



Reststoffströme in der  
Papierindustrie:  
Ist-Zustand und Optimierung  
Eine Ökoeffizienzanalyse

**IPP**  
Integrierte  
Produktpolitik



Denken in Lebenszyklen

## Vorwort

Lassen sich Ökologie und Ökonomie „unter einen Hut bringen“? Dass und wie es geht, zeigt diese Broschüre. Mit dem Umweltpakt Bayern, in dem Wirtschaft und Staat jeweils für sich oder gemeinsam freiwillige Leistungen über das gesetzliche Maß hinaus erbringen, erzielt Bayern seit mehr als 12 Jahren bemerkenswerte Verbesserungen der Umweltsituation. In diesem Rahmen vereinbarten der Verband Bayerischer Papierfabriken e. V. (VBP) und das Bayerische Umweltministerium 2005 ein umfangreiches Projekt zur ökologischen und ökonomischen Optimierung der Wertschöpfungskette Papier. Um die hochkomplexe Papierkette überschaubarer zu machen, entschieden sich die Projektbeteiligten für eine Untersuchung in einzelnen Teilprojekten. In diesem ersten Vorhaben sollten Verbesserungspotenziale beim Umgang mit Reststoffen insbesondere unter den

Aspekten Klima- und Ressourcenschutz, Energieeffizienz und Kosten aufgezeigt werden. Welche Methode wäre dafür besser geeignet als der umfassende Ansatz der Integrierten Produktpolitik (IPP)? Ist es doch gerade ihr Ziel, die ökologischen Auswirkungen eines Produkts über den gesamten Lebensweg kontinuierlich und stets unter Einbeziehung ökonomischer Gesichtspunkte zu optimieren. Die Ökoeffizienzanalyse, ein wirkungsvolles Instrument der IPP, beurteilt vergleichend Umweltwirkungen und Kosten von Produkten sowie Verfahrensweisen von „der Wiege bis zur Bahre“. Im vorliegenden Projekt bot sie sich zur Untersuchung verschiedener Entsorgungswege für Reststoffe aus der Papierkette daher besonders an. Beeindruckend sind die klaren Projektergebnisse – in ökologischer und ökonomischer Sicht: Erhebliche Ver-

besserungen der Umwelteffekte auch hinsichtlich Ressourcenschonung und Klimaschutz gehen mit deutlichen Kostensenkungen einher. Die Realisierung der vorgeschlagenen Maßnahmen erfordert aber weitere gemeinsame Anstrengungen. Die Ergebnisse zeigen zugleich den Wert des hochmodernen Instruments der Ökoeffizienzanalyse für grundlegende Richtungsentscheidungen bei Stoffstrommanagement und zukünftigen Investitionen und können direkt in Überlegungen des Verbandes Bayerischer Papierfabriken und seiner Mitgliedsunternehmen zum künftigen Umgang mit Reststoffen einfließen. Sie enthalten darüber hinaus wichtige Informationen für die Abfallpolitik des Freistaats. Die Ökoeffizienzanalyse ist in weiteren Branchen anwendbar. Wir wünschen uns, dass diese Broschüre dazu als Anreiz dient.



**Dr. Otmar Bernhard**  
Staatsminister



**Dr. Marcel Huber**  
Staatssekretär



**Heiko Bayerl**  
1. Vorsitzender Verband  
Bayer. Papierfabriken

## Inhalt

1. Zielsetzung und Methodik	4
2. Die untersuchten Reststoffströme	5
3. Bestehendes Entsorgungssystem	6
4. Optimierte Reststoffverwertung	8
4.1. Vorgehensweise	8
4.2. Verschiebung von Reststoffmengen zwischen bestehenden Entsorgungswegen	8
4.3. Energetische Verwertung unternehmensübergreifend gebündelter Reststoffe	10
4.4. Energetische Verwertung unternehmens- und fraktionsübergreifend gebündelter Reststoffgemische	13
5. Konzept für ein optimiertes Entsorgungssystem	15
6. Schlussfolgerungen	17

### Definition

**EW (Einwohnerwerte):** Zahl der Einwohner Deutschlands, die die angegebene Umweltbelastung in einem Jahr verursachen – 1 EW ist der durchschnittliche Pro-Kopf-Beitrag eines Bundesbürgers zur gesamten Wirkungskategorie- bzw. Einzelstoffbelastung in Deutschland.

