

**Berliner Energiekonferenz „Erneuerbare Energien“
4. und 5. Mai 2011, Berlin**

**Ökologischer Vergleich verschiedener Verfahren
der Restabfallbehandlung –
MBA-Konzepte und thermische Verfahren**

Dr. Barbara Zeschmar-Lahl

BZL Kommunikation und Projektsteuerung GmbH

HINTERGRUND

- TA Siedlungsabfall (TASI) 1993: Festlegung von Ablagerungskriterien, aber lange Übergangsfrist
- MBA als „Alternative“ zur thermischen Behandlung – aber vielerorts in Form einfachster Vorbehandlung auf Deponien
- AbfAbIV 2001: Beendigung der Ablagerung unbehandelter Abfälle zum 1.6.2005



ENTWICKLUNG IN DEUTSCHLAND

Seit Ende der 1990s: Entwicklung moderner (technischer) MBA-Anlagen in Deutschland
 2008: 61 M(B)A in Betrieb

- Stoffstromtrennung
 - 18 Rotteverfahren
 - 10 Vergärungsanlagen
 - 10 andere (u. a. mechanisch)
- Stabilisierungsanlagen
 - 10 Anlagen mit biologischer Trocknung
 - 3 Anlagen mit physikalischer Trocknung
- MBA-Anlagen zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen
 - 10 Anlagen



○ Mechanisch(-biologische) Abfallbehandlungsanlagen
 ● Landeshauptstadt

Alle: Abtrennung einer oder mehrerer heizwertangereicherte Fraktion(en)

Thermische Behandlungsanlagen (2008):

- 68 MVA/MHKW (WtE)
- 21 EBS-Kraftwerke (Perspektive 2011: 36)
- Mitverbrennung: 8 Kraftwerke

Zementwerke:

- 54 % des Energieinputs in Form von Sekundärmaterialien wie Altreifen, Kunststoffabfälle und andere Fraktionen aus industriellen und gewerblichen Abfällen
- Insgesamt rund 2,9 Mio. Mg/a

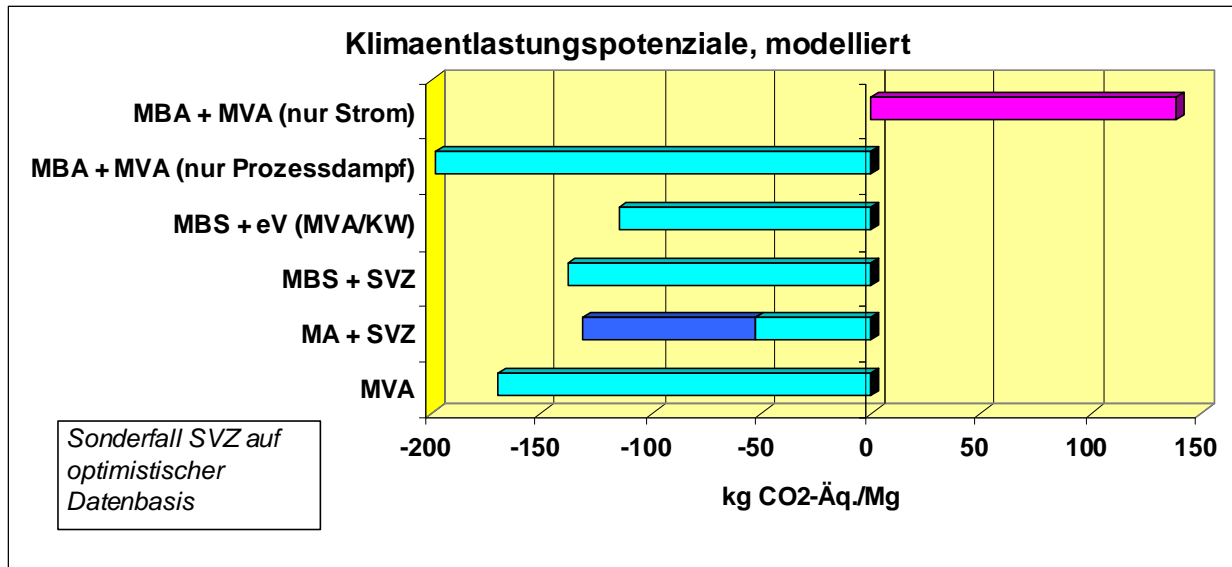
Ziel: MBA als Alternative zur Müllverbrennung

→ Ökologische Bewertung thermischer und nichtthermischer Verfahren der Abfallbehandlung anhand von Ökobilanzen

Auswahl:

- BIWA/BZL 2003 (Sachsen)
- BIFA 2004 (Bayern)
- Öko-Institut 2005 (Deutschland)
- IKr - Institut für Kreislaufwirtschaft 2006 (Bremen)
- MUNLV/IFEU 2007 (Nordrhein-Westfalen)
- BIWA/BZL/Prof. Born, 2009 (Sachsen)

„Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen“

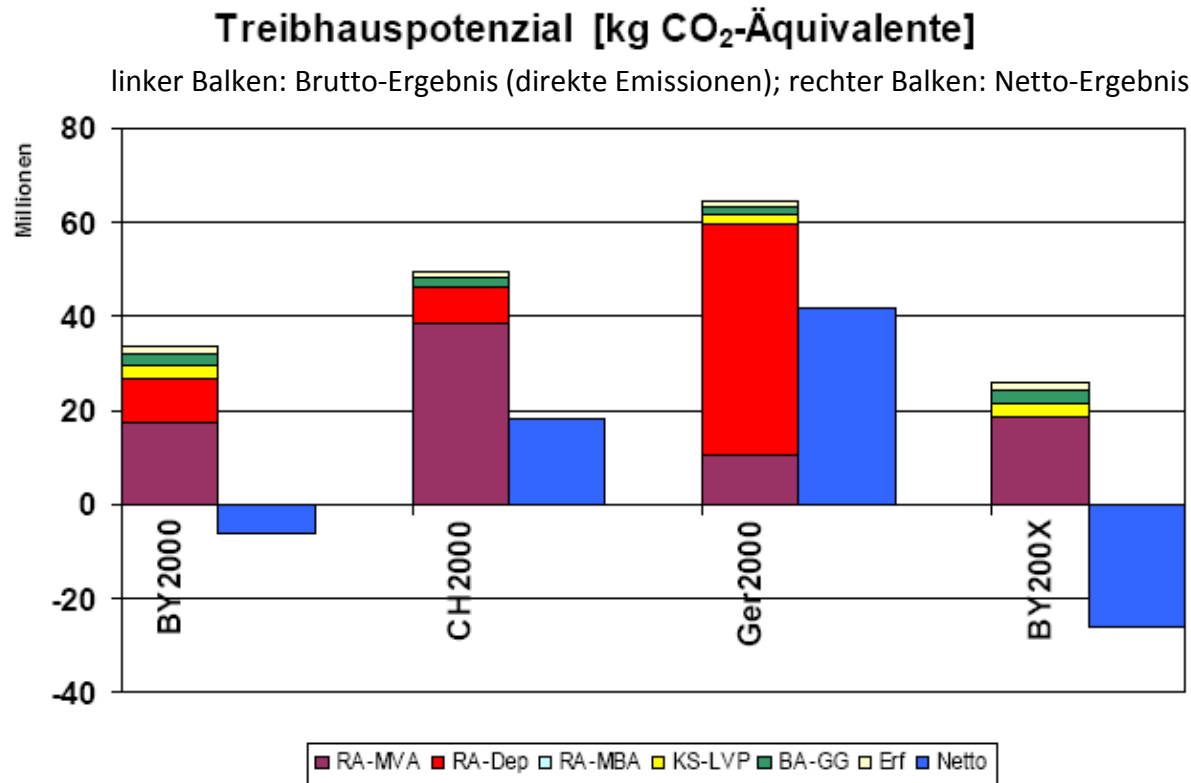


- Wichtigste Maßnahme zum Klimaschutz: Beendigung der Deponierung ohne Vorbehandlung (Methan, Lachgas!!!).
- Beitrag aus Äquivalenzprozessen der Restabfallbehandlung (Strom, Wärme, Metalle) deutlich geringer.
- Größte Optimierungspotenziale:
 - Steigerung der Energieeffizienz der thermischen Anlagen
 - Reduzierung des Energieverbrauchs der nichtthermischen Anlagen

