



Ökobilanzen für graphische Papiere

**Vergleich von Verwertungs- und Beseitigungs-
verfahren für graphische Altpapiere sowie
Produktvergleiche für Zeitungsdruck-,
Zeitschriften- und Kopierpapiere unter
Umweltgesichtspunkten**

von

Albecht Tiedemann

unter Mitarbeit von

Christiane Böttcher Tiedemann

Arthur Buschardt

Birgit Georgi

Gabriele Giersberg

Georg Goosmann

Heinz-Detlef Gregor

Bernd Mehlhorn

Andrea Modi

Harald Neitzel

Hans-Jürgen Oels

Stefan Schmitz

Michael Suhr

Umweltbundesamt

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei
Vorauszahlung von DM 20,-- (10,26 Euro)
durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 2.5
Michael Suhr

Berlin, August 2000

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Auswertung der Szenarien zur Entsorgung graphischer Altpapiere	4
2.1 Ziel- und Rahmenfestlegung	4
2.1.1 Zielfestlegung	4
2.1.2 Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes an Ökobilanzen.....	4
2.1.3 Prozesse und Sektoren im Bilanzraum der „Ökobilanzen für graphische Papiere“	7
2.1.4 Bilanzraumerweiterung um Äquivalenzprozesse und Nutzengleichheit in Ökobilanzen.....	11
2.1.5 Überblick über wichtige Stellgrößen für die Stoff- und Energieströme der untersuchten abfallwirtschaftlichen Szenarien sowie durchgeführte paarweise Szenariovergleiche	13
2.1.6 Funktionelle Einheit	17
2.1.7 Graphische Darstellung der Ergebnisse der paarweisen Szenarienvergleiche in T-Diagrammen.....	19
2.1.8 Rangbildung der Wirkungskategorien (Rangbildung der <i>ökologischen Gefährdung</i> , des <i>Distance-to-Target</i> und des <i>spezifischen Beitrags</i> , Zusammenfassung zur <i>ökologische Priorität</i>).....	21
2.1.9 Allgemeines zur Wirkungskategorie Naturraumbeanspruchung	24
2.2 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung	26
2.3 Auswertung des Referenzszenarios AP HAUPT I.....	26
2.3.1 Allgemeines zur Auswertung (Signifikanzprüfung)	26
2.3.2 Knappheit fossiler Energieträger	27
2.3.3 Treibhauspotenzial	29
2.3.4 Photooxidantienbildungspotenzial / Sommersmog	32
2.3.5 Versauerungspotenzial	33
2.3.6 Aquatisches Eutrophierungspotenzial / Sauerstoffzehrung	35
2.3.7 Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	37
2.3.8 Ressource Wasser	37
2.3.9 Naturraumbeanspruchung	38
2.3.10 Direkte Gesundheitsschädigung	40
2.3.11 Direkte Schädigung von Ökosystemen.....	42
2.3.12 Zusammenfassung der Auswertung des Referenzszenarios.....	43
2.4 Vergleich der Grundszenarien	50
2.4.1 Vergleich des Referenzszenarios AP HAUPT I (mittlere Altpapierrücklaufquote) mit dem Szenario AP HOCH I (hohe Altpapierrücklaufquote).....	50

2.4.2 Vergleich des Referenzszenarios AP HAUPT I (mittlere Altpapierrücklaufquote) mit dem Szenario AP TIEF I (niedrige Altpapierrücklaufquote).....	51
2.5 Sensitivitätsanalysen	52
2.5.1 Sensitivitätsanalyse zur energetischen Verwertung von Altpapierübermengen in speziellen (hypothetischen) Heizkraftwerken und zur Beseitigung in Hausmüllverbrennungsanlagen.....	52
2.5.2 Sensitivitätsanalyse zum Verbleib von Holzübermengen durch Vergleich des Szenarios AP HOCH I mit Szenario AP HOCH II (Verbleib auf Forstflächen versus Energiegewinnung in Heizkraftwerken)	58
2.5.3 Sensitivitätsanalyse zu den Energie-Äquivalenzprozessen (Kohle versus Gas als Energieträger für die Äquivalenzprozesse).....	59
2.5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen.....	63
3 Auswertung der Szenarien zum Vergleich von Holz und Altpapier als Rohstoff zur Herstellung von Zeitungsdruck-, Zeitschriften- und Kopierpapier.....	65
3.1 Ziel- und Rahmenfestlegung	65
3.1.1 Zielfestlegung	65
3.1.2 Funktionelle Einheit	66
3.1.3 Wichtige Stellgrößen zur Modellierung der Stoffströme.....	66
3.1.4 Bilanzraum, T-Diagramme zum paarweisen Szenarienvergleich und Rangbildung der Wirkungskategorien	68
3.2 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung	68
3.3 Zeitungsdruckpapier: Vergleich von aus Altpapier hergestelltem Zeitungsdruckpapier (Szenario ZDP AP 100) mit vollständig aus Holz hergestelltem Zeitungsdruckpapier (Szenario ZDP AP 0).....	68
3.4 Superkalandriertes Zeitschriftenpapier (SC-Papier): Vergleich von anteilig (30%) aus Altpapier hergestelltem SC-Papier (Szenario SC AP 30) mit vollständig aus Holz hergestelltem SC-Papier (Szenario SC AP 0)	69
3.5 Gestrichenes Zeitschriftenpapier (LWC-Papier): Vergleich von anteilig (30%) aus Altpapier hergestelltem LWC-Papier (Szenario LWC AP 30) mit vollständig aus Holz hergestelltem LWC-Papier (Szenario LWC AP 0).....	70
3.6 Kopierpapier: Vergleich von aus Altpapier hergestelltem Kopierpapier (Szenario KOP AP 100) mit vollständig aus Holz hergestelltem, total chlorfrei gebleichtem Kopierpapier (Szenario KOP AP 0)	72
3.7 Sensitivitätsanalyse zu Transportdistanzen für Sulfatzellstoff	73
4 Weitere Fragestellungen.....	74
4.1 Vergleich der Verfahren zur Bleiche von Sulfatzellstoff	75
4.1.1 Vergleich der Szenarien Sulfat TCF mit Sulfat ECF (total chlorfreie versus elementarchlorfreie Bleiche)	76
4.1.2 Vergleich der Szenarien Sulfat TCF und Sulfat Cl ₂ (total chlorfreie Bleiche versus Bleiche mit Elementarchlor)	77
4.2 Vergleich von gestrichenem mit superkalandriertem Zeitschriftenpapier	78
4.3 Vergleiche zur Sulfatzellstoff- und Sulfitzellstoffherstellung.....	79

4.3.1 Vergleich der Sulfatzellstoffe aus Importen mit der Sulfatzellstoffherstellung in Deutschland	79
4.3.2 Vergleich von Sulfatzellstoffen aus Importen mit der Sulfatzellstoffherstellung in Deutschland	80
5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	81
6 Empfehlungen an Akteure	90

Anhang I:

1. Literaturverzeichnis
2. Abkürzungsverzeichnis
3. Glossar, Definitionen
4. Weitere Tabellen
5. T-Diagramme zum Szenarienvergleich

Anhang II:

Schlussgutachten zur kritische Prüfung der „Ökobilanzen für graphische Papiere“ auf ISO-Konformität

Anhang III auf beiliegender CD - ROM:**Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben 294 92 120 (altes FKZ 103 50 120):**

- **Hauptbericht „Gesamtökologischer Vergleich graphischer Papiere“**
- **Anhänge:**
 1. Zieldefinition in der Fassung vom Juni 1995
 2. Tabellenübersicht zur Datensymmetrie
 3. Sensitivität der Systemerweiterung
 4. Ergebnisse des Szenarios AP TIEF V
 5. Prozessbaum mit allen bilanzierten Prozessen
- **Materialien:**
 - * **Materialband I „Datengrundlagen“**
 - * **Materialband II „methodische Grundlagen“**
 1. Naturraumbeanspruchung waldbaulicher Aktivitäten als Wirkungs-indikator für Ökobilanzen
 2. Bewertung des Beitrags von Produkten zur Photooxidantienbildung im Rahmen von Ökobilanzen auf der Basis photochemischer Modell-rechnungen
 3. Prüfung und Bewertung von der ökologischen Relevanz von Substanzen in grafischen Papieren
 4. Methodische Festlegung zur Prozeß- und Systemallokation
 - * **Materialband III „Vertiefte Sachbilanz“**
 1. Einzelparameteranalyse
 2. Materialanalyse
 3. Sektoranalyse
 5. Prozeßanalyse
 - * **Protokoll der 3. Sitzung des Projektbeirats 21. bis 22. April 1999**
- **Benutzerhandbuch der verwendeten Software zur Erstellung der Ökobilanz graphische Papiere: Umberto 3 - „Papernet“**

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnung von Wirkungskategorien zu den Kriterien 1 bis 3 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes § 5 Abs. 5 Satz 2.....	6
Tabelle 2: Überblick über durchgeführte paarweise Vergleiche der Entsorgungsszenarien für graphische Altpapiere (Verweis auf Kapitel, Abbildungen und Tabellen zur Priorisierung der Wirkungskategorien)	15
Tabelle 3: Überblick über wichtige Steuerparameter der Szenarien zur Verwertung und Beseitigung graphischer Altpapiere	16
Tabelle 4: Überblick über wichtige Annahmen im Szenario AP HAUPT I.....	18
Tabelle 5: Rangbildung des „Distance-to-Target“ und der "ökologischen Gefährdung" von Wirkungskategorien in der Umweltbundesamt-Methode „Bewertung in Ökobilanzen, Version 99“	23
Tabelle 6: Einbeziehung der Sachbilanz- und Wirkungsabschätzungsdaten zu den Wirkungskategorien direkte Gesundheitsschädigung und direkte Schädigung von Ökosystemen in die Auswertung	23
Tabelle 7: Charakterisierung der sieben Natürlichkeitsklassen der Naturraumbeanspruchung.....	24
Tabelle 8: Kriterien und Indikatoren zur Abschätzung der Naturraumbeanspruchung von forstwirtschaftlich genutzten Flächen in Mitteleuropa und der borealen Zone.....	25
Tabelle 9: Anteil fossiler Energieträger (Erdöl, Erdgas, Braun- und Steinkohle) an verbrauchten Rohöl-Äquivalenten im Szenario AP HAUPT I.....	28
Tabelle 10: Anteil der bedeutendsten Prozesse an den verbrauchten Rohöl-Äquivalenten im Szenario AP HAUPT I differenziert nach Braunkohle, Steinkohle, Erdöl und Erdgas	28
Tabelle 11: Anteil der Kohlendioxid-, Methan- und Distickstoffmonoxidemissionen am Treibhauspotenzial im Szenario AP HAUPT I.....	29
Tabelle 12: Sektoranalyse für CO ₂ -Äquivalente im Szenario AP HAUPT I	30
Tabelle 13: Prozentualer Anteil der zehn bedeutendsten Prozesse am Teibhauspotenzial im Szenario AP HAUPT I	31
Tabelle 14: Anteil der transportbedingten Kohlendioxidemissionen an den gesamten CO ₂ - Emissionen (Auswertung aller Prozesse) im Szenario AP HAUPT I.....	32
Tabelle 15: Anteil der Methan- und Benzol-Emissionen am POCP-Ozonbildungspotenzial im Szenario AP HAUPT I	33
Tabelle 16: Sektoranalyse für die Methanemissionen im Szenario AP HAUPT I	33
Tabelle 17: Anteil von Schwefeldioxid, Stickoxid, Chlorwasserstoff, Fluorwasserstoff, Schwefelwasserstoff und Ammoniak am Versauerungspotenzial im Szenario AP HAUPT I	34
Tabelle 18: Anteil der zehn bedeutendsten Prozesse am Versauerungspotenzial im Szenario AP HAUPT I	35
Tabelle 19: Anteil der Stickstoffverbindungen, Phosphorverbindungen und des chemischen Sauerstoffbedarfs am aquatischen Eutrophierungspotenzial/ Sauerstoffzehrung im Szenario AP HAUPT I	36

Tabelle 20: Anteil der zehn bedeutendsten Prozesse am aquatischen Eutrophierungspotenzial / Sauerstoffzehrung im Szenario AP HAUPT I	36
Tabelle 21: Anteil der zehn bedeutendsten Prozesse am terrestrischen Eutrophierungspotenzial im Szenario AP HAUPT I	37
Tabelle 22: Anteil der zehn bedeutendste Prozesse am Wasserverbrauch im Szenario AP HAUPT I	38
Tabelle 23: Sachbilanzergebnis zum Holzverbrauch im Szenario AP HAUPT I, differenziert nach Industrieholz, Sägerestholz, Forst Deutschland und Forst IMPORT	38
Tabelle 24: Naturraumbeanspruchung im Szenario AP HAUPT I, differenziert nach Natürlichkeitsklassen II bis V	39
Tabelle 25: Anteil der Arsen-, Benzo(a)pyren-, Benzol-, Cadmium-, Chrom-, Dioxin- und Niclemissionen in die Atmosphäre am Krebsrisikopotenzial im Szenario AP HAUPT I	41
Tabelle 26: Analyse der zehn bedeutendsten Prozesse and den LKW-Transportleistungen im Szenario AP HAUPT I	42
Tabelle 27: Prozessanalyse der direkten Schädigung von Ökosystemen durch Stoffe im Szenario AP HAUPT I	43
Tabelle 28: Rangbildung von Wirkungskategorien für das Szenario AP HAUPT I	45
Tabelle 29: Überblick über den Anteil einzelner Sektoren (Lebenswegabschnitte) graphischer Papiere am Ergebnis ausgesuchter Wirkungskategorien im Szenario AP HAUPT I	47
Tabelle 30: Überblick über den Beitrag wichtiger Prozesse zum Ergebnis ausgesuchter Wirkungskategorien im Szenario HAUPT I (Darstellung von Beiträgen von über 5 % an der jeweiligen Wirkungskategorie)	49
Tabelle 31: Sektoranalyse für absolute Unterschiede bei der Knappheit fossiler Energieträger, des Treibhauspotenzials und des Versauerungspotenzials der Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF II (Kohlekraftwerke als Äquivalenzprozess für thermische Energie)	55
Tabelle 32: Sektoranalyse für absolute Unterschiede bei ausgesuchten Wirkungskategorien der Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF III (Kohlekraftwerke als Äquivalenzprozess für thermische Energie)	57
Tabelle 33: Sektoranalyse für absolute Unterschiede ausgesuchter Wirkungskategorien der Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF IV (Gaskraftwerke als Äquivalenzprozess für thermische Energie)	60
Tabelle 34: Sektoranalyse für absolute Unterschiede bei ausgesuchten Wirkungskategorien der Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF V (Gaskraftwerke als Äquivalenzprozess für thermische Energie)	62
Tabelle 35: Altpapierstoffströme in den Szenarien zum Vergleich graphischer Papierprodukte	67
Tabelle 36: Holzstoff- und Sulfatzellstoffverbrauch in den Szenarien zum Vergleich graphischer Papierprodukte	67
Tabelle 37: Produktszenarien im paarweisen Vergleich (Verweis auf Kapitel, Abbildungen und Tabellen zur Priorisierung der Wirkungskategorien)	68
Tabelle 38: Länderspezifischer Sulfatzellstoffimport nach Deutschland im Jahr 1995	73
Tabelle 39: Überblick über durchgeführte paarweise Vergleiche zur Zellstoffbleiche und zu Zeitschriftenpapier (Verweis auf Kapitel, Abbildungen, Tabellen)	74

Tabelle 40: Bezeichnung der Prozesse im Prozessbaum der Ökobilanz für graphische Papiere	99
Tabelle 41: Zuordnung der Transitionen zu den Sektoren (gegliedert nach Sektoren)	104
Tabelle 42: Zuordnung der Transitionen zu Subsystemen (gegliedert nach Transitionsnummern)	108
Tabelle 43: Transportbedingte CO ₂ -Emissionen im Szenario AP HAUPT I	112
Tabelle 44: Transportbedingte CO ₂ -Emissionen im Szenario AP HAUPT I (Fortsetzung der oberen Tabelle)	113
Tabelle 45: Bezeichnung der Szenarien im Anhang III, Hauptbericht und in der UBA- Auswertung	114
Tabelle 46: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT I / AP HOCH I	115
Tabelle 47: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT I / AP TIEF I	116
Tabelle 48: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP TIEF II / AP TIEF I	117
Tabelle 49: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP TIEF III / AP TIEF I	118
Tabelle 50: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP TIEF II / AP TIEF III	119
Tabelle 51: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT I / AP TIEF II	120
Tabelle 52: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT I / AP TIEF III	121
Tabelle 53: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP TIEF III / AP HOCH I	122
Tabelle 54: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HOCH I / AP HOCH II	123
Tabelle 55: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT II (Erdgas) / AP TIEF IV (Gas)	124
Tabelle 56: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT II (Erdgas) / AP HOCH III (Erdgas)	125
Tabelle 57: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT II (Erdgas) / AP TIEF V (Erdgas)	126
Tabelle 58: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich ZDP AP 0 / ZDP AP 100	127
Tabelle 59: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich SC AP 0 / SC AP 30	128
Tabelle 60: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich LWC AP 0 / LWC AP 30	129
Tabelle 61: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich KP AP 0 / KP RCP	130
Tabelle 62: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich Sulfat TCF / Sulfat ECF	131

Tabelle 63: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich Sulfat TCF / Sulfat Cl ₂	132
Tabelle 64: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich KALANDRIEREN / STREICHEN	133
Tabelle 65: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT I / Zellstoff FERN	134

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ökobilanz-Modul (bzw. Prozess) mit Input- und Outputflüssen	6
Abbildung 2: Schematische Darstellung des Subsystems IMPORT (hier NORD genannt, mit Angabe der Kapitelbezeichnung (SBB) im Anhang III, Materialband I, Graphik von Ifeu)	8
Abbildung 3: Schematische Darstellung des Subsystems Entsorgung (mit Angabe der Kapitelbezeichnung (SBB) im Anhang III, Materialband I, Graphik von Ifeu)...	8
Abbildung 4: Schematische Darstellung des Subsystems Faserherstellung in Deutschland (mit Angabe der Kapitelbezeichnung (SBB) im Anhang III, Materialband I, Graphik von Ifeu)	9
Abbildung 5: Schematische Darstellung des Subsystems Papierherstellung und -verarbeitung in Deutschland (mit Angabe der Kapitelbezeichnung (SBB) im Anhang III, Materialband I, Graphik von Ifeu)	10
Abbildung 6: Nutzengleichheit beim Vergleich von zwei Abfallverwertungsoptionen, Bilanzraumerweiterung um wechselseitige Äquivalenzprozesse (Abbildung in Anlehnung an Ifeu, 1996)	12
Abbildung 7: Schematische Darstellung des Subsystems Äquivalenzprozesse (mit Angabe der Kapitelbezeichnung (SBB) im Anhang III, Materialband I, Graphik von Ifeu)	13
Abbildung 8: Im Bilanzraum „Ökobilanzen für graphische Altpapiere“ veränderte Stellgrößen (stark schematisierte Darstellung der etwa 100 im Bilanzraum befindlichen Prozesse)	15
Abbildung 9: Stoff und Energieströme im Szenario AP HAUPT I	18
Abbildung 10: Relative Unterschiede zwischen Szenario AP HAUPT I und AP HOCH I bzgl. verschiedener aggregierter Wirkungspotenziale	135
Abbildung 11: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP HOCH I bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	135
Abbildung 12: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP HOCH I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	136
Abbildung 13: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP HOCH I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	136
Abbildung 14: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF I bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	137
Abbildung 15: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	137
Abbildung 16: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	138
Abbildung 17: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	138
Abbildung 18: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF II und AP TIEF I bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	139

Abbildung 19: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF II und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	139
Abbildung 20: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF II und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	140
Abbildung 21: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP TIEF I bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	141
Abbildung 22: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	141
Abbildung 23: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	142
Abbildung 24: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF II und AP TIEF III bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	143
Abbildung 25: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF II und AP TIEF III bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	143
Abbildung 26: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF II und AP TIEF III bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	144
Abbildung 27: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF II bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	145
Abbildung 28: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF II bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	145
Abbildung 29: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF II bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	146
Abbildung 30: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF II bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	146
Abbildung 31: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF III bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	147
Abbildung 32: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF III bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	147
Abbildung 33: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF III bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	148
Abbildung 34: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF III bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	148
Abbildung 35: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP HOCH I bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	149
Abbildung 36: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP HOCH I bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	149
Abbildung 37: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP HOCH I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	150
Abbildung 38: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP HOCH I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	150
Abbildung 39: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HOCH I und AP HOCH II bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	151
Abbildung 40: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HOCH I und AP HOCH II bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	151

Abbildung 41: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HOCH I und AP HOCH II bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	152
Abbildung 42: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HOCH I und AP HOCH II bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	152
Abbildung 43: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF IV bzgl. verschiedener Wirkungskategorien.....	153
Abbildung 44: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF IV bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	153
Abbildung 45: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF IV bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	154
Abbildung 46: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF IV bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	154
Abbildung 47: Relative Unterschiede zwischen Szenarien HOCH III und HAUPT II bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	155
Abbildung 48: Relative Unterschiede zwischen HOCH III und HAUPT II bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	156
Abbildung 49: Relative Unterschiede zwischen HOCH III und HAUPT II bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	156
Abbildung 50: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF V bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	157
Abbildung 51: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF V bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	157
Abbildung 52: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF V bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	158
Abbildung 53: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF V bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	158
Abbildung 54: Relative Unterschiede zwischen ZDP AP 0 und ZDP AP 100 bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	159
Abbildung 55: Relative Unterschiede zwischen Szenarien ZDP AP 0 und ZDP AP 100 bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	159
Abbildung 56: Relative Unterschiede zwischen Szenarien ZDP AP 0 und ZDP AP 100 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	160
Abbildung 57: Relative Unterschiede zwischen Szenarien ZDP AP 0 und ZDP AP 100 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	160
Abbildung 58: Relative Unterschiede zwischen Szenarien SC AP 0 und SC AP 30 bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	161
Abbildung 59: Relative Unterschiede zwischen Szenarien SC AP 0 und SC AP 30 bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	161
Abbildung 60: Relative Unterschiede zwischen Szenarien SC AP 0 und SC AP 30 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	162
Abbildung 61: Relative Unterschiede zwischen Szenarien SC AP 0 und SC AP 30 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	162
Abbildung 62: Relative Unterschiede zwischen Szenarien LWC AP 0 und LWC AP 30 bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	163

Abbildung 63: Relative Unterschiede zwischen Szenarien LWC AP 0 und LWC AP 30 bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	163
Abbildung 64: Relative Unterschiede zwischen Szenarien LWC AP 0 und LWC AP 30 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	164
Abbildung 65: Relative Unterschiede zwischen Szenarien LWC AP 0 und LWC AP 30 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	164
Abbildung 66: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KOP AP 0 und KOP AP 100 bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	165
Abbildung 67: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KOP AP 0 und KOP AP 100 bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	165
Abbildung 68: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KOP AP 0 und KOP AP 100 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	166
Abbildung 69: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KOP AP 0 und KOP AP 100 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	166
Abbildung 70: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und ZELLSTOFF FERN bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	167
Abbildung 71: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und ZELLSTOFF FERN bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	168
Abbildung 72: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und ZELLSTOFF FERN bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	168
Abbildung 73: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat ECF bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	169
Abbildung 74: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat ECF bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	169
Abbildung 75: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat ECF bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	170
Abbildung 76: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat ECF bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	170
Abbildung 77: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Cl ₂ bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	171
Abbildung 78: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat Cl ₂ bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	171
Abbildung 79: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat Cl ₂ bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	172
Abbildung 80: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat Cl ₂ bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	172
Abbildung 81: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KALANDRIEREN und STREICHEN bzgl. verschiedener Wirkungskategorien	173
Abbildung 82: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KALANDRIEREN und STREICHEN bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“	173
Abbildung 83: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KALANDRIEREN und STREICHEN bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“	174
Abbildung 84: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KALANDRIEREN und STREICHEN bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“	174

1 Einleitung

Graphische Papiere und daraus hergestellte Druckerzeugnisse sind Massenprodukte, deren Verbrauch in Deutschland erheblich gestiegen ist¹. Angesichts ihres hohen und voraussichtlich noch weiter steigenden Verbrauchs sind die Umweltbelastungen, die auf dem Lebensweg graphischer Papiere und der daraus hergestellten Druckerzeugnisse entstehen, ein wichtiger Gegenstand der umweltpolitischen Diskussion.

Unter dem Titel „Umweltargumente zum Recyclingpapier“ hat das Umweltbundesamt 1992 erstmals Materialien zusammengestellt, die eine Bewertung der verschiedenen Herstellungsverfahren für Papier und insbesondere des Papierrecyclings unter Umweltschutzgesichtspunkten ermöglichten. Die wachsenden wissenschaftlichen Ansprüche an derartige Einschätzungen haben das Umweltbundesamt Ende 1994 veranlasst, das Forschungsvorhaben „Ökobilanzen für graphische Papiere²“ in Auftrag zu geben.

Von besonderem Interesse waren dabei Fragen wie: Ist der Einsatz von Altpapier als Faserrohstoff für die Herstellung von Zeitungsdruck- Zeitschriften- und Kopierpapieren unter Umweltschutzaspekten günstiger als der Einsatz von Holz als Rohstoff? Sollen Druckerzeugnisse nach Gebrauch vorzugsweise werkstofflich oder energetisch verwertet oder als Abfall beseitigt werden? Wie können die mit Druckerzeugnissen verbundenen Umweltbelastungen gesenkt werden?

Die Ziele des Forschungsvorhabens wurden im Laufe der Zeit modifiziert und an verfügbare neue Erkenntnisse angepaßt. Die wesentlichen Ziele des Forschungsvorhabens lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- I. Aufstellen einer Rangfolge für Verwertungs- und Beseitigungsoptionen für graphisches Altpapier (Verbrennen versus Recycling) unter Berücksichtigung der Kriterien des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG)
- II. Vergleich von Altpapier und Holz als Faserrohstoff für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier, superkalandriertem Zeitschriftenpapier, gestrichenem Zeitschriftenpapier und Kopierpapier
- III. Weiterentwicklung der Ökobilanzmethode
- IV. Aufbau einer Datenbank für Prozesse zur Forstwirtschaft, Holzgewinnung, Zellstoff- und Papierproduktion sowie für Prozesse zur Herstellung von Druckerzeugnissen

Mit der Bearbeitung des Forschungsvorhabens wurde eine Projektgemeinschaft "Ökobilanz graphischer Papiere" beauftragt, in der mehrere Institute³ zusammenarbeiteten.

Im einzelnen hatte die Projektgemeinschaft folgende Aufgaben:

¹) Pro Kopf Verbrauch 1970: 53,9 kg/Einwohner, 1980: 77,7 kg/Einwohner, 1990: 86 kg/Einwohner, 1998: 93,4 kg/Einwohner

²) UFOPLAN Förderkennzeichen 29 49 2120 (altes FKZ 103 50 120)

³) Institut für Energie- und Umweltforschung (Ifeu) GmbH, Heidelberg; Büro für angewandte Waldökologie (BaWÖ), Duvensee; Institut für Umweltinformatik (IFU) GmbH, Hamburg ; Dr. R. Stern, Freiburg/Br; Institut für Umweltschutz (INFU) der Universität Dortmund

- Anpassung der Ökobilanzmethode an Besonderheiten, die sich aus dem Gesamtsystem "Graphische Papiere" (bestehend aus Faser- und Füllstoffen, Pigmenten, Druckfarben etc.) auf seinem Lebensweg, angefangen bei der Holzgewinnung, über die Faserstoff- und Papierherstellung, die Papierverarbeitung, die Distribution der Produkte bis hin zur Altpapierentsorgung ergeben,
- Weiterentwicklung der Ökobilanzmethode insbesondere im Bereich der Wirkungsabschätzung für die Wirkungskategorie "Naturraumbeanspruchung",
- Erhebung von Prozessdaten oder, falls Primärdaten nicht verfügbar sind, Aufbereitung entsprechender Literaturangaben und
- Erstellung von Sachbilanzen und Ausarbeitung der Wirkungsabschätzung.

Bei der Durchführung der Ökobilanz legte das Umweltbundesamt Wert auf die Transparenz des gesamten Projekts, die Umsetzung der *Verfahrensregeln des Umweltbundesamtes zur Durchführung von Ökobilanzen* und die Berücksichtigung der *ISO Normen zu Ökobilanzen* (soweit diese bereits verabschiedet waren).

Zu Beginn des Forschungsvorhabens wurde ein Projektbeirat "Ökologischer Vergleich graphischer Papiere" eingerichtet, in dem Vertreter ökologisch, sozial und ökonomisch am Vorhaben interessierter Kreise vertreten sind⁴. Der Projektbeirat beriet das Umweltbundesamt und die Projektgemeinschaft bei wichtigen Fragestellungen zum Bilanzierungsziel und -rahmen (Festlegen der Bilanzgrenzen, der funktionellen Einheit und repräsentativer Szenarien, Bilanzierungsmethode) und unterstützte die Erhebung aktueller repräsentativer Umweltdaten für die Prozessdatenbank.

Die abschließende Auswertung hat sich das Umweltbundesamt seit Beginn des Forschungsvorhabens als Aufgabe vorbehalten. Die Ergebnisse sollen in die aktuelle Umweltpolitik eingehen, von der Privatwirtschaft als Grundlage für die Produktgestaltung und -optimierung herangezogen werden können und privaten wie institutionellen Verbrauchern eine Orientierungshilfe bei der Beschaffung sein.

Die in den folgenden Kapiteln erstellte Auswertung basiert auf den Ergebnissen des von der Projektgemeinschaft erstellten Abschlussberichts^{5,6}, der auf CD-ROM beigefügt ist. Dabei wurde die im Umweltbundesamt auf der Grundlage der ISO

⁴) Im Projektbeirat „Ökobilanz graphische Papiere“ sind vertreten: Arbeitsgemeinschaft der Verbraucherverbände, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Bundesverband der Deutschen Entsorgungswirtschaft, Bundesverband Deutscher Zeitungsverleger, Bundesverband Druck, Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung, Deutscher Forstwirtschaftsrat, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Waldbesitzerverbände, Greenpeace Deutschland, Industriegewerkschaft Chemie Papier Keramik, Verband der Mineralfarbenindustrie, Verband der Textilhilfsmittel-, Gerbstoff- und Waschrrohstoff-Industrie, Verband Deutscher Papierfabriken, Verband Deutscher Zeitschriftenverleger, Verein der Deutschen Papierimporteure und World Wide Fund for Nature Deutschland, Projektgemeinschaft "Ökobilanz graphische Papiere" (Geschäftsführung durch Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg) und Umweltbundesamt (Vorsitz)

⁵) Siehe Anhang III auf CD-ROM: Ifeu: „Ökologischer Vergleich graphischer Papiere“, UFOPLAN FKZ 294 92 120 (altes FKZ 103 50 120), Heidelberg, Juni 1998

⁶) Siehe Anhang III auf CD-ROM: Ifeu: „Materialband I: Datengrundlagen“, „Materialband II: Methodenentwicklung“ und „Materialband III: Vertiefte Sachbilanzergebnisse“, UFOPLAN FKZ 294 92 120 (altes FKZ 103 50 120) „Ökologischer Vergleich graphischer Papiere“, Heidelberg, Juni 1998

Normen 14040 bis 14043⁷ entwickelte Methode zur „Bewertung in Ökobilanzen, Version ‘99“ erstmals auf ein praktisches Beispiel angewendet. Auf wesentliche Aspekte der Bewertungsmethode (z.B. paarweiser Vergleich von Szenarien, T-Diagramme, Rangbildung der Wirkungskategorien) wird zu Beginn des Kapitels 2 knapp eingegangen. Die vollständige Methodenbeschreibung ist in einem gesonderten Band in der Reihe UBA-Texte erschienen (UBA-Texte 92/99 „Bewertung in Ökobilanzen“).

Im Kapitel 2.2 wird am Beispiel des Referenzszenarios (AP HAUPT I) untersucht, welche Lebenswegabschnitte und Prozesse wesentlich zu den Ergebnissen der Wirkungsabschätzung beitragen.

Inhalt des Kapitels 2 ist die Herleitung einer Rangfolge von verschiedenen Verwertungs- und Beseitigungsoptionen für graphisches Altpapier (Recycling, Verbrennung, Deponie). Dabei werden die Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes⁸ zur Festlegung der umweltverträglicheren Verfahren berücksichtigt. Ein Überblick über wichtige Stoffströme der miteinander verglichenen abfallwirtschaftlichen Szenarien ist in Tabelle 3, Seite 16 aufgeführt. Die Auswirkungen eines variierenden Altpapiereinsatzes bei den Produkten Zeitungsdruckpapier, superkalandriertes Zeitschriftenpapier (SC-Papier), gestrichenes Zeitschriftenpapier (LWC-Papier) und Kopierpapier werden im Kapitel 3 untersucht. In der Tabelle 35, Seite 67 sind die wichtigsten Stoffströme der Produktszenarien dargestellt. Die Vergleiche werden durch Sensitivitätsuntersuchungen ergänzt.

Als Ergebnis der weiteren Fragestellungen werden im Kapitel 4 Abschätzungen formuliert, die eine erste Orientierung über die Umweltvor- und -nachteile von verschiedenen Zellstoffbleichverfahren, der Zellstoffproduktion in Deutschland bzw. im Ausland sowie von verschiedenen Zeitschriftenpapiersorten zulassen.

Ausgehend von den im Kapitel 5 formulierten Schlussfolgerungen werden im Kapitel 6 detaillierte Empfehlungen an Akteure ausgesprochen. Die abgeleiteten Empfehlungen sind an einen breiten Kreis von Akteuren gerichtet.

Im Anhang I findet sich ein umfangreiches Abkürzungsverzeichnis, das die Entschlüsselung der verwendeten Abkürzungen erleichtern soll. Weiterhin sind im Anhang I die T-Diagramme zum Szenarienvergleich enthalten, die in übersichtlicher Form darstellen, bei welchen Umweltwirkungen bestimmte Verfahren Vor- und Nachteile haben.

Für das Forschungsvorhabens wurde ein „Critical Review“ nach ISO 14040, d.h., eine Begutachtung durch unabhängige Ökobilanzfachleute durchgeführt. Das Umweltbundesamt beauftragte Herrn Prof. Dr. W. Klöpffer als Vorsitzenden für das Gutachtergremium. Herr Prof. Klöpffer berief als weitere Sachverständige Frau Prof. Dr. B. Grahl und Herrn Dr. U. Hamm in das Gremium. Das Abschlussgutachten ist im

⁷) „ISO 14040 Environmental management - Life cycle assessment - principles and framework“, April 1997; „ISO 14041 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle inventory analysis“, 1998; „EN ISO CD 14042 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment“, März 1999; „EN ISO CD 14043 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation“, Februar 1999

⁸) Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz vom 27.9.1994, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1994, Teil1, 2706, Nr. 66

Anhang II beigefügt.

2 Auswertung der Szenarien zur Entsorgung graphischer Altpapiere

2.1 Ziel- und Rahmenfestlegung

2.1.1 Zielfestlegung

Ein Ziel der Ökobilanz ist es zu ermitteln, welche Verwertungs- und Beseitigungsoptionen für graphische Altpapiere zu vergleichsweise geringen negativen Umweltauswirkungen führen. Dabei soll eine Rangfolge erstellt werden, die den im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz §5 Absatz 5 Satz 2 Nr. 1 bis 3 formulierten Kriterien genügt (siehe Kapitel 2.1.2).

In der formulierten Zielfestlegung⁹ heißt es zu den zu untersuchenden Verwertungs- und Beseitigungsoptionen für graphische Altpapiere:

Entsorgung graphischer Druckerzeugnisse:¹⁰

- Untersucht werden sollen die ökologischen Aspekte einer **thermischen Verwertung¹¹ bestimmter Altpapiere über Hausmüllverbrennungsanlagen**. Ausgangspunkt sind die Mengen und die Zusammensetzung der Papiere, wie sie momentan anfallen.
- Im Gegensatz dazu sollte ermittelt werden, ob sich die **thermische Verwertung** von bestimmten Mengen an **Altpapier** z.B. in Anlagen der Papierindustrie **mit Kraft-Wärme-Kopplung** ökologisch besser oder schlechter darstellt.
- Weiterhin sollen die ökologischen Vor- und Nachteile einer **maximalen Rückführung von Sekundärfasern zur Nutzung im Bereich graphischer Papiere** untersucht werden.
- Es sollen die ökologischen Unterschiede einer **thermischen Verwertung** getrennt gesammelten **Altpapiers** im Vergleich zu einer thermischen Verwertung **von Holz** dargestellt werden. Dabei soll die in der Papierindustrie eingesparte Holzmenge zur direkten Energiegewinnung genutzt werden.

Vor dem eigentlichen Vergleich (Kapitel 2.2 ff) soll im folgenden auf wichtige methodische Prinzipien eingegangen werden.

2.1.2 Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes an Ökobilanzen

Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) enthält an mehreren Stellen Anforderungen an die Bewertung von Produktsystemen bzw. Abfallentsorgungs-

⁹) Siehe Anhang III, Hauptbericht, Anlage 1

¹⁰) Zitat aus Anlage III, Hauptbericht, Anlage 1, Kapitel 3, Abschnitt D

¹¹) Der in der Zielfestlegung verwendete Begriff „thermische Verwertung“ ist nicht mehr aktuell. Anders als in der Zielfestlegung wird vom Umweltbundesamt die Verbrennung von Altpapier in Hausmüllverbrennungsanlagen nicht als Verwertungsverfahren sondern als Beseitigungsverfahren eingestuft.

systemen. Mit dem Instrument der Ökobilanz können hierzu aussagefähige wissenschaftliche Grundlagen erarbeitet werden.

Grundsätzlich gibt das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz der Abfallverwertung den Vorrang vor der Abfallbeseitigung (§ 5 Abs. 2) und stellt die stoffliche mit der energetischen Abfallverwertung gleich (§ 6 Abs. 1). Diese Rangfolge kann zu Gunsten der „umweltverträglicheren Lösung“ bzw. der „umweltverträglicheren Verwertungsart“ verändert werden. Hierzu heißt es im KrW-/AbfG:

§ 5 Abs. 5 Satz 1:

Der in Absatz 2 festgelegte Vorrang der Verwertung von Abfällen entfällt, wenn deren Beseitigung die **umweltverträglichere Lösung** darstellt.

§ 6 Abs. 1:

Abfälle können

- a) stofflich verwertet werden oder
- b) zur Gewinnung von Energie genutzt werden.

Vorrang hat die **besser umweltverträgliche Verwertungsart**.

Bei der Festlegung des Vorrangs sind laut § 5 Abs. 5 Satz 2 KrW-/AbfG und § 6 Abs. 1 Satz 3 KrW-/AbfG medienübergreifende Kriterien zu berücksichtigen, die im § 5 Abs. 5 Satz 2 KrW-/AbfG explizit genannt werden:

1. die zu erwartenden Emissionen
2. das Ziel der Schonung der natürlichen Ressourcen
3. die einzusetzende oder zu gewinnende Energie und
4. die Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen, Abfällen zur Verwertung oder daraus gewonnenen Erzeugnissen.

Die drei erstgenannten Kriterien können mit der Ökobilanz systematisch aufbereitet werden. Sie gehen in die Modellierung der Input- und Outputflüsse der Prozesse (siehe Abbildung 1) und in die Wirkungsabschätzung ein.

Abbildung 1: Ökobilanz-Modul (bzw. Prozess) mit Input- und Outputflüssen

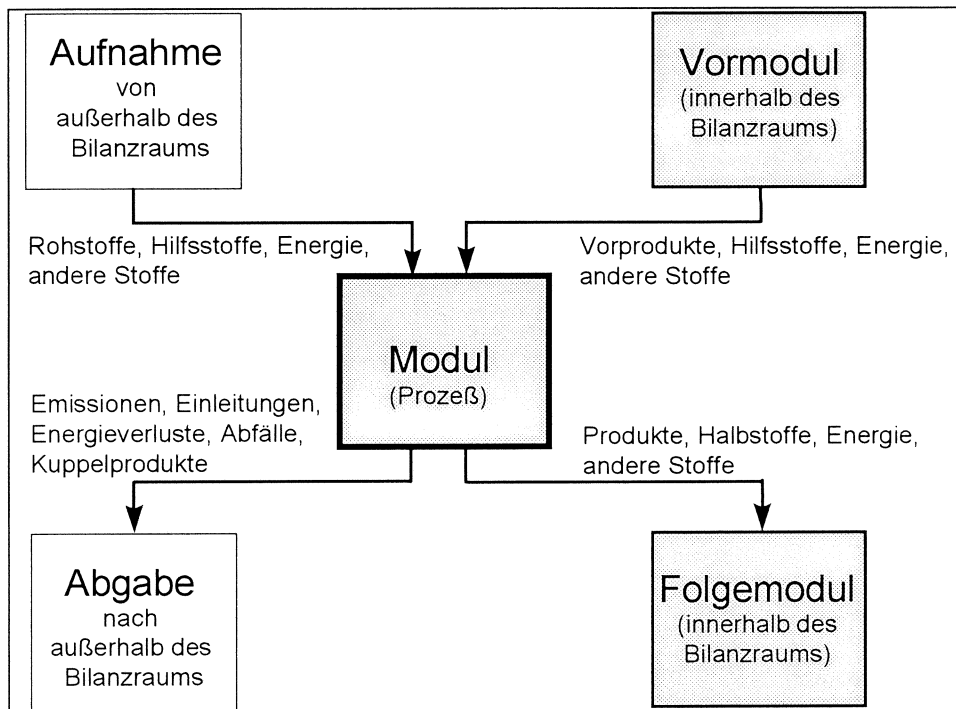


Tabelle 1: Zuordnung von Wirkungskategorien zu den Kriterien 1 bis 3 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes § 5 Abs. 5 Satz 2

Kriterium im § 5 Abs. 5 Satz 2 KrW-/AbfG	Wirkungskategorie der Ökobilanz
1. die zu erwartenden Emissionen	– Terrestrisches Eutrophierungspotenzial – Versauerungspotenzial – Treibhauspotenzial – Aquatisches Eutrophierungspotenzial/Sauerstoffzehrung – Bodennahes Ozonbildungspotenzial – Stratosphärischer Ozonabbau – Strahlung – Belästigung für Mensch, Pflanze und Tier – Allgemeine Risiken (Unfälle) – Direkte Gesundheitsschädigung – Direkte Schädigung von Ökosystemen
2. das Ziel der Schonung der natürlichen Ressourcen	– Naturraumbeanspruchung – Knappheit fossiler Energieträger – Wasserverbrauch
3. die einzusetzende oder zu gewinnende Energie	– Die Umweltwirkungen der Energiegewinnung und des Energieverbrauchs werden unter den oben genannten Wirkungskategorien subsummiert

In dieser Ökobilanz werden die im KrW-/AbfG aufgeführten Kriterien 1. bis 3. durch die in der Tabelle 1 aufgeführten Ökobilanz-Wirkungskategorien abgebildet. Nicht berücksichtigt bleiben der stratosphärische Ozonabbau, der in dieser Ökobilanz nicht relevant ist, und die Wirkungskategorien Strahlung, allgemeine Risiken (Unfälle) und Belästigung für Mensch, Pflanze und Tier, für die in der UBA-

Bewertungsmethode (Version 99) noch keine Konzepte zur Klassifizierung und Charakterisierung vorliegen¹².

Das Kriterium Nr. 4 (Schadstoffanreicherung) erschließt sich mit der Ökobilanzmethodik bisher nicht, weil diese nur die Wechselwirkungen eines Systems mit der Umwelt analysiert und bewertet. Die Schadstoffanreicherung lässt sich jedoch im einzelnen Fall anhand bestimmter bestehender rechtlicher Regelungen¹³ beurteilen.

2.1.3 Prozesse und Sektoren im Bilanzraum der „Ökobilanzen für graphische Papiere“

Prozesse, die in dieser Ökobilanz untersucht worden sind, werden in der Tabelle 40, Seite 99 benannt. Als Abschneidekriterium wurde festgelegt, dass Vorketten von Inputs in Prozesse nur dann bilanziert werden, wenn ihre Masse größer als 1 % bezogen auf den Output des jeweiligen Prozesses ist¹⁴. Eine unter diesem Abschneidekriterium durchgeführte Symmetriepfung enthält Anhang III, Hauptbericht, Anlage 2.

Im Anhang III, Materialband I sind die Prozessdatensätze mit Angaben zu Produkten, zur Prozessallokation, zu Vorketten, Inputdaten und Outputdaten sowie Aussagen zur Qualität und zur Repräsentativität der Daten zusammengefasst.

In Abbildung 2 bis Abbildung 3 sind die untersuchten Prozesse den Kapitelbezeichnungen der Standardberichtsbogen (SBB) im Anhang III, Materialband I (Datengrundlagen) zugeordnet. Diese Abbildungen geben auch einen schematischen Überblick über die Anordnung der Prozesse im Bilanzraum.

¹²) Siehe UBA-Texte 92/99 „Bewertung in Ökobilanzen, Version 99“

¹³) Ifeu „Ökologische Bilanzen der Abfallwirtschaft“, Berichtsentwurf zum UFOPLAN Vorhaben Nr. 10310606, ifeu, Heidelberg, 11.1996: Mögliche Regelungen wären z.B. die Höchstmengenverordnung im Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz (LMBG) oder die R-Sätze aus der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) zum Chemikaliengesetz (ChemG)

¹⁴) Zur Systemmodellierung siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 3.1

Abbildung 2: Schematische Darstellung des Subsystems IMPORT (hier NORD genannt, mit Angabe der Kapitelbezeichnung (SBB) im Anhang III, Materialband I, Graphik von Ifeu)

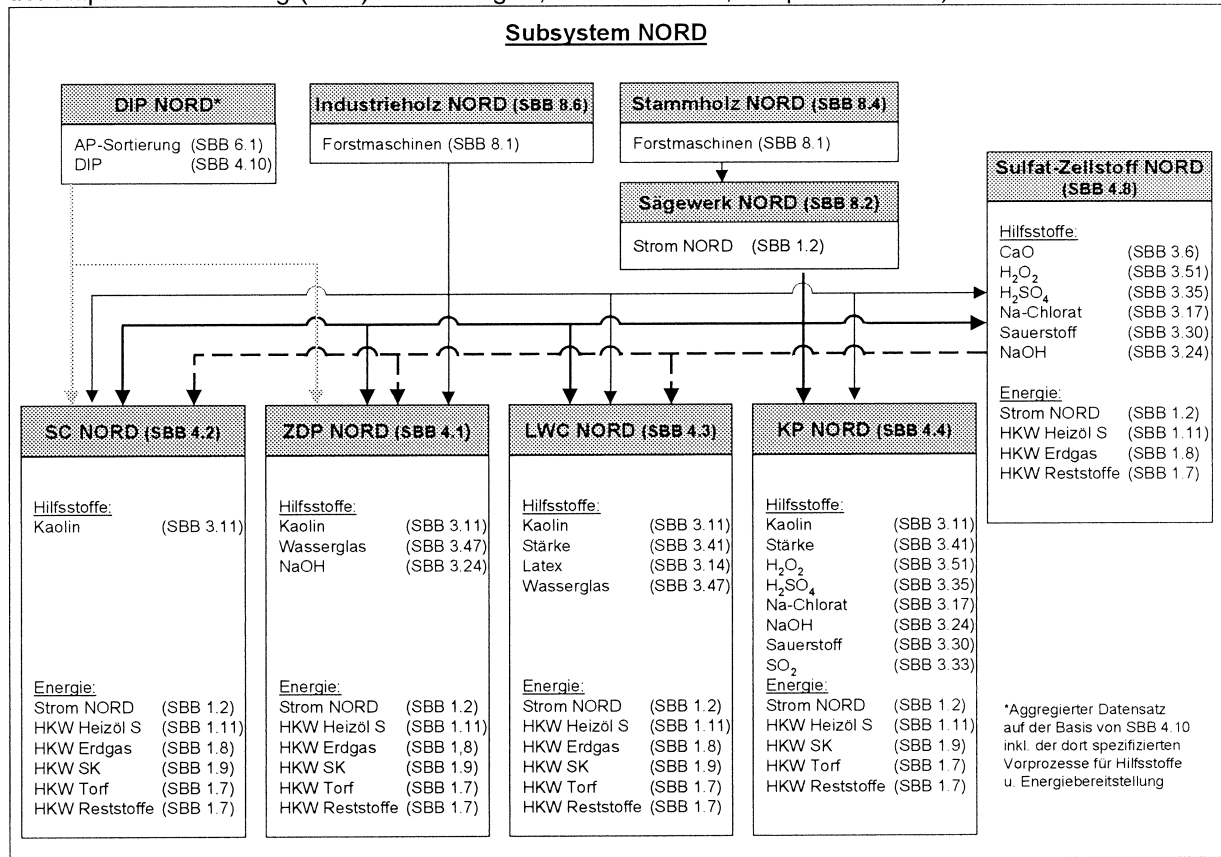


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Subsystems Entsorgung (mit Angabe der Kapitelbezeichnung (SBB) im Anhang III, Materialband I, Graphik von Ifeu)

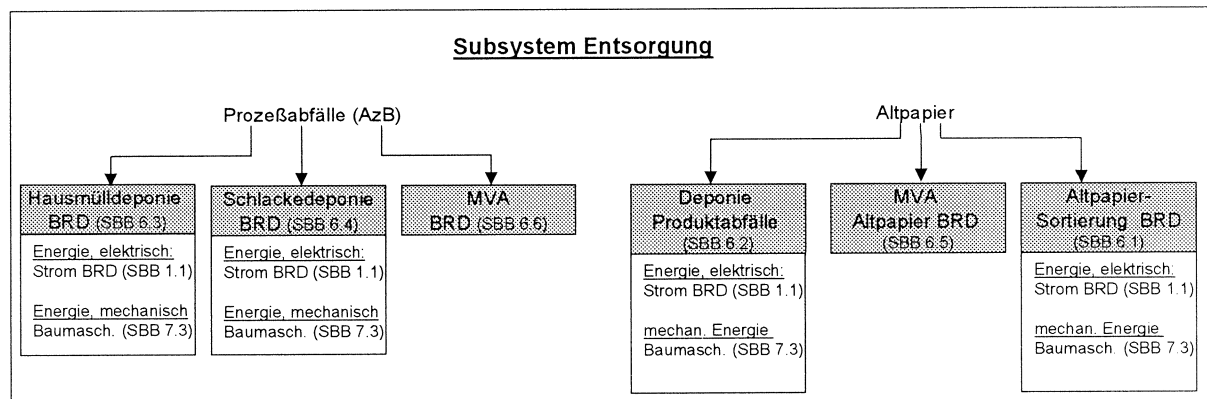


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Subsystems Faserherstellung in Deutschland (mit Angabe der Kapitelbezeichnung (SBB) im Anhang III, Materialband I, Graphik von Ifeu)

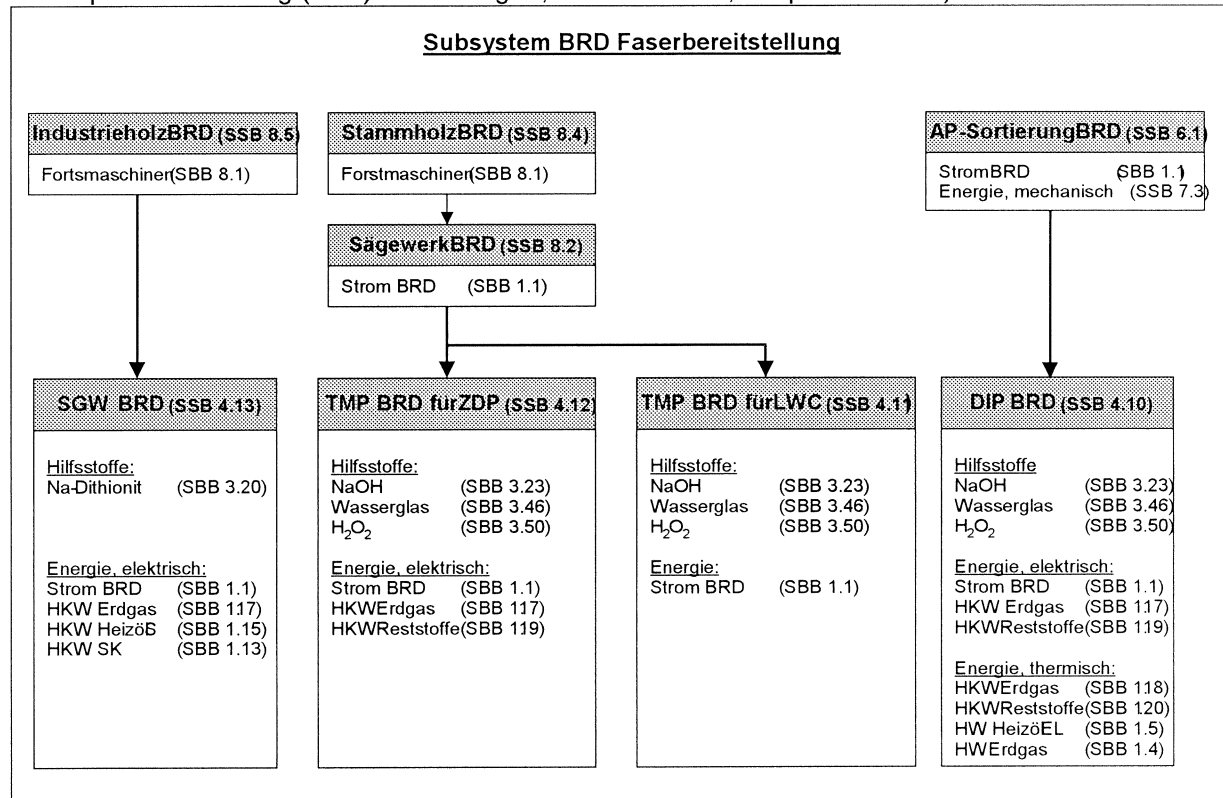
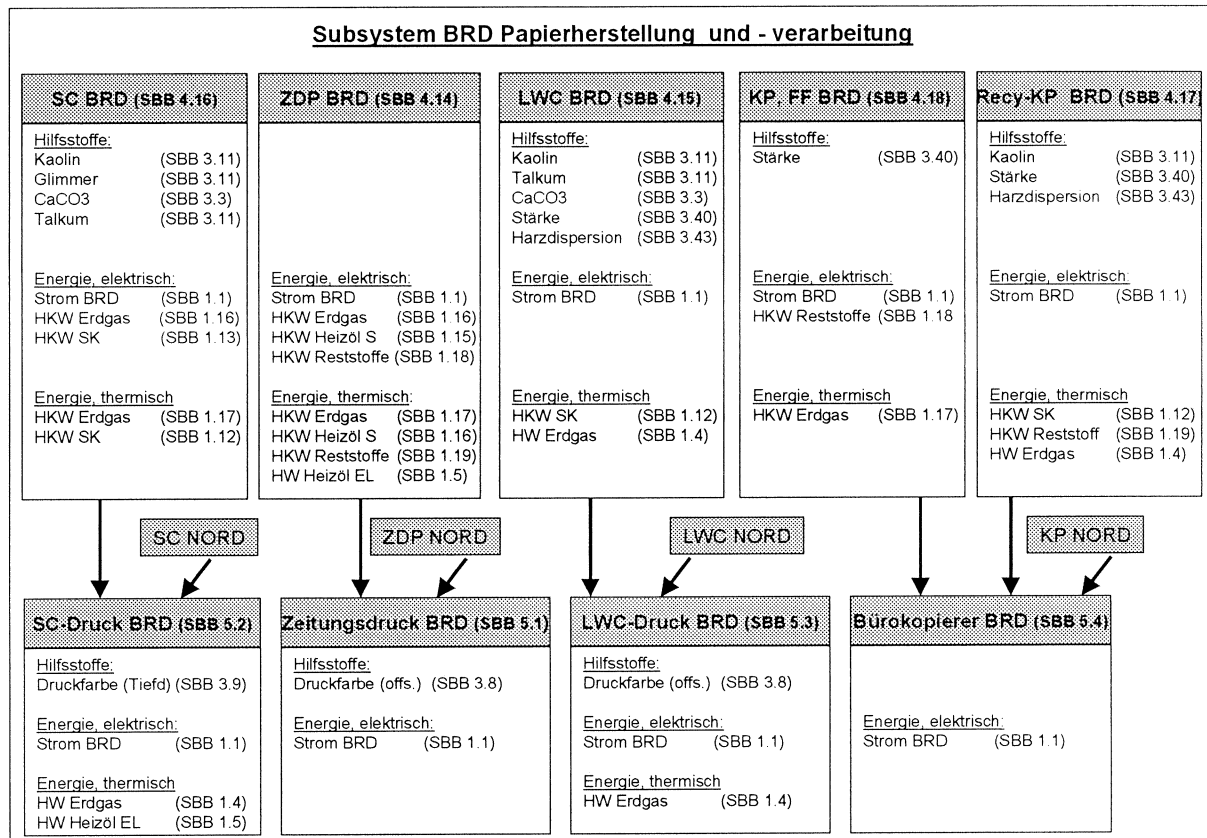


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Subsystems Papierherstellung und -verarbeitung in Deutschland (mit Angabe der Kapitelbezeichnung (SBB) im Anhang III, Materialband I, Graphik von Ifeu)



Die Tabelle 41, Seite 104 gibt einen Überblick darüber, welche Prozesse (auch als Transitionen bezeichnet) zu folgenden Sektoren zusammengefasst wurden:

- Forst Deutschland und IMPORT¹⁵
- Faser- und Papierherstellung IMPORT¹⁶
- Faserherstellung Deutschland
- Papierherstellung Deutschland
- Verarbeitung
- Entsorgung
- Transport
- Äquivalenzprozesse

¹⁵) Die Daten zur Forstwirtschaft in nach Deutschland importierenden Regionen werden durch die finnischen und schwedischen Wälder repräsentiert (kurz *Forst IMPORT*). Aufgrund der eingeschränkten Datenerhebung konnten andere Importgebiete in die Ökobilanz nicht einbezogen werden (siehe Anhang III, Materialband I, Anhang zu den Forstmodulen).

¹⁶) Die Daten zu importierten Faserstoffen und Papieren werden durch Werke in Norwegen, Finnland und Schweden repräsentiert (kurz *Faser/Papier IMPORT*). Aufgrund der eingeschränkten Datenerhebung konnten andere Importgebiete in die Ökobilanz nicht einbezogen werden.

2.1.4 Bilanzraumerweiterung um Äquivalenzprozesse und Nutzengleichheit in Ökobilanzen

Im Folgenden soll kurz die Methodik zur Erweiterung des Bilanzraums um Äquivalenzprozesse¹⁷ erläutert werden.

Äquivalenzprozesse sind ein oder mehrere Module bzw. Prozesse, die nicht zur eigentlichen Herstellung des untersuchten Produkts oder zur Realisierung eines untersuchten Abfallentsorgungsweges notwendig sind, die jedoch zur Modellierung der Nutzengleichheit von Systemen in den Bilanzraum aufgenommen werden müssen.

In der jeweiligen Ökobilanz müssen die Äquivalenzprozesse nachvollziehbar festgelegt werden, weil sie einen wesentlichen Einfluss auf das Ökobilanzergebnis haben können. Sind Äquivalenzprozesse nicht eindeutig zu definieren, sollten Sensitivitätsanalysen für alternative Äquivalenzprozesse durchgeführt werden¹⁸.

Unterbleibt diese Bilanzraumerweiterung, würde das für einen Vergleich von Systemen notwendige Kriterium der *funktionellen Äquivalenz*, d.h. die Nutzengleichheit der zu vergleichenden Systeme, nicht erfüllt werden. Die Folge wäre, dass die Umweltauswirkungen zweier Systeme nicht verglichen werden könnten. Neben den umweltbezogenen Unterschieden müssten gleichzeitig auch noch die unterschiedliche Qualität und Menge der hergestellten Produkte bewertet werden.

Bilanztechnisch wird beim Erstellen einer Ökobilanz so vorgegangen, dass den Systemen wechselseitig die Input- und Outputflüsse des Äquivalenzprozesses der zum Vergleich anstehenden Option hinzu addiert werden, so dass die Systeme den gleichen Nutzen erfüllen:

$$\begin{aligned} &\text{Nutzen des Systems A (Produkt A + Äquivalenzprodukt } B_{\text{äq}} \text{)} = \\ &\text{Nutzen des Systems B (Produkt B + Äquivalenzprodukt } A_{\text{äq}} \text{)} \end{aligned}$$

Beispielsweise muss beim Vergleich der Energiegewinnung aus Altpapier in Heizkraftwerken (Energie-Produkt A) mit der Herstellung von Recyclingpapier (Papier-Produkt B) in allen zu vergleichenden Systemen neben der hergestellten Papiermenge auch die gewonnene Energiemenge gleich groß sein. Der Äquivalenzprozess zur energetischen Altpapierverwertung könnte die Gewinnung von Energie aus fossilen / regenerativen Energieträgern (Energie-Produkt $A_{\text{äq}}$) und der Äquivalenzprozess zur Herstellung von Recyclingpapier könnte die Herstellung von Papier aus Holz (Papier-Produkt $B_{\text{äq}}$) sein.

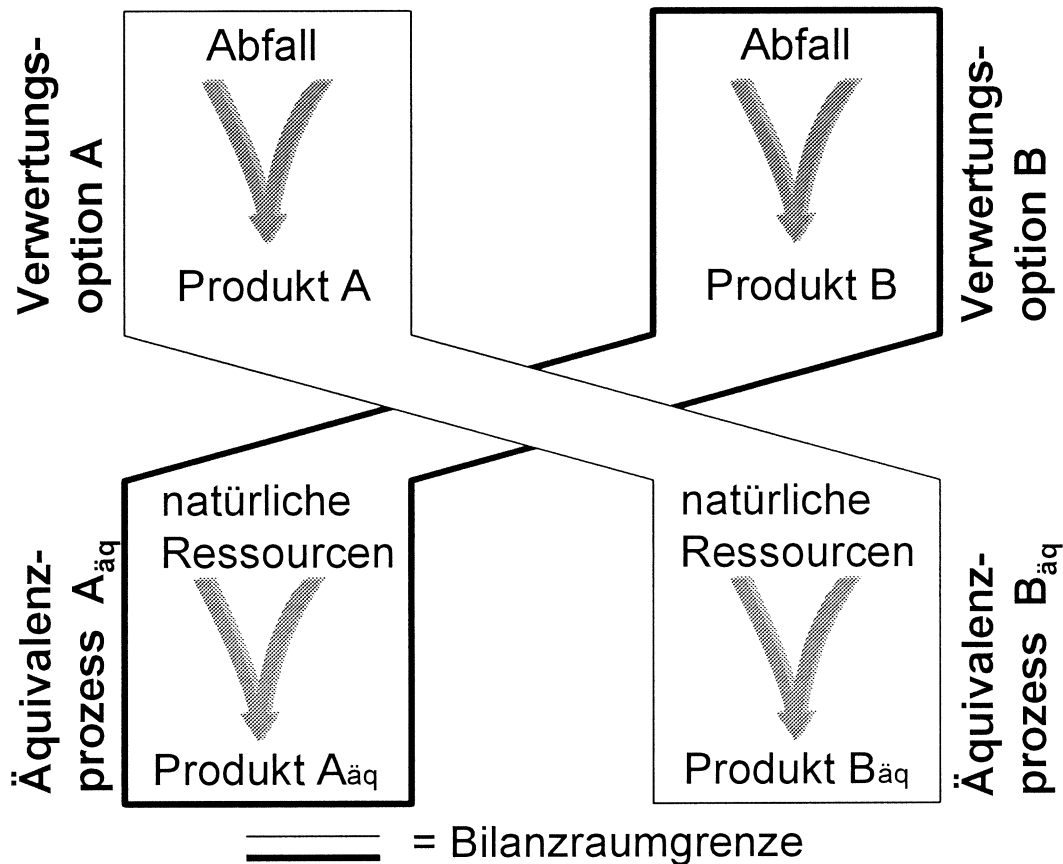
In der Abbildung 6 ist das Prinzip der Bilanzraumerweiterung für den Vergleich von zwei Verwertungsoptionen für denselben Abfall dargestellt.

¹⁷) A. Tiedemann: „Ökobilanzen als Umwelt-Bewertungsinstrument für die Abfallwirtschaft - Ein methodischer Leitfaden“, Handbuch für Müll und Abfall, Nr. 1522, Lieferung 9/1998

¹⁸) Durchgeführte Sensitivitätsanalyse zu Energie-Äquivalenzprozessen siehe Kapitel 2.5.3

Abbildung 6: Nutzengleichheit beim Vergleich von zwei Abfallverwertungsoptionen, Bilanzraumerweiterung um wechselseitige Äquivalenzprozesse (Abbildung in Anlehnung an Ifeu, 1996)

Bilanzraum A + $B_{\text{äq}}$ Nutzengleich zu Bilanzraum B + $A_{\text{äq}}$



Aufgrund des Sachverhalts, dass die Energiemenge, die in den einzelnen Szenarien dieser Ökobilanz gewonnen wird, nicht gleich groß ist, wird die Differenz zwischen den Szenarien aus methodischen Gründen durch zusätzliche Energie bereitstellende Prozesse ausgeglichen¹⁹. Diese zusätzlichen Prozesse, die in den Bilanzraum zu integrieren sind, werden als Energie-Äquivalenzprozesse bezeichnet.

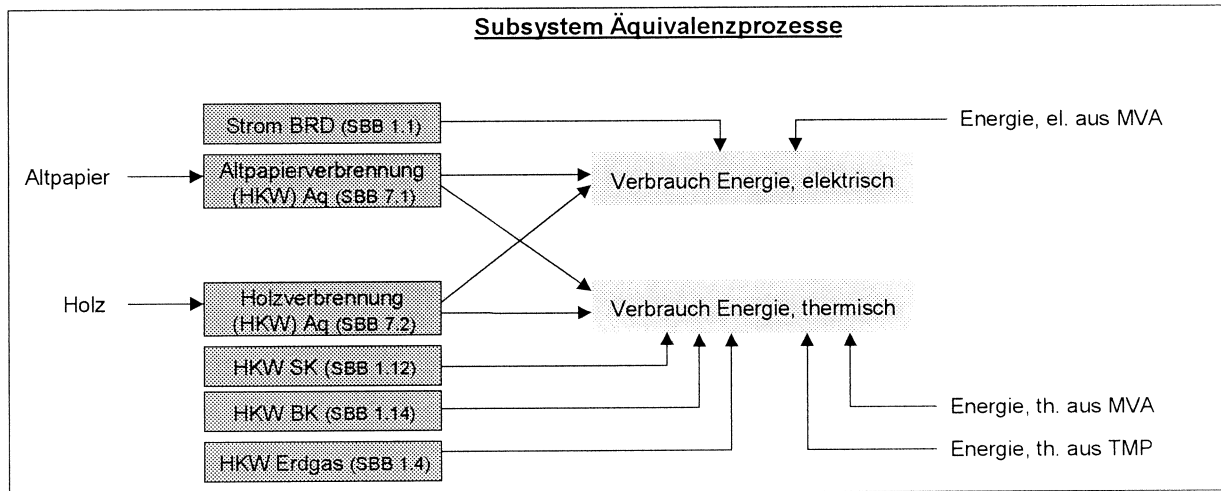
In dieser Ökobilanz werden die Energie-Äquivalenzprozesse $A_{\text{äq}}$ mit den Prozessen *HKW Kohle* oder *HKW Gas* und *Strom aus dem öffentlichen deutschen Netz (Strom BRD)* gespeist. In den Energiepool gehen auch die Produkte ein: Energie aus MVA, HKW Altpapier und HKW Holz sowie aus bilanztechnischen Gründen der energetische Output der Holzstoffherstellung (siehe Abbildung 7). Um die Nutzengleichheit der Szenarien sicherzustellen, wurden zwei Größen konstant gehalten:

1. Papierprodukte: Verbrauch einer konstanten Menge graphischer Papiere (7,633 Mio. t)

¹⁹) Weitere Einzelheiten zur Nutzengleichheit und den Äquivalenzprozessen siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 3.2, Seite 20 ff.

2. Energiepool: Herstellung einer konstanten Menge thermischer Energie und elektrischer Energie²⁰.

Abbildung 7: Schematische Darstellung des Subsystems Äquivalenzprozesse (mit Angabe der Kapitelbezeichnung (SBB) im Anhang III, Materialband I, Graphik von Ifeu)



2.1.5 Überblick über wichtige Stellgrößen für die Stoff- und Energieströme der untersuchten abfallwirtschaftlichen Szenarien sowie durchgeführte paarweise Szenariovergleiche

Zur Beantwortung der in der Zielfestlegung formulierten Fragen sind von der Projektgemeinschaft „Ökobilanz graphische Papiere“ Sachbilanzen und Wirkungsabschätzungen zu den in Tabelle 2, Seite 15 aufgeführten Szenarien vorgelegt worden. In Tabelle 3, Seite 16, wird ein Überblick über wesentliche Unterschiede zwischen den Szenarien gegeben (Altpapierrücklaufquote, Anteil Deponie, Anteil Hausmüllverbrennungsanlage, Anteil Heizkraftwerk, Herkunft von Holz, Verbleib von Holzübermengen und Art der Äquivalenzprozesse)²¹. Die Abbildung 8 gibt einen schematischen Überblick über die im Bilanzraum veränderten Stellgrößen.

Angemerkt sei, dass die Bezeichnung der Szenarien von den im Anhang III, Hauptbericht gewählten etwas abweicht. Zur Übertragung der in Tabelle 3 und Tabelle 2 verwendeten Szenarienbezeichnungen auf die etwas anders gewählten Szenarienbezeichnungen im Anhang III, Hauptbericht sind in der Tabelle 45, Seite 130 Informationen zusammengefasst.

Beim paarweisen Vergleich der Szenarien wurde das Szenario AP HAUPT I als Bezugspunkt bzw. Referenzszenario festgelegt. Seine wesentlichen Merkmale sind, dass die Rücklaufquote für graphisches Altpapier 69 % beträgt und dass nicht verwertete graphische Altpapiere im Verhältnis 30/70 über Hausmüllverbrennungsanlagen und Deponien beseitigt werden.

²⁰) Thermische Energie ($E_{th} = 1,3 \cdot 10^{13}$ kJ), elektrische Energie ($E_{el} = 6,2 \cdot 10^{12}$ kJ), siehe auch Anhang III, Hauptbericht, Abb. 15 bis 33

²¹) Weitergehende Beschreibung der Altpapierströme und der Entsorgungsszenarien siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 3.6

Ausgehend vom Referenzszenario wurde im Szenario AP HOCH I die Altpapierrücklaufquote auf 76 % erhöht und im Szenario AP TIEF I auf 57 % reduziert. Die Szenarien mit höherer und niedrigerer Altpapierrücklaufquote (Szenarien AP HOCH I und AP TIEF I) werden zunächst mit dem Szenario AP HAUPT I verglichen.

Überträgt man die für die Szenarien berechneten Altpapierrücklaufquoten in die Systematik einer Selbstverpflichtung, die 1994 von der AGRAPA gegenüber dem Bundesumweltministerium abgegeben wurde²² und im Vergleich zu den Altpapierrücklaufquoten ansatzbedingt zu größeren Verwertungsquoten führt, ergibt sich folgendes Bild:

- Die Altpapierrücklaufquote des Referenzszenarios AP HAUPT I von 69 % entspricht einer AGRAPA-Verwertungsquote in Höhe von rd. 73 %, die im Jahr 1995 erreicht wurde.
- Die Altpapierrücklaufquote des Szenarios AP HOCH I von 76% entspricht einer AGRAPA-Verwertungsquote von 80%, die in den Jahren 1996 bis 1998 etwas überschritten wurde (tatsächliche AGRAPA-Verwertungsquote rd. 82 bis 83 %).
- Die Altpapierrücklaufquote des Szenarios AP TIEF I von 57 % entspricht nach AGRAPA-Systematik einer Verwertungsquote von 60 % und ist mit der Situation im Jahr 1994 vergleichbar (tatsächliche AGRAPA-Verwertungsquote rd. 64 %).

Hieran schließen sich Sensitivitätsanalysen an, in denen zunächst die Szenarien AP TIEF II und AP TIEF III mit den Szenarien AP HAUPT I, AP HOCH I und AP TIEF I verglichen werden. Die Szenarien AP TIEF II und III unterscheiden sich vom Szenario AP TIEF I dadurch, dass Altpapierüberschüssen²³ in Müllverbrennungsanlagen bzw. in Heizkraftwerken verbrannt werden. In die Sensitivitätsanalyse werden ebenfalls die Energie-Äquivalenzprozesse einbezogen, indem in den Szenarien AP TIEF IV, AP TIEF V, AP HAUPT II und AP HOCH III die äquivalenten thermischen Energiemengen statt in Kohleheizkraftwerken in durch Erdgas befeuerten Heizkraftwerken erzeugt werden.

Wichtige Steuerparameter der Szenarien zur Verwertung und Beseitigung graphischer Altpapiere sind in der Tabelle 3 zusammengefasst.

²²) Arbeitsgemeinschaft Graphische Papiere (AGRAPA): „Selbstverpflichtungserklärung der AGRAPA für eine Rücknahme und Verwertung gebrauchter graphischer Papiere, Bonn 26.9.1994. Die *Rücklaufquote* für die Berechnung der Szenarien in der *Ökobilanz* basieren auf der Berechnung der Massenströme *Marktversorgung mit graphischen Papieren*, Anteile, die via Deponie oder MVA beseitigt werden, sowie des Anteils sonstiger Bereiche (Hausbrand, Littering und Archivierung). Bei der *AGRAPA-Verwertungsquote* gehen in die Berechnung der Marktversorgung auch noch die Mengen an Druckfarben, Büroklammern, Kleber usw. sowie der Netto-Export-Saldo ein. Die AGRAPA-Quote bezieht sich auf die *Marktversorgung mit fertigen Druckerzeugnissen*. Letztere ist aufgrund des bestehenden Exportüberschusses an graphischen Papieren kleiner als die Marktversorgung mit graphischen Papieren, mit der in der *Ökobilanz* gerechnet wurde. Marktversorgung mit graphischen Papieren (*Ökobilanz*) und Marktversorgung mit fertigen Druckerzeugnissen (AGRAPA) unterscheiden sich also im Wert voneinander. Diese Größen stehen im Zähler des Quotienten, mit dem die jeweiligen Rücklauf- bzw. Verwertungsquoten berechnet werden. So ergeben sich leicht voneinander abweichende Werte für die Rücklaufquote und die AGRAPA-Verwertungsquote.

²³) Altpapierüberschüssen in den Szenarien AP TIEF II bis V beziehen sich auf Altpapiermengen, die gegenüber dem Szenario AP HAUPT I nicht werkstofflich verwertet werden (0,955 Mio. t).

Die insgesamt durchgeführten abfallwirtschaftlichen Szenarienvergleiche sind in Tabelle 2 aufgelistet. Der Hintergrund für die durchgeführten Vergleiche ist in den Kapiteln 2.4 ff dargelegt.

Abbildung 8: Im Bilanzraum „Ökobilanzen für graphische Altpapiere“ veränderte Stellgrößen (stark schematisierte Darstellung der etwa 100 im Bilanzraum befindlichen Prozesse)

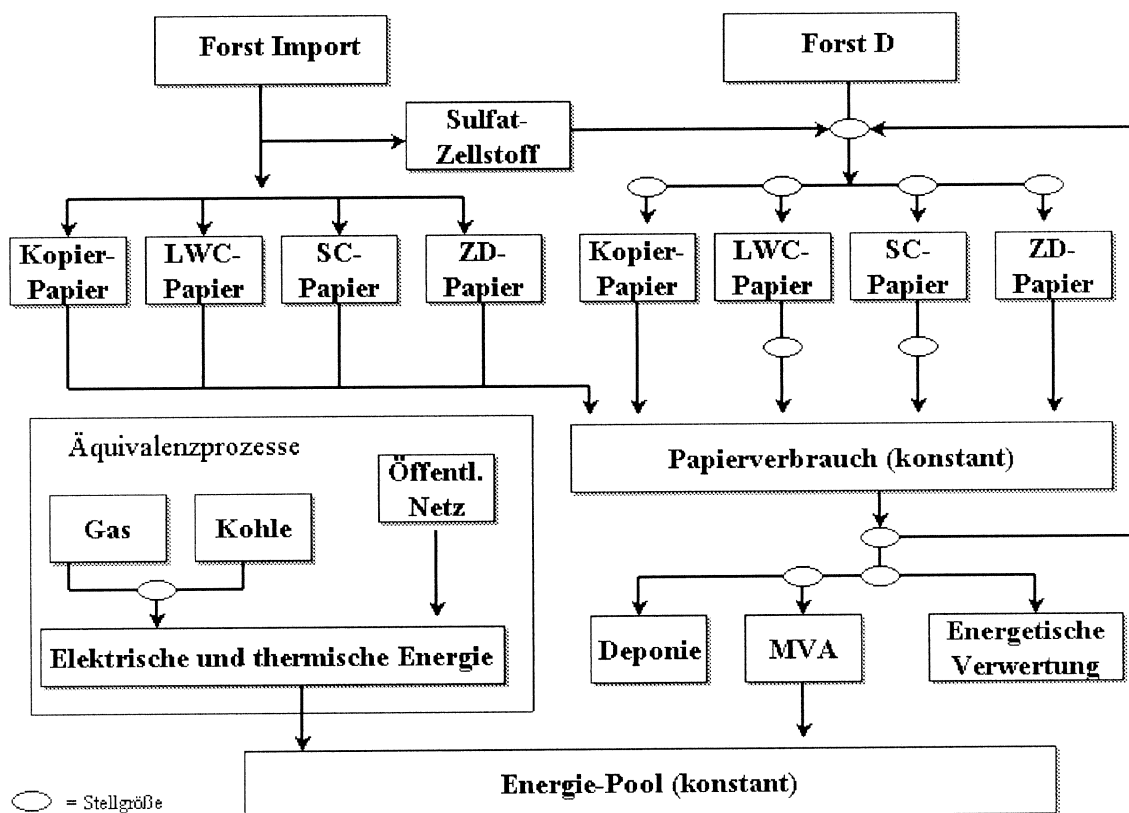


Tabelle 2: Überblick über durchgeführte paarweise Vergleiche der Entsorgungsszenarien für graphische Altpapiere (Verweis auf Kapitel, Abbildungen und Tabellen zur Priorisierung der Wirkungskategorien)

Vergleiche (Szenario X / Szenario Y)	Kapitel	Abbildungen	Tabellen zur Herleitung der ökologischen Priorität der Wirkungskategorien
AP HAUPT I / AP HOCH I	2.4.1	Abbildung 10 bis Abbildung 13	Tabelle 46
AP HAUPT I / AP TIEF I	2.4.2	Abbildung 14 bis Abbildung 17	Tabelle 47
AP TIEF II / AP TIEF I	2.5.1.1	Abbildung 18 bis Abbildung 20	Tabelle 48
AP TIEF III / AP TIEF I	2.5.1.1	Abbildung 21 bis Abbildung 23	Tabelle 49
AP TIEF II / AP TIEF III	2.5.1.1	Abbildung 24 bis Abbildung 26	Tabelle 50
AP HAUPT I / AP TIEF II	2.5.1.2	Abbildung 27 bis Abbildung 30	Tabelle 51
AP HAUPT I / AP TIEF III	2.5.1.3	Abbildung 31 bis Abbildung 34	Tabelle 52
AP TIEF III / AP HOCH I	2.5.1.4	Abbildung 35 bis Abbildung 38	Tabelle 53
AP HOCH I / AP HOCH II	2.5.2	Abbildung 39 bis Abbildung 42	Tabelle 54
AP HAUPT II / AP TIEF IV	2.5.3.1	Abbildung 43 bis Abbildung 46	Tabelle 55
AP HAUPT II / AP HOCH III	2.5.3.2	Abbildung 47 bis Abbildung 49	Tabelle 56
AP HAUPT II / AP TIEF V	2.5.3.3	Abbildung 50 bis Abbildung 53	Tabelle 57

Anmerkung: Eine Übertragung der Szenarienbezeichnung in dieser Tabelle in die des Anhang III, Hauptberichts enthält die Tabelle 45, die auch auf Ifeu-Tabellen zur Sachbilanz und zur Wirkungsabschätzung verweist.