**KEA (kumulierter Energieaufwand) [GJ]:** Summe der Energieinhalte aller eingesetzten Primärenergieträger

**Eutrophierungspotenzial, terrestrisch [PO<sub>4</sub>-Äquivalente]:** fasst die Emissionen von Substanzen zusammen, die zum Nährstoffeintrag in Böden (Überdüngung) beitragen

**Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]:** Fasst die Emissionen von Substanzen zusammen, die zur Bildung von bodennahem Ozon beitragen

**Versauerungspotenzial [SO<sub>2</sub>-Äquivalente]:** Fasst die Emissionen Säure bildender Substanzen zusammen

**Treibhauspotenzial [CO<sub>2</sub>-Äquivalente]:** fasst die Emissionen von Substanzen zusammen, die zum Treibhauseffekt beitragen

**Kosten-Punkte:** Um die Vertraulichkeit der von Unternehmen zur Verfügung gestellten Daten zu gewährleisten, sind die Kosten in Form dimensionsloser Punkte-Werte dargestellt

**KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung):** Anlagen zur Energieerzeugung, in denen sowohl Wärme als auch elektrische Energie erzeugt und in erheblichem Umfang genutzt werden

**Ökologie-Index:** Zusammenfassung aller Umweltwirkungen zu einer Kennzahl in Anlehnung an Empfehlungen des Umweltbundesamtes nach einer am bifa entwickelten Methode

**Thermischer/elektrischer Energiebedarfsdeckungsbeitrag [%]:** Beitrag der Reststoffverwertung zur Deckung des Bedarfs an Prozesswärme/elektrischer Energie am Standort der Verbrennungsanlage

**Thermischer/elektrischer Nutzungsgrad [%]:** Anteil des Energieinhaltes der Reststoffe, der als Prozesswärme/elektrische Energie genutzt wird

**Ökoeffizienz-Portfolio:** Darstellung der Umweltwirkungen und der Kosten in einem Diagramm. In diesem Diagramm sind alle Umweltwirkungen der Entsorgungssysteme zu einem Ökologie-Index und alle Kosten zu Kosten-Punkten zusammengefasst. Die Ökoeffizienz nimmt im Diagramm von unten links nach oben rechts zu. Je weiter oben sich ein Entsorgungssystem befindet, desto besser ist die ökologische Bewertung. Je weiter rechts es sich befindet, desto geringer sind die Kosten.

**Wichtiger Hinweis:** Die Punkte-Werte in den Ökoeffizienz-Portfolios hängen methodenbedingt von der Gesamtheit der jeweils betrachteten Szenarien ab. Sie sind nur für den Vergleich innerhalb des jeweiligen Diagramms geeignet. Vergleiche zwischen verschiedenen Ökoeffizienz-Portfolios sind nicht möglich.



## 1. Zielsetzung und Methodik

### Zielsetzung

Obwohl die bayerischen Papierfabriken bereits über ein ausdifferenziertes Entsorgungssystem für anfallende Reststoffe verfügen, stellt sich die Frage nach Möglichkeiten zur Optimierung. Schon geringe Verbesserungen können dabei erhebliche Wirkungen haben, denn die Papierindustrie bewegt große Mengen an Reststoffen. Mit der hier beschriebenen Ökoeffizienzanalyse sollten daher zwei Ziele erreicht werden:

- Die derzeitige Ökoeffizienz, also die Umweltwirkungen und Kosten der Entsorgung von Reststoffen aus der bayerischen Papierindustrie sollten ermittelt und
- Potenziale zur Entlastung der Umwelt und zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Papierherstellungsprozesse gefunden werden.

Auf diese Weise sollten wissenschaftlich fundierte Informationen als Entscheidungshilfe für Politik und Wirtschaft bereitgestellt und so ein Beitrag zu einem noch ökoeffizienteren Umgang mit Reststoffen aus der Papierindustrie geleistet werden.