„Ökoeffizienz von öffentlichen Entsorgungsstrukturen“

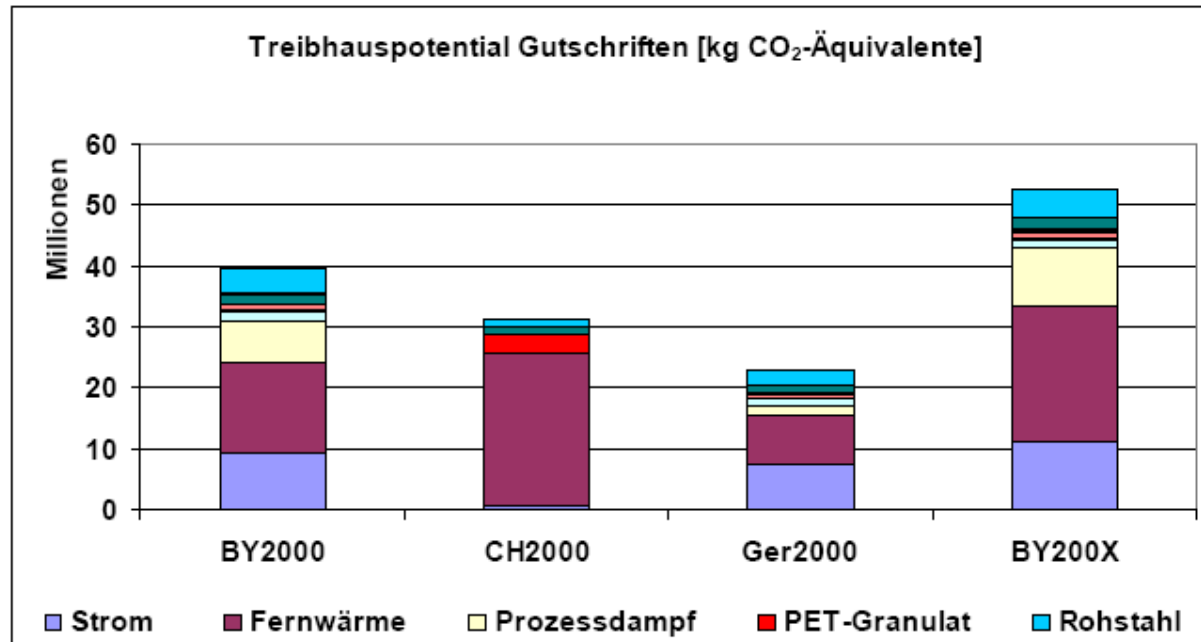
Sektor und Prozesse	BY 2000	GER 2000	CH 2000	BY 200X
RA-MVA				
Thermische Behandlungsanlage(n)	17 MVA mit Standort Bayern (Ø Wirkungsgrad 42,7 %)	17 MVA mit Standort Bayern (Ø WG 42,7 %) und eine „Durchschnitts-MVA“ für alle deutschen MVA (Ø WG 32,5 %)	Eine „Durchschnitts-MVA“ für alle schweizer MVA (Ø WG 31,5 %)	16 MVA am Standort Bayern mit verbesserten Wirkungsgraden (Ø WG 48,6 %)
Verwertung Rückstände	Bergversatz bzw. Rohstahlerzeugung	Bergversatz bzw. Rohstahlerzeugung	teilweise Rohstahlerzeugung	nur Rohstahlerzeugung
RA-Dep	„Durchschnittsanlage“ ergänzt mit Daten bayerischer Anlagen	„Durchschnittsanlage“	„Durchschnittsanlage“ ergänzt mit Daten schweizer Anlagen	keine Deponierung von unbehandeltem Restabfall
RA-MBA	„Durchschnittsanlage“ ergänzt mit Daten bayerischer Anlagen	„Durchschnittsanlage“	nicht vorgesehen	nicht vorgesehen
KS-LVP Sortierung und Aufbereitung	„Status-quo“ [HTP / IFEU 2000]	„Status-quo“ [HTP / IFEU 2000]	Nur Behandlung von PET-Flaschen	„Status-quo“ & „Status-quo opt.“ [HTP / IFEU 2000]

„Ökoeffizienz von öffentlichen Entsorgungsstrukturen“



- CH2000 / GER2000: Netto-Umweltbelastung aufgrund methanhaltiger Deponiegasemissionen, keine Gutschriften für Wertstoffe
- BY2000/200X: geringe bzw. keine Deponierung
- Höchste Klimaentlastung bei BY200X aufgrund verbesserter Wirkungsgrade der thermischen Behandlungsanlagen

Einfluss der Gutschriften auf Ergebnisse der verschiedenen Szenarien



Ergebnisrelevant:

- Alle: Fernwärme, in geringerem Umfang auch Rohstahl
- Alle außer Schweiz: Strom
- Bayern: auch Prozessdampf
- Sonderfall Schweiz: PET-Granulat

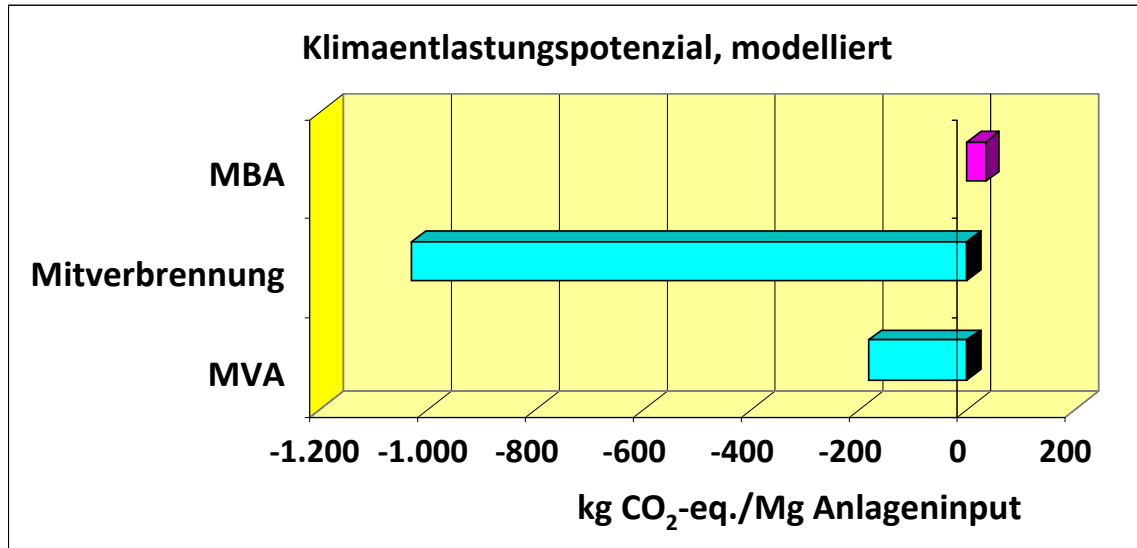
Weitere Ergebnisse:

