZERONOX
Reststoffentsorgung	Wunsch 2020	Heißgaszyklon DIO <sub>x</sub> -Kat. + Aschewäscher HOK-frei



**kein Filter!**

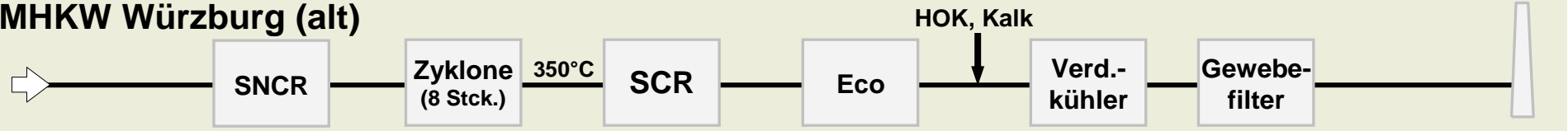
## 4. Multifunktionale Abgaskatalyse 1

### High Dust - Low Dust – Low Dust - Entstickungsschaltungen

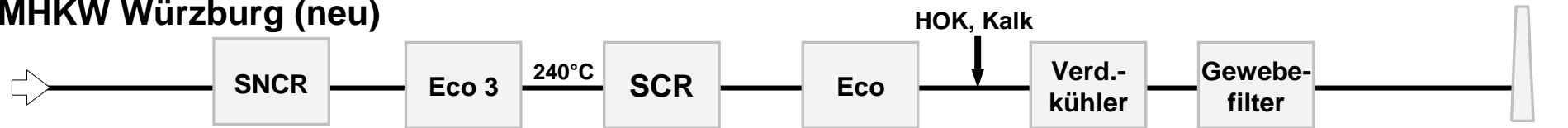


## 4. Multifunktionale Abgaskatalyse 2

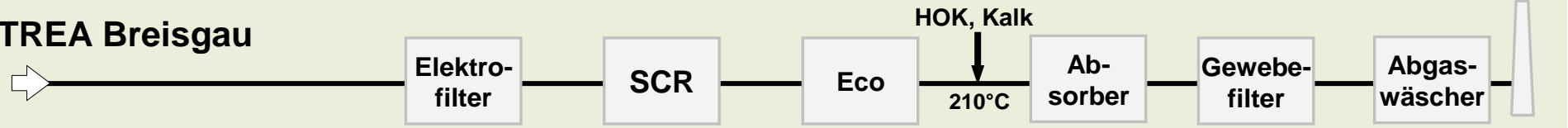
### MHKW Würzburg (alt)



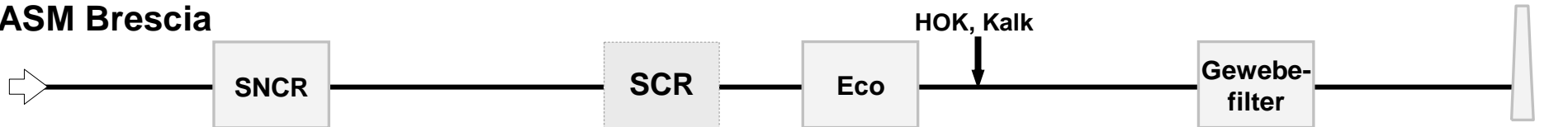
### MHKW Würzburg (neu)