### Ökoeffizienzanalyse – die Methode

Mit einer Ökoeffizienzanalyse werden sowohl ökologische Daten als auch Kostenfaktoren untersucht und im Zusammenhang bewertet. So können nachvollziehbare Entscheidungsgrundlagen für den Vergleich alternativer Verfahren bereitgestellt werden. In diesem Vorhaben wurde hierzu eine am bifa entwickelte und inzwischen mehrfach angepasste Methode eingesetzt [PITSCHKE ET AL. 2003]. Die Umwelt- und Kosteneffekte wurden berechnet, gewichtet und zusammengeführt. Schließlich wurde für jedes untersuchte Szenario das Ergebnis der ökobilanziellen Betrachtung den Entsorgungskosten gegenübergestellt



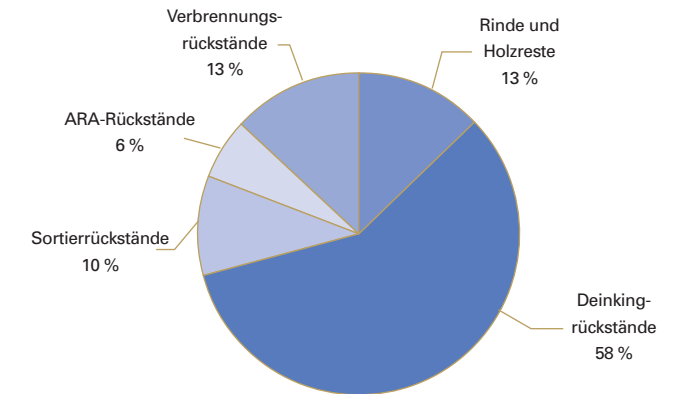
Altpapierlager  
Foto: bifa Umweltinstitut



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

## 2. Die untersuchten Reststoffströme

Eine wichtige Datenbasis zur Ermittlung der Mengenströme war die Umfrage zur Wasser- und Rückstandssituation in der deutschen Papierindustrie, die vom Verband Deutscher Papierfabriken e.V. und der Papiertechnischen Stiftung im Jahr 2004 durchgeführt wurde [VDP 2005]. Die bayerischen Unternehmen, die sich an der Umfrage beteiligt hatten, repräsentierten mit 2,3 Mio. Tonnen etwa 55 % der bayerischen Brutto-Produktion von Papier, Karton und Pappe. Insgesamt fielen bei diesen Unternehmen ca. 760.000 Tonnen Reststoffe (lufttrocken) an. Auf die gesamte bayerische Papierproduktion hochgerechnet, entsprach das einer Reststoffmenge von ca. 1,39 Mio. Tonnen [VBP 2007].