- Deutliche Umweltentlastungen (netto) für **KEA/Versauerungspotenzial (AP)** bei allen Szenarien bedingt durch Gutschriften für Substitution von Strom, Prozessdampf, Fernwärmeerzeugung,
- beim Versauerungspotenzial zusätzlich auch
 - Rohstahlerzeugung bei den Szenarien BY2000 und BY200X
 - PET-Herstellung (ca. 50 % der Gutschriften) bei CH2000
- Szenario BY200X:
 - höchste Entlastung durch verbesserte Wirkungsgrade RA-MVA

Optimierungspotenziale hinsichtlich der Restabfallbehandlung:

- Verringerung der unbehandelt deponierten Restabfallmenge zugunsten einer Erhöhung der thermisch behandelten Menge
- Maximierung der Auslastung thermischer Behandlungsanlagen
- Erhöhung der energetischen Wirkungsgrade in thermischen Behandlungsanlagen

„Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale“



Ergebnisse bezogen auf 1 Mg Anlageninput

Ergebnisse bez. auf 1 Mg Abfall (bei 20 % MBA-Input in Mitverbrennung:

- MBA+Mitverbrennung: -172 kg CO_{2eq.}/Mg Restabfall
- MVA: -184 kg CO_{2eq.}/Mg Restabfall

Alle Werte ohne Gutschriften für abgetrennte Metalle!

„Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale“

Modellierung Metallfraktionen:

- MVA: 50 % Eisen und 10 % Nichteisen (Aluminium) aus der Asche zur Verwertung
- MBA: 80 % Eisen und 30 % Nichteisen (Aluminium) zur Verwertung
- Fazit: Unter Einbeziehung der Gutschriften für die stoffliche Verwertung der Metallfraktionen des Inputs würden sich die Gutschriften für beide Systeme erhöhen.
- Aufgrund der höheren Massenströme bei der MBA ist zu erwarten, dass die Variante MBA + energetische Verwertung + Verwertung der Metallfraktionen in der Summe doch zu einer höheren Klimaentlastung führt als die Variante MVA + Verwertung der Metallfraktionen.

„Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale“

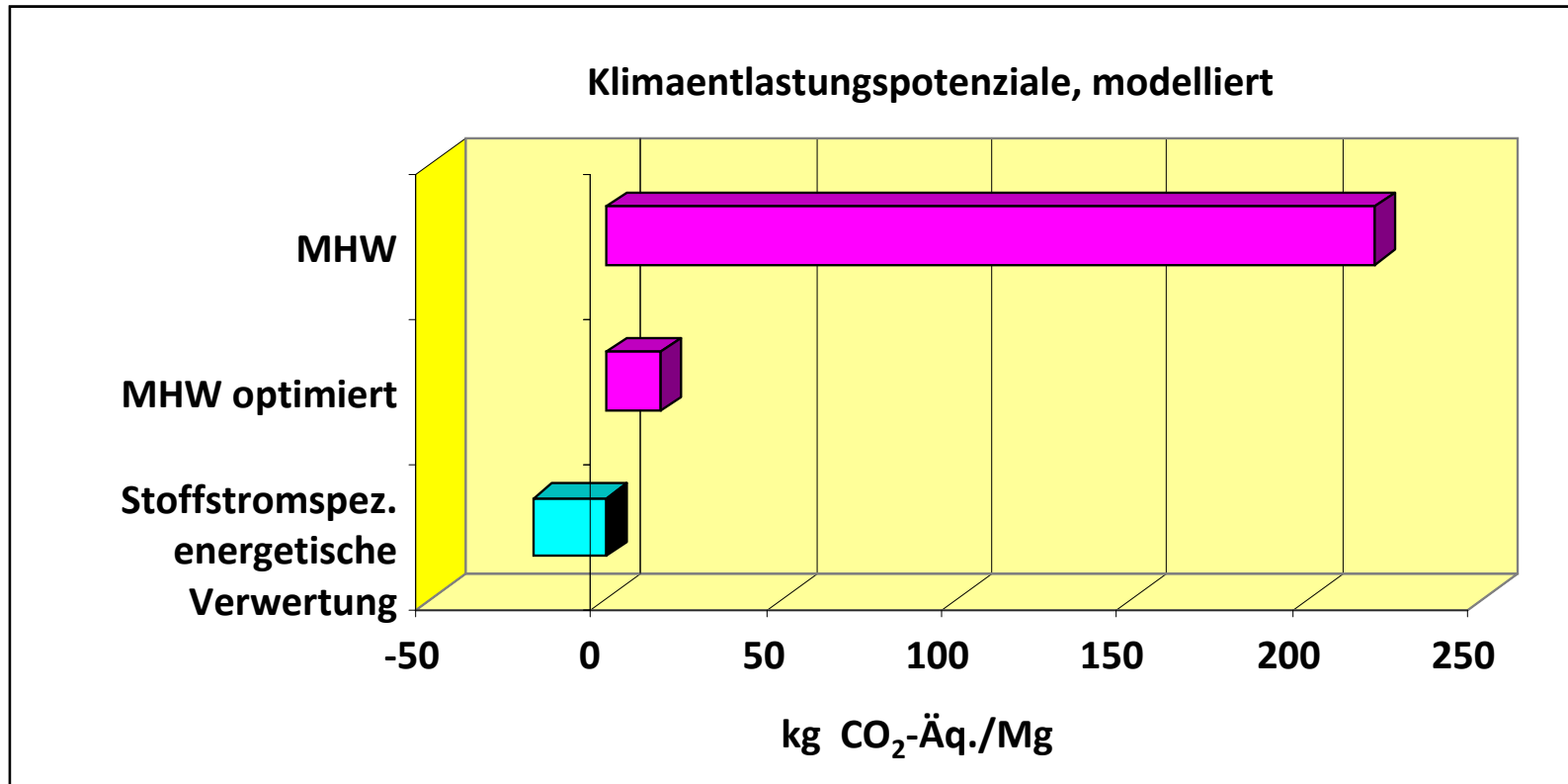
Optimierungspotenziale:

