

Schlussbericht

Projekttitle:	Ökoeffizienzanalyse von Stoffströmen der Papierindustrie und Ableitung von Optimierungsansätzen für die Wertschöpfungskette Papier Teil II: Ökoeffiziente Stoff- und Energieflüsse – ein lebenswegübergreifendes Strategieprojekt
Auftraggeber:	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit
Koinitiatoren:	Verband Bayerischer Papierfabriken e. V. und Verband der Bayerischen Papier, Pappe und Kunststoff verarbeitenden Industrie e. V.
Projektpartner	PTS Papiertechnische Stiftung
Projekt-Nr.:	910065
Bearbeiter:	Alexandra Ballon Rene Peche Dr. Siegfried Kreibe

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	1
2	Vorbemerkungen	3
3	Methodik	5
3.1	Ökobilanzielle Betrachtung	6
3.1.1	Zieldefinition	6
3.1.2	Sachbilanz	6
3.1.3	Wirkungsabschätzung.....	6
3.1.4	Aggregation	7
3.2	Kostenbetrachtung	8
3.3	Ökoeffizienzanalyse	9
4	Untersuchungsrahmen	9
4.1	Untersuchungsgegenstand	9
4.2	Projektbeteiligte	10
4.3	Projekttablauf	10
4.4	Funktionelle Einheiten	11
4.5	Systemgrenzen	12
4.5.1	Datenlücken und Annahmen.....	12
4.5.2	Detailgrenzen	13
4.5.3	Verrechnung von Gutschriften in Äquivalenzsystemen	13
4.5.4	Geografischer und zeitlicher Bezug	14
5	Ist-Zustand der untersuchten Papierprodukte	15
5.1	Erläuterungen zur Darstellung der Ergebnisse	15
5.2	Produkt „Buch“	16
5.3	Produkt „Katalog“	21
5.4	Produkt „Küchenrolle“	25
5.5	Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“	29

5.6	Produkt „Zeitung“	33
6	Aktuelle und strategische Szenarien	37
6.1	Erläuterungen zur Darstellung der Ergebnisse	38
6.2	Energieversorgung und -nutzung	38
6.2.1	Erhöhung der Energieeffizienz am Beispiel „Küchenrolle“.....	40
6.2.2	Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger am Beispiel „Katalog“	42
6.2.3	Zwischenfazit.....	44
6.3	Nutzungskonkurrenz	46
6.3.1	Nutzungskonkurrenz Altpapier am Beispiel „Zeitung“	46
6.3.2	Nutzungskonkurrenz Holz am Beispiel „Buch“	49
6.3.3	Zwischenfazit.....	51
6.4	Rohstoff Altpapier	52
6.4.1	Änderung des Altpapieranteils im Produkt am Beispiel „unbedruckte Wellpappeverpackung“	53
6.4.2	„Veränderte Altpapierqualität durch Steigerung des Flexodruckanteils“ am Beispiel „Zeitung“	55
6.4.3	Zwischenfazit.....	58
6.5	Papierlogistik	59
6.5.1	Papierlogistik am Beispiel „Katalog“.....	59
6.5.2	Zwischenfazit.....	61
6.6	Produktoptimierung	62
6.6.1	Anpassung der Grammatik am Beispiel „Zeitung“	63
6.6.2	Zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion am Beispiel „Katalog“	65
6.6.3	Zwischenfazit.....	67
6.7	Elektronische Medien	68
6.7.1	Nutzung von E-Readern am Beispiel „Buch“	69
6.7.2	Nutzung von E-Newspapers für das Produkt „Zeitung“	72
6.7.3	Zwischenfazit.....	76
7	Fazit	77

8	Literatur.....	79
9	Glossar	81

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Schritte zur gemeinsamen Betrachtung der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen im Rahmen der Ökoeffizienzanalyse.....	5
Abbildung 2:	Aggregation der Wirkungsindikator- und Sachbilanzparameter zum Ökologie-Index eines Szenarios.....	8
Abbildung 3:	Berücksichtigung von Zusatznutzen der Entsorgung in Form von Gutschriften aus Äquivalenzsystemen am Beispiel der bei der thermischen Abfallbehandlung erzeugten Strom- und Wärmemenge.....	14
Abbildung 4:	Erläuterung der grafischen Darstellung der Ergebnisse nach Wirkungskategorien für den Ist-Zustand der untersuchten Papierprodukte	15
Abbildung 5:	Erläuterung der grafischen Darstellung der Ergebnisse der Wirkungskategorie „Treibhauspotenzial“ für den Ist-Zustand der untersuchten Papierprodukte	16
Abbildung 6:	Produkt „Buch“ – Teilsysteme des Bilanzierungsmodells	18
Abbildung 7:	Produkt „Buch“ – Ergebnisse nach Wirkungskategorien für den Ist-Zustand bezogen auf die Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung von 16,7 Mio. Büchern mit einem Gesamtgewicht von ca. 16.500 t	19
Abbildung 8:	Produkt „Buch“ – Sektoralanalyse für das Treibhauspotenzial im Ist-Zustand.....	20
Abbildung 9:	Produkt „Buch“ – Aufteilung der Kosten auf die Verfahrensschritte	20
Abbildung 10:	Produkt „Katalog“ – Teilsysteme des Bilanzierungsmodells	22
Abbildung 11:	Produkt „Katalog“ – Ergebnisse nach Wirkungskategorien für den Ist-Zustand bezogen auf die Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung von 83,8 Mio. Katalogen mit einem Gesamtgewicht von ca. 52.000 t.....	23
Abbildung 12:	Produkt „Katalog“ – Sektoralanalyse für das Treibhauspotenzial im Ist-Zustand.....	24
Abbildung 13:	Produkt „Katalog“ – Aufteilung der Kosten auf die Verfahrensschritte	24
Abbildung 14:	Produkt „Küchenrolle“ – Teilsysteme des Bilanzierungsmodells.....	26
Abbildung 15:	Produkt „Küchenrolle“ – Ergebnisse nach Wirkungskategorien für den Ist-Zustand bezogen auf die Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung von 153,2 Mio. Küchenrollen mit einem Gesamtgewicht von ca. 27.670 t	27
Abbildung 16:	Produkt „Küchenrolle“ – Sektoralanalyse für das Treibhauspotenzial im Ist-Zustand.....	28
Abbildung 17:	Produkt „Küchenrolle“ – Aufteilung der Kosten auf die Verfahrensschritte.....	28

Abbildung 18:	Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ – Teilsysteme des Bilanzierungsmodells	30
Abbildung 19:	Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ – Ergebnisse nach Wirkungskategorien für den Ist-Zustand bezogen auf die Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung von ca. 126.000 t unbedruckter Wellpappeverpackungen.....	31
Abbildung 20:	Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ – Sektoralanalyse für das Treibhauspotenzial im Ist-Zustand.....	32
Abbildung 21:	Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ – Aufteilung der Kosten auf die Verfahrensschritte	33
Abbildung 22:	Produkt „Zeitung“ – Teilsysteme des Bilanzierungsmodells	34
Abbildung 23:	Produkt „Zeitung“ – Ergebnisse nach Wirkungskategorien für den Ist-Zustand bezogen auf die Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung von ca. 992 Mio. Tageszeitungen mit einem Gesamtgewicht von ca. 190.000 t.....	35
Abbildung 24:	Produkt „Zeitung“ – Sektoralanalyse für das Treibhauspotenzial im Ist-Zustand.....	36
Abbildung 25:	Produkt „Zeitung“ – Aufteilung der Kosten auf die Verfahrensschritte	37
Abbildung 26:	Prinzip der Darstellung im Ökoeffizienz-Portfolio. Ökoeffizienz verschiedener Szenarien im Vergleich zum Ist-Zustand.....	38
Abbildung 27:	Produkt „Küchenrolle“ – Ökoeffizienz-Portfolio der Szenarien „Energieeffizienz I & II“ im Vergleich zum Ist-Zustand	41
Abbildung 28:	Produkt „Katalog“ – Ökoeffizienz-Portfolio des Szenarios „Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger“ im Vergleich zum Ist-Zustand.....	43
Abbildung 29:	Produkt „Zeitung“ – Ökoeffizienz-Portfolio der Szenarien „Nutzungskonkurrenz Altpapier I & II“ im Vergleich zum Ist-Zustand.....	48
Abbildung 30:	Produkt „Buch“ – Ökologie-Index der Szenarien „Nutzungskonkurrenz Holz I & II“ im Vergleich zum Ist-Zustand	50
Abbildung 31:	Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ – Ökoeffizienz-Portfolio der Szenarien „Änderung des Altpapieranteils im Produkt“ im Vergleich zum Ist-Zustand	54
Abbildung 32:	Produkt „Zeitung“ – Ökoeffizienz-Portfolio der Szenarien „veränderte Altpapierqualität durch Steigerung des Flexodruckanteils“ im Vergleich zum Ist-Zustand	56
Abbildung 33:	Produkt „Katalog“ – Ökoeffizienz-Portfolio der Szenarien „Papierlogistik“ am Beispiel „Katalog“ im Vergleich zum Ist-Zustand.....	60
Abbildung 34:	Produkt „Zeitung“ – Ökoeffizienz-Portfolio der Szenarien „Anpassung der Grammatik“ im Vergleich zum Ist-Zustand.....	64

Abbildung 35:	Produkt „Katalog“ – Ökoeffizienz-Portfolio des Szenarios „zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion“ im Vergleich zum Ist-Zustand	66
Abbildung 36:	Produkt „Buch“ – Ökoeffizienzportfolio des Szenarios „Nutzung von E-Readern“ im Vergleich zum Ist-Zustand. Da die Kostenabweichung weit außerhalb der Skalierung liegt, sind für Kosten und Ökologie-Index-Punkte nur die Zahlenwerte angegeben.....	71
Abbildung 37:	Produkt „Zeitung“ – Ökoeffizienzportfolio des Szenarios Nutzung von E-Newspapers im Vergleich zum Ist-Zustand.....	74

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Auswahl der Wirkungskategorien, Zuordnung der Sachbilanzparameter zu den Wirkungskategorien und Einheit der Wirkungsindikatorergebnisse	7
Tabelle 2:	Auswahl der Papierprodukte	9
Tabelle 3:	Industrielle Projektpartner, den untersuchten Papierprodukten zugeordnet.....	10
Tabelle 4:	Spezifikation des ausgewählten Buches	17
Tabelle 5:	Spezifikation des ausgewählten Katalogs	21
Tabelle 6:	Spezifikation der ausgewählten Küchenrolle	25
Tabelle 7:	Spezifikation des Produkts „unbedruckte Wellpappeverpackung“	29
Tabelle 8:	Spezifikation des Produkts „Zeitung“	34
Tabelle 9:	Produkt „Küchenrolle“ – Parameter der Szenarien „Energieeffizienz I & II“	40
Tabelle 10:	Produkt „Küchenrolle“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „Energieeffizienz I & II“ gegenüber dem Ist-Zustand.....	41
Tabelle 11:	Parameter des Szenarios „Anstieg des Anteils erneuerbarer Energieträger“	42
Tabelle 12:	Produkt „Katalog“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung des Szenarios „Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger“ gegenüber dem Ist-Zustand	44
Tabelle 13:	Zusammenfassung der Ergebnisse für den Abschnitt Energieversorgung und -nutzung	45
Tabelle 14:	Produkt „Zeitung“ – Parameter der Szenarien „Nutzungskonkurrenz Altpapier I und II“	47
Tabelle 15:	Produkt „Zeitung“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „Nutzungskonkurrenz Altpapier I & II“ gegenüber dem Ist-Zustand.....	48

Tabelle 16:	Produkt „Buch“ – Parameter der Szenarien „Nutzungskonkurrenz Holz I und II“	50
Tabelle 17:	Produkt „Buch“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „Nutzungskonkurrenz Holz I & II“ gegenüber dem Ist-Zustand.....	51
Tabelle 18:	Zusammenfassung der Ergebnisse für den Abschnitt „Nutzungskonkurrenz“	52
Tabelle 19:	Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „Änderung des Altpapieranteils im Produkt“ gegenüber dem Ist-Zustand	55
Tabelle 20:	Annahmen für das Szenario „veränderte Altpapierqualität durch Steigerung des Flexodruckanteils“	56
Tabelle 21:	Produkt „Zeitung“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „veränderte Altpapierqualität durch Steigerung des Flexodruckanteils“ gegenüber dem Ist-Zustand	57
Tabelle 22:	Produktspezifische Ergebnisse zu Ökologie und Kosten für die im Kapitel „Rohstoff Altpapier“ untersuchten Szenarien	58
Tabelle 23:	Produkt „Katalog“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „regionaler Lkw-Transport“ und „bevorzugte Nutzung der Bahn“ gegenüber dem Ist-Zustand.....	61
Tabelle 24:	Produktspezifische Ergebnisse zu Ökologie und Kosten für die im Kapitel „Papierlogistik“ untersuchten Szenarien	62
Tabelle 25:	Produkt „Zeitung“ – Annahmen für das Szenario „Anpassung der Grammatik“	64
Tabelle 26:	Produkt „Zeitung“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „Anpassung der Grammatik“ gegenüber dem Ist-Zustand	65
Tabelle 27:	Produkt „Katalog“ – Parameter des Szenarios „zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion“	66
Tabelle 28:	Produkt „Katalog“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung des Szenarios „zielgruppen-/ auflagenorientierte Produktion“ gegenüber dem Ist-Zustand.....	67
Tabelle 29:	Zusammenfassung der Ergebnisse für den Abschnitt „Produktoptimierung“	68
Tabelle 30:	Annahmen für das Szenario „Nutzung von E-Reader“	70
Tabelle 31:	Produkt „Buch“ – Beiträge zur Umweltbe- und Entlastung durch das Szenario „Nutzung von E-Readern“ gegenüber dem Ist-Zustand	71
Tabelle 32:	Annahmen für das Szenario „Nutzung von E-Newspapers“	73

Tabelle 33:	Produkt „Zeitung“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenariovarianten Nutzung von E-Newspapers gegenüber dem Ist-Zustand.....	75
Tabelle 34:	Zusammenfassung der Ergebnisse für den Abschnitt „elektronische Medien“.....	76

1 Zusammenfassung

Mithilfe der Ökoeffizienzanalyse, einer Untersuchung der Umweltwirkungen und der Kosten, untersuchte die bifa Umweltinstitut GmbH (bifa) ausgewählte Papierprodukte entlang der Wertschöpfungskette „Forst – Holz/Altpapier – Papier – Papierprodukte“. In zahlreichen Szenarien wurden Potenziale zur Verbesserung der Ökoeffizienz dieser Produkte über die gesamte Lebenswegkette hinweg identifiziert.

Auftraggeber für diese Arbeiten war das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG). Koinitatoren und Projektpartner waren der Verband Bayerischer Papierfabriken e. V. und der Verband der Bayerischen Papier, Pappe und Kunststoff verarbeitenden Industrie e. V. (BayPapier). Über BayPapier waren mehrere Unternehmen aus dem Kreis der Verbandsmitglieder als Projektpartner an den Arbeiten beteiligt. Ebenfalls als Projektpartner war die Papiertechnische Stiftung (PTS) eingebunden. Über diesen engeren Kreis der Projektpartner hinaus waren der Verband der Wellpappen-Industrie e. V., der Verband Druck & Medien Bayern e. V. und Unternehmen aus den Bereichen Druck und Medien an den Arbeiten beteiligt. Das Konzept von IPP, durch Kooperation und Kommunikation ökologische und ökonomische Verbesserungen entlang der Lebenswegkette von Produkten zu erreichen, wurde in diesem Projekt von allen Beteiligten mit viel Engagement getragen.

Die Untersuchung wurde exemplarisch an fünf Papierprodukten aus den Produktgruppen grafische Papiere, Verpackungspapiere und Hygienepapiere durchgeführt. Darunter waren altpapier- und frischfaserbasierte sowie gestrichene und ungestrichene Papiere. Im Einzelnen handelte es sich um die Produkte Buch, Katalog, Küchenrolle, Wellpappe und Zeitung. Die Analyse umfasste die gesamten Prozessketten von der Rohstoffversorgung über die Herstellung von Papieren und Papierprodukten bis zu deren Entsorgung.

Zunächst wurden für diese Produkte die Ist-Zustände modelliert, also die derzeitigen Umweltwirkungen über die gesamten Produktlebenswege und die derzeitigen Kosten. Anschließend wurden „aktuelle Szenarien“ entwickelt, also solche mit kurz- und mittelfristig nutzbaren Ökoeffizienzpotenzialen sowie „strategische Szenarien“, die mittel- bis langfristig realisierbare Handlungsmöglichkeiten zur ökologischen und betriebswirtschaftlichen Verbesserung der Prozessketten aufzeigen.

Die meisten dieser Szenarien wurden für mehrere Produkte analysiert, einige nur exemplarisch für ausgewählte Produkte.

Energieversorgung und -nutzung

Untersucht wurde der Einsatz von Gas und Ersatzbrennstoffen (EBS) für die Bereitstellung von Strom und Wärme in der Papierfabrik. Ferner wurden Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz in der gesamten Prozesskette sowie eine Auskopplung von Abwärme aus dem Papierherstellungsprozess analysiert. Für den Einsatz von Erdgas anstelle des Energieträgermixes ergab sich bei der Energiebereitstellung im Papierherstellungsprozess ein ökologisch wie ökonomisch vorteilhaftes Ergebnis. Auch die Nutzung von EBS ist von Vorteil. Die Nutzung von Abwärme führt ebenso zu ökologischen und ökonomischen Verbesserungen wie die Steigerung der Energieeffizienz.

Als strategische Szenarien zur Stromerzeugung wurden vollzogener Kernkraftausstieg, eine Steigerung des Kernkraftanteils an der Stromerzeugung und ein deutlicher Ausbau von erneuerbaren Energien untersucht. Alle drei Szenarien führen unter den getroffenen Annahmen zu Mehrkosten, ökologisch ist dagegen lediglich der Kernkraftausstieg ungünstig.

Die Art der Energiebereitstellung hat großen Einfluss auf die Ökoeffizienz der Produkte; daher bestehen hier erhebliche Potenziale zur Verbesserung.

Nutzungskonkurrenz Rohstoffe

Die Nachfrage nach den Rohstoffen Holz und Altpapier wächst in Deutschland wie auch global. Dazu trägt besonders bei Holz der zunehmende Einsatz zur Energieerzeugung bei. In zwei strategischen Szenarien wurden zum einen die Effekte des Altpapierensatzes in verschiedenen Produkten untersucht; zum anderen wurden die Umweltwirkungen des Holzeinsatzes zur Energieerzeugung mit denen der Verwendung in Papierprodukten verglichen. Papierprodukte werden in Deutschland grundsätzlich stofflich verwertet. Die nach mehreren Recyclingzyklen aus dem Recyclingkreislauf ausgeschleusten Papierfasern werden energetisch verwertet. Auch andere Reststoffe aus der Papierherstellung werden energetisch verwertet. Der Einsatz von Holz hat deshalb hier einen doppelten Nutzen: die Erzeugung von Papier und von Energie. In der ökologischen Bilanz schneidet der Einsatz zur Herstellung eines Papierprodukts wesentlich besser ab als der zur Energieerzeugung. Für eine stoffliche Nutzung geeignete Holz- und Altpapiersorten sollten daher nicht zur Energieerzeugung verbrannt werden. Dies gilt besonders dann, wenn dabei nur eine Verstromung ohne Abwärmenutzung erfolgt.

Rohstoff Altpapier

Zunächst wurde der Einsatz von Altpapier mit dem von Frischfasern verglichen. Für alle untersuchten Produkte ist der Einsatz von Altpapier ökoeffizienter. Weiterhin wurde untersucht, wie sich die Verschlechterung der Altpapierqualität durch Flexodruck oder schlecht recyclingverträgliche Hotmelt-Kleber auswirken. In beiden Fällen sind die Auswirkungen auf die Ökoeffizienz negativ. Um den umwelt- und kostenentlastenden Einsatz von Altpapier nachhaltig zu sichern, sollte daher dessen Sammlung und Sortierung mindestens auf dem heutigen Niveau stabilisiert werden. Ferner sollten recyclingunverträgliche Verfahren wie Flexodruck auf grafischen Papieren oder bestimmte Hotmelt-Kleber vermieden oder so verbessert werden, dass sie die Altpapiernutzung nicht beeinträchtigen.

Papierlogistik

Zur Papierlogistik wurden zwei fiktive Szenarien berechnet, die einen vorrangigen Transport per Bahn und den regionalen Rohstoffbezug aus einem Umkreis von maximal 100 Kilometern analysieren. Insbesondere die Versorgung aus regionalen Quellen kann zu einer erheblichen Verbesserung der Ökoeffizienz führen. Strategisch verdient dieser Faktor durchaus Aufmerksamkeit, wenngleich die Spielräume angesichts international vernetzter Rohstoffmärkte begrenzt sind.

Produktoptimierung

Für verschiedene Produkte wurde die Anpassung der Papierweiße und der Grammatik untersucht, ferner die zielgruppen- und auflagenorientierte Produktion eines Katalogs und eine Optimierung des Produkts „Küchenrolle“ unter Energiegesichtspunkten. Die Auswirkungen einer reduzierten Papierweiße sind gering und können ökologisch und ökonomisch sowohl

vorteilhaft als auch nachteilig wirken. Eine Reduktion der Grammaturnorm des Papierprodukts verbessert die Ökoeffizienz geringfügig. Gleiches gilt für die energetische Optimierung des Produkts „Küchenrolle“. Erhebliche positive Effekte werden im untersuchten Beispiel durch zielgruppen- und auflagenorientierte Produktion erzielt, d. h. durch zielgruppenspezifische kleinere Teilkataloge mit geringerer Auflage anstelle eines großen Katalogs.

Elektronische Medien

Untersucht wurde die Nutzung von E-Readern und die Lektüre am Computer im Vergleich zu Printprodukten. Die Ergebnisse zeigen, dass mit elektronischen Medien erhebliche positive Effekte für Umwelt und Wirtschaftlichkeit der Produkte verbunden sein können. Sie zeigen aber auch, dass je nach Randbedingungen elektronische Medien ökologisch und unter Kostengesichtspunkten deutlich schlechter abschneiden können als klassische Papierprodukte. Entscheidend sind dabei die Wechselbeziehungen zwischen der Art des elektronischen Mediums und dem Nutzerverhalten. Die Entwicklung des Zusammenspiels von elektronischen und Printmedien und die Frage, wie hier ökoeffiziente Lösungen realisiert werden können, werden wichtige Themen für die Zukunft sein.

In welchem Umfang eine Nutzung der identifizierten Ökoeffizienzpotenziale möglich ist, hängt von vielen Faktoren ab. Diese Untersuchung kann und will kein Kochrezept bieten, das eins zu eins umsetzbar ist. Ziel ist vielmehr eine Einschätzung von Art und Umfang der Ökoeffizienzpotenziale. Auf dieser Grundlage können konkrete Strategien im einzelnen Unternehmen entwickelt werden, die sich an dessen individueller Situation ausrichten. Auf dieser Grundlage können auch übergeordnete Strategien auf Verbandsebene und in der Politik entwickelt werden, die zur Schaffung eines Rahmens beitragen, der einen noch ökoeffizienteren Umgang mit Produktion, Einsatz und Entsorgung von Papierprodukten nachhaltig sichert.

2 Vorbemerkungen

Im Umwelpakt Bayern bekennen sich die im Verband Bayerischer Papierfabriken e. V. und im Verband der Bayerischen Papier, Pappe und Kunststoff verarbeitenden Industrie e. V. (BayPapier) zusammengeschlossenen Unternehmen der Papierindustrie dazu, gemeinsam mit der Bayerischen Staatsregierung die Wertschöpfungskette „Forst – Holz/Altpapier – Papier – Papierprodukte“ in Bayern nachhaltig fortzuentwickeln. Besondere Bedeutung kommt dabei der ökologisch und ökonomisch effizienten Ausgestaltung der Schwerpunktthemen „Rohstoffströme“, „Produktions- und Verarbeitungsprozesse auf Basis nachwachsender Rohstoffe“, „Energieversorgung“ und „Wirtschaftskreisläufe für Altpapier und diverse Produktionsrückstände“ zu. Das Ziel ist die Sicherung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Branche unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten.

Im Rahmen der Aktivitäten zur Integrierten Produktpolitik (IPP) hat die bifa Umweltinstitut GmbH (bifa) bereits im Jahr 2007 ein vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) beauftragtes Projekt zum Umgang mit Reststoffen aus der Papierindustrie abgeschlossen [PECHE ET AL. 2007].

Das hier beschriebene Folgeprojekt bearbeitete bifa ebenfalls im Auftrag des StMUG. Koinitiator des Vorhabens war BayPapier. Experten aus 16 Unternehmen – überwiegend Mit-

gliedsunternehmen von BayPapier – und zwei weiteren Wirtschaftsverbänden waren in die Arbeiten eingebunden. Als Projektpartner war die Papiertechnische Stiftung (PTS) beteiligt. Gegenstand dieses Vorhabens war der gesamte Lebensweg ausgewählter Papierprodukte von der Rohstoffgewinnung über die Papierherstellung bis zur Verarbeitung. Im Bereich der Reststoffbehandlung wurde auf die Ergebnisse des Vorläuferprojekts zurückgegriffen.

Der integrierte Ansatz dieses Projekts unterstreicht die Sichtweise der bayerischen Papierindustrie und der Bayerischen Staatsregierung, wonach den grundlegenden IPP-Handlungsprinzipien – Kommunikation, Kooperation und Integration – eine hohe Bedeutung für die nachhaltige Weiterentwicklung komplexer Produktionsprozesse, Stoffströme und Recyclingkreisläufe zukommt.

Die Brisanz ökologischer Fragen besonders im Bereich Klimawandel sowie die langfristig zunehmende Verknappung von Rohstoffen und fossilen Energieträgern stellen wachsende Herausforderungen für die Wirtschaft dar und bringen Umwelt und Ökonomie näher zusammen. Erhebliche Verbesserungen der Umweltwirkungen, aber auch der Wirtschaftlichkeit von Produkten sind zudem vielfach nur noch durch eine lebenswegübergreifende Herangehensweise realisierbar. Intensivere Kooperation und Kommunikation der mit einem Produkt befassten Akteure machen solche Handlungsmöglichkeiten oft erst sichtbar und erleichtern die Nutzung einmal erkannter Potenziale. Diese integrierte Herangehensweise entspricht dem Grundgedanken von IPP und liegt auch dem hier beschriebenen Vorhaben zugrunde. Für Wirtschaft und Politik wird dieser Ansatz immer wichtiger. Unternehmen müssen verstärkt kooperieren und sich frühzeitig auf mittel- bis langfristige Veränderungen einstellen, um konkurrenzfähig zu bleiben. Auch eine nachhaltigkeitsorientierte Politik ist geprägt durch die Auseinandersetzung mit langfristigen Herausforderungen und komplexen Kooperationszusammenhängen.

Obwohl die bayerische Papierindustrie bereits über eine effiziente Rohstoffversorgung, eine hochtechnisierte Papierherstellung und – wie bereits im Vorläuferprojekt nachgewiesen – ein ausdifferenziertes Entsorgungssystem für anfallende Reststoffe verfügt, gibt es dennoch nicht ausgeschöpfte Potenziale und Handlungsmöglichkeiten. Ebenso zeigen sich Abhängigkeiten und Handlungsbedarf in der Energie- und Rohstoffpolitik.

Mithilfe einer Ökoeffizienzanalyse analysierte bifa im beschriebenen Projekt den ökologisch-ökonomischen Ist-Zustand von fünf Papierprodukten und entwickelte gemeinsam mit den zahlreichen Projektbeteiligten Szenarien für die Verbesserung der Ökoeffizienz dieser Produkte über die gesamte Wertschöpfungskette.

Die Untersuchungsziele waren:

- Modellierung der Papierprodukte „Buch“, „Katalog“, „Küchenrolle“, „unbedruckte Wellpappeverpackung“ und „Zeitung“ im Ist-Zustand für das Bezugsjahr 2007 in Form eines dynamischen, erweiterbaren Stoffstrommodells,
- Identifizierung kurz- bis mittelfristig nutzbarer Ökoeffizienzpotenziale; dazu wurden Ansatzpunkte zur Verbesserung der Ökoeffizienz ermittelt und in Form von Szenarien analysiert (aktuelle Szenarien),
- Formulierung plausibler Zukunftsentwürfe und daraus folgend Identifizierung mittel- bis langfristig nutzbarer Ökoeffizienzpotenziale; ausgehend von den Zukunftsentwür-

fen wurden strategische Szenarien entwickelt und die Wirkung auf die Ökoeffizienz betrachtet.

- Ableitung von Schlussfolgerungen/Konsequenzen, die der Bayerischen Papierindustrie und ihren Marktpartnern sowie dem StMUG als Grundlage für die Entwicklung eigener mittel- und langfristiger Ökoeffizienzstrategien dienen können.

3 Methodik

Die Ökoeffizienzanalyse verknüpft die ökologische Sachbilanz mit einer Kostenanalyse (Abbildung 1). Die Integration und Bewertung von Kostenfaktoren und ökologischen Sachbilanzdaten bietet eine fundierte Entscheidungsgrundlage für den Vergleich alternativer Produkte oder Verfahren und für die Suche nach Optimierungsansätzen.

Die hier beschriebene ökobilanzielle Betrachtung liefert als Ergebnis eine Sachbilanz mit einer Vielzahl von Einzelwerten, welche die Umweltwirkungen der untersuchten Papierprodukte charakterisieren. Im Gegensatz zu Ökobilanzen, bei denen aus den differenziert und komplex dargestellten Umweltwirkungen verbal-argumentativ eine Rangfolge der untersuchten Szenarien abgeleitet wird, werden die Umweltwirkungen hier mithilfe einer am bifa entwickelten Methode aggregiert [PITSCHKE ET AL. 2003]. Das Vorgehen orientiert sich dabei möglichst an den Vorgaben des Umweltbundesamtes (UBA) zur Bewertung in Ökobilanzen. Die transparente und gut nachvollziehbare Methode ergibt als Ergebnis einen numerischen Wert für jedes zu vergleichende Szenario. Dieser Wert wird in Form von Ökologie-Index-Punkten angegeben.

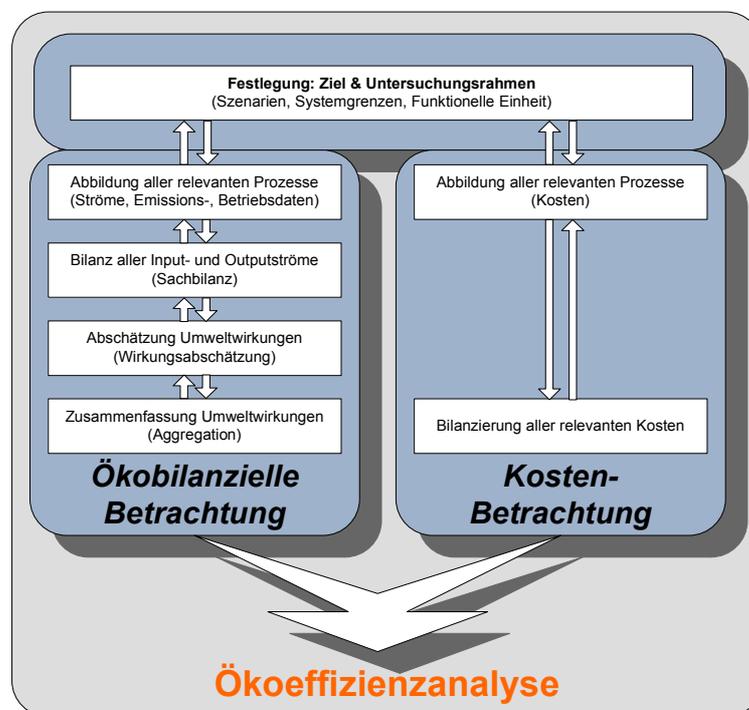


Abbildung 1: Schritte zur gemeinsamen Betrachtung der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen im Rahmen der Ökoeffizienzanalyse

Bei der Kostenanalyse werden die Gesamtkosten für die Herstellung und Entsorgung der untersuchten Papierprodukte ermittelt. Es wird im Wesentlichen auf Kosten der beteiligten Unternehmen sowie auf Daten der beteiligten Verbände zurückgegriffen.

Die Ökoeffizienzanalyse stellt für jedes untersuchte Szenario das Ergebnis der ökobilanziellen Betrachtung den Kosten gegenüber.

3.1 Ökobilanzielle Betrachtung

Die im Vorhaben durchgeführten ökobilanziellen Betrachtungen orientierten sich an den Normvorgaben zur Durchführung von Ökobilanzen DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 [DIN 2006, DIN 2006A]. Dabei wurden – ausgehend von der Zieldefinition im Rahmen der Sachbilanz – relevante Parameter erfasst und in der Abschätzung ihrer Umweltwirkungen zusammengefasst. Da im Rahmen dieses Vorhabens aus Effizienzgründen nicht vorgesehen war, alle in den Normen vorgeschriebenen Aspekte in vollem Umfang umzusetzen, wird im Weiteren von ökobilanziellen Betrachtungen in Anlehnung an DIN EN ISO 14040 ff. gesprochen.

3.1.1 Zieldefinition

Zur Zieldefinition gehören die Formulierung des Erkenntnisinteresses sowie die Festlegung der funktionellen Einheit und der Systemgrenzen (vgl. Abschnitt 4).

3.1.2 Sachbilanz

Die Erstellung der Sachbilanz beinhaltet das Sammeln, die Ableitung und die Aufbereitung prozessspezifischer In- und Outputdaten, die System- und Prozessmodellierung sowie die Berechnung der Sachbilanzen. Letztere quantifizieren In- und Outputflüsse des kompletten Bilanzierungssystems oder spezifischer Teil- und Äquivalenzsysteme. Die Sachbilanzen sind Grundlage für die Wirkungsabschätzung und die Auswertung.

Wesentlich für die Datenerhebung und die darauf basierende Bilanzierung ist die Modellierung der Produktsysteme. Dafür ist es erforderlich, die für das jeweilige Systemmodell relevanten Prozesse zu identifizieren und die notwendigen Sachbilanzdaten zu erheben oder abzuleiten. Das Systemmodell bildet die Basis für die Datenerhebung, die Systemkalkulation, alle anschließenden Auswertungsschritte und die Analyse der Kosten. Die Modellierung und Bilanzierung erfolgte mit der Software UMBERTO®.

3.1.3 Wirkungsabschätzung

Im Rahmen der Wirkungsabschätzung werden die umfangreichen Ergebnisse der Sachbilanz komprimiert und für die Auswertung vorbereitet. Dazu werden die Sachbilanzergebnisse möglichst (potenziellen) Umweltwirkungen zugeordnet und innerhalb dieser Wirkungskategorien zu aggregierten Werten verrechnet.

Jede Wirkungskategorie bezieht sich auf einen mehr oder weniger komplexen Wirkungsmechanismus, an dessen Ende unerwünschte Auswirkungen auf ein oder mehrere Umweltschutzgüter stehen. Am Anfang stehen die Freisetzung bestimmter Stoffe aus dem untersuchten System oder ein durch das System bedingter Eingriff in die Umwelt.

Die Auswahl der verwendeten Wirkungskategorien orientierte sich an den aktuellen umweltbezogenen Kenntnissen sowie am projektspezifischen Erkenntnisinteresse, wobei von den vom Umweltbundesamt als relevant betrachteten Wirkungskategorien [PLINKE ET AL. 2000] ausgegangen wurde.

Den einzelnen Wirkungskategorien sind jeweils Sachbilanzparameter zuzuordnen. Die entsprechenden Sachbilanzergebnisse werden anschließend zu einem oder mehreren Wirkungsindikatorergebnissen verrechnet oder direkt als Wirkungsindikatorergebnis verwendet. Tabelle 1 zeigt die Auswahl der Wirkungskategorien, die Zuordnung der Sachbilanzparameter sowie die den Wirkungsindikator kennzeichnende Einheit der Ergebnisse für die vorliegende Untersuchung.

Tabelle 1: Auswahl der Wirkungskategorien, Zuordnung der Sachbilanzparameter zu den Wirkungskategorien und Einheit der Wirkungsindikatorergebnisse

Wirkungskategorie	Sachbilanzparameter	Indikatorergebnisse jeweils bezogen auf die funktionelle Einheit ¹
Ressourcenbeanspruchung (kumulierter Energieaufwand)	KEA _{fossil}	Angabe in MJ
Treibhauseffekt	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	kg CO ₂ -Äquivalente
Versauerung	NO _x als NO ₂ , SO ₂ , NH ₃	kg SO ₂ -Äquivalente
Terrestrische Eutrophierung	NO _x als NO ₂ , NH ₃	kg PO ₄ ³⁻ -Äquivalente
Fotochemische Oxidantienbildung	CH ₄ , NMVOC, VOC _{unspez.}	kg Ethen-Äquivalente
Toxische Schädigung des Menschen und von Organismen	SO ₂	Angabe in kg
Toxische Schädigung von Organismen und Ökosystemen	NH ₃ , NO _x als NO ₂	Angabe jeweils in kg

¹ Vergleichseinheit der ökobilanziellen Betrachtung (vgl. Abschnitt 4.3)

3.1.4 Aggregation

Voraussetzung für einen geschlossenen ökologischen Vergleich ist, dass die Einzelaussagen zu den Umweltbe- und -entlastungen, die anhand der Wirkungskategorien und Sachbilanzparameter für jedes Szenario getroffen werden, zu einem einzigen aussagekräftigen Wert zusammengefasst werden können. bifa definiert hierzu einen Ökologie-Index. Es handelt sich um eine modifizierte und erweiterte Version der vom Umweltbundesamt vorgeschlagenen Methodik. Abbildung 2 veranschaulicht die Schritte zur Aggregation der Wirkungskategorien und Sachbilanzparameter.