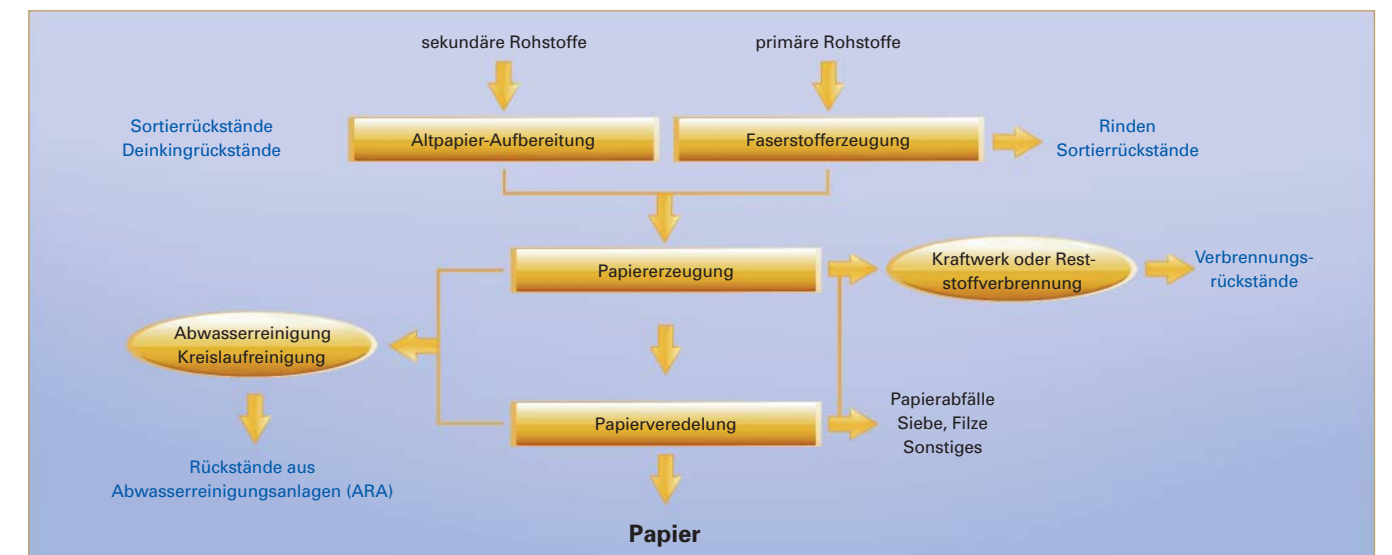
Verteilung der Reststoffe der bayerischen Papierindustrie im Jahr 2004 [VBP 2007]. ARA-Rückstände = Rückstände aus Abwasserreinigungsanlagen.

Der größte Anteil entfiel mit ca. 58 % der Gesamtmenge auf Deinkingrückstände aus der Altpapieraufbereitung. Die übrige Menge verteilte sich auf Verbrennungsrückstände, Sortierrückstände aus der Altpapieraufbereitung, Rückstände aus der Abwasseraufbereitung sowie Rinde und Holzreste [VBP 2007].



Stoffpulper – Auflösung von Altpapier  
Foto: Verband deutscher Papierfabriken e. V.

Vereinfachte Zuordnung der erfassten Reststoffarten zu verschiedenen Produktionsbereichen [nach CHRYSSOS 1996]. Die farbig markierten Stoffe waren Gegenstand dieser Studie.



### 3. Bestehendes Entsorgungssystem

#### Bilanzierte Entsorgungswege

Die Analyse konzentrierte sich auf alle wesentlichen Entsorgungswege für die betrachteten Reststoffströme. Auf die Modellierung eines Entsorgungsweges wurde verzichtet, wenn auf ihn weniger als 5 Gew.-% der Reststoffmenge im betrachteten Szenario (Entsorgungssystem) entfielen. Die entsprechenden Reststoffmengen wurden auf die übrigen Entsorgungswege aufgeteilt.

#### Ergebnisse der ökobilanziellen Betrachtung

Zunächst wurden die ökologischen Effekte des im Jahre 2004 bestehenden Entsorgungssystems für Reststoffe der bayerischen Papierindustrie ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die nahezu vollständige Verwertung der Reststoffe schon das bestehende Entsorgungssystem zu einer erheblichen Entlastung der Umwelt von Schadstoffen beitrug. So wird zwar bei der energetischen Verwertung von Reststoffen Kohlendioxid freigesetzt. Die dabei in Form von Elektrizität und Wärme erzeugte Energie muss aber nicht aus anderen Energiequellen wie Kohle oder Öl hergestellt werden. Die dadurch eingesparten Kohlendioxid-Emissionen sind größer als die bei der Reststoffverbrennung freigesetzten Mengen, so dass es in Summe zu einer Entlastung der Umwelt kommt. Durch solche Effekte kam es zur Reduzierung der Emissionen an Cadmium, Schwefeldioxid und Stickoxiden. Auch der Verbrauch an fossilen Energieträgern (KEA fossil) und die Beiträge zu Treibhauseffekt, Versauerung und Bildung von bodennahem Ozon (Fotooxidantienbildung) wurden zum Teil erheblich reduziert. Lediglich für die Überdüngung von Böden (terrestrische Eutrophierung) und die Ammoniakemissionen wurde eine Belastung der Umwelt ermittelt.