Tabelle 3: Überblick über wichtige Steuerparameter der Szenarien zur Verwertung und Beseitigung graphischer Altpapiere

Bezeichnung der Szenarien	Verbleib des graph. Altpapiers *)				Herkunft von Holz und Verbleib von Holzübermengen **)	Äquivalenz-prozeß
	Rücklauf- quote (%)	Deponie (%)	MVA (%)	HKW (%)		
AP HAUPT I (APQ 72,9 %, AP→Dep/MVA, HKW _{Äq} Kohle)	69	12	5	0	Holz aus Forst Deutschland und IMPORT	HKW Kohle
AP HAUPT II (APQ 72,9 %, AP→Dep/MVA, HKW _{Äq} Gas)	69	12	5	0	Holz aus Forst Deutschland und IMPORT	HKW Gas
AP TIEF I (APQ 60 %, AP→Dep/MVA, HKW _{Äq} Kohle)	57	20	9	0	Holz aus Forst Deutschland und IMPORT	HKW Kohle
AP TIEF II (APQ 60 %, AP _{UM} →MVA, HKW _{Äq} Kohle)	57	12	17	0	Holz aus Forst Deutschland und IMPORT	HKW Kohle
AP TIEF III (APQ 60 %, AP _{UM} →HKW, HKW _{Äq} Kohle)	57	12	5	12	Holz aus Forst Deutschland und IMPORT	HKW Kohle
AP TIEF IV (APQ 60 %, AP _{UM} →HKW, HKW _{Äq} Gas)	57	12	5	12	Holz aus Forst Deutschland und IMPORT	HKW Gas
AP TIEF V (APQ 60 %, AP _{UM} →MVA, HKW _{Äq} Gas)	57	12	17	0	Holz aus Forst Deutschland und IMPORT	HKW Gas
AP HOCH I (APQ 80 %, AP→Dep/MVA, Holz→Fläche 1, HKW _{Äq} Kohle)	76	7	3	0	Holz aus Forst D. und IMPORT, Holzübermengen verbleiben im Forst D.	HKW Kohle
AP HOCH II (APQ 80 %, AP→Dep/MVA, Holz→HKW, HKW _{Äq} Kohle)	76	7	3	0	Holz aus Forst D. und IMPORT, Holzübermengen in HKW	HKW Kohle
AP HOCH III (APQ 80 %, AP→Dep/MVA, Holz→HKW, HKW _{Äq} Gas)	76	7	3	0	Holz aus Forst D. und IMPORT, Holzübermengen in HKW	HKW Gas

Anmerkungen:

- Eine Übertragung der Szenarienbezeichnung in die des Anhangs III, Hauptbericht enthält die Tabelle 45, die auch auf Ifeu-Tabellen zur Sachbilanz und zur Wirkungsabschätzung verweist. Weitere Einzelheiten zu den Szenarien siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 3.6; Zur Methodik der Äquivalenzprozesse siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 3.2.
- *) Die Marktversorgung mit graphischen Papieren (7.633 Mio. t) entspricht 100 %. In allen Szenarien verteilen sich die hier nicht aufgeführten 14 % der graphischen Altpapiere auf sonstige Bereiche (Hausbrand, Littering, Archivierung).
- **) Die Holzübermengen in den Szenarien AP HOCH I, II und III beziehen sich auf Holz Mengen, die gegenüber dem Szenario AP HAUPT nicht zur Papierherstellung verbraucht werden (0,761 Mio. t Wassergehalt 45 %).
- Rücklaufquote: Anteil der zur werkstofflichen Verwertung in die Papierindustrie zurückgeführten graphischen Altpapiere am Papierverbrauch in Deutschland
- APQ: Altpapierverwertungsquote im Sinne der AGRAPA-Selbstverpflichtung (AGRAPA-Quote ist bedingt durch die Systematik höher als die Rücklaufquote), MVA: Hausmüllverbrennungsanlage, HKW: Heizkraftwerk, Äq.: Äquivalenzprozess, AP_{UM}: Altpapierübermengen in den Szenarien AP TIEF II bis V beziehen sich auf Altpapiermengen, die gegenüber dem Szenario AP HAUPT nicht werkstofflich verwertet werden (0,955 Mio. t).

2.1.6 Funktionelle Einheit

Die Definition der funktionellen Einheit beschränkt sich auf die Verwendung von bestimmten graphischen Papieren für die Informationsvermittlung. Andere Medien zur Informationsvermittlung wie Rundfunk, Fernsehen, Internet und elektronische Post (e-mail) waren nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

Ursprünglich sollte die Bilanzierung der Produktsysteme für Zeitungen, Fotokopien und Zeitschriften nach dem Cut-Off-Ansatz erfolgen²⁴. Im Laufe des Forschungsvorhabens wurde die funktionelle Einheit zur Lösung der Allokationsproblematik zwischen Primärfaser- und Recyclingpapier überarbeitet und entsprechend der in der ISO 14041 empfohlenen Methodik erweitert²⁵. Die Folge der Bilanzraumerweiterung ist, dass die funktionelle Einheit sich nun auf die gesamte Produktion und Verarbeitung von Zeitungsdruckpapier, LWC-Papier, SC-Papier sowie Frischfaser- und Recyclingkopier-papier in Deutschland im Jahr 1995 bezieht. Auf der Ebene der Papierproduktion entspricht dieses einer Papiermenge von 6,58 Mio. t.

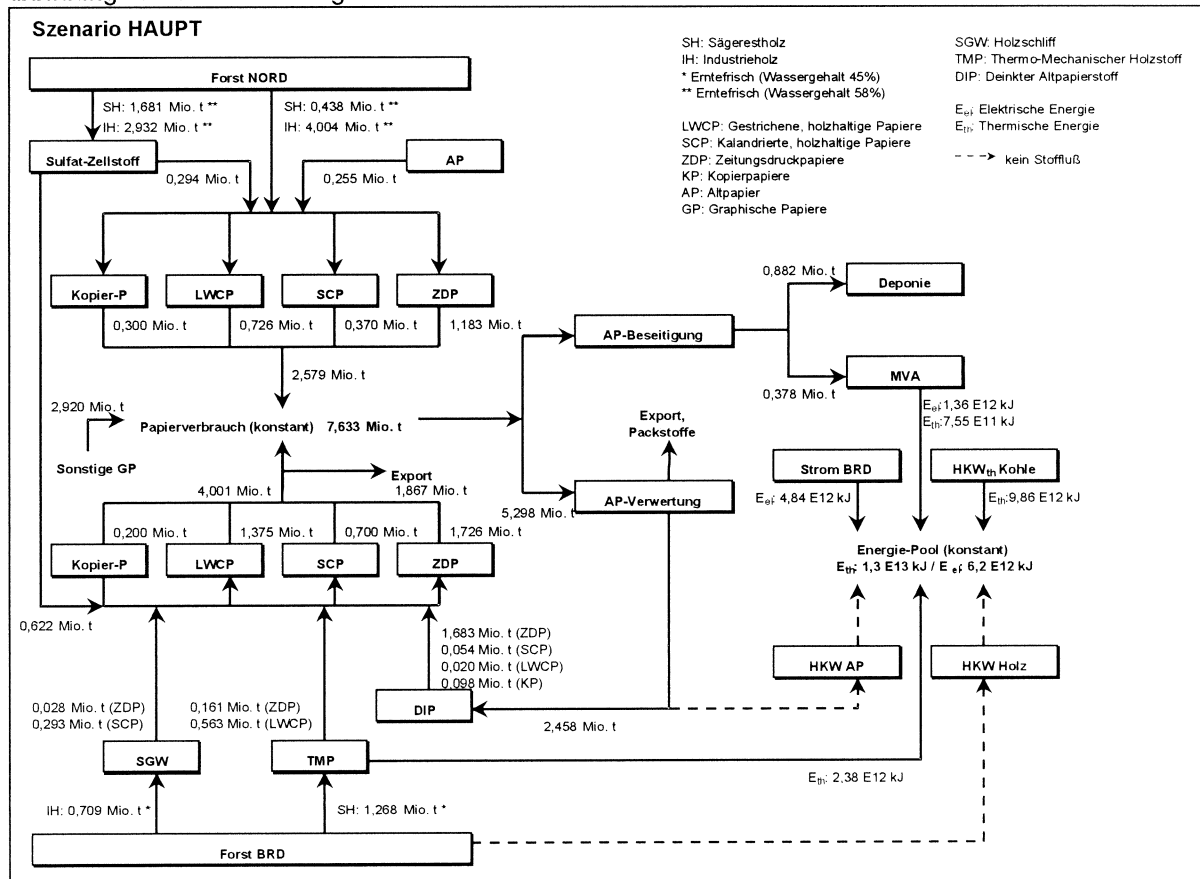
Zur Beantwortung der abfallwirtschaftlichen Fragestellungen, die im Vordergrund der Ökobilanz standen, wurde der Bilanzraum um die Beseitigung der in Deutschland im Jahr 1995 verbrauchten sonstigen graphischen Papiersorten (sonstige holzhaltige Papiere, ungestrichene holzfreie Papiere, holzfrei gestrichene Papiere und sonstige Büro- und Administrationspapiere) erweitert. Die abfallwirtschaftlichen Stoffströme konnten damit auf den Verbrauch der insgesamt in Deutschland im Jahr 1995 verbrauchten graphischen Papiere in Höhe von 7,633 Mio. t bezogen werden. Die Lebenswegabschnitte *Herstellung*, *Transport* und *Verarbeitung* sonstiger graphischer Papiersorten wurden hier nicht in den Bilanzraum integriert, weil die im Forschungsvorhaben gestellten Fragen sich nicht auf diese Lebenswegabschnitte dieser Papiersorten bezogen und die Komplexität des Bilanzraums nicht unnötig erhöht werden sollte.

Die Abbildung 9 gibt einen Überblick über wichtige Stoff- und Energieströme im Referenzszenario AP HAUPT I. Diese Stoff- und Energieströme basieren auf in der Tabelle 4 genannten Annahmen.

²⁴) Erläuterung verschiedener Bilanzierungsansätze und Begründung für die Anwendung des Cut-Off-Ansatzes siehe Nr. 4 im Ifeu-Materialband II, „Methodenpapier Allokation - Methodische Festlegung zur Prozeß- und Systemallokation im Ökobilanzforschungsvorhaben ...“, Stand 8.10.1996“, Umweltbundesamt

²⁵) Einzelheiten zur Definition der funktionellen Einheit siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 2.2

Abbildung 9: Stoff und Energieströme im Szenario AP HAUPT I



Graphik aus Anhang III, Hauptbericht, Seite 40

Tabelle 4: Überblick über wichtige Annahmen im Szenario AP HAUPT I

Funktionelle Einheit: Produktion und Verarbeitung von Zeitungsdruckpapier, LWC-Papier und SC-Papier sowie Frischfaser- und Recyclingkopierpapier, Entsorgung von 7,633 Mio. t graphischer Papiere	
• Verbleib der graphischen Papiere im Stoffstrommodell der Ökobilanz:	
⇒ Nettoexportsaldo, Archivierung, Hausbrand etc.: 14 %	
⇒ Altpapierrücklaufquote (Anteil zur Verwertung in der Papierindustrie): 69 %	
Davon Altpapierstoff-Einsatz für die Herstellung graphischer Papiere:	
– Zeitungsdruckpapier (ZDP): 1.683.000 t	
– superkalandriertes Zeitschriftenpapier (SC-Papier): 54.000 t	
– gestrichenen Zeitschriftenpapier (LWC-Papier): 20.000 t	
– Kopierpapier (KOP): 97.000 t	
⇒ Beseitigung graphischer Altpapiere: 17 %	
– davon Deponie: 70 %	
– davon Hausmüllverbrennungsanlage (MVA): 30 %	
• Herkunft von Holz und Faserstoffen:	
⇒ Holz aus Forst Deutschland (0,7 Mio. t Industrieholz und 1,27 Mio. t Sägereistholz; erntefrisch, Wassergehalt 45 %) und Holz für Zellstoff- und Papierherstellung in IMPORT (2,1 Mio. t Sägereistholz und 6,94 Mio. t Industrieholz; erntefrisch, Wassergehalt 58 %)	
⇒ Sulfatzellstoff aus Importen: 622.000 t	
⇒ Holzstoff aus Deutschland: 1.045.000 t	
• Energie-Äquivalenzprozesse:	
⇒ Heizkraftwerk Kohle ($9,86 \cdot 10^{12}$ kJ thermische Energie)	
⇒ Strom aus öffentlichem Netz Deutschland ($4,84 \cdot 10^{13}$ kJ elektrische Energie)	

Anmerkung: Weitere Angaben zum Szenario AP HAUPT I siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 3.6.3

2.1.7 Graphische Darstellung der Ergebnisse der paarweisen Szenarienvergleiche in T-Diagrammen

2.1.7.1 Allgemeines

Für die Auswertung der Szenarien wird die kürzlich als UBA-Texte 92/99 veröffentlichte Bewertungsmethode des Umweltbundesamts (Version 99, Stand Dezember 1999) verwendet. Diese Bewertungsmethode baut auf einem direkten Vergleich von jeweils zwei Szenarien auf und ermöglicht Aussagen darüber, welches der beiden jeweils betrachteten Szenarien unter Umweltschutzgesichtspunkten günstiger bzw. ungünstiger zu bewerten ist.

Beim paarweisen Vergleich werden die Indikatorergebnisse der einzelnen Szenarien ins Verhältnis gesetzt.

$$\text{Mehrbelastung}_i = \frac{IE_{i, \max} - IE_{i, \min}}{IE_{i, \min}} \quad (\text{Angabe in } \%)$$

IE_i : Indikatorergebnisse in der *Wirkungskategorie i*
 min, max: kleinerer, größerer der beiden verglichenen Werte

Die dabei berechnete prozentuale Mehrbelastung wird in einem sogenannten T-Diagramm dargestellt. Die Ausrichtung der einzelnen Balken im T-Diagramm lässt erkennen, von welchem Szenario in welcher Wirkungskategorie bzw. Sachbilanzparameter eine höhere potenzielle Umweltbelastung ausgeht. Die Balkenlänge gibt die relative Mehrbelastung in Prozent an. Bei der Interpretation der T-Diagramme ist zu beachten, dass aufgrund des erweiterten Bilanzraums etwa 100 verschiedene Prozesse an den Ergebnissen beteiligt sind²⁶.

In den Abbildungen zur Wirkungskategorie Naturraumbeanspruchung ist in den T-Diagrammen zusätzlich auch das Naturraumpotenzial graphisch dargestellt. Das Naturraumpotenzial lässt eine Aussage über den prozentualen Anstieg der nicht in Anspruch genommenen Flächen zu (siehe auch Kapitel 2.1.9).

Zu jedem paarweisen Vergleich liegen mehrere T-Diagramme vor (siehe Tabelle 2 und Abbildungen ab Seite 135):

I. Diagramm mit Ergebnissen in den Wirkungskategorien:

- Knappheit fossiler Energieträger
- Treibhauspotenzial
- bodennahes Photooxidantienbildungspotenzial
- Versauerungspotenzial
- aquatisches Eutrophierungspotenzial /Sauerstoffzehrung
- terrestrisches Eutrophierungspotenzial

II. Diagramm mit Ergebnissen in der Wirkungskategorie Naturraumbeanspruchung:

- Natürlichkeitsklassen II, III, IV und V
- Natürlichkeitsklasse I (Naturraumpotenzial)

III. Diagramm mit Ergebnissen in der Wirkungskategorie direkte Gesundheitsschädigung:

²⁶) Zum Dämpfungseffekt großer Systeme siehe auch Kapitel 2.1.7.2.

- Krebsrisikopotenzial von Luftschadstoffen
- Belästigung durch Lärm

- Staub
- Schwefeldioxid
- Kohlenmonoxid
- Benzo(a)pyren
- Cadmium
- Blei

IV. Diagramm mit Ergebnissen in der Wirkungskategorie direkte Schädigung von Ökosystemen:

- * Indikatoren zu Gewässereinleitungen:
 - sonstige Kohlenwasserstoffe
 - Chlorid
 - AOX
 - Ammonium
- * Indikatoren zu Luftemissionen:
 - Stickoxide
 - Schwefelwasserstoff
 - Fluorwasserstoff
 - Ammoniak
 - Schwefeldioxid

2.1.7.2 Einfluss der Bilanzraumerweiterung auf paarweise Szenarienvergleiche

Eine Sensitivitätsprüfung zum Einfluss der Bilanzraumerweiterung auf die Szenarienergebnisse wurde im Anhang III, Hauptbericht, Anhang 3 durchgeführt.

Darin wurde untersucht, wie sich die Verdoppelung der Input- und Outputgrößen bei einem Prozessdatensatz (100 %ige Änderung der Daten für die Altpapieraufbereitung für Kopierpapierherstellung) auswirkt. Es zeigte sich, dass große Änderungen im Prozessdatensatz dazu führen, dass sich die Summe aller Umweltwirkungen im Bilanzraum durchweg um weniger als 0,15% ändert. Auch beim Verbrauch fossiler Energieträger verändert die vorgenommene Mengenverdopplung das Endergebnis nur um 3,5%.

Insgesamt erscheinen relative Unterschiede zwischen zwei Szenarien, in denen in Teilbereichen drastische Veränderungen modelliert worden sind, im Endergebnis ansatzbedingt klein. Ein erweitertes Bilanzsystem wirkt also sehr dämpfend auf Veränderungen. Kleine Unterschiede im Endergebnis können daher nicht pauschal als „nicht signifikant“, wie sonst bei im Cut-Off-Ansatz bilanzierten Systemen üblich, bewertet werden²⁷.

²⁷) Der Dämpfungseffekt der Bilanzraumerweiterung kann an folgendem Beispiel verdeutlicht werden („Tanker-Effekt“): Für den Kapitän auf einem Tanker soll eine geeignete Kopfbedeckung ausgesucht werden. Zum Vergleich steht eine schwere Kopfbedeckung aus Metall und eine leichtere aus Textilien an. Die Auswahl der Kopfbedeckungen kann nun anhand des Gewichtsunterschieds der Mützen, anhand des Gewichtsunterschieds der Mützen plus Kapitän oder anhand des Gewichtsunterschieds der Mützen plus Kapitän plus Tanker (entspricht der Bilanzraumerweiterung) erfolgen. Werden

Mit der Systemerweiterung sind gegenüber den im Cut-Off bilanzierten Systemen Vor- und Nachteile verbunden. Vorteilhaft ist, dass der Papierfaserstrom und die Aufteilung der Altpapierströme auf unterschiedliche Entsorgungswege (Deponie, Müllverbrennungsanlage, Altpapier-Heizkraftwerke oder werkstoffliche Verwertung) differenziert abgebildet, die Höhe der werkstoffliche Altpapierverwertung den tatsächlichen Produktionskapazitäten angepaßt und die Allokationsproblematik, d.h. die Zuordnung der Umweltauswirkungen auf verschiedene Papierlebenswege, vermieden werden kann. Nachteilig ist, dass die vielfältig miteinander in Beziehung stehenden Prozessketten zu aufwendigen Auswertungen führen, die relativen Unterschiede zwischen den Szenarien klein werden und die zugrundeliegende Bedarfsstruktur (absolute Höhe des Papierverbrauchs) nicht hinterfragt wird.

2.1.8 Rangbildung der Wirkungskategorien (Rangbildung der *ökologischen Gefährdung*, des *Distance-to-Target* und des *spezifischen Beitrags*, Zusammenfassung zur *ökologischen Priorität*)

In der UBA-Bewertungsmethode für Ökobilanzen, Version 99,²⁸ werden die einzelnen Wirkungskategorien in eine Rangfolge gebracht, um im Rahmen der Auswertung der Ökobilanzergebnisse besonders wichtige Wirkungskategorien von vergleichsweise unwichtigeren unterscheiden zu können. Dazu wird den einzelnen Wirkungskategorien eine *ökologische Priorität* zugeteilt, die folgende Merkmale annehmen kann:

- *sehr groß*,
- *groß*,
- *mittel*,
- *gering* und
- *sehr gering*

Zur Bestimmung der *ökologischen Priorität* muss zunächst eine Rangbildung der Kriterien *spezifischer Beitrag*, *Distance-to-Target* (Abstand vom angestrebten Umweltzustand) und *ökologische Gefährdung* mit den Wertungen A (hohe Priorität), B, C, D und E (niedrige Priorität) durchgeführt werden²⁹.

Das Kriterium *spezifischer Beitrag* bezieht die Indikatorergebnisse einer konkreten Ökobilanz auf die aktuelle Umweltsituation der betreffenden Wirkungskategorie. Ein *Indikatorergebnis* ist hierbei als um so bedeutender einzustufen, je größer es im Vergleich zu der pro Jahr in Deutschland gemessenen Gesamtbelastung dieser *Wirkungskategorie* ist.

Mit dem Kriterium *Distance-to-Target* wird innerhalb jeder Wirkungskategorie der Abstand vom angestrebten Umweltzustand bewertet.

Tanker plus Kapitän plus Metallmütze oder plus Textilmütze zusammen gewogen, werden nur kleine relative Gewichtsunterschiede festgestellt, obwohl der Gewichtsunterschied der Mützen absolut gesehen sehr groß ist.

²⁸) Vollständig Bewertungsmethode siehe UBA-Texte 92/99 „Bewertung in Ökobilanzen. Version '99.

²⁹) Zur Zusammenfassung der Einzelbeurteilungen der Kriterien *spezifischer Beitrag*, *Distance-to-Target* und *ökologische Gefährdung* zur *ökologischen Priorität* siehe UBA-Texte 92/99, Bewertung in Ökobilanzen, Version 99, , S. 23, Kapitel 2.3.1.2, Tabelle 1

Mit der *ökologischen Gefährdung* wird der mögliche Schaden in Bezug auf die Schutzgüter „menschliche Gesundheit“, „Struktur und Funktion von Ökosystemen“ und „Ressourcen“ unter Berücksichtigung der Reversibilität und der zeitlichen Dauer der Wirkungen, der räumlichen Ausdehnung der Wirkungen und der Sicherheit/ Unsicherheit der Erkenntnisse über Wirkungen bewertet.

In der Tabelle 5 und Tabelle 6 sind die Rangbildungen für die *ökologische Gefährdung* und für *Distance-to-Target*, wie sie vom Umweltbundesamt vorgeschlagen werden, zusammengefasst. Es ist zu betonen, dass diese Rangbildung als ein relativer Vergleich zwischen den Wirkungskategorien bzw. Indikatorergebnissen, nicht dagegen als absolutes Urteil anzusehen ist. Die Rangbildung für den *spezifischen Beitrag* leitet sich aus der jeweiligen Ökobilanz ab und ist in den Tabelle 46, Seite 115 bis Tabelle 57, Seite 126 dargestellt.

In den T-Diagrammen (Seite 135 ff) ist die *ökologische Priorität* der Wirkungskategorien, wie sie sich aus der Tabelle 46 bis Tabelle 57 herleitet, mit einer abgestuften Schwarz-/ Graustufung³⁰ kenntlich gemacht.

Bei der Beurteilung von Einzelstoffen im Bereich der gesundheitlich oder ökotoxisch relevanten Umweltaspekte wurde eine Rangbildung nicht durchgeführt. Der paarweise Szenarienvergleich erfolgte auf der Basis einzelner unbewerteter Indikatoren.

Die Anwendung der Bewertungsmethode kann für den Vergleich des Szenarios A mit dem Szenario B folgende Merkmale annehmen:

A << B	A ist erheblich ungünstiger als B.
A < B	A ist ungünstiger als B.
A ≈ B	Unterschiede zwischen A und B sind nicht nachweisbar.
A > B	A ist günstiger als B.
A >> B	A ist erheblich günstiger als B.

³⁰) Siehe Legende in T-Diagrammen

Tabelle 5: Rangbildung des „Distance-to-Target“ und der „ökologischen Gefährdung“ von Wirkungskategorien in der Umweltbundesamt-Methode „Bewertung in Ökobilanzen, Version 99“

Wirkungskategorie	Rangbildung des Distance-to-Target	Rangbildung der ökologischen Gefährdung
Treibhauseffekt	A	A
Stratosphärischer Ozonabbau	D	A
Terrestrische Eutrophierung	B	B
Versauerung, aquatisch und terrestrisch	B	B
Knaptheit fossiler Energieressourcen	B	C
Aquatische Eutrophierung / Sauerstoffzehrung,	C	B
Photochemische Oxidantienbildung / Sommersmog	B	D
Naturraumbeanspruchung*):		
– Natürlichkeitsklasse I	C	bei Inanspruchnahme von Flächen der Natürlichkeitsklasse I: A; sonst: keine vernachlässigbar**)
– Natürlichkeitsklasse II	A	
– Natürlichkeitsklasse III		D
– Natürlichkeitsklasse IV		C
– Natürlichkeitsklasse V		B

Anmerkung:

- Die Rangbildung ist als ein relativer Vergleich zwischen den Wirkungskategorien bzw. Indikatorenergebnissen, nicht dagegen als absolutes Urteil anzusehen ist.
- *) Die Natürlichkeitsklassen VI und VII wurden hier in die Rangbildung nicht mit einbezogen, weil sie nicht die forstliche Nutzung betreffen.
- **) Die ökologische Gefährdung der Natürlichkeitsklasse II wird als vernachlässigbar bewertet, weil eine Verschiebung der Natürlichkeitsklassenverteilung hin zur Natürlichkeitsklasse II (z.B. naturnaher Wald) als anzustrebender Umweltzustand formuliert wurde.
- Weitergehende Informationen zur Bewertung siehe UBA-Texte 92/99: UBA-Methode „Bewertung in Ökobilanzen, Version 99“ mit Anhängen I und II

Tabelle 6: Einbeziehung der Sachbilanz- und Wirkungsabschätzungsdaten zu den Wirkungskategorien direkte Gesundheitsschädigung und direkte Schädigung von Ökosystemen in die Auswertung

Auswertung		
Wirkungskategorie	Rangbildung des <i>Distance-to-Target</i>	Rangbildung der <i>ökologische Gefährdung</i>
Direkte Gesundheitsschädigung:		
– Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe	aggregiert, aber nicht bewertet	
– Belästigung durch Lärm	aggregiert, aber nicht bewertet	
– Einzelindikatoren (Staub, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Benzo(a)pyren, Cadmium und Blei)	nicht aggregiert und nicht bewertet, Vergleich von Einzelindikatoren	
Direkte Schädigung von Ökosystemen:		
– Einzelindikatoren zu Einleitungen in Gewässer (Kohlenwasserstoffe, Chlorid, AOX und NH ₄ ⁺) und Emissionen in die Atmosphäre (NO _x , H ₂ S, HF, NH ₃ und SO ₂)	nicht aggregiert und nicht bewertet, Vergleich von Einzelindikatoren	

Anmerkung:

- Weitergehende Informationen zur Bewertung siehe UBA-Texte 92/99: „Bewertung in Ökobilanzen, Version ‘99“ mit Anhängen I und II

2.1.9 Allgemeines zur Wirkungskategorie Naturraumbeanspruchung

Mit der Wirkungskategorie Naturraumbeanspruchung werden die flächenbezogenen Umweltbelastungen quantifiziert. Als „Maßeinheit“ wird dabei die *Naturnähe von Flächen* und die Größe der in Anspruch genommenen Flächen verwendet.

Unterschieden werden sieben Qualitätsniveaus, sog. Natürlichkeitsklassen (siehe Tabelle 7), in die alle Landflächen eingeordnet werden können. Die Natürlichkeitsklassen haben von Klasse I zu Klasse VII einen abnehmenden Natürlichkeitsgrad, d.h. dass der Abstand zu unbeeinflussten Ökosystemen, in denen keinerlei forstliche oder sonstige Nutzung erfolgt, mit zunehmender Ordnungszahl größer wird.

Tabelle 7: Charakterisierung der sieben Natürlichkeitsklassen der Naturraumbeanspruchung

Naturraumbeanspruchung, Natürlichkeitsklassen	Knappe Charakterisierung der Nutzungsformen der Natürlichkeitsklassen
Natürlichkeitsklasse I	über lange Zeit keinerlei Nutzung, unbeeinflusstes Ökosystem, Urwald
Natürlichkeitsklasse II	naturnahe forstwirtschaftliche Nutzung
Natürlichkeitsklasse III	bedingt naturnahe forst- und landwirtschaftliche Nutzung
Natürlichkeitsklasse IV	halbnatürliche forst- und landwirtschaftliche Nutzung
Natürlichkeitsklasse V	bedingt naturferne forst- und landwirtschaftliche Nutzung
Natürlichkeitsklasse VI	naturferne landwirtschaftliche Nutzung, Intensivlandwirtschaft
Natürlichkeitsklasse VII	langfristig versiegelte oder degradierte Flächen

Einzelheiten siehe Anhang III, Materialband II, Teil 1

Einzelheiten zur Wirkungskategorie Naturraumbeanspruchung sind im Ifeu/BaWÖ-Teilbericht „Naturraumbeanspruchung waldbaulicher Aktivitäten als Wirkungskategorie für Ökobilanzen“³¹ dargestellt. Darin wird neben dem grundsätzlichen Vorgehen bei der Wirkungskategorie Naturraumbeanspruchung auch im Detail auf die konkrete Anwendung der Methode auf Waldflächen eingegangen. Es wird betont, dass der Wirkungsindikator Naturraumbeanspruchung vom Prinzip so angelegt ist, dass er auf alle Flächen (z.B. bei Bedarf auch auf landwirtschaftliche Flächen sowie auf versiegelte oder degradierte Flächen) angewendet werden kann.

Bei der Methodenentwicklung standen zunächst Natürlichkeitsklassen im Vordergrund, die die forstliche Nutzung betreffen, weil in dieser Ökobilanz das Holz die wichtigste Ressource für die untersuchte Zellstoff- und Papierherstellung ist. Die Methode wurde daher zunächst für die Natürlichkeitsklassen II, III, IV und V entwickelt.

In der Methode wird die Naturraumbeanspruchung von Waldökosystemen aufgespalten in die Kriterien

- A) Naturnähe des Bodens,
- B) Naturnähe der Waldgesellschaft und
- C) Naturnähe der Entwicklungsbedingungen.

Mit den in der Tabelle 8 genannten Indikatoren werden die Kriterien A, B und C weiter differenziert. Für die einzelnen Indikatoren wurde eine ordinale Messvorschrift erarbeitet, die aus jeweils fünf Klassen besteht. Über verschiedene

³¹) Siehe Anhang III mit Ifeu-Materialband II (auf CD-Rom); Jürgen Giegrich und Knut Sturm: „Naturraumbeanspruchung waldbaulicher Aktivitäten als Wirkungskategorie für Ökobilanzen“

Aggregationsstufen werden die Indikatormeßergebnisse verdichtet und führen schließlich zur Einstufung von Forstflächen in einzelne Natürlichkeitsklassen. Bei der Aggregation der Indikatoren gehen folgende mit doppeltem Gewicht ein: Intensität mechanischer Bodenbearbeitung, Intensität stofflicher Eingriffe (Pestizideinsatz), Kontinuität alter Waldstandorte, Naturnähe der Anbauten und Intensität der Endnutzung.

Die Messvorschriften für die Indikatoren sind zunächst für Mitteleuropa und die boreale Zone entwickelt worden. Die meisten Messvorschriften können für beide Regionen angewendet werden (siehe Tabelle 8, Indikatoren A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, B1, B4, B5, B6, C1, C2, C4, C5 und C7). Unterschiedliche Messvorschriften bestehen für die Indikatoren Naturnähe der Anbauten, relative Baumartenvielfalt, Spontaneität der Vegetationsentwicklung und Intensität der Endnutzung (siehe Tabelle 8, Indikatoren B2, B3, C3 und C6).

Tabelle 8: Kriterien und Indikatoren zur Abschätzung der Naturraumbeanspruchung von forstwirtschaftlich genutzten Flächen in Mitteleuropa und der borealen Zone

Kriterium A	Naturnähe des Bodens:
Indikator 1 *)	Intensität mechanischer Bodenbearbeitung (AH)
Indikator 2 *)	Waldzerschneidung (SQ)
Indikator 3 *)	Intensität stofflicher Eingriffe (Kalkung und Düngung) (AH)
Indikator 4 *)	Intensität stofflicher Eingriffe (Pestizideinsatz) (AH)
Indikator 5 *)	Kontinuität der Bodenentwicklung (SQ)
Indikator 6 *)	Kontinuität Alter Waldstandorte (AH)
Indikator 7 *)	Ungestörter Wasserhaushalt im Oberboden (AH)
Kriterium B	Naturnähe der Waldgesellschaft:
Indikator 1 *)	Naturnähe der Vegetationszusammensetzung (SQ)
Indikator 2 **)	Naturnähe der Anbauten (AH)
Indikator 3 **)	Relative Baumartenvielfalt (SQ)
Indikator 4 *)	Vertikalen und horizontale Strukturvielfalt (SQ)
Indikator 5 *)	Totholzvorrat (SQ)
Indikator 6 *)	Typische Kleinstrukturen (SQ)
Kriterium C	Naturnähe der Entwicklungsbedingungen:
Indikator 1 *)	Spontaneität der Vegetationsentstehung (SQ)
Indikator 2 *)	Spontaneität der Walderneuerung (AH)
Indikator 3 **)	Spontaneität der Vegetationsentwicklung (SQ)
Indikator 4 *)	Intensität der Pflegeeingriffe (AH)
Indikator 5 *)	Kontinuität der Vegetationsentwicklung (SQ)
Indikator 6 **)	Intensität der Endnutzung (AH)
Indikator 7 *)	Annahme zufälliger Entwicklungen (AH)

Anmerkung:

- *) Die Klasseneinteilung der Indikatoren kann gemeinsam für Mitteleuropa und die boreale Zone verwendet werden.
- **) Die Klasseneinteilung der Indikatoren ist gesondert für Mitteleuropa und die boreale Zone erarbeitet worden.
- Die mit SQ gekennzeichneten Indikatoren beziehen sich auf den Status Quo in Wäldern, die mit AH gekennzeichneten auf das aktive Handeln der Forstwirtschaft während der letzten 5 Jahre.
- Einzelheiten siehe Anhang III, Materialband II, Teil 1

Im T-Diagramm werden die Indikatorergebnisse zur Naturraumbeanspruchung differenziert nach Natürlichkeitsklassen dargestellt (siehe z.B. Abbildung 11, Seite 135). Diese differenzierte Darstellung ist notwendig, weil eine numerische Verdichtung der Natürlichkeitsklassen zu einer Kennzahl, die die Naturraumbeanspruchung als Ganzes quantifiziert, derzeit nicht vorgesehen ist. Somit wird die Wirkungskategorie Naturraumbeanspruchung durch das gesamte Verteilungsmuster der Natürlichkeitsklassen charakterisiert. Hieraus folgt für die

Interpretation der Wirkungsabschätzung einer Ökobilanz, dass das Verteilungsmuster der Natürlichkeitsklassen der Naturraumbeanspruchung nur ein Wirkungsindikatorergebnis neben beispielsweise den Treibhausäquivalenten, den Rohöl-Äquivalenten u.a. ist.

Bei der Berechnung des spezifischen Beitrags wurde auf Anregung des 3. Projektbeirats³² die im gesamten Bilanzraum beanspruchte Naturraumfläche auf die gesamte Fläche Deutschlands bezogen.

2.2 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Die Sachbilanz und die Wirkungsabschätzung sind im Anhang III, Hauptbericht (siehe Anhang III auf CD-Rom) dokumentiert.

Für ausgesuchte Szenarien ist im Anhang III, Materialband III (siehe Anhang III auf CD-Rom) eine vertiefte Sachbilanzanalyse dargestellt.

2.3 Auswertung des Referenzszenarios AP HAUPT I

Der Beantwortung der in der Zielfestlegung formulierten Fragen wird zunächst eine Auswertung des Referenzszenarios (abgekürzt als AP HAUPT I) vorangestellt. Das Referenzszenario basiert auf Daten zum Jahr 1995. Ziel ist, signifikante Parameter³³, d.h., ergebnisrelevante Größen zu identifizieren.

2.3.1 Allgemeines zur Auswertung (Signifikanzprüfung)

Bei der Signifikanzprüfung lässt die Datenlage für die meisten Wirkungskategorien und -indikatoren ein dreistufiges Vorgehen zu.

1. Bestimmung des spezifischen Beitrags als Einwohneräquivalenzwert³⁴ (Normierung der Wirkungsindikatorergebnisse).

Zur Berechnung der Einwohneräquivalenzwerte werden die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung auf die mittleren Emissionen oder mittleren Ressourcenverbräuche, die von einem Einwohner Deutschlands theoretisch verursacht werden, bezogen³⁵.

2. Bestimmung signifikanter Lebenswegabschnitte (sogenannter Sektoren).

³²) Sitzung im Umweltbundesamt, Berlin-Spandau, vom 21.4. bis 22.4.99

³³) Siehe EN ISO 14043 Nr. 5.3, Bestimmung signifikanter Parameter

³⁴) Auf Anregung des Critical Review Teams wurde die Einheit für den Spezifischen Beitrag als Einwohneräquivalenzwert bezeichnet (siehe Anlage II). Im Anhang III, Hauptbericht wird die Größe als Einwohnerdurchschnittswert bezeichnet.

³⁵) Einzelheiten zur Methodik und zur Datengrundlage für den Einwohneräquivalenzwert befinden sich im Anhang III, Hauptbericht Kapitel 5.3 und Anhang III, Hauptbericht Tabelle 31.

In der sektorspezifischen Auswertung der Wirkungskategorien werden die Lebenswegabschnitte Forst Deutschland und IMPORT³⁶, Faser- und Papierherstellung IMPORT³⁷, Faserherstellung Deutschland, Papierherstellung Deutschland, Verarbeitung, Entsorgung, Transport und Äquivalenzprozesse³⁸ unterschieden. Die Tabelle 42, Seite 108 enthält einen Überblick über die Prozesse, die zu Sektoren zusammengefasst wurden.

3. Bestimmung signifikanter Prozesse

Prozesse, die einen signifikanten Anteil am Ergebnis der einzelnen Wirkungskategorien haben, werden herausgestellt. Im Vordergrund stehen die zehn bedeutendsten Prozesse. Ein Überblick über die Bezeichnung aller in der Ökobilanz berücksichtigten Prozesse und die Numerierung, die das Auffinden der Prozesse in dem Prozessbaum (siehe Anhang III) erleichtert, findet sich in der Tabelle 40, Seite 99.

In den folgenden Kapiteln 2.3.2 bis 2.3.11 werden die Wirkungskategorien einzeln analysiert.

2.3.2 Knappheit fossiler Energieträger

Der Verbrauch der nicht nachwachsenden fossilen Energieträger Erdöl, Erdgas, Braun- und Steinkohle führt zu einer Verknappung des verbleibenden Potentials für zukünftige Generationen. Unter Berücksichtigung der statischen Reichweite und der Reserve der einzelnen Energieträger lässt sich eine in Rohöl-Äquivalenten ausgedrückte Verknappung³⁹ quantifizieren.

Im Bilanzraum werden im Szenario AP HAUPT I rd. 1,32 Mio. t Rohöl-Äquivalente (ROE) verbraucht. Dieses entspricht rd. 554.000 Einwohneräquivalenzwerten (EÄW)⁴⁰.

Die Anteile der jeweiligen fossilen Energieträger an den Rohöl-Äquivalenten gehen aus der Tabelle 9 hervor. Die größten Anteile verursachen demnach Erdöl (44 %) und Erdgas (32 %). Die verbrauchte Steinkohle trägt zu 17 % und Braunkohle zu 7 % zur abgeschätzten Verknappung der fossilen Energieträger bei, weil Braun- und Steinkohle gegenüber Erdgas und Erdöl aufgrund ihrer großen Verfügbarkeit relativ kleine Rohöl-Äquivalenzfaktoren haben. Dies wird auch durch die absoluten Unterschiede der verbrauchten Energieträgermengen nicht aufgewogen.

³⁶) siehe Fußnote 15

³⁷) siehe Fußnote 16

³⁸) Zur Methodik siehe Kapitel 2.1.3 und Anhang III, Hauptbericht Kapitel 3.2.

³⁹) Zur Methodik siehe Anhang III, Hauptbericht Kapitel 4.4.5, Tab 29

⁴⁰) Einwohneräquivalenzwerte siehe Anhang III, Hauptbericht, Tab. 79

Tabelle 9: Anteil fossiler Energieträger (Erdöl, Erdgas, Braun- und Steinkohle) an verbrauchten Rohöl-Äquivalenten im Szenario AP HAUPT I

fossile Energieträger	Sachbilanz- ergebnis (t)	Rohöl- Äquivalenzfaktor	Verbrauchte Rohöl- Äquivalente (t ROE)	Anteil an der ROE- Gesamtmenge (%)
Erdgas	798.180	0,5212	416.012	32
Erdöl	585.429	1	585.429	44
Braunkohle	2.277.816	0,0409	93.163	7
Steinkohle	1.223.230	0,1836	224.585	17
Summe			1.319.188	100

Anmerkung:

- Sachbilanzergebnis aus Anhang III, Hauptbericht, Tab. 32
- Rohöl-Äquivalenzfaktor aus Anhang III, Hauptbericht, Tab. 29

Nach Sektoren aufgeschlüsselt werden etwa 75 % der Rohöl-Äquivalente bei der Faserstoff- und Papierherstellung, 10 % bei Transporten und 7 % bei der Papierverarbeitung verbraucht⁴¹.

Aus Tabelle 10 geht der Anteil der zehn bedeutendsten Prozesse an den verbrauchten Rohöl-Äquivalenten hervor. Demnach haben Prozesse, die zur Stromversorgung bei der Herstellung holzhaltiger Papiere und holzhaltiger Faserstoffe betrieben werden, einen überdurchschnittlich großen Anteil an den verbrauchten Rohöl-Äquivalenten. Mit 4,7 % fällt auch der aus methodischen Gründen im Bilanzraum notwendig werdende Äquivalenzprozess (Strom D: Strom-Äq.) ins Gewicht.

Tabelle 10: Anteil der bedeutendsten Prozesse an den verbrauchten Rohöl-Äquivalenten im Szenario AP HAUPT I differenziert nach Braunkohle, Steinkohle, Erdöl und Erdgas

Prozess	Braun- kohle, (t ROE)	Stein- kohle (t ROE)	Erdöl, (t ROE)	Erdgas, (t ROE)	Summe (t ROE)	Anteil an gesamten ROE, (%)
Strom IMPORT: ZDP IMPORT	1	20.188	68.705	20.658	109.551	8,3
Strom D: TMP_LWC D	22.881	25.921	7.994	17.169	73.965	5,6
Strom D: Strom Äq.	19.231	21.786	6.719	14.430	62.165	4,7
HKW Erdgas (E, el.): ZDP D	0	0	0	47.589	47.589	3,6
Strom IMPORT: LWC IMPORT	1	7.277	24.765	7.446	39.488	3,0
Strom D: LWC D	12.065	13.668	4.215	9.053	39.001	3,0
HKW Erdgas (E, el.): DIP_ZDP D	0	0	0	34.426	34.426	2,6
HKW Erdgas (E, th.): ZDP D	0	0	0	30.648	30.648	2,3
Strom IMPORT: SC IMPORT	0	5.613	19.101	5.743	30.458	2,3
HKW Erdgas: ZDP IMPORT	0	0	0	28.211	28.211	2,1
Summe					495.502	38
Summe gesamtes ROE					1.319.188	

Anmerkung: Die Abkürzungen sind im Abkürzungsverzeichnis erklärt (siehe Anhang I)

⁴¹) Sektorspezifische ROE-Äquivalente siehe Anhang III, Hauptbericht, Tab 59

2.3.3 Treibhauspotenzial

2.3.3.1 Allgemeine Ergebnisse

Zur Berechnung des Treibhauspotenzials werden die Emissionen an fossilem Kohlendioxid, Methan und Distickstoffmonoxid zu Kohlendioxid-Äquivalenten (CO₂-Äq.) aggregiert⁴². Die Kohlendioxidemissionen aus der Verbrennung regenerativer Energieträger⁴³ bleiben bei der Berechnung des Treibhauspotenzials unberücksichtigt.

Die Emissionen an Treibhausgasen belaufen sich insgesamt auf 11,8 Mio. t Kohlendioxid-Äquivalente (CO₂-Äq.). Zu 78 % sind sie auf die fossilen Kohlendioxidemissionen, zu 21 % auf die Methanemissionen und zu 1 % auf die Distickstoffmonoxidemissionen zurückzuführen (siehe Tabelle 11). Insgesamt entspricht dies der Emission von 907.000 Einwohneräquivalenzwerten⁴⁴.

Tabelle 11: Anteil der Kohlendioxid-, Methan- und Distickstoffmonoxidemissionen am Treibhauspotenzial im Szenario AP HAUPT I

Gase	Sachbilanz- ergebnis (t)	CO ₂ - Äquivalenz- faktor	Treibhauspotenzia l (t CO ₂ -Äq.)	Prozentualer Anteil an gesamten CO ₂ - Äquivalenten (%)
Kohlendioxid	9.185.114	1	9.185.114	78
Methan	117.226	21	2.461.753	21
Distickstoff- monoxid	513	310	159.059	1
Summe			11.805.926	100

Anmerkung:

- Sachbilanzergebnis aus Ifeu Bericht, Tab. 32
- CO₂ - Äquivalenzfaktor aus Anhang III, Hauptbericht, Tab. 25

Aus der Sektoranalyse für das Szenario AP HAUPT I (siehe Tabelle 12) geht hervor, dass die meisten CO₂-Äquivalente aus den Lebenswegabschnitten Papierherstellung Deutschland (20,4 %), Faser- und Papierherstellung IMPORT (20 %), Faserherstellung Deutschland (18 %), Entsorgung (18 %) und aus Äquivalenzprozessen (14 %) stammen. Auf die Druckprozesse entfallen 5 %, auf die Transportvorgänge 4 %, und auf den Bereich der Forstwirtschaft nur 0,2 % der treibhausrelevanten Emissionen.

⁴²) Zur Methodik der CO₂-Äq siehe Anhang III, Hauptbericht, Tab. 25

⁴³) CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Holz, Rinde, Ablauge aus der Zellstoffproduktion und Altpapier

⁴⁴) Einwohneräquivalenzwerte siehe Anhang III, Hauptbericht, Tab. 77

Tabelle 12: Sektoranalyse für CO₂-Äquivalente im Szenario AP HAUPT I

Sektor	Emission von Treibhausgasen (t CO ₂ -Äq.)	prozentualer Anteil (%)
Forst Deutschland und IMPORT	24.930	0,2
Faser- und Papierherstellung IMPORT	2.392.644	20,3
Faserherstellung Deutschland	2.158.947	18,3
Papierherstellung Deutschland	2.410.218	20,4
Verarbeitung	581.306	4,9
Entsorgung	2.136.690	18,1
Transport	443.521	3,8
Äquivalenzprozesse	1.657.671	14,0
Summe	11.805.926	100

Anmerkung: Emission von Treibhausgasen siehe Anhang III, Hauptbericht, Tab. 59

Die vertiefte Einzelparameteranalyse für die drei klimawirksamen Gase⁴⁵ ist in Tabelle 13 für die zehn bedeutendsten Prozesse dargestellt. Demnach verursacht das Deponiemodul für Altpapier mit 15 % einen herausragenden Anteil an den Treibhausgasen.

Bei der Berechnung der Gasemissionen aus der Deponierung von Altpapier wurde die Gesamtmenge an Deponiegas proportional zur Menge des biogenen Kohlenstoffs im Altpapier^{46,47} berechnet.

In Tabelle 13 wird deutlich, dass der Strom, der für die TMP-Herstellung des LWC-Papiers verbraucht wird, zu 10 % und der Stromverbrauch des Äquivalenzprozesses zu 8 % zum Treibhauspotenzial beiträgt. Weiterhin sind die Stromverbräuche zur Herstellung holzhaltiger Papiere (ZDP Import 6 %, LWC D 5 % und ZDP D 3 %), Äquivalenzprozesse (4 % thermische Energie aus Steinkohlekraftwerk) und der Stromverbrauch für den Zeitungsdruck (3 %) relevant.

⁴⁵) Siehe Anhang III, Materialband III, Teil 1: Distickstoffmonoxid Kapitel 1.10, fossiles Kohlendioxid Kapitel 1.12 und Methan Kapitel 1.14

⁴⁶) Biogener Kohlenstoffgehalt im Altpapier: 428 kg/t (siehe Anhang III, Materialband I, Kapitel 6.2.B3); Es wird angenommen, daß der biogene Kohlenstoff vollständig in Deponiegas umgewandelt wird; Gasbildungsrate (m³/t Abfall) = 1,868 (m³/t C) * Kohlenstoffgehalt (t C/t Abfall); Quelle Ifeu-Endbericht „Ökobilanzen für Verpackungen, Teilbericht „Energie - Transport- Entsorgung“, UBA-Forschungsvorhaben 10303220/04, Heidelberg, März 1994

⁴⁷) Der Emissionsfaktor für Methan beläuft sich auf 108 kg CH₄ / t Altpapier; Siehe Anhang III, Hauptbericht, Materialband I, Kapitel 6.2.C2

Tabelle 13: Prozentualer Anteil der zehn bedeutendsten Prozesse am Treibhauspotenzial im Szenario AP HAUPT I

Prozesse	Sachbilanzergebnis ausgedrückt als Treibhauspotenzial (GWP)			Summe GWP (t CO ₂ -Äq.)	Anteil am gesamten GWP (%)
	CO ₂ (t)	CH ₄ (t CO ₂ -Äq.)	N ₂ O (t CO ₂ -Äq.)		
Deponie Altpapier D		1.708.375		1.708.375	14,8
Strom D: TMP_LWC D	1.033.907	45.840	12.039	1.080.951	9,4
Strom D: Strom Äq	868.965	38.527	10.118	908.504	7,9
Strom IMPORT: ZDP IMPORT	600.932	38.295	8.391	640.066	5,6
Strom D: LWC BRD	545.168	24.171	6.348	569.974	4,9
HKW SK: Wärme Äq	413.143	44.413	4.050	457.961	4,0
HKW SK (E,th): LWC D	324.617	34.897	3.182	359.832	3,1
Strom D: ZDP D	286.716	12.712	3.338	299.762	2,6
Strom D: Zeitungsdruck	282.620	12.530	3.291	295.479	2,6
HKW BK: Wärme Äq	271.475	118	6.862	272.280	2,4
Summe zehn Prozesse				6.593.184	57,2
Summe gesamtes GWP				11.521.197	100

Anmerkung:

- Methan aus Deponie Altpapier BRD mit GWP von 18 CO₂-Äq statt wie andere Prozesse mit GWP von 21 CO₂-Äq gerechnet
- Äquivalenzfaktoren siehe Anhang III, Hauptbericht, Tab. 25

2.3.3.2 Analyse der Transportvorgänge mit LKW, Bahn und Schiff

In Tabelle 14 sind die Ergebnisse der Analyse der Transportvorgänge mit LKW, Bahn und Schiff dargestellt⁴⁸. Die Tabelle zeigt, dass die transportbedingten CO₂-Emissionen einen Anteil von 4 % an den gesamten CO₂-Emissionen haben. Der überwiegende Teil davon entfällt auf die Papiertransporte (rd. 2 %). Die Holztransporte tragen rd. 0,3 % und die Sulfatzellstofftransporte rd. 0,5 % der gesamten CO₂-Emissionen bei. Die Altpapiererfassung und der Altpapiertransport zur Verwertung (Transport mit LKW und Schiff) verursachen rd. 0,7 % der CO₂-Emissionen. Die Altpapiertransporte zur Beseitigung (MVA, Deponie) und die Entsorgung produktionsspezifischer Abfälle liegen unter 0,1 %.⁴⁹

⁴⁸) In Tabelle 43 und Tabelle 44 sind weitere Details der CO₂-Analyse der Transportprozesse aufgeführt.

⁴⁹) Bei diesen Daten müssen folgende Einschränkungen berücksichtigt werden: Die Zellstofftransporte sind nur für die Distanz von Norwegen, Finnland und Schweden bis nach Deutschland untersucht worden. Längere Importstrecken für Zellstoff aus Kanada, Brasilien, Indonesien, Chile u.a., der Transport von Holz und Zellstoff für 2,9 Mio. t sonstige graphische (überwiegend holzfreie) Papiere, der private Personenverkehr zum Einkauf von Druckerzeugnissen, die Altpapierexporte (rd. 3 Mio. t) und die Altpapierimporte (rd. 1 Mio. t) wurden nicht bilanziert.

Tabelle 14: Anteil der transportbedingten Kohlendioxidemissionen an den gesamten CO₂-Emissionen (Auswertung aller Prozesse) im Szenario AP HAUPT I

Subsystem	CO ₂ -Emissionen im Subsystem (t)	Anteil an den gesamten CO ₂ - Emissionen (%)
Transporte Forstwirtschaft	24.854	0,3
Holztransporte	45.806	0,5
Altpapiertransporte zur Verwertung	62.383	0,7
Altpapiertransporte zur Beseitigung	6.028	0,07
Transporte produktionsspezifischer Abfälle zur Beseitigung	3.845	0,04
Papiertransporte	197.300	2,2
Sulfatzellstofftransporte	46.347	0,5
Summe Transportprozesse	386.563	4,2
Summe gesamtes CO₂	9.185.114	100

Anmerkung:

- Datensätze zu den Subsystemen siehe Anhang I mit Tabelle 43 und Tabelle 44

2.3.4 Photooxidantienbildungspotenzial / Sommersmog

In die Bilanzierung des Photooxidantienbildungspotenzials gehen Methan-, Benzol- und Stickoxidemissionen ein. Andere sommersmogrelevante VOC-Emissionen wurden aufgrund der schlechten Datenlage nicht bilanziert.

In der Wirkungsabschätzung werden diese Umweltaspekte zum stickoxidkorrigierten Ozonbildungspotenzial (ausgedrückt als NCPOCP-Äq) aggregiert⁵⁰.

Das stickoxidkorrigierte Ozonbildungspotenzial im Szenario AP HAUPT I beläuft sich auf 4.268 t NCPOCP-Äquivalente. Aufgrund der Bildung eines geometrischen Mittels bei der Berechnung des stickoxidkorrigierten Ozonbildungspotenzials wird eine sektor- oder substanzspezifische Auswertung nicht durchgeführt. Hierfür muss auf die POCP-Äquivalenzwerte der Einzelsubstanzen Methan und Benzol zurückgegriffen werden⁵¹.

Laut Tabelle 15 wird das POCP-Ozonbildungspotenzial zu 99,7 % von den Methanemissionen und nur zu 0,3 % von den Benzolemissionen beeinflusst⁵².

⁵⁰) Siehe Anhang III, Hauptbericht Kapitel 4.4.2

⁵¹) Siehe Anhang III, Hauptbericht Kapitel 4.4.2

⁵²) Andere sommersmogrelevante organische Luftschadstoffe aus Verbrennungsabgasen (Kraftwerke und Verkehr) gehen mangels Datenverfügbarkeit nicht in die Wirkungsabschätzung ein.

Tabelle 15: Anteil der Methan- und Benzol-Emissionen am POCP-Ozonbildungspotenzial im Szenario AP HAUPT I

	Sachbilanz- ergebnis (t)	POCP- Äquivalenzfaktor	Ozonbildungs- potenzial (t POCP-Äq.)	Anteil (%)
Methan	117.226	0,007	821	99,7
Benzol	11	0,189	2	0,3
Summe			823	100

Anmerkung:

- Sachbilanzergebnis siehe Anhang III, Hauptbericht Seite 89;
- POCP-Äquivalenzfaktor siehe Anhang III, Hauptbericht, Tabelle 26

Eine sektorspezifische Auswertung der POCP-Äquivalente für Methan zeigt, dass der wesentliche Anteil der Methanemissionen aus dem Sektor Entsorgung d.h. aus der Deponierung von Altpapier⁵³ stammt (81 %). Die eigentlichen Prozesse zur Faser- und Papierherstellung haben zusammen einen Anteil von nur 15 %.

Tabelle 16: Sektoranalyse für die Methanemissionen im Szenario AP HAUPT I

Sektor	Methan (kg POCP-Äq.)	Anteil (%)
Forst	1	~ 0
Faser- und Papierherstellung IMPORT	37.515	4,6
Faserherstellung Deutschland	33.414	4,1
Papierherstellung Deutschland	47.028	5,7
Verarbeitung	8.044	1,0
Entsorgung	665.348	81,1
Transport	1.547	~ 0
Äquivalenzprozesse	27.686	3,4
Summe	820.583	100

Angemerkt sei, dass die entwickelte NCPOCP-Methode noch Schwächen hat, weil die Summe der NCPOCPs der Sektoren aufgrund der Bildung eines geometrischen Mittels ungleich der einzelnen NCPOCPs für den gesamten Bilanzraums ist. Insgesamt sind die Aussagen zum Photooxidantienbildungspotenzial auch aufgrund der schlechten Datenlage im Vergleich zu anderen Wirkungskategorien weniger belastbar⁵⁴.

2.3.5 Versauerungspotenzial

Zum Versauerungspotenzial tragen in dieser Ökobilanz die als Versauerungs-Äquivalente (SO₂-Äq) bilanzierten Emissionen an Schwefeldioxid, Stickoxiden, Chlorwasserstoff, Fluorwasserstoff, Schwefelwasserstoff und Ammoniak bei⁵⁵.

Das Versauerungspotenzial beläuft sich insgesamt auf 32.618 t SO₂-Äquivalente, dies entspricht rd. 449.000 Einwohneräquivalenzwerten⁵⁶.

⁵³) Ifeu-Materialband III, Teil 1, Kapitel 2.15

⁵⁴) Siehe hierzu auch Anhang II mit Kritik des Critical Review Panels, Kapitel 3.4

⁵⁵) Zur Methodik siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 4.4.4

⁵⁶) Wirkungsäquivalente siehe Anhang III, Hauptbericht, Tab. 59

Von den 6 bilanzierten säurebildenden Luftschadstoffen tragen zum gesamten Versauerungspotenzial nur die Schwefeldioxide (Anteil 50 %) und die Stickoxide (Anteil 48 %) in erheblichem Umfang bei (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Anteil von Schwefeldioxid, Stickoxid, Chlorwasserstoff, Fluorwasserstoff, Schwefelwasserstoff und Ammoniak am Versauerungspotenzial im Szenario AP HAUPT I

Stoff	Sachbilanz- ergebnis (t)	SO ₂ - Äquivalenz- faktor	Versauerungs- potenzial (t SO ₂ -Äq.)	Anteil am gesamten Versauerungspotenzial (%)
Schwefeldioxid	16.216	1	16.216	49,7
Stickoxid	22.143	0,7	15.500	47,5
Chlorwasserstoff	479	0,88	422	1,3
Fluorwasserstoff	20	1,6	32	0,1
Schwefel- wasserstoff	1,65	1,88	3	~0
Ammoniak	237	1,88	446	1,4
Summe			32.619	100

Anmerkung:

- Sachbilanzergebnis siehe Anhang III, Hauptbericht, Tab. 32

Den wesentlichen Anteil am gesamten Versauerungspotenzial haben die Sektoren Papierproduktion D (28 %), Faser- und Papierherstellung IMPORT (23 %), Äquivalenzprozesse (17 %), Transportprozesse (14 %) und die Faserherstellung Deutschland (12 %). Vergleichsweise unbedeutend sind die Papierverarbeitung, die Entsorgungsprozesse und die Forstwirtschaft⁵⁷.

Der Einfluss der einzelnen Prozesse am Versauerungspotenzial ist für die bedeutendsten Prozesse in der Tabelle 18 dargestellt. Einen überdurchschnittlich großen Anteil haben die Prozesse, die Wärme und Strom für die Äquivalenzprozesse liefern (zusammen 15 %) sowie Prozesse zur Herstellung holzhaltiger Papiere und holzhaltiger Faserstoffe. Von Bedeutung ist ebenfalls die Produktion von NaOH, das zur Herstellung von Sulfatzellstoff verwendet wird (3 %).

⁵⁷) Siehe Anhang III, Hauptbericht, Tab. 59

Tabelle 18: Anteil der zehn bedeutendsten Prozesse am Versauerungspotenzial im Szenario AP HAUPT I

Prozess	Schwefeldioxid (t SO ₂ -Äq.)	Stickoxide (t SO ₂ -Äq.)	Anteil am gesamten Versauerungs- potenzial (%)
HKW SK: Wärme Äq.	2.645	1.181	11,7
HKW SK (E, th): LWC D	2.078	928	9,2
Strom D: TMP_LWC D	561	707	3,9
Strom IMPORT: ZDP IMPORT	585	589	3,6
Strom D: Strom Äq.	471	594	3,3
HKW SK (E, el): SC D	695	310	3,1
HKW SK (E, el): SGW_SC D	685	306	3,0
HKW SK (E, th): SC D	600	268	2,7
NaOH: Sulfat - Zellstoff IMPORT	783	45	2,5
HKW Reststoffe: Sulfat - Zellstoff IMPORT	40	750	2,4
Summe zehn Prozesse		14.820	45,4
Summe gesamtes Versauerungspotenzial		32.619	100

Anmerkung:

- Auf eine Darstellung anderer versauernd wirkender Luftschadstoffe wurde in dieser Tabelle verzichtet, weil sie im Gesamtzusammenhang relativ unbedeutend sind.
- Daten aus Anhang III, Materialband III: Schwefeldioxid Kapitel 1.18 und Stickoxid Kapitel 1.17

2.3.6 Aquatisches Eutrophierungspotenzial / Sauerstoffzehrung

Eutrophierend und sauerstoffzehrend wirkende Gewässereinleitungen werden in dieser Ökobilanz auf die Wirkung von Phosphat bezogen und als PO₄³⁻-Äquivalente (PO₄³⁻-Äq) ausgedrückt⁵⁸.

Im Szenario AP HAUPT I tragen die Stickstoffverbindungen (Gesamt-N, Ammonium und Nitrat) zu 59 %, Phosphorverbindungen zu 7 % und der chemische Sauerstoffbedarf der eingeleiteten Abwässer zu 34 % zu den Phosphat-Äquivalenten bei (siehe Tabelle 19).

⁵⁸) Zur Methodik siehe Anhang III, Hauptbericht Kapitel 4.4.3

Tabelle 19: Anteil der Stickstoffverbindungen, Phosphorverbindungen und des chemischen Sauerstoffbedarfs am aquatischen Eutrophierungspotenzial/ Sauerstoffzehrung im Szenario AP HAUPT I

Stoff	Sachbilanz- ergebnis (t)	PO ₄ ³⁻ - Äquivalenz- faktor	Eutrophierungs- potenzial / Sauerstoffz. (t PO ₄ ³⁻ - Äq.)	Anteil am gesamten aquatischen Eutrophierungspotenzial / Sauerstoffzehrung (%)
Gesamtstickstoff	7.174	0,42	3.013	55
Ammonium	221	0,327	72	1,2
Nitrat	1.435	0,128	184	3,3
Gesamtphosphor	123	3,06	377	6,9
CSB	83.709	0,022	1.842	33,6
Summe			5.486	100

Anmerkung:

- CSB = Chemischer Sauerstoffbedarf
- PO₄³⁻ - Äquivalenzfaktor siehe Anhang III, Hauptbericht Kapitel 4.4.3
- Sachbilanzergebnis siehe Anhang III, Hauptbericht, Tabelle 32

Auf Sektorebene haben nur die Prozesse zur Faser- und Papierherstellung (86,5 %) sowie die Entsorgungsprozesse (13,5 %) einen wesentlichen Einfluss auf das aquatische Eutrophierungspotenzial / Sauerstoffzehrung⁵⁹.

Den Anteil der zehn bedeutendsten Prozesse am aquatischen Eutrophierungspotenzial / Sauerstoffzehrung zeigt Tabelle 20. Große Anteile haben die Prozesse zur Zellstoff- und integrierten Papierherstellung und die Deponiemodule (Deponie Altpapier 8,8 % und Hausmülldeponie 4,8 %)

Tabelle 20: Anteil der zehn bedeutendsten Prozesse am aquatischen Eutrophierungspotenzial / Sauerstoffzehrung im Szenario AP HAUPT I

Prozess	Phosphat-Äquivalente von Abwasserparametern						Anteil an gesamten PO ₄ ³⁻ Äq. (%)
	CSB (t PO ₄ ³⁻ Äq.)	Gesamt P (t PO ₄ ³⁻ Äq.)	Gesamt N (t PO ₄ ³⁻ Äq)	Nitrat (t PO ₄ ³⁻ Äq.)	NH ₄ ⁺ (t PO ₄ ³⁻ Äq.)	Summe (t PO ₄ ³⁻ Äq.)	
SC IMPORT	42	10	1.966	0	0	2.018	36,8
Sulfatzellstoff IMPORT	822	119	133	0	0	1.075	19,6
Deponie Altpapier D	5	8	424	0,19	42	480	8,8
ZDP IMPORT	361	0	94	0	0	455	8,3
Hausmülldeponie D	3	4	230	0,19	23	261	4,8
KP IMPORT	223	37	38	0	0	298	5,4
ZDP D	144	58	25	0	0	228	4,2
LWC IMPORT	89	0	58	0	0	147	2,7
LWC D	92	56	23	0	0	170	3,1
SC D	50	40	15	0	0	105	1,9
Summe zehn Prozesse						5.237	96
Summe gesamte PO₄-Äquivalente						5.486	100

Anmerkung: Daten aus Anhang III, Materialband III

⁵⁹) Wirkungsäquivalente siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 7.1

2.3.7 Terrestrisches Eutrophierungspotenzial

Die terrestrische Eutrophierung wird in der Wirkungsabschätzung nur von den Stickoxidemissionen in die Atmosphäre bestimmt⁶⁰. Sie werden auf die Wirkung von Phosphat (PO_4^{3-} -Äquivalente) bezogen⁶¹. Die Phosphat-Äquivalente belaufen sich auf insgesamt 2.878 t, dies entspricht rd. 815.000 Einwohneräquivalenzwerten.

Im wesentlichen werden die Phosphat-Äquivalente von den Sektoren Faser- und Papierherstellung (rd. 57 %) und von den Transportprozessen (21 %) bestimmt. Auf die Äquivalenzprozesse entfallen 13 %, nur 4 % entfallen jeweils auf die Sektoren Entsorgung und Verarbeitung⁶².

Die zehn bedeutendsten Prozesse, die über Luftschadstoffe zur terrestrischen Eutrophierung beitragen, sind in der Tabelle 21 aufgeführt. Besonders groß sind die Anteile der Energie-Äquivalenzprozesse (7,6 % aus HKW SK: Wärme Äq.), der Papiermaschinen zur LWC-Papierherstellung in Deutschland (6 % aus HKW SK (E, th.): LWC D), der Ablaugenverbrennung bei der Sulfatzellstoffherstellung in IMPORT (4,8 % aus HKW Reststoffe: Sulfat- Zellstoff IMPORT) und der TMP-Herstellung für LWC-Papier in Deutschland (4,6 % aus Strom D: TMP_LWC D).

Tabelle 21: Anteil der zehn bedeutendsten Prozesse am terrestrischen Eutrophierungspotenzial im Szenario AP HAUPT I

Prozess	Stickoxide als Phosphat-Äquivalente (t PO_4 -Äq)	Anteil am gesamten terrestrischen Eutrophierungspotenzial (%)
HKW SK: Wärme Äq.	219	7,6
HKW SK (E, th.): LWC D	172	6,0
HKW Reststoffe: Sulfat- Zellstoff IMPORT	139	4,8
Strom D: TMP_LWC D	131	4,6
Strom D: Strom Äq.	110	3,8
Strom IMPORT: ZDP IMPORT	109	3,8
Strom D: LWC D	69	2,4
Deponie Altpapier D	62	2,1
HKW SK (E, el.): SC D	58	2,0
HKW SK (E, el.): SGW_SC D	57	2,0
Summe zehn Prozesse	1.127	39,2
Summe gesamtes terrestrischen Eutrophierungs-potenzial	2.879	100

Anmerkung: Daten aus Anhang III, Materialband III, Stickoxide Kapitel 2.17

2.3.8 Ressource Wasser

Im Szenario AP HAUPT I wird ein Wasserverbrauch von 159 Mio. m³ bilanziert. Dieser entfällt zu 60 % auf die Faser- und Papierherstellung IMPORT sowie zu 40 % auf die Faser- und Papierherstellung in Deutschland.

⁶⁰) Ammoniakemissionen blieben mangels Relevanz unberücksichtigt.

⁶¹) Zur Methodik siehe Anhang III, Hauptbericht Kapitel 4.4.3

⁶²) Wirkungsäquivalente siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 7.1

In der Tabelle 22 sind die Wasserverbräuche der zehn bedeutendsten Prozesse dargelegt. Die Herstellung von Sulfatzellstoff IMPORT hat mit 28,4 % den größten Anteil am Wasserverbrauch.

Tabelle 22: Anteil der zehn bedeutendsten Prozesse am Wasserverbrauch im Szenario AP HAUPT I

Prozesse	Sachbilanzergebnis Wasserverbrauch (Mio. m³)	Anteil am gesamten Wasserverbrauch, (%)
Sulfatzellstoff IMPORT	45,0	28,4
LWC D	22,6	14,2
ZDP IMPORT	21,3	13,4
ZDP D	21,2	13,3
SC D	13,6	8,6
KP IMPORT	11,5	7,3
LWC IMPORT	10,9	6,9
SC IMPORT	5,1	3,2
KP, Frischfaser BRD	1,6	1,0
Recy-KP BRD	1,5	0,9
Summe zehn Prozesse	154,3	97,1
Summe gesamter Wasserverbrauch	158,8	100

Anmerkung: Wasserverbrauchsdaten aus Anhang III, Materialband III, Kapitel 1.35

2.3.9 Naturraumbeanspruchung

Für die Herstellung von rd. 2,35 Mio. t Zeitungsdruckpapier, 1,3 Mio. t LWC-Papier, 0,65 Mio. t SC-Papier und 0,45 Mio. t Kopierpapier, die 1995 in Deutschland verbraucht wurden, werden im Szenario AP HAUPT I neben rd. 2,7 Mio. t Altpapier auch rd. 9 Mio. t Holz im Importbereich und rd. 2 Mio. t Holz in Deutschland verbraucht (siehe Tabelle 23).

Tabelle 23: Sachbilanzergebnis zum Holzverbrauch im Szenario AP HAUPT I, differenziert nach Industrieholz, Sägerestholz, Forst Deutschland und Forst IMPORT

Herkunft des Holzes	Sachbilanzergebnis Industrieholz, (t)	Sachbilanzergebnis Sägerestholz, (t)	Summe (t)
Forst Deutschland	709.000	1.270.000	1.979.000
Forst IMPORT	6.940.000	2.160.000	9.100.000
Summe	7.649.000	3.430.000	11.070.000

Anmerkung:

- Gewichtsangaben beziehen sich für Industrieholz und Sägerestholz aus Forst Deutschland auf einen Wassergehalt von 45 % (erntefrisch) und aus Forst IMPORT auf einen Wassergehalt von 55 % (erntefrisch)
- siehe Anhang III, Materialband III, Teil 4: T62, T64 und T75

Der Verbrauch der Ressource Holz wird allerdings nicht als eigenständige Wirkungskategorie in die Wirkungsabschätzung aufgenommen, weil über einen längeren Zeitraum die eingeschlagene und nachwachsende Holzmenge gleich angesehen werden kann. In der Ökobilanz wird die *Naturraumbeanspruchung* abgeschätzt, um Aussagen zur Naturnähe der genutzten Waldflächen in die Bewertung einfließen lassen zu können⁶³. Einzelheiten zur Methodik der Naturraumbeanspruchung sind im Anhang III, Materialband II, Teil 1 („Naturraumbeanspruchung waldbaulicher Aktivitäten als Wirkungsindikator für

⁶³) Siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 4.4.6

Ökobilanzen“) beschrieben. Eine kurze Zusammenfassung der Methode enthält das Kapitel 2.1.9.

Zur Abschätzung der Naturraumbeanspruchung, die mit forstwirtschaftlichen Aktivitäten verbunden ist, werden in der Methode nur vier der insgesamt sieben definierten Natürlichkeitsklassen ausgewiesen. Die Verteilung der für forstwirtschaftliche Aktivitäten vorgesehenen Natürlichkeitsklassen II, III, IV und V ist regional differenziert. Sie unterscheidet weiterhin nach Stammholz, Sägerestholz⁶⁴ und Industrieholz. Die sortimentsbezogene Differenzierung hat zur Folge, dass bei einer Änderung des Verhältnisses von Sägerestholz zu Industrieholz einzelne Natürlichkeitsstufen überproportional in Anspruch genommen werden bzw. entlastet werden können.

Sortimentsbezogene Flächenangaben für die einzelnen Naturnäheklassen (ha Natürlichkeitsklasse II, III, IV und V je t Holz) für Deutschland und Forst IMPORT sind im Anhang III, Materialbericht II, Teil 1, Anhang B „Arbeitsblätter zur Ermittlung der Sachbilanzdaten für die vier Intensitätsstufen des Waldbaus“ aufgeführt.

Die für das Szenario AP HAUPT I ermittelten Verteilung der Natürlichkeitsklassen II bis V ist in Tabelle 24 zusammengefasst. Zur Gewinnung der gesamten Holzmenge wird eine Waldfläche von rd. 12.880 km² in Anspruch genommen. Davon entfallen 10 % auf deutsche Waldflächen und 90 % auf Waldflächen im Ausland (IMPORT).

Tabelle 24: Naturraumbeanspruchung im Szenario AP HAUPT I, differenziert nach Natürlichkeitsklassen II bis V

Natürlichkeits- klasse	Forst Deutschland Fläche (ha)	Forst IMPORT Fläche (ha)	Summe Fläche (ha)
II	7.431	28.642	36.073
III	70.513	292.259	362.772
IV	35.759	722.617	758.376
V	10.172	120.397	130.568
Summe	123.875	1.163.915	1.287.790

Anmerkungen:

- Die Daten zum *Forst IMPORT* beziehen sich auf die finnischen und schwedischen Wälder.
- Daten aus Anhang III, Materialband III, Teil 2, Seite 1, Spalte 1

Die wesentlich größere Flächeninanspruchnahme in IMPORT resultiert aus dem etwa 3-fachen flächenbezogenen Holzzuwachs der mitteleuropäischen Zone gegenüber der borealen Zone, den Unterschieden beim verfahrensspezifischen Holzverbrauch zur Primärfaserproduktion (5 t Holz / t Zellstoff für Sulfatzellstoff in IMPORT und 2,2 t Holz / t Holzstoff für TMP in Deutschland) sowie Art und Ort der Primärfaserproduktion (Sulfatzellstoff wird nach Deutschland importiert, Holzstoff wird in Deutschland produziert).

Aus Tabelle 24 wird auch deutlich, dass für die Herstellung der untersuchten Papierprodukte *naturnah* genutzte Waldflächen (Natürlichkeitsklasse II), in Deutschland zu rd. 7.400 ha und in IMPORT zu rd. 28.600 ha in Anspruch genommen werden. Einen wesentlich größeren Umfang haben die *bedingt naturnah*

⁶⁴) Das als Rohstoff in der Papierindustrie eingesetzte Sägerestholz fällt als Kuppelprodukt der Stammholzverarbeitung in Sägewerken an. Die Naturraumbeanspruchung für Sägerestholz wird daher nach Masse (Verhältnis der Masse des Schnittholzprodukts zur Masse des Sägerestholzes) alloziert.

genutzten Waldflächen (Natürlichkeitsklasse III), von denen in Deutschland rd. 70.500 ha und in IMPORT rd. 292.300 ha in die Wirkungsabschätzung eingehen. Die *halbnatürlich* und *bedingt naturfern* genutzten forstwirtschaftlichen Flächen (Natürlichkeitsklasse IV und V) kommen in Deutschland zusammen auf eine Fläche von rd. 45.900 ha und in IMPORT auf rd. 843.000 ha.

Die Verteilung der Natürlichkeitsstufen wurde in IMPORT mit ca. 28 % als Natürlichkeitsklasse II bis III und 72 % als Natürlichkeitsklasse IV bis V abgeschätzt. In Deutschland weist die Flächenverteilung dem gegenüber eine höhere Naturnähe auf: ca. 63 % der Flächen wurden Natürlichkeitsklasse II bis III und nur 27 % als Natürlichkeitsklasse IV bis V abgeschätzt.

2.3.10 Direkte Gesundheitsschädigung

2.3.10.1 Krebsrisikopotenzial von Luftschadstoffen

Als Aggregationsgröße für direkt gesundheitsschädlich wirkende Luftverunreinigungen werden in der Wirkungsabschätzung die Krebsrisikopotenziale von Arsen, Benzo(a)pyren, Benzol, Cadmium, Chrom, Dioxinen und Nickel als Arsen-Äquivalente bilanziert⁶⁵.

Die Arsen-Äquivalente belaufen sich auf insgesamt 710 kg As-Äq⁶⁶. Vergleicht man diese Menge mit den insgesamt in Deutschland emittierten krebserregenden Schadstoffen, entspricht die in der Ökobilanz emittierte Menge etwa derjenigen, die 125.500 Einwohner Deutschlands im jährlichen Mittel verursachen (125.500 Einwohneräquivalenzwerte).

Den größten Anteil an den Arsen-Äquivalenten haben die Sektoren Faser- und Papierherstellung IMPORT (67 %), die Faser- und Papierherstellung Deutschland (zusammen 17 %) und die Transportprozesse (8 %).

Der Anteil der Einzelsubstanzen an den Arsen-Äquivalenten ist in der Tabelle 25 zusammengefasst. Demnach trägt in die Atmosphäre emittiertes Chrom zu rd. 44 %, Nickel zu 31 % und Arsen zu 12 % zum Krebsrisikopotenzial bei.

⁶⁵) Zur Methodik siehe Anhang III, Hauptbericht Kapitel 4.4.7

⁶⁶) Wirkungsäquivalente siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 7.1

Tabelle 25: Anteil der Arsen-, Benzo(a)pyren-, Benzol-, Cadmium-, Chrom-, Dioxin- und Nickelemissionen in die Atmosphäre am Krebsrisikopotenzial im Szenario AP HAUPT I

Stoff	Sachbilanz- ergebnis, (kg)	Arsen - Äquivalenz- faktor	Arsen - Äquivalente (kg)	Anteil am gesamten „Krebsrisikopotenzial“ (%)
Arsen	87	1	87	12,2
Benzo(a)pyren	1,4	20,9	29	4,1
Benzol	11154	0,0019	21	3,0
Cadmium	81	0,42	34	4,8
Chrom	1124	0,279	314	44,2
Dioxine	$5,0 \cdot 10^{-4}$	10.500	5	0,7
Nickel	3944	0,056	221	31,1
Summe			711	100

Anmerkung:

- Arsen-Äquivalentwerte siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 4.4.7
- Sachbilanzergebnis siehe Anhang III, Hauptbericht, Tabelle 32

Aus der Prozessanalyse⁶⁷ geht hervor, dass die Chromemissionen zu 83,4 % aus den Heizkraftwerken zur Reststoffverbrennung stammen. Insgesamt dominieren bei den Schwermetallemissionen die Energiegewinnung aus Festbrennstoffen und Strom aus dem öffentlichen Netz.

Eine Prozessanalyse der ebenfalls bilanzierten gesundheitsschädlichen Stoffe Staub, Schwefeldioxid, Benzo(a)pyren, Kohlenmonoxid, Cadmium und Blei ist im Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 1.3, 1.5, 1.6, 1.14 und 1.18 enthalten.

2.3.10.2 Belästigung durch Lärm

Bei der Abschätzung der Belästigung durch Lärm werden als erste Näherung in dieser Ökobilanz die mit LKWs erbrachten Transportleistungen herangezogen⁶⁸.

Aus der prozeßspezifischen Analyse der insgesamt rd. 4 Mio. dem System anzurechnenden Tonnenkilometern⁶⁹ (Tabelle 26) geht hervor, dass die wesentlichen lärmrelevanten Transportleistungen aus der Marktversorgung mit Druckerzeugnissen (u.a. LWC-Marktversorgung 11,9 %, SC-Marktversorgung 6,2 %) und dem Transport graphischer Papiere zur Druckerei (Zeitungsdruck 17,7 %, LWC-Druck 6,2 %) herrühren. Die Erfassung von Altpapier und der Altpapiertransport von der Sortieranlage zur Papierfabrik geht mit insgesamt 14,4 % in die gesamte Transportleistung ein⁷⁰.

⁶⁷) Siehe Anhang III, Materialband III: Kapitel 1.8 zu Chrom; Kapitel 1.2 zu Arsen und Kapitel 1.16 zu Nickel

⁶⁸) Zur Methodik siehe Anhang III, Hauptbericht Kapitel 4.4.9

⁶⁹) Daten siehe Anhang III, Materialband III, Kapitel 1.30

⁷⁰) Einschränkende Anmerkungen zur Symmetrie der Transporte in dieser Ökobilanz siehe Fußnote 49

Tabelle 26: Analyse der zehn bedeutendsten Prozesse und den LKW-Transportleistungen im Szenario AP HAUPT I

Prozess	LKW-Transport in Mio. tkm	Anteil an der gesamten LKW-Transportleistung (%)
LWC_Marktversorgung	470	11,9
Zeitungsdruck (von IMPORT zur Druckerei)	403	10,2
Altpapier BRD (von Sortierung zur Verwertung)	342	8,6
Zeitungsdruck (von Papierfabrik D zur Druckerei)	297	7,5
LWC-Druck (von IMPORT zur Druckerei)	246	6,2
SC_Marktversorgung	244	6,2
Altpapier (AzV) (Altpapiererfassung)	230	5,8
Sulfat- Zellstoff IMPORT	185	4,7
Holz BRD	160	4,0
Holz IMPORT	160	4,0
Summe zehn Prozesse	2.737	69,1
summe gesamte LKW-Transporte	3.961	100

Anmerkung: Daten aus Anhang III, Materialband III

2.3.11 Direkte Schädigung von Ökosystemen

Die direkte Schädigung von Ökosystemen durch Stoffe wird in dieser Ökobilanz nicht aggregiert., sondern durch Einzelparameter beschrieben. Einzelheiten zu den bedeutendsten Prozessen, die ökotoxisch relevante Stoffe emittieren, sind in der Tabelle 27 zusammengefasst.