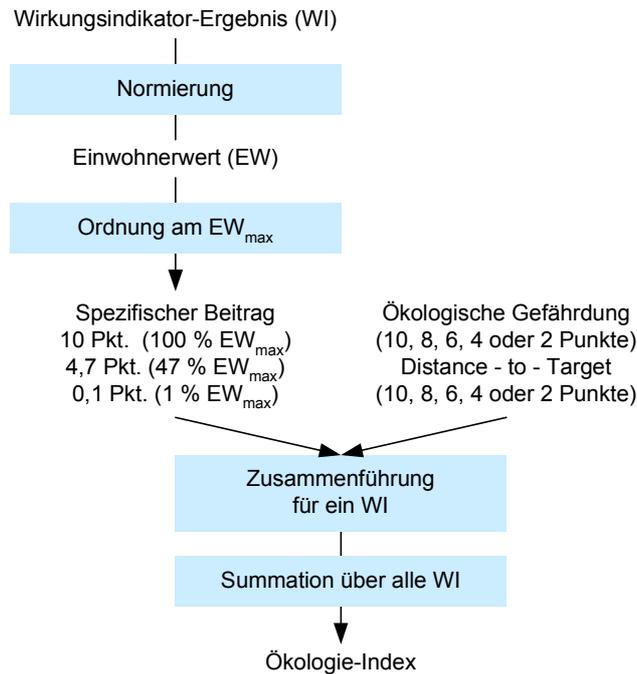


Abbildung 2: Aggregation der Wirkungsindikator- und Sachbilanzparameter zum Ökologie-Index eines Szenarios

3.2 Kostenbetrachtung

Die Prozesskosten enthalten alle Kosten, die für Herstellung und Entsorgung der untersuchten Papierprodukte anfallen. Abhängig vom Papierprodukt gehören dazu:

- Personalkosten
- Investitionskosten (Abschreibungen und Kapitalkosten)
- Materialkosten (Rohstoffe und Ausgangsprodukte)
- Betriebskosten (Energieversorgung, Betriebsmittel und Bedarfsmaterial)
- Fremdleistungskosten (Dienstleistungen, Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, Raumkosten, interne Abwasser- und Abfallentsorgung)
- Entsorgungskosten

Den Kosten stehen Erlöse gegenüber, die sich aus dem Absatz von Energien oder Wertstoffen, aus der Vermeidung des Strom- oder Wärmekaufs von Energieversorgern oder auch aus der Entsorgung möglicher Reststoffe aus den Entsorgungsprozessen ergeben können.

Auf eine weitere Differenzierung der Kosten muss an dieser Stelle verzichtet werden, da der größte Teil der zugrunde liegenden Daten von den Projektpartnern unter der Voraussetzung der Vertraulichkeit übermittelt wurde. Daher werden Kosten in diesem Bericht nur im Rahmen der Szenariendiskussion und auch da nur in Form prozentualer Abweichungen von den Ist-Kosten dargestellt.

3.3 Ökoeffizienzanalyse

Die Ökoeffizienzanalyse stellt für jedes untersuchte Szenario das Ergebnis der ökobilanziellen Betrachtung den damit verbundenen Kosten gegenüber. Grafisch dargestellt wird es in einem Ökoeffizienz-Portfolio (vgl. Abbildung 26).

Die Stärke der Portfolio-Darstellung liegt darin, dem Betrachter auf einen Blick das aggregierte Ergebnis einer umfassenden Bewertung vor Augen zu führen. Das Ökoeffizienz-Portfolio darf nur als relativ grobes, ganzheitliches Bild interpretiert werden. Kleine Differenzen in der Position der Szenarien sollten nicht überbewertet werden, da mit der Aggregation ein Verlust an Informationen einhergeht. Eine detaillierte Diskussion kann nur anhand der Einzelergebnisse erfolgen.

4 Untersuchungsrahmen

4.1 Untersuchungsgegenstand

Gegenstand der Untersuchung war die Prozesskette verschiedener Papierprodukte von der Rohstoffversorgung über die Herstellung von Papier und Papierprodukten bis zu deren Entsorgung. Der Einsatz der Papierprodukte wurde nicht berücksichtigt, da das Erkenntnisinteresse der Auftraggeber und Projektpartner den Herstellungs- und Entsorgungsprozessen galt. Zudem können die zahlreichen Randbedingungen, welche die Nutzungsphasen beeinflussen, in einem Stoff- und Energieflussmodell nur bedingt belastbar abgebildet werden. Lediglich für die untersuchten elektronischen Medien (s. Kapitel 0) wurde im Vergleich zum Printmedium die Nutzungsphase einbezogen, da diese ergebnisrelevant und für einen belastbaren Vergleich unverzichtbar ist.

Die Untersuchung wurde exemplarisch an fünf Produkten durchgeführt. Tabelle 2 stellt die ausgewählten Papierprodukte vor.

Tabelle 2: Auswahl der Papierprodukte

Produkt	Produktgruppe	Papiereigenschaften
Katalog	grafische Papiere	ungestrichenes, holzhaltiges Papier (HS, ZS, AP)
unbedruckte Wellpappeverpackung	Verpackungspapier	Papier mit hohem Altpapieranteil (100 % AP)
Buch	grafische Papiere	gestrichenes, holzfreies Papier (HS, ZS, AP)
Zeitung	grafische Papiere	Papier mit hohem Altpapieranteil (80 % AP, HS)
Küchenrolle	Hygienepapier	holzfreies Papier (100 % ZS)

HS: Holzstoff; ZS: Zellstoff, AP: Altpapier

4.2 Projektbeteiligte

Neben dem StMUG sowie Vertretern von BayPapier waren 16 Unternehmen und zwei weitere Wirtschaftsverbände an den Arbeiten beteiligt. Tabelle 3 ordnet diese Projektpartner den untersuchten Produkten auf der Hersteller- und auf der Verarbeiterseite zu.

Tabelle 3: Industrielle Projektpartner, den untersuchten Papierprodukten zugeordnet

Produkt	Papier-/Wellpappehersteller	Verarbeiter
Buch	Sappi Stockstadt GmbH	aprinta Druck GmbH & Co. KG Verlagsgruppe Weltbild GmbH
Katalog	Gebr. Lang GmbH Papierfabrik Myllykoski Corporation GmbH UPM GmbH	u.e. Sebald Druck und Verlag GmbH Verlagsgruppe Weltbild GmbH
Küchenrolle	Fripa Papierfabrik Albert Friedrich KG SCA Hygiene Products GmbH Tissue Europe	Fripa Papierfabrik Albert Friedrich KG SCA Hygiene Products GmbH Tissue Europe
unbedruckte Wellpappeverpackung	Duropack Wellpappe Ansbach GmbH HANS KOLB Wellpappe GmbH & Co. KG Papierfabrik Hamburger Rieger GmbH & Co. KG SCA Packaging Deutschland Stiftung & Co. KG Smurfit Kappa Packaging GmbH	ESCA Food Solutions GmbH Verlagsgruppe Weltbild GmbH
Zeitung	Gebr. Lang GmbH Papierfabrik UPM GmbH	Presse-Druck- und Verlags-GmbH

Die Papiertechnische Stiftung (PTS) war ebenfalls als Projektpartner in das Vorhaben eingebunden und brachte insbesondere papiertechnisches Know-how ein.

Darüber hinaus waren an dem Vorhaben folgende Verbände beteiligt:

- bayerndruck - Verband Druck & Medien Bayern e. V. (VDMB)
- Verband der Wellpappen-Industrie e. V. (VDW)

4.3 Projektablauf

Nach einer orientierenden Analyse der zu untersuchenden Prozessketten sowie der Ermittlung des Datenbedarfs wurde für jedes untersuchte Papierprodukt ein dynamisches Stoff- und Energieflussmodell des Ist-Zustands erstellt.

Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Ist-Zustände wurden in einem Workshop „aktuelle Szenarien“ vereinbart, um kurz- und mittelfristig nutzbare Ökoeffizienzpotenziale zu identifizieren. Diese dienen als Grundlage für die Formulierung plausibler und in sich schlüssiger Zukunftsentwürfe. Ausgehend von diesen Zukunftsentwürfen wurden in einem weiteren Workshop „strategische Szenarien“ entwickelt, um mittel- bis langfristig realisierbare Hand-

lungsmöglichkeiten zur ökologischen und betriebswirtschaftlichen Verbesserung der untersuchten Prozessketten zu identifizieren.

In einem abschließenden Workshop konnten auf Basis der in den aktuellen und strategischen Szenarien ermittelten Ergebnisse Schlussfolgerungen abgeleitet werden, die der Bayerischen Papierindustrie und ihren Marktpartnern sowie dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit als Grundlage für die Entwicklung eigener mittel- und langfristiger Ökoeffizienzstrategien dienen können.

4.4 Funktionelle Einheiten

Im Mittelpunkt des ökobilanziellen Vergleichs steht die funktionelle Einheit [DIN 1998]. Sie dient als Bezugsgröße sowohl für die Gegenüberstellung der betrachteten Szenarien als auch für die Normierung der in der Sachbilanz ermittelten In- und Outputdaten.

Für dieses Vorhaben wurde als funktionelle Einheit der Jahresverbrauch der untersuchten Papierprodukte in Bayern festgelegt. Dafür wurden näherungsweise die bayerischen Pro-Kopf-Jahresverbräuche für die Produkte ermittelt. Als Basis dienten die Einwohnerzahlen 2007 von Deutschland mit 82.315.000 Einwohnern [DESTATIS 2008] sowie von Bayern mit 12.520.000 Einwohnern [BAYSTAT 2008].

Katalog

2007 wurden in Deutschland ca. 549,2 Mio. Kataloge im Tiefdruckverfahren hergestellt [DESTATIS 2009]. Das entspricht ca. 6,7 Katalogen pro Einwohner. Bezogen auf die Einwohnerzahl Bayerns und das Gewicht des in diesem Vorhaben ausgewählten Katalogs von ca. 622 g ergibt das eine funktionelle Einheit von **83,8 Mio. Katalogen mit einem Gesamtgewicht von ca. 52.000 t**.

Unbedruckte Wellpappeverpackung

2007 wurden in Deutschland ca. 10,1 kg unbedruckte Wellpappeverpackungen aus 100 % Altpapier pro Einwohner verbraucht [PROJEKTPARTNER 2009]. Bezogen auf die Einwohnerzahl Bayerns ergibt das eine funktionelle Einheit von **ca. 126.000 t unbedruckter Wellpappeverpackungen mit einem Flächengewicht der Wellpappe von 480 g/m²**.

Buch

2007 entfielen von den in Deutschland hergestellten Büchern ca. 254,7 Mio. auf die Güteverzeichnis-Nr. 221121300 „Bücher mit Belletristik, Sachbücher, fest gebunden“ [DESTATIS 2009]. Auf Grundlage von Marktkennntnissen der Projektpartner wurde angenommen, dass 43 % davon Bücher mit holzfreien, gestrichenen Seiten sind [PROJEKTPARTNER 2009], d. h. Bücher des Typs, der in diesem Vorhaben untersucht wurde. Das entspricht ca. 1,33 Büchern pro Einwohner. Bezogen auf die Einwohnerzahl Bayerns und das Gewicht des in diesem Vorhaben ausgewählten Buchs von ca. 975 g ergibt das eine funktionelle Einheit von **16,7 Mio. Büchern mit einem Gesamtgewicht von ca. 16.500 t**.

Zeitung

Pro Jahr erscheinen in Deutschland sechsmal pro Woche täglich ca. 20,8 Mio. Tageszeitungen [BDZV 2007]. Das entspricht ca. 6,4 Mrd. Tageszeitungen jährlich und ca. 78 Tageszeitungen pro Einwohner und Jahr. Bezogen auf die Einwohnerzahl Bayerns ergibt das eine

funktionelle Einheit von ca. **992 Mio. Tageszeitungen mit einem Gesamtgewicht von ca. 190.000 t**. Dies entspricht einem Gewicht von ca. 200 g je Zeitungsexemplar.

Küchenrolle

2007 wurden in Deutschland ca. 1,1 Mio. ? t Tissue-Produkte hergestellt, wovon ca. 16,5 % auf Küchenrollen entfielen [PROJEKTPARTNER 2009]. Das entspricht ca. 2,2 kg Küchenrolle pro Einwohner. Bezogen auf die Einwohnerzahl Bayerns und das in diesem Vorhaben festgelegte Gewicht einer Küchenrolle von ca. 180,6 g ergibt das eine funktionelle Einheit von ca. **153,2 Mio. Küchenrollen mit einem Gesamtgewicht von ca. 28.000 t**.

4.5 Systemgrenzen

Um die Vergleichbarkeit von Produktsystemen zu gewährleisten, müssen neben der funktionellen Einheit auch die Grenzen der Betrachtung für die zu vergleichenden Szenarien definiert sein.

Entsprechend der DIN 1997 legt die Systemgrenze die Prozesse fest, die in das zu modellierende System aufgenommen werden. Im Idealfall sollte das System so modelliert werden, dass Inputs und Outputs an ihren Systemgrenzen Elementarflüsse sind, also z.B. Emissionen in die Luft oder aus Lagerstätten entnommenes Rohöl. Da in der Regel nicht ausreichend Zeit, Daten und Mittel zur Verfügung stehen, um eine derart umfassende Studie durchzuführen, müssen Entscheidungen darüber getroffen werden, welche Prozesse in die Untersuchung einbezogen, welche Emissionen in die Umwelt berücksichtigt werden und mit welcher Detailgenauigkeit die Prozesse untersucht und die Emissionen erfasst werden sollen [DIN 1997].

Folgende Prozesse wurden innerhalb der Systemgrenzen berücksichtigt:

- Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung der Papierprodukte einschließlich der eventuell notwendigen Behandlung anfallender Rest- oder Wertstoffe,
- alle mit den Prozessen verbundenen relevanten Stoff- und Energieflüsse, von der Gewinnung und Aufbereitung von Rohstoffen, über die Bereitstellung von Betriebsmitteln und Ausgangsprodukten bis, soweit möglich, zur Entsorgung von Reststoffen. Im Idealfall umfassen die Systemgrenzen die Gewinnung der Rohstoffe aus den natürlichen Lagerstätten und deren Bereitstellung für technische Prozesse und die Abgabe von Elementarflüssen an die Umweltmedien Wasser, Luft und Boden.

4.5.1 Datenlücken und Annahmen

Bei der Begrenzung der Komplexität der Modelle muss darauf geachtet werden, dass für jedes untersuchte Papierprodukt die Vergleichbarkeit der spezifischen Szenarien erhalten bleibt. Dazu wurden die in diesem Abschnitt beschriebenen Kriterien für eine einheitliche Bestimmung der Systemgrenzen festgelegt.

Die Vorgabe der DIN 1997, dass der Stoff- und Energieeinsatz (Inputseite) sowie die Emissionen und Produkte (Outputseite) an ihren Systemgrenzen Elementarflüsse sein sollen, wurde bei der Modellierung soweit als möglich berücksichtigt. Für alle Input-Stoffe und Energieträger, die innerhalb der nachfolgend beschriebenen Detailgrenzen liegen, wurden

Vorketten beginnend bei der Gewinnung aus natürlichen Lagerstätten bis hin zur Bereitstellung für den jeweiligen Prozess modelliert. Waren keine belastbaren Daten verfügbar, sind vergleichbare Prozesse herangezogen und Annahmen getroffen worden.

4.5.2 Detailgrenzen

Vorgelagerte Prozesse (Vorketten)

Die Herstellung von Roh-, Betriebs- und Ausgangsstoffen in vorgelagerten Prozessen wurde nicht berücksichtigt, wenn die in diesem Abschnitt als Detailgrenzen definierten Abschneidekriterien zutrafen. In solchen Fällen wurde in der Sachbilanz anstelle des Elementarflusses der jeweilige Materialfluss ausgewiesen.

Die Detailgrenze für die Vernachlässigung der Modellierung der Vorketten von Input-Materialien wurde mit 3 Gew.-% eines Referenzflusses (meist gewünschter Output) festgelegt. Die Summe aller vernachlässigten Inputmaterialien eines Prozesses sollte jedoch nicht größer als jeweils 10 Gew.-% des Referenzflusses sein. Ausgenommen davon waren Materialien mit geringem Massenanteil, wenn in deren Vorkette Prozesse enthalten waren, die hinsichtlich toxischer oder energetischer Aspekte für die gesamte Ökobilanz bedeutsam sein konnten.

Die Bereitstellung ubiquitärer Ressourcen, z. B. Luft und Unterhalt der Infrastruktur (Bau, Wartung und Reparatur von Gebäuden, Maschinen, Industrieanlagen, Transportmittel und Verkehrswege) wurden grundsätzlich nicht berücksichtigt.

Nachgelagerte Prozesse (Nachketten)

Für Abfälle galten die gleichen Abschneidekriterien wie für die vorgelagerten Prozesse, d. h. die Entsorgung wurde dann modelliert, wenn die Abschneidekriterien nicht ausreichten und wenn die Beschreibung verwendeter Module oder Datensätze aus Bibliotheken oder Datenbanken nicht schon auf eine Berücksichtigung hinwies.

Die vorhandene Datenlage erlaubte keine symmetrische Betrachtung wasserseitiger Emissionen der innerhalb der Bilanzierungsmodelle betrachteten Prozesse. Aus diesem Grund wurde darauf verzichtet, Emissionen in Wasser bei der Wirkungsabschätzung (Humantoxizität, Ökotoxizität) zu berücksichtigen. In die Bilanzierungsmodelle wurden diese jedoch so weit als möglich aufgenommen und als Sachbilanzparameter ausgewiesen.

4.5.3 Verrechnung von Gutschriften in Äquivalenzsystemen

Neben dem analysierten Produkt als Hauptnutzen können, z. B. aus der Verwertung der gebrauchten Papierprodukte, zusätzliche Nutzen resultieren. Dazu zählen u. a. Strom und Wärme aus der Abfallverbrennung oder Sekundärrohstoffe aus der stofflichen Verwertung. Als Folge müssen die entsprechenden Energiemengen und Produkte nicht auf konventionellem Weg aus Primärrohstoffen hergestellt werden (eine gleich bleibende Nachfrage wird unterstellt). Die Umweltauswirkungen, die mit der konventionellen Herstellung jedes einzelnen Zusatznutzens verbunden sind, werden somit „eingespart“ oder „vermieden“. Um den Ver-

gleich der Szenarien zu vervollständigen, wurden diese „vermiedenen“ Umweltauswirkungen bilanziert und den Umweltauswirkungen des jeweiligen Papierprodukts zugeschrieben.¹

Der konventionelle Produktionsprozess eines Zusatznutzens wird als „Äquivalenzprozess“ oder „Äquivalenzsystem“ bezeichnet. Für jeden quantifizierbaren Zusatznutzen wurde ein spezifisches Äquivalenzsystem modelliert, das den gleichen oder einen vergleichbaren funktionsäquivalenten Nutzen erzeugt. Dabei ersetzen die Zusatznutzen aufgrund geringerer Qualität oder prozessbedingt nicht immer zu 100 % die Primärrohstoffe. Dieses Verhältnis wird durch einen sogenannten Substitutionsfaktor beschrieben, der fall- oder stoffspezifisch angegeben wird.

Abbildung 3 veranschaulicht grafisch die notwendige Berücksichtigung der Äquivalenzprozesse und Gutschriften in vereinfachender Weise am Beispiel der Abfallverbrennung.

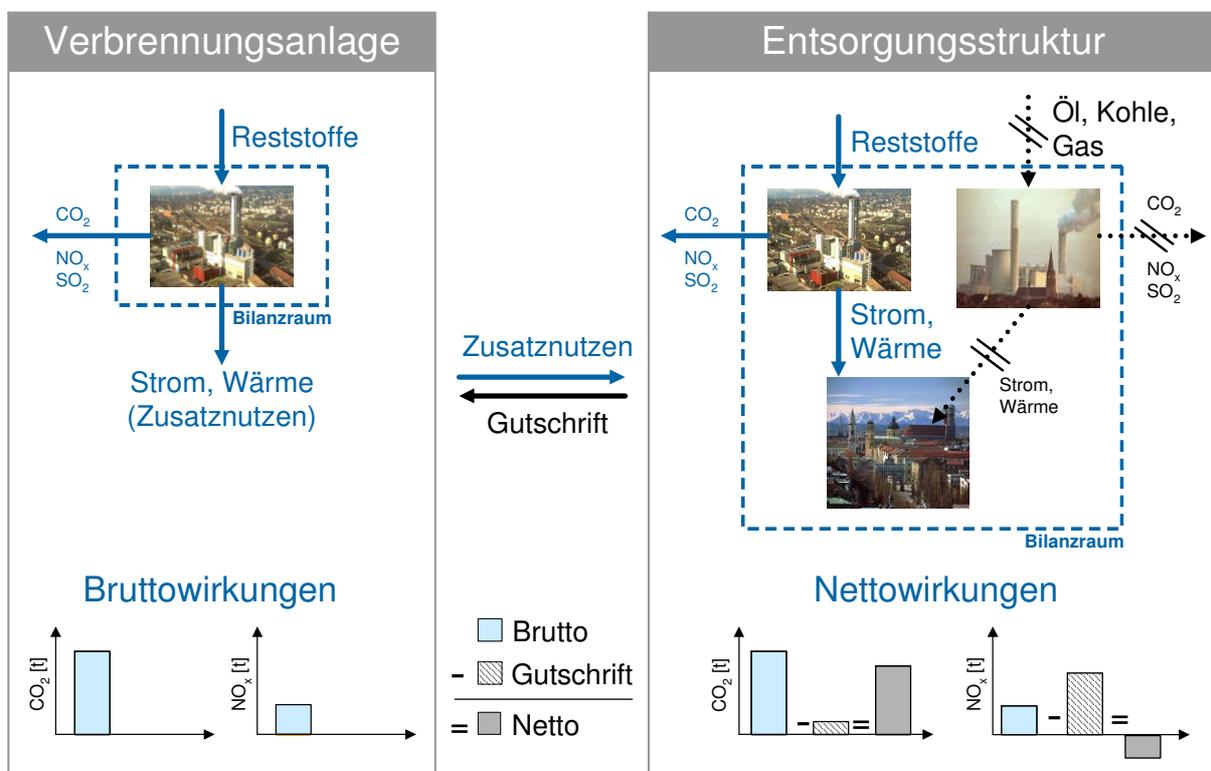


Abbildung 3: Berücksichtigung von Zusatznutzen der Entsorgung in Form von Gutschriften aus Äquivalenzsystemen am Beispiel der bei der thermischen Abfallbehandlung erzeugten Strom- und Wärmemenge

4.5.4 Geografischer und zeitlicher Bezug

Der geografische Bezugsraum für dieses Vorhaben entspricht den politischen Grenzen des Bundeslandes Bayern. Allerdings finden die Bereitstellung einzelner (Roh-)Stoffe oder verschiedene Produktionsprozesse nicht immer oder nicht ausschließlich in Bayern statt. In die-

¹ Die in der Bilanzierung der konventionellen Herstellung der Zusatznutzen erhaltenen Elementarflüsse (Gutschriften) werden von den Umweltauswirkungen des jeweiligen Bilanzierungsmodells (Bruttoergebnis) rechnerisch abgezogen; das führt zu einem Nettoergebnis. Damit können auch negative Nettoergebnisse auftreten.

sen Fällen wurde versucht, den Bezugsraum entsprechend anzupassen. War dies nicht möglich, wurde der Bezugsraum Deutschland gewählt.

Als zeitlicher Bezug wurde möglichst das Jahr 2007 gewählt. Ansonsten wurden die jeweils aktuellsten im Bearbeitungszeitraum verfügbaren Daten verwendet, die über eigene Recherchen und Datenbankauswertungen ermittelt werden konnten.

5 Ist-Zustand der untersuchten Papierprodukte

Der Erhebung der Ist-Zustände liegen Prozess- und Anlagendaten der Papierindustrie in Europa zugrunde. Einzelne Unternehmen können davon abweichende Rezepturen einsetzen.

5.1 Erläuterungen zur Darstellung der Ergebnisse

Die ökobilanziellen Ergebnisse der untersuchten Produkte werden mit jeweils zwei Grafiken veranschaulicht:

In einem Diagramm werden die Ergebnisse aller betrachteten Wirkungskategorien zusammengefasst (Abbildung 4). Die Balken zeigen – normiert auf Einwohnerwerte – an, wie groß der Beitrag der jeweiligen Wirkungskategorien zur Umweltbelastung (Balken nach rechts) ist. In einzelnen Fällen kann es auch zu Umweltentlastungen kommen (Balken nach links).

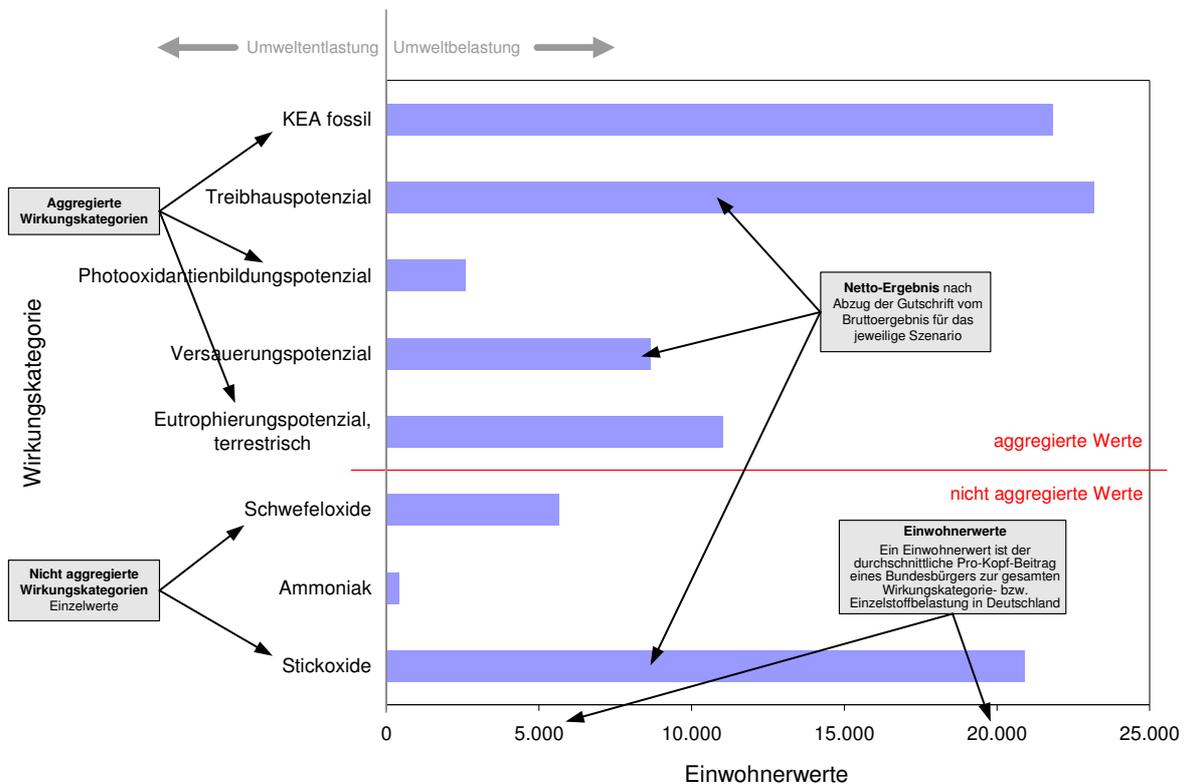


Abbildung 4: Erläuterung der grafischen Darstellung der Ergebnisse nach Wirkungskategorien für den Ist-Zustand der untersuchten Papierprodukte

In einem zweiten Diagramm wird das Ergebnis zum Treibhauseffekt („Treibhauspotenzial“ oder „Carbon Footprint“) weiter aufgeschlüsselt (Abbildung 5). Der linke Teil der Grafik zeigt das Ergebnis für die drei Verfahrensschritte Papierherstellung, Papierverarbeitung sowie Papierentsorgung. Im rechten, farblich hinterlegten Teil wird das Ergebnis differenziert nach den Sektoren stoffliche Vorkette (Roh- und Ausgangsstoffe), energetische Vorkette (Energiebereitstellung) sowie Prozess und Nachkette (Reststoffverwertung) dargestellt.

In beiden Grafikteilen zeigen die jeweils linken Balken die Brutto-Aufwandsergebnisse (Umweltbelastungen – Balken nach oben) und die Gutschriften (Umwentlastungen – Balken nach unten). Die sektorale Darstellung in farblich unterteilten Abschnitten erlaubt es, die Teilsysteme mit relevanten Beiträgen zum Gesamtergebnis zu identifizieren. Aus der Verrechnung der Umweltbe- und -entlastungen resultiert das Nettoergebnis, das jeweils im rechten Balken dargestellt ist. Es zeigt, ob die Umwelt durch das Papierprodukt insgesamt mit treibhauswirksamen Gasen belastet (Balken nach oben) oder entlastet (Balken nach unten) wird. Auf eine farblich unterteilte Darstellung wurde verzichtet, da aufgrund der Verrechnung eine zweckdienliche Auflösung in Sektoren nicht möglich ist.

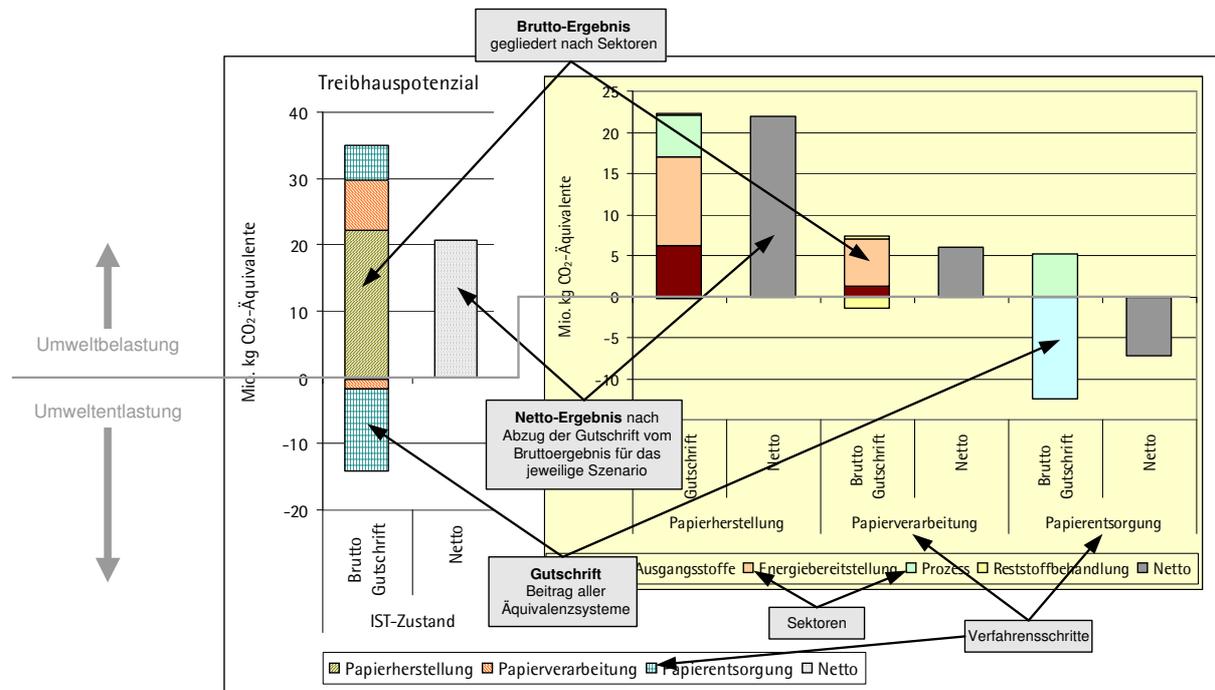


Abbildung 5: Erläuterung der grafischen Darstellung der Ergebnisse der Wirkungskategorie „Treibhauspotenzial“ für den Ist-Zustand der untersuchten Papierprodukte

5.2 Produkt „Buch“

Bücher sind Standard-Printerzeugnisse, die es in einer Vielzahl verschiedener Ausführungen, etwa Hardcover oder Taschenbuch, gibt [PROLIBRI 2009]. Für dieses Vorhaben wurde ein Hardcover-Buch mit Seiten aus holzfreiem, gestrichenem Papier ausgewählt, das 144 Inhaltsseiten, einen Vorsatz und eine Buchdecke aus Altpapier hat [PROJEKTPARTNER 2009]. In Tabelle 4 sind die Details zu den Buchbestandteilen zusammengefasst.

Tabelle 4: Spezifikation des ausgewählten Buches

Parameter	Inhalt	Vorsatz	Decke
Format	21 cm × 28 cm	21 cm × 28 cm	21,3 cm × 28,6 cm
Material	135 g/m ² holzfrei doppelt gestrichen	135 g/m ² holzfrei ungestrichen	Pappe: 2,5 mm Maschinengraukarton Überzug: 115 g/m ² holzfrei doppelt glänzend gestrichen
Druck	4/4-farbig (Bogenoffsetdruck)	unbedruckt	4/0-farbig (Bogenoffsetdruck)
Veredelung	-	-	einseitig Glanzfolienkaschierung
Verarbeitung	laminiertes Pappband, in Fadenheftung gebunden, kaptalt, runder Rücken, in Buchdecke eingehängt, transportsicher auf Paletten abgesetzt		

Bilanzierendes System

Abbildung 6 zeigt schematisch die spezifischen Teilsysteme im Bilanzierungsmodell mit den modellierten Prozessen, die nicht unter die Abschneidegrenzen fallen. Von den Roh- und Ausgangsstoffen für die Papierherstellung wurde neben Holz und Altpapier auch die Herstellung von mineralischen Stoffen, Stärke und Zellstoff modelliert. Darüber hinaus konnten einige Chemikalien sowie Latex aufgrund ihrer Menge nicht vernachlässigt werden. Für die Papierverarbeitung, d. h. den Druck der Bücher inkl. Bindung, wurden die Herstellungsprozesse von Aluminiumplatten, Druckfarben und Klebmittel in das Modell der Roh- und Ausgangsstoffe aufgenommen.

Energetisch sind für die Papierherstellung große Mengen an Dampf/Wärme und Strom erforderlich. Es wurde angenommen, dass Dampf/Wärme vollständig in eigenen Heiz- bzw. Heizkraftwerken mit einem der Papierindustrie angepassten Brennstoffmix nach VDP 2009 erzeugt werden. Der Strom kommt zu 23 % aus eigenen Kraft- und Heizkraftwerken [AG BEK PAPIER 2008]. Die restliche Menge wird aus dem öffentlichen Stromnetz entsprechend dem Strommix Deutschland bezogen. Für die Papierverarbeitung wurde im Modell die Bereitstellung von Strom aus dem öffentlichen Netz und Druckluft berücksichtigt.

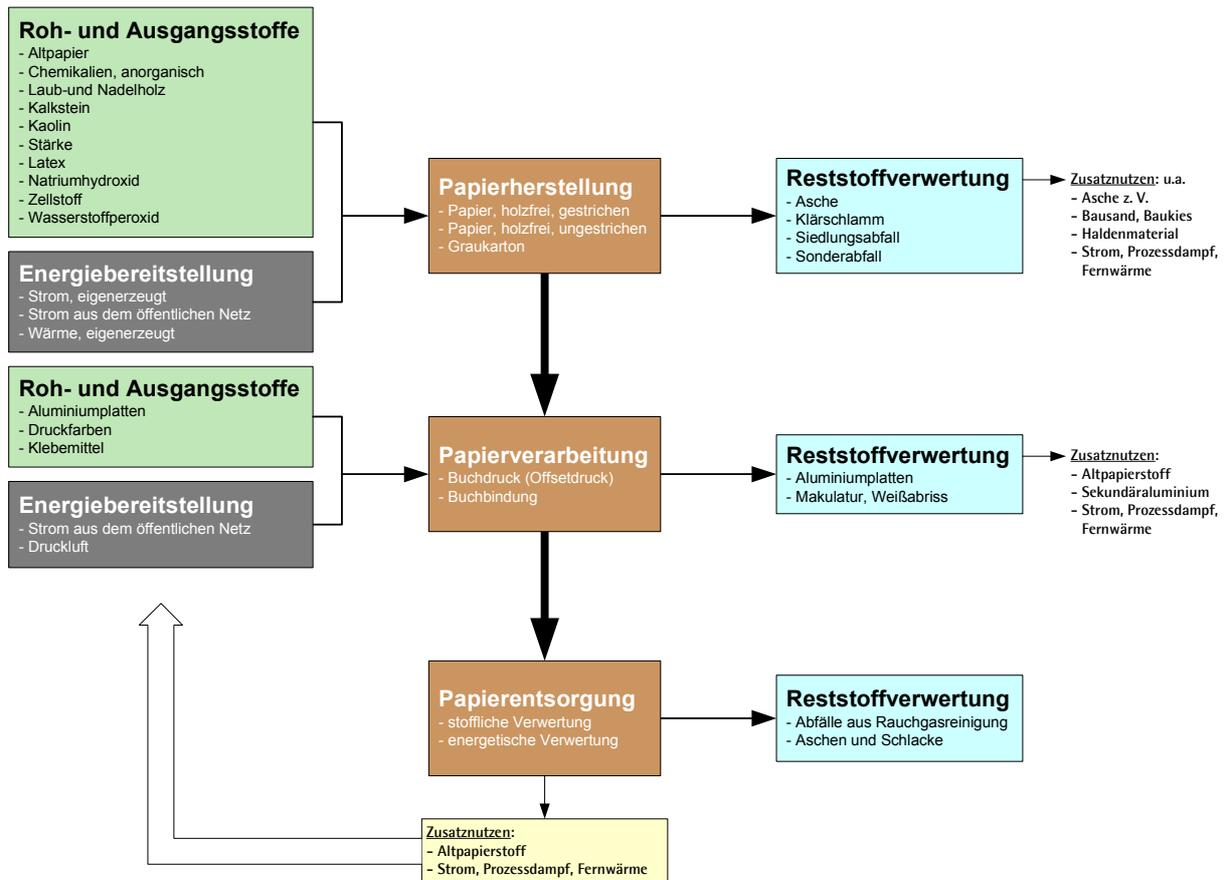


Abbildung 6: Produkt „Buch“ – Teilsysteme des Bilanzierungsmodells

Für die Papierentsorgung wurde angenommen, dass eine geringe Zahl Bücher (2 %) keiner Verwertung oder Beseitigung zugeführt wird, ca. 87 % der Bücher stofflich und 11 % energetisch verwertet werden.