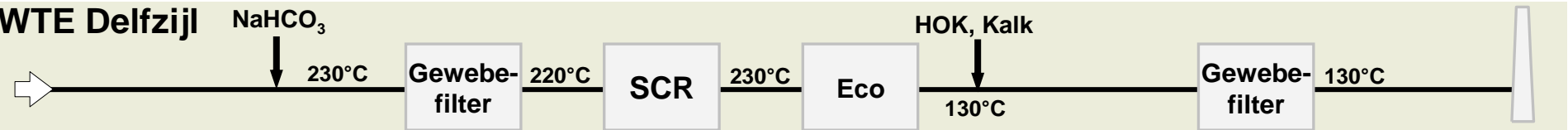
### TREA Breisgau



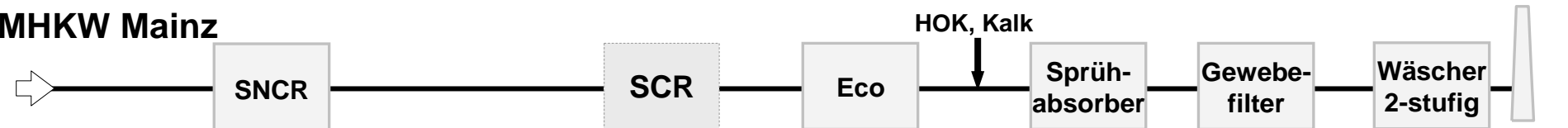
### ASM Brescia



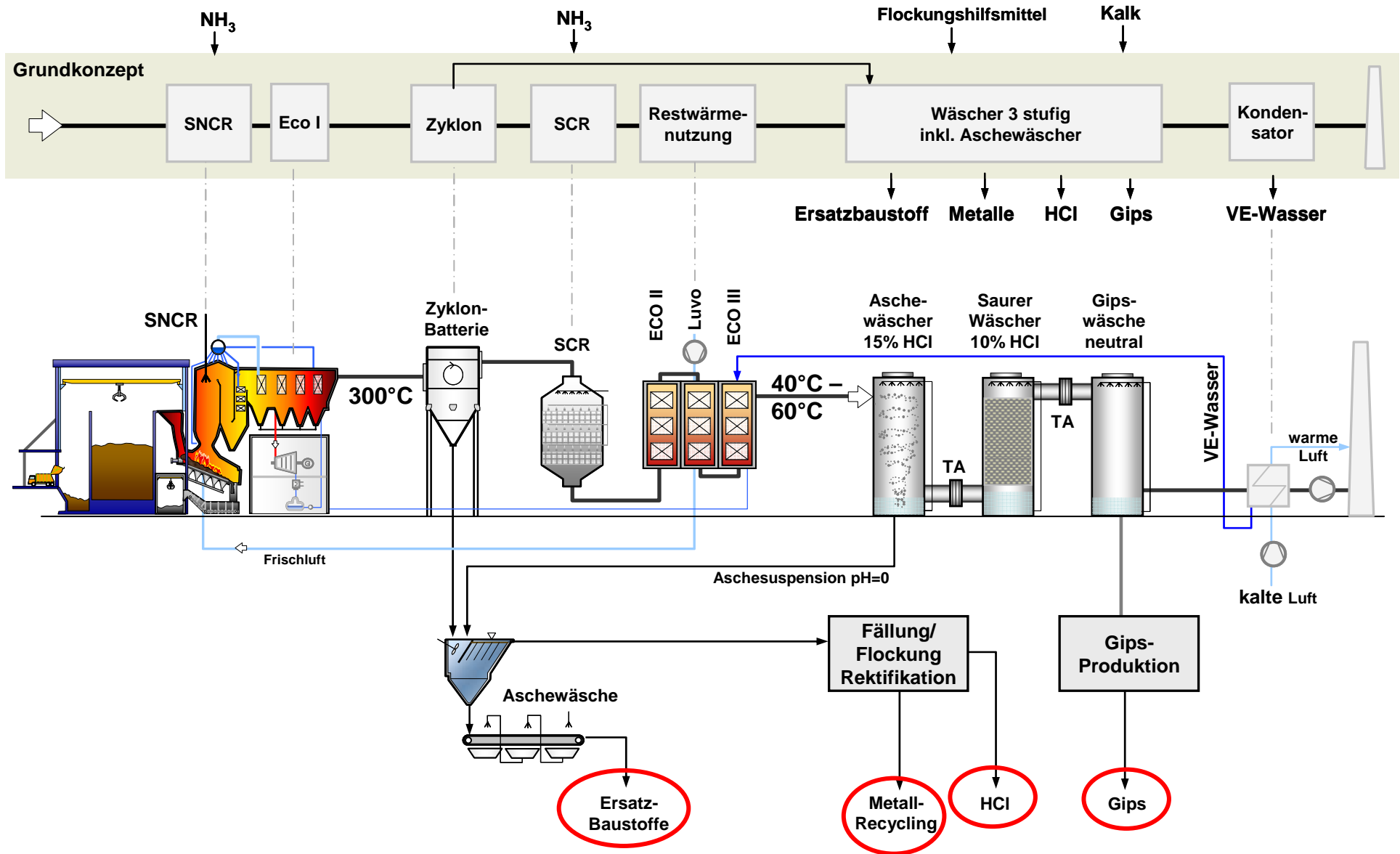
### WTE Delfzijl



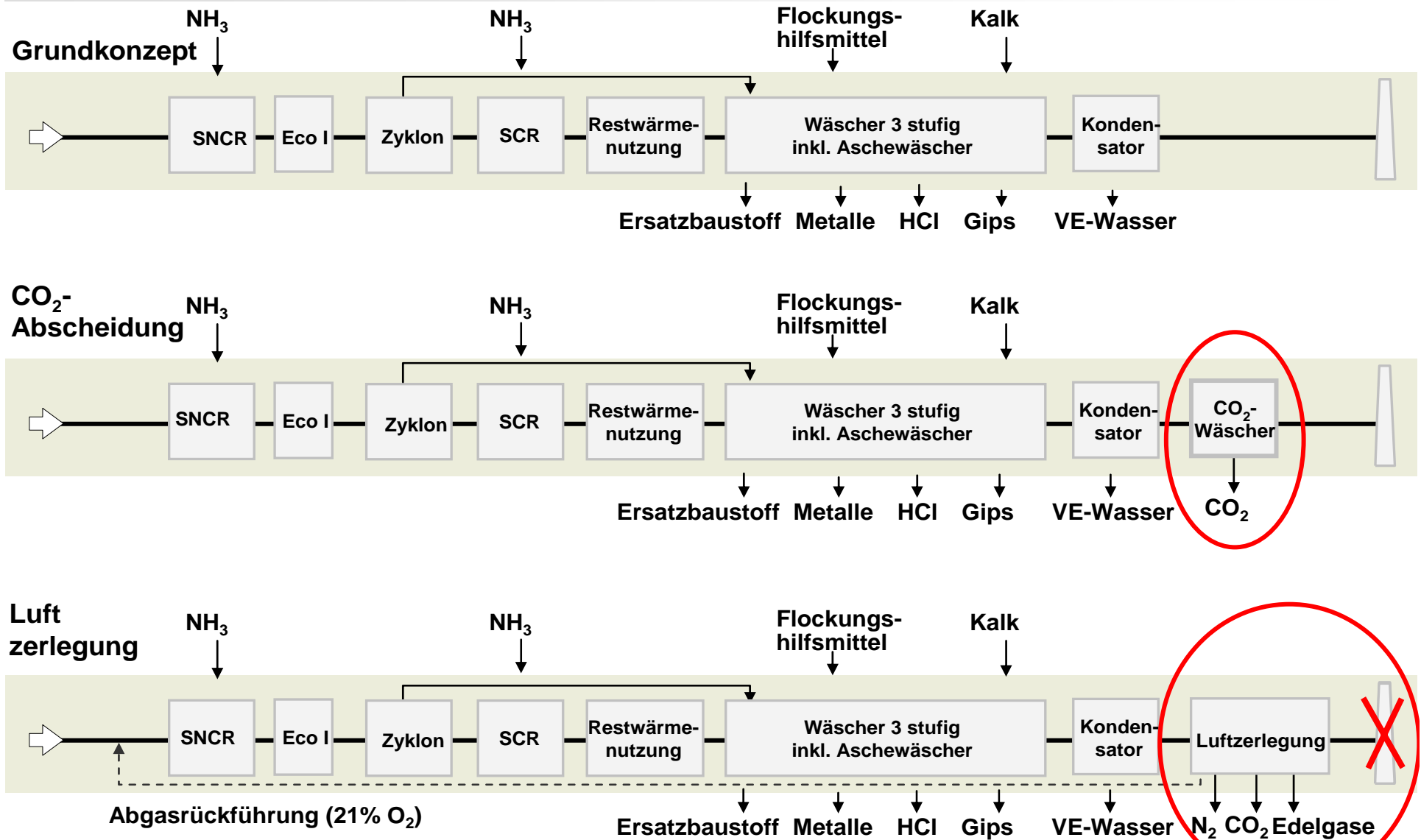
### MHKW Mainz



# 5. Entstaubung, Aschewäsche und nasse Abgasreinigung



## 6. Vision Nullemission – ZEWTEC



## Zusammenfassung

- **Herkunft von PVC**
- **PVC – im Abfall – Vergleich der Prognosen – Diskrepanz**
- **Gesamtkostenbetrachtung Chlor aus PVC – 400 – 700 €/t PVC**
- **Berechnungstool Preisanpassung nach EBS-Qualitäten**
- **Einfluss EU-Abfallrahmenrichtlinie und CO<sub>2</sub>-Handel**
- **Naßwäscher in Neuprojekten obligatorisch**
- **Ausblick: CO<sub>2</sub>-Zertifikathandel auch für EBS-Kraftwerke?**
- **„Nullemission“ ? – ZEWTEC –**

Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit



***Dipl.-Ing. Reinhard Schu***  
***EcoEnergy Gesellschaft für***  
***Energie- und Umwelttechnik mbH***  
***Walkenried am Harz***  
***Tel.: 05525 2096 10***  
***www.EcoEnergy.de***