Tabelle 27: Prozessanalyse der direkten Schädigung von Ökosystemen durch Stoffe im Szenario AP HAUPT I

Einzelstoff/ Stoffgruppe	Sachbilanz- ergebnis, (t)	Anteil der bedeutendsten Prozesse	Prozess- analyse*)
Wasser:			
– Chlorid (W)	27.694	92 % Wasserglasherstellung	Kapitel 1.24
– AOX (W)	423	41 % LWC IMPORT, 39 % Sulfatzellstoff IMPORT, 11 % Kopierpapier IMPORT und 7 % SC Papier IMPORT	Kapitel 1.23
– Ammonium (W)	221	96 % Wasserglasherstellung	Kapitel 1.21
– sonstige Kohlen- wasserstoffe (KW, sonst. (W))	5,7	52 % Druckfarbe SC-Druck, 27 % Harzdispersion LWC D, 19 % Latex LWC IMPORT	Kapitel 1.26
Luft:			
– Stickoxide (L)	22.143	19 % Heizkraftwerk Steinkohle, 13 % Strom D, 5 % Strom IMPORT, 5 % Heizkraftwerk Reststoffe Sulfatzellstoff IMPORT, 3 % LKW Transport Altpapier D	Kapitel 1.17
– SO ₂ (L)	16.216	26 % Heizkraftwerke Steinkohle D (SC, SGW_SC, LWC u. Recy-KP), 18 % Wärme aus Äquivalenzprozessen, 5 % NaOH für Sulfatzellstoff IMPORT 4 % Strom Zeitungsdruckpapier IMPORT	Kapitel 1.18
– Ammoniak (L)	238	61 % Stärke (LWC, KP, Recy-KP in D und IMPORT) 28 % Druckfarbe für Zeitungs- und LWC- Druck	Kapitel 1.1
– Fluorwasserstoff (L)	20	23 % Strom in D (TMP_LWC, LWC, ZDP, SGW_SC, DIP_ZDP) 17,5 % Heizkraftwerk Steinkohle (LWC, SC, SGW_SC) 14 % Wärme für Äquivalenzprozess	Kapitel 1.11
– Schwefel- wasserstoff (L)	1,6	95 % Deponie Altpapier	Kapitel 1.19

Anmerkung:

*) Kapitelnummern in der Spalte Prozessanalyse verweisen auf Anhang III, Materialband III, Teil 1

– W = Wasser, L = Luft

– Sachbilanzergebnis aus Anhang III, Hauptbericht, Tabelle 32

2.3.12 Zusammenfassung der Auswertung des Referenzszenarios

Das Referenzszenario AP HAUPT I wurde mit dem Ziel ausgewertet, signifikante Lebenswegabschnitte (sogenannte Sektoren) und Prozesse zu erkennen, die einen wesentlichen Beitrag zu den Ergebnissen der Wirkungsabschätzung haben.

Der spezifische Beitrag des gesamten Bilanzsystems an der Umweltsituation in Deutschland ist in der Tabelle 28, Spalte 2 dargestellt. Die spezifischen Beiträge des Versauerungspotenzials, der Belästigung durch Lärm und des Wasserverbrauchs liegen im Bereich von 1,15 Mio. bis 1,19 Mio. EÄW. Den deutlich größten spezifischen Beitrag hat die Naturraumbeanspruchung für forstwirtschaftlich genutzte Waldflächen (2,9 Mio. EÄW). Die Knappheit fossiler Energieträger entspricht ca. 550.000 EÄW. In die Größenordnung von 815.000 bis 906.000 EÄW

fallen die Wirkungskategorien terrestrisches Eutrophierungspotenzial, aquatisches Eutrophierungspotenzial / Sauerstoffzehrung und Treibhauspotenzial. Den kleinsten spezifischen Beitrag hat der Wirkungsindikator Krebsrisikopotenzial von Luftschadstoffen (125.000 Einwohneräquivalenzwerte (EÄW)). Aus dieser als „groß“ bewerteten Umweltbelastung folgt die Notwendigkeit, dass der Papierverbrauch insgesamt überdacht und reduziert werden sollte.

In der UBA-Bewertungsmethode für Ökobilanzen⁷¹ werden die einzelnen Wirkungskategorien in eine Rangfolge gebracht, um im Rahmen der Auswertung der Ökobilanzergebnisse besonders wichtige Wirkungskategorien von vergleichsweise unwichtigeren unterscheiden zu können (siehe Kapitel 2.1.8).

Für das Szenario AP HAUPT I sind in der Tabelle 28 die Rangfolgen der drei Kriterien spezifischer Beitrag, Distance-to-Target und ökologische Gefährdung dargestellt und zur ökologischen Priorität zusammengefasst worden. Aus der Tabelle 28 folgt, dass im Szenario AP Haupt I die Wirkungskategorie Treibhauspotenzial eine *große ökologische Priorität* hat. Die Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, bodennahes Ozonbildungspotenzial, Versauerungspotenzial, terrestrisches Eutrophierungspotenzial und aquatisches Eutrophierungspotenzial / Sauerstoffzehrung haben eine *mittlere* ökologische Priorität. Die ökologische Priorität der Wirkungsindikatoren Belästigung durch Lärm, Wasserverbrauch und Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe wurde nicht bewertet.

Die Naturraumbeanspruchung von Waldflächen hat für die Natürlichkeitsklasse II eine vernachlässigbare ökologische Priorität. Die Naturraumbeanspruchung von Waldflächen, die in die Natürlichkeitsklasse III und IV fallen, wird mit *großer* ökologischer Priorität und die der Natürlichkeitsklasse V mit *sehr großer* ökologischer Priorität beurteilt.

Aus den abgeleiteten ökologischen Prioritäten folgt, dass die Ergebnisse des Treibhauspotenzials und der Naturraumbeanspruchung mit der Natürlichkeitsklasse III, IV und V einen signifikanten Einfluss auf die Auswertung von Szenarien (siehe Kapitel 2, 3 und 4) haben.

⁷¹) UBA-Texte 92/99: „Bewertung in Ökobilanzen. Version ‘99“

Tabelle 28: Rangbildung von Wirkungskategorien für das Szenario AP HAUPT I

Wirkungskategorie der Ökobilanz	Rangbildung des spezifischen Beitrags (Einwohner-durchschnittswerte)	Rangbildung des Distance-to-Target	Rangbildung der ökologischen Gefährdung	Ökologische Priorität der Wirkungskategorie
Knappheit fossiler Energieträger	E (553.886)	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	D (906.479)	A	A	groß
Bodennahes Ozonbildungspotenzial	D (1.145.242)	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	E (449.231)	B	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	D (815.255)	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial / Sauerstoffzehrung	D (891.617)	C	B	mittel
Naturraumbeanspruchung Wald:				
– Natürlichkeitsklasse II	A (2.936.552)	A	vernachlässigbar	vernachlässigbar
– Natürlichkeitsklasse III			D	groß
– Natürlichkeitsklasse IV			C	groß
– Natürlichkeitsklasse V			B	sehr groß
Direkte Gesundheitsschädigung:				
– Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe	E (125.543)	n.b.	n.b.	n.b.
– Belästigung durch Lärm	D (1.152.674)	n.b.	n.b.	n.b.
Wasserverbrauch *)	B (1.186.180)	n.b	n.b.	n.b.

Anmerkungen:

- Die Rangbildung der Beurteilungskriterien erfolgt mit den Merkmalen A (höchste Priorität), B, C, D und E (niedrigste Priorität). Es ist zu betonen, dass diese Rangbildung als ein relativer Vergleich zwischen den Wirkungskategorien bzw. Indikatorergebnissen, nicht dagegen als absolutes Urteil anzusehen ist (siehe UBA-Texte 92/99)
- Die Rangbildung des spezifischen Beitrags, des Distance-to-Target und der ökologischen Gefährdung werden zur *ökologischen Priorität* der Wirkungskategorie gemäß UBA-Bewertungsmethode für Ökobilanzen (UBA-Texte 92/99) zusammengefasst.
- Die Einwohneräquivalenzwerte geben die Anzahl der Einwohner Deutschlands an, die die Emissionen und Ressourcenverbräuche, die dem untersuchten Bilanzraum zuzuordnen sind, im Mittel verursachen würden. (Zur Methodik und Datengrundlage siehe Anhang III, Hauptbericht Kapitel 5.3)
- Die Rangbildung des spezifischen Beitrags erfolgt anhand der Einwohneräquivalenzwerte folgendermaßen : *Rang E* von 0 bis 587.310, *Rang D* von 587.310 bis 1.174.621, *Rang C* von 1.174.621 bis 1.761.931, *Rang B* von 1.761.931 bis 2.349.241 und *Rang A* von 2.349.241 bis 2.936.552
- *) Wasserverbrauch ist ein Wirkungsindikator der Wirkungskategorie Ressourcenbeanspruchung
- n.b. = nicht bewertet

Der prozentuale Anteil der einzelnen Lebenswegabschnitte (sog. Sektoren) am Ergebnis der Wirkungskategorien ist in der Tabelle 29 dargestellt. Um den Überblick zu vereinfachen, wurden die Sektoren mit folgendem Ergebnis gruppiert (siehe Anmerkung zu Tabelle 29):

- Der Sektor Faser/Papier IMPORT und der Sektor Faser/Papier Deutschland haben einen herausragenden Anteil an sämtlichen Wirkungskategorien.
- Der Sektor Forstwirtschaft hat einen sehr großen Anteil an der Naturraumbeanspruchung. Der Sektor Entsorgung trägt mit mittlerem Anteil zum Treibhauspotenzial bei.
- Die Transporte haben einen großen Anteil am terrestrischen Eutrophierungspotenzial.
- Der Sektor Verarbeitung trägt nur bei der Wirkungskategorie Knappheit fossiler Energieträger in nennenswertem Umfang zum Ergebnis bei.
- Die Äquivalenzprozesse sind am Versauerungspotenzial mit mittlerem Anteil beteiligt.

Insgesamt führen die Sektoren Faser/Papier in Deutschland und in IMPORT am signifikantesten zu Umweltbelastungen und Ressourcenverbräuchen. Die weitere Aufspaltung des Sektors Faser/Papier würde zeigen, dass die Faserherstellung im Vergleich zur Papierherstellung der umweltrelevantere Lebenswegabschnitt ist.

Tabelle 29: Überblick über den Anteil einzelner Sektoren (Lebenswegabschnitte) graphischer Papiere am Ergebnis ausgesuchter Wirkungskategorien im Szenario AP HAUPT I

Sektoren	ausgesuchte Wirkungskategorien und Wirkungsindikatoren							
	Treibhauspotenzial	Naturraumbeanspruchung	Knappheit fossiler Energieträger	Versauerungspotenzial	aqua. Eutrophierungspotenzial / Sauerstoffzehrung	terr. Eutrophierungspotenzial	Wasserverbrauch	Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe
Ökologische Priorität	groß	sehr groß, groß*)	mittel	mittel	mittel	mittel	n.b.	n.b.
Forst IMPORT / Deutschland	~ 0,2 %	+++++	~ 0,6 %	~ 0,6 %	~ < 0,0	~ 1,1%	~ < 0,0 %	~ 0,4 %
Faser/ Papier IMPORT	++++ 20,3 %	~	+++++ 34,5 %	++++ 23,0 %	+++++ 75,3 %	++++ 23,3 %	+++++ 59,7 %	+++++ 66,9 %
Faser/ Papier Deutschland	+++++ 38,7 %	~	+++++ 40,4 %	+++++ 39,7 %	++ 11,2 %	+++++ 34,1 %	+++++ 38,9 %	+++ 17,7 %
Verarbeitung	~ 4,9 %	~	+ 6,7 %	~ 3,5 %	~ < 0,0	~ 3,6 %	~ 0,8 %	~ 2,3 %
Entsorgung	+++ 18,1 %	~	~ 0,3 %	~ 2,3 %	++ 13,5 %	~ 3,7 %	~ 0,5 %	~ 0,6 %
Transport	~ 3,8 %	~	++ 10,5 %	++ 14,3 %	~ < 0,0	++++ 20,9 %	~ < 0,0 %	+ 8,2 %
Äquivalenzprozesse	++ 14,0 %	~	+ 7,1 %	+++ 16,7 %	~ < 0,0	++ 13,2 %	~ 0,1 %	~ 3,8 %

Anmerkungen:

~ = weniger als 5% Anteil am Indikatorwert der Wirkungskategorie

+ = 5 bis 10 % Anteil am Indikatorwert der Wirkungskategorie

++ = 10 bis 15 % Anteil am Indikatorwert der Wirkungskategorie

+++ = 15 bis 20 % Anteil am Indikatorwert der Wirkungskategorie

++++ = 20 bis 25 % Anteil am Indikatorwert der Wirkungskategorie

+++++ = über 25 % Anteil am Indikatorwert der Wirkungskategorie

n.b. = nicht bewertet

*) große Priorität für die Natürlichkeitsklassen III und IV, sehr große Priorität für die Natürlichkeitsklasse V

In der Tabelle 30 wird ein Überblick über den Beitrag einzelner Prozesse zum Ergebnis der Wirkungskategorien gegeben. Um eine möglichst übersichtliche Darstellung zu ermöglichen und eine Orientierung zu erleichtern, wurden die prozentualen Anteile der einzelnen Prozesse zu fünf Gruppen zusammengefasst und Prozesse, die einen Anteil von weniger als 5 % am Gesamtergebnis haben, nicht gesondert aufgeführt. Aus der Tabelle 30 kann folgendes Ergebnis abgelesen werden:

Einen wesentlichen Beitrag zum Treibhauspotenzial haben die Ablagerung von Altpapier auf Deponien, der Stromverbrauch für die LWC-Herstellung in Deutschland, der Stromverbrauch für die Herstellung von TMP und der Stromverbrauch bei der LWC-Produktion sowie der Stromverbrauch für den Äquivalenzprozess. Weiterhin ist der Strommix für die Zeitungsdruckpapierherstellung Import in erheblichem Umfang an den Ergebnissen des Treibhauspotenzials beteiligt.

Bei den Wirkungskategorien mit mittlerer Priorität (Knappheit fossiler Energieträger, Versauerungspotenzial, aquatisches Eutrophierungspotenzial und terrestrisches Eutrophierungspotenzial) werden die Ergebnisse in besonderem Maße von der SC-Papierherstellung in IMPORT und der Sulfatzellstoffherstellung in IMPORT

beeinflusst. Weiterhin relevant ist der Stromverbrauch in IMPORT für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier, der Stromverbrauch in Deutschland für die Herstellung von TMP für die LWC-Papiere, der mit Steinkohlekraftwerken gedeckte Wärmeverbrauch für den Äquivalenzprozess, die Zeitungsdruckpapierherstellung IMPORT und die Kopierpapierherstellung IMPORT.

Der Wasserverbrauch wird im wesentlichen von der Sulfatzellstoffherstellung in IMPORT, Zeitungsdruckpapierherstellung in IMPORT, Kopierpapierherstellung in IMPORT sowie der LWC, Zeitungsdruckpapier- und SC-Papierherstellung in Deutschland beeinflusst.

Bei der Belästigung durch Lärm stehen die Prozesse zur Versorgung der Druckereien mit Papier, der Versorgung des Marktes mit fertigen Druckerzeugnissen sowie der Transport von Altpapier zur Sortierung und von der Sortierung zur Verwertung im Vordergrund.

Tabelle 30: Überblick über den Beitrag wichtiger Prozesse zum Ergebnis ausgesuchter Wirkungskategorien im Szenario HAUPT I (Darstellung von Beiträgen von über 5 % an der jeweiligen Wirkungskategorie)

Prozesse	ausgesuchte Wirkungskategorien und Wirkungsindikatoren						
	Treibhaus-potenzial	Knappheit fossiler Energieträger	Ver-sauerungs-potenzial	aqua. Eutro-phierungs-potenzial / Sauer-stoff-zehrung	terr. Eutro-phierungs-potenzial	Wasser-verbrauch	Belästi-gung durch Lärm (LKW-Trans-port-leistung)
	Priorität der Wirkungskategorien:						
	groß	mittel	mittel	mittel	mittel	n.b.	n.b.
Sulfatzellstoff IMPORT				++++		+++++	
ZDP IMPORT				+		++	
Strom IMPORT: ZDP IMPORT	+	+					
LWC IMPORT						+	
SC IMPORT				+++++			
KP IMPORT				+		++	
ZDP D						++	
LWC D						++	
HKW SK (E, th): LWC D			+		+		
Strom D: LWC D	+						
Strom D: TMP_LWC D	+	+					
SC D						+	
Zeitungsdruck (Transport von IMPORT zur Druckerei)							++
Altpapier BRD (Transport von Sortierung zur Verwertung)							++
Zeitungsdruck (Transport von Papierfabrik D zur Druckerei)							+
LWC-Druck (Transport von IMPORT zur Druckerei)							+
LWC_Marktversorgung							++
SC_Marktversorgung							+
Altpapier (AzV) (Altpapierfassung)							+
Deponie Altpapier BRD	+++			+			
Strom BRD: Strom Äq	+						
HKW SK: Wärme Äq.			++		+		

Anmerkungen:

- + = 5 bis 10 % Anteil an der Wirkungskategorie
- ++ = 10 bis 15 % Anteil an der Wirkungskategorie
- +++ = 15 bis 20 % Anteil an der Wirkungskategorie
- ++++ = 20 bis 25 % Anteil an der Wirkungskategorie
- +++++ = über 25 % Anteil an der Wirkungskategorie
- n.b. = nicht bewertet

2.4 Vergleich der Grundszenarien

Im folgenden werden die drei Grundszenarien mit hoher, mittlerer und niedriger Altpapierrücklaufquote miteinander verglichen.

2.4.1 Vergleich des Referenzszenarios AP HAUPT I (mittlere Altpapierrücklaufquote) mit dem Szenario AP HOCH I (hohe Altpapierrücklaufquote)

Der Vergleich der Vor- und Nachteile des Szenarios AP HAUPT I mit denen des Szenario AP HOCH I ist in Abbildung 10, Seite 135 bis Abbildung 13, Seite 136 dargestellt. Die verglichenen Szenarien unterscheiden sich im wesentlichen hinsichtlich der Altpapierrücklaufquote, die im Szenario AP HAUPT I rd. 69 % und im Szenario AP HOCH I 76 % beträgt. Der Vergleich hat folgendes Ergebnis:

Eine Steigerung der Altpapierrücklaufquote von rd. 69 % auf 76 % ist günstig zu bewerten für die Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial, Photooxidantienbildungspotenzial, Versauerungspotenzial, terrestrische und aquatische Eutrophierung (Abbildung 10). Besonders herausragend sind die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien bei der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial, die eine ökologische Priorität von *groß* hat.

Die Ergebnisse zur Naturraumbeanspruchung sind in der Abbildung 11 dargestellt. Demnach sinkt die Naturraumbeanspruchung in den Naturnäheklassen III, IV und V, wenn die Altpapierrücklaufquote von rd. 69 % auf 76 % ansteigt. In den exportierenden Regionen treten keine Veränderungen der Naturraumbeanspruchung ein, weil nur aus Deutschland stammender Holzstoff durch Altpapierstoff (DIP) substituiert wird. Für eine höhere Altpapierrücklaufquote spricht auch, dass mehr Holz auf den Waldflächen verbleibt und infolge dessen das Naturraumpotenzial, also der Anteil der Waldflächen mit der Natürlichkeitsklasse I, ansteigt.

In der Wirkungskategorie direkte Gesundheitsschädigung (Abbildung 12) sind die Indikatoren Belästigung durch Lärm und Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe zu Gunsten einer höheren Altpapierrücklaufquote (Szenario AP HOCH I) ausgefallen. Die anderen Parameter Staub, Schwefeldioxid, Benzo(a)pyren, Kohlenmonoxid und Cadmium verstärken diesen Eindruck.

Bei höherer Altpapierrücklaufquote wird eine Mehrbelastung durch Blei⁷² verursacht (Abbildung 12). Diese Mehrbelastung wird durch das eindeutige Ergebnis bei den anderen Einzelstoffen durchaus aufgewogen.

⁷²) Die Unterschiede bei den Bleiemissionen stammen laut Ifeu-Materialbericht III, Kapitel 1.5 und Kapitel 5.5 aus unterschiedlich hohen Verbrennungsmengen von Abfällen in einer MVA. Diese Abfälle sind als hausmüllähnliche Bestandteile im Altpapier enthalten (Bleiemissionen aus MVA in Szenario HAUPT I: 26,2 kg und in Szenario AP HOCH I: 30,9 kg). Diese hausmüllähnlichen Abfälle können eigentlich nicht nur dem Szenario AP HOCH I angerechnet werden, sondern sind auch bei niedrigeren Altpapierrücklaufquoten zu beseitigen, werden dort aber nicht in den Bilanzraum aufgenommen. Die bilanzierten Lebenswege sind daher bezüglich der Bleiemissionen und anderer Emissionen der MVA unsymmetrisch und benachteiligen höhere Altpapierrücklaufquoten.

In der Wirkungskategorie direkte Schädigung von Ökosystemen sprechen alle in Abbildung 13 dargestellten Schadstoffe, die in die Atmosphäre emittiert werden, zugunsten der höheren Altpapierrücklaufquote. Bei den Einleitungen in Gewässer ist das Bild nicht eindeutig.

Insgesamt ist das Szenario AP HOCH I (hohe Altpapierrücklaufquote) gegenüber dem Szenario AP HAUPT I (mittlere Altpapierrücklaufquote) unter Umweltschutzgesichtspunkten erheblich günstiger zu beurteilen.

AP HOCH I >> AP HAUPT I

2.4.2 Vergleich des Referenzszenarios AP HAUPT I (mittlere Altpapierrücklaufquote) mit dem Szenario AP TIEF I (niedrige Altpapierrücklaufquote)

Der Vergleich der Vor- und Nachteile des Szenarios AP HAUPT I mit dem Szenario AP TIEF I ist in Abbildung 14, Seite 137 bis Abbildung 17, Seite 138 zusammengefasst. Im Szenario AP TIEF I beträgt die graphische Altpapierrücklaufquote 57 %. Die nicht verwerteten Altpapiere werden im Verhältnis 30/70 über Hausmüllverbrennungsanlagen und Deponien beseitigt. Der zusätzlich benötigte Frischfaserstoff wird aus Holz gewonnen, das von Forstflächen in Deutschland stammt. Der Vergleich der Szenarien hat folgendes Ergebnis:

Eine Reduzierung der Altpapierrücklaufquote von rd. 69 % auf 57 % ist ungünstiger für die Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial, Photooxidantienbildungspotenzial, Versauerungspotenzial, terrestrisches und aquatisches Eutrophierungspotenzial (siehe Abbildung 14). Bei kleiner werdender Altpapierrücklaufquote steigt im gesamten Bilanzraum die Knappheit fossiler Energieträger um 5 % und die Emission treibhausrelevanter Gase (*große* ökologische Priorität) sogar um 15 %. Die Eutrophierung von Böden und Gewässern, die eine *mittlere* ökologische Priorität haben, nimmt im Bilanzraum um 3 % bis 5 % zu. Die verhältnismäßig größten Unterschiede treten beim Photooxidantienpotenzial auf (plus 29 %), weil die Methanfracht aus der Deponierung von Altpapier stark anwächst.

Der Vergleich der Natürlichkeitsklassen verstärkt den oben bereits festgestellten Trend. Eine Reduzierung der Altpapierrücklaufquote und ein damit verbundener größerer Holzverbrauch würde zu einer ungünstigen Entwicklung bei der Naturraumbeanspruchung führen (Abbildung 15): Die Flächen in den Natürlichkeitsklassen III, IV und V würden um bis zu 15 % zunehmen. Gleichzeitig würden Flächen, die bisher in die besonders naturnahe Klasse I fallen, verkleinert werden.

In der Wirkungskategorie direkte Gesundheitsschädigung (Abbildung 16) zeigen sich Nachteile für das Szenario AP TIEF I bei den aggregierten Indikatoren Belästigung durch Lärm und Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe. Der Vergleich der Schwefeldioxid- und Bleiemissionen⁷³ fällt ungünstig für das Szenario AP HAUPT I aus, die Indikatoren Staub, Benzo(a)pyren, Kohlenmonoxid und Cadmium hingegen sprechen gegen das Szenario AP TIEF I. Aufgrund der

⁷³) Siehe Fußnote 72

erheblichen Bedeutung des Wirkungsindikators Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe werden die Nachteile des Szenarios AP TIEF I gegenüber dem Szenario AP HAUPT I als gewichtiger angesehen.

Aus den ökotoxisch relevanten Indikatoren (Abbildung 17) leitet sich aufgrund der Schwefelwasserstoff-, Fluorwasserstoff- und Ammoniumverhältnisse ein deutlicher Nachteil des Szenarios AP TIEF I ab. Dieses Resultat wird auch durch die für das Szenario AP TIEF I etwas günstigeren Verhältnisse bei den Chloriden nicht aufgewogen.

Insgesamt würde eine niedrigere Altpapierrücklaufquote zu einem Anstieg beim Verbrauch fossiler Energieträger, beim Treibhauspotenzial, beim terrestrischen und aquatischen Eutrophierungspotenzial, bei der Naturraumbeanspruchung, beim Photooxidantienbildungspotenzial und bei der direkten Gesundheitsschädigung (Belästigung durch Lärm und Krebsrisikopotenzial von Luftschadstoffen) führen. Zusammenfassend ist das Szenario AP TIEF I (niedrige Altpapierrücklaufquote) unter Umweltschutzgesichtspunkten erheblich ungünstiger als das Szenario AP HAUPT I (mittlere Altpapierrücklaufquote) zu bewerten.

AP HAUPT I >> AP TIEF I

2.5 Sensitivitätsanalysen

2.5.1 Sensitivitätsanalyse zur energetischen Verwertung von Altpapierüberschüssen in speziellen (hypothetischen) Heizkraftwerken und zur Beseitigung in Hausmüllverbrennungsanlagen

Aus dem Vergleich des Szenarios AP HAUPT I mit den Szenarien AP TIEF I und mit dem AP HOCH I folgt für die untersuchten Wirkungspotenziale, dass eine Altpapierrücklaufquote bei graphischen Papieren von 76 % erheblich günstiger als eine Altpapierrücklaufquote von rd. 69 % oder von 57 % zu bewerten ist (siehe Kapitel 2.4.1 und 2.4.2):

AP HOCH I >> AP HAUPT I >> AP TIEF I

Diese Aussage soll im folgenden auf ihre Sensitivität gegenüber der Variation wichtiger abfallwirtschaftlicher Parameter geprüft werden.

Die Sensitivitätsanalyse wird mit zwei zusätzlichen Szenarien durchgeführt. In den Sensitivitätsszenarien wurde das abfallwirtschaftliche Subsystem durch mehrere Szenarioannahmen zur Altpapierüberschüsse deutlich zu Gunsten der Altpapierverbrennung verändert. Die Altpapierüberschüsse in den Szenarien AP TIEF II und III beziehen sich auf Altpapiermengen, die gegenüber dem Szenario AP HAUPT I nicht werkstofflich verwertet werden (0,955 Mio. t):

- Im Szenario AP TIEF II wird der Fall angenommen, dass die Altpapierüberschüsse ausschließlich in Hausmüllverbrennungsanlagen beseitigt wird.
- Im Szenario AP TIEF III wird angenommen, dass die Altpapierüberschüsse ausschließlich in Kraftwerken der Papierindustrie energetisch verwertet wird. Diese (hypothetischen) Altpapier-Heizkraftwerke könnten aufgrund der in der

Papierindustrie verbreiteten Kraft-Wärme Kopplung einen besonders günstigen Wirkungsgrad erzielen⁷⁴.

- Für die Emissionen der Hausmüllverbrennungsanlagen und der (hypothetischen) Altpapier-Heizkraftwerke wird eine besonders wirkungsvolle Abgasreinigung angenommen: Die Hausmüllverbrennungsanlagen unterschreiten die Anforderungen der 17. BImSchV⁷⁵. Die Altpapier-Heizkraftwerke genügen den Anforderungen der 17. BImSchV⁷⁶.
- Die in den Altpapier-Heizkraftwerken und in den Hausmüllverbrennungsanlagen gewonnene elektrische und thermische Energie fließt in den Energiepool ein und substituiert dort elektrische Energie aus dem deutschen Strommix und thermische Energie aus Kohlekraftwerken.

Einen szenarienspezifischen Überblick über die Aufteilung der Altpapierströme auf Verbrennungsanlagen, Deponien und werkstoffliche Verwertung gibt Tabelle 3 auf Seite 16.

2.5.1.1 Rangfolge der Szenarien AP TIEF I, AP TIEF II und AP TIEF III

Zunächst werden die Szenarien AP TIEF I, II und III untereinander verglichen, um unter ihnen eine Rangfolge aufzustellen. Die in Abbildung 18, Seite 139 bis Abbildung 26, Seite 144 dargestellten Vergleiche haben folgendes knapp zusammengefasstes Ergebnis:

Beide Szenarien AP TIEF II und III sind in fast allen bilanzierten Wirkungskategorien wesentlich günstiger als das Szenario AP TIEF I (siehe Abbildung 18 bis Abbildung 23). Die zu Ungunsten der Szenarien AP TIEF II und AP TIEF III bilanzierten Wirkungsindikatoren haben nur einen untergeordneten Einfluss auf das Ergebnis.

Der Vergleich der Sensitivitätsszenarien AP TIEF II und III untereinander (Abbildung 24 bis Abbildung 26) zeigt Vorteile für das Szenario AP TIEF III bei der Knappheit fossiler Energieträger, dem Treibhauspotenzial und dem Versauerungspotenzial. Die zum Nachteil des Szenarios AP TIEF III bilanzierten Wirkungskategorien Photooxidantienbildungspotenzial und terrestrisches Eutrophierungspotenzial relativieren die oben genannten Vorteile. Insgesamt werden die Wirkungskategorien, die zu Ungunsten des Szenarios AP TIEF III bilanziert wurden, mehr als aufgewogen. Bei den Wirkungskategorien direkte Gesundheitsschädigung und direkte Schädigung von Ökosystemen ist das Bild uneinheitlich.

Insgesamt ergibt sich für die Szenarien AP TIEF I, II und III unter Umweltschutzgesichtspunkten folgende Rangfolge:

Die Verbrennung von Altpapierüberschüssen in Kraft-Wärme gekoppelten Kraftwerken der Papierindustrie ist günstiger als die Verbrennung in Hausmüllverbrennungsanlagen. Beides zusammen ist erheblich günstiger als die

⁷⁴) Siehe Anhang III, Hauptbericht, Seite 20 und 26 sowie Ifeu-Materialband I, Kapitel 7.1

⁷⁵) Mit dieser Annahme wird der Status Quo für in Deutschland betriebene Hausmüllverbrennungsanlagen beschrieben.

⁷⁶) Emissionsgrenzwerte für Anlagen der 17. BImSchV (bezogen auf 11 Vol. % O₂, 273 K, 1013 hPa): 10 mg Staub /m³, 50 mg SO₂ /m³, 200 mg NO_x /m³, 50 mg CO / m³, 10 mg HCl /m³, 1 mg HF /m³, 10 mg Total-C /m³, 0,1 ng TE Dioxine und Furane /m³ u.a.

Beseitigung der Altpapierüberschmengen im konventionellen Beseitigungssplit (70% Deponie, 30% MVA).

AP TIEF III	>	AP TIEF II	>>	AP TIEF I
-------------	---	------------	----	-----------

2.5.1.2 Vergleich des Referenzszenarios AP HAUPT I (mittlere Altpapierrücklaufquote) mit dem Szenario AP TIEF II (niedrige Altpapierrücklaufquote, Beseitigung von Altpapierüberschmengen in Hausmüllverbrennungsanlagen)

Der Vergleich des Szenarios AP HAUPT I mit Szenario AP TIEF II ist in Abbildung 27, Seite 145 bis Abbildung 30, Seite 146 dargestellt. Der Szenarienvergleich hat folgendes Ergebnis:

Die Wirkungskategorien in der Abbildung 27 sprechen sowohl für das Szenario AP HAUPT I als auch AP TIEF II: Zu Gunsten des Szenarios AP TIEF II fallen das Treibhauspotenzial, das Versauerungspotenzial und das aquatische Eutrophierungspotenzial (Unterschied 1,5 bis 2,5 %) aus. Die Knappheit fossiler Energieträger spricht in ähnlicher Größenordnung zu Gunsten des Szenarios AP HAUPT I.

Der im T-Diagramm dargestellte Vergleich des Versauerungspotenzials und der Knappheit fossiler Energieträger führt zu einem ausgewogenen Resultat, weil beide Wirkungskategorien eine *mittlere* ökologische Priorität haben und sich in ähnlich großem Verhältnis, allerdings mit gegenläufigem Vorzeichen, voneinander unterscheiden.

Der Vergleich der Naturraumbeanspruchung (siehe Abbildung 28) zeigt, dass das Szenario AP HAUPT I gegenüber dem Szenario AP TIEF II beachtliche Vorteile bei den Natürlichkeitsklassen III bis V (*sehr große* bis *große* ökologische Priorität, 3-15% mehr Naturraumbeanspruchung) und beim Naturraumpotenzial hat.

In der Wirkungskategorie direkte Gesundheitsschädigung (Abbildung 29) sprechen die aggregierten Indikatoren Belästigung durch Lärm und Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe zu Gunsten des Szenarios AP HAUPT I. Die anderen Indikatoren Benzo(a)pyren, Kohlenmonoxid und Cadmium verstärken diesen Eindruck, werden aber durch die Schwefeldioxid- und Staubemissionen relativiert.

Aus dem Vergleich von Indikatoren in der Wirkungskategorie direkte Schädigung von Ökosystemen (Abbildung 30) folgt eine Überlegenheit des Szenarios AP TIEF II.

Bei dem Szenarienvergleich ist zunächst festzustellen, dass hier eine besonders komplizierte Verteilung der Vor- und Nachteile der beiden Szenarien vorliegt: Das Szenario AP HAUPT I ist aufgrund der beachtlichen Unterschiede bei der Naturraumbeanspruchung wesentlich günstiger zu bewerten, wenn auch diese Folgerung durch die Ergebnisse der Wirkungskategorien aquatisches Eutrophierungspotenzial, Treibhauspotenzial und direkte Schädigung von Ökosystemen relativiert werden muss. Die Indikatoren zur direkten Gesundheitsschädigung lassen keinen eindeutigen Vorteil für eines der Szenarien erkennen. Aus diesem Vergleich folgt, dass eine Überlegenheit der Beseitigung von Altpapierüberschmengen in Hausmüllverbrennungsanlagen (Szenario AP TIEF II)

gegenüber der werkstofflichen Verwertung von Altpapierüberschüssen nicht abgeleitet werden kann.

Bei der Auswertung dieses Szenarienvergleichs muss der Einfluss der Äquivalenzprozesse auf das Ergebnis mit berücksichtigt werden. Diese Notwendigkeit soll im folgenden am Beispiel von drei Wirkungskategorien kurz erläutert werden:

Für die drei Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial und Versauerungspotenzial sind in der Tabelle 31 die absoluten Unterschiede zwischen den beiden Szenarien, d.h. die Differenz der Indikatorergebnisse (AP HAUPT I minus AP TIEF II), dargestellt. Die Daten sind sektorspezifisch⁷⁷ gegliedert.

Tabelle 31: Sektoranalyse für absolute Unterschiede bei der Knappheit fossiler Energieträger, des Treibhauspotenzials und des Versauerungspotenzials der Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF II (Kohlekraftwerke als Äquivalenzprozess für thermische Energie)

Sektor	Differenz der Wirkungspotenziale (AP HAUPT I minus AP TIEF II)		
	Knappheit fossiler Energieträger, t ROE	Treibhaus- potenzial, t CO ₂ -Äq.	Versauerungs- potenzial, t SO ₂ -Äq.
Forst D/Import	- 1.153	-3.707	-28
Faser/Papier Import	0	0	0
Faser D	- 79.300	-685.840	-1.312
Papier D	0	0	0
Verarbeitung	0	0	0
Entsorgung	1.010	49.689	-239
Transport	- 1.320	-4.692	-51
Äquivalenzprozesse (Kohlekraftwerke)	47.365	810.828	2.417
Summe	- 33.398	166.278	787

Anmerkung: gerundete und bearbeitete Daten aus Anhang III, Hauptbericht, Tabelle 63

Aus der Tabelle 31 wird deutlich, dass die Verringerung der werkstofflichen Altpapierverwertung zunächst zu Umweltnachteilen bei der Faserherstellung in Deutschland führt, weil die Knappheit fossiler Energieträger um 79.300 t ROE, das Treibhauspotenzial um 0,686 Mio. t CO₂-Äq. und das Versauerungspotenzial um 1.312 t SO₂-Äq. ansteigen. Gleichzeitig werden in der Ökobilanz aufgrund von Energie, die von den Hausmüllverbrennungsanlagen in den Energiepool (Energie-Äquivalenzprozesse) eingespeist werden, Gutschriften bei der Knappheit fossiler Energieträger von rd. 47.400 t ROE, dem Treibhauspotenzial von rd. 0,81 Mio. t CO₂-Äq. und dem Versauerungspotenzial von rd. 2.400 t SO₂-Äq.) errechnet. Diese Gutschriften überkompensieren bei den Wirkungskategorien Treibhauseffekt und Versauerungspotenzial die Umweltvorteile der Faserherstellung in Deutschland. Ohne die aus ökobilanzmethodischen Gründen notwendigen Energie-Äquivalenzprozesse würde sich das Ergebnis also umkehren: Der abfallwirtschaftliche Vergleich würde deutlich zu Gunsten der werkstofflichen Altpapierverwertung (Szenarios AP HAUPT I) ausfallen.

⁷⁷) Eine Beschreibung der Prozesse, die zu Sektoren zusammengefaßt wurden, enthält die Tabelle 41.

Für ein abschließendes Urteil müssen die durchgeführten Sensitivitätsanalysen zu den Energie-Äquivalenzprozessen (Kapitel 2.5.3) berücksichtigt werden.

2.5.1.3 Vergleich des Referenzszenarios AP HAUPT I (mittlere Altpapierrücklaufquote) mit dem Szenario AP TIEF III (niedrige Altpapierrücklaufquote, energetische Verwertung von Altpapierüberschüssen in Heizkraftwerken)

Der Vergleich des Szenarios AP HAUPT I mit Szenario AP TIEF III ist in Abbildung 31, Seite 147 bis Abbildung 34, Seite 148 dargestellt. Der Szenarienvergleich hat folgendes Ergebnis:

Die Darstellung der Wirkungskategorien in Abbildung 31 zeigt deutliche Umweltvorteile für das Szenario AP TIEF III beim Treibhauspotenzial (plus 8,5 %), beim aquatischen Eutrophierungspotenzial und beim Versauerungspotenzial (plus 6,5 %). Relativiert werden diese Vorteile durch die Wirkungskategorien terrestrisches Eutrophierungspotenzial und Photooxidantienpotenzial.

Der Vergleich der Naturraumbeanspruchung (siehe Abbildung 32) hat zum Ergebnis, dass das Szenario AP HAUPT I gegenüber dem Szenario AP TIEF III beachtliche Vorteile bei den Natürlichkeitsklassen III bis V (*sehr große* bis *große* ökologische Priorität, 3- 15% mehr Naturraumbeanspruchung) und beim Naturraumpotenzial (Naturnäheklasse I) hat.

Für die Wirkungskategorie direkte Gesundheitsgefährdung lässt das T-Diagramm (Abbildung 33) kein eindeutiges Ergebnis zu, weil die Verhältnisse der aggregierten und nicht aggregierten Indikatoren gegenläufig sind.

In der Wirkungskategorie direkte Schädigung von Ökosystemen (Abbildung 34) sprechen die bilanzierten Indikatoren für eine Überlegenheit des Szenarios AP TIEF III, die durch die Stickoxide etwas relativiert wird.

Zusammenfassend ist zum Szenarienvergleich festzustellen, dass, wie auch beim Vergleich AP HAUPT I mit AP TIEF II (siehe Kapitel 2.5.1.2), hier eine besonders komplizierte Verteilung der Vor- und Nachteile der beiden Szenarien vorliegt. Das Szenario AP HAUPT I ist bei der Naturraumbeanspruchung wesentlich günstiger zu bewerten. Allerdings wird dieser Vorteil durch die Ergebnisse der Wirkungskategorien Treibhauspotenzial, Versauerungspotenzial und aquatisches Eutrophierungspotenzial relativiert. Der Wirkungsindikator Belästigung durch Lärm erweist sich als vorteilhaft für das Szenario AP HAUPT I, allerdings lässt die Wirkungskategorie direkte Gesundheitsschädigung keinen eindeutigen Vorteil für eines der Szenarien erkennen. Die ökotoxisch wirkenden Einzelstoffe zeigen ein ungünstiges Bild für das Szenario AP HAUPT I.

Für ein abschließendes Votum werden die Ergebnisse der Energie-Äquivalenzprozess-Sensitivitätsanalyse ausgewertet (siehe Kapitel 2.5.3). Dieses ist, wie schon im vorangegangenen Kapitel dargestellt, wichtig, weil im Sektor Faserherstellung Deutschland die positiven Effekte in den Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial und Versauerungspotenzial aufgrund der Gutschriften aus den Äquivalenzprozessen überkompensiert werden (siehe Tabelle 32, Differenz ausgesuchter Indikatorergebnisse (AP HAUPT I minus AP TIEF III)).

Tabelle 32: Sektoranalyse für absolute Unterschiede bei ausgesuchten Wirkungskategorien der Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF III (Kohlekraftwerke als Äquivalenzprozess für thermische Energie)

Sektor	Differenz der Wirkungspotenziale (AP HAUPT I minus AP TIEF III)		
	Knappheit fossiler Energieträger, t ROE	Treibhaus- potenzial, t CO ₂ -Äq	Versauerungs- potenzial, t SO ₂ -Äq
Forst D./Import	-1.153	-3.707	-28
Faser/Papier Import	0	0	0
Faser Deutschland	-79.300	-685.840	-1.312
Papier Deutschland	0	0	0
Verarbeitung	0	0	0
Entsorgung	968	49.540	44
Transport	-2.699	-8.801	-93
Äquivalenzprozesse (Kohlekraftwerke)	91.855	1.613.281	3.420
Summe	9.672	964.473	2.031

Anmerkungen: gerundete und bearbeitete Daten aus Anhang III, Hauptbericht, Tabelle 62

2.5.1.4 Vergleich des Szenarios AP TIEF III (niedrige Altpapierrücklaufquote, energetische Verwertung von Altpapierüberschüssen in Heizkraftwerken) mit dem Szenario AP HOCH I (hohe Altpapierrücklaufquote)

Der Vergleich des Szenarios AP TIEF III mit dem Szenario AP HOCH I ist in Abbildung 35, Seite 149 bis Abbildung 38, Seite 150 dargestellt. Die Auswertung der T-Diagramme hat folgendes Ergebnis:

Die Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial, bodennahes Photooxidantienbildungspotenzial, aquatische und terrestrische Eutrophierung fallen zu Gunsten des Szenarios AP HOCH I aus (siehe Abbildung 35). Die dem entgegenstehenden Versauerungspotenziale können dieses Bild nur wenig relativieren.

Der Vergleich der Naturraumbeanspruchung (Abbildung 36) zeigt erhebliche Nachteile für das Szenario AP TIEF III, das bei den Natürlichkeitsklassen III bis V (*sehr große* bis *große* ökologische Priorität) eine höhere Naturraumbeanspruchung und ein größeres Naturraumpotenzial hat.

Die human- und ökotoxischen Wirkungskategorien (Abbildung 37 und Abbildung 38) lassen keines der Szenarien günstiger erscheinen.

Die in den vier T-Diagrammen dargestellten Vergleiche haben das Ergebnis, dass die werkstoffliche Verwertung von graphischem Altpapier mit einer Altpapierrücklaufquote von 76 % unter Umweltschutzgesichtspunkten erheblich günstiger ist als eine Altpapierrücklaufquote von nur 57 %, bei der eine Verbrennung von Altpapierüberschüssen in Kraft-Wärme gekoppelten Anlagen der Papierindustrie angenommen wurde.

AP HOCH I	>>	AP TIEF III
-----------	----	-------------

2.5.2 Sensitivitätsanalyse zum Verbleib von Holzüberschüssen durch Vergleich des Szenarios AP HOCH I mit Szenario AP HOCH II (Verbleib auf Forstflächen versus Energiegewinnung in Heizkraftwerken)

Im folgenden soll beurteilt werden, ob eine weitere Verringerung der Umweltbelastungen im Szenario AP HOCH I (Altpapierrücklaufquote von 76 %) durch die Energiegewinnung aus Holzüberschüssen möglich ist (Szenario AP HOCH II). Die Holzüberschüsse entsprechen der Holzmenge, die in der Papierindustrie aufgrund der Steigerung der Altpapierrücklaufquote von 69% auf 76 % zur Herstellung von Faserstoff weniger verbraucht wird (0,761 Mio. t). Im Szenario AP HOCH II wird zur Energiegewinnung aus Holzüberschüssen ein (hypothetisches) Kraft-Wärme gekoppeltes Kraftwerk modelliert, dessen thermische und elektrische Energie in den Energiepool einfließt und dort thermische Energie aus Kohlekraftwerken und Strom aus dem öffentlichen Netz ersetzt. Der Vergleich des Szenarios AP HOCH I mit Szenario AP HOCH II ist in Abbildung 39 bis Abbildung 42 dargestellt. Daraus leitet sich folgendes Ergebnis ab:

In Abbildung 39 sind die Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial, Photooxidantienbildungspotenzial und terrestrische Eutrophierung zu Gunsten des Szenarios AP HOCH II ausgefallen. Als wesentlicher Vorteil für das Szenario AP HOCH II steht das Treibhauspotenzial da, das eine *große ökologische Priorität* hat (Unterschied 6 %).

Der Vergleich der Naturraumbeanspruchung (siehe Abbildung 40) steht dem oben formulierten Zwischenergebnis deutlich entgegen. Werden die Holzüberschüsse zur Energiegewinnung genutzt, steigt die Naturraumbeanspruchung bei den Natürlichkeitsklassen III bis V um 2 bis 8% (*große bis sehr große ökologische Priorität*) und das Naturraumpotenzial sinkt.

In der Wirkungskategorie direkte Gesundheitsschädigung (siehe Abbildung 41) sind die bilanzierten Indikatoren gegenläufig ausgefallen, wobei die Belästigung durch Lärm, das Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe, die Kohlenmonoxid- und die Benzo(a)pyren- zu Gunsten des Szenarios AP HOCH I sprechen.

Bei den ökotoxisch wirkenden Einzelstoffen treten Unterschiede nur bei den Fluorwasserstoff- und bei den Schwefeldioxidemissionen auf. Beide Größen fallen zum Vorteil des Szenarios AP HOCH II aus.

Zusammenfassend folgt aus dem Szenarienvergleich AP HOCH I mit AP HOCH II, dass die Vor- und Nachteile der human- und ökotoxischen Indikatoren gegenläufig sind und sich in etwa aufwiegen. Deutliche Unterschiede bestehen beim Treibhauspotenzial, der Knappheit fossiler Energieträger und dem Versauerungspotenzial, die zum Nachteil des Szenarios AP HOCH I ausfallen, sowie bei der Naturraumbeanspruchung, die das Szenario AP HOCH II in ein ungünstiges Licht setzt. Demnach steht der Reduzierung des Treibhauspotenzials um ca. 6 % eine Naturraumbeanspruchung bei den Natürlichkeitsklassen III bis V von 2 bis 8 % gegenüber. Berücksichtigt man, dass das Treibhauspotenzial eine *große ökologische Priorität* und die Naturraumbeanspruchung eine *große bis sehr große ökologische Priorität* hat, kann die Verbrennung von Holzüberschüssen gegenüber dem Verbleib auf den Forstflächen nicht als günstiger eingeschätzt werden.

Ein abschließendes Votum zu diesem Szenarienvergleich müsste mit weiteren Sensitivitätsanalysen untermauert werden, in denen die Technologie der

Holzverbrennung, die Naturnähe der Forstwirtschaft im Einzugsbereich der Verbrennungsanlagen und die Energie-Äquivalenzprozesse untersucht werden. Beispielsweise würde die Energiegewinnung aus Holz, das aus Forstflächen der Natürlichkeitsklasse II stammt, unter Umweltgesichtspunkten voraussichtlich günstiger zu bewerten sein als der Verbleib der Holzübermengen auf diesen Forstflächen.

AP HOCH I im Vergleich zu AP HOCH II
(weitere Sensitivitätsanalysen wären notwendig)

2.5.3 Sensitivitätsanalyse zu den Energie-Äquivalenzprozessen (Kohle versus Gas als Energieträger für die Äquivalenzprozesse)

Als Energie-Äquivalenzprozess für die thermische Energie wurde in den vorangegangenen Vergleichen zunächst ein kohlebefeuetes Heizkraftwerk mit bilanziert, weil angenommen wird, dass das zu verbrennende Altpapier konventionelle Festbrennstoffe in den Kraftwerken der Papierindustrie ersetzen könnte.

Die Einbeziehung von Gaskraftwerken in die Sensitivitätsanalyse erscheint angemessen für die Annahme, dass das Altpapier nicht in bestehenden Kraftwerken, sondern in speziellen neu zu bauenden Kraftwerken verbrannt würde. Diese Kraftwerke stünden in direkter Konkurrenz zu Gaskraftwerken, die zukünftig aus wirtschaftlichen Gründen gegenüber Kohlekraftwerken bevorzugt werden.

In dieser Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss der Energie-Äquivalenzprozesse auf das Ökobilanzergebnis unter der Prämisse betrachtet, dass das kohlebefeuetes Heizkraftwerk in vier Szenarien (AP HOCH III, AP HAUPT II, AP TIEF IV und AP TIEF V) durch ein gasbefeuetes Heizkraftwerk ersetzt wird. Dadurch ist das Szenario AP HOCH III mit dem Szenario AP HOCH II, das Szenario AP HAUPT II mit dem Szenario AP HAUPT I, das Szenario AP TIEF III mit dem Szenario AP TIEF IV und das Szenario AP TIEF II mit dem Szenario AP TIEF V mit Ausnahme der Energie-Äquivalenzprozesse identisch.

Im folgenden werden folgende Szenarien miteinander verglichen:

- AP HAUPT II mit AP TIEF IV
- AP HAUPT II mit AP HOCH III
- AP HAUPT II mit AP TIEF V

2.5.3.1 Vergleich des Szenarios AP HAUPT II (mittlere Altpapierrücklaufquote) mit dem Szenario AP TIEF IV (niedrige Altpapierrücklaufquote, Verbrennung von Altpapierübermengen in speziellen Heizkraftwerken) mit Gas- statt Kohlekraftwerk als Energie-Äquivalenzprozess

Der Vergleich des Szenarios AP HAUPT II mit Szenario AP TIEF IV ist in Abbildung 43, Seite 153 bis Abbildung 46, Seite 154 dargestellt. Der Szenarienvergleich hat folgendes Ergebnis:

Die in der Abbildung 43 dargestellten Wirkungskategorien zeigen ein uneinheitliches Bild: Für das Szenario AP TIEF IV sprechen die Knappheit fossiler Energieträger

und das aquatische Eutrophierungspotenzial, die beide eine *mittlere* ökologische Priorität haben (Unterschied 1,5 bis 5 %) und das Treibhauspotenzial (*große* ökologische Priorität, Unterschied 6 %). Gegen das Szenario AP TIEF IV fallen Wirkungskategorien mit *mittlerer* ökologischer Priorität wie Photooxidantienbildungspotenzial, Versauerungspotenzial und terrestrisches Eutrophierungspotenzial (Unterschiede von 5 bis 12 %) aus.

Die sektorspezifische Analyse der Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial und Versauerungspotenzial zeigt die Tabelle 33, in der die Differenz der Indikatorergebnisse AP HAUPT II minus AP TIEF IV dargestellt ist. In den Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger und Treibhauspotenzial kompensieren die Energie-Äquivalenzprozesse die Umweltvorteile der höheren Altpapierverwertung im Sektor Faserherstellung Deutschland. In der Wirkungskategorie Versauerung findet keine Kompensation sondern aufgrund der hohen Stickoxidemissionen eine Erhöhung des Versauerungspotenzials statt.

Tabelle 33: Sektoranalyse für absolute Unterschiede ausgesuchter Wirkungskategorien der Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF IV (Gaskraftwerke als Äquivalenzprozess für thermische Energie)

Sektor	Differenz der Wirkungspotenziale (AP HAUPT II minus AP TIEF IV)		
	Knappheit fossiler Energieträger, t ROE	Treibhaus- potenzial, t CO ₂ -Äq	Versauerungs- potenzial, t SO ₂ -Äq
Forst D./Import	-1.153	-3.707	-28
Faser/Papier Import	0	0	0
Faser Deutschland	-79.300	-685.840	-1.312
Papier Deutschland	0	0	0
Verarbeitung	0	0	0
Entsorgung	965	49.529	44
Transport	-2.705	-8.821	-93
Äquivalenzprozesse (Gaskraftwerke)	147.025	1.212.736	-542
Summe	64.832	563.897	-1.932

Anmerkungen: gerundete und bearbeitete Daten aus Anhang III, Hauptbericht, Tabelle 74

Die in der Abbildung 44 dargestellte Naturraumbeanspruchung wird durch die Sensitivitätsanalyse bei den Äquivalenzprozessen nicht betroffen. Wie auch beim Vergleich der Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF III tritt das Szenario mit größerer Altpapierrücklaufquote wesentlich günstiger hervor.

In der Wirkungskategorie direkte Gesundheitsschädigung (Abbildung 45) hat das Szenario AP HAUPT II deutliche Vorteile bei der Belästigung durch Lärm, Schwefeldioxid, Benzo(a)pyren, Kohlenmonoxid und Cadmium (Unterschied von 1 bis 9 %). Diese Vorteile werden durch die zu Gunsten des Szenarios AP TIEF IV bilanzierten Staubemissionen nur etwas relativiert. Bei den Indikatoren Blei und Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe unterscheiden sich die Szenarien nur wenig.

Der Vergleich der Einleitungen in Gewässer (Abbildung 46) fällt für Chlorid und Ammonium eindeutig zu Gunsten des Szenarios AP TIEF IV aus. Unklar ist das Bild bei den Emissionen in die Atmosphäre: Stickoxid und Schwefeldioxide sind deutlich zu Gunsten des Szenarios AP HAUPT II, Fluorwasserstoff und Ammoniak zu Gunsten von AP TIEF IV bilanziert.

Insgesamt folgt aus dem Vergleich der Wirkungskategorien für die Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF IV folgendes: Der direkte Vergleich der Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger und Versauerungspotenzial sowie aquatische Eutrophierungspotenzial und terrestrisches Eutrophierungspotenzial (alle mit *mittlerer* ökologischer Priorität) erweist sich aufgrund der Verhältnisse der Wirkungsindikatoren als vorteilhaft für das Szenario AP HAUPT II. Dieses Resultat wird durch den Vergleich der Indikatorergebnisse des Treibhauspotenzials mit denen der Naturraumbeanspruchung sowie durch die Indikatorergebnisse zur direkten Gesundheitsschädigung sowie durch das Photooxidantienbildungspotenzial verstärkt. Zusammenfassend wird die werkstoffliche Altpapierverwertung (Szenario AP HAUPT II) unter Umweltschutzgesichtspunkten günstiger als die Verbrennung von Altpapierüberschüssen in speziellen Heizkraftwerken (das Szenario AP TIEF IV) bewertet.

AP HAUPT II > AP TIEF IV

2.5.3.2 Vergleich des Szenarios AP HOCH III (hohe Altpapierrücklaufquote) mit dem Szenario AP HAUPT II (mittlere Altpapierrücklaufquote) mit Gas- statt Kohlekraftwerk als Energie-Äquivalenzprozess

Der Vergleich der Vor- und Nachteile des Szenarios AP HAUPT II mit denen des Szenario AP HOCH III ist in Abbildung 47 bis Abbildung 49 dargestellt. Der Szenarienvergleich hat folgendes Ergebnis:

Das Szenario AP HOCH III ist wesentlich günstiger zu bewerten für die Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger (*mittlere* ökologische Priorität, Unterschied 6 %), Treibhauspotenzial (*große* ökologische Priorität, Unterschied 18 %), Versauerungspotenzial (*mittlere* ökologische Priorität, Unterschied 4%), Photooxidantienbildungspotenzial, aquatisches Eutrophierungspotenzial und terrestrisches Eutrophierungspotenzial (siehe Abbildung 47).

Die humantoxischen Stoffe (Abbildung 48) lassen kein eindeutiges Votum zu, weil die Indikatorergebnisse gegenläufig sind.

Die in der Abbildung 49 dargestellten Indikatorverhältnisse zu Emissionen in die Atmosphäre (Stickoxide, Schwefelwasserstoff, Fluorwasserstoff, Ammoniak und Schwefeldioxid), erweisen sich alle zu Gunsten des Szenarios AP HOCH III. Bei den Einleitungen in die Gewässer ist das Bild uneinheitlich, weil die Ammonium- und Chlorid-Einleitungen gegenläufig sind.

Insgesamt folgt aus den Indikatorergebnissen zur direkten Schädigung von Ökosystemen und den Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial, Photooxidantienbildungspotenzial, Versauerungspotenzial, aquatisches und terrestrisches Eutrophierungspotenzial ein eindeutiger Vorteil für das Szenario AP HOCH III.

AP HOCH III >> AP HAUPT II

2.5.3.3 Vergleich des Szenarios AP HAUPT II (mittlere Altpapierrücklaufquote) mit dem Szenario AP TIEF V (niedrige Altpapierrücklaufquote, Altpapierübermengen in Hausmüllverbrennungsanlage) mit Gas- statt Kohlekraftwerk als Energie-Äquivalenzprozess

Der Vergleich des Szenarios AP HAUPT II mit dem Szenario AP TIEF V, in dem die Altpapierübermengen in einer Hausmüllverbrennungsanlage verbrannt werden und die dabei gewonnene thermische Energie im Energiepool (Energie-Äquivalenzprozess) Gaskraftwerke ersetzt, ist in Abbildung 50 bis Abbildung 53 dargestellt. Der Szenarienvergleich hat folgendes Ergebnis:

Die in der Abbildung 50 dargestellten Wirkungskategorien mit *mittlerer* ökologischer Priorität Knappheit fossiler Energieträger, Photooxidantienbildungspotenzial, Versauerungspotenzial und terrestrisches Eutrophierungspotenzial fallen zu Gunsten des Szenarios AP HAUPT II aus, wobei die Unterschiede beim Versauerungspotenzial und terrestrischen Eutrophierungspotenzial am deutlichsten sind. Beim Treibhauspotenzial sind die Szenarien fast gleich. Zu Gunsten des Szenarios AP TIEF II spricht das aquatische Eutrophierungspotenzial, dass jedoch durch die anderen oben genannten Wirkungskategorien mit ebenfalls *mittlerer* ökologischer Priorität mehr als aufgewogen wird.

Die sektorspezifische Analyse der Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial und Versauerungspotenzial zeigt die Tabelle 34, die die Differenz der Indikatorergebnisse AP HAUPT II minus AP TIEF V darstellt. Die Daten dieser Tabelle führen im Vergleich zur Tabelle 31, die die Sektoranalyse für kohlebasierte Energie-Äquivalenzprozesse zum Inhalt hat, zu einer deutlichen Umkehr des Ergebnisses: Kompensierten die kohlebasierten Energie-Äquivalenzprozesse die Umweltvorteile der höheren Altpapierverwertung im Sektor Faserherstellung Deutschland (Tabelle 31) so bleiben nun bei Berücksichtigung von gasbasierten Energie-Äquivalenzprozessen die Umweltvorteile der höheren Altpapierverwertung im Sektor Faserherstellung Deutschland bestehen.

Tabelle 34: Sektoranalyse für absolute Unterschiede bei ausgesuchten Wirkungskategorien der Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF V (Gaskraftwerke als Äquivalenzprozess für thermische Energie)

Sektor	Differenz der Wirkungspotenziale (AP HAUPT II minus AP TIEF V)		
	Knappheit fossiler Energieträger, t ROE	Treibhaus- potenzial, t CO ₂ -Äq	Versauerungs- potenzial, t SO ₂ -Äq
Forst D./Import	-1.153	-3.707	-28
Faser/Papier Import	0	0	0
Faser Deutschland	-79.300	-685.831	-1.312
Papier Deutschland	0	0	0
Verarbeitung	0	0	0
Entsorgung	1.009	49.685	-239
Transport	-1.323	-4.701	-51
Äquivalenzprozesse	71.300	637.054	698
Summe	-9.467	-7.501	-932

Anmerkungen: gerundete und bearbeitete Daten aus Anhang III, Hauptbericht, Tabelle 62 und Ergänzungslieferung

Die in der Tabelle 47 dargestellte Naturraumbeanspruchung wird durch die Sensitivitätsanalyse bei den Energie-Äquivalenzprozessen nicht betroffen. Wie auch

beim Vergleich der Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF IV hat das Szenario mit größerer Altpapierrücklaufquote wesentlich größere Umweltvorteile.

In der Wirkungskategorie direkte Gesundheitsschädigung (Tabelle 48) hat das Szenario AP HAUPT II deutliche Vorteile bei allen dargestellten Indikatoren.

Der Vergleich der Indikatoren in der Wirkungskategorie direkte Schädigung von Ökosystemen ist uneinheitlich (Tabelle 49). Bei den Einleitungen in Gewässer hat das Szenario AP TIEF V deutliche Vorteile, die allerdings von Emissionen in die Atmosphäre wieder erheblich relativiert werden.

Zusammenfassend folgt aus dem Vergleich der Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF V, dass die Vorteile der werkstofflichen Altpapierverwertung in den Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Photooxidantienbildungspotenzial, Versauerungspotenzial und terrestrisches Eutrophierungspotenzial, Naturraumbeanspruchung und direkte Schädigung der Gesundheit die Nachteile in der Wirkungskategorie aquatische Eutrophierung deutlich überwiegen. Die Verbrennung von Altpapierüberschüssen in Hausmüllverbrennungsanlagen ist daher unter Umweltgesichtspunkten erheblich ungünstiger als die werkstoffliche Altpapierverwertung zu bewerten.

AP HAUPT II >> AP TIEF V

2.5.4 Zusammenfassung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen

Der Vergleich der Grundszenarien kommt zu dem Ergebnis, dass eine hohe Altpapierrücklaufquote von 76% (Szenario AP HOCH I) erheblich günstiger ist als eine mittlere Altpapierrücklaufquote von 69% (Szenario AP HAUPT I) welche wiederum erheblich günstiger als eine niedrige Altpapierrücklaufquote von 57% (Szenario AP TIEF I)⁷⁸.

AP HOCH I >> AP HAUPT I >> AP TIEF I (Kohle als Energie-Äquivalenzprozesse)
--

Diese Rangfolge wurde in mehreren Sensitivitätsanalysen überprüft. Zunächst wurde der Anteil graphischer Altpapiere, die verbrannt werden, erhöht. Dazu wurde statt der Altpapierentsorgung im konventionellen Beseitigungssplit, d.h. der Beseitigung zu 30 % über Hausmüllverbrennungsanlagen und zu 70 % über Deponien (Szenario AP TIEF I), eine definierte Altpapiermenge von 0,955 Mio. t (sogenannte Altpapierüberschüsse) zusätzlich in Hausmüllverbrennungsanlagen (Szenario AP TIEF II) oder in emissionsreduzierten Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (Szenario AP TIEF III) verbrannt. Die bei der Verbrennung gewonnene Energie fließt in einen Energiepool ein und ersetzt dort elektrische Energie aus dem deutschen Strommix und thermische Energie aus Kohlekraftwerken.

Der Vergleich der drei Szenarien mit niedriger Altpapierrücklaufquote (AP TIEF I, II und III) untereinander hat folgendes Ergebnis: Das Szenario AP TIEF III ist unter

⁷⁸) In der folgenden graphischen Darstellung der Rangfolgen bedeutet A << B: A ist erheblich ungünstiger als B, A < B: A ist ungünstiger als B, A ≈ B: Unterschiede zwischen A und B sind nicht nachweisbar, A > B: A ist günstiger als B, A >> B: A ist erheblich günstiger als B.

Umweltschutzgesichtspunkten günstiger als das Szenario AP TIEF II, welches wiederum erheblich günstiger als das Szenario AP TIEF I ist.

Sensitivitätsszenarien zur Altpapierverbrennung
(Kohle als Energie-Äquivalenzprozess):

AP TIEF III $\text{Kohle} \rightarrow \ddot{\text{A}}\text{q}, \text{APÜM} \rightarrow \text{HKW}$ > AP TIEF II $\text{Kohle} \rightarrow \ddot{\text{A}}\text{q}, \text{APÜM} \rightarrow \text{MVA}$
AP TIEF II $\text{Kohle} \rightarrow \ddot{\text{A}}\text{q}, \text{APÜM} \rightarrow \text{MVA}$ >> AP TIEF I $\text{Kohle} \rightarrow \ddot{\text{A}}\text{q}, \text{APÜM} \rightarrow \text{Deponie/MVA}$

Die Kombination der Sensitivitätsszenarien AP TIEF II und AP TIEF III mit den Grundszenarien AP HAUPT I und AP HOCH I kommt unter Berücksichtigung von mit Kohle befeuerten Kraftwerken als Äquivalenzprozess zu folgender Rangfolge:

Grundszenarien kombiniert mit Verbrennungs-Sensitivitätsszenarien
(Kohle als Energie-Äquivalenzprozess):

AP HOCH I $\text{Kohle} \rightarrow \ddot{\text{A}}\text{q}$ >> AP HAUPT I $\text{Kohle} \rightarrow \ddot{\text{A}}\text{q}$
AP HAUPT I $\text{Kohle} \rightarrow \ddot{\text{A}}\text{q}$ $\approx$ AP TIEF III $\text{Kohle} \rightarrow \ddot{\text{A}}\text{q}, \text{APÜM} \rightarrow \text{HKW}$
AP HAUPT I $\text{Kohle} \rightarrow \ddot{\text{A}}\text{q}$ $\approx$ AP TIEF II $\text{Kohle} \rightarrow \ddot{\text{A}}\text{q}, \text{APÜM} \rightarrow \text{MVA}$

Die Sensitivitätsanalyse zur Energiegewinnung von Holzübermengen wird mit den Szenarien AP HOCH I und AP HOCH II durchgeführt. Das Szenario AP HOCH II unterscheidet sich vom Szenario AP HOCH I dadurch, dass eine definierte Holzmenge, die aufgrund der Steigerung der Altpapierverwertung in der Papierindustrie (Differenz des Holzverbrauchs der Szenarien AP HAUPT I und AP HOCH I) auf den Forstflächen verbleiben würde, nun in einem Kraft-Wärme gekoppelten Kraftwerk verbrannt wird. Ein Ergebnis konnte nicht abgeleitet werden, weil für ein abschließendes Votum weitere im Rahmen des Vorhabens nicht durchgeführte Sensitivitätsuntersuchungen notwendig sind.

Energiegewinnung aus Holzübermengen:

AP HOCH I $\text{HolzÜM} \rightarrow \text{Wald}$ im Vergleich zu AP HOCH II $\text{HolzÜM} \rightarrow \text{Energie}$
(weitere Sensitivitätsuntersuchungen wären notwendig)

Im Anschluss daran wurde eine Sensitivitätsanalyse zu den aus methodischen Gründen in den Bilanzraum eingestellten Energie-Äquivalenzprozessen für thermische Energie, die einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis haben, durchgeführt. Dazu wurden in den Szenarien AP TIEF II, AP TIEF III, AP HAUPT I und AP HOCH II die mit Kohle befeuerten Äquivalenzprozess-Kraftwerke durch mit Gas befeuerte Äquivalenzprozess-Kraftwerke ersetzt. Dadurch entsteht aus dem Szenario AP TIEF II das Szenario AP TIEF IV, aus dem Szenario AP TIEF III das Szenario AP TIEF V, aus dem Szenario AP HOCH II das Szenario AP HOCH III und aus dem Szenario AP HAUPT I das Szenario AP HAUPT II.

Der Vergleich der Energie-Äquivalenzprozess-Sensitivitätsszenarien untereinander erbringt folgendes Ergebnis: Bei der Berücksichtigung von Äquivalenzprozess-Kraftwerken, die mit Gas befeuert werden, ist eine hohe Altpapierrücklaufquote (AP HOCH III) erheblich günstiger als eine mittlere Altpapierrücklaufquote (Szenario AP HAUPT II), welche günstiger als eine niedrige Altpapierrücklaufquote mit Altpapierübermengenverbrennung in einer Hausmüllverbrennungsanlage (Szenario

AP TIEF V) sowie günstiger als eine niedrige Altpapierrücklaufquote mit Altpapierübermengenverbrennung in emissionsreduzierten Kraft-Wärme gekoppelten Anlagen (Szenario AP TIEF IV) ist.

Energie-Äquivalenzprozess-Sensitivitätsszenarien (Gaskraftwerke als Energie-Äquivalenzprozess):				
AP HOCH III	Erdgas→Äq	>>	AP HAUPT II	Erdgas→Äq
AP HAUPT II	Erdgas→Äq	>	AP TIEF IV	Erdgas→Äq, APÜM→HKW
AP HAUPT II	Erdgas→Äq	>	AP TIEF V	Erdgas→Äq, APÜM→MVA

Aus der Kombination der Sensitivitätsszenarien zur Altpapierverbrennung mit den Sensitivitätsszenarien zu den Energie-Äquivalenzprozessen kann abgeleitet werden, dass ein Vorteil der werkstofflichen Verwertung graphischen Altpapiers (Papierrecycling) im Vergleich zur Energiegewinnung aus Altpapierübermengen nur unter der Voraussetzung nicht nachweisbar ist, dass Kohle-Kraftwerke als Äquivalenzprozess berücksichtigt werden (Vergleich AP HAUPT I mit AP TIEF III und Vergleich AP HAUPT I mit AP TIEF III) und Altpapierübermengen in besonders leistungsfähigen, emissionsreduzierten Anlagen verbrannt werden. Unter der Annahme, dass Gaskraftwerke als Äquivalenzprozess bilanziert werden (Vergleich AP HAUPT II mit AP TIEF IV und AP HAUPT II mit AP TIEF V), hat die Energiegewinnung aus Altpapierübermengen in derartigen Kraftwerken unter Umweltschutzgesichtspunkten Nachteile gegenüber der werkstofflichen Altpapierverwertung.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass unabhängig vom Energie-Äquivalenzprozess eine sehr hohe Altpapierrücklaufquote von 76 % (Szenarien AP HOCH I und III) unter Umweltschutzaspekten erheblich günstiger als eine Verbrennung von Altpapierübermengen in optimierten Heizkraftwerken oder in Hausmüllverbrennungsanlagen ist.

3 Auswertung der Szenarien zum Vergleich von Holz und Altpapier als Rohstoff zur Herstellung von Zeitungsdruck-, Zeitschriften- und Kopierpapier

3.1 Ziel- und Rahmenfestlegung

3.1.1 Zielfestlegung

In diesem Kapitel sollen die Fragen zu graphischen Papieren, die zur Herstellung von Zeitungen, Zeitschriften und Kopien verwendet werden, beantwortet werden. Wie bei den abfallwirtschaftlichen Szenarien steht auch hier die Frage „Altpapier versus Frischfaser als Rohstoffquelle für die Papierherstellung?“ im Vordergrund.

Die konkrete Ausgestaltung der Szenarien baut auf der Zielfestlegung von 1995 und auf den während der 2. Sitzung des Projektbeirats diskutierten Szenariovorschlägen auf. Mit den nun vorliegenden Szenarien sollen folgende Ziele verfolgt werden:

Ziele des Produktvergleichs

1. Für die Produktgruppe Zeitungen wird die Verwendung von Zeitungsdruckpapier, das vollständig aus Altpapier hergestellt wird, mit einem Zeitungsdruckpapier,

das in der Faserkomponente vollständig aus holzhaltigen Primärfaserstoffen besteht, verglichen.

2. Für die Produktgruppe Zeitschriften wird die Verwendung von superkalandriertem Zeitschriftenpapier (SC-Papier), das zu 30 % aus Altpapier besteht, mit einem SC Papier, das in der Faserkomponente nur aus Primärfasern hergestellt wird, verglichen.
3. Für die Produktgruppe Zeitschriften wird die Verwendung von gestrichenem Zeitschriftenpapier (LWC-Papier), das zu 30 % aus Altpapier besteht, mit einem LWC-Papier, das in der Faserkomponente nur aus Primärfasern hergestellt wird, verglichen.
4. Für die Produktgruppe Fotokopien wird die Verwendung von Fotokopierpapier, das vollständig aus graphischem Altpapier hergestellt wird, mit einem Fotokopierpapier, das in der Faserkomponente aus TCF-gebleichtem Frischfaser-Sulfatzellstoff besteht, verglichen.

3.1.2 Funktionelle Einheit

Die ursprüngliche Zielfestlegung für den Vergleich der Papierprodukte hat sich im Laufe des Forschungsvorhabens auf Anregung des Projektbeirats dahingehend verändert, dass die einzelnen Papierprodukte im Gesamtzusammenhang der Faserstoffe bilanziert werden.

Die Bilanzraumerweiterung führt zu einer funktionellen Einheit, die sich in allen Produktszenarien auf die gesamte Produktion und Verarbeitung von Zeitungsdruckpapier, LWC-Papier, SC-Papier sowie Frischfaser- und Recyclingkopierpapier in Deutschland im Jahr 1995 bezieht^{79, 80}.

3.1.3 Wichtige Stellgrößen zur Modellierung der Stoffströme

Die oben genannten Ziele werden in der Ökobilanz so umgesetzt, dass das Szenario AP HAUPT I als Ausgangsbasis für die Modellierung der Stoffströme verwendet wird. Die im Szenario AP HAUPT I vorgegebene Faserstoffzusammensetzung wird im Sinne der Zielfestlegung für die jeweiligen Produktgruppen verändert.

Für die Produktvergleiche werden die einzelnen Szenarien so modelliert, dass nur bei den graphischen Papiersorten, auf die sich die Fragestellungen beziehen, Veränderungen des Altpapierinputs vorgenommen werden, während die Stoffströme der anderen graphischen Papiersorten konstant bleiben (siehe Tabelle 35).

In der Tabelle 36 ist der hieraus resultierende Holzstoff- und Sulfatzellstoffverbrauch der einzelnen Szenarien dargestellt.

⁷⁹) Siehe Anhang III, Hauptbericht Tabelle 12

⁸⁰) siehe auch Ausführungen in Kapitel 2.1.6

Tabelle 35: Altpapierstoffströme in den Szenarien zum Vergleich graphischer Papierprodukte

Bezeichnung der Szenarien	Altpapierstoff (DIP)-Einsatz für graphische Papiere (1000 t)			
	Zeitungsdruckpapier	SC-Papier	LWC-Papier	Kopierpapier
AP HAUPT I	1.683	54	20	97
ZDP AP 0	0	54	20	97
ZDP AP 100	1.873	54	20	97
SC AP 0	1.683	0	20	97
SC AP 30	1.683	223	20	97
LWC AP 0	1.683	54	0	97
LWC AP 30	1.683	54	435	97
KOP AP 0	1.683	54	20	0
KOP AP 100	1.683	54	20	194

Anmerkung:

- Daten aus Anhang III, Hauptbericht, Abbildungen 15 und 21 bis 28
- DIP: Deinked Pulp (aufbereitetes Altpapier, sogenannter Altpapierstoff), AP 0 = ohne Altpapiereinsatz, AP 30 = 30% Altpapieranteil an der Faserkomponente, AP 100 = Herstellung zu 100% aus Altpapier; Altpapierbeseitigung bei allen Szenarien: konventioneller Entsorgungssplit (70 % Deponie und 30 % Hausmüllverbrennungsanlage)

Tabelle 36: Holzstoff- und Sulfatzellstoffverbrauch in den Szenarien zum Vergleich graphischer Papierprodukte

Bezeichnung der Szenarien	Holzstoff (1000 t)	Sulfatzellstoff (1000 t)
AP HAUPT I	1.045	622
ZDP AP 0	2.918	622
ZDP AP 100	856	622
SC AP 0	1.013	712
SC AP 30	826	675
LWC AP 0	989	663
LWC AP 30	627	591
KOP AP 0	1.045	718
KOP AP 100	1.045	527

Anmerkung:

- Daten aus Anhang III, Hauptbericht, Abbildungen 15 und 21 bis 28
- Sulfatzellstoff stammt in allen Szenarien aus IMPORT
- Holzstoffherstellung (SGW und TMP) erfolgt in allen Szenarien in Deutschland

Die Sachbilanzergebnisse und die Indikatorergebnisse der Wirkungsabschätzungen werden im paarweisen Szenarienvergleich gemäß Tabelle 37 einander gegenübergestellt.

Ergänzt werden die Vergleiche um eine Sensitivitätsanalyse zu Transportentfernungen für Sulfatzellstoffe (Kapitel 3.7).

Tabelle 37: Produktszenarien im paarweisen Vergleich (Verweis auf Kapitel, Abbildungen und Tabellen zur Priorisierung der Wirkungskategorien)

Szenarienvergleich	Papiersorte, Produktgruppe	Kapitel	Abbildungen	Tabellen zur Herleitung der ökologischen Priorität der Wirkungskategorien
ZPD AP 0 / ZDP AP 100	Zeitungsdruckpapier, Zeitungen	3.3	Abbildung 54 bis Abbildung 57	Tabelle 58
SC AP 0 / SC AP 30	SC- Papier, Zeitschriften	3.4	Abbildung 58 bis Abbildung 61	Tabelle 59
LWC AP 0 / LWC AP 30	LWC-Papier, Zeitschriften	3.5	Abbildung 62 bis Abbildung 65	Tabelle 60
KOP AP 0 / KOP AP 100	Kopierpapier, Fotokopien	3.6	Abbildung 66 bis Abbildung 69	Tabelle 61
Zellstoff marktnah (AP HAUPT I) / Zellstoff marktfern	Sensitivitätsanalyse zu Transportentfernungen für Sulfatzellstoffe	3.7	Abbildung 70 bis Abbildung 72	Tabelle 65

Anmerkungen: Einzelheiten zu den Stoffströmen in den Szenarien siehe Anhang III, Hauptbericht, Kapitel 3.6.5

3.1.4 Bilanzraum, T-Diagramme zum paarweisen Szenarienvergleich und Rangbildung der Wirkungskategorien

Die bereits bei den abfallwirtschaftlichen Vergleichen getroffenen Festlegungen zum Bilanzraum (siehe Kapitel 2.1.3), zur graphischen Darstellung der Ergebnisse der paarweisen Szenarienvergleiche (siehe Kapitel 2.1.6) und zur Rangbildung der Wirkungskategorien (siehe Kapitel 2.1.8) gelten auch für die Produktvergleiche.

3.2 Sachbilanz und Wirkungsabschätzung

Die Sachbilanz und die Wirkungsabschätzung sind im Anhang III, Hauptbericht dokumentiert.

Der Anhang III, Materialband III umfasst für ausgesuchte Szenarien eine vertiefte Sachbilanzanalyse.

3.3 Zeitungsdruckpapier: Vergleich von aus Altpapier hergestelltem Zeitungsdruckpapier (Szenario ZDP AP 100) mit vollständig aus Holz hergestelltem Zeitungsdruckpapier (Szenario ZDP AP 0)

Der Vergleich der Vor- und Nachteile von Zeitungsdruckpapier, das unter Verwendung von Altpapier bzw. von Holz als Rohstoffquelle hergestellt wird, ist in den Abbildung 54, Seite 159 bis Abbildung 57, Seite 160 dargestellt⁸¹.

Im Szenario ZDP AP 100 besteht die Rohstoffquelle für die Zeitungsdruckpapierproduktion in Deutschland in Höhe von rd. 1,7 Mio. t vollständig aus Altpapier (Altpapierverwertung 2,26 Mio. t) und im Szenario ZDP AP 0

⁸¹) Wesentliche Energie- und Stoffströme der Szenarien sind im Anhang III, Hauptbericht, Abbildung 21 und 22 dargestellt.

vollständig aus Holz aus deutschen Forstwirtschaften (Holzmenge 3,67 Mio. t). Die im Szenario ZDP AP 0 nicht verwerteten Papierabfälle werden im konventionellen Beseitigungssplit (70 % Deponie, 30 % MVA) beseitigt.

Die in der Abbildung 54 einander gegenüber gestellten Wirkungskategorien sprechen alle zu Gunsten des Szenarios ZDP AP 100: Sehr deutlich treten die Unterschiede beim Treibhauspotenzial (Unterschied 38 %), bei der Knappheit fossiler Energieträger (Unterschied 13 %) und der Photooxidantienbildungspotenzial (Unterschied 70 %) hervor. Das Szenario ZDP AP 100 hat auch erhebliche Vorteile beim aquatischen Eutrophierungspotenzial/ Sauerstoffzehrung (Unterschied 13 %) und dem terrestrischen Eutrophierungspotenzial (Unterschied 7 %).

Der Vergleich der Naturraumbeanspruchung ist in Abbildung 55 dargestellt. Demnach führt die erhöhte Nutzung von Holz für die Zeitungsdruckpapierproduktion (Szenario ZDP AP 0) zu einer Naturraumbeanspruchung, die erheblich größer ist, als wenn Altpapier als Rohstoffquelle (Szenario ZDP AP 100) verwendet wird (Unterschied je nach Wirkungskategorie 10 bis 40 %, *große bis sehr große ökologische Priorität*).

Bei den Indikatoren der Wirkungskategorie direkte Gesundheitsschädigung (Abbildung 56) ist das Szenario ZDP AP 100 erheblich günstiger bei der Belästigung durch Lärm, Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe, Staub, Benzo(a)pyren, Kohlenmonoxid und Cadmium. Etwas relativiert wird dieser Eindruck durch die Blei⁸²- und Schwefelemissionen.