Die aus der Papierentsorgung resultierenden Zusatznutzen Altpapierstoff, Strom und Prozessdampf/Fernwärme wurden in Äquivalenzsystemen verrechnet und dem Gesamtsystem gutgeschrieben. Von den Zusatznutzen, die aus der Papierherstellung und -verarbeitung resultieren, ist vor allem das Sekundäraluminium zu erwähnen, das aus der Verwertung der beim Offsetdruck eingesetzten Aluminiumplatten stammt.

Ergebnisse nach Wirkungskategorien

Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse der Bilanzierung des Produkts „Buch“ für die betrachteten Wirkungskategorien und Einzelparameter. Neben der Ressourcenbeanspruchung (KEA fossil) verzeichnen vor allem die Wirkungskategorien „Versauerungs-“ und „Treibhauspotenzial“ hohe Umweltbelastungen. Verantwortlich dafür sind hauptsächlich Kohlendioxid-, Stickoxid- und Schwefeldioxidemissionen, die zum größten Teil bei der Papierherstellung anfallen. Quelle für das Versauerungspotenzial sind die Her- und Bereitstellung der Roh- und Ausgangsstoffe sowie in etwas geringerem Maß der Papierherstellungsprozess. Auch unter den als human- und ökotoxisch eingestuft betrachteten Einzelstoffen verursachen Stickoxid- und Schwefeldioxidemissionen die höchsten Umweltbelastungen.

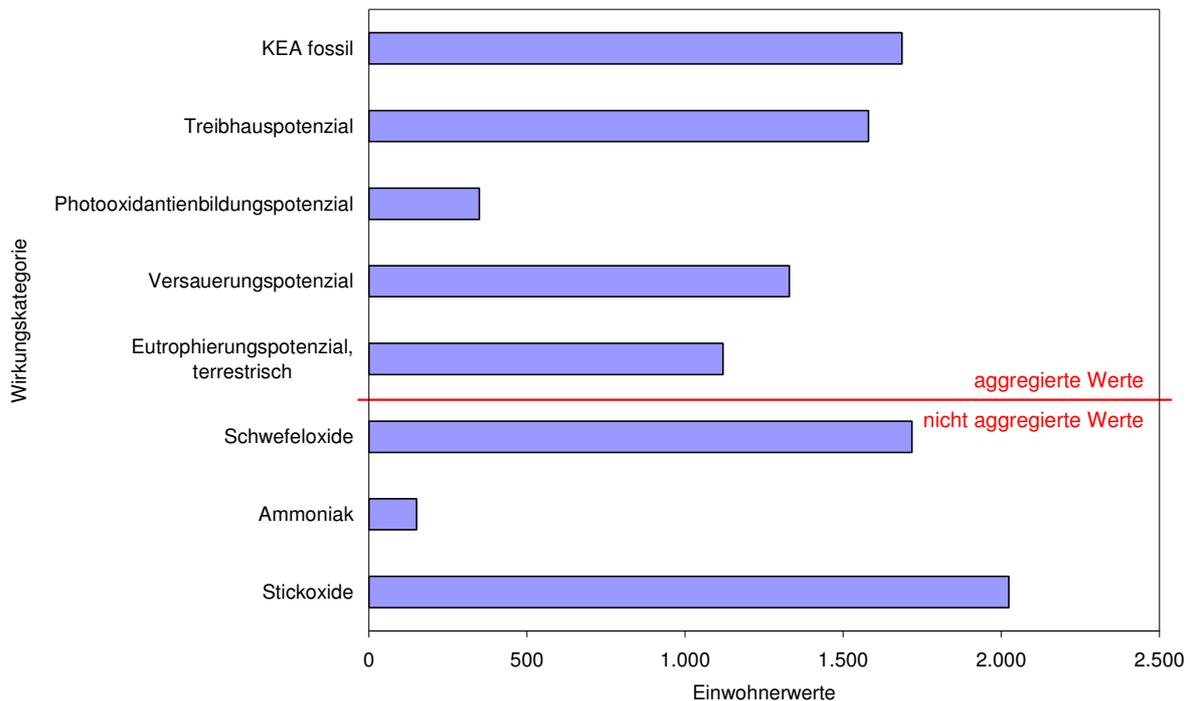


Abbildung 7: Produkt „Buch“ – Ergebnisse nach Wirkungskategorien für den Ist-Zustand bezogen auf die Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung von 16,7 Mio. Büchern mit einem Gesamtgewicht von ca. 16.500 t

Detailbetrachtung Treibhauspotenzial

Das *Bruttoergebnis* zum Treibhauspotenzial (Abbildung 8) ist hauptsächlich auf die Papierherstellung zurückzuführen. Die höchsten Bruttobelastungen resultieren aus der Energiebereitstellung und dort überwiegend aus der innerbetrieblichen Bereitstellung von Dampf/Wärme sowie dem Strombezug aus dem öffentlichen Netz.

Gutschriften fallen beim Treibhauspotenzial zum größten Teil durch Äquivalenzprozesse an, die sich aus der Entsorgung der Bücher ergeben. Altpapierstoff aus der stofflichen Verwertung substituiert Holzstoff (Holzschliff und TMP) und Zellstoff, was sich hauptsächlich in verminderten Emissionen aus den Herstellungsprozessen widerspiegelt. Zudem wird durch die energetische Verwertung Energie erzeugt. Dadurch werden konventionelle Prozesse zur Energieerzeugung ersetzt und die mit dem Verbrennen fossiler Energieträger verbundenen Emissionen vermieden. Ein kleiner Teil der Gutschriften resultiert aus dem Äquivalenzsystem zur Papierverarbeitung. Diese stammen überwiegend aus der Verwertung von Aluminiumplatten, die beim Bogenoffsetdruck verwendet werden, zu Sekundäraluminium. Durch die Verwendung dieses Sekundärrohstoffs statt Primäraluminium werden Emissionen vermieden, die bei der konventionellen Aluminiumherstellung aus Bauxit anfallen.

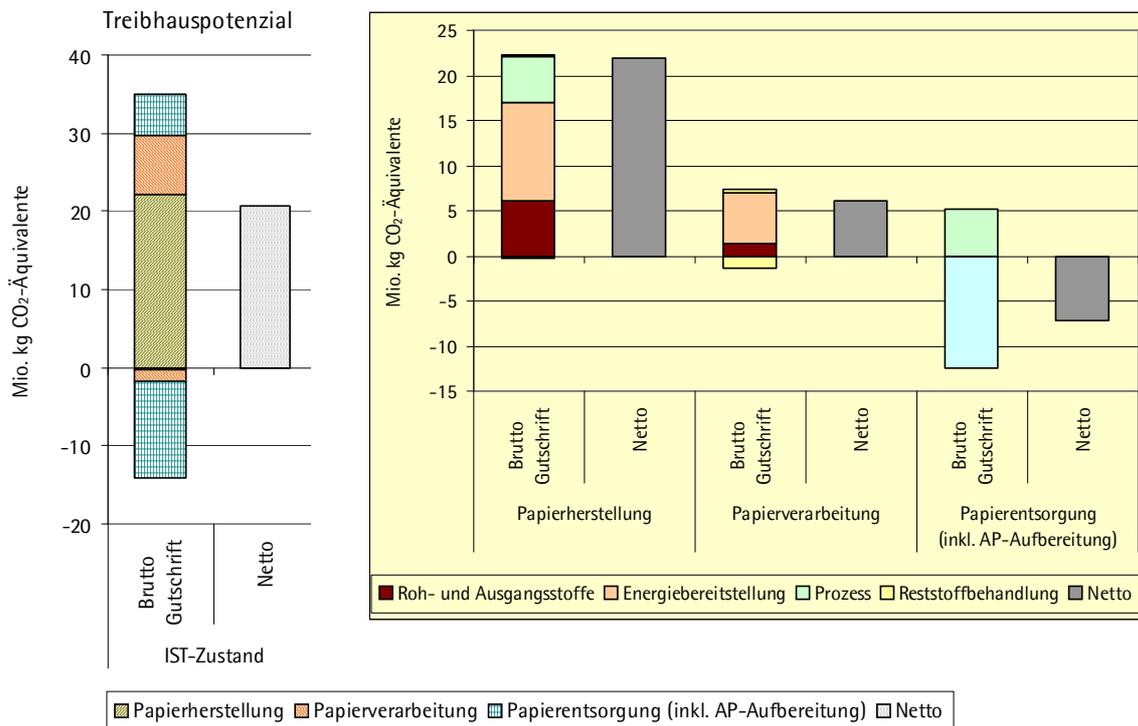


Abbildung 8: Produkt „Buch“ – Sektoranalyse für das Treibhauspotenzial im Ist-Zustand

Insgesamt verursachen die betrachteten 16,7 Mio. Bücher für die Versorgung von 12,52 Mio. Einwohnern Treibhausgasemissionen in Höhe von 20,7 Mio. kg CO₂-Äquivalenten. Das entspricht dem von 1.580 Einwohnern pro Jahr verursachten Treibhauspotenzial.

Kostenbetrachtung

Abbildung 9 zeigt die Aufteilung der Kosten auf die drei Verfahrensschritte. Mit mehr als 2/3 der Gesamtkosten entfällt der größte Beitrag auf die Papierverarbeitung. Die Papierentsorgung spielt dagegen mit ca. 1 % der Gesamtkosten keine gewichtige Rolle bei der Kostenbetrachtung.

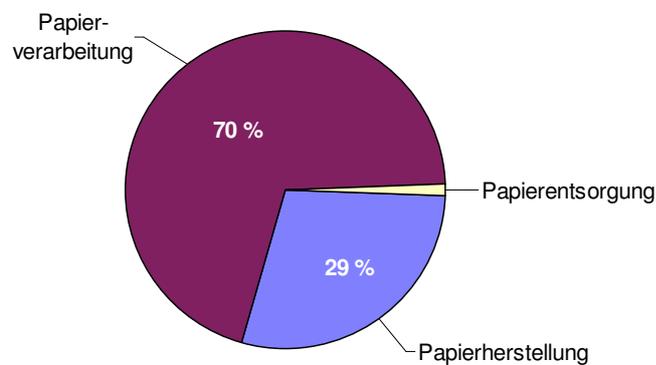


Abbildung 9: Produkt „Buch“ – Aufteilung der Kosten auf die Verfahrensschritte

5.3 Produkt „Katalog“

Kataloge sind Standard-Printerzeugnisse, die es in einer Vielzahl verschiedener Ausführungen gibt. Diese reichen von einfachen schwarz-weiß gedruckten Flyern über mehrere Hundert Seiten dicke Versandhauskataloge bis zu äußerst aufwändig gestalteten vielfarbigen Katalogen für High-End-Produkte.

Der beispielhaft ausgewählte Katalog hat einen Umfang von 240 Inhaltsseiten und einen Umschlag, der die Deckenlage bildet [PROJEKTPARTNER 2009]. Auf Beihefter wurde in Absprache mit den beteiligten Projektpartnern verzichtet. In Tabelle 5 sind die Details zu den Katalogbestandteilen zusammengefasst.

Das Papier ist holzhaltiges, ungestrichenes SC-Papier². SC-Papiere bestehen überwiegend aus Holzstoff, Zellstoff und Recyclingfasern und besitzen einen hohen Füllstoffanteil. Abhängig von den Faseranteilen wird zwischen SC-B (hoher Altpapieranteil) und SC-A (hoher Holzstoffanteil) unterschieden. Darüber hinaus gibt es noch Papier der Kategorien SC-A+ und SC-A++ mit verbesserten Eigenschaften (Weißegrad, Papier- und Druckglanz). Für das Vorhaben wurde ein SC-A-Papier gewählt.

Tabelle 5: Spezifikation des ausgewählten Katalogs

Parameter	Inhalt	Umschlag
Format	190 mm × 269 mm (gefalzt)	396 mm × 275 mm (offen)
Material	49 g/m ² SC Papier ¹⁾	150 g/m ² MWC-Papier ²⁾ , glänzend gestrichener Bilderdruck
Druck	4/4-farbig (Tiefdruck)	4/4-farbig (Rollenoffsetdruck)
Verarbeitung	Rückstichheftung, dreiseitig beschnitten	Falzen
Verpackung	Auf Paletten abgesetzt, transportsicher verpackt	

¹⁾ SC = super-calendered
²⁾ MWC = middle weight coated

Bilanziertes System

Abbildung 10 zeigt schematisch die spezifischen Teilsysteme für das Produkt „Katalog“, die nicht unter die Abschneidegrenzen fallen. Von den Roh- und Ausgangsstoffen für die Papierherstellung enthält das Modell neben Holz, Altpapier und Zellstoff auch die Herstellungsprozesse für mineralische Füllstoffe und Kartoffelstärke. Alle notwendigen Chemikalien lagen in ihren Mengen unterhalb der Detailgrenzen. Für die Papierverarbeitung, d. h. den Druck der Kataloge inkl. Druckverarbeitung, wurden von den Roh- und Ausgangsstoffen die Herstellung von Aluminiumplatten für den Offsetdruck (Umschlag), Kupfergranulat für den Tiefdruck (Inhaltsseiten), Offset- und Tiefdruckfarben sowie einige Chemikalien modelliert. Dazu kamen Materialien für die Druckverarbeitung, die aufgrund ihrer Menge nicht vernachlässigt werden konnten.

² SC = super-calendered (ungestrichenes, holzhaltiges Papier)

Für die Papierherstellung sind große Mengen an Dampf/Wärme und Strom notwendig. Es wurde angenommen, dass Dampf/Wärme vollständig in eigenen Heiz- und Heizkraftwerken mit einem der Papierindustrie angepassten Brennstoffmix nach VDP 2009 erzeugt wird. Der Strom kommt zu 23 % aus eigenen Kraft- und Heizkraftwerken [AG BEK PAPIER 2008]. Die restliche Menge wird aus dem öffentlichen Stromnetz entsprechend dem Strommix Deutschland bezogen. Bei der Papierverarbeitung wurde für den Tiefdruck die Bereitstellung von Strom aus dem öffentlichen Netz sowie Erdgas und leichtes Heizöl für die Bereitstellung von thermischer Energie modelliert. Für den Offsetdruck enthält das Modell neben Strom zudem noch Druckluft.

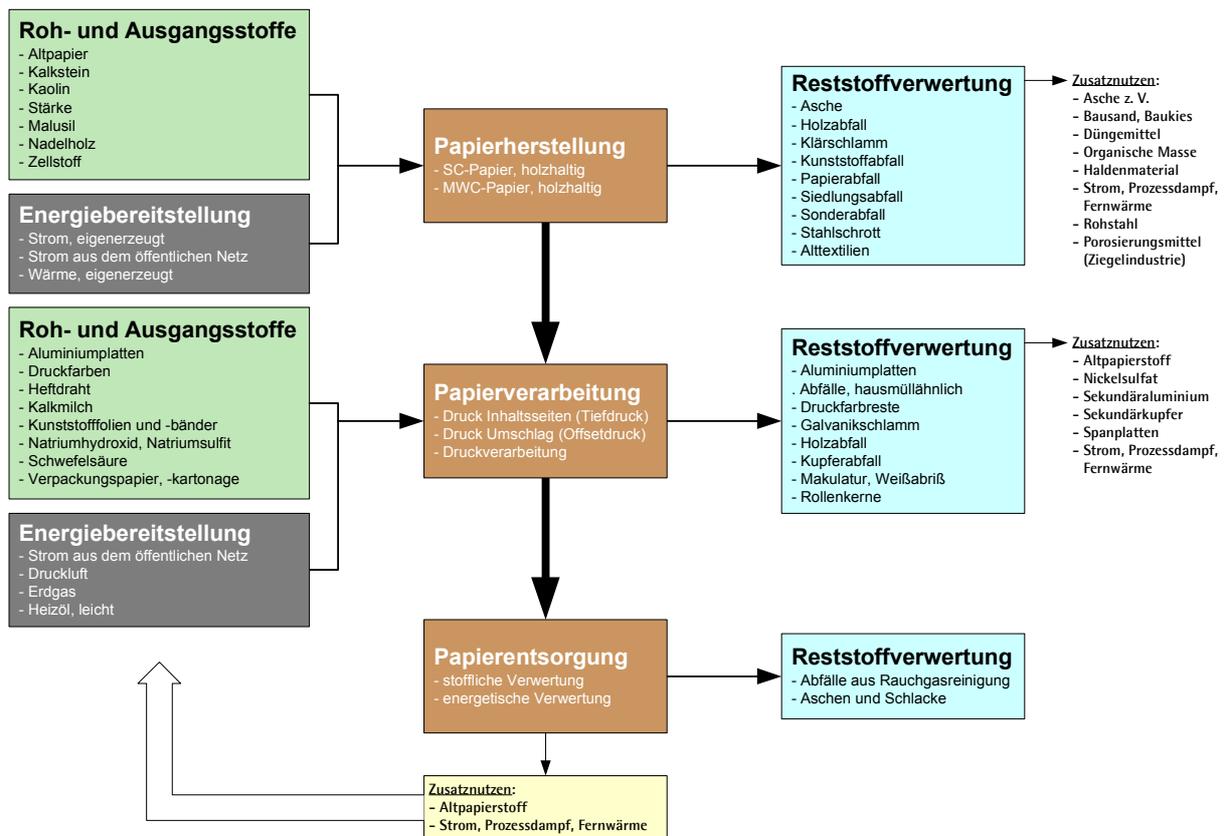


Abbildung 10: Produkt „Katalog“ – Teilsysteme des Bilanzierungsmodells

Für die Papierentsorgung wurde angenommen, dass knapp 89 % der Kataloge stofflich und 11 % energetisch verwertet werden. Die aus der Papierentsorgung resultierenden Zusatznutzen Altpapierstoff sowie Strom und Prozessdampf/Fernwärme wurden in Äquivalenzsystemen verrechnet und dem Gesamtsystem gutgeschrieben. Von den Zusatznutzen, die aus der Papierherstellung und -verarbeitung resultieren, sind vor allem die Gutschriften aus der Makulatur-/Weißabriebverwertung wichtig. Alle anderen Gutschriften spielen eine untergeordnete Rolle.

Ergebnisse nach Wirkungskategorien

Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse der Bilanzierung des Produkts „Katalog“ für die betrachteten Wirkungskategorien und Einzelparameter.

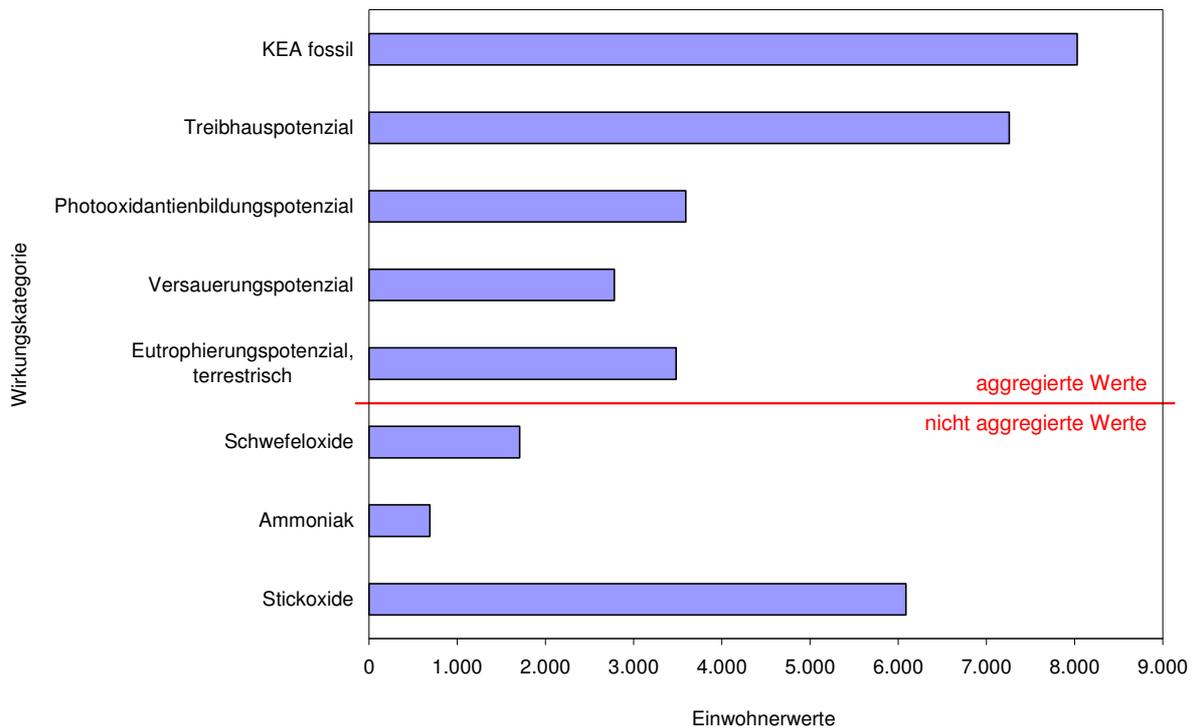


Abbildung 11: Produkt „Katalog“ – Ergebnisse nach Wirkungskategorien für den Ist-Zustand bezogen auf die Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung von 83,8 Mio. Katalogen mit einem Gesamtgewicht von ca. 52.000 t

Neben der Ressourcenbeanspruchung (KEA fossil) weist das Treibhauspotenzial die höchsten Belastungswerte auf. Verantwortlich dafür sind hauptsächlich Kohlendioxidemissionen aus der Papierherstellung.

Von den als human- und ökotoxisch eingestuft Einzelstoffen zeigen Stickoxidemissionen die höchsten Belastungswerte. Auch diese stammen größtenteils aus der Papierherstellung und dort überwiegend aus der Energiebereitstellung. Aber auch bei der Her- und Bereitstellung der Roh- und Ausgangsstoffe fallen relevante Mengen an Stickoxiden an.

Detailbetrachtung Treibhauspotenzial

Das Bruttoergebnis zum Treibhauspotenzial ist hauptsächlich auf die Papierherstellung zurückzuführen (Abbildung 12). Die höchsten Bruttobelastungen resultieren aus der Energiebereitstellung. Sie ergeben sich vor allem aus der innerbetrieblichen Bereitstellung von Dampf/ Wärme und dem Strombezug aus dem öffentlichen Netz.

Gutschriften fallen beim Treibhauspotenzial zum größten Teil durch Äquivalenzprozesse an, die sich aus der Entsorgung der Kataloge ergeben. Holzstoff (Holzschliff und TMP) und Zellstoff werden durch Altpapierstoff aus der stofflichen Verwertung substituiert, was sich hauptsächlich in vermiedenen Emissionen aus den substituierten Herstellungsprozessen widerspiegelt. Außerdem wird durch die energetische Verwertung Energie erzeugt. Dadurch werden konventionelle Prozesse zur Energieerzeugung ersetzt und die mit dem Verbrennen fossiler Energieträger verbundenen Emissionen vermieden. Ein deutlich geringerer Teil der Gutschriften resultiert aus Makulatur- und Weißabrisabfällen, die wie die Kataloge stofflich und energetisch verwertet werden.

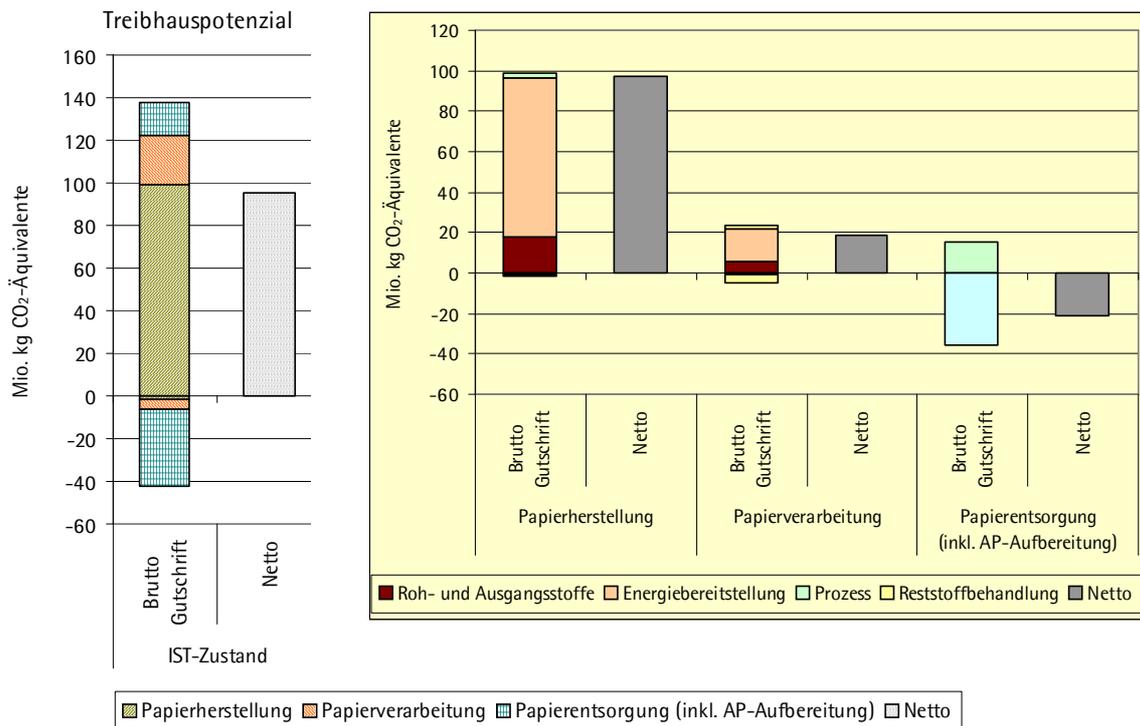


Abbildung 12: Produkt „Katalog“ – Sektoralanalyse für das Treibhauspotenzial im Ist-Zustand

Insgesamt verursachen die betrachteten 83,8 Mio. Kataloge für die Versorgung von 12,52 Mio. Einwohnern Treibhausgasemissionen in Höhe von 95,2 Mio. kg CO₂-Äquivalenten. Das entspricht ungefähr dem von 7.260 Einwohnern pro Jahr verursachten Treibhauspotenzial.

Kostenbetrachtung

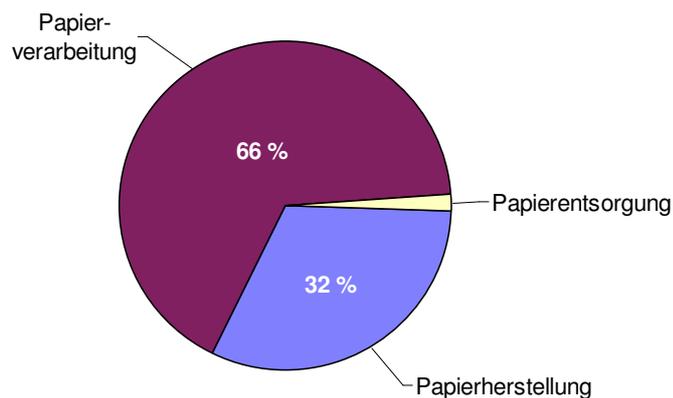


Abbildung 13: Produkt „Katalog“ – Aufteilung der Kosten auf die Verfahrensschritte

Abbildung 13 zeigt die Aufteilung der Kosten auf die drei Verfahrensschritte. Mit etwa 2/3 der Gesamtkosten entfällt der größte Beitrag auf die Papierverarbeitung³. Die Papierentsorgung hat mit ca. 2 % der Gesamtkosten keine große Bedeutung.

5.4 Produkt „Küchenrolle“

Küchenrollen sind ein Standard-Tissue-Erzeugnis aus dem Bereich Hygienepapier. Küchenwischtücher werden meist vollständig aus Zellstoff hergestellt, es gibt aber auch altpapierbasierte Produkte. Im Gegensatz zu herkömmlichen Papiermaschinen mit mehreren Trockenzylindern ist beim gängigen Herstellungsverfahren von Tissue-Papier nur ein Yankee-Zylinder mit großem Durchmesser notwendig, der von erdgasbefeuelten Trockenhauben umschlossen ist.

Für die Analyse wurde eine mit gängigen Herstellungsverfahren produzierte Küchenrolle aus 100 % Zellstoff gewählt, der Hülsenkarton besteht aus 100% Altpapier (Tabelle 6).

Tabelle 6: Spezifikation der ausgewählten Küchenrolle

Parameter	Küchenwisch Tuch	Rollenkern
Format	260 mm × 240 mm (51 Blatt)	40 mm Durchmesser
Material	Tissue-Papier, 3-lagig	Hülsenkarton
Verarbeitung	verleimt und in Folie verpackt	
Verpackung	auf Paletten in Folie verpackt	

Bilanzierendes System

Abbildung 14 zeigt schematisch die Teilsysteme im Bilanzierungsmodell für das Produkt Küchenrolle mit den modellierten Prozessen, die nicht unter die Abschneidegrenzen fallen.

Für die Papierherstellung wurde angenommen, dass 2/3 der Küchenrollen in nicht integrierten Papierfabriken und 1/3 in integrierten Papierfabriken hergestellt werden [PROJEKTPARTNER 2009]. Integrierte Papierfabriken stellen den Zellstoff selbst her und kaufen nur geringe Mengen zu, nicht integrierte Papierfabriken kaufen den Zellstoff vollständig zu.

Von den Roh- und Ausgangsstoffen für die Zellstoff- und Tissue-Papierherstellung wurden Holz (integrierte Papierfabrik), Zellstoff (nicht integrierte Papierfabrik), die Herstellung verschiedener Chemikalien, vor allem Nassfestmittel für das Tissue-Papier und Wasserstoffperoxid für die Zellstoffherstellung modelliert. Für die Herstellung von Hülsenkarton wurde zusätzlich die Bereitstellung der notwendigen Menge Altpapier berücksichtigt.

Für die Papierherstellung sind große Mengen an Erdgas, Dampf/Wärme und Strom notwendig. Es wurde angenommen, dass Dampf und Wärme vollständig in eigenen Heiz- und Heizkraftwerken aus einem Mix fossiler Brennstoffe und biogener Produktionsabfälle erzeugt wird

³ Die Kosten für die Papierherstellung berücksichtigen nicht Papier, das dem Verarbeiter (Drucker) durch seine Kunden gestellt wird

[PROJEKTPARTNER 2009]. Der Strom kommt zu ungefähr 1/3 aus eigenen Kraft- und Heizkraftwerken [PROJEKTPARTNER 2009]. Die restliche Menge wird aus dem öffentlichen Stromnetz entsprechend dem Strommix Deutschland bezogen.

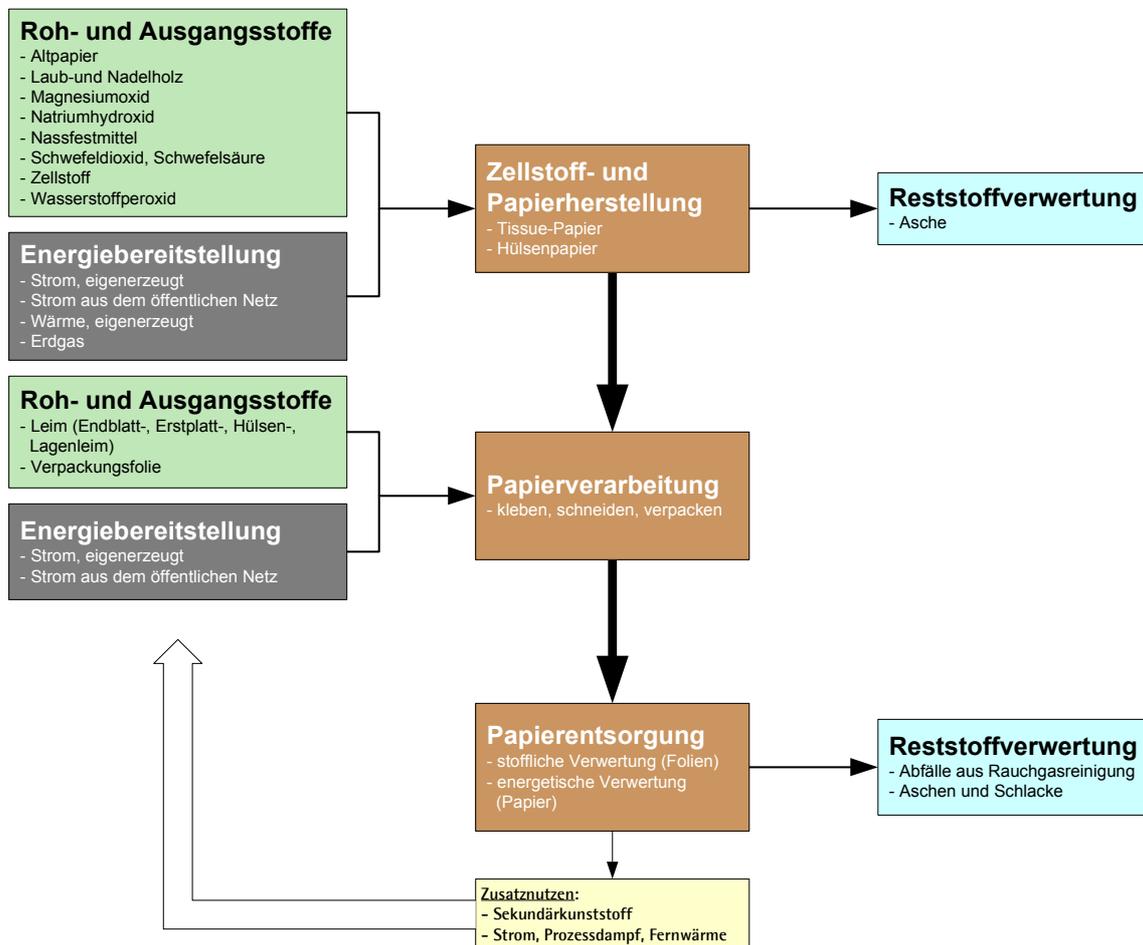


Abbildung 14: Produkt „Küchenrolle“ – Teilsysteme des Bilanzierungsmodells

Für die Papierverarbeitung, d. h. für das versandbereite Fertigstellen der Küchenrollen, ist im Teilsystem Roh- und Ausgangsstoffe die Herstellung der notwendigen Mengen Leim und Verpackungsfolie modelliert. Zudem wurde die Bereitstellung von Strom aus dem öffentlichen Netz in das Modell aufgenommen.

Im Teilsystem Papierentsorgung wurde angenommen, dass die Küchenwischtücher nach Gebrauch mit dem Hausmüll in Müllverbrennungsanlagen entsorgt und die Verpackungsfolien mit dem Gelben Sack, der Gelben Tonne oder über Wertstoffhöfe einer Aufbereitung zugeführt werden. Die daraus resultierenden Zusatznutzen Strom, Prozessdampf, Fernwärme und Sekundärkunststoff wurden in Äquivalenzsystemen verrechnet und dem Gesamtsystem gutgeschrieben.

Ergebnisse nach Wirkungskategorien

Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse der Bilanzierung des Produkts „Küchenrolle“ für die betrachteten Wirkungskategorien und Einzelparameter. Bei den Umweltwirkungen stehen das Versauerungs- und das terrestrische Eutrophierungspotenzial im Vordergrund. Verantwort-

lich dafür sind hauptsächlich Stickoxid- und Schwefeldioxidemissionen, die zum größten Teil bei der Papierherstellung anfallen. Die Emissionen stammen überwiegend aus dem Teilsystem Roh- und Ausgangsstoffe; sie sind vor allem auf die Herstellung und den Transport von Zellstoff sowie die dafür notwendige Energiebereitstellung zurückzuführen. Den höchsten Einzelwert zeigen die als human- und ökotoxisch eingestufteten Stickoxide.

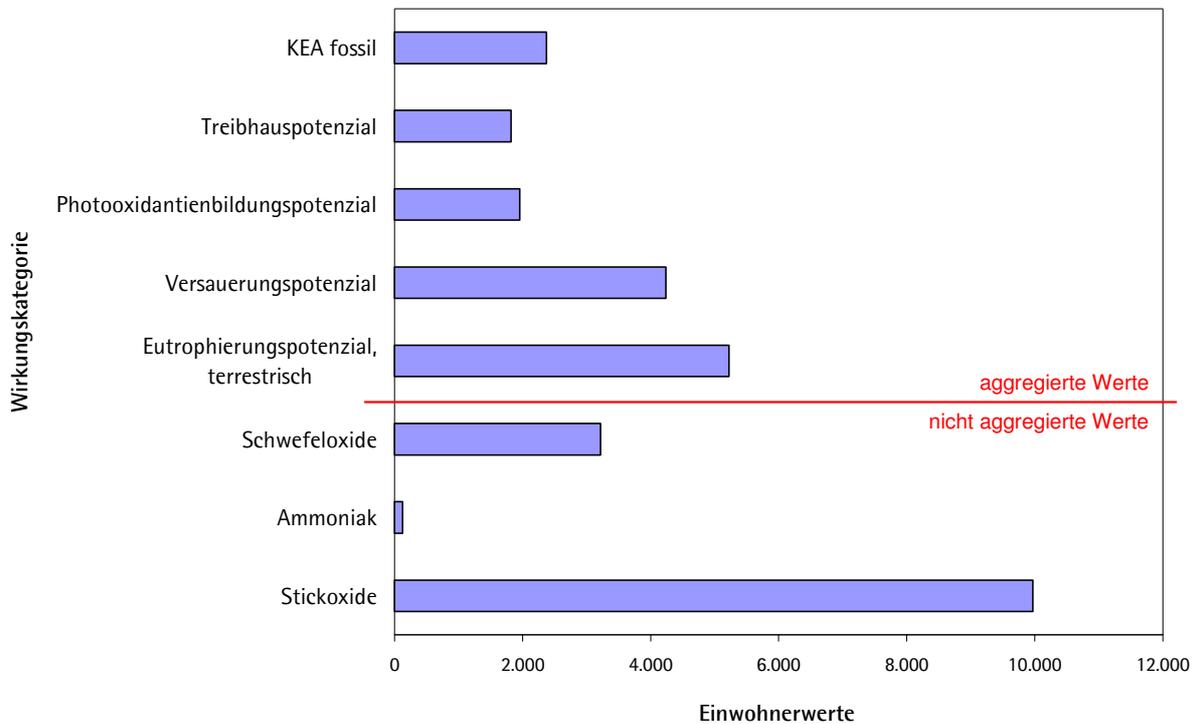


Abbildung 15: Produkt „Küchenrolle“ – Ergebnisse nach Wirkungskategorien für den Ist-Zustand bezogen auf die Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung von 153,2 Mio. Küchenrollen mit einem Gesamtgewicht von ca. 27.670 t

Detailbetrachtung Treibhauspotenzial

Das Bruttoergebnis zum Treibhauspotenzial ist fast ausschließlich auf die Papierherstellung zurückzuführen (Abbildung 16). Die Emissionen ergeben sich aus dem Teilsystem Energiebereitstellung, wo sie hauptsächlich auf die innerbetriebliche Energieerzeugung und den Strombezug aus dem öffentlichen Netz zurückzuführen sind. Emissionen entstehen zudem in ähnlicher Größenordnung im Teilsystem Roh- und Ausgangsstoffe, dort vor allem verursacht durch Herstellung und Transport von Zellstoff.

