

Texte

**07**  
**06**

## Einsatz von Sekundärbrennstoffen

ISSN  
1862-4804

Umwelt  
Bundes  
Amt 

Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 204 42 203/02  
UBA-FB 000893



## Einsatz von Sekundärbrennstoffen

Umsetzung des Inventarplanes und  
nationale unabhängige Überprüfung  
der Emissionsinventare für Treibhausgase,  
Teilvorhaben 02

von

**Dipl.-Geogr. Stefan Lechtenböhrer**  
**Dipl.-Ing. Sabine Nanning**

Wuppertal Institut

**Dipl.-Vw. Bernhard Hillebrand**  
**Dipl.-Oek. Hans-Georg Buttermann**

EEFA GmbH

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter  
<http://www.umweltbundesamt.de>  
verfügbar.

Die in dem Bericht geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet I 4.6  
Robert Kludt

Dessau, März 2006

## Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Inventarverbesserungen (2004) - Umsetzung des Inventarplanes und nationale unabhängige Überprüfung der Emissionsinventare für Treibhausgase Teilvorhaben 02: Einsatz von Sekundärbrennstoffen		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Lechtenböhrer, Stefan (Wuppertal Institut) Nanning, Sabine (Wuppertal Institut) Buttermann, Hans-Georg (EEFA GmbH)		8. Abschlußdatum 19.12.05
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Wuppertal Institut f. Klima, Umwelt und Energie GmbH, Döppersberg 19, 42103 Wuppertal EEFA GmbH Windthorststraße 13, 48143 Münster		9. Veröffentlichungsdatum --
		10. UFOPLAN-Nr. 20442203/02
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)  Umweltbundesamt, Postfach 14 06, D-06813 Dessau		11. Seitenzahl 112 + Anhänge
		12. Literaturangaben 32
		13. Tabellen und Diagramme 83
		14. Abbildungen -
15. Zusätzliche Angaben --		
16. Kurzfassung Das Forschungsvorhaben leistet einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung des nationalen Emissionsinventars. Ziel ist die lückenlose Erfassung des Einsatzes von Sekundärbrennstoffen in einzelnen Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes und die Bereitstellung geeigneter Emissionsfaktoren zur Berechnung der Emissionen. Die dem UBA bislang nur teilweise vorliegenden Informationen zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in den Branchen <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zementindustrie,</li> <li>- Kalkindustrie,</li> <li>- Stahlindustrie und</li> <li>- Papierindustrie</li> </ul> wurden in enger Kooperation mit den jeweiligen Wirtschaftsverbänden systematisch gesichtet, durch Schätzungen vervollständigt und in Form von Datenzeitreihen (von 1990 bis 2004) für die Inventardatenbank ZSE nutzbar gemacht. Ergänzt werden die nach Brennstoffkategorien differenzierten Massenströme um geeignete Emissionsfaktoren für Kohlendioxid und sog. Split-Faktoren, die den Anteil biogenen Kohlenstoffs am Gesamtgehalt angeben.		
17. Schlagwörter Brennstoffverbrauch, Sekundärbrennstoffe; Ersatzbrennstoffe, Energiestatistik, Energiebilanz Emissionsinventar, Zentrales System Emissionen Emissionsfaktoren, Klimaschutz, Kyoto-Protokoll		
18. Preis --	19.	20.

## Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Inventory improvements (2004) - fulfilment of the inventory plan and independent review of the emission inventories for greenhouse gases subtask 02: Use of waste fuels		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Lechtenböhmer, Stefan (Wuppertal Institute) Nanning, Sabine (Wuppertal Institute) Buttermann, Hans-Georg (EEFA GmbH)		8. Report Date 19.12.05
6. Performing Organisation (Name, Address) Wuppertal Institute f. Climate, Environment and Energy GmbH, Döppersberg 19, 42103 Wuppertal EEFA GmbH, Windthorststraße 13, 48143 Münster		9. Publication Date --
7. Sponsoring Agency (Name, Address)  Umweltbundesamt, Postfach 14 06, D-06813 Dessau		10. UFOPLAN-Ref. No. 20442203/02
		11. No. of Pages 112 + annex
		12. No. of Reference 32
		13. No. of Tables, Diagrams 83
		14. No. of Figures --
15. Supplementary Notes --		
16. Abstract This study provides an essential contribution to the improvement of the national greenhouse gas inventory. It makes data available on the use of secondary fuels in chosen industry sectors. In terms of this study data means the physical inputs on secondary fuels as well as the associated emissions factors to calculate absolute quantities i.e. of carbon dioxide. The information for the use of secondary fuels, so far scattered to the four winds, have been systematically sighted and if necessary supplemented by estimations. The data has been collected in close collaboration with the associations of the following industries: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cement Industry</li> <li>- Lime Industry</li> <li>- Iron and Steel Industry and</li> <li>- Pulp and Paper Industry</li> </ul> The catchphrased time series data (from 1990 until 2004) gathered in this study has been implemented into the data base "ZSE". Time series data of secondary fuels divided by sectors and fuel types are supplemented by appropriate emission factors. And so called split factors, which characterise the share of biogenous carbon content in the whole quantity.		
17. Keywords Use of Fuels, Secondary fuels, waste fuels, energy statistics, energy balances National greenhouse gas inventory, data base Emission factors, climate protection, Kyoto-protocol		
18. Price --	19.	20.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>8</b>
<b>Executive Summary</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Problemaufriss und Ziel des Forschungsprojekts</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2 Darstellung des Projektablaufs</b> .....	<b>15</b>
<b>2 Datenlage</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1 Eingesetzte Sekundärbrennstoffe</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2 Festlegung der Deskriptoren</b> .....	<b>18</b>
<b>3 Ermittlung von Aktivitätsraten (Module für Inventarbeschreibung)</b> .....	<b>20</b>
<b>Zementindustrie</b> .....	<b>21</b>
Herleitung der Aktivitätsraten für die Zementindustrie .....	21
Abschätzung der Unsicherheiten für die Aktivitätsraten der Zementindustrie .....	25
Qualitätskontrolle der Aktivitätsraten für die Zementindustrie .....	27
Geplante Verbesserungen für die Aktivitätsraten der Zementindustrie .....	28
<b>Zellstoff- und Papierindustrie</b> .....	<b>30</b>
Herleitung der Aktivitätsraten für die Papierindustrie .....	30
Abschätzung der Unsicherheiten für die Aktivitätsraten der Papierindustrie .....	33
Qualitätskontrolle der Aktivitätsraten für die Papierindustrie .....	35
Geplante Verbesserungen für die Aktivitätsraten der Papierindustrie .....	36
<b>Kalkindustrie</b> .....	<b>38</b>
Herleitung der Aktivitätsraten für die Kalkindustrie .....	38
Abschätzung der Unsicherheiten für die Aktivitätsraten der Kalkindustrie .....	40
Qualitätskontrolle der Aktivitätsraten für die Kalkindustrie .....	41
Geplante Verbesserungen für die Aktivitätsraten der Kalkindustrie .....	42
<b>Stahlindustrie</b> .....	<b>43</b>
Herleitung der Aktivitätsdaten für die Stahlindustrie .....	43
Ausgangsdaten für die Stahlindustrie .....	43
Abschätzung der Unsicherheiten für die Aktivitätsraten der Stahlindustrie .....	45
Qualitätskontrolle der Aktivitätsraten für die Stahlindustrie .....	46
Geplante Verbesserungen für die Aktivitätsraten der Stahlindustrie .....	47
<b>4 Herleitung von CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren und biogener Anteile (Module für Inventarbeschreibung)</b> .....	<b>48</b>
<b>Altreifen</b> .....	<b>49</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Altreifen .....	49
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Altreifen .....	51
<b>Altöl</b> .....	<b>52</b>

<b>Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Altöl.....</b>	<b>52</b>
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Altöl.....	54
<b>Gewerbeabfall Papier.....</b>	<b>55</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Papier .....	55
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Papier .....	57
<b>Gewerbeabfall Kunststoff.....</b>	<b>58</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Kunststoff .....	58
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Kunststoff .....	60
<b>Gewerbeabfall Verpackungen.....</b>	<b>61</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors Gewerbeabfall Verpackungen .....	61
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors Gewerbeabfall Verpackungen .....	63
<b>Textilabfälle .....</b>	<b>64</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Textilabfällen .....	64
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Textilabfällen .....	66
<b>Gewerbeabfall sonstiger.....</b>	<b>67</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Gewerbeabfall sonstiger .....	67
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Gewerbeabfall sonstiger .....	69
<b>Tiermehle und –fette .....</b>	<b>70</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Tiermehlen und –fetten .....	70
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Tiermehlen und –fetten .....	72
<b>Siedlungsabfall aufbereitet .....</b>	<b>73</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Siedlungsabfall aufbereitet.....	73
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Siedlungsabfall aufbereitet .....	75
<b>Holzabfälle (Restholz) .....</b>	<b>76</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Holzabfällen (Restholz).....	76
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Holzabfällen (Restholz).....	78
<b>Lösemittel (Abfall).....</b>	<b>79</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Lösemitteln (Abfall).....	79
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Faktors von Lösemitteln (Abfall) .....	80
<b>Teppichabfälle .....</b>	<b>81</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Teppichabfällen.....	81
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Teppichabfällen.....	83
<b>Bleicherde.....</b>	<b>84</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Bleicherde .....	84
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Bleicherde .....	86
<b>Klärschlamm.....</b>	<b>87</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Klärschlamm .....	87
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Klärschlamm .....	89
<b>Ölschlamm .....</b>	<b>90</b>

Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Ölschlamm .....	90
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Ölschlamm .....	91
<b>Ablaugen Zellstoffherstellung .....</b>	<b>92</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Ablaugen Zellstoffherstellung.....	92
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Ablaugen Zellstoffherstellung.....	94
<b>Rinde.....</b>	<b>95</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Rinde .....	95
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Rinde .....	97
<b>Faser-/Deinking-Rückstände .....</b>	<b>98</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Faser-/Deinking-Rückständen.....	98
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Faser-/Deinking-Rückständen.....	100
<b>Rückstände Papierindustrie .....</b>	<b>101</b>
Herleitung des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Rückständen Papierindustrie .....	101
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Rückständen Papierindustrie .....	103
<b>Tierfett (Reduktionsmittel bei 1.A.2.a).....</b>	<b>104</b>
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor von Tierfett.....	104
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Tierfett.....	105
<b>Altkunststoff (Reduktionsmittel bei 1.A.2.a) .....</b>	<b>106</b>
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor von Altkunststoff .....	106
Abschätzung der Unsicherheiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Altkunststoff.....	107
<b>5 Nicht-CO<sub>2</sub>-Bereich .....</b>	<b>108</b>
<b>6 NIR 2006: Beitrag zur Genese aus dem Projekt.....</b>	<b>110</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>111</b>
<b>Anhang 1: Datensätze für den Sekundärbrennstoffeinsatz</b>	
<b>Anhang 2: 1. Zwischenbericht des Projekts</b>	
<b>Anhang 3: 2. Zwischenbericht des Projekts</b>	
<b>Anhang 4: Abschlussbericht zum AP 4 (IT-Support)</b>	
<b>Anhang 5: NIR 2006: relevante Kapitel aus der Erarbeitung beim UBA</b>	

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über eingesetzte Sekundärbrennstoffe mit Begriffsdefinition .....	17
Tabelle 2: Sekundärbrennstoffe in der Zementindustrie.....	21
Tabelle 3: Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Zementindustrie nach Regionen (Angaben in PJ) .....	24
Tabelle 4: Sekundärbrennstoffe in der Papierindustrie .....	30
Tabelle 5: Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Papierindustrie nach Regionen (Angaben in PJ) .....	31
Tabelle 6: Sekundärbrennstoffe in der Kalkindustrie.....	38
Tabelle 7: Ersatzreduktionsmittel in der Stahlindustrie.....	43
Tabelle 8: Kohlenstoffgehalte von Altreifen .....	49
Tabelle 9: Wassergehalt von Altreifen.....	49
Tabelle 10: Heizwert von Altreifen.....	49
Tabelle 11: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung von Bandbreiten des CO <sub>2</sub> - Emissionsfaktors von Altreifen .....	51
Tabelle 12: Kohlenstoffgehalt von Altöl .....	52
Tabelle 13: Wassergehalt von Altöl .....	52
Tabelle 14: Heizwert von Altöl .....	52
Tabelle 15: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> - Emissionsfaktors von Altöl .....	54
Tabelle 16: Kohlenstoffgehalt von Gewerbeabfall Papier .....	55
Tabelle 17: Wassergehalt von Gewerbeabfall Papier .....	55
Tabelle 18: Heizwert von Gewerbeabfall Papier .....	56
Tabelle 19: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> - Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Papier.....	57
Tabelle 20: Kohlenstoffgehalt von Gewerbeabfall Kunststoff.....	58
Tabelle 21: Wassergehalt von Gewerbeabfall Kunststoff.....	58
Tabelle 22: Heizwert von Gewerbeabfall Kunststoff.....	59

Tabelle 23: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Kunststoff .....	60
Tabelle 24: Kohlenstoffgehalt von Gewerbeabfall Verpackungen.....	61
Tabelle 25: Wassergehalt von Gewerbeabfall Verpackungen.....	61
Tabelle 26: Heizwert von Gewerbeabfall Verpackungen.....	61
Tabelle 27: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Verpackungen .....	63
Tabelle 28: Kohlenstoffgehalt von Textilabfällen .....	64
Tabelle 29: Wassergehalt von Textilabfällen.....	64
Tabelle 30: Heizwert von Textilabfällen.....	64
Tabelle 31: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Textilabfällen .....	66
Tabelle 32: Kohlenstoffgehalt von Gewerbeabfall sonstiger .....	67
Tabelle 33: Wassergehalt von Gewerbeabfall sonstiger .....	67
Tabelle 34: Heizwert von Gewerbeabfall sonstiger .....	68
Tabelle 35: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Gewerbeabfall sonstiger.....	69
Tabelle 36: Kohlenstoffgehalt von Tiermehlen und -fetten .....	70
Tabelle 37: Wassergehalt von Tiermehlen und -fetten.....	70
Tabelle 38: Heizwert von Tiermehlen und -fetten.....	71
Tabelle 39: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Tiermehlen und -fetten .....	72
Tabelle 40: Kohlenstoffgehalt von Siedlungsabfall aufbereitet.....	73
Tabelle 41 Wassergehalt von Siedlungsabfall aufbereitet .....	73
Tabelle 42: Heizwert von Siedlungsabfall aufbereitet.....	74
Tabelle 43: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Siedlungsabfall aufbereitet.....	75
Tabelle 44: Kohlenstoffgehalt von Holzabfällen (Restholz).....	76
Tabelle 45: Wassergehalt von Holzabfällen (Restholz).....	76

Tabelle 46: Heizwert von Holzabfällen (Restholz).....	77
Tabelle 47: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> - Emissionsfaktors Holzabfällen (Restholz).....	78
Tabelle 48: Heizwert von Lösemitteln (Abfall) .....	79
Tabelle 49: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> - Emissionsfaktors Lösemittel (Abfall) .....	80
Tabelle 50: Kohlenstoffgehalt von Teppichabfällen.....	81
Tabelle 51: Wassergehalt von Teppichabfällen .....	81
Tabelle 52: Heizwert von Gewerbeabfall Teppichabfälle .....	81
Tabelle 53: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> - Emissionsfaktors von Teppichabfällen .....	83
Tabelle 54: Kohlenstoffgehalt von Altöl .....	84
Tabelle 55: Wassergehalt von Altöl .....	84
Tabelle 56: Heizwert von Bleicherde .....	84
Tabelle 57: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> - Emissionsfaktors von Bleicherde .....	86
Tabelle 58: Kohlenstoffgehalt von Klärschlamm .....	87
Tabelle 59: Wassergehalt von Klärschlamm .....	87
Tabelle 60: Heizwert von Klärschlamm .....	88
Tabelle 61: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> - Emissionsfaktors von Klärschlamm .....	89
Tabelle 62: Heizwert von Bleicherde .....	90
Tabelle 63: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> - Emissionsfaktors von Ölschlamm .....	91
Tabelle 64: Kohlenstoffgehalt von Ablaugen Zellstoffherstellung.....	92
Tabelle 65: Wassergehalt von Ablaugen Zellstoffherstellung .....	92
Tabelle 66: Heizwert von Ablaugen Zellstoffherstellung .....	92
Tabelle 67: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> - Emissionsfaktors von Ablaugen Zellstoffherstellung.....	94
Tabelle 68: Kohlenstoffgehalt von Rinde.....	95

Tabelle 69: Wassergehalt von Rinde.....	95
Tabelle 70: Heizwert von Rinde.....	95
Tabelle 71: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Rinde .....	97
Tabelle 72: Kohlenstoffgehalt von Faser-/Deinking-Rückständen.....	98
Tabelle 73: Wassergehalt von Faser-/Deinking-Rückständen .....	98
Tabelle 74: Heizwert von Faser-/Deinking-Rückständen .....	98
Tabelle 75: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Faser-/Deinking-Rückständen.....	100
Tabelle 76: Kohlenstoffgehalt von Rückständen Papierindustrie .....	101
Tabelle 77: Wassergehalt von Rückständen Papierindustrie.....	102
Tabelle 78: Heizwert von Rückständen Papierindustrie .....	102
Tabelle 79: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktors von Rückständen Papierindustrie .....	103
Tabelle 80: CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor von Tierfett beim Einsatz im Hochofen.....	104
Tabelle 81: CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor von Altkunststoff beim Einsatz im Hochofen .....	106
Tabelle 82: Emissionsfaktoren Methan und Lachgas nach IPCC .....	109

## **Verzeichnis der Anhänge**

- Anhang 1: Datensätze für den Sekundärbrennstoffeinsatz
- Anhang 2: 1. Zwischenbericht des Projekts
- Anhang 3: 2. Zwischenbericht des Projekts
- Anhang 4: Abschlussbericht zum AP 4 (IT-Support)
- Anhang 5: NIR 2006: relevante Kapitel aus der Erarbeitung beim UBA

## Zusammenfassung

Deutschland ist als Vertragsstaat der Klimarahmenkonvention dazu verpflichtet Emissionsinventare zu erstellen und in regelmäßigem Abstand zu veröffentlichen. Zur Erfüllung dieser Berichtspflichten unterhält Deutschland das „Zentrale System Emissionen (ZSE)“, eine umfassende Inventardatenbank, die sowohl zur Berechnung als auch zur Verwaltung und Dokumentation relevanter Emissionsdaten eingesetzt wird. Im Rahmen kontinuierlicher Forschungsanstrengungen soll die Inventardatenbank laufend kritisch überprüft werden und mit dem Ziel der Inventarverbesserung systematisch Datenlücken aufgespürt und geschlossen werden.

Das vorliegende Forschungsprojekt (Umsetzung des Inventarplanes und nationale unabhängige Überprüfung der Emissionsinventare für Treibhausgase -Teilvorhaben 02 „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ FKZ: 204 42 203/02) leistete einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung des nationalen Emissionsinventars. Ziel des Forschungsprojektes ist die lückenlose Erfassung des Einsatzes von Sekundärbrennstoffen in einzelnen Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes bzw. die Bereitstellung geeigneter Emissionsfaktoren zur Berechnung der Emissionen. Mit der Durchführung des Forschungsprojektes hat das Umweltbundesamt das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gemeinsam mit der EEFA (Energy Environment Forecast Analysis) GmbH, Münster und Berlin beauftragt.

Die bislang nur verstreut vorliegenden Informationen zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in den Branchen

- Zementindustrie
- Kalkindustrie
- Stahlindustrie und
- Papierindustrie

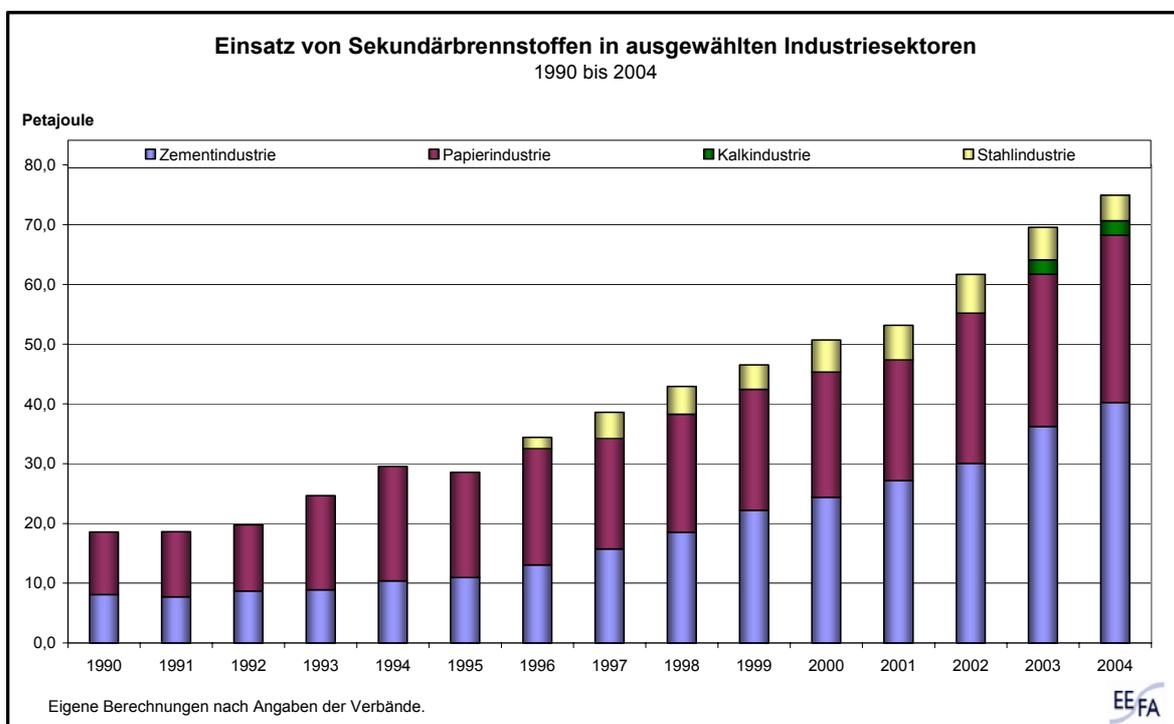
wurden im Rahmen dieses Forschungsprojektes – in enger Kooperation mit den jeweiligen Wirtschaftsverbänden – systematisch gesichtet, durch Schätzungen vervollständigt und in Form von (verschlagworteten) Datenzeitreihen (von 1990 bis 2004) für die Inventardatenbank nutzbar gemacht. Ergänzt werden die nach Brennstoffkategorien differenzierten Massenströme zum Sekundärbrennstoffeinsatz (in Terajoule) durch geeignete Emissionsfaktoren (in kg CO<sub>2</sub>/Terajoule) und sog. Split-Faktoren (in %), die den Anteil biogenen Kohlenstoffs am Gesamtgehalt angeben.

Die empirische Bestandsaufnahme der Bedeutung des Sekundärbrennstoffeinsatzes in den genannten Branchen des Verarbeitenden Gewerbes erbrachte folgendes Bild: Der Einsatz sekundärer Brennstoffe in der Industrie erreichte im Jahr 2004 ein Niveau von 74,9 PJ. Gegenüber 1990 hat sich der Verbrauch an Sekundärbrennstoffen damit mehr als vervierfacht. Den größten Anteil am Verbrauch sekundärer Brennstoffe haben in der Reihenfolge ihrer Bedeutung die Zement- (2004: 53,7 %) und die Papierindustrie (2004: 37,4 %). Seit 1996 werden sekundäre Brennstoffe wie Altkunststoffe oder Tiermehle auch als Ersatz-Reduktionsmittel in Hochöfen eingeblasen. In der Kalkindustrie haben abfall-

stämmige Brennstoffe hingegen eine vergleichsweise geringe Bedeutung (vgl. Schaubild 1).

Genauere Aussagen über das absolute Substitutionsvolumen von Regel- durch Sekundärbrennstoffe sind nicht möglich, da nicht verlässlich angegeben werden kann in welchem Umfang sekundäre Brennstoffe in die Erstellung der Energiebilanz für Deutschland eingeflossen sind. Geht man davon aus, dass die Energiebilanz ausschließlich Regelbrennstoffe bilanziert ergibt sich folgendes Bild: Im Verarbeitenden Gewerbe deckte der Einsatz sekundärer Brennstoffe im Jahr 2004 - allein in den hier untersuchten Sektoren - einen Anteil von etwa 4,9 % am gesamten thermischen Energieverbrauch (Brennstoffeinsatz incl. Sekundärbrennstoffe, jedoch ohne Strom und Fernwärme). Nimmt man hingegen den gesamten (vorläufigen) Primärenergieverbrauch des Jahres 2004 als Maßstab, deckten Sekundärbrennstoffe 0,5 % des Energieverbrauchs in Deutschland.

Schaubild 1

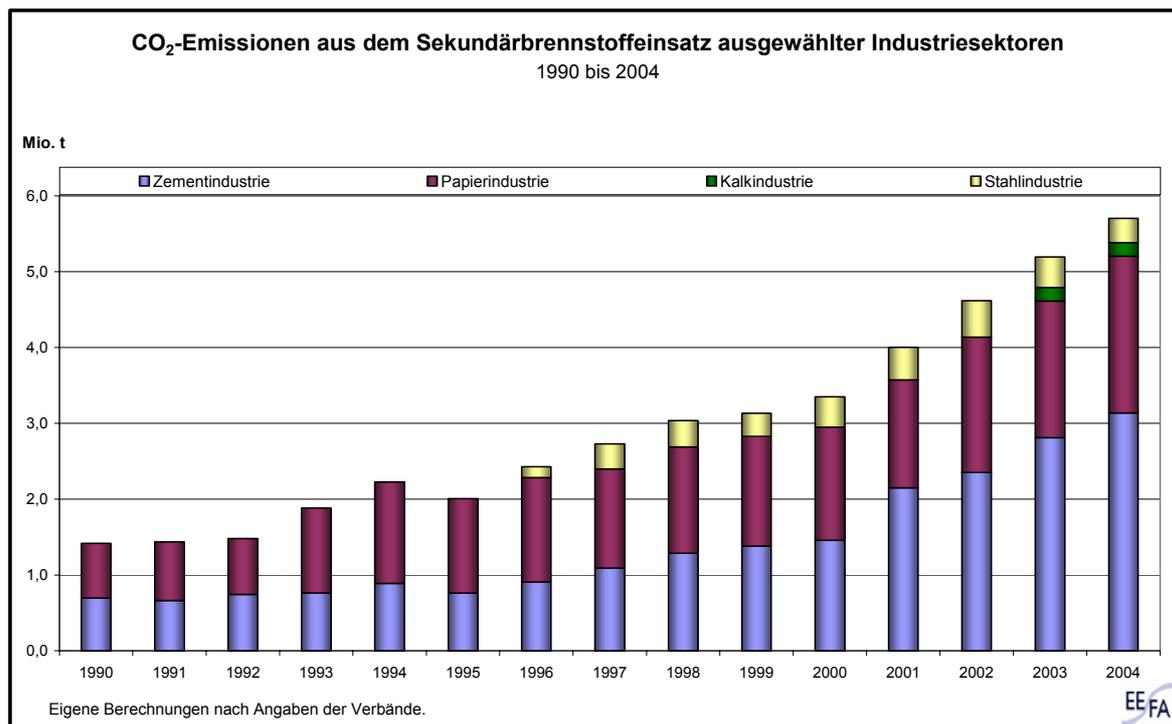


All dies zeigt, dass ohne die Informationen über den Einsatz von Sekundärbrennstoffen ein verzerrtes Bild der Energieeinsätze entstünde. Zusätzliche Erhebungen über den Einsatz sekundärer Brennstoffe sind deshalb gegenwärtig zur Erstellung vollständiger Emissionsinventare unerlässlich. Emissionsberechnungen, die allein auf amtliche Daten (Energiebilanzen, Statistischen Bundesamt) zurückgreifen, weisen anstelle von Substitutionsprozessen zusätzliche Energieeinsparungen aus. Die fortschreitende Substitution von Regel- durch Sekundärbrennstoffe führt in dieser Situation tendenziell zu einer zunehmenden Unterschätzung des tatsächlichen Emissionsniveaus.

Der empirische Befund bestätigt diese Entwicklungstendenz: Seit 1990 sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Einsatz von Sekundärbrennstoffen um 4,3 Mio. t auf 5,7 Mio. t im Jahr

2004 gestiegen. Von diesem Emissionsvolumen entfielen im Jahr 2004 etwa 3,1 Mio. t auf die Zementindustrie und 2,1 Mio. t auf die Papierindustrie (vgl. Schaubild 2). Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Einsatz sekundärer Brennstoffe in der Papierindustrie zu mehr als 98 % auf biogene Kohlenstoffanteile zurückzuführen sind. In der Zementindustrie betrug der Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus biogenen Brennstoffanteilen im Jahr 2004 rund 35 % und in der Stahlindustrie 13 %.

Schaubild 2



## Executive Summary

Germany is Member State of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and therefore obligated to report the greenhouse gas emissions annually. In order to fulfil the reporting requirements Germany has installed the "Centralised System of Emissions (ZSE)", a comprehensive data base, which is used both for computation and administration and the documentation of relevant emission data respectively. By ongoing research activities the data base will be reviewed critically to make sure that existing data gaps will be closed and therewith the quality of the database can be improved.

It's the objective of this study (Implementation of the inventory plan and national independent verification of greenhouse gas inventories – Subproject 02 "Use of Secondary Fuels" FKZ: 204 42 203/02) to provide an essential contribution to the improvement of the national greenhouse gas inventory. Against this background, the study first of all makes data available on the use of secondary fuels in chosen industry sectors. In terms of this study data means the physical inputs on secondary fuels (in tons or energy equivalents) as well as the associated emissions factors to calculate absolute quantities i.e. of carbon dioxide. The Federal Environmental Agency decided to implement the above mentioned recent field of research, and Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy (WI) together with the Energy, Environment, Forecast and Analysis Institute (EEFA) was appointed to perform this project.

The information for the use of secondary fuels, so far scattered to the four winds, have been systematically sighted and if necessary supplemented by estimations. The data has been collected in close collaboration with the associations of the following branches:

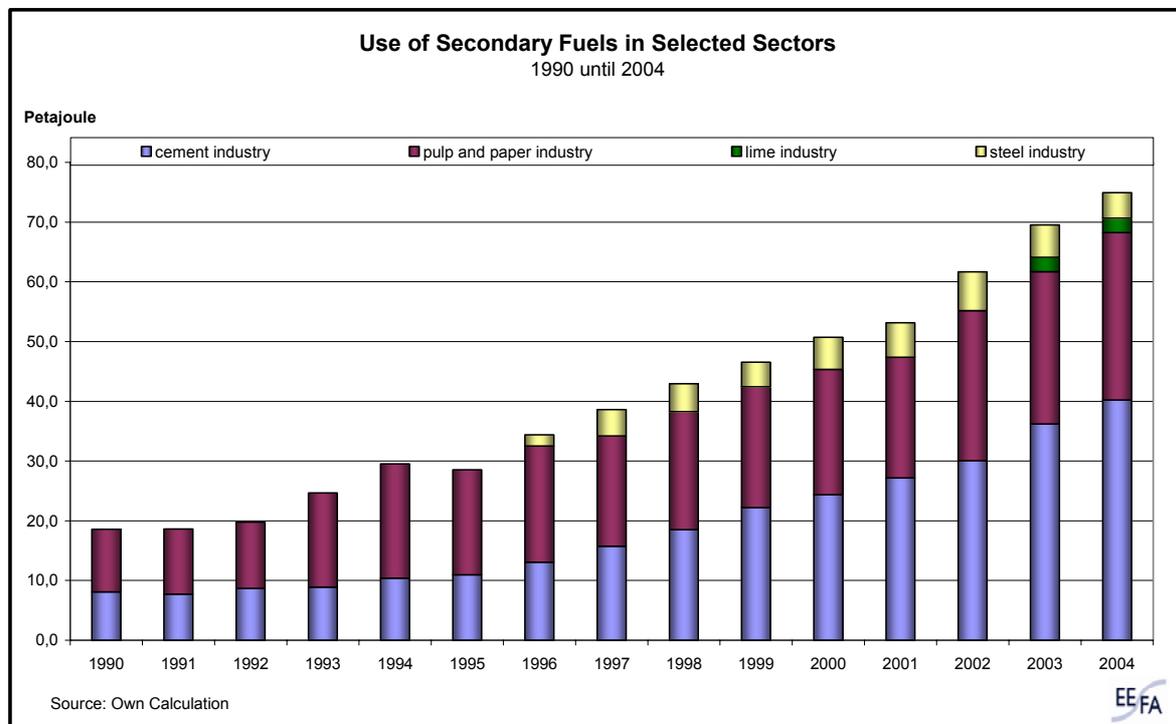
- Cement Industry
- Lime Industry
- Iron and Steel Industry and
- Pulp and Paper Industry

The catchphrased time series data (from 1990 until 2004) gathered in this study has been fetched into the data base. Time series data of secondary fuels divided by sectors and fuel types (in tons or terajoule) are supplemented by appropriate emission factors (in kg CO<sub>2</sub>/terajoule). And so called split factors (in %), which characterise the share of biogenous carbon content in the whole quantity.

The empirical results show the relevance secondary fuels reached in sectors regarded in this study in the meantime. The industrial use of Secondary fuels in 2004 amounted to 74.9 PJ. With that, consumption of secondary fuels has nearly quadrupled compared to 1990. The largest shares on consumption (sorted by quantitative importance) are 53.7 percent for the cement industry and 37.4 percent for the pulp and paper industry. Since 1996 secondary fuels like waste plastic and animal meal is injected into blast furnaces as well.

For the production of pig iron secondary fuels take over a function as reducing agent. The significance of the role played by secondary fuels in lime industry is minor (cf. diagram 1).

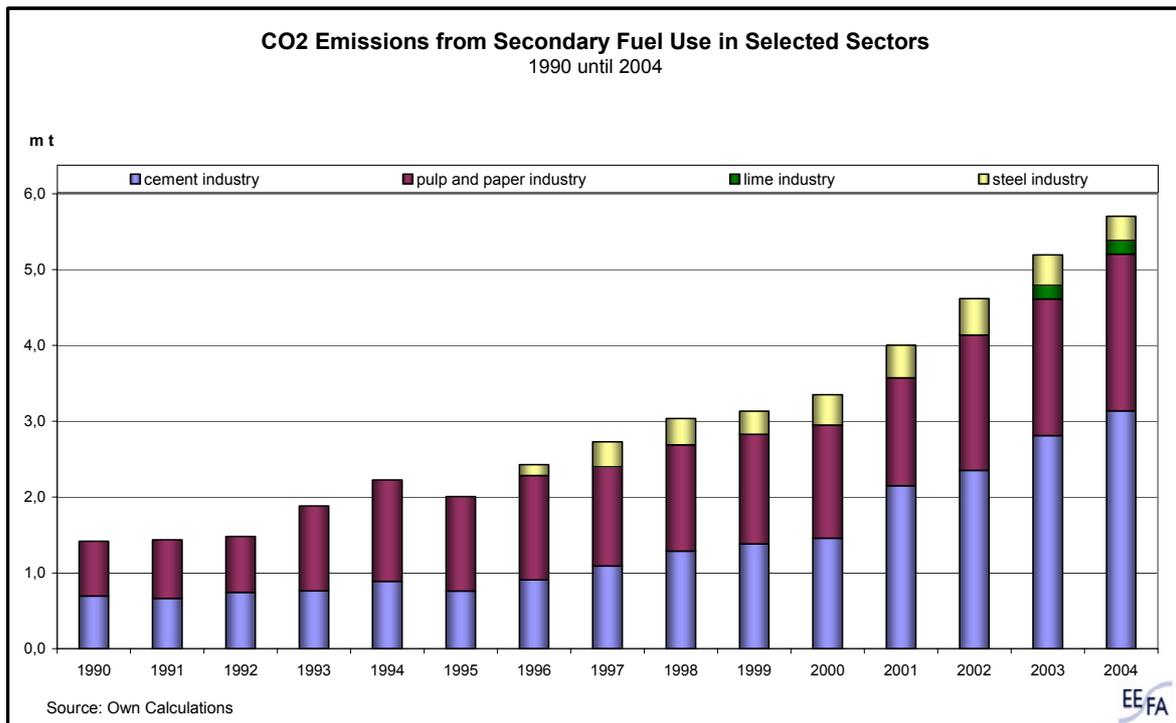
Diagram 1



The quantity of regularly fuels substituted by secondary fuels can not specified exactly, because it's precarious whether or whether not secondary fuels are reported in German energy balance. Assuming that, secondary fuels have not taken into account so far, the following picture results: The use of Secondary fuel in sectors under review in this study cover 4.9 % of total thermal energy consumption (total fuel use including secondary fuels but without electricity and heat). Compared with total primary energy supply secondary fuels covered 0.4 % of total energy consumption in Germany

This study shows the necessity of information about secondary fuel use in addition to primary fossil fuels. Without additional data about secondary fuels which are not in a real sense classed as energy resources in the system of energy balance sheets complete reporting of greenhouse emission is not possible. Emission calculation which are based on official data only (statistical bureau, energy balances) just show emission reductions instead of substitution between secondary and regularly fuels. Thus real level of emission will be underestimated.

Diagram 2



The empirical results of this study confirm the above mentioned tendency: CO<sub>2</sub> emissions from secondary fuel use increased by 4.3 m t in the period 1990-2004. Accordingly CO<sub>2</sub> emission caused by use of secondary fuels in 2004 amounted to 5.7 m t. The proportion of total CO<sub>2</sub> emission accounted for the cement industry is 3.1 m t. In 2004, the pulp and paper industry emitted 2.1 m t (cf. diagram 2). Having said this, it must be added, that CO<sub>2</sub> emissions caused by secondary fuels in pulp and paper industry consists by more than 98 % in biogenic carbon. In the cement industry biogenic proportion of CO<sub>2</sub> emissions from secondary fuel use amounts to 35 %, in the steel industry this fraction is 13 %.

# 1 Einführung

## 1.1 Problemaufriss und Ziel des Forschungsprojekts

Klimarahmenkonvention und Kyoto-Protokoll verpflichten jeden im Annex 1 genannten Vertragsstaat, jährlich über die nationalen Emissionen von Treibhausgasen zu berichten. Hierzu sind tabellarische Treibhausgasinventare und ein Nationaler Inventarbericht vorzulegen. Die Berichterstattung muss vollständig, genau, transparent, konsistent sowie international vergleichbar sein. Zur Verbesserung der Berichtsfähigkeit und zur Verbesserung der Belastbarkeit und Überprüfbarkeit der Emissionsdaten werden seit 2003 identifizierte Probleme und Inventarmängel in einem Verbesserungsplan erfasst und sukzessive einer Lösung zugeführt. So bestehen in den deutschen Inventaren Teilbereiche, in denen undokumentierte Schätzwerte verwendet werden. Unzureichende oder fehlende Transparenz oder Dokumentation der Datenquellen werden nach Kyoto-Protokoll genauso behandelt wie fehlende Angaben über Emissionsquellen. Im Review der UNFCCC-Treibhausgas-Inventare 2003 wurde in der Subkategorie 1.A.2 Verbesserungsbedarf der Berichterstattung bei der Verwendung von Sekundärbrennstoffen und der Substitution konventioneller Brennstoffe durch den Einsatz dieser Stoffe bestätigt. Ein Schwerpunkt auf dem 1. Workshop Nationales System Emissionsinventare, der 2004 zur Bearbeitung von Inventarmängeln durchgeführt wurde, war der Einsatz von Sekundärbrennstoffen. Hier gab es von verschiedenen Industrievertretern Hinweise darauf, dass mit steigender Tendenz Sekundärbrennstoffe insbesondere in Industriefeuerungen eingesetzt werden. Mit der Ausschreibung des Forschungsprojekts „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ durch das Umweltbundesamt soll dem dokumentierten Verbesserungsbedarf des Emissionsinventars im Sektor Energie für den Einsatz von Sekundärbrennstoffen in relevanten Industriebranchen nachgekommen werden. Ziel des Projekts ist die Ermittlung und Bereitstellung von Daten zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in den Branchen

- Stahlindustrie
- Zementindustrie
- Papier-, Pappe- und Zellstoffherstellung und in der
- Kalkindustrie,

über einen Zeitraum, der die Beurteilung längerfristiger Entwicklungen erlaubt und das Basisjahr 1990 und die aktuelle Entwicklung einschließt. Diese Informationen werden als Zeitreihen in die Inventardatenbank ZSE eingefügt, wobei insbesondere bei der Berechnung der Emissionen die internationalen Vorgaben sowie die Vorgaben des Qualitätssystems Emissionen zu berücksichtigen sind.

## 1.2 Darstellung des Projektablaufs

Im folgenden wird der Projektablauf innerhalb der Arbeitspakete kurz zusammengefaßt.