Die Wirkungsindikatoren zur direkten Schädigung von Ökosystemen (Abbildung 57) lassen kein eindeutiges Bild erkennen, weil die Vor- und Nachteile uneinheitlich ausfallen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Recycling-Zeiungsdruckpapiere (Szenario ZDP AP 100) aufgrund der erheblichen Vorteile beim Treibhauspotenzial, bei der Knappheit fossiler Energieträger, beim Photooxidantienbildungspotenzial, beim aquatischen Eutrophierungspotenzial, beim terrestrischen Eutrophierungspotenzial, bei der Belästigung durch Lärm, dem Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe und bei der Naturraumbeanspruchung erheblich günstiger als die aus Holz hergestellten Zeitungsdruckpapiere (Szenario ZDP AP 0) zu bewerten sind.

Szenario ZDP AP 100 >> Szenario ZDP AP 0
--

3.4 Superkalandriertes Zeitschriftenpapier (SC-Papier): Vergleich von anteilig (30%) aus Altpapier hergestelltem SC-Papier (Szenario SC AP 30) mit vollständig aus Holz hergestelltem SC-Papier (Szenario SC AP 0)

Für superkalandriertes Zeitschriftenpapier (sog. SC-Papier) werden die Vor- und Nachteile von SC-Papier, dessen Faserkomponente zu 30 % aus Altpapier hergestellt wird (Szenario SC AP 30), und von SC-Papier, das vollständig auf Holz

⁸²⁾ Siehe Fußnote 72

als Rohstoffquelle basiert (Szenario SC AP 0), in Abbildung 58, Seite 161 bis Abbildung 61, Seite 162 dargestellt⁸³.

Im Szenario SC AP 0 stammt das Holz für die Herstellung der Faserkomponente Holzstoff aus deutschen Forstwirtschaften und für die Faserkomponente Sulfatzellstoff aus Importen. Die im Szenario SC AP 0 nicht verwerteten Papierabfälle werden im konventionellen Beseitigungssplit (70 % Deponie, 30 % MVA) beseitigt.

Die in Abbildung 58 dargestellten Wirkungskategorien sprechen alle deutlich zu Gunsten des Szenarios SC AP 30. Beim Treibhauspotenzial, das eine große ökologische Priorität hat, belaufen sich die Unterschiede auf rd. 5 %. Bei den Wirkungskategorien mit *mittlerer* ökologischer Priorität (Knappheit fossiler Energieträger, Photooxidantienbildungspotenzial, aquatisches Eutrophierungspotenzial/ Sauerstoffzehrung, terrestrisches Eutrophierungspotenzial) liegen die Unterschiede im Bereich von 1,5 bis 11 %.

In der Abbildung 59 ist der Vergleich der Naturraumbeanspruchung dargestellt. Die Naturraumbeanspruchung der altpapierhaltigen SC-Papiere ist kleiner als die derjenigen SC-Papiere, deren Faserkomponente nur aus Holz hergestellt wurde (Unterschied 3%, *sehr große* bis *große* ökologische Priorität).

Bei den humantoxischen Indikatoren (Abbildung 60) ist das Szenario SC AP 30 erheblich günstiger bei der Belästigung durch Lärm, Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe, Schwefeldioxid, Staub, Benzo(a)pyren, Kohlenmonoxid Cadmium und Blei⁸⁴ (Unterschiede von rd. 0,5 bis 4 %).

Die ökotoxischen Wirkungsindikatoren der Abbildung 61 fallen bis auf die Chloride eindeutig zu Gunsten des Szenarios SC AP 30 aus.

Zusammenfassend wird aus dem Szenarienvergleich abgeleitet, dass die Umweltvorteile der altpapierhaltigen SC-Papiere gegenüber den ausschließlich auf Holz basierenden SC-Papieren wesentlich größer sind. Die Naturraumbeanspruchung, die ökotoxischen und humantoxischen Indikatoren sowie die Wirkungskategorien Treibhauspotenzial, Knappheit fossiler Energieträger, Photooxidantienbildungspotenzial, aquatisches Eutrophierungspotenzial und terrestrisches Eutrophierungspotenzial fallen eindeutig zu Gunsten des superkalandrierten Zeitschriftenpapiers mit 30% Altpapier in der Faserkomponente aus.

Szenario SC AP 30 >> Szenario SC AP 0

3.5 Gestrichenes Zeitschriftenpapier (LWC-Papier): Vergleich von anteilig (30%) aus Altpapier hergestelltem LWC-Papier (Szenario LWC AP 30) mit vollständig aus Holz hergestelltem LWC-Papier (Szenario LWC AP 0)

Für gestrichenes Zeitschriftenpapier (sog. LWC (light weight coated)-Papier) werden in Abbildung 62, Seite 163 bis Abbildung 65, Seite 164 die Vor- und Nachteile

⁸³) Wesentliche Energie- und Stoffströme der Szenarien sind im Anhang III, Hauptbericht Abbildung 23 und 24 dargestellt.

⁸⁴) Siehe Fußnote 72

verschiedener LWC-Papiere einander gegenüber gestellt: LWC-Papier, das zu 30 % aus Altpapier (Szenario LWC AP 30) und LWC-Papier, für dessen Faserkomponente nur Holz als Rohstoffquelle verwendet wird (Szenario LWC AP 0)⁸⁵. Im Szenario LWC AP 0 stammt das Holz für die Holzstoffherstellung aus deutschen Forstwirtschaften und der Sulfatzellstoff aus Importen. Die Papierabfälle, die im Szenario LWC AP 0 nicht verwertet werden, werden im konventionellen Beseitigungssplit (70 % Deponie, 30 % MVA) beseitigt.

Die in der Abbildung 62 dargestellten Wirkungskategorien sprechen alle deutlich zu Gunsten des Szenarios LWC AP 30. Beim Treibhauspotenzial (*große* ökologische Priorität) belaufen sich die Unterschiede auf 12 %. Bei den Wirkungskategorien mit *mittlerer* ökologischer Priorität (Knappheit fossiler Energieträger, Versauerungspotenzial, aquatisches Eutrophierungspotenzial und terrestrisches Eutrophierungspotenzial) liegen die Unterschiede im Bereich von 1,5 bis 5 % und beim Photooxidantienbildungspotenzial bei 24 %.

Der Vergleich der Naturraumbeanspruchung ist in Abbildung 63 dargestellt. Die Naturraumbeanspruchung der altpapierhaltigen LWC-Papiere ist kleiner als die derjenigen LWC-Papiere, deren Faserkomponente nur aus Holz hergestellt ist (Unterschied je nach Natürlichkeitsklasse von 6 - 12 %, *sehr große* bis *große* ökologische Priorität).

Bei den humantoxischen Indikatoren (Abbildung 64) ist das Szenario LWC AP 30 erheblich günstiger bei der Belästigung durch Lärm, Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe, Schwefeldioxid, Staub, Benzo(a)pyren, Kohlenmonoxid Cadmium und Blei⁸⁶ (Unterschiede von rd. 0,5 bis 7 %)

Die ökotoxischen Wirkungsindikatoren der Abbildung 65 fallen bis auf die Chloride eindeutig zu Gunsten des Szenarios LWC AP 30 aus.

Aus dem Szenarienvergleich folgt insgesamt, dass die Vorteile der altpapierhaltigen LWC-Papiere gegenüber den ausschließlich auf Holz basierenden LWC-Papieren für die Naturraumbeanspruchung, die ökotoxischen und humantoxischen Indikatoren, das Treibhauspotenzial, die Knappheit fossiler Energieträger, dem Photooxidantienbildungspotenzial, das aquatische Eutrophierungspotenzial und das terrestrische Eutrophierungspotenzial erheblich größer sind. Der Vergleich fällt eindeutig zu Gunsten des altpapierhaltigen gestrichenen Zeitschriftenpapiers (Szenarios LWC AP 30) aus.

Szenario LWC AP 30 >> Szenario LWC AP 0

⁸⁵) Wesentliche Energie- und Stoffströme der Szenarien sind im Anhang III, Hauptbericht Abbildung 25 und 26 dargestellt.

⁸⁶) Siehe Fußnote 72

3.6 Kopierpapier: Vergleich von aus Altpapier hergestelltem Kopierpapier (Szenario KOP AP 100) mit vollständig aus Holz hergestelltem, total chlorfrei gebleichtem Kopierpapier (Szenario KOP AP 0)

Die Vor- und Nachteile von Recyclingkopierpapier und Kopierpapier, das aus Sulfatzellstoff hergestellt ist, werden in Abbildung 66, Seite 165 bis Abbildung 69, Seite 166 einander gegenüber gestellt⁸⁷.

Der chlorfrei gebleichte Sulfatzellstoff stammt im Szenario KOP AP 0 aus Importen. Die Altpapiere, die im Szenario KOP AP 0 nicht verwertet werden, werden im konventionellen Beseitigungssplit (70 % Deponie, 30 % MVA) beseitigt.

Angemerkt sei, dass bei diesem Szenarienvergleich aufgrund des erweiterten Bilanzraums die relativen Unterschiede zwischen den Szenarien KOP AP 0 und KOP AP 100 vergleichsweise klein sind. In den beiden Szenarien werden die Stoff- und Energieströme für 0,45 Mio. t Kopierpapier verändert, wohingegen die Stoff- und Energieströme für Zeitungsdruckpapier (2,35 Mio. t), LWC-Papier (1,3 Mio. t) und SC-Papier (0,65 Mio. t) konstant gehalten werden und dämpfend auf die relativen Szenariounterschiede wirken⁸⁸.

Die in der Abbildung 66 dargestellten Wirkungskategorien Treibhauspotenzial, Knappheit fossiler Energieträger, Photooxidantienbildungspotenzial, aquatisches Eutrophierungspotenzial und terrestrisches Eutrophierungspotenzial sprechen deutlich zu Gunsten des Recyclingkopierpapiers (Szenarios KOP AP 100). Das Versauerungspotenzial relativiert dieses Bild etwas. Es wird jedoch durch Wirkungskategorien mit ebenfalls *mittlerer* ökologischer Priorität wie aquatisches Eutrophierungspotenzial mehr als aufgewogen.

Der Vergleich der Naturraumbeanspruchung ist in Abbildung 67 dargestellt. Unterschiede bei der Naturraumbeanspruchung resultieren aus Importen. Je nach Natürlichkeitsklasse ist die Naturraumbeanspruchung des Szenarios KOP AP 0 um etwa 10 bis 12 % größer.

Bei den Indikatoren zur direkten Gesundheitsschädigung (Abbildung 68) ist das Szenario KOP AP 100 erheblich günstiger bei der Belästigung durch Lärm, Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe, Benzo(a)pyren, Kohlenmonoxid, Cadmium (Unterschied 10 %) und Blei⁸⁹ (Unterschied 9 %). Die zu Gunsten des Szenarios KOP AP 0 ausgefallenen Staub- und Schwefeldioxidemissionen können aufgrund ihrer relativ kleinen Unterschiede (Unterschied 0,5 bis 2 %) dieses Resultat nur in geringem Maße relativieren.

Die Indikatoren zur direkten Schädigung von Ökosystemen (Abbildung 69) lassen sich sowohl zu Gunsten des Szenarios KOP AP 0 als auch des Szenarios KOP AP 100 interpretieren.

Zusammenfassend sind die Recyclingkopierpapiere (Szenario KOP AP 100) bei der Naturraumbeanspruchung, der Knappheit fossiler Energieträger, dem Treibhauspotenzial, dem Photooxidantienbildungspotenzial, dem aquatischen

⁸⁷) Wesentliche Energie- und Stoffströme der Szenarien sind im Anhang III, Hauptbericht, Abbildung 27 und 28 dargestellt.

⁸⁸) Zum Dämpfungseffekt großer Systeme („Tanker-Effekt“) siehe auch Fußnote 27

⁸⁹) siehe Fußnote 72

Eutrophierungspotenzial, dem terrestrischen Eutrophierungspotenzial sowie den Indikatoren Belästigung durch Lärm und Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe erheblich günstiger als die chlorfrei gebleichten Frischfaserkopierpapiere.

Szenario KOP AP 100 >> Szenario KOP AP 0

3.7 Sensitivitätsanalyse zu Transportdistanzen für Sulfatzellstoff

Bei der Modellierung des Transportmodells für diese Ökobilanz wurde vereinfachend angenommen, dass der nach Deutschland importierte Zellstoff in Finnland, Norwegen und Schweden produziert wird. Diese Annahme weicht von den tatsächlichen Importen ab (siehe Tabelle 38) und führt tendenziell zu zu kurzen Transportdistanzen für Sulfatzellstoff.

Tabelle 38: Länderspezifischer Sulfatzellstoffimport nach Deutschland im Jahr 1995

Importland	Sulfatzellstoffimport (Jahr 1995 in t)	Anteil am gesamten Sulfatzellstoffimport (%)
Schweden	829.200	25
Finnland	642.700	19
Norwegen	57.150	2
Portugal	202.700	6
Spanien	119.550	4
Kanada	738.000	22
USA	310.500	9
Brasilien	165.000	5
Chile	77.900	2
andere Länder	179.450	5
Summe	3.322.150	100

Anmerkung:

– VDP, Leistungsbericht 1997, Tabelle N27, Bonn 1998

Um den Einfluss der Transportentfernung auf das Ökobilanzergebnis abschätzen zu können, wurde die Transportentfernung für Sulfatzellstoff mit dem Hochseeschiff von 1069 km im Szenario ZELLSTOFF FERN auf 6000 km erhöht. Andere Prozessmodellierungen, soweit sie nicht die Vorketten des Hochseeschiffs betreffen, blieben konstant. Der Vergleich der Szenarien hat folgendes Ergebnis:

Die in Abbildung 70, Seite 167 dargestellten Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial, Photooxidantienbildungspotenzial, Versauerungspotenzial und terrestrisches Eutrophierungspotenzial zeigen deutliche Vorteile für das Szenario AP HAUPT I (Unterschied 1 bis 9 %).

Bei den humantoxischen Indikatoren (Abbildung 71) ist das Szenario AP HAUPT I erheblich günstiger beim Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe, Staub, Benzo(a)pyren, Kohlenmonoxid und Cadmium (Unterschied 1 bis 11 %).

Unterschiede zwischen den Szenarien treten auch bei der Emission ökotoxischer Einzelstoffe (Abbildung 72) d.h. bei den Stickoxiden und den Schwefeldioxyden auf (Unterschied 8 bis 11 %).

Insgesamt ist der Import von Zellstoff aus marktnahen europäischen Regionen (Szenario AP HAUPT I) günstiger für die Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial, Photooxidantienbildungspotential, Versauerungspotenzial und terrestrisches Eutrophierungspotenzial sowie einzelne

humantoxische und ökotoxische Indikatoren als der Überseetransport von Sulfatzellstoff (Szenario ZELLSTOFF FERN).

Szenario AP HAUPT I (Zellstoff marktnah) >> Szenario ZELLSTOFF FERN

Aufgrund der tendenziell zu kurzen Transportentfernungen für Sulfatzellstoff in den Szenarien LWC 0, LWC 30, SC 0, SC 30, KOP AP 0 und KOP AP 100 wird der Sulfatzellstoff gegenüber Altpapier als Rohstoff für die Herstellung graphischer Papiere begünstigt. Die oben durchgeführten Vergleiche würden bei Abbildung von realistischen Transportentfernungen zu Gunsten der Szenarien, in denen Sulfatzellstoff durch Altpapier substituiert wird, d.h. deutlich zu Gunsten der Recyclingvarianten verändert.

Die relativen Unterschiede zwischen den Szenarien ZELLSTOFF FERN und AP HAUPT I (Zellstoff marktnah) sind in einer Größenordnung, die beispielsweise den Unterschieden zwischen den Kopierpapieren (siehe Kapitel 3.6) entsprechen. Daraus folgt, dass durch eine Variation der Transportentfernungen für Sulfatzellstoff Umweltbelastungen reduziert werden können, die denen entsprechen, die mit einem höheren Altpapiereinsatz im gesamten Marktsegment Kopierpapier realisiert werden können.

4 Weitere Fragestellungen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden auch Szenarienvergleiche erstellt, die eine erste Orientierung über die umweltbezogenen Vor- und Nachteile von verschiedenen Zellstoffbleichverfahren, von gestrichenem und superkalandriertem Zeitschriftenpapier und der Verlagerung der Sulfatzellstoffherstellung nach Deutschland zulassen sollten.

Um den Bearbeitungsaufwand in Grenzen zu halten, sind diese Fragen nur in reduziertem Umfang (Verzicht auf Sensitivitätsanalysen) bearbeitet worden. Auch wurde das Stoffstrommodell, das speziell zur Lösung der Allokationsproblematik bei Fragen zum Papierrecycling entwickelt wurde, nicht speziell auf die Fragen zu Produktionsverfahren, zu Transportdistanzen für Zellstoff etc. zugeschnitten. Hieraus folgt, dass die folgenden Aussagen nur als erste Abschätzungen zu interpretieren sind und keine abschließenden Antworten begründen.

Tabelle 39: Überblick über durchgeführte paarweise Vergleiche zur Zellstoffbleiche und zu Zeitschriftenpapier (Verweis auf Kapitel, Abbildungen, Tabellen)

Szenarien-vergleich	Papiersorte, Produktgruppe	Kapitel	Abbildungen	Tabellen zur Herleitung der ökologischen Priorität der Wirkungskategorien
Sulfat TCF / Sulfat ECF	Vergleich TCF mit ECF gebleichtem Zellstoff	4.1.1	Abbildung 73 bis Abbildung 76	Tabelle 62
Sulfat TCF / Sulfat Cl ₂	Vergleich TCF mit Cl ₂ gebleichtem Zellstoff	4.1.2	Abbildung 77 bis Abbildung 80	Tabelle 63
KALANDRIEREN / STREICHEN	Vergleich SC-Papier mit LWC-Papier	4.2	Abbildung 81 bis Abbildung 84	Tabelle 64

4.1 Vergleich der Verfahren zur Bleiche von Sulfatzellstoff

Der Vergleich der Sulfatzellstoffbleichverfahren bezieht drei Verfahrenstechniken ein, die sich im wesentlichen in den verwendeten Bleichchemikalien unterscheiden. Bei den Bleichchemikalien handelt es sich um

- Elementarchlor (Cl_2 -Bleiche⁹⁰),
- Chlordioxid (elementary chlorine free (ECF) - Bleiche)
- Sauerstoff, Ozon (totally chlorine free (TCF) - Bleiche)

Die Szenarien sind so modelliert, dass ausgehend vom Szenario AP HAUPT I in den Szenarien Sulfat TCF, Sulfat ECF und Sulfat Cl_2 der gesamte Sulfatzellstoffbedarf im Bilanzraum (1,012 Mio. t) mit dem jeweiligen Bleichverfahren hergestellt wird⁹¹. Dabei wird angenommen, dass der gesamte Sulfatzellstoffbedarf aus Importen stammt.

Beim Vergleich der Szenarien Sulfat TCF, Sulfat ECF und Sulfat Cl_2 zeigt sich, dass dem Parameter AOX eine besonders große Rolle zukommt. Die weiter unten beschriebenen Szenarienvergleiche haben das Ergebnis, dass mehrere Wirkungskategorien sich als vorteilhaft für die chlorhaltigen Bleichchemikalien erweisen. Allerdings bewegt sich der Vorteil nur in einem Bereich von einigen Prozentpunkten. Dem gegenüber steht ein sehr großer Unterschied beim Abwasserparameter AOX, der beim Vergleich TCF/ECF um 140 % und beim Vergleich TCF/ Cl_2 um rd. 1460 % zu Gunsten des Szenarios TCF ausfällt. Bei derart gelagerten Ergebnissen der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung stößt die hier verwendete Ökobilanzmethode an ihre Grenzen, weil der AOX nur ein Summenparameter zur Quantifizierung der Menge chlororganischer Substanzen im Abwasser ist. Der AOX spielt bei der Begrenzung von Gewässereinleitungen eine große Rolle, weil ein Großteil der mit dem AOX erfassten chlororganischen Substanzen gefährliche Stoffeigenschaften insbesondere akute Toxizität gegenüber aquatischen Lebensgemeinschaften, schwere biologische Abbaubarkeit und Potential zur Bioakkumulation aufweisen. Ein direkter Wirkungsbezug im Sinne der Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen ist jedoch nur mit Einschränkungen ableitbar. Somit wurde der AOX aus methodischen Gründen nicht in die Rangbildung der Wirkungskategorien einbezogen.

Allerdings sollte der Vorsorgeaspekt gegenüber chlororganischen Abwasserinhaltsstoffen in der Ökobilanz-Auswertung angemessen berücksichtigt werden, wenn dem AOX wie beispielsweise beim Szenarienvergleich Cl_2 /ECF/TCF eine offensichtlich entscheidende Rolle zukommt.

Aus der oben skizzierten Problematik folgt, dass die Ökobilanzmethodik schwerpunktmäßig für die Wirkungskategorie aquatoxische Wirkungspotenziale weiterentwickelt werden sollte. Zu entwickeln wäre ein Toxizitätsindikator „Aquatoxpotenzial“, der im Rahmen von Ökobilanzen eine Abschätzung des Wirkungspotenzials chlororganischer Substanzen im Gewässer ermöglicht. Dieser

⁹⁰) Anmerkung: Die Cl_2 -Bleiche für Zellstoff wird in Finnland, Norwegen, Schweden und Deutschland und in einigen anderen Ländern seit geraumer Zeit nicht mehr angewendet.

⁹¹) Die Faserstoffversorgung beim Marktsegment Kopierpapier wird gegenüber dem Szenario AP HAUPT I mengenmäßig ebenfalls zu Gunsten der Sulfatzellstoffe verändert, in dem der Altpapiereinsatz auf Null gesetzt wird.

Toxizitätsindikator könnte (vergleichbar dem Krebsrisikopotenzial für Luftschadstoffe⁹²) die Toxizitätspotenziale von Abwasserinhaltsstoffen auf eine bzw. mehrere Leitgrößen beziehen. Diese Leitgrößen könnten im einfachsten Fall die biologischen Wirkparameter der Abwasserverordnung (Toxizität des Abwassers gegenüber Fischen, Algen, Daphnien und Bakterien sowie die Genotoxizität) sein⁹³.

Zusätzlich sollte zur Abrundung der Ergebnisse eine Einzelstoffanalytik (Dioxine, Chlorphenole und Chloroform) durchgeführt werden.

4.1.1 Vergleich der Szenarien Sulfat TCF mit Sulfat ECF (total chlorfreie versus elementarchlorfreie Bleiche)

Aus den in Abbildung 73, Seite 169 dargestellten Wirkungskategorien folgt, dass das Szenario Sulfat TCF gegenüber dem Szenario Sulfat ECF ungünstiger ist für die Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger (*mittlere* ökologische Priorität, Unterschied 1 %), aquatisches Eutrophierungspotenzial (*mittlere* ökologische Priorität, Unterschied 1,5 %) und Wasserverbrauch (*geringe* ökologische Priorität, Unterschied 11 %). Die Unterschiede bei den Wirkungskategorien Treibhauspotenzial, Photooxidantienbildungspotenzial und terrestrische Eutrophierung sind vergleichsweise klein. Gegen das Szenario Sulfat ECF spricht die Wirkungskategorie Versauerungspotenzial (*mittlere* ökologische Priorität, Unterschied 1,5 %). Allerdings wiegt die Wirkungskategorie Versauerungspotenzial die Wirkungskategorie aquatisches Eutrophierungspotenzial auf, weil beide Wirkungskategorien eine *mittlere* ökologische Priorität haben und sich die Verhältnisse der Wirkungsäquivalente in ähnlicher Größenordnung unterscheiden.

Die Naturraumbeanspruchung des Szenarios Sulfat TCF (Abbildung 74) ist gegenüber dem Szenario ECF etwas höher. Diese Unterschiede resultieren aus dem vergleichsweise höheren spezifischen Holzverbrauch der in dieser Ökobilanz berücksichtigten TCF-gebleichten Zellstoffe.

Die humantoxischen Indikatoren (Abbildung 75) lassen Vorteile für das Szenario Sulfat TCF erkennen. Staub und Schwefeldioxid sind 0,6 bis 2,3 % und das Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe, Kohlenmonoxid, Cadmium und Blei sind mit weniger als 0,1 % Unterschied zu Gunsten des Szenarios Sulfat TCF ausgefallen. Relativiert wird dieser Eindruck durch Benzo(a)pyren (Unterschied 0,7 %).

Bei den luftgetragenen ökotoxischen Indikatoren (Abbildung 76) sind die Einzelstoffe Fluorwasserstoff und Schwefeldioxid (Unterschied 0,5 bis 2,5 %) etwas zu Gunsten des Szenarios Sulfat TCF bilanziert worden.

Beim Vergleich der wassergetragenen ökotoxischen Indikatoren ist der Unterschied beim AOX, der aufgrund der Vermeidung von chlororganischen Verbindungen

⁹²) Der Indikator *Krebsrisikopotenzial* bezieht die Wirkung von Benzo(a)pyren, Benzol, Cadmium, Chrom VI, Dioxinen und Nickel auf die Wirkung der Leitgröße Arsen. Einzelheiten siehe Anhang III, Hauptbericht Kapitel 4.4.7

⁹³) Diskutiert wird in diesem Zusammenhang der Wirkungsindikator W_G , der die produktionsspezifische Abwassermenge (V_P) mit dem Verdünnungsverhältnis, bei dem keine toxische Wirkung gegenüber Fischen (G_F), Daphnien (G_D), Algen (G_A) und Leuchtbakterien (G_D) mehr auftritt, kombiniert ($W_G = V_P \cdot (G_F + G_D + G_A + G_D)$).

besonders deutliche Vorteile für das Szenario Sulfat TCF aufweist, am größten (Unterschied⁹⁴ 141 %).

Des Weiteren ist beim Vergleich der Bleichverfahren zu berücksichtigen, dass die Komplexbildner EDTA und DTPA als Hilfsmittel zur Stabilisierung der Bleichchemikalien (insbesondere von Wasserstoffperoxid) bei der TCF-Bleiche eingesetzt werden. Sie sind biologisch schwer abbaubar und können im Gewässer in Konzentrationen auftreten, die über empfohlenen Vorsorgewerten von 10 µg/l liegen⁹⁵. Die akute Toxizität von EDTA und DTPA ist im Vergleich zu chlororganischen Verbindungen jedoch geringer.

Insgesamt ergibt sich aus dem Szenarienvergleich Sulfat TCF / ECF folgendes Bild: Zugunsten des Szenarios TCF sprechen die sehr großen quantitativen Vorteile bei der Reduzierung der Neubildung von z. T. sehr bedenklichen chlorierten Kohlenwasserstoffen und die Vorteile bei den Indikatoren zur direkten Gesundheitsgefährdung. Relativiert werden diese Vorteile etwas durch eine größere Naturraumbeanspruchung und eine höhere Knappheit fossiler Energieträger. Die in Vorflutern von Zellstoffwerken möglichen Überschreitungen des EDTA- und des DTPA-Richtwertes für Oberflächengewässer relativieren ebenfalls die Vorteile, die sich infolge der AOX-Reduzierung erreichen lassen.

Außerhalb der Bewertungsmethode für Ökobilanzen wird der TCF-Sulfatzellstoff aus Vorsorgegründen als günstiger als ein ECF-Sulfatzellstoff bewertet. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass nach Vorliegen ausreichend repräsentativer und valider Untersuchungen zu den Wirkungen von Abwässern aus der Herstellung von ECF- und TCF-Zellstoff die beiden Verfahren als gleichwertig eingeschätzt werden können.

Sulfat TCF > Sulfat ECF_{AOX kleiner 0,3 kg / t Zellstoff}
(Unter Vorbehalt, weiterer Untersuchungsbedarf notwendig)

4.1.2 Vergleich der Szenarien Sulfat TCF und Sulfat Cl₂ (total chlorfreie Bleiche versus Bleiche mit Elementarchlor)

Aus den in Abbildung 77, Seite 171 dargestellten Wirkungskategorien folgt, dass das Szenario Sulfat Cl₂ gegenüber dem Szenario Sulfat TCF günstiger ist für die Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial, Photooxidantienbildungspotenzial, aquatisches Eutrophierungspotenzial und terrestrische Eutrophierung. Die Unterschiede zwischen den Szenarien belaufen sich auf 0,5 bis 2,2 %. Zu Gunsten des Szenarios Sulfat TCF spricht die Wirkungskategorie Versauerungspotenzial (Unterschied 1 %).

Einige Vorteile zeigt das Szenario Sulfat Cl₂ bei der Naturraumbeanspruchung (Abbildung 78, Unterschied bis 7 %).

Bei den humantoxischen Indikatoren (Abbildung 79) ist das Bild uneinheitlich.

⁹⁴) Szenario Sulfat TCF: Output von 258 t AOX; Szenario Sulfat ECF: Output von 623 t AOX

⁹⁵) Auch ist die spezifische Abwasserfracht von EDTA/DTPA von TCF-Sulfatzellstoff (1 bis 2 kg/t) mengenmäßig größer als die spezifische AOX-Fracht von ECF-Sulfatzellstoff (0,36 kg AOX/t).

Beim Vergleich der wassergetragenen ökotoxischen Indikatoren hat das Szenario TCF sehr große Vorteile, weil der AOX bei der Cl_2 -Bleiche um 1460% erhöht ist⁹⁶ (siehe Abbildung 80).

Die Belastung der Gewässer mit den Komplexbildnern EDTA und DTPA, die als Hilfsmittel zur Stabilisierung der Bleichchemikalien bei der TCF-Bleiche eingesetzt werden, spricht gegen das Szenario Sulfat TCF.

Insgesamt ergibt sich aus dem Szenarienvergleich Sulfat TCF/ Cl_2 folgendes Bild: Zugunsten des Szenarios Sulfat Cl_2 sprechen die Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial, Photooxidantienbildungspotenzial, aquatisches Eutrophierungspotenzial und terrestrische Eutrophierung. Die Vorteile gegenüber dem Szenario Sulfat TCF belaufen sich auf 0,5 bis 2,2 %. Relativiert wird dieser Vorzug durch das Versauerungspotenzial (Unterschied 1 %). Besonders groß und entscheidend für das Gesamtergebnis sind die Unterschiede beim Indikator AOX, der um rd. 1460 % zu Gunsten des Szenarios Sulfat TCF ausfällt.

Außerhalb der Bewertungsmethode für Ökobilanzen wird der TCF-Sulfatzellstoff aufgrund der bei der Cl_2 -Bleiche in sehr großem Umfang entstehenden chlorierten Kohlenwasserstoffe mit gefährlichen Stoffeigenschaften (insbesondere akute Toxizität gegenüber aquatischen Lebensgemeinschaften, schwere biologische Abbaubarkeit und Potential zur Bioakkumulation im Abwasser) aus Vorsorgegründen als Vorteilhaft gegenüber dem Szenario Sulfat Cl_2 eingestuft.

Sulfat TCF > Sulfat Cl_2

4.2 Vergleich von gestrichenem mit superkalandriertem Zeitschriftenpapier

Zum Vergleich von gestrichenem Zeitschriftenpapier (LWC-Papier) mit superkalandriertem Zeitschriftenpapier (SC-Papier) wurden Szenarien modelliert, die vom Szenario AP HAUPT I ausgehen. Verändert wurden jeweils die Produktionskapazitäten in Deutschland für SC-Papier und LWC-Papier. Im Szenario KALANDRIEREN wurde die LWC-Produktion auf Null und die SC-Produktion auf rd. 2,1 Mio. t gesetzt. Im Szenario STREICHEN wurde die SC-Produktion auf Null und die LWC-Produktion auf rd. 2,1 Mio. t gesetzt. Für die beiden Papiersorten wird ein gleiches Flächengewicht vorausgesetzt. Für beide Papiersorten wird angenommen, dass sie zu 35 % aus in Deutschland produziertem Holzstoff (SGW), zu 30 % aus importiertem Sulfatzellstoff und zu 35 % aus Streich- und /oder Füllstoffen bestehen. Der Szenarienvergleich ist in Abbildung 81, Seite 173 bis Abbildung 84, Seite 174 dargestellt und hat folgendes Ergebnis:

Das Szenario KALANDRIEREN hat bei den in Abbildung 81 dargestellten Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger (*mittlere* ökologische Priorität, Unterschied 7 %) und Treibhauspotenzial (*große* ökologische Priorität, Unterschied 9 %) deutliche Vorteile. Diese werden relativiert durch die Versauerungspotenziale und aquatische Eutrophierung, die beide eine mittlere ökologische Priorität haben. Auffällig ist der große relative Unterschied bei der aquatischen Eutrophierung / Sauerstoffzehrung (135%).

⁹⁶) Szenario Sulfat TCF: Output von 258 t AOX; Szenario Sulfat Cl_2 : Output von 4010 t AOX

Die Naturraumbeanspruchung in Import und in Deutschland (Abbildung 82) fällt eindeutig zu Gunsten der SC-Papiere aus. Je nach Natürlichkeitsklasse werden Unterschiede von 10 bis 30 % abgebildet (*sehr große* bis *große* ökologische Priorität).

Bei den in der Abbildung 83 dargestellten humantoxischen Indikatoren sind folgende Indikatoren zu Gunsten des Szenarios KALANDRIEREN ausgefallen: Belästigung durch Lärm, Krebsrisikopotenzial durch Luftschadstoffe, Staub, Benzo(a)pyren, Kohlenmonoxid und Blei⁹⁷ (Unterschied 5 bis 21 %). Dieses Bild wird durch die Verhältnisse der Schwefeldioxidemissionen, die zu Gunsten des Szenarios STREICHEN sprechen (Unterschied 15 %), etwas relativiert.

Die wassergetragenen Indikatoren zur direkten Schädigung von Ökosystemen sind alle zu Gunsten des Szenarios KALANDRIEREN ausgefallen. Der Unterschied bei den Indikatoren sonstige Kohlenwasserstoffe, Chlorid, AOX und Ammonium beläuft sich auf 10 bis 90 %. Bei den in die Atmosphäre emittierten Stoffen ist das Bild nicht ganz so eindeutig, weil Schwefelwasserstoff und Ammoniak zwar deutliche Vorteile für das Szenario STREICHEN zeigen, hingegen Schwefeldioxid sich als vorteilhaft für das Szenario KALANDRIEREN erweist (siehe Abbildung 84).

Insgesamt hat das Szenario KALANDRIEREN deutliche Vorteile bei den Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Treibhauspotenzial und Naturraumbeanspruchung. Diese Vorteile werden durch die Versauerungs- und aquatischen Eutrophierungspotentiale relativiert. Insgesamt werden, gleiches Papierflächengewicht und eine Papierzusammensetzung von 30 % SGW-Holzstoff, 35 % Sulfatzellstoff und 35 % Streich bzw. Füllstoffe vorausgesetzt, die superkalandrierten Zeitschriftenpapiere (Szenario KALANDRIEREN) günstiger als die gestrichenen Zeitschriftenpapiere (Szenario STREICHEN) beurteilt.

Szenario KALANDRIEREN > Szenario STREICHEN
--

4.3 Vergleiche zur Sulfatzellstoff- und Sulfitzellstoffherstellung

4.3.1 Vergleich der Sulfatzellstoffe aus Importen mit der Sulfatzellstoffherstellung in Deutschland

Der Vergleich der Umweltvorteile und -nachteile, die mit importiertem Sulfatzellstoff und dem in Deutschland produzierten Sulfatzellstoff verbunden sind (Vergleich der Szenarien Sulfat TCF und Sulfat TCF D, Anhang III, Hauptbericht Abbildungen 79, 80, 81 und 82), kann hier aus folgendem Grund nicht ausgewertet werden:

Zum Zeitpunkt der Datenerhebung war nicht absehbar an welchen Standorten in Deutschland Sulfatzellstoffwerke gebaut werden. Zum Zeitpunkt der Modellierung des Ökobilanz-Stoffstrommodells waren vier Standorte (Stendal, Zeitz, Wittenberge und Blankenstein) im Gespräch, von denen bisher nur einer mit einer Kapazität von 280.000 jato kurz vor der Inbetriebnahme steht (Zellstoffwerk in Blankenstein). Für Stendal und Wittenberge laufen die Genehmigungsverfahren. Die Entscheidung zur Investition in Anlagen war zum Zeitpunkt der Datenerhebung für dieses Forschungsvorhaben noch nicht gefallen. Daher steht kein belastbarer Datensatz für

⁹⁷) siehe Fußnote 72

die neuen deutschen Sulfatzellstoffwerke zur Verfügung. Der in den Szenarien Sulfat TCF D hilfsweise verwendete Datensatz ist hypothetisch und daher nicht auswertbar.

Trotz der oben formulierten Einschränkungen lässt sich aus dem im Anhang III, Hauptbericht dargestellten Szenarienvergleich (Anhang III, Hauptbericht Abbildungen 79, 80, 81 und 82) ableiten, dass die Naturraumbeanspruchung einen beträchtlichen Einfluss auf das Ökobilanzergebnis haben kann: Könnten die forstwirtschaftlich genutzten Flächen im Einzugsgebiet der Sulfatzellstoffwerke in die Naturnäheklasse II eingestuft werden (naturnahe Forstwirtschaft), ließen sich sehr deutliche Standortvorteile für die eine oder andere Region ableiten.

Szenarien nicht auswertbar

4.3.2 Vergleich von Sulfatzellstoffen aus Importen mit der Sulfatzellstoffherstellung in Deutschland

Für den Vergleich der Sulfatzellstoffherstellung in Deutschland mit den importierten Sulfatzellstoffen müssen Einschränkungen berücksichtigt werden, die einer abschließenden Auswertung der Szenarien Sulfat TCF und Sulfat TCF D entgegenstehen:

1. Die Sulfatzellstoffhersteller in Deutschland stellten keine Daten für die Ökobilanz zur Verfügung, so dass hilfsweise ein in der Literatur dokumentierter österreichischer Datensatz verwendet wurde. Das hat zur Folge, dass die Datenqualität zwischen den Daten für IMPORT, die 92 % der nordischen Produktion abbilden, und dem hypothetischen Datensatz für Deutschland zu unterschiedlich ist.
2. Eine Sensitivitätsanalyse für wichtige Szenarioannahmen (z.B. Art der Energieversorgung, Naturnähe der Forstwirtschaft, Grad der Abwasserreinigung, Transportentfernungen für Holz und Chemikalien) konnte aufgrund der schlechten Datenlage nicht erstellt werden.

Trotz der genannten Einschränkungen lässt sich aus dem im Anhang III, Hauptbericht dargestellten Szenarienvergleich (Anhang III, Hauptbericht, Abbildungen 83 bis 86) ableiten, dass die Naturraumbeanspruchung einen beträchtlichen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben kann (siehe Anmerkungen im Kapitel 4.3.1).

Szenarien nicht auswertbar

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Mit dem Instrument der Ökobilanz wurden im Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes „Ökobilanzen für graphische Papiere“⁹⁸ wesentliche Fragen im Zusammenhang mit der Herstellung und Optimierung graphischer Papiere und daraus hergestellter Produkte beantwortet.

Der Auftrag für das Forschungsvorhaben ging Ende 1994 an eine Projektgemeinschaft, die vom Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH (Ifeu, Heidelberg) zusammen mit dem Büro für angewandte Waldökologie (BaWÖ, Duvensee), dem Institut für Umweltinformatik GmbH (IFU Hamburg), Dr. R. Stern (Berlin) und dem Institut für Umweltschutz der Universität Dortmund (INFU) gebildet wurde.

Der von der Projektgemeinschaft erstellte Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben besteht aus einem Hauptbericht⁹⁹ und drei Materialbänden¹⁰⁰ (Umfang ca. 1200 Seiten). Der vom Ifeu erstellte Hauptbericht enthält die Zielfestlegung, die Ergebnisse der Sachbilanzen und die Ergebnisse der Wirkungsabschätzungen. Weiterhin sind eine Symmetriepfung zu den Abschneidekriterien und eine Sensitivitätsanalyse für die aus methodischen Gründen vorgenommene Bilanzraumerweiterung dargestellt. Im Materialband I sind die Prozessdatensätze mit Angaben zu Produkten, zur Prozessallokation, zu Vorketten, Inputdaten und Outputdaten sowie Aussagen zur Qualität und zur Repräsentativität der Daten zusammengefasst. Die Materialbände II und III umfassen eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Methode sowie eine detaillierte Sachbilanzanalyse und eine graphische Darstellung des gesamten Lebensweges der untersuchten graphischen Papiere.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine Datenbank aufgebaut. Die Repräsentativität der über 100 Prozesse, die in den Lebensweg der graphischen Papiere eingehen, ist im Materialband I dargestellt. Eine sehr hohe Repräsentativität haben die Prozesse der Zellstoff- und Papierherstellung in Finnland, Norwegen und Schweden (rd. 90 - 95%), der Zeitungsdruck in Deutschland (88%) und die Zeitungsdruckpapierherstellung in Deutschland (ca. 75%). In Bezug auf das in der Zielfestlegung formulierte Erkenntnisinteresse ist die Repräsentativität der Daten, mit Ausnahme der Sulfat- und Sulfitzellstoffherstellung in Deutschland, als gut und geeignet anzusehen.

Mit der Weiterentwicklung der Ökobilanzmethode für die Wirkungskategorien Naturraumbeanspruchung und bodennahes Photooxidantienbildungspotenzial (Sommersmog) befassen sich zwei spezielle Methodenberichte^{101,102}.

⁹⁸) UFOPLAN FKZ 294 92 120 (altes FKZ 103 50 120)

⁹⁹) siehe Anhang III: Ifeu: „Ökologischer Vergleich graphischer Papiere“, UFOPLAN FKZ 294 92 120 (altes FKZ 103 50 120), Heidelberg, Juni 1998

¹⁰⁰) siehe Anhang III: Ifeu: „Materialband I Datengrundlagen“, „Materialband II Methodenentwicklung“ und „Materialband III vertiefte Sachbilanzergebnisse“, UFOPLAN FKZ 294 92 120 (altes FKZ 103 50 120) „Ökologischer Vergleich graphischer Papiere“, Heidelberg, Juni 1998

¹⁰¹) Siehe Anhang III: Jürgen Giegrich und Knut Sturm „Naturraumbeanspruchung waldbaulicher Aktivitäten als Wirkungskategorie für Ökobilanzen“ UFOPLAN FKZ 294 92 120 (altes FKZ 103 50 120) im Auftrag des Umweltbundesamts, Heidelberg, März 1999

Mit der Methode zur Abschätzung der Naturraumbeanspruchung werden die flächenbezogenen Umweltbelastungen erfassbar. Als „Maßeinheit“ wird dabei die *Naturnähe von Flächen* und die Größe der in Anspruch genommenen Fläche verwendet. Unterschieden werden sieben Qualitätsniveaus, sogenannte Natürlichkeitsklassen, in die alle Landflächen eingeordnet werden können. Von Natürlichkeitsklasse I bis VII sinkt der Natürlichkeitsgrad, das heißt, der Abstand zu unbeeinflussten Ökosystemen, in denen keinerlei forstliche oder sonstige Nutzung erfolgt, wird größer. Im Rahmen dieses Vorhabens standen Kriterien, mit denen die Naturraumbeanspruchung gemessen werden kann, zunächst für die Natürlichkeitsklassen II, III, IV und V im Vordergrund, weil sie die waldbauliche Nutzung zum Beispiel für die Zellstoff- und Papierindustrie betreffen. Unterschieden werden die drei Kriterien Naturnähe des Bodens, der Waldgesellschaft und der Entwicklungsbedingungen. Die für die Kriterien entwickelten messbaren Indikatoren gelten für Wälder in Mitteleuropa und in der borealen Zone. Die Wirkungskategorie Naturraumbeanspruchung ist vom Prinzip her jedoch so angelegt, dass sie bei Bedarf auch für landwirtschaftliche Flächen, für versiegelte oder degradierte Flächen und andere geographische Regionen verwendet werden kann.

Zur Lösung der Allokationsproblematik zwischen Primärfaser- und Recyclingpapier (Zuordnung von Umweltbelastungen zu Lebenswegen) wurde die in der Ökobilanznorm ISO 14041 empfohlene Bilanzraumerweiterung angewendet. In der Folge wurde die ursprüngliche Absicht fallen gelassen, die funktionelle Einheit auf die einzelnen Papierprodukte zu beziehen (z.B. 1000 doppelseitige Fotokopien). Die funktionelle Einheit bezieht sich nun in allen Szenarien auf die gesamte Produktion und Verarbeitung von Zeitungsdruckpapier, LWC-Papier, SC-Papier sowie Kopierpapier in Deutschland im Jahr 1995. Auf der Ebene der Papierproduktion entspricht dieses einer Papiermenge von 6,58 Mio. t. Die Auswirkung der Bilanzraumerweiterung auf die in T-Diagrammen dargestellten Umwelteffekte ist, dass die relativen Unterschiede zwischen den Szenarien klein werden, obwohl die Unterschiede in Teilbereichen des Bilanzraums sehr groß sind.

Zur Sicherstellung der Nutzengleichheit der Szenarien wurde der Bilanzraum um Energie-Äquivalenzprozesse erweitert. Als Äquivalenzprozesse speisen mit Kohle oder Gas befeuerte Heizkraftwerke sowie Strom aus dem öffentlichen deutschen Netz einen theoretischen Energiepool. In den Energiepool geht u.a. die Energie aus Hausmüllverbrennungsanlagen und aus Altpapier-Heizkraftwerken ein. Die Energiebereitstellung aus diesen Prozessen ist je nach Szenario unterschiedlich groß. Allerdings wird die Höhe der gesamten thermischen und elektrischen Energie im Energiepool konstant gehalten, damit die Szenarien untereinander vergleichbar sind.

Die vorliegende, vom Umweltbundesamt durchgeführte Auswertung basiert auf der vom Umweltbundesamt entwickelten Methode Bewertungsmethode in Ökobilanzen, Version 99 (Stand Dezember 1999)¹⁰³, die die in den ISO-Normen (DIS) 14042 und 14043 formulierten Anforderungen aufgreift. Diese Bewertungsmethode wird als

¹⁰²) Siehe Anhang III: Dr. Rainer Stern „Bewertung des Beitrags von Produkten zur Photooxidantienbildung im Rahmen von Ökobilanzen auf der Basis photochemischer Modellrechnungen“ UFOPLAN FKZ 294 92 120 (altes FKZ 103 50 120), Freiburg, 4.1996

¹⁰³) Einzelheiten zur Bewertungsmethode und zur Rangbildung sind als UBA-Texte 92/99 veröffentlicht.

verbal-argumentativ bezeichnet. Sie baut auf den begründeten Werthaltungen des Umweltbundesamtes auf und führt die Ergebnisse der Sachbilanzen sowie der Wirkungsabschätzungen über eine vom Umweltbundesamt vorgeschlagene Rangfolge der Wirkungskategorien zusammen. Erstmals wird die Methode hier auf ein praktisches Beispiel angewendet.

Die Rangbildung der Wirkungskategorien erfolgt mit den Beurteilungskriterien *ökologische Gefährdung*, *Distance-to-Target* (Abstand vom angestrebten Umweltzustand) und *spezifischer Beitrag*, die jeweils mit den Merkmalen A (höchste Priorität), B, C, D und E (niedrigste Priorität) bewertet werden können. Die vom Umweltbundesamt vorgeschlagene Rangfolge für die Beurteilungskriterien ökologische Gefährdung und Distance-to-Target ist unabhängig von der jeweiligen Ökobilanz. Lediglich das Kriterium spezifischer Beitrag leitet sich direkt aus den Ergebnissen der einzelnen Ökobilanzen ab. Die drei Beurteilungskriterien werden in der jeweiligen Ökobilanz zur *ökologischen Priorität* der Wirkungskategorie zusammengefasst, die die Merkmale sehr groß, groß, mittel, gering und sehr gering annehmen kann. Es ist zu betonen, dass die Rangbildung als ein relativer Vergleich zwischen den Wirkungskategorien, nicht dagegen als absolutes Urteil anzusehen ist.

In den oberen Bereich der Rangfolge der Wirkungskategorien sind die Naturraumbeanspruchung der Natürlichkeitsklassen III, IV und V (sehr große bis große ökologische Priorität) und das Treibhauspotenzial (große ökologische Priorität) eingestuft worden. Im mittleren Bereich liegen die Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Photooxidantienbildungspotenzial, Versauerungspotenzial, terrestrisches Eutrophierungspotenzial und aquatisches Eutrophierungspotenzial/ Sauerstoffzehrung. Die ökologische Gefährdung durch eine Naturraumbeanspruchung mit der Natürlichkeitsklasse II (naturnahe Waldwirtschaft) ist als vernachlässigbar bewertet worden. Zusätzlich werden bei der Auswertung weitere Indikatorergebnisse zu den zwei Wirkungskategorien direkte Schädigung von Ökosystemen und direkte Gesundheitsschädigung (zum Beispiel mit den Indikatoren: Belästigung durch LKW-Lärm und Krebsrisiko durch Luftschadstoffe) berücksichtigt. Auf eine Einbeziehung in die Rangfolge der Wirkungskategorien musste zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch verzichtet werden, weil belastbare Methoden zur Klassifizierung und Charakterisierung noch nicht verfügbar sind.

Für die gesamte Ökobilanz wurde ein Critical Review durch drei unabhängige Gutachter hinsichtlich der ISO-Konformität (u.a. hinsichtlich Anforderungen zur Qualität der Methoden, Zweckmäßigkeit der Daten, Übereinstimmung von Ziel und Auswertung und Transparenz des Berichts) durchgeführt. Das Schlußgutachten ist im Anhang IV beigefügt. Die Gutachter kommen insgesamt zu einer positiven Gesamteinschätzung und „empfehlen die rasche und vollständige Publikation der Studie (möglichst auch in Englisch)“. Sie heben in Ihrem Gesamturteil folgende Punkte hervor:

- Die Größe des untersuchten Systems, sowohl was die (nahezu erreichte) Vollständigkeit, wie auch was die Anzahl der Module betrifft
- Erhebung vieler Originaldaten einschließlich neuer Skandinavischer Daten mit hoher Repräsentativität (Kooperation mit der nordischen Papierindustrie) und Aufbau einer Datenbank
- Vollständigkeit in Hinblick auf die Ökobilanz-Normen 14040-43

Im folgenden werden wichtige Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben zusammengefasst:

1. Welche Lebenswegabschnitte der graphischen Papiere sind mit den größten Umweltbelastungen verbunden?

Zur Beantwortung dieser Frage wurden Daten zum Jahr 1995 als Ist-Situation zu Grunde gelegt. Die damit für die funktionelle Einheit modellierten Stoff- und Energieströme werden als Referenzszenario (abgekürzt als AP HAUPT I) bezeichnet. Die durchgeführte Signifikanzprüfung kommt zu folgendem Ergebnis:

Insgesamt führen die Faser- und Papierherstellung in Deutschland sowie im Ausland am signifikantesten zu Umweltbelastungen und Ressourcenverbräuchen. Die Forstwirtschaft hat einen sehr großen Anteil an der Naturraumbeanspruchung, dagegen hat sie an den anderen Wirkungskategorien, unter den hierzu getroffenen Annahmen, keinen relevanten Anteil.

2. Wie groß sind die im Bilanzraum ermittelten Umweltbelastungen im Vergleich zu den von einem Einwohner in Deutschland im Mittel verursachten Umweltbelastungen?

Der Vergleich der Emissionen und Rohstoffverbräuche des Referenzszenarios mit den Emissionen und Rohstoffverbräuchen, die von einem Einwohner Deutschlands im Mittel während eines Jahres verursacht werden¹⁰⁴, zeigt beispielsweise, dass die Indikatorergebnisse der Wirkungskategorie Knappheit fossiler Energieträger ungefähr 0,55 Mio. Einwohneräquivalenzwerten (EÄW) entsprechen. Für das Versauerungspotenzial und den Wasserverbrauch wurden Werte im Bereich von 1,15 Mio. bis 1,19 Mio. EÄW ermittelt¹⁰⁵. Die Ergebnisse der Wirkungskategorien terrestrisches Eutrophierungspotenzial, aquatisches Eutrophierungspotenzial / Sauerstoffzehrung und Treibhauspotenzial fallen in die Größenordnung von circa 0,8 bis 0,9 Mio. EÄW. Aus dieser insgesamt hohen Umweltbelastung wird die generelle Empfehlung abgeleitet, dass der Papierverbrauch insgesamt reduziert werden sollte.

3. Welche Rangfolge haben die Verwertungs- und Beseitigungsoptionen für graphische Altpapiere unter Umweltschutzgesichtspunkten?

Zur Beantwortung dieser Frage wurde das oben bereits erwähnte Referenzszenario (Szenario AP HAUPT I) hinsichtlich bestimmter Verwertungs- und Beseitigungsoptionen verändert. Die dadurch gewonnenen Szenarien wurden mit dem Referenzszenario verglichen.

Die wesentlichen abfallwirtschaftlichen Merkmale des Referenzszenarios sind, dass sich die Altpapierrücklaufquote (APR) für graphisches Altpapier auf 69 % beläuft und

¹⁰⁴) Der Vergleich entspricht dem Ökobilanzschritt *Normierung* auf den spezifische Beitrag (ISO 14042, Nr. 6.2, 2. Spiegelstrich)

¹⁰⁵) Bei Einbeziehung der hier nicht bilanzierten Lebenswegabschnitte *Herstellung, Transport und Verarbeitung* anderer, im wesentlichen holzfreier graphischer Papiersorten würden die gesamten Umweltbelastungen aller in Deutschland verbrauchten graphischen Papiere schätzungsweise circa um den Faktor 2 größer sein.

die nicht verwerteten graphischen Altpapiere im Verhältnis 30/70 über Hausmüllverbrennungsanlagen und Deponien beseitigt werden. Ausgehend vom Referenzszenario wurde die werkstoffliche Verwertung graphischer Altpapiere einerseits auf eine Altpapierrücklaufquote von 76 % erhöht (Szenario AP HOCH I) und andererseits auf 57% vermindert (Szenario AP TIEF I). Die hohe Altpapierrücklaufquote entspricht in etwa der Situation in Deutschland in den Jahren 1996 bis 1998 in. Die niedrige Altpapierrücklaufquote spiegelt das Jahr 1994 wider und steht für den Fall, dass die getrennte Altpapiererfassung rückläufig ist und mehr Altpapier beseitigt wird. Die drei Szenarien werden als Grundszenarien bezeichnet.

Der Vergleich der Grundszenarien führt zu dem Ergebnis, dass eine hohe Altpapier-rücklaufquote von 76% erheblich günstiger als eine mittlere Altpapierrücklaufquote von 69% ist. Letztere wiederum ist erheblich günstiger als eine niedrige Altpapier-rücklaufquote von 57%¹⁰⁶.

Rangfolge der Grundszenarien (Kohle als Energie-Äquivalenzprozess)		
AP HOCH I _{APR 76%}	>>	AP HAUPT I _{APR 69%} >> AP TIEF I _{APR 57%}

4. Wie verhält sich die Rangfolge der Grundszenarien gegenüber der Veränderung wichtiger abfallwirtschaftlicher Parameter?

Die Rangfolge der Grundszenarien wurde in mehreren Sensitivitätsanalysen überprüft. Dazu wurde zunächst der zu verbrennende Anteil graphischer Altpapiere erhöht. Ausgehend vom Szenario mit niedriger Altpapierrücklaufquote wurde eine definierte Altpapiermenge (sogenannte Altpapierübermenge¹⁰⁷) von 0,955 Mio. t zusätzlich in Hausmüllverbrennungsanlagen (Szenario AP TIEF II) oder in emissionsreduzierten Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (Szenario AP TIEF III) verbrannt. Die bei der Verbrennung gewonnene Energie fließt in den theoretischen Energiepool ein. Sie ersetzt dort elektrische Energie aus dem deutschen Stromnetz und hier zunächst thermische Energie aus Kohlekraftwerken.

Der Vergleich der drei Szenarien mit niedriger Altpapierrücklaufquote (AP TIEF I, II und III) untereinander hat folgendes Ergebnis: Die Verbrennung von Altpapier in Heizkraftwerken (Szenario AP TIEF III) ist unter Umweltschutzgesichtspunkten günstiger als die Altpapierverbrennung in Hausmüllverbrennungsanlagen (Szenario AP TIEF II), welche wiederum erheblich günstiger als die Altpapierbeseitigung auf Deponien (Szenario AP TIEF I) ist.

¹⁰⁶) In der folgenden Darstellung der Rangfolgen kann der Vergleich des Szenarios A mit dem Szenario B folgende Merkmale annehmen: A << B: A ist erheblich ungünstiger als B; A < B: A ist ungünstiger als B; A ≈ B: Unterschiede zwischen A und B sind nicht nachweisbar; A > B: A ist günstiger als B; A >> B: A ist erheblich günstiger als B.

¹⁰⁷) die Altpapierübermengen in den Szenarien AP TIEF II bis AP TIEF V beziehen sich per Definition auf Altpapiermengen, die gegenüber dem Szenario AP HAUPT nicht werkstofflich verwertet werden (0,955 Mio. t).

**Sensitivitätsszenarien zur Altpapierverbrennung
(Kohle als Energie-Äquivalenzprozess):**

AP TIEF III Kohle→Äq, APÜM→HKW > AP TIEF II Kohle→Äq, APÜM→MVA
 AP TIEF II Kohle→Äq, APÜM→MVA >> AP TIEF I Kohle→Äq, APÜM→Deponie/MVA

Die Kombination der Sensitivitätsszenarien AP TIEF II und AP TIEF III mit den Grundszenarien AP HAUPT I und AP HOCH I kommt bei mit Kohle befeuerten Kraftwerken im Äquivalenzprozess zu folgender Rangfolge, die allerdings mit der unten erläuterten Sensitivitätsanalyse ausgewertet werden muss:

**Grundszenarien kombiniert mit Verbrennungs-Sensitivitätsszenarien
(Kohle als Energie-Äquivalenzprozess):**

AP HOCH I Kohle→Äq >> AP HAUPT I Kohle→Äq
 AP HAUPT I Kohle→Äq ≈ AP TIEF III Kohle→Äq, APÜM→HKW
 AP HAUPT I Kohle→Äq ≈ AP TIEF II Kohle→Äq, APÜM→MVA

Bei der Auswertung der Ökobilanzen stellte sich heraus, dass die aus methodischen Gründen für den Energie-Äquivalenzprozess bilanzierten Kohlekraftwerke einen großen Einfluss auf die Rangfolge der Altpapierentsorgungsoptionen haben. In einer weiteren Sensitivitätsanalyse wurden daher die Kohlekraftwerke durch Gaskraftwerke ersetzt und die Rangfolge der so modellierten Szenarien bestimmt. Im Einzelnen entstand dadurch aus dem Szenario mit niedriger Altpapierrücklaufquote und Altpapierübermengenverbrennung in Hausmüllverbrennungsanlagen (Szenario AP TIEF II) das Szenario AP TIEF IV. Aus dem Szenario mit niedriger Altpapierrücklaufquote und Altpapierübermengenverbrennung in Heizkraftwerken (Szenario AP TIEF III) resultierte das Szenario AP TIEF V. Aus dem Szenario mit hoher Altpapierrücklaufquote (Szenario AP HOCH II) ging das Szenario AP HOCH III hervor und aus dem Szenario mit mittlerer Altpapierrücklaufquote (Szenario AP HAUPT I) das Szenario AP HAUPT II.

Der Vergleich der Sensitivitätsszenarien zu den Energie-Äquivalenzprozessen brachte folgendes Ergebnis hervor: Bei der Berücksichtigung von Gaskraftwerken ist eine hohe Altpapierrücklaufquote (AP HOCH III) erheblich günstiger als eine mittlere Altpapierrücklaufquote (Szenario AP HAUPT II), welche wiederum günstiger als eine niedrige Altpapierrücklaufquote mit Altpapierübermengenverbrennung in einer Hausmüllverbrennungsanlage (Szenario AP TIEF V) sowie günstiger als eine niedrige Altpapierrücklaufquote mit Altpapierübermengenverbrennung in emissionsreduzierten Kraft-Wärme gekoppelten Anlagen (Szenario AP TIEF IV) ist.

**Energie-Äquivalenzprozess-Sensitivitätsszenarien
(Gaskraftwerke als Energie-Äquivalenzprozess):**

AP HOCH III Erdgas→Äq >> AP HAUPT II Erdgas→Äq
 AP HAUPT II Erdgas→Äq > AP TIEF IV Erdgas→Äq, APÜM→HKW
 AP HAUPT II Erdgas→Äq > AP TIEF V Erdgas→Äq, APÜM→MVA

Zusammenfassend wird aus der Kombination der insgesamt bilanzierten Sensitivitätsszenarien abgeleitet, dass der Vorrang des Papierrecyclings (werkstoffliche Verwertung von graphischem Altpapier) im Vergleich zur Energiegewinnung aus Altpapierübermengen nur unter der Voraussetzung als nicht nachweisbar zu bewerten ist, wenn Kohlekraftwerke als Äquivalenzprozess

berücksichtigt werden und Altpapierüberschmengen in besonders leistungsfähigen, emissionsreduzierten Anlagen verbrannt werden. Unter der Voraussetzung, dass Gaskraftwerke als Äquivalenzprozess bilanziert werden, hat die Energiegewinnung aus Altpapierüberschmengen in Hausmüllverbrennungsanlagen und in Heizkraftwerken unter Umweltschutzgesichtspunkten erhebliche Nachteile gegenüber der werkstofflichen Altpapierverwertung.

Insgesamt ist eine sehr hohe werkstoffliche Verwertung graphischer Altpapiere unter Umweltschutzaspekten unabhängig vom Energie-Äquivalenzprozess erheblich günstiger als eine Verbrennung von Altpapierüberschmengen in optimierten Heizkraftwerken und Hausmüllverbrennungsanlagen oder die Beseitigung auf Deponien.

5. Wie ist die Energiegewinnung aus Holzüberschmengen unter Umweltgesichtspunkten zu beurteilen?

Die Sensitivitätsanalyse zur Energiegewinnung aus Holzüberschmengen wurde so durchgeführt, dass eine definierte Holzmenge, die aufgrund der Steigerung der Altpapierverwertung in der Papierindustrie auf den Forstflächen verbleiben würde (Differenz des Holzverbrauchs der Szenarien AP HAUPT I und AP HOCH I), nun in einem Kraft-Wärme gekoppelten Kraftwerk verbrannt wird (Szenario AP HOCH II). Der Verbleib der Holzüberschmengen auf den Forstflächen (Szenario AP HOCH I) wurde mit der Energiegewinnung aus Holz (Szenario AP HOCH II) verglichen. Aus diesem Vergleich wurde kein Ergebnis abgeleitet, weil für ein abschließendes Votum weitere, im Rahmen des Vorhabens nicht durchgeführte Sensitivitätsuntersuchungen notwendig wären.

Energiegewinnung aus Holzüberschmengen:
 AP HOCH I HolzÜM→Wald im Vergleich zu AP HOCH II HolzÜM→Energie
 (weitere Sensitivitätsuntersuchungen notwendig)

Neben der Behandlung abfallwirtschaftlicher Aspekte wurde mit dem Instrument der Ökobilanz auch der Frage nachgegangen:

6. Bringt der Einsatz von Holz oder von Altpapier als Rohstoff für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier, Zeitschriftenpapier (SC- und LWC-Papier) und Kopierpapier Umweltvorteile mit sich?

Der Vergleich der ausschließlichen Verwendung von Altpapier als Rohstoff für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier und Kopierpapier (Szenario ZDP AP 100 und Szenario KOP AP 100) mit der Verwendung von Holz als Rohstoff (Szenario ZDP AP 0 Szenario KOP AP 0) kommt zu dem Ergebnis, dass die aus Altpapier hergestellten Zeitungsdruckpapiere und Kopierpapiere unter Umweltschutzgesichtspunkten als erheblich günstiger zu bewerten sind.

Zeitungsdruckpapier und Kopierpapier aus Holz oder aus Altpapier (AP):
 Szenario ZDP AP 100 Altpapier→Zeitungsdruckp. >> Szenario ZDP AP 0 Holz→Zeitungsdruckp.
 Szenario KOP AP 100 Altpapier→Kopierpapier >> Szenario KOP AP 0 Holz→Kopierpapier

Der Vergleich der anteiligen Verwendung von Altpapier (30%) als Rohstoff für die Herstellung von gestrichenem (LWC) und von superkalandriertem (SC)

Zeitschriftenpapier (Szenario LWC AP 30 und Szenario SC AP 30) mit der ausschließlichen Verwendung von Holz als Rohstoff (Szenario LWC AP 0 und Szenario SC AP 0) ergibt, dass die anteilig aus Altpapier hergestellten gestrichenen und superkalandrierten Zeitschriftenpapiere unter Umweltschutzgesichtspunkten als erheblich günstiger zu bewerten sind.

Gestrichenes und superkalandriertes Zeitschriftenpapier
aus Holz oder anteilig (30%) aus Altpapier (AP):

Szenario LWC AP 30 30%Altpapier→LWC-Papier >> Szenario LWC AP 0 Holz→LWC-Papier
Szenario SC AP 30 30%Altpapier→SC-Papier >> Szenario SC AP 0 Holz→SC-Papier

7. In welchem Maße wirken sich die Transportentfernungen für Sulfatzellstoff auf die Produktvergleiche zu Zeitungsdruck-, Zeitschriften- und Kopierpapier aus?

Verglichen wird der Sulfatzellstofftransport aus Übersee (Szenario ZELLSTOFF FERN) mit dem Transport marktnah hergestellter Sulfatzellstoffe aus Finnland, Norwegen und Schweden (Szenario AP HAUPT I, Zellstoff marktnah). Der Vergleich führte zu dem Ergebnis, dass die Variation der Transportentfernungen für Sulfatzellstoff zur erheblichen Reduzierung von Umweltbelastungen beiträgt. Diese Reduzierung entspricht in ihrer Größenordnung einer Umstellung des gesamten Marktsegments für Kopierpapier auf Recycling-Kopierpapier.

Transport von Sulfatzellstoff:

Szenario AP HAUPT I (Zellstoff marktnah) >> Szenario ZELLSTOFF FERN

8. Sollte zur Verringerung von Umweltbelastungen durch Zeitschriften gestrichenes oder superkalandriertes Zeitschriftenpapier verwendet werden?

Der Vergleich von gestrichenem mit superkalandriertem Zeitschriftenpapier setzt voraus, dass die Papiere gleiche Flächengewichte und eine Zusammensetzung von 30 % SGW-Holzstoff, 35 % Sulfatzellstoff und 35 % Streich- bzw. Füllstoffe aufweisen. Der Szenarienvergleich kommt zu dem Ergebnis, dass superkalandriertes Zeitschriftenpapier (Szenario KALANDRIEREN) unter Umweltschutzgesichtspunkten günstiger als gestrichenes Zeitschriftenpapier (Szenario STREICHEN) ist.

Superkalandriertes oder gestrichenes Zeitschriftenpapier aus Holz:

Szenario KALANDRIEREN > Szenario STREICHEN

9. Wie ist die Herstellung von total chlorfrei gebleichtem Sulfatzellstoff (TCF) im Vergleich zu elementarchlorfrei (ECF) oder mit Elementarchlor (Cl_2) gebleichtem Sulfatzellstoff zu bewerten?

Zum Vergleich der Sulfatzellstoffbleichverfahren werden die Bleiche mit Elementarchlor (Szenario Sulfat Cl_2), mit Chlordioxid (Szenario Sulfat ECF, mit AOX-Einleitungen in Gewässer kleiner 0,3 kg/t Zellstoff) und mit chlorfreien Bleichchemikalien (Szenario Sulfat TCF) unterschieden.

Der Szenarienvergleich erwies sich als äußerst schwierig, weil die direkte Schädigung von Ökosystemen mit der angewandten Methodik zur Wirkungsabschätzung nur mit Einschränkungen abgebildet werden kann. Die Aussagen zum Szenarienvergleich stehen daher unter Vorbehalt. Nach Vorliegen ausreichend repräsentativer und valider Untersuchungen zu den Wirkungen von Abwässern aus der Herstellung von ECF- und TCF-Zellstoff und nach der Weiterentwicklung der Ökobilanzmethodik im Bereich „aquatoxische Wirkungen“, ist nicht auszuschließen, dass die beiden Verfahren später neu zu bewerten sind. Es wird empfohlen, die notwendigen weiteren Untersuchungen und Methodenentwicklungen einzuleiten.

Aus der Sicht des Umweltbundesamts wurde der TCF-Sulfatzellstoff außerhalb der Bewertungsmethode für Ökobilanzen günstiger als ein ECF-Sulfatzellstoff, allerdings unter Vorbehalten, bewertet. Der Cl₂-gebleichte Sulfatzellstoff ist auf jeden Fall deutlich schlechter, als die beiden zuvor genannten, zu bewerten.

Vergleich ECF- mit TCF-Sulfatzellstoff: weiterer Untersuchungsbedarf notwendig

10. Wie wirkt sich die Verlagerung der Zellstoffherstellung vom Ausland nach Deutschland unter ökobilanziellen Gesichtspunkten aus?

Aufgrund der schlechten Datenlage konnten die modellierten Szenarien nicht verglichen werden.

Vergleich von importierten mit in Deutschland produzierten Sulfat- und Sulfitzellstoffen: derzeitige Datenlage lässt Vergleich nicht zu

Fazit und Ausblick:

Die von 1994 bis 1998 in Deutschland erfolgte Steigerung der werkstofflichen Verwertung graphischer Altpapiere hat zu einer Verminderung von Umweltbelastungen geführt.

Angesichts der aus technischer Sicht festzustellenden Sättigungstendenzen wird die Altpapierverwertungsquote, die jährlich von der Arbeitsgemeinschaft graphische Papiere (AGRAPA) im Rahmen der Selbstverpflichtung zur Steigerung der Altpapierverwertung ermittelt wird, im langjährigen Mittel voraussichtlich nicht wesentlich über das heutige Maß hinaus steigen. Die AGRAPA-Verwertungsquote belief sich von 1996 bis 1997 auf etwas über 80%. In Zukunft ist jedoch aufgrund der Auswirkungen der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) mit einem Rückgang der Altpapierbeseitigung auf Deponien zu rechnen. Es stellt sich die Frage, wie mit Altpapierüberschüssen umgegangen werden soll, die aus Kapazitätsgründen nicht der werkstofflichen Altpapierverwertung zugeführt werden können.

Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Ökobilanz sollten aus Umweltschutzgründen in Zukunft die Altpapierüberschüsse vorzugsweise in Kraft-Wärme gekoppelten Anlagen der Papierindustrie verbrannt werden, wenn dadurch der Brennstoff Kohle ersetzt und eine anspruchsvolle Abgasreinigung durchgeführt wird. Für den Fall, dass eine getrennte Erfassung von Altpapierüberschüssen zum Zweck der

Verbrennung nicht in Frage kommt und der gesamte Restmüll zunächst in Hausmüllverbrennungsanlagen behandelt werden muss, d.h., dass die Regelungen der Technischen Anleitung Siedlungsabfall greifen, legen die Ökobilanzergebnisse den Schluss nahe, dass der Verbleib von Altpapierüberschüssen im Restmüll unter Umweltsichtspunkten eine etwas ungünstigere Alternative als die Verwertung in Kraft-Wärme gekoppelten Anlagen der Papierindustrie ist. Auch hier gilt, dass mit der Energie aus den Hausmüllverbrennungsanlagen Energie aus Kohlekraftwerken ersetzt werden sollte.

Unter Umweltschutzaspekten ist eine möglichst hohe werkstoffliche Verwertung graphischer Altpapiere (Papierrecycling) grundsätzlich erheblich günstiger als die Energiegewinnung aus Altpapier oder als die Altpapierbeseitigung auf Deponien.

Im folgenden Kapitel stehen die vom Umweltbundesamt aus der Ökobilanz abgeleiteten Empfehlungen an einzelne Akteure im Vordergrund.

6 Empfehlungen an Akteure

Für den Bereich der graphischen Papiere und daraus hergestellter Papierprodukte wurden mit der Ökobilanz „Ökobilanzen für graphische Papiere“ die fachlichen Entscheidungsgrundlagen und Schlussfolgerungen (siehe Kapitel 5) erarbeitet. Die aus dieser Ökobilanz abzuleitenden Empfehlungen¹⁰⁸ sollen einen breiten Kreis von Akteuren erreichen, weil die Verringerung von Umweltbelastungen, die auf dem Lebensweg von Produkten auftreten, eine gemeinsame Aufgabe von Wirtschaft, Staat und Gesellschaft ist.

Der Verbrauch graphischer Papiere in Deutschland verursacht Umweltbelastungen, die besonders in den Wirkungskategorien Naturraumbeanspruchung und Treibhauspotenzial auftreten. Daneben sind die Wirkungskategorien Knappheit fossiler Energieträger, Versauerungspotenzial, terrestrisches Eutrophierungspotenzial und aquatisches Eutrophierungspotenzial/Sauerstoffzehrung schwerpunktmäßig betroffen. So entspricht beispielsweise der in der Ökobilanz ermittelte Beitrag der untersuchten graphischen Papiere zum Treibhauspotenzial etwa 910.000 Einwohneräquivalenzwerten (Einwohneräquivalenzwert = Gesamtemission in Deutschland dividiert durch Anzahl der Einwohner) sowie zur Nährstoffbelastung von Gewässern etwa 890.000 Einwohneräquivalenzwerten. Diese Umweltbelastungen werden als insgesamt hoch bewertet. Sie sollten angesichts der Entwicklung beim pro Kopf Verbrauch an graphischen Papieren, der von 54 kg/Einwohner im Jahr 1970 bis auf 93 kg/Einwohner im Jahr 1998 anstieg und voraussichtlich weiter wachsen wird, alle Akteure dazu veranlassen, geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um mit Papier sparsamer umzugehen. Zu diskutieren wäre hier beispielsweise

- die weitere Verminderung von Papierflächengewichten (am Markt verfügbar sind beispielsweise Zeitungsdruckpapier mit 42 g/m² und Zeitschriftenpapier mit 52 g/m²),

¹⁰⁸) Nach der Ökobilanznorm ISO DIS 14043 (International Standard Organisation Draft International Standard) sind Empfehlungen, die von den Schlußfolgerungen einer Ökobilanz abgeleitet werden, ein Bestandteil der Auswertung (ISO DIS 14043 Abschnitt 7.3).

- differenzierterer Umgang mit Werbung (z.B. die Vermeidung von Werbung, sofern sie vom einzelnen Verbraucher nicht ausdrücklich gewünscht wird) oder
- die gemeinsame Nutzung von Zeitungs- und Zeitschriftenabonnements durch benachbarte Verbraucher, in Bibliotheken oder in Lesezirkeln.

Als logische und angemessene Konsequenz aus den in der Ökobilanz formulierten Schlussfolgerungen leitet das Umweltbundesamt die folgenden Empfehlungen an Akteure ab:

Empfehlungen an die Zellstoff- und Papierhersteller:

- Zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier, SC-Papier, LWC-Papier und Kopierpapier in Deutschland sollte Altpapier in möglichst großem Umfang werkstofflich verwertet werden, weil damit Belastungen in mehreren Umweltbereichen gleichzeitig gesenkt werden können. Zeitungsdruck- und Kopierpapiere können bereits vollständig aus Altpapier, Zeitschriftenpapier (SC- und LWC-Papier) mit einem Anteil von 30% an der Faserkomponente hergestellt werden.
- Die Abwasserbelastung der Sulfatzellstoffwerke, die in der Ökobilanz einen überdurchschnittlich großen Anteil am aquatischen Eutrophierungspotenzial haben, sollte gesenkt werden. Beispielsweise kann der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) im Abwasser von derzeit bis zu 90 kg/t auf 4 kg/t (Metsä-Rauma, Finnland), 6,9 kg/t (Alberta-Pacific, Kanada), 12 kg/t (Enocell, Finnland) und 13 kg/t (Soedra Cell, Schweden) gesenkt werden.
- Die Prozesse zur Energiegewinnung und die Energie verbrauchenden Prozesse sollten auf weitere Optimierungspotenziale hin untersucht werden, um den erheblichen Beitrag zum Treibhauseffekt, zur Knappheit fossiler Energieträger und zu anderen, von Luftschadstoffen beeinflussten Wirkungskategorien zu reduzieren.
- Bei der nicht integrierten Papierherstellung sollte zur Reduzierung der Umweltbelastungen aus Transporten Zellstoff von marktnahen Produzenten bezogen werden (Förderung regionaler Produkte), soweit die dadurch erreichbaren Umweltvorteile nicht durch ggf. höhere Umweltbelastungen marktnaher Produzenten überkompensiert werden.
- Im Rahmen einer ganzheitlichen Produktverantwortung tragen auch Zellstoff- und Papierhersteller - insbesondere auch aufgrund der großen Menge benötigter Hölzer - Verantwortung für die Fortentwicklung einer nachhaltigen Forstwirtschaft. Angestrebt werden sollte daher große Naturnähe bzw. kleine Naturraumbeanspruchung von Forsten, zumal die Intensität der Naturraumbeanspruchung einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis einer Ökobilanz hat.
- Unter der Voraussetzung, dass die Verbrennung in Kraft-Wärme gekoppelten Anlagen unter Einhaltung der Emissionsgrenzwerte der 17. BImSchV erfolgt und mit der dabei gewonnenen Energie die Energie aus Kohlekraftwerken ersetzt wird, können Altpapierübermengen, die nicht werkstofflich verwertbar sind, auch energetisch verwertet werden.

Empfehlungen an Verlage, Druckereien, Büros, Verwaltung und private Haushalte:

- Verlage sollten beim Einkauf von Zeitungsdruckpapieren und Zeitschriftenpapieren (SC- und LWC-Papiere) von Herstellern in Deutschland Papiersorten mit möglichst hohem Altpapieranteil gegenüber Papiersorten mit kleinerem Altpapieranteil d.h. höherem Frischfaseranteil, bevorzugen.
- Beim Einkauf von Kopierpapier für den Bürobedarf und für Kopierstätten sollten Papiere, die zu 100 % aus Altpapier bestehen (Recyclingkopierpapier), gegenüber total chlorfrei gebleichten Frischfaserpapieren bevorzugt werden.
- Für graphische Papiere, deren Altpapieranteil an der Faserkomponente aus funktionalen Gründen begrenzt ist, sollten wirkungsvolle Impulse zu einer höheren Nachfrage nach Papiersorten gegeben werden, die mit einer möglichst geringen Naturraumbeanspruchung verbunden sind. Weil die Intensität der Naturraumbeanspruchung einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis einer Ökobilanz hat, sollte die unter Umweltschutzgesichtspunkten besonders günstige Natürlichkeitsklasse II angestrebt werden.
- Es sollten geeignete Maßnahmen zur Reduzierung des Papierverbrauchs, soweit sie Umweltbelastungen nicht auf ein anderes Informationsmedium verlagern, ergriffen werden.

Empfehlungen an die abfallbeseitigungspflichtigen Körperschaften und Entsorger:

- Die Erfassung graphischer Altpapiere zur werkstofflichen Verwertung, d.h. zum Recycling in der Papierindustrie, sollte in Deutschland auf mengenmäßig hohem Niveau beibehalten werden, weil zusammenfassend eine sehr hohe werkstoffliche Verwertung graphischer Altpapiere unter Umweltschutzaspekten günstiger als die Energiegewinnung in optimierten Heizkraftwerken oder in Hausmüllverbrennungsanlagen sowie die Beseitigung auf Deponien ist.
- Aufgrund des signifikant hohen Treibhauspotenzials sollte die Beseitigung von Altpapieren auf Deponien unterbunden werden, wie von der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi) gefordert.

Empfehlungen an die Forst- und Holzwirtschaft und an die Zertifizierer von Wäldern:

- Die Forst- und Holzwirtschaft ist aufgefordert, sich mit dem Konzept der Naturraumbeanspruchung auseinanderzusetzen. Für Ihre vielfältigen Produkte sollte sie über den erreichten Stand der Naturraumbeanspruchung (Angabe der erreichten Natürlichkeitsklasse) berichten.
- Zur Reduzierung der Umweltbelastungen durch die Holzgewinnung für Papierprodukte (Optimierung des Umweltprofils des nachwachsenden Rohstoffs Holz) sollte die Forstwirtschaft flächendeckend so betrieben werden, dass die bewirtschafteten Flächen einer Naturraumbeanspruchung der Natürlichkeitsklasse II entsprechen. Hierdurch kann die Naturraumbeanspruchung erheblich reduziert und das Ergebnis einer Ökobilanz erheblich zu Gunsten der Primärfaserstoffe (Zellstoff und Holzstoff) beeinflusst werden.

Empfehlungen an die staatliche Umweltpolitik:¹⁰⁹

- Die werkstoffliche Verwertung graphischer Altpapiere sollte auf dem bisher erreichten Niveau beibehalten werden und sich im langjährigen Mittel auf mindestens 80 % (Verwertungsquote auf Basis der AGRAPA-Berechnungssystematik) belaufen. Eine hohe werkstoffliche Verwertung graphischer Altpapiere ist unter Umweltschutzaspekten erheblich günstiger als die Energiegewinnung in optimierten Heizkraftwerken oder in Hausmüllverbrennungsanlagen sowie die Beseitigung auf Deponien.
- Der überwiegende Einsatz von Recyclingpapier in der Bundesverwaltung ist eine Maßnahme, mit der die Umweltbelastungen des Papierverbrauchs vermindert werden können. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse dieser Ökobilanz sollte der Beschluss des Deutschen Bundestags vom 8.10.1992 hinsichtlich des überwiegenden Einsatzes von Recyclingpapier in der Bundesverwaltung beibehalten werden.
- Zur Reduzierung der Umweltbelastung durch Papierprodukte sollten weitere Maßnahmen zur Fortschreibung und Umsetzung des Standes der Technik vor allem in der Zellstoff- und Papierindustrie ergriffen werden, weil diese Bereiche besonders zu fast allen Umweltproblemen beitragen. Technische Maßnahmen und damit erreichbare geringe Emissionswerte sind für die gesamte Branche beispielsweise im *BREF Pulp and Paper* (Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry) im Detail erläutert.
- Die für die gesamte forstwirtschaftlich genutzte Waldfläche angestrebte naturnahe Waldbewirtschaftung sollte weitgehend umgesetzt werden, damit in Zukunft mehr bewirtschaftete Waldflächen die unter Umweltschutzgesichtspunkten besonders günstige Natürlichkeitsklasse II aufweisen.