#### Ergebnisse der Kostenanalyse

Die Gesamtkosten für das bestehende Entsorgungssystem beliefen sich 2004 auf ca. 26,2 Mio. €. Erlöse aus dem Absatz von Energien sowie aus der Vermeidung des Strom- oder Wärmekaufs von Energieversorgern sind dabei berücksichtigt.

Den größten Beitrag zu den Gesamtkosten lieferte die Entsorgung der Deinkingrückstände mit ca. 14,9 Mio. €. Davon entfielen fast 70 % auf die innerbetriebliche energetische Verwertung von ca. 77 % der gesamten Deinkingrückstände. Die Entsorgung der Rinde/Holzreste hatte mit ca. 812.400 € den geringsten Anteil an den Gesamtkosten. Für die Entsorgung der übrigen Reststoffe mussten zwischen 2,3 Mio. € für die Rückstände aus der Abwasserreinigung und 4,8 Mio. € für die Sortierrückstände aufgebracht werden.



Heizkraftwerk einer Papierfabrik  
Foto: UPM-Kymmene Papier GmbH & Co. KG

Entsorgungswege, die in der Modellierung der Szenarien berücksichtigt wurden

Reststoff	Entsorgungsweg	Menge
Deinkingrückstände	innerbetriebliche energetische Verwertung	627.795 t
	externe energetische Verwertung	184.257 t
Rinde/Holzreste	innerbetriebliche energetische Verwertung	103.358 t
	sonstige biologische Verwertung	57.298 t
	Kompostierung	18.699 t
Verbrennungsrückstände	sonstige Verwertung	36.811 t
	Deponie	36.617 t
	Ziegelindustrie	34.544 t
	sonstige baustoffliche Verwertung	34.535 t
	Zementindustrie	33.168 t
Sortierrückstände aus der Altpapieraufbereitung (Sortierrückstände)	innerbetriebliche energetische Verwertung	54.489 t
	Ziegelindustrie	45.063 t
	externe energetische Verwertung	38.711 t
Rückstände aus der Abwasserreinigung	Ziegelindustrie	26.025 t
	innerbetriebliche energetische Verwertung	25.273 t
	Kompostierung	22.028 t
	externe energetische Verwertung	12.418 t
<b>SUMME</b>		<b>1.391.089 t</b>

Umweltbe- und -entlastungen des bestehenden Entsorgungsmodells. Negative Werte = Umweltentlastung.  
KEA = kumulierter Energieaufwand. EW = Einwohnerwerte.

	Bestehendes Entsorgungssystem Umweltbe- und -entlastung	Beitrag zur Umweltbelastung
KEA gesamt	- 7,4 Mio. GJ	Entlastung um 47.910 EW
Treibhauspotenzial [CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	- 337,7 Mio. kg	Entlastung um 28.610 EW
Versauerungspotenzial [SO <sub>2</sub> -Äquivalente]	- 438.022 kg	Entlastung um 10.760 EW
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO <sub>4</sub> -Äquivalente]	8.408 kg	Belastung um 91.613 EW
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	- 31.658 kg	Entlastung um 3.670 EW
Ammoniak	76.132 kg	Belastung um 10.030 EW
Cadmium	- 1,09 kg	Entlastung um 8.110 EW
Stickoxide	- 137.953 kg	Entlastung um 7.090 EW
Schwefeldioxid	- 497.546 kg	Entlastung um 51.470 EW

## 4. Optimierte Reststoffverwertung

### 4.1 Vorgehensweise

Mit der Analyse des bestehenden Entsorgungssystems war die Grundlage geschaffen, um die ökonomischen und ökologischen Wirkungen verschiedener Entsorgungsvarianten zu ermitteln und zu vergleichen. Die hierzu untersuchten optimierten Entsorgungsszenarien wurden anhand folgender Fragestellungen entwickelt:

- Welche Wirkungen hätte eine optimierte Reststoffverwertung durch Verschiebung von Reststoffmengen zwischen den bestehenden Entsorgungswegen?
- Welche Wirkungen hätte eine zentrale energetische Verwertung unternehmensübergreifend gebündelter Reststoffe mit hohem bis mittlerem Heizwert (Sortierrückstände; Rinde/Holzreste) in wenigen Papierfabriken anstelle der dezentralen Entsorgung in vielen externen Anlagen?
- Welche Wirkungen hätte eine zentrale energetische Verwertung von unternehmens- und fraktionsübergreifend gebündelten Reststoffgemischen (Deinkingrückstände + Rinde/Holzreste; Deinkingrückstände + Sortierrückstände; Deinkingrückstände + Rinde/Holzreste + Sortierrückstände) in wenigen Papierfabriken?

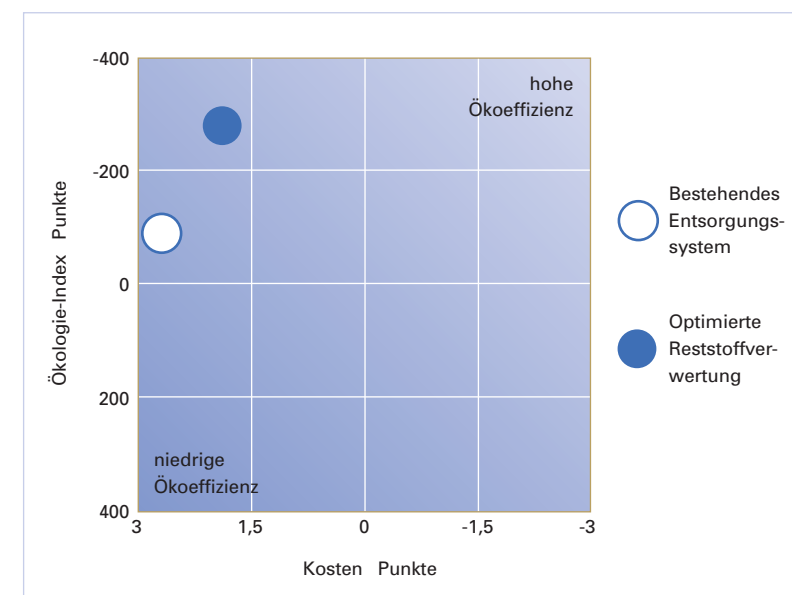
Die definierten Szenarien wurden mit dem Ist-Zustand verglichen. Aus den optimierten Entsorgungsszenarien wurde dann ein Konzept für ein optimiertes Entsorgungssystem abgeleitet.

### 4.2 Verschiebung von Reststoffmengen zwischen bestehenden Entsorgungswegen

Die Analyse der bestehenden Entsorgungswege zeigte, dass für jeden Reststoff Möglichkeiten bestehen, die Ökoeffizienz durch Verschiebung von Mengen zwischen den bereits 2004 genutzten Entsorgungswegen zu verbessern. Durch Zusammenführung der jeweils besten Alternative zu jedem Reststoff ergibt sich das Szenario für die optimierte Reststoffverwertung. Sowohl hinsichtlich der Umweltwirkungen als auch der Kosten schneidet dieses optimierte Szenario besser ab als das bestehende Entsorgungssystem. Die Entsorgungskosten liegen um über 25 % niedriger. Die für fast alle betrachteten Umweltwirkungen bereits im bestehenden Entsorgungssystem ermittelten Entlastungen der Umwelt würden noch einmal deutlich verbessert werden, nämlich zwischen 1.843 (Ozonbildungspotenzial) und 140.276 Einwohnerwerten (Schwefeldioxidemissionen).

Ergebnisse der Verschiebung von Reststoffmengen zwischen den bestehenden Entsorgungswegen – Entsorgungsweg mit dem jeweils besten Ergebnis

Reststoff	Alternative mit dem besten Ergebnis
Deinkingrückstände	Innerbetriebliche energetische Verwertung der gesamten Reststoffmenge
Rinde/Holzreste	Innerbetriebliche energetische Verwertung der gesamten Reststoffmenge
Verbrennungsrückstände	Verwertung der gesamten Reststoffmenge in der Zementindustrie
Sortierrückstände