### AP 1: Grobkonzept

Als erster Arbeitsschritt des Forschungsprojekts wurde ein Grobkonzept zur Datenlage und Datenaufbereitung für die vier betrachteten Branchen und deren Aktivitätsdaten (Brennstoffeinsätze) von Sekundärbrennstoffen erstellt. Als Sekundärbrennstoffe im Rahmen dieses Forschungsprojekts werden alle nicht konventionellen Brennstoffe, die aus Abfällen, heizwertreichen Reststoffen oder Fraktionen, die aus Industrie, Gewerbe oder Haushalten stammen, bezeichnet. Dazu erfolgte eine erste Analyse durch Recherchen bei den relevanten Industrieverbänden, der AG Energiebilanzen sowie dem Landesumweltamt NRW, mögliche weitere Datenquellen wurden eingegrenzt.

### AP 2: Feinkonzept

Im Rahmen des Feinkonzepts wurde auf der Grundlage der durchgeführten Interviews mit Fach-Experten verschiedener Forschungseinrichtungen und der breiten Analyse der verfügbaren deutschsprachigen und internationalen Literatur und den damit verfügbaren Daten in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber das Vorhaben weiter konkretisiert. Da derzeit keine Elementaranalysen für Sekundärbrennstoffe vorliegen und eine entsprechende Analyse auch im Rahmen des Forschungsprojekts nicht durchgeführt werden kann, müssen Emissionsfaktoren auf der Basis unterschiedlicher Quellenangaben stöchiometrisch hergeleitet werden. Die Herleitung von Emissionsfaktoren und der Aufbau von Datenzeitreihen wird auf die Hauptkomponente CO<sub>2</sub>, das den größten Teil der Emissionen ausmacht, eingegrenzt. Für die weiteren Treibhausgase (Methan und Lachgas) können nur Emissionsfaktoren von ähnlichen Brennstoffen für Analogieschlüsse heran gezogen werden, weil keine dokumentierten Verbrennungseigenschaften von Sekundärbrennstoffen vorliegen, aus denen sich diese Faktoren ableiten ließen. Dies erfolgt jedoch nicht im Rahmen dieses Vorhabens durch den Auftragnehmer, sondern in der Nationalen Koordinierungsstelle durch den Auftraggeber durch Zeitreihenerstellung direkt im ZSE.

### AP 3: Aufbau von Datenzeitreihen

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden die kompletten Zeitreihen für die Aktivitätsdaten (Massenströme der Sekundärbrennstoffe in den relevanten Branchen) sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren ermittelt und durch Verschlagwortung charakterisiert. Die zu verwendenden Deskriptoren (Bezeichnungen und Schlagwörter) wurden zusammen mit dem Auftraggeber festgelegt (siehe Anhang 3: 2. Zwischenbericht).

Innerhalb von AP 3 wurden zwei Teilarbeitspakete unterschieden. Im ersten Arbeitsschritt wurden die eingesetzten Sekundärbrennstoffe in den einzelnen Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes über einen Zeitraum von 1990 bis 2004 lückenlos erfasst. Die Ermittlung von Zeitreihen für den Brennstoffeinsatz erfolgte durch Recherchen bei den Verbänden und ergänzende eigene Analysen und Abschätzungen.

Im zweiten Arbeitsschritt wurden die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren der eingesetzten Sekundärbrennstoffe ermittelt. Die entsprechenden Unsicherheitsbandbreiten wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Im Ergebnis wurden pro Branche und Brennstoff Zeitreihen für Aktivitätsraten/Primäraktivitätsraten, Emissionsfaktoren mit oberen und unteren Bandbreiten sowie Splitfaktoren von biogenen Kohlenstoffanteilen generiert.

Das **AP 4: Implementierung von Zeitreihen** wurde von einem anderen AN (IT-Support) mit dem übergebenen Datensatz aus AP 3 umgesetzt. Zur Implementierung vollständiger Datensätze im Inventar wurden die inhaltlichen Vorlagen auf die Randbedingungen des ZSE angepasst (siehe Anhang 4: Abschlussbericht zum AP 4 (IT-Support)). Das **AP 5: Test Datensatz** lief beim AG und wurde durch Erläuterungen und Korrekturen unterstützt. Wenn nach der Implementierung Bedarf für Korrekturen festgestellt wurde und nicht im Berichtszyklus 2006 umgesetzt werden konnte (Erarbeitung in 2005), ist dieser Korrekturbedarf in der Dokumentation aufgenommen. Damit soll nach Projektabschluss eine weitere Verbesserung des gelieferten Datensatzes ermöglicht werden.

#### **AP 6: Dokumentation der Inventarverbesserungen**

Die durchgeführten Analysen, Expertenschätzungen und Modellierungen werden im Rahmen dieses Endberichtes – siehe Kapitel 3: Ermittlung von Aktivitätsraten und 4: Herleitung von CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren und biogener Anteile - modular dokumentiert. Diese modularen Dokumentationen werden für die jeweiligen Quellgruppen in die Inventarbeschreibung in der Nationalen Koordinierungsstelle eingefügt und ermöglichen dort ein Nachvollziehen und Fortschreiben oder Überarbeiten der Inventardaten. Ebenfalls wurden für den Nationalen Inventarbericht Module - nach Branchen und Sekundärbrennstoffen untergliedert – aufbereitet, siehe Anhang 5: NIR 2006: relevante Kapitel aus der Erarbeitung beim UBA. Zusätzlich wurden für alle Zeitreihen die jährlichen Arbeiten zur Beibehaltung der Methodik beschrieben. Außerdem wurde im Rahmen dieses Arbeitspakets eine vergleichende Gegenüberstellung der bisherigen im ZSE implementierten Daten und der neuen Datenlage durchgeführt. Die im Rahmen des Forschungsprojekts erreichten Inventarverbesserungen können möglicherweise auch von Relevanz für die Deutsche Emissionshandelsstelle sein. Auch wenn hier Anlagen bezogene Emissionsdaten erhoben werden und im Rahmen dieses Vorhabens sektorale Daten ermittelt wurden, könnte ggf. ein Abgleich der Emissionsinventare möglich sein.

Mit Projektabschluss beginnt eine intensive Verwertung der Daten durch den Auftraggeber, die zur weiteren Verbesserung des Emissionsinventars führen wird

## 2 Datenlage

### 2.1 Eingesetzte Sekundärbrennstoffe

Die in den vier betrachteten Branchen eingesetzten Sekundärbrennstoffe wurden von den entsprechenden Industrieverbänden nach Art, eingesetzter Menge und Energieeinsätzen zur Verfügung gestellt. Die Abgrenzung der Sekundärbrennstoffe gegen andere inventarisierte Brennstoffe (allgemein Materialien) erfordert die Festlegung von eindeutigen Bezeichnungen für Sekundärbrennstoffe. Die Bezeichnungen sind für so genannte Primäraktivitätsraten, d.h. für Aktivitätsraten mit biogenen und fossilen Anteilen, zusätzlich zu unterteilen. Diese Materialien bekommen drei Bezeichnungen: eine für die von der Datenquelle zur Verfügung gestellten Daten und zwei für die daraus errechneten Anteile. Diese Bezeichnungen sind in der folgenden Zusammenstellung dokumentiert.

Tabelle 1: Übersicht über eingesetzte Sekundärbrennstoffe mit Begriffsdefinition

<b>Ersatzbrennstoff</b> (Bezeichnung nach Verbands-Angaben)	<b>Festlegung der Bezeichnung</b> für ZSE
<i>Zementindustrie</i>	
Reifen	Altreifen Altreifen, biogen Altreifen, fossil
Altöl	Altöl
Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen Zellstoff-, Papier und Pappe	Gewerbeabfall Papier Gewerbeabfall Papier, biogen Gewerbeabfall Papier, fossil
Kunststoff	Gewerbeabfall Kunststoff
Verpackungen	Gewerbeabfall Verpackungen Gewerbeabfall Verpackungen, biogen Gewerbeabfall Verpackungen, fossil
Abfälle aus der Textilindustrie	Textilabfälle Textilabfälle, biogen Textilabfälle, fossil
Sonstige	Gewerbeabfall sonstiger Gewerbeabfall sonstiger, biogen Gewerbeabfall sonstiger, fossil
Tiermehle und -fette	Tiermehle und -fette
Aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen	Siedlungsabfall aufbereitet Siedlungsabfall aufbereitet, biogen Siedlungsabfall aufbereitet, fossil
Altholz	Holzabfälle (Resthölzer)
Lösungsmittel	Lösemittel (Abfall)

<b>Ersatzbrennstoff</b> (Bezeichnung nach Verbands-Angaben)	<b>Festlegung der Bezeichnung</b> für ZSE
Teppichabfälle	Teppichabfälle Teppichabfälle, biogen Teppichabfälle, fossil
Bleicherde	Bleicherde
Klärschlamm	Klärschlamm
Sonstige, wie: Ölschlamm Organische Destillationsrückstände	Ölschlamm
<i>Papierindustrie</i>	
Sulfitablauge	Ablaugen Zellstoffherstellung
Rinde	Rinde
Faser/Deinking-Rückst.	Faser/Deinking-Rückstände
übr. Rückstände	Rückstände Papierindustrie Rückstände Papierindustrie, biogen Rückstände Papierindustrie, fossil
<i>Kalkindustrie</i>	
Altöl Recyclingöl	Altöl
Tierfett	Tiermehle und -fette
BPG Warmbrennstoff Ersatzbrennst. Ersatzbrennst.	Gewerbeabfall sonstiger Gewerbeabfall sonstiger, biogen Gewerbeabfall sonstiger, fossil
<i>Roheisenherstellung</i>	
Altkunststoff Tierfett	Altkunststoff Tierfett

## 2.2 Festlegung der Deskriptoren

Um die Aktivitätsdaten im ZSE eindeutig zu implementieren, müssen neue, noch nicht im ZSE vorhandene Deskriptoren definiert werden. Die Deskriptoren für die Dimensionen Material, Strukturelement, Produkt, Betriebsart sind mit Langnamen, Kurzbezeichnung und Baumzuordnung im ZSE im 2. *Zwischenbericht*, siehe *Anhang 3*, zusammengestellt.

Dabei werden alle Materialien, hier Sekundärbrennstoffe, der Dimension Material zugeordnet. Die in Tabelle 1 in Spalte 2 aufgeführten Bezeichnungen „für ZSE“ entsprechen hierbei den Langnamen der eingeführten Deskriptoren. Die Dimension Strukturelement dient der Charakterisierung der Emissionsquelle auf der niedrigsten Aggregationsebene. Die Dimensionen Produkt und Betriebsart vervollständigen die Verschlagwortung. Der komplette Deskriptorensatz ist ebenfalls im *Anhang 3: 2. Zwischenbericht* dokumentiert.

Hervorzuheben ist die Charakterisierung durch die Dimension Energiebilanzflag, konkret durch die Auswahl des Deskriptors Nicht-Energiebilanz. Das bedeutet, dass alle neuen Daten als zusätzlich zum Gesamtrahmen der Energiebilanz verstanden werden. Inhaltlich ist diese Festlegung in den Kapiteln Ermittlung von Aktivitätsraten (Module für Inventarbeschreibung) beschrieben und bezüglich des Bedarfs an Verifizierung konkretisiert.

So wie im 2. Zwischenbericht aufgeführt und im ZSE implementiert, ist in einem Teil der Zeitreihen ein systematischer Fehler in der Verschlagwortung eingegangen. Alle Zeitreihen für die Zeit bis 1994, d.h. in der Unterscheidung nach Alten und Neuen Bundesländern, lautet der Deskriptor der Dimension Energiebilanzzeile fälschlicherweise „Gew. Steine u. Erden, sonst. Bergbau, verarbeit. Gewerbe insg.“. Das entspräche in dieser Formulierung der Energiebilanzzeile 60 in der Struktur der Energiebilanzen ab 1995. Bis 1994 enthält die Energiebilanzzeile 73 (Übriger Bergbau u. Verarbeit. Gewerbe insg.) diese Inhalte und ist deshalb in ZSE-Kurzform (EBZ 73) und ZSE-Langname (Übriger Bergbau u. Verarb. Gewerbe (Wärmeerzeugung)) in allen Zeitreihen anzuwenden. Diesen Korrekturschritt wird der AG nach Projektabschluss direkt im ZSE vornehmen.

### **3 Ermittlung von Aktivitätsraten (Module für Inventarbeschreibung)**

Die folgende modulare Dokumentation dient der Verwendung in der Inventarbeschreibung der Nationalen Koordinierungsstelle im UBA. Die Ablage der Module als Materialien der Inventarbeschreibung erfolgt entsprechend der IPCC-Gliederung (CRF). Die mitgeführte Seitennummerierung dient der Auffindbarkeit im Gesamtexemplar des Abschlussberichts.

## Zementindustrie

### Herleitung der Aktivitätsraten für die Zementindustrie

#### Ausgangsdaten für die Zementindustrie

In der Zementindustrie werden in nennenswertem Umfang Sekundärbrennstoffe eingesetzt, die nicht in nationalen Statistiken und der Energiebilanz berücksichtigt sind. Als Quelle zur Ermittlung der Aktivitätsraten (Sekundärbrennstoffeinsatz der Zementindustrie) für das Emissionsinventar wurden Daten des Vereins der Deutschen Zementwerke (VDZ) genutzt, die überwiegend in den Umweltberichten (VDZ 2004) veröffentlicht werden. Hinsichtlich der Arten und Mengen der eingesetzten Sekundärbrennstoffe liegen relativ detaillierte Ausgangsdaten vor, die zu Erstellung der Inventarzeitreihen (Aktivitätsraten) genutzt wurden. Derzeit sind verfügbar:

- Die insgesamt eingesetzten Sekundärbrennstoffmengen von 1990 bis 2004 in GJ (für die Zeit zwischen 1991 bis 1993 besteht eine Datenlücke, die jedoch durch Schätzungen geschlossen werden konnten).
- Für die Jahre ab 2001 liegt der Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Zementindustrie nicht nur als Ganzes, sondern differenziert nach 16 Brennstoffkategorien vor. Für die Zeit zwischen 1995 und 2000 werden 8 Ersatzbrennstoffe und für die Zeit von 1990 bis 1994 nur 3 Ersatzbrennstoffe unterschieden. Für alle Ersatzbrennstoffe, liegen auch Heizwerte vor, so dass sowohl physische Mengen als auch Energieäquivalente ausgewiesen werden können.

Folgende Sekundärbrennstoffe werden in Deutschland in der Zementindustrie eingesetzt bzw. sind in die Inventardatenbank eingefügt worden (vgl. Tabelle 2):

Tabelle 2: Sekundärbrennstoffe in der Zementindustrie

Brennstoffbezeichnung	ZSE-Kürzel (ID)	Einheit	Zeitreihe	Wert 2004
Altreifen	ALTR	TJ	1990-2004	7 540
Altöl	AÖ	TJ	1990-2004	2 900
Gewerbeabfall Papier	GEWABFPAP	TJ	1995-2004	2 180
Gewerbeabfall Kunststoffe	GEWABFKST	TJ	1995-2004	5 038
Gewerbeabfall Verpackung	GEWABFVERP	TJ	1995-2004	325
Textilabfall	TEXABFB	TJ	1995-2004	50
Gewerbeabfall sonstige	GEWABFS	TJ	1995-2004	8 822
Tiermehle/-fette	TMUF	TJ	2001-2004	7 902
Siedlungsabfall aufbereitet	SABFAUF	TJ	1990-2004	2 512
Holzabfälle (Restholz)	HORE	TJ	1995-2004	588
Lösungsmittel (Abfall)	LMABF	TJ	1995-2004	1 728
Teppichabfälle	TABF	TJ	1995-2004	- <sup>1</sup>
Bleicherde	BE	TJ	1995-2004	143

Brennstoffbezeichnung	ZSE-Kürzel (ID)	Einheit	Zeitreihe	Wert 2004
Klärschlamm	KS	TJ	2003-2004	192
Ölschlamm	ÖS	TJ	2003-2004	300
Sekundärbrennstoffe insgesamt		TJ	1990-2004	40 220

Quelle: nach VDZ, <sup>1</sup> Angabe bis 1999 in Inventardatendank.

Die Aktivitätsdaten werden auch zukünftig über den Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) bzw. die Publikation „Umweltdaten der Deutschen Zementindustrie“ für das jeweilige Vorjahr verfügbar sein (Ansprechpartner Herr Dr. V. Hoenig, Verein Deutscher Zementwerke (VDZ), Tannenstr. 2, D-40476 Düsseldorf, Tel. +49-211-4578). Der vollständige Datensatz zum Sekundärbrennstoffeinsatz der Zementindustrie findet sich auf dem beigefügten Datenträger in der Datei "Sekbrst-ZSE-Zeitreihe.xls"

### Vervollständigung der Zeitreihen von Aktivitätsraten für die Zementindustrie

Trotz der guten Datenlage waren zum Aufbau vollständiger und konsistenter Inventarzeitreihen teilweise Schätzungen notwendig. Um zu möglichst lückenlosen und mit den Anforderungen des Emissionsinventars kompatiblen Zeitreihen zu gelangen, waren im Wesentlichen drei Arbeitsschritte notwendig:

- Schätzung des fehlenden gesamten Verbrauchs an Sekundärbrennstoffen in der deutschen Zementindustrie für die Jahre von 1991 bis 1993.
- Rückschlüsse aus den vergleichsweise kompletten Datensätzen der Jahre 2001 bis 2004 auf die detaillierte Struktur des Sekundärbrennstoffeinsatzes der Zementindustrie in der Zeit zwischen 1995 und 2000.
- Differenzierung der gesamtdeutschen Aktivitätsdaten nach dem Raumbezug alte und neue Bundesländer für die Jahre von 1990 bis einschließlich 1994.

Um den Sekundärbrennstoffeinsatz der Zementindustrie für den Zeitraum der Inventarberichterstattung (1990 bis 2004) verfügbar zu haben, wurde zunächst die Datenlücke für die Jahre 1991 bis 1993 geschlossen. Dazu wurde für die vorhandenen Jahre (1990 sowie 1994 bis 2004) der spezifische Verbrauch an Sekundärbrennstoffen (GJ/t Zement) bestimmt und die Lücken über Interpolation geschlossen. Das Produkt aus diesen interpolierten Sekundärbrennstoffeinsätzen und der Zementproduktion ergibt den geschätzten absoluten Verbrauch der Jahre 1991 bis 1993. Nach den vorliegenden Berechnungen ist der Einsatz sekundärer Brennstoffe in der Zementindustrie von in der Zeit zwischen 1990 und 2004 von 8,1 PJ auf mehr als 40 PJ gestiegen. Gemessen am gesamten thermischen Brennstoffverbrauch (94,9 PJ) decken sekundäre Energieträger inzwischen mehr als 42 %; zum Vergleich im Jahr 1990 waren es noch 7,4 % gewesen.

Zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist nicht nur die absolute Höhe sondern vor allem auch die Zusammensetzung des Sekundärbrennstoffeinsatzes von Bedeutung. Detaillierte Informationen zur Aufteilung des Sekundärbrennstoffeinsatzes auf einzelne Brennstoffkategorien (Unterscheidung nach 16 Sekundärbrennstoffarten) liegen seit 2001 vor. Rückschlüsse hinsichtlich der Aufteilung des Sekundärbrennstoffeinsatzes in den Jahren zuvor

lassen sich natürlich nur in der Tendenz angeben. Orientiert man sich bis ins Jahr 1995 zurück an den in der Statistik ausgewiesenen zusammenfassenden Brennstoffkategorien und nimmt hinzu, dass die empirische Analyse innerhalb der ausgewiesenen Aggregate keine gravierenden Strukturverschiebungen ergeben hat, so können relativ verlässliche disaggregierte Daten zum Sekundärbrennstoffeinsatz der Zementindustrie bis 1995 abgeleitet werden. Basierend auf dieser Vorgehensweise wurden detaillierte Zeitreihen zum Sekundärbrennstoffeinsatz der Zementindustrie bis 1995 ermittelt und im Emissionsinventar implementiert.

Für die Zeit vor 1995 ist die Datenlage beim Sekundärbrennstoffeinsatz der Zementindustrie in vielerlei Hinsicht eingeschränkt. Auf die (durch eigene Schätzungen geschlossene) Datenlücke beim gesamten Einsatz von Sekundärbrennstoffen, wurde bereits hingewiesen. Hinzu kommt dass die eine ähnlich differenzierte Aufteilung des Sekundärbrennstoffeinsatzes nach Brennstofftypen wie sie heute verfügbar ist für Zeitpunkte vor 1995 nicht möglich ist. Denn für die Jahre von 1990 bis 1994 liegen Angaben zum Sekundärbrennstoffverbrauch nur in der groben Abgrenzung „Altreifen“, „Altöl“ und „Aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen“ vor. Empirisch zeigt sich allerdings, dass sekundäre Brennstoffe in der Zeit zwischen 1990 und 1994 weniger bedeutsam waren, wie dies heute der Fall ist. Hinzu kommt, dass der Einsatz sekundärer Brennstoffe sich in dieser Zeit auf Altreifen und Altöl konzentrierte. Zur Ermittlung der Inventarzeitreihen wurde vor diesem Hintergrund aber auch angesichts zunehmender Schätzunsicherheiten im betrachteten Zeitraum auf eine weitere Rückrechnung detaillierter Brennstoffkategorien verzichtet.

Getrennte Angaben zur Entwicklung des Sekundärbrennstoffeinsatzes in der Zementindustrie nach alten und neuen Bundesländern liegen nicht vor, so dass diese Informationen separat geschätzt werden mussten. Im Falle der Zementindustrie wurden zur Aufteilung des Sekundärbrennstoffeinsatzes auf die Zementproduktion der jeweiligen Regionen als Gewichtungsschema herangezogen. Die regionalisierten Daten zur Zementproduktion in den Jahren zwischen 1990 und 1994 konnten aus Angaben zum absoluten und spezifischen thermischen Brennstoffeinsatz der Zementindustrie in den alten und neuen Bundesländern berechnet werden.

Zusammenfassend ergibt sich aus den wenigen zur Verfügung stehenden Daten für die alten und neuen Bundesländer das folgende Bild (vgl. Tabelle 3): In der Zeit zwischen 1990 und 1994 wurden in Deutschland zwischen 8 und 10 PJ sekundäre Brennstoffe zur Herstellung von Zement eingesetzt. Etwa 20 bis 24 % dieses Sekundärbrennstoffeinsatzes dürften auf die alten Bundesländer entfallen sein. Zweifellos ist die hier vorgenommene Differenzierung nach alten und neuen Bundesländern mit Schätzunsicherheiten verbunden. Positiv ist jedoch zu bewerten, dass die ermittelten Sekundärbrennstoffeinsatzmengen (Aktivitätsraten) für die Zementindustrie in alten Bundesländern - zumindest der Größenordnung und Entwicklungsrichtung nach - gut mit den in der Fachliteratur publizierten Sekundärbrennstoffdaten übereinstimmen. Nach Angaben der Studie „Umweltentlastung aus der Verwertung von Sekundärbrennstoffen“ setzte die westdeutsche Zementindustrie im Jahr 1989/90 rund 230 000 Altreifen 143 000 Altöl und Lösungsmittel sowie 93 000 Hausmüll und Industriereststoffe ein (Kirch 1991). Je nach angenommenem Heizwert die-

ser Sekundärbrennstoffe entsprechen die genannten Einsatzmengen einem Energieäquivalent von 1,3 bis 1,4 PJ.

Tabelle 3: Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Zementindustrie nach Regionen (Angaben in PJ)

	1990	1991	1992	1993	1994
	in PJ				
Alte Bundesländer	1,7	1,7	1,9	1,9	2,3
Neue Bundesländer	6,4	6,1	6,8	7,0	8,1
Insgesamt	8,1	7,8	8,7	8,9	10,4

Quelle: Eigene Berechnungen nach Verein Deutscher Zementwerke (VDZ)

## **Abschätzung der Unsicherheiten für die Aktivitätsraten der Zementindustrie**

Die Bandbreiten (Konfidenzintervalle) von Aktivitätsraten (Sekundärbrennstoffeinsatz) wurden im Rahmen dieses Projektes nicht quantitativ bestimmt, sondern qualitativ abgeschätzt. Dazu wurde sowohl das Expertenwissen der Verbände als auch die empirischen Hintergründe der Datenquellen genutzt. Die Aktivitätsraten stammen (abgesehen von den dargestellten Datenlücken) aus statistischen Erhebungen, die der jeweilige Verband (hier der Verein Deutscher Zementwerke) bei seinen Mitgliedswerken durchgeführt hat. In der Zementindustrie werden Aktivitätsdaten zum Einsatz sekundärer Brennstoffe seit langem für jeden einzelnen Zementofen erfasst. Die Aktivitätsraten zum Sekundärbrennstoffeinsatz der Zementindustrie werden deshalb als sehr genau eingestuft.

Die Qualitäten und chemischen Beschaffenheiten der verbrauchten Sekundärbrennstoffe unterliegen in der Zementindustrie von Jahr zu Jahr aber auch von Werk zu Werk stark Schwankungen. Zur Festlegung geeigneter CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren also eigentlich nur aufwendige Analysen der eingesetzten Sekundärbrennstoffe in Frage. Exakte Brennstoffanalysen wurden in der Vergangenheit nur in Einzelfällen durchgeführt und dürften auch in Zukunft aufgrund der damit verbundenen hohen Kosten eher die Ausnahme bleiben. Vor diesem Hintergrund ist die Bestimmung spezifischer CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für sekundäre Brennstoffe mit zusätzlichen Unsicherheiten verbunden, die in dieser Studie durch explizite Angabe von Konfidenzintervallen (obere und untere Grenzen) aufgefangen werden.

Mit Blick auf die Aktivitätsraten wesentlicher als die Ermittlung von Unsicherheitsbandbreiten mit Hilfe rein statistischer Verfahren sind Unter- bzw. Überschätzungen der berechneten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die aus Überschneidungen der Inventarzeitreihen mit der Energiebilanz resultieren können.

### **Ableich mit Aktivitätsraten der Energiebilanz**

Im Falle der Zementindustrie lassen sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt lediglich grobe Anhaltspunkte für Überschneidungen der im Projekt gelieferten Daten mit der Energiebilanz finden:

- Die Zementindustrie setzt sekundäre Brennstoffe ausschließlich in der Feuerung der Drehrohröfen ein. In der vertikalen (sektoralen) Gliederung der Energiebilanz müssten Sekundärbrennstoffe deshalb beim Endenergieverbrauch der Industrie im Sektor „Verarbeitung von Steinen und Erden“ (Energiebilanzzeile 53) erfasst werden.
- In der horizontalen (energieträgerspezifischen) Gliederung der Energiebilanz kommt zur Erfassung der Sekundärbrennstoffe eigentlich nur die Bilanzspalte 26 „Müll und sonstige Biomasse“ in Frage. Der Energieträger „Müll und sonstige Biomasse“ wird in der Energiebilanz jedoch erst ab dem Berichtsjahr 1995 ausgewiesen. Im Sektor „Verarbeitung von Steinen und Erden“ wird dort z.B. für das Jahr 1999 ein Brennstoffeinsatz in Höhe von 391 TJ ausgewiesen (dabei ist zu bedenken das der Sektor „Steine und Erden“ auch andere Produktionssegmente wie z.B. die Kalk- oder Ziegelindustrie u.a. umfasst, die solche Sekundärbrennstoffe einsetzen könnten). Die Zementindustrie

verbraucht im Jahr 1999 jedoch 22 198 TJ sekundäre Brennstoffe. Der empirische Vergleich deutet darauf hin, dass sekundäre Brennstoffe zur Herstellung von Zement in den Energiebilanzen ab 1995 nicht erfasst sind.

- In den Energiebilanzen für die Jahre 1990 bis 1994, könnte die Erfassung sekundärer Brennstoffe grundsätzlich in der Spalte 15 „Klärschlamm, Müll u.a.“ erfolgt sein. Allerdings weisen die Energiebilanzen in dem hier betrachteten Zeitraum keinen Endenergieverbrauch dieses Energieträgers nach. Die Erfassung sekundärer Brennstoffe in der Zementindustrie ist folglich in den Energiebilanzen vor 1995 definitiv ausgeschlossen.

### **Qualitätskontrolle der Aktivitätsraten für die Zementindustrie**

Die neu erstellten Zeitreihen zum Sekundärbrennstoffeinsatz in der Zementindustrie wurden im Rahmen dieses Forschungsprojekts einer intensive Qualitätskontrolle unterzogen. Dazu wurden die Angaben des Vereins der Zementindustrie (VDZ) auf ihre Validität überprüft bzw. in den sektoralen Kontext eingeordnet.

Für die Zementindustrie ergibt sich auf der Grundlage der neu gewonnenen Daten das folgende empirische Bild: Beim gegenwärtigen Stand der Technik erfordert die Produktion einer Tonne Zement 2 918 MJ Brennstoffe und 101 kWh elektrische Energie. Bei einer Produktion von 32 Mio. t ergibt sich daraus für das Jahr 2004 ein Gesamtenergieverbrauch von 129,2 PJ (incl. sekundäre Brennstoffe). Gemessen am gesamten thermischen Brennstoffverbrauch (94,9 PJ) decken sekundäre Energieträger inzwischen mehr als 42 %. Die Angaben zum Sekundärbrennstoffeinsatz sind somit konsistent. Sie fügen sich von der Größenordnung und Entwicklungsrichtung nahtlos in das sektorale Gesamtbild ein.

Der gesamte thermische Regelbrennstoffbedarf war im Jahr 2004 mit CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 5,2 Mio. t verbunden. Der Einsatz sekundärer Brennstoffe in der Zementindustrie induziert nach ersten vorläufigen Berechnungen für das Jahr 2004 CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 3,1 Mio. t. In diesem Emissionsvolumen enthalten sind etwa 1,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen, die aus biogenen Fraktionen der eingesetzten Sekundärrohstoffe stammen.

## **Geplante Verbesserungen für die Aktivitätsraten der Zementindustrie**

Die neu erstellten Inventarzeitreihen zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Zementindustrie basieren überwiegend auf Angaben des Vereins Deutscher Zementwerke (VDZ). Die wenigen Lücken in den Zeitreihen wurden durch Schätzungen geschlossen, alle Daten einer intensiven Qualitätskontrolle unterzogen und als konsistent und plausibel erachtet.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes konnte die Frage nicht abschließend beantwortet werden, ob Daten zum Sekundärbrennstoffeinsatz der Zementindustrie bereits bei der Erstellung der Energiebilanzen für Deutschland berücksichtigt wurden oder als Ergänzung zu dieser Datenquelle anzusehen sind. In diesem Zusammenhang wird angestrebt den Abgleich der neu ermittelten Aktivitätszeitreihen mit der Energiebilanz zu verbessern. Dabei sind die Erwägungen aus Kapitel Qualitätskontrolle der Aktivitätsraten für die Zementindustrie zu beachten.

Hintergrund ist, dass die vom Umweltbundesamt erstellten nationalen Emissionsinventare wesentlich auf den Energiebilanzen für Deutschland basieren, die in jährlichem Abstand von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) publiziert werden. Die Energiebilanz ist einerseits ein unverzichtbarer Baustein, um von der Energieseite zu einer vollständigen und konsistenten CO<sub>2</sub>-Bilanz zu gelangen. Andererseits erfasst die Energiebilanz nicht alle Aktivitätsraten, die zur Erstellung der Emissionsinventare erforderlich sind, so dass in Teilbereichen auch Ergänzungen zur Energiebilanz erforderlich sind.

Sekundärbrennstoffe stellen keine Energieträger im eigentlichen Sinne dar. Eine flächendeckende Erfassung aller abfallstämmigen Energieträger, die aus ungefährlichen Abfällen, heizwertreichen Reststoffen oder heizwertreichen Fraktionen nicht getrennt erfasster Abfälle aus Industrie, Gewerbe und Haushalten gewonnen werden (Sekundärbrennstoffe), stellt die Energiebilanz deshalb auch nicht sicher. Sekundärbrennstoffe spielen in der Energiebilanz offensichtlich bislang nur eine untergeordnete Rolle, es kann jedoch auch nicht ausgeschlossen werden, dass sie in Einzelfällen bereits in den Bilanzdaten enthalten sind.

Um in diesem Zusammenhang Doppelzählungen zu vermeiden, muss jede neue Brennstoffzeitreihe, die in die Inventardatenbank eingefügt wird, hinsichtlich eventueller Überschneidungen mit der Energiebilanz überprüft werden. Dies gilt insbesondere auch für die in diesem Forschungsprojekt ermittelten Zeitreihen zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Zementindustrie. Die Überprüfung setzt allerdings die vollständige Kenntnis aller Verfahrensschritte zur Erstellung der Energiebilanz voraus. Vor diesem Hintergrund hat das Umweltbundesamt einen Forschungsauftrag vergeben, in dem ein Methodenhandbuch erstellt werden soll, dass die Bilanzierungsregel (incl. der genutzten Datenquellen) für jeden Energieträger und Sektor der Energiebilanz detailliert und transparent darstellt (FKZ 203 41 253/03, noch unveröffentlicht).

Ergebnisse des o.g. Forschungsprojekts liegen bisher noch nicht vor. Eine endgültige Beantwortung der Frage, ob und in welchem Umfang sekundäre Brennstoffe, die in der Ze-

mentindustrie eingesetzt werden, bereits in der Energiebilanz enthalten sind, ist aus diesem Grunde noch nicht möglich und muss zu einem späteren Zeitpunkt außerhalb des Projektes „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ nachgeholt werden.

## Zellstoff- und Papierindustrie

### Herleitung der Aktivitätsraten für die Papierindustrie

#### Ausgangsdaten für die Papierindustrie

Grundlage zur Erstellung historischer Inventarzeitreihen zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Papierindustrie sind die in jährlichem Abstand vom Verband der Papierindustrie (VDP) publizierten Leistungsberichte (Leistungsbericht Papier 2004, Bonn). Die dort veröffentlichten Daten zum Sekundärbrennstoffverbrauch der Papierindustrie sind vor Nutzung für die Inventardatenbank noch einmal mit dem VDP abgestimmt worden. Dabei hat sich auch gezeigt, dass der VDP weder zusätzliche noch tiefer disaggregierte Daten zum Sekundärbrennstoffeinsatz bereitstellen kann. Im Einzelnen konnten im Rahmen dieses Forschungsprojekts folgende Daten genutzt werden:

- Gesamter Einsatz von Sekundärbrennstoffen bei der Papierherstellung für die Jahre 1990 bis 2004.
- Unterscheidung des gesamten Sekundärbrennstoffeinsatzes nach sechs Brennstoffkategorien. Für alle Sekundärbrennstoffarten stehen ab 1993 auch Heizwerte zur Verfügung, so dass die Aktivitätsraten (Mengenströme) sowohl in natürlichen als auch in Energieäquivalenten angegeben werden können.
- Teilweise Ergänzung der gesamtdeutschen Daten durch detaillierte Informationen für die alten und neuen Bundesländer in den Jahren zwischen 1990 und 1993. (Diese Angaben sind allerdings nicht sehr belastbar und auch lückenhaft).

Um die Leistungsberichte für die Inventardatenbank nutzen zu können wurden die Brennstoffkategorien „übrige Rückstände“, „sonstige Energieträger“ und „Biogas“ in der Position „Rückstände Papierindustrie“ zusammengefasst. Bis 1993 der Einsatz von Biogas, das bei der anaeroben Wasserreinigung anfällt in der Position „sonstige Energieträger“ enthalten, so dass nur durch Aggregation eine Inventarzeitreihe, gewonnen werden konnte, die frei von Strukturbrüchen ist.

Tabelle 4: Sekundärbrennstoffe in der Papierindustrie

Brennstoffbezeichnung	ZSE-Kürzel (ID)	Einheit	Zeitreihe	Wert 2004
Ablaugen Zellstoffherstellung	ZSTABL	TJ	1990-2004	17 901
Rinde	RI	TJ	1990-2004	2 586
Faser-/Deinking-Rückstände	FSDEINRST	TJ	1990-2004	3 698
Rückstände Papierindustrie	RSTPAP	TJ	1990-2004	3 816
<b>Sekundärbrennstoffe insgesamt</b>		<b>TJ</b>	<b>1990-2004</b>	<b>28 001</b>

Quelle: nach Verband Deutscher Papierfabriken, Ein Leistungsbericht, versch. Jahre

Tabelle 4 zeigt die Aufgliederung und den Beobachtungszeitraum der Zeitreihen, wie sie in die Inventardatenbank neu eingefügt wurden.

Um die ermittelten Zeitreihen zum Sekundärbrennstoffeinsatz in der Papierindustrie in die Inventardatenbank implementieren zu können, ist für die Jahre von 1990 bis 1994 eine räumliche Unterteilung nach alten und neuen Bundesländern zwingend erforderlich. Angaben zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Papierindustrie der neuen Bundesländer sind wie erwähnt teilweise in den Leistungsberichten des VDP enthalten. Schätzt man die fehlende Differenzierung des Sekundärbrennstoffeinsatzes in der Papierindustrie der neuen Bundesländer aus der Struktur der vorhandenen Jahre (1992 bis 1994) hinzu, so ergibt sich ein vollständiges Bild der Bedeutung des Sekundärbrennstoffeinsatzes in der Papierindustrie dieser Region. Die Zahlen für die alten Bundesländer konnten folglich als Rest errechnet werden.

Bei der Beurteilung des in Tabelle 5 dargestellten Sekundärbrennstoffeinsatzes in den alten und neuen Bundesländern sind regionale Unterschiede in der Produktionsentwicklung und Energieeffizienz in den Jahren 1990 bis 1994 zu berücksichtigen. Im Zuge der vereinigungsbedingten Umstrukturierung der Papierindustrie in den neuen Ländern verringerte sich die Papierproduktion von 0,9 Mio. t im Jahr 1990 (1989 waren es noch 1,3 Mio. t) auf 587 000 t im Jahr 1992. Erst im Jahr 1997 hat die Papierproduktion mit einer erzeugten Menge von mehr als 1,3 Mio. t erstmalig wieder das Niveau vor der Wiedervereinigung übertroffen. Im gleichen Zeitraum wurde durch den Um- und Neubau von Papierfabriken der spezifische Energieeinsatz (incl. Sekundärbrennstoffe), der 1990 noch den Einsatz in den alten Bundesländern um das 2,4-fache übertraf auf das 1,15-fache verringert.

Tabelle 5: Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Papierindustrie nach Regionen (Angaben in PJ)

	1990	1991	1992	1993	1994
	in PJ				
Alte Bundesländer	6,9	8,2	8,4	13,1	15,6
Neue Bundesländer	3,5	2,7	2,7	2,6	3,5
<b>Insgesamt</b>	<b>10,4</b>	<b>10,9</b>	<b>11,1</b>	<b>15,8</b>	<b>19,1</b>

Die Aktivitätsdaten werden auch zukünftig über den Verband Deutscher Papierfabriken (VDP) bzw. die Publikation „Ein Leistungsbericht“ für das jeweilige Vorjahr verfügbar sein (Ansprechpartner Herr Dr. B. Götz, Verband Deutscher Papierfabriken (VDP), Adenauerallee 55, D-53113 Bonn, Tel. +49-228-26705-39). Der vollständige Datensatz zum Sekundärbrennstoffeinsatz der Papierindustrie findet sich auf dem beigefügten Datenträger in der Datei „Sekbrst-ZSE-Zeitreihe.xls“ oder als Ausdruck im Anhang I dieser Studie.

### Vervollständigung der Zeitreihen von Aktivitätsraten für die Papierindustrie

Die Aktivitätsdaten zum Sekundärbrennstoffeinsatz der Papierindustrie werden vom Verband der Papierindustrie (VDP) bei den Werken erfragt und in den jährlichen Leistungsberichten publiziert. Die Angaben in den Leistungsberichten umfassen die Berichtsjahre von

1990 bis 2004 und konnten auch zur räumlichen Differenzierung der Massenströme nach neuen und alten Bundesländern (für 1990 bis 1994) herangezogen werden. Zur Ermittlung der Massenströme des Sekundärbrennstoffeinsatzes in der Papierindustrie konnte auf Schätzungen oder Interpolationen vor diesem Hintergrund vollständig verzichtet werden.

## **Abschätzung der Unsicherheiten für die Aktivitätsraten der Papierindustrie**

Eine quantitative Herleitung von Bandbreiten (Konfidenzintervallen) zur Beschreibung von Unsicherheiten auf der Ebene von Aktivitätsraten (Sekundärbrennstoffeinsatz) wurde im Rahmen dieses Projektes nicht durchgeführt. Der Verband Deutscher Papierfabriken führt in jährlichem Abstand eine Vollerhebung über die Energiesituation seiner Werke durch. Im Rahmen dieser Erhebung werden für jeden Standort der Papierindustrie u.a. umfangreiche Angaben zum Verbrauch fossiler Regelbrennstoffe sowie erneuerbarer Sekundärbrennstoffe abgefragt. Die in dieser Studie verwendeten Aktivitätsraten stammen (abgesehen von den dargestellten Datenlücken) in sektoral zusammengefasster Form aus diesen statistischen Erhebungen. Die Genauigkeit dieser primär erhobenen Daten zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Papierindustrie kann vor diesem Hintergrund als sehr hoch eingestuft werden.