1. „Intensivierung von KWK bei MVA und EBS-Spezialkraftwerken
2. Erhöhte Bereitstellung und Nutzung von Prozessdampf
3. Einsatz von qualitätsgesicherten Sekundärbrennstoffen in Mitverbrennungsprozessen
4. Intensivierung der effizienten Stromgewinnung in MVA, möglichst in Verbindung mit KWK.“

Beitrag Abfallwirtschaft zum Klimaschutz:

„Zu den gesamten Treibhausgasreduktionen von 1990 bis 2020 haben die eingesparten Deponiegasemissionen zu 76 %, die energetische Verwertung zu ca. 7 %, die stoffliche Verwertung zu 5 % und die MVA zu 9 % beigetragen.“

„Ökologische und energetische Bilanzierung des Vorhabens MKK“

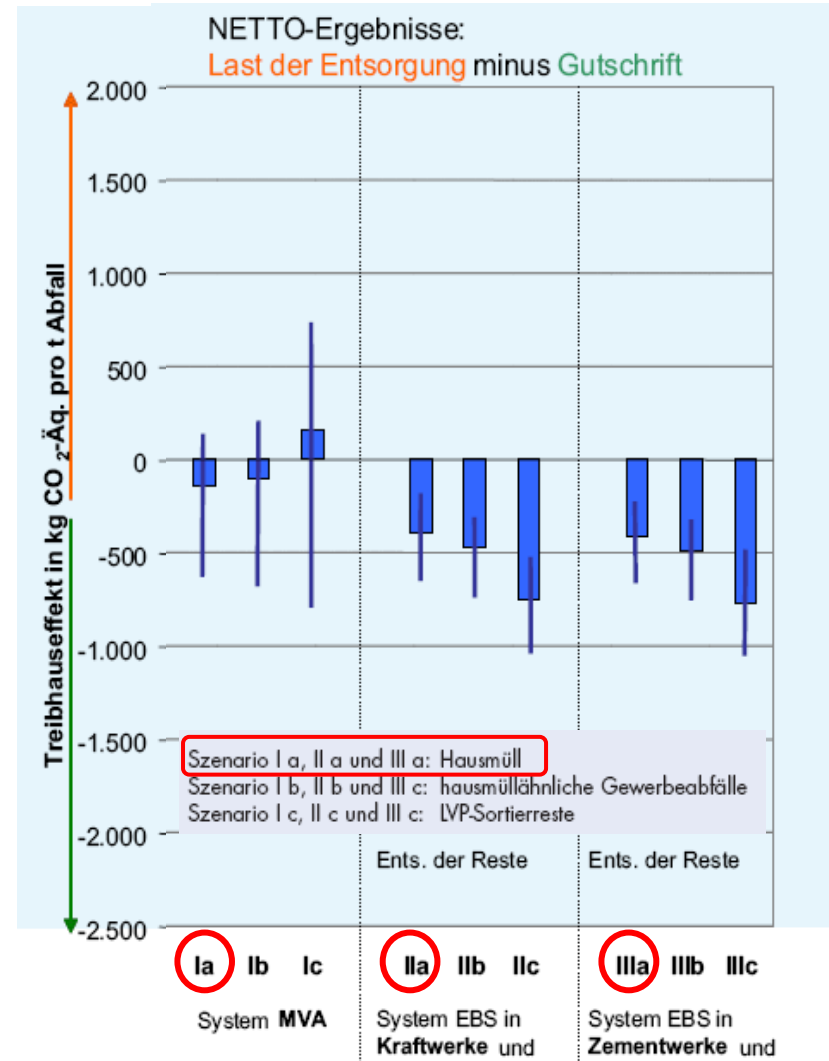


„Durch die hohen Gutschriften aus der Substitution des Strom-Mix Bremen, die im Kern auf dem Mittelkalorikkraftwerk (MKK) beruhen, wird in der Entsorgungsvariante insgesamt eine positive Klimabilanz erreicht.“

„Ökobilanzierende Untersuchung thermischer Entsorgungsverfahren für brennbare Abfälle in Nordrhein-Westfalen“