Gutschriften für das Treibhauspotenzial ergeben sich fast ausschließlich aus der Entsorgung der Küchenrollen. Durch die Verbrennung der benutzten Küchenwischtücher zusammen mit dem Hausabfall in Müllverbrennungsanlagen wird Energie erzeugt, wodurch konventionelle Prozesse zur Energieerzeugung ersetzt und die mit dem Verbrennen fossiler Energieträger verbundenen Emissionen vermieden werden. Außerdem führt die Erfassung und Aufbereitung der Verpackungsfolien zu Sekundärkunststoffen dazu, dass die Produktion von Kunststoffen aus Primärmaterial reduziert wird.

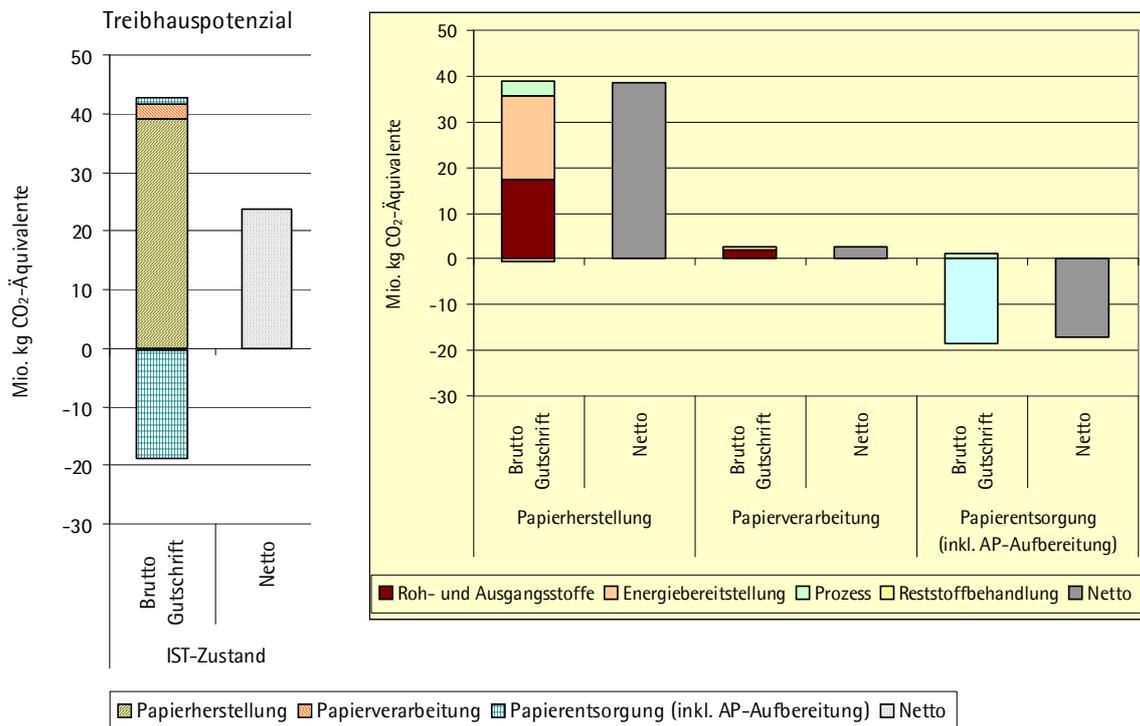


Abbildung 16: Produkt „Küchenrolle“ – Sektoranalyse für das Treibhauspotenzial im Ist-Zustand

Insgesamt verursachen die betrachteten ca. 153,2 Mio. Küchenrollen für die Versorgung von 12,52 Mio. Einwohnern Treibhausgasemissionen in Höhe von ca. 23,8 Mio. kg CO₂-Äquivalenten. Das entspricht ungefähr dem von 1.810 Einwohnern pro Jahr verursachten Treibhauspotenzial.

Kostenbetrachtung

Abbildung 17 zeigt die Aufteilung der Kosten auf die drei Verfahrensschritte. Mehr als 3/4 der Gesamtkosten entfallen auf die Papierherstellung und -verarbeitung. Der Rest entfällt auf die Papierentsorgung, deren Kosten bei der Küchenrolle im Vergleich zu den anderen betrachteten Papierprodukten aufgrund der Kosten für die Hausmüllentsorgung deutlich höher sind.

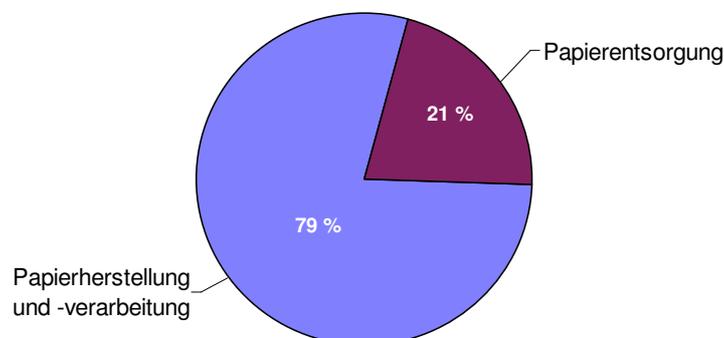


Abbildung 17: Produkt „Küchenrolle“ – Aufteilung der Kosten auf die Verfahrensschritte

5.5 Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“

Wellpappeverpackungen gehören zu den meist verwendeten Verpackungstypen. Ihr Aussehen ist so breit gefächert wie ihr Einsatz: Sie sind braun unbedruckt oder bedruckt, auf weißer Decksicht bunt bedruckt, ein- oder mehrwellig und in vielen weiteren Varianten erhältlich. Jährlich verbraucht jeder deutsche Bundesbürger ca. 55 kg Wellpappe, davon rund 80 % auf Altpapierbasis hergestellt [VDW 2008]. Etwa ein Fünftel der Wellpappe bildet den Bereich der braunen „unbedruckten Wellpappeverpackungen“ ab. Als Produkt wurden solche aus 100 % Altpapier ausgewählt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Spezifikation des Produkts „unbedruckte Wellpappeverpackung“

Bezeichnung	Ausführung
Aufbau der Wellpappe	einwellige Recyclingwellpappe
Rohpapiere	Wellenstoff und brauner Testliner
Altpapieranteil/Frischfaseranteil	100 %/0 %
Flächengewicht der Wellpappe	480 g/m ²
funktionelle Einheit (Jahresbedarf in Bayern) ⁴	ca. 126.000 t/79 Mio. Exemplare/260 Mio. m ²

Das modellierte Produkt besteht vollständig aus Altpapier, ist einwellig und unbedruckt. Der Altpapiergehalt wurde auf Basis der Marktkenntnisse der Projektpartner festgelegt [PROJEKTPARTNER 2009].

Bilanziertes System

Abbildung 18 zeigt schematisch die Teilsysteme im Bilanzierungsmodell für das Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ mit den modellierten Prozessen, die nicht unter die Abschneidegrenzen fallen.

⁴ Berechnet über die Verkaufszahlen in Deutschland im Jahr, umgelegt auf den Verbrauch je Einwohner, hochgerechnet auf die Einwohnerzahl Bayerns (Bezugsjahr: 2008) [VDW 2008]

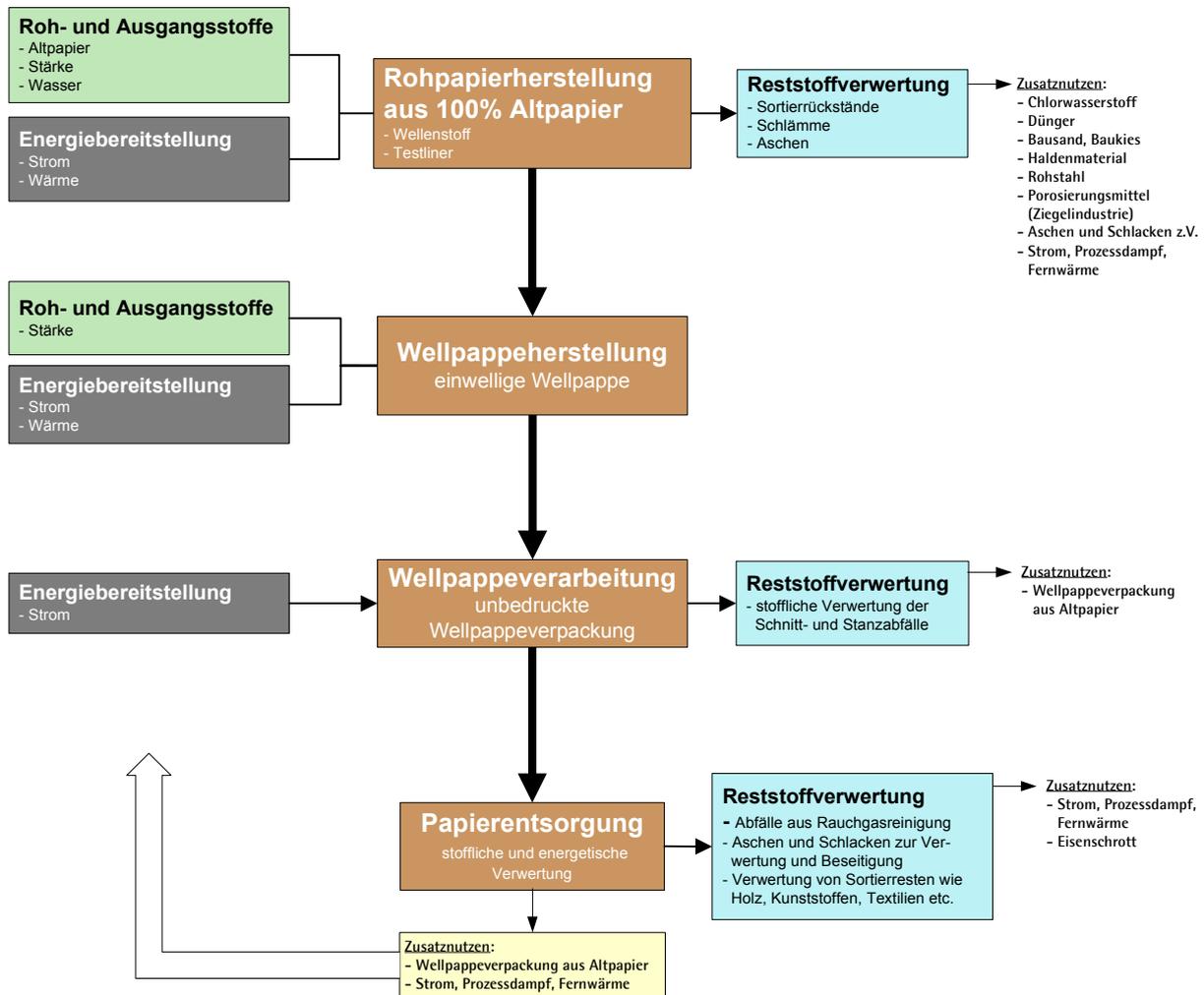


Abbildung 18: Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ – Teilsysteme des Bilanzierungsmodells

Für die Rohpapier- und Wellpappenherstellung wurden die in der Produktion benötigten Energien sowie die Rohstoffe Altpapier, Stärke und Wasser modelliert. Bei diesem Produkt lag die benötigte Menge an aufbereitetem Wasser innerhalb der Abschneidekriterien und wurde deshalb im Modell berücksichtigt.

Die unbedruckte einwellige Wellpappeverpackung entsteht aus der Verbindung der Welle und des Testliners (Deckenlagen). In das Modell einbezogen wurde die für den Verarbeitungsprozess erforderliche elektrische Energie für das Schneiden, Falten und Heften der Verpackungen. Der Beschnitt wurde auf 7 % festgelegt [PROJEKTPARTNER 2009]. Diese Schnitt- und Stanzabfälle werden stofflich wiederverwertet und substituieren einen auf dem Wellpappenmarkt notwendigen Anteil von Frischfaserpapieren. Daraus erhält die Verarbeitung eine Gutschrift.

Die Wellpappeverpackung wird nach der Nutzung zu 90 % stofflich verwertet [PROJEKTPARTNER 2009], wobei der Altpapierverpackung im Gutschriftensystem eine Frischfaserverpackung aus Fluting und braunem Kraftliner gegenübergestellt wird. Lediglich 10 % der Wellpappenaltpapiere werden nach Gebrauch energetisch verwertet. Die dadurch erzeugte elek-

trische und thermische Energie substituiert entsprechende Energie aus dem deutschen Strom- und Wärmeträgermix.

Ergebnisse nach Wirkungskategorien

Abbildung 19 zeigt die Ergebnisse der Bilanzierung des Produkts „unbedruckte Wellpappeverpackung“ für die betrachteten Wirkungskategorien und Einzelparameter.

Unter den aggregierten Kategorien stehen das Treibhauspotenzial und der Ressourcenverbrauch (KEA fossil) im Vordergrund. Beide Kategorien werden vor allem durch den Energiebedarf des Systems bestimmt.

Unter den nicht aggregierten Werten fallen besonders die Emissionen im Bereich der Schwefeloxide auf. Diese ergeben eine Umweltentlastung in Höhe von etwa 8.500 Einwohnerwerten (EW), die durch die Substitution von Frischfaserpappe aus Fluting und Kraftliner durch die altpapierbasierte Wellpappe bedingt ist. Auch für das Versauerungspotenzial ergibt sich eine Umweltentlastung.

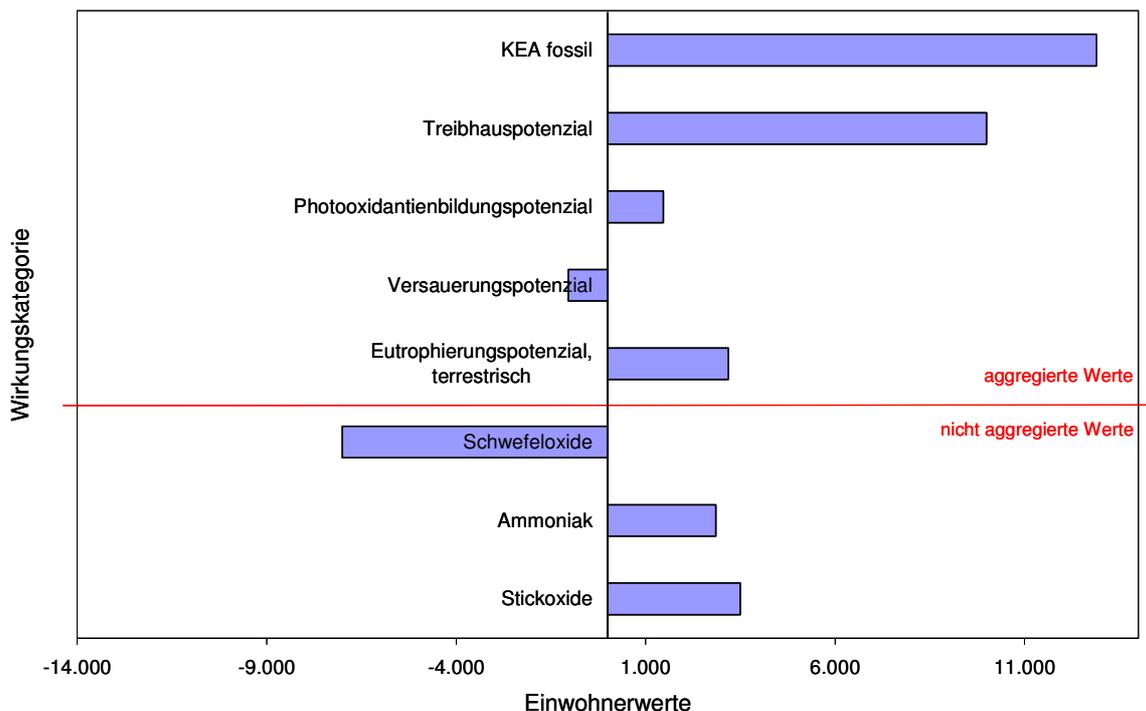
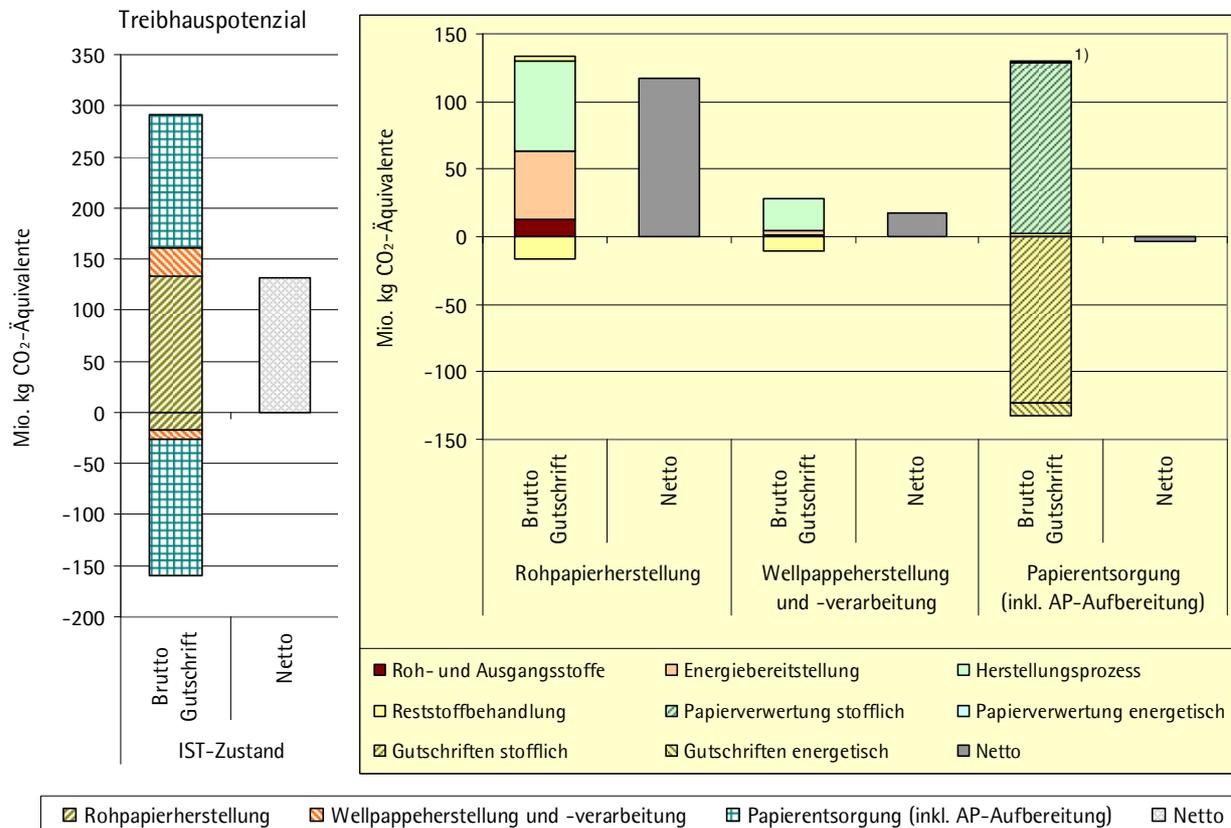


Abbildung 19: Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ – Ergebnisse nach Wirkungskategorien für den Ist-Zustand bezogen auf die Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung von ca. 126.000 t unbedruckter Wellpappeverpackungen

Detailbetrachtung Treibhauspotenzial

Das Treibhauspotenzial wird in Abbildung 20 dargestellt. Für die unbedruckte Wellpappeverpackung ergibt sich ein Großteil der Emissionen aus der Herstellung der beiden Rohpapiere Wellenstoff und Testliner sowie der Wellpappe. Die Rohpapierherstellung schlägt mit 133 Mio. kg CO₂-Äquivalenten (netto) zu Buche. Gutschriften in Höhe von rund 17 Mio. kg CO₂-Äquivalenten resultieren aus der Verwertung der beim Herstellungsprozess der Rohpapiere anfallenden Sortierückstände, Schlämme und Aschen. Etwa die Hälfte der bei der

Rohpapierherstellung anfallenden Treibhausgasemissionen sind auf die Herstellung des Testliners zurückzuführen, ca. 37 % auf den Wellenstoff. Die Wellpappeherstellung selbst verursacht ca. 12 % der Emissionen.



¹⁾ Die Papierentsorgung schließt die stoffliche und energetische Verwertung des Wellpappealtapiers ein. In diesem Sonderfall konnte innerhalb der stofflichen Verwertung kein Äquivalentsystem auf Faserbasis gewählt werden. Deshalb beinhaltet die stoffliche Verwertung die Herstellung einer neuen altpapierbasierten Wellpappeverpackung, die der Herstellung einer Verpackung mit hohem Frischfaseranteil gegenüber steht (stoffliche Gutschrift). Diese Vorgehensweise hat auf das Netto-Ergebnis keinen Einfluss.

Abbildung 20: Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ – Sektoranalyse für das Treibhauspotenzial im Ist-Zustand

Innerhalb der Rohpapierherstellung ist der Produktionsprozess mit seinem hohen Wärmebedarf die größte Emissionsquelle. Die nächstgrößere ist die Energiebereitstellung, welche die gesamte elektrische Energie und die ggf. extern bezogene thermische Energie einschließt. Der größte Teil der Emissionen aus der Energiebereitstellung ist auf den Verbrauch elektrischer Energie zurückzuführen. Ein geringer Anteil der Emissionen ist den Roh- und Ausgangsstoffen zuzuordnen.

Die Wellpappeherstellung und -verarbeitung hat nur untergeordnete Bedeutung. Für Roh- und Ausgangsstoffe fallen lediglich Emissionen für die Stärke an und die Energiebereitstellung und der Herstellungsprozess schließen vor allem die Energie zur Erzeugung der Wellpappe ein. Auch die stoffliche Verwertung der Schnitt- und Stanzabfälle verursacht Emissionen, die jedoch von den stofflichen Gutschriften nahezu ausgeglichen werden. Auf die Wellpappeherstellung und -verarbeitung entfallen somit rund 18 Mio. kg CO₂-Äquivalente, die rund 14 % der gesamten treibhauswirksamen Emissionen entsprechen. Mehr als 90 % dieser Emissionen sind auf die Herstellung der Wellpappe zurückzuführen.

Die Papierentsorgung führt durch die stoffliche und energetische Verwertung der unbedruckten Wellpappeverpackung zu einer Entlastung der Umwelt von Treibhausgasen. Dies ist zum einen mit dem Ersatz von Frischfasern aus Holz durch die stoffliche Altpapierverwertung zu begründen. Die Verarbeitung von Holz zu Frischfaserstoffen ist deutlich energieintensiver als die Verarbeitung von Altpapier und wird durch die stoffliche Verwertung des Wellpappenalt-papiers vermieden. Des Weiteren wird durch die teilweise energetische Verwertung der Wellpappeverpackung elektrische und thermische Energie aus den Energieträgermischen substituiert. Dadurch ergibt sich ebenfalls eine Entlastung von Treibhausgasen (Abbildung 20).

Insgesamt verursachen die betrachteten 126.000 t unbedruckte Wellpappeverpackung für die Versorgung von 12,52 Mio. Einwohnern Treibhausgasemissionen in Höhe von 131 Mio. kg CO₂-Äquivalenten. Das entspricht ungefähr dem von 10.000 Einwohnern pro Jahr verursachten Treibhauspotenzial.

Kostenbetrachtung

Abbildung 9 zeigt die Aufteilung der Kosten auf die drei Verfahrensschritte. Mit mehr als der Hälfte der Gesamtkosten entfällt der größte Beitrag auf die Rohpapierherstellung. Die Papierentsorgung spielt dagegen mit rund 2 % der Gesamtkosten nur eine untergeordnete Rolle.

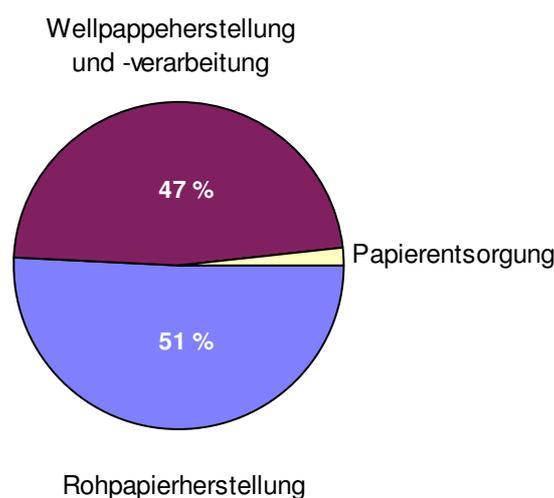


Abbildung 21: Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ – Aufteilung der Kosten auf die Verfahrensschritte

5.6 Produkt „Zeitung“

Zeitungen sind Standard-Druckerzeugnisse. Am meisten verbreitet ist in Deutschland Standard-Zeitungsdruckpapier der Grammaturn 45 g/m². Auch der Druck auf leichteren oder schwereren Papieren ist möglich, bedarf jedoch meist einiger Umstellungen im Rotationsdruckprozess. Die Spezifikation der gewählten Zeitung ist Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: Spezifikation des Produkts „Zeitung“

Bezeichnung	Ausführung
Flächengewicht	45 g/m ²
Papierweiße	ISO 59
Altpapieranteil/Frischfaseranteil	80 %/20 %
Art der eingesetzten Frischfaser	50 % TMP/50 % Holzschliff
Druckverfahren	Rotationszeitungsdruck
Gewicht je Zeitungsexemplar	200 g
funktionelle Einheit (Jahresbedarf in Bayern)	190.000 t/ 992 Mio. Exemplare

Die modellierte Tageszeitung besteht zum überwiegenden Teil aus Altpapier, enthält jedoch einen Anteil Frischfasern und entspricht dem Durchschnitt über bayerische Zeitungsdruckpapiere [PROJEKTPARTNER 2009].

Bilanziertes System

Abbildung 22 zeigt schematisch die Teilsysteme im Bilanzierungsmodell für das Produkt „Zeitung“ mit den modellierten Prozessen, die nicht unter die Abschneidegrenzen fallen.

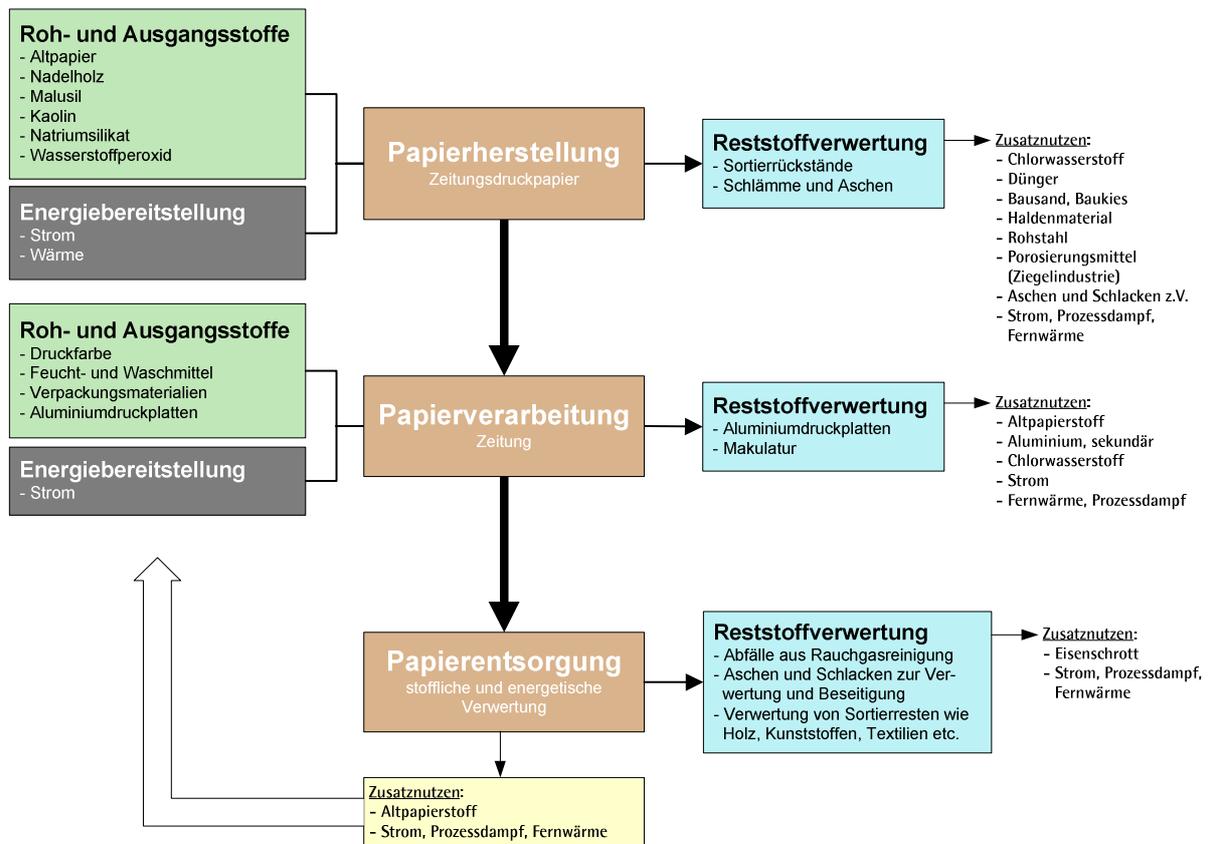


Abbildung 22: Produkt „Zeitung“ – Teilsysteme des Bilanzierungsmodells

Für die Papierherstellung wurden die in der Produktion benötigten Energien, die Rohstoffe Altpapier und Nadelholz sowie Malusil, Kaolin, Natriumsilikat und Wasserstoffperoxid modelliert.

Die Zeitung wird im Rotationszeitungsdruck bedruckt. In das Modell einbezogen wurden die für den Druck benötigten Aluminiumdruckplatten, Feucht- und Waschmittel, die Verpackungsmaterialien Folien und Umreifungsbänder und die Druckfarbe. Weiterhin wurden die für den Druckprozess erforderliche elektrische Energie und die Verwertung der Druckplatten sowie der anfallenden Makulatur modelliert.

Die Zeitung wird nach der Nutzung zu 88,7 % stofflich verwertet [AGRAPA 2008], wobei der Altpapierfaserstoff die Frischfaserstoffe Zellstoff, TMP und Holzschliff ersetzt. Lediglich 11,3 % der Zeitungen werden am Lebenswegende energetisch verwertet. Die dadurch erzeugte elektrische und thermische Energie ersetzt Energie aus dem deutschen Strom- und Wärmeträgermix.

Ergebnisse nach Wirkungskategorien

Abbildung 23 zeigt die Ergebnisse der Bilanzierung des Produkts „Zeitung“ für die betrachteten Wirkungskategorien und Einzelparameter.

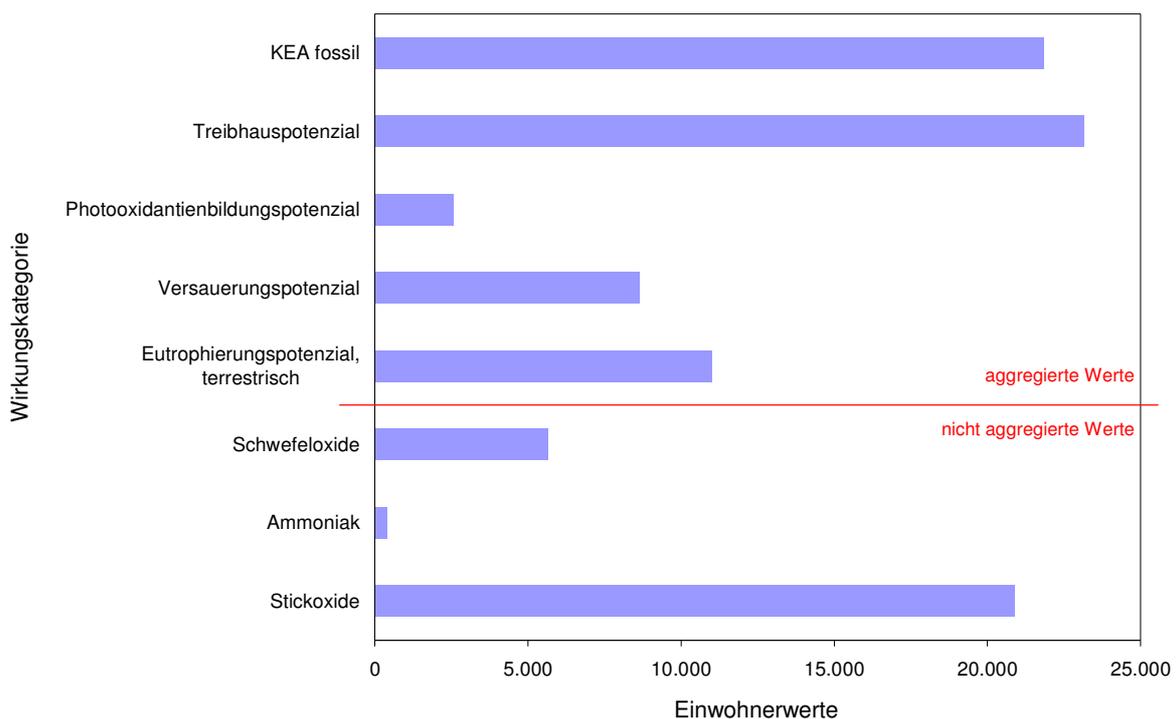


Abbildung 23: Produkt „Zeitung“ – Ergebnisse nach Wirkungskategorien für den Ist-Zustand bezogen auf die Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung von ca. 992 Mio. Tageszeitungen mit einem Gesamtgewicht von ca. 190.000 t

Unter den aggregierten Wirkungskategorien stehen das Treibhauspotenzial und der Ressourcenverbrauch (KEA fossil) im Vordergrund. Beide Wirkungskategorien werden vor allem durch den Energiebedarf des Systems beeinflusst.

Unter den nicht aggregierten Werten fallen die Stickoxidemissionen auf, die durch die Papierherstellung und hier insbesondere durch die Bereitstellung von elektrischer und thermischer Energie für den Produktionsprozess verursacht werden.

Detailbetrachtung Treibhauspotenzial

Für die Zeitung resultiert ein Großteil der Treibhausgasemissionen aus der Papierherstellung (Abbildung 24). Diese beträgt netto ca. 374 Mio. kg CO₂-Äquivalenten und enthält Gutschriften aus der Verwertung der beim Herstellungsprozess anfallenden Sortierückstände, Schlämme und Aschen von mehr als 13 Mio. kg CO₂-Äquivalenten. Innerhalb der Papierherstellung ist die Bereitstellung von Energie die größte Emissionsquelle. Darin enthalten sind die gesamte elektrische Energie und die ggf. extern bezogene thermische Energie. Die innerbetriebliche Wärmeerzeugung ist im Herstellungsprozess enthalten. Mit dieser Differenzierung sind rund 70 % der Emissionen aus der Energiebereitstellung auf den Bedarf an elektrischer Energie zurückzuführen. Nur 5 % der Treibhausgasemissionen sind den Roh- und Ausgangsstoffen zuzuordnen. Bei der Papierverarbeitung, die in Bezug auf Emissionen eine untergeordnete Rolle spielt, ist der Energiebedarf für den Druckprozess der treibende Faktor. Er verursacht mit rund 15 Mio. kg CO₂-Äquivalenten 95 % des Nettoergebnisses. Die Gutschriften erfolgen aus der stofflichen Verwertung der Aluminiumdruckplatten zu Sekundäraluminium und der Makulaturabfälle. Sie betragen mehr als 16 Mio. kg CO₂-Äquivalente. Der Druck trägt mit nur 5 % der treibhauswirksamen Emissionen zum Gesamtergebnis bei.

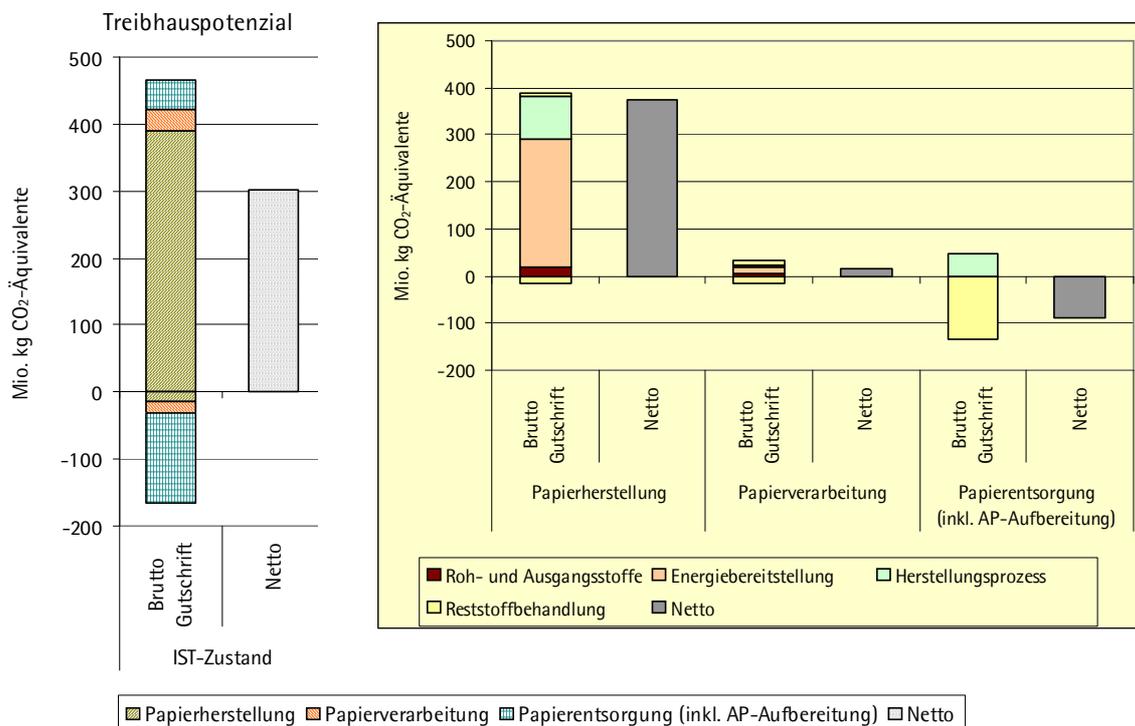


Abbildung 24: Produkt „Zeitung“ – Sektoranalyse für das Treibhauspotenzial im Ist-Zustand

Die Papierentsorgung verursacht durch die stoffliche und energetische Verwertung der Zeitung in Summe eine Umweltentlastung. Das ist durch den Ersatz von Frischfasern aus Holz aufgrund der stofflichen Altpapierverwertung bedingt. Die Verarbeitung von Holz zu Frischfa-

serstoffen ist deutlich energieintensiver als die Verarbeitung von Altpapier und wird durch die stoffliche Verwertung des Zeitungsaltpapiers vermieden. Außerdem wird durch die teilweise energetische Verwertung der Zeitungen elektrische und thermische Energie aus den Energieträgermischen substituiert; dadurch ergibt sich ebenfalls eine Umweltentlastung.