Die Qualitäten und chemischen Beschaffenheiten der verbrauchten Sekundärbrennstoffe unterliegen von Jahr zu Jahr aber auch von Werk zu Werk stark Schwankungen. Zur Festlegung geeigneter CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren also eigentlich nur aufwendige Analysen der eingesetzten Sekundärbrennstoffe in Frage. Exakte Brennstoffanalysen wurden in der Vergangenheit nur in Einzelfällen durchgeführt und dürften auch in Zukunft aufgrund der damit verbundenen hohen Kosten eher die Ausnahme bleiben. Vor diesem Hintergrund ist die Bestimmung spezifischer CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für sekundäre Brennstoffe mit zusätzlichen Unsicherheiten verbunden, die in dieser Studie durch explizite Angabe von Konfidenzintervallen (obere und untere Grenzen) aufgefangen werden.

Mit Blick auf die Aktivitätsraten wesentlicher als die Ermittlung von Unsicherheitsbandbreiten mit Hilfe rein statistischer Verfahren sind Unter- bzw. Überschätzungen der berechneten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die aus Überschneidungen der Inventarzeitreihen mit der Energiebilanz resultieren können.

Ein rein empirisch gestützter Abgleich der im Rahmen dieses Projektes ermittelten Aktivitätsraten zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Papierindustrie mit den bislang vorliegenden Energiebilanzen ergibt ein unklares Bild:

- Die Papierindustrie setzt sekundäre Brennstoffe sowohl in reinen Industriefeuerungen (Spitzenkessel zur Dampferzeugung, Trocknungszwecke usw.) vor allem aber auch im Rahmen von Kraft-Wärme-Kopplungsprozessen (industrielle KWK) ein. Grundsätzlich sind (Regel- oder Sekundär-)brennstoffmengen die in industrieller Kraft-Wärme-Kopplung verbraucht werden aufgrund der angewandten Bilanzierungsmethodik in der Energiebilanz nicht mehr sichtbar. Brennstoffmengen, die vor dem endgültigen Einsatz im Produktionsprozess in industriellen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in Prozessdampf umgewandelt werden sind nach der Logik der Energiebilanz im Endenergieverbrauch zusammen mit dem direkten Brennstoffeinsatz im industriellen Endenergieverbrauch (differenziert nach Energieträgern und Wirtschaftszweigen) verbucht. Brennstoffmengen, die hingegen der Erzeugung von Strom in industriellen KWK-Anlagen dienen, werden zusammen mit dem Brennstoffeinsatz in reinen Stromerzeugungsanlagen der Industrie in der Umwandlungsbilanz erfasst (Energiebilanzzeile 12). Eine de-

taillierte Untergliederung nach Sektoren fehlt für den Brennstoffeinsatz der Industriekraftwerke in der bislang Energiebilanz völlig.

- Dies alles hat zur Folge, dass allein aufgrund der vergleichenden Analyse gegenwärtig keine eindeutige Zuordnung bzw. Abgrenzung der ermittelten Aktivitätsraten zur Energiebilanz möglich ist. Der bisherige empirische Analyse hat folgendes Bild ergeben: Die Energiebilanzen von 1995 bis 1999 weisen im Sektor Papiergewerbe (Energiebilanzzeile 48) einen Einsatz des Energieträgers „Müll und sonstige Biomasse“ (Energiebilanzspalte 26). Danach verbrauchte die Papierindustrie im Jahr 1999 rund 5 928 TJ Müll und sonstige Biomasse. Für 1990 bis 2004 liegen Zahlen zum Einsatz sekundärer Brennstoffe in der Papierindustrie vor. Danach verbrauchte die Papierindustrie im Jahr 1999 rund sekundäre Brennstoffe mit einem Energieäquivalent von 28 000 TJ. Aus der Differenz dieser Zahlen kann nicht geschlossen werden, dass sekundäre Brennstoffe, die bei der Papierherstellung genutzt werden, nicht vollständig in der Energiebilanz enthalten sind. Nimmt man den Einsatz an „Müll und sonstige Biomasse“ in Industriekraftwerken in Höhe von 52 058 TJ im Jahr 1999 (Energiebilanzzeile 12) mit ins Bild, ergibt sich rein rechnerisch die Möglichkeit, dass die Sekundärbrennstoffe vollständig in den Energiebilanzen ab 1995 berücksichtigt sind. Der sich als Rest ergebende Einsatz an „Müll und sonstige Biomasse“ in Industriekraftwerken (29 985 TJ im Jahr 1999) entspräche dann dem Verbrauch in industriellen Stromerzeugungsanlagen oder industriellen KWK-Anlagen in Wirtschaftszweigen die in diesem Forschungsprojekt nicht untersucht wurden.

Für die Zeit zwischen 1990 und 1994 enthält die Energiebilanz im Endenergieverbrauchssektor „Zellstoff-, Papier- und Pappeerzeugung“ (Energiebilanzzeile 58) weder Einsatzmengen an „Klärschlamm, Müll, u.a.“ (Energiebilanzspalte 15) noch an „Brennholz“ (Energiebilanzspalte 13). Die Erfassung des Sekundärbrennstoffeinsatzes in der Papierindustrie könnte vor diesem Hintergrund für die genannten Energieträger nur in der Umwandlungsbilanz (Sektor „Sonstige Industrierärmekraftwerke“, Energiebilanzzeile 15) erfolgt sein. Die Papierindustrie verbrauchte 1994 etwa 19 130 TJ sekundäre Brennstoffe. Die Energiebilanz für das Jahr 1994 weist für die Industriekraftwerke einen Brennstoffeinsatz von 39 096 TJ an Brennholz, Klärschlamm, Müll u.ä. aus. Dies alles zeigt, dass auch für die Zeit zwischen 1990 und 1994 nicht ausgeschlossen werden kann, dass die im Rahmen dieses Projektes ermittelten Zeitreihen zum Sekundärbrennstoffeinsatz der Papierindustrie in der Energiebilanz enthalten sind.

### **Qualitätskontrolle der Aktivitätsraten für die Papierindustrie**

Die Daten zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Papierindustrie, wurden vom Verband Deutscher Papierfabriken bereitgestellt und im Rahmen des Forschungsprojekts FKZ 20442203/02 einer intensive Qualitätskontrolle unterzogen. Dazu wurden die physischen Mengenströme auf Konsistenz zum gesamten Energieverbrauch bei der Papierherstellung hin geprüft. Darüber hinaus wurden auch hier die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Einsatz von Regelbrennstoffen und Ersatzbrennstoffen bestimmt, um die Qualität der zugrunde liegenden Daten zu dokumentieren.

Im Jahr 2004 wurden in Deutschland 20,4 Mio. t Papier, Karton und Pappe produziert. Hierbei wurden 269 PJ thermische und elektrische Energie verbraucht. Mehr als 28 PJ des gesamten Brennstoffeinsatzes in Höhe von 131 PJ wurden durch Sekundärbrennstoffe bereitgestellt wurde. Damit deckt die Branche etwa 21 % ihres gesamten Wärmebedarfs aus sekundären Brennstoffen.

Aus dem Einsatz regulärer Brennstoffe errechnen sich für das Jahr 2004 CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 6,8 Mio. t (ohne Berücksichtigung nachwachsender Sekundärbrennstoffe). Hinzu kommen gegenwärtig rund 2 Mio. t CO<sub>2</sub> aus dem Einsatz sekundärer Brennstoffe. Rund 99 % dieser CO<sub>2</sub>-Emissionen entstammen in der Papierindustrie aus dem Einsatz biogener Sekundärbrennstoffanteile.

Die statistische Erfassung des Einsatzes sekundärer Brennstoffe hat in der Papierindustrie eine lange Tradition (siehe dazu VDP, Ein Leistungsbericht, versch. Jgg.). Trotz kleinerer Strukturbrüche in den dort ausgewiesenen Zeitreihen spiegeln die bereitgestellten Daten die fortschreitende Substitution von Regel- durch Sekundärbrennstoffe in der Papierindustrie gut wider.

## **Geplante Verbesserungen für die Aktivitätsraten der Papierindustrie**

Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes neu ermittelten Inventarzeitreihen zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Papierindustrie bauen grundsätzlich auf Angaben des Vereins Deutscher Papierfabriken (VDP) auf. Vorhandene Lücken in den Zeitreihen wurden durch Schätzungen geschlossen, alle Daten einer intensiven Qualitätskontrolle unterzogen und als konsistent und plausibel erachtet. Hinsichtlich der Aktivitätszeitreihen zum Sekundärbrennstoffeinsatz der Papierindustrie sind gegenwärtig keine Verbesserungen geplant.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes konnte die Frage nicht abschließend beantwortet, ob Daten zum Sekundärbrennstoffeinsatz der Papierindustrie bereits bei der Erstellung der Energiebilanzen für Deutschland berücksichtigt wurden oder als Ergänzung zu dieser Datenquelle anzusehen sind. In diesem Zusammenhang wird angestrebt den Abgleich der neu ermittelten Aktivitätszeitreihen mit der Energiebilanz zu verbessern.

Hintergrund ist, dass die vom Umweltbundesamt erstellten nationalen Emissionsinventare großenteils auf den Energiebilanzen für Deutschland basieren, die in jährlichem Abstand von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) publiziert werden. Die Energiebilanz ist einerseits ein unverzichtbarer Baustein, um von der Energieseite zu einer vollständigen und konsistenten CO<sub>2</sub>-Bilanz zu gelangen. Andererseits erfasst die Energiebilanz nicht alle Aktivitätsraten, die zur Erstellung der Emissionsinventare erforderlich sind, so dass in Teilbereichen auch Ergänzungen zur Energiebilanz erforderlich sind.

Sekundärbrennstoffe stellen keine Energieträger im eigentlichen Sinne dar. Eine flächendeckende Erfassung aller abfallstämmigen Energieträger, die aus ungefährlichen Abfällen, heizwertreichen Reststoffen oder heizwertreichen Fraktionen nicht getrennt erfasster Abfälle aus Industrie, Gewerbe und Haushalten gewonnen werden (Sekundärbrennstoffe), stellt die Energiebilanz deshalb auch nicht sicher. Sekundärbrennstoffe spielen in der Energiebilanz offensichtlich bislang nur eine untergeordnete Rolle, es kann jedoch auch nicht ausgeschlossen werden, dass sie in Einzelfällen bereits in den Bilanzdaten enthalten sind.

Um in diesem Zusammenhang Doppelzählungen zu vermeiden muss jede neue (Energie)zeitreihe, die in die Inventardatenbank eingefügt wird, hinsichtlich eventueller Überschneidungen mit der Energiebilanz überprüft werden. Dies gilt insbesondere auch für die in diesem Forschungsprojekt ermittelten Zeitreihen zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Papierindustrie. Die Überprüfung setzt allerdings die vollständige Kenntnis aller Verfahrensschritte zur Erstellung der Energiebilanz voraus. Vor diesem Hintergrund hat das Umweltbundesamt einen Forschungsauftrag vergeben, in dem ein Methodenhandbuch erstellt werden soll, dass die Bilanzierungsregel (incl. der genutzten Datenquellen) für jeden Energieträger und Sektor der Energiebilanz detailliert und transparent darstellt.

Ergebnisse des o.g. Forschungsprojekts liegen bisher noch nicht vor. Eine endgültige Beantwortung der Frage, ob und in welchem Umfang sekundäre Brennstoffe, die in der Papierindustrie eingesetzt werden, bereits in der Energiebilanz enthalten sind, ist aus diesem

Grunde noch nicht möglich und muss zu einem späteren Zeitpunkt außerhalb des Projektes „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ nachgeholt werden.

## Kalkindustrie

### Herleitung der Aktivitätsraten für die Kalkindustrie

#### Ausgangsdaten für die Kalkindustrie

Die Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen in der Kalkindustrie ist in Europa selten, mehrheitlich werden Regelbrennstoffe eingesetzt. Daten zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Kalkindustrie wurden für das Jahr 2003 erstmalig erfasst und im Rahmen dieses Forschungsprojektes für das Zentrale System Emissionen (ZSE) nutzbar gemacht. Als Quelle für wurden Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie (BVK) genutzt.

Aus der Kalkindustrie liegen derzeit folgende Daten vor:

- Der Einsatz von Sekundärbrennstoffen für das Berichtsjahr 2003.
- Unterscheidung des gesamten Sekundärbrennstoffeinsatzes nach sechs Brennstoffkategorien, für die auch entsprechende Heizwerte vorliegen.

Die Inventardatenbank wurde um die in Tabelle 6 aufgeführten Datenbestände zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Kalkindustrie erweitert. Dazu wurden teilweise Zusammenfassungen relativ homogener Brennstoffgruppen (wie z.B. Altöl und Recyclingöl zu Altöl) vorgenommen. Die Inventardatenbank unterscheidet in der Kalkindustrie noch drei Arten von Sekundärbrennstoffen.

Tabelle 6: Sekundärbrennstoffe in der Kalkindustrie

Brennstoffbezeichnung	ZSE-Kürzel (ID)	Einheit	Zeitreihe	Wert 2003
Altöl	AÖ	TJ	2003	1 490
Gewerbeabfall, sonstiger	GEWABFS	TJ	2003	657
Tiermehle und -fett	TMUF	TJ	2003	258
<b>Sekundärbrennstoffe insgesamt</b>		<b>TJ</b>	<b>2003</b>	<b>2 405</b>

Quelle: nach Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie

Die Aktivitätsdaten werden auch zukünftig über den Verband der Deutschen Kalkindustrie (BVK) verfügbar sein. Der BVK erhebt die Daten zum Ersatzbrennstoffeinsatz in der Kalkindustrie anlässlich der jährlichen Berichtserstattungspflichten im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Selbstverpflichtungserklärung der deutschen Wirtschaft (CO<sub>2</sub>-Monitoring), so dass zumindest über die Laufzeit der Selbstverpflichtungserklärung eine Fortführung dieser Angaben gesichert erscheint (Ansprechpartner: Herr Dr. Fuchs, Annastr. 67-71, D-50968 Köln, Tel.: +49-221-934674-20). Der vollständige Datensatz zum Sekundärbrennstoffeinsatz der Kalkindustrie findet sich auf dem beigefügten Datenträger in der Datei "Sekbrst-ZSE-Zeitreihe.xls" oder als Ausdruck im Anhang I dieser Studie.

### **Vervollständigung der Zeitreihen von Aktivitätsdaten für die Kalkindustrie**

Aus nur einem zur Verfügung stehenden Beobachtungszeitpunkt (für das Jahr 2003) lassen sich keine belastbaren Schätzungen zur Vervollständigung der Inventarzeitreihen ableiten. Hinzu kommt, dass die Qualitäten und chemischen Beschaffenheit der verbrauchten Ersatzbrennstoffe von Jahr zu Jahr aber auch von Werk zu Werk stark schwanken. Auf Vervollständigung der Aktivitätsdaten zum Sekundärbrennstoffeinsatz bis 1990 in der Kalkindustrie wurde deshalb verzichtet.

### **Abschätzung der Unsicherheiten für die Aktivitätsraten der Kalkindustrie**

Eine quantitative Herleitung von Bandbreiten (Konfidenzintervallen) zur Beschreibung von Unsicherheiten auf der Ebene von Aktivitätsraten (Sekundärbrennstoffeinsatz) wurde im Rahmen dieses Projektes nicht durchgeführt. Die Aktivitätsraten stammen (abgesehen von den dargestellten Datenlücken) aus statistischen Erhebungen, die der jeweilige Verband (hier der Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie) bei seinen Mitgliedswerken durchgeführt hat. Die Ungenauigkeit dieser primär erhobenen Daten liegt also im Bereich des statistisch üblichen.

Die Qualitäten und chemischen Beschaffenheiten der verbrauchten Sekundärbrennstoffe unterliegen von Jahr zu Jahr aber auch von Werk zu Werk stark Schwankungen. Zur Festlegung geeigneter CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren also eigentlich nur aufwendige Analysen der eingesetzten Sekundärbrennstoffe in Frage. Exakte Brennstoffanalysen wurden in der Vergangenheit nur in Einzelfällen durchgeführt und dürften auch in Zukunft aufgrund der damit verbundenen hohen Kosten eher die Ausnahme bleiben. Vor diesem Hintergrund ist die Bestimmung spezifischer CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für sekundäre Brennstoffe mit zusätzlichen Unsicherheiten verbunden, die in dieser Studie durch explizite Angabe von Konfidenzintervallen (obere und untere Grenzen) aufgefangen werden.

### **Qualitätskontrolle der Aktivitätsraten für die Kalkindustrie**

Die Daten zum Einsatz sekundärer Brennstoffe in der Kalkindustrie wurden im Rahmen des Forschungsprojekts „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ ebenfalls intensiv auf Konsistenz und Plausibilität überprüft. Dazu wurden – wie in den übrigen Wirtschaftszweigen mit Sekundärbrennstoffeinsatz – die gesamte Energie- und Emissionssituation der Branche herangezogen. Die Qualitätskontrolle unterliegt allerdings der Einschränkung, dass die Informationen vom Bundesverband Kalk erstmalig für das Jahr 2003 bereitgestellt wurden. Es liegen folglich noch keine Zeitreihen, sondern nur ein Beobachtungspunkt vor.

Die Produktion von 6,5 Mio. t Kalk im Jahr 2003 erforderte den Einsatz von Brennstoffe mit einem Energieäquivalent von 27,7 PJ. Zusätzlich verbrauchte die Kalkindustrie im Jahr 2003 etwa 2,4 PJ sekundäre Brennstoffe, so dass der Anteil dieser Brennstoffe am gesamten Brennstoffbedarf etwa ein Niveau von 8 % erreicht. Allein der Regelbrennstoffeinsatz für Kalkproduktion war mit CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 2,3 Mio. t verbunden. Der Einsatz sekundärer Brennstoffe war in der Kalkindustrie im Jahr 2003 mit CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 180 000 t verbunden. Die ermittelten Daten fügen sich mit Blick auf den übrigen Brennstoffverbrauch sowie die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen in das sektorale Gesamtbild ein.

### **Geplante Verbesserungen für die Aktivitätsraten der Kalkindustrie**

Verbesserungen mit Blick auf die Vervollständigung der Inventarzeitreihe sind derzeit nicht möglich. Der Bundesverband der deutschen Kalkindustrie hat historische Daten zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen bei seinen Mitgliedswerken nicht abgefragt. Eine weitere Datenerhebung für die zurückliegenden Jahre bis 1990 kann deshalb voraussichtlich nicht mehr realisiert werden.

Informationen zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Kalkindustrie liegen – wie bereits erwähnt - nur für das Berichtsjahr 2003 vor. Energiebilanzen für Deutschland sind bis zum Berichtsjahr 1999 publiziert, wobei die Energiebilanzen für die Jahre 2000 bis 2002 bereits erarbeitet sind und demnächst veröffentlicht werden. Für die Energiebilanz 2003 fehlen noch wichtige primärstatistische Angaben; sie wird deshalb erst im Laufe des Jahres 2006 fertig gestellt werden können.

Der Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Kalkindustrie wurde für das Berichtsjahr 2003 erstmalig erfasst. Überschneidungen der neu in die Inventardatenbank eingefügten Informationen sind deshalb gegenwärtig ausgeschlossen. Inwiefern die sekundäre Brennstoffe (sofern dies noch nicht geschehen ist) in den Energiebilanzen ab dem Berichtsjahr 2003 berücksichtigt werden, muss noch innerhalb der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen geklärt werden.

## Stahlindustrie

### Herleitung der Aktivitätsdaten für die Stahlindustrie

#### Ausgangsdaten für die Stahlindustrie

In der Stahlindustrie werden Sekundärbrennstoffe nur zur Erzeugung von Roheisen im Hochofenprozess eingesetzt. Hier fungieren diese Stoffe im Wesentlichen als Ersatzreduktionsmittel (anstelle von Koks). Eingesetzt werden in der Reihenfolge ihrer Bedeutung Altkunststoffe und Tiermehl. Das Einblasen von Shredder-Leichtfraktion befindet sich noch in der Versuchsphase. Gegenwärtig werden von insgesamt 15 betriebenen Hochöfen 7 mit Kohle, einer mit Schweröl, einer mit Schweröl und Tierfett und drei mit Schweröl und Altkunststoff als Ersatzreduktionsmittel betrieben.

Die Daten zum Einsatz von Ersatzreduktionsmitteln wurden von der Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl) erhoben und im Rahmen dieses Forschungsprojekts in Form von Zeitreihen in die Inventardatenbank eingefügt. Im einzelnen hat die Wirtschaftsvereinigung Stahl folgende Informationen bereitgestellt:

- den Gesamteinsatz von Ersatzreduktionsmitteln bei der Roheisenerzeugung von 1996 bis 2004.
- die Aufteilung des gesamten Verbrauchs an Ersatzreduktionsmitteln auf Altkunststoffe und Tierfett.
- Heizwerte und CO<sub>2</sub>-Faktoren für die eingesetzten Ersatzreduktionsmittel (diese Angaben basieren auf umfangreichen chemischen Analysen die vor dem Einblasen alternativer Kohlenstoffträger in den Hochofen aus prozesstechnischen Gründen durchgeführt werden).

Die wichtigsten Eckdaten zu den Zeitreihen über die Aktivitätsfaktoren (Ersatzreduktionsmittel), wie sie in die Inventardatenbank eingefügt wurden, sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7: Ersatzreduktionsmittel in der Stahlindustrie

Brennstoffbezeichnung	ZSE-Kürzel (ID)	Einheit	Zeitreihe	Wert 2004
Altkunststoffe	AKST	TJ	1996-2004	3,71
Tierfett	TJ	TJ	2002-2004	0,59
<b>Sekundärbrennstoffe insgesamt</b>		<b>TJ</b>	<b>1996-2004</b>	<b>4,3</b>

Quelle: nach Wirtschaftsvereinigung Stahl

Die Aktivitätsdaten werden auch in Zukunft über die Wirtschaftsvereinigung Stahl (WV Stahl) für das jeweilige Vorjahr verfügbar sein (Ansprechpartner Herr Dr. H.M. Aichinger, Sohnstr. 65, D-40237 Düsseldorf, Tel. +49-211-6707-412 sowie Herr R. Hömann,

Sohnstr. 65, D-40237 Düsseldorf, Tel. +49-211-6707-883). Der vollständige Datensatz zum Sekundärbrennstoffeinsatz der Zementindustrie findet sich auf dem beigefügten Datenträger in der Datei "Sekbrst-ZSE-Zeitreihe.xls" oder als Ausdruck im Anhang I dieser Studie.

### **Vervollständigung der Zeitreihen von Aktivitätsraten für die Stahlindustrie**

Das Einblasen von Ersatzreduktionsmitteln in den Hochofen hat in Deutschland eine längere Tradition. Als Ersatzreduktionsmittel wurden bis Mitte der neunziger Jahre jedoch ausschließlich Regelenergieträger wie Kohle oder Schweröl als Substitut für Koks eingeblasen. Eine Tendenz zum Einblasen sekundärer Brennstoffe im Sinne dieser Studie zeigt sich (sicher auch kostenbedingt) erst seit 1996.

Die Inventarzeitreihen zum Einsatz von Ersatzreduktionsmittel (Sekundärbrennstoffe), wie sie von der Wirtschaftsvereinigung Stahl bereitgestellt wurden, sind somit als vollständig einzustufen. Vervollständigungen oder Ergänzungen der Zeitreihen sind nicht erforderlich.

### **Abschätzung der Unsicherheiten für die Aktivitätsraten der Stahlindustrie**

Die Aktivitätsdaten zum Einsatz von Ersatzreduktionsmitteln bei der Roheisenerzeugung im Hochofenprozess wurden von der Wirtschaftsvereinigung Stahl anlagenscharf, d.h. auf der Ebene einzelner Hochöfen erfasst und für diese Studie in aggregierter Form zur Verfügung gestellt. Dem Einblasen von Ersatzreduktionsmitteln in einen Hochofen gehen bis zur Betriebsreife des Verfahrens stets umfangreiche, teilweise mehrere Jahre dauernde Testphasen voraus. Die Mengen (Aktivitätsraten) sowie die chemische Elementarzusammensetzung der eingeblasenen Ersatzreduktionsmittel, die Heizwerte und die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren der eingeblasenen Ersatzreduktionsmittel werden sowohl in der Testphase des Einblasverfahrens aber auch im nachfolgenden Praxisbetrieb genau analysiert und dokumentiert. Vor diesem Hintergrund kann davon ausgegangen werden, dass die von der Wirtschaftsvereinigung Stahl bereitgestellten Aktivitätsdaten eine sehr hohe Genauigkeit aufweisen.

### **Qualitätskontrolle der Aktivitätsraten für die Stahlindustrie**

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts (FKZ 20442203/02) wurden die Datenzeitreihen zum Einsatz von Ersatzreduktionsmitteln in der Stahlindustrie, einer intensiven Qualitätskontrolle unterzogen. Dazu wurde der gesamte Reduktionsmittel – und Brennstoffeinsatz aus fossilen Regelenergieträgern der Stahlindustrie erfasst und mit dem Verbrauch der Sekundärreduktionsmittel abgeglichen. Zusätzlich wurden die ermittelten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus regulären und Ersatzreduktionsmitteln bewertet.

Diese Plausibilitätsprüfung ergab folgendes Bild: Zur Oxygen- und Elektrostahlerzeugung verbrauchte die Branche im Jahr 2003 rund 592 PJ fossile Energieträger und 21,6 TWh bzw. 77,8 PJ elektrische Energie. Darüber hinaus verbrauchte die Stahlindustrie 2003 etwa 5,5 PJ sekundäre Brennstoffe. Gemessen am gesamten Reduktionsmittel- und Brennstoffverbrauch der Stahlerzeugung decken sekundäre Reduktionsmittel also gegenwärtig einen Anteil von 1 %.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Einsatz regulärer kohlenstoffhaltiger Reduktionsmittel und Brennstoffe lagen bei 53 Mio. t. Zusätzlich resultieren aus dem Einsatz von Altkunststoffen und Tierfetten bei der Roheisenerzeugung etwa 320 000 t CO<sub>2</sub>, wobei etwa 13 % dieser Emissionen aus biogenen Reduktionsmittelanteilen stammen. Die detaillierten Originärdaten zum Einsatz von Ersatzreduktionsmitteln (incl. Emissionsfaktoren) in der Stahlindustrie, sind auch mit dem Blick auf die Branche als Ganzes als plausibel einzustufen.

## **Geplante Verbesserungen für die Aktivitätsraten der Stahlindustrie**

Die in die Inventardatenbank neu aufgenommenen Zeitreihen sind vollständig und weisen keine Lücken auf. Verbesserungen sind folglich nicht vorgesehen und auch nicht notwendig.

Die in die Inventardatenbank neu aufgenommenen Zeitreihen zum Einsatz von Ersatzreduktionsmitteln in den Hochöfen der Stahlindustrie basieren auf internen Informationen der Wirtschaftsvereinigung Stahl. Diese Daten standen bislang - auch für die Erstellung der deutschen Energiebilanz – nicht zur Verfügung. Die Überprüfung der in der Energiebilanz ausgewiesenen Daten zum Einsatz von Brennstoffen und Reduktionsmitteln in der Stahlindustrie vor diesem Hintergrund eine vollständige Übereinstimmung amtlichen Datenquellen (DESTATIS) ergeben.<sup>1</sup> Grundlage Energiebilanzdaten zur Stahlindustrie bilden die Erhebungen über die „Brennstoff-, Gas- und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl-, und Warmwalzwerke sowie der Schmiede-, Press- und Hammerwerke einschließlich der örtlich verbundenen Betriebe (ohne Kokerei)“, die den Energieverbrauch der Eisenschaffenden Industrie differenziert nach Verbrauchern und Energieträgern erfassen sowie die amtliche Statistik (DESTATIS, Fachserie 4 Reihe 4.1.1 bis 2002). Sekundäre Brennstoffe wurden in den amtlichen Erhebungen zum Reduktionsmittel- und Energieverbrauch der Stahlindustrie bislang nicht berücksichtigt.

Eine Überschneidung der neu gewonnenen Inventarzeitreihen zum Einsatz von Ersatzreduktionsmittel mit den bislang veröffentlichten Energiebilanzen (bis einschl. 1999) oder in Kürze vorliegenden erstellten Energiebilanzen (bis einschl. 2002) ist deshalb nicht zu erkennen.

Am 1. Januar 2003 ist das Energiestatistikgesetz (EnStatG) in Kraft getreten. Mit dieser Neuregelung waren zahlreiche Änderungen in der Bereitstellung von Statistikdaten verbunden. Welche Auswirkungen sich daraus für die Energiebilanzerstellung damit für den Abgleich mit den bereits bis zum Jahr 2004 vorliegenden Inventarzeitreihen zum Einsatz sekundärer Ersatzreduktionsmittel in der Stahlindustrie ergeben, kann gegenwärtig kaum abgeschätzt werden. Für zukünftige Berichterstattungen ist hier also eine weitere Überprüfung vorzusehen.

---

<sup>1</sup> Selbstverständlich für einen solchen Vergleich methodische Unterschiede zwischen den einzelnen Datenquellen und der Energiebilanz zu berücksichtigen. Dies betrifft vor allem die Behandlung der in der Stahlerzeugung anfallenden Kuppelenergien in der Energiebilanz. So wird z.B. die Erzeugung von Gichtgas (bewertet mit dem jeweiligen Koksäquivalent) in der Energiebilanz im Umwandlungssektor verbucht. Die Bilanzierung des Kokeinsatzes zur „eigentlichen“ Stahlerzeugung im industriellen Endenergieverbrauch erfolgt also ohne die Mengen, die zur Erzeugung von Gichtgas im Hochofenprozess aufgewendet werden mussten.

## 4 Herleitung von CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren und biogener Anteile (Module für Inventarbeschreibung)

In den folgenden Kapiteln werden die Emissionsfaktoren sämtlicher in der Zement-, Papier- und Kalkindustrie eingesetzten Sekundärbrennstoffe auf der Basis von Angaben zu Kohlenstoff- und Wassergehalten und Heizwerten stöchiometrisch hergeleitet. Für die in der Eisen schaffenden Industrie eingesetzten Stoffe, die hier im Hochofenprozess als Ersatzreduktionsmittel fungieren, liegen im Gegensatz dazu die Emissionsfaktoren als Analyseergebnisse der Wirtschaftsvereinigung Stahl vor und können so zur Ermittlung der Emissionen direkt im ZSE verwendet werden.

Die biogenen Kohlenstoffanteile werden für die einzelnen Brennstoffe (und Ersatzreduktionsmittel) abgeschätzt und über Splitfaktoren (SF) im ZSE berücksichtigt. Entsprechend IPCC-Anforderungen werden fossile und biogene Brennstoffanteile gebildet, auf der Ebene der Aktivitätsraten (AR) ergibt sich damit:

$$SF_{\text{biogen}} = x\%$$

$$\text{Anteil}_{\text{biogen}} = AR * SF$$

$$\text{Anteil}_{\text{fossil}} = AR * (100 - SF)$$

Der vollständige Datensatz zum Sekundärbrennstoffeinsatz aller betrachteten Branchen und den entsprechenden Emissionsfaktoren, oberen und unteren Bandbreiten sowie Splitfaktoren findet sich im Anhang 1 sowie auf dem beigefügten Datenträger in der Datei "Anhang1\_Datensätze.xls". Die Herleitung der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren der Sekundärbrennstoffe und deren biogener Anteile findet sich auf dem beigefügten Datenträger in der Datei „Herleitung\_EF\_für\_Expertenarbeit.xls“. Für die Expertenarbeit ist mit dieser Datei über Stellgrößen die Anpassung der Emissionsfaktoren und der biogenen Anteile möglich. Diese Datei ist deshalb auch Teil der Inventarbeschreibung in der Nationalen Koordinierungsstelle, um neueste Erkenntnisse auf kürzestem Wege für das Inventar verfügbar zu machen. Experten sind gerne aufgefordert, auf dieser Grundlage mit dem UBA in einen fachlichen Dialog einzutreten (Kontakt Nationale Koordinierungsstelle Emissionsberichterstattung im UBA).

## Altreifen

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Altreifen

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Altreifen verschiedener Quellen herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), der sich auf Veröffentlichungen der Österreichischen Zementindustrie bezieht, und vom Landesumweltamt NRW (LUA 2005), die auf Emissionserklärungen nordrhein-westfälischer Zementwerke basieren, vor. In der Österreichischen Quelle werden auch Angaben zum biogenen Kohlenstoffanteil gemacht.

Tabelle 8: Kohlenstoffgehalte von Altreifen

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Altreifen, Granulat	ÖWAF 2004	645	27
Gummi (Reifenschnitzel, Techn., Abf.)	LUA 2005	820	-

Zur Herleitung des Emissionsfaktors werden die vorliegenden Zahlen gemittelt.

Um den Kohlenstoffgehalt in der Trockensubstanz zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu liegen Angaben des Landesumweltamtes NRW aus der Abfallanalysendatei vor.

Tabelle 9: Wassergehalt von Altreifen

Bezeichnung (nach Abfallverzeichnisverordnung AVV)	Quelle	Wassergehalt (Median) in %
Altreifen	LUA 2005a	3,5

Weiterhin wird der Heizwert benötigt, dazu werden die Angaben der VDZ (VDZ 2005) von 1998 bis 2003 gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 10: Heizwert von Altreifen

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Reifen	VDZ	25,83

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor für Altreifen von

$$\mathbf{E_{CO_2} = 97.319 \text{ kg/TJ}}$$

Der biogene Kohlenstoffanteil in Altreifen wird nach ÖWAF (ÖWAF 2004) mit 27% angenommen (siehe Tabelle Kohlenstoffgehalte von Altreifen).

### Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Altreifen

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Altreifen zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten im Wesentlichen auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 11: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung von Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Altreifen

Parameter	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Stan- dardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	732,50	+/-12%		Gleichverteilung
Wassergehalt (%)	3,50	Standardabweichung		Normalverteilung
Heizwert (MJ/kg)	25,83	Standardabweichung		Normalverteilung

Daraus folgt die Bandbreite mit dem oberen Grenzwert des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von 126.115 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 76.699 kg/TJ.

Diese Berechnungen sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Altöl

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Altöl

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Altöl herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), die sich auf Veröffentlichungen der Österreichischen Zementindustrie und Aussagen des Arbeitskreises „Umweltschutz in Wärmekraftanlagen“ beziehen, vor.

Tabelle 12: Kohlenstoffgehalt von Altöl

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Altöle	ÖWAF 2004	750 - 850	0
Altöle	ÖWAF 2004	885	0

Zur Herleitung des Emissionsfaktors werden die vorliegenden Werte gemittelt.

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Altöl zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu liegen Angaben des Landesumweltamtes NRW aus der Abfallanalysendatei vor.

Tabelle 13: Wassergehalt von Altöl

Bezeichnung (nach Abfallverzeichnisverordnung AVV)	Quelle	Wassergehalt (Median) in %
nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	LUA 2005a	9,8

Weiterhin wird der Heizwert von Altöl benötigt, dazu werden die Angaben des VDZ für die Jahre 1998 bis 2003 und des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie für 2003 gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 14: Heizwert von Altöl

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Altöl	VDZ, Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie 2005	34,35

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Altöl werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor für Altöl von

$$\mathbf{E_{CO_2} = 78.689 \text{ kg/TJ}}$$

Altöl hat keinen biogenen Kohlenstoffanteil.

## Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Altöl

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in 0 zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten im Wesentlichen auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 15: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Altöl

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Stan- dardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	842,50	Standardabweichung		Normalverteilung
Wassergehalt (%)	9,8	Standardabweichung		Normalverteilung
Heizwert (MJ/kg)	34,35	+/-14,1%		Gleichverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 101.729 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 59.226 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Vergleich IPCC

Im Draft 2006 der IPCC Guidelines ist folgender Default-CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den Brennstoff „Waste Oil“, der evtl. zum Vergleich für den hier hergeleiteten Faktor herangezogen werden kann, festgelegt:

Default CO <sub>2</sub> EMISSION FACTORS FOR COMBUSTION			
Fuel Type	Effective CO <sub>2</sub> emission factor (kg/TJ)		
	Default value	95% confidence interval	
		lower	upper
Waste Oil	147 000	95 000	133 000

Quelle: IPCC 2005

Der im Rahmen dieses Forschungsprojekts hergeleitete Emissionsfaktor ist deutlich niedriger als der IPCC-Default-Wert.

## Gewerbeabfall Papier

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Papier

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von verschiedenen Fraktionen, die zu Gewerbeabfall Papier zusammengefasst werden können, herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), die sich auf Angaben des klimapolitischen Ausschusses der Papierindustrie, auf Veröffentlichungen der Österreichischen Zementindustrie und auf Aussagen des Arbeitskreises „Umweltschutz in Wärmekraftanlagen“ beziehen, vor.

Tabelle 16: Kohlenstoffgehalt von Gewerbeabfall Papier

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Ästestoff (Reststoffe aus der Zellstoffherstellung, Spuckstoff und Äste)	ÖWAF 2004	493	100
Rückstände aus der Zellstoffherstellung	ÖWAF 2004	450 - 550	100
Rückstände aus der Altpapierverarbeitung	ÖWAF 2004	200 - 300	95
Altpapierreject (Rückstände aus der Altpapierverarbeitung)	ÖWAF 2004	531	60
Papierfaserreststoffe	ÖWAF 2004	181	100

Zur Herleitung des Emissionsfaktors werden die vorliegenden Werte gemittelt.

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Gewerbeabfall Papier zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu liegen Angaben des Landesumweltamtes NRW (LUA 2005a) aus der Abfallanalysedatei vor.

Tabelle 17: Wassergehalt von Gewerbeabfall Papier

Bezeichnung (nach Abfallverzeichnisverordnung AVV)	Quelle	Wassergehalt (Median) in %
Abfälle aus dem Sortieren von Papier und Pappe für das Recycling	LUA 2005	6,69

Weiterhin wird der Heizwert von Gewerbeabfall Papier benötigt, dazu werden die Angaben des VDZ für die Jahre 2001 bis 2003 gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 18: Heizwert von Gewerbeabfall Papier

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen: Zellstoff-, Papier und Pappe	VDZ	20,00

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Gewerbeabfall Papier werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor von

$$E_{\text{CO}_2} = 64.881 \text{ kg/TJ}$$

Zur Herleitung des biogenen Anteils von Kohlenstoff werden die vorliegenden Angaben (Tabelle 16) gemittelt. Daraus ergibt sich ein biogener Kohlenstoffanteil von 91%.

## **Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Papier**

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Kapitel 0 zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten im Wesentlichen auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 19: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Papier

<b>Ausgangsgröße</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Bandbreite/ Standardabweichung</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Funktionstyp</b>
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	391	Standardabweichung		Normalverteilung
Wassergehalt (%)	6,69	Standardabweichung		Normalverteilung
Heizwert (MJ/kg)	20	Standardabweichung		Normalverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 104.558 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 30.516 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Gewerbeabfall Kunststoff

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Kunststoff

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von verschiedenen Fraktionen, die zu Gewerbeabfall Kunststoffe zusammengefasst werden können, herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), die sich auf Veröffentlichungen der Österreichischen Zementindustrie beziehen, vor. Außerdem wurden Daten aus Untersuchungen zur thermischen Verwertung heizwertreicher Abfallfraktionen als Sekundärbrennstoffe in Wärmekraftwerken (Bachhiesl et al. 2001) und eine Veröffentlichung zu Ersatzbrennstoffen aus Restabfällen (Eckardt et al. o.J.) verwendet.

Tabelle 20: Kohlenstoffgehalt von Gewerbeabfall Kunststoff

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Kunststoffabfälle	ÖWAF 2004	625	3
Kunststoffe	Bachhiesl et al. 2001	546	0
Kunststoffe	Eckardt et al.	480	0

Zur Herleitung des Emissionsfaktors werden die vorliegenden Werte gemittelt.

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Gewerbeabfall Kunststoff zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu liegen Angaben des Landesumweltamtes NRW (LUA 2005a) aus der Abfallanalysendatei und von Bachhiesl (Bachhiesl et al. 2001) vor. Diese Werte werden gemittelt.

Tabelle 21: Wassergehalt von Gewerbeabfall Kunststoff

Bezeichnung	Quelle	Wassergehalt (Mittelwert) in %
Kunststoffabfälle (nach Abfallverzeichnisverordnung AVV)	LUA 2005a	2,9
Kunststoffe	Bachhiesl et al. 2001	8,80

Weiterhin wird der Heizwert von Gewerbeabfall Kunststoff benötigt, dazu werden die vorliegenden Angaben des Vereins Deutscher Zementwerke für die Jahre 2001 bis 2003 und die Angaben des Landesumweltamtes aus der Abfallanalysendatei (LUA 2005a) gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 22: Heizwert von Gewerbeabfall Kunststoff

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen: Kunststoff Kunststoffabfälle	VDZ LUA 2005a	22,18

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Gewerbeabfall Kunststoff werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor von

$$E_{\text{CO}_2} = 83.075 \text{ kg/TJ}$$

Es wird eingeschätzt, dass in Gewerbeabfall Kunststoff keinen Anteil biogenen Kohlenstoff hat - die Angabe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004) - siehe Tabelle Kohlenstoffgehalt von Gewerbeabfall Kunststoff - wird vernachlässigt.