Treibhauseffekt

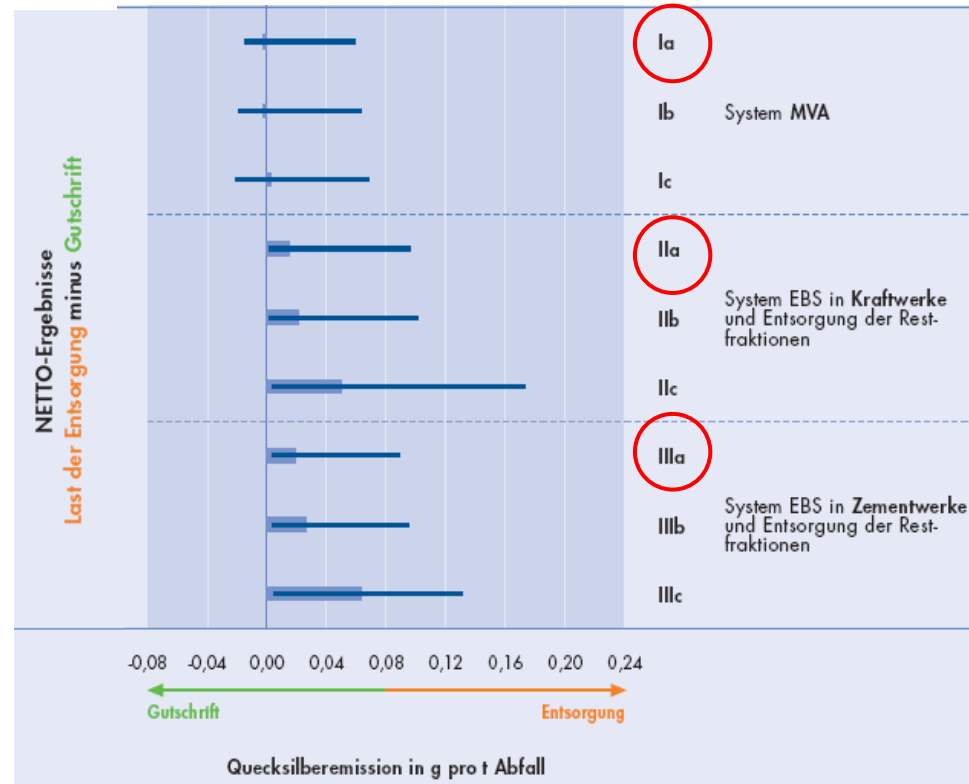
- Mitverbrennung in Zement- (III) oder Kraftwerken (II) im Durchschnitt etwas günstigere Bilanz als MVA (I).
- Bei optimaler Energienutzung (vollständige Dampfverwertung): MVA kann ein vergleichbares Ergebnis wie Mitverbrennung erzielen.
- Wichtige Einflussfaktoren
 - Ausgebrachte Menge an EBS durch die Aufbereitung
 - Art des substituierten Regelbrennstoffs
 - Energieeffizienz der MVA zur Entsorgung der MBA-Restfraktion



„Ökobilanzierende Untersuchung thermischer Entsorgungsverfahren für brennbare Abfälle in Nordrhein-Westfalen“

Humantoxizität (Quecksilber)

- MVA (I) kann - je nach Standard der Abgasreinigung - netto zu einer Umweltentlastung führen.
- Mitverbrennung: in jedem Fall tritt eine Umweltbelastung auf.
- Höhe der Umweltbelastung bei Mitverbrennung hängt ab von
 - MBA: Selektivität der Sortierung und Aufbereitung zu EBS
 - Zement- und Kraftwerke (III und II): spezifische Hg-Emissionsminderungsmaßnahmen (Koks-Adsorption, selektive Abscheidung im Wäscher bei Kraftwerken, Staubausschleusung bei Zementwerken)



„Ökobilanzierende Untersuchung thermischer Entsorgungsverfahren für brennbare Abfälle in Nordrhein-Westfalen“

Humantoxizität (Feinstaub)

- Alle Systeme: deutliche Entlastung; direkte Emissionen nicht ergebnisrelevant ausgenommen Arsenemissionen aus Steinkohle-Kraftwerken
- Ergebnisrelevant: Gutschriften für Äquivalenzsysteme, d.h. die substituierten Prozesse oder Stoffe (Fe, NE, Einzelfeuerungen)

Versauerung

- Nur geringe Unterschiede; Entlastung bei MVA in Abhängigkeit von NO_x-Emission

Eutrophierung

- Mitverbrennung: durchweg Belastung.
- MVA: Netto-Entlastung bei den sechs energieeffizientesten und NO_x-armen Anlagen.

„Studie zur Klimarelevanz der Abfallwirtschaft in den Abfallverbänden des Freistaates Sachsen“

Randbedingungen:

- Bilanzierung aufgrund Angaben von Betreibern und Modellannahmen
- Vertraulichkeit vereinbart

MVA-Lösungen (3 öRE):

- 1 MVA in Sachsen, 2 außerhalb
- alle: nur Auskopplung von Strom (Wirkungsgrad um 20 %)
- nur eine: Abtrennung geringer Mengen Eisenmetallschrott aus Schlacke
- Gutschriften für Stromauskopplung:
 - Anlage in Sachsen: sächsischer Strommix (915 g CO_{2eq}/kWh),
 - andere: deutscher Strommix (604 g CO_{2eq}/kWh)

Ergebnis:

- Netto-Gutschrift für sächsische Anlage: rund 114 kg CO_{2eq}/Mg MVA-Input
- Andere: Gutschrift für Strom reicht nicht aus, um die direkten Emissionen und die betrieblichen Aufwendungen (wie Betriebsmittel, Transportaufwendungen) zu kompensieren → Umweltbelastung (6,7 bzw. 15,9 kg CO_{2eq}/Mg MVA-Input)
- Deutliche Beiträge zur Klimaentlastung erreichbar durch Kraft-Wärme-Kopplung.