Empfehlungen an die Jury Umweltzeichen:

- Mit den Umweltzeichen für graphische Papiere sollte weiterhin als Schwerpunkt die werkstoffliche Verwertung von graphischem Altpapier gefördert werden, weil damit Belastungen in mehreren Umweltbereichen gleichzeitig gesenkt werden können.
- Bei den Umweltzeichen für graphische Papiere, deren Altpapieranteil an der Faserkomponente aus technischen Gründen begrenzt ist, sollte eine geringe Naturraumbeanspruchung der Forste im Rahmen der sich fortentwickelnden Zertifizierung und eine möglichst geringe Abwasserbelastung stärker berücksichtigt werden.

Empfehlungen an die Ökobilanz-Forschung:

- Die Ökobilanzmethodik sollte für den Wirkungsbereich „direkte aquatische Toxizität“ weiter entwickelt werden, so dass die direkt in Gewässer eingeleiteten Stoffe hinsichtlich ihrer Persistenz, Anreicherungsfähigkeit und

¹⁰⁹) Anmerkung: über die Bedeutung der Papier- und Druckereicheimikalien macht diese Ökobilanz keine Aussage, weil die Chemikalien-Stoffströme aufgrund der ausgebliebenen Datenlieferung durch die beteiligten Chemikalienhersteller nicht eingehend untersucht werden konnten.

direkten Toxizität gegenüber dem Ökosystem Wasser zukünftig besser bewertbar werden.

Ein geeigneter Wirkungsindikator könnte die Toxizitätspotenziale von Abwasserinhaltsstoffen auf eine oder mehrere Leitgrößen beziehen und die biologischen Wirkparameter (Toxizität des Abwassers gegenüber Fischen, Algen, Daphnien und Bakterien sowie die Genotoxizität) einbeziehen. Ein ökobilanzieller Vergleich von ECF- und TCF-gebleichtem Sulfatzellstoff sollte unter Anwendung des weiterentwickelten Wirkungsindikators vorgenommen werden. Zusätzlich sollte zur Abrundung der Ergebnisse eine Einzelstoffanalytik (Dioxine, Chlorphenole und Chloroform) vorgenommen werden.

- Weiterentwicklung der Ökobilanzmethodik (Klassifizierung, Charakterisierung und Ordnung) für die Wirkungskategorien: direkte Schädigung von Ökosystemen, direkte Gesundheitsschädigung, Strahlung und allgemeine Risiken.
- Erweiterung der Methode zur Abschätzung der Naturraumbeanspruchung auf Forstflächen außerhalb Mitteleuropas und der borealen Zone.

Anhang I

1. Literaturverzeichnis

Bundesamt für Naturschutz:

"Erhalt der biologischen Vielfalt, Wissenschaftliche Analyse deutscher Beiträge", Bonn, 1997

Deutsche Bundesregierung:

„Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland“, Bericht der Bundesregierung anlässlich der UN-Sondergeneralversammlung über Umwelt und Entwicklung 1997 in New York, Bonn 1997

European IPPC Bureau:

„Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry“ August Sevilla, 1999

Institut für Energie und Umweltforschung:

„Ökologische Bilanzen der Abfallwirtschaft“, UFOPLAN Vorhaben Nr. 29431606, UBA -FB 99-014, erschienen in UBA-Texte10-99, Berlin, 2.1999

ISO:

ISO 14040 Environmental management - Life cycle assessment - principles and framework, April 1997

ISO:

ISO 14041 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle inventory analysis, 1998

ISO:

EN ISO DIS 14042 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment, März 1999

ISO:

EN ISO DIS 14043 Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation, Februar 1999

Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz vom 27.9.1994, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1994, Teil1, 2706, Nr. 66

Tiedemann, Albrecht:

„Ökobilanzen als Umwelt-Bewertungsinstrument für die Abfallwirtschaft - Ein methodischer Leitfaden“, Erich Schmidt Verlag, Handbuch für Müll und Abfall, Nr. 1522, Lieferung 9/98

Umweltbundesamt:

„UBA-Verfahrensregeln zur Durchführung von Ökobilanzen“, Berlin, März 1998

Umweltbundesamt:

„Bewertung in Ökobilanzen. Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043. Version '99“, UBA-Texte 92/99, ISSN 0722-186X

Woodtli, Herbert:

„Jüngste und zukünftige Entwicklungen in der ökologischen Optimierung der Zeitungs- und Zeitschriftenproduktion“ in Tagungsbericht zur „7th global conference on paper & environment“, Berlin, 1999

2. Abkürzungsverzeichnis

A_{Äq}: Äquivalenzprozess zum Produkt A

AGRAPA: Arbeitsgemeinschaft Graphische Papiere

AOX: Adsorbierbare halogenorganische Verbindungen

AP: Altpapier

APQ: Altpapierverwertungsquote im Sinne der AGRAPA-Selbstverpflichtung

APR: Altpapierrücklaufquote

AP_{ÜM}: Altpapierübermenge (zur Papierherstellung nicht nutzbare Altpapiere)

BaWÖ: Büro für angewandte Waldökologie

B_{Aq}: Äquivalenzprozess zum Produkt B

BK: Braunkohle

BS: Binnenschiff

BSB: Biologischer Sauerstoffbedarf

CD: Committee Draft

CO₂: Kohlendioxid

CO₂-Äq.: Kohlendioxid-Äquivalente

CSB: Chemischer Sauerstoffbedarf

D: Bundesrepublik Deutschland

DIP: Deinking-Pulp (aufbereitetes, entfärbtes Altpapier)

DIS: Draft International Standard (Entwurf einer ISO-Norm)

DTPA: Diethylentriaminpentaessigsäure (Komplexbildner)

E, el: Elektrische Energie

E, th: Thermische Energie

ECF: Elementarchlorfrei

EÄW: Einwohneräquivalenzwerte (In Anhang III, Hauptbericht als
Einwohnerdurchschnittswert bezeichnet)

EDTA: Ethylendiamintetraessigsäure (Komplexbildner)

EN: European Norm

fE: funktionelle Einheit

FF: Frischfaser

GESPAREC: Gesellschaft für Papierrecycling

GP: Graphische Papiere

Ifeu: Institut für Energie- und Umweltforschung

H₂O₂: Wasserstoffperoxid

HAUPT: Stoffstrommodell mit graphischer Altpapierrücklaufquote von 69 %

Heizöl EL: leichtes Heizöl

HKW: Heizkraftwerk

HOCH: Stoffstrommodell mit hoher graphischer Altpapierrücklaufquote von 76 %

HS: Hochseeschiff

Holz_{ÜM}: Holzübermenge

ISO: International Standard Organisation

KOP AP 0: Kopierpapier aus TCF-Zellstoff

KOP AP 100: Recyclingkopierpapier

KOP: Kopierpapier

KrW-/ABfG: Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz

LKW: Lastkraftwagen

LWC (LWCP): Light Weight Coated, Gestrichenes Papier

LWC AP 0: LWC-Papier mit Null % Altpapier

LWC AP 30: LWC-Papier mit 30 % Altpapier

MVA: Müllverbrennungsanlage

Na: Natrium

NaOH: Natriumhydroxid

NMVOC: Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan

NO_x: Stickoxide

PAK: Polycyclische Aromaten

PO₄³⁻: Phosphat

PO₄³⁻ - Äq.: Phosphat-Äquivalente

POCP-Äq.: Photo Oxidant Creation Potential (Ozonbildungspotenzial)-Äquivalente

RCP: Recyclingpapier (100 % aus Altpapier)

Recy: Recycling

rd. gerundet

ROE: Rohöl-Äquivalente

SBB: Standardberichtsbogen

SC AP 0: SC-Papier mit Null % Altpapier

SC AP 30: SC-Papier mit 30 % Altpapier

SCP: Kalandriertes Papier

SGW: Solid Ground Wood (Holzstoff)

SK: Steinkohle

SO₂: Schwefeldioxid

SO₂-Äq.: Schwefeldioxid-Äquivalente

Stör: Störstoffe

T: Transition im Prozessbaum (kleinste Einheit eines Lebensweges)

TASi: Technische Anleitung Siedlungsabfall

TCF: Total chlorfrei (Bezug Zellstoffbleiche)

TIEF: Stoffstrommodell mit niedriger graphischer Altpapierrücklaufquote von 57 %

TKM: Tonnenkilometer

TMP: Thermo-Mechanical-Pulp (Holzstoff)

VDP: Verband Deutscher Papierfabriken

Verarb: Verarbeitung

ZDP AP 100: Zeitungsdruckpapier zu 100 % aus Altpapier

ZDP AP 0: Zeitungsdruckpapier ohne Altpapier

ZDP: Zeitungsdruckpapier

3. Glossar, Definitionen

Allokation: Zuordnung der Input- und Outputflüsse eines Moduls auf das untersuchte Produktsystem

Äquivalenzprozesse: Ein oder mehrere Module, die nicht zur eigentlichen Herstellung des untersuchten Produktsystems notwendig sind, die jedoch zur Herstellung der Nutzengleichheit von Produktsystemen in den Bilanzraum aufgenommen werden (Bilanzraumerweiterung).

Auswertung: Bestandteil der Ökobilanz, bei dem Ergebnisse der Sachbilanz oder der Wirkungsabschätzung oder beide mit dem festgelegten Ziel und Untersuchungsrahmen zusammengeführt werden, um Schlussfolgerungen und Empfehlungen zu geben.

Funktionelle Einheit: Quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit in einer Ökobilanz-Studie.

Input: Stoffe oder Energie, die einem Prozess zugeführt werden (Anm: Stoffe können Ausgangsmaterialien und Produkte einbeziehen).

Interessierter Kreis: Einzelperson oder Gruppe von Personen, die sich mit der Umweltleistung eines Produktsystems oder den Ergebnissen einer Ökobilanz beschäftigt oder davon betroffen sind.

Lebensweg: Aufeinanderfolgende und miteinander verbundener Stufen eines Produktsystems von der Rohstoffgewinnung oder Gewinnung natürlicher Ressourcen bis zur endgültigen Beseitigung.

Modul bzw. Prozess: Kleinster Anteil eines Produktsystems, für den zur Erstellung einer Ökobilanz Daten gesammelt werden.

Ökobilanz (engl. Life cycle assessment, LCA): Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs.

Output: Stoffe oder Energie, die von einem Prozess abgegeben werden (Anm.: Stoffe können Ausgangsmaterialien, Zwischenprodukte, Produkte, Emissionen und Abfall einschließen).

Sachbilanz: Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines gegebenen Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs umfasst.

Systemgrenze: Schnittstelle zwischen einem Produktsystem und seiner Umwelt oder anderen Produktsystemen.

Transition: Synonym zum Begriff Prozess oder Modul

Vergleichende Aussage: Umweltaussage zur Überlegenheit oder Gleichwertigkeit eines Produktes im Vergleich zu einem Konkurrenzprodukt mit dem gleichen Verwendungszweck.

Wirkungsabschätzung: Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems dient.

4. Weitere Tabellen

Der im Prozessbaum graphisch dargestellte Lebensweg setzt sich aus einzelnen Prozessen zusammen. Die Prozesse werden mit Abkürzungen (z.B. T 76) kenntlich gemacht. In der folgenden Aufstellung (Tabelle 40) sind die Prozessbezeichnungen in alphabetischer Reihenfolge aufgelistet.

Tabelle 40: Bezeichnung der Prozesse im Prozessbaum der Ökobilanz für graphische Papiere

Bezeichnung	Nummer im Prozessbaum
Altpapiersortierung D	T 76
Altpapiersortierung IMPORT	T 53
AP_Pellet (GP)	T 296
AP-Entsorgung D	T 284
AP-Import	T 289
AP-Stör	T 286
AP-Verarb	T 288
AP-Verbrauch	T 283
AP-Verbrennung (HKW) Äq	T 297
Bahn: Altpapier D	T 79
Bahn: DIP IMPORT	T 57
Bahn: Holz D	T 74
Bahn: Kopierer	T 261
Bahn: Kopierer	T 264
Bahn: Kopierer	T 278
Bahn: KP IMPORT	T 95
Bahn: LWC IMPORT	T 48
Bahn: LWC IMPORT	T 49
Bahn: LWC-Druck	T 243
Bahn: LWC-Druck	T 247
Bahn: SC IMPORT	T 14
Bahn: SC IMPORT	T 33
Bahn: SC-Druck	T 220
Bahn: SC-Druck	T 229
Bahn: Sulfat- Zellstoff D	T 182
Bahn: Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 108
Bahn: ZDP IMPORT	T 16
Bahn: Zeitungsdruck	T 196
Bahn: Zeitungsdruck	T 200
BS: Holz D	T 72
BS: Kopierer	T 262
BS: Kopierer	T 279
BS: LWC IMPORT	T 51

BS: LWC-Druck	T 244
BS: SC-Druck	T 221
BS: Zeitungsdruck	T 197
Bürokopierer D	T 266
CaCO ₃ : LWC D	T 233
CaCO ₃ : SC D	T 209
CaO: Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 97
Deponie Altpapier D	T 292
Diesel: D	T 206
Diesel: IMPORT	T 205
DIP D: LWC D	T 169
DIP D: Recy-KP D	T 180
DIP D: SC D	T 153
DIP D: ZDP D	T 128
DIP IMPORT	T 54
Druckfarbe: LWC-Druck	T 251
Druckfarbe: SC-Druck	T 227
Druckfarbe: Zeitungsdruck	T 203
Energie, mech.: Entsorgung D	T 293
Entsorgungssplit	T 309
Forstmaschinen: Holz D	T 65
Forstmaschinen: Holz IMPORT	T 61
Glimmer: SC D	T 208
H ₂ O ₂ : DIP_LWC D	T 161
H ₂ O ₂ : DIP_Recy-KP D	T 172
H ₂ O ₂ : DIP_SC D	T 145
H ₂ O ₂ : DIP_ZDP D	T 120
H ₂ O ₂ : KP IMPORT	T 82
H ₂ O ₂ : Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 98
H ₂ O ₂ : TMP_LWC D	T 155
H ₂ O ₂ : TMP_ZDP D	T 131
H ₂ SO ₄ : KP IMPORT	T 83
H ₂ SO ₄ : Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 99
Harzdispersion: LWC D	T 235
Harzdispersion: Recy-KP D	T 269
Hausmülldeponie D	T 311
HKW BK: Wärme Äq	T 305
HKW Erdgas (E,el): DIP_LWC D	T 163
HKW Erdgas (E,el): DIP_Recy-KP D	T 174
HKW Erdgas (E,el): DIP_SC D	T 147
HKW Erdgas (E,el): DIP_ZDP D	T 123
HKW Erdgas (E,el): SC D	T 212
HKW Erdgas (E,el): SGW_SC D	T 137
HKW Erdgas (E,el): TMP_ZDP D	T 133
HKW Erdgas (E,el): ZDP D	T 185
HKW Erdgas (E,th): DIP_LWC D	T 165
HKW Erdgas (E,th): DIP_Recy-KP D	T 176
HKW Erdgas (E,th): DIP_SC D	T 149
HKW Erdgas (E,th): DIP_ZDP D	T 139
HKW Erdgas (E,th): KP, Frischfaser D	T 256
HKW Erdgas (E,th): SC D	T 214
HKW Erdgas (E,th): ZDP D	T 188
HKW Erdgas: LWC IMPORT	T 40
HKW Erdgas: SC IMPORT	T 28
HKW Erdgas: SGW_ZDP D	T 115
HKW Erdgas: Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 105
HKW Erdgas: ZDP IMPORT	T 7
HKW Heizöl S (E,el): SGW_SC D	T 138
HKW Heizöl S (E,el): SGW_ZDP D	T 116
HKW Heizöl S (E,th): ZDP D	T 189
HKW Heizöl S: KP IMPORT	T 89

HKW Heizöl S: LWC IMPORT	T 39
HKW Heizöl S: SC IMPORT	T 27
HKW Heizöl S: Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 104
HKW Heizöl S: ZDP D	T 186
HKW Heizöl S: ZDP IMPORT	T 6
HKW Reststoffe (E,el): KP, Frischfaser D	T 255
HKW Reststoffe (E,el): DIP_LWC D	T 164
HKW Reststoffe (E,el): DIP_Recy-KP D	T 175
HKW Reststoffe (E,el): DIP_SC D	T 148
HKW Reststoffe (E,el): DIP_ZDP D	T 124
HKW Reststoffe (E,el): TMP_ZDP D	T 134
HKW Reststoffe (E,el): ZDP D	T 187
HKW Reststoffe (E,th): DIP_LWC D	T 166
HKW Reststoffe (E,th): DIP_Recy-KP D	T 177
HKW Reststoffe (E,th): DIP_SC D	T 150
HKW Reststoffe (E,th): DIP_ZDP D	T 140
HKW Reststoffe (E,th): Recy-KP D	T 273
HKW Reststoffe (E,th): ZDP D	T 190
HKW Reststoffe: KP IMPORT	T 92
HKW Reststoffe: LWC IMPORT	T 43
HKW Reststoffe: SC IMPORT	T 31
HKW Reststoffe: Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 106
HKW Reststoffe: ZDP IMPORT	T 10
HKW SK (E,el): SC D	T 213
HKW SK (E,el): SGW_SC D	T 141
HKW SK (E,el): SGW_ZDP D	T 117
HKW SK (E,th): LWC D	T 237
HKW SK (E,th): Recy-KP D	T 271
HKW SK (E,th): SC D	T 215
HKW SK: KP IMPORT	T 90
HKW SK: LWC IMPORT	T 41
HKW SK: SC IMPORT	T 29
HKW SK: Wärme Äq	T 304
HKW SK: ZDP IMPORT	T 8
HKW Torf: KP IMPORT	T 91
HKW Torf: LWC IMPORT	T 42
HKW Torf: SC IMPORT	T 30
HKW TORF: ZDP IMPORT	T 9
HMVA D	T 310
Holzverbrennung (HKW) Äq	T 300
HS: DIP IMPORT	T 58
HS: Kopierer	T 265
HS: KP IMPORT	T 96
HS: LWC IMPORT	T 50
HS: LWC-Druck	T 248
HS: SC IMPORT	T 17
HS: SC IMPORT	T 34
HS: SC-Druck	T 230
HS: Sulfat- Zellstoff D	T 183
HS: Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 109
HS: ZDP IMPORT	T 23
HS: Zeitungsdruck	T 201
HW Erdgas (E,th): LWC D	T 238
HW Erdgas (E,th): Recy-KP D	T 272
HW Erdgas: DIP_LWC D	T 168
HW Erdgas: DIP_Recy-KP D	T 179
HW Erdgas: DIP_SC D	T 152
HW Erdgas: DIP_ZDP D	T 126
HW Erdgas: LWC-Druck	T 250
HW Erdgas: SC-Druck	T 225
HW Heizöl EL: DIP_LWC D	T 167

HW Heizöl EL: DIP_Recy-KP D	T 178
HW Heizöl EL: DIP_SC-P D	T 151
HW Heizöl EL: DIP_ZDP D	T 125
HW Heizöl EL: SC-Druck	T 226
HW Heizöl EL: ZDP D	T 191
Industrieholz D	T 66
Industrieholz IMPORT	T 62
Kaolin: KP IMPORT	T 52
Kaolin: LWC D	T 231
Kaolin: LWC IMPORT	T 4
Kaolin: Recy-KP D	T 267
Kaolin: SC D	T 207
Kaolin: SC IMPORT	T 25
Kaolin: ZDP IMPORT	T 1
KP IMPORT	T 20
KP, Frischfaser D	T 257
KP, Frischfaser Export	T 259
KTP: ZDP_Marktversorgung	T 204
Latex: LWC IMPORT	T 36
LKW: Altpapier (AzV)	T 287
LKW: Altpapier D	T 78
LKW: AP-Verbrennung Äq	T 295
LKW: Deponie Altpapier D	T 291
LKW: DIP IMPORT	T 56
LKW: Entsorgung (AzB)	T 307
LKW: Entsorgung (AzB)	T 308
LKW: Holz D	T 69
LKW: Holz D	T 70
LKW: Holz D	T 73
LKW: Holz IMPORT	T 63
LKW: Holzverbrennung Äq	T 302
LKW: Kopierer	T 260
LKW: Kopierer	T 263
LKW: Kopierer	T 277
LKW: KP IMPORT	T 94
LKW: LWC IMPORT	T 46
LKW: LWC IMPORT	T 47
LKW: LWC_Marktversorgung	T 252
LKW: LWC-Druck	T 242
LKW: LWC-Druck	T 246
LKW: MVA Altpapier D	T 285
LKW: SC IMPORT	T 12
LKW: SC IMPORT	T 32
LKW: SC_Marktversorgung	T 223
LKW: SC-Druck	T 219
LKW: SC-Druck	T 228
LKW: Sulfat- Zellstoff D	T 181
LKW: Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 107
LKW: ZDP IMPORT	T 13
LKW: ZDP IMPORT	T 15
LKW: Zeitungsdruck	T 195
LKW: Zeitungsdruck	T 199
LWC D	T 239
LWC Export	T 241
LWC IMPORT	T 19
LWC-Druck D	T 245
Marktversorgung mit Produkten	T 282
MVA Altpapier D	T 290
Na-Chlorat: KP IMPORT	T 84
Na-Chlorat: Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 100
Na-Dithionit: SGW_SC D	T 135

Na-Dithionit: SGW_ZDP D	T 113
NaOH: DIP_LWC D	T 159
NaOH: DIP_Recy-KP D	T 170
NaOH: DIP_SC D	T 143
NaOH: DIP_ZDP D	T 118
NaOH: KP IMPORT	T 85
NaOH: Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 102
NaOH: TMP_LWC D	T 154
NaOH: TMP_ZDP D	T 127
NaOH: ZDP IMPORT	T 3
Recy-KP D	T 274
Recy-KP Export	T 276
Sägewerk D	T 71
Sägewerk IMPORT	T 64
Sauerstoff: KP IMPORT	T 86
Sauerstoff: Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 101
SC D	T 216
SC Export	T 218
SC IMPORT	T 18
SC-Druck D	T 222
Schlackedeponie D	T 312
SGW D: SC D	T 142
SGW D: ZDP D	T 119
SO2: KP IMPORT	T 87
Sonst. GP	T 281
Stammholz D	T 68
Stammholz IMPORT	T 60
Stärke: KP IMPORT	T 81
Stärke: KP, Frischfaser D	T 253
Stärke: LWC D	T 234
Stärke: LWC IMPORT	T 35
Stärke: Recy-KP D	T 268
Strom D: Altpapier D	T 77
Strom D: DIP_LWC D	T 162
Strom D: DIP_Recy-KP D	T 173
Strom D: DIP_SC D	T 146
Strom D: DIP_ZDP D	T 122
Strom D: Energie (el) Faser D	T 110
Strom D: Energie (el) Pap/Verarb D	T 112
Strom D: Entsorgung D	T 294
Strom D: Holz D	T 67
Strom D: Kopierer	T 280
Strom D: KP, Frischfaser D	T 254
Strom D: LWC D	T 236
Strom D: LWC-Druck	T 249
Strom D: Recy-KP D	T 270
Strom D: SC D	T 211
Strom D: SC-Druck	T 224
Strom D: SGW_SC D	T 136
Strom D: SGW_ZDP D	T 114
Strom D: Strom Äq	T 299
Strom D: TMP_LWC D	T 157
Strom D: TMP_ZDP D	T 132
Strom D: ZDP D	T 184
Strom D: Zeitungsdruck	T 202
Strom IMPORT: Energie (el) IMPORT	T 111
Strom IMPORT: Entsorgung IMPORT	T 55
Strom IMPORT: Holz IMPORT	T 59
Strom IMPORT: KP IMPORT	T 88
Strom IMPORT: LWC IMPORT	T 38
Strom IMPORT: SC IMPORT	T 26

Strom IMPORT: Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 103
Strom IMPORT: ZDP IMPORT	T 5
Sulfat- Zellstoff IMPORT	T 21
Talkum: LWC D	T 232
Talkum: SC D	T 210
TMP D: LWC D	T 158
TMP D: ZDP D	T 129
Verbrauch Strom Äq	T 298
Verbrauch Wärme Äq	T 303
Versand D: KP, Frischfaser D	T 258
Versand D: LWC D	T 240
Versand D: Recy-KP D	T 275
Versand D: SC D	T 217
Versand D: ZDP D	T 193
Versand IMPORT: KP IMPORT	T 22
Versand IMPORT: LWC IMPORT	T 45
Versand IMPORT: SC IMPORT	T 44
Versand IMPORT: ZDP IMPORT	T 24
Wasserglas: DIP_LWC D	T 160
Wasserglas: DIP_Recy-KP D	T 171
Wasserglas: DIP_SC D	T 144
Wasserglas: DIP_ZDP D	T 121
Wasserglas: LWC IMPORT	T 37
Wasserglas: TMP_LWC D	T 156
Wasserglas: TMP_ZDP D	T 130
Wasserglas: ZDP IMPORT	T 2
ZDP D	T 192
ZDP Export	T 194
ZDP IMPORT	T 11
Zeitungsdruck D	T 198

Tabelle 41: Zuordnung der Transitionen zu den Sektoren (gegliedert nach Sektoren)

Forst	
T59	Strom NORD: Holz NORD
T60	Stammholz NORD
T61	Forstmaschinen: Holz NORD
T62	Industrieholz NORD
T64	Sägewerk NORD
T65	Forstmaschinen: Holz BRD
T66	Industrieholz BRD
T67	Strom BRD: Holz BRD
T68	Stammholz BRD
T71	Sägewerk BRD
Faser/Papier NORD	
T1	Kaolin: ZDP NORD
T2	Wasserglas: ZDP NORD
T3	NaOH: ZDP NORD
T4	Kaolin: LWC NORD
T5	Strom NORD: ZDP NORD
T6	HKW Heizöl S: ZDP NORD
T7	HKW Erdgas: ZDP NORD
T8	HKW SK: ZDP NORD
T9	HKW TORF: ZDP NORD
T10	HKW Reststoffe: ZDP NORD
T11	ZDP NORD
T18	SC NORD
T19	LWC NORD
T20	KP NORD
T21	Sulfat- Zellstoff NORD
T25	Kaolin: SC NORD
T26	Strom NORD: SC NORD
T27	HKW Heizöl S: SC NORD
T28	HKW Erdgas: SC NORD
T29	HKW SK: SC NORD

T30	HKW Torf: SC NORD
T31	HKW Reststoffe: SC NORD
T35	Stärke: LWC NORD
T36	Latex: LWC NORD
T37	Wasserglas: LWC NORD
T38	Strom NORD: LWC NORD
T39	HKW Heizöl S: LWC NORD
T40	HKW Erdgas: LWC NORD
T41	HKW SK: LWC NORD
T42	HKW Torf: LWC NORD
T43	HKW Reststoffe: LWC NORD
T52	Kaolin: KP NORD
T54	DIP NORD
T81	Stärke: KP NORD
T82	H2O2: KP NORD
T83	H2SO4: KP NORD
T84	Na-Chlorat: KP NORD
T85	NaOH: KP NORD
T86	Sauerstoff: KP NORD
T87	SO2: KP NORD
T88	Strom NORD: KP NORD
T89	HKW Heizöl S: KP NORD
T90	HKW SK: KP NORD
T91	HKW Torf: KP NORD
T92	HKW Reststoffe: KP NORD
T97	CaO: Sulfat- Zellstoff NORD
T98	H2O2: Sulfat- Zellstoff NORD
T99	H2SO4: Sulfat- Zellstoff NORD
T100	Na-Chlorat: Sulfat- Zellstoff NORD
T101	Sauerstoff: Sulfat- Zellstoff NORD
T102	NaOH: Sulfat- Zellstoff NORD
T103	Strom NORD: Sulfat- Zellstoff NORD
T104	HKW Heizöl S: Sulfat- Zellstoff NORD
T105	HKW Erdgas: Sulfat- Zellstoff NORD
T106	HKW Reststoffe: Sulfat- Zellstoff NORD
T111	Strom NORD: Energie (el) NORD
Faser BRD	
T135	Na-Dithionit: SGW_SC BRD
T136	Strom BRD: SGW_SC BRD
T137	HKW Erdgas (E,el): SGW_SC BRD
T138	HKW Heizöl S (E,el): SGW_SC BRD
T139	HKW Erdgas (E,th): DIP_ZDP BRD
T140	HKW Reststoffe (E,th): DIP_ZDP BRD
T141	HKW SK (E,el): SGW_SC BRD
T142	SGW BRD: SC BRD
T143	NaOH: DIP_SC BRD
T144	Wasserglas: DIP_SC BRD
T145	H2O2: DIP_SC BRD
T146	Strom BRD: DIP_SC BRD
T147	HKW Erdgas (E,el): DIP_SC BRD
T148	HKW Reststoffe (E,el): DIP_SC BRD
T149	HKW Erdgas (E,th): DIP_SC BRD
T150	HKW Reststoffe (E,th): DIP_SC BRD
T151	HW Heizöl EL: DIP_SC-P BRD
T152	HW Erdgas: DIP_SC BRD
T153	DIP BRD: SC BRD
T154	NaOH: TMP_LWC BRD
T155	H2O2: TMP_LWC BRD
T156	Wasserglas: TMP_LWC BRD
T157	Strom BRD: TMP_LWC BRD
T158	TMP BRD: LWC BRD
T159	NaOH: DIP_LWC BRD
T160	Wasserglas: DIP_LWC BRD
T161	H2O2: DIP_LWC BRD
T162	Strom BRD: DIP_LWC BRD
T163	HKW Erdgas (E,el): DIP_LWC BRD
T164	HKW Reststoffe (E,el): DIP_LWC BRD
T165	HKW Erdgas (E,th): DIP_LWC BRD
T166	HKW Reststoffe (E,th): DIP_LWC BRD

T167	HW Heizöl EL: DIP_LWC BRD
T168	HW Erdgas: DIP_LWC BRD
T169	DIP BRD: LWC BRD
T170	NaOH: DIP_Recy-KP BRD
T171	Wasserglas: DIP_Recy-KP BRD
T172	H2O2: DIP_Recy-KP BRD
T173	Strom BRD: DIP_Recy-KP BRD
T174	HKW Erdgas (E,el): DIP_Recy-KP BRD
T175	HKW Reststoffe (E,el): DIP_Recy-KP BRD
T176	HKW Erdgas (E,th): DIP_Recy-KP BRD
T177	HKW Reststoffe (E,th): DIP_Recy-KP BRD
T178	HW Heizöl EL: DIP_Recy-KP BRD
T179	HW Erdgas: DIP_Recy-KP BRD
T180	DIP BRD: Recy-KP BRD
T110	Strom BRD: Energie (el) Faser BRD
T113	Na-Dithionit: SGW_ZDP BRD
T114	Strom BRD: SGW_ZDP BRD
T115	HKW Erdgas: SGW_ZDP BRD
T116	HKW Heizöl S (E,el): SGW_ZDP BRD
T117	HKW SK (E,el): SGW_ZDP BRD
T118	NaOH: DIP_ZDP BRD
T119	SGW BRD: ZDP BRD
T120	H2O2: DIP_ZDP BRD
T121	Wasserglas: DIP_ZDP BRD
T122	Strom BRD: DIP_ZDP BRD
T123	HKW Erdgas (E,el): DIP_ZDP BRD
T124	HKW Reststoffe (E,el): DIP_ZDP BRD
T125	HW Heizöl EL: DIP_ZDP BRD
T126	HW Erdgas: DIP_ZDP BRD
T127	NaOH: TMP_ZDP BRD
T128	DIP BRD: ZDP BRD
T129	TMP BRD: ZDP BRD
T130	Wasserglas: TMP_ZDP BRD
T131	H2O2: TMP_ZDP BRD
T132	Strom BRD: TMP_ZDP BRD
T133	HKW Erdgas (E,el): TMP_ZDP BRD
T134	HKW Reststoffe (E,el): TMP_ZDP BRD
Papier BRD	
T184	Strom BRD: ZDP BRD
T185	HKW Erdgas (E,el): ZDP BRD
T186	HKW Heizöl S: ZDP BRD
T187	HKW Reststoffe (E,el): ZDP BRD
T188	HKW Erdgas (E,th): ZDP BRD
T189	HKW Heizöl S (E,th): ZDP BRD
T190	HKW Reststoffe (E,th): ZDP BRD
T191	HW Heizöl EL: ZDP BRD
T192	ZDP BRD
T267	Kaolin: Recy-KP BRD
T268	Stärke: Recy-KP BRD
T269	Harzdispersion: Recy-KP BRD
T270	Strom BRD: Recy-KP BRD
T271	HKW SK (E,th): Recy-KP BRD
T272	HW Erdgas (E,th): Recy-KP BRD
T273	HKW Reststoffe (E,th): Recy-KP BRD
T274	Recy-KP BRD
T112	Strom BRD: Energie (el) Pap/Verarb BRD
T207	Kaolin: SC BRD
T208	Glimmer: SC BRD
T209	CaCO3: SC BRD
T210	Talkum: SC BRD
T211	Strom BRD: SC BRD
T212	HKW Erdgas (E,el): SC BRD
T213	HKW SK (E,el): SC BRD
T214	HKW Erdgas (E,th): SC BRD
T215	HKW SK (E,th): SC BRD
T216	SC BRD
T231	Kaolin: LWC BRD
T232	Talkum: LWC BRD
T233	CaCO3: LWC BRD

T234	Stärke: LWC BRD
T235	Harzdispersion: LWC BRD
T236	Strom BRD: LWC BRD
T237	HKW SK (E,th): LWC BRD
T238	HW Erdgas (E,th): LWC BRD
T239	LWC BRD
T253	Stärke: KP, Frischfaser BRD
T254	Strom BRD: KP, Frischfaser BRD
T255	HKW Reststoffe (E,el): KP, Frischfaser BRD
T256	HKW Erdgas (E,th): KP, Frischfaser BRD
T257	KP, Frischfaser BRD
T266	Bürokopierer BRD
Verarbeitung	
T198	Zeitungsdruck BRD
T280	Strom BRD: Kopierer
T202	Strom BRD: Zeitungsdruck
T203	Druckfarbe: Zeitungsdruck
T222	SC-Druck BRD
T224	Strom BRD: SC-Druck
T225	HW Erdgas: SC-Druck
T226	HW Heizöl EL: SC-Druck
T227	Druckfarbe: SC-Druck
T249	Strom BRD: LWC-Druck
T250	HW Erdgas: LWC-Druck
T251	Druckfarbe: LWC-Druck
Entsorgung	
T53	Altpapiersortierung NORD
T55	Strom NORD: Entsorgung NORD
T290	MVA Altpapier BRD
T292	Deponie Altpapier BRD
T294	Strom BRD: Entsorgung BRD
T310	HMVA BRD
T311	Hausmülldeponie BRD
T312	Schlackedeponie BRD
T76	Altpapiersortierung BRD
T77	Strom BRD: Altpapier BRD
Transport	
T12	LKW: SC NORD
T13	LKW: ZDP NORD
T14	Bahn: SC NORD
T15	LKW: ZDP NORD
T16	Bahn: ZDP NORD
T17	HS: SC NORD
T23	HS: ZDP NORD
T32	LKW: SC NORD
T33	Bahn: SC NORD
T34	HS: SC NORD
T46	LKW: LWC NORD
T47	LKW: LWC NORD
T48	Bahn: LWC NORD
T49	Bahn: LWC NORD
T50	HS: LWC NORD
T51	BS: LWC NORD
T56	LKW: DIP NORD
T57	Bahn: DIP NORD
T58	HS: DIP NORD
T63	LKW: Holz NORD
T181	LKW: Sulfat- Zellstoff BRD
T182	Bahn: Sulfat- Zellstoff BRD
T183	HS: Sulfat- Zellstoff BRD
T195	LKW: Zeitungsdruck
T196	Bahn: Zeitungsdruck
T197	BS: Zeitungsdruck
T199	LKW: Zeitungsdruck
T200	Bahn: Zeitungsdruck
T277	LKW: Kopierer
T278	Bahn: Kopierer

T279	BS: Kopierer
T285	LKW: MVA Altpapier BRD
T287	LKW: Altpapier (AzV)
T291	LKW: Deponie Altpapier BRD
T302	LKW: Holzverbrennung Äq
T295	LKW: AP-Verbrennung Äq
T307	LKW: Entsorgung (AzB)
T308	LKW: Entsorgung (AzB)
T69	LKW: Holz BRD
T70	LKW: Holz BRD
T72	BS: Holz BRD
T73	LKW: Holz BRD
T74	Bahn: Holz BRD
T78	LKW: Altpapier BRD
T79	Bahn: Altpapier BRD
T94	LKW: KP NORD
T95	Bahn: KP NORD
T96	HS: KP NORD
T107	LKW: Sulfat- Zellstoff NORD
T108	Bahn: Sulfat- Zellstoff NORD
T109	HS: Sulfat- Zellstoff NORD
T201	HS: Zeitungsdruck
T204	KTP: ZDP Marktversorgung
T219	LKW: SC-Druck
T220	Bahn: SC-Druck
T221	BS: SC-Druck
T223	LKW: SC Marktversorgung
T228	LKW: SC-Druck
T229	Bahn: SC-Druck
T230	HS: SC-Druck
T242	LKW: LWC-Druck
T243	Bahn: LWC-Druck
T244	BS: LWC-Druck
T246	LKW: LWC-Druck
T247	Bahn: LWC-Druck
T248	HS: LWC-Druck
T260	LKW: Kopierer
T261	Bahn: Kopierer
T262	BS: Kopierer
T263	LKW: Kopierer
T264	Bahn: Kopierer
T265	HS: Kopierer
T252	LKW: LWC Marktversorgung
Äquivalenzprozesse	
T297	AP-Verbrennung (HKW) Äq
T299	Strom BRD: Strom Äq
T300	Holzverbrennung (HKW) Äq
T304	HKW SK: Wärme Äq
T305	HKW BK: Wärme Äq

Tabelle 42: Zuordnung der Transitionen zu Subsystemen (gegliedert nach Transitionsnummern)

Transitionsnummer	Prozess	SBB-Verweis
T1	Kaolin: ZDP NORD	Subsystem NORD
T10	HKW Reststoffe: ZDP NORD	Subsystem NORD
T100	Na-Chlorat: Sulfat- Zellstoff NORD	Subsystem NORD
T101	Sauerstoff: Sulfat- Zellstoff NORD	Subsystem NORD
T102	NaOH: Sulfat- Zellstoff NORD	Subsystem NORD
T103	Strom NORD: Sulfat- Zellstoff NORD	Subsystem NORD
T104	HKW Heizöl S: Sulfat- Zellstoff NORD	Subsystem NORD
T105	HKW Erdgas: Sulfat- Zellstoff NORD	Subsystem NORD
T106	HKW Reststoffe: Sulfat- Zellstoff NORD	Subsystem NORD
T11	ZDP NORD	Subsystem NORD
T110	Strom BRD: Energie (el) Faser BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T111	Strom NORD: Energie (el) NORD	Subsystem NORD
T112	Strom BRD: Energie (el) Pap/Verarb BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T113	Na-Dithionit: SGW ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T114	Strom BRD: SGW ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung

T115	HKW Erdgas: SGW_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T116	HKW Heizöl S (E,el): SGW_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T117	HKW SK (E,el): SGW_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T118	NaOH: DIP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T119	SGW BRD: ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T120	H2O2: DIP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T121	Wasserglas: DIP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T122	Strom BRD: DIP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T123	HKW Erdgas (E,el): DIP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T124	HKW Reststoffe (E,el): DIP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T125	HW Heizöl EL: DIP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T126	HW Erdgas: DIP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T127	NaOH: TMP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T128	DIP BRD: ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T129	TMP BRD: ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T130	Wasserglas: TMP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T131	H2O2: TMP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T132	Strom BRD: TMP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T133	HKW Erdgas (E,el): TMP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T134	HKW Reststoffe (E,el): TMP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T135	Na-Dithionit: SGW_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T136	Strom BRD: SGW_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T137	HKW Erdgas (E,el): SGW_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T138	HKW Heizöl S (E,el): SGW_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T139	HKW Erdgas (E,th): DIP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T140	HKW Reststoffe (E,th): DIP_ZDP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T141	HKW SK (E,el): SGW_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T142	SGW BRD: SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T143	NaOH: DIP_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T144	Wasserglas: DIP_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T145	H2O2: DIP_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T146	Strom BRD: DIP_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T147	HKW Erdgas (E,el): DIP_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T148	HKW Reststoffe (E,el): DIP_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T149	HKW Erdgas (E,th): DIP_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T150	HKW Reststoffe (E,th): DIP_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T151	HW Heizöl EL: DIP_SC-P BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T152	HW Erdgas: DIP_SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T153	DIP BRD: SC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T154	NaOH: TMP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T155	H2O2: TMP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T156	Wasserglas: TMP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T157	Strom BRD: TMP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T158	TMP BRD: LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T159	NaOH: DIP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T160	Wasserglas: DIP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T161	H2O2: DIP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T162	Strom BRD: DIP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T163	HKW Erdgas (E,el): DIP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T164	HKW Reststoffe (E,el): DIP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T165	HKW Erdgas (E,th): DIP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T166	HKW Reststoffe (E,th): DIP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T167	HW Heizöl EL: DIP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T168	HW Erdgas: DIP_LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T169	DIP BRD: LWC BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T170	NaOH: DIP_Recy-KP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T171	Wasserglas: DIP_Recy-KP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T172	H2O2: DIP_Recy-KP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T173	Strom BRD: DIP_Recy-KP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T174	HKW Erdgas (E,el): DIP_Recy-KP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T175	HKW Reststoffe (E,el): DIP_Recy-KP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T176	HKW Erdgas (E,th): DIP_Recy-KP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T177	HKW Reststoffe (E,th): DIP_Recy-KP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T178	HW Heizöl EL: DIP_Recy-KP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T179	HW Erdgas: DIP_Recy-KP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T18	SC NORD	Subsystem NORD
T180	DIP BRD: Recy-KP BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T184	Strom BRD: ZDP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T185	HKW Erdgas (E,el): ZDP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T186	HKW Heizöl S: ZDP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung

T187	HKW Reststoffe (E,el): ZDP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T188	HKW Erdgas (E,th): ZDP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T189	HKW Heizöl S (E,th): ZDP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T19	LWC NORD	Subsystem NORD
T190	HKW Reststoffe (E,th): ZDP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T191	HW Heizöl EL: ZDP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T192	ZDP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T198	Zeitungsdruck BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T2	Wasserglas: ZDP NORD	Subsystem NORD
T20	KP NORD	Subsystem NORD
T202	Strom BRD: Zeitungsdruck	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T203	Druckfarbe: Zeitungsdruck	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T206	Diesel: BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T207	Kaolin: SC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T208	Glimmer: SC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T209	CaCO ₃ : SC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T21	Sulfat- Zellstoff NORD	Subsystem NORD
T210	Talkum: SC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T211	Strom BRD: SC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T212	HKW Erdgas (E,el): SC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T213	HKW SK (E,el): SC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T214	HKW Erdgas (E,th): SC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T215	HKW SK (E,th): SC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T216	SC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T222	SC-Druck BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T224	Strom BRD: SC-Druck	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T225	HW Erdgas: SC-Druck	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T226	HW Heizöl EL: SC-Druck	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T227	Druckfarbe: SC-Druck	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T231	Kaolin: LWC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T232	Talkum: LWC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T233	CaCO ₃ : LWC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T234	Stärke: LWC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T235	Harzdispersion: LWC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T236	Strom BRD: LWC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T237	HKW SK (E,th): LWC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T238	HW Erdgas (E,th): LWC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T239	LWC BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T249	Strom BRD: LWC-Druck	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T25	Kaolin: SC NORD	Subsystem NORD
T250	HW Erdgas: LWC-Druck	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T251	Druckfarbe: LWC-Druck	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T253	Stärke: KP, Frischfaser BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T254	Strom BRD: KP, Frischfaser BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T255	HKW Reststoffe (E,el): KP, Frischfaser BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T256	HKW Erdgas (E,th): KP, Frischfaser BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T257	KP, Frischfaser BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T26	Strom NORD: SC NORD	Subsystem NORD
T266	Bürokopierer BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T267	Kaolin: Recy-KP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T268	Stärke: Recy-KP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T269	Harzdispersion: Recy-KP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T27	HKW Heizöl S: SC NORD	Subsystem NORD
T270	Strom BRD: Recy-KP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T271	HKW SK (E,th): Recy-KP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T272	HW Erdgas (E,th): Recy-KP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T273	HKW Reststoffe (E,th): Recy-KP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T274	Recy-KP BRD	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T28	HKW Erdgas: SC NORD	Subsystem NORD
T280	Strom BRD: Kopierer	Subsystem BRD Papierherstellung u. -verarbeitung
T29	HKW SK: SC NORD	Subsystem NORD
T290	MVA Altpapier BRD	Subsystem Entsorgung
T292	Deponie Altpapier BRD	Subsystem Entsorgung
T294	Strom BRD: Entsorgung BRD	Subsystem Entsorgung
T297	AP-Verbrennung (HKW) Äq	Subsystem Äquivalenzprozesse
T299	Strom BRD: Strom Äq	Subsystem Äquivalenzprozesse
T3	NaOH: ZDP NORD	Subsystem NORD
T30	HKW Torf: SC NORD	Subsystem NORD
T300	Holzverbrennung (HKW) Äq	Subsystem Äquivalenzprozesse
T304	HKW SK: Wärme Äq	Subsystem Äquivalenzprozesse

T305	HKW BK: Wärme Äq	Subsystem Äquivalenzprozesse
T31	HKW Reststoffe: SC NORD	Subsystem NORD
T310	HMVA BRD	Subsystem Entsorgung
T311	Hausmülldeponie BRD	Subsystem Entsorgung
T312	Schlackedeponie BRD	Subsystem Entsorgung
T35	Stärke: LWC NORD	Subsystem NORD
T36	Latex: LWC NORD	Subsystem NORD
T37	Wasserglas: LWC NORD	Subsystem NORD
T38	Strom NORD: LWC NORD	Subsystem NORD
T39	HKW Heizöl S: LWC NORD	Subsystem NORD
T4	Kaolin: LWC NORD	Subsystem NORD
T40	HKW Erdgas: LWC NORD	Subsystem NORD
T41	HKW SK: LWC NORD	Subsystem NORD
T42	HKW Torf: LWC NORD	Subsystem NORD
T43	HKW Reststoffe: LWC NORD	Subsystem NORD
T5	Strom NORD: ZDP NORD	Subsystem NORD
T52	Kaolin: KP NORD	Subsystem NORD
T53	Altpapiersortierung NORD	Subsystem NORD
T54	DIP NORD	Subsystem NORD
T55	Strom NORD: Entsorgung NORD	Subsystem NORD
T59	Strom NORD: Holz NORD	Subsystem NORD
T6	HKW Heizöl S: ZDP NORD	Subsystem NORD
T60	Stammholz NORD	Subsystem NORD
T61	Forstmaschinen: Holz NORD	Subsystem NORD
T62	Industrieholz NORD	Subsystem NORD
T64	Sägewerk NORD	Subsystem NORD
T65	Forstmaschinen: Holz BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T66	Industrieholz BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T67	Strom BRD: Holz BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T68	Stammholz BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T7	HKW Erdgas: ZDP NORD	Subsystem NORD
T71	Sägewerk BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T76	Altpapiersortierung BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T77	Strom BRD: Altpapier BRD	Subsystem BRD Faserbereitstellung
T8	HKW SK: ZDP NORD	Subsystem NORD
T81	Stärke: KP NORD	Subsystem NORD
T82	H2O2: KP NORD	Subsystem NORD
T83	H2SO4: KP NORD	Subsystem NORD
T84	Na-Chlorat: KP NORD	Subsystem NORD
T85	NaOH: KP NORD	Subsystem NORD
T86	Sauerstoff: KP NORD	Subsystem NORD
T87	SO2: KP NORD	Subsystem NORD
T88	Strom NORD: KP NORD	Subsystem NORD
T89	HKW Heizöl S: KP NORD	Subsystem NORD
T9	HKW TORF: ZDP NORD	Subsystem NORD
T90	HKW SK: KP NORD	Subsystem NORD
T91	HKW Torf: KP NORD	Subsystem NORD
T92	HKW Reststoffe: KP NORD	Subsystem NORD
T97	CaO: Sulfat- Zellstoff NORD	Subsystem NORD
T98	H2O2: Sulfat- Zellstoff NORD	Subsystem NORD
T99	H2SO4: Sulfat- Zellstoff NORD	Subsystem NORD

Tabelle 43: Transportbedingte CO₂-Emissionen im Szenario AP HAUPT I

Transporte Forstwirtschaft			
Stelle	Prozess	CO2 (kg)	Anteil (%)
T61	Forstmaschinen: Holz IMPORT	20.184	
T65	Forstmaschinen: Holz D	4.670	
	Summe:	24.854	0,27
Holztransporte			
Stelle	Prozess	CO2 (kg)	Anteil (%)
T63	LKW: Holz IMPORT	13.628	
T73	LKW: Holz D	13.656	
T69	LKW: Holz D	7.986	
T70	LKW: Holz D	7.514	
T74	Bahn: Holz D	2.072	
T72	BS: Holz D	950	
	Summe:	45.806	0,50
Altpapiertransporte zur Verwertung			
Stelle	Prozess	CO2 (kg)	Anteil (%)
T57	Bahn: DIP IMPORT	545	
T79	Bahn: Altpapier D	1.538	
T78	LKW: Altpapier D	29.193	
T287	LKW: Altpapier (AzV)	28.162	
T56	LKW: DIP IMPORT	2.558	
T58	HS: DIP IMPORT	388	
	Summe:	62.383	0,68
Altpapiertransporte zur Beseitigung			
Stelle	Prozess	CO2 (kg)	Anteil (%)
T291	LKW: Deponie Altpapier D	4.392	
T285	LKW: MVA Altpapier D	1.637	
	Summe:	6.028	0,07
Transporte produktionsspezifischer Abfälle zur Beseitigung			
Stelle	Prozess	CO2 (kg)	Anteil (%)
T308	LKW: Entsorgung (AzB)	3.075	
T307	LKW: Entsorgung (AzB)	770	
	Summe:	3.845	0,04
Sulfat-Zellstofftransporte			
Stelle	Prozess	CO2 (kg)	Anteil (%)
T107	LKW: Sulfat- Zellstoff IMPORT	15.784	
T181	LKW: Sulfat- Zellstoff D	6.378	
T109	HS: Sulfat- Zellstoff IMPORT	1.304	
T183	HS: Sulfat- Zellstoff D	11.724	
T108	Bahn: Sulfat- Zellstoff IMPORT	6.012	
T182	Bahn: Sulfat- Zellstoff D	5.145	
	Summe:	46.347	0,50

Tabelle 44: Transportbedingte CO₂-Emissionen im Szenario AP HAUPT I (Fortsetzung der oberen Tabelle)

Papiertransporte			
Stelle	Prozess	CO2 (kg)	Anteil (%)
T49	Bahn: LWC IMPORT	1.539	
T48	Bahn: LWC IMPORT	482	
T16	Bahn: ZDP IMPORT	5.328	
T32	LKW: SC IMPORT	3.471	
T12	LKW: SC IMPORT	382	
T15	LKW: ZDP IMPORT	4.826	
T13	LKW: ZDP IMPORT	162	
T47	LKW: LWC IMPORT	2.118	
T46	LKW: LWC IMPORT	1.042	
T94	LKW: KP IMPORT	3.170	
T34	HS: SC IMPORT	58	
T17	HS: SC IMPORT	23	
T50	HS: LWC IMPORT	5	
T96	HS: KP IMPORT	55	
T23	HS: ZDP IMPORT	87	
T51	BS: LWC IMPORT	317	
T33	Bahn: SC IMPORT	578	
T14	Bahn: SC IMPORT	233	
T95	Bahn: KP IMPORT	3.193	
T264	Bahn: Kopierer	2.390	
T278	Bahn: Kopierer	39	
T261	Bahn: Kopierer	19	
T279	BS: Kopierer	25	
T262	BS: Kopierer	12	
T199	LKW: Zeitungsdruck	23.931	
T197	BS: Zeitungsdruck	291	
T265	HS: Kopierer	2.500	
T230	HS: SC-Druck	3.080	
T201	HS: Zeitungsdruck	9.888	
T248	HS: LWC-Druck	6.033	
T221	BS: SC-Druck	69	
T263	LKW: Kopierer	6.051	
T195	LKW: Zeitungsdruck	17.675	
T246	LKW: LWC-Druck	14.602	
T242	LKW: LWC-Druck	8.191	
T228	LKW: SC-Druck	7.454	
T219	LKW: SC-Druck	4.170	
T277	LKW: Kopierer	1.513	
T260	LKW: Kopierer	756	
T244	BS: LWC-Druck	135	
T200	Bahn: Zeitungsdruck	9.453	
T196	Bahn: Zeitungsdruck	451	
T229	Bahn: SC-Druck	2.945	
T220	Bahn: SC-Druck	106	
T247	Bahn: LWC-Druck	5.768	
T243	Bahn: LWC-Druck	209	
T252	LKW: LWC_Marktversorgung	27.962	
T223	LKW: SC_Marktversorgung	14.511	
	Summe:	197.300	2,15

Tabelle 45: Bezeichnung der Szenarien im Anhang III, Hauptbericht und in der UBA-Auswertung

UBA Auswertung	Ifeu Bericht			
Bezeichnung der Szenarien	Bezeichnung der Szenarien	Sachbilanz (Tabellennummer)	Wirkungs- abschätzung (Tabellennummer)	Spezifischer Beitrag (Tabellennummer)
AP HAUPT I	HAUPT (HKW _{Äq} Kohle)	32	59	77
AP HAUPT II	HAUPT (HKW _{Äq} Erdgas)	54	74	92
AP TIEF I	TIEF (AP MVA Deponie, HKW _{Äq} Kohle)	34	60	78
AP TIEF II	TIEF (AP MVA, HKW _{Äq} Kohle)	37	63	81
AP TIEF III	TIEF ((HKW AP, HKW _{Äq} Kohle)	36	62	80
AP TIEF IV	TIEF (HKW AP, HKW _{Äq} Erdgas)	55	74	92
AP TIEF V	TIEF (AP MVA) (Gas)	*)	*)	*)
AP HOCH I	HOCH (Holz Fläche1, HKW _{Äq} Kohle)	33	59	77
AP HOCH II	HOCH (HKW Holz, HKW _{Äq} Kohle)	35	61	79
AP HOCH III	HOCH (HKW Holz, HKW _{Äq} Erdgas)	56	75	93
ZDP AP 0	ZDP AP 0	38	64	82
ZDP AP 100	ZDP AP 100	39	64	82
SC AP 0	SC AP 0	40	65	83
SC AP 30	SC AP 30	41	65	83
LWC AP 0	LWC AP 0	42	66	84
LWC AP 30	LWC AP 30	43	66	84
KOP AP 0	KOP FF TCF	44	67	85
KOP AP 100	KOP RCP	45	67	85
Sulfat TCF	Sulfat TCF	46	68	86
Sulfat ECF	Sulfat ECF	47	68	86
Sulfat CL ₂	Sulfat CL ₂	48	69	87
Sulfat TCF BRD	Sulfat TCF BRD	49	70	88
Sulfit TCF BRD	Sulfit TCF BRD	50	71	89
ZELLSTOFF FERN	ZELLSTOFF FERN	51	72	90

*) Anhang III, Hauptbericht, Anlage 4

Tabelle 46: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT I / AP HOCH I

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			ökologische Priorität
	Hauptszenario, (Anhang III, Hauptbericht, Tab. 77)	AP HOCH I, (Anhang III, Hauptbericht, Tab. 77)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbeanspruchung:						
Natürlichkeitsklasse 2	2.936.551	2.822.984	A	A	vernachlässigbar	entfällt
Natürlichkeitsklasse 3					D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	125.543	123.792	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	553.886	539.406	E	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	906.479	816.311	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.145.242	929.236	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	449.231	439.730	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	891.617	867.416	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	815.225	792.594	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.186.180	1.184.660	C	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.152.674	1.144.288	C	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für spezifischen Beitrag (Hpt_Aphoch(FI1)_5-0):	von	bis				
E	0	564.597				
D	564.597	1.129.194				
C	1.129.194	1.693.790				
B	1.693.790	2.258.387				
A	2.258.387	2.822.984				

Tabelle 47: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT I / AP TIEF I

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			ökologische Priorität
	AP HAUPT I (Anhang III, Hauptbericht, Tab.7 8)	AP TIEF I (Anhang III, Hauptbericht, Tab.78)	Spezifischer Beitrag	Distance-to- Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbearbeitung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	entfällt
Natürlichkeitsklasse 3			A	A	D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	125.543	127.693	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	553.886	579.969	E	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	906.479	1.044.070	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.145.242	1.478.266	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	449.231	453.542	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	891.617	938.579	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	815.225	839.098	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.186.180	1.188.788	D	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.152.674	1.167.666	D	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag (Hpt_APtief(DMVA)_5-0):	von	bis				
E	0	587.310				
D	587.310	1.174.620				
C	1.174.620	1.761.931				
B	1.761.931	2.349.241				
A	2.349.241	2.936.551				

Tabelle 48: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP TIEF II / AP TIEF I

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	Szenario AP TIEF II (Anhang III, Hauptbericht Tab. 81)	Szenario AP TIEF I (Anhang III, Hauptbericht Tab. 78)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbearbeitung:						
Natürlichkeitsklasse 2	3.159.133	3.159.133	A	A	vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3					D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	126.171	127.693	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	567.909	579.969	E	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	893.712	1.044.070	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.143.680	1.478.266	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	438.388	453.542	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	879.378	938.579	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	814.544	839.098	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.195.476	1.188.788	D	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.167.087	1.167.666	D	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für spezifischen Beitrag Sensitiv_1_Aptief(dMVA)_Aptief(MVA)_5-0,bewertet):	von	bis				
E	0	631.827				
D	631.827	1.263.653				
C	1.263.653	1.895.480				
B	1.895.480	2.527.306				
A	2.527.306	3.159.133				

Tabelle 49: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP TIEF III / AP TIEF I

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	Szenario AP TIEF III (Anhang III, Hauptbericht Tab. 80)	Szenario AP TIEF I (Anhang III, Hauptbericht Tab. 78)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbeanspruchung:						
Natürlichkeitsklasse 2	3.159.133	3.159.133	A	A	vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3					D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	124.278	127.693	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	549.826	579.969	E	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	832.426	1.044.070	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.151.780	1.478.266	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	421.258	453.542	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	879.380	938.579	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	840.105	839.098	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.194.959	1.188.788	D	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.184.607	1.167.666	D	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für spezifischen Beitrag	von	bis				
(Sensitiv_2_Aptief(dMVA)_Aptief(APHKW)_5-0,bewertet):						
E	0	631.827				
D	631.827	1.263.653				
C	1.263.653	1.895.480				
B	1.895.480	2.527.306				
A	2.527.306	3.159.133				

Tabelle 50: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP TIEF II / AP TIEF III

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	Szenario AP TIEF II, (Anhang III, Hauptbericht Tab. 81)	Szenario AP TIEF III, (Ifeu-Bericht Tab. 80)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbeanspruchung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3						
Natürlichkeitsklasse 4						
Natürlichkeitsklasse 5						
Krebsrisikopotenzial						
Knappheit fossiler Energieträger						
Treibhauspotenzial						
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)						
Versauerungspotenzial						
Aquatisches Eutrophierungspotenzial						
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial						
Wasserverbrauch						
Belästigung durch Lärm						
Klassenbildung für spezifischen Beitrag (Sensitiv_5_APAP TIEF (APHKW)_ Aptief(APMVA)_5-0,bewertet):	von	bis				
E	0	631.827				
D	631.827	1.263.653				
C	1.263.653	1.895.480				
B	1.895.480	2.527.306				
A	2.527.306	3.159.133				
			A	A		groß
			E	n. b.		n.b.
			E	B		mittel
			D	A		groß
			D	B		mittel
			E	B		mittel
			D	C		mittel
			D	B		mittel
			D	n. b.		n.b.
			D	n. b.		n.b.

Tabelle 51: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT I / AP TIEF II

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	AP HAUPT I (Anhang III, Hauptbericht, Tab.81)	AP TIEF II (Anhang III, Hauptbericht, Tab.81)	Spezifischer Beitrag	Distance-to- Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbeanspruchung:						
Natürlichkeitsklasse 2	2.936.551	3.159.133	A	A	vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3					D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	125.543	126.171	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	553.886	567.909	E	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	906.479	893.712	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.145.242	1.143.680	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	449.231	438.388	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	891.617	879.378	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	815.225	814.544	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.186.180	1.195.476	D	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.152.674	1.167.087	D	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag (Hpt_Aptief(MVA):	von	bis				
E	0	587.310				
D	587.310	1.174.620				
C	1.174.620	1.761.931				
B	1.761.931	2.349.241				
A	2.349.241	2.936.551				

Tabelle 52: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT I / AP TIEF III

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	AP HAUPT I (Anhang III, Hauptbericht, Tab.8 0)	AP TIEF III (Anhang III, Hauptbericht, Tab.8 0)	Spezifischer Beitrag	Distance-to- Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbanspruchung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3				A	D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	125.543	126.171	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	553.886	567.909	E	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	906.479	893.712	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.145.242	1.143.680	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	449.231	438.388	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	891.617	879.378	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	815.225	814.544	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.186.180	1.195.476	D	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.152.674	1.167.087	D	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag (Hpt_Aptief(APHKW)_5-0):	von	bis				
E	0	587.310				
D	587.310	1.174.620				
C	1.174.620	1.761.931				
B	1.761.931	2.349.241				
A	2.349.241	2.936.551				

Tabelle 53: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP TIEF III / AP HOCH I

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	Szenario AP TIEF III, (Anhang III, Hauptbericht Tab. 80)	Szenario AP HOCH I, (Anhang III, Hauptbericht Tab. 77)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbearbeitung:						
Natürlichkeitsklasse 2	3.159.133	2.822.984	A	A	vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3					D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	124.278	123.792	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	549.826	539.406	D	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	832.426	816.311	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.151.780	929.236	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	421.258	439.730	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	879.380	867.416	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	840.105	792.594	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.194.959	1.184.660	C	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.184.607	1.144.288	C	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für spezifischen Beitrag (Sensitiv_3_APhoch(FI1)_Aptief(APHKW)_5-0,bewertet):	von	bis				
E	0	564.597				
D	564.597	1.129.194				
C	1.129.194	1.693.790				
B	1.693.790	2.258.387				
A	2.258.387	2.822.984				

Tabelle 54: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HOCH I / AP HOCH II

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	Szenario AP HOCH I (Anhang III, Hauptbericht Tab. 77)	Szenario AP HOCH II (Anhang III, Hauptbericht Tab. 79)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbeanspruchung:						
Natürlichkeitsklasse 2	2.389.283	3.987.112	A	A	vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3					D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	123.792	124.555	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	539.406	526.886	D	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	816.311	771.468	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	929.236	918.527	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	439.730	425.211	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	867.416	867.416	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	792.594	787.964	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.184.660	1.184.252	C	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.144.288	1.200.990	C	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für spezifischen Beitrag (Sensitiv 7_Aphoch(F14)_AP hoch(HolzHKW)_5-0, bewertet):	von	bis				
E	0	477.857				
D	477.857	955.713				
C	955.713	1.433.570				
B	1.433.570	1.911.426				
A	1.911.426	2.389.283				

Tabelle 55: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT II (Erdgas) / AP TIEF IV (Gas)

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	AP HAUPT II (Erdgas) (Anhang III, Hauptbericht, Tab. 92)	AP TIEF IV (Gas) (Anhang III, Hauptbericht, Tab. 92)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbearbeitung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3				A	D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	124.311	124.226	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	578.064	550.844	E	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	874.371	822.834	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.092.548	1.149.634	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	392.258	418.860	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	891.617	879.380	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	749.131	837.322	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.185.747	1.194.940	D	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.152.610	1.184.605	D	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag ((Gas)-Hpt_Aptief(APHKW)_5-0):	von	bis				
E	0	587.310				
D	587.310	1.174.620				
C	1.174.620	1.761.931				
B	1.761.931	2.349.241				
A	2.349.241	2.936.551				

Tabelle 56: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT II (Erdgas) / AP HOCH III (Erdgas)

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Gesamtbedeutung
	AP HAUPT II (Erdgas) (Anhang III, Hauptbericht, Tab.93)	AP HOCH III (Gas) (Anhang III, Hauptbericht, Tab.93)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbearbeitung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3	2.936.552	2.936.552	A	A	D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	124.311	123.515	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	578.064	547.270	E	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	874.371	736.158	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.092.548	880.047	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	392.258	377.178	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	891.617	867.416	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	749.131	732.241	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.185.747	1.183.887	C	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.152.610	1.200.936	D	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag ((Gas)-Hpt_Aphoch(HKWHHolz)_5-0):	von	bis				
E	0	587.310				
D	587.310	1.174.621				
C	1.174.621	1.761.931				
B	1.761.931	2.349.242				
A	2.349.242	2.936.552				

Tabelle 57: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT II (Erdgas) / AP TIEF V (Erdgas)

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	AP HAUPT II (Erdgas) (Anhang III, Hauptbericht, Tab. 92)	AP TIEF V (Erdgas) (Ergänzungsdaten)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbearbeitung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3	2.936.551	3.159.133	A	A	D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	124.311	125.451	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	578.064	582.039	E	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	874.371	874.947	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.092.548	1.113.087	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	392.258	405.091	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	891.617	879.378	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	749.131	775.918	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.185.747	1.194.931	C	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.152.610	1.167.050	D	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag (H GAS_AP_TIEF AP MVA GAS E7):	von	bis				
E		0				
D	587.310	1.174.620				
C	1.174.620	1.761.931				
B	1.761.931	2.349.241				
A	2.349.241	2.936.551				

Tabelle 58: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich ZDP AP 0 / ZDP AP 100

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	ZDP AP 0 (Anhang III, Hauptbericht, Tab.8 2)	ZDP AP 100 (Anhang III, Hauptbericht, Tab.8 2)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbearbeitung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3				A	D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	130.496	125.075	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	619.664	547.722	E	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	1.202.260	874.559	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.794.062	1.054.232	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	451.594	449.121	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	991.638	880.379	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	863.323	810.552	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.192.172	1.185.549	D	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.204.544	1.148.908	D	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag (ZDP O_100_5-0):	von	bis				
E	0	576.315				
D	576.315	1.152.630				
C	1.152.630	1.728.944				
B	1.728.944	2.305.259				
A	2.305.259	2.881.574				

Tabelle 59: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich SC AP 0 / SC AP 30

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	SC AP 0 (Anhang III, Hauptbericht, Tab.83)	SC AP 30 (Anhang III, Hauptbericht, Tab.83)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbeanspruchung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3						
Natürlichkeitsklasse 4						
Natürlichkeitsklasse 5						
Krebsrisikopotenzial	128.994	2.994.897	E	n. b.	n. b.	n. b.
Knappheit fossiler Energieträger	554.240	546.709	E	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	911.721	865.815	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.172.055	1.053.567	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	451.225	437.100	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	912.281	891.856	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	820.481	799.337	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.219.670	1.205.395	D	n. b.	n. b.	n. b.
Belästigung durch Lärm	1.158.865	1.155.837	D	n. b.	n. b.	n. b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag (SC O_30_5-0):	von	bis				
E	0	598.979				
D	598.979	1.197.959				
C	1.197.959	1.796.938				
B	1.796.938	2.395.918				
A	2.395.918	2.994.897				

Tabelle 60: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich LWC AP 0 / LWC AP 30

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	LWC AP 0 (Anhang III, Hauptbericht, Tab. b.84)	LWC AP 30 (Anhang III, Hauptbericht, Tab. 84)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbeanspruchung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3				A	D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	127.012	122.408	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	552.198	537.925	E	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	902.832	803.594	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.154.344	923.631	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	450.711	441.832	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	900.727	860.896	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	817.008	791.247	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.201.296	1.172.773	C	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.152.298	1.137.290	C	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag (LWC O_30_5-0):	von	bis				
E		0			549.194	
D		549.194			1.098.389	
C		1.098.389			1.647.583	
B		1.647.583			2.196.778	
A		2.196.778			2.745.972	

Tabelle 61: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich KP AP 0 / KP RCP

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	KOP AP 0 (Anhang III, Hauptbericht, Tab.85)	KOP AP 100 (Anhang III, Hauptbericht, Tab.85)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbeanspruchung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3					D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial					n.b.	n.b.
Knaptheit fossiler Energieträger						
Treibhauspotenzial	3.141.292	2.811.452	A	A		
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)						
Versauerungspotenzial	128.817	121.217	E	n. b.		
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	553.822	551.307	E	B	C	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	909.782	894.862	D	A	A	groß
Wasserverbrauch	1.186.590	1.098.028	D	B	D	mittel
Belästigung durch Lärm						
	441.213	443.874	E	B	B	mittel
	917.471	872.111	D	C	B	mittel
	816.787	809.240	D	B	B	mittel
	1.284.751	1.200.511	C	n. b.	n.b.	n.b.
	1.154.862	1.144.437	C	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag (KP FF_RCP_5-0):	von	bis				
E	0	562.290				
D	562.290	1.124.581				
C	1.124.581	1.686.871				
B	1.686.871	2.249.162				
A	2.249.162	2.811.452				

Tabelle 62: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich Sulfat TCF / Sulfat ECF

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	Sulfat TCF (Anhang III, Hauptbericht, Tab.8 6)	Sulfat ECF (Anhang III, Hauptbericht, Tab.86)	Spezifischer Beitrag	Distance-to- Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbeanspruchung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3					D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	128.817	128.932	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	553.822	550.006	E	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	909.782	910.529	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.186.590	1.187.157	D	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	441.213	447.062	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	917.471	904.550	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	816.787	816.989	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.284.751	1.157.005	D	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.154.862	1.154.964	D	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag (KP FF_ECF_5-0):	von	bis				
E	0	610.674				
D	610.674	1.221.348				
C	1.221.348	1.832.023				
B	1.832.023	2.442.697				
A	2.442.697	3.053.371				

Tabelle 63: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich Sulfat TCF / Sulfat Cl₂

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	Sulfat TCF (Anhang III, Hauptbericht, Tab.87)	Sulfat Cl ₂ (Anhang III, Hauptbericht, Tab.87)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbeanspruchung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3						
Natürlichkeitsklasse 4						
Natürlichkeitsklasse 5						
Krebsrisikopotenzial						
	3.141.292	2.941.013	A	A		groß
Knaptheit fossiler Energieträger						
	128.817	127.705	E	n. b.		sehr groß
Treibhauspotenzial						
	553.822	541.957	E	B		n.b.
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)						
	909.782	903.957	D	A		mittel
	1.186.590	1.182.733	C	B		groß
Versauerungspotenzial						
	441.213	446.031	E	B		mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial						
	917.471	914.840	D	C		mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial						
	816.787	811.944	D	B		mittel
Wasserverbrauch						
	1.284.751	1.362.568	C	n. b.		n.b.
Belästigung durch Lärm						
	1.154.862	1.151.485	D	n. b.		n.b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag (KP FF_C12_5-0):	von	bis				
E	0	588.203				
D	588.203	1.176.405				
C	1.176.405	1.764.608				
B	1.764.608	2.352.810				
A	2.352.810	2.941.013				

Tabelle 64: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich KALANDRIEREN / STREICHEN

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	KALAN-DRIEREN (Anhang III, Hauptbericht, Tab. 91)	STREICHEN (Anhang III, Hauptbericht, Tab.	Spezifischer Beitrag	Distance-to- Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbearbeitung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3					D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	117.726	129.703	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	542.740	581.459	D	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	860.326	937.347	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.117.097	1.175.195	C	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	470.074	442.548	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	1.454.148	606.680	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	820.535	821.421	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch		1.216.404	C	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.133.145	1.168.042	C	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag (Kalan_Streich_5-0):	von	bis				
E	0	513.360				
D	513.360	1.026.720				
C	1.026.720	1.540.079				
B	1.540.079	2.053.439				
A	2.053.439	2.566.799				

Tabelle 65: Ökologische Priorität der Wirkungskategorien im Szenarienvergleich AP HAUPT I / Zellstoff FERN

Wirkungskategorie	Einwohneräquivalenzwerte im Szenarienvergleich		Rangbildung der Beurteilungskriterien			Ökologische Priorität
	AP HAUPT I (Anhang III, Hauptbericht, Tab. b.90)	Zellstoff FERN (Anhang III, Hauptbericht, Tab. 90)	Spezifischer Beitrag	Distance-to-Target	Ökologische Gefährdung	
Naturraumbearbeitung:						
Natürlichkeitsklasse 2					vernachlässigbar	---
Natürlichkeitsklasse 3			A	A	D	groß
Natürlichkeitsklasse 4					C	groß
Natürlichkeitsklasse 5					B	sehr groß
Krebsrisikopotenzial	125.543	134.262	E	n. b.	n.b.	n.b.
Knappheit fossiler Energieträger	553.886	564.632	D	B	C	mittel
Treibhauspotenzial	906.479	912.600	D	A	A	groß
Photooxidantienpotenzial (NCPOCP)	1.145.242	1.191.174	C	B	D	mittel
Versauerungspotenzial	449.231	490.923	E	B	B	mittel
Aquatisches Eutrophierungspotenzial	891.617	891.617	D	C	B	mittel
Terrestrisches Eutrophierungspotenzial	815.225	881.788	D	B	B	mittel
Wasserverbrauch	1.186.180	1.186.179	C	n. b.	n.b.	n.b.
Belästigung durch Lärm	1.152.674	1.167.155	C	n. b.	n.b.	n.b.
Klassenbildung für Spezifischen Beitrag (Haupt_Zellferrn_5-0):	von	bis				
E	0	513.360				
D	513.360	1.026.720				
C	1.026.720	1.540.079				
B	1.540.079	2.053.439				
A	2.053.439	2.566.799				

5. T-Diagramme zum Szenarienvergleich

Abbildung 10: Relative Unterschiede zwischen Szenario AP HAUPT I und AP HOCH I bzgl. verschiedener aggregierter Wirkungspotenziale

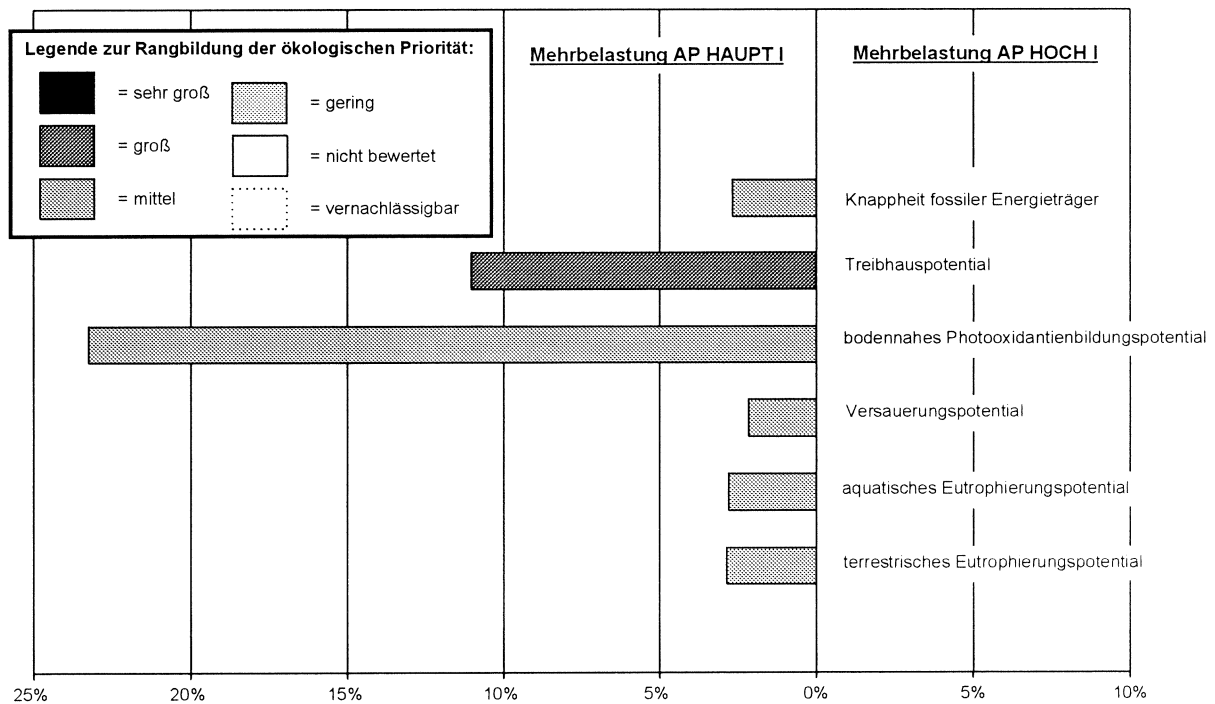


Abbildung 11: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP HOCH I bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

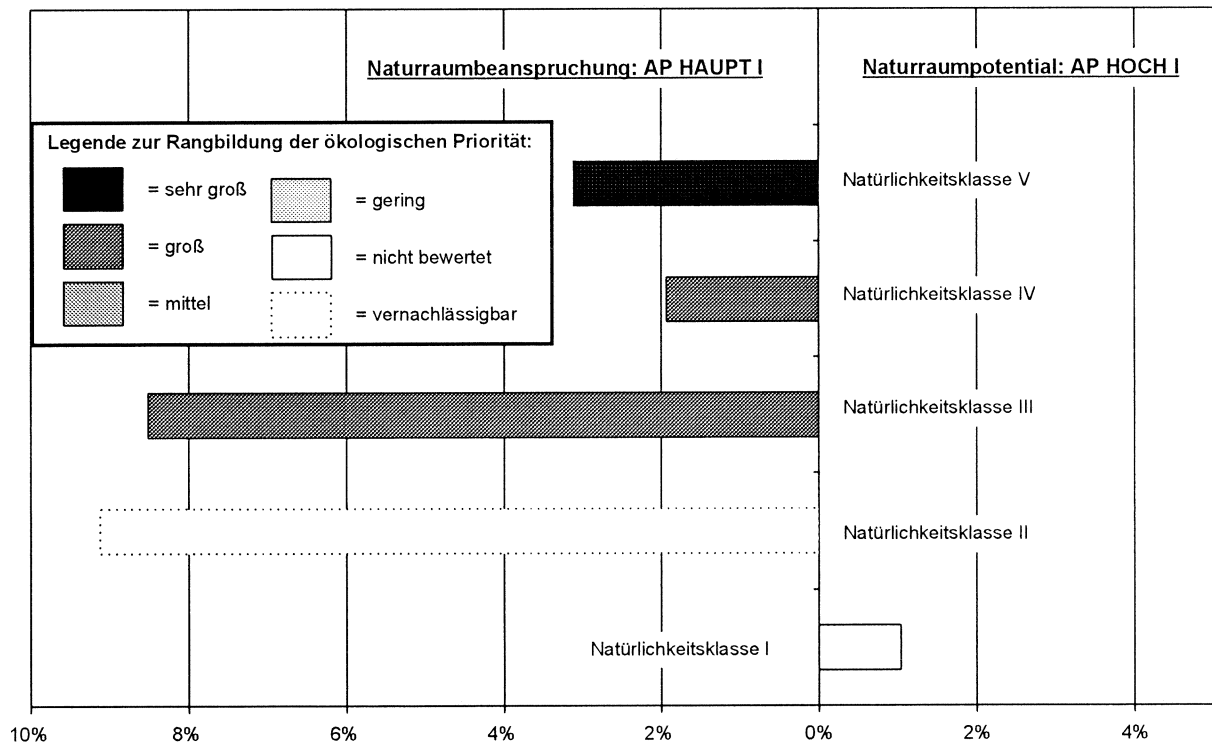


Abbildung 12: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP HOCH I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