### **Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Kunststoff**

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Kapitel 0 zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten im Wesentlichen auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 23: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Kunststoff

<b>Ausgangsgröße</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Bandbreite/ Standardabweichung</b>	<b>Stan- dardabweichung</b>	<b>Funktionstyp</b>
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	550	Standardabweichung		Normalverteilung
Wassergehalt (%)	5,86	Standardabweichung		Normalverteilung
Heizwert (MJ/kg)	22,18	Standardabweichung		Normalverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 165.436 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 165.436 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Gewerbeabfall Verpackungen

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors Gewerbeabfall Verpackungen

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von verschiedenen Fraktionen, die zu Gewerbeabfall Verpackungen zusammengefasst werden können, herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegen Daten aus Untersuchungen zur thermischen Verwertung heizwertreicher Abfallfraktionen als Sekundärbrennstoffe in Wärmekraftwerken (Bachhiesl et al. 2001) und eine Veröffentlichung zu Ersatzbrennstoffen aus Restabfällen (Eckardt et al. o.J.) vor.

Tabelle 24: Kohlenstoffgehalt von Gewerbeabfall Verpackungen

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Kunststoffe (Verpackungen)	Bachhiesl et al. 2001	450	0
Verbunde	Eckardt et al.	310	40

Zur Herleitung des Emissionsfaktors werden die vorliegenden Werte gemittelt.

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Gewerbeabfall Verpackungen zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu liegen Angaben des Landesumweltamtes NRW (LUA 2005a) aus der Abfallanalysendatei und von Bachhiesl (Bachhiesl et al. 2001) vor. Diese Werte werden gemittelt.

Tabelle 25: Wassergehalt von Gewerbeabfall Verpackungen

Bezeichnung	Quelle	Wassergehalt in %
Verbundverpackungen (nach Abfallverzeichnisverordnung AVV)	LUA 2005a	3,9 (Median)
Kunststoffe (Verpackungen)	Bachhiesl et al. 2001	9,5

Weiterhin wird der Heizwert von Gewerbeabfall Verpackungen benötigt, dazu werden die vorliegenden Angaben des Vereins Deutscher Zementwerke für die Jahre 2001 bis 2003, die Angaben von Bachhiesl (Bachhiesl et al. 2001) und die Angaben des Landesumweltamtes aus der Abfallanalysendatei (LUA 2005a) gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 26: Heizwert von Gewerbeabfall Verpackungen

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
-------------	--------	--------------------------------

Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen: Verpackungen Verbundverpackungen Kunststoffe (Verpackungen)	VDZ LUA 2005a Bachhiesl et al. 2001	22,18
--	---	-------

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Gewerbeabfall Verpackungen werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor von

$$E_{\text{CO}_2} = 56.854 \text{ kg/TJ}$$

Nach Eckardt et al. (Eckardt et al. o.J.) – siehe Tabelle Kohlenstoffgehalt von Gewerbeabfall Verpackungen - wird abgeschätzt, dass in Gewerbeabfall Verpackungen ein Anteil von 40% biogenem Kohlenstoff enthalten ist.

## Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors Gewerbeabfall Verpackungen

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors Gewerbeabfall Verpackungen zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten im Wesentlichen auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 27: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Gewerbeabfall Verpackungen

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Standardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	380	+/-18%		Gleichverteilung
Wassergehalt (%)	6,68	Standardabweichung		Normalverteilung
Heizwert (MJ/kg)	22,18	Standardabweichung		Normalverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 76.045 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 42.748 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Textilabfälle

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Textilabfällen

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Textilabfällen herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegt eine Veröffentlichung zu Ersatzbrennstoffen aus Restabfällen (Eckardt et al. o.J.) vor, die zur Abschätzung des Emissionsfaktors verwendet wird.

Tabelle 28: Kohlenstoffgehalt von Textilabfällen

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Textilien	Eckardt et al.	380	70

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Textilabfällen zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu liegen Angaben des Landesumweltamtes NRW (LUA 2005a) aus der Abfallanalysendatei vor.

Tabelle 29: Wassergehalt von Textilabfällen

Bezeichnung (nach Abfallverzeichnisverordnung AVV)	Quelle	Wassergehalt (Mittelwert) in %
Abfälle aus unbehandelten Textilabfällen	LUA 2005a	5,90

Weiterhin wird der Heizwert von Textilabfällen benötigt, dazu werden die vorliegenden Angaben des Vereins Deutscher Zementwerke für die Jahre 2001 bis 2003, und die Angaben des Landesumweltamtes aus der Abfallanalysendatei (LUA 2005a) gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 30: Heizwert von Textilabfällen

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen: Abfälle aus der Textilindustrie	VDZ	20,09
Abfälle aus unbehandelten Textilabfällen	LUA 2005a	

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Textilabfällen werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

Emissionsfaktor = Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz \* Oxydationsfaktor \* 44/12/Heizwert

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor von

**E<sub>CO<sub>2</sub></sub> = 63.294 kg/TJ**

Nach Eckardt (Eckardt et al. o.J.) – siehe Tabelle Kohlenstoffgehalt von Textilabfällen - wird abgeschätzt, dass in Textilabfällen ein Anteil von 70% biogenem Kohlenstoff enthalten ist.

## Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Textilabfällen

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Textilabfällen zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten im Wesentlichen auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 31: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Textilabfällen

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Stan- dardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	380	+/-20%		Gleichverteilung
Wassergehalt (%)	5,90	Standardabweichung		Normalverteilung
Heizwert (MJ/kg)	20,09	Standardabweichung		Normalverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 94.795 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 44.043 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Gewerbeabfall sonstiger

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Gewerbeabfall sonstiger

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von verschiedenen Fraktionen, die zu Gewerbeabfall sonstiger zusammengefasst werden können, herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), die sich auf Veröffentlichungen der Österreichischen Zementindustrie beziehen, vor. Außerdem wurden Daten aus Analysen von festen Sekundärbrennstoffen von Harpeng (Harpeng 2005) und Glorius (Glorius 2003 und 2005) verwendet.

Tabelle 32: Kohlenstoffgehalt von Gewerbeabfall sonstiger

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Heizwertreiche Fraktion/Brennstoff aus Abfall	ÖWAF 2004	567	44
SBS aus produktionsspez. Abfällen fester SBS	Harpeng 2005	611 511	k.A. k.A.
BPG 2 SBS 1	Glorius 2003, 2005	481 350	50 63

Zur Herleitung des Emissionsfaktors werden die vorliegenden Werte gemittelt.

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Gewerbeabfall sonstiger zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu liegen Angaben des Landesumweltamtes NRW (LUA 2005a) aus der Abfallanalysendatei für vor. Diese Werte werden gemittelt.

Tabelle 33: Wassergehalt von Gewerbeabfall sonstiger

Bezeichnung (nach Abfallverzeichnisverordnung AVV)	Quelle	Wassergehalt (Mittelwert) in %
Brennstoffe aus produktionsspezifischen Abfällen (BPG) SBS-Brennstoffe	LUA 2005a	10,5  15,6

Weiterhin wird der Heizwert von Gewerbeabfall sonstiger benötigt, dazu werden die vorliegenden Angaben des Vereins Deutscher Zementwerke für die Jahre 2001 bis 2003, die Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie für vier Brennstoffe für 2003 und die Angaben des Landesumweltamtes aus der Abfallanalysendatei (LUA 2005a) gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 34: Heizwert von Gewerbeabfall sonstiger

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen: Sonstige BPG Warmbrennstoff Ersatzbrennstoff Ersatzbrennstoff Brennstoffe aus produktionsspezifischen Abfällen (BPG) SBS-Brennstoffe	VDZ  Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie 2005  LUA 2005a	22,88

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Gewerbeabfall sonstiger werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor von

$$E_{\text{CO}_2} = 68.129 \text{ kg/TJ}$$

Die vorliegenden Angaben zu biogenen Kohlenstoffanteilen - siehe Tabelle Kohlenstoffgehalt von Gewerbeabfall sonstiger - werden gemittelt. Entsprechend ergibt sich ein Anteil von 52,33% biogener Kohlenstoff in Gewerbeabfall sonstiger.

## Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Gewerbeabfall sonstiger

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Gewerbeabfall sonstiger zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten zum Teil auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur einige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 35: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Gewerbeabfall sonstiger

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Standardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	504	+/-20%		Gleichverteilung
Wassergehalt (%)	13,04	Standardabweichung		Normalverteilung
Heizwert (MJ/kg)	22,88	+/-20%		Gleichverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 94.881 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 49.246 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

### Vergleich IPCC

Im Draft 2006 der IPCC Guidelines ist folgender Default-CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den Brennstoff „Industrial Wastes“, der evtl. zum Vergleich für den hier hergeleiteten Faktor herangezogen werden kann, festgelegt:

Default CO <sub>2</sub> EMISSION FACTORS FOR COMBUSTION			
Fuel Type	Effective CO <sub>2</sub> emission factor (kg/TJ)		
	Default value	95% confidence interval	
		lower	upper
Industrial Wastes	170 000	143 000	202 000

Quelle: IPCC 2005

Der im Rahmen dieses Forschungsprojekts hergeleitete Emissionsfaktor ist deutlich niedriger als der IPCC-Default-Wert.

## Tiermehle und –fette

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Tiermehlen und –fetten

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Tiermehlen und –fetten herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), die sich auf Veröffentlichungen der Österreichischen Zementindustrie und Aussagen des Arbeitskreises „Umweltschutz in Wärmekraftanlagen“ beziehen, vor. Außerdem werden Daten aus Untersuchungen zur thermischen Verwertung heizwertreicher Abfallfraktionen als Sekundärbrennstoffe in Wärmekraftwerken (Bachhiesl et al. 2001) verwendet.

Tabelle 36: Kohlenstoffgehalt von Tiermehlen und -fetten

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Futtermittel (Tiermehl)	ÖWAF 2004	415 - 445	100
Tiermehl	ÖWAF 2004	422	100
Überlagerte Futtermittel (Tiermehl)	ÖWAF 2004	415 - 445	100
Fette (Tierfett)	ÖWAF 2004	700 - 800	100
Tierfett	ÖWAF 2004	808	100
Tiermehl	Bachhiesl, M. et al. 2001	428	100
Tierfett	Bachhiesl, M. et al. 2001	750	100

Zur Herleitung des Emissionsfaktors werden die vorliegenden Werte gemittelt, es wird ein mengenmäßiges Verhältnis von Tiermehl zu Tierfett von 4:1 angenommen.

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Tiermehlen und -fetten zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu liegen Angaben des Landesumweltamtes NRW aus der Abfallanalysedatei und von Bachhiesl (Bachhiesl et al.) vor. Die vorliegenden Werte werden gemittelt.

Tabelle 37: Wassergehalt von Tiermehlen und -fetten

Bezeichnung	Quelle	Wassergehalt in %
Abfälle aus tierischem Gewebe (nach Abfallverzeichnisverordnung AVV)	LUA 2005a	6 (Median)
Tiermehl	Bachhiesl, M. et al. 2001	4,6
Tierfett	Bachhiesl, M. et al. 2001	0,3

Weiterhin wird der Heizwert von Tiermehlen und -fetten benötigt, dazu werden die Angaben des VDZ für die Jahre 2001 bis 2003 und des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie für 2003 gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 38: Heizwert von Tiermehlen und -fetten

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Tiermehle und -fette Tierfett	VDZ Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie 2005	22,70

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Tiermehlen und -fetten werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor für Tiermehle und -fette von

$$E_{\text{CO}_2} = 74.867 \text{ kg/TJ}$$

Der Kohlenstoff in Tiermehlen und -fetten vollständig biogen.

## Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Tiermehlen und –fetten

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Tiermehlen und –fetten zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten zum Teil auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur einige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 39: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Tiermehlen und -fetten

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Stan- dardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	495,85	Standardabweichung		Normalverteilung
Wassergehalt (%)	3,63	Standardabweichung		Normalverteilung
Heizwert (MJ/kg)	22,70	Standardabweichung		Normalverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 126.390 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 29.457 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

### Vergleich IPCC

Im Draft 2006 der IPCC Guidelines ist folgender Default-CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den Brennstoff „Other Primary Solid Biomass“, der evtl. zum Vergleich für den hier hergeleiteten Faktor herangezogen werden kann, festgelegt:

#### Default CO<sub>2</sub> EMISSION FACTORS FOR COMBUSTION

Fuel Type	Effective CO <sub>2</sub> emission factor (kg/TJ)		
	Default value	95% confidence interval	
		lower	upper
Other Primary Solid Biomass	100 000	85 000	118 000

Quelle: IPCC 2005

Der im Rahmen dieses Forschungsprojekts hergeleitete Emissionsfaktor ist deutlich niedriger als der IPCC-Default-Wert.

## Siedlungsabfall aufbereitet

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Siedlungsabfall aufbereitet

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Tiermehlen und -fetten herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004) vor. Außerdem werden Daten aus Untersuchungen von Thomé-Kozmiensky zur Qualitätskontrolle von Sekundärbrennstoffen (Thomé-Kozmiensky 2002) verwendet.

Tabelle 40: Kohlenstoffgehalt von Siedlungsabfall aufbereitet

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Hausmüll und hausmüllähn. Gewerbeabfall	ÖWAF 2004	415 - 445	55
heizwertreiche Fraktion aus Hausmüll	Thomé-Kozmiensky 2002	422	k.A.

Zur Herleitung des Emissionsfaktors werden die vorliegenden Werte gemittelt. Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Siedlungsabfall aufbereitet zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu liegen Angaben des Landesumweltamtes NRW aus der Abfallanalysendatei und von Thomé-Kozmiensky (Thomé-Kozmiensky 2002) vor. Die vorliegenden Werte werden gemittelt.

Tabelle 41 Wassergehalt von Siedlungsabfall aufbereitet

Bezeichnung	Quelle	Wassergehalt in %
Hochkalorische Fraktion aus kommunalen Siedlungsabfällen (nach Abfallverzeichnisverordnung AVV)	LUA 2005a	23,20 (Mittelwert)
heizwertreiche Fraktion aus Hausmüll	Thomé-Kozmiensky 2002	21

Weiterhin wird der Heizwert von Siedlungsabfall aufbereitet benötigt, dazu werden vorliegende Angaben des VDZ für die Jahre 2001 bis 2003 und des Landesumweltamtes NRW aus der Abfallanalysendatenbank (LUA 2005a) gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 42: Heizwert von Siedlungsabfall aufbereitet

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen	VDZ	15,86
Hochkalorische Fraktion aus kommunalen Siedlungsabfällen	LUA 2005a	

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Siedlungsabfall aufbereitet werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor für Siedlungsabfall aufbereitet von

$$E_{\text{CO}_2} = 59.846 \text{ kg/TJ}$$

Nach Angaben des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004) - siehe Tabelle Kohlenstoffgehalt von Siedlungsabfall aufbereitet - wird der biogene Kohlenstoffanteil mit 55% angesetzt.

## Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Siedlungsabfall aufbereitet

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Siedlungsabfall aufbereitet zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten zum Teil auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur einige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 43: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Siedlungsabfall aufbereitet

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Standardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	342,50	Standardabweichung		Normalverteilung
Wassergehalt (%)	22,10	Standardabweichung		Normalverteilung
Heizwert (MJ/kg)	15,86	Standardabweichung		Normalverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 89.569 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 35.134 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

### Vergleich IPCC

Im Draft 2006 der IPCC Guidelines sind folgende Default-CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für den Brennstoff „Municipal Wastes“, die evtl. zum Vergleich für den hier hergeleiteten Faktor herangezogen werden kann, festgelegt:

Default CO <sub>2</sub> EMISSION FACTORS FOR COMBUSTION			
Fuel Type	Effective CO <sub>2</sub> emission factor (kg/TJ)		
	Default value	95% confidence interval	
		lower	upper
Municipal Wastes (non-biomass fraction)	125 000	106 000	147 000
Municipal Wastes (biomass fraction)	100 000	85 000	118 000

Quelle: IPCC 2005

Der im Rahmen dieses Forschungsprojekts hergeleitete Emissionsfaktor ist deutlich niedriger als die IPCC-Default-Werte.

## Holzabfälle (Restholz)

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Holzabfällen (Restholz)

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Holzabfällen (Restholz) herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), die sich auf Aussagen des Arbeitskreises „Umweltschutz in Wärmekraftanlagen“ und der österreichischen Papierindustrie stützen, vor. Außerdem wurden Daten aus Untersuchungen zur thermischen Verwertung heizwertreicher Abfallfraktionen als Sekundärbrennstoffe in Wärmekraftwerken (Bachhiesl et al. 2001) sowie aus Untersuchungen von Thomé-Kozmiensky zur Qualitätskontrolle von Sekundärbrennstoffen (Thomé-Kozmiensky 2002) verwendet.

Tabelle 44: Kohlenstoffgehalt von Holzabfällen (Restholz)

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Bau- und Abbruchholz	ÖWAF 2004	400 - 500	100
Altholz (Bau- und Abbruchholz)	ÖWAF 2004	481	100
Altholz	Bachhiesl et al. 2001	507	100
Altholz	Thomé-Kozmiensky 2002	360	k.A.

Zur Herleitung des Emissionsfaktors werden die vorliegenden Werte gemittelt.

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Holzabfällen (Restholz) zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu liegen Angaben des Landesumweltamtes NRW aus der Abfallanalysendatei (LUA 2005a) und von Bachhiesl (Bachhiesl et al. 2001) und Thomé-Kozmiensky (Thomé-Kozmiensky 2002) vor. Die vorliegenden Werte werden gemittelt.

Tabelle 45: Wassergehalt von Holzabfällen (Restholz)

Bezeichnung	Quelle	Wassergehalt in %
Sägemehl, Späne, Abschnitte, Holz, Spanplatten und Furniere ohne 030104	LUA 2005a	29 (Mittelwert)
Holz	LUA 2005a	9 (Mittelwert)
Altholz	Bachhiesl et al. 2001	24,6
Altholz	Thomé-Kozmiensky 2002	20

Weiterhin wird der Heizwert von Holzabfällen (Restholz) benötigt, dazu werden vorliegende Angaben des Verein Deutscher Zementwerke für die Jahre 1998 bis 2003 und Thomé-

Kozmiensky (Thomé-Kozmiensky 2002) gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 46: Heizwert von Holzabfällen (Restholz)

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Altholz Altholz	VDZ Thomé-Kozmiensky 2002	13,35

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Holzabfällen (Restholz) werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor für Siedlungsabfall aufbereitet von

$$E_{\text{CO}_2} = 95.056 \text{ kg/TJ}$$

Der Kohlenstoff in Holzabfällen (Restholz) ist vollständig biogen.

## Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Holzabfällen (Restholz)

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Holzabfällen (Restholz) zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten zum Teil auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur einige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 47: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors Holzabfällen (Restholz)

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Stan- dardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	449,50	+/-20%		Gleichverteilung
Wassergehalt (%)	20,65	+/-25%		Gleichverteilung
Heizwert (MJ/kg)	13,35	Standardabweichung		Normalverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 140.925 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 55.250 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

### Vergleich IPCC

Im Draft 2006 der IPCC Guidelines ist folgender Default-CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den Brennstoff „Wood/Wood Waste“, der evtl. zum Vergleich für den hier hergeleiteten Faktor herangezogen werden kann, festgelegt:

Default CO <sub>2</sub> EMISSION FACTORS FOR COMBUSTION			
Fuel Type	Effective CO <sub>2</sub> emission factor (kg/TJ)		
	Default value	95% confidence interval	
		lower	upper
Wood/Wood Waste	113 000	95 000	133 000

Quelle: IPCC 2005

Der im Rahmen dieses Forschungsprojekts hergeleitete Emissionsfaktor ist etwas niedriger als der IPCC-Default-Wert,

## Lösemittel (Abfall)

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Lösemitteln (Abfall)

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors werden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Lösemitteln (Abfall) benötigt. Da zu Lösemitteln eine Vielzahl von unterschiedlichen Stoffen zählen und keine genaueren Angaben vorliegen, wird der Kohlenstoffgehalt mit 500 kg pro Tonne Lösemittel (Abfall) abgeschätzt. Hilfsweise wurden dafür die Angaben zu Kohlenstoffgehalten von Methanol (378 kg C pro Tonne) und Benzol (921 kg C pro Tonne) (UBA DEHSt o.J.) als Bezugsgrößen für die Bandbreite von Kohlestoffgehalten in Lösemitteln verwendet.

Auch der Wassergehalt von Lösemitteln (Abfall) muss abgeschätzt werden, da keine Untersuchungen vorliegen, er wird mit 2% angesetzt. Der Wassergehalt ist für die Herleitung des Emissionsfaktors notwendig, um den Kohlenstoffgehalt der wasserfreien Substanz zu ermitteln.

Weiterhin wird der Heizwert von Lösemitteln (Abfall) benötigt, dazu liegen Angaben des Vereins Deutscher Zementwerke für die Jahre 1998 bis 2003 vor, die angegebenen Heizwerte schwanken zwischen 22 und 27 MJ/kg. Die Daten werden gemittelt, daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Wert.

Tabelle 48: Heizwert von Lösemitteln (Abfall)

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Lösungsmittel	VDZ	24,50

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Lösemitteln (Abfall) werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor für Lösemitteln (Abfall) von:

$$E_{\text{CO}_2} = 71.133 \text{ kg/TJ}$$

Es wird eingeschätzt, dass in Lösemitteln (Abfall) kein biogener Kohlenstoff enthalten ist.

### Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Faktors von Lösemitteln (Abfall)

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Lösemitteln (Abfall) zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten zum großen Teil auf Schätzungen basieren, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 49: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors Lösemittel (Abfall)

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Stan- dard	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	500	+/-33%		Gleichverteilung
Wassergehalt (%)	2	+/-150%		Gleichverteilung
Heizwert (MJ/kg)	24,50	+/-25%		Gleichverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 111.262 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 43.898 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Teppichabfälle

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Teppichabfällen

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Teppichabfällen herangezogen. Zur Abschätzung des Kohlenstoffgehalts von Teppichabfällen liegen keine direkten Angaben vor, es werden hilfsweise Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), zu Kunststoffabfällen, die sich auf Veröffentlichungen der Österreichischen Zementindustrie beziehen, verwendet. Außerdem wurden Daten aus einer Veröffentlichung zu Ersatzbrennstoffen aus Restabfällen (Eckardt et al. o.J.) zu Textilien verwendet.

Tabelle 50: Kohlenstoffgehalt von Teppichabfällen

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Kunststoffabfälle	ÖWAF 2004	625	3
Textilien	Eckardt et al.	380	70

Zur Herleitung des Emissionsfaktors werden die vorliegenden Werte gemittelt.

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Teppichabfällen zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu werden Angaben des Landesumweltamtes NRW (LUA 2005a) aus der Abfallanalysedatei für Textilien verwendet.

Tabelle 51: Wassergehalt von Teppichabfällen

Bezeichnung	Quelle	Wassergehalt (Mittelwert) in %
Textilien (nach Abfallverzeichnisverordnung AVV)	LUA 2005a	10

Weiterhin wird der Heizwert von Teppichabfällen benötigt, dazu werden die vorliegenden Angaben des Vereins Deutscher Zementwerke für die Jahre 1998 und 1999 gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 52: Heizwert von Gewerbeabfall Teppichabfälle

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Teppichabfälle	VDZ	20,00

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Gewerbeabfall Kunststoff werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor von

$$E_{\text{CO}_2} = 80.425 \text{ kg/TJ}$$

Es wird eingeschätzt, dass in Teppichresten ein biogener Kohlenstoffanteil enthalten ist, in Ermangelung genauerer Daten werden die vorliegenden Daten – siehe Tabelle Kohlenstoffgehalt von Teppichabfällen – gemittelt. Daraus ergibt sich ein biogener Kohlenstoffanteil von 36,5%.

### Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Teppichabfällen

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Teppichabfällen zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten zum großen Teil auf Schätzungen aus verschiedenen Quellen basieren, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 53: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Teppichabfällen

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Standardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	502,50	+/-25%		Gleichverteilung
Wassergehalt (%)	10	+/-25%		Gleichverteilung
Heizwert (MJ/kg)	20,00	+/-25%		Gleichverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 118.787 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 54.412 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Bleicherde

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Bleicherde

Nach Angaben des Landesumweltamtes NRW (LUA 2005), die auf Emissionserklärungen nordrhein-westfälischer Zementwerke basieren, hat Bleicherde einen Altölanteil von 35%. Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden entsprechend Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Altöl herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), die sich auf Veröffentlichungen der Österreichischen Zementindustrie und Aussagen des Arbeitskreises „Umweltschutz in Wärmekraftanlagen“ beziehen, vor.

Tabelle 54: Kohlenstoffgehalt von Altöl

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Altöle	ÖWAF 2004	750 - 850	0
Altöle	ÖWAF 2004	885	0

Zur Herleitung des Emissionsfaktors werden die vorliegenden Werte gemittelt und davon werden 35% berechnet.

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Altöl zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu liegen Angaben des Landesumweltamtes NRW aus der Abfallanalysendatei vor.

Tabelle 55: Wassergehalt von Altöl

Bezeichnung (nach Abfallverzeichnisverordnung AVV)	Quelle	Wassergehalt (Median) in %
nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	LUA 2005a	9,8

Weiterhin wird der Heizwert von Bleicherde benötigt, dazu werden die Angaben des VDZ für die Jahre 1998 bis 2003 gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 56: Heizwert von Bleicherde

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Bleicherde	VDZ	11,50

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Bleicherde werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor für Bleicherde von

$$E_{\text{CO}_2} = \mathbf{82.260 \text{ kg/TJ}}$$

Bleicherde hat keinen biogenen Kohlenstoffanteil.

### Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Bleicherde

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Bleicherde zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten im Wesentlichen auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 57: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Bleicherde

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Stan- dardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	294,88	Standardabweichung		Normalverteilung
Wassergehalt (%)	9,8	Standardabweichung		Normalverteilung
Heizwert (MJ/kg)	11,50	+/-33,3%		Gleichverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 128.067 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 55.789 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Klärschlamm

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Klärschlamm

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Schlämmen, die sich zu Klärschlamm zusammenfassen lassen, herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), die sich auf Aussagen des Arbeitskreises „Umweltschutz in Wärmekraftanlagen“ und der österreichischen Papierindustrie stützen, vor. Außerdem wurden Daten aus Untersuchungen zur thermischen Verwertung heizwertreicher Abfallfraktionen als Sekundärbrennstoffe in Wärmekraftwerken (Bachhiesl et al. 2001) verwendet.

Tabelle 58: Kohlenstoffgehalt von Klärschlamm

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Vorklärschlamm	ÖWAF 2004	350 - 450	100
Klärschlamm (Schlamm aus der Abwasserbehandlung)	ÖWAF 2004	500	100
Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung	ÖWAF 2004	350 - 450	100
Fäkalschlamm aus Hauskläranlagen und Sammelgruben	ÖWAF 2004	350 - 450	100
anaerob stabilisierter Schlamm	ÖWAF 2004	200 - 440	100
aerob stabilisierter Schlamm	ÖWAF 2004	200 - 440	100
Klärschlamm	Bachhiesl et al. 2001	406	k.A.

Zur Herleitung des Emissionsfaktors werden die vorliegenden Werte gemittelt.

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Klärschlamm zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu liegen Angaben des Landesumweltamtes NRW aus der Abfallanalysendatei (LUA 2005a) und von Bachhiesl (Bachhiesl et al. 2001). Die vorliegenden Werte werden gemittelt.

Tabelle 59: Wassergehalt von Klärschlamm

Bezeichnung	Quelle	Wassergehalt in %
Nicht kompostierte Fraktion von tierischen und pflanzlichen Abfällen (nach (nach Abfallverzeichnisverordnung AVV)	LUA 2005a	22,93 (Mittelwert)
Klärschlamm	Bachhiesl et al. 2001	27,1

Weiterhin wird der Heizwert von Klärschlamm benötigt, dazu wird die vorliegende Angabe des Verein Deutscher Zementwerke für das Jahr 2003 verwendet.

Tabelle 60: Heizwert von Klärschlamm

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Klärschlamm	VDZ	11,00

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Klärschlamm werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor für Klärschlamm von

$$E_{\text{CO}_2} = 95.110 \text{ kg/TJ}$$

Es wird abgeschätzt, dass der Kohlenstoff in Klärschlamm vollständig biogen ist.

## Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Klärschlamm

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Klärschlamm zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten im Wesentlichen auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 61: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Klärschlamm

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Stan- dardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	392,29	+/-33%		Gleichverteilung
Wassergehalt (%)	25,02	Standardabweichung		Normalverteilung
Heizwert (MJ/kg)	11,00	+/-33,3%		Gleichverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 140.872 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 63.884 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Ölschlamm

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Ölschlamm

Es wird angenommen, dass Ölschlamm aus Mischungen von Bleicherde und Lösemittel besteht. Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Ölschlamm werden entsprechend die für diese Stoffe herangezogenen Basisdaten zum Kohlenstoff- und Wassergehalt gemittelt – siehe Module Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Lösemitteln (Abfall) und Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Bleicherde.

Weiterhin wird der Heizwert von Ölschlamm benötigt, dazu werden die Angaben des VDZ für die Jahre 1998 bis 2003, die von 12 bis 20 MJ/kg schwanken, gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 62: Heizwert von Bleicherde

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Sonstige, wie : Ölschlamm Organische Destillationsrückstände	VDZ	16,00

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Ölschlamm werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor für Ölschlamm von

$$E_{\text{CO}_2} = 84.024 \text{ kg/TJ}$$

Ölschlamm hat keinen biogenen Kohlenstoffanteil.

## Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Ölschlamm

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Ölschlamm zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten im Wesentlichen auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 63: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Ölschlamm

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ abweichung	Standard-	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	397,44	+/-27%		Gleichverteilung
Wassergehalt (%)	5,90	+/-28%		Gleichverteilung
Heizwert (MJ/kg)	16,00	+/-31%		Gleichverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 120.674 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 48.238 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Ablagen Zellstoffherstellung

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Ablagen Zellstoffherstellung

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Ablagen Zellstoffherstellung herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt von Dicklauge liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), die sich auf Angaben des klimapolitischen Ausschusses der Papierindustrie beziehen, vor. Dicklauge ist nach Schwarz (Schwarz 2004) eingedickte Sulfitablauge und damit Ablauge der Zellstoffherstellung.

Tabelle 64: Kohlenstoffgehalt von Ablagen Zellstoffherstellung

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Dicklauge	ÖWAF 2004	400	100

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Ablagen Zellstoffherstellung zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu werden näherungsweise Angaben des Landesumweltamtes NRW (LUA 2005b) aus der Abfallanalysedatei für Faser- und Papierschlämme herangezogen.

Tabelle 65: Wassergehalt von Ablagen Zellstoffherstellung

Bezeichnung (nach Abfallverzeichnisverordnung AVV)	Quelle	Wassergehalt in %
Faser- und Papierschlamm	LUA 2005b	30,6 (Min) 96,8 (Max)

Die vorliegenden Angaben zum Wassergehalt werden gemittelt.

Weiterhin wird der Heizwert von Ablagen der Zellstoffherstellung benötigt, dazu werden die Angaben des Verbands Deutscher Papierfabriken für die Jahre 1990 bis 2003, die von 6,58 bis 7,754 MJ/kg schwanken, gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 66: Heizwert von Ablagen Zellstoffherstellung

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Sulfitablauge	VDP 2005	6,97

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Ablaugen Zellstoffherstellung werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor von

$$E_{\text{CO}_2} = 74.046 \text{ kg/TJ}$$

Der gesamte Kohlenstoff von Ablaugen der Zellstoffherstellung ist biogen (siehe Tabelle Kohlenstoffgehalt von Ablaugen Zellstoffherstellung)

## Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Ablaugen Zellstoffherstellung

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Ablaugen Zellstoffherstellung zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten im Wesentlichen auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 67: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Ablaugen Zellstoffherstellung

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Stan- dardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	400	Standardabweichung		Normalverteilung
Wassergehalt (%)	63,70	Standardabweichung		Normalverteilung
Heizwert (MJ/kg)	6,97	Standardabweichung		Normalverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 145.681 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 20.432 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

### Vergleich IPCC

Im Draft 2006 der IPCC Guidelines ist folgender Default-CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den Brennstoff „Sulphite lyes (black liquor)“, der evtl. zum Vergleich für den hier hergeleiteten Faktor herangezogen werden kann, festgelegt:

Default CO <sub>2</sub> EMISSION FACTORS FOR COMBUSTION			
Fuel Type	Effective CO <sub>2</sub> emission factor (kg/TJ)		
	Default value	95% confidence interval	
		lower	upper
Sulphite lyes (black liquor)	113 000	95 000	133 000

Quelle: IPCC 2005

Der im Rahmen dieses Forschungsprojekts hergeleitete Emissionsfaktor ist deutlich niedriger als der IPCC-Default-Wert.

## Rinde

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Rinde

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Ablaugen Zellstoffherstellung herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt von Dicklauge liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), die sich auf Aussagen des Arbeitskreises „Umweltschutz in Wärmekraftanlagen“ beziehen, vor. Außerdem wurden Daten aus Untersuchungen zur thermischen Verwertung heizwertreicher Abfallfraktionen als Sekundärbrennstoffe in Wärmekraftwerken (Bachhiesl et al. 2001) verwendet.

Tabelle 68: Kohlenstoffgehalt von Rinde

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Rinde	ÖWAF 2004	450 - 550	100
Rinde	ÖWAF 2004	486 - 507	100
Rinde	ÖWAF 2004	492	100
Rinde	Bachhiesl et al. 2001	477	100

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Rinde zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu werden näherungsweise Angaben von Bachhiesl (Bachhiesl et al. 2001) und Impola (Impola 1998) herangezogen.

Tabelle 69: Wassergehalt von Rinde

Bezeichnung	Quelle	Wassergehalt in %
Rinde	Bachhiesl et al. 2001	50,9
Nadelholzrinde (fäll-frisch)	Impola 1998	50 - 65

Die vorliegenden Angaben zum Wassergehalt werden gemittelt.

Weiterhin wird der Heizwert von Rinde benötigt, dazu werden die Angaben des Verbands Deutscher Papierfabriken für die Jahre 1993 bis 2003, die von 8,217 bis 12,593 MJ/kg schwanken, gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 70: Heizwert von Rinde

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Rinde	VDP 2005	9,69

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Rinde werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor von

$$\mathbf{E_{CO_2} = 80.611 \text{ kg/TJ}}$$

Der gesamte Kohlenstoff von Rinde ist biogen.

## Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Rinde

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Rinde zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten im Wesentlichen auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 71: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Rinde

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Stan- dardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	491,38	+/-10%		Gleichverteilung
Wassergehalt (%)	55,30	+/-20%		Gleichverteilung
Heizwert (MJ/kg)	9,69	+/-20%		Gleichverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 115.330 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 55.300 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Faser-/Deinking-Rückstände

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Faser-/Deinking-Rückständen

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Faser-/Deinking-Rückständen herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), die sich auf Angaben der österreichischen Zementindustrie beziehen, vor.

Tabelle 72: Kohlenstoffgehalt von Faser-/Deinking-Rückständen

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Papierfaserreststoffe	ÖWAF 2004	181	100

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Faser-/Deinking-Rückständen zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu werden näherungsweise Angaben des Landesumweltamtes NRW (LUA 2005b) aus der Abfallanalysendatei für Faser- und Papierschlämme herangezogen.

Tabelle 73: Wassergehalt von Faser-/Deinking-Rückständen

Bezeichnung	Quelle	Wassergehalt in %
Deinking-Schlamm	LUA 2005b	43,2 (Min) 58,2 (Max)
Faser- und Papierschlamm	LUA 2005b	30,6 (Min) 96,8 (Max)

Die vorliegenden Angaben zum Wassergehalt werden gemittelt.

Weiterhin wird der Heizwert von Faser-/Deinking-Rückständen benötigt, dazu werden die Angaben des Verbands Deutscher Papierfabriken für die Jahre 1993 bis 2003, die von 4,113 bis 5,202 MJ/kg schwanken, gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 74: Heizwert von Faser-/Deinking-Rückständen

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Faser-/Deinking-Rückstände	VDP 2005	4,54

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Faser-/Deinking-Rückständen werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor von

$$E_{\text{CO}_2} = 54.871 \text{ kg/TJ}$$

Es wird angenommen, dass der gesamte Kohlenstoff von Faser-/Deinking-Rückständen biogen ist (siehe Tabelle Kohlenstoffgehalt von Faser-/Deinking-Rückständen).

## Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Faser-/Deinking-Rückständen

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Faser-/Deinking-Rückständen zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten im Wesentlichen auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 75: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Faser-/Deinking-Rückständen

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Stan- dardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	181,00	+/-33%		Gleichverteilung
Wassergehalt (%)	61,33	+/-33%		Gleichverteilung
Heizwert (MJ/kg)	4,54	+/-25%		Gleichverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 106.289 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 22.986 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Rückstände Papierindustrie

### Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Rückständen Papierindustrie

Zur Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten von Stoffen, die sich zu Rückständen Papierindustrie zusammenfassen lassen, herangezogen. Zum Kohlenstoffgehalt liegen Angaben vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAF 2004), die sich auf Angaben der österreichischen Papierindustrie und des Arbeitskreises „Umweltschutz in Wärmekraftanlagen“ beziehen, vor.

Tabelle 76: Kohlenstoffgehalt von Rückständen Papierindustrie

Bezeichnung	Quelle	Menge C gesamt in kg C/t TS)	C biogen in Massen-%
Ästestoff (Reststoffe aus der Zellstoffherstellung, Spuckstoff und Äste)	ÖWAF 2004	493	100
Rückstände aus der Zellstoffherstellung	ÖWAF 2004	450 - 550	100
Faserreststoff (Schlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung)	ÖWAF 2004	323	100
Flotat (Schlamm aus der mech. Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung)	ÖWAF 2004	242	100
Schlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung	ÖWAF 2004	350 - 450	100
Papieretiketten (Papier und Pappe beschichtet)	ÖWAF 2004	438	100
Rückstände aus der Altpapierverarbeitung	ÖWAF 2004	200 - 300	95
Altpapierreject (Rückstände aus der Altpapierverarbeitung)	ÖWAF 2004	531	60
Mischschlamm	ÖWAF 2004	150	100

Um den Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz von Rückständen Papierindustrie zu ermitteln, muss der Wassergehalt abgezogen werden, dazu werden näherungsweise Angaben des Landesumweltamtes NRW (LUA 2005a) aus der Abfallanalysendatei herangezogen.

Tabelle 77: Wassergehalt von Rückständen Papierindustrie

Bezeichnung nach Abfallverzeichnisverordnung (AVV)	Quelle	Wassergehalt in % (Mittelwert)
Mechanisch abgetrennte abgetrennte Abfälle aus der Auflösung von Papier- und Pappeabfällen	LUA 2005a	40,62
Abfälle aus dem Sortieren von Papier und Pappe für das Recycling	LUA 2005a	6,69
Faserabfälle, Faser, Füller- und Überzugsschlämme aus der mechanischen Abtrennung	LUA 2005a	57,19

Die vorliegenden Angaben zum Wassergehalt werden gemittelt.

Weiterhin wird der Heizwert von Rückständen der Papierindustrie benötigt, dazu werden die Angaben des Verbands Deutscher Papierfabriken für die Jahre 1993 bis 2003, die von 6,058 bis 13,691 MJ/kg schwanken, gemittelt. Daraus ergibt sich der in der folgenden Tabelle dargestellte Heizwert.

Tabelle 78: Heizwert von Rückständen Papierindustrie

Bezeichnung	Quelle	Heizwert in MJ/kg (Mittelwert)
Übrige Rückstände	VDP 2005	9,94

Es wird ein Oxydationsfaktor von 0,97 angenommen, d.h. 97% des Kohlenstoffs von Rückständen Papierindustrie werden vollständig verbrannt. Aus den Angaben lässt sich der Emissionsfaktor stöchiometrisch nach der folgenden Formel berechnen:

$$\text{Emissionsfaktor} = \text{Kohlenstoffgehalt der Trockensubstanz} * \text{Oxydationsfaktor} * 44/12/\text{Heizwert}$$

Daraus ergibt sich der Emissionsfaktor von

$$E_{\text{CO}_2} = 86.222 \text{ kg/TJ}$$

Es wird angenommen, dass 95% des Kohlenstoffs von Rückständen Papierindustrie biogen ist (siehe Tabelle Kohlenstoffgehalt von Rückständen Papierindustrie).

## Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Rückständen Papierindustrie

Die oberen und unteren Bandbreiten des hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert. Dazu wurden die folgenden Parameter - bezogen auf die in Modul Herleitung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Rückständen Papierindustrie zusammengestellten Basisdaten - zugrunde gelegt. Da diese Daten im Wesentlichen auf Schätzungen mit Schwankungen aus unterschiedlichen Quellen basieren und nur wenige Mess- oder Analyseergebnisse enthalten, führt die Modellierung zu einer großen Bandbreite.

Tabelle 79: Parameter der Monte-Carlo-Modellierung der Bandbreiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Rückständen Papierindustrie

Ausgangsgröße	Mittelwert	Bandbreite/ Standardabweichung	Standardabweichung	Funktionstyp
Kohlenstoffgehalt (kg C/Tonne)	369,67	+/-50%		Gleichverteilung
Wassergehalt (%)	34,83	+/-25%		Gleichverteilung
Heizwert (MJ/kg)	9,94	+/-20%		Gleichverteilung

Daraus folgt die Bandbreite des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors mit dem oberen Grenzwert von 145.428 kg/TJ und dem unteren Grenzwert von 42.528 kg/TJ. Diese Bandbreiten sollen für die gesamte Zeitreihe gelten, weil keine gegenteiligen Erkenntnisse vorliegen.