Insgesamt verursachen die betrachteten 992 Mio. Tageszeitungen für die Versorgung von 12,52 Mio. Einwohnern Treibhausgasemissionen in Höhe von 304 Mio. kg CO₂-Äquivalenten. Das entspricht ungefähr dem von 23.000 Einwohnern jährlich verursachten Treibhauspotenzial.

Kostenbetrachtung

Abbildung 25 zeigt die Aufteilung der Kosten auf die drei Verfahrensschritte. Mit mehr als der Hälfte der Gesamtkosten entfällt der größte Beitrag auf die Papierherstellung. Die Verarbeitung des Papiers zur Zeitung verursacht mehr als 40 % der Kosten. Die Papierentsorgung hat mit rund 3 % der Gesamtkosten untergeordnete Bedeutung.

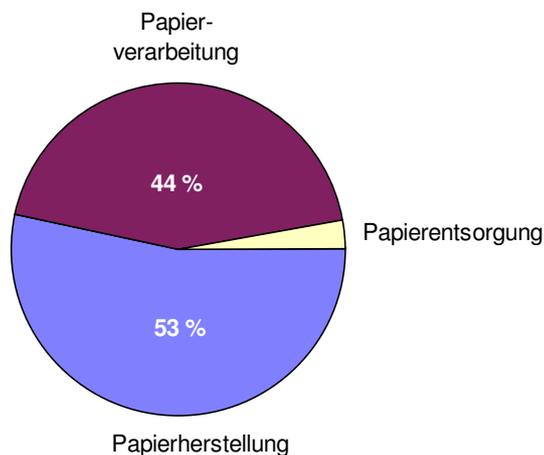


Abbildung 25: Produkt „Zeitung“ – Aufteilung der Kosten auf die Verfahrensschritte

6 Aktuelle und strategische Szenarien

Mit den Stoff- und Energieflussmodellen der Ist-Zustände der untersuchten Papierprodukte war die Grundlage für die Ermittlung von Ökoeffizienzpotenzialen geschaffen. Dazu wurden „aktuelle Szenarien“ für die Identifizierung kurz- bis mittelfristig nutzbarer Ökoeffizienzpotenziale entwickelt und analysiert sowie „strategische Szenarien“ für die Identifizierung von mittel- bis langfristig nutzbaren Ökoeffizienzpotenzialen und von Ökoeffizienzrisiken, die sich aus Trends im Umfeld der Papierindustrie ergeben.

Die Ergebnisse werden in diesem Abschnitt vorgestellt. Ausgewählte Szenarien werden dabei – jeweils exemplarisch an einem Produkt – ausführlicher erläutert. Zentrale Ergebnisse zu weiteren Szenarien und Produkten werden jeweils in Zwischenfazits am Schluss der Kapitel zusammengefasst.

6.1 Erläuterungen zur Darstellung der Ergebnisse

Mit der in Abbildung 2 vorgestellten Aggregationsmethode wurden die Wirkungsindikator- und Sachbilanzparameterergebnisse zum Ökologie-Index zusammengefasst, der ein Maß für die Gesamtheit der Umweltbelastungen ist. Der Ökologie-Index und die Gesamtkosten des Ist-Zustands werden in den folgenden Szenarienbetrachtungen für jedes untersuchte Papierprodukt gleich null gesetzt. Der Ist-Zustand befindet sich daher im Nullpunkt des Ökoeffizienz-Portfolios (Abbildung 26). Die untersuchten Szenarien gruppieren sich entsprechend ihren prozentualen Abweichungen vom Ist-Zustand um diese Position.

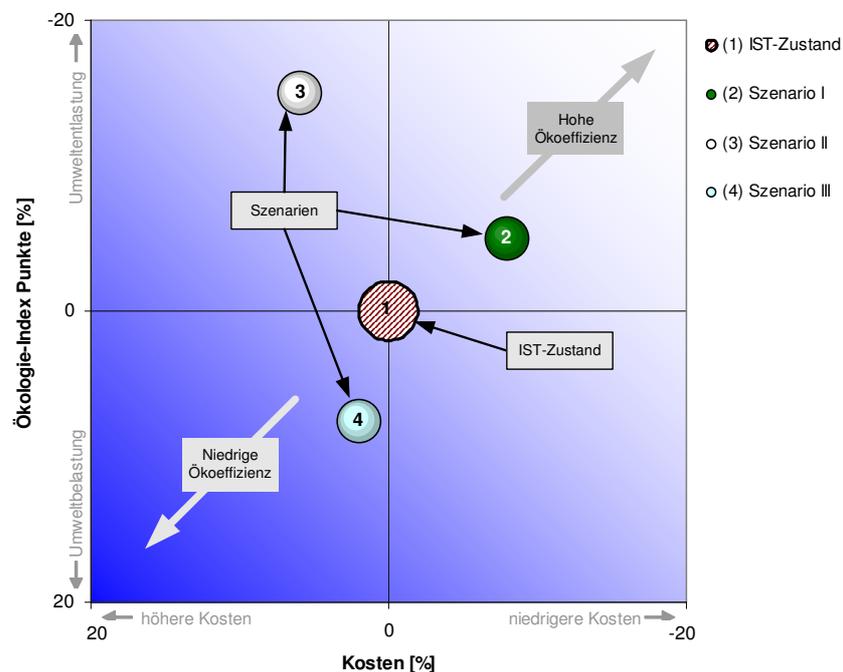


Abbildung 26: Prinzip der Darstellung im Ökoeffizienz-Portfolio. Ökoeffizienz verschiedener Szenarien im Vergleich zum Ist-Zustand

Umweltbelastung und Kosten sind im Ökoeffizienz-Portfolio so aufgetragen, dass Szenarien mit im Vergleich zum Ist-Zustand geringerer Ökoeffizienz im unteren linken Quadranten des Portfolios positioniert sind, Szenarien mit höherer Ökoeffizienz im oberen rechten Quadranten.

6.2 Energieversorgung und -nutzung

Die Ist-Analyse zeigt, dass der Energieverbrauch von herausragender Bedeutung für die Ökoeffizienz der Papierprodukte ist. Verbesserungen in diesem Bereich können durch Reduzierung des Energieverbrauchs und durch eine ökoeffizientere Energieversorgung erzielt werden. Die eigene Energieerzeugung kann von den Unternehmen je nach Alter und technischer Ausstattung der Anlagen durchaus beeinflusst werden. Auf die Erzeugung von extern

bezogener elektrischer Energie hat die Papierindustrie hingegen nur begrenzten Einfluss. Mit großer Wahrscheinlichkeit sind aber mittel- bis langfristig Änderungen im Mix der Energiequellen zur Stromerzeugung zu erwarten. Daher sollen auch die Folgen solcher Änderungen für die Ökoeffizienz der Produkte analysiert werden.

Über Maßnahmen, mit denen die Papierindustrie den Energieverbrauch während der Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und die eigene Energieerzeugung optimiert, kann kurz- bis mittelfristig entschieden werden. Wesentliche Änderungen in der Zusammensetzung des deutschen Strommixes (Strom aus dem öffentlichen Netz) sind eher langfristig zu erwarten und damit von strategischem Interesse.

Folgende Szenarien wurden untersucht:

Änderung der Brennstoffhierarchie: Aktuelles Szenario für alle Produkte. Papierfabriken tendieren seit einiger Zeit bei Investitionen in neue und bestehende Anlagen zu Erdgas und Ersatzbrennstoffen (EBS) als Energieträger. Zur Analyse der mit diesen Trends verbundenen Ökoeffizienzpotenziale wurden zwei fiktive Szenarien berechnet⁵, in denen ausschließlich die Energieträger Erdgas oder EBS verwendet werden.

Erhöhung der Energieeffizienz: Aktuelles Szenario für alle Produkte. Energieeffizienzpotenziale wurden von den Projektpartnern gemeinsam abgeschätzt und als prozentuale Verbrauchsreduzierung angenommen (vgl. Abschnitt 6.2.1).

Abgabe von Abwärme an externe Abnehmer: Aktuelles Szenario für alle Produkte. Abwärme, die nach Ausnutzung aller wirtschaftlich im Betrieb nutzbaren Wärmemengen verbleibt, wird in der Regel über das Dach an die Umgebung abgegeben. Befinden sich solche Wärmemengen auf einem nutzbaren Niveau⁶, kann es für potenzielle Abnehmer interessant sein, sich auf dem Gelände oder in unmittelbarer Nähe einer Papierfabrik anzusiedeln. In diesem Szenario wurde untersucht, welche Ökoeffizienzpotenziale mit einer solchen Kooperation verbunden wären.

Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger: Strategisches Szenario für alle Produkte. Mit diesem Szenario sollen die Folgen einer Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am deutschen Strommix auf etwa 1/3 analysiert werden (vgl. Abschnitt 6.2.2).

Kernenergieausstieg: Strategisches Szenario für alle Produkte. Bei Vollzug des 2001 beschlossenen Kernenergieausstiegs in Deutschland müssen – gleichbleibender Energiebedarf vorausgesetzt – etwa 26 % des Stroms aus dem öffentlichen Netz auf andere Weise erzeugt werden. Es wurde angenommen, dass 25 % dieser Strommengen durch regenerative Energie und 75 % in Braun- und Steinkohlekraftwerken erzeugt werden.⁷

Steigerung des Anteils der Kernenergie: Strategisches Szenario für alle Produkte. In diesem fiktiven Szenario wurde angenommen, dass der Anteil der Kernenergie am deutschen

⁵ Da lediglich Trendaussagen gemacht werden sollen, wurde die begrenzte Verfügbarkeit von EBS nicht berücksichtigt

⁶ Temperaturniveau > 60 °C

⁷ Risiken aus Störfällen oder fehlerhaftem Betrieb von Anlagen sind nicht Gegenstand dieses Vorhabens. Dies gilt entsprechend für den Betrieb von Kernkraftwerken und die Lagerung radioaktiver Abfälle.

Strommix von derzeit ca. 26 % auf 40 % steigt und das im Wesentlichen zulasten der Braunkohle geschieht.

Für die Szenarien „Erhöhung der Energieeffizienz“ und „Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger“ werden nachfolgend die Ergebnisse exemplarisch jeweils an einem Produkt ausführlich vorgestellt. Die wesentlichen Ergebnisse aller Szenarien sind in Abschnitt 6.2.3 zusammengefasst.

6.2.1 Erhöhung der Energieeffizienz am Beispiel „Küchenrolle“

Szenarienbeschreibung

In der Papier erzeugenden Industrie wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um den Energieverbrauch zu reduzieren. Gleichwohl besteht vor allem bei Altanlagen noch Potenzial, besonders zur Wärmerückgewinnung. Bei der Herstellung von Küchenrollen ist diese aus der Abluft von Vakuumgebläsen und Trockenpartien oder Stoff- und Wasserströmen möglich. Trockenhauben können effizienter gefahren oder geschlossene Trockenhauben mit hohem Taupunkt installiert werden, Wärme für Prozesswasser kann aus dem Abwasser gewonnen werden. Bei anderen Papierprodukten kann darüber hinaus Wärme aus Strichanlagen zurückgewonnen oder Dampf aus der Herstellung von TMP genutzt werden. Insgesamt schätzen die Projektbeteiligten das Einsparpotenzial an thermischer Energie auf 5 bis 15 %.

Auch der Strombedarf kann bei allen Papierprodukten weiter reduziert werden. Durch bessere Drehzahlregelung von Pumpen, Wasserringpumpen und Ventilatoren, durch optimierte Mahlung und Druckluftversorgung sowie durch Wärme-/Kältekopplung und den Einsatz von energieeffizienten Motoren können nach Abschätzungen der Projektbeteiligten papierproduktübergreifend Stromeinsparungen zwischen 4 und 10 % erzielt werden.

Die Einsparmöglichkeiten über die gesamte Wertschöpfungskette – also über die eigentliche Papiererzeugung hinaus – wurden mit 5 % bei Dampf/Wärme und 4 % bei Strom geschätzt. Bei der Papierverarbeitung, d. h. dem Druck von Büchern, Katalogen und Zeitungen oder der Fertigstellung von Küchenrollen und unbedruckten Wellpappeverpackungen, bieten vor allem der Ausbau von Kraft-Wärme-Kopplung sowie eine Wirkungsgradverbesserung bei der Trocknung nach dem Druckprozess (z. B. UV-Trocknung) Handlungsspielraum.

Zur Analyse der Effekte solcher Einsparmaßnahmen auf die Ökoeffizienz der Produkte wurden zwei Szenarien berechnet. Die Ergebnisse werden am Beispiel des Produkts „Küchenrolle“ vorgestellt. Tabelle 9 zeigt die getroffenen Annahmen.

Tabelle 9: Produkt „Küchenrolle“ – Parameter der Szenarien „Energieeffizienz I & II“

Wertschöpfungskette	Energieeffizienz I		Energieeffizienz II	
	Strom	Dampf/Wärme	Strom	Dampf/Wärme
Papierherstellung	- 4 %	- 5 %	-10 %	- 15 %
Papierverarbeitung	- 4 %	- 5 %	- 4 %	- 5 %
Papierentsorgung	- 4 %	- 5 %	- 4 %	- 5 %

Auswirkungen auf die Ökoeffizienz

Das Ökoeffizienz-Portfolio zeigt für beide Szenarien eine verbesserte Ökoeffizienz (Abbildung 27).

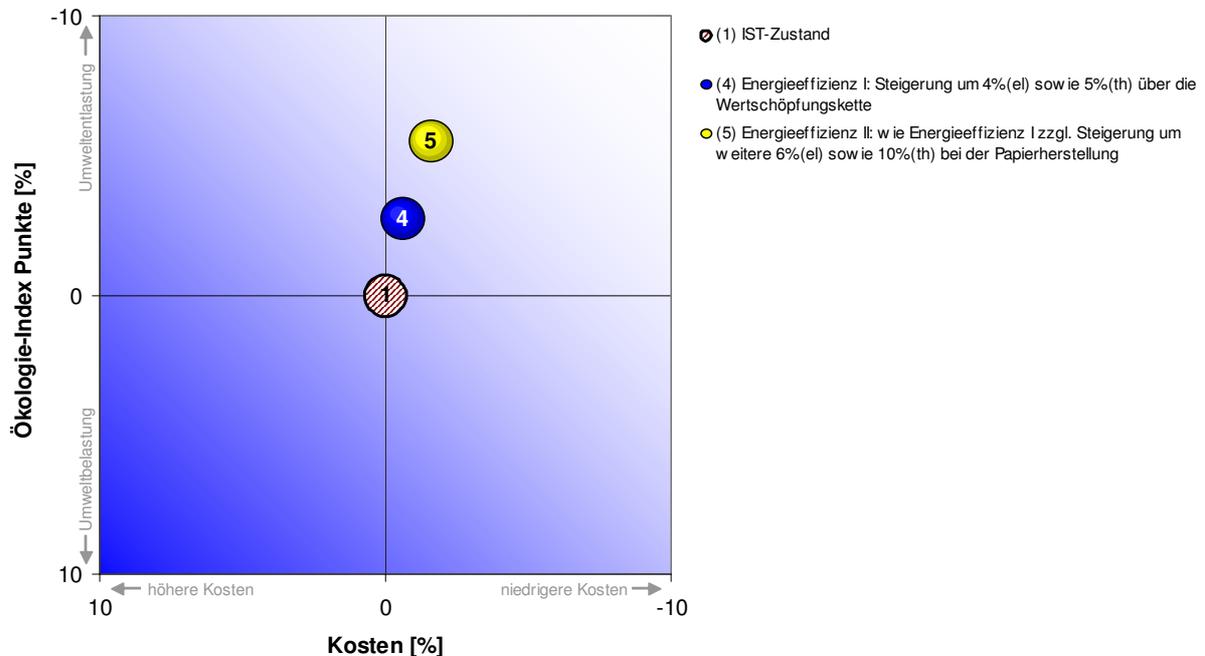


Abbildung 27: Produkt „Küchenrolle“ – Ökoeffizienz-Portfolio der Szenarien „Energieeffizienz I & II“ im Vergleich zum Ist-Zustand

Die Szenarien „Energieeffizienz I & II“ sind ökologisch und wirtschaftlich besser als der Ist-Zustand. Die Kosten sinken geringfügig und der Ökologie-Index ist um 2,8 % bzw. 5,5 % niedriger. Für alle betrachteten Wirkungskategorien und Einzelparameter sind Entlastungen der Umwelt zu erwarten. Die größten Effekte entfallen mit 207 bzw. 419 Einwohnerwerten auf die Stickoxidemissionen. Tabelle 10 fasst die für den Ökologie-Index relevanten Ergebnisse zusammen.

Tabelle 10: Produkt „Küchenrolle“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „Energieeffizienz I & II“ gegenüber dem Ist-Zustand

Parameter	Ist-Zustand	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario	
		Energieeffizienz I	Energieeffizienz II
Aggregierte Werte			
KEA fossil	366.755 GJ (2.373 EW)	Entlastung um 22.430 GJ (145 EW)	Entlastung um 51.470 GJ (333 EW)
Treibhauspotenzial [CO ₂ -Äquivalente]	23,8 Mio. kg (1.818 EW)	Entlastung um 1,15 Mio. kg (87 EW)	Entlastung um 2,43 Mio. kg (186 EW)
Versauerungspotenzial [SO ₂ -Äquivalente]	235.410 kg (4.236 EW)	Entlastung um 4.860 kg (87 EW)	Entlastung um 8.760 kg (158 EW)

Parameter	Ist-Zustand	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario	
		Energieeffizienz I	Energieeffizienz II
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO ₄ -Äquival.]	17.440 kg (5.223 EW)	Entlastung um 610 kg (107 EW)	Entlastung um 1.230 kg (217 EW)
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	29.620 (1.955 EW)	Entlastung um 620 kg (69 EW)	Entlastung um 1.200 kg (134 EW)
Nicht aggregierte Einzelparameter			
Ammoniak	999 kg (126 EW)	Entlastung um 4 kg (> 1 EW)	Entlastung um 9 kg (1 EW)
Stickoxide	225.230 kg (9.973 EW)	Entlastung um 4.670 kg (207 EW)	Entlastung um 9.460 kg (419 EW)
Schwefeldioxid	72.360 kg (3.218 EW)	Entlastung um 1.490 kg (66 EW)	Entlastung um 2.010 kg (90 EW)

6.2.2 Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger am Beispiel „Katalog“

Szenarienbeschreibung

Mit der novellierten Fassung des Gesetzes für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG) soll der „[...] Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis zum Jahr 2020 auf mindestens 30 Prozent [...]“ und danach kontinuierlich weiter erhöht werden [EEG 2008].

Um den Effekt auf die Ökoeffizienz von Papierprodukten zu analysieren, wurde in diesem Szenario – ausgehend vom aktuellen Energiemix – der Anteil aller erneuerbaren Energieträger angehoben, bis insgesamt ein Anteil von etwa einem Drittel erreicht war. Der Anteil an Wasserkraft wurde dabei konstant gelassen, weil das diesbezügliche Potenzial in Deutschland als bereits weitgehend ausgeschöpft gilt. Für Windenergie wurde die höchste Steigerung angenommen. Ferner wurde unterstellt, dass auch der Erdgasanteil steigt, da flexible Kraftwerke zur Ausregelung des Stromhaushalts benötigt werden. Schließlich wurde angenommen, dass die Veränderungen im Wesentlichen zulasten der Braunkohle erfolgen.

Die Ergebnisse der Betrachtung werden am Beispiel des Produkts „Katalog“ vorgestellt. Tabelle 11 zeigt die getroffenen Annahmen und stellt sie dem Ist-Zustand gegenüber.

Tabelle 11: Parameter des Szenarios „Anstieg des Anteils erneuerbarer Energieträger“

Energieträger	Deutscher Strommix im Ist-Zustand ¹⁾	Strommix nach Anstieg des Anteils erneuerbarer Energieträger auf rund 1/3
Steinkohle	22,0 %	15,9 %
Braunkohle	25,1 %	6,7 %
Erdgas	12,5 %	20,0 %
Schweröl	1,8 %	1,2 %
Müll	2,0 %	2,0 %
Kernkraft	26,3 %	20,8 %

Energieträger	Deutscher Strommix im Ist-Zustand ¹⁾	Strommix nach Anstieg des Anteils erneuerbarer Energieträger auf rund 1/3
Wasser	3,5 %	3,5 %
Wind	4,3 %	19,0 %
Holz	1,0 %	4,4 %
Biogas	1,0 %	4,4 %
Deponiegas	0,3 %	1,3 %
Solarenergie	0,2 %	0,9 %

¹⁾ Fritsche et al. 2007

Auswirkungen auf die Ökoeffizienz

Das Szenario „Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger“ weist gegenüber dem Ist-Zustand einen um fast 9 % niedrigeren Ökologie-Index (Umweltentlastung) auf. Geringe Umweltbelastungen sind lediglich für die Fotooxidantienbildung sowie für Ammoniakemissionen zu verzeichnen. Die größte Umweltentlastung wurde mit 1.065 Einwohnerwerten für das Treibhauspotenzial ermittelt. Die Kosten dieses Szenarios liegen jedoch um etwa 1 % höher als die des Ist-Zustands (Abbildung 28).

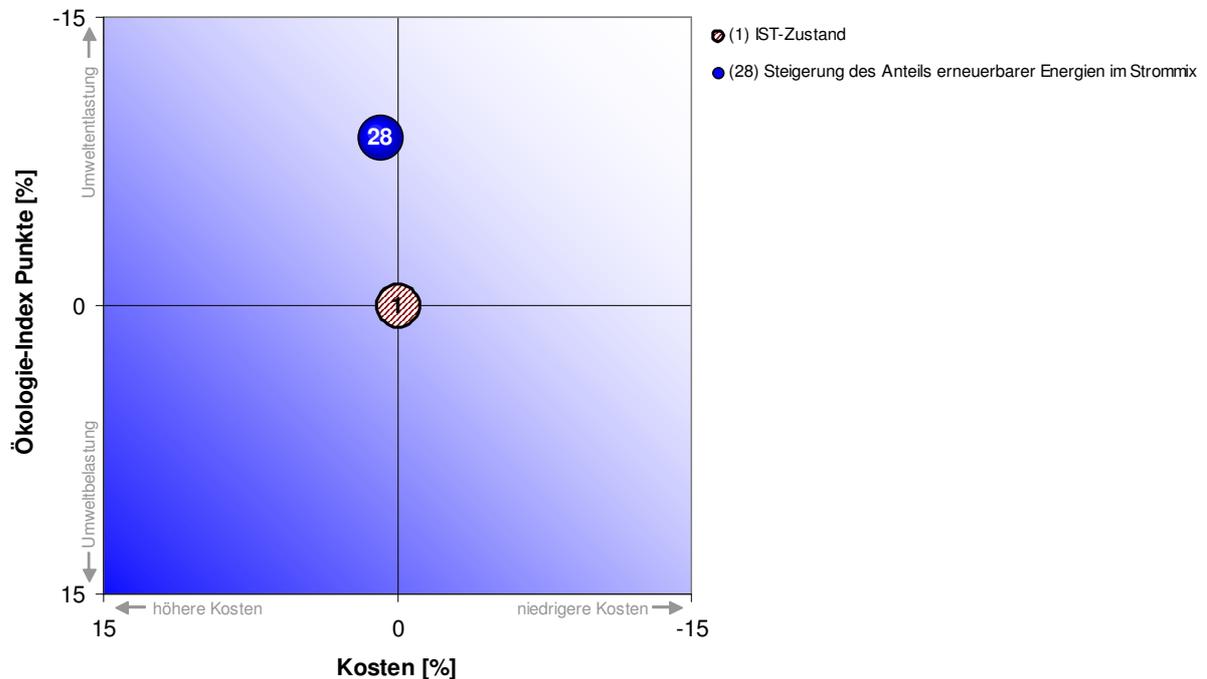


Abbildung 28: Produkt „Katalog“ – Ökoeffizienz-Portfolio des Szenarios „Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger“ im Vergleich zum Ist-Zustand

Tabelle 12 zeigt die für den Ökologie-Index relevanten Ergebnisse im Detail.

Tabelle 12: Produkt „Katalog“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung des Szenarios „Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger“ gegenüber dem Ist-Zustand

Parameter	Ist-Zustand	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario „Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger“
Aggregierte Werte		
KEA fossil	1,24 Mio. GJ (8.030 EW)	Entlastung um 106.860 GJ (691 EW)
Treibhauspotenzial [CO ₂ -Äquivalente]	95,2 Mio. kg (7.261 EW)	Entlastung um 13,98 Mio. kg (1.065 EW)
Versauerungspotenzial [SO ₂ -Äquivalente]	154.550 kg (2.781 EW)	Entlastung um 10.490 kg (198 EW)
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO ₄ -Äquivalente]	19.770 kg (3.485 EW)	Entlastung um 560 kg (98 EW)
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	32.040 kg (3.591 EW)	Belastung um 46 kg (5 EW)
Nicht aggregierte Einzelparameter		
Ammoniak	5.450 kg (689 EW)	Belastung um 3 kg (>1 EW)
Stickoxide	137.530 kg (6.090 EW)	Entlastung um 4.300 kg (191 EW)
Schwefeldioxid	38.450 kg (1.710 EW)	Entlastung um 7.180 kg (319 EW)

6.2.3 Zwischenfazit

Die Ergebnisse aller zum Bereich Energieversorgung und -nutzung betrachteten Szenarien sind für die betroffenen Papierprodukte in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Zusammenfassung der Ergebnisse für den Abschnitt Energieversorgung und -nutzung

Szenario	Katalog		Unbedruckte Wellpappeverpackung		Buch		Zeitung		Küchenrolle	
	Ö-Ind. ¹⁾	Kosten	Ö-Ind.	Kosten	Ö-Ind.	Kosten	Ö-Ind.	Kosten	Ö-Ind.	Kosten
	negativer Wert = Verbesserung des Ergebnisses des Ist-Zustands positiver Wert = Verschlechterung des Ergebnisses des Ist-Zustands									
Aktuelle Szenarien										
Änderung der Brennstoffhierarchie I ²⁾	-0,08 %	-0,92%	-2,5%	-0,01%	-0,34%	-0,75%	-26%	-0,5%	-3,3%	-2,7%
Änderung der Brennstoffhierarchie II ³⁾	-29 %	0,15%	-40%	0,27%	-16%	0,12%	-30%	-0,22%	-12%	-0,84%
Energieeffizienz I ⁴⁾	-4,2 %	-0,44 %	-4,3 %	-0,79 %	-2,9 %	-0,35 %	-4,0 %	-0,28 %	-2,7 %	-0,56 %
Energieeffizienz II ⁵⁾	-9,5 %	-1,2 %	-11 %	-2,0 %	-5,7 %	-0,46 %	-10 %	-0,74 %	-5,5 %	-1,6 %
Abgabe von Abwärme an externe Abnehmer	-11 %	-0,72 %	-39 %	-3,7 %	-7,5 %	-0,2 %	-10 %	-1,1 %	-9,5 %	-1,9 %
Strategische Szenarien										
Kernenergieausstieg	8,0 %	0,34 %	6,2 %	0,01 %	4,2 %	0,59 %	8,2 %	0,1 %	0,84 %	0,24 %
Steigerung des Anteils der Kernenergie	-5,9 %	0,08 %	-5,1 %	0,08 %	-3,2 %	0,13 %	-6,1 %	0,05 %	-0,62 %	0,05 %
Steigerung des Anteils erneuerbare Energie	-8,8 %	0,93 %	-7,4 %	1,2 %	-4,7 %	1,6 %	-9,0 %	0,79 %	-0,93 %	0,64 %
¹⁾ Ökologie-Index ²⁾ Änderung der Brennstoffhierarchie I: Energie aus Erdgas ³⁾ Änderung der Brennstoffhierarchie II: Energie aus EBS ⁴⁾ Energieeffizienz I: Steigerung um 4 % (el) sowie 5 % (th) über die Wertschöpfungskette ⁵⁾ Energieeffizienz II: wie Energieeffizienz I zzgl. Steigerung um weitere 6 % (el) sowie 10 % (th) bei der Papierherstellung										

Die in den aktuellen Szenarien betrachteten Maßnahmen, die in der Papierindustrie kurz- und mittelfristig eingeleitet werden können, um die Energienutzung zu optimieren, würden ausnahmslos zu einer Verbesserung der Ökoeffizienz führen.

Verbesserungen der Ökoeffizienz sind durch eine optimierte Wärmenutzung und eine weitere Reduzierung des Energieverbrauchs möglich. Die Energieeffizienz der Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse bietet dazu Möglichkeiten. Die erzielbaren Fortschritte sind jedoch begrenzt und werden besonders bei Bestandsanlagen eine Folge kleiner Schritte sein.

Die eigene Energieversorgung ist Aufgabe der Papier erzeugenden und verarbeitenden Unternehmen selbst. Die energetische Nutzung eigener Reststoffe hat ökologisch und wirtschaftlich klare Vorteile [vgl. Peche et al. 2007]. Sie kann jedoch nur einen Teil der benötigten Energie liefern. Zur Deckung des darüber hinausgehenden Bedarfs setzen Papierhersteller bei der Erneuerung eigener Kraftwerke verstärkt auf Erdgas oder EBS. Die größte Um-

weltentlastung weist für alle Produkte das Szenario „Änderung der Brennstoffhierarchie II“ auf, in dem EBS als Energieträger eingesetzt werden. Die Kosten sind hier geringfügig höher als mit dem aktuell in der Papierindustrie eingesetzten Energieträgermix. Im konkreten Einzelfall werden die Kosten sehr stark von der örtlichen Ausgangssituation bei der Brennstoffversorgung und Anlagentechnik beeinflusst. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Papierindustrie aufgrund der umfassenden Nutzung der aus EBS erzeugten Energie ein höchst attraktives Potenzial für deren energetische Verwertung bietet. Der Einsatz von EBS und anderen Reststoffen findet in der Öffentlichkeit nicht immer hinreichende Akzeptanz, obwohl bei entsprechender Ausstattung der Verbrennungsanlagen die Vorteile für Ökologie und Wirtschaftlichkeit erheblich sind.

Das Szenario „Kernenergieausstieg“ führt für alle untersuchten Produkte zu einer Verschlechterung der Ökoeffizienz, wenn – wie hier angenommen – der fehlende Grundlaststrom aus Kernkraftwerken hauptsächlich durch fossile Brennstoffe aufgefangen wird.

Bei den Szenarien „Steigerung des Anteils der Kernenergie“ und „Steigerung des Anteils erneuerbarer Energie“ stehen sich höhere Kosten und Umweltentlastungen infolge des reduzierten Einsatzes fossiler Brennstoffe gegenüber, wobei die Mehrkosten prozentual niedriger ausfallen als die Umweltentlastungen.

Änderungen im Mix der zur Erzeugung von Strom aus dem öffentlichen Netz eingesetzten Energieträger können somit erhebliche Auswirkungen auf die Ökoeffizienz der Papierprodukte haben. Die Nutzung dieser Spielräume für eine ökoeffiziente und zuverlässige Energieversorgung ist eine Aufgabe für Politik und Energieversorger. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Wind- und Solarenergie keinen Grundlaststrom liefern, wie ihn die Papierindustrie benötigt.

6.3 Nutzungskonkurrenz

Der national und international steigende Bedarf an Holz und Altpapier führt zu Knappheiten am Markt. Das hat für die Papierindustrie höhere Rohstoffpreise zur Folge, und es stellt sich bei zunehmender Knappheit aus ökologischer Sicht die Frage, wie aus den verfügbaren Rohstoffen der maximale Nutzen erzielt werden kann. Zu den wichtigsten Ursachen der Entwicklung gehören die wachsende Nachfrage aus Schwellenländern wie China und Indien und der zunehmende Einsatz von Biomasse zur Energieerzeugung – zusätzlich gefördert durch gesetzliche Regelungen wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz.

Um eine ökologische und ökonomische Bewertung dieser Entwicklung zu ermöglichen, wurden zwei strategische Szenarien untersucht, deren Ergebnisse exemplarisch jeweils an einem Produkt ausführlich vorgestellt werden.

6.3.1 Nutzungskonkurrenz Altpapier am Beispiel „Zeitung“

Szenarienbeschreibung

Je weniger das Altpapierangebot den Bedarf decken kann, desto mehr stellt sich die Frage, für welche Produkte das verfügbare Altpapier unter Umwelt- und Kostengesichtspunkten am sinnvollsten eingesetzt werden sollte und bei welchen Produkten eher auf Frischfasern ausgewichen werden kann.

Zur Analyse der Ökoeffizienzpotenziale wurde die Herstellung der Produkte, in denen Altpapier als Ausgangsstoff verwendet wird (Zeitungspapier, unbedruckte Wellpappeverpackung, Buchdecke und Papier für Katalogseiten), einmal zu 100 % aus Frischfaser und einmal zu 100 % aus Altpapierfaser modelliert und das Einsparpotenzial über die Differenz der Ergebnisse ermittelt.

Die Ergebnisse dieser Betrachtung werden am Beispiel des Produkts „Zeitung“ vorgestellt. Tabelle 14 stellt die zu den Szenarien getroffenen Annahmen dem Ist-Zustand gegenüber.

Tabelle 14: Produkt „Zeitung“ – Parameter der Szenarien „Nutzungskonkurrenz Altpapier I und II“

Ausgangsstoff	Ist-Zustand	Nutzungskonkurrenz I: 100 % Frischfaser	Nutzungskonkurrenz II: 100 % Altpapier
Altpapiermenge je kg Zeitungsdruckpapier	0,96 kg	0 kg	1,2 kg
Holzstoffmenge je kg Zeitungsdruckpapier	0,2 kg	1 kg	0 kg

Auswirkungen auf die Ökoeffizienz

Das Ökoeffizienz-Portfolio in Abbildung 29 stellt die untersuchten Szenarien dem Ist-Zustand gegenüber.

Das Szenario „Nutzungskonkurrenz Altpapier I: 100 % Frischfaser“ weist eine geringere Ökoeffizienz als der Ist-Zustand auf. Es schneidet sowohl bei der Betrachtung der Umweltwirkung als auch der Kosten schlechter ab. Die Kosten sind um ca. 4,5 % höher und der Ökologie-Index ist um ca. 48 % größer. Entlastungen der Umwelt für die Fotooxidantienbildung stehen höheren Belastungen in allen übrigen Wirkungskategorien und Einzelwerten gegenüber (vgl. Tabelle 15).

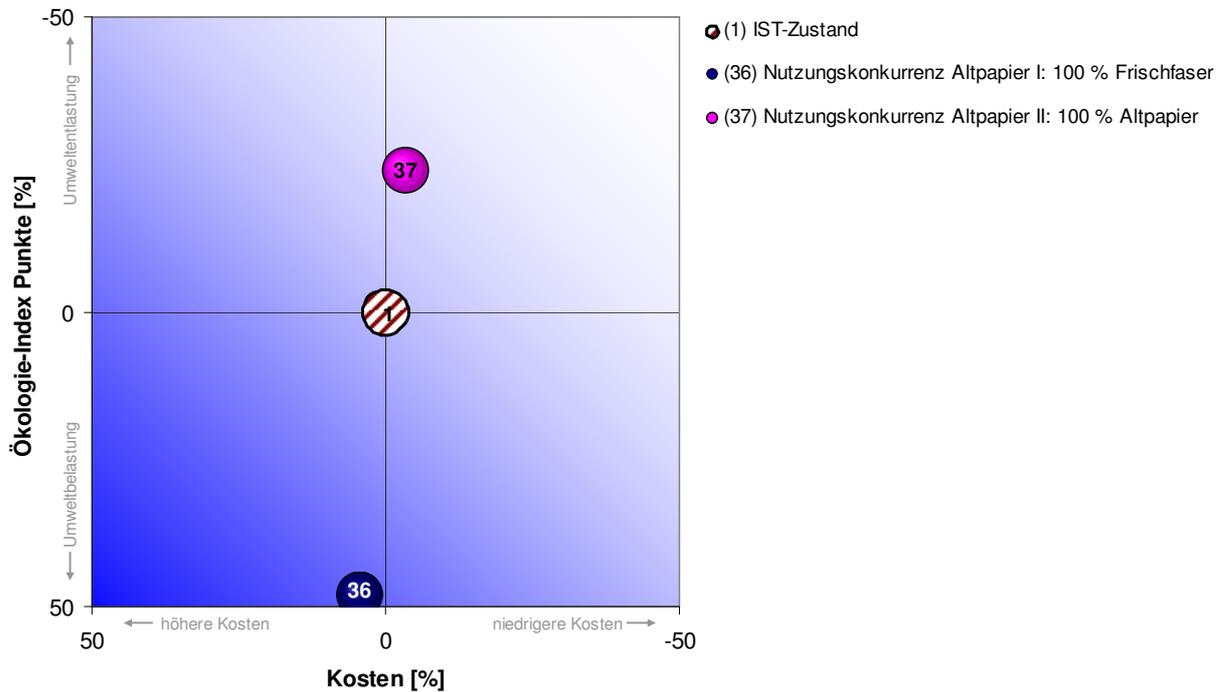


Abbildung 29: Produkt „Zeitung“ – Ökoeffizienz-Portfolio der Szenarien „Nutzungskonkurrenz Altpapier I & II“ im Vergleich zum Ist-Zustand.