„Studie zur Klimarelevanz der Abfallwirtschaft in den Abfallverbänden des Freistaates Sachsen“

MPS-Lösungen (2 öRE):

- 1 Anlage in Sachsen
- Trocknung Hauptinputstrom unter Einsatz von Erdgas
- Energetische Verwertung heizwertangereicherte Fraktion in Kohlekraftwerk, teils in ein EBS-Kraftwerk, teils in die (mittlerweile eingestellte) Vergasung zur Methanolproduktion (SVZ Schwarze Pumpe).

Ergebnis:

- In Summe keine Klimaentlastung, insbesondere aufgrund des hohen Energiebedarfs der MPS-Anlage
- Keine ausreichenden Gutschriften zur Kompensation durch Auskopplung von Energie und Rohstoffen (Methanol)
- Ergebnis verschlechtert sich, wenn
 - Keine KWK bei modellierten Kraftwerken
 - Energiebedarf im SVZ-Prozess höher als modelliert.

„Studie zur Klimarelevanz der Abfallwirtschaft in den Abfallverbänden des Freistaates Sachsen“

MBS-Lösungen (3 öRE):

- 2 Anlagen in Sachsen
- Trocknung Hauptinputstrom biologisch
- Energetische Verwertung heizwertangereicherte Fraktion in Kohlekraftwerk, teils in ein EBS-Kraftwerk, teils in die (mittlerweile eingestellte) Vergasung zur Methanolproduktion (SVZ Schwarze Pumpe).

Ergebnis:

- In Summe Klimaentlastung, insbesondere aufgrund der hohen Energieeffizienz der modellierten energetischen Verwertung mittels Kraft-Wärme-Kopplung
- Ergebnis verschlechtert sich, wenn
 - Keine KWK bei modellierten Kraftwerken
 - Energiebedarf im SVZ-Prozess höher als modelliert.

„Studie zur Klimarelevanz der Abfallwirtschaft in den Abfallverbänden des Freistaates Sachsen“

Fazit:

- Aufgabe ist, den Aufwand (Material- und Energieeinsatz) zu minimieren und den Nutzen (Material- und Energieausbringung) zu maximieren. D.h.
- Nicht-thermische Vorhandlungsanlagen: Optimierung zwischen Minimierung des Eigenenergiebedarfs und Maximierung des Ausbringens an heizwertangereicherten Fraktionen und Altstoffen (hinsichtlich Menge und Qualität) erforderlich.
- Thermischen Verwertungsanlagen:
 - Eigenenergieverbrauch senken
 - Nettoenergiegewinn beispielsweise durch KWK zu erhöhen (Erhöhung des Wirkungsgrades).

Ergebnis Sensitivitätsanalyse:

- Einfluss der Energieeffizienz (Anlagenwirkungsgrad) insbesondere der thermischen Anlage > 20 % und darüber
- Großer Einfluss der Art der substituierten Energie, wie sächsischer ($915 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}_{\text{el}}$) vs. deutscher Energiemix ($604 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}_{\text{el}}$):
 - Vorteilhaft für Anlagen mit Auskopplung in Sachsen
 - Nachteilig für Anlagen mit Verbrauch in Sachsen und Substitution in Anlagen außerhalb

Ergebnisbestimmende Faktoren und Randbedingungen

Beim Vergleich MVA und MBA+Mitverbrennung wird das Ergebnis maßgeblich von den Bedingungen des Einzelfalls bestimmt, bei den Klimateffekten insbesondere

- von der Energieeffizienz der modellierten Anlage(n) bzw. des modellierten Systems,
- für MBA speziell auch von Menge und Qualität der ausgeschleusten Wertstoffe
- von den Gutschriften für die modellierten Äquivalenzprozesse wie Nichteisenmetalle oder – siehe die Beispiele Bremen und Sachsen - von der Art des Strommixes

Bei anderen Parametern wie etwa Toxizität wird das Ergebnis auch vom Emissionsstandard der Anlagen maßgeblich beeinflusst.

Modellierung Stromgutschriften:

- Je “grüner” der Strom, desto geringer wird die Gutschrift für die Substitution (siehe Studien für Bremen und Sachsen).
- Lösungsansatz BMU 2008: Gutschriften nur für Substitution von Spitzen- und Mittellastkraftwerken auf fossiler Basis (Braunkohle, Steinkohle, teilweise auch Gas), nicht aber des als relativ „sauber“ geltenden Stroms aus Atomkraftwerken: Gutschrift = $904 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ (Bezug: 2007) gegenüber rund $604 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ für den bundesdeutschen Strommix.
- Post-Fukushima: Wie verändert sich der Strommix in Europa (ENTSO-E)?
 - Schnellerer Ausbau der erneuerbaren Energieträger (vor allem Offshore-Windkraft) ?
 - „Laufzeitverlängerung“ fossil befeuerter Kraftwerke ?