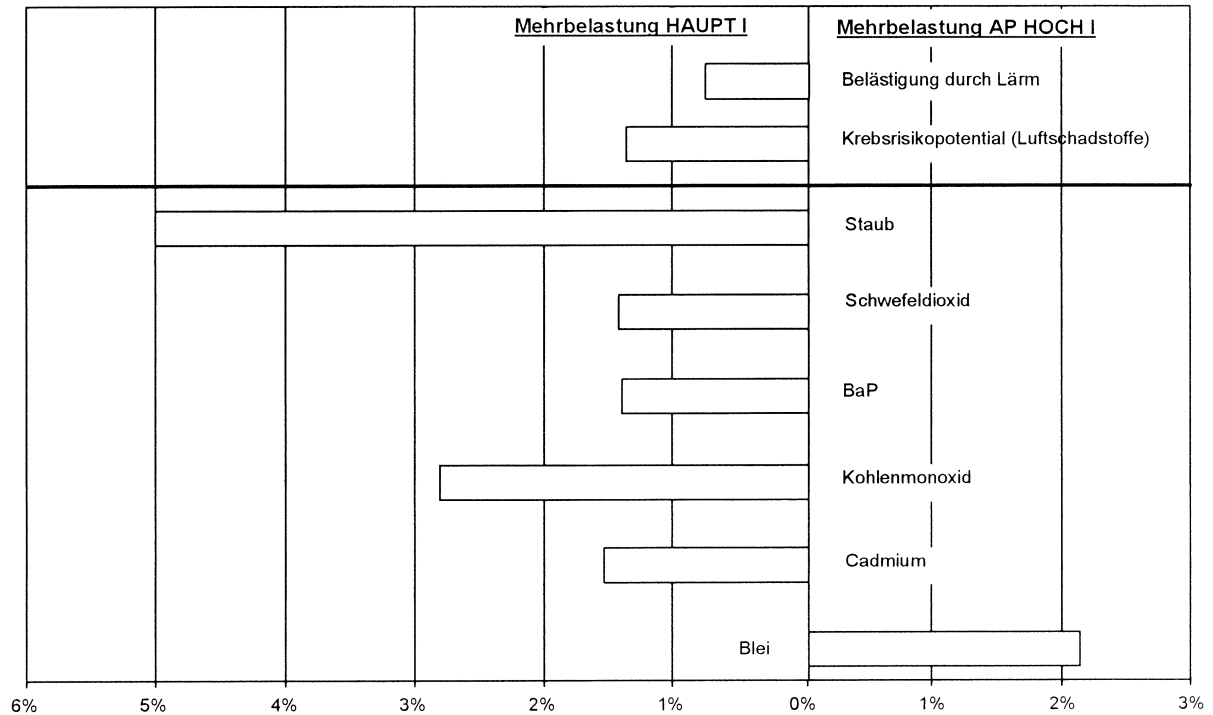


Abbildung 13: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP HOCH I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

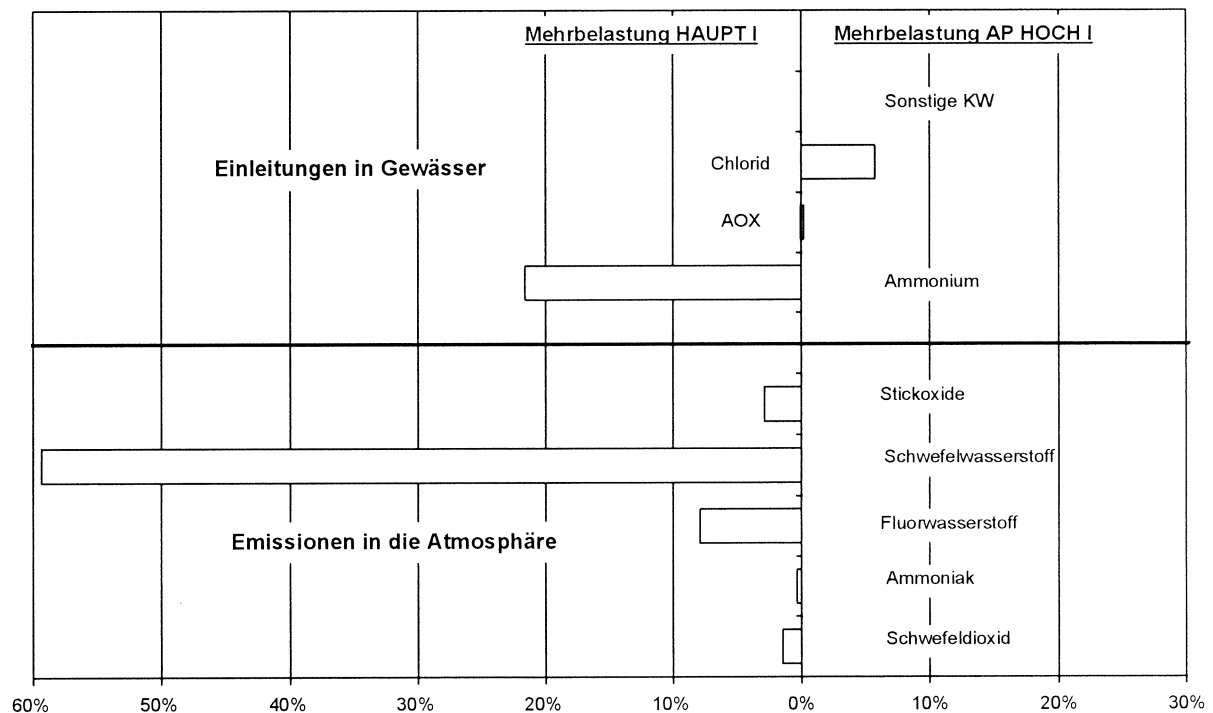


Abbildung 14: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF I bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

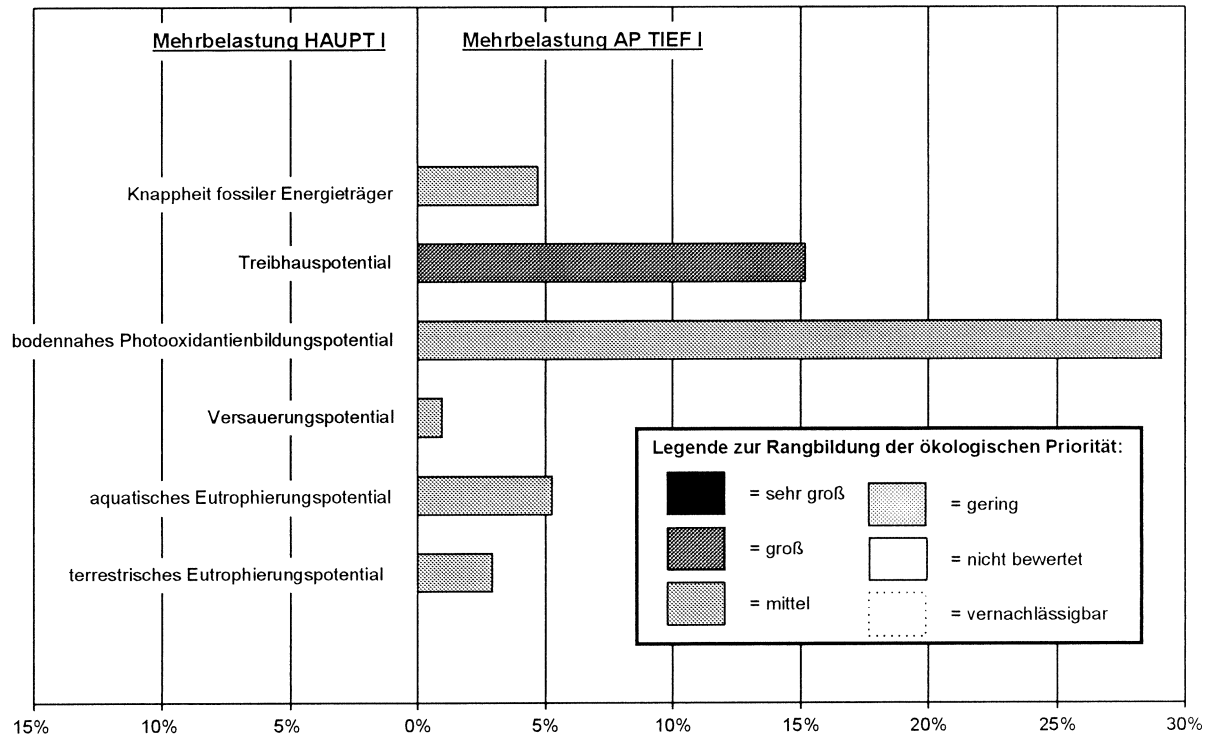


Abbildung 15: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

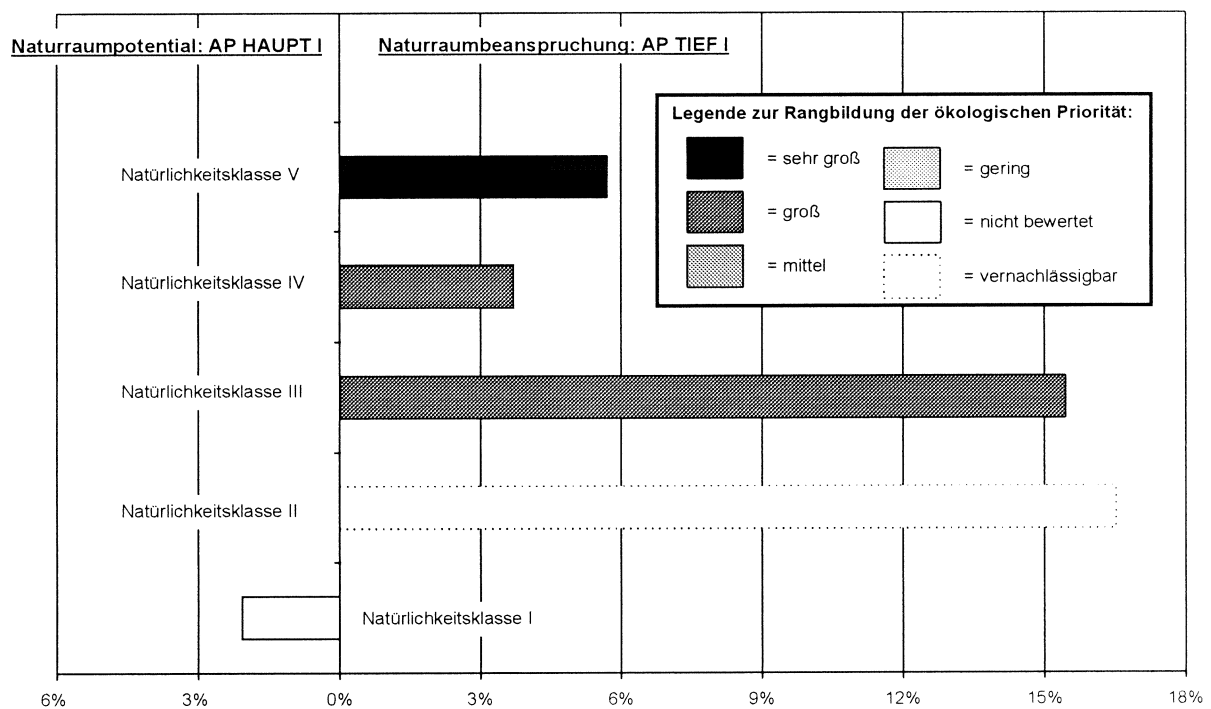


Abbildung 16: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

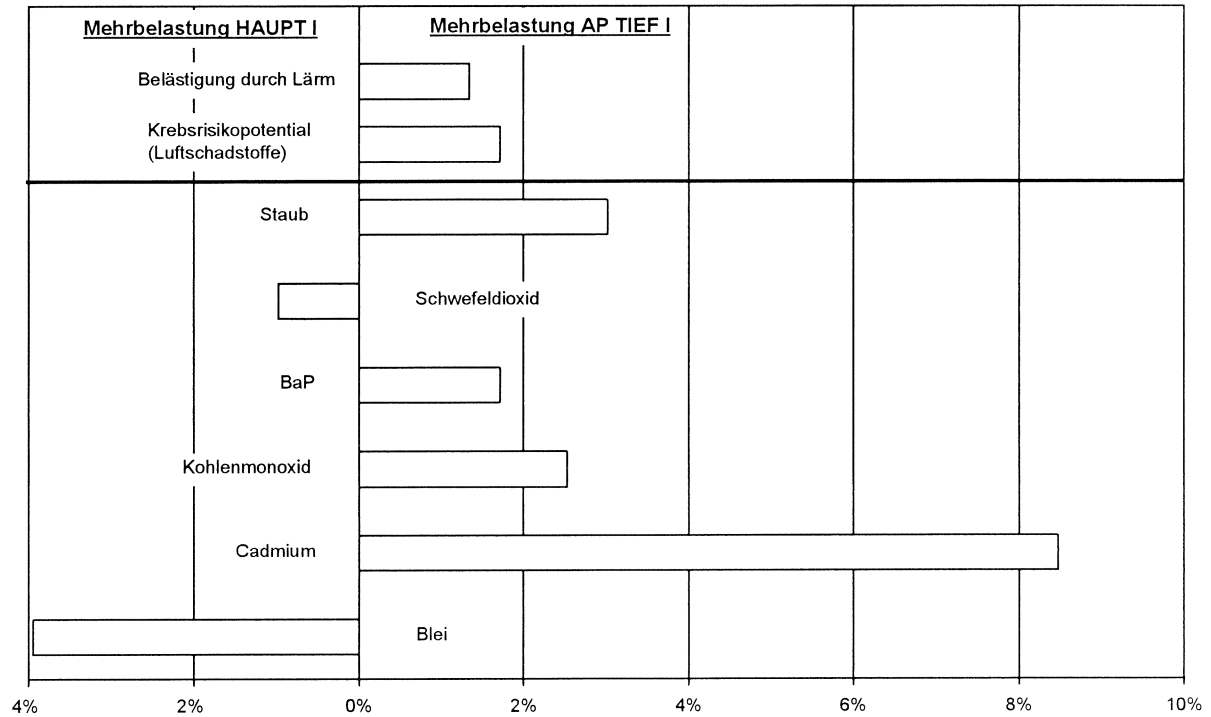


Abbildung 17: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

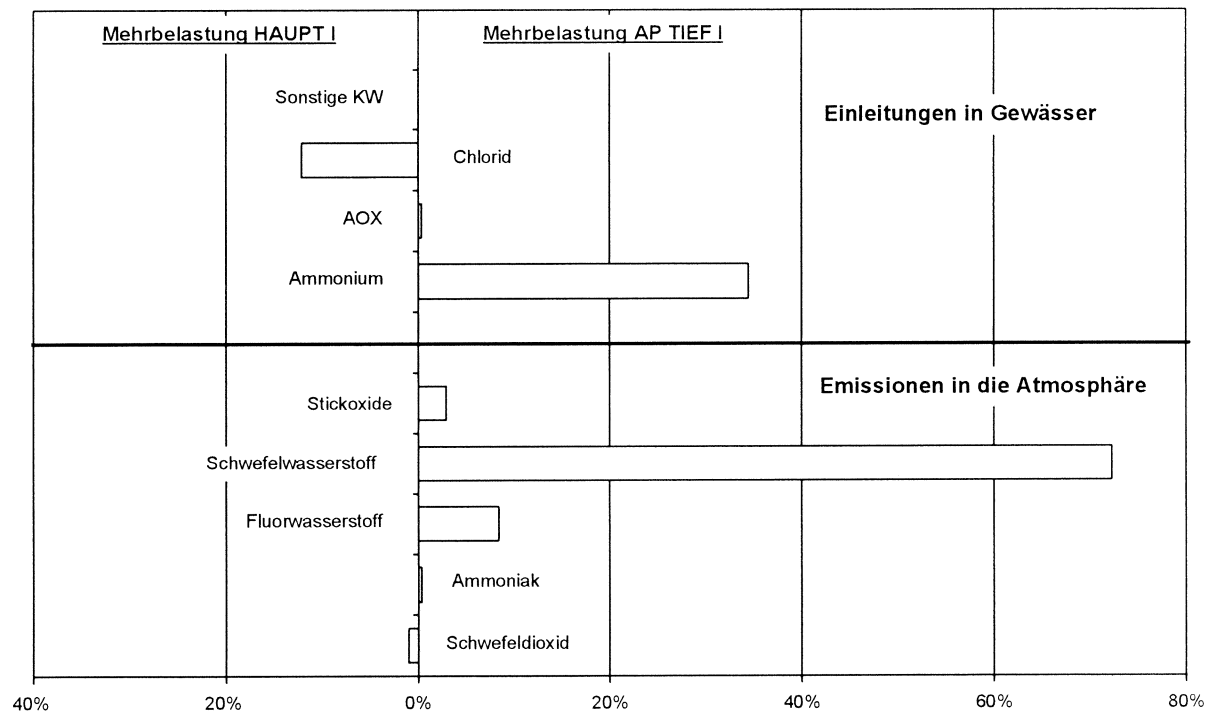


Abbildung 18: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF II und AP TIEF I bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

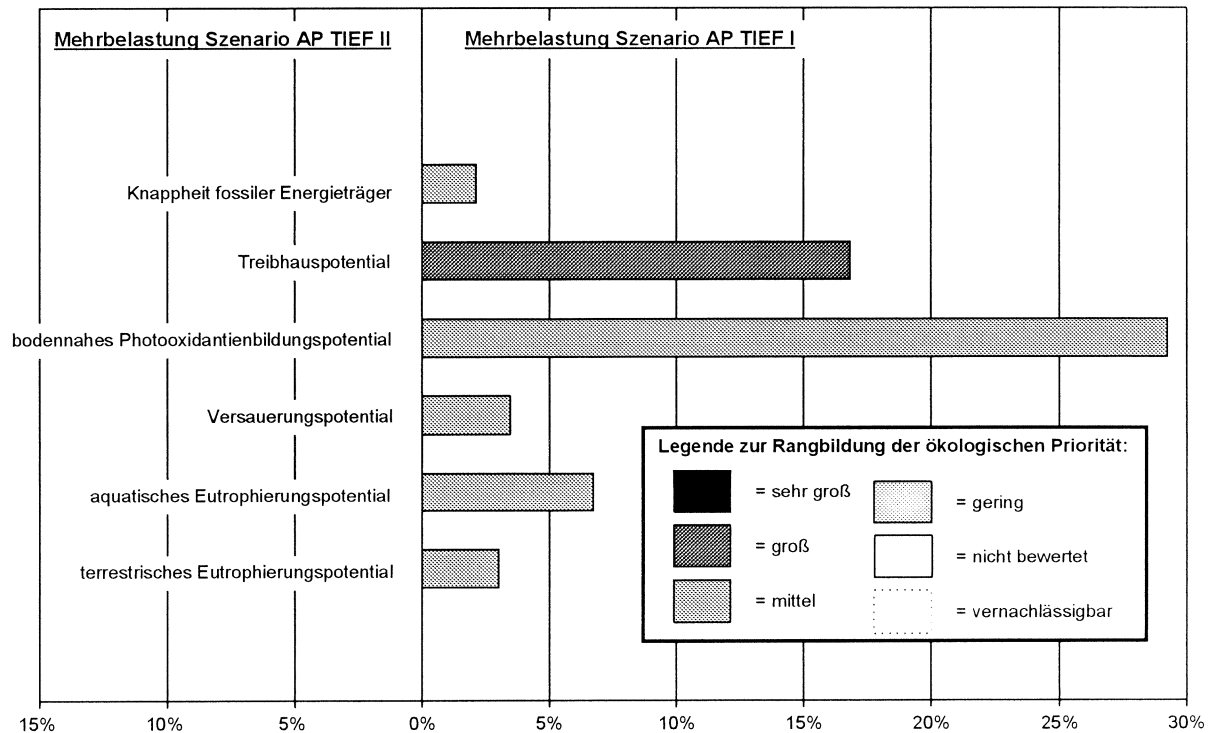


Abbildung 19: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF II und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

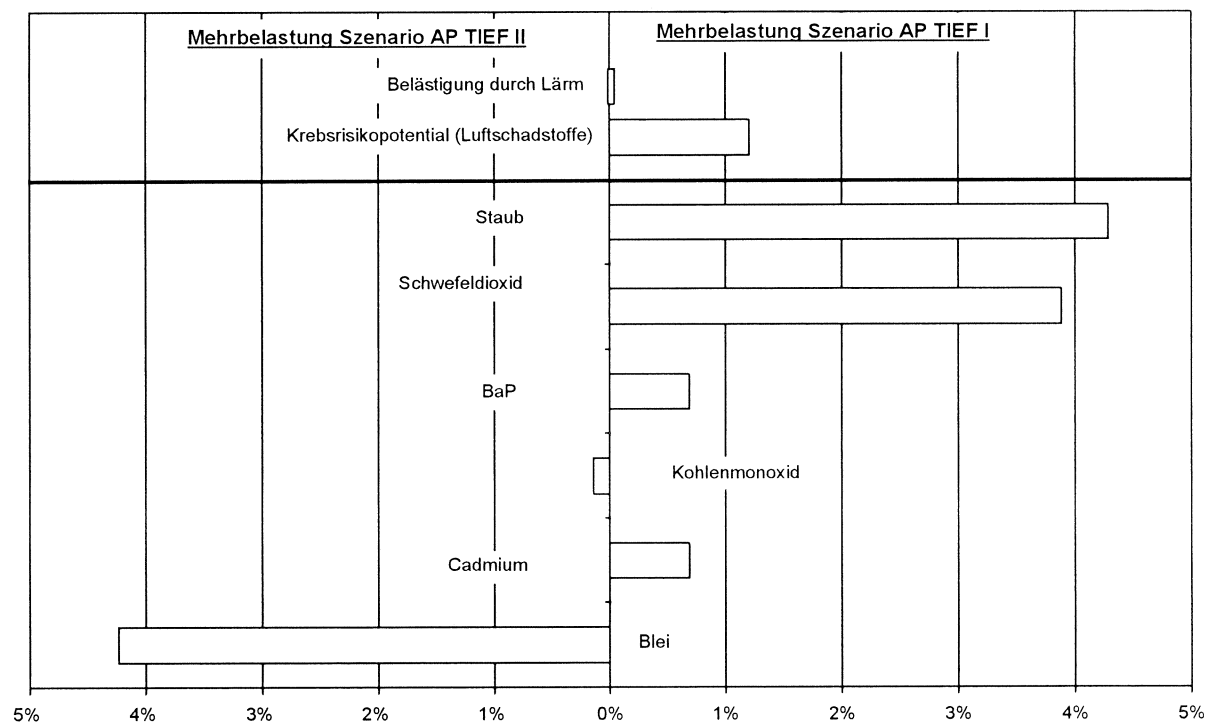


Abbildung 20: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF II und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

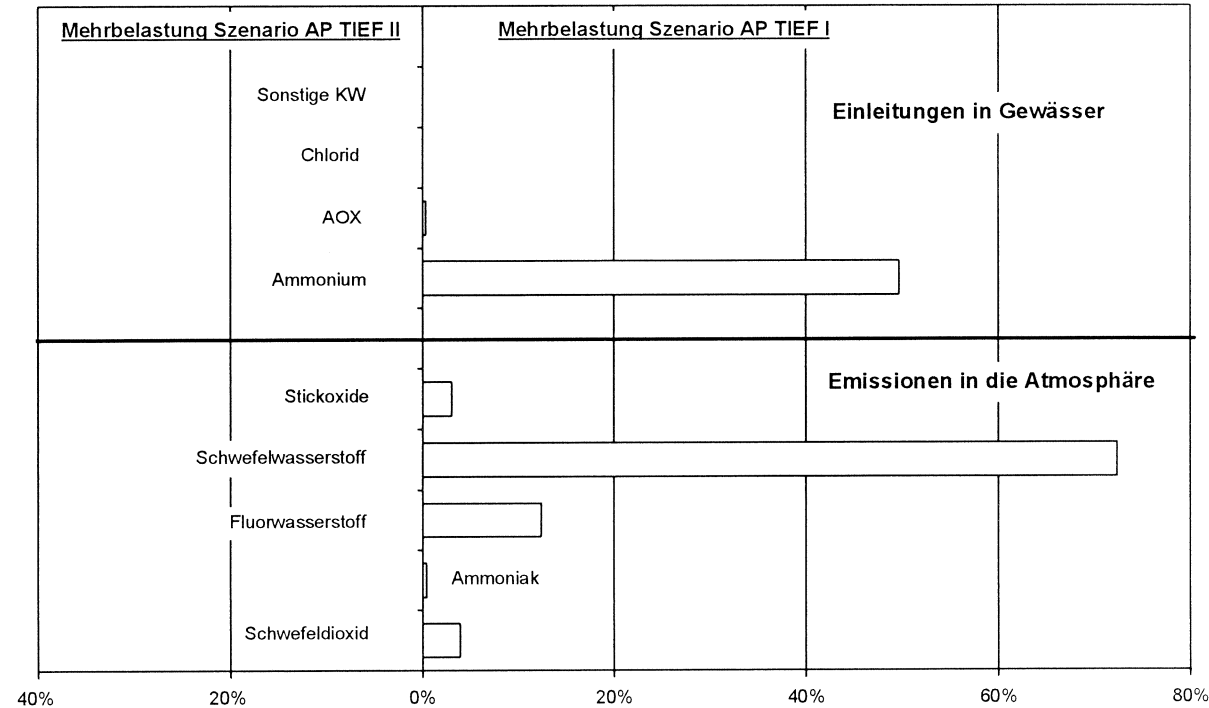


Abbildung 21: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP TIEF I bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

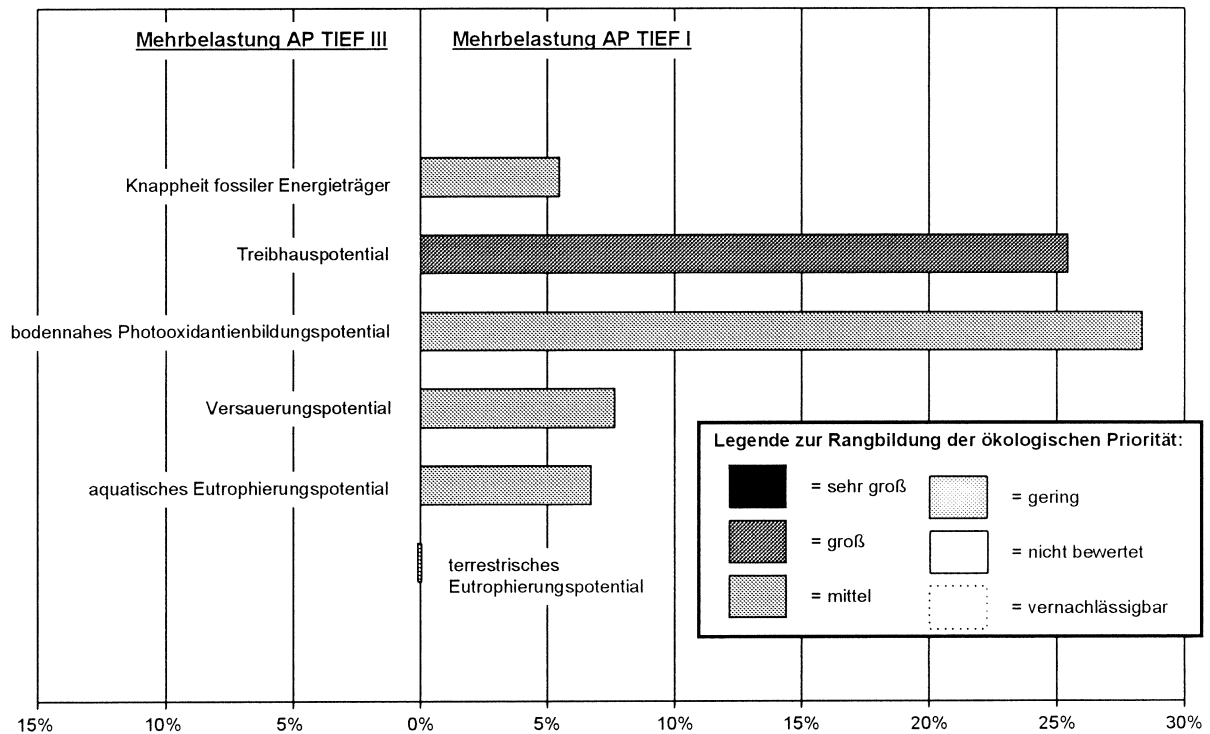


Abbildung 22: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

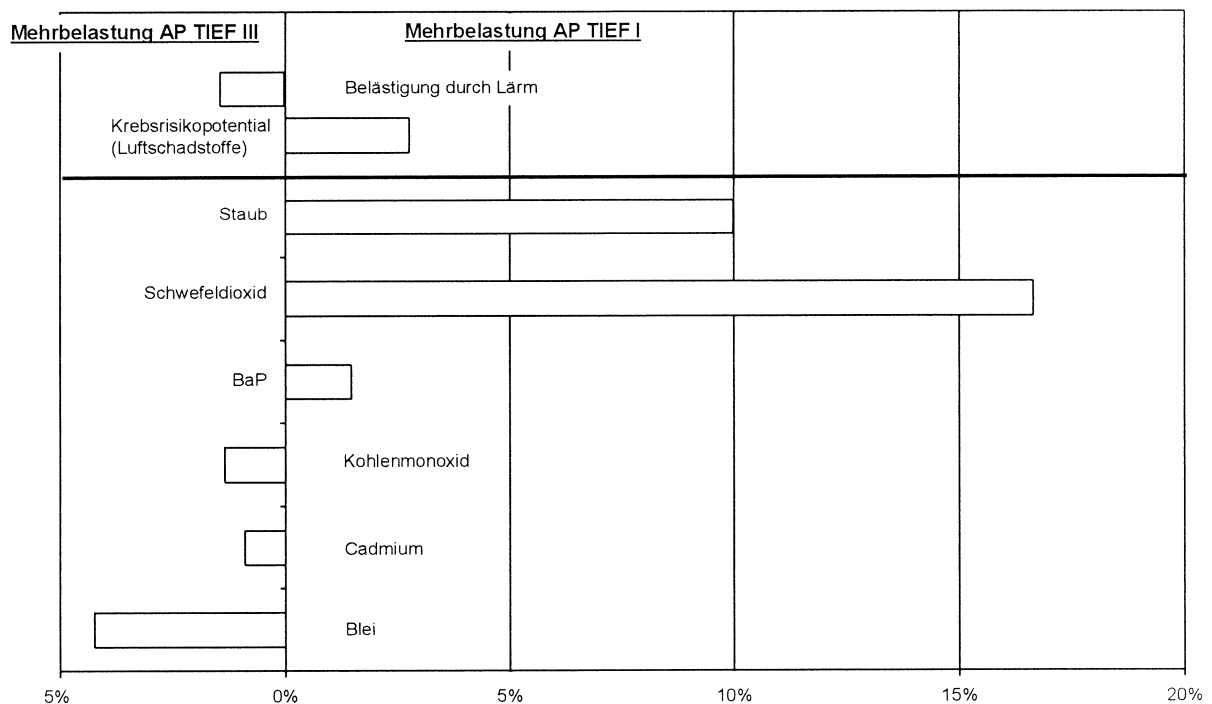


Abbildung 23: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP TIEF I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

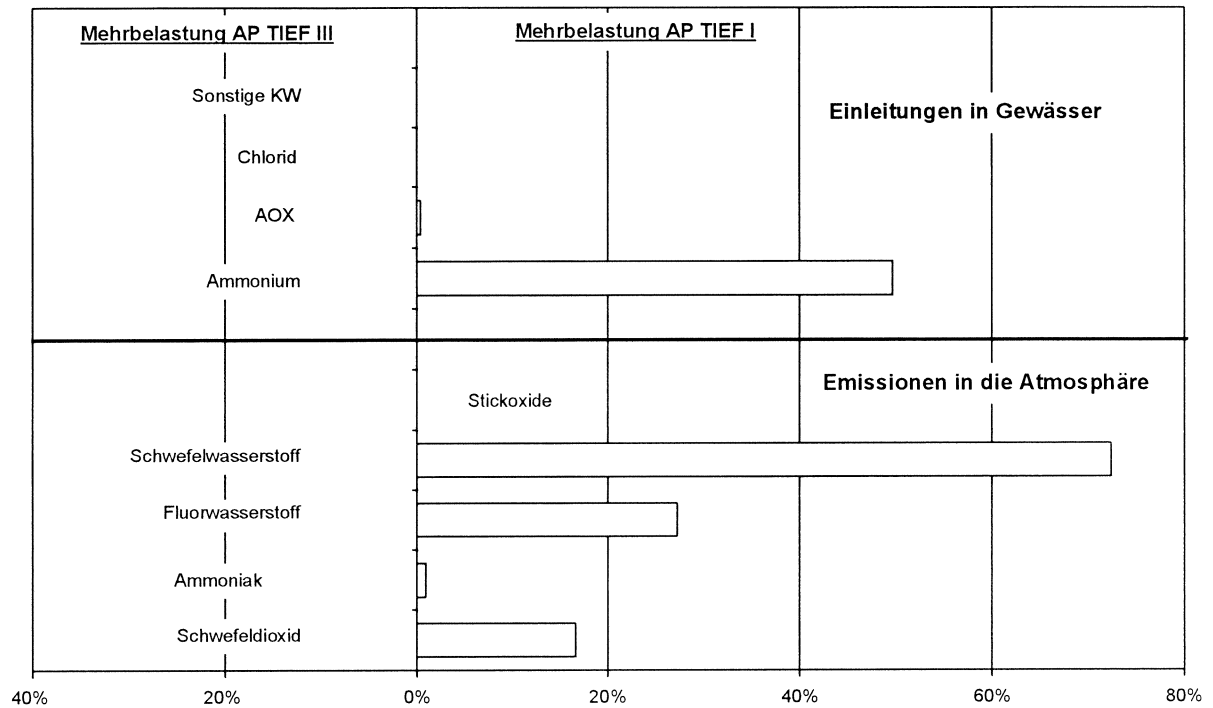


Abbildung 24: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF II und AP TIEF III bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

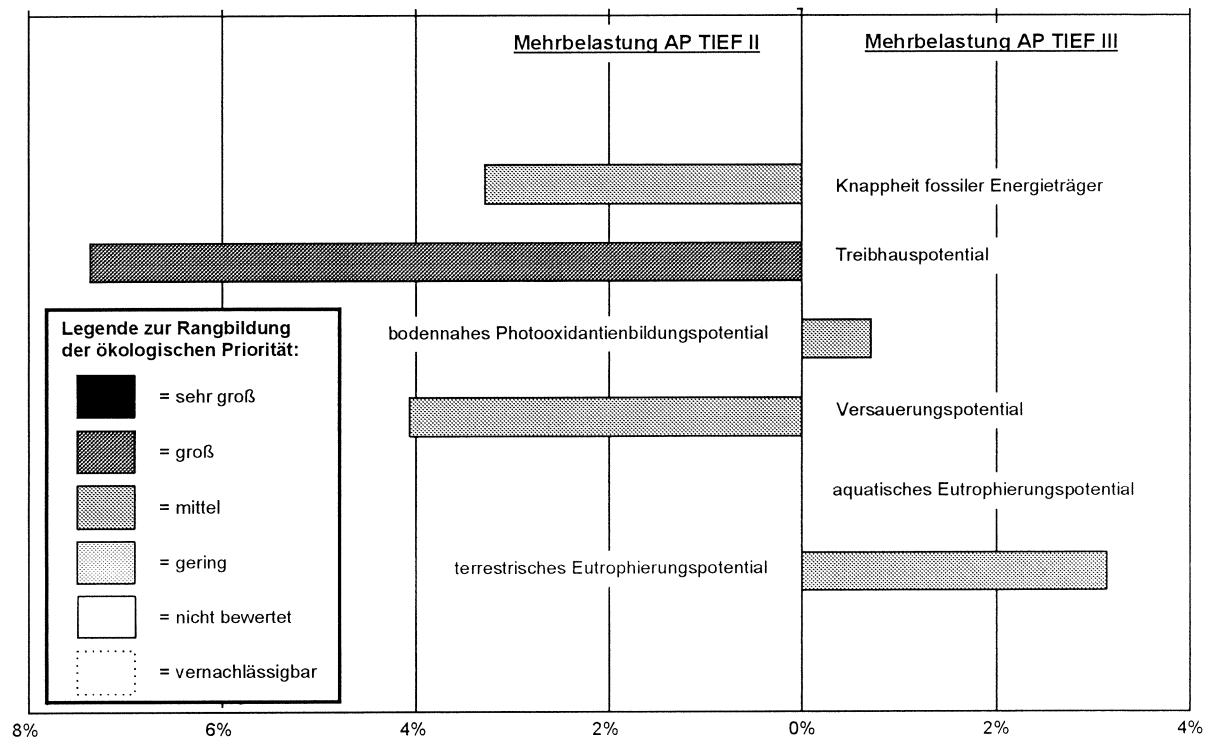


Abbildung 25: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF II und AP TIEF III bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

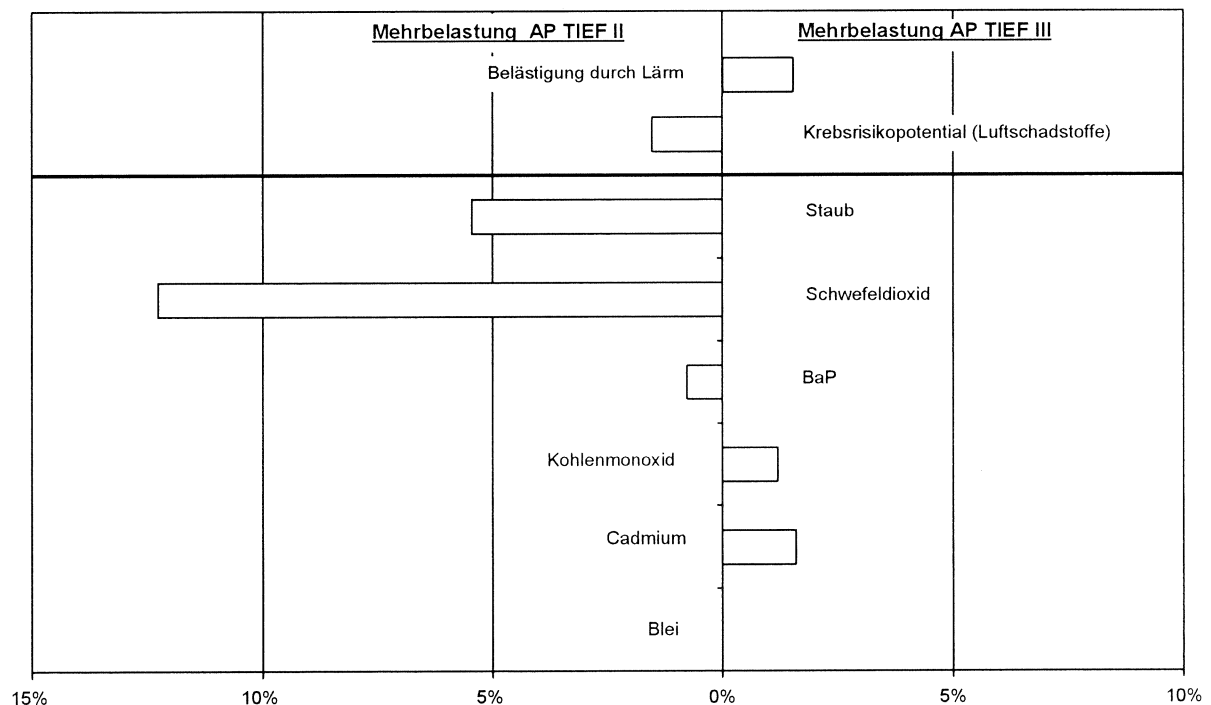


Abbildung 26: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF II und AP TIEF III bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

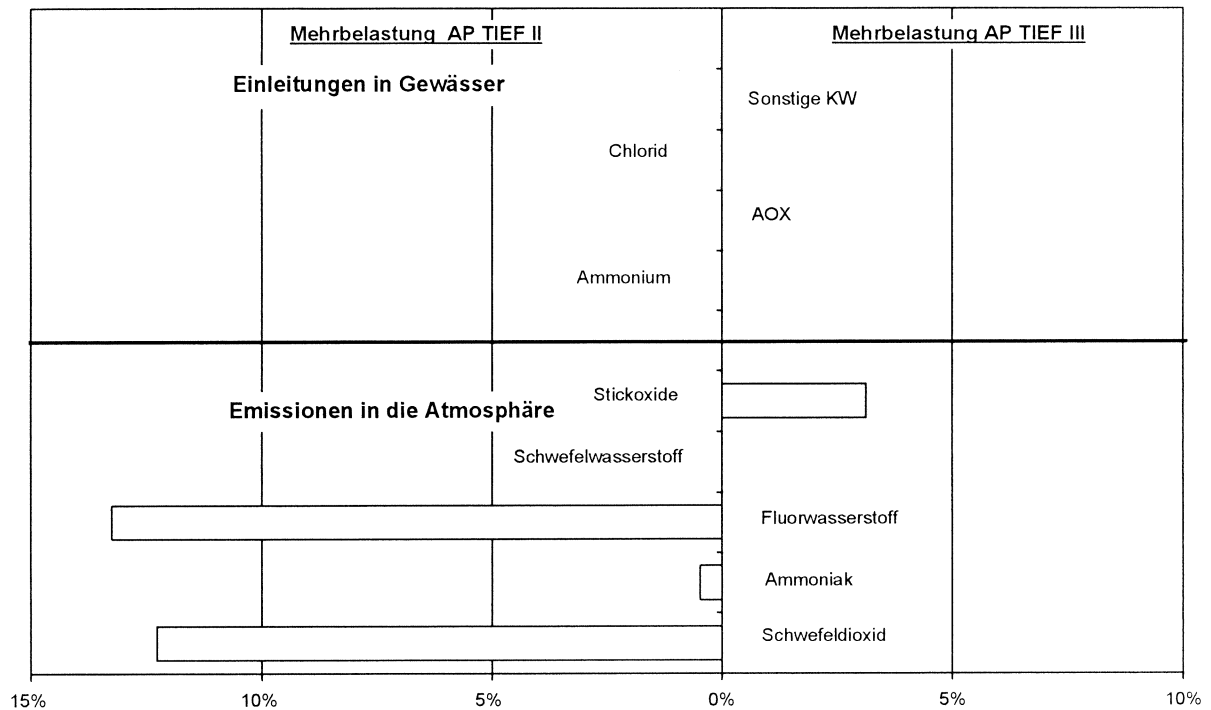


Abbildung 27: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF II bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

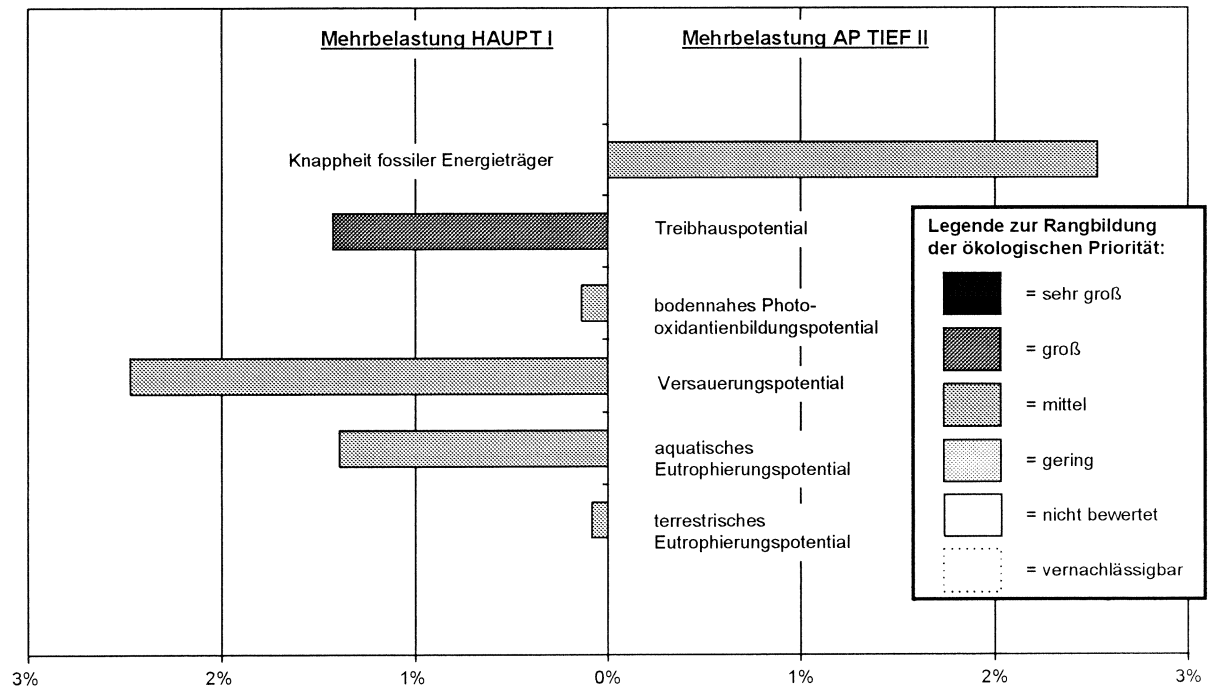


Abbildung 28: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF II bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

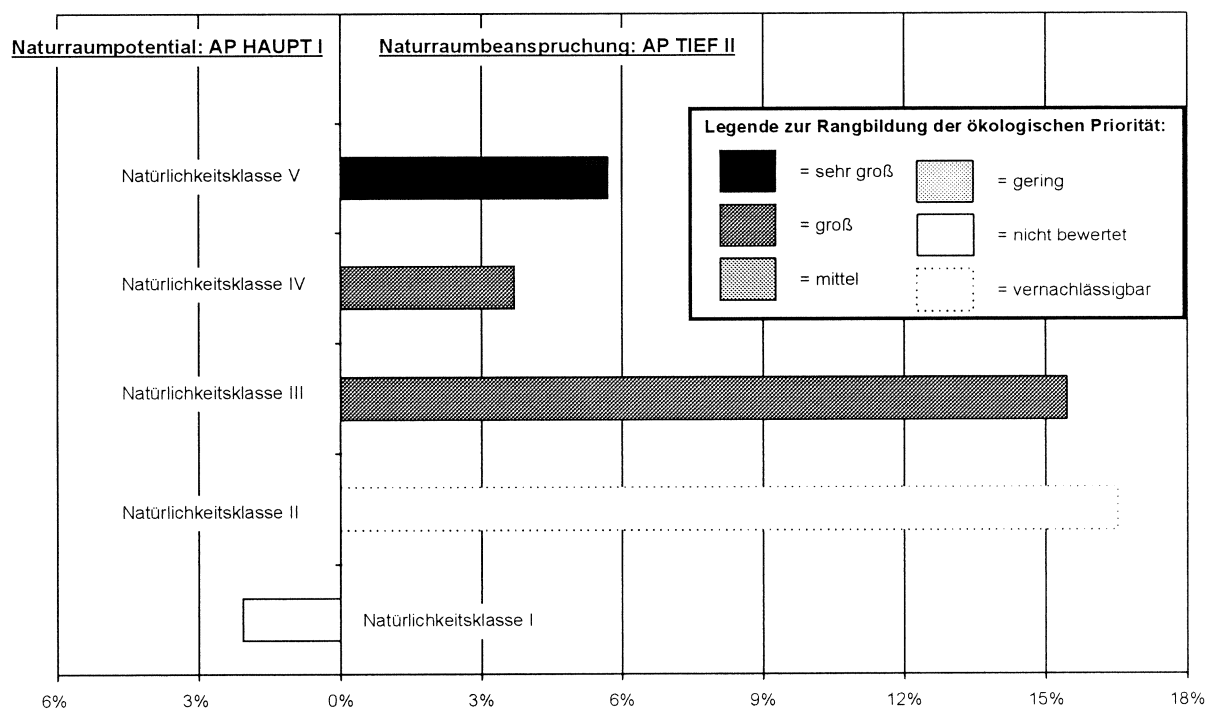


Abbildung 29: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF II bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

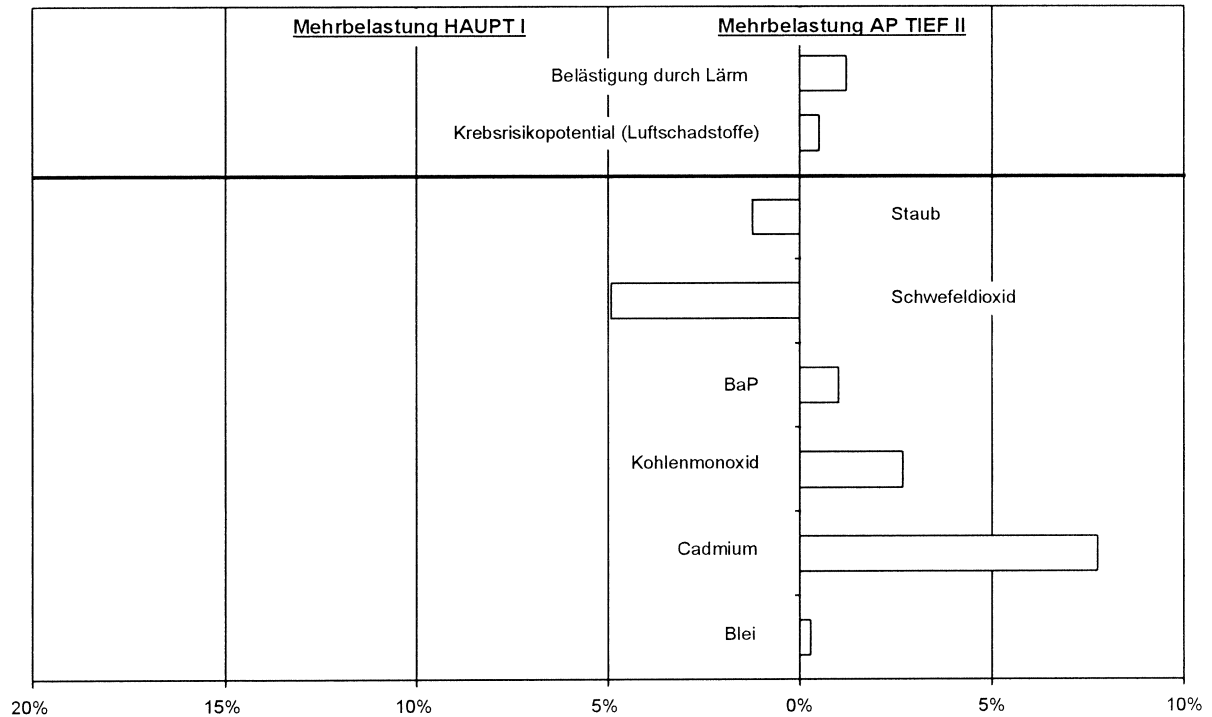


Abbildung 30: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF II bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

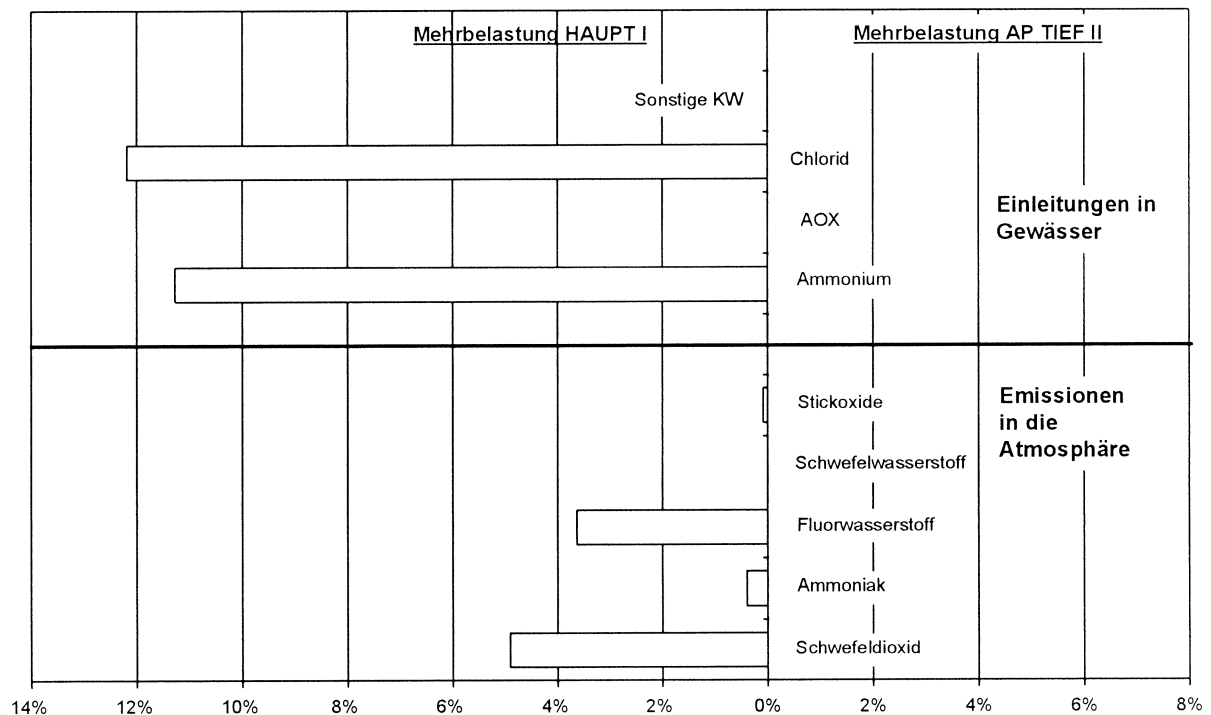


Abbildung 31: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF III bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

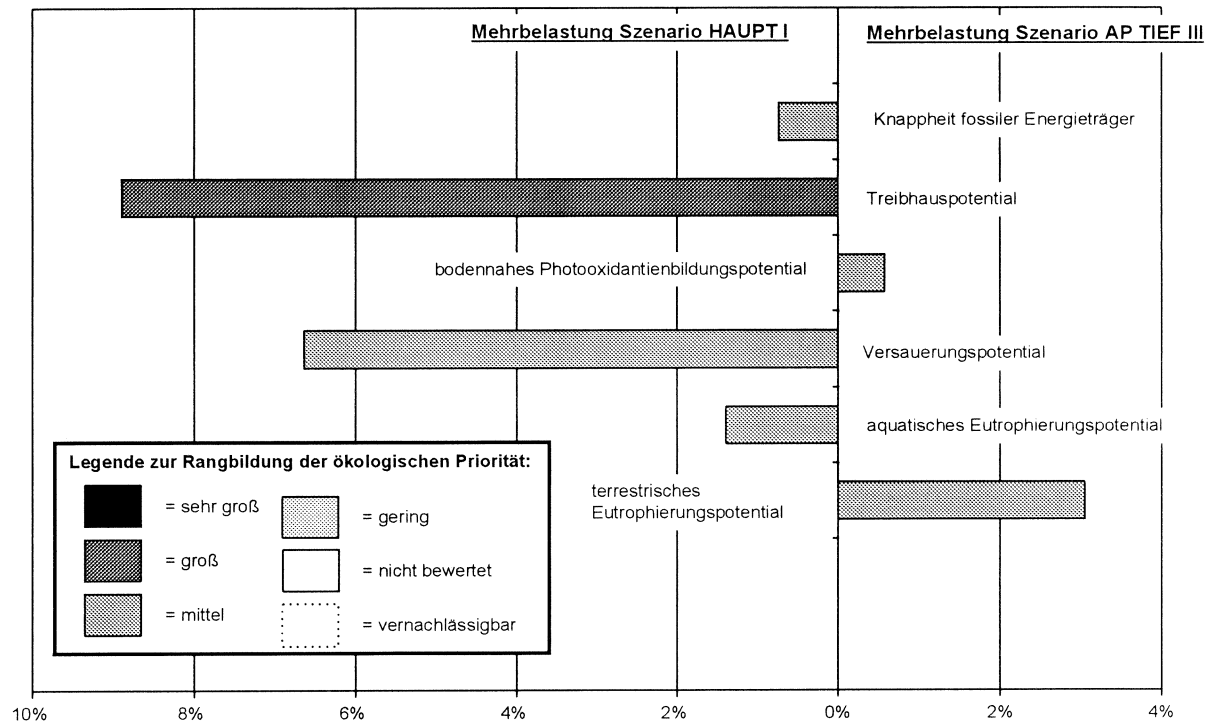


Abbildung 32: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF III bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

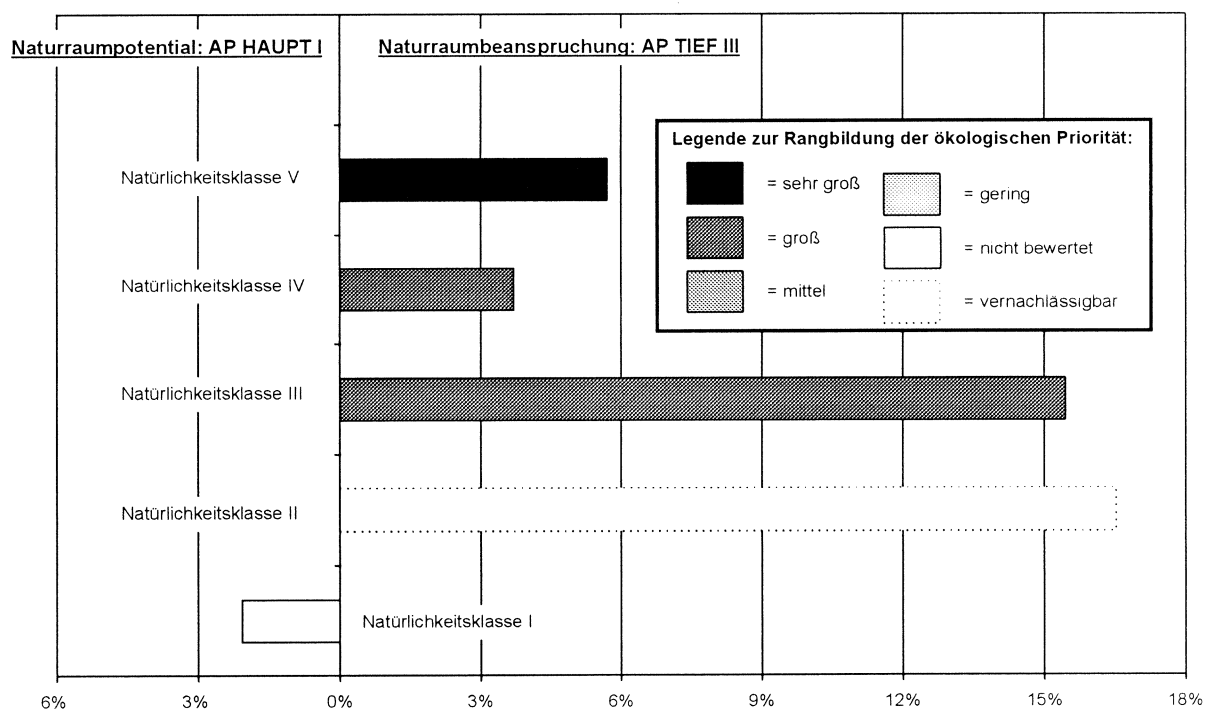


Abbildung 33: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF III bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

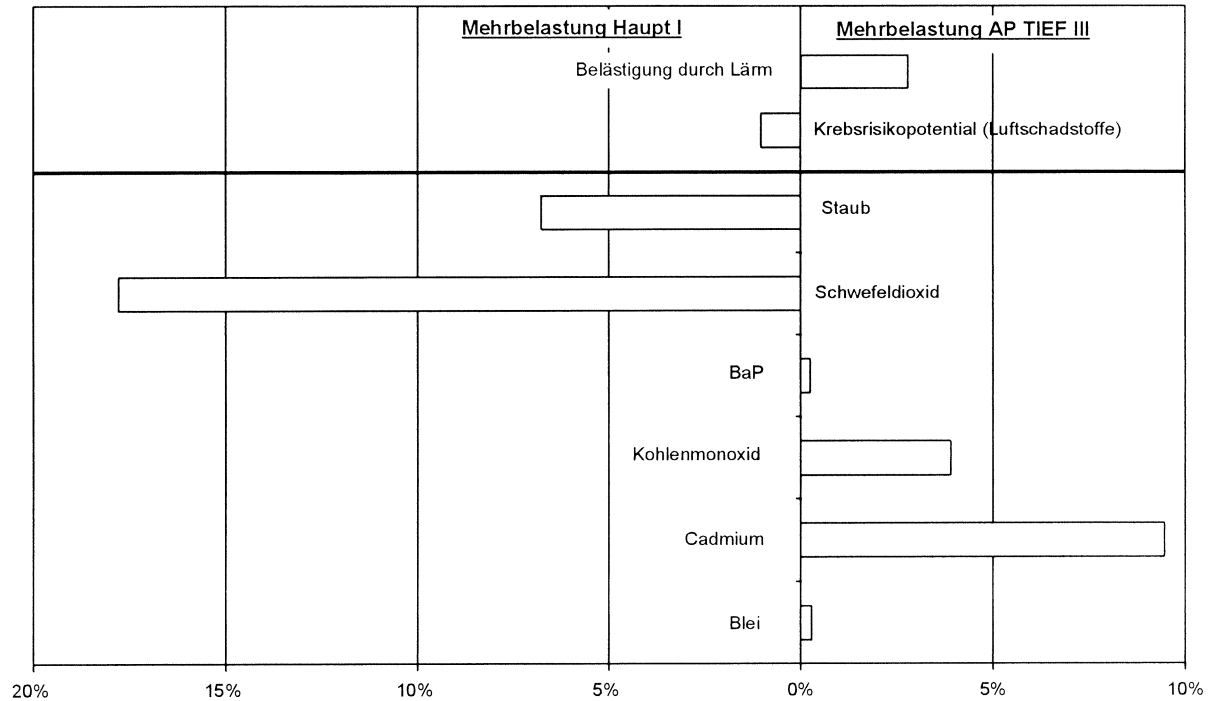


Abbildung 34: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und AP TIEF III bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

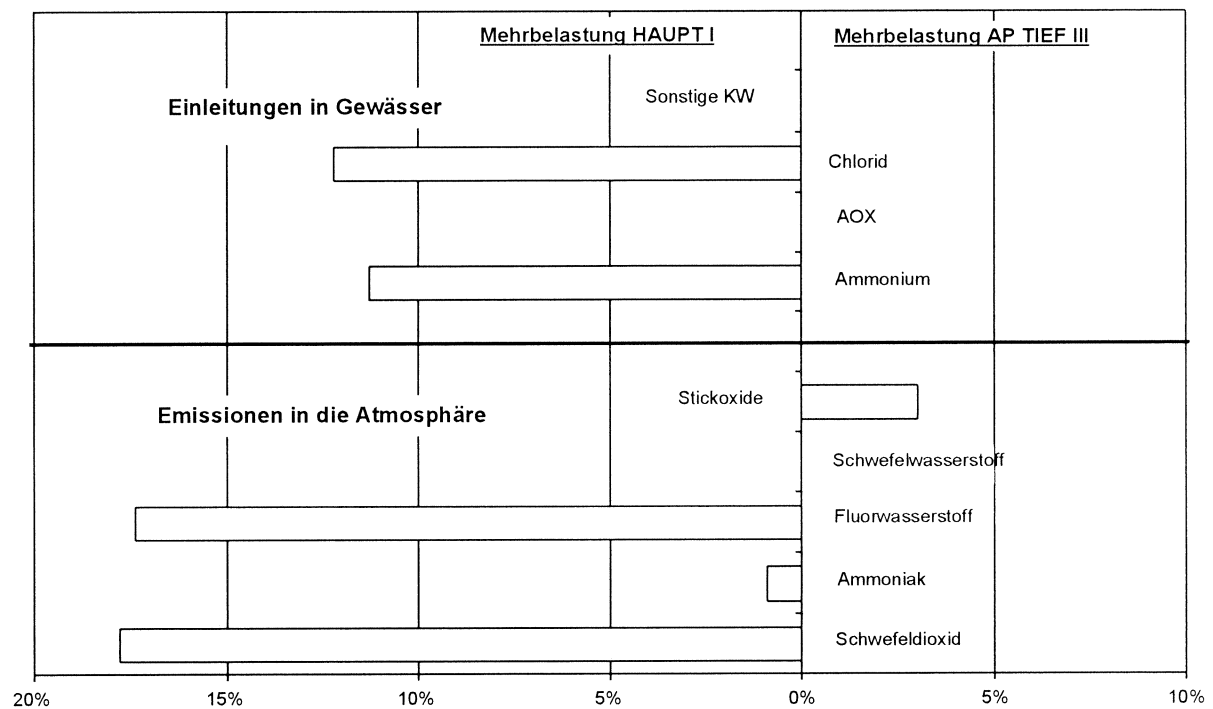


Abbildung 35: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP HOCH I bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

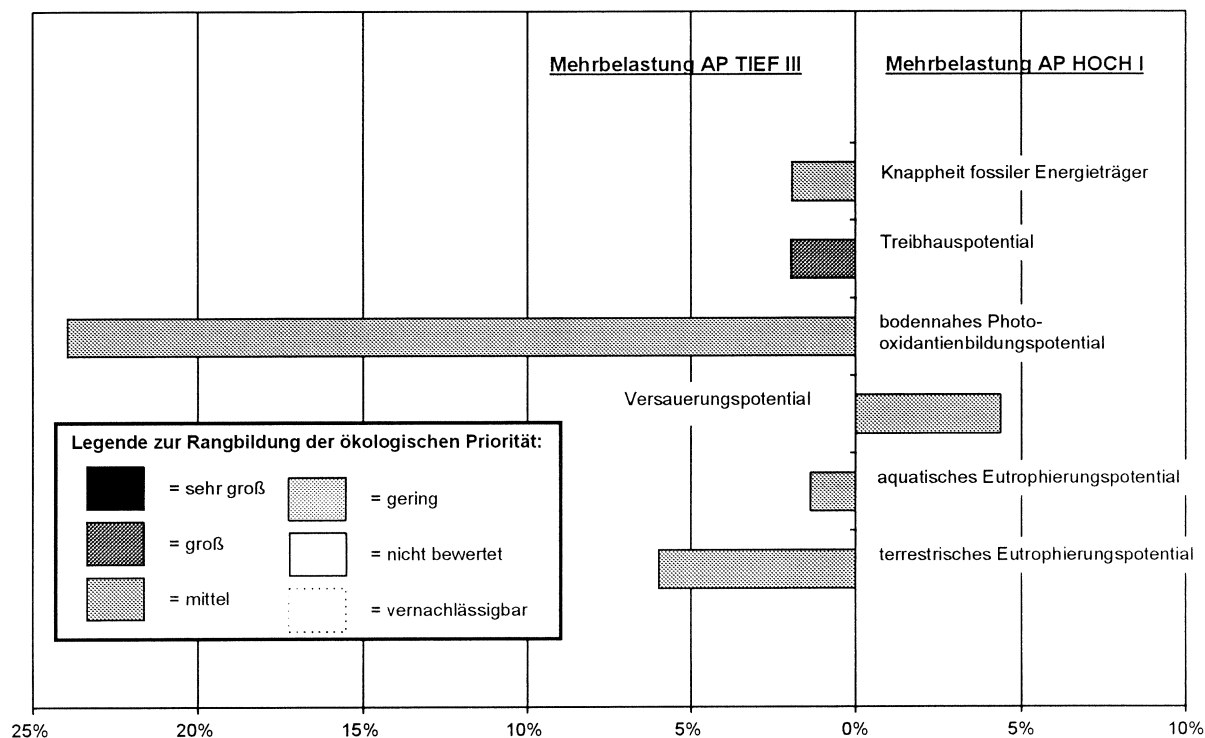


Abbildung 36: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP HOCH I bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

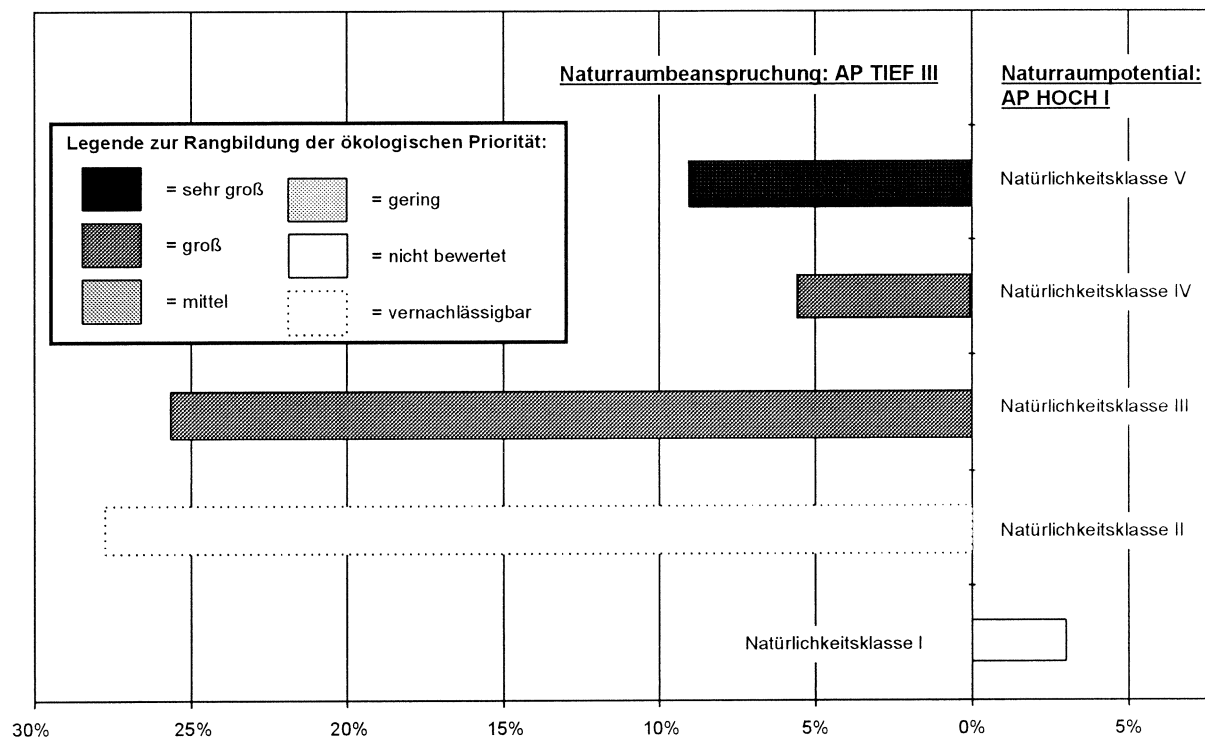


Abbildung 37: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP HOCH I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

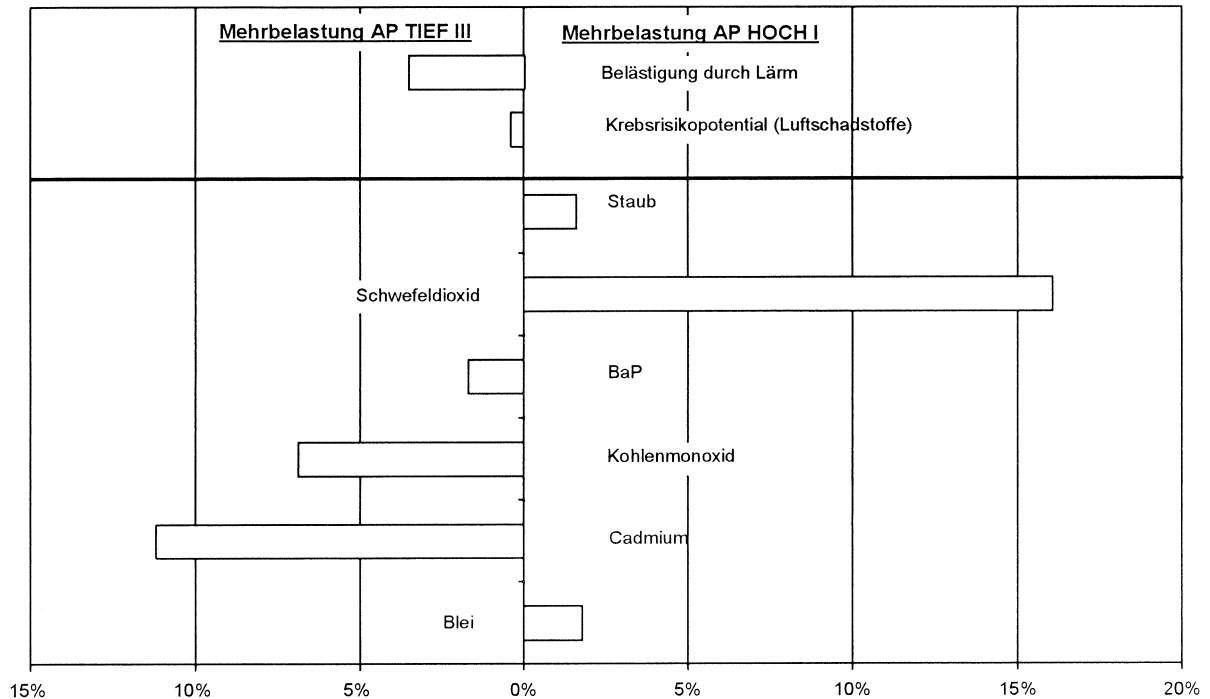


Abbildung 38: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP TIEF III und AP HOCH I bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

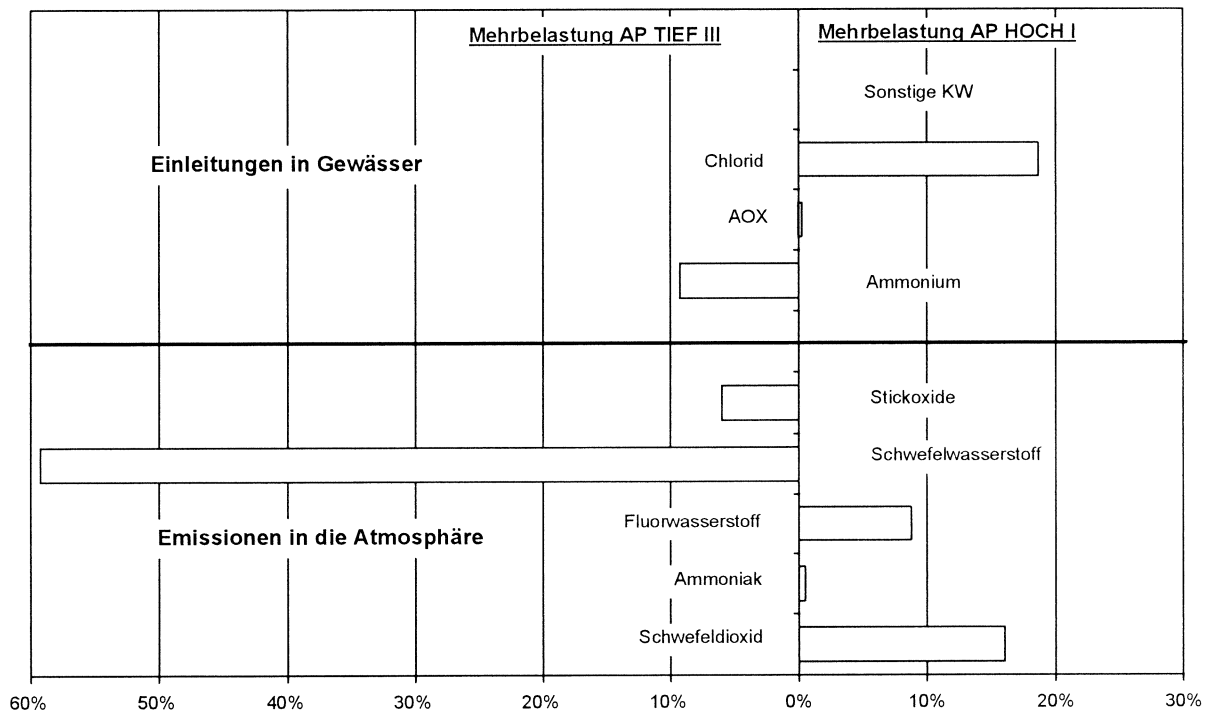


Abbildung 39: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HOCH I und AP HOCH II bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

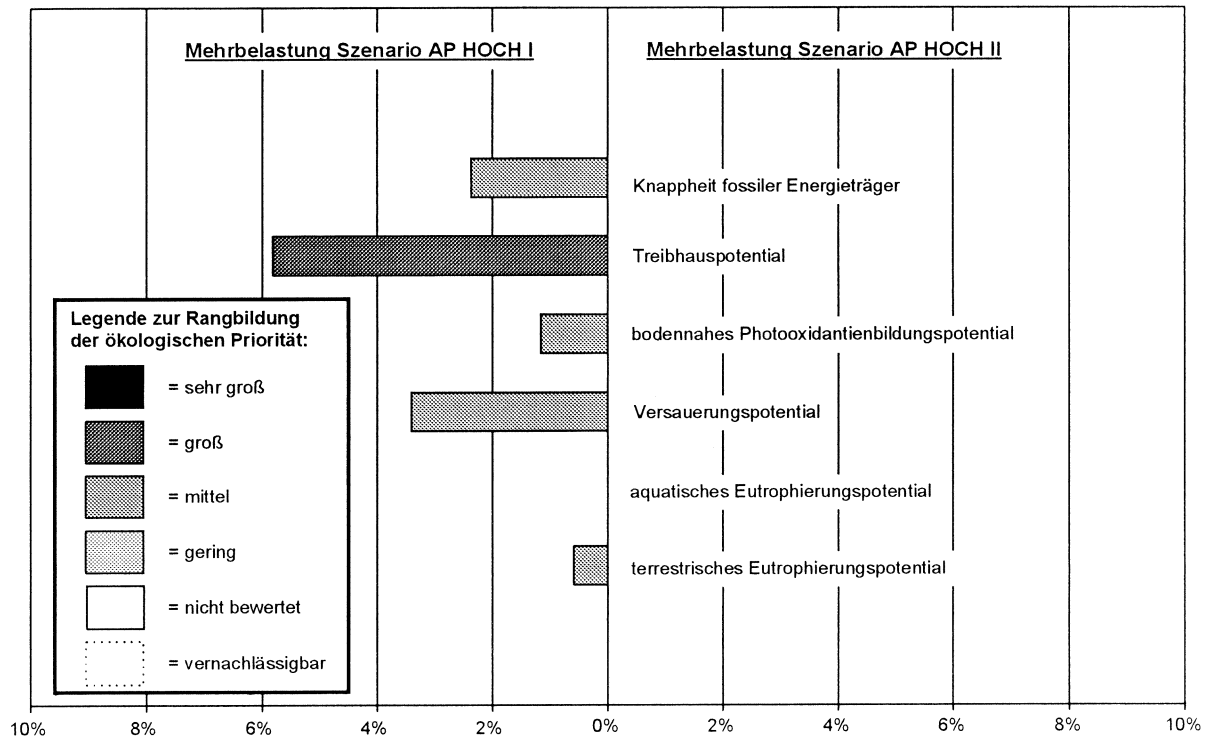


Abbildung 40: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HOCH I und AP HOCH II bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

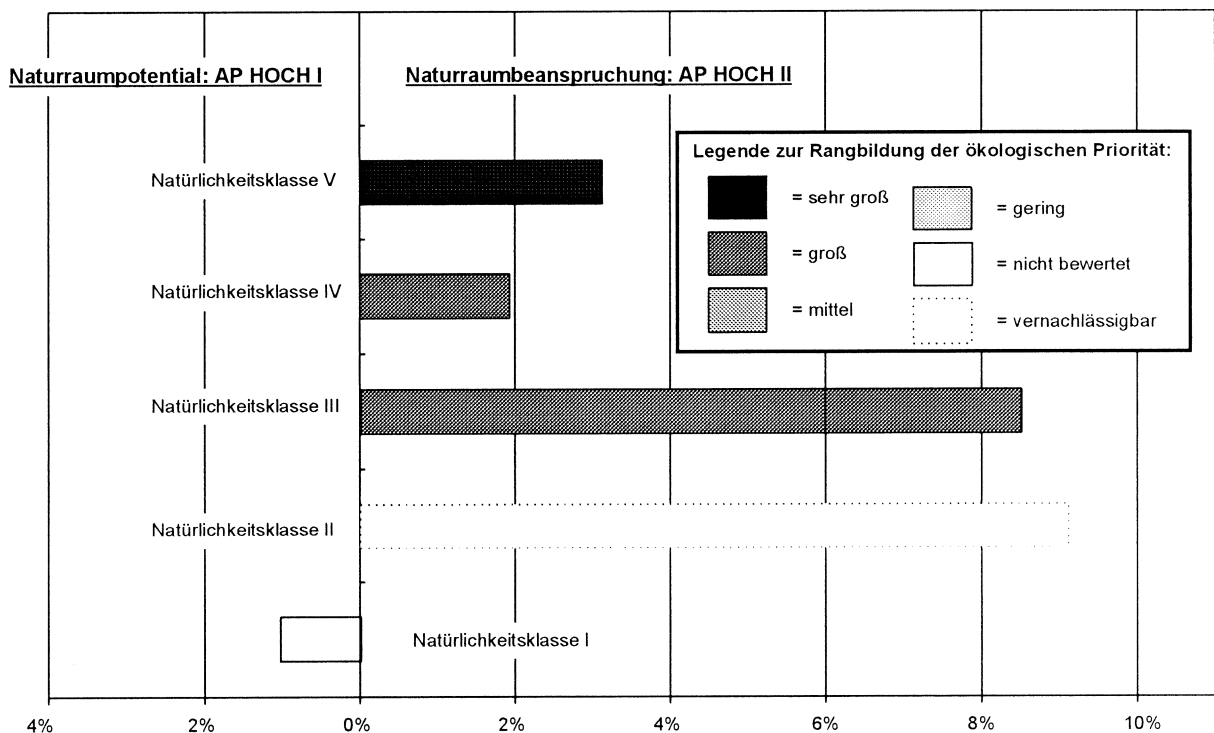


Abbildung 41: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HOCH I und AP HOCH II bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