Das Szenario „Nutzungskonkurrenz Altpapier II: 100 % Altpapier“ ist sowohl unter Umwelt- als auch unter Kostengesichtspunkten deutlich besser als der Ist-Zustand. Die Kosten sind um 3,4 % und der Ökologie-Index ist um 24 % geringer. Für alle betrachteten Wirkungskategorien und Einzelwerte wurden Entlastungen der Umwelt ermittelt (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15: Produkt „Zeitung“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „Nutzungskonkurrenz Altpapier I & II“ gegenüber dem Ist-Zustand

Parameter	Ist-Zustand	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario	
		Nutzungskonkurrenz Altpapier I: 100 % Frischfaser	Nutzungskonkurrenz Altpapier II: 100 % Altpapier
Aggregierte Werte			
KEA fossil	3.374.142 GJ (21.832 EW)	Belastung um 374.866 GJ (2.425 EW)	Entlastung um 1,33 Mio. GJ (8.601 EW)
Treibhauspotenzial [CO ₂ -Äquivalente]	304 Mio. kg (23.172 EW)	Belastung um 122,3 Mio. kg (9.323 EW)	Entlastung um 106,7 Mio. kg (8.132 EW)
Versauerungspotenzial [SO ₂ -Äquivalente]	480.178 kg (8.640 EW)	Belastung um 374.280 kg (6.735 EW)	Entlastung um 146.360 kg (2.634 EW)
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO ₄ -Äquival.]	62.496 kg (11.018 EW)	Belastung um 50.663 kg (8.932 EW)	Entlastung um 15.410 kg (2.716 EW)
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	22.927 kg (2.570 EW)	Entlastung um 6.365 kg (713 EW)	Entlastung um 3.440 kg (385 EW)

Parameter	Ist-Zustand	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario	
		Nutzungskonkurrenz Altpapier I: 100 % Frischfaser	Nutzungskonkurrenz Altpapier II: 100 % Altpapier
Nicht aggregierte Einzelparameter			
Ammoniak	3.387 kg (428 EW)	Belastung um 1.353 kg (171 EW)	Entlastung um 225 kg (28 EW)
Stickoxide	471.727 kg (20.888 EW)	Belastung um 386.119 kg (17.097 EW)	Entlastung um 117.930 kg (5.222 EW)
Schwefeldioxid	127.271 kg (5.660 EW)	Belastung um 81.688 kg (3.633 EW)	Entlastung um 50.410 kg (2.242 EW)

6.3.2 Nutzungskonkurrenz Holz am Beispiel „Buch“

Szenarienbeschreibung

Holz wird entweder stofflich genutzt – etwa zur Herstellung von Papier – oder energetisch zur Strom- und Wärmeerzeugung. Nach der Verbrennung steht Holz für eine weitere Nutzung nicht mehr zur Verfügung. Dagegen durchlaufen aus Holz erzeugte Papierprodukte nach Gebrauch in der Regel mehrere stoffliche Nutzungszyklen als Altpapier; die nicht mehr nutzbaren Fasern werden dabei der energetischen Verwertung zugeführt.

Mit den beschriebenen Szenarien wird ein Ökoeffizienzvergleich der stofflichen und der energetischen Nutzung von Holz vorgenommen. Die Untersuchung erfolgte exemplarisch für das Produkt „Buch“.

Dazu wurden zwei Szenarien berechnet, in denen dieselbe Menge Holz, die zur Herstellung des untersuchten Papierprodukts benötigt würde, zum einen in einem *Biomasse-Kraftwerk verstromt* und zum anderen in einem *Biomasse-Heizkraftwerk zur Erzeugung von Strom und Wärme* verbrannt wird.

Da die Bücher trotz der thermischen Verwertung des Holzes hergestellt werden müssen, werden den Szenarien zur energetischen Nutzung die Umweltbelastungen durch die Herstellung der Bücher (Papierherstellung und -verarbeitung) schlechtgeschrieben. Des Weiteren ist berücksichtigt, dass keine direkte energetische Nutzung des Holzes möglich ist, wenn dieses zur Herstellung des Produkts „Buch“ stofflichen Einsatz findet. Der dem System dadurch im Ist-Zustand entgangene Nutzen *Energie aus Biomasse* wird ebenfalls berücksichtigt.

Bei dieser Betrachtung wird also die gleiche Menge an Energie und an Büchern auf zwei verschiedenen Wegen erzeugt. In den Szenarien wird zunächst das Holz zur Energieerzeugung verbrannt und dann zusätzlich die vorgesehene Menge an Büchern hergestellt. Im Ist-Zustand werden zunächst Bücher hergestellt und bei deren Recycling auch Energie gewonnen. Dann wird die restliche Energiemenge mit dem deutschen Energieträgermix erzeugt.

Tabelle 16 fasst die getroffenen Annahmen der beiden energetischen Szenarien zusammen.

Tabelle 16: Produkt „Buch“ – Parameter der Szenarien „Nutzungskonkurrenz Holz I und II“

Parameter	Nutzungskonkurrenz Holz I: Kondensationskraftwerk (KW)	Nutzungskonkurrenz Holz II: Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
Heizwerte	15 MJ/kg (Laubholz); 15,5 MJ/kg (Nadelholz)	
Kraftwerksleistung	50 % kleines KW mit 10 MW 50 % großes KW mit 20 MW	50 % kleines KWK mit 2 MW 50 % großes KWK mit 20 MW
Holzmenge für die Erzeugung von 1 TJ Strom ¹⁾	kleines KW: 4,19 TJ großes KW: 3,68 TJ	kleines KWK: 10 TJ großes KWK: 5,75 TJ
Wärmegutschrift pro 1 TJ Strom ¹⁾	-	kleines KWK: 5 TJ großes KWK: 2 TJ

¹⁾ Probas 2009

Auswirkungen auf die Ökoeffizienz

Abbildung 30 stellt den Ökologie-Index beider untersuchter Szenarien dem Ist-Zustand gegenüber. Für diese Szenarien könnte ein Kostenvergleich nur aus volkswirtschaftlicher Perspektive erfolgen, denn eine gekoppelte Verrechnung der Kosten für Bücher und Energie ist betriebswirtschaftlich nicht sinnvoll. Weil eine volkswirtschaftliche Analyse im Rahmen dieses Vorhabens nicht möglich war, beschränkt sich das Portfolio auf die Ökologie-Index-Punkte.

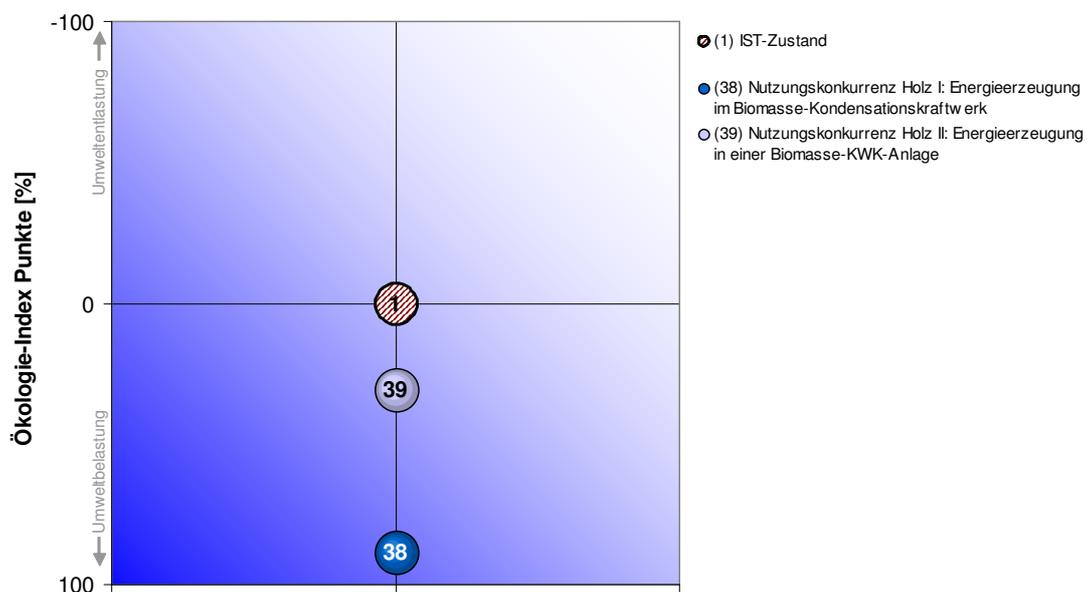


Abbildung 30: Produkt „Buch“ – Ökologie-Index der Szenarien „Nutzungskonkurrenz Holz I & II“ im Vergleich zum Ist-Zustand

Beide Szenarien zur energetischen Nutzung schneiden ökologisch schlechter ab als die stoffliche Nutzung im Ist-Zustand.

Das Szenario „Nutzungskonkurrenz Holz I: Energieerzeugung im Biomasse-Kondensationskraftwerk“ weist im Vergleich zum Ist-Zustand für alle Wirkungskategorien und Einzelwerte

eine Umweltbelastung auf. Der größte Effekt ergibt sich mit 3.883 Einwohnerwerten bei den Stickoxidemissionen (vgl. Tabelle 17).

Das Szenario „Nutzungskonkurrenz Holz II: Energieerzeugung in einer Biomasse-KWK-Anlage“ weist im Vergleich zum Ist-Zustand Umweltentlastungen in Höhe von 1.306 Einwohnerwerten für die Ressourcenbeanspruchung (KEA fossil) und in Höhe von 933 Einwohnerwerten für das Treibhauspotenzial auf. Für alle übrigen Wirkungskategorien und Einzelparameter wurden Umweltbelastungen ermittelt. Auch hier ergibt sich mit 3.049 Einwohnerwerten der größte Effekt bei den Stickoxidemissionen. Die umweltbelastenden Effekte fallen in der Summe so hoch aus, dass auch dieses Szenario ökologisch insgesamt schlechter abschneidet als der Ist-Zustand (vgl. Tabelle 17).

Tabelle 17: Produkt „Buch“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „Nutzungskonkurrenz Holz I & II“ gegenüber dem Ist-Zustand

Parameter	Ist-Zustand	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario	
		Nutzungskonkurrenz Holz I: Kondensationskraftwerk	Nutzungskonkurrenz Holz II: Kraft-Wärme-Kopplung
Aggregierte Werte			
KEA fossil	260.520 GJ (1.686 EW)	Belastung um 22.260 GJ (144 EW)	Entlastung um 201.890 GJ (1.306 EW)
Treibhauspotenzial [CO ₂ -Äquivalente]	20,7 Mio. kg (1.581 EW)	Belastung um 0,33 Mio. kg (63 EW)	Entlastung um 12,2 Mio. kg (933 EW)
Versauerungspotenzial [SO ₂ -Äquivalente]	73.880 kg (1.329 EW)	Belastung um 98.630 kg (1.775 EW)	Belastung um 59.930 kg (1.078 EW)
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO ₄ -Äquival.]	6.350 kg (1.120 EW)	Belastung um 11.420 kg (2.013 EW)	Belastung um 8.990 kg (1.584 EW)
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	3.120 kg (349 EW)	Belastung um 6.050 kg (687 EW)	Belastung um 5.540 kg (621 EW)
Nicht aggregierte Einzelparameter			
Ammoniak	1.190 kg (151 EW)	Belastung um 50 kg (6 EW)	Belastung um 104 kg (13 EW)
Stickoxide	45.700 kg (2.024 EW)	Belastung um 87.690 kg (3.883 EW)	Belastung um 68.850 kg (3.049 EW)
Schwefeldioxid	38.620 kg (1.717 EW)	Belastung um 33.900kg (1.508 EW)	Belastung um 8.650 kg (385 EW)

6.3.3 Zwischenfazit

Die Ergebnisse aller im Abschnitt „Nutzungskonkurrenz“ betrachteten Szenarien sind für die betroffenen Papierprodukte in Tabelle 18 zusammengefasst. Beide Szenarien zur Nutzungskonkurrenz Holz zeigen, dass die direkte energetische Nutzung von Holz ökologisch insgesamt deutlich schlechter zu bewerten ist als eine stoffliche Nutzung mit anschließender energetischer Verwertung. Dem System wurden dabei lediglich die Gutschriften angerechnet, die aus einer einmaligen stofflichen Verwertung von Büchern am Lebensende resultie-

ren. Eine Berücksichtigung der tatsächlich mehrfachen Nutzung vom Papierfasern würde das Ergebnis weiter zugunsten der stofflichen Nutzung verschieben.

Tabelle 18: Zusammenfassung der Ergebnisse für den Abschnitt „Nutzungskonkurrenz“

Szenario	Katalog		Buch ⁴⁾		Zeitung		unbedruckte Wellpappeverpackung	
	Ö-Ind. ¹⁾	Kosten	Ö-Ind.	Kosten	Ö-Ind.	Kosten	Ö-Ind.	Kosten
	negativer Wert = Verbesserung des Ergebnisses des Ist-Zustandes positiver Wert = Verschlechterung des Ergebnisses des Ist-Zustandes							
Nutzungskonkurrenz Altpapier I: 100 % Frischfaser	32 %	-0,05 %	3,9 %	4,1 %	48 %	4,5 %	70 %	11 %
Nutzungskonkurrenz Altpapier II: 100 % Altpapier	-3,5 %	1,9 %	0 % ²⁾	0 % ²⁾	-24 %	-3,4 %	0 % ²⁾	0 % ²⁾
Nutzungskonkurrenz Holz I: Kondensationskraftwerk (KW)	-	-	88 %	- ³⁾	-	-	-	-
Nutzungskonkurrenz Holz I: Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	-	-	30 %	- ³⁾	-	-	-	-

¹⁾ Ökologie-Index
²⁾ 0 % heißt, dass es dem Ergebnis des Ist-Zustands entspricht.
³⁾ wurden nicht ermittelt
⁴⁾ nur die Buchdecke wurde verändert

Die Szenarien zur Nutzungskonkurrenz Altpapier zeigen, dass die Papierherstellung aus Frischfaser bei allen betrachteten Produkten zu einer Umweltbelastung führen würde. Bis auf das Produkt „Katalog“ zeigen auch die Kosten eine vergleichbare Tendenz. Die größten Differenzen zwischen der Papierherstellung aus Frischfaser und Altpapier wurden hinsichtlich der Ökologie für das Produkt „Zeitung“, hinsichtlich der Kosten für das Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ ermittelt. Die geringen Werte beim Produkt „Buch“ sind darauf zurückzuführen, dass hier nur der Altpapiergehalt der Buchdecke verändert wurde.

Der Einsatz von Holz zur Papiererzeugung ist ökologisch deutlich vorteilhafter als dessen Verbrennung. Dies gilt insbesondere bei Holzverstromung ohne Nutzung der freigesetzten Wärme. Zur Papierherstellung eingesetztes Holz wird nach mehreren Recyclingzyklen in Form nicht mehr stofflich nutzbarer Reststoffe aus der Altpapierverarbeitung ausgeschleust und energetisch verwertet. So entstehen aus Holz Produkte und Energie. Zur optimalen Nutzung von Holz sollten solche Kaskadenlösungen vorangetrieben werden. Für die stoffliche Nutzung geeignete Holzsorten sollten weiterhin vorrangig zur Herstellung von Papier oder anderen Holzprodukten verwendet werden.

6.4 Rohstoff Altpapier

Die Papierindustrie in Deutschland hat im Jahr 2007 rund 16 Mio. Tonnen Altpapier zur Herstellung von Papier, Pappe und Kartonagen eingesetzt [VDP 2008]. Damit ist Altpapier der mengenmäßig wichtigste Rohstoff der deutschen Papierindustrie. Dabei gibt es Altpapiersor-

ten, die speziell für die Verarbeitung zu grafischen Papieren genutzt werden und andere, die im Verpackungssektor eingesetzt werden, da sie hohe Anteile an Kartonagen enthalten.

Wo die Qualitätsanforderungen an das Produkt einen Einsatz ermöglichen, wird Altpapier wegen der geringeren Kosten und der ökologischen Vorteile gerne verwendet. Bei der Nutzung von Altpapier ist nur etwa ein Viertel der Energie nötig, die für die Herstellung eines Frischfaserstoffs gebraucht würde [ISI 1999].

Im Rahmen des Projekts wurden folgende Szenarien untersucht, die sich mit dem Altpapieranteil im Produkt und mit der Altpapierqualität befassen:

Änderung des Altpapieranteils im Produkt: Aktuelles Szenario für die Produkte „Zeitung“ und „unbedruckte Wellpappeverpackung“. Für die Zeitung wird der Altpapieranteil von 80 % (Ist-Zustand) auf 60 % gesenkt bzw. auf 100 % erhöht und der Frischfaseranteil entsprechend angepasst. Für die „unbedruckte Wellpappeverpackung“ wird der Altpapieranteil von 100 % (Ist-Zustand) auf 79,7 % bzw. 59,4 % gesenkt (vgl. Abschnitt 6.4.1).

Veränderte Altpapierqualität durch Steigerung des Flexodruckanteils: Strategisches Szenario für die Produkte „Zeitung“ und „Katalog“. In diesem Szenario werden die Folgen einer weiteren Verbreitung von Flexodruckprodukten analysiert, die beim Deinking erhebliche Schwierigkeiten bereiten. Es wird eine Zunahme des Flexodruckanteils im Altpapier auf 8 bis 15 % bzw. > 15 % angenommen (vgl. Abschnitt 6.4.2).

Veränderte Altpapierqualität durch mehr Sortierreste: Aktuelles Szenario für das Produkt „Zeitung“. In diesem Szenario wird der Einfluss erhöhter Mengen an papierfremden Bestandteilen im Altpapier untersucht, die bei nachlassender Qualität der Sammlung und Sortierung auftreten könnten. Für die Zeitung werden eine Steigerung des Störstoffanteils im Altpapier um 25 % und eine Reduzierung der Faserausbeute auf 78 % (Ist-Zustand: 83,3 %) angenommen.

Veränderte Altpapierqualität durch vermehrten Einsatz von Hotmelt-Klebern: Aktuelles Szenario für das Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“. Durch bestimmte Hotmelt-Kleber in Wellpappealtpapieren können Abrisse auf der Papiermaschine entstehen. In diesem Szenario wird angenommen, dass durch starken Zuwachs des Hotmelt-Kleber-Einsatzes für die Altpapieraufbereitung eine Dispergierungsstufe erforderlich wird, die einen höheren Energieaufwand verursacht.

Für die Szenarien „Änderung des Altpapieranteils im Produkt“ und „veränderte Altpapierqualität durch Steigerung des Flexodruckanteils“ werden nachfolgend die Ergebnisse exemplarisch jeweils an einem Produkt ausführlich vorgestellt. Die wesentlichen Ergebnisse aller Szenarien sind im Abschnitt 6.4.3 zusammengefasst.

6.4.1 Änderung des Altpapieranteils im Produkt am Beispiel „unbedruckte Wellpappeverpackung“

Szenarienbeschreibung

Die Nutzung von Altpapier als Rohstoff hat einen besonders großen Effekt auf die ökologische Bewertung des Produkts. In diesem Szenario werden die Folgen geänderter Altpapieranteile im Produkt am Beispiel der unbedruckten Wellpappeverpackung analysiert.

Der Frischfaseranteil der unbedruckten Wellpappeverpackung wird von 0 % im Ist-Zustand auf 20,3 % bzw. 40,6 % angehoben. Das entspricht einem Altpapieranteil von 79,7 % bzw. 59,4 %. Diese Werte ergeben sich aus der Annahme, dass die betrachtete Wellpappe zu 58 % aus Deckenlagen (Testliner) und zu 42 % aus Wellenstoff besteht. Eine Lage Testliner wird durch frischfaserhaltiges Papier („Kraftliner“) ersetzt. Dieser Kraftliner enthält wiederum 30 % Altpapier, so dass sich für die Wellpappe insgesamt ein Altpapieranteil von 79,7 % ergibt. Durch den Austausch der zweiten Deckenlage gegen Kraftliner sinkt der Altpapieranteil auf 59,4 % und der Frischfaseranteil steigt auf 40,6 %.

Es wurde angenommen, dass der Kraftliner aus Skandinavien zugekauft wird. Dabei wurde ein Marktpreis unterstellt, der über dem des Testliners liegt. Die Herstellung des Frischfaserpapiers Kraftliner ist wesentlich energieaufwändiger als die des Testliners.

Auswirkungen auf die Ökoeffizienz

Abbildung 31 zeigt die Ergebnisse der untersuchten Szenarien im Vergleich zum Ist-Zustand.



Abbildung 31: Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ – Ökoeffizienz-Portfolio der Szenarien „Änderung des Altpapieranteils im Produkt“ im Vergleich zum Ist-Zustand

Beide Varianten weisen eine im Vergleich zum Ist-Zustand geringere Ökoeffizienz auf. Kostenseitig ist das auf den höheren Preis des Frischfaserpapiers Kraftliner und den erhöhten Energiebedarf im Vergleich zum altpapierbasierten Testliner zurückzuführen. Der höhere Energieverbrauch ist auch wesentliche Ursache des schlechteren Ökologie-Index. Der Austausch einer Lage Testliner durch frischfaserhaltigen Kraftliner verschlechtert den Ökologie-Index um 21 %, der Austausch beider Lagen Testliner um mehr als 40 %.

Die Kosteneffekte sind für das betrachtete Produkt Wellpappeverpackung erheblich, haben aber auf die Kosten des Prozessschritts der Rohpapierherstellung noch deutlichere Auswirkungen. Investitionskosten werden nicht berücksichtigt, da keine wesentlichen Anpassungen

an der Wellpappenanlage vorgenommen werden müssen, um statt Altpapier zugekauftes Frischfaserpapier zu Wellpappe zu verarbeiten [PROJEKTPARTNER 2009].

Im Vergleich zum Ist-Zustand ergeben sich die höchsten Umweltbelastungen bei den Einzelwerten Stickoxide (4.095 EW) und Schwefeldioxid (3.409 EW) sowie für das Versauerungspotenzial (2.414 EW) für die Variante mit zwei Lagen Frischfaserpapier Kraftliner. Eine Entlastung um 797 EW wird für den Einzelwert Ammoniak erzielt. Die Herstellung von Testliner ist mit höheren Ammoniakemissionen verbunden als die von Kraftliner.

Tabelle 19: Produkt „unbedruckte Wellpappeverpackung“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „Änderung des Altpapieranteils im Produkt“ gegenüber dem Ist-Zustand

Parameter	Ist-Zustand	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario	
		Änderung Altpapieranteil: Senkung auf 79,7 % AP	Änderung Altpapieranteil: Senkung auf 59,4 % AP
Aggregierte Werte			
KEA fossil	1.992.774 GJ (12.894 EW)	Entlastung um 17.001 GJ (110 EW)	Entlastung um 39.330 GJ (254 EW)
Treibhauspotenzial [CO ₂ -Äquivalente]	131 Mio. kg (9.992 EW)	Belastung um 2,5 Mio. kg (190 EW)	Belastung um 5,3 Mio. kg (403 EW)
Versauerungspotenzial [SO ₂ -Äquivalente]	-57.871 kg (-1.041 EW)	Belastung um 68.064 kg (1.225 EW)	Belastung um 134.149 kg (2.414 EW)
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO ₄ -Äquival.]	18.054 kg (3.183 EW)	Belastung um 5.041 kg (889 EW)	Belastung um 9.842 kg (1.735 EW)
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	13.080 kg (1.466 EW)	Belastung um 219 kg (25 EW)	Belastung um 533 kg (60 EW)
Nicht aggregierte Einzelparameter			
Ammoniak	22.495 kg (2.844 EW)	Entlastung um 3.113 kg (394 EW)	Entlastung um 6.300 kg (797 EW)
Stickoxide	79.006 kg (3.498 EW)	Belastung um 47.065 kg (2.084 EW)	Belastung um 91.994 kg (4.095 EW)
Schwefeldioxid	-157.450 kg (-7.002 EW)	Belastung um 38.474 kg (1.711 EW)	Belastung um 76.664 kg (3.409 EW)

6.4.2 „Veränderte Altpapierqualität durch Steigerung des Flexodruckanteils“ am Beispiel „Zeitung“

Szenarienbeschreibung

Die Altpapierqualität wirkt sich direkt auf den Herstellungsprozess aus. Besonders der Bereich der grafischen Papiere ist stark von einer hohen Altpapierqualität abhängig, bei der unter anderem auf eine Begrenzung des Anteils an Flexodruckpapieren geachtet werden muss. Flexodruckfarben benetzen nicht – wie übliche Druckfarben – die Papieroberfläche, sondern durchtränken die Papierfasern, sodass das Entfernen der Druckfarben („Deinking“) weitaus schwieriger ist. Bis zu einem Flexodruckanteil von 8 % im Altpapier ist eine unverän-

derte Altpapierfaseraufbereitung möglich [PROJEKTPARTNER 2009]. Flexodruck hat während der letzten Jahre an Bedeutung zugenommen. Aller Voraussicht nach wird dieser Trend weiter anhalten.

Es werden drei Varianten betrachtet, die erforderliche Prozessanpassungen bei schlechter Deinkbarkeit darstellen. Tabelle 20 zeigt die prozessspezifischen Annahmen [PROJEKTPARTNER 2009]. Im Ist-Zustand wurde ein Flexodruckanteil von 0 % angenommen. Durch einen Flexodruckanteil von 8 bis 15 % steigt im Prozess der Altpapierbedarf oder der Wasserstoffperoxideinsatz muss gesteigert werden. Bei einem Flexodruckanteil von mehr als 15 % werden der Altpapier- und der Wasserstoffperoxidbedarf gesteigert.

Tabelle 20: Annahmen für das Szenario „veränderte Altpapierqualität durch Steigerung des Flexodruckanteils“

Bezeichnung	Parameter
veränderte Altpapierqualität durch Flexodruckanteil 8–15 %	proportional erhöhter Altpapierbedarf um 8 %
veränderte Altpapierqualität durch Flexodruckanteil 8–15 %	Wasserstoffperoxidbedarf steigt um 5 %
veränderte Altpapierqualität durch Flexodruck > 15 %	überproportional erhöhter Altpapierbedarf um 20 % Wasserstoffperoxidbedarf steigt um 5 %

Auswirkungen auf die Ökoeffizienz

Abbildung 32 zeigt die Ergebnisse zu den drei Varianten des Szenarios.

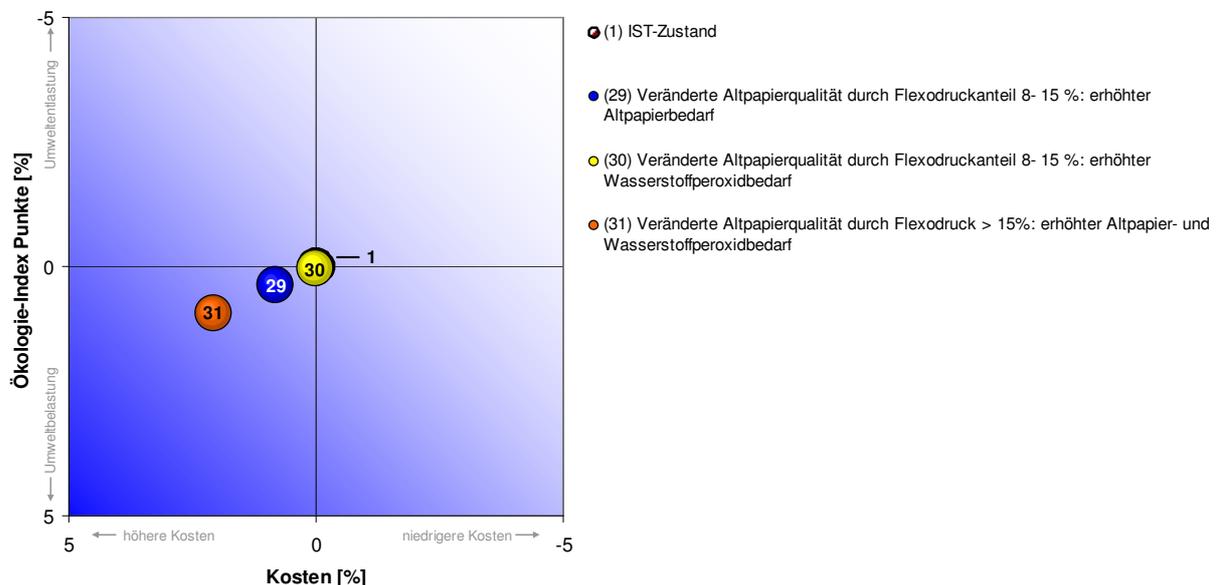


Abbildung 32: Produkt „Zeitung“ – Ökoeffizienz-Portfolio der Szenarien „veränderte Altpapierqualität durch Steigerung des Flexodruckanteils“ im Vergleich zum Ist-Zustand

Alle Varianten führen im Vergleich zum Ist-Zustand zur Verschlechterung der Ökologie-Index-Werte und zur Kostensteigerung. Wenn nur der Wasserstoffperoxideinsatz erhöht wird (Variante 30), sind die Änderungen gegenüber dem Ist-Zustand marginal. Ein höherer Bedarf an Altpapier (Variante 29) hingegen wirkt sich geringfügig auf die Ökoeffizienz aus. Die größ-

te Umwelt- und Kostenwirkung hat die Kombination aus erhöhtem Bedarf an Altpapier und Wasserstoffperoxid, der bei einem Flexodruckanteil > 15 % erforderlich wird (Variante 31).

Die höheren Kosten sind auf die Rohstoffkosten für Altpapier und Wasserstoffperoxid zurückzuführen. Die Kosteneffekte sind für das betrachtete Produkt „Zeitung“ eher gering, haben aber auf die Kosten des Prozessschritts „Herstellung des Zeitungspapiers“ erhebliche Auswirkungen. Investitionskosten werden nicht berücksichtigt, da die Papierherstellung weiterhin an den vorhandenen Papiermaschinen möglich ist [PROJEKTPARTNER 2009].

Tabelle 21: Produkt „Zeitung“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „veränderte Altpapierqualität durch Steigerung des Flexodruckanteils“ gegenüber dem Ist-Zustand

Parameter	Ist-Zustand	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario		
		Flexodruckanteil 8–15 %: höherer Altpapierbedarf	Flexodruckanteil 8–15 %: höherer Wasserstoffperoxidbedarf	Flexodruckanteil > 15 %: höherer Altpapier- und Wasserstoffperoxidbedarf
Aggregierte Werte				
KEA fossil	3.374.142 GJ (21.832 EW)	Belastung um 1.840 GJ (12 EW)	Belastung um 900 GJ (6 EW)	Belastung um 5.490 GJ (36 EW)
Treibhauspotenzial [CO ₂ -Äquivalente]	304 Mio. kg (23.172 EW)	Belastung um 565.010 kg (43 EW)	Belastung um 92.550 kg (7 EW)	Belastung um 1,5 Mio. kg (115 EW)
Versauerungspotenzial [SO ₂ -Äquivalente]	480.178 kg (8.640 EW)	Belastung um 1.890 kg (34 EW)	Belastung um 145 kg (3 EW)	Belastung um 4.890 kg (88 EW)
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO ₄ -Äquival.]	62.496 kg (11.018 EW)	Belastung um 710 kg (125 EW)	Belastung um 10 kg (2 EW)	Belastung um 1.780 kg (314 EW)
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	22.927 kg (2.570 EW)	Belastung um 550 kg (62 EW)	Belastung um 29 kg (3 EW)	Belastung um 1.410 kg (158 EW)
Nicht aggregierte Einzelparameter				
Ammoniak	3.387 kg (428 EW)	Belastung um 22 kg (3 EW)	Belastung um 0,28 kg (<1 EW)	Belastung um 56 kg (7 EW)
Stickoxide	471.727 kg (20.888 EW)	Belastung um 5.400 kg (239 EW)	Belastung um 78 kg (3 EW)	Belastung um 13.570 kg (601 EW)
Schwefeldioxid	127.271 kg (5.660 EW)	Entlastung um 1.950 kg (87 EW)	Belastung um 86 kg (4 EW)	Entlastung um 4.780 kg (212 EW)

Die höchste Umweltbelastung im Vergleich zum Ist-Zustand ergibt sich für die Variante mit erhöhtem Einsatz von Altpapier und Wasserstoffperoxid. Bei allen Szenariovarianten treten die größten Effekte mit bis zu 601 Einwohnerwerten beim Einzelparameter „Stickoxide“ auf. Den mit Abstand geringsten Einfluss auf den Ökologieindex des Produkts „Zeitung“ hat die alleinige Steigerung des Einsatzes von Wasserstoffperoxid.

6.4.3 Zwischenfazit

Der Einsatz von Altpapier reduziert den Bedarf an Frischfaserstoffen wie TMP, Holzschliff und Zellstoff. So steht die Frischfaser für die Herstellung derjenigen Produkte zur Verfügung, die ohne deren Einsatz geforderte Qualitäten nicht erreichen können. Zudem verursacht die Altpapieraufbereitung deutlich weniger Umweltbelastungen als die Herstellung von Frischfaserstoffen.

Für alle betrachteten Produkte führt ein reduzierter Altpapieranteil zu einer Verschlechterung des Ökologie-Index und zu einer Steigerung der Kosten. Eine verminderte Altpapierqualität sollte vermieden werden, weil sie die ökologischen und wirtschaftlichen Vorteile des Altpapierrecyclings reduziert.

Tabelle 22: Produktspezifische Ergebnisse zu Ökologie und Kosten für die im Kapitel „Rohstoff Altpapier“ untersuchten Szenarien

Szenario	Zeitung		Katalog		unbedruckte Wellpappeverpackung	
	Öko-Index	Kosten	Öko-Index	Kosten	Öko-Index	Kosten
	negativer Wert = Verbesserung des Ergebnisses des Ist-Zustands positiver Wert = Verschlechterung des Ergebnisses des Ist-Zustands					
Änderung des Altpapieranteils im Produkt: 60 % Altpapier	15 %	0,85 %	–	–	–	–
Änderung des Altpapieranteils im Produkt: 100 % Altpapier	–24 %	–3,4 %	–	–	–	–
Änderung des Altpapieranteils im Produkt: 20,3 % Frischfaser bzw. 79,7 % Altpapier	–	–	–	–	21 %	3,47 % ¹⁾
Änderung des Altpapieranteils im Produkt: 40,6 % Frischfaser bzw. 59,4 % Altpapier	–	–	–	–	41 %	6,93 %
Änderung der Altpapierqualität: mehr Sortierreste und geringere Faserausbeute	–2 %	0,7 %	–	–	–	–
Änderung der Altpapierqualität: Dispergierung des Altpapiers	–	–	–	–	69 %	1,6 %
Veränderte Altpapierqualität durch Flexodruckanteil 8–15 % ²⁾	0,35 %	0,83 %	0,04 %	0,03 %	–	–
Veränderte Altpapierqualität durch Flexodruckanteil 8- 15 % ³⁾	0,03 %	0,02 %	< 0,01 %	0,03 %	–	–
Veränderte Altpapierqualität durch Flexodruckanteil > 15 % ⁴⁾	0,92 %	2,1 %	0,11 %	0,07 %	–	–

¹⁾ Kosten durch zweite Lage Kraftliner steigen proportional aufgrund des Zukaufs des Frischfaserpapiers und der erhöhten Transportaufwendungen (weite Entfernungen) aus Skandinavien.
²⁾ höherer Altpapierbedarf
³⁾ höherer Wasserstoffperoxideinsatz
⁴⁾ höherer Altpapierbedarf und Wasserstoffperoxideinsatz

Der Altpapiereinsatz in geeigneten Anwendungen bietet erhebliche Vorteile für Kosten und Umwelt. Um das auch künftig zu ermöglichen, ist die Sicherung der Versorgung mit Altpapier

von hoher Qualität erforderlich. Die wachsende Nachfrage nach Biomasse als regenerativem Energieträger könnte künftig Begehrlichkeiten wecken, Altpapier als Brennstoff einzusetzen. Als Rohstoff nutzbares Altpapier sollte nicht verbrannt werden, da der Einsatz in der Papierindustrie deutliche ökologische Vorteile hat. Es ist unerlässlich, dass die flächendeckende, getrennte Sammlung von Altpapier mindestens auf heutigem Niveau langfristig gesichert wird.

6.5 Papierlogistik

6.5.1 Papierlogistik am Beispiel „Katalog“

Szenarienbeschreibung

Im Szenario „Papierlogistik“ werden die ökologischen und ökonomischen Effekte verminderter Lkw-Transportdistanzen von maximal 100 km durch regionale Lieferbeziehungen und die Effekte des Transports der Roh- und Betriebsstoffe per Bahn analysiert. Im Bahn-Szenario werden Stoffe mit Transportentfernungen von weniger als 100 km weiterhin per Lkw transportiert.

Beide Szenarien sind fiktiv. Weder der Transport aller Rohstoffe über derart kurze Distanzen noch der deutlich vermehrte Bezug über die Bahn sind realisierbar. Die Szenariovarianten sollen ausschließlich die maximale Größenordnung der Ökoeffizienzpotenziale deutlich machen.

Auswirkungen auf die Ökoeffizienz

Das Ökoeffizienzportfolio in Abbildung 33 stellt den Ist-Zustand und die beiden Szenariovarianten gegenüber.