Modellierung Gutschriften für Altstoffe:

- Problem geringer werdender Gutschriften für die Substitution immer ressourceneffizienter werdender Äquivalenzprozesse wird auch hier kommen
- Problem muss methodisch gelöst werden
- Knappheit von nicht erneuerbaren Ressourcen wird Bedeutung der stofflichen Verwertung aber noch erhöhen, daher angemessene ökobilanzielle Bewertung der Rückführung dieser Ressourcen zu erwarten.

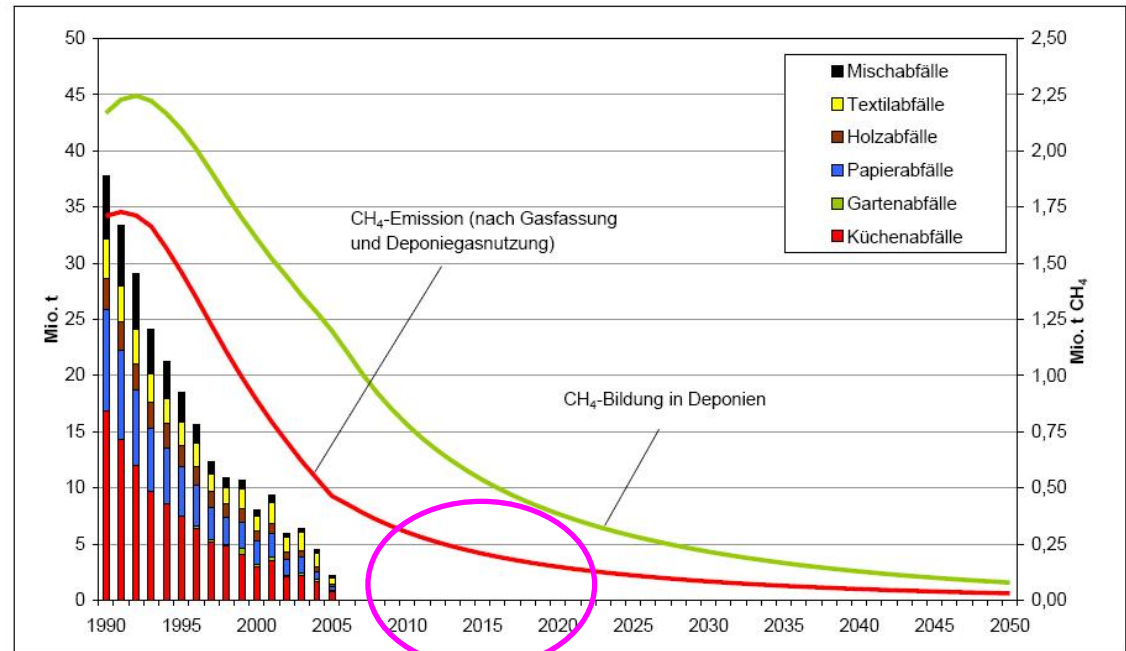
Trockene Wertstofftonne - Wo bleiben zukünftig Altstoffe?

- Entzug von Eisen- und Nichteisenmetalle oder Kunststoffen aus Restabfallstrom → Konsequenzen für Entsorgungslösungen, die auf Stoffstromtrennung in mechanischen bzw. mechanisch-biologischen oder mechanisch-physikalischen Anlagen setzen?
- Anlageninterner Aufbereitungs- und Trennaufwand dürfte nicht in dem gleichen Maße zurückgehen wie die Mengen an abzutrennenden und zu verwertenden Altstoffen.
- Konsequenzen für die Kosten- und Erlössituation ?
- Konsequenzen für erreichbaren Beitrag an CO₂-Einsparungen?

Im Sektor Abfallwirtschaft erreichbare Einsparungen an Treibhausgasemissionen

- Derzeit Klimarelevanz dominierend für ökologische Bewertung von Entsorgungslösungen.
- Daher: Beendigung der Ablagerung von unbehandeltem Abfall ist die bei weitem wichtigste Maßnahme zur Senkung der Treibhausgasemissionen im Abfallsektor.
- Technisch ausgereifte und energieoptimierte Behandlungs- und Vewertungsverfahren führen auch zu Einsparungen an Treibhausgasemissionen, doch ist der Beitrag der vermiedenen bzw. Noch vermeidbaren Emissionen von (Alt-)Deponien von größerer Relevanz.
- Daher bedarf es einer Lösung für die noch immer stattfindenden THG-Emissionen aus (Alt-)Deponien.

Im Sektor Abfallwirtschaft erreichbare Einsparungen an Treibhausgasemissionen



<http://www.oeko.de/oekodoc/971/2009-003-de.pdf>

Quelle: Öko-Institut 2009

- Prognos / Öko-Institut: Altdeponien in D werden in 2011-2020 rund 2 Mio. Mg Methan emittieren
- Umwandlung von 10 % Methan [200.000 Mg] in CO₂ durch gezielte Aerobisierung spart rund 5 Mio. Mg CO_{2eq}
- Gesamtkosten von 100 Mio. € → spez. Vermeidungskosten ~ 20 €/Mg CO_{2eq}
- Zum Vergleich: Die spezifischen CO₂-Vermeidungskosten etwa der Photovoltaik liegen bei ≥ 800 €/Mg CO_{2eq}

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!