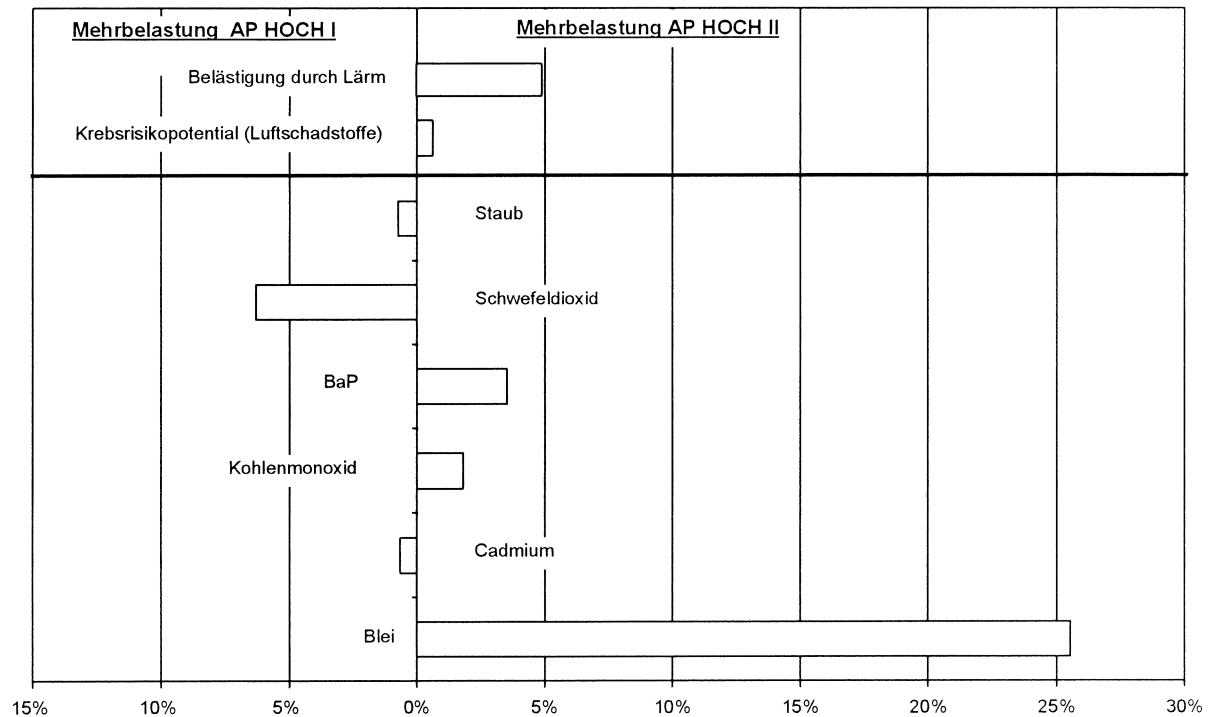


Abbildung 42: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HOCH I und AP HOCH II bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

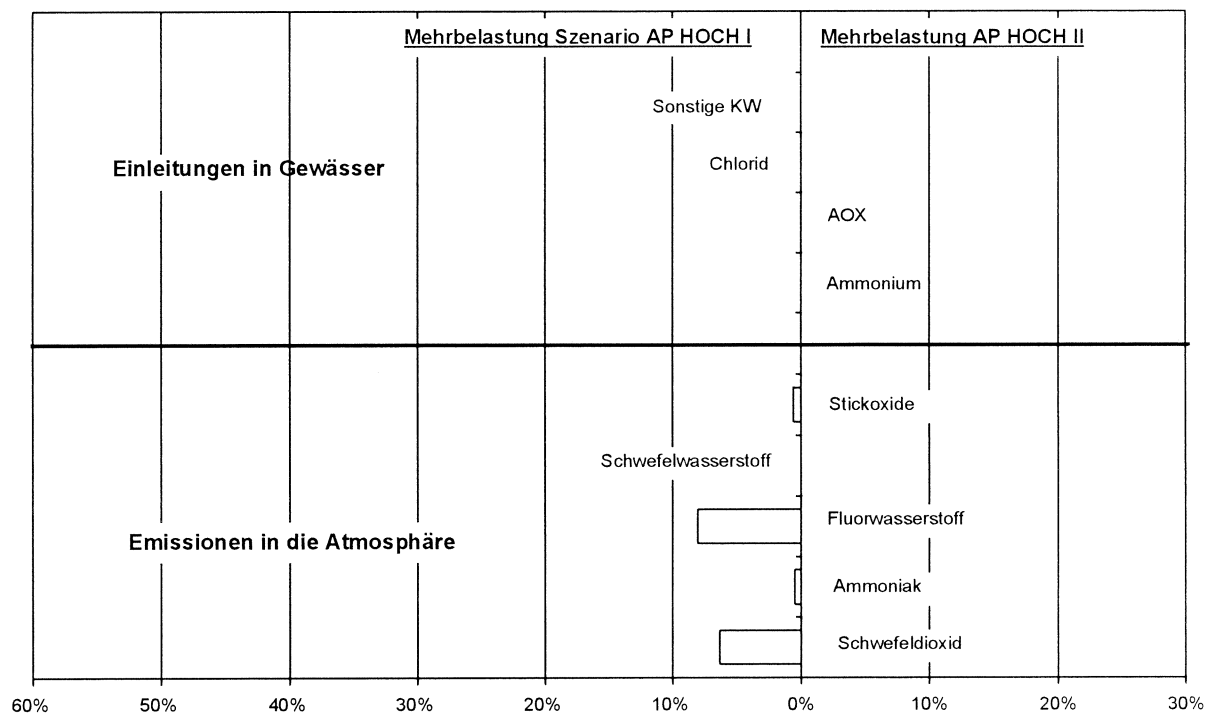


Abbildung 43: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF IV bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

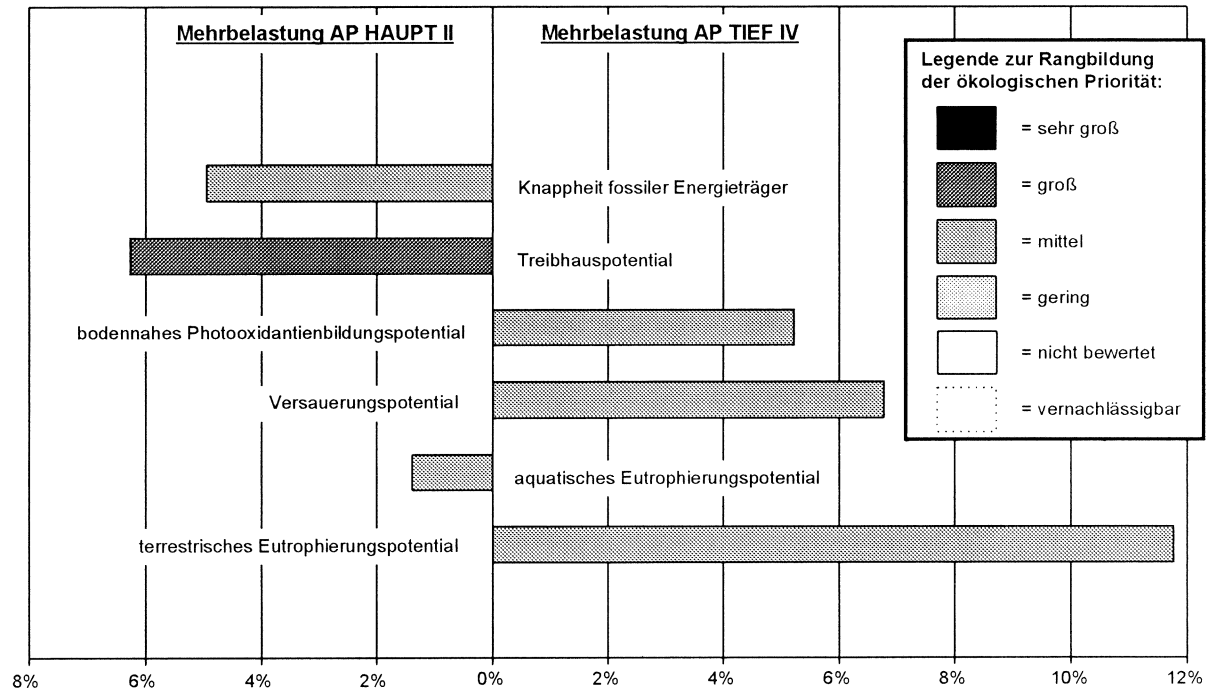


Abbildung 44: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF IV bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

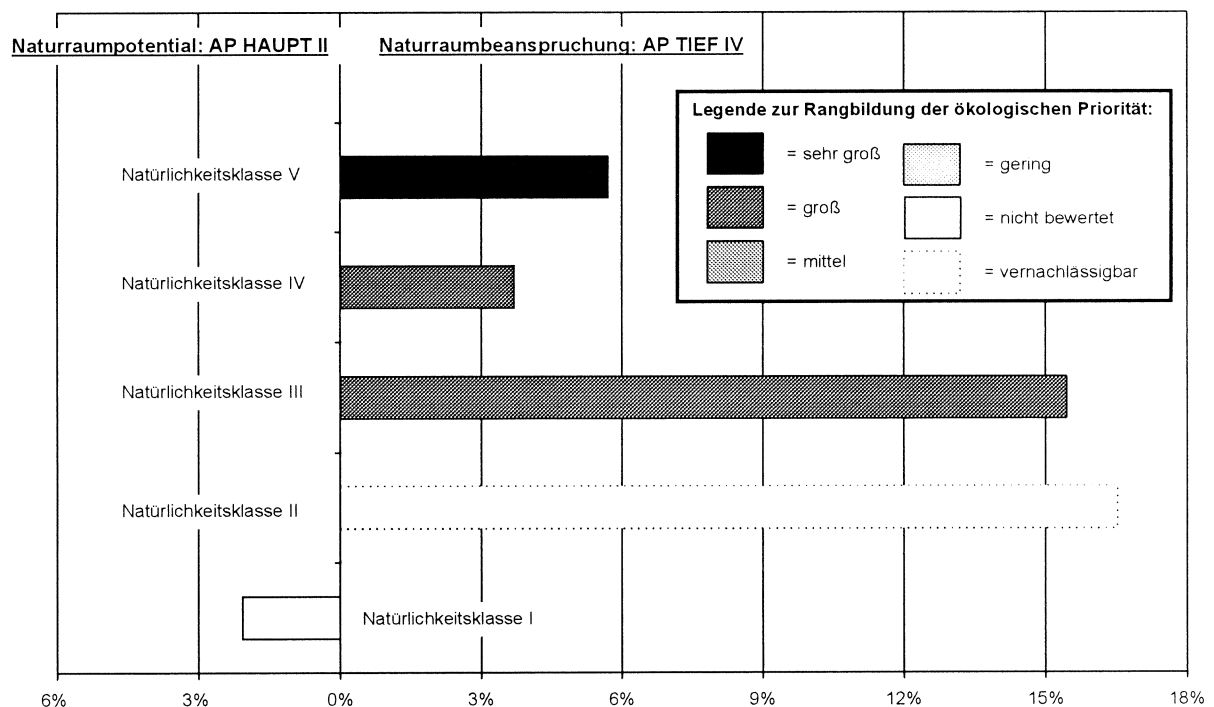


Abbildung 45: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF IV bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

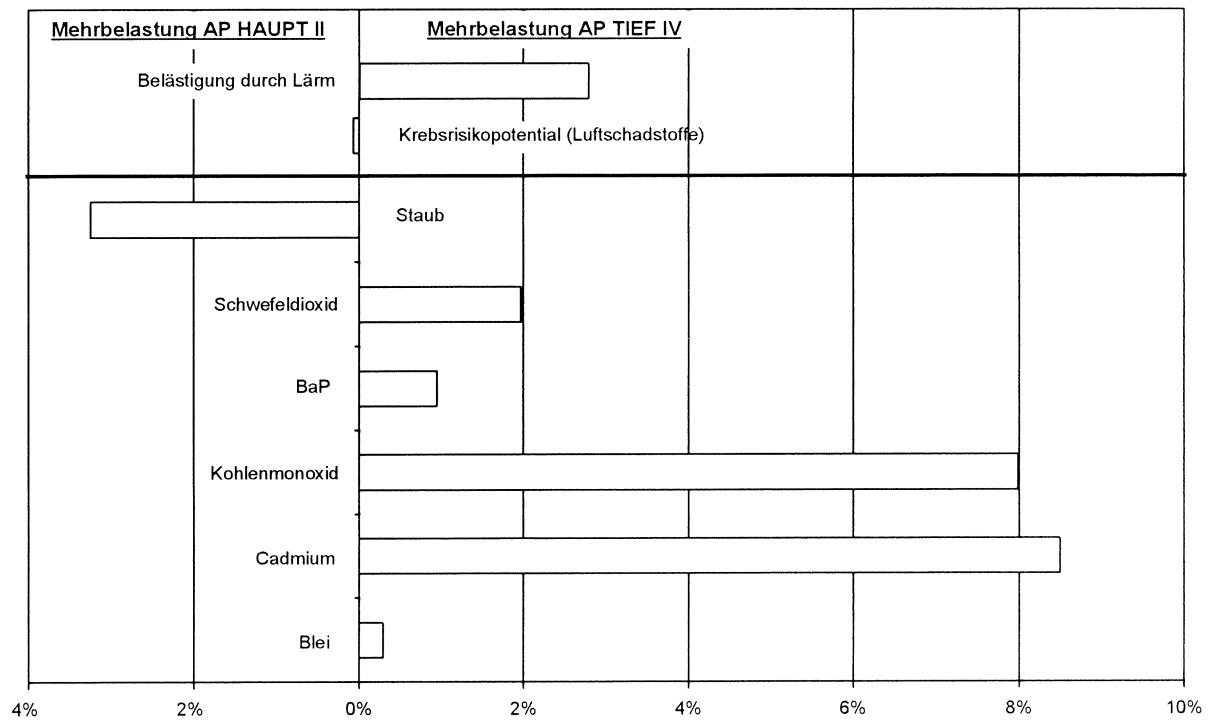


Abbildung 46: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF IV bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

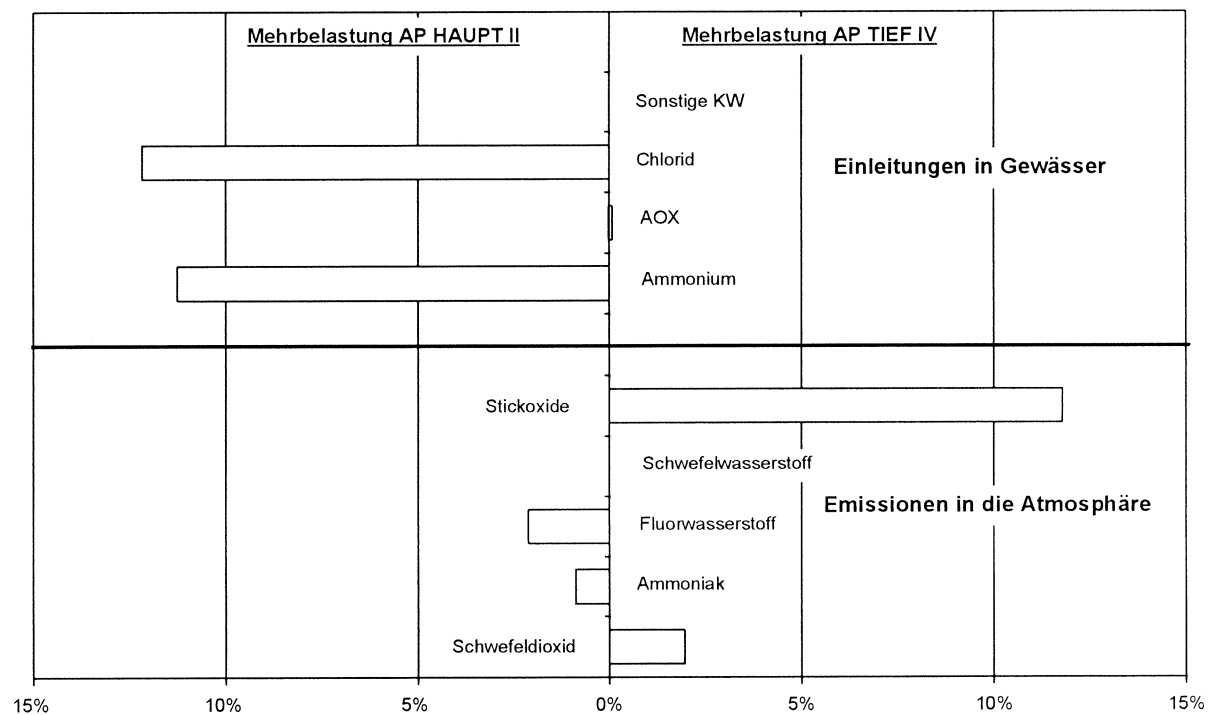


Abbildung 47: Relative Unterschiede zwischen Szenarien HOCH III und HAUPT II bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

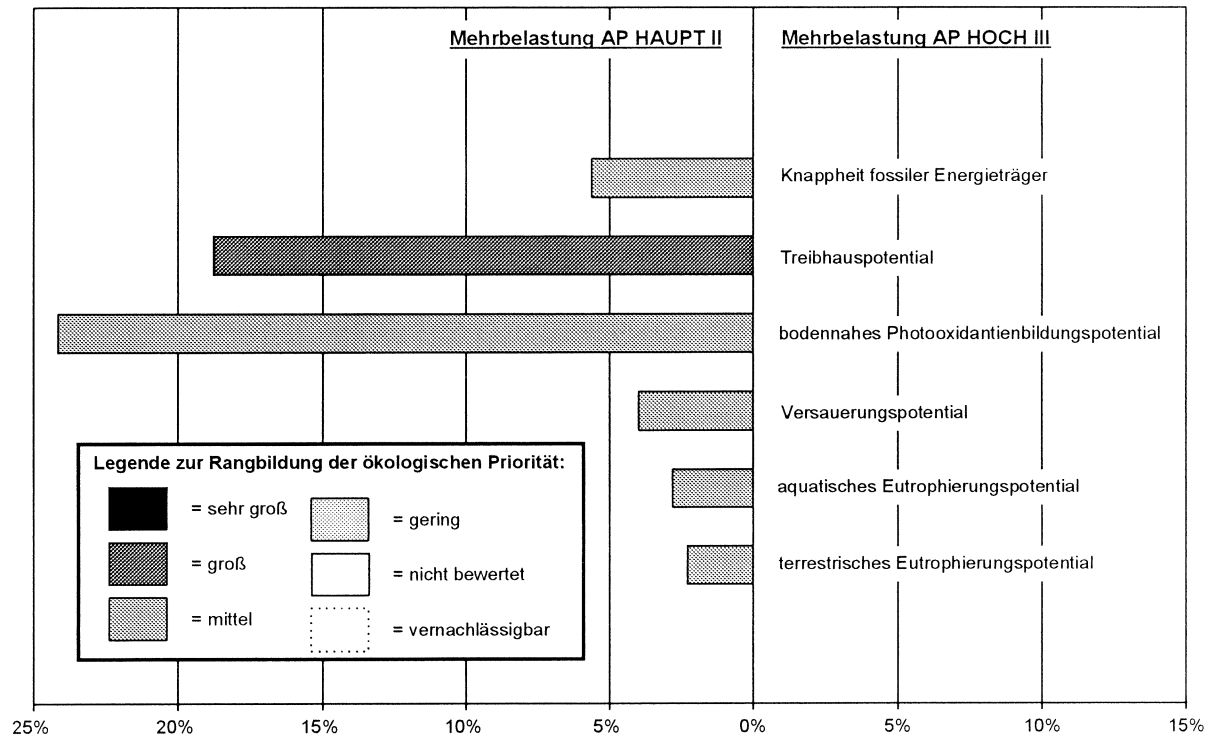


Abbildung 48: Relative Unterschiede zwischen HOCH III und HAUPT II bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

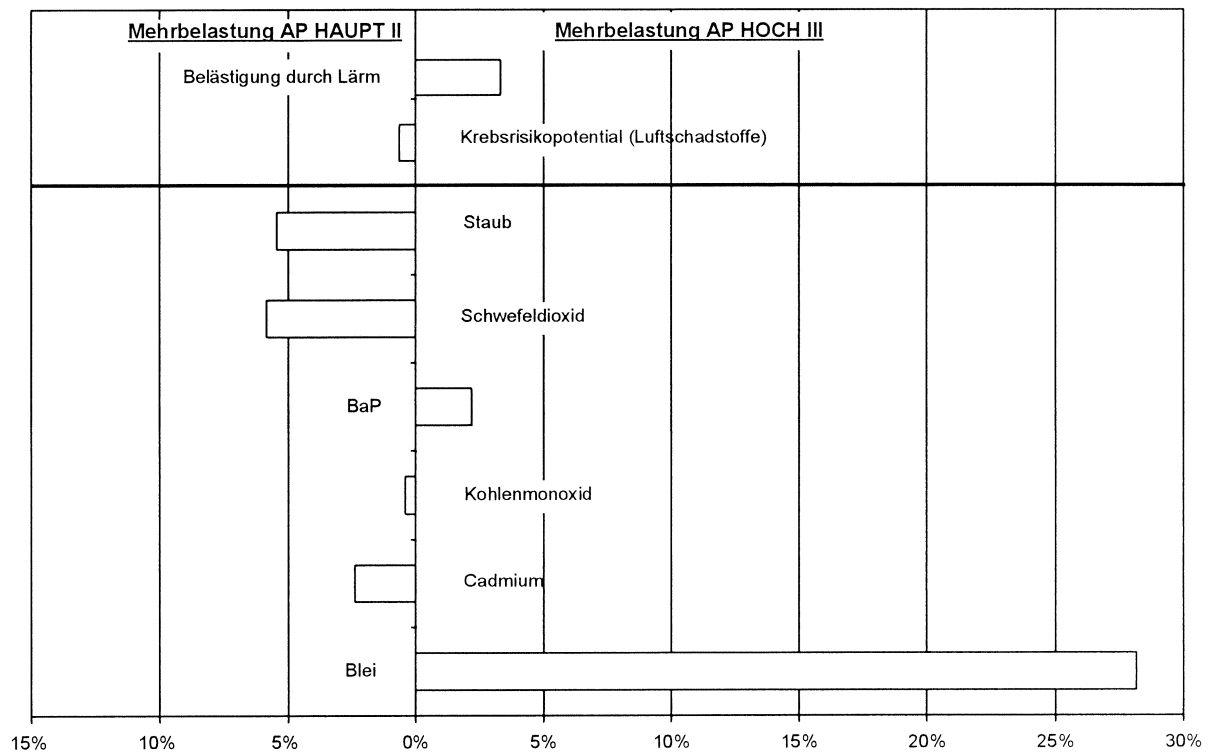


Abbildung 49: Relative Unterschiede zwischen HOCH III und HAUPT II bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

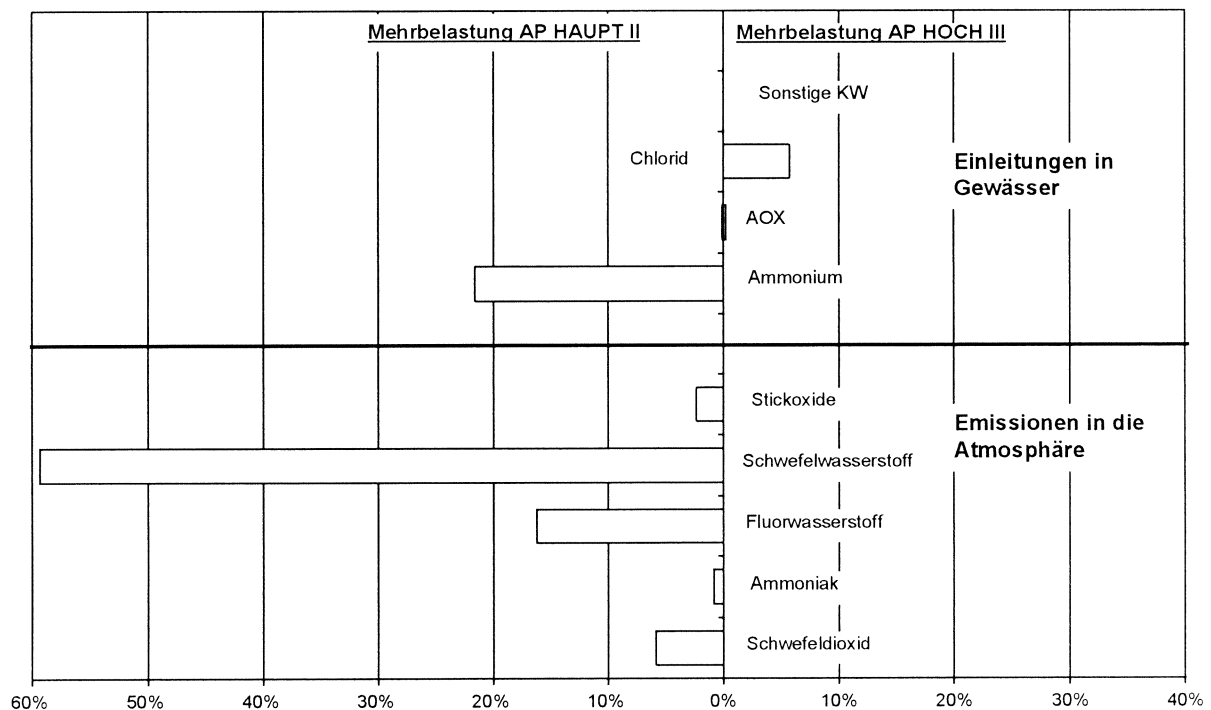


Abbildung 50: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF V bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

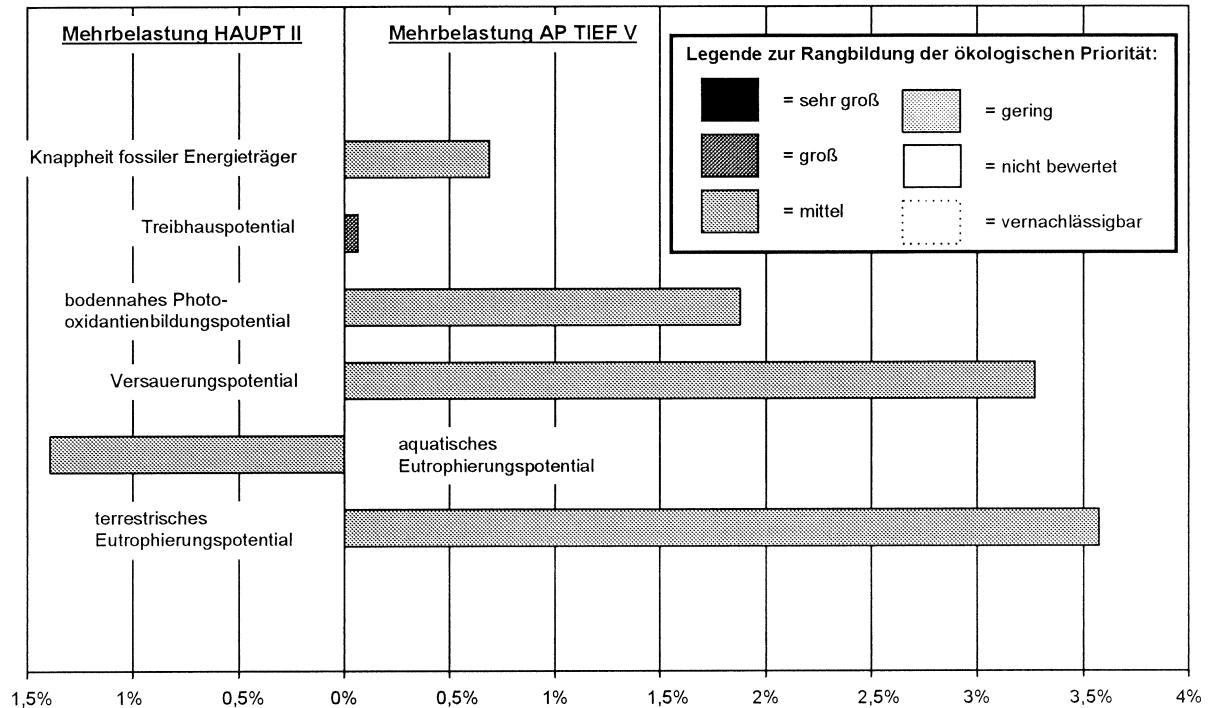


Abbildung 51: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF V bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

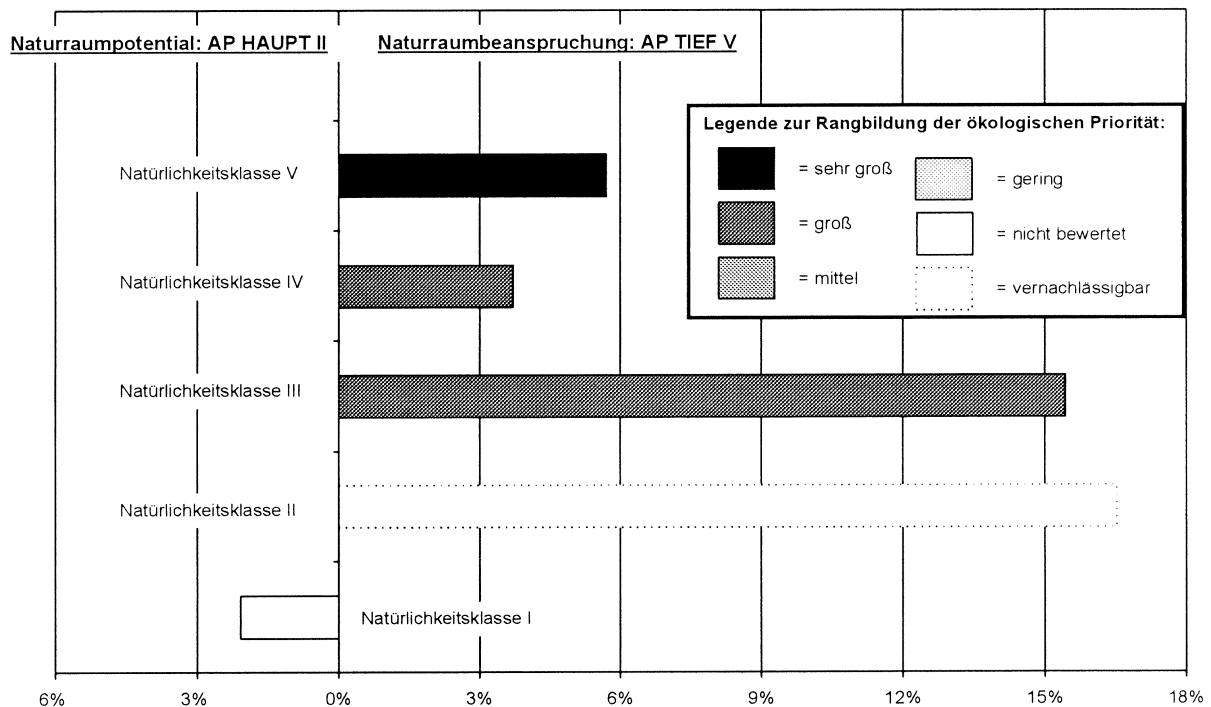


Abbildung 52: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF V bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

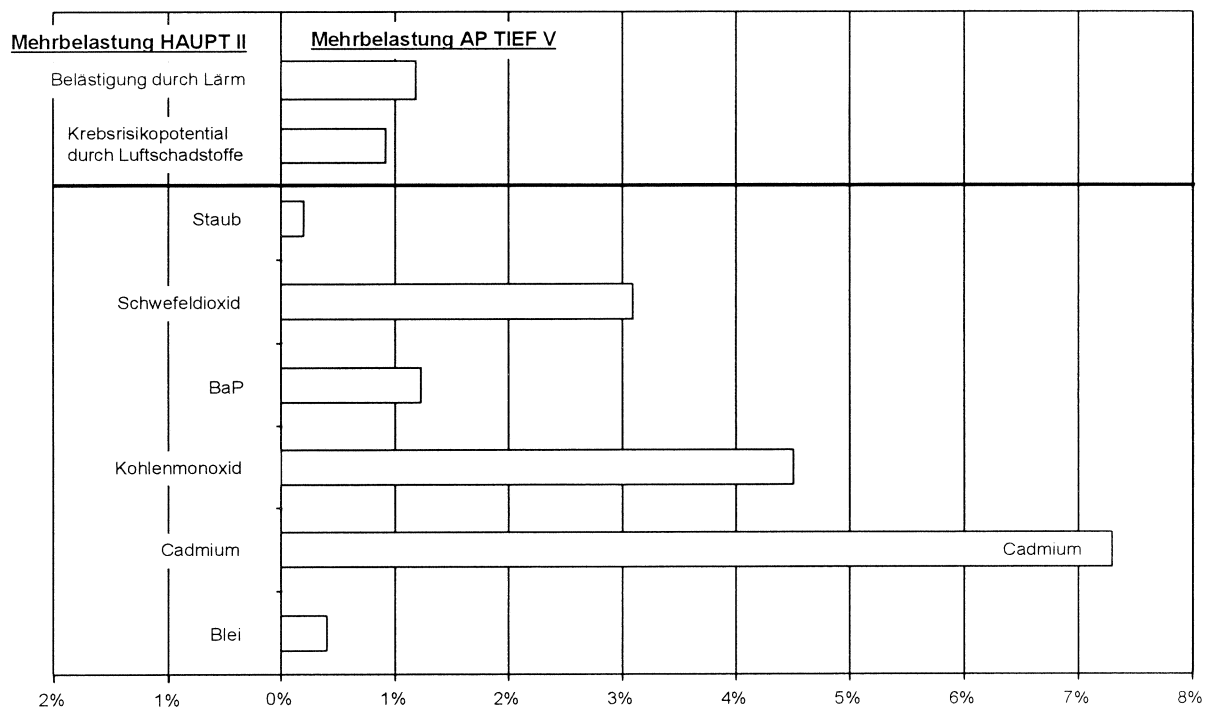


Abbildung 53: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT II und AP TIEF V bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

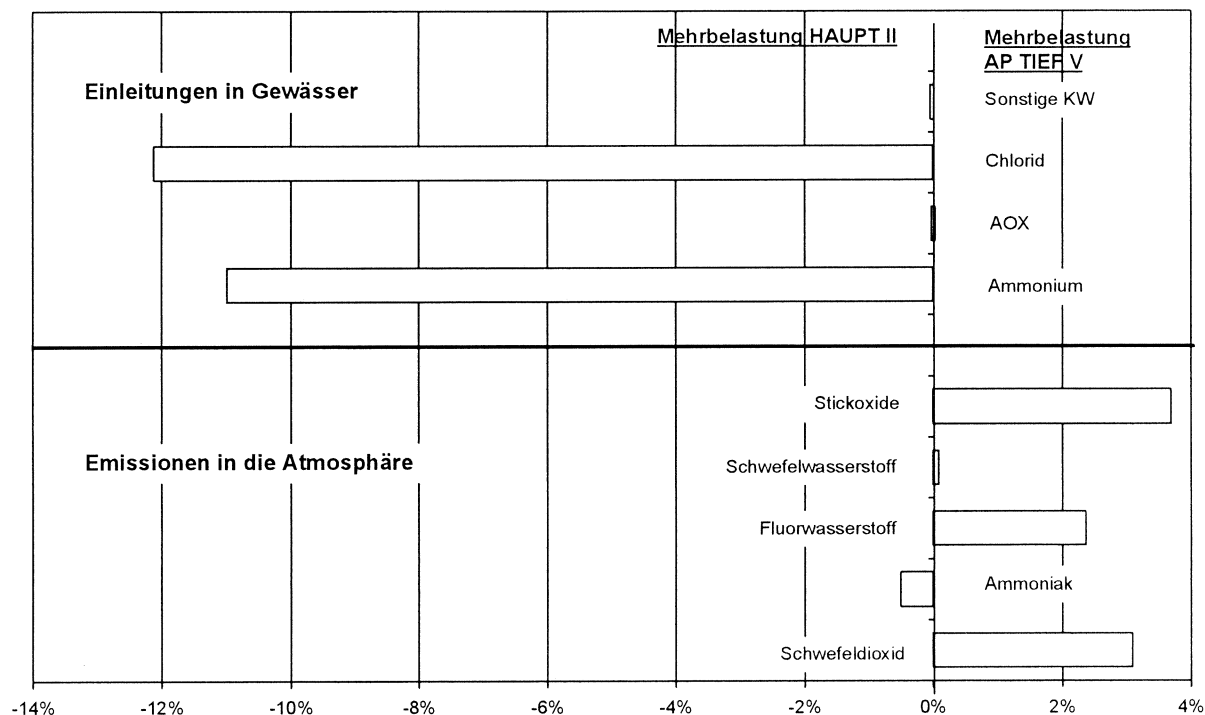


Abbildung 54: Relative Unterschiede zwischen ZDP AP 0 und ZDP AP 100 bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

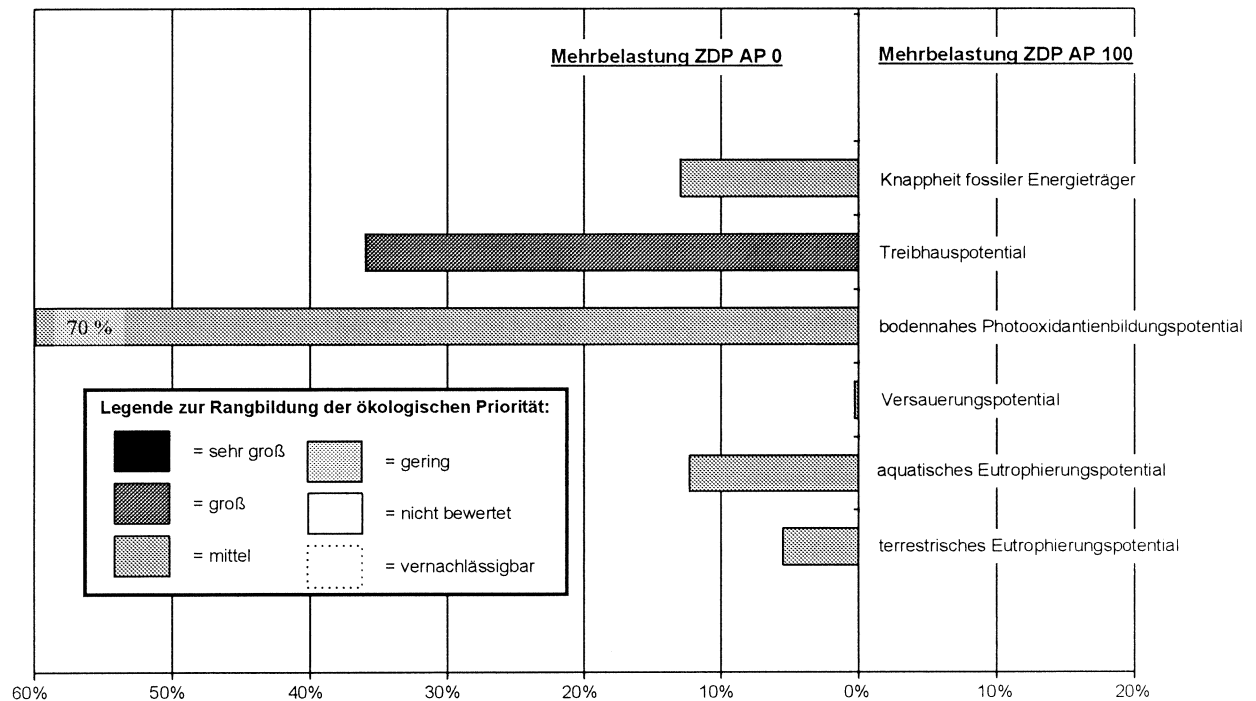


Abbildung 55: Relative Unterschiede zwischen Szenarien ZDP AP 0 und ZDP AP 100 bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

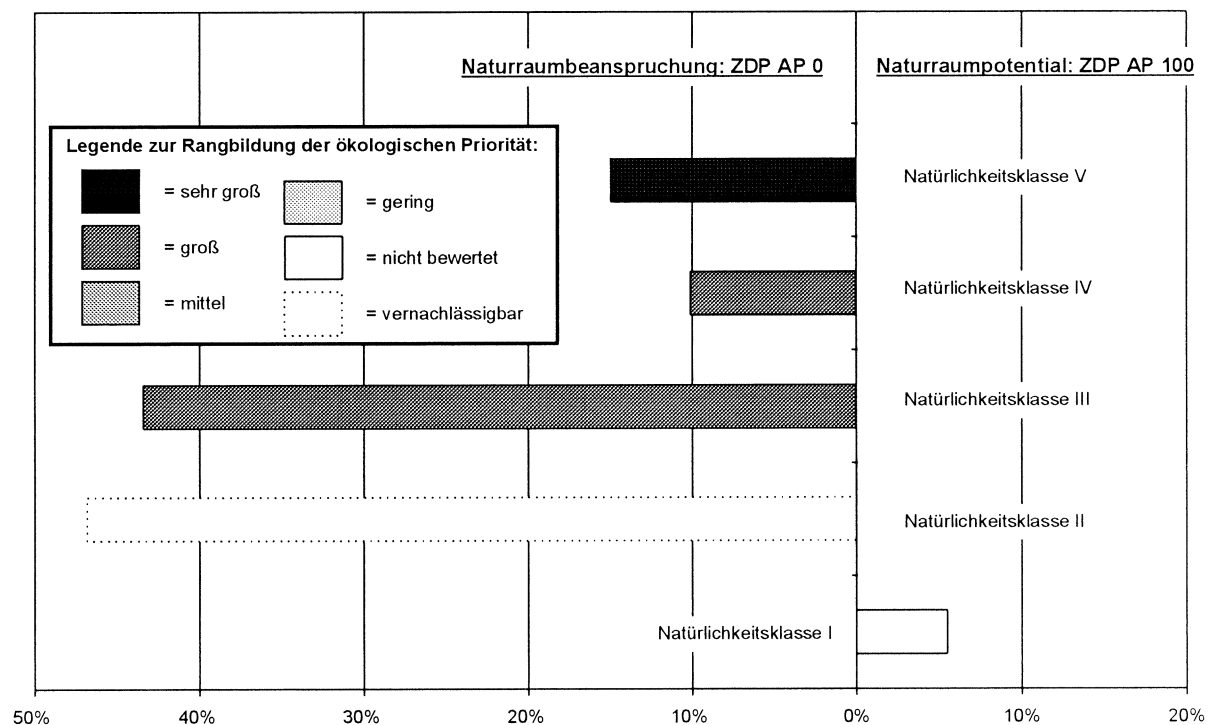


Abbildung 56: Relative Unterschiede zwischen Szenarien ZDP AP 0 und ZDP AP 100 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

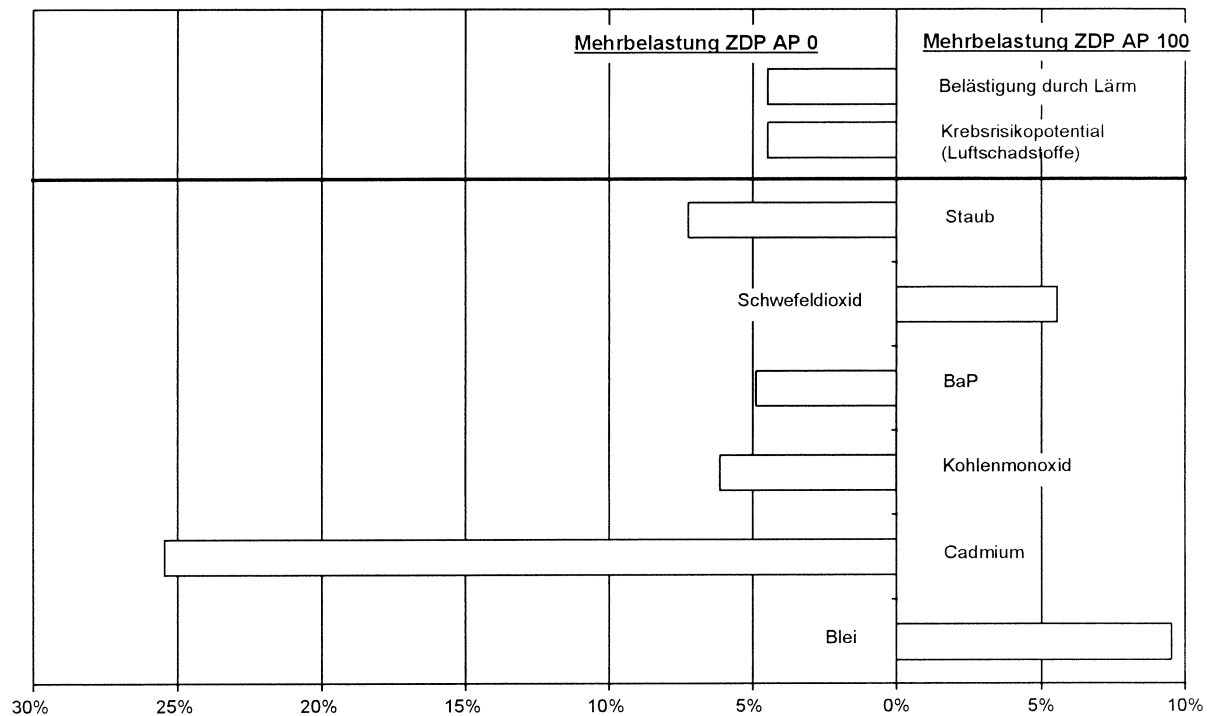


Abbildung 57: Relative Unterschiede zwischen Szenarien ZDP AP 0 und ZDP AP 100 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

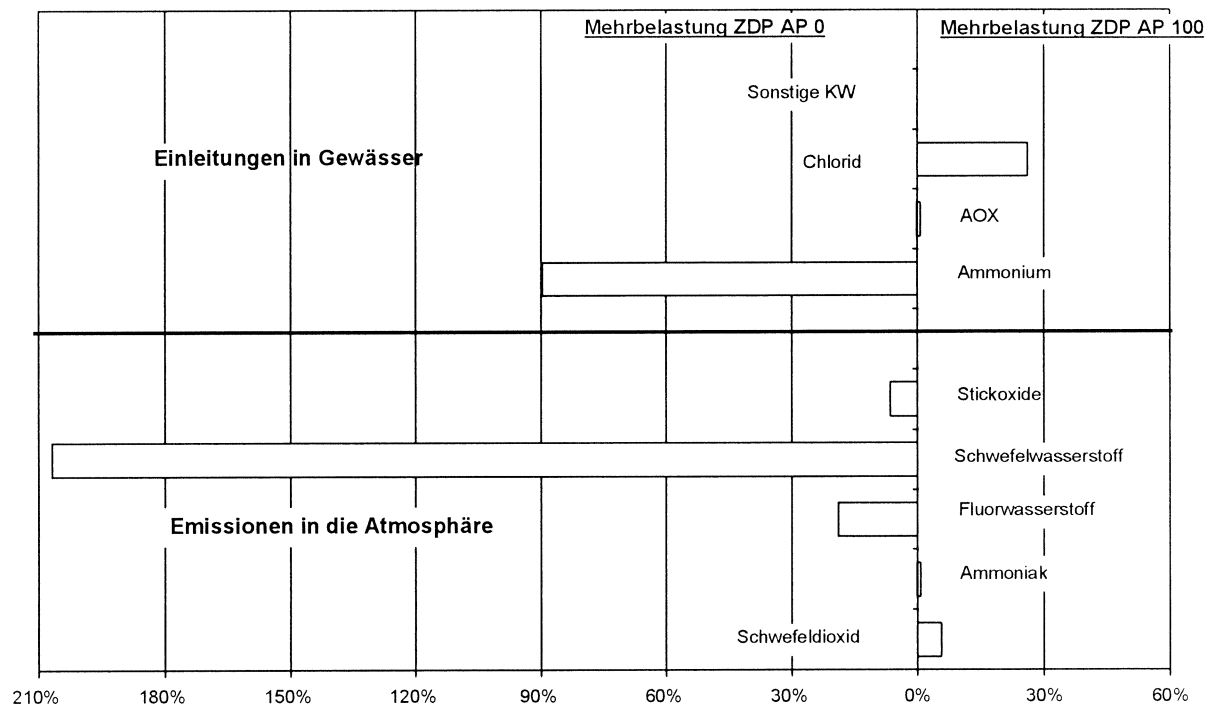


Abbildung 58: Relative Unterschiede zwischen Szenarien SC AP 0 und SC AP 30 bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

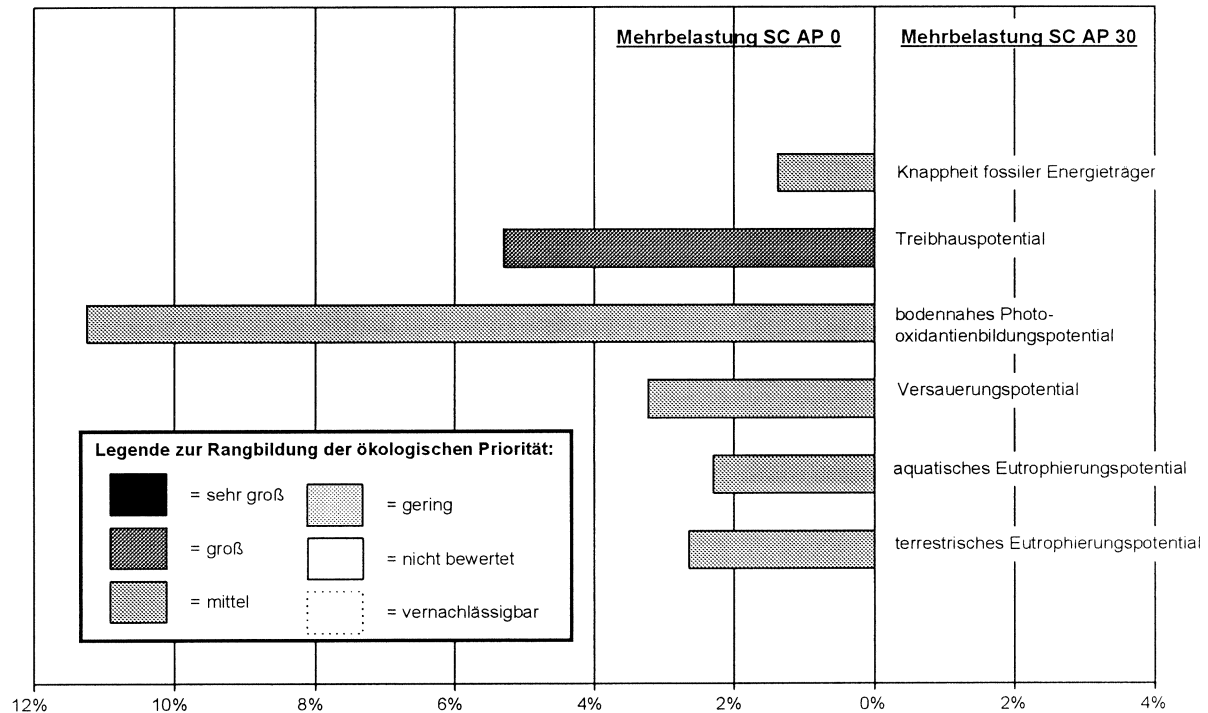


Abbildung 59: Relative Unterschiede zwischen Szenarien SC AP 0 und SC AP 30 bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

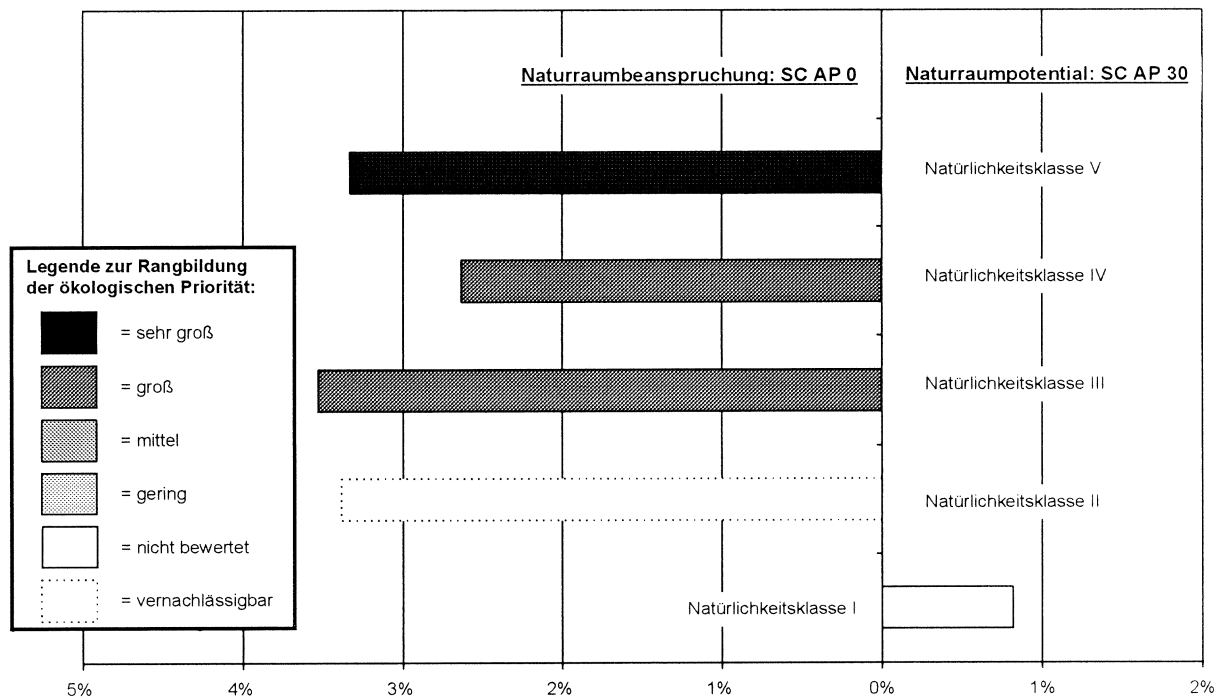


Abbildung 60: Relative Unterschiede zwischen Szenarien SC AP 0 und SC AP 30 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

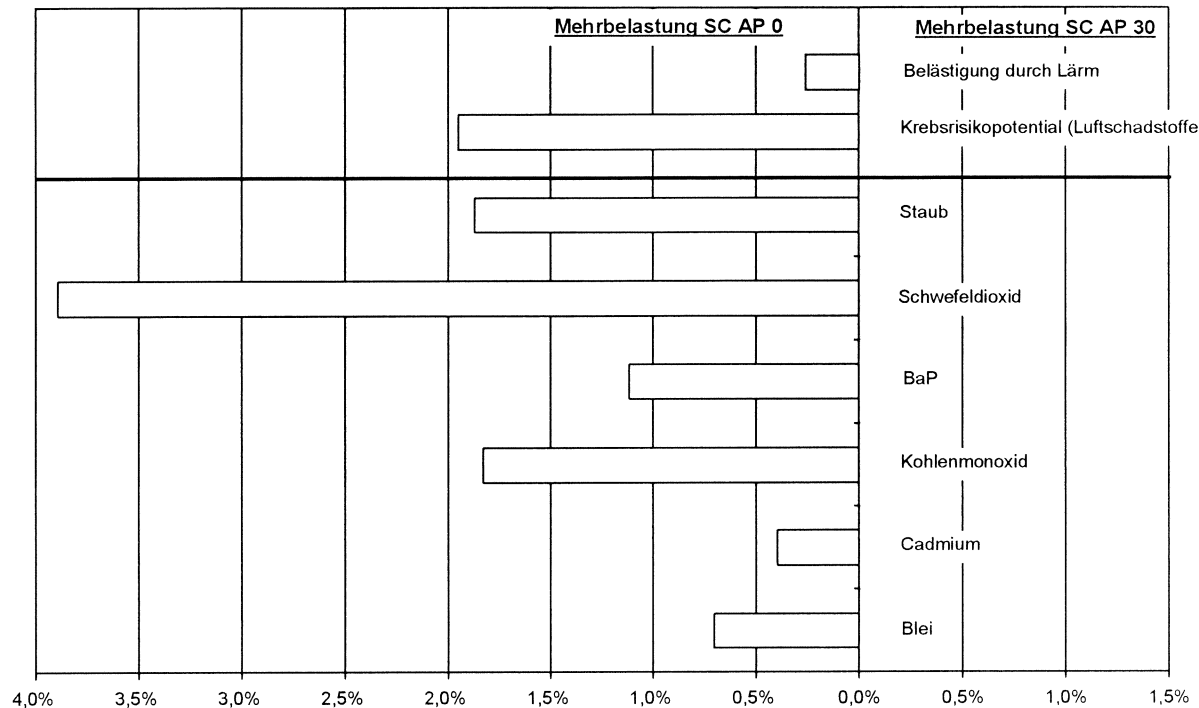


Abbildung 61: Relative Unterschiede zwischen Szenarien SC AP 0 und SC AP 30 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

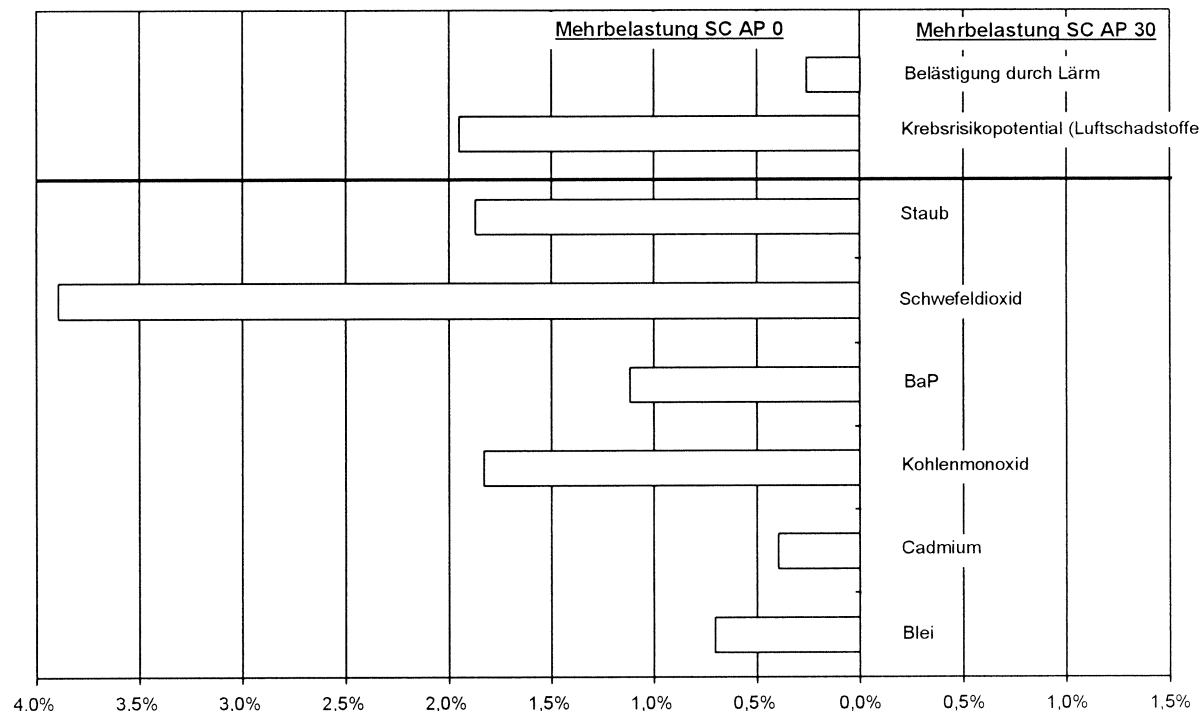


Abbildung 62: Relative Unterschiede zwischen Szenarien LWC AP 0 und LWC AP 30 bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

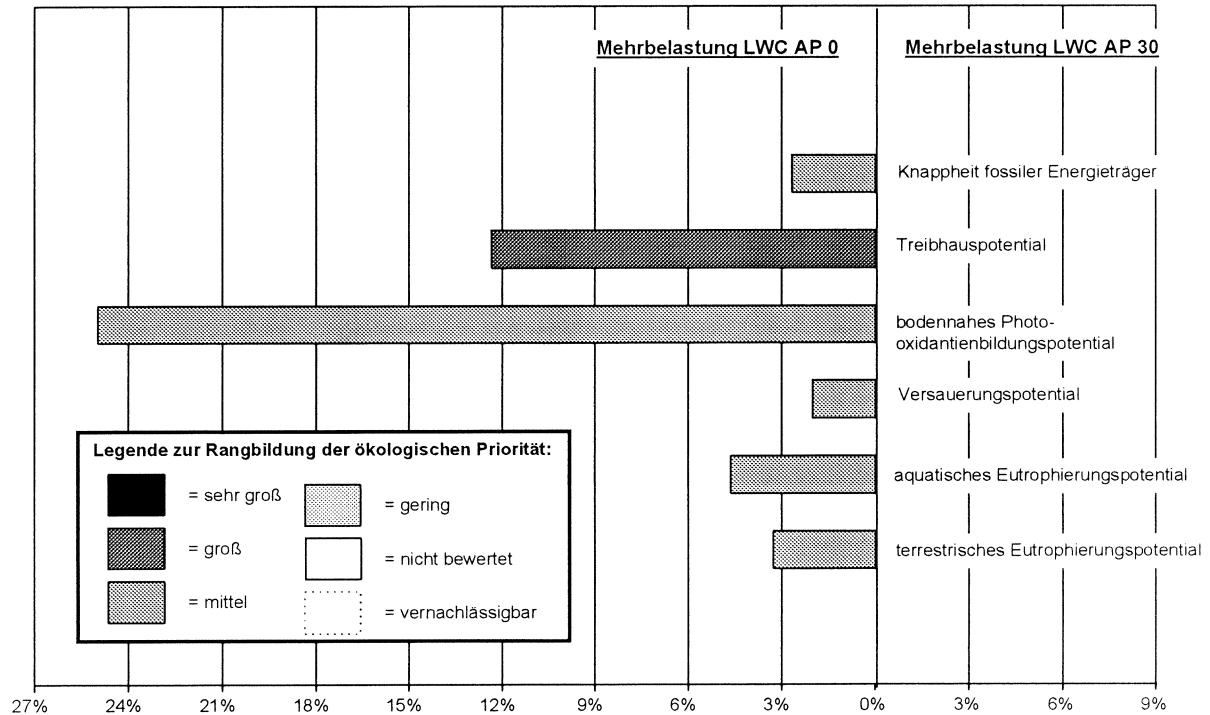


Abbildung 63: Relative Unterschiede zwischen Szenarien LWC AP 0 und LWC AP 30 bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

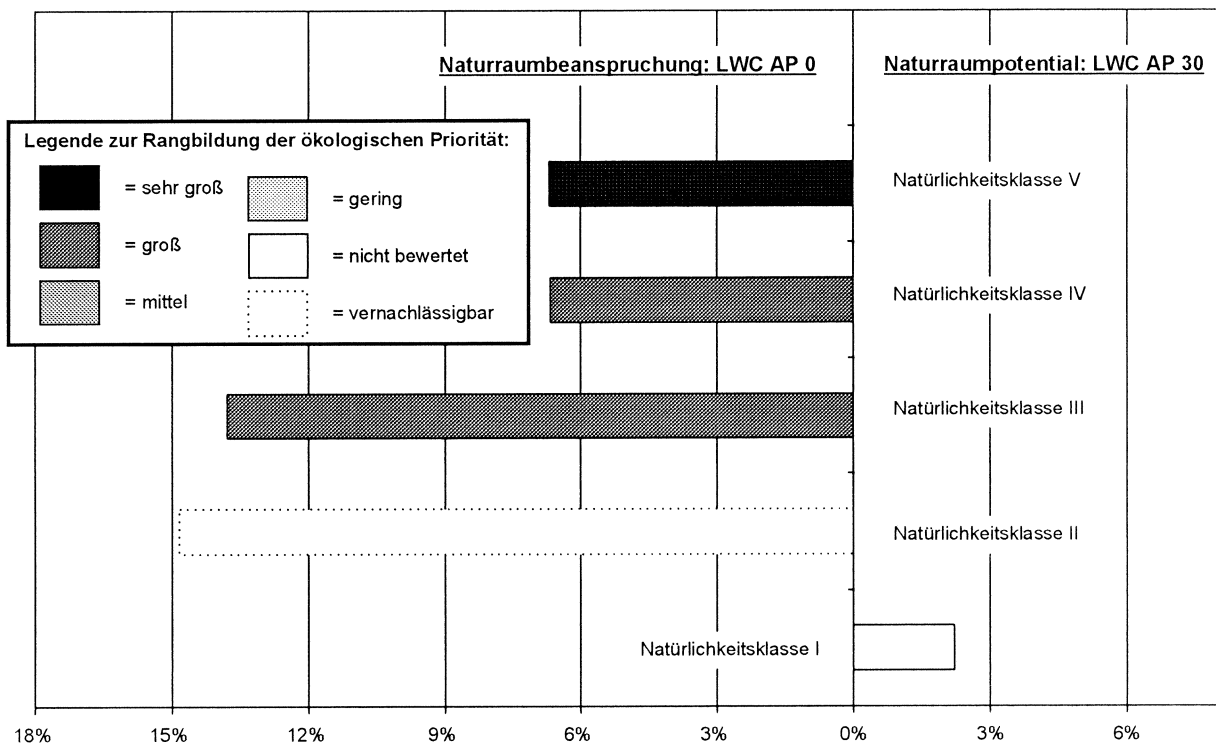


Abbildung 64: Relative Unterschiede zwischen Szenarien LWC AP 0 und LWC AP 30 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

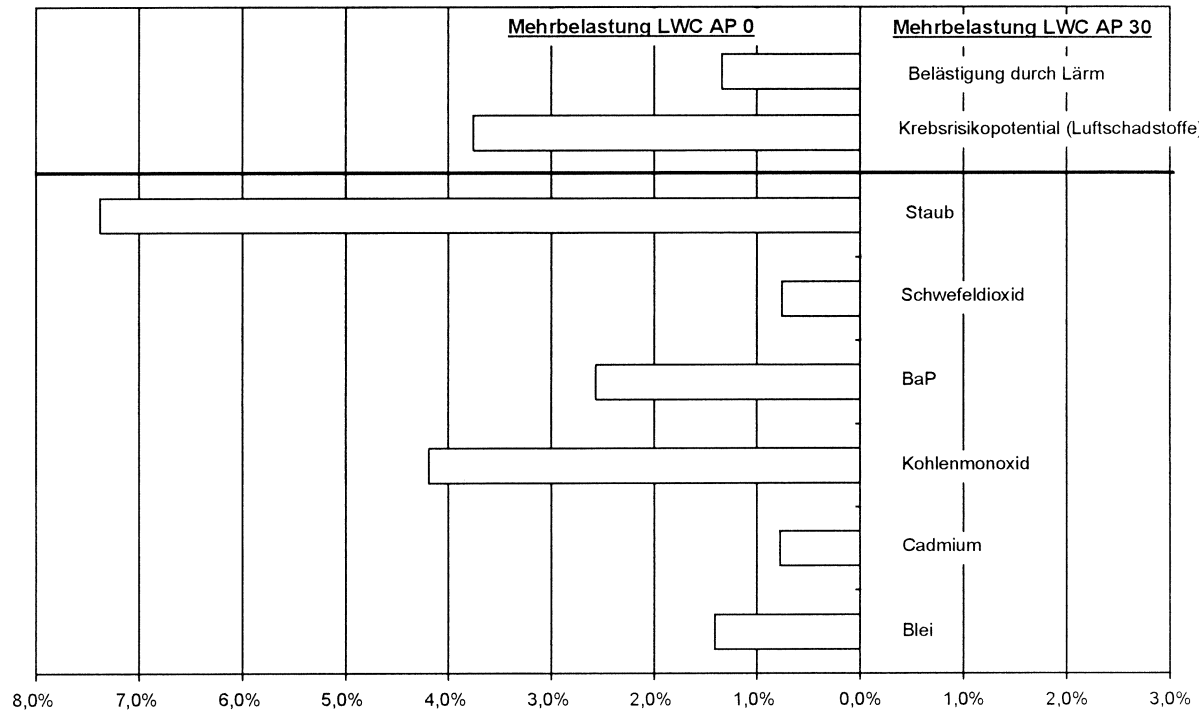


Abbildung 65: Relative Unterschiede zwischen Szenarien LWC AP 0 und LWC AP 30 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

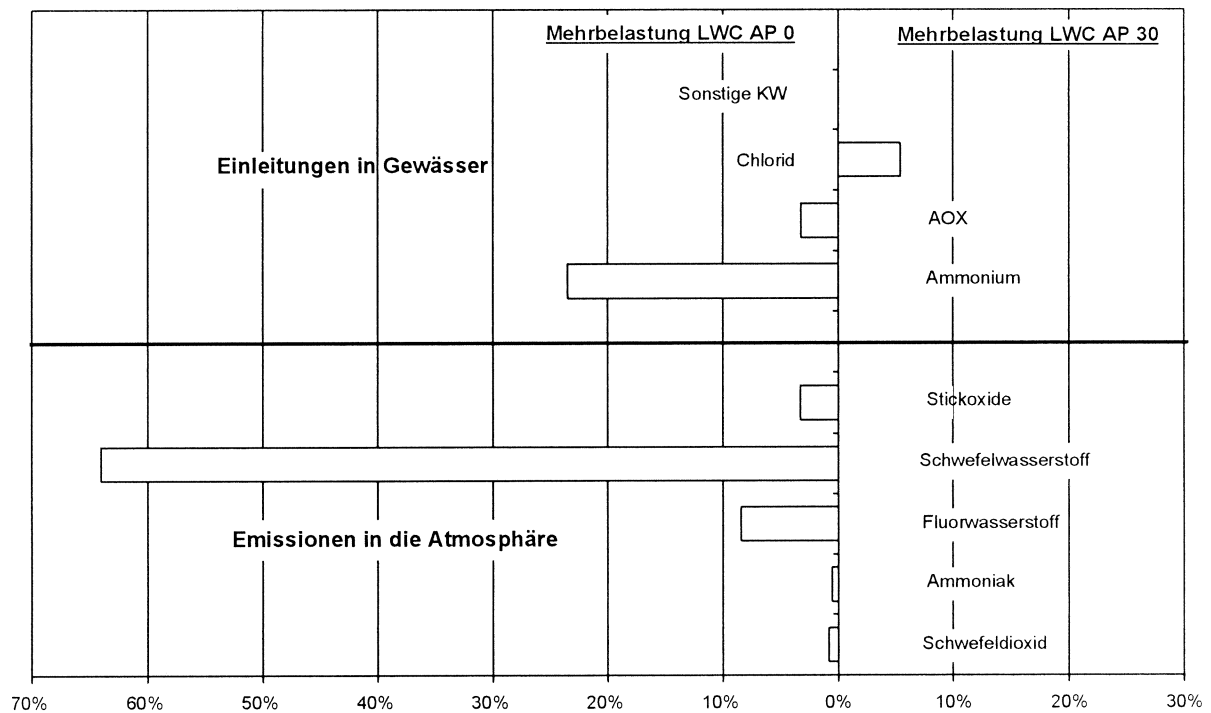


Abbildung 66: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KOP AP 0 und KOP AP 100 bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

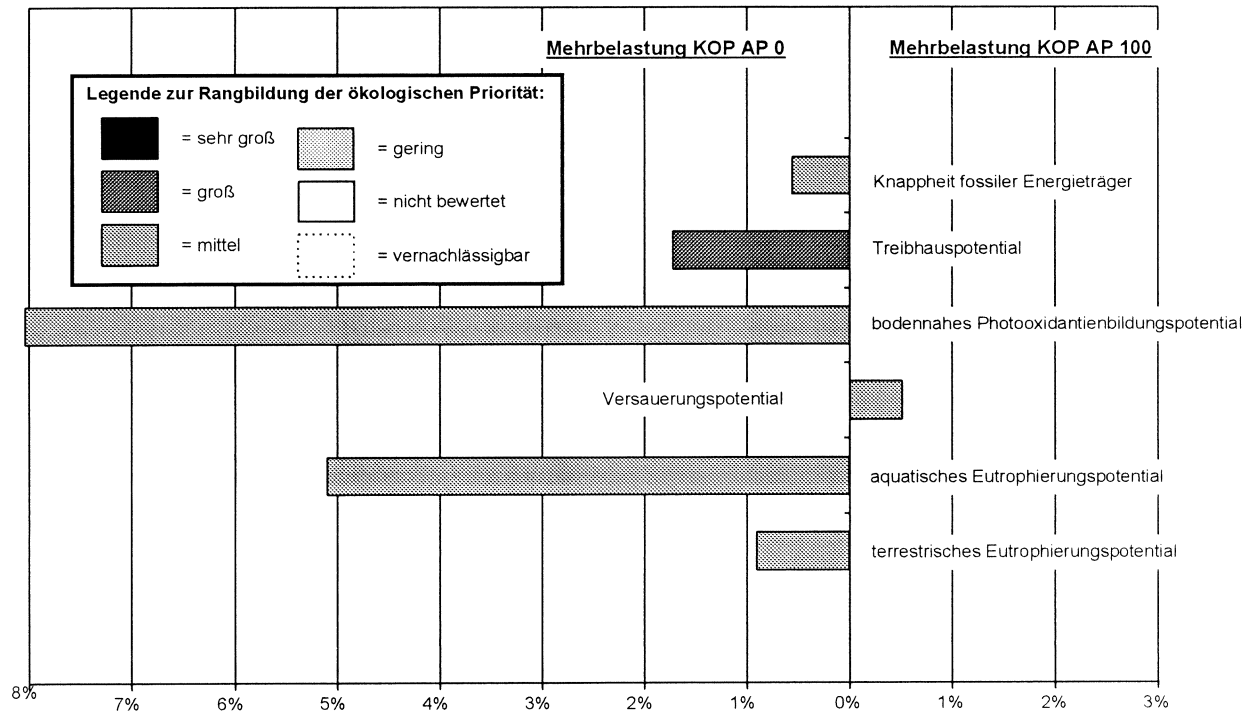


Abbildung 67: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KOP AP 0 und KOP AP 100 bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

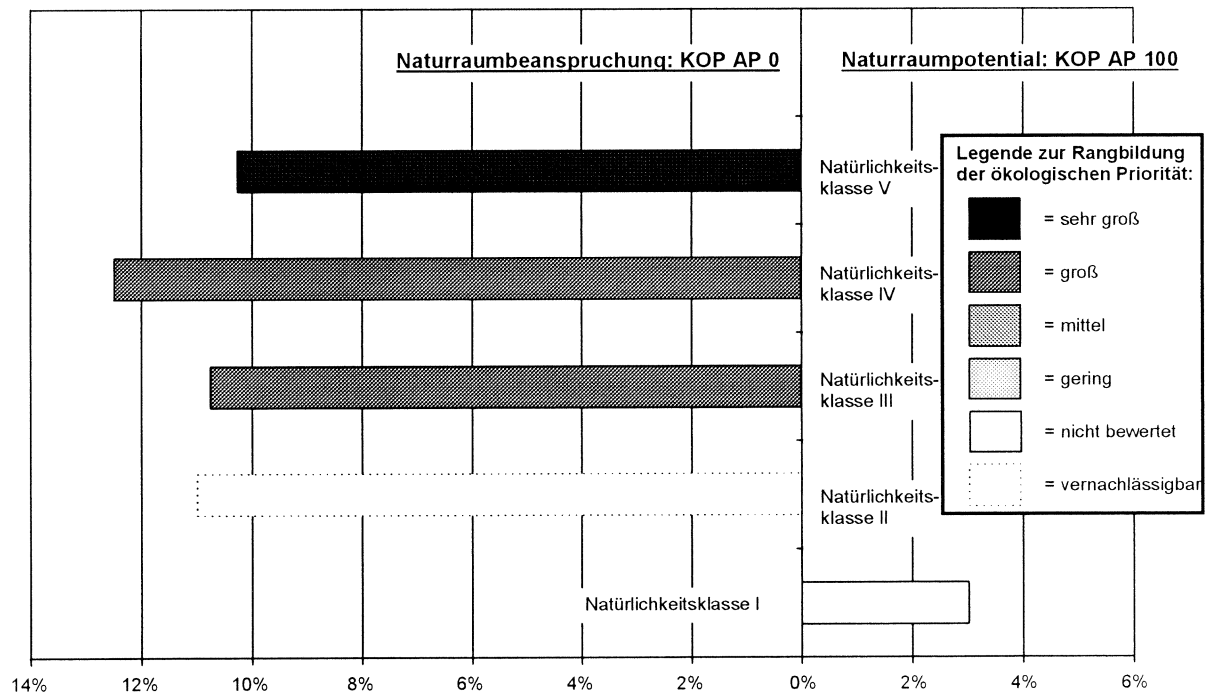


Abbildung 68: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KOP AP 0 und KOP AP 100 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

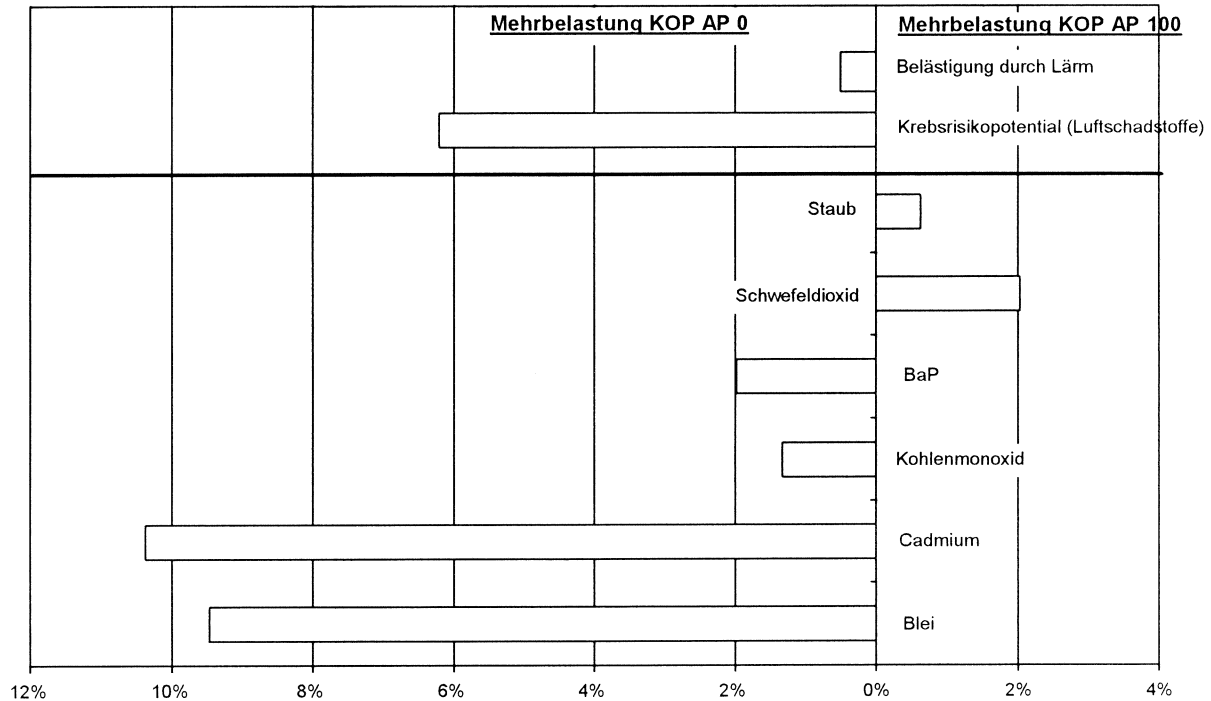


Abbildung 69: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KOP AP 0 und KOP AP 100 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

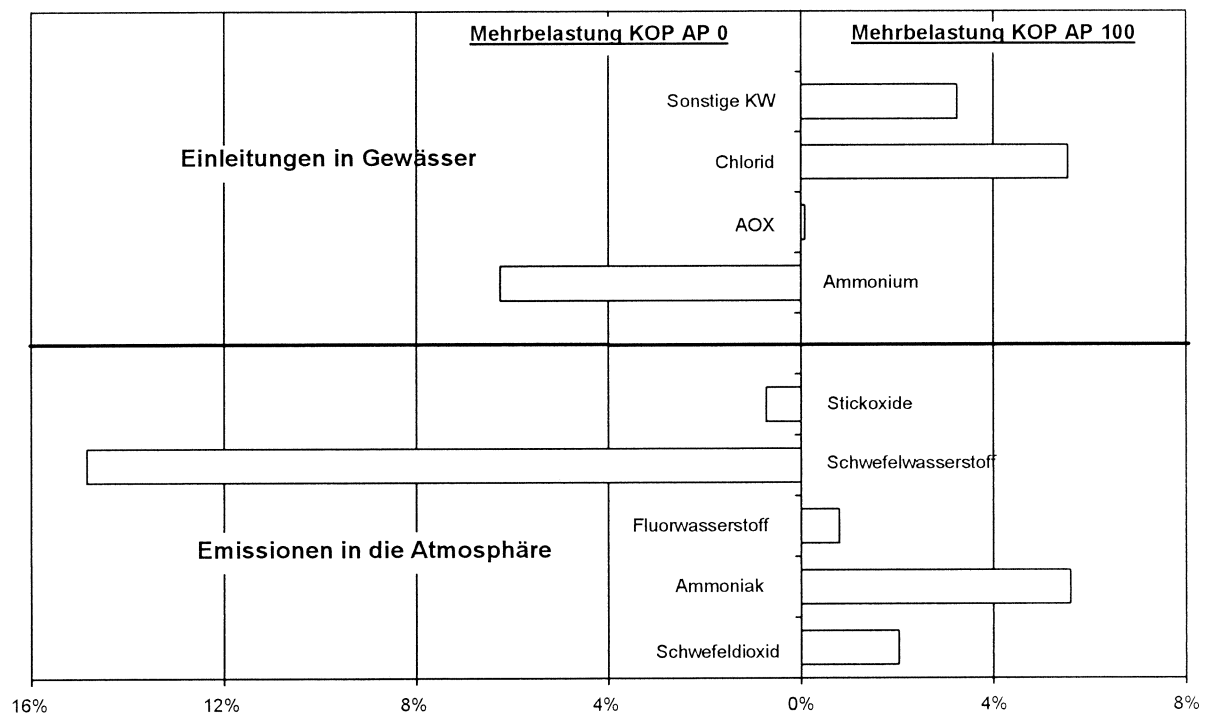


Abbildung 70: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und ZELLSTOFF FERN bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