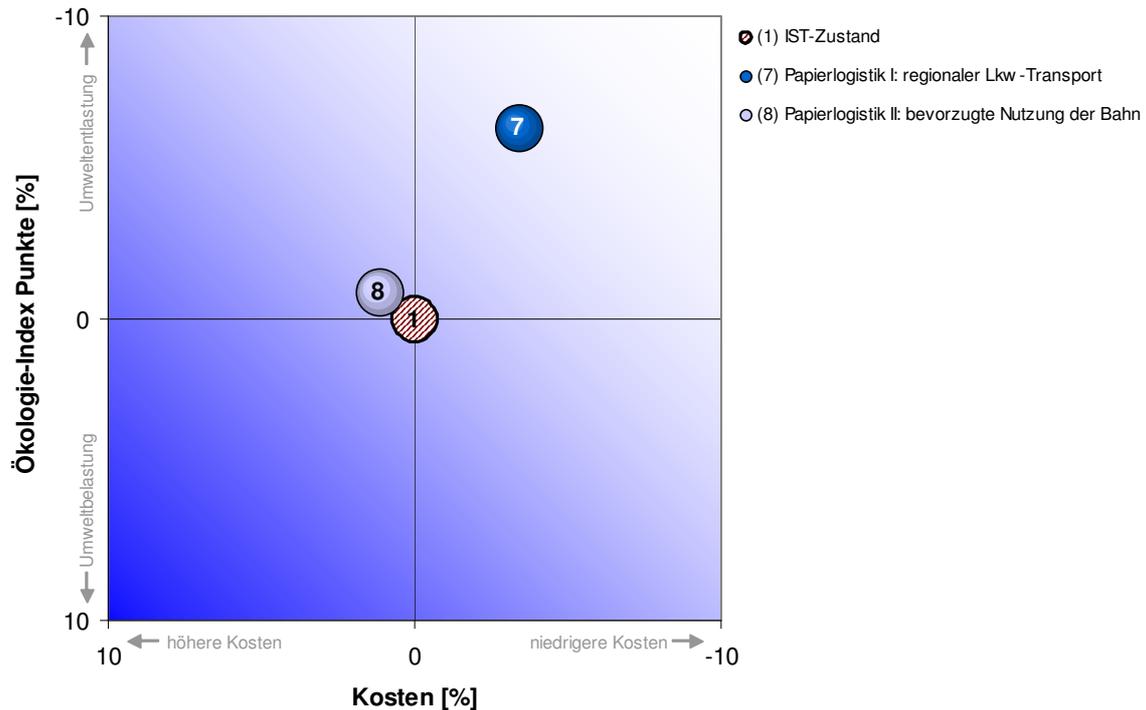


Abbildung 33: Produkt „Katalog“ – Ökoeffizienz-Portfolio der Szenarien „Papierlogistik“ am Beispiel „Katalog“ im Vergleich zum Ist-Zustand

Die Variante „regionaler Lkw-Transport“ weist gegenüber dem Ist-Zustand deutliche ökologische und wirtschaftliche Vorteile auf, die auf eine erhebliche Reduzierung der Transportentfernungen zurückzuführen sind.

Der bevorzugte Bahntransport wirkt sich aufgrund unveränderter Transportentfernungen ökologisch nur geringfügig entlastend aus. Mehrkosten entstehen durch höhere spezifische Kosten für geringe Bahn-Transportentfernungen und durch für dieses Transportmittel verhältnismäßig geringe Beladungen. Hier ist der Bahntransport gegenüber einem Transport mit hoher Lkw-Nutzlast im Nachteil. Ökologische Verbesserungen sind bedingt durch geringere spezifische Emissionen im Szenario „Bevorzugte Nutzung der Bahn“.

Beide Szenarien führen im Vergleich zum Ist-Zustand zu einer Umweltentlastung.

Tabelle 23: Produkt „Katalog“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „regionaler Lkw-Transport“ und „bevorzugte Nutzung der Bahn“ gegenüber dem Ist-Zustand

Parameter	Ist-Zustand	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario	
		Papierlogistik I: regionaler Lkw-Transport	Papierlogistik II: bevorzugte Nutzung der Bahn
Aggregierte Werte			
KEA fossil	1,24 Mio. GJ (8.030 EW)	Entlastung um 32.220 GJ (208 EW)	Entlastung um 15.350 GJ (99 EW)
Treibhauspotenzial [CO ₂ -Äquivalente]	95,2 Mio. kg (7.261 EW)	Entlastung um 2,6 Mio. kg (198 EW)	Entlastung um 1,1 Mio. kg (84 EW)
Versauerungspotenzial [SO ₂ -Äquivalente]	154.550 kg (2.781 EW)	Entlastung um 17.480 kg (314 EW)	Entlastung um 1.420 kg (26 EW)
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO ₄ -Äquival.]	19.770 kg (3.485 EW)	Entlastung um 2.850 kg (502 EW)	Entlastung um 110 kg (20 EW)
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	32.040 kg (3.591 EW)	Entlastung um 940 kg (106 EW)	Belastung um 440 kg (49 EW)
Nicht aggregierte Einzelparameter			
Ammoniak	5.450 kg (689 EW)	Entlastung um 14 kg (2 EW)	Entlastung um 6 kg (1 EW)
Stickoxide	137.530 kg (6.090 EW)	Entlastung um 21.880 kg (969 EW)	Entlastung um 850 kg (38 EW)
Schwefeldioxid	38.450 kg (1.710 EW)	Entlastung um 2.070 kg (92 EW)	Entlastung um 850 kg (38 EW)

Im Vergleich zum Ist-Zustand ergibt sich die höchste Umweltentlastung mit 969 Einwohnerwerten für den regionalen Lkw-Transport im Einzelparameter „Stickoxide“ sowie mit 502 Einwohnerwerten in der Wirkungskategorie „terrestrisches Eutrophierungspotenzial“. Diese Effekte sind überwiegend auf Transporte im Papierherstellungsprozess zurückzuführen.

Für den Bahntransport ergeben sich nur geringe Umweltentlastungen. Der größte Effekt ergibt sich mit 38 Einwohnerwerten im Einzelparameter „Schwefeloxide“. In der Wirkungskategorie „Fotooxidantienbildung“ kommt es zu zusätzlichen Umweltbelastungen von 49 Einwohnerwerten.

6.5.2 Zwischenfazit

Tabelle 24 zeigt, dass die am Beispiel des Produkts „Katalog“ ermittelten ökologischen und wirtschaftlichen Vorteile einer regionalen Versorgung für alle untersuchten Produkte gegeben sind. Ein bevorzugter Bahntransport ergibt mit einer Ausnahme für alle Produkte Umweltentlastungen bei gleichzeitigem Kostenanstieg. Für das Volumenprodukt „Küchenrolle“ sinken durch den Bahntransport die Kosten. Die umfangreichere Nutzung von Bahntransporten ist

für die Papierwirtschaft jedoch durch einige Hürden eingeschränkt. Insbesondere setzen sie Investitionen in die öffentliche Infrastruktur voraus.

Tabelle 24: Produktspezifische Ergebnisse zu Ökologie und Kosten für die im Kapitel „Papierlogistik“ untersuchten Szenarien

Szenario	Katalog		unbedruckte Wellpappeverpackung		Buch		Zeitung		Küchenrolle	
	Ö-Ind. ¹⁾	Kosten	Ö-Ind.	Kosten	Ö-Ind.	Kosten	Ö-Ind.	Kosten	Ö-Ind.	Kosten
	negativer Wert = Verbesserung des Ergebnisses des Ist-Zustands positiver Wert = Verschlechterung des Ergebnisses des Ist-Zustands									
regionaler Lkw-Transport	-6,3 %	-3,4 %	-0,82 %	-0,21 %	-9,2 %	-2,3 %	-0,91 %	-0,18 %	-8,8 %	-16 %
bevorzugte Nutzung der Bahn	-0,85 %	1,2 %	-2,6 %	2,9 %	-4,7 %	1,4 %	-2,3 %	0,11 %	-0,99 %	-0,8 %

¹⁾ Ökologie-Index

6.6 Produktoptimierung

Jede Papiersorte hat spezielle Eigenschaften, welche die Anwendung beim Papierverarbeiter erheblich beeinflussen können. Entsprechend oft werden von Kunden Änderungen gewünscht, die zum Teil nur mit hohem finanziellem oder technischem Aufwand umgesetzt werden können. Neben vielen anderen Eigenschaften sind bei grafischen Papieren Grammatik und Papierweiße wichtig. Besonders bei Büchern, aber auch bei Katalogen und in geringerem Maß bei Zeitungen sind zudem Griffigkeit und Papierfarbe entscheidend für den Erfolg beim Kunden. Auf die Gestaltung von Papierprodukten nehmen Papierhersteller und Papierverarbeiter Einfluss, aber auch die Anwender von Papierprodukten. So gewinnen Papier sparende oder papierfreie Konzepte beispielsweise in der Werbebranche kontinuierlich an Bedeutung.

Um die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen wichtiger Ansätze zur Optimierung von Papierprodukten zu analysieren, wurden folgende Szenarien untersucht:

Anpassung der Grammatik: Aktuelles Szenario für die Produkte „Buch“ und „Zeitung“, in dem die Auswirkungen einer verminderten Grammatik, also eines geringeren Flächengewichts, untersucht wurden. Für die Zeitung wurde die Grammatik um 6 % (vgl. Abschnitt 6.6.1) und für das Buch um 15 % gesenkt.

Anpassung der Papierweiße: Aktuelles Szenario für die Produkte „Katalog“, „Buch“ und „Küchenrolle“. Einer der häufigsten Kundenwünsche ist die Veränderung (meist Erhöhung) der Papierweiße. Bei Papier auf Holzstoffbasis kann hierzu das Verhältnis der Füllstoffe zueinander variiert werden. Bei der Zellstoffherstellung muss dagegen der Wasserstoffperoxideinsatz verändert werden. Sollte das nicht ausreichen, bleibt noch der Einsatz anderer Bleichmittel wie Chlordioxid oder Ozon. In diesem Szenario werden eine Reduzierung bzw. Erhöhung der Kalksteinmenge um 20 %, eine Reduzierung bzw. Erhöhung der Kaolinmenge um

20 % sowie eine Senkung bzw. Erhöhung des Wasserstoffperoxideinsatzes um 10 % untersucht.

Für das Produkt „Zeitung“ wurde eine Veränderung der Papierweiße nicht untersucht. Aktuelle Statistiken geben keine Anzeichen für einen Trend hin zu höherer Papierweiße. Ein Standardzeitungsdruckpapier verfügt über eine Papierweiße von ISO 59. Durchgreifende technische Entwicklungen im Bereich des Weißgrades von Deinkingstoffen sind ebenfalls nicht zu erwarten [PROJEKTPARTNER 2009].

Energetische Produktoptimierung: Aktuelles Szenario für das Produkt „Küchenrolle“. Höhere Anforderungen an die Produkte führen zu einem höheren Energieverbrauch. So ist zum Beispiel das Temperaturniveau der Trockenhauben in den letzten Jahren von 420 °C auf 520 °C gestiegen. Um den Anstieg des Energiebedarfs zu minimieren, können verschiedene technische Maßnahmen umgesetzt werden. Beispielsweise kann die Abluft von Gasturbinen in Trockenhauben geführt werden, um Erdgas einzusparen, oder es kann mit einer Zylinderisolation sowie einer optimierten Brennerfahrweise der Dampfbedarf verringert werden. Das in diesem Szenario umgesetzte, mit überschaubaren Mitteln innerhalb weniger Jahre realisierbare Einsparpotenzial wurde von den Projektpartnern für die Papierherstellung mit ca. 10 % angenommen. Für die Zellstoffherstellung wird derzeit kein Optimierungsbedarf gesehen.

Zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion: Aktuelles Szenario für das Produkt „Katalog“. In diesem Szenario wurde der im Ist-Zustand untersuchte 240-seitige Katalog in vier zielgruppenorientierte Kataloge mit jeweils 96 Seiten Umfang und einem Viertel der Auflage überführt, für die zudem höherwertiges Papier Einsatz fand (vgl. Abschnitt 6.6.2).

Für die beiden Szenarien „Anpassung der Grammaturniveau“ und „zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion“ werden nachfolgend die Ergebnisse exemplarisch jeweils an einem Produkt ausführlich vorgestellt. Die wesentlichen Ergebnisse aller Szenarien sind im Abschnitt 6.6.3 zusammengefasst.

6.6.1 Anpassung der Grammaturniveau am Beispiel „Zeitung“

Szenarienbeschreibung

Im Sektor der grafischen Papiere wird ein Trend zu leichteren Papieren beobachtet [CEPI-PRINT 2007]. Im Szenario wird für das Produkt „Tageszeitung“ eine Grammaturreduktion von 45 g/m² auf 42,5 g/m² um etwa 6 % untersucht. Das reduziert den Bedarf an Papier sowie elektrischer und thermischer Energie. Bei einer nicht antriebs- oder trocknungslimitierten Papiermaschine führt die Flächengewichtsreduktion zur Einsparung elektrischer Energie, besonders für Mahlung und Vakuumherzeugung. Bei einer antriebslimitierten Maschine kommt es zu verminderter Produktivität sowie zur Einsparung thermischer Energie [PROJEKTPARTNER 2009]. Für dieses Szenario werden die Annahmen produktspezifisch entwickelt und im Modell berücksichtigt [PROJEKTPARTNER 2009].

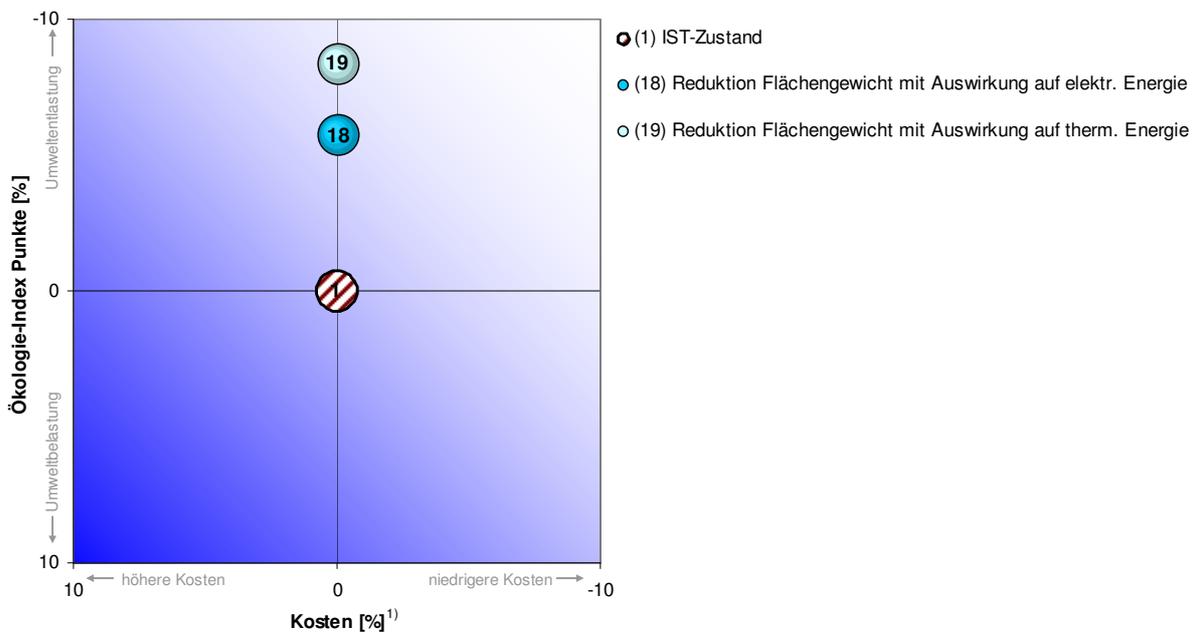
Untersucht werden zwei Szenarienvarianten. Variante 1 bildet einen reduzierten Bedarf an elektrischer Energie ab, Variante 2 eine Senkung des thermischen Energiebedarfs.

Tabelle 25: Produkt „Zeitung“ – Annahmen für das Szenario „Anpassung der Grammatur“

Bezeichnung	Parameter
Reduktion des Flächengewichts auf:	42,5 g/m ²
Reduktion des Flächengewichts mit Auswirkung auf elektrische Energie: Verringerung des elektrischen Energiebedarfs der Papiermaschine	- 1,5 %
Reduktion Flächengewicht mit Auswirkung auf thermische Energie: Verringerung des thermischen Energiebedarfs der Papiermaschine	- 3 %

Auswirkungen auf die Ökoeffizienz

Abbildung 34 zeigt die Ergebnisse für den Ist-Zustand und die beiden Varianten des Szenarios.



¹⁾ Kostenänderung ergibt sich lediglich durch einen geringeren Bedarf an Altpapier zur Herstellung des Zeitungsdruckpapiers. Eine Papierpreis-anpassung zwischen Papierhersteller und -verarbeiter wurde nicht berücksichtigt.

Abbildung 34: Produkt „Zeitung“ – Ökoeffizienz-Portfolio der Szenarien „Anpassung der Grammatur“ im Vergleich zum Ist-Zustand

Beide Varianten weisen im Vergleich zum Ist-Zustand deutliche ökologische Vorteile auf. Das beste Ergebnis liefert die Variante mit Reduktion der thermischen Energie. Beide Varianten ergeben für das Produkt „Zeitung“ nur sehr geringe Kostenentlastungen. Der Einfluss auf die Kosten des Teilprozesses „Papierherstellung“ ist jedoch deutlich größer. Investitionskosten wurden nicht berücksichtigt, da eine Flächengewichtsreduktion in diesem Umfang mit den verfügbaren Papiermaschinen und ohne Rezepturänderung realisierbar ist [PROJEKTPARTNER 2009].

Beide im Szenario betrachteten Varianten führen zu einer Umweltentlastung, die aus der Reduktion des Energiebedarfs resultiert. Dabei führt die Variante mit einem niedrigeren Bedarf an elektrischer Energie zu einer Umweltentlastung von rund 6 %, während eine Reduktion des thermischen Energiebedarfs die Umwelt um mehr als 8 % entlastet.

Tabelle 26: Produkt „Zeitung“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenarien „Anpassung der Grammatik“ gegenüber dem Ist-Zustand

Parameter	Ist-Zustand	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario	
		Reduktion des Flächengewichts mit Auswirkung auf die elektrische Energie	Reduktion des Flächengewichts mit Auswirkung auf die thermische Energie
Aggregierte Werte			
KEA fossil	3.374.142 GJ (21.832 EW)	Entlastung um 208.000 GJ (1.346 EW)	Entlastung um 252.550 GJ (1.634 EW)
Treibhauspotenzial [CO ₂ -Äquivalente]	304 Mio. kg (23.172 EW)	Entlastung um 17 Mio. kg (1.312 EW)	Entlastung um 21,8 Mio. kg (1.664 EW)
Versauerungspotenzial [SO ₂ -Äquivalente]	480.178 kg (8.640 EW)	Entlastung um 27.680 kg (498 EW)	Entlastung um 48.130 kg (866 EW)
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO ₄ -Äquival.]	62.496 kg (11.018 EW)	Entlastung um 3.190 kg (562 EW)	Entlastung um 5.650 kg (997 EW)
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	22.927 kg (2.570 EW)	Entlastung um 208.000 GJ (1.346 EW)	Entlastung um 252.550 GJ (1.634 EW)
Nicht aggregierte Einzelparameter			
Ammoniak	3.387 kg (428 EW)	Entlastung um 73 kg (9 EW)	Entlastung um 117 kg (14 EW)
Stickoxide	471.727 kg (20.888 EW)	Entlastung um 24.320 kg (1.077 EW)	Entlastung um 43.180 kg (1.912 EW)
Schwefeldioxid	127.271 kg (5.660 EW)	Entlastung um 8.750 kg (389 EW)	Entlastung um 15.500 kg (689 EW)

Im Vergleich zum Ist-Zustand ergeben sich die höchsten Umweltentlastungen für die Variante mit Einsparung thermischer Energie. Hier sind die größten Effekte in den Wirkungskategorien „Ressourcenbeanspruchung“ (KEA fossil) mit 1.634 Einwohnerwerten und „Treibhauspotenzial“ mit 1.664 Einwohnerwerten sowie beim Einzelparameter „Stickoxide“ mit 1.912 Einwohnerwerten zu verzeichnen. Umweltbelastungen treten in keiner Kategorie auf. Bei den Entlastungen durch die Variante mit Reduktion des thermischen Energiebedarfs stehen die gleichen Parameter im Vordergrund. Die Werte sind allerdings kleiner.

6.6.2 Zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion am Beispiel „Katalog“

Szenarienbeschreibung

In der Print-Werbung verlieren umfangreiche Kataloge mit hoher Auflage immer mehr an Bedeutung. Der Trend geht zu stärker auf einzelne Zielgruppen fokussierten Kleinauflagen,

d. h. Auflagenstärke und Produktumfang sinken. Um die Auswirkungen dieses Trends zu untersuchen, wurde ein Szenario entwickelt, in dem der Katalog durch vier zielgruppen- und auflagenorientierte Kataloge auf höherwertigerem Papier ersetzt wurde (Tabelle 27).

Tabelle 27: Produkt „Katalog“ – Parameter des Szenarios „zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion“

Parameter	Ist-Zustand	Zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion
Kataloge: Anzahl	1	4
Katalog: Auflage	83,8 Mio.	jeweils 20,97 Mio.
Inhaltsseiten: Anzahl pro Katalog	240	96
Inhaltsseiten: Papiersorte	SC-Papier	LWC-Papier

Auswirkungen auf die Ökoeffizienz

Abbildung 35 zeigt die Ergebnisse für den Ist-Zustand und das Szenario „zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion“.

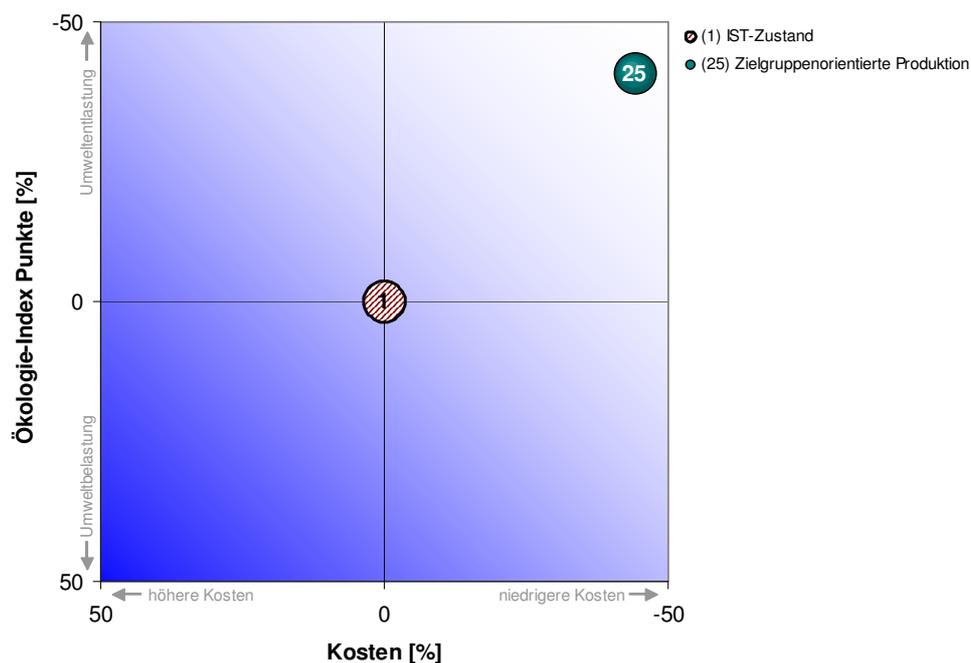


Abbildung 35: Produkt „Katalog“ – Ökoeffizienz-Portfolio des Szenarios „zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion“ im Vergleich zum Ist-Zustand

Das Szenario zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion weist deutliche Vorteile gegenüber dem Ist-Zustand auf. Die Kosten sind um ca. 44 % und der Ökologie-Index um ca. 41 % geringer.

Dabei wird die Umwelt in allen Wirkungskategorien und Einzelparametern deutlich entlastet (Tabelle 28). Die größten Effekte ergeben sich bei den Wirkungskategorien Ressourcenbeanspruchung (KEA fossil) mit 3.220 EW und Treibhauspotenzial mit 2.940 EW.

Tabelle 28: Produkt „Katalog“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung des Szenarios „zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion“ gegenüber dem Ist-Zustand

Parameter	Ist-Szenario	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario „zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion“
Aggregierte Werte		
KEA fossil	1,24 Mio. GJ (8.030 EW)	Entlastung um 497.270 GJ (3.220 EW)
Treibhauspotenzial [CO ₂ -Äquivalente]	95,2 Mio. kg (7.261 EW)	Entlastung um 38,5 Mio. kg (2.940 EW)
Versauerungspotenzial [SO ₂ -Äquivalente]	154.550 kg (2.781 EW)	Entlastung um 58.730 kg (1.060 EW)
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO ₄ -Äquivalente]	19.770 kg (3.485 EW)	Entlastung um 8.020 kg (1.410 EW)
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	32.040 kg (3.591 EW)	Entlastung um 16.350 kg (1.830 EW)
Nicht aggregierte Einzelparameter		
Ammoniak	5.450 kg (689 EW)	Entlastung um 4.780 kg (600 EW)
Stickoxide	137.530 kg (6.090 EW)	Entlastung um 48.970 kg (2.170 EW)
Schwefeldioxid	38.450 kg (1.710 EW)	Entlastung um 12.260 kg (545 EW)

6.6.3 Zwischenfazit

Die Beteiligten der Wertschöpfungskette haben vielfältige Möglichkeiten, die Ökoeffizienz der Produkte zu verbessern. Die Ergebnisse aller im Abschnitt „Produktoptimierung“ betrachteten Szenarien sind für die betroffenen Papierprodukte in Tabelle 29 zusammengefasst.

Das Szenario zielgruppen-/auflagenorientierte Produktion ist für das Produkt „Katalog“ mit einer erheblichen Verbesserung der Ökoeffizienz verbunden. Ursache ist die reduzierte Papiermenge.

Ökologische Vorteile durch Anpassung der Papierweiße sind nur durch Reduzierung der Kaolinmenge bei gleichzeitiger Erhöhung der Kalksteinmenge zu erreichen oder durch Verringerung des Wasserstoffperoxideinsatzes. Eine Steigerung des Einsatzes von Kalkstein verschlechtert die Umweltwirkungen der Produkte.

Eine Verringerung der Papiergrammatur führt bei den untersuchten Produkten in jedem Fall zu ökologischen Verbesserungen. Die Auswirkungen auf die Kosten sind nur gering. Einzige

Ausnahme ist die Reduzierung der Grammaturnum ca. 15 %, die für das Produkt „Buch“ untersucht wurde und zu einer Senkung der Kosten um ca. 4,1 % führt.

Die speziell für die Herstellung von Küchenrollen untersuchte energetische Produktoptimierung bei einem geringeren Wärme-/Dampfbedarf führt zu geringen ökologischen Verbesserungen und hat auf die Kosten nur wenig Einfluss.

Tabelle 29: Zusammenfassung der Ergebnisse für den Abschnitt „Produktoptimierung“

Szenario	Katalog		Buch		Zeitung		Küchenrolle	
	Ö-Ind. ¹⁾	Kosten	Ö-Ind.	Kosten	Ö-Ind.	Kosten	Ö-Ind.	Kosten
	negativer Wert = Verbesserung des Ergebnisses des Ist-Zustands positiver Wert = Verschlechterung des Ergebnisses des Ist-Zustands							
Anpassung von Papierweiße I ²⁾	1,2 %	0,25 %	0,89 %	-0,06 %	-	-	-	-
Anpassung von Papierweiße II ³⁾	-1,2 %	-0,22 %	-0,89 %	0,1 %	-	-	-	-
Anpassung von Papierweiße III ⁴⁾	-	-	0,14 %	0,04 %	-	-	2,1 %	1,3 %
Anpassung von Papierweiße IV ⁵⁾	-	-	-0,23 %	-0,02 %	-	-	-1,5 %	-0,26 %
Anpassung von Grammaturn I ⁶⁾	-	-	-9,8 %	-4,1 %	-	-	-	-
Anpassung von Grammaturn II ⁷⁾					-5,7 %	-0,07 %		
Anpassung von Grammaturn III ⁸⁾					-8,4 %	-0,06 %		
Zielgruppenorientierte/auflagenorientierte Produktion	-41 %	-44 %	-	-	-	-	-	-
energetische Produktoptimierung	-	-	-	-	-	-	-1,9 %	-0,18 %

¹⁾ Ökologie-Index

²⁾ Papierweiße I: Reduzierung der Kalksteinmenge sowie Erhöhung der Kaolinmenge

³⁾ Papierweiße II: Reduzierung der Kaolinmenge sowie Erhöhung der Kalksteinmenge

⁴⁾ Papierweiße III: Erhöhung der Wasserstoffperoxidmenge inkl. Anpassung des Energiebedarfs

⁵⁾ Papierweiße IV: Reduzierung der Wasserstoffperoxidmenge inkl. Anpassung des Energiebedarfs

⁶⁾ Anpassung der Grammaturn I: Reduktion des Flächengewichts um 15 %

⁷⁾ Anpassung der Grammaturn II: Reduktion des Flächengewichts um ca. 6 % mit Auswirkung auf elektrische Energie

⁸⁾ Anpassung der Grammaturn III: Reduktion des Flächengewichts um ca. 6 % mit Auswirkung auf thermische Energie

Die Reduzierung des Flächengewichts von Zeitungen führt zu einer Verbesserung der Umweltwirkungen.

Auflagenoptimierte und zielgruppengerechte Kataloge mit geringerem Umfang können selbst dann deutliche Vorteile gegenüber umfangreichen Komplettkatalogen haben, wenn sie mit besseren Papierqualitäten gefertigt werden. Die Fragen, ob mit diesem Szenario der gleiche Werbeerfolg erzielt werden kann und wie es sich auf die Logistik auswirkt, wurde nicht bewertet.

6.7 Elektronische Medien

Die Zahl der Zeitungsabonnements in digitaler Form macht bisher nur einen Bruchteil der Verträge aus; sie wächst jedoch kontinuierlich. Internetbasierte Kataloge werden immer mehr angeboten und genutzt. Die Lektüre von Büchern in elektronischer Form ist noch wenig ver-

breitet, dürfte aber künftig an Bedeutung gewinnen. Besonders der wachsende Anteil an Lesern, die mit Computern und Internetnutzung groß geworden und von klein auf mit der Lektüre am Bildschirm vertraut sind, dürfte diesen Trend weiter verstärken. Gedruckte Zeitungen, Kataloge oder Bücher werden dadurch nicht vom Markt verschwinden, Papierhersteller, Zeitungsindustrie und Verlage müssen sich aber mit dieser Entwicklung auseinandersetzen und darauf reagieren. Dabei sollten ökologische und wirtschaftliche Gesichtspunkte berücksichtigt werden.

In den dazu untersuchten Szenarien werden das Lesen von Katalog und Zeitung am Desktop-Computer sowie von Buch und Zeitung an einem mobilen Lesegerät (E-Reader) dem Ist-Zustand gegenübergestellt. Die Annahmen für die Modellierung werden aus einer in Schweden zum Thema durchgeführten Studie [KTH 2009] abgeleitet und auf deutsche Verhältnisse angepasst [PROJEKTPARTNER 2009].

Nutzung von E-Readern: Strategisches Szenario für die Produkte „Zeitung“ und „Buch“. Nutzung von mobilen Lesegeräten für die Lektüre. Das Zeitungsabonnement wird in der ersten Variante auf einem Gerät und in der zweiten Variante auf drei Geräten je Abonnement oder Haushalt gelesen. Das Buch wird auf einem Gerät gelesen (vgl. Abschnitt 6.7.1).

Nutzung von E-Newspapers: Strategisches Szenario für die Produkte „Zeitung“ und „Katalog“. Lesen von Zeitung und Katalog am Desktop-Computer. Es werden unterschiedliche Lesezeiten und zusätzlich für die Zeitung der Ausdruck einer Seite je Zeitung untersucht (vgl. Abschnitt 6.7.2).

6.7.1 Nutzung von E-Readern am Beispiel „Buch“

E-Reader bieten kompakten Zugriff auf etliche Bücher, einen mit einem Print-Buch in gewissem Umfang vergleichbaren Lesekomfort und lange Laufzeiten. Für die kommenden Jahre sind Geräte mit farbiger Anzeige in Planung, auf denen auch Bildbände und Hochglanzmagazine gelesen werden können.

Der E-Reader wurde in seinen Komponenten gemäß einer Studie des KTH Centre for Sustainable Communications [KTH 2009] modelliert. Das Modell beinhaltet das Innenleben des Geräts, bestehend aus einer Leiterplatte und einem Lithium-Ionen-Akku, das Gehäuse aus primärem Polycarbonat und ABS, das Displaymodul und die eInk⁸. Die Lebensdauer des E-Readers wurde analog der durchschnittlichen Lebensdauer eines Handys mit 21 Monaten angenommen [PROJEKTPARTNER 2009]. Das Gerät wurde anteilig einer Leseinheit „Buch“ und „Zeitung“ zugerechnet und die Verwertung am Lebenswegende berücksichtigt. Der Energiebedarf für den Download der Produkte und den Betrieb der Geräte ist ebenfalls eingeschlossen.

Die in Deutschland vergleichsweise konservative Preispolitik und die Verwendung kopiergeschützter Dokumente in diversen spezifischen Geräteformaten sorgen noch für Zurückhaltung der Leser. E-Reader-Editionen von Büchern haben in Deutschland meist den gleichen Preis wie die aktuelle Print-Auflage. Gelegentlich werden sie bis zu 20 % günstiger angeboten. Deutlich preiswerter werden sie erst bei Erscheinen der Taschenbuchausgabe. Ursache

⁸ e-Ink ist eine Displaytechnologie, die das Erscheinungsbild von gedrucktem Papier nachbildet [EBOOKPORTAL 2009]

ist unter anderem die Buchpreisbindung, die in Deutschland kaum Kostenvorteile für E-Reader ermöglicht. Dennoch gibt es auch Literatur, die kostenfrei zur Verfügung steht.

Tabelle 30 fasst die Annahmen für das Szenario zusammen.

Tabelle 30: Annahmen für das Szenario „Nutzung von E-Reader“

Bezeichnung	Parameter
Buch	
Lebensdauer des Geräts	1,75 Jahre/21 Monate
Lebensdauer des Geräts in Stunden	106,7 Stunden ¹⁾
Lesedauer je Buch (eine Leseinheit)	10 Stunden
gelesene Bücher über Lebensdauer	10,67 ²⁾
weitere tägliche Nutzung (z. B. Kataloge, Dokumente)	keine
¹⁾ Es wird angenommen, dass das Gerät ausschließlich zum Lesen der Bücher genutzt wird. ²⁾ Lesertypen-Analyse des Börsenvereins des Deutschen Buchhandels: 43 % Wenigleser mit weniger als neun Büchern im Jahr (Annahme: 4,5 Bücher), 23 % Durchschnittsleser mit neun bis 18 Büchern im Jahr (Annahme: 13,5 Bücher) und 25 % Vielleser mit mehr als 18 Büchern im Jahr (Annahme: 22,5 Bücher). Über die Annahmen gemittelt ergeben sich durchschnittlich 10,6 Bücher pro Jahr und Leser.	

Umweltbelastungen und Kosten durch das Gerät selbst (Herstellung und Kaufpreis) wurden auf die Zahl der gelesenen Bücher umgelegt.

Auswirkungen auf die Ökoeffizienz

Abbildung 36 zeigt die Ergebnisse für den Ist-Zustand und das Szenario Nutzung von E-Readern.

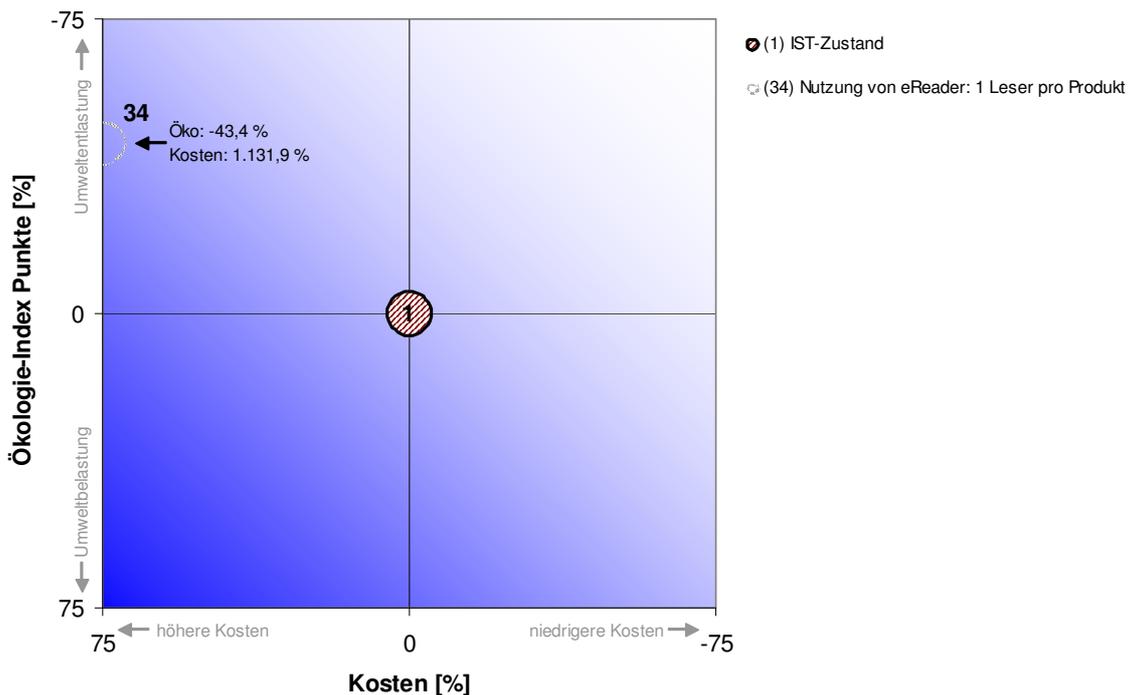


Abbildung 36: Produkt „Buch“ – Ökoeffizienzportfolio des Szenarios „Nutzung von E-Readern“ im Vergleich zum Ist-Zustand. Da die Kostenabweichung weit außerhalb der Skalierung liegt, sind für Kosten und Ökologie-Index-Punkte nur die Zahlenwerte angegeben.

Die dargestellte Variante der Nutzung des E-Readers durch einen Leser je Buch führt zu einer deutlichen Umweltentlastung bei drastischer Kostensteigerung.

Die Kostenbelastung durch den E-Reader geht fast vollständig auf dessen Kaufpreis [c't 2009] zurück, der lediglich auf das Lesen von 10,67 Büchern umgelegt wird. Nur ein geringer Teil der Kosten fällt für den Betrieb des Geräts an, das nach zwölfstündigem Gebrauch aufgeladen werden muss [KTH 2009]. Der Einkaufspreis der Bücher spielt keine Rolle, da dieser infolge der Buchpreisbindung für E-Books und für gedruckte Bücher gleich ist.

Die im Szenario betrachtete Variante führt im Vergleich zum Ist-Zustand zu deutlich geringeren Umweltbelastungen. Die Belastungen sind auf den Herstelleraufwand für den E-Reader und in geringem Maß auf dessen Energieverbrauch zurückzuführen.

Tabelle 31: Produkt „Buch“ – Beiträge zur Umweltbe- und Entlastung durch das Szenario „Nutzung von E-Readern“ gegenüber dem Ist-Zustand

Parameter	Ist-Zustand	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario „Nutzung von E-Readern“
Aggregierte Werte		
KEA fossil	260.520 GJ (1.686 EW)	Entlastung um 196.012 GJ (1.268 EW)
Treibhauspotenzial [CO ₂ -Äquivalente]	20,7 Mio. kg (1.581 EW)	Entlastung um 12 Mio. kg (926 EW)

Parameter	Ist-Zustand	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario „Nutzung von E-Readern“
Versauerungspotenzial [SO ₂ -Äquivalente]	73.880 kg (1.329 EW)	Entlastung um 17.631 kg (317 EW)
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO ₄ -Äquivalente]	6.350 kg (1.120 EW)	Entlastung um 2.961 kg (522 EW)
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	3.120 kg (349 EW)	Entlastung um 1.320 kg (148 EW)
Nicht aggregierte Einzelparameter		
Ammoniak	1.190 kg (151 EW)	Belastung um 321 kg (41 EW)
Stickoxide	45.700 kg (2.024 EW)	Entlastung um 23.628 kg (1.046 EW)
Schwefeldioxid	38.620 kg (1.717 EW)	Entlastung um 3.934 kg (175 EW)

Im Vergleich zum Ist-Zustand ergibt sich die höchste Umweltentlastung mit 1.268 Einwohnerwerten in der Wirkungskategorie „Ressourcenbeanspruchung“ (KEA fossil). Diese Einsparungen resultieren aus deutlich geringeren Emissionen, die mit der anteiligen Herstellung des E-Readers und seinem Energieverbrauch im Vergleich zum Printmedium verbunden sind. Lediglich die Ammoniakemissionen steigen um 41 Einwohnerwerte. Diese Steigerung ergibt sich vor allem aus der Herstellung des E-Readers.

Kosten und Umweltbelastungen im Szenario werden sehr stark durch das Leseverhalten beeinflusst. Wird der E-Reader intensiver genutzt, verbessern sich Kosten und Umwelteffekte entsprechend.

6.7.2 Nutzung von E-Newspapers für das Produkt „Zeitung“

Als Alternative oder auch Ergänzung zur gedruckten Zeitung gewinnen elektronische Versionen (E-Newspaper), die am Computer gelesen werden, immer mehr an Bedeutung. Dazu kann das E-Newspaper anstelle des Printmediums oder zusätzlich zu diesem abonniert werden. Derzeit werden E-Newspapers hauptsächlich als Zusatzabonnements bestellt.

Aufgrund des generellen Trends zu elektronischen Medien ist unter Ökoeffizienzgesichtspunkten dennoch der Vergleich einer E-Newspaper mit der Printversion von Interesse. Dafür wird die Lektüre der Zeitung an einem Desktop-Computer modelliert.

Die Annahmen für dieses Szenario sind in Tabelle 32 zusammengestellt.

Tabelle 32: Annahmen für das Szenario „Nutzung von E-Newspapers“

Zeitung	
Lebensdauer des Geräts	5 Jahre
Lebensdauer des Geräts in Stunden	7.300 Stunden
Tägliche Lesedauer je Zeitung (eine Leseinheit)	30 Minuten
Weitere tägliche Nutzung des Computers	3,5 Stunden
Zeitungsausgaben im Jahr	365
Gelesene Zeitungen über die Lebensdauer	1825
Ausdruck einer Seite auf Kopierpapier	Szenario 32: nein, Szenario 32a: ja

Die Nutzung des Desktop-Computers wird über den Zeitraum des Downloads und des Lesens der E-Newspaper berücksichtigt. Das schließt die Herstellung des Computers und die anteilige Umlage auf die Nutzung der E-Newspaper ebenso ein wie den Energiebedarf für dessen Betrieb. Das Szenario wird in einer Variante mit Lektüre durch einen Leser und in einer zweiten Variante mit drei Lesern (dreifache Lesezeit am PC) berechnet [ZMG 2010]. In einer dritten Variante wird untersucht, welche Folgen es hat, wenn die Lektüre durch einen Leser erfolgt und er täglich eine Zeitungsseite ausdruckt. Der Druck erfolgt auf handelsüblichem Kopierpapier.

Auswirkungen auf die Ökoeffizienz

Das Ökoeffizienzportfolio in Abbildung 37 stellt den Ist-Zustand und die drei Szenariovarianten gegenüber.

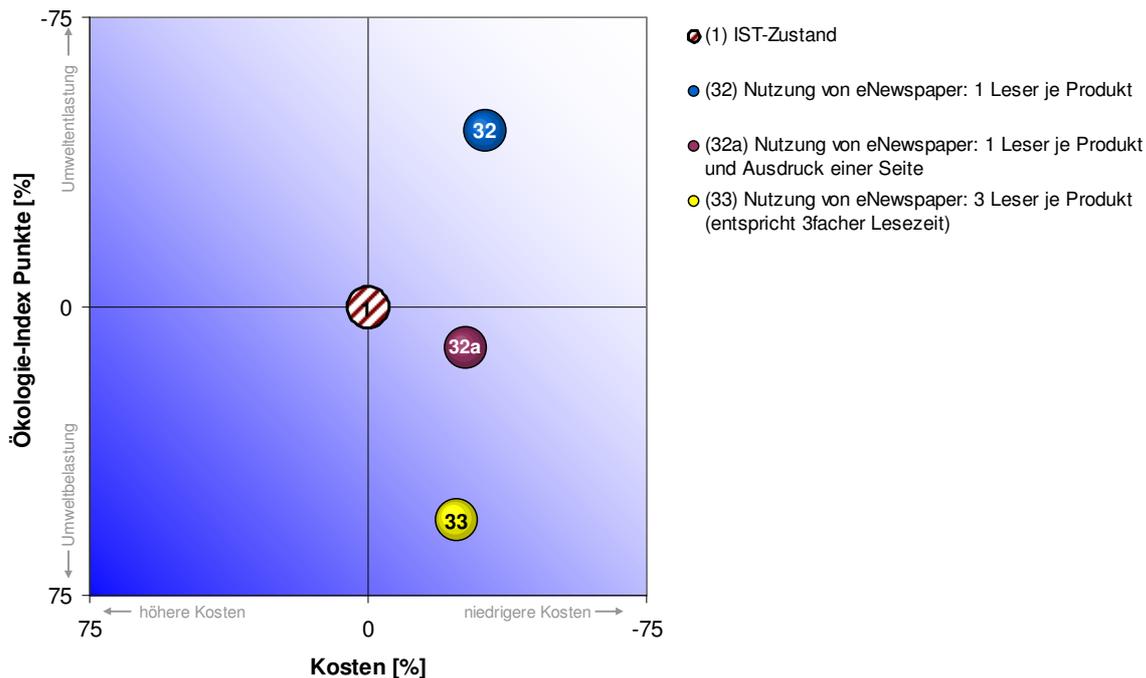


Abbildung 37: Produkt „Zeitung“ – Ökoeffizienzportfolio des Szenarios Nutzung von E-Newspapers im Vergleich zum Ist-Zustand.

Die Variante der E-Newspaper mit einem Leser bei 30 Minuten Lesezeit ist ökoeffizienter als der Ist-Zustand (Printmedium). Die elektronische Variante ist im Abonnement etwas kostengünstiger als die Printversion. Der Energieaufwand und die anteilige Rechnernutzung für die Lektüre am PC haben geringere Umwelteffekte als die Herstellung der gedruckten Zeitung.

Durch den täglichen Ausdruck einer Zeitungsseite auf Kopierpapier sinkt der Kostenvorteil des elektronischen Mediums geringfügig. Die Kosten bleiben dennoch etwa 30 % unter denen des Ist-Zustands. Die Kosten für ein Blatt Kopierpapier wurden über den durchschnittlichen Marktpreis für B-/C-Qualität mit rund 7 Cent angenommen [EUWID 2008]. Schon der Ausdruck von täglich einer Seite der Zeitung auf Kopierpapier lässt das ökologische Ergebnis kippen und bewirkt eine gegenüber dem Ist-Zustand höhere Umweltbelastung.

Mit drei Lesern, also einer Lesedauer von 3×30 Minuten, nimmt der Kostenvorteil noch etwas mehr ab. Die ökologischen Wirkungen sind auch hier deutlich schlechter als im Ist-Zustand. Das zeigt, dass die ökologischen Effekte der Nutzung von E-Newspapers sehr stark von der Zahl der Leser abhängen. Drei Leser können sich ein Exemplar einer gedruckten Zeitung ohne zusätzliche Kosten und Umweltbelastungen teilen, bei der Lektüre am Desktop-Computer steigen der Umfang der Computernutzung und der Stromverbrauch dagegen auf etwa das Dreifache.

Tabelle 33: Produkt „Zeitung“ – Beiträge zur Umweltbe- und -entlastung der Szenariovarianten Nutzung von E-Newspapers gegenüber dem Ist-Zustand

Parameter	Ist-Zustand	Beitrag zur Umweltbe- bzw. -entlastung durch das Szenario Nutzung von E-Newspapers		
		ein Leser je Produkt	ein Leser je Produkt und Ausdruck einer Seite	drei Leser je Produkt
Aggregierte Werte				
KEA fossil	3.374.142 GJ (21.832 EW)	Entlastung um 1,75 Mio. GJ (11.332 EW)	Entlastung um 0,74 Mio. GJ (4.772 EW)	Belastung um 1,34 Mio. GJ (8.645 EW)
Treibhauspotenzial [CO ₂ -Äquivalente]	304 Mio. kg (23.172 EW)	Entlastung um 141 Mio. kg (10.777 EW)	Entlastung um 34 Mio. kg (2.599 EW)	Belastung um 169 Mio. kg (12.850 EW)
Versauerungspotenzial [SO ₂ -Äquivalente]	480.178 kg (8.640 EW)	Entlastung um 161.955 kg (2.914 EW)	Belastung um 261.022 kg (4.697 EW)	Belastung um 264.506 kg (4.760 EW)
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO ₄ -Äquival.]	62.496 kg (11.018 EW)	Entlastung um 36.176 kg (6.376 EW)	Belastung um 14.925 kg (2.631 EW)	Belastung um 2.940 kg (518 EW)
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	22.927 kg (2.570 EW)	Entlastung um 14.100 kg (1.580 EW)	Belastung um 1.153 kg (129 EW)	Entlastung um 6.226 kg (698 EW)
Nicht aggregierte Einzelparameter				
Ammoniak	3.387 kg (428 EW)	Belastung um 3.324 kg (420 EW)	Belastung um 11.736 kg (1.484 EW)	Belastung um 4.993 kg (631 EW)
Stickoxide	471.727 kg (20.888 EW)	Entlastung um 287.058 kg (12.711 EW)	Belastung um 83.570 kg (3.700 EW)	Belastung um 9.324 kg (413 EW)
Schwefeldioxid	127.271 kg (5.660 EW)	Belastung um 17.204 kg (765 EW)	Belastung um 147.376 kg (6.554 EW)	Belastung um 195.217 kg (8.681 EW)

Im Vergleich zum Ist-Zustand ergeben sich für die Variante „E-Newspaper mit einem Leser“ die höchsten Umweltentlastungen beim Einzelparameter „Stickoxide“ mit 12.711 Einwohnerwerten und in den Wirkungskategorien „Ressourcenbeanspruchung“ (KEA fossil) mit 11.332 Einwohnerwerten und „Treibhauspotenzial“ mit 10.777 Einwohnerwerten. Zu Umweltbelastungen kommt es bei den Einzelparametern „Ammoniak“ mit 420 Einwohnerwerten und „Schwefeldioxid“ mit 765 Einwohnerwerten. Die Ammoniakbelastungen sind vorwiegend auf die Herstellung von Computer und Monitor zurückzuführen, die Schwefeldioxidbelastungen auf den Energiebedarf für den Betrieb des Computers und des Bildschirms.

Für die Variante „E-Newspaper mit einem Leser und Ausdruck von einer Seite je Zeitung“ ergeben sich für die Wirkungskategorien „Treibhauspotenzial“ mit 2.599 Einwohnerwerten

und „Ressourcenbeanspruchung“ (KEA fossil) mit 4.722 Einwohnerwerten Umweltentlastungen gegenüber dem Ist-Zustand. In allen übrigen Wirkungskategorien und Einzelparametern kommt es zu zusätzlichen Umweltbelastungen. Die höchsten Mehrbelastungen entstehen bei den Schwefeldioxidemissionen mit 6.554 Einwohnerwerten und in der Wirkungskategorie „Versauerungspotenzial“ mit 4.697 Einwohnerwerten.

Die Variante mit drei Lesern je Zeitung ergibt für das E-Newspaper – mit Ausnahme der Wirkungskategorie „Fotooxidantienbildung“ mit einer Entlastung um 698 Einwohnerwerte – in allen Wirkungskategorien und Einzelparametern zusätzliche Belastungen. Die deutlich größten Belastungen treten mit 12.850 Einwohnerwerten in der Wirkungskategorie „Treibhauspotenzial“ auf. Dabei ergeben sich 98 % der Emissionen aus der Nutzung des Computers, die vor allem die Energie für Rechner und Monitor beinhaltet.

6.7.3 Zwischenfazit

Die Ergebnisse der Ökoeffizienzanalyse für alle Produkte und Szenarien sind in Tabelle 34 zusammengefasst.

Tabelle 34: Zusammenfassung der Ergebnisse für den Abschnitt „elektronische Medien“

Szenario	Buch		Katalog		Zeitung	
	Öko-Index	Kosten	Öko-Index	Kosten	Öko-Index	Kosten
	negativer Wert = Verbesserung des Ergebnisses des Ist-Zustands positiver Wert = Verschlechterung des Ergebnisses des Ist-Zustands					
Nutzung von E-Readern: ein Leser je Produkt	-43 %	1.130 %			-94 %	41 %
Nutzung von E-Readern: drei Leser je Produkt					-63 %	206 %
Nutzung von E-Newspapers: ein Leser je Produkt			-88 %	-93 %	-46 %	-32 %
Nutzung von E-Newspapers: ein Leser je Produkt und Ausdruck einer Seite					11 %	-26 %
Nutzung von E-Newspapers: drei Leser je Produkt			-66 %	-85 %	55 %	-24 %

Ob die Nutzung elektronischer Medien am Computer im Vergleich zu Printprodukten ökologische Vorteile aufweist, ist stark vom Energieverbrauch und damit von der Lesezeit abhängig und davon, ob und in welchem Umfang die Leser Ausdrucke anfertigen. Die Nutzung von E-Books ist dagegen besonders vorteilhaft, wenn die Geräte häufig eingesetzt werden, da sie wenig Energie verbrauchen und die Umweltbelastungen aus ihrer Herstellung auf viele Einzelanwendungen verteilt werden.

Unter Kostengesichtspunkten hat der E-Reader im Vergleich zum Printmedium beim angenommenen Leseverhalten erhebliche Nachteile. Je häufiger der E-Reader verwendet wird, desto stärker nähert sich das Ergebnis dem der Printversion an. Bei intensiver Nutzung kann der E-Reader kostengünstiger sein. Das ist dann zu erwarten, wenn solche Geräte künftig für das Lesen von Zeitungen, Dokumenten, zum Musikhören und für andere Zwecke verwendet werden können.

Das Lesen der Zeitung am Computer ist etwas kostengünstiger als die Printversion, weil die Abonnementpreise für E-Newspapers meist preiswerter sind [PROJEKTPARTNER 2009]. Bei längerer Lesezeit oder dem Ausdruck einiger Seiten reduziert sich dieser Vorteil oder die elektronische Version wird sogar teurer – vor allem durch die Energiekosten für Computer- und Bildschirmnutzung und die Papierkosten.

Die Umwelteffekte von gedruckter und elektronischer Version der Zeitung im Vergleich hängen also stark vom Nutzerverhalten ab. In Deutschland wird ein Zeitungsexemplar im Durchschnitt von 2,8 Lesern genutzt. Die gedruckte Tageszeitung ist damit beim in Deutschland vorherrschenden Nutzungsverhalten ökologisch deutlich vorteilhafter als die elektronische Version. 81 % der Leser teilen ihr Zeitungsexemplar mit anderen Personen. Für 19 %, die ihre Zeitung alleine nutzen, hat die E-Newspaper einen positiven ökologischen Effekt. Schon bei Ausdruck einer DIN A4 Seite täglich geht dieser Vorteil aber wieder verloren.

Die Entwicklung eines ökoeffizienten Zusammenspiels von elektronischen und Printmedien wird eine wichtige Aufgabe für die Zukunft sein.

7 Fazit

Die Bearbeitung dieses komplexen Vorhabens war nur durch intensive Zusammenarbeit zahlreicher Beteiligten möglich: Der Verband Bayerischer Papierfabriken e. V. sowie der Verband der Bayerischen Papier, Pappe und Kunststoff verarbeitenden Industrie e. V. und ihre Mitgliedsunternehmen haben umfangreiche Praxiserfahrung und vielfältiges Hintergrundwissen beigesteuert. Die Papiertechnische Stiftung hat besonders aktuelle papiertechnische Fachkenntnisse eingebracht. Der Verband der Wellpappen-Industrie e. V., der Verband Druck & Medien Bayern e. V. und Unternehmen aus den Bereichen Druck und Medien haben zusätzliches Know-how aus ihren Bereichen beigesteuert.

Nur auf Grundlage dieser umfangreichen Unterstützung konnte bifa die beschriebene Ökoeffizienzanalyse durchführen, um Möglichkeiten zur Optimierung der Wertschöpfungskette „Forst – Holz/Altpapier – Papier – Papierprodukte“ von der Rohstoff- und Energiebereitstellung über Produktgestaltung und Herstellungsprozesse bis zur Entsorgung zu analysieren.

Für alle Beteiligten war die Zusammenarbeit mit erheblichem Aufwand, aber auch mit intensiven und anregenden Diskussionen sowie mit vielfältigen und neuen Einblicken in den Lebenszyklus von Papierprodukten verbunden. Das Konzept von IPP, durch Kooperation und Kommunikation ökologische und ökonomische Verbesserungen entlang der Lebenswegkette von Produkten zu erreichen, wurde von den Projektpartnern und den übrigen Beteiligten mit viel Engagement und großer Offenheit getragen.

Die Ergebnisse zeigen, dass für den Bedarf aller Einwohner Bayerns zwar erhebliche Mengen der untersuchten Produkte erforderlich sind, die Umweltwirkungen aber dennoch überraschend gering bleiben. So liegt das durch fast eine Milliarde Tageszeitungen bedingte Treibhauspotenzial bei nur 23.000 Einwohnerwerten. Das sind knapp 0,2 % der in Bayern verursachten Treibhausgasemissionen. Dennoch bieten die Produktlebenswege Möglichkeiten zur weiteren Verbesserung der Ökoeffizienz.

Eine Steigerung der **Energieeffizienz** von Herstellungs- und Verarbeitungsprozessen wird aufgrund neuer technischer Möglichkeiten auf Dauer eine Aufgabe bleiben. Die erzielbaren Fortschritte sind jedoch begrenzt und vor allem bei Bestandsanlagen eine Folge kleiner Schritte.

Optimierungen im Bereich der **Logistik** könnten vor allem bei vermehrter Nutzung regionaler Rohstoffquellen und dadurch verminderten Transportentfernungen möglich sein.

Die Potenziale durch **Optimierung der Produkte** selbst sind je nach Produkt unterschiedlich. So kann die Reduzierung von Flächengewichten im Einzelfall gewisse Handlungsspielräume bieten. Teilkataloge mit geringerem Umfang können Vorteile gegenüber umfangreichen Komplettkatalogen haben. Technisch ausgereifte Produkte wie unbedruckte Wellpappeverpackungen aus Altpapier bieten hingegen kaum mehr Spielraum.

Ökologisch und wirtschaftlich kann die zunehmende Nutzung **elektronischer Medien** zu wesentlichen Veränderungen führen. Damit können positive Effekte für Umwelt und Wirtschaftlichkeit der Produkte verbunden sein. Elektronische Medien können aber auch deutlich schlechter abschneiden als klassische Papierprodukte. Entscheidend ist das Nutzerverhalten.

Die **Energiebereitstellung** bietet noch große Potenziale. So setzen Papierhersteller bei der Erneuerung eigener Kraftwerke verstärkt auf ökoeffizientere Brennstoffe wie Ersatzbrennstoffe (EBS). Der EBS-Einsatz findet in der Öffentlichkeit aber nicht immer hinreichende Akzeptanz, obwohl bei entsprechender Ausstattung der Verbrennungsanlagen erhebliche Vorteile für Ökologie und Wirtschaftlichkeit bestehen. Auch Änderungen im Energieträger-Mix zur Erzeugung von Netzstrom können die Ökoeffizienz der Papierprodukte erheblich beeinflussen. Hier sind vor allem Energieerzeuger und die Politik gefragt.

Alle Akteure, einschließlich der Endverbraucher, können somit dazu beitragen, dass Papierprodukte noch umweltverträglicher und wirtschaftlicher werden.

Ökoeffizienz-Risiken bietet vor allem die **Rohstoffversorgung**. Die weltweit wachsende Holz- und Altpapiernachfrage sowie vermehrter Einsatz von Biomasse zur Energieerzeugung führen zu Knappheiten am Markt. Der Einsatz von **Holz** zur Papiererzeugung ist aber ökologisch deutlich vorteilhafter als dessen Verbrennung zur Energiegewinnung. Beim Recycling von Papier werden nicht mehr geeignete Fasern energetisch verwertet, so entstehen aus Holz Produkte und Energie. Solche Kaskadenlösungen sollten weiter vorangetrieben werden. Der **Altpapiereinsatz** in geeigneten Anwendungen hat ebenfalls große Vorteile für Umwelt und Kosten. Wichtig ist daher die langfristige Sicherung einer flächendeckenden, getrennten Altpapiersammlung mindestens auf heutigem Niveau.

In welchem Umfang diese Ökoeffizienzpotenziale nutzbar sind, hängt von vielen Faktoren ab. So sind bei der Bewertung erforderlicher Investitionen Randbedingungen wie das Alter bestehender Anlagen oder das technische Umfeld zu berücksichtigen. Diese Untersuchung kann daher keine eins zu eins umsetzbaren Rezepte bieten. Sie zeigt Ökoeffizienzpotenziale und -risiken auf und liefert damit eine Grundlage für die Strategienentwicklung in Unternehmen und in der Politik. Wirtschaft und Politik sind aufgerufen, auch weiterhin gemeinsam an der nachhaltigen Sicherung und noch ökoeffizienteren Ausgestaltung der Wertschöpfungskette „Forst – Holz/Altpapier – Papier – Papierprodukte“ zu arbeiten.

8 Literatur

- [AG BEK PAPIER 2008] Arbeitsgemeinschaft Branchenenergiekonzept Papier: Branchenleitfaden für die Papierindustrie, Ausgabe 2008
- [AGRAPA 2008] Arbeitsgemeinschaft Grafische Papiere (AGRAPA), Statistik 2008
- [BayStat 2008] Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung: Einwohnerzahl Bayerns zum Stichtag 31.12.2007. <http://www.statistik.bayern.de>
- [BDZV 2007] Bundesverband Deutscher Zeitungsverleger e. V.: 2. Quartal 2007
- [c't 2009] c't Magazin, Ausgabe 25/2009, Kaufpreis ermittelt über Durchschnittskosten für untersuchte eReader
- [CEPIPRINT 2007] Association of European Publication Print Producers, Grammage Survey 2007
- [DESTATIS 2008] Statistisches Bundesamt Deutschland: Einwohnerzahl Deutschlands zum Stichtag 31.12.2007. <http://www.destatis.de>
- [DESTATIS 2009] Statistisches Bundesamt Deutschland: persönliche Mitteilung
- [DIN 2006] Deutsches Institut für Normung DIN e. V.: DIN EN ISO 14040 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Beuth Verlag, Berlin 2006
- [DIN 2006A] Deutsches Institut für Normung DIN e. V.: DIN EN ISO 14044 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Beuth Verlag, Berlin 2006
- [EEG 2008] Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien. Beuth Verlag, Berlin 2008
- [EBOOKPORTAL 2009] <http://www.das-ebookportal.de/stichworte.html>
- [EN 643] Europäische Norm EN 643: „Altpapier – Liste der europäischen (CEPI, B.I.R.) Standardsorten und ihre Qualitäten“, Herausgabe 2001
- [ERPC] European Recovered Paper Council (ERPC), „Europäische Erklärung zum Papierrecycling – 2006–2010“, Brüssel
- [EUWID 2008] Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH (EUWID) – Papier und Zellstoff– Ausgabe 40/2008
- [FRITSCH ET AL. 2007] Fritsche, U. R. et al.: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.42. Institut für angewandte Ökologie e. V. im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Wiesbaden 2007
- [ISI 1999] Meyer, H. F.; Radgen, R.: Rationelle Stromnutzung in der Papierindustrie, Fraunhoferinstitut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) und Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1999
- [KTH 2009] Screening environmental life cycle assessment of printed, web based and tablet e-paper newspaper – second edition. Moberg, A. et al.: KTH Centre for Sustainable Communications, Stockholm 2009
- [LFU 2007] Hausmüll in Bayern – Bilanzen 2007, Bayerisches Landesamt für Umwelt
- [MEYERS 2007] <http://lexikon.meyers.de>
- [PECHE 2007 ET AL.] Peche, R.; Gerstmayr, B.; Kreibe, S.; Mauch, W.; Baitsch, M.; Demel, I.; Demharfer, W.; Erlewein, M.; Arl, T.: Ökoeffizienzanalyse von Reststoffströmen in der Papierindustrie: Ist-Zustand und Optimierungsansätze. bifa Umweltinstitut GmbH, Augsburg 2007

-
- [PITSCHKE ET AL. 2003] Pitschke, T.; Roth, U.; Hottenroth, S.; Rommel, W.: Optimierung von Entsorgungsstrukturen. Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und -technik GmbH (bifa) im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Augsburg 2003
- [Planco & BafG 2007] PLANCO Consulting GmbH; Bundesanstalt für Gewässerkunde: Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße. Im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, vertreten durch die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost, Magdeburg 2007
- [PLINKE ET AL. 2000] Plinke, E.; Schonert, M.; Meckel, H.; Detzel, A.; Giegrich, J.; Fehrenbach, H.; Ostermayer, A.; Schorb, A.; Heinisch, J.; Luxenhofer, K.; Schmitz, S.: Ökobilanz für Getränkeverpackungen II – Hauptteil. UBA-Texte 37/00, Umweltbundesamt, Berlin 2000
- [PROJEKTPARTNER 2009]: persönliche Mitteilungen von Projektpartnern
- [PROLIBRI 2009] <http://www.prolibri.de/glossar.jsp>
- [UNO 2008] Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects: The 2008 Revision
- [VDP 2008] Verband der Deutschen Papierfabriken e. V.: Altpapier – Positionen der Deutschen Papierindustrie, 2008
- [VDP 2009] Verband der Deutschen Papierfabriken e. V.: Leistungsbericht 2009. Bonn 2009
- [VDW 2008] Verband der Wellpappen-Industrie (VDW): Statistik für das Jahr 2008
- [ZMK 2010] Zeitungs Marketing Gesellschaft: Zeitungsqualitäten 2010: Leistungsdaten der Zeitungen im intermedialen Vergleich. Frankfurt am Main 2010

9 Glossar

Deinking	Der Deinking-Prozess wird bei Altpapierstoffen angewendet, um die Druckfarbe vom Altpapier zu entfernen und den Weißegrad zu erhöhen. Nahezu drei Viertel der Druckfarbe können entfernt werden. Für das Deinking-Verfahren kommen unterschiedliche Chemikalien zum Einsatz.
EEG	Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) dient der Förderung regenerativer Energien aus z. B. Wind, Sonne, Wasser oder Biomasse. Diese Energien werden bei der Einspeisung zu einem Preis vergütet, der weit über den Marktpreisen für Strom liegt. Damit soll ein Anreiz zum Bau von EEG-Anlagen geschaffen werden.
Elementarfluss	Stoff oder Energie, der bzw. die dem untersuchten System zugeführt wird und der Umgebung ohne vorherige Behandlung durch den Menschen entnommen wurde, oder Stoff oder Energie, der bzw. die das untersuchte System verlässt und ohne anschließende Behandlung durch den Menschen an die Umgebung abgegeben wird [DIN 2006A].
E-Medien	Neue Medien in digitalisierter Form, z. B. CD-ROMs, DVDs, E-Books, Internet-Publikationen (E-Newspapers, E-Documents)
Eutrophierungspotenzial, terrestrisch [PO ₄ -Äquivalente]	Fasst die Emissionen von Substanzen zusammen, die zum Nährstoffeintrag in Böden (Überdüngung) beitragen.
Einwohnerwert	Der Einwohnerwert (EW) ist die Zahl der Einwohner Deutschlands, welche die angegebene Umweltbelastung in einem Jahr verursachen – 1 EW ist der durchschnittliche Pro-Kopf-Beitrag eines Bundesbürgers zur gesamten Wirkungskategorie- oder Einzelstoffbelastung in Deutschland.
Flexodruck	Druckverfahren für hohe Auflagen, bei dem auf den druckenden Flächen von Flexodruckplatten aus Gummi oder Fotopolymer haftende Druckfarbe direkt auf Papier oder einen anderen Bedruckstoff übertragen wird. Es ist ein Rollenrotationsdruckverfahren, bei dem niedrigpastöse Druckfarben verwendet werden. Flexodruckfarben werden – anders als die üblichen Druckfarben, die auf der Papieroberfläche haften – in die Papierfaser aufgenommen und sind deshalb schwer oder kaum deinkbar.
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	Fasst die Emissionen von Substanzen zusammen, die zur Bildung von bodennahem Ozon beitragen.
Frischfaser	Primäre Papierfaser aus mechanisch (Holzschliff), thermomechanisch (TMP) oder chemo-thermomechanisch (Zellstoff) aufbereitetem pflanzlichem Faserrohstoff (zumeist Nadel- oder Laubholz).
Grammatur	Das Flächengewicht des Papiers, angegeben in Gramm je Quadratmeter (g/m ²). Für die jeweiligen Produkte gibt es i. d. R.

	Standardgrammaturen, für die Zeitung in Deutschland zumeist 45 g/m ² .
Holzschliff	Ein Frischfaserstoff, der durch das mechanische Schleifen von Holz entsteht. Er kann für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier verwendet werden.
Hotmelt-Kleber	Auch „Schmelzkleber“ genannt. Er besteht aus Ethylen-Vinyl-Acetat, Polyester oder Polyamid, wird unter Wärmezufuhr aufgeschmolzen, benetzt die zu verklebenden Produkte und verfestigt sich schnell; das macht hohe Taktzeiten der Maschinen möglich. Hotmelt-Kleber wird besonders in der Verpackungsindustrie und in der Buchherstellung, aber auch in der Möbel-, Holz- und Schuhindustrie verwendet.
IPP	Integrierte Produktpolitik (IPP) ist die Betrachtung von Produkten und Dienstleistungen sowie ihrer Umweltauswirkungen während ihres gesamten Lebenswegs (Rohstoffgewinnung, Rohstoffverarbeitung, Fertigung, Vertrieb, Nutzung, Entsorgung). IPP baut auf intensivere Kooperation und Kommunikation zwischen den mit einem Produkt befassten Akteuren.
Ist-Zustand	Bildet in diesem Projekt das ausgewählte aktuelle Produktdesign mit den wichtigsten Vor- und Nachketten und den Herstellungs-, Verarbeitungs- und Entsorgungsprozessen für das Bezugsjahr 2007 ab.
kaptalt	Das Buch ist mit einem Kapitalband („kaptalt“) versehen. Dies ist das kleine, farbige Bändchen, das bei Hardcover-Büchern und Deckenbänden an der Ober- und Unterkante des Buchrückens angeklebt ist und dazu dient, die Lücke zwischen Buchrücken und Buchblock zu verdecken, das Buch zu verschönern, aber es auch vor Staub und Beanspruchung zu schützen.
KEA (kumulierter Energieaufwand) [GJ]	Summe der Energieinhalte aller eingesetzten Primärenergieträger.
Kostenangaben	Um die Vertraulichkeit der von Unternehmen zur Verfügung gestellten Daten zu gewährleisten, werden Kosten nur als prozentuale Veränderung im Vergleich zum Ist-Zustand dargestellt.
Kraftliner	Kraftliner ist ein vorwiegend aus Primär-Kraftzellstoff hergestelltes Papier, das als Deckenpapier für die Wellpappe verwendet wird.
KWK-Anlagen	Anlagen zur Energieerzeugung, in denen sowohl Wärme als auch elektrische Energie erzeugt und in erheblichem Umfang genutzt werden (KWK = Kraft-Wärme-Kopplung).
LWC-Papier	LWC steht für L = light = leicht, W = weight = gewichtig und C = coated = gestrichen. Es handelt sich um holzhaltiges, gestrichenes Rollenoffsetpapier und Tiefdruckpapier im Gewichtsbereich von 39–80 g/m ² , das für die Herstellung von höherwertigen Katalogen, Zeitschriften, Infopost o. Ä. verwendet wird.
Ökoeffizienz-Portfolio	Darstellung der Umweltwirkungen und der Kosten in einem Diagramm. In diesem Diagramm sind alle Umweltwirkungen zu

	<p>einem Ökologie-Index und alle Kosten als prozentuale Abweichungen vom Ist-Zustand zusammengefasst. Die Ökoeffizienz nimmt im Diagramm von unten links nach oben rechts zu. Je weiter oben sich ein Szenario befindet, desto besser ist die ökologische Bewertung. Je weiter rechts es sich befindet, desto geringer sind die Kosten.</p>
Ökologie-Index	Zusammenfassung aller Umweltwirkungen zu einer Kennzahl in Anlehnung an Empfehlungen des Umweltbundesamtes nach einer bei bifa entwickelten Methode.
Papierweiße	Der Weißegrad des Papiers nach DIN ISO2469 und 2470 ist ein technischer Kennwert für die Fähigkeit zur Reflexion von weißem Licht. Der Weißegrad ist eine Qualitätsanforderung an das Papier.
Printmedien	Printmedien sind die auf Papier gedruckten Informationsquellen, also die klassischen Medien wie Zeitungen, Bücher, Kataloge.
SC-Papier	SC steht für „supercalandered“. Es handelt sich um ein satinier-tes, mit Füllstoffen versehenes, holzhaltiges Papier, das für die Herstellung von Katalogen, Magazinen und Zeitschriften verwendet wird.
Sulfatzellstoff	Auch Kraftzellstoff oder Natronzellstoff genannt. Er entsteht durch Kochen von Holzhackschnitzeln in Ätznatronlauge mit Schwefelnatriumgehalt. Das alkalische Kochen ermöglicht es, auch harzhaltige Hölzer einzusetzen, da das Harz beim Kochen verseift. So ist es möglich, die für die Papierfestigkeit günstigen langen Fasern der Fichte und Kiefer aufzuschließen (Zellstoff). Das Sulfatverfahren bringt einen sehr festen, zähen Zellstoff hervor. Sulfatzellstoff ist schwieriger zu bleichen als Sulfitzellstoff.
Sulfitzellstoff	Entsteht, wenn Fichten- oder Laubholzhackschnitzel in einer Lösung aus Kalzium- oder Magnesiumbisulfit und schwefliger Säure gekocht werden. Sulfitzellstoff hat gegenüber dem Sulfatzellstoff den Nachteil kürzerer Fasern. Das bewirkt eine geringere Festigkeit im Papier, das Papier ist aber leichter zu bleichen.
Testliner	Testliner ist ein vorwiegend aus Recycling-Fasern hergestelltes Papier, das als Deckenpapier für die Wellpappe verwendet wird.
TMP	Thermo-Mechanical Pulp (TMP) ist ein Frischfaserstoff, der durch das Mahlen von Holz unter (Dampf-)Druck entsteht. Er kann für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier verwendet werden.
Treibhauspotenzial [CO ₂ -Äquivalente]	Fasst die Emissionen von Substanzen zusammen, die zum Treibhauseffekt beitragen.
Versauerungspotenzial [SO ₂ -Äquivalente]	Fasst die Emissionen Säure bildender Substanzen zusammen.
Wellenstoff	Wellenstoff ist ein vorwiegend aus Recyclingfasern hergestelltes Papier, das für die Herstellung der Welle der Wellpappe verwendet wird.

Wellpappe	Definition nach DIN 55405: Pappe aus einer oder mehreren Lagen eines gewellten Papiers, das zwischen mehreren Lagen eines anderen Papiers oder Kartons geklebt ist.
Wellpappeverpackung	Produktverpackung, die durch Bearbeitung aus Wellpappe entsteht. Verarbeitungsschritte können sein: Falten, Rillen, Schneiden, Stanzen, Kleben, Heften.
Zeitung	Informationsmedium, das im Rotationsdruck auf Zeitungsdruckpapier hergestellt wird.
Zeitungsdruckpapier	Zeitungsdruckpapier ist ein stark holz- oder altpapierhaltiges, maschinenglattes oder leicht geglättetes Papier mit einem Flächengewicht von 40 bis 52 g/m ² , das für den Zeitungsdruck verwendet wird.
Zellstoff	Eine aus pflanzlichen Faserrohstoffen hergestellte Primärfaser, die in chemischen Verfahren aufgeschlossen wird. Zellstoff bewirkt im Papier hohe Festigkeiten. Es wird zwischen Sulfit- und Sulfatzellstoff unterschieden.