## Tierfett (Reduktionsmittel bei 1.A.2.a)

### CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von Tierfett

Tierfett wird in der Stahlindustrie nur zur Erzeugung von Roheisen im Hochofenprozess eingesetzt. Hier fungiert dieser Stoff als Ersatzreduktionsmittel (anstelle von Koks). Der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor wurde als Analyseergebnis von der Wirtschaftsvereinigung Stahl zur Verfügung gestellt.

Tabelle 80: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von Tierfett beim Einsatz im Hochofen

<b>Sekundärbrennstoff (Bezeichnung im ZSE)</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor in kg/ TJ</b>	<b>biogener Massen-Anteil in Prozent</b>
Tierfett	71.380	100

Quelle: WV Stahl 2005

### **Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Tierfett**

Tierfett wird als Ersatzreduktionsmittel bei der Roheisenherstellung eingesetzt. Die chemische Zusammensetzung von Tierfett beeinflusst das Endprodukt und unterliegt deshalb einer ständigen Analyse, die vor dem Einblasen in den Hochofen durchgeführt wird. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass der Emissionsfaktor nur äußerst geringen – hier zu vernachlässigenden - Schwankungen unterliegt.

## Altkunststoff (Reduktionsmittel bei 1.A.2.a)

### CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von Altkunststoff

Altkunststoff wird in der Stahlindustrie nur zur Erzeugung von Roheisen im Hochofenprozess eingesetzt. Hier fungiert dieser Stoff als Ersatzreduktionsmittel (anstelle von Koks). Der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor wurde als Analyseergebnis von der Wirtschaftsvereinigung Stahl zur Verfügung gestellt.

Tabelle 81: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von Altkunststoff beim Einsatz im Hochofen

<b>Sekundärbrennstoff (Bezeichnung im ZSE)</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor in kg/ TJ</b>	<b>biogener Massen-Anteil in Prozent</b>
Altkunststoff	74.630	0

Quelle: WV Stahl 2005

### **Abschätzung der Unsicherheiten des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von Altkunststoff**

Altkunststoff wird als Ersatzreduktionsmittel bei der Roheisenherstellung eingesetzt. Die chemische Zusammensetzung von Altkunststoff beeinflusst das Endprodukt und unterliegt deshalb einer ständigen Analyse, die vor dem Einblasen in den Hochofen durchgeführt wird. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass der Emissionsfaktor nur äußerst geringen - hier zu vernachlässigenden - Schwankungen unterliegt.

## 5 Nicht-CO<sub>2</sub>-Bereich

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden die Emissionsfaktoren für weitere Treibhausgase nicht hergeleitet, für diesen Bereich besteht weiterer Forschungsbedarf. Näherungsweise lassen sich anhand der verfügbaren Daten aus dem Draft 2006 der IPCC Guidelines Analogien treffen, auf deren Basis können Emissionen von Methan und Lachgas ermittelt werden.

### **Methan - CH<sub>4</sub>**

Die Methanemissionen aus der Verbrennung von Sekundärbrennstoffen sind gering und können nur mit einer hohen Unsicherheit bestimmt werden. Sie stammen hauptsächlich aus der unvollständigen Verbrennung organischen Materials (Kohlenwasserstoffen), wie Holz, Hausmüll, Holzkohle und anderen Bio-Brennstoffen bei geringen Temperaturen. D.h. bei großen, effizienten und optimal ausgerichteten Verbrennungsanlagen sind die CH<sub>4</sub>-Emissionen sehr gering. Für die hier betrachteten großen industriellen Verbrennungsprozesse bei sehr hohen Temperaturen sind daher nur äußerst geringe Emissionsmengen zu erwarten.

### **Distickstoffoxid - N<sub>2</sub>O**

Ähnlich wie beim Methan ist auch die Rolle der Distickstoffoxid-Emissionen aus der Verbrennung gering und die Unsicherheit bzgl. der Emissionsfaktoren groß. Bei der Verbrennung wird v.a. im Temperaturfenster von 800 – 1.200 K (527 °C – 927°C) mit einem Maximum bei 1.000 K Distickstoffoxid gebildet. Insbesondere bei der Wirbelschichtfeuerung ist die N<sub>2</sub>O-Bildung verhältnismäßig hoch im Vergleich zur normalen Verbrennung (nach Rentz et al. 1992 und de Soete 1993, In: IPCC 1996).

Im Draft 2006 der IPCC Guidelines sind folgende Default-Emissionsfaktoren für Methan und Lachgas für die nachstehenden Brennstoffe, die in aggregierter Form auch Sekundärbrennstoffe abdecken, festgelegt:

Tabelle 82: Emissionsfaktoren Methan und Lachgas nach IPCC

<b>Default EMISSION FACTORS FOR STATIONARY COMBUSTION IN MANUFACTURING INDUSTRIES AND CONSTRUCTION (kg of greenhouse gas per TJ on a NET CALORIFIC BASIS)</b>						
<b>FUEL</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>			<b>N<sub>2</sub>O</b>		
	<b>Default Emission Factor</b>	<b>Lower</b>	<b>Upper</b>	<b>Default Emission Factor</b>	<b>Lower</b>	<b>Upper</b>
Municipal Wastes (non-biomass fraction)	30	10	100	4	1,5	15
Industrial Wastes	30	10	100	4	1,5	15
Wood/Wood Waste	30	10	100	4	1,5	15
Sulphite lyes (black liquor)	30	10	100	4	1,5	15
Other Primary Solid Biomass	30	10	100	4	1,5	15
Municipal Wastes (biomass fraction)	30	10	100	4	1,5	15

Quelle: IPCC 2005

Auch Emissionen von Schadstoffen - wie z.B. Schwermetallen - aus Sekundärbrennstoffen können über entsprechende Transferfaktoren hergeleitet werden. Auch für diesen Bereich besteht weiterer Forschungsbedarf.

## **6 NIR 2006: Beitrag zur Genese aus dem Projekt**

Für den Nationalen Inventarbericht (NIR) 2006 wurden die im Rahmen dieses Forschungsprojekts erarbeiteten Inventarverbesserungen entsprechend zusammengefasst aufbereitet. Dazu wurden dem Auftraggeber in der vorgegebenen Kapitelstruktur des NIR Textbausteine entsprechend der berücksichtigten Branchen und der ermittelten Sekundärbrennstoffe zur Verfügung gestellt.

Diese Zuarbeiten sind in die NIR-Genese beim UBA eingegangen und dort mit weiteren Erläuterungen und Beschreibungen kombiniert und in Übereinstimmung gebracht worden. Die resultierenden Kapitel des NIR 2006 entsprechen somit nicht den Textbausteinen aus dem Projekt, sondern beinhalten die wesentlichen Dokumentationen des Projekts.

Die im Rahmen der Arbeit des UBA erstellten Kapitel sind im Anhang 5: NIR 2006 zusammengestellt.

## Literaturverzeichnis

- ABANDA aktuell: Abfallanalysendatenbank des Landes Nordrhein-Westfalen [www.nrw-luawebapps.de](http://www.nrw-luawebapps.de), Auszug: [www.lua.nrw.de/abfall/bewertung/DBSpuckstoffe.pdf](http://www.lua.nrw.de/abfall/bewertung/DBSpuckstoffe.pdf)
- Albers, H., Eckardt, S., Bilitewski, B. Schirmer, M. 2002: Ökonomische Vorteile bei der energetischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen aus Restabfällen unter Berücksichtigung des EU-Richtlinienvorschlages zum Emissionshandel. Beitrag in „Müll und Abfall“ 12/2002
- Bachhiesl et al. 2001: Bachhiesl, M.; Tauschitz, J.; Zefferer, H.; Zellinger, G.: Untersuchungen zur thermischen Verwertung von Biomasse und heizwertreichen Abfallfraktionen als Sekundärbrennstoffe in Wärmekraftwerken. Forschung im Verbund Schriftenreihe Band 73, 2001
- Boström, S. (1994). Greenhouse Gas Inventory, Finland 1990. Energy and Industry.
- Boström, S., Bachman, R. and Hupa, M. (1992). Greenhouse Gas Emissions in Finland 1988 and 1990; Energy, Industrial and Transport Activities.
- Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie, Information aufgrund persönlicher Anfrage (Ansprechpartner: Herr Dr. Fuchs, Annastr. 67-71, D-50968 Köln, Tel.: +49-221-934674-20)
- Burschel P.; Kürsten, E.; Larson, B.C. 1993: Die Rolle der Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt – Eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 26. Freising 1993
- Eckardt et al.: Eckardt, S., Albers, H., Schirmer, M., Bilitewski, B. : Emissionshandelssystem - Ein wirtschaftlicher Anreiz für die Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen aus Restabfällen? Hösel, Schenkel, Bilitewski, Schnurer (Hrsg.): Müllhandbuch, Erich Schmidt Verlag Berlin, Kennzahl 1553. - o.J.
- Finnland 1990: Nationaler Inventar Report Finnland
- Flamme, S. 2005: Information auf eine persönliche Anfrage von Dr.-Ing. Sabine Flamme INFA - Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur- Management GmbH Ahlen. Ahlen 2005
- Glorius 2003: CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungspotential durch den Einsatz von Sekundärbrennstoffen in hocheffizienten Feuerungsanlagen; Vortrag auf Entsorga-Seminar von Dr.-Ing. Thomas Glorius, RWE Umwelt, Köln 2003
- Glorius 2005: Information auf eine persönliche Anfrage von Dr.-Ing. Thomas Glorius, REMONDIS AG&CO KG, 2005
- Harpeng 2005: Information auf eine persönliche Anfrage von Dipl.-Ing. (FH) Jens Harpeng, Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH. Clausthal-Zellerfeld 2005
- Impola, R. 1998: Quality Assurance Manual for Solid Wood Fuels. FINBIO, Publikation 5. Jyväskylä: VTT Energie, 1998. 33p. ISSN 1239-4874, ISBN 952-5135-04-7. Auszug: [www.tekes.fi/opet/pdf/puulaatuluokitusd.pdf](http://www.tekes.fi/opet/pdf/puulaatuluokitusd.pdf)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996): IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reporting Instructions, Bracknell
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996): IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories: Workbook, Bracknell
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996): IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual, Bracknell
- IPCC 2005: Draft 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (unveröffentlicht)#?
- Lindenberg, H.-U.; de Hass, H.; Juchhoff, W., Janz, J., Reimer, G. und Weiss, W. (1996); Rohstoffliches Recycling von Kunststoffen als Reduktionsmittel im Hochofen, Stahl und Eisen 116, S. 89-93.
- LUA 2005: Zuarbeit auf eine persönliche Anfrage an Herrn Kobs, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Fachbereich 81: Anlageninformationen, Emissionskataster. Essen 2005

- LUA 2005a: Zuarbeit auf eine persönliche Anfrage an Herrn Oberdörfer, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Wassergehalte ausgewählter Stoffe aus ABANDA, Düsseldorf 2005
- LUA 2005b: Statistische Auswertung von Faser- und Papierschlammanalysen in ABANDA (1980-1995); Auszug: [www.lua.nrw.de/abfall/bewertung/DBSpuckstoffe.pdf](http://www.lua.nrw.de/abfall/bewertung/DBSpuckstoffe.pdf)
- MUNLV 2001: Abfallverwertung in Industrieanlagen. Untersuchung über die energetische und stoffliche Verwertung von Abfällen in der Zementindustrie, bedeutenden Abfällen und der Metallindustrie. Erstellt von PROGNOSE AG im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW. Düsseldorf 2005
- ÖWAF 2004: Liste aus Betreiberangaben und Literaturangaben zu Kohlenstoffgehalten und biogenen Anteilen von Ersatzbrennstoffen. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband Fachgruppe Abfallwirtschaft und Altlastensanierung.  
[http://www.oewav.at/upload/medialibrary/KS\\_Liste\\_04\\_9151.pdf](http://www.oewav.at/upload/medialibrary/KS_Liste_04_9151.pdf) Wien 2004
- Schirmer, M. 2005: Information auf eine persönliche Anfrage von Mathias Schirmer, Dipl.-Ing. am Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten der TU Dresden. Pirna 2005
- Schwarz 2004: Untersuchungen zum Einsatz biogener Ligninlebstoffe bei Massivholzverklebungen. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Vorgelegt von Katrin Ursula Schwarz. Kiel 2004
- Thomé-Kozmiensky 2002: Ersatzbrennstoffe 2 - Verwerter, Qualitätskontrolle, Technik, Wirtschaftlichkeit. TK Verlag Neuruppin, 2002
- UBA 2001: Untersuchung der Umweltauswirkungen des Einsatzes von Abfällen außerhalb thermischer Abfallbehandlungsanlagen. Abschlussbericht im Forschungsvorhaben FKZ: 298 343 25 erstellt von PROGNOSE AG im Auftrag des Umweltbundesamts. Berlin 2001
- UBA DEHSt o.J.: Umweltbundesamt - Deutsche Emissionshandelsstelle: Emissionsfaktoren und Kohlenstoffgehalte, o.J.
- Verband Deutscher Papierfabriken 2005, Papier – Ein Leistungsbericht, Verlag VDP: Bonn.
- Verband Deutscher Zementwerke 2005, Umweltdaten der Deutschen Zementindustrie, Verlag VDZ: Düsseldorf.
- Wirtschaftsvereinigung Stahl 2005; Information aufgrund persönlicher Anfrage (Ansprechpartner Herr Dr. H.M. Aichinger, Sohnstr. 65, D-40237 Düsseldorf, Tel. +49-211-6707-412 sowie Herr R. Hömann, Sohnstr. 65, D-40237 Düsseldorf, Tel. +49-211-6707-883).

## **Anhang 1: Datensätze für den Sekundärbrennstoffeinsatz**

Der vollständige Datensatz zum Sekundärbrennstoffeinsatz aller betrachteten Branchen und der entsprechenden Emissionsfaktoren, der oberen und unteren Bandbreiten sowie der Splitfaktoren ist in folgender Tabelle nachlesbar sowie auf dem beigefügten Datenträger in der Datei "Anhang1\_Datensätze.xls" nutzbar.

Der Datensatz ist dem Importformat des ZSE angenähert und deshalb weitgehender als ein Auflistung der vom Auftragnehmer ermittelten Daten.

## **Anhang 2: 1. Zwischenbericht des Projekts**

## **Anhang 3: 2. Zwischenbericht des Projekts**

## **Anhang 4: Abschlussbericht zum AP 4 (IT-Support)**

Im beigefügten Endbericht des Unterauftragnehmers Seven2one Informationssysteme für Energie- und Umweltplanung GmbH ist kurz dargestellt, welche Arbeitsschritte nötig waren, aus den Datensätzen aus AP 3 (siehe Anhang 1: Datensätze für den Sekundärbrennstoffeinsatz) Datensätze für das ZSE zu generieren und diese zu implementieren. In den Dateien des Archivs „Anhang4\_Datensätze.zip“ auf dem beigefügten Datenträger finden sich die kompletten Detailtabellen, die erst im ZSE mit dessen Software-Funktionalität komplette, transparent dokumentierte Datensätze ergeben.

## **Anhang 5: NIR 2006: relevante Kapitel aus der Erarbeitung beim UBA**

Bei den folgenden Texten ist zu beachten, dass zum Zeitpunkt des Abschlusses dieses Projektes der NIR 2006 noch regulär in der Ressortabstimmung zur Überarbeitung vorlag. Die Kapitel des Anhangs stellen somit einen Arbeitsstand dar und sind nur aus dem offiziell veröffentlichten NIR 2006 zu zitieren. Die Veröffentlichung erfolgt regulär zum 15.04.2006 im Internet des UBA, des BMU und des UNFCCC.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
2	Name	Struktur- element	Emit- tanten- gruppe	Energie- bilanz- zeile	Energie- bilanz- flag	Mass- nahme	Verwen- dungsart	Technik	Produkt	Be- triebs- art	Raum- bezug	Material	Werte- typ	Schadstoff	Hypothese	Einheit
3												Altöl	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
4												Altöl	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
5												Altöl	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
6												Altreifen	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
7												Altreifen	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
8												Altreifen	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
9												Altreifen	SF		Reference Hypothesis	%
10												Altreifen	SF		Uncertainty_max	%
11												Altreifen	SF		Uncertainty_min	%
12												Bleicherde	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
13												Bleicherde	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
14												Bleicherde	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
15												Gewerbeabfall Kunststoff	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
16												Gewerbeabfall Kunststoff	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
17												Gewerbeabfall Kunststoff	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
18												Gewerbeabfall Papier	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
19												Gewerbeabfall Papier	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
20												Gewerbeabfall Papier	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
21												Gewerbeabfall Papier	SF		Reference Hypothesis	%
22												Gewerbeabfall Papier	SF		Uncertainty_max	%
23												Gewerbeabfall Papier	SF		Uncertainty_min	%
24												Gewerbeabfall sonstiger	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
25												Gewerbeabfall sonstiger	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
26												Gewerbeabfall sonstiger	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
27												Gewerbeabfall sonstiger	SF		Reference Hypothesis	%
28												Gewerbeabfall sonstiger	SF		Uncertainty_max	%
29												Gewerbeabfall sonstiger	SF		Uncertainty_min	%
30												Gewerbeabfall Verpackungen	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
31												Gewerbeabfall Verpackungen	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
32												Gewerbeabfall Verpackungen	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
33												Gewerbeabfall Verpackungen	SF		Reference Hypothesis	%
34												Gewerbeabfall Verpackungen	SF		Uncertainty_max	%
35												Gewerbeabfall Verpackungen	SF		Uncertainty_min	%
36												Holzabfälle (Resthölzer)	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
37												Holzabfälle (Resthölzer)	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
38												Holzabfälle (Resthölzer)	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
39												Klärschlamm	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
40												Klärschlamm	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
41												Klärschlamm	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
42												Lösemittel (Abfall)	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
43												Lösemittel (Abfall)	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
44												Lösemittel (Abfall)	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
45												Ölschlamm	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
46												Ölschlamm	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
47												Ölschlamm	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
48												Siedlungsabfall aufbereitet	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
49												Siedlungsabfall aufbereitet	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
50												Siedlungsabfall aufbereitet	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
51												Siedlungsabfall aufbereitet	SF		Reference Hypothesis	%
52												Siedlungsabfall aufbereitet	SF		Uncertainty_max	%
53												Siedlungsabfall aufbereitet	SF		Uncertainty_min	%
54												Teppichabfälle	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
55												Teppichabfälle	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
56												Teppichabfälle	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
57												Teppichabfälle	SF		Reference Hypothesis	%
58												Teppichabfälle	SF		Uncertainty_max	%
59												Teppichabfälle	SF		Uncertainty_min	%
60												Textilabfälle	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
61												Textilabfälle	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
62												Textilabfälle	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
63												Textilabfälle	SF		Reference Hypothesis	%
64												Textilabfälle	SF		Uncertainty_max	%
65												Textilabfälle	SF		Uncertainty_min	%
66												Tiermehle und -fette	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
67												Tiermehle und -fette	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
68												Tiermehle und -fette	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
69												ABL Altöl	AR		Reference Hypothesis	TJ
70												ABL Altöl	AR		Uncertainty_max	TJ
71												ABL Altöl	AR		Uncertainty_min	TJ
72												ABL Altreifen	PAR		Reference Hypothesis	TJ
73												ABL Altreifen	PAR		Uncertainty_max	TJ
74												ABL Altreifen	PAR		Uncertainty_min	TJ
75												ABL Altreifen, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
76												ABL Altreifen, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
77												ABL Altreifen, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
78												ABL Altreifen, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
79												ABL Altreifen, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
80												ABL Altreifen, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
81												ABL Siedlungsabfall aufbereitet	PAR		Reference Hypothesis	TJ
82												ABL Siedlungsabfall aufbereitet	PAR		Uncertainty_max	TJ
83												ABL Siedlungsabfall aufbereitet	PAR		Uncertainty_min	TJ
84												ABL Siedlungsabfall aufbereitet, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
85												ABL Siedlungsabfall aufbereitet, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
86												ABL Siedlungsabfall aufbereitet, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
87												ABL Siedlungsabfall aufbereitet, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
88												ABL Siedlungsabfall aufbereitet, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
89												ABL Siedlungsabfall aufbereitet, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
90												D Altöl	AR		Reference Hypothesis	TJ
91												D Altöl	AR		Uncertainty_max	TJ
92												D Altöl	AR		Uncertainty_min	TJ
93												D Altreifen	PAR		Reference Hypothesis	TJ
94												D Altreifen	PAR		Uncertainty_max	TJ
95												D Altreifen	PAR		Uncertainty_min	TJ
96												D Altreifen, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
97												D Altreifen, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
98												D Altreifen, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
99												D Altreifen, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
100												D Altreifen, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
101												D Altreifen, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
102												D Bleicherde	AR		Reference Hypothesis	TJ
103												D Bleicherde	AR		Uncertainty_max	TJ
104												D Bleicherde	AR		Uncertainty_min	TJ
105												D Gewerbeabfall Kunststoff	AR		Reference Hypothesis	TJ
106												D Gewerbeabfall Kunststoff	AR		Uncertainty_max	TJ
107												D Gewerbeabfall Kunststoff	AR		Uncertainty_min	TJ
108												D Gewerbeabfall Papier	PAR		Reference Hypothesis	TJ
109												D Gewerbeabfall Papier	PAR		Uncertainty_max	TJ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
110											D	Gewerbeabfall Papier	PAR		Uncertainty_min	TJ
111											D	Gewerbeabfall Papier, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
112											D	Gewerbeabfall Papier, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
113											D	Gewerbeabfall Papier, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
114											D	Gewerbeabfall Papier, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
115											D	Gewerbeabfall Papier, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
116											D	Gewerbeabfall Papier, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
117											D	Gewerbeabfall sonstiger	PAR		Reference Hypothesis	TJ
118											D	Gewerbeabfall sonstiger	PAR		Uncertainty_max	TJ
119											D	Gewerbeabfall sonstiger	PAR		Uncertainty_min	TJ
120											D	Gewerbeabfall sonstiger, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
121											D	Gewerbeabfall sonstiger, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
122											D	Gewerbeabfall sonstiger, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
123											D	Gewerbeabfall sonstiger, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
124											D	Gewerbeabfall sonstiger, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
125											D	Gewerbeabfall sonstiger, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
126											D	Gewerbeabfall Verpackungen	PAR		Reference Hypothesis	TJ
127											D	Gewerbeabfall Verpackungen	PAR		Uncertainty_max	TJ
128											D	Gewerbeabfall Verpackungen	PAR		Uncertainty_min	TJ
129											D	Gewerbeabfall Verpackungen, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
130											D	Gewerbeabfall Verpackungen, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
131											D	Gewerbeabfall Verpackungen, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
132											D	Gewerbeabfall Verpackungen, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
133											D	Gewerbeabfall Verpackungen, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
134											D	Gewerbeabfall Verpackungen, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
135											D	Holzabfälle (Resthölzer)	AR		Reference Hypothesis	TJ
136											D	Holzabfälle (Resthölzer)	AR		Uncertainty_max	TJ
137											D	Holzabfälle (Resthölzer)	AR		Uncertainty_min	TJ
138											D	Klärschlamm	AR		Reference Hypothesis	TJ
139											D	Klärschlamm	AR		Uncertainty_max	TJ
140											D	Klärschlamm	AR		Uncertainty_min	TJ
141											D	Lösemittel (Abfall)	AR		Reference Hypothesis	TJ
142											D	Lösemittel (Abfall)	AR		Uncertainty_max	TJ
143											D	Lösemittel (Abfall)	AR		Uncertainty_min	TJ
144											D	Ölschlamm	AR		Reference Hypothesis	TJ
145											D	Ölschlamm	AR		Uncertainty_max	TJ
146											D	Ölschlamm	AR		Uncertainty_min	TJ
147											D	Siedlungsabfall aufbereitet	PAR		Reference Hypothesis	TJ
148											D	Siedlungsabfall aufbereitet	PAR		Uncertainty_max	TJ
149											D	Siedlungsabfall aufbereitet	PAR		Uncertainty_min	TJ
150											D	Siedlungsabfall aufbereitet, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
151											D	Siedlungsabfall aufbereitet, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
152											D	Siedlungsabfall aufbereitet, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
153											D	Siedlungsabfall aufbereitet, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
154											D	Siedlungsabfall aufbereitet, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
155											D	Siedlungsabfall aufbereitet, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
156											D	Teppichabfälle	PAR		Reference Hypothesis	TJ
157											D	Teppichabfälle	PAR		Uncertainty_max	TJ
158											D	Teppichabfälle	PAR		Uncertainty_min	TJ
159											D	Teppichabfälle, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
160											D	Teppichabfälle, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
161											D	Teppichabfälle, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
162											D	Teppichabfälle, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
163											D	Teppichabfälle, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
164											D	Teppichabfälle, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
165											D	Textilabfälle	PAR		Reference Hypothesis	TJ
166											D	Textilabfälle	PAR		Uncertainty_max	TJ
167											D	Textilabfälle	PAR		Uncertainty_min	TJ
168											D	Textilabfälle, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
169											D	Textilabfälle, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
170											D	Textilabfälle, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
171											D	Textilabfälle, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
172											D	Textilabfälle, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
173											D	Textilabfälle, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
174											D	Tiermehle und -fette	AR		Reference Hypothesis	TJ
175											D	Tiermehle und -fette	AR		Uncertainty_max	TJ
176											D	Tiermehle und -fette	AR		Uncertainty_min	TJ
177											NBL	Altöl	AR		Reference Hypothesis	TJ
178											NBL	Altöl	AR		Uncertainty_max	TJ
179											NBL	Altöl	AR		Uncertainty_min	TJ
180											NBL	Altreifen	PAR		Reference Hypothesis	TJ
181											NBL	Altreifen	PAR		Uncertainty_max	TJ
182											NBL	Altreifen	PAR		Uncertainty_min	TJ
183											NBL	Altreifen, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
184											NBL	Altreifen, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
185											NBL	Altreifen, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
186											NBL	Altreifen, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
187											NBL	Altreifen, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
188											NBL	Altreifen, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
189											NBL	Siedlungsabfall aufbereitet	PAR		Reference Hypothesis	TJ
190											NBL	Siedlungsabfall aufbereitet	PAR		Uncertainty_max	TJ
191											NBL	Siedlungsabfall aufbereitet	PAR		Uncertainty_min	TJ
192											NBL	Siedlungsabfall aufbereitet, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
193											NBL	Siedlungsabfall aufbereitet, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
194											NBL	Siedlungsabfall aufbereitet, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
195											NBL	Siedlungsabfall aufbereitet, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
196											NBL	Siedlungsabfall aufbereitet, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
197											NBL	Siedlungsabfall aufbereitet, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
198												Ablaugen Zellstoffherstellung	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
199												Ablaugen Zellstoffherstellung	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
200												Ablaugen Zellstoffherstellung	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
201												Faser-/Deinking-Rückstände	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
202												Faser-/Deinking-Rückstände	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
203												Faser-/Deinking-Rückstände	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
204												Rinde	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
205												Rinde	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
206												Rinde	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
207												Rückstände Papierindustrie	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
208												Rückstände Papierindustrie	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
209												Rückstände Papierindustrie	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
210												Rückstände Papierindustrie	SF		Reference Hypothesis	%
211												Rückstände Papierindustrie	SF		Uncertainty_max	%
212												Rückstände Papierindustrie	SF		Uncertainty_min	%
213											ABL	Ablaugen Zellstoffherstellung	AR		Reference Hypothesis	TJ
214											ABL	Ablaugen Zellstoffherstellung	AR		Uncertainty_max	TJ
215											ABL	Ablaugen Zellstoffherstellung	AR		Uncertainty_min	TJ
216											ABL	Faser-/Deinking-Rückstände	AR		Reference Hypothesis	TJ
217											ABL	Faser-/Deinking-Rückstände	AR		Uncertainty_max	TJ
218											ABL	Faser-/Deinking-Rückstände	AR		Uncertainty_min	TJ
219											ABL	Rinde	AR		Reference Hypothesis	TJ
220											ABL	Rinde	AR		Uncertainty_max	TJ

Gew. Steine u. Erden, sonst. Bergbau, verarbeitet. Gewerbe insg.

Gew. Steine u. Erden, sonst. Bergbau, verarbeitet. Gewerbe insg. t. Bergbau, verarbeitet. (Gew. Steine u. Erden, sonst. Bergbau, ve

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
221											ABL	Rinde	AR		Uncertainty_min	TJ
222											ABL	Rückstände Papierindustrie	PAR		Reference Hypothesis	TJ
223											ABL	Rückstände Papierindustrie	PAR		Uncertainty_max	TJ
224											ABL	Rückstände Papierindustrie	PAR		Uncertainty_min	TJ
225											ABL	Rückstände Papierindustrie, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
226											ABL	Rückstände Papierindustrie, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
227											ABL	Rückstände Papierindustrie, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
228											ABL	Rückstände Papierindustrie, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
229											ABL	Rückstände Papierindustrie, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
230											ABL	Rückstände Papierindustrie, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
231											D	Ablaugen Zellstoffherstellung	AR		Reference Hypothesis	TJ
232											D	Ablaugen Zellstoffherstellung	AR		Uncertainty_max	TJ
233											D	Ablaugen Zellstoffherstellung	AR		Uncertainty_min	TJ
234											D	Faser-/Deinking-Rückstände	AR		Reference Hypothesis	TJ
235											D	Faser-/Deinking-Rückstände	AR		Uncertainty_max	TJ
236											D	Faser-/Deinking-Rückstände	AR		Uncertainty_min	TJ
237											D	Rinde	AR		Reference Hypothesis	TJ
238											D	Rinde	AR		Uncertainty_max	TJ
239											D	Rinde	AR		Uncertainty_min	TJ
240											D	Rückstände Papierindustrie	PAR		Reference Hypothesis	TJ
241											D	Rückstände Papierindustrie	PAR		Uncertainty_max	TJ
242											D	Rückstände Papierindustrie	PAR		Uncertainty_min	TJ
243											D	Rückstände Papierindustrie, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
244											D	Rückstände Papierindustrie, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
245											D	Rückstände Papierindustrie, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
246											D	Rückstände Papierindustrie, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
247											D	Rückstände Papierindustrie, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
248											D	Rückstände Papierindustrie, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
249											NBL	Ablaugen Zellstoffherstellung	AR		Reference Hypothesis	TJ
250											NBL	Ablaugen Zellstoffherstellung	AR		Uncertainty_max	TJ
251											NBL	Ablaugen Zellstoffherstellung	AR		Uncertainty_min	TJ
252											NBL	Faser-/Deinking-Rückstände	AR		Reference Hypothesis	TJ
253											NBL	Faser-/Deinking-Rückstände	AR		Uncertainty_max	TJ
254											NBL	Faser-/Deinking-Rückstände	AR		Uncertainty_min	TJ
255											NBL	Rinde	AR		Reference Hypothesis	TJ
256											NBL	Rinde	AR		Uncertainty_max	TJ
257											NBL	Rinde	AR		Uncertainty_min	TJ
258											NBL	Rückstände Papierindustrie	PAR		Reference Hypothesis	TJ
259											NBL	Rückstände Papierindustrie	PAR		Uncertainty_max	TJ
260											NBL	Rückstände Papierindustrie	PAR		Uncertainty_min	TJ
261											NBL	Rückstände Papierindustrie, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
262											NBL	Rückstände Papierindustrie, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
263											NBL	Rückstände Papierindustrie, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
264											NBL	Rückstände Papierindustrie, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
265											NBL	Rückstände Papierindustrie, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
266											NBL	Rückstände Papierindustrie, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
267												Altkunststoff	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
268												Altkunststoff	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
269												Altkunststoff	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
270												Tierfett	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
271												Tierfett	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
272												Tierfett	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
273											D	Altkunststoff	AR		Reference Hypothesis	TJ
274											D	Altkunststoff	AR		Uncertainty_max	TJ
275											D	Altkunststoff	AR		Uncertainty_min	TJ
276											D	Tierfett	AR		Reference Hypothesis	TJ
277											D	Tierfett	AR		Uncertainty_max	TJ
278											D	Tierfett	AR		Uncertainty_min	TJ
279												Altöl	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
280												Altöl	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
281												Altöl	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
282												Gewerbeabfall sonstiger	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
283												Gewerbeabfall sonstiger	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
284												Gewerbeabfall sonstiger	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
285												Gewerbeabfall sonstiger	SF		Reference Hypothesis	%
286												Gewerbeabfall sonstiger	SF		Uncertainty_max	%
287												Gewerbeabfall sonstiger	SF		Uncertainty_min	%
288												Tiermehle und -fette	EF	Kohlendioxid	Reference Hypothesis	kg/TJ
289												Tiermehle und -fette	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_max	kg/TJ
290												Tiermehle und -fette	EF	Kohlendioxid	Uncertainty_min	kg/TJ
291											D	Altöl	AR		Reference Hypothesis	TJ
292											D	Altöl	AR		Uncertainty_max	TJ
293											D	Altöl	AR		Uncertainty_min	TJ
294											D	Gewerbeabfall sonstiger	PAR		Reference Hypothesis	TJ
295											D	Gewerbeabfall sonstiger	PAR		Uncertainty_max	TJ
296											D	Gewerbeabfall sonstiger	PAR		Uncertainty_min	TJ
297											D	Gewerbeabfall sonstiger, biogen	AR		Reference Hypothesis	TJ
298											D	Gewerbeabfall sonstiger, biogen	AR		Uncertainty_max	TJ
299											D	Gewerbeabfall sonstiger, biogen	AR		Uncertainty_min	TJ
300											D	Gewerbeabfall sonstiger, fossil	AR		Reference Hypothesis	TJ
301											D	Gewerbeabfall sonstiger, fossil	AR		Uncertainty_max	TJ
302											D	Gewerbeabfall sonstiger, fossil	AR		Uncertainty_min	TJ
303											D	Tiermehle und -fette	AR		Reference Hypothesis	TJ
304											D	Tiermehle und -fette	AR		Uncertainty_max	TJ
305											D	Tiermehle und -fette	AR		Uncertainty_min	TJ
306																
307	Energiebilanzzeile für alte und neue Bundesländer falsch verschlagwortet: richtig für EBZ 73 ist Bezeichnung "Übriger Bergbau u. Verarb. Gewerbe (Wärmeerzeugung)"															
308	Verschlagwortung von Energiebilanzzeile richtet sich nach Anwendung in jeweiligem Raumbezug (s.o.)															

	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1	ZSE-Zeitreihen-Daten														
2	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
3	78689	78689	78689	78689	78689	78689	78689	78689	78689	78689	78689	78689	78689	78689	78689
4	101729	101729	101729	101729	101729	101729	101729	101729	101729	101729	101729	101729	101729	101729	101729
5	59226	59226	59226	59226	59226	59226	59226	59226	59226	59226	59226	59226	59226	59226	59226
6	97319	97319	97319	97319	97319	97319	97319	97319	97319	97319	97319	97319	97319	97319	97319
7	126115	126115	126115	126115	126115	126115	126115	126115	126115	126115	126115	126115	126115	126115	126115
8	76699	76699	76699	76699	76699	76699	76699	76699	76699	76699	76699	76699	76699	76699	76699
9	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
10	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
11	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
12	NO	NO	NO	NO	NO	82260	82260	82260	82260	82260	82260	82260	82260	82260	82260
13	NO	NO	NO	NO	NO	128067	128067	128067	128067	128067	128067	128067	128067	128067	128067
14	NO	NO	NO	NO	NO	55789	55789	55789	55789	55789	55789	55789	55789	55789	55789
15	NO	NO	NO	NO	NO	83075	83075	83075	83075	83075	83075	83075	83075	83075	83075
16	NO	NO	NO	NO	NO	165436	165436	165436	165436	165436	165436	165436	165436	165436	165436
17	NO	NO	NO	NO	NO	50095	50095	50095	50095	50095	50095	50095	50095	50095	50095
18	NO	NO	NO	NO	NO	64881	64881	64881	64881	64881	64881	64881	64881	64881	64881
19	NO	NO	NO	NO	NO	104558	104558	104558	104558	104558	104558	104558	104558	104558	104558
20	NO	NO	NO	NO	NO	30516	30516	30516	30516	30516	30516	30516	30516	30516	30516
21						91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
22						91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
23						91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
24	NO	NO	NO	NO	NO	68129	68129	68129	68129	68129	68129	68129	68129	68129	68129
25	NO	NO	NO	NO	NO	94881	94881	94881	94881	94881	94881	94881	94881	94881	94881
26	NO	NO	NO	NO	NO	49246	49246	49246	49246	49246	49246	49246	49246	49246	49246
27						52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
28						52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
29						52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
30	NO	NO	NO	NO	NO	56854	56854	56854	56854	56854	56854	56854	56854	56854	56854
31	NO	NO	NO	NO	NO	76045	76045	76045	76045	76045	76045	76045	76045	76045	76045
32	NO	NO	NO	NO	NO	42748	42748	42748	42748	42748	42748	42748	42748	42748	42748
33						40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
34						40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
35						40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
36	NO	NO	NO	NO	NO	95056	95056	95056	95056	95056	95056	95056	95056	95056	95056
37	NO	NO	NO	NO	NO	140925	140925	140925	140925	140925	140925	140925	140925	140925	140925
38	NO	NO	NO	NO	NO	55250	55250	55250	55250	55250	55250	55250	55250	55250	55250
39	NO	NO	NO	NO	NO										95110
40	NO	NO	NO	NO	NO										140872
41	NO	NO	NO	NO	NO										63884
42	NO	NO	NO	NO	NO	71133	71133	71133	71133	71133	71133	71133	71133	71133	71133
43	NO	NO	NO	NO	NO	111262	111262	111262	111262	111262	111262	111262	111262	111262	111262
44	NO	NO	NO	NO	NO	43898	43898	43898	43898	43898	43898	43898	43898	43898	43898
45	NO	NO	NO	NO	NO	84024	84024	84024	84024	84024	84024	84024	84024	84024	84024
46	NO	NO	NO	NO	NO	120674	120674	120674	120674	120674	120674	120674	120674	120674	120674
47	NO	NO	NO	NO	NO	48238	48238	48238	48238	48238	48238	48238	48238	48238	48238
48	59846	59846	59846	59846	59846	59846	59846	59846	59846	59846	NO	59846	59846	59846	59846
49	89569	89569	89569	89569	89569	89569	89569	89569	89569	89569	NO	89569	89569	89569	89569
50	35134	35134	35134	35134	35134	35134	35134	35134	35134	35134	NO	35134	35134	35134	35134
51	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	NO	55	55	55	55
52	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	NO	55	55	55	55
53	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	NO	55	55	55	55
54	NO	NO	NO	NO	NO	80425	80425	80425	80425	80425	80425	80425	80425	80425	80425
55	NO	NO	NO	NO	NO	118787	118787	118787	118787	118787	118787	118787	118787	118787	118787
56	NO	NO	NO	NO	NO	54412	54412	54412	54412	54412	54412	54412	54412	54412	54412
57						37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
58						37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
59						37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
60	NO	NO	NO	NO	NO	63294	63294	63294	63294	63294	63294	63294	63294	63294	63294
61	NO	NO	NO	NO	NO	94795	94795	94795	94795	94795	94795	94795	94795	94795	94795
62	NO	NO	NO	NO	NO	44043	44043	44043	44043	44043	44043	44043	44043	44043	44043
63						70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
64						70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
65						70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
66	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	74867	74867	74867	74867
67	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	126390	126390	126390	126390
68	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	29457	126390	126390	126390
69	644	615	701	720	841										
70	644	615	701	720	841										
71	644	615	701	720	841										
72	870	831	948	973	1136										
73	870	831	948	973	1136										
74	870	831	948	973	1136										
75	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
76	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
77	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
78	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
79	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
80	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
81	226	216	246	253	295										
82	226	216	246	253	295										
83	226	216	246	253	295										
84	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
85	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
86	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
87	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
88	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
89	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
90						3378	4028	4849	5712	6335	4760	4224	3875	3480	2900
91						3378	4028	4849	5712	6335	4760	4224	3875	3480	2900
92						3378	4028	4849	5712	6335	4760	4224	3875	3480	2900
93						3521	4198	5055	5954	6136	6200	6162	5850	6422	7540

	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
110						387	461	555	654	1078	1320	1428	1032	2964	2180
111						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
112						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
113						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
114						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
115						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
116						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
117						1422	1696	2041	2405	3962	4851	5250	4389	5918	8822
118						1422	1696	2041	2405	3962	4851	5250	4389	5918	8822
119						1422	1696	2041	2405	3962	4851	5250	4389	5918	8822
120						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
121						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
122						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
123						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
124						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
125						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
126						71	85	103	121	199	244	264	1536	225	325
127						71	85	103	121	199	244	264	1536	225	325
128						71	85	103	121	199	244	264	1536	225	325
129						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
130						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
131						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
132						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
133						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
134						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
135						629	750	903	1064	1001	1027	936	819	624	588
136						629	750	903	1064	1001	1027	936	819	624	588
137						629	750	903	1064	1001	1027	936	819	624	588
138						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	44	192
139						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	44	192
140						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	44	192
141						234	279	336	396	648	806	792	943	1200	1728
142						234	279	336	396	648	806	792	943	1200	1728
143						234	279	336	396	648	806	792	943	1200	1728
144						596	711	856	1008	1148	3520	104	228	306	300
145						596	711	856	1008	1148	3520	104	228	306	300
146						596	711	856	1008	1148	3520	104	228	306	300
147						NO	NO	NO	NO	NO	NO	1530	1590	2635	2512
148						NO	NO	NO	NO	NO	NO	1530	1590	2635	2512
149						NO	NO	NO	NO	NO	NO	1530	1590	2635	2512
150						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
151						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
152						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
153						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
154						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
155						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
156						202	241	290	342	420	NO	NO	NO	NO	NO
157						202	241	290	342	420	NO	NO	NO	NO	NO
158						202	241	290	342	420	NO	NO	NO	NO	NO
159						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
160						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
161						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
162						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
163						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
164						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
165						28	34	41	48	79	97	105	105	315	50
166						28	34	41	48	79	97	105	105	315	50
167						28	34	41	48	79	97	105	105	315	50
168						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
169						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
170						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
171						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
172						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
173						Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)									
174						NO	NO	NO	NO	NO	NO	4655	6840	8136	7902
175						NO	NO	NO	NO	NO	NO	4655	6840	8136	7902
176						NO	NO	NO	NO	NO	NO	4655	6840	8136	7902
177	2353	2250	2509	2575	3007										
178	2353	2250	2509	2575	3007										
179	2353	2250	2509	2575	3007										
180	3180	3040	3390	3480	4064										
181	3180	3040	3390	3480	4064										
182	3180	3040	3390	3480	4064										
183	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
184	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
185	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
186	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
187	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
188	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
189	827	790	881	905	1057										
190	827	790	881	905	1057										
191	827	790	881	905	1057										
192	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
193	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
194	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
195	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
196	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
197	Berechnungsergebnis über Spliffaktor (Leistung aus dem AP4)														
198	74046	74046	74046	74046	74046	74046	74046	74046	74046	74046	74046	74046	74046	74046	74046
199	145681	145681	145681	145681	145681	145681	145681	145681	145681	145681	145681	145681	145681	145681	145681
200	20432	20432	20432	20432	20432	20432	20432	20432	20432	20432	20432	20432	20432	20432	20432
201	54871	54871	54871	54871	54871	54871	54871	54871	54871	54871	54871	54871	54871	54871	54871
202	106289	106289	106289	106289	106289	106289	106289	106289	106289	106289	106289	106289	106289	106289	106289
203	22986	22986	22986	22986	22986	22986	22986	22986	22986	22986	22986	22986	22986	22986	22986
204	80611	80611	80611	80611	80611	80611	80611	80611	80611	80611	80611	80611	80611	80611	80611
205	115330	115330	115330	115330	115330	115330	115330	115330	115330	115330	115330	115330	115330	115330	115330
206	55300	55300	55300	55300	55300	55300	55300	55300	55300	55300	55300	55300	55300	55300	55300
207	86222	86222	86222	86222	86222	86222	86222	86222	86222	86222	86222	86222	86222	86222	86222
208	145428	145428	145428	145428	145428	145428	145428	145428	145428	145428	145428	145428	145428	145428	145428
209	42528	42528	42528	42528	42528	42528	42528	42528	42528	42528	42528	42528	42528	42528	42528
210	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
211	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
212	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
213	3628	4803	4616	8745	9410										
214	3628	4803	4616	8745	9410										
215	3628	4803	4616	8745	9410										
216	697	637	368	487	771										
217	697	637	368	487	771										
218	697	637	368	487	771										
219	1965	1988	1697	1936	2150										
220	1965	1988	1697	1936	2150										

	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
221	1965	1988	1697	1936	2150										
222	648	780	1676	1967	2022										
223	648	780	1676	1967	2022										
224	648	780	1676	1967	2022										
225	Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)														
226	Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)														
227	Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)														
228	Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)														
229	Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)														
230	Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)														
231						11317	12268	11497	12724	12177	12547	11765	15975	15739	17901
232						11317	12268	11497	12724	12177	12547	11765	15975	15739	17901
233						11317	12268	11497	12724	12177	12547	11765	15975	15739	17901
234						2830	3135	3041	2837	2896	2981	3276	3461	3613	3698
235						2830	3135	3041	2837	2896	2981	3276	3461	3613	3698
236						2830	3135	3041	2837	2896	2981	3276	3461	3613	3698
237						1857	1662	2144	1816	2120	2203	1706	2414	2319	2586
238						1857	1662	2144	1816	2120	2203	1706	2414	2319	2586
239						1857	1662	2144	1816	2120	2203	1706	2414	2319	2586
240						1593	2364	1777	2363	3044	3233	3432	3260	3805	3817
241						1593	2364	1777	2363	3044	3233	3432	3260	3805	3817
242						1593	2364	1777	2363	3044	3233	3432	3260	3805	3817
243						Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)									
244						Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)									
245						Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)									
246						Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)									
247						Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)									
248						Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)									
249	2910	2024	2248	1993	2417										
250	2910	2024	2248	1993	2417										
251	2910	2024	2248	1993	2417										
252	38	199	29	196	49										
253	38	199	29	196	49										
254	38	199	29	196	49										
255	379	139	293	137	158										
256	379	139	293	137	158										
257	379	139	293	137	158										
258	198	313	153	308	882										
259	198	313	153	308	882										
260	198	313	153	308	882										
261	Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)														
262	Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)														
263	Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)														
264	Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)														
265	Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)														
266	Berechnungsergebnis über Splitfaktor (Leistung aus dem AP4)														
267	NO	NO	NO	NO	NO	NO	74630	74630	74630	74630	74630	74630	74630	74630	74630
268	NO	NO	NO	NO	NO	NO	74630	74630	74630	74630	74630	74630	74630	74630	74630
269	NO	NO	NO	NO	NO	NO	74630	74630	74630	74630	74630	74630	74630	74630	74630
270	NO	NO	NO	NO	NO	NO	71380	71380	71380	71380	71380	71380	71380	71380	71380
271	NO	NO	NO	NO	NO	NO	71380	71380	71380	71380	71380	71380	71380	71380	71380
272	NO	NO	NO	NO	NO	NO	71380	71380	71380	71380	71380	71380	71380	71380	71380
273						NO	1912	4421	4660	4108	5359	5789	5858	4179	3707
274						NO	1912	4421	4660	4108	5359	5789	5858	4179	3707
275						NO	1912	4421	4660	4108	5359	5789	5858	4179	3707
276						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	638	1262	589
277						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	638	1262	589
278						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	638	1262	589
279						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	78689	78689	
280						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	101729	101729	
281						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	59226	59226	
282						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	68129	68129	
283						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	94881	94881	
284						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	49246	49246	
285						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	52	52	
286						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	52	52	
287						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	52	52	
288						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	74867	74867	
289						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	126390	126390	
290						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	29457	29457	
291						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	1490	1490	
292						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	1490	1490	
293						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	1490	1490	
294						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	657	657	
295						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	657	657	
296						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	657	657	
297						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO			
298						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO			
299						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO			
300						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO			
301						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO			
302						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO			
303						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		258	258
304						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		258	258
305						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		258	258
306															
307															
308															



Wissenschaftszentrum  
Nordrhein-Westfalen

Institut Arbeit  
und Technik



Kulturwissenschaftliches  
Institut

Wuppertal Institut für  
Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

Energy

Environment Forecast

Analysis GmbH

**FuE FKZ 204 42 203/02**

## **Umsetzung des Inventarplanes und nationale unabhängige Überprüfung der Emissionsinventare für Treibhausgase, Teilvorhaben 02**

# **„Einsatz von Sekundärbrennstoffen“**

**Erster Zwischenbericht**

**Im Auftrag des Umweltbundesamtes**

Wuppertal und  
Münster,

Juni 2005

**bearbeitet von:**

Dipl.-Geogr. Stefan Lechtenböhrer

Dipl.-Ing. Sabine Nanning

- Wuppertal Institut -

Dipl.-Vw. Bernhard Hillebrand

Dipl.-Oek. Hans-Georg Buttermann

- EEFA GmbH -

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen  
Forschungsgruppe Energie-, Verkehrs- und Klimapolitik  
Döppersberg 19

42103 Wuppertal

Tel. 0202/2492-164, -143, -129

Fax 0202/2492-198

Email:

[carmen.dienst@wupperinst.org](mailto:carmen.dienst@wupperinst.org)

[stefan.lechtenboehmer@wupperinst.org](mailto:stefan.lechtenboehmer@wupperinst.org)

[sabine.nanning@wupperinst.org](mailto:sabine.nanning@wupperinst.org)

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Ziel des Ersten Zwischenberichts	1
1.2	Definition Sekundärbrennstoffe	2
1.3	Abgrenzung zu Regelbrennstoffen (Energiebilanz)	2
<b>2</b>	<b>Ermittlung der Emissionsfaktoren</b>	<b>2</b>
2.1	Kohlendioxid - CO <sub>2</sub>	2
2.2	Nicht-CO <sub>2</sub> -Bereich	4
2.2.1	Methan - CH <sub>4</sub>	5
2.2.2	Distickstoffoxid - N <sub>2</sub> O	5
<b>3</b>	<b>Zementindustrie</b>	<b>6</b>
3.1	Datenlage	7
3.1.1	Arten der eingesetzten Sekundärbrennstoffe	8
3.2	Ermittlung der Emissionsfaktoren	9
3.2.1	Reifen	10
3.3	Weiteres Vorgehen/ Datenlücken/ offene Fragen	11
<b>4</b>	<b>Papier-, Pappe- und Zellstoffherstellung</b>	<b>12</b>
4.1	Datenlage	12
4.1.1	Eingesetzte Sekundärbrennstoffe	13
4.2	Ermittlung der Emissionsfaktoren	13
4.2.1	Sulfitablauge	14
4.2.2	Rinde	15
4.2.3	Faser/Deinking-Rückstände (Schlamm)	16
4.2.4	Übr. Rückstände/Reststoffe wie Altpapierreststoffe, Produktionsrückstände	17
4.2.5	Sonstige	18
4.3	Weiteres Vorgehen/ Datenlücken/ offene Fragen	18
<b>5</b>	<b>Kalkindustrie</b>	<b>18</b>
5.1	Datenlage	19
5.1.1	Eingesetzte Sekundärbrennstoffe	19
5.2	Ermittlung der Emissionsfaktoren	20
5.3	Weiteres Vorgehen/ Datenlücken/ offene Fragen	20
<b>6</b>	<b>Stahlindustrie</b>	<b>20</b>
6.1	Datenlage	21
6.1.1	Eingesetzte Sekundärbrennstoffe	21
6.2	Ermittlung der Emissionsfaktoren	21
6.3	Weiteres Vorgehen/ Datenlücken/ offene Fragen	21
<b>7</b>	<b>Zusammenstellung der zu klärenden Fragen/weiteres Vorgehen</b>	<b>23</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>24</b>
	<b>Anhang</b>	<b>25</b>

# 1 Einführung

Klimarahmenkonvention und Kyoto-Protokoll verpflichten jeden im Annex 1 genannten Vertragsstaat, jährlich über die nationalen Emissionen von Treibhausgasen zu berichten. Hierzu sind tabellarische Treibhausgasinventare und ein Nationaler Inventarbericht vorzulegen. Die Berichterstattung muss vollständig, genau, transparent, konsistent sowie international vergleichbar sein. Zur Verbesserung der Berichtsfähigkeit und zur Verbesserung der Belastbarkeit und Überprüfbarkeit der Emissionsdaten werden seit 2003 identifizierte Probleme und Inventarmängel in einem Inventarplan erfasst und sukzessive einer Lösung zugeführt. So bestehen in den deutschen Inventaren Teilbereiche, in denen undokumentierte Schätzwerte verwendet werden. Mit diesem Forschungsvorhaben sollen Verbesserungen des Inventars im Sektor Energie im Bereich Einsatz von Sekundärbrennstoffen in den wichtigsten Industriebranchen erreicht werden.

Ziel ist die Ermittlung und Bereitstellung von Daten zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in den Branchen

- Stahlindustrie
- Zementindustrie
- Papier-, Pappe- und Zellstoffherstellung und in der
- Kalkindustrie,

über einen Zeitraum, der die Beurteilung längerfristiger Entwicklungen erlaubt und das Basisjahr 1990 und die aktuelle Entwicklung einschließt. Diese Informationen werden als Zeitreihen in die Inventardatenbank eingefügt, wobei insbesondere bei der Berechnung der Emissionen die internationalen Vorgaben sowie die Vorgaben des Qualitätssystems Emissionen zu berücksichtigen sind.

## 1.1 Ziel des Ersten Zwischenberichts

Im hier vorgelegten Ersten Zwischenbericht soll der Sachstand zur Entwicklung des Feinkonzepts dargestellt werden. Er bildet damit die Basis für den weiteren Diskurs mit allen Beteiligten über die weitere Vorgehensweise im Forschungsvorhaben.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine breite Analyse der verfügbaren deutschsprachigen sowie der internationalen Literatur durchgeführt. Außerdem wurden Experten verschiedener Forschungseinrichtungen zum Thema befragt. Auf der Grundlage der bisher durchgeführten Analysen und Befragungen und der derzeit verfügbaren Daten und dem anschließenden Screening wurde das im Folgenden dargestellte Vorgehen entwickelt.

Im letzten Kapitel des vorliegenden Berichts sind die für den weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens zu klärenden Schwerpunkte zusammengestellt.

## 1.2 Definition Sekundärbrennstoffe

Gegenwärtig existiert keine einheitlich angewandte, allgemein akzeptierte Definition der unter dem Begriff Sekundär- oder Ersatzbrennstoffe zusammengefassten Energieträger. Typischerweise werden alle abfallstämmigen Energieträger, die aus ungefährlichen Abfällen, heizwertreichen Reststoffen oder heizwertreichen Fraktionen nicht getrennt erfasster Abfälle aus Industrie, Gewerbe und Haushalten gewonnen werden (Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe) als Sekundärbrennstoffe bezeichnet. Grundsätzlich ist dabei zwischen sog. qualitäts- bzw. gütegesicherten und übrigen Ersatzbrennstoffen zu unterscheiden. Qualitätsgesicherte Sekundärbrennstoffe werden in speziellen Aufbereitungsanlagen aus o.g. Abfallstoffen durch Homogenisieren, Mischen, Trocknen und Pressen gewonnen und stehen vor allem in Industriefeuern in Substitutionskonkurrenz zu den übrigen Sekundärbrennstoffen (wie Altreifen und Altöl).

## 1.3 Abgrenzung zu Regelbrennstoffen (Energiebilanz)

Sekundärbrennstoffe stellen keine Energieträger im eigentlichen Sinne dar. Die Energiebilanz, die in jährlichem Abstand für Deutschland erstellt wird, erfasst vor diesem Hintergrund ausschließlich primäre und sekundäre Energieträger, die aus fossilen und nachwachsenden Regelbrennstoffen bestehen bzw. durch Umwandlung aus diesen gewonnen werden. Energetisch verwertbare Abfälle spielen in der Energiebilanzierung zumindest bislang nur eine untergeordnete Rolle. Erfasst wird (wenn auch nicht vollständig) der Holzverbrauch, der neben Waldbrennholz auch Industrieresthölzer, die in Industriebetrieben verbrannt werden (Energiebilanzspalte Müll und sonstige Biomasse), enthält. Die energetische Verwertung von Altöl, Kunststoffen u.ä. Sekundärbrennstoffen werden in der Energiebilanz gegenwärtig nicht explizit erfasst. Dies liegt nicht zuletzt auch daran, dass die empirischen Grundlagen in diesem Bereich der Statistik bislang nicht gegeben waren. Sobald im Rahmen des vorliegenden Projektes belastbare Informationen zu diesen Sekundärbrennstoffen vorliegen, ist zu prüfen, inwieweit sie in Zukunft in die Energiebilanzierung einfließen könnten.

## 2 Ermittlung der Emissionsfaktoren

Erste Priorität im Forschungsvorhaben hat die Ermittlung der Emissionen der Treibhausgase  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$ .

### 2.1 Kohlendioxid - $\text{CO}_2$

Kohlendioxid ist in nahezu allen Wirtschaftszweigen die mengenmäßig bedeutendste Emissionsquelle, es gilt darüber hinaus als Hauptverursacher des anthropogenen Treibhauseffektes. Hinzu kommt, dass derzeit keine Rückhaltetechniken existieren, die eine Verringerung des  $\text{CO}_2$ -Ausstoßes mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand ermöglichen.

Folglich sind die CO<sub>2</sub>-Freisetzungen ausschließlich an die Verbrennung fossiler Energierohstoffe gebunden, wobei das Emissionsniveau vom Kohlenstoff-Gehalt der eingesetzten Brennstoffe abhängt. Die Emissionsfaktoren einzelner Regelbrennstoffe sind bekannt, sie reichen von 56 Tonnen CO<sub>2</sub>/TJ für Erdgas bis hin zu 112 Tonnen CO<sub>2</sub>/TJ für Braunkohle (UBA, IPCC).

Es besteht allgemeiner Konsens darüber, dass die Energiestatistik (z.B. in Form der Energiebilanz) eine anerkannte Datengrundlage zur Verknüpfung der Energieströme mit spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionkoeffizienten darstellt. Dazu trägt zumindest prinzipiell die Aufteilung des Energieverbrauchs auf einzelne relativ homogene Gruppen von Energieträgern, die zugehörigen einheitlichen Heizwerte zur Umrechnung der physischen Einsatzmengen in Energieäquivalente sowie das konsistente sektorale Gliederungsraaster der Energiebilanz bei.

Im Gegensatz zu den in der Energiebilanz erfassten Regelbrennstoffen (die entweder direkt als primäre Energieträger (Steinkohle, Rohbraunkohle, Erdgas) oder erst nach weiteren Umwandschritten z.B. in Form von Koks, Briketts oder Mineralölprodukten wie Motorenbenzin, Dieselkraftstoff oder Heizöl endgültig verbraucht werden) sind Sekundärbrennstoffe durch ihre eher heterogene chemische Elementarzusammensetzung (und damit sehr unterschiedliche Gehalte an Kohlenstoff, Wasserstoff, Schwefel oder Asche) gekennzeichnet. Vor diesem Hintergrund ist jeder einzelne Sekundärbrennstoff einer genauen Analyse zu unterziehen, um z.B. den gesamten Kohlenstoffgehalt bzw. den Anteil des biogenen Kohlenstoffs im jeweiligen Sekundärbrennstoff bestimmen zu können.

Es liegt auf der Hand, dass angesichts der kaum überschaubaren Vielfalt der aus Abfall gewonnenen Sekundärbrennstoffe eine einheitliche und vor allem flächendeckende Festlegung der CO<sub>2</sub>-Gehalte kaum gegeben ist. Einigermaßen verlässliche Anhaltswerte zur chemischen Elementarzusammensetzung, zu Heizwerten und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren liegen nur vor, sofern diese von den Werken bzw. Wirtschaftszweigen selbst ermittelt wurden, um die Eignung des Sekundärbrennstoffes für die Nutzung im jeweiligen Produktionsprozess feststellen zu können. Es ist deshalb kaum verwunderlich, dass - einmal abgesehen von ausgewählten Wirtschaftszweigen wie z.B. der Stahlindustrie (Lindenberg, H.-U.; Haas, H., et. al. 1996) – keine Publikationen zu den Emissionsfaktoren der in Deutschland eingesetzten Sekundärbrennstoffe vorliegen.

Zu einem ähnlichen Befund kommen auch Schirmer (2005) und Flamme (2005). Allerdings arbeiten in Deutschland gegenwärtig einige Institute daran (Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten der TU Dresden, Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-Management GmbH Ahlen), die Kohlenstoffgehalte und Anteile des biogenen Kohlenstoffs fester Sekundärbrennstoffe zu ermitteln. Die Ergebnisse dieser Analysen liegen jedoch noch nicht vor. Außerdem gibt es auch noch kein abgestimmtes Verfahren zur Bestimmung der Kohlenstoffanteile und Anteile des biogenen Kohlenstoffs. Eine entsprechende Norm wäre die Voraussetzung für ein genaues Berechnungsverfahren der Emissionen auf dieser Basis.

Um die geschilderten empirischen Lücken zu schließen, könnte sich die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Zwischenzeit auf verschiedene Angaben aus der Literatur zu Kohlenstoffanteilen von Sekundärbrennstoffen, die in einer Veröffentlichung des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes zusammengefasst wurden, stützen (ÖWAF 2004). Bei den hier vorliegenden Emissionskennziffern handelt es sich um Betreiberangaben (Zementindustrie, Papierindustrie) und Literaturangaben zu Kohlenstoffanteilen und biogenen Anteilen von Sekundärbrennstoffen. Diesen Angaben liegen Schätzungen und wenige Analyseergebnisse zugrunde und nicht Mess- oder Analysewerte nach einem einheitlichen Verfahren. Entsprechend unterliegen die angegebenen Kohlenstoffanteile einer relativen Unsicherheit. Die Angaben zu den Kohlenstoffgehalten beziehen sich auf die Trockensubstanz des jeweiligen Brennstoffs, der jedoch in dieser Quelle nicht angegeben ist - d.h., der Wasser- oder Feuchtigkeitsgehalt jedes Brennstoffs muss aus anderen Quellen herangezogen werden. Da außerdem der Wassergehalt Schwankungen unterliegt, muss auch bei diesen Angaben von Unsicherheiten ausgegangen werden. Eine weitere Unsicherheit besteht darin, dass zwar allgemein davon ausgegangen wird, dass Angaben des biogenen Massenanteils von Kohlenstoff auch dem tatsächlichen Anteil des biogenen Kohlenstoffs entsprechen, nach Expertenaussage ist dies aber unklar und muss erforscht werden (Flamme, S. 2005). Die Sekundärbrennstoffe werden in den Angaben des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes nach den Bezeichnungen des österreichischen Abfallkatalogs der ÖNORM S 2100 klassifiziert. Die Bezeichnungen der deutschen Industrieverbände erlauben in den meisten Fällen eine Zuordnung entsprechend dem österreichischen Abfallkatalog, wenn dies nicht möglich ist, müssen Analogieschlüsse getroffen werden.

Unter der Berücksichtigung dieser Einschränkungen und Unsicherheiten lassen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für wichtige Sekundärbrennstoffe mit Hilfe der vorhandenen – aber wie geschildert noch unbefriedigenden Daten (v.a. die Angaben des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes) herleiten und erlauben so Emissionsberechnungen. **Ob dieses Vorgehen sinnvoll ist, muss mit dem Auftraggeber geklärt und evtl. im Rahmen von Expertengesprächen abgestimmt werden.**

## 2.2 Nicht-CO<sub>2</sub>-Bereich

Nach IPCC nehmen die Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Verbrennungsvorgängen in der Industrie im Verhältnis zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen quantitativ nur eine geringe Rolle ein. Zudem sind die Emissionen vergleichsweise schwer zu ermitteln, bzw. mit höheren Unsicherheiten verbunden. Grund für die Emissionen liegt meist in der unvollständigen Verbrennung. IPCC gibt hier sowohl für die Tier 1- als auch für die Tier 2-Methodik Emissionsfaktoren an, die jedoch bei guter nationaler Datenlage und Kenntnis über das Emissionsverhalten der Verbrennungstechniken durch adäquate nationale Faktoren oder Werte ersetzt werden können und sollten. – Die Tier 1-Faktoren sind sehr allgemein gehalten und unterscheiden lediglich nach dem Brennstoff, nicht nach der Technologie, während die für Tier 2 angegebenen Faktoren auch nach den einzelnen Verbrennungstechnologien und eingesetzten Brennstoffen differenzieren. Auch vom Umweltbundesamt (UBA 2003) liegen Angaben zu

Emissionsfaktoren von einigen Sekundärbrennstoffen vor, die zur Quantifizierung der Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen herangezogen werden können, vor (siehe Zusammenstellung im Anhang).

### 2.2.1 Methan - CH<sub>4</sub>

Die Methanemissionen aus der Verbrennung bei der Energieerzeugung sind im Vergleich zur Gesamtmethanemission recht gering und können nur mit einer hohen Unsicherheit bestimmt werden. Sie stammen hauptsächlich aus der unvollständigen Verbrennung organischen Materials (Kohlenwasserstoffen), wie Holz, Hausmüll, Holzkohle und anderen Bio-Brennstoffen bei geringen Temperaturen. D.h. bei großen, effizienten und optimal ausgerichteten Verbrennungsanlagen sind die CH<sub>4</sub>-Emissionen sehr gering. Für die hier betrachteten überwiegend größeren und großen industriellen Verbrennungsprozesse bei sehr hohen Temperaturen sind daher nur äußerst geringe Emissionsmengen zu erwarten.

Globale "Default"-Emissionsfaktoren für die Industrie nach Tier 1 werden in den IPCC-Richtlinien mit den in der folgenden Tabelle aufgeführten Werten angegeben.

Tabelle 1: Globale Methan-Emissionsfaktoren für die Verbrennung (zur Energieerzeugung) in der Industrie (CH<sub>4</sub>)

CH <sub>4</sub> Default (uncontrolled) Emission Factors (in kg/TJ)						
Brennstoff	Kohle <sup>(a)</sup>	Erdgas	Öl	Holz/Altholz	Holzkohle	Andere Biomasse und Abfall <sup>(c)</sup>
Verarbeitendes Gewerbe und Bauwirtschaft	10	5	2	30	200 <sup>(b)</sup>	30
(a) Emissionsfaktoren für Braunkohle können erheblich höher sein (b) Emissionsfaktor bezieht sich auf die Verbrennung, nicht auf die Produktion von Holzkohle (c) beinhaltet Haus- und Industrieabfälle sowie Dung und Landwirtschaftsabfälle						

Quelle: IPCC (1996)

### 2.2.2 Distickstoffoxid - N<sub>2</sub>O

Ähnlich wie beim Methan ist auch die Rolle der Distickstoffoxid-Emissionen aus der Verbrennung gering und die Unsicherheit bzgl. der Emissionsfaktoren groß. Bei der Verbrennung wird v.a. im Temperaturfenster von 800 – 1.200 K (527 °C – 927°C) mit einem Maximum bei 1.000 K Distickstoffoxid gebildet. Insbesondere bei der Wirbelschichtfeuerung ist die N<sub>2</sub>O-Bildung verhältnismäßig hoch im Vergleich zur normalen Verbrennung (nach Rentz et al. 1992 und de Soete 1993, In: IPCC 1996).

In der folgenden Tabelle sind die von IPCC (1996) angenommenen Emissionsfaktoren nach Brennstoffen unterteilt für die Industrie aufgelistet. Sie basieren auf verschiedenen Quellen, u.a. von Corinair (1990/1994) und Edgar, dabei wird von IPCC kein Unterschied zwischen industriellen Feuerungen und Kraftwerken der öffentlichen Versorgung gemacht.

Tabelle 2: Globale Distickstoffoxid-Emissionsfaktoren für die Verbrennung (zur Energieerzeugung) in der Industrie (N<sub>2</sub>O)

N <sub>2</sub> O Default (uncontrolled) Emission Factors (in kg/TJ)						
Brennstoff	Kohle <sup>(a)</sup>	Natur/Erdgas	Öl	Holz/Altholz	Holzkohle	Andere Biomasse und Abfall <sup>(c)</sup>
Verarbeitendes Gewerbe und Bauwirtschaft	1,4	0,1	0,6	4 <sup>(b)</sup>	4 <sup>(b)</sup>	4
(a) Emissionsfaktoren für Braunkohle können erheblich höher sein (b) Emissionsfaktor bezieht sich auf die Verbrennung, nicht auf die Produktion von Holzkohle (c) beinhaltet Haus- und Industrieabfälle sowie Dung und Landwirtschaftsabfälle						

Quelle: IPCC (1996)

### 3 Zementindustrie

Der Prozess zur Herstellung von Zement kann als Kombination von Mahl- und Brennvorgängen aufgefasst werden. Beim gegenwärtigen Stand der Technik erfordert die Produktion einer Tonne Zement 2 982 MJ Brennstoffe und 102 kWh elektrische Energie. Bei einer Produktion von 32 Mio. Tonnen ergibt sich daraus für das Jahr 2004 ein Gesamtenergieverbrauch von 107,1 PJ (incl. Sekundäre Brennstoffe). Gemessen am gesamten thermischen Brennstoffverbrauch (95,3 PJ) decken sekundäre Energieträger inzwischen mehr als 42%.; zum Vergleich im Jahr 2001 waren es noch 30% gewesen.

Ursächlich für den hohen spezifischen Energieverbrauch sind die für die Zementproduktion erforderlichen Brennvorgänge mit außerordentlich hohen Prozesstemperaturen. Die bei der Zementherstellung anfallenden CO<sub>2</sub>-Emissionen resultieren zum anderen prozessbedingt aus der Entsäuerung des Rohmehls (Kalzinierungsprozess). Für die in Deutschland üblicherweise eingesetzten Rohstoffrezepturen wird vom VDZ ein spezifischer Emissionsfaktor von 0,53 Tonnen CO<sub>2</sub>/t Klinker aus der Entsäuerung angegeben.

Der thermische Energiebedarf war im Jahr 2004 mit CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 6,5 Mio. Tonnen verbunden, wobei die Sekundärbrennstoffe in dieser Rechnung noch als CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet und deshalb nicht berücksichtigt sind. Die mit der Produktion von 26,3 Mio. Tonnen Klinker im Jahr 2004 verbundenen rohstoffbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen beliefen sich auf 14,9 Mio. Tonnen. Die rohstoffbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Zementproduktion lassen sich im Prinzip nicht durch technische Maßnahmen beeinflussen; sie sind in der Vergangenheit allein durch die Substitution von Zementklinker durch Hüttensand reduziert worden.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bei Hüttensand handelt es sich um Hochofenschlacke, die in einer Schlackengranulationsanlage durch gezielte Abkühlung mit Wasser zu einem feinkörnigen glasartigen Produkt, den granuliertem Hüttensand verarbeitet wird. Hüttensand kann aufgrund seiner latent-hydraulischen Eigenschaften energieintensiv gebrannten Klinker im Verhältnis 1:1 substituieren.

Hingegen können die brennstoffbedingten Emissionen des Zementherstellungsprozesses durch verfahrenstechnische Optimierung beeinflusst werden und variieren deshalb in Abhängigkeit von der gewählten Ofentechnik und vom Alter des Zementofens. Im Einzelnen beeinflussen z.B. :

- das Zementherstellungsverfahren (Trocken-, Halbtrocken- oder Nassverfahren),
- der Drehrohrofentyp und das Vorwärmesystem (Zyklonvorwärmer mit oder ohne Calcinator, Rostvorwärmer),
- die Betriebsweise des Drehrohrofens (Verbund- oder Direktbetrieb bei Zyklonvorwärmersystemen, Betrieb mit oder ohne Bypass),
- die Art der Abluftreinigungsanlagen (NO<sub>x</sub>-Minderungssysteme, SO<sub>2</sub>-Reduzierung, Entstaubungsanlagen) sowie
- die verwendeten Zementrohstoffe (Klinker versus Hüttensand u.ä.) sowie der Brennstoffmix (fossile Regel- oder Sekundärbrennstoffe)

die Höhe der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Emissionswerte liegen aus allen Zementwerken (Emissionserklärungen) vor, allerdings sind keine isolierten Daten - also Emissionswerte, die aus der Verwendung eines bestimmten Brennstoffs resultieren, verfügbar. Die Emissionen aus den Zementwerken charakterisieren also immer den gesamten Prozess. Emissionsmessungen aus der Zeit vor der Verwendung von Sekundärbrennstoffen lassen sich auch nicht zum Vergleich heranziehen, weil der damalige Betriebszustand der Anlagen mit dem heutigen nicht mehr vergleichbar ist. Die Emissionen aus der Zementindustrie, die aus der Verwendung von Sekundärbrennstoffen resultieren, müssen demnach hergeleitet werden.

Bei den Stoffausträgen in die Umwelt, die bei der Zementherstellung entstehen, werden in

- Emissionen (Luft)
- Stoffausträge in das Produkt
- Emissionen (Abwasser)
- Austräge über die entstehenden Abfälle

unterschieden. Im folgenden sollen die Emissionen in die Luft ermittelt werden.

### 3.1 Datenlage

Für die Zementindustrie liegen insgesamt relativ genaue Daten vor. Derzeit sind verfügbar:

- Die insgesamt eingesetzten Sekundärbrennstoffmengen von 1990 bis 2003 in GJ (für die Zeit zwischen 1991 bis 1993 besteht eine Datenlücke, die jedoch durch Schätzungen geschlossen werden kann);
- Für die Jahre ab 1998 liegt der Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Zementindustrie nicht nur als Ganzes, sondern differenziert nach 17 Brennstoffkategorien vor;
- Für alle Sekundärbrennstoffe, die in der Zementindustrie eingesetzt werden liegen ab 1998 Heizwerte vor, so dass sowohl physische Mengen als auch Energieäquivalente ausgewiesen werden können.
- Eine Unterteilung der Zeitreihen nach alten und neuen Bundesländern ist nicht möglich.
- Die vorhandene Datenlage wurde mit dem Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) intensiv erörtert (Herr Dr. V. Hoenig). Gegenwärtig prüft der VDZ, inwieweit er das vorhandene Mengengerüst vervollständigen kann. Angefragt sind jedoch vor allem die mit den jeweiligen Sekundärbrennstoffen verbundenen Emissionsfaktoren. Der VDZ weist in diesem Kontext explizit darauf hin, dass eine Zuschlüsselung der Emissionen zu den einzelnen Inputs (hier Sekundärbrennstoffe) kaum möglich ist. Eine endgültige Antwort/Datenlieferung steht zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch aus.
- Außerdem liegen verschiedene Studien als Datenquellen vor.

### 3.1.1 Arten der eingesetzten Sekundärbrennstoffe

Folgende Sekundärbrennstoffe werden in Deutschland in der Zementindustrie eingesetzt:

- Reifen
- Altöl
- Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen
- Zellstoff-, Papier und Pappe
- Kunststoff
- Verpackungen
- Abfälle aus der Textilindustrie
- Sonstige
- Tiermehle und -fette
- Aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen
- Altholz
- Lösungsmittel
- Teppichabfälle
- Bleicherde
- Klärschlamm
- Sonstige, wie: Ölschlamm und Organische Destillationsrückstände

### 3.2 Ermittlung der Emissionsfaktoren

Es liegen keine Angaben zu Emissionsfaktoren vor. Zur Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Emissionen können aus der Literatur Angaben zu Kohlenstoffgehalten von Sekundärbrennstoffen herangezogen heran gezogen werden, aus denen sich die Emissionen ableiten lassen (ÖWAF 2004). Bei diesen Angaben werden die Sekundärbrennstoffe nach den Bezeichnungen des österreichischen Abfallkatalogs der ÖNORM S 2100 klassifiziert. Die Angaben des VDZ erlauben in den meisten Fällen eine Zuordnung entsprechend dem österreichischen Abfallkatalog, wenn dies nicht möglich ist, müssen Analogieschlüsse getroffen werden. In der folgenden Tabelle sind die Angaben des VDZ und die des ÖWAF zusammengestellt.

Tabelle 3: Zusammenstellung von Angaben zu Sekundärbrennstoffen

Sekundärbrennstoff (Bezeichnung nach VDZ)	Sekundärbrennstoff (Bezeichnung nach ÖNORM), Kohlenstoffanteile angegeben	Herleitung des CO <sub>2</sub> -E-Faktors möglich ja/nein	Bemerkungen
Reifen	Altreifen, -granulat Gummimehl, Gummistaub Gummigranulat	ja	
Altöl	Altöle Altöle	ja	
Fractionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen	Heizwertreiche Fraktion, Brennstoff aus Abfall	Ja, aber große Unsicherheit	weitere Quellen (Albers et al 2002, Harpeng 2005) nutzen
Zellstoff-, Papier und Pappe	Papierfaserreststoffe Altpapierrejekt (Rückstände aus der Altpapierverarbeitung) Rückstände aus der Altpapierverarbeitung Rückstände aus der Zellstoffherstellung Ästestoff (Reststoffe aus der Zellstoffherstellung, Spuckstoff und Äste)	ja	
Kunststoff	Kunststoffabfälle	ja	
Verpackungen	Papieretiketten (Papier und Pappe beschichtet)	ja	
Abfälle aus der Textilindustrie		nein	Es müssen Analogieschlüsse getroffen werden
Sonstige		nein	Angaben müssen noch spezifiziert werden, sonst Analogieschlüsse treffen
Tiermehle und -fette	Futtermittel (Tiermehl) Tiermehl Fette (Tierfett) überlagerte Futtermittel (Tiermehl) Tierfett	ja	

Sekundärbrennstoff (Bezeichnung nach VDZ)	Sekundärbrennstoff (Bezeichnung nach ÖNORM), Kohlenstoffanteile angegeben	Herleitung des CO <sub>2</sub> -E-Faktors möglich ja/nein	Bemerkungen
Aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen	Hausmüll und hausmüllähn. Gewerbeabfall	ja	
Altholz	Altholz (Bau- und Abbruchholz) Bau- und Abbruchholz Holzembellagen u. Abfälle nicht verunreinigt	ja	
Lösungsmittel	k.A. (evtl. Ionenaustauscherharze?) #	nein	Analogieschlüsse müssen getroffen werden, evtl. andere Quelle (LUA 2005) nutzen
Teppichabfälle		nein	Analogieschlüsse müssen getroffen werden
Bleicherde		nein	Analogieschlüsse müssen getroffen werden
Klärschlamm	Vorklärschlamm Überschussschlamm aus der biol. Abwasserbehandlung Fäkalschlamm aus Hauskläranlagen und Sammelgruben anaerob stabilisierter Schlamm (Faulschlamm) aerob stabilisierter Schlamm Klärschlamm aus der Abwasserbehandlung	ja	
Ölschlamm		nein	Analogieschlüsse müssen getroffen werden
Organische Destillationsrückstände	Vorklärschlamm Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung Fäkalschlamm aus Hauskläranlagen und Sammelgruben anaerob stabilisierter Schlamm aerob stabilisierter Schlamm	ja	

Quelle: Eigene Darstellung nach Angaben von VDZ 2005 und ÖWAF 2004

### 3.2.1 Reifen

Für den Sekundärbrennstoff Reifen wurde im folgenden beispielhaft der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor auf der Basis von Literaturangaben zu Kohlenstoffanteilen, siehe Kap. 3.1, hergeleitet. In der folgenden Tabelle sind die Angaben zum Kohlenstoffgehalt von Altreifen zusammengestellt.

Tabelle 4: Darstellung des Kohlenstoffgehalts von Altreifen

Bezeichnung	Quelle	C gesamt	C fossil	C biogen
		(kg C/t TS)	(Massen-%) rel.	(Massen-%) rel.
Altreifen, -granulat	Hackl, A. Mauschitz 2003	645	73%	27%

Quelle: ÖWAF 2004

Es wird von einer Trockensubstanz annähernd 100% in Altreifen ausgegangen (nach ABANDA sind ggf. bis zu 6% Wassergehalt zu berücksichtigen). Unter der Voraussetzung dieser Angaben ergibt sich:

1 Tonne Altreifen = 1 Tonne Trockensubstanz = 0,645 Tonnen Kohlenstoff (davon 0,471 Tonnen fossil und 0,174 Tonnen biogen)

Entsprechend stöchiometrischer Berechnung<sup>1</sup> ergibt sich dann:

CO<sub>2</sub> pro Tonne Altreifen = 0,645 Tonnen Kohlenstoff/12 \* 44  
= 2,365 Tonnen

**Der Emissionsfaktor beträgt 2,365 Tonnen CO<sub>2</sub> (insgesamt) pro Tonne Altreifen. Der biogene Anteil (27%) ist extra auszuweisen.**

Wenn - nach Abstimmung mit dem Auftraggeber - dieses Verfahren mit den dargestellten Unsicherheiten als hinreichend genau eingeschätzt wird, lassen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren auch für die anderen Sekundärbrennstoffe entsprechend herleiten. Die unterschiedlichen Angaben aus der Literatur werden im nächsten Schritt ebenfalls zur Einschätzung der Unsicherheitsbandbreite genutzt.

### 3.3 Weiteres Vorgehen/ Datenlücken/ offene Fragen

Unter der Berücksichtigung der in Kapitel 3 dargestellten Einschränkungen und Unsicherheiten lassen sich die Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub> der Sekundärbrennstoffe in der Zementindustrie mit Hilfe der Angaben des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes herleiten und erlauben so Emissionsberechnungen. **Ob dieses Vorgehen sinnvoll ist, muss mit dem Auftraggeber geklärt und evtl. im Rahmen von Expertengesprächen abgestimmt werden.**

Auch die Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen lassen sich bei Berücksichtigung der Angaben von IPCC und weiteren Datenquellen sowie mittels entsprechender Analogieschlüsse näherungsweise herleiten. Wenn der Zeitrahmen des Forschungsvorhabens es zulässt, lassen sich auch über die Arten und eingesetzten Mengen der unterschiedlichen Sekundärbrennstoffe die darin enthaltenen Schadstoffmengen ermitteln und unter Verwendung von Transfer-

<sup>1</sup> C + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub>, bezogen auf die molare Masse entspricht das: 12g/mol + 32g/mol → 44g/mol  
E-Faktor CO<sub>2</sub> = Kohlenstoffmenge/12 \* 44

faktoren überschlägig die Emissionen der Schadstoffe nach BImSchV abschätzen. Dazu müssen die Angaben des VDZ über die eingesetzten Arten und Mengen von Sekundärbrennstoffen mit den weiteren verfügbaren Daten abgeglichen werden. Anhand der Angaben des VDZ wird davon ausgegangen, dass Sekundärbrennstoffe erst seit 1994 eingesetzt werden.

## 4 Papier-, Pappe- und Zellstoffherstellung

Bei der Papierherstellung wird vor allem thermische Energie in Form von Dampfwärme benötigt, die zu 85% in eigenen Energieerzeugungsanlagen bereitgestellt wird, wobei der überwiegende Teil dieser Anlagen (70%) in Deutschland in Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden. Wärme, die unter Einsatz fester, flüssiger und gasförmiger Brennstoffe erzeugt wird, erfordert vor allem der Prozess des Zellstoffkochens, der Aufschluss des Holzschliffs im Wege thermo-mechanischer Verfahren, vor allem aber die Trocknung der Papierbahn über dampfbeheizte Trockenzylinder auf Trockengehalte bis 95% (Trockenpartie).

Im Jahr 2003 wurden in Deutschland 19,3 Mio. Tonnen Papier, Karton und Pappe produziert. Hierbei wurden 260 PJ thermische und elektrische Energie verbraucht; wobei mehr als 25 PJ dieser Energiemenge durch nachwachsende Sekundärbrennstoffe bereitgestellt wurde. Damit deckt die Branche etwa 20% ihres gesamten Wärmebedarfs aus sekundären Brennstoffen. Aus diesem Energieverbrauch errechnen sich für das Jahr 2003 CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 6,6 Mio. Tonnen (ohne Berücksichtigung nachwachsender Sekundärbrennstoffe).

### 4.1 Datenlage

Für die Papierindustrie liegen folgenden ausgewählte Daten vor:

- Der Einsatz von Sekundärbrennstoffen bei der Papierherstellung liegt für die Jahre 1990 bis 2004 als Zeitreihe vor.
- Es werden sechs Brennstoffkategorien unterscheiden, für die ab 1993 auch Heizwerte angegeben werden können, so dass die Mengenströme für diesen Zeitraum sowohl in natürlichen als auch in Energieäquivalenten angegeben werden können.
- Ergänzt werden die gesamtdeutschen Daten teilweise durch detaillierte Informationen für die alten und neuen Bundesländer in den Jahren zwischen 1990 und 1993. (Diese Angaben sind allerdings nicht sehr belastbar und auch lückenhaft).
- Die vorhandenen Daten zum Sekundärbrennstoffverbrauch der Papierindustrie sind mit dem Verband Deutscher Papierfabriken (VDP) abgestimmt (Herr Dr. R. Thiel und Herr Dr. B. Götz). Zusätzliche oder tiefer disaggregierte Daten zum Sekundärbrennstoffeinsatz kann der Verband nicht bereitstellen. Die Daten zum Sekundärbrennstoffeinsatz werden in jährlichem Abstand in den Leistungsberichten der Papierindustrie publiziert (Leistungsbericht Papier 2004, Bonn).

- Die Gespräche mit dem VDP haben auch gezeigt, dass der weitaus überwiegende Teil der in der Papierindustrie eingesetzten Sekundärbrennstoffe aus Holz- und Zellstofffasern und damit aus nachwachsenden Rohstoffen besteht. Untersuchungen der Papierindustrie selbst zeigen, dass nur 2% des organischen Kohlenstoffs in Papierschlämmen aus nicht nachwachsenden Rohstoffen bestehen. Bei den Deinking-Schlämmen liegt dieser Anteil bei etwa 8%.
- Schadstoffgehalte sind für einige Stoffe aus der Literatur entsprechend EAK-Liste verfügbar.

#### 4.1.1 Eingesetzte Sekundärbrennstoffe

Bei der Papier-, Pappe- und Zellstoffherstellung werden folgende Sekundärbrennstoffe eingesetzt:

- Sulfitablauge (Kochereiabwasserkonzentrat)
- Rinde
- Faser/Deinking-Rückstände (Schlamm)
- übr. Rückstände/Reststoffe wie Altpapierreststoffe, Produktionsrückstände
- Sonstige

#### 4.2 Ermittlung der Emissionsfaktoren

Es liegen keine Verbandsangaben zu Emissionsfaktoren vor. Zur Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Emissionen können Literaturangaben zu Kohlenstoffgehalten von Sekundärbrennstoffen herangezogen werden, aus denen sich die Emissionen ableiten lassen. Bei diesen Angaben werden die Sekundärbrennstoffe nach den Bezeichnungen des österreichischen Abfallkatalogs der ÖNORM S 2100 klassifiziert. Die Angaben des VDP erlauben in den meisten Fällen eine Zuordnung entsprechend dem österreichischen Abfallkatalog, wenn dies nicht möglich ist, müssen Analogieschlüsse getroffen werden. In der folgenden Tabelle sind verfügbare Angaben zu Sekundärbrennstoffen bei der Papier-, Pappe- und Zellstoffherstellung zusammengestellt.

Tabelle 5: Verfügbare Angaben zu Sekundärbrennstoffen bei der Papier-, Pappe- und Zellstoffherstellung

Sekundärbrennstoff (Bezeichnung nach VDP)	Sekundärbrennstoff (Bezeichnung nach ÖNORM), Kohlenstoffanteile angegeben	Herleitung des CO <sub>2</sub> -E-Faktors möglich ja/nein	Bemerkungen
Sulfitablauge (Kochereiabwasserkonzentrat)	Dicklauge	Ja	
Rinde	Rinde	Ja	

Faser/Deinking-Rückstände (Schlamm)	Schlamm aus der mechanischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung Flotat (Schlamm aus der mechanischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung) Mischschlamm Schlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung Faserreststoff (Schlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung)	Ja	
übr. Rückstände/Reststoffe wie Altpapierreststoffe, Produktionsrückstände	Papierfaserreststoffe Rückstände aus der Altpapierverarbeitung Altpapierrejekt (Rückstände aus der Altpapierverarbeitung)	Ja	
Sonstige		Nein	Analogie treffen

Quelle: Eigene Darstellung nach VDP 2005 und ÖWAF 2004

Der Kohlenstoffgehalt kann in den Abfällen aus der Papier-, Pappe- und Zellstoffherstellung stark schwanken entsprechend der eingesetzten Rohstoffe. In den eingesetzten Holzrohstoffen unterscheidet sich der Kohlenstoffgehalt in Abhängigkeit von der Baumart, dem Alter und den Standortbedingungen voneinander. Und auch innerhalb eines Baumes ist der Kohlenstoffgehalt nicht homogen, sondern kann vom Wurzel- über das Ast- bis zum Stammholz stark variieren. Berechnungen geben daher immer einen gemittelten Wert wieder. In der Literatur wird ein mittlerer Kohlenstoffgehalt in der Trockenmasse von Holz von 50% angegeben (Burschel 1993 et al.). Neben dem biogenen Anteil des Kohlenstoffs, der aus den Holz- und Papierreststoffen stammt, muss der fossile Anteil Kohlenstoff, der aus anderen Produktionsreststoffen stammt, bestimmt und der entsprechende Emissionsfaktor ermittelt werden.

Im folgenden werden die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für die in der Papier-, Pappe- und Zellstoffindustrie eingesetzten Sekundärbrennstoffe auf der Basis der angegebenen Kohlenstoffgehalte beispielhaft hergeleitet.

#### 4.2.1 Sulfitablauge

Sulfitablaugen stammen aus dem chemischen Holzaufschluss bei der Zellstoffherstellung. Ihre Zusammensetzung ist beispielhaft in der folgenden Tabelle zusammengesetzt.

Tabelle 6: Zusammensetzung Ca-Bisulfitablauge (Angaben in % vom Feststoff)

Bestandteil	Nadelholz	Laubholz
Lignosulfate	55	42
Hexosen	14	5
Pentosen	6	20
Zuckersäure und Abbauprodukte	12	20
Harze und Extraktstoffe	3	3
Asche	10	10

Quelle: Schwarz 2004

Zur Ermittlung des Kohlenstoffanteils werden Literaturangaben für die Zusammensetzung von Dicklauge (ÖWAF 2004) herangezogen. Dicklauge ist nach Schwarz (Schwarz 2004) eingedickte Sulfitablauge.

Tabelle 7: Kohlenstoffgehalt von Dicklauge

Bezeichnung	Quelle	C gesamt	C fossil	C biogen
		(kg C/t TS)	(Massen-%) rel.	(Massen-%) rel.
Dicklauge	Austropapier 2003	400	0%	100%

Quelle: ÖWAF 2004

Zur Ermittlung des Wassergehalts von Dicklauge – und damit des Feststoffgehalts – wird die Abfallanalytendatenbank des Landes Nordrhein-Westfalen herangezogen ([www.nrw-luawebapps.de](http://www.nrw-luawebapps.de)). Hier ist die statistische Auswertung von Faser- und Papierschlammanalysen von 1980 bis 1995 dokumentiert. Danach haben Faser- und Papierschlämme einen Wassergehalt von 30,6 bis 96,8%, der Median ist 58,7%. Danach wird der Trockensubstanzgehalt von Sulfitablauge mit 41,3% angesetzt. Unter den getroffenen Annahmen gilt dann:

1 Tonne Sulfitablauge = 0,413 Tonnen Trockensubstanz = 0,1652 Tonnen Kohlenstoff

Entsprechend stöchiometrischer Berechnung ergibt sich dann:

CO<sub>2</sub> pro Tonne Sulfitablauge = 0,1652 Tonnen Kohlenstoff/12 \* 44  
= 0,6057 Tonnen

**Der Emissionsfaktor beträgt 0,6057 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne Sulfitablauge.**

Zum Vergleich können Daten des Nationalen Inventar Report Finnland (Finnland 1990) herangezogen werden, der einen Emissionsfaktor von 112 g CO<sub>2</sub> pro MJ Sulfitablauge (Sulphite liquor) angibt.

#### 4.2.2 Rinde

Zum Kohlenstoffgehalt von Rinde liegen verschiedene Angaben vor, die in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind.

Tabelle 8: Zusammenstellung von Kohlenstoffgehalten in Rinde

Bezeichnung	Quelle	C gesamt	C fossil	C biogen
		(kg C/t TS)	(Massen-%) rel.	(Massen-%) rel.
Rinde	VEÖ 2003	450-550	0%	100%
Rinde	Baumeler, A., Brunner, P.H. 19998	486-507	0%	100%
Rinde	o. A.	492	0%	100%

Quelle: ÖWAF 2004

Die Bandbreite der Kohlenstoffgehalte schwankt zwischen 450 bis 550 Kilogramm Kohlenstoff pro Tonne Rinde. Mangels genauerer Daten wird der Mittelwert von 500 Kilogramm Kohlenstoffanteil pro Tonne Rinde Trockensubstanz angesetzt. Entsprechend einer Klassifizierung von Holzbrennstoffen aus Finnland (Impola 1998) hat NadelholZRinde einen Feuchtigkeitsgehalt von 50-65% und LaubholZRinde von 45-55% (bezogen auf fällt-frische Rinde). Zur Ermittlung des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors für Rinde wird ein durchschnittlicher Feuchtigkeitsgehalt von 47,5% unterstellt (Anteil Laub- und NadelholZRinde gleich, nur z.T. fällt-frisch). Unter der Voraussetzung der getroffenen Annahmen gilt dann:

$$1 \text{ Tonne Rinde} = 0,525 \text{ Tonne Trockensubstanz} = 0,2625 \text{ Tonnen Kohlenstoff}$$

Unterstellt man, dass die gesamte Menge Kohlenstoff verbrannt wird, ergibt sich entsprechend stöchiometrischer Berechnung

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ pro Tonne Rinde} &= 0,2625 \text{ Tonnen Kohlenstoff}/12 * 44 \\ &= 0,9625 \text{ Tonnen} \end{aligned}$$

**Der Emissionsfaktor beträgt 0,9625 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne Rinde.**

#### 4.2.3 Faser/Deinking-Rückstände (Schlamm)

Faser- und Papierschlämme sind fasrige, wasserhaltige Schlämme, die Kurzfasern und Füllstoffe und z.T. Beimengungen wie Farb-, Pigment- und Klebstoffpartikel enthalten. Deinkingschlämme fallen beim Altpapierrecycling als Sonderform der Papierschlämme an. Sie entstehen beim Deinking-Prozess, d.h. während der Druckfarbenentfernung und enthalten prozessbedingt einen hohen Anteil an Druckfarben, Pigmenten und Füllstoffen.

Aus der Literatur sind verschiedene Angaben zum Kohlenstoffgehalt von Schlämmen aus der Zellstoff- und Papierherstellung verfügbar, die in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind.

Tabelle 9: Zusammenstellung der Kohlenstoffgehalte von Schlämmen aus der Papier- und Zellstoffherstellung

Bezeichnung	Quelle	C gesamt	C fossil	C biogen
		(kg C/t TS)	(Massen-%) rel.	(Massen-%) rel.
Schlamm aus der mechanischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung	VEÖ, 2003	350-450	0%	100%
Flotat (Schlamm aus der mechanischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung)	Austropapier 2003	242	0%	100%
Mischschlamm	Austropapier 2003	150	0%	100%
Schlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung	VEÖ, 2003	350-450	5%	95%

Faserreststoff (Schlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung)	Austropapier 2003	323	0%	100%
---	-------------------	-----	----	------

Quelle: ÖWAF 2004

Die Angaben schwanken zwischen 150 Kilogramm Kohlenstoff pro Tonne Mischschlamm bis 450 Kilogramm Kohlenstoff pro Tonne Schlamm aus der biologischen und mechanischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung. Da keine genaueren Angaben vorliegen, wird von ein mittlerer Kohlenstoffgehalt von 300 Kilogramm pro Tonne Schlamm (Trockensubstanz) angesetzt. Zur Ermittlung der Trockensubstanz wird die Abfallanalysendatei ABANDA des Landesumweltamtes NRW herangezogen. In ABANDA sind Analysen zu überwachungspflichtigen Abfällen zusammengefasst. Auch zu den produktionsspezifischen Abfällen aus der Papierindustrie wurden Daten aus den Jahren 1980 bis 1995 ausgewertet. Die Angaben sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 10: Darstellung des Wassergehalts von Deinking- sowie Faser- und Papierschlamm

	Deinkingschlamm		Faser- und Papierschlamm	
	Min. – Max.	Median	Min. – Max.	Median
Wassergehalt (%)	43,2 – 74,7	58,3	30,6 – 96,8	58,7

Quelle: ABANDA 2004

Da keine genaueren Daten vorliegen, wird ein Wassergehalt von Schlämmen von 58,5% angesetzt. Unter der Voraussetzung der getroffenen Annahmen gilt dann:

1 Tonne Schlamm = 0,415 Tonnen Trockensubstanz = 0,1245 Tonnen Kohlenstoff

Unterstellt man, dass die gesamte Menge Kohlenstoff verbrannt wird, ergibt sich entsprechend stöchiometrischer Berechnung:

CO<sub>2</sub> pro Tonne Schlamm = 0,1245 Tonnen Kohlenstoff/12 \* 44  
= 0,4565 Tonnen

**Der Emissionsfaktor beträgt 0,4565 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne Faser- und Deinking-Schlämme.**

#### 4.2.4 Übr. Rückstände/Reststoffe wie Altpapierreststoffe, Produktionsrückstände

Da keine genaueren Daten des VDP über die Art der eingesetzten Reststoffe vorliegen, werden näherungsweise Angaben des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes zu Kohlenstoffgehalten von Papierfaserreststoffen und Rückständen aus der Altpapierverarbeitung verwendet. Diese Angaben sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 11: Zusammenstellung der Kohlenstoffgehalte von Papierfaserreststoffen

Bezeichnung	Quelle	C gesamt	C fossil	C biogen
		(kg C/t TS)	(Massen-%) rel.	(Massen-%) rel.
Papierfaserreststoffe	Hackl, Mauschitz 2003	181	0%	100%
Rückstände aus der Altpapierverarbeitung	VEÖ, 2003	200-300	5%	95%
Altpapierrejekt (Rückstände aus der Altpapierverarbeitung)	Austropapier 2003	531	40%	60%

Quelle: ÖWAF 2004

Wenn entsprechend dem in den voran gestellten Kapiteln dargestelltem Verfahren vorgegangen werden soll, ist der Wassergehalt zu bestimmen und – wie oben dargestellt – der Emissionsfaktor zu ermitteln.

#### 4.2.5 Sonstige

Wenn vom VDP keine spezifischen Angaben vorgelegt werden, müssen Analogieschlüsse getroffen werden.

#### 4.3 Weiteres Vorgehen/ Datenlücken/ offene Fragen

Unter der Berücksichtigung der in Kapitel 3 dargestellten Einschränkungen und Unsicherheiten lassen sich die Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub> der Sekundärbrennstoffe in der Papierindustrie mit Hilfe der Angaben des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes und entsprechenden Analogieschlüssen herleiten und erlauben so Emissionsberechnungen. Ob dieses Vorgehen sinnvoll ist, muss mit dem Auftraggeber geklärt und evtl. im Rahmen von Expertengesprächen abgestimmt werden. Auch die Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen lassen sich bei Berücksichtigung der Angaben von IPCC und weiteren Datenquellen und entsprechenden Analogieschlüssen näherungsweise herleiten. Die in den eingesetzten Brennstoffen enthaltenen Schadstoffmengen können anhand der verfügbaren Daten ermittelt werden. Wenn der Zeitrahmen im Forschungsvorhaben es zulässt, können die Anteile der Schadstoffe, die emittieren, über Transferfaktoren ermittelt werden.

## 5 Kalkindustrie

Die Herstellung von Kalk lässt sich in drei Verfahrensstufen aufteilen: Auf der ersten Stufe findet die Exploration, Gewinnung und Aufbereitung des Kalksteins statt. Das gereinigte und klassierte Korngemisch wird beim Schachtofenbetrieb, der vorherrschenden Brenntechnik, im zweiten Schritt auf der Gichtbühne des Ofens aufgegeben. Das Kalkgestein, das hauptsächlich aus Calciumcarbonat besteht, sinkt nach unten durch den Schacht; dort wird das Calciumcarbonat in einem Entsäuerungsprozess (bei Temperaturen bis 1 150 °C) unter Abgabe von CO<sub>2</sub> zu Calciumoxid (CaO) stofflich umgewandelt. Das Ergebnis wird als Branntkalk bezeichnet und am unteren Ende des Schachtofens abgezogen. Branntkalk

gelangt entweder stückig, zu Feinkalk gemahlen (dritte Stufe) oder als Kalkhydrat in den Versand.

Die Produktion von 6,5 Mio. Tonnen Kalk im Jahr 2003 erforderte den Einsatz von Brennstoffe mit einem Energieäquivalent von 27,7 PJ. Zusätzlich verbrauchte die Kalkindustrie im Jahr 2003 etwa 2,4 PJ sekundäre Brennstoffe, so dass der Anteil dieser Brennstoffe am gesamten Brennstoffbedarf etwa ein Niveau von 8% erreicht. Allein der Regelbrennstoffeinsatz für Kalkproduktion war mit CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 2,3 Mio. Tonnen verbunden.

## 5.1 Datenlage

Die Mitverbrennung von Sekundärbrennstoffen in der Kalkindustrie ist in Europa selten, mehrheitlich werden Regelbrennstoffe eingesetzt (UBA 2001 nach Prognos). In NRW gibt es keine Genehmigung zum energetischen Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Kalkindustrie (MUNLV 2001). Aus der Kalkindustrie liegen derzeit folgende Daten vor:

- Der Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Kalkindustrie wurde für das Berichtsjahr 2003 erstmalig erfasst.
- Es werden im Wesentlichen sechs Brennstoffkategorien unterschieden, für die auch entsprechende Heizwerte vorliegen.
- Der Bundesverband der deutschen Kalkindustrie (BVK) weist darauf hin, dass die Kalkindustrie Sekundärbrennstoffe nur in geringem Umfang einsetzt (Ansprechpartner Herr Dr. von Landsberg und Herr Dr. Fuchs). Da die Qualitäten und chemischen Beschaffenheit der verbrauchten Sekundärbrennstoffe von Jahr zu Jahr aber auch von Werk zu Werk stark schwanken, sieht sich der Verband nicht in der Lage, Emissionskoeffizienten für die verbrauchten Sekundärbrennstoffe anzugeben.
- Der BVK erhebt die Daten zum Sekundärbrennstoffeinsatz in der Kalkindustrie anlässlich der jährlichen Berichtserstattungspflichten im Rahmen der CO<sub>2</sub>-Selbstverpflichtungserklärung der deutschen Wirtschaft (CO<sub>2</sub>-Monitoring), so dass zumindest über die Laufzeit der Selbstverpflichtungserklärung eine Fortführung dieser Angaben gesichert erscheint.

Die Kalkindustrie schließt nicht aus, dass der Einsatz sekundärer Brennstoffe in Zukunft eine größere Bedeutung gewinnen könnte. Entscheidend für eine Ausweitung des Sekundärbrennstoffanteils in der Kalkindustrie dürften neben verfahrenstechnischen und genehmigungsrechtlichen Aspekten vor allem ökonomische Faktoren sein. Im Gegensatz zur Zementindustrie setzt die Kalkindustrie vorwiegend aschearme Sekundärbrennstoffe ein. Der Markt für geeignete Sekundärbrennstoffe ist auf der Anbieterseite eng begrenzt. Für den Kalkproduzenten stellt sich also zunächst die Frage, ob eine gesicherte und preiswürdige Versorgung mit geeigneten Sekundärbrennstoffen langfristig gegeben ist.

### 5.1.1 Eingesetzte Sekundärbrennstoffe

- Altöl

- Recyclingöl
- Tierfett
- BPG
- Warmbrennstoff
- Ersatzbrennstoff

## 5.2 Ermittlung der Emissionsfaktoren

Tabelle 12: Verfügbare Angaben zu Sekundärbrennstoffen in der Kalkindustrie

Sekundärbrennstoff (Bezeichnung nach BVK)	Sekundärbrennstoff (Bezeichnung nach ÖNORM), Kohlenstoffanteile angegeben	Herleitung des CO <sub>2</sub> -E-Faktors möglich ja/nein	Bemerkungen
Altöl	Altöl	ja	
Recyclingöl	Altöl	ja	
BPG (produktionsspezifische Gewerbeabfälle)		nein	Analogieschlüsse finden
Warmbrennstoff		nein	Analogieschlüsse finden
Ersatzbrennstoff	Heizwertreiche Fraktion (Brennstoff aus Abfall)	ja	

Quelle: eigene Darstellung nach BVK 2005 und ÖWAF 2004

## 5.3 Weiteres Vorgehen/ Datenlücken/ offene Fragen

Unter der Berücksichtigung der in Kapitel 3 dargestellten Einschränkungen und Unsicherheiten lassen sich die Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub> der Sekundärbrennstoffe in der Kalkindustrie mit Hilfe der Angaben des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes und entsprechenden Analogieschlüssen herleiten und erlauben so Emissionsberechnungen. Ob dieses Vorgehen sinnvoll ist, muss mit dem Auftraggeber geklärt und evtl. im Rahmen von Expertengesprächen abgestimmt werden. Auch die Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen lassen sich bei Berücksichtigung der Angaben von IPCC und weiteren Datenquellen und entsprechenden Analogieschlüssen näherungsweise herleiten.

## 6 Stahlindustrie

Die Stahlindustrie gehört mit zu den rohstoff- und energieintensivsten Wirtschaftsbereichen. Neben metallischen und mineralischen Rohstoffen werden bei der Stahlerzeugung erhebliche Mengen an Energierohstoffen eingesetzt. Zur Oxygen- und Elektrostahlerzeugung verbrauchte die Branche im Jahr 2003 rund 592 PJ fossile Energieträger und 21,6 TWh bzw. 77,8 PJ elektrische Energie. Darüber hinaus verbrauchte die Stahlindustrie 2003 etwa 5,5 PJ sekundäre Brennstoffe. Gemessen am gesamten Reduktionsmittel- und Brennstoffverbrauch der Stahlerzeugung decken sekundäre Reduktionsmittel also gegenwärtig einen Anteil von 1%. Kohlenstoffhaltige Energieträger dienen in der Stahlindustrie aufgrund der besonderen Produktionsverhältnisse des Eisenerzreduktionsprozesses

überwiegend als Rohstoff bzw. Reduktionsmittel und nur zum Teil als Brennstoff für die verschiedenen Hochtemperaturprozesse.

Die Unternehmen der Stahlindustrie produzierten im Jahr 2004 etwa 37,5 Mio. Tonnen Walzstahl bzw. 46,4 Mio. Tonnen Rohstahl. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Einsatz von kohlenstoffhaltiger Reduktionsmittel und Brennstoffe lagen bei 53 Mio. Tonnen; für die spezifischen Emissionen folgt daraus ein Wert von 1.413 kg CO<sub>2</sub> bezogen auf Walzstahl bzw. von 1.142 kg CO<sub>2</sub> bezogen auf die Produktion von Rohstahl.

## 6.1 Datenlage

In der Stahlindustrie werden Sekundärbrennstoffe nur zur Erzeugung von Roheisen im Hochofenprozess eingesetzt. Hier fungieren diese Stoffe im Wesentlichen als Ersatzreduktionsmittel (anstelle von Koks). Eingesetzt werden Tiermehl, Altkunststoffe oder SLF (im Versuchsbetrieb). Nach derzeitigem Kenntnisstand werden 2003 von insgesamt 15 betriebenen Hochöfen 7 mit Kohle, einer mit Schweröl, einer mit Schweröl und Tierfett und drei mit Schweröl und Altkunststoff als Ersatzreduktionsmittel betrieben. Die Wirtschaftsvereinigung Stahl (Herr Dr. H. Aichinger und Herr Dr. R. Hömann) hat zugesagt, die eingesetzten Mengen an Ersatzreduktionsmitteln, deren Heizwerte sowie die Emissionsfaktoren nach Rücksprache mit dem Hochofenausschuss zu liefern. Diese Daten liegen inzwischen vor.

### 6.1.1 Eingesetzte Sekundärbrennstoffe

Nach derzeitigem Kenntnisstand werden

- Tiermehl und
- Kunststoffe

eingesetzt.

## 6.2 Ermittlung der Emissionsfaktoren

Für alle in der Stahlindustrie eingesetzten Sekundärbrennstoffe wurden von der Wirtschaftsvereinigung Stahl über die gesamte Zeitreihe CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren angegeben, die zur Ermittlung der Emissionen herangezogen werden können. Diese Emissionsfaktoren sind als Analysewerte der Input-Stoffe zu verstehen.

## 6.3 Weiteres Vorgehen/ Datenlücken/ offene Fragen

Unter der Berücksichtigung der von der Stahlindustrie bereit gestellten Emissionsfaktoren lassen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen der eingesetzten Sekundärbrennstoffe näherungsweise ermitteln. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die bei der Metallherstellung als Nebenpro-

dukt anfallenden Gase (Gichtgas, Konvertergas) als Energieträger in der jeweiligen Anlage oder in anderen Anlagen verwendet werden. Um Doppelzählungen von Emissionen zu vermeiden, muss abgeschätzt werden, welcher Anteil des CO<sub>2</sub> emittiert. Auch die Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen lassen sich bei Berücksichtigung der Angaben von IPCC und weiteren Datenquellen und entsprechenden Analogieschlüssen näherungsweise herleiten.

## 7 Zusammenstellung der zu klärenden Fragen/weiteres Vorgehen

### Ermittlung von Zeitreihen:

- Es wird angestrebt, Zeitreihen in erster Näherung für möglichst homogene Sekundärbrennstoffe zu erhalten. Auf dieser Basis wird zunächst davon ausgegangen, dass die stoffliche Zusammensetzung sowie die resultierenden Emissionsfaktoren über den Betrachtungszeitraum stabil gewesen sind.

### CO<sub>2</sub>:

- Auf Basis der noch schwierigen Datenlage abschätzen
- In Expertengesprächen mit den Industrieverbänden validieren
- Internationale Vergleichswerte/Verfahren (z.B. NIR) heranziehen
- Unsicherheitsbandbreiten abschätzen
- Prüfen, ob anfallende Gase als Energieträger in anderen Prozessen verwendet werden (Gichtgas), um Doppelzählungen zu vermeiden

### CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O:

- IPCC default-Faktoren verwenden
- Expertenschätzung, welcher Faktor für welchen Brennstoff angemessen scheint
- Internationale Vergleichswerte/Verfahren heranziehen
- Unsicherheitsbandbreiten abschätzen
- Mit Verbänden ggf. genauere Datenquellen abklären

### Schadstoffe / Schwermetalle / Säurebildner:

- Diskussion näher erläutern
- Gehalte und Einbindungsfaktoren erforderlich
- Angaben nur sehr lückenhaft vorhanden
- Vorschlag: nicht im Detail verfolgen

## Literaturverzeichnis

- ABANDA: Abfallanalysendatenbank des Landes Nordrhein-Westfalen [www.nrw-luawebapps.de](http://www.nrw-luawebapps.de), Auszug: [www.lua.nrw.de/abfall/bewertung/DBSpuckstoffe.pdf](http://www.lua.nrw.de/abfall/bewertung/DBSpuckstoffe.pdf)
- Albers, H., Eckardt, S., Bilitewski, B. Schirmer, M. 2002: Ökonomische Vorteile bei der energetischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen aus Restabfällen unter Berücksichtigung des EU-Richtlinienvorschlages zum Emissionshandel. Beitrag in „Müll und Abfall“ 12/2002
- Boström, S. (1994). Greenhouse Gas Inventory, Finland 1990. Energy and Industry.
- Boström, S., Bachman, R. and Hupa, M. (1992). Greenhouse Gas Emissions in Finland 1988 and 1990; Energy, Industrial and Transport Activities.
- Burschel P.; Kürsten, E.; Larson, B.C. 1993: Die Rolle der Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt – Eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 26. Freising 1993
- Finnland 1990: Nationaler Inventar Report Finnland
- Flamme, S. 2005: Information auf eine persönliche Anfrage von Dr.-Ing. Sabine Flamme INFA - Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur- Management GmbH Ahlen. Ahlen 2005
- Harpeng 2005: Information auf eine persönliche Anfrage von Dipl.-Ing. (FH) Jens Harpeng, Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH. Clausthal-Zellerfeld 2005
- Impola, R. 1998: Quality Assurance Manual for Solid Wood Fuels. FINBIO, Publikation 5. Jyväskylä: VTT Energie, 1998. 33p. ISSN 1239-4874, ISBN 952-5135-04-7. Auszug: [www.tekes.fi/opet/pdf/puulaatuluokitUSD.pdf](http://www.tekes.fi/opet/pdf/puulaatuluokitUSD.pdf)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996): IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reporting Instructions, Bracknell
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996): IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories: Workbook, Bracknell
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996): IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual, Bracknell
- Lindenberg, H.-U.; de Hass, H.; Juchhoff, W., Janz, J., Reimer, G. und Weiss, W. (1996); Rohstoffliches Recycling von Kunststoffen als Reduktionsmittel im Hochofen, Stahl und Eisen 116, S. 89-93.
- LUA 2005: Zuarbeit auf eine persönliche Anfrage an Herrn Kobs, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Fachbereich 81: Anlageninformationen, Emissionskataster. Essen 2005
- MUNLV 2001: Abfallverwertung in Industrieanlagen. Untersuchung über die energetische und stoffliche Verwertung von Abfällen in der Zementindustrie, bedeutenden Abfällen und der Metallindustrie. Erstellt von PROGNO AG im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW. Düsseldorf 2005
- ÖWAF 2004: Liste aus Betreiberangaben und Literaturangaben zu Kohlenstoffgehalten und biogenen Anteilen von Ersatzbrennstoffen. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband Fachgruppe Abfallwirtschaft und Altlastensanierung. Wien 2004
- Schirmer, M. 2005: Information auf eine persönliche Anfrage von Mathias Schirmer, Dipl.-Ing. am Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten der TU Dresden. Pirna 2005
- Schwarz 2004: Untersuchungen zum Einsatz biogener Ligninklebstoffe bei Massivholzverklebungen. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Vorgelegt von Katrin Ursula Schwarz. Kiel 2004
- UBA 2001: Untersuchung der Umweltauswirkungen des Einsatzes von Abfällen außerhalb thermischer Abfallbehandlungsanlagen. Abschlußbericht im Forschungsvorhaben FKZ: 298 343 25 erstellt von PROGNO AG im Auftrag des Umweltbundesamts. Berlin 2001
- Umweltbundesamt (2003): Emissionsfaktoren der Treibhausgase CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>. Persönliche Zuarbeit auf eine Anfrage. Berlin

## Anhang

Tabelle 13: Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O für 1A2– Industrie

E- Bi- lanz	Anlagentechnik	Brennstoff	tCO <sub>2</sub> /TJ	kgCH <sub>4</sub> /TJ	kgN <sub>2</sub> O/TJ
12	Stromerzeugung in MVA der übrigen Industriewärmeleistung	SULFITABLAUGE	0	3,9	3
60	Wärmeerzeugung in MVA der IKW des verarb. Gewerbes und übr. Bergbaus	SULFITABLAUGE	0	3,9	3
12	Stromerzeugung in GFA der Raffineriekraftwerke	AND. MINERALÖLPROD.	80	3,5	1
12	Stromerzeugung in MVA der Grubenkraftwerke	INDUSTRIEMÜLL	20	3,9	3
12	Stromerzeugung in MVA der übrigen Industriewärmeleistung	INDUSTRIEMÜLL	20	3,9	3
60	Wärmeerzeugung in MVA der IKW des verarb. Gewerbes und übr. Bergbaus	INDUSTRIEMÜLL	20	3,9	3
60	Wärmeerzeugung in MVA der IKW des verarb. Gewerbes und übr. Bergbaus	INDUSTRIEMÜLL	20	3,9	3

Quelle: UBA 2003

**FuE FKZ 204 42 203/02**

## **Umsetzung des Inventarplanes und nationale unabhängige Überprüfung der Emissionsinventare für Treibhausgase, Teilvorhaben 02**

# **„Einsatz von Sekundärbrennstoffen“**

Zweiter Zwischenbericht

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Wuppertal und  
Münster,  
September 2005

**bearbeitet von:**

Dipl.-Geogr. Carmen Dienst  
Dipl.-Geogr. Stefan Lechtenböhmer  
Dipl.-Ing. Sabine Nanning  
- Wuppertal Institut -  
Dipl.-Vw. Bernhard Hillebrand  
Dipl.-Oek. Hans-Georg Buttermann  
- EEFA GmbH -

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen  
Forschungsgruppe Energie-, Verkehrs- und Klimapolitik  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal  
Tel. 0202/2492-164, -143, -129  
Fax 0202/2492-198  
Email:  
[carmen.dienst@wupperinst.org](mailto:carmen.dienst@wupperinst.org)  
[stefan.lechtenboehmer@wupperinst.org](mailto:stefan.lechtenboehmer@wupperinst.org)  
[sabine.nanning@wupperinst.org](mailto:sabine.nanning@wupperinst.org)

## **INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>KURZBESCHREIBUNG AP 3.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>FESTLEGUNG VON BEZEICHNUNGEN FÜR SEKUNDÄRBRENNSTOFFE .</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>FESTLEGUNG DER DESKRIPTOREN.....</b>	<b>4</b>

## 1 Einführung

Im Forschungsvorhaben ist nach Abschluss des Arbeitspaketes 3 – Aufbau von Datenzeitreihen – ein Zweiter Zwischenbericht vorzulegen. In Abstimmung mit dem Auftraggeber werden in diesem Zwischenbericht die im Arbeitspaket ermittelten Teilergebnisse im folgenden tabellarisch dokumentiert.

## 2 Kurzbeschreibung AP 3

Im AP 3 wurden die kompletten Zeitreihen für die Aktivitätsdaten (Massenströme der Sekundärbrennstoffe in den relevanten Branchen) sowie die Emissionsfaktoren nach Maßgabe des Feinkonzepts ermittelt und durch Verschlagwortung entsprechend dem DECOR-Handbuch charakterisiert. Die Ermittlung erfolgte durch Recherchen bei den Verbänden und ergänzende eigene Analysen und Abschätzungen. Innerhalb von AP 3 wurden zwei Teilarbeitspakete unterschieden:

AP 3.1: Aufbau von Zeitreihen zu den Massenströmen der Sekundärbrennstoffe

Ziel dieses Arbeitsschrittes war die lückenlose Erfassung der eingesetzten Sekundärbrennstoffe in den einzelnen Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes über einen Zeitraum von 1990 bis 2004.

AP 3.2: Ermittlung geeigneter Emissionsfaktoren für wesentliche Sekundärbrennstoffe

Basierend auf der im Feinkonzept entwickelten Differenzierung und Priorisierung wurden in diesem Arbeitspaket die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren der eingesetzten Sekundärbrennstoffe ermittelt. Die entsprechenden Unsicherheitsbandbreiten wurden mit der Monte-Carlo-Methode modelliert.

Im Ergebnis wurden pro Branche und Brennstoff Zeitreihen für Aktivitätsraten/Primäraktivitätsraten, Emissionsfaktoren mit oberen und unteren Bandbreiten und Splitfaktoren von biogenen Kohlenstoffanteilen generiert.

## 3 Festlegung von Bezeichnungen für Sekundärbrennstoffe

Der Aufbau von Datenzeitreihen für Sekundärbrennstoffe zur anschließenden Implementierung ins ZSE erfordert die Festlegung von eindeutigen Bezeichnungen für Sekundärbrennstoffe. Diese sind im folgenden zusammengefasst dargestellt.

Ersatzbrennstoff (Bezeichnung nach Verbands-Angaben)	Festlegung der Bezeichnung für ZSE
<b>Zementindustrie</b>	
Reifen	Altreifen Altreifen, biogen Altreifen, fossil
Altöl	Altöl
Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen Zellstoff-, Papier und Pappe	Gewerbeabfall Papier Gewerbeabfall Papier, biogen Gewerbeabfall Papier, fossil
Kunststoff	Gewerbeabfall Kunststoff
Verpackungen	Gewerbeabfall Verpackungen Gewerbeabfall Verpackungen, biogen Gewerbeabfall Verpackungen, fossil
Abfälle aus der Textilindustrie	Textilabfälle Textilabfälle, biogen Textilabfälle, fossil
Sonstige	Gewerbeabfall sonstiger Gewerbeabfall sonstiger, biogen Gewerbeabfall sonstiger, fossil
Tiermehle und -fette	Tiermehle und -fette
Aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen	Siedlungsabfall aufbereitet Siedlungsabfall aufbereitet, biogen Siedlungsabfall aufbereitet, fossil
Altholz	Holzabfälle (Resthölzer) (nicht als Deskriptor aufnehmen, da schon im ZSE vorhanden)
Lösungsmittel	Lösemittel (Abfall)
Teppichabfälle	Teppichabfälle Teppichabfälle, biogen Teppichabfälle, fossil
Bleicherde	Bleicherde
Klärschlamm	Klärschlamm
Sonstige, wie: Ölschlamm Organische Destillationsrückstände	Ölschlamm
<b>Papierindustrie</b>	
Sulfitablauge	Ablaugen Zellstoffherstellung
Rinde	Rinde
Faser/Deinking-Rückst.	Faser/Deinking-Rückstände
übr. Rückstände	Rückstände Papierindustrie Rückstände Papierindustrie, biogen Rückstände Papierindustrie, fossil
<b>Kalkindustrie</b>	
Altöl	Altöl
Recyclingöl	
Tierfett	Tiermehle und -fette
BPG	Gewerbeabfall sonstiger
Warmbrennstoff	Gewerbeabfall sonstiger, biogen
Ersatzbrennst.	Gewerbeabfall sonstiger, fossil
Ersatzbrennst.	
<b>Roheisenherstellung</b>	
Altkunststoff 1	Altkunststoff 1
Altkunststoff 2	Altkunststoff 2
Tierfett	Tierfett
Tiermehl	Tiermehl
SLF1	Schredderleichtfraktion 1
SLF2	Schredderleichtfraktion 2
SLF3	Schredderleichtfraktion 3
SLF4	Schredderleichtfraktion 4
SLF5	Schredderleichtfraktion 5
SLF6	Schredderleichtfraktion 6
SLF7	Schredderleichtfraktion 7

## 4 Festlegung der Deskriptoren

Um die Aktivitätsdaten im ZSE eindeutig zu implementieren, müssen neue, noch nicht im ZSE vorhandene Deskriptoren definiert werden. Die Deskriptoren für die Dimensionen Material, sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Langname	ID: Kurzbezeichnung	Kommentar	Baumzuordnung (Auswahl vornehmen)
Altreifen	AR		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Altreifen, biog	ARB		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Altreifen, fossi	ARF		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Altöl	AÖ		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Gewerbeabfall	GEWABFPAP		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Gewerbeabfall	GEWABFPAPB		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Gewerbeabfall	GEWABFPAPF		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Gewerbeabfall	GEWABFKST		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Gewerbeabfall	GEWABFVERP		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Gewerbeabfall	GEWABFVERPB		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Gewerbeabfall	GEWABFVERPF		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Textilabfälle	TEXABF		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Textilabfälle, b	TEXABFB		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Textilabfälle, fd	TEXABFF		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Gewerbeabfall	GEWABFS		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Gewerbeabfall	GEWABFSB		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Gewerbeabfall	GEWABFSF		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Tiermehle und	TMUF		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Siedlungsabfall	SABFAUF		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Siedlungsabfall	SABFAUFB		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Siedlungsabfall	SABFAUFF		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Lösemittel (Ab	LMABF		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Teppichabfälle	TABF		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Teppichabfälle	TABFB		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Teppichabfälle	TABFF		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Bleicherde	BE		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Klärschlamm	KS		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Ölschlamm	ÖS		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Ablaugen Zells	ZSTABL		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Rinde	RI		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Faser-/Deinking	FSDEINRST		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Rückstände Pa	RSTPAP		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Rückstände Pa	RSTPAPB		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass
Rückstände Pa	RSTPAPF		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Altkunststoff	AKST		IPCC-CRF Fuel Categories: other fuels
Tierfett	TF		IPCC-CRF Fuel Categories: biomass

Für die Dimensionen Strukturelement, Produkt und Betriebsart wurden folgende Deskriptoren definiert:

Langname	ID: Kurzbezeichnung	Kommentar	Baumzuordnung
Herstellung von Zellstoff u. Papier (Prozessfeuerung)	INPFZEL		1A2d

Langname	ID: Kurzbezeichnung	Kommentar	Baumzuordnung
Zellstoff und Papier	ZSTPAP		

Langname	ID: Kurzbezeichnung	Kommentar	Baumzuordnung
Zellstoff- u. Papierherstellung	INPFZEL		

Die hier im 2. Zwischenberichts dokumentierten Teilergebnisse ermöglichen die Implementierung der Daten in das ZSE im Rahmen des folgenden Arbeitspaketes 4 – Implementieren von Zeitreihen.

## Schlussbericht

für das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben  
204 42 203/05 des UFOPLAN 2004

### **„Inventarverbesserungen (2004) – Umsetzung des Inventarplanes und nationale unabhängige Überprüfung der Emissionsinventare für Treibhausgase“**

#### **Teilvorhaben 02:**

#### **„Einsatz von Sekundärbrennstoffen“**

#### **Unterauftrag IT-Support:**

#### **Einpflegen von Daten in der Inventardatenbank ZSE**

erstellt für das

**Umweltbundesamt**

In Anlehnung an die Leistungsbeschreibung vom 19.04.2005

Karlsruhe, den 02.11.2005

Seven2one Informations-  
systeme für Energie- und  
Umweltplanung GmbH  
Durlacher Allee 53  
76131 Karlsruhe  
Tel.: 0721-62714-0  
Fax: 0721-62714-20  
[www.seven2one.de](http://www.seven2one.de)

## **1 Zielsetzung**

Die Arbeiten umfassten die Bereitstellung von IT-Serviceleistungen sowohl für das UBA als auch für die am Projekt beteiligten Haupt- und Unterauftragnehmer hinsichtlich des Einpflegens von Daten in der Inventardatenbank Zentrales System Emissionen (ZSE).

Ziel des Teilvorhabens war die datenbanktechnische Erstellung von Zeitreihen in der Inventardatenbank ZSE und die Methodenhinterlegung, d.h. die Erstellung von Berechnungsverfahren im Berechnungstool und Prüfung auf Plausibilität der Realisierung. Daneben wurde die datenbanktechnische Verschlagwortung der anzulegenden Datenzeitreihen vorgenommen.

## **2 Vorgehensweise**

Die inhaltliche Vorlage der Zeitreihen (inkl. einer ersten Verschlagwortung) wurde vom Auftraggeber bereitgestellt. Es folgte die zum bestehenden Inventar widerspruchsfrei realisierte Verschlagwortung der Zeitreihen durch Seven2one. Diese Arbeiten wurden außerhalb der Inventardatenbank ZSE (MESAP Datenbank) durchgeführt und in Tabellenform zur Abstimmung an den Auftraggeber kommuniziert.

Berücksichtigt wurden zudem Werte und Dokumentationen, welche der Auftraggeber zur Verfügung gestellt hat.

Daneben wurde ein Berechnungsverfahren (MESAP CalQulator) implementiert.

Nach einer Überprüfung und Korrektur der geleisteten Arbeiten wurden die Zeitreihen, Zeitreihenwerte, Dokumentationen und Berechnungsverfahren durch Seven2one vor Ort in Dessau in die Inventardatenbank ZSE importiert.

Abschließend wurde gemeinsam mit dem Auftraggeber der Erfolg des Importes überprüft.

## **3 Daten**

Die durch Seven2one angelegte Verschlagwortung, Zeitreihen, Zeitreihenwerte, Dokumentationen und Berechnungsverfahren enthält der diesem Endbericht beigefügte Datenträger.

### 0.1.1.1 Verarbeitendes Gewerbe - Eisenschaffende Industrie (1.A.2.a)

CRF 1.A.2.a					
Hauptquellgruppe nach Level (l) / Trend (t)		Schadstoff (HQG)	1990- Anteil an der Gesamtemission	2004- Anteil an der Gesamtemission	Trend
Gaseous Fuels	l / t	CO <sub>2</sub>	0,26 %	0,35 %	steigend
Solid Fuels	l / t	CO <sub>2</sub>	0,31 %	0,20 %	fallend

Schadstoff	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	HFC	PFC	SF <sub>6</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOG	SO <sub>2</sub>
Emissionsfaktor <sup>1</sup> (EF)	CS	CS	NO	NO	NO	CS	CS	CS	CS	CS
EF Unsicherheiten in %										
Unsicherheitenverteilung <sup>2</sup>	N									
Methode EF-Ermittlung <sup>3</sup>	T2									

Die Quellgruppe Verarbeitendes Gewerbe - Eisenschaffende Industrie ist für CO<sub>2</sub>-Emissionen aus gasförmigen und festen Brennstoffen eine Hauptquellgruppe nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die Eisenschaffende Industrie (Subquellgruppe 1.A.2.a) ist neben der Zementindustrie die zweite bedeutende CO<sub>2</sub>-Emissionsquelle unter den Prozessfeuerungen.

#### 0.1.1.1.1 Beschreibung der Quellgruppe (1.A.2.a)

Sie umfasst die Produktionsbereiche Roheisen (Hochofen), Sinter, Walzstahl, Eisen-, Stahl-Temperguss und Siemens-Martin-Stahl.

Die Herstellung von Siemens-Martin-Stahl führte nur noch in den neuen Bundesländern im Jahr 1990 zu Emissionen. Danach ging die Produktion auf Null zurück. In den alten Bundesländern war die Produktion von Siemens-Martin-Stahl schon vor 1990 eingestellt worden.

Bei der Herstellung von Roheisen wird ein Großteil der im Hochofen eingesetzten Energieträger für die darin ablaufenden Reduktionsprozesse benötigt, während bei den anderen Produktionsbereichen der Eisenschaffenden Industrie Brennstoffe ausschließlich zur Wärmeerzeugung eingesetzt wird.

#### 0.1.1.1.2 Methodische Aspekte (1.A.2.a)

In dieser Subquellgruppe werden die Prozessfeuerungen der verschiedenen Produktionsbereiche der Eisenschaffenden Industrie berücksichtigt. Die entsprechenden Brennstoffeinsätze mit Ausnahme der Sekundärbrennstoffe sind in der BEU enthalten. Die Quelle für die Brennstoffeinsätze ist die Statistik des produzierenden Gewerbes (Hochofen, Sinter und Walzstahl: FS4, R 8.1 Tab. 3.25, Eisen-, Stahl- und Tempergießereien: Melde-Nr. 27.21, 21.51 und 27.52).

Ab dem Jahr 1995 werden die in der Spalte "Andere Mineralölprodukte" der Zeile 54 (Metallerzeugung) der Energiebilanz enthaltenen Werte als Aktivitätsrate dem

<sup>1</sup> D= IPCC Default, C= Corinair, CS= Country specific, PS= Plant specific, M= Model

<sup>2</sup> N = Normal, L = Lognormal, T = Triangular, U = Uniform (Gleichverteilung)

<sup>3</sup> D= IPCC Default, RA= Reference Approach, T1= IPCC tier 1, T1a/ T1b/ T1c= IPCC tier 1a/ 1b/ 1c, T2= IPCC tier 2, T3= IPCC tier 3, C= CORINAIR, CS= Country specific, M= Model

Hochofenprozess zugeordnet. Für die Herstellung von Sinter wurden für die ganze Zeitreihe folgende Änderungen umgesetzt:

- a) Die in den Spalten der Energiebilanz „Braunkohlenbriketts“ und „Braunkohlenkoks“ der Zeile 54 der Energiebilanz enthaltenen Werte werden der Herstellung von Sinter zugeordnet.
- b) Anhand des spezifischen Gasverbrauchs pro Tonne „Fertigsinter“ wurden der Herstellung von Sinter zu gleichen Teilen Erdgas, Gichtgas und Kokerei-/Stadtgas zugeordnet. Die in der Eisenschaffenden Industrie mit Ausnahme des Hochofens eingesetzten Brennstoffe werden bei der Berechnung der Emissionen mit den entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren multipliziert und als energie- oder prozessbedingt eingeordnet (siehe Tabelle 1).

Die im Hochofen eingesetzten Brennstoffe (außer Erdgas) werden bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen mit dem Emissionsfaktor 0 multipliziert, da die entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionen unter 2.C.1 (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) berichtet werden (siehe nachfolgendes Schema). Dies gilt auch für den gesamten Gichtgaseinsatz in Kraftwerken und bei der Sinterherstellung, da die Emissionen bereits bei der Entstehung des Gichtgases im Hochofen berücksichtigt werden (prozessbedingte Emissionen in 2.C.1).

Doppelzählungen werden so ausgeschlossen. Im Nationalen Inventarbericht 2005 waren die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Gichtgas der Eisenschaffenden Industrie noch im Sektor 1.A.2 berichtet worden.

Hinweis: Die zahlenmäßige Berücksichtigung des energiebedingten Brennstoffeinsatzes in Sinteranlagen im Inventar (Korrektur der durchgeführten Nullsetzung) kann in 1.A.2 erst nach der Ressortabstimmung erfolgen.

Tabelle 1: Zuordnung der fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Eisenschaffenden Industrie zu prozess- und energiebedingten Emissionen

	Sinteranlage/ Herstellung von Sinter	Hochofen/ Herstellung von Roheisen	Warmwalzwerk/ Herstellung von Walzstahl	Elektrostahlwerk/ Herstellung von Elektrostahl	Eisen-,Stahl-, Tempergieß- ereien
Steinkohle	E	P			
Steinkohlenkoks		P			E
Braunkohlenbriketts	E				
Braunkohlenkoks	E				
Heizöl-S		P			
Andere Mineralölprodukte		P			
Koksgrus (ist unter Steinkohlenkoks verbucht)	E				
Erdgas	E	E*	E		E
Kokereigas	E				
Gichtgas	P	P			
Altkunststoff		P			
Elektrodenabbrand				P	

E: energiebedingt (Emissionen in 1.A.2 berichtet);

P: prozessbedingt (Emissionen in 2.C.1 berichtet, Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub> in 1.A.2 sind 0)

Anm.: Im Anlagenteil Oxygenstahlwerk erfolgt kein nennenswerter Einsatz von Brennstoffen. Daher ist diese Rubrik hier nicht aufgeführt.

\*) Der Einsatz von Erdgas in den Hochofenwinderhitzern verursacht keine prozessbedingten, sondern energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen

In der Eisenschaffenden Industrie werden nur bei der Erzeugung von Roheisen im Hochofenprozess Sekundärbrennstoffe als Ersatzreduktionsmittel anstelle von Koks eingesetzt. Diese Materialien wurden bisher nicht in nationalen Statistiken und der Energiebilanz berücksichtigt. Als Quelle für die Produktionsangaben und Brennstoffeinsätze wurden Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl genutzt. Das Verfahren für die Zusammenstellung der Aktivitätsraten mit Raumbezug Deutschland ab 1995 ist im Endbericht des Forschungsprojekts „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ dokumentiert (UBA 2005, FKZ 20442203/02). Die Arten, Mengen, Energieeinsätze und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren wurden von der Wirtschaftsvereinigung Stahl zur Verfügung gestellt.

Tabelle 2: Eingesetzte Sekundärbrennstoffe in Hochöfen: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren und deren biogene Anteile

Sekundärbrennstoff (Bezeichnung im ZSE)	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor [kg/ TJ]	biogener Massen-Anteil [%]
Tierfett	71.380	100
Altkunststoff	74.630	0

Allerdings werden die Emissionen aus dem Einsatz von Sekundärbrennstoffen im Hochofenprozess nicht unter 1.A.2.a. berichtet sondern sind unter die prozessbedingten Emissionen in 2C.1 subsummiert

### 0.1.1.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.a)

Aktivitätsraten:

Unsicherheiten wurden für alle Brennstoffe in 2004 und für o.g. Sekundärbrennstoffe hinsichtlich der kompletten Zeitreihe bestimmt. Die Methode ist im Anhang 2 und im Forschungsbericht (UBA 2005, FKZ 20442203/02) erläutert.

Durch die Überarbeitung der Aktivitätsdaten für 1990 sind für den Zeitraum 1990-1994 stellenweise Inkonsistenzen entstanden.

#### Emissionsfaktoren:

Für die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren der o.g. Sekundärbrennstoffe wurden Unsicherheiten ermittelt, weil hier die stofflichen Eigenschaften variabel sind. Die chemische Zusammensetzung der Ersatzreduktionsmittel bei der Roheisenherstellung beeinflusst das Endprodukt und unterliegt deshalb einer ständigen Analyse. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die Emissionsfaktoren nur äußerst geringen Schwankungen unterliegen. Die angegebenen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren gelten für die gesamten Zeitreihen und sind somit konsistent.

#### **0.1.1.1.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.a)**

Im Rahmen des Forschungsprojekts (UBA 2005, FKZ 20442203/02) wurden die Datenzeitreihen zum Einsatz von Ersatzreduktionsmitteln in der Stahlindustrie, die von der Wirtschaftsvereinigung Stahl zur Verfügung gestellt wurden, einer intensiven Qualitätskontrolle unterzogen. Dazu wurde der gesamte Reduktionsmittel- und Brennstoffeinsatz aus fossilen Regelenergieträgern der Stahlindustrie erfasst und mit dem Verbrauch der Ersatzreduktionsmittel abgeglichen. Zusätzlich wurden die ermittelten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus regulären und Ersatzreduktionsmitteln bewertet.

Diese Plausibilitätsprüfung ergab folgendes Bild: Zur Oxygen- und Elektrostahlerzeugung verbrauchte die Branche im Jahr 2003 rund 592 PJ fossile Energieträger und 21,6 TWh bzw. 77,8 PJ elektrische Energie. Darüber hinaus verbrauchte die Stahlindustrie 2003 etwa 5,5 PJ sekundäre Brennstoffe. Gemessen am gesamten Reduktionsmittel- und Brennstoffverbrauch der Stahlerzeugung decken sekundäre Reduktionsmittel also gegenwärtig einen Anteil von 1 %.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Einsatz konventioneller Reduktionsmittel und Brennstoffe lagen bei 53 Mio. t. Zusätzlich resultieren aus dem Einsatz von Altkunststoffen und Tierfetten bei der Roheisenerzeugung etwa 320 000 t CO<sub>2</sub>, wobei etwa 13 % dieser Emissionen aus biogenen Anteilen stammen. Die detaillierten Daten zum Einsatz von Ersatzreduktionsmitteln (einschließlich Emissionsfaktoren) in der Stahlindustrie sind mit dem Blick auf die Branche als Ganzes als plausibel einzustufen.

Die Aktivitätsraten für die Neuen Bundesländer für 1990 wurden in einem Vorhaben (UBA, 2005, FKZ 20541115) überarbeitet und dabei branchenspezifisch verbessert, s. Anhangkapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

#### **0.1.1.1.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (1.A.2.a)**

Die Veränderungen in der Datenbasis für die Neuen Bundesländer 1990 und in den Berechnungsverfahren (siehe Kapitel 0.1.1.1.2) führen zu Rückrechnungen auf der Ebene

der Strukturelemente. Für die gesamte Subquellgruppe 1.A.2.a ergibt sich eine geringe Erhöhung der Aktivitätsraten.

Durch die Berücksichtigung der zur Erzeugung von Roheisen im Hochofenprozess eingesetzten Ersatzreduktionsmittel kommt es ab 1996 zu einer geringfügigen Erhöhung der Aktivitätsrate.

Es ist aber zu berücksichtigen, dass die prozessbedingten Emissionen aus dem Hochofen und der Sintererzeugung wegen des geänderten Berechnungsverfahrens der Quellgruppe 2.C.1 (siehe Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) unter 2.C.1 berichtet werden. Dies kompensiert die Veränderungen der Aktivitätsraten und führt im Ergebnis zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in 1.A.2.a.

#### **0.1.1.1.6 Geplante Verbesserungen (quellenspezifisch) (1.A.2.a)**

Es ist geplant, die zum Teil verschlechterte Konsistenz der Zeitreihen zu verbessern.

### 0.1.1.2 Verarbeitendes Gewerbe – Zellstoff, Papier und Druckerzeugnisse (1.A.2.d)

CRF 1.A.2.d										
Hauptquellgruppe nach Level (l) / Trend (t)		Schadstoff (HQG)	1990- Anteil an der Gesamtemission	2004- Anteil an der Gesamtemission	Trend					
		- / -								

Schadstoff	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	HFC	PFC	SF <sub>6</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOC	SO <sub>2</sub>
Emissionsfaktor <sup>4</sup> (EF)	CS	NE	NO	NO	NO	NE	NE	NE	NE	NE
EF Unsicherheiten in %	-50 / +90									
Unsicherheitenverteilung <sup>5</sup>	N									
Methode EF-Ermittlung <sup>6</sup>	T2									

Diese Quellgruppe ist keine Hauptquellgruppe.

#### 0.1.1.2.1 Beschreibung der Quellgruppe (1.A.2.d)

Der Energieverbrauch für die Herstellung von Zellstoff, Papier und Druckerzeugnissen, kurz in der Zellstoff- und Papierindustrie kann nur für Sekundärbrennstoffe abgebildet werden, wobei diese in großem Umfang eingesetzt werden.

Emissionen aus dem Einsatz von Regelbrennstoffen in Prozessfeuerungen sowie Emissionen der Eigenstromerzeuger sind nicht gesondert ausgewiesen, sondern werden unter 1.A.2.f Sonstige zusammengefasst berichtet.

#### 0.1.1.2.2 Methodische Aspekte (1.A.2.d)

Das hier vorgestellte Verfahren ersetzt fast vollständig das im Anhang 2 des NIR 2005 beschriebene Verfahren zur Ausweisung des Einsatzes von Sulfita blauge zur Strom- und Wärmeerzeugung. Weil das ursprüngliche Verfahren mit den vorhandenen Datenquellen nicht fortgeführt werden kann, verbleibt nur eine Zeitreihe 1990 bis 1994 mit Angaben der Energiebilanz.

Die im Ergebnis des Forschungsprojektes „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (UBA 2005, FKZ 20442203/02) berücksichtigten Sekundärbrennstoffe werden nicht oder nur teilweise in der Energiebilanz abgebildet. Dies sind Abfälle aus dem eigenen Produktionsbereich. Die Arten und Mengen der eingesetzten Stoffe wurden vom Verband Deutscher Papierfabriken (VDP) zur Verfügung gestellt. Der überwiegende Teil der im Sektor eingesetzten Sekundärbrennstoffe besteht aus Holz- und Zellstofffasern und damit aus Biomasse. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden für Brennstoffe die biogenen und fossilen Anteile hergeleitet. Ebenso wurden CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren auf der Basis von Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten abgeleitet. Diese Daten können nicht in Strom- und Wärmeerzeugung differenziert werden und sind aus diesem Grund zur Zeit vollständig den Prozessfeuerungen zugeordnet.

4 D= IPCC Default, C= Corinair, CS= Country specific, PS= Plant specific, M= Model

5 N = Normal, L = Lognormal, T = Triangular, U = Uniform (Gleichverteilung)

6 D= IPCC Default, RA= Reference Approach, T1= IPPC tier 1, T1a/ T1b/ T1c= IPPC tier 1a/ 1b/ 1c, T2= IPPC tier 2, T3= IPPC tier 3, C= CORINAIR, CS= Country specific, M= Model

Tabelle 3: Eingesetzte Sekundärbrennstoffe in der Zellstoff- und Papierindustrie: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren und biogener Anteil

<b>Sekundärbrennstoff (Bezeichnung im ZSE)</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor [kg/ TJ]</b>	<b>biogener Massen-Anteil [%]</b>
<b>Ablaugen Zellstoffherstellung</b>	74.046	100
<b>Rinde</b>	80.611	100
<b>Faser-/Deinking-Rückstände</b>	54.871	100
<b>Rückstände Papierindustrie</b>	86.222	95

#### **0.1.1.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.d)**

Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurden für die Sekundärbrennstoffe die Unsicherheiten der hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren nach der Monte-Carlo-Methode bestimmt (UBA 2005, FKZ 20442203/02). Dabei wurden die Angaben zu C-Gehalt, Wassergehalt und Heizwert berücksichtigt. Diesen Angaben liegen Schätzungen mit Schwankungen und wenige Mess- oder Analyseergebnisse zugrunde und führen zu einer großen Bandbreite. CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Sekundärbrennstoffe gelten inklusive der Unsicherheitenangabe für die gesamte Zeitreihe, weil keine Erkenntnisse zu Trends vorliegen. Die Zeitreihen sind somit konsistent.

#### **0.1.1.2.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.d)**

Die Daten zum Einsatz von Sekundärbrennstoffen in der Papierindustrie, wurden vom Verband Deutscher Papierfabriken bereitgestellt und im Rahmen des Forschungsprojekts einer intensiven Qualitätskontrolle unterzogen (UBA 2005, FKZ 20442203/02). Dazu wurden die physischen Mengenströme auf Konsistenz zum gesamten Energieverbrauch bei der Papierherstellung geprüft. Darüber hinaus wurden auch hier die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Einsatz von Regelbrennstoffen und Ersatzbrennstoffen bestimmt, um die Qualität der zugrunde liegenden Daten zu dokumentieren.

Im Jahr 2003 wurden in Deutschland 19,3 Mio. t Papier, Karton und Pappe produziert. Hierbei wurden 260 PJ thermische und elektrische Energie verbraucht, wobei mehr als 25 PJ dieser Energiemenge durch nachwachsende Sekundärbrennstoffe bereitgestellt wurde. Damit deckt die Branche etwa 20 % ihres gesamten Wärmebedarfs aus sekundären Brennstoffen. Aus diesem Energieverbrauch errechnen sich für das Jahr 2003 CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 6,6 Mil. t (ohne Berücksichtigung nachwachsender Sekundärbrennstoffe). Hinzu kommen gegenwärtig rund 2 Mio. t CO<sub>2</sub> aus dem Einsatz sekundärer Brennstoffe. Rund 99 % dieser CO<sub>2</sub>-Emissionen entstammen in der Papierindustrie aus dem Einsatz biogener Sekundärbrennstoffanteile.

Die statistische Erfassung des Einsatzes sekundärer Brennstoffe hat in der Papierindustrie eine lange Tradition (VDP, verschiedene Jahrgänge). Trotz kleinerer Strukturbrüche in den dort ausgewiesenen Zeitreihen spiegeln die dort bereitgestellten Daten die fortschreitende Substitution von Regel- durch Sekundärbrennstoffe in der Papierindustrie gut wider.

#### **0.1.1.2.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (1.A.2.d)**

Der gesamte ermittelte Einsatz an Sekundärbrennstoffen und die daraus berechneten Emissionen stellt eine Ergänzung zum bestehenden Inventar dar.

**0.1.1.2.6 Geplante Verbesserungen (quellenspezifisch) (1.A.2.d)**

Es ist geplant, weitere Prüfungen vorzunehmen, um anteilige Doppelzählungen mit der Energiebilanz sicher auszuschließen. Möglicherweise wird es zukünftig gelingen, den Brennstoffeinsatz nach Strom- und Wärmeerzeugung zu trennen.

### 0.1.1.3 Verarbeitendes Gewerbe - Zementherstellung (1.A.2.f, Zement)

Schadstoff	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	HFC	PFC	SF <sub>6</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NM VOC	SO <sub>2</sub>
Emissionsfaktor <sup>7</sup> (EF)	CS	NE	NO	NO	NO	NE	NE	NE	NE	NE
EF Unsicherheiten in %	-30 / +30									
Unsicherheitenverteilung <sup>8</sup>	N									
Methode EF-Ermittlung <sup>9</sup>	T2									

Die Subquellgruppe ist außerhalb der verbindlichen Hauptquellgruppenanalyse als besonders relevant einzuschätzen und beträgt knapp ein Prozent zum Gesamtinventar bei.

#### 0.1.1.3.1 Beschreibung der Quellgruppe (1.A.2.f, Zement)

In dieser Quellgruppe sind nur Prozessfeuerungen des Brennens von Klinker ausweisbar. Der letzte Schritt der Zementherstellung, d.h. der Mahl- und Mischvorgang, ist nicht enthalten, sondern als stromintensiver Prozess über die Strombereitstellung (1.A.1) abgedeckt. Eine gegebenenfalls stattfindende Eigenstromerzeugung wird nicht gesondert ausgewiesen, sondern ist unter 1.A.2.f Sonstige enthalten.

Die Zementproduktion ist neben der Substitution der Rohstoffe (Hüttenschlacke statt Zementklinker, hier nicht thematisiert) durch ein erhebliches Maß an Brennstoffsubstitutionen beim Klinkerbrennen gekennzeichnet. Dabei kommen vermehrt neben konventionellen Brennstoffen wie Braunkohle, Steinkohle, Öl und Gas so genannte Sekundärbrennstoffe (Abfälle anderer Wirtschaftsbereiche) zum Einsatz. Das führt zu einer Verringerung des Verbrauchs von Regelbrennstoffen.

#### 0.1.1.3.2 Methodische Aspekte (1.A.2.f, Zement)

Die entsprechenden Brennstoffeinsätze von konventionellen Brennstoffen sind in der BEU enthalten. Die Quelle für die Brennstoffeinsätze ist die Statistik des produzierenden Gewerbes (Melde-Nr. 26.51, Herstellung von Zement). Die dort ausgewiesenen Brennstoffeinsätze werden für die BEU um die in Zeile 53 (Verarbeitung v. Steine und Erden) der Energiebilanz aufgeführten Brennstoffe Petrolkoks und Andere Mineralölprodukte ergänzt, da sie vollständig in Zementdrehrohröfen eingesetzt werden. Die Brennstoffeinsätze für die Neuen Bundesländer 1990 wurden mittels des spezifischen Brennstoffverbrauchs des Jahres 1989 und der Produktion des Jahres 1990 errechnet.

In der Zementindustrie werden in nennenswertem Umfang Sekundärbrennstoffe eingesetzt, die nicht in nationalen Statistiken und der Energiebilanz berücksichtigt sind. Als Quelle für die Produktionsangaben und Brennstoffeinsätze wurden Angaben des VDZ genutzt. Das Verfahren für die Zusammenstellung der Aktivitätsdaten mit Raumbezug alte und neue Bundesländer ab 1990 sowie Deutschland ab 1995 ist im Endbericht zum Forschungsvorhaben Einsatz von Sekundärbrennstoffen dokumentiert (UBA 2005, FKZ 20442203/02). Die Arten und Mengen und Energieeinsätze der eingesetzten Sekundärbrennstoffe wurden vom VDZ zur Verfügung gestellt.

<sup>7</sup> D= IPCC Default, C= Corinair, CS= Country specific, PS= Plant specific, M= Model

<sup>8</sup> N = Normal, L = Lognormal, T = Triangular, U = Uniform (Gleichverteilung)

<sup>9</sup> D= IPCC Default, RA= Reference Approach, T1= IPCC tier 1, T1a/ T1b/ T1c= IPCC tier 1a/ 1b/ 1c, T2= IPCC tier 2, T3= IPCC tier 3, C= CORINAIR, CS= Country specific, M= Model

In einem ersten Schritt wurden IPCC-gemäß die Brennstoffeinsätze den Gruppen Biomasse oder sonstige Brennstoffe (Abfälle) zugeordnet. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ wurden biogene Anteile von Brennstoffen hergeleitet und über Splitfaktoren in die Berechnung eingespeist. Im gleichen Vorhaben wurden für Sekundärbrennstoffe CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren auf der Basis von Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten abgeleitet (UBA 2005, FKZ 20442203/02).

Tabelle 4: Eingesetzte Sekundärbrennstoffe in der Zementindustrie: Emissionsfaktoren und biogener Anteil

Sekundärbrennstoff (Bezeichnung im ZSE)	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor [kg/ TJ]	biogener Massen-Anteil [%]
Altreifen	97.319	27
Altöl	78.689	0
Gewerbeabfall Papier	64.881	91
Gewerbeabfall Kunststoff	83.075	0
Gewerbeabfall Verpackungen	56.854	40
Textilabfälle	63.294	70
Gewerbeabfall sonstiger	68.129	52,33
Tiermehle und -fette	74.867	100
Siedlungsabfall aufbereitet	59.846	55
Holzabfälle (Resthölzer)	95.056	100
Lösemittel (Abfall)	71.133	0
Teppichabfälle	80.425	36,50
Bleicherde	82.260	0
Klärschlamm	95.110	100
Ölschlamm	84.024	0

#### 0.1.1.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.f, Zement)

Im Rahmen des Forschungsprojekts Einsatz von Sekundärbrennstoffen wurden für die Sekundärbrennstoffe die Unsicherheiten der hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren nach der Monte-Carlo-Methode bestimmt (UBA 2005, FKZ 20442203/02). Dabei wurden die Angaben zu C-Gehalt, Wassergehalt und Heizwert berücksichtigt. Diesen Angaben liegen Schätzungen mit Schwankungen und wenige Mess- oder Analyseergebnisse zugrunde und führen zu einer großen Bandbreite. CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Sekundärbrennstoffe gelten inklusive der Unsicherheitenangabe für die gesamte Zeitreihe, weil keine Erkenntnisse zu Trends vorliegen. Die Zeitreihen sind somit konsistent.

Unsicherheiten wurden für alle Brennstoffe in 2004 und für o.g. Sekundärbrennstoffe hinsichtlich der kompletten Zeitreihe bestimmt. Die Methoden sind im Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und im Endbericht des Forschungsprojekts (UBA 2005, FKZ 20442203/02) erläutert.

Durch die Überarbeitung der Aktivitätsraten für 1990 sind für den Zeitraum 1990-1994 stellenweise Inkonsistenzen entstanden.

#### **0.1.1.3.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.f, Zement)**

Im Forschungsvorhaben Basisjahr (UBA 2005, FKZ 20541115) wurden mittels Kennziffern aus der Produktion die vorhandenen Daten 1990 der neuen Bundesländer kontrolliert und verbesserte Daten ermittelt.

Die neu erstellten Datenreihen zum Sekundärbrennstoffeinsatz in der Zementindustrie wurden im Rahmen des Forschungsprojekts „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ einer intensiven Qualitätskontrolle unterzogen (UBA 2005, FKZ 20442203/02). Dazu wurden die Angaben des Vereins der Zementindustrie (VDZ) auf ihre Validität überprüft bzw. in den sektoralen Kontext eingeordnet.

Für die Zementindustrie ergibt sich auf der Grundlage der neu gewonnenen Daten das folgende empirische Bild: Beim gegenwärtigen Stand der Technik erfordert die Produktion einer Tonne Zement 2 982 MJ Brennstoffe und 102 kWh elektrische Energie. Bei einer Produktion von 32 Mio. t ergibt sich daraus für das Jahr 2004 ein Gesamtenergieverbrauch von 107,1 PJ (einschließlich sekundäre Brennstoffe). Gemessen am gesamten thermischen Brennstoffverbrauch (95,3 PJ) decken sekundäre Energieträger im Jahr 2004 mehr als 42 %, im Jahr 2001 waren es noch 30 %.

Der gesamte thermische Regelbrennstoffbedarf war im Jahr 2004 mit CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 5,2 Mio. t verbunden. Der Einsatz sekundärer Brennstoffe in der Zementindustrie induziert nach ersten vorläufigen Berechnungen für das Jahr 2004 CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 3,1 Mio. t. In diesem Emissionsvolumen enthalten sind etwa 1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen, die aus biogenen Fraktionen der eingesetzten Sekundärrohstoffe stammen. Überschlägig gerechnet leistet der Einsatz sekundärer Brennstoffe – obwohl sie hier nicht als CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet werden - einen deutlichen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Einsparung. Denn Sekundärbrennstoffe substituieren in der Zementindustrie vor allem Festbrennstoffe, die einen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von 93 kg/GJ aufweisen. Zum Vergleich liegt der durchschnittliche Emissionsfaktor aller Sekundärbrennstoffe (einschließlich biogener Anteile), die im Jahr 2004 bei der Zementherstellung verbraucht wurden, bei 77 kg/GJ.

#### **0.1.1.3.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (1.A.2.f Zement)**

Quellenspezifische Rückrechnungen ergeben sich daraus, dass die Datenbasis mit den Aktivitätsraten der Sekundärbrennstoffe erweitert wurde. Für die Zementindustrie wird aktuell die Brennstoffsubstitution als anhaltender Prozess der letzten Jahre abgebildet. Daraus ergibt sich gegenüber den zurückliegenden Berichterstattungen eine Erhöhung der ausgewiesenen Emissionen, wenngleich auch zum Teil nur in der Zunahme des Biomasseeinsatzes.

Wegen der verbesserten Datengrundlage beim Einsatz konventioneller Brennstoffe für das Jahr 1990 wurden nur in geringem Umfang Rekalkulationen durchgeführt.

#### **0.1.1.3.6 Geplante Verbesserungen (quellenspezifisch) (1.A.2.f, Zement)**

Es wird geprüft, inwieweit die durch das Energiestatistikgesetz (1.1.2003) veränderte Datenbasis es zulässt, auch die Emissionen aus Kraftwerken des verarbeitenden Gewerbes branchenbezogen zu berichten.

### 0.1.1.4 Verarbeitendes Gewerbe - Kalkherstellung (1.A.2.f, Kalk)

Schadstoff	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	HFC	PFC	SF <sub>6</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	NMVOG	SO <sub>2</sub>
Emissionsfaktor <sup>10</sup> (EF)	CS	CS	NO	NO	NO	CS	CS	CS	CS	CS
EF Unsicherheiten in %										
Unsicherheitenverteilung <sup>11</sup>										
Methode EF-Ermittlung <sup>12</sup>	CS									

Die Subquellgruppe ist mit mehr als einer Millionen Tonnen Kohlendioxid nicht besonders hervorzuheben.

#### 0.1.1.4.1 Beschreibung der Quellgruppe (1.A.2.f, Kalk)

Für den Einsatz konventioneller Brennstoffe beziehen sich die Angaben zu Prozessfeuerungen auf die Herstellung von Kalk und Mörtel.

Der Einsatz von Sekundärbrennstoffen ist auf alle Prozessfeuerungen in deutschen Kalkwerken bezogen berichtet.

#### 0.1.1.4.2 Methodische Aspekte (1.A.2.f, Kalk)

Die Brennstoffeinsätze für Regelbrennstoffe sind in der BEU enthalten. Die Quelle für diese Brennstoffeinsätze ist die Statistik des produzierenden Gewerbes (Melde-Nr. 26.52/Kalk und 26.64/Mörtel). Die Brennstoffeinsätze für die neuen Bundesländer 1990 wurden mittels des spezifischen Brennstoffverbrauchs des Jahres 1989 und der Produktion des Jahres 1990 berechnet.

In der Kalkindustrie werden seit 2003 in geringem Maße Sekundärbrennstoffe eingesetzt, die nicht in nationalen Statistiken und der Energiebilanz berücksichtigt sind. Als Quelle für Brennstoffeinsätze wurden Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Kalkindustrie genutzt. Das Verfahren für die Zusammenstellung der Aktivitätsdaten mit Raumbezug Deutschland ab 2003 ist im Endbericht zum Forschungsvorhaben "Einsatz von Sekundärbrennstoffen" (UBA 2005, FKZ 20442203/02) dokumentiert. Die Arten und Mengen der eingesetzten Sekundärbrennstoffe wurden vom Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie zur Verfügung gestellt. Im Rahmen des Forschungsprojekts "Einsatz von Sekundärbrennstoffen" wurden biogene Anteile von Brennstoffen hergeleitet und über Splitfaktoren in die Berechnung eingespeist. Im gleichen Vorhaben wurden für Sekundärbrennstoffe CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren auf der Basis von Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten abgeleitet (UBA 2005, FKZ 20442203/02).

10 D= IPCC Default, C= Corinair, CS= Country specific, PS= Plant specific, M= Model

11 N = Normal, L = Lognormal, T = Triangular, U = Uniform (Gleichverteilung)

12 D= IPCC Default, RA= Reference Approach, T1= IPCC tier 1, T1a/ T1b/ T1c= IPCC tier 1a/ 1b/ 1c, T2= IPCC tier 2, T3= IPCC tier 3, C= CORINAIR, CS= Country specific, M= Model

Tabelle 5: Eingesetzte Sekundärbrennstoffe in der Kalkindustrie: Emissionsfaktoren und biogener Anteil

<b>Sekundärbrennstoff (Bezeichnung im ZSE)</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor [kg/ TJ]</b>	<b>biogener Massen-Anteil [%]</b>
<b>Altöl</b>	78.689	0
<b>Tiermehle und -fette</b>	74.867	100
<b>Gewerbeabfall sonstiger</b>	68.129	52,33

#### **0.1.1.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.f, Kalk)**

Mit der Umstellung der amtlichen Statistik auf die Klassifikation der Wirtschaftszweige DESTATIS, 2002c) wird seit 1995 für konventionelle Brennstoffe nur noch eine Statistik für Gesamtdeutschland verwendet. Dies verbesserte die Zeitreihenkonsistenz im Vergleich zum Zeitraum 1990 bis 1994 erheblich.

Unsicherheiten wurden für alle Regelbrennstoffe für das Jahr 2004 bestimmt. Die Methode ist im Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** erläutert.

Im Rahmen des Forschungsprojekts "Einsatz von Sekundärbrennstoffen" (UBA 2005, FKZ 20442203/02) wurden für die Sekundärbrennstoffe die Unsicherheiten der hergeleiteten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren nach der Monte-Carlo-Methode bestimmt. Diesen Angaben liegen Schätzungen mit Schwankungen und wenige Mess- oder Analyseergebnisse zugrunde und führen zu einer großen Bandbreite. CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Sekundärbrennstoffe gelten inklusive der Unsicherheitenangabe für die gesamte Zeitreihe, weil keine Erkenntnisse zu Trends vorliegen. Die Zeitreihen sind somit konsistent.

#### **0.1.1.4.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.f, Kalk)**

Die Datenzeitreihen zum Einsatz sekundärer Brennstoffe in der Kalkindustrie im Rahmen des Forschungsprojekts „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ wurden ebenfalls intensiv auf Konsistenz und Plausibilität überprüft (UBA 2005, FKZ 20442203/02). Dazu wurden – wie in den übrigen Wirtschaftszweigen mit Sekundärbrennstoffeinsatz – die gesamte Energie- und Emissionssituation der Branche herangezogen. Die Qualitätskontrolle unterliegt allerdings der Einschränkung, dass die Informationen vom Bundesverband Kalk erstmalig für das Jahr 2003 bereitgestellt wurden. Es liegen folglich noch keine Zeitreihen, sondern nur ein Beobachtungszeitpunkt vor.

Die Produktion von 6,5 Mio. t Kalk im Jahr 2003 erforderte den Einsatz von Brennstoffen mit einem Energieäquivalent von 27,7 PJ. Zusätzlich verbrauchte die Kalkindustrie im Jahr 2003 etwa 2,4 PJ sekundäre Brennstoffe, so dass der Anteil dieser Brennstoffe am gesamten Brennstoffbedarf etwa ein Niveau von 8 % erreicht. Allein der Regelbrennstoffeinsatz für Kalkproduktion war mit CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 2,3 Mio. t verbunden. Der Einsatz sekundärer Brennstoffe war in der Kalkindustrie im Jahr 2003 mit CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 180 000 t verbunden. Die ermittelten Daten fügen sich mit Blick auf den übrigen Brennstoffverbrauch sowie die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen in das sektorale Gesamtbild ein.

**0.1.1.4.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (1.A.2.f, Kalk)**

Quellenspezifische Rückrechnungen ergeben sich in geringem Umfang, weil die Datenbasis mit den Aktivitätsraten der Sekundärbrennstoffe erweitert wurde.

Wegen einer verbesserten Datengrundlage für die Regelbrennstoffe für das Jahr 1990 wurden in geringem Umfang Rekalkulationen durchgeführt.

**0.1.1.4.6 Geplante Verbesserungen (quellenspezifisch) (1.A.2.f, Kalk)**

Momentan sind keine weiteren Verbesserungen geplant.