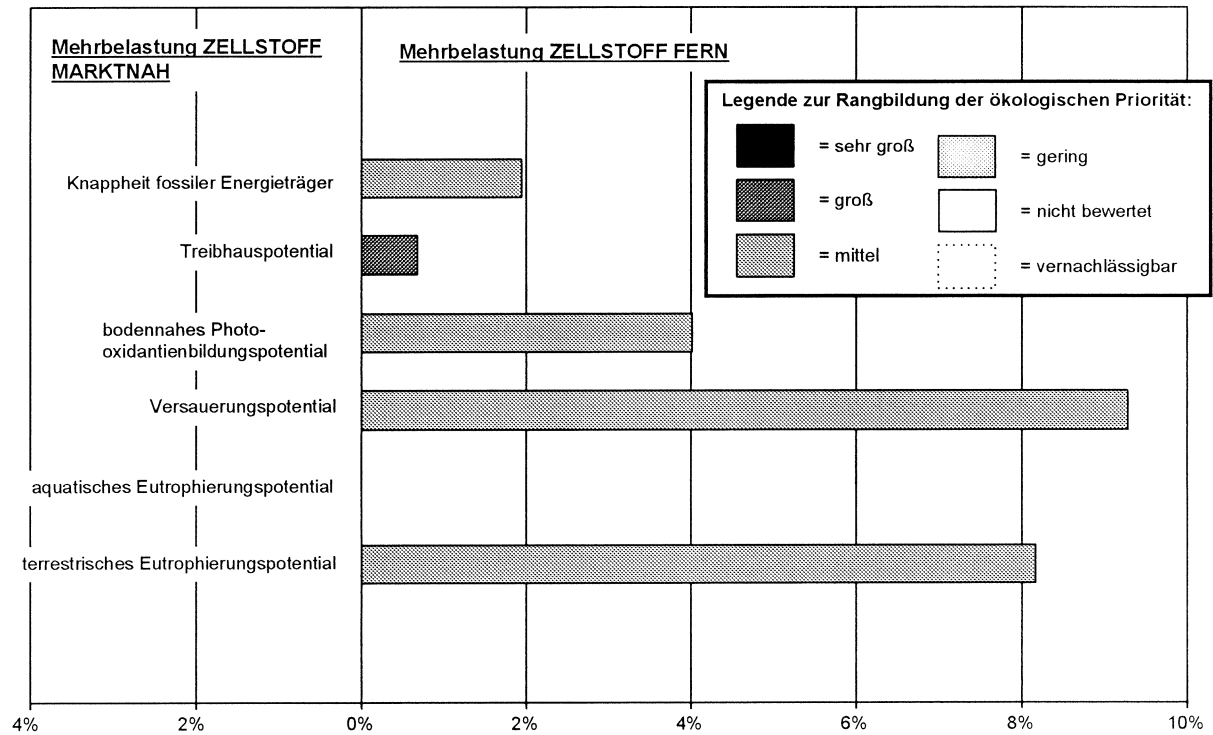


Abbildung 71: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und ZELLSTOFF FERN bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

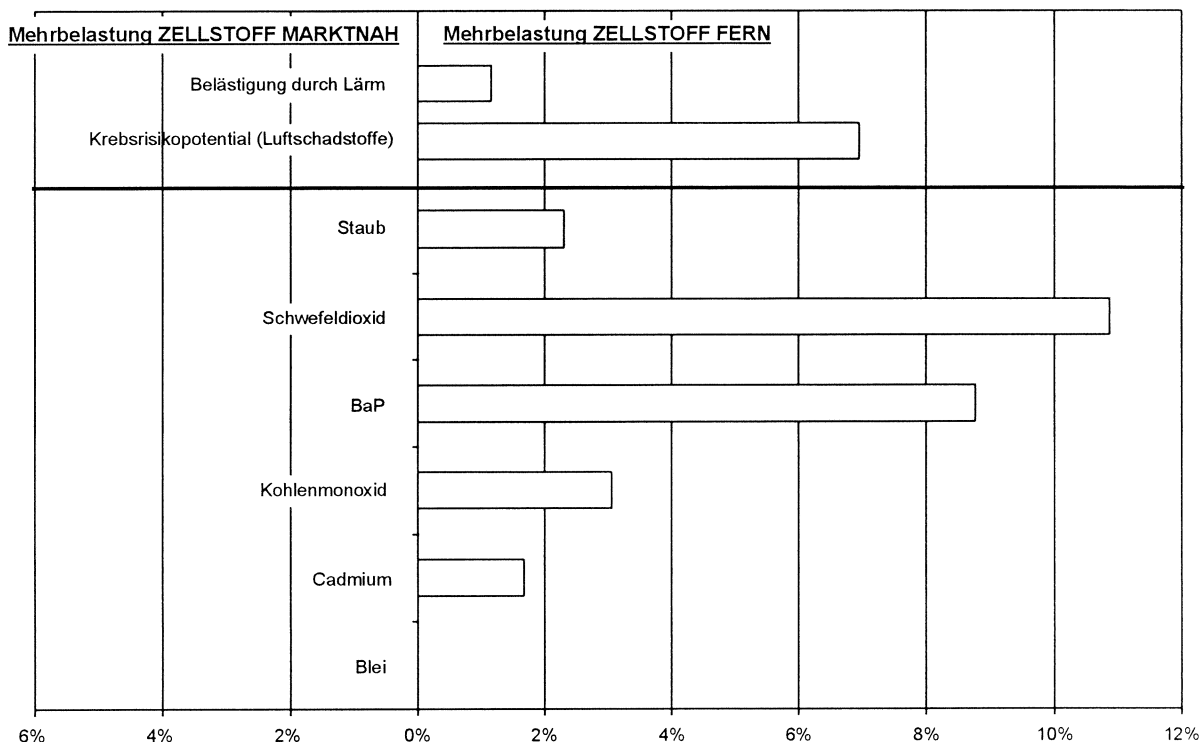


Abbildung 72: Relative Unterschiede zwischen Szenarien AP HAUPT I und ZELLSTOFF FERN bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

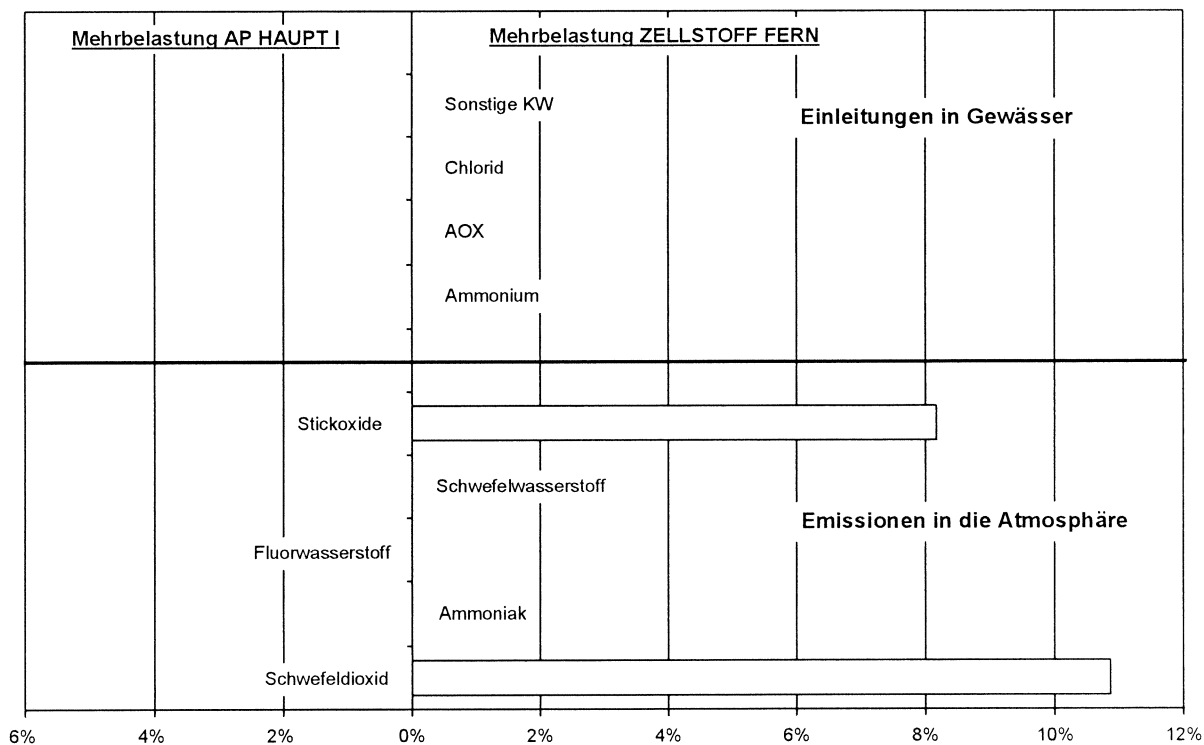


Abbildung 73: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat ECF bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

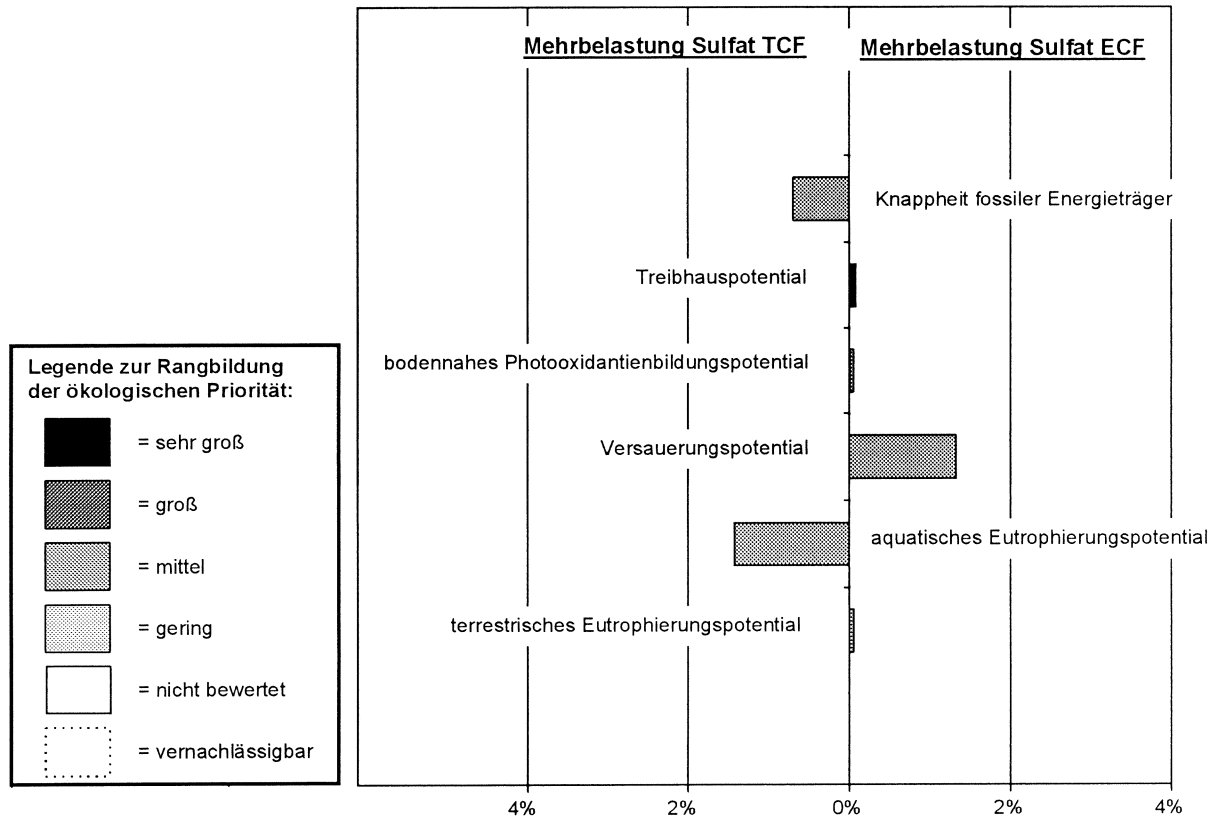


Abbildung 74: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat ECF bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

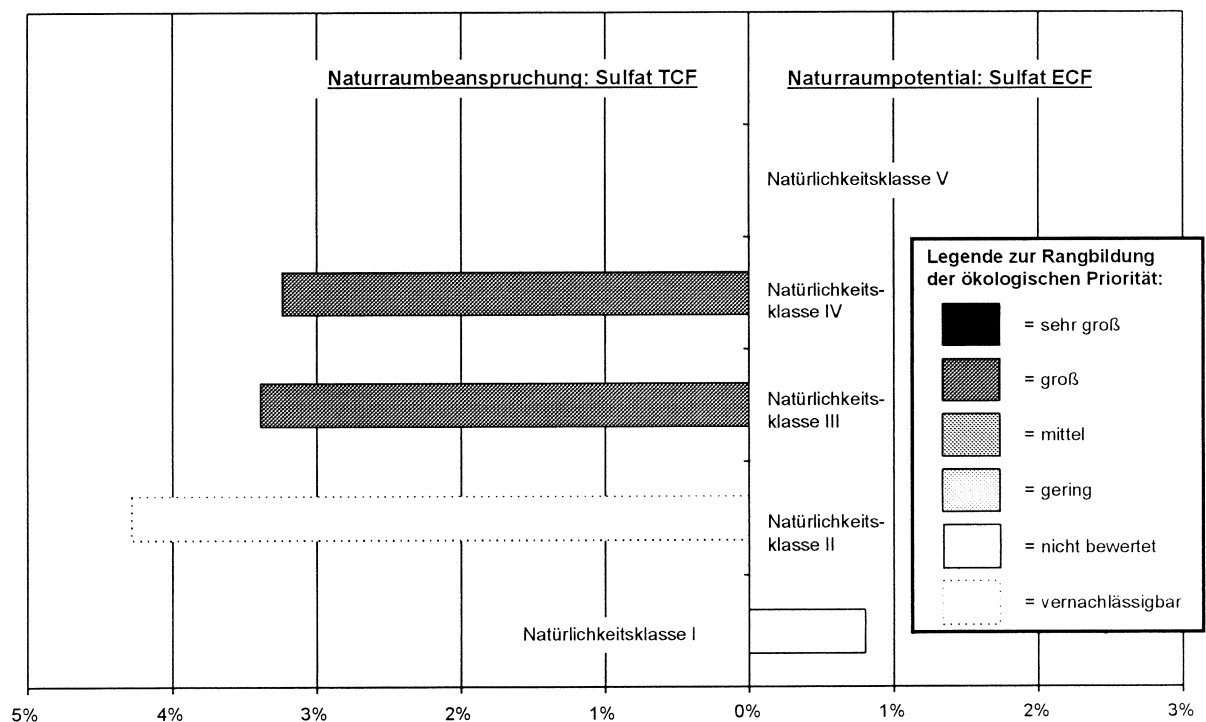


Abbildung 75: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat ECF bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

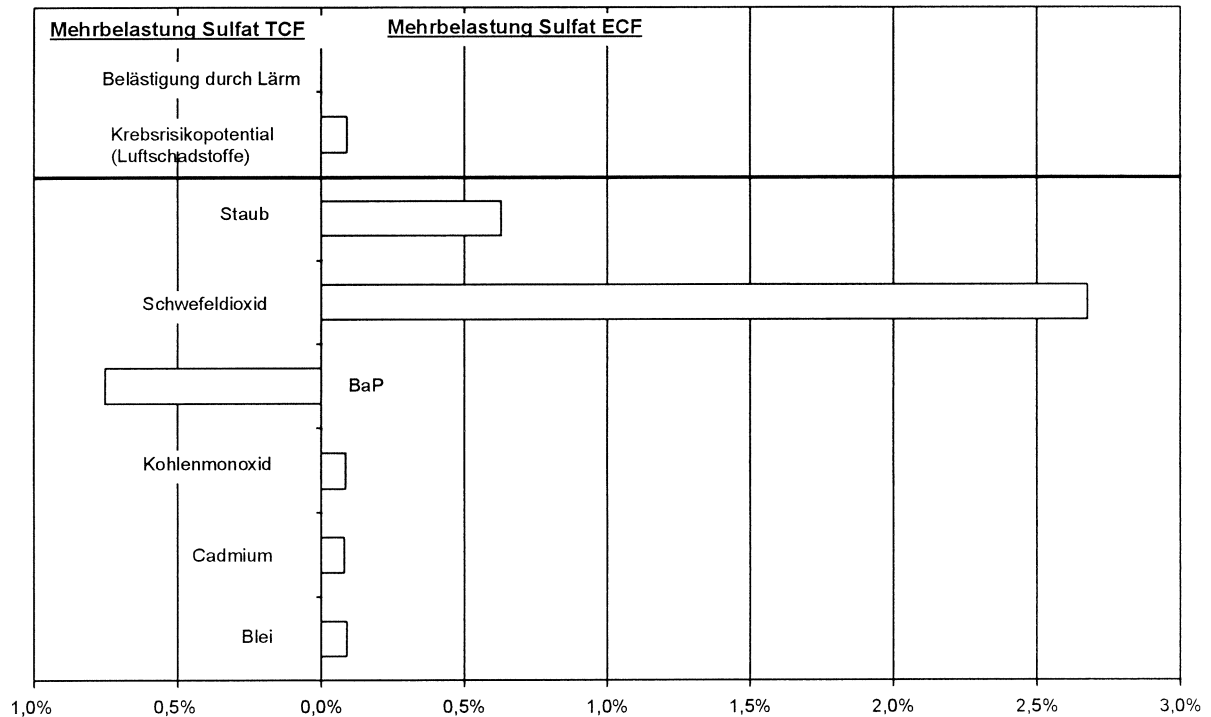


Abbildung 76: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat ECF bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

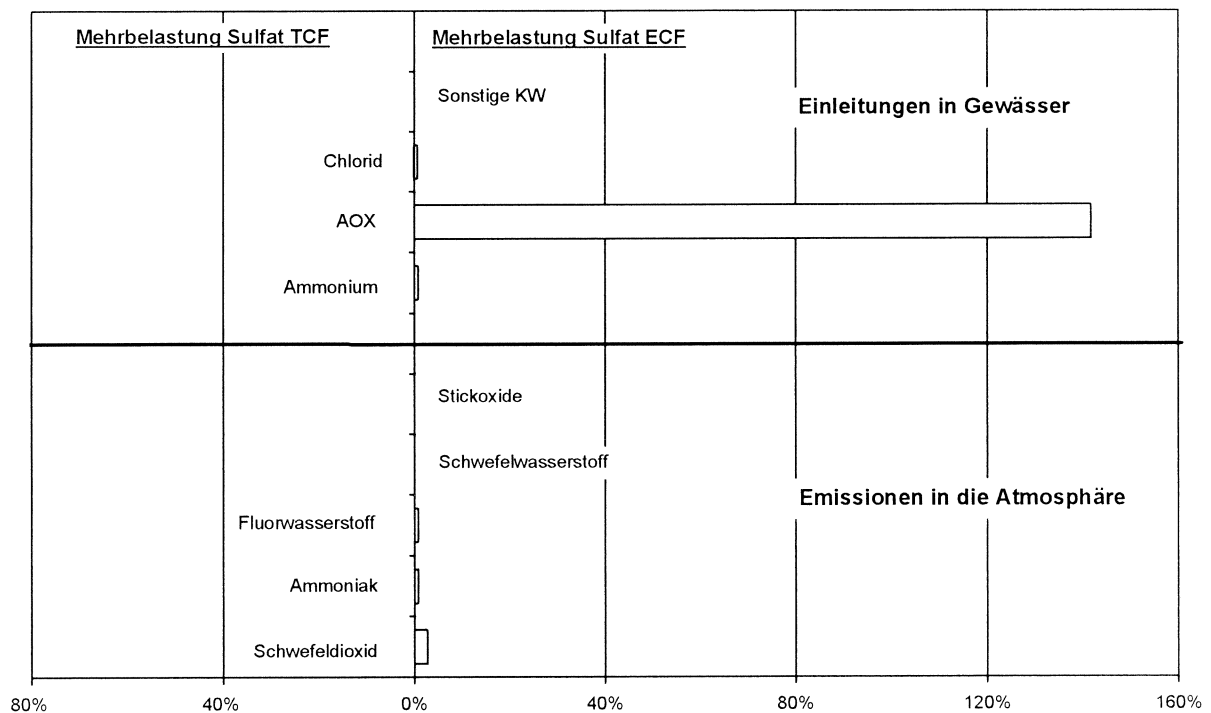


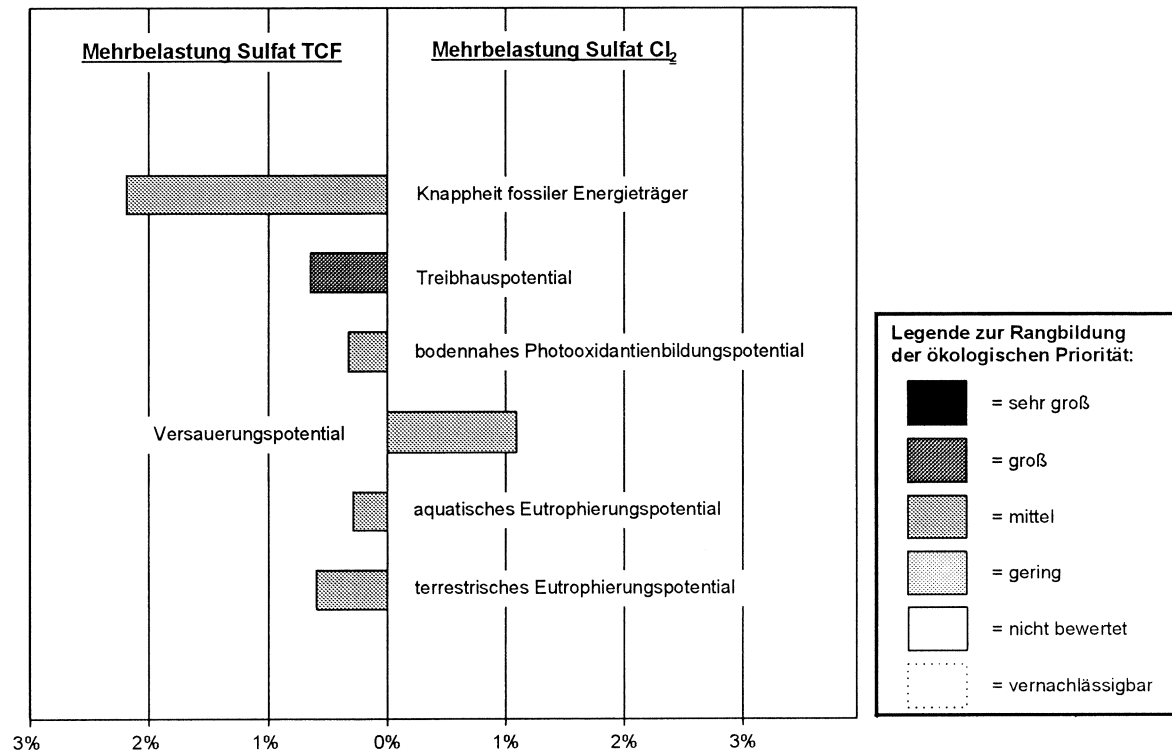
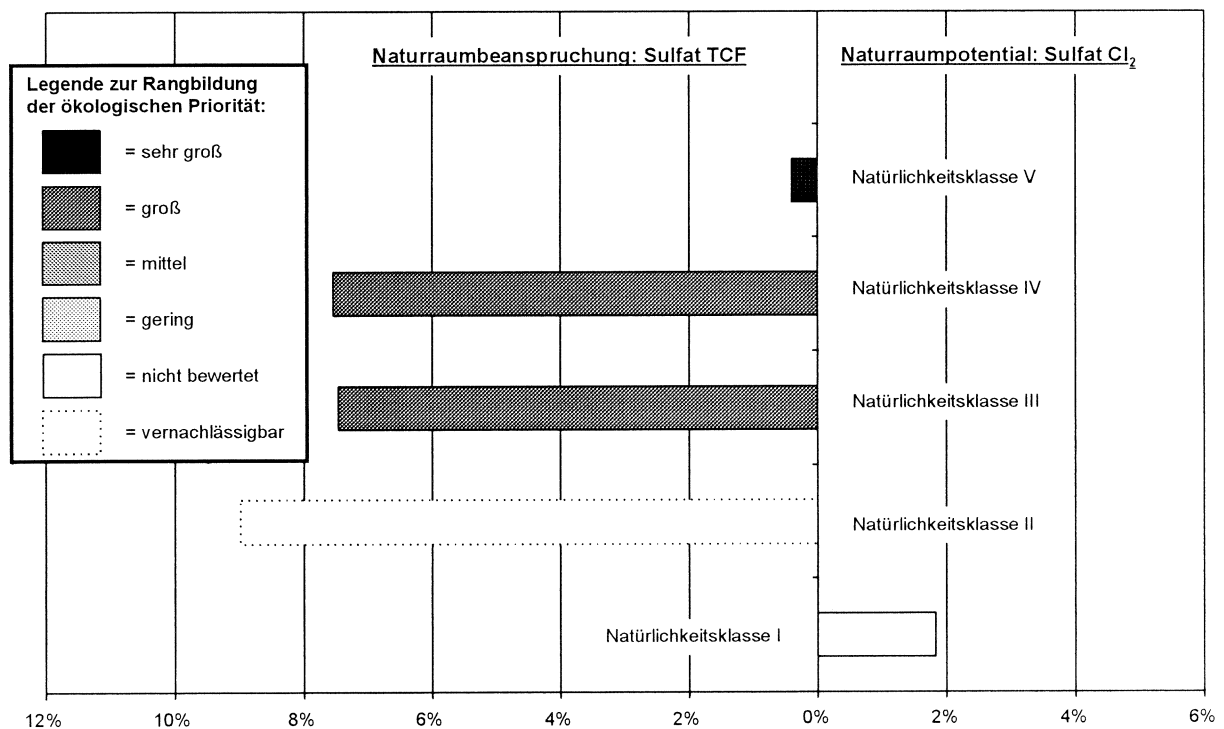
Abbildung 77: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Cl_2 bzgl. verschiedener WirkungskategorienAbbildung 78: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat Cl_2 bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

Abbildung 79: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat Cl_2 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

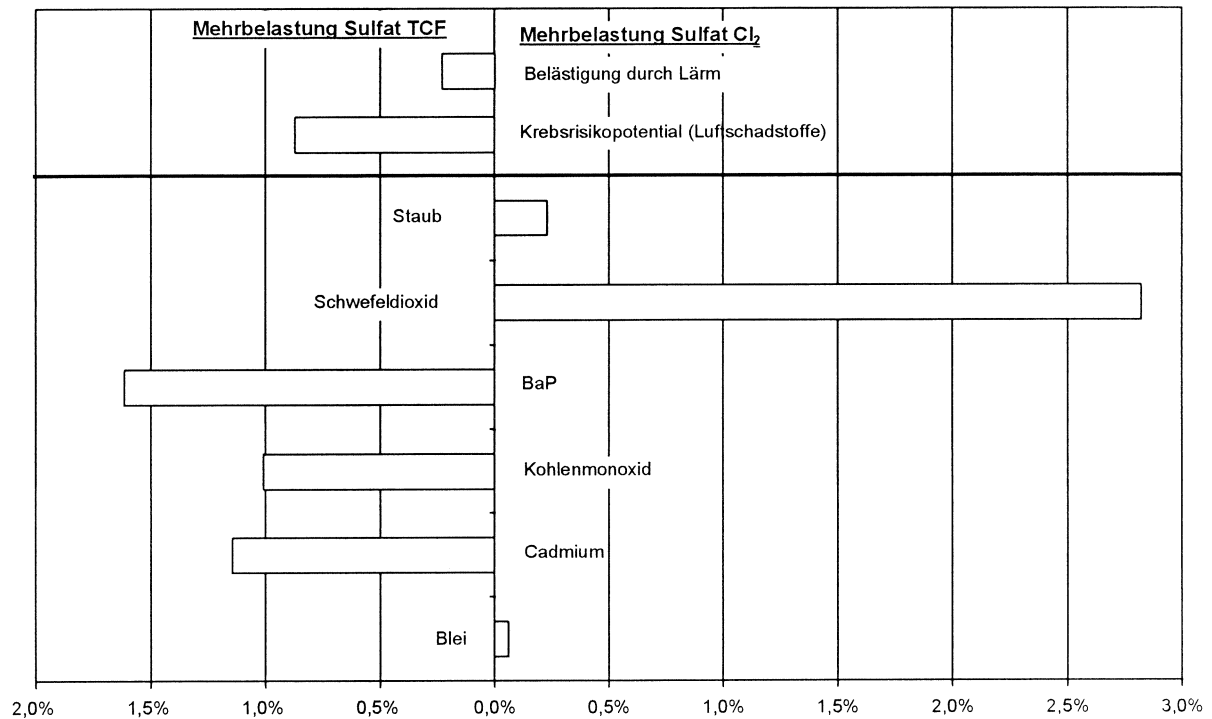


Abbildung 80: Relative Unterschiede zwischen Szenarien Sulfat TCF und Sulfat Cl_2 bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“

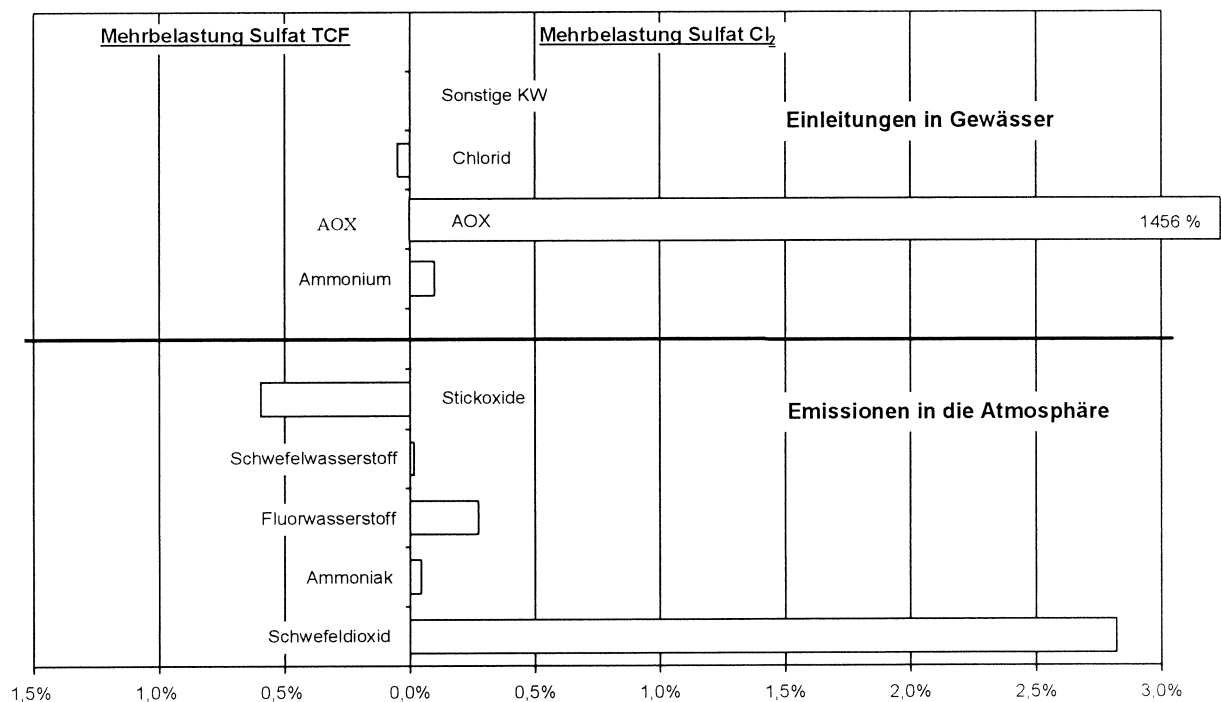


Abbildung 81: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KALANDRIEREN und STREICHEN bzgl. verschiedener Wirkungskategorien

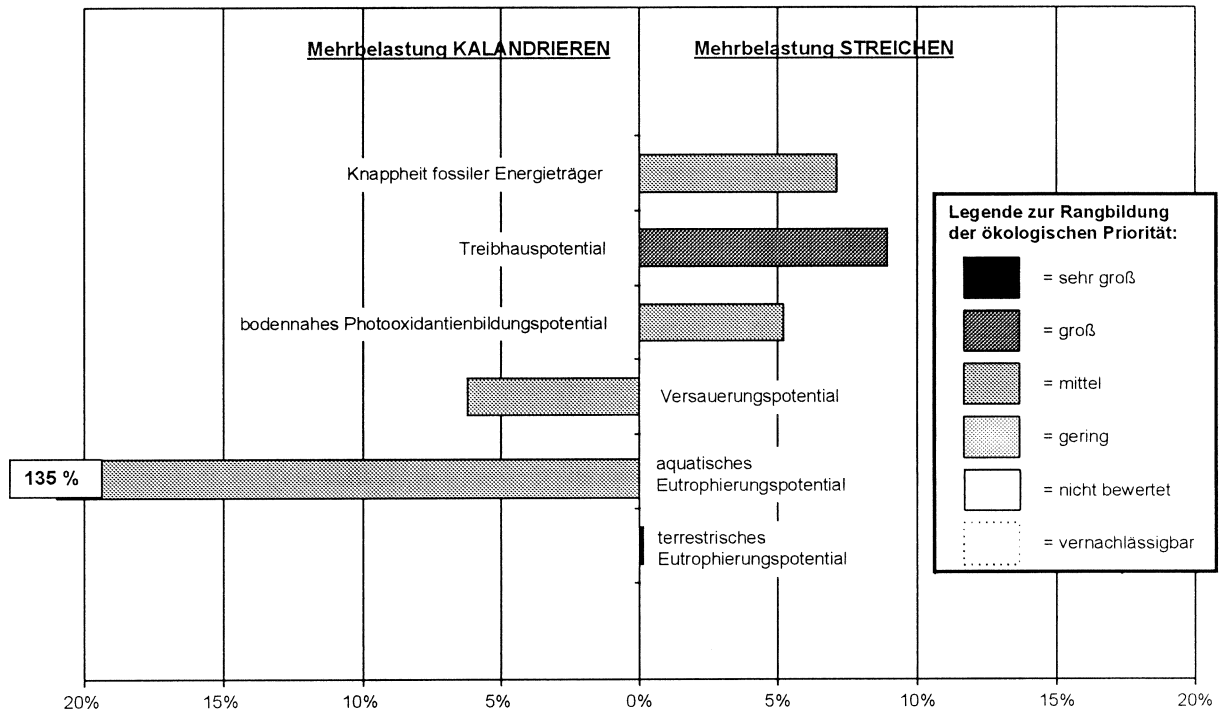


Abbildung 82: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KALANDRIEREN und STREICHEN bzgl. der Wirkungskategorie „Naturraumbeanspruchung“

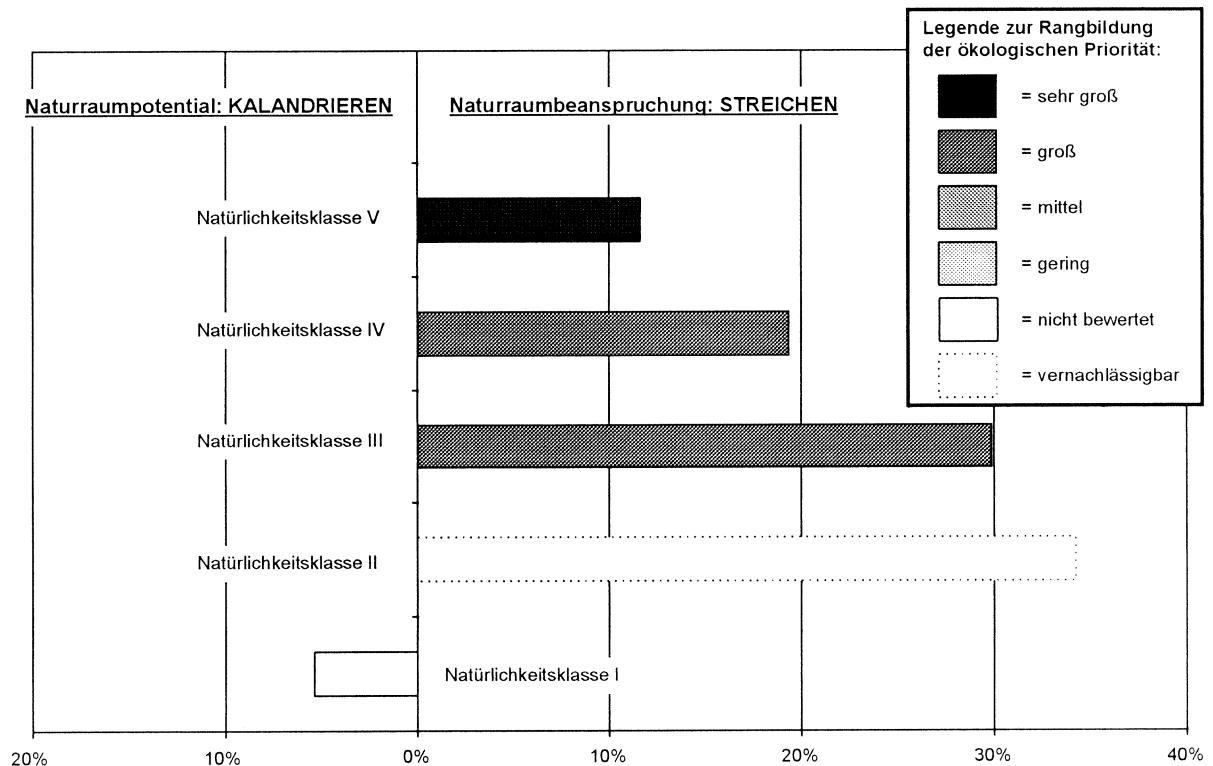


Abbildung 83: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KALANDRIEREN und STREICHEN bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Gesundheitsschädigung“

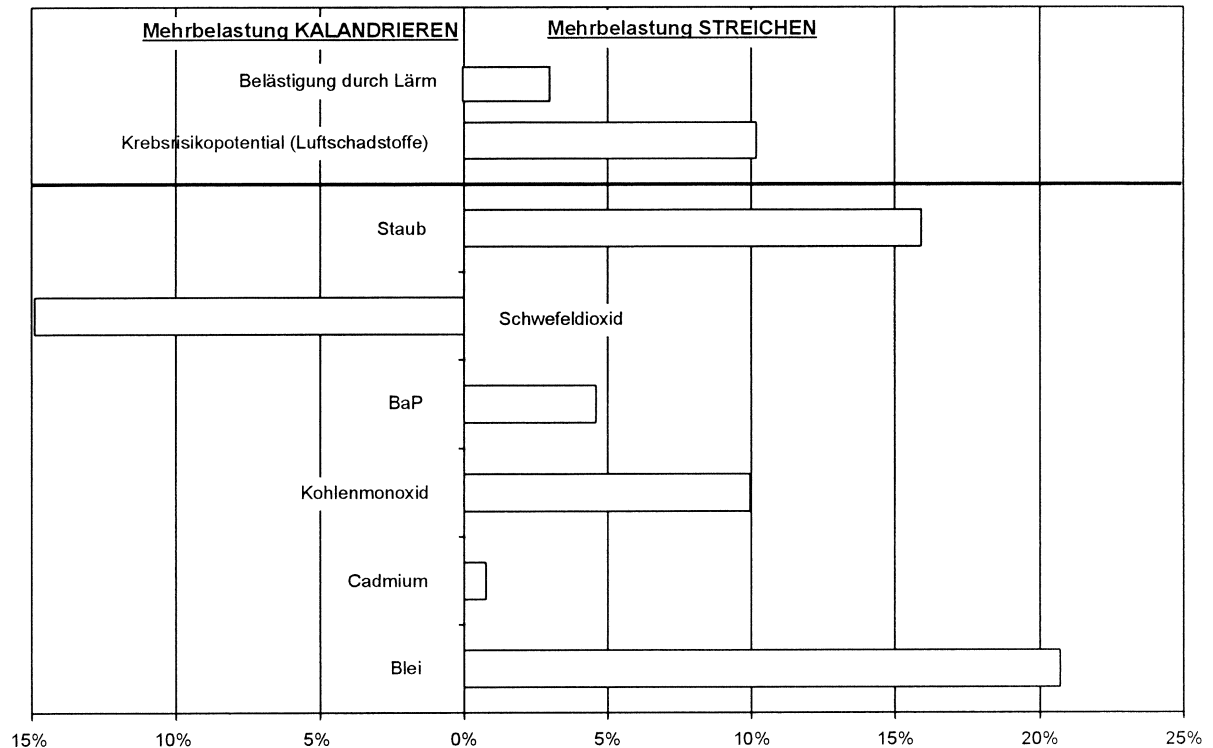
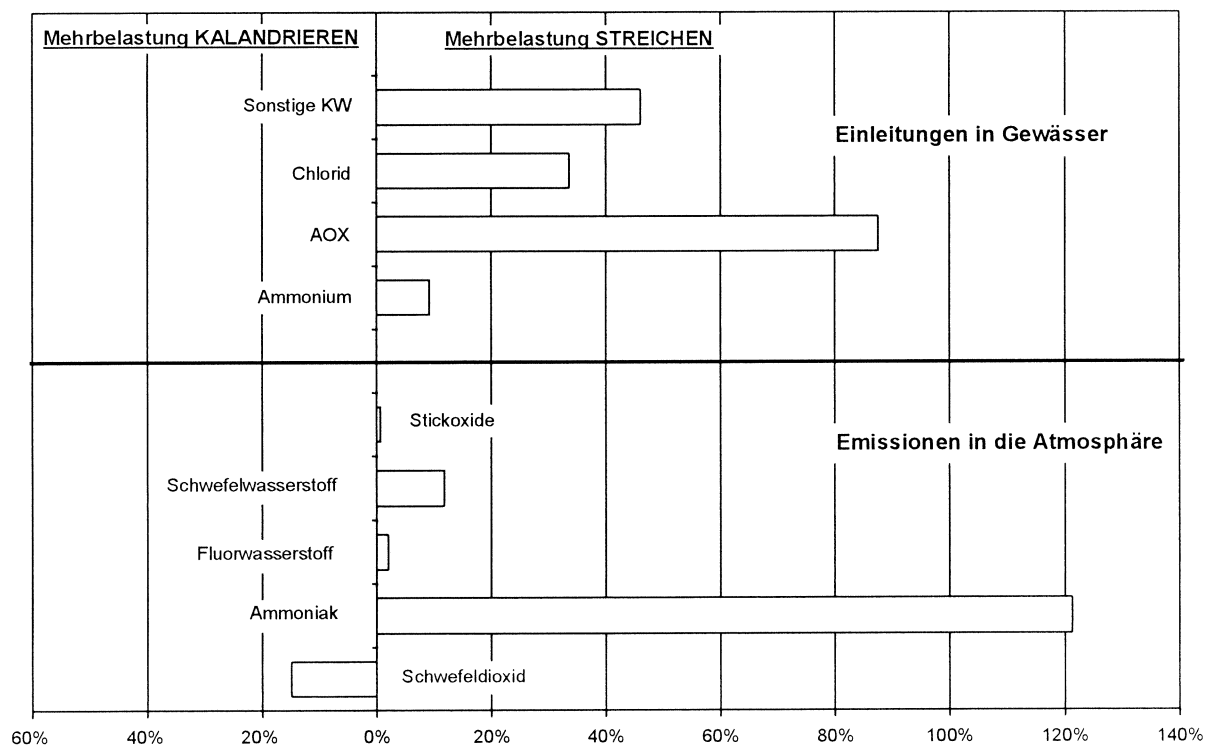


Abbildung 84: Relative Unterschiede zwischen Szenarien KALANDRIEREN und STREICHEN bzgl. der Wirkungskategorie „direkte Schädigung von Ökosystemen“



Anhang II: Prüfung der „Ökobilanzen für graphische Papiere“ auf ISO-Konformität - Kritische Prüfung (engl.: critical review) des Schlußberichts

Ökobilanzen für graphische Papiere

Ökologischer Vergleich graphischer Papiere (FKZ 103 501 20)

Schlußbericht

- Kritische Prüfung -

an das

Umweltbundesamt (UBA)
Berlin

von

Prof. Dr. Walter Klöpffer
Frankfurt am Main

Prof. Dr. Birgit Grahl
Lübeck

Dr.-Ing. Udo Hamm
Darmstadt

Oktober 1999

1 Veranlassung und Ablauf der kritischen Prüfung

Der vorliegende Schlußbericht über die kritische Prüfung faßt die Arbeit des Gutachterkreises (im folgenden auch "Panel" genannt) in der Zeit von August 1997 bis Oktober 1999 zusammen. Der Gutachterkreis kam auf Veranlassung des Umweltbundesamtes Berlin (UBA) zustande, um den Forderungen der internationalen Norm ISO EN DIN 14040 [1] genüge zu tun. Diese Norm verlangt die Durchführung einer kritischen Prüfung nach § 7.3.3 für solche Ökobilanzen, die vergleichende Aussagen über Produktsysteme machen und veröffentlicht werden. Vergleichende Aussagen sind solche, die die Überlegenheit eines von mindestens zwei untersuchten Produktsystemen oder deren Gleichheit unter ökologischen Aspekten geltend machen.

Die Tätigkeit des Gutachterkreises beruht auf dem Angebot des Vorsitzenden vom August 1996, das aufgrund einer beschränkten Ausschreibung des UBA vom 26. Mai 1996 (Gesch.Z. Z1.5-30727/11) erstellt wurde. Die Erteilung des Auftrages zur kritischen Prüfung erfolgte am 23. Juni 1997 (Gesch.Z. III 3.3 30727/11). In diesem Brief wurde auch eine Präzisierung der Aufgaben des Gutachterkreises vorgenommen, namentlich der zu prüfenden Punkte in der Formulierung der Norm 14040 [1].

Die Arbeit des Gutachterkreises erfolgte in zwei Phasen:

1. In der ersten Phase wurde der Entwurf des Schlußberichts des Instituts für Energie- und Umweltforschung (ifeu) Heidelberg [2] geprüft. Die Ergebnisse dieser Phase sind in den Protokollen der Sitzungen 1-3 und im Zwischenbericht vom Januar 1998 festgehalten. Der Schwerpunkt der gutachterlichen Tätigkeit lag in dieser ersten Phase.
2. In der zweiten Phase wurde der erweiterte und verbesserte Schlußbericht von ifeu vom Juni 1998 [3] und die Auswertung des Umweltbundesamts [4] geprüft. Die Ergebnisse dieser Phase sind im Protokoll der 4. Sitzung des Gutachterkreises und in diesem Bericht enthalten. Die zweite Phase wurde im Frühjahr und Sommer 1999 durchgeführt. In diese Zeit fiel auch die abschließende Beiratssitzung in Berlin (21./22.4.1999), an welcher der Vorsitzende des Panels teilnahm.

Der Gutachterkreis hielt insgesamt vier Sitzungen ab, und zwar am 25. September 1997 in Darmstadt, am 6. November 1997 in Heidelberg, am 8. Januar 1998 in Lübeck und am 6. Juli 1999 in Dreieich. Die Ergebnisse wurden in Protokollen mit ausführlichen Anhängen dargestellt, die nach erfolgter Abstimmung im Panel dem Auftraggeber und dem Ersteller der Studie zur Kenntnis gebracht wurden. Die Kommunikation innerhalb des Gutachterkreises, sowie mit UBA und ifeu war sehr dicht und freundschaftlich. Es bestand eine große Bereitschaft, auf Verbesserungswünsche seitens des Panels einzugehen, so daß der Schlußbericht wesentlich

positiver ausfällt, als der Zwischenbericht vom Januar 1998. Auch auf den Entwurf des Schlußberichts hin wurden noch Verbesserungen angebracht.

Außerhalb der eigentlichen Aufgabenstellung, aber zum Verständnis der Auswertung durch das UBA nötig, wurde die Bewertungsmethodik des UBA, die in zwei Entwürfen vorlag [4c], kritisch durchgearbeitet und kommentiert. Das Panel betrachtet es aber nicht als seine Aufgabe, die in [4c] getroffenen Gewichtungen, die allein in der Verantwortung des UBA liegen, zu beurteilen.

Der hier vorliegende Schlußbericht des Gutachterkreises beruht auf Konsens innerhalb des Panels.

2 Generelles zur Methodik der Studie und zu den Berichten

2.1 Arbeitsteilung Ersteller/Auftraggeber/Begleitkreise

Die hier begutachtete Studie kann nicht richtig gewürdigt werden, wenn man die Komplexität ihrer Struktur außer Acht läßt (siehe Tabelle 1). Die Arbeiten wurden von einer Projektgemeinschaft unter Leitung des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu) in der Zeit ab Dezember 1994 durchgeführt. Die Partner des ifeu waren:

(1) Institut für Umweltschutz der Universität Dortmund (INFU); (2) Büro für angewandte Waldökologie, Duvensee; (3) Dr. Rainer Stern, Freiburg/Br.; (4) IFU-Institut für Umweltinformatik GmbH, Hamburg.

Gesprächspartner für die Gutachter waren von Seiten der Ersteller ausschließlich Mitarbeiter des ifeu. Auftraggeber war das Umweltbundesamt Berlin (UBA). Miteingebunden in die Entscheidungsfindung und teilweise auch in die Projektarbeit (Datenbeschaffung) war der Projektbeirat. Dazu kommt der Gutachterkreis, der ab Herbst 1997, also für die zweite Halbzeit projektbegleitend tätig war. Die folgende Tabelle 1 soll einen ungefähren Eindruck von den Zuständigkeiten der Akteure bei der Projektdurchführung geben.

Tabelle 1: Aufgabenverteilung

	Ifeu-Team "Ersteller"	UBA "Auftraggeber"	Projektbeirat "Begleitkreis"	Gutachterkreis "Panel"
Definition des Ziels und des Untersuchungsrahmens				
Zieldefinition	X	X	X	
Allokationsregeln, Systemgrenzen		X	X	
Funktionelle Einheit		X	X	
Sachbilanz				
Datenerhebung	X		X	
Berechnungen	X			
Wirkungsabschätzung				
Auswahl der Kategorien	X	X	X	
Modellierung (Indikatoren)	X	X		
Klassifizierung	X			
Charakterisierung	X			
Normierung		X		
Ordnung		X		
Auswertung				
Überblick über die gesamte Studie		X		
Sensitivitätsanalysen	X			
Berichterstellung	X a)	X b)		X c)
Kritische Prüfung				X
Empfehlungen	X	X	X	X

a) Sachbilanz und Wirkungsabschätzung bis Charakterisierung

b) Wirkungsabschätzung ab Normierung und Auswertung (einschließlich Zusammenfassung, Schlußfolgerungen und Empfehlungen)

c) Bericht über die kritische Prüfung (Teil von b)

Aus Tabelle 1 geht hervor, daß sich der Auftraggeber einen Teil der Arbeiten selbst vorbehalten hat; er ist daher gewissermaßen auch (eigenverantwortlicher) Teil des Erstellerteams. Die Einbeziehung der interessierten Kreise in den Projektbeirat bewirkte, daß für den Gutachterkreis keine Notwendigkeit bestand, diese Kreise auch in die kritische Prüfung einzubeziehen (was in ISO 14040, § 7.3.3 empfohlen wird).

2.2 Allgemeiner Eindruck

Ohne der detaillierten und kritischen Auseinandersetzung mit dieser Studie vorzugreifen, soll an dieser Stelle auf die ungewöhnlich umfangreiche und komplexe Aufgabenstellung und auf

die entsprechend aufwendige Bearbeitung der Ökobilanz hingewiesen werden. Dazu kommt, daß während der Projektbearbeitung durch den Projektbeirat eine Systemerweiterung angeregt und zur Bedingung für eine Weiterführung der Zusammenarbeit gemacht wurde. Diese Erweiterung wurde vom Projektteam umgesetzt (Abschnitt 2.3) und machte die ursprünglich vorgesehenen und im Entwurf des Endberichts vom Juli 1997 [2] noch beschriebenen funktionellen Einheiten unbrauchbar. Es wurde vielmehr ein großes Szenario ("IST") entwickelt, das den derzeitigen Fasermarkt für graphische Papiere vereinfacht abbildet und mit alternativen Szenarien mit mehr oder weniger Recycling, mehr oder weniger Energienutzung usw. verglichen wird. Die geographische Systemgrenze ist, soweit es den Papiermarkt betrifft, die Bundesrepublik Deutschland. In Bezug auf die Rohmaterialien erweitert sich die Systemgrenze um Finnland, Schweden und Norwegen ("NORD"), nicht jedoch um die ebenfalls wichtigen überseeischen, vor allem nordamerikanischen Exportländer. Diese Einschränkung wurde offenbar bewußt in Kauf genommen, um die Datenbeschaffung zu vereinfachen.

Die Studie wurde von einem repräsentativen Projektbeirat begleitet (s.o.), der Delegierte der betroffenen Wirtschaftszweige und weiterer gesellschaftlicher Gruppen ("stakeholder", interessierte Kreise) umfaßte. Für das Projekt hatte die Tätigkeit des Beirats einerseits die erhofften Vorteile, nämlich Hilfe bei der Datenbeschaffung und Akzeptanz der Methodik; andererseits mußten aber, um zu diesen vorteilhaften Wirkungen gelangen zu können, Änderungen der Projektstruktur akzeptiert werden, deren Folgen noch nicht in ihrer ganzen Tragweite erkennbar sind (siehe Abschnitt 2.3).

Wie immer man die Entwicklung interpretieren will, die diese Studie genommen hat, das Resultat ist zweifellos imposant und setzt neue Maßstäbe in der Ökobilanzierung. Es ist daher abzusehen, daß diese Studie sowohl politische wie auch methodische Folgewirkungen haben wird.

2.3 Folgen der Systemerweiterung

Das Problem der Systemerweiterung nahm in den Diskussionen des Panels von der ersten Sitzung an einen breiten Raum ein. Es wurde anerkannt, daß die Systemerweiterung eine nach ISO EN DIN 14041 [5] empfohlene Möglichkeit darstellt, das Allokationsproblem – das bei dieser Studie besonders durch das "open-loop recycling" von Altpapier besteht – auf wissenschaftliche Weise zu umgehen. Es kann dadurch auf die Anwendung von Allokationsregeln verzichtet werden (vgl. die Ausführungen von A. Tiedemann im Materialienband [3c]).

Im Laufe der Diskussionen im Gutachterkreis wurden jedoch drei mit der Systemerweiterung verbundene Problemkreise identifiziert, die bisher in der Fachöffentlichkeit noch kaum diskutiert wurden:

- 1 Durch die Schaffung des großen Systems wird ein Warenkorb definiert, der durch die Berechnung von alternativen Szenarien nicht prinzipiell in Frage gestellt werden kann; es sind lediglich kleinere technische Optimierungen möglich und entsprechend geringfügig sind die Änderungen, die in ökologischer Sicht erzielt werden können.
- 2 Die Ergebnisse einer solchen Ökobilanz wirken "affirmativ" (die bestehenden Verhältnisse bestätigend bzw. rechtfertigend). Im speziellen Fall können Materialeinspareffekte nicht modelliert werden, weil der gesamte Faserstrom als funktionelle Einheit festgeschrieben ist. Es ist die Frage erlaubt, welcher Nutzen durch diese funktionelle Einheit eigentlich beschrieben wird.
- 3 Die Systemerweiterung bringt die Ökobilanz in ein Grenzgebiet zur Stoffstromanalyse (SFA), die nicht standardisiert ist und nicht die Auflage hat, die Analyse "from cradle-to-grave" durchzuführen. Dabei verwischt sich der für die Ökobilanz zentrale Begriff der funktionellen Einheit (fE). Es ist z.Z. noch nicht mit Sicherheit zu sagen, ob die "kleinen" Ökobilanzen, die auf der Basis einer konventionellen funktionellen Einheit konzipiert sind - wie ursprünglich auch in dieser Studie - zur großen SFA/LCA hin konvergieren. Hier scheint noch Forschungsbedarf zu sein.

Da es nicht Aufgabe der Gutachter ist, die Zieldefinition in Frage zu stellen (ISO 14040 [1]), sollen die hier vorgebrachten kritischen Überlegungen zur Systemerweiterung nicht die Ergebnisse der Studie in Frage stellen, sondern als Beitrag zur Auswertung aus der Sicht des Gutachterkreises gesehen werden und in die "Bewertung" miteinfließen. Dies scheint, wie die Auswertung durch das UBA zeigt, teilweise erfolgt zu sein. Es wurde auch gezeigt, daß die "Pufferkapazität" der großen Systeme (siehe Anlage 3 im ifeu-Bericht [3a]) dazu führt, daß auch kleinere Differenzen in den Ergebnissen der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung im Unterschied zu "kleinen Ökobilanzen" ernst genommen werden können. Datenunsicherheiten in Teilsystemen scheinen sich zu kompensieren und schlagen offenbar nicht sehr stark auf das Endergebnis durch.

Die Systemerweiterung wird, wie oben erwähnt, in ISO 14041 [5] als eine Strategie zur Vermeidung des Allokationsproblems genannt. Sie ist daher zweifellos mit der Norm in Übereinstimmung. Sie hat weiterhin bei der Vorbereitung politischer Entscheidungen (nach ISO 14040 [1] eine der möglichen direkten Anwendungen einer Ökobilanz) den Vorteil, fast das gesamte System abzubilden und seine möglichen Reaktionen auf geplante Maßnahmen berechenbar zu machen. Der Gutachterkreis weist aber dennoch darauf hin, daß es sich bei

der Systemerweiterung aus den oben genannten Gründen um ein sparsam handzuhabendes Mittel handelt. Die mehrfache Systemerweiterung innerhalb einer Studie würde z.B. zu völlig unüberschaubaren Riesensystemen mit einem vielfach erhöhten Datenaufwand führen.

2.4 Anmerkungen zur Auswertung durch das Umweltbundesamt

Die Auswertung durch das Umweltbundesamt wird vom Gutachterkreis insgesamt als sehr geglückt gesehen. Die wesentlichen Ergebnisse der gesamten Studie werden, wie in der Norm ISO 14043 [6] vorgesehen, nochmals im Zusammenhang diskutiert und teilweise auch weiter zusammengefaßt. Die "Auswertung" durch das UBA beinhaltet aber nicht nur die gleichnamige Komponente nach ISO 14043 [6], sondern auch die wahlweisen, optionalen Bestandteile der "Wirkungsabschätzung" nach ISO 14042 [7], nämlich "Normierung" (UBA-Bezeichnung: spezifischer Beitrag) und die "Ordnung" (Rangbildung). Diese - vielleicht mit Ausnahme der Normierung - nicht mit exakt-wissenschaftlichen Methoden durchführbaren Bestandteile der Ökobilanz (vgl. [4c,8]) wurden in der deutschen Methodendiskussion "Bewertung", früher auch "Bilanzbewertung" [9] genannt und auch der Arbeitstitel des UBA-Papiers [4c] lautet noch "Bewertung in Ökobilanzen", was dem neuen Sprachgebrauch bei CEN/DIN angepaßt werden sollte.

Im Gutachterkreis wurde, ebenso wie im Projektbeirat, über die Empfehlungen des UBA am Ende des Berichtsentwurfs [4a] diskutiert. Es wird angeraten, nur solche Empfehlungen abzugeben, die sich direkt aus den Ergebnissen der Ökobilanz-Studie ableiten lassen.

3 Zur Konformität mit der Norm ISO 14040

3.1 Vorbemerkung

Die Bearbeitungszeit dieser Studie überlappt mit der Entstehungszeit der internationalen Normen über Ökobilanzen [1,5-7]. Die Beurteilung erfolgt hier in erster Linie auf der Basis der Rahmennorm 14040 [1], die bereits 1997 in Kraft trat, etwa gleichzeitig mit dem Entwurf des ifeu-Berichts. Die Norm zur Zieldefinition und zur Sachbilanz 14041 [5] trat 1998 in Kraft. Die Normen zur Wirkungsabschätzung (14042 [7]) und Auswertung (14043 [6]) liegen nach der positiven Abstimmung im Mai 1999 noch als "Final Draft International Standards" vor, die voraussichtlich in der ersten Hälfte des Jahres 2000 in Kraft treten werden. Diese über 14040 hinausgehenden Normen waren allen an der Studie Beteiligten in Form von Entwürfen bekannt und wurden, soweit möglich, berücksichtigt. Den Gutachtern sind keine nennenswerten Verstöße gegen diese Normen aufgefallen, Ausnahmen werden weiter unten diskutiert.

Größere Änderungen während der Bearbeitung erfuhr lediglich 14042, wo auch weiterhin noch große Entwicklungsarbeit besteht. Es soll nicht verschwiegen werden, daß gerade auf diesem Gebiet in der vorliegenden Studie mit wechselndem Erfolg Neuland betreten wurde. So wurden für die Wirkungskategorien "Naturraumbeanspruchung", "Sommersmog" und "Humantoxizität" neue Wege beschritten.

Im folgenden werden die Fragen beantwortet, zu denen die Gutachter nach ISO 14040 Stellung zu nehmen haben. Dabei wird auch auf die anderen Normen der Serie 14040ff Bezug genommen, soweit es angebracht erscheint.

3.2 Stimmen die bei der Durchführung angewendeten Methoden mit der internationalen Norm 14040 überein?

Diese Frage zielt auf die allgemeine Kompatibilität der Arbeit mit der Rahmennorm. Dazu ist zu sagen, daß dem Panel keine generellen Verstöße gegen die Norm aufgefallen sind. Ein nicht zu übersehender Mangel an Transparenz, der im Zwischenbericht noch bemängelt werden mußte, wurde weitgehend behoben, nicht zuletzt durch die Auswertung des UBA [4]. Aber auch der ifeu-Bericht wurde überarbeitet [3] und die im Entwurf [2] noch ausufernde Fülle der Anhänge auf ein überschaubares Maß reduziert.

Die Struktur der Studie lehnt sich gut an die in ISO 14040 festgeschriebene Vorgehensweise an. Lediglich die Wirkungsabschätzung nach ISO14042 wurde durch die Arbeitsteilung zwischen ifeu-Team und UBA etwas zerissen (siehe auch Tabelle 1), was jedoch durch den gelungenen Syntheseversuch in der UBA-Auswertung [4] nicht negativ auffällt und den Wert der Studie keineswegs schmälert.

Ein ganz zentraler Punkt der Ökobilanz ist die Definition der funktionellen Einheit (fE). Diese mußte im Laufe der Projektbearbeitung – bedingt durch die Systemerweiterung – geändert werden und lautet nun wörtlich [3a]:

*"Die der Studie zugrunde liegende **Funktionelle Einheit** ist vielmehr die gesamte **Produktion und Verarbeitung von Zeitungsdruckpapier, LWC- und SC-Papier sowie Frischfaser- und Recycling-Kopierpapier in Deutschland.**"* (Hervorhebung durch die Autoren).

Es ist nachvollziehbar, daß sich diese Festlegung der fE aus der Systemerweiterung ergab. Da die Definition der fE in 14040 nicht sehr präzise gehalten ist, steht die obige Festlegung der fE sicherlich nicht in direktem Widerspruch zur Norm; der Satz in der Norm (§ 5.1.2.1 [1]): **"Eine funktionelle Einheit ist ein Maß für den Nutzen des Produktsystems."** scheint jedoch nicht völlig erfüllt zu sein, denn der eigentliche Nutzen von graphischen Papieren liegt wohl primär in ihrer Funktion als Informationsträger, nicht jedoch darin, daß eine gewisse Masse Holz zu

Papier umgewandelt, bedruckt, benützt und recycelt oder entsorgt wird. Die gewählte fE eignet sich jedenfalls nicht dazu, andere Materialien als Informationsträger oder völlig andere Methoden der Informationsvermittlung mit dem auf Papier fußenden System zu vergleichen.

Dies war in der Studie allerdings auch nicht beabsichtigt, was in der letzten Fassung.[4f] durch eine Ergänzung zur Definition der fE deutlich herausgearbeitet wurde. Dabei muß auch berücksichtigt werden, daß die Studie vorwiegend zur Beantwortung abfallwirtschaftlicher Fragestellungen durchgeführt wurde.

3.3 Sind die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet und entsprechen sie dem Stand der Ökobilanztechnik?

Die in dieser Studie behandelten Systeme unterscheiden sich von der Mehrzahl der Ökobilanzen dadurch, daß sie durch die gewählte funktionelle Einheit und durch Erweiterung der Systemgrenzen mit verschiedenen Aufstockungen ungewöhnlich groß sind. Das gilt für das Hauptszenario "IST" genauso wie für die modifizierten Szenarien. Die Bearbeitung derart komplexer Systeme erfordert eine auf dem letzten Entwicklungsstand befindliche Rechentechnik, die mit der im Hause ifeu (gemeinsam mit IFU, Hamburg) entwickelten Software "Umberto" gemeistert wurde. Mit komplexen Systemen ist unweigerlich das Problem der Darstellung der Ergebnisse und Zwischenergebnisse verbunden. An diesem Punkt hatte das Panel mit dem Berichtsentwurf von 1997 Schwierigkeiten, was zunächst nur ein Transparenz-Problem zu sein scheint; die Fülle der Daten macht jedoch auch die Nachprüfung der wissenschaftlichen Korrektheit der Methode schwierig. Das Gutachterteam kam aber im Laufe intensiver Versuche, einzelne Ergebnisse nachzurechnen, auf keine prinzipiellen Fehler in der Sachbilanz.

Es wurde bereits im Kapitel 2 festgestellt, daß der Norm ISO 14041 [5] in einem wichtigen Punkt, der Allokationsvermeidung durch Systemvergrößerung, genau Folge geleistet wurde.

In der Wirkungsabschätzung liegen in dieser Studie mehrere innovative Ansätze vor:

- In der Wirkungskategorie "Naturraumbeanspruchung" wurde erstmals das 1995 für die LCA vorgeschlagene [10] Konzept der Hemerobiestufen für den Landverbrauch durch Forste angepaßt [3e] und im Rahmen einer größeren Studie erprobt.
- In der Wirkungskategorie Photooxidantienbildung wurde mit Hilfe eines neuen, bisher in der Ökobilanz nicht eingesetzten Berechnungsverfahrens auch das NO_x einbezogen. Bisher wurden in der Wirkungsabschätzung nach CML (Center for Environmental Studies, Leiden, siehe z.B. [10]) nur die flüchtigen Kohlenwasserstoffe berücksichtigt. Die

Berechnung dieser Kategorie nach der neuen Methode scheiterte allerdings an der schlechten Datenlage (siehe 3.4).

- Bei der Normierung wurde eine anschauliche Darstellung gewählt, indem die auf Deutschland bezogenen Referenzdaten (z.B. das gesamte deutsche GWP /Global Warming Potential/ in kg CO₂-Äquivalente/a) durch die Anzahl der Einwohner ($N = 8 \cdot 10^7$) dividiert und zum Indikatorwert in Beziehung gesetzt wurde. Dabei erhält man eine anschauliche Größe für die normierten Wirkungsabschätzungsergebnisse, die auf Anregung des Panels in der Schlußversion [4f] "Einwohneräquivalenzwert" genannt wird.
- Die UBA-Bewertungsmethode [4c] wurde erstmals auf eine Ökobilanz angewendet.

Kritisch anzumerken ist, daß die Wirkungskategorien Human- und Ökotoxizität nur durch ein sog. "Krebsrisikopotential durch Luftschadstoffe" vertreten sind; daneben werden die nicht-aggregierten Frachten von Schadstoffen pro fE aus der Sachbilanz übernommen. Die übrigen Wirkungskategorien werden mit konventionellen Indikatoren quantifiziert.

3.4 Sind die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmäßig?

Die ursprüngliche Zieldefinition vom Juni 1995 (Anlage 1 [3a]) wurde durch die mehrfach erwähnte Systemerweiterung vom März 1996 stark modifiziert. Es wurden für die untersuchten Teilsysteme Zeitungsdruckpapier, Zeitschriftenpapiere, Kopierpapiere, sowie deren Verarbeitung und Entsorgung Fragestellungen definiert, welche die ökologischen Vor- und Nachteile einzelner Änderungen im Herstellungsprozeß und in der Entsorgung bzw. im Recycling beinhalten. Um diese Fragen zu beantworten, wurden eine Reihe von Szenarien definiert und später berechnet, die verschieden starke Abweichungen vom IST-Szenarium darstellen.

Die Szenarien stellen schon von der Anzahl der Module her hohe Anforderungen an die Datenverfügbarkeit. Außerdem sind mit der Systemerweiterung zahlreiche Kompensationsmodule verbunden. Die Aufnahme des Moduls "Naturraumbeanspruchung" stellte weitere Anforderungen an die Sachbilanz, die für gewöhnlich in Ökobilanzen nicht erfüllt werden. Der Gutachterkreis war von der Fülle der neu erhobenen Daten beeindruckt. Da viele Daten für diese Ökobilanz neu erhoben bzw. von Projektbeiratmitgliedern geliefert wurden (auch von Skandinavien), kann man davon ausgehen, daß hier das derzeit mögliche getan wurde.

Die gestellte Frage kann also mit **ja** beantwortet werden.

Die einzige auf mangelnde Daten zurückzuführende Enttäuschung betrifft die Wirkungskategorie "Photooxidantienbildung", für die ein neuer Indikator geschaffen wurde, der auch den Vorläufer NO_x in die Rechnung einbezieht. Diese Wirkungskategorie wird mit nur zwei Luftemissionen quantifiziert (Methan und Benzol), von denen das erste sehr reaktionsträge ist ($\text{POCP}=0,007$ kg Ethenäquivalente pro kg CH_4 [10]). Der Wert von Benzol wird zu 0,189 [3a, S.69], was dem von CML [10] angegebenen Wert entspricht (ein neuerer Wert von Derwent [11] liegt bei 0,33 kg Ethenäquivalente pro kg Benzol).

Es ist anzunehmen, daß detaillierte Luftemissionen nicht für alle Module erhältlich waren und daher aus Gründen der Datensymmetrie nur die beiden genannten Schadstoffe zur Berechnung verwendet wurden.

3.5 Berücksichtigt die Auswertung die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Studie? Ist der Bericht transparent und in sich stimmig?

Die vom UBA durchgeführte Auswertung wurde bereits lobend erwähnt. Es handelt sich dabei praktisch um einen neuen Bericht, der den ausführlichen und mit zahlreichen Anhängen versehenen ifeu-Bericht ergänzt und bewertet.

Völlige Transparenz ist bei Ökobilanzen von derart umfangreichen Systemen schwierig zu erreichen: die Wiedergabe aller Daten, Zwischenergebnisse usw. führt in gedruckter Form zu nicht mehr handhabbaren Papiermassen. Dies war der Fall beim Entwurf des ifeu-Berichts von 1997 [2]. Der nun vorliegende Bericht ist überschaubarer und wird möglicherweise als CD-Rom der Auswertung beigelegt, was eine gute Lösung wäre.

Trotz seines Umfangs hat das untersuchte System eine durch immer noch zu enge Systemgrenzen bewirkte Schwachstelle: Zellstoff-Importe aus Übersee sind prinzipiell nicht einbezogen, obwohl sie im Gesamtsystem ins Gewicht fallen. 1997 betrug z.B. der Anteil des Zellstoff-Imports aus Übersee-Ländern 40,8% bei einem Gesamtimport von 3.680.000 t; Kanada (22,7%), USA (8,2%), Brasilien (4,8%) und Chile (2,4%) waren die größten Lieferanten aus Übersee (sonstige: 2,7%).

Diese Lücke sollte zumindest verbal oder mit halbquantitativer Abschätzung diskutiert werden. Da mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen gezeigt wurde, daß das gewählte System relativ unsensibel auf Störungen reagiert, ist anzunehmen, daß Änderungen an Teilsystemen nicht sehr stark auf die Endergebnisse durchschlagen. Nach Aussage des Auftraggebers stehen für die Überseeimporte keine repräsentativen Datensätze zur Verfügung. Wir glauben ihm gerne, daß die längeren Transportdistanzen und die – im Vergleich zu Skandinavien – geringeren Umweltstandards in Übersee die Recyclingoption noch günstiger erscheinen ließen.

Bei der stichprobenartigen Untersuchung der Originaldaten wurden diese in der Regel nach dem Transparenzgebot offengelegt bzw. sie waren in den Anhängen auffindbar. Eine Ausnahme machten die Daten "NORD" aus Finnland, Schweden und Norwegen zur Faserstoff- und Papierproduktion, die zwar zur Verfügung gestellt wurden, aber nur in **aggregierter** Form verfügbar sind. Die Gutachter konnten sich daher in diesem Teil der Studie nicht mit der gebotenen Tiefe informieren. Nach Aussage des Auftraggebers standen die nicht aggregierten Daten dem Ersteller für Stichproben zur Verfügung.

4 Gesamturteil

Insgesamt kann diese Studie trotz einiger in den Abschnitten 2 und 3 diskutierter Schwächen in mancher Hinsicht als einzigartig gelten. Vor allem folgende Punkte verdienen Beachtung:

- Die Größe des untersuchten Systems, sowohl was die (nahezu erreichte) Vollständigkeit betrifft, wie auch was die Anzahl der Module betrifft
- Erhebung vieler Originaldaten einschließlich neuer Skandinavischer Daten mit hoher Repräsentativität (Kooperation mit der nordischen Papierindustrie) und Aufbau einer Datenbank
- Vollständigkeit in Hinblick auf die Ökobilanz-Normen 14040-43
- Erstmalige Anwendung der "UBA-Bewertung"
- Innovative Ansätze in der Wirkungsabschätzung
- Politische Schlußfolgerungen

Diese positiven Punkte überwiegen nach Meinung des Panels die aufgezeigten Schwachstellen bei weitem.

5 Empfehlungen

Wir empfehlen die rasche und vollständige Publikation der Studie (möglichst auch in Englisch) und der Datenbank. Falls eine vollständige Publikation in englischer Sprache nicht möglich ist, sollte mindestens eine Kurzfassung in dieser Sprache erfolgen, da Veröffentlichungen in deutscher Sprache international leider kaum beachtet werden. Die methodischen Arbeiten zur Wirkungsabschätzung sollten zusätzlich als eigene Veröffentlichungen, ebenfalls auf Englisch publiziert und damit einem breiteren Publikum zur Diskussion gestellt werden. Dies erscheint insbesondere in Hinblick auf die Aktivitäten der Arbeitsgruppe der SETAC-Europe zur Weiterentwicklung der Wirkungsabschätzung ("WIA-2") wichtig [12].

Wie in Abschnitt 2 dargelegt wurde, haben die methodischen Entwicklungen in dieser Studie eine Reihe von Fragen aufgeworfen, die am besten mit weiteren Forschungsarbeiten gelöst werden sollten. Klärungsbedürftig scheint vor allem das Verhältnis der durch Systemerweiterung geschaffenen "großen" Ökobilanzen, wie der hier vorliegenden, zu den konventionellen "kleinen" Ökobilanzen mit normaler funktioneller Einheit und Verwendung von Allokationsregel(n) zu sein ("Konvergenzproblem").

6 Literatur und Unterlagen

- [1] International Standard (ISO); Norme Européenne (CEN): Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Prinzipien und allgemeine Anforderungen **ISO EN DIN 14040** 1997
- [2] Giegrich, J.; Detzel, A.; Lell, M.; Fehrenbach, H.; Schorb, A.; Mampel, U.: Ökologischer Vergleich graphischer Papiere. Endbericht. Eine Ökobilanz zur Entsorgung graphischer Altpapiere sowie zu den Produktgruppen Zeitungen, Zeitschriften und Kopien. Entwurf des Endberichts mit 5 Anlagebänden in Form von Loseblattordnern. UFOPLAN FKZ 103 50 120. Heidelberg, Juli 1997
- [3a] Giegrich, J.; Detzel, A.: Ökologischer Vergleich graphischer Papiere. Endbericht mit Materialbänden I-III. UFOPLAN FKZ 103 50 120. Heidelberg, Juni 1998
- [3b] Materialband I: Datengrundlagen. Heidelberg, Juni 1998
- [3c] Materialband II (zusammengebunden mit Band I): Methodenentwicklung. Heidelberg, Juni 1998
- [3d] Materialband III: Vertiefte Sachbilanzergebnisse, Teil 2: Materialanalyse. Heidelberg, Juni 1998
- [3e] Giegrich, J.; Sturm, K.: Teilbericht. Naturraumbeanspruchung waldbaulicher Aktivitäten als Wirkungskategorie für Ökobilanzen. Heidelberg, März 1999
- [4a] UBA: Ökobilanzen für graphische Papiere (Interner Entwurf für das Critical Review nach ISO 14040, Stand 15.6.1999) Vergleich von Verwertungs- und Beseitigungsverfahren für graphische Altpapiere sowie Produktvergleich für Zeitungsdruck-, Zeitschriften- und Kopierpapiere unter Umweltgesichtspunkten. Auswertung der Ergebnisse des UBA/BMU-Forschungsvorhabens "Ökologischer Vergleich graphischer Papiere" FKZ 103 50 120 nach der Bewertungsmethode des Umweltbundesamts (Stand 15.6.1999) mit Anhänge I-IV. Berlin, Juni 1999
- [4b] Anhang I: Literatur etc., zusammengebunden mit dem Hauptbericht [4a]
- [4c] Anhang II: Schmitz, S.; Paulini, I.: Bewertung in Ökobilanzen (Entwurf, Stand 15.6.1999) Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043. Berlin, Juni 1999. Dieser Entwurf stellt eine Überarbeitung der Version vom 15. März 1999 dar, auf die sich die Kommentare im Protokoll zur 4. Gutachtersitzung bezogen
- [4d] ifeu-Bericht, Heidelberg, Juni 1998 [3] + Erratum zum ifeu-Bericht (Daten zur Naturraumbeanspruchung) Berlin, Juni 1999.
- [4e] T-Diagramme zum paarweisen Szenarienvergleich (Abbildungen zum Kapitel 8.7). 25.5.1999. Berlin, Juni 1999
- [4f] UBA: Entwurf vom 20.10.1999 (verbesserte Version von [4a] ohne Anhänge)
- [5] International Standard (ISO); Norme Européenne (CEN): Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis (Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz) **ISO EN DIN 14041** 1998
- [6] International Organization for Standardization (ISO) Technical Committee TC 207/Subcommittee SC 5: Environmental management - Life cycle assessment - Interpretation (Auswertung). Final Draft International Standard **ISO FDIS 14043** 1999

- [7] International Organization for Standardization (ISO) Technical Committee TC 207/Subcommittee SC 5: Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment (Wirkungsabschätzung). Final Draft International Standard **ISO FDIS 14042** 1999
- [8] Klöpffer, W.: Subjective is not Arbitrary. Editorial, No 2, Int. J. LCA 3 (1998) 61
- [9] Arbeitsgruppe Ökobilanzen des Umweltbundesamts Berlin: Ökobilanzen für Produkte. Bedeutung - Sachstand - Perspektiven. UBA Texte 38/92. Berlin 1992
- [10] Klöpffer, W.; Renner, I.: Methodik der Wirkungsbilanz im Rahmen von Produkt-Ökobilanzen unter Berücksichtigung nicht oder nur schwer quantifizierbarer Umwelt-Kategorien. UBA Texte 23/95, Berlin 1995
- [11] Derwent, R.G.; Jenkin, M.E.; Saunders, S.M.: Photochemical ozone creation potentials for a large number of reactive hydrocarbons under European conditions. Atmospheric Environment 30 (1996) 181-199
- [12] Udo de Haes, H.A.; Joliet, O.; Finnveden, G.; Hauschild, M.; Krewitt, W.; Müller-Wenk, R.: Best Available Practice Regarding Impact Categories and Category Indicators in Life Cycle Impact Assessment. Part 1. Int. J. LCA 4 (2) (1999) 66-74. Part 2. in Int. J. LCA 4 (3) (1999) 167-174

Frankfurt am Main, 30. Oktober 1999

.....
Prof. Dr. Walter Klöpffer
(für das Gutachterteam)

Adressen der Gutachter

Prof. Dr. Walter Klöpffer
c/o C.A.U. GmbH
Daimlerstraße 23
63303 Dreieich

Tel: (06103) 983-28
Fax: (06103) 983-10
Email: C.A.U.@t-online.de

(Vorsitzender)

Prof. Dr. Birgit Grahl
Fachhochschule Lübeck
und Institut für integrierte
Umweltforschung und Beratung
Schuhwiese 6
23858 Heidekamp

Tel: (04533) 4110
Fax: (04533) 2193
Email: grahl@fh-luebeck.de

Dr.-Ing. Udo Hamm
c/o Institut f. Papierfabrikation
TH Darmstadt
Alexanderstraße 8
64283 Darmstadt

Tel: (06151) 16-3008
Fax: (06151) 16-2454

Anlagen

Protokolle der 4 Sitzungen der Gutachter

Nicht zur Publikation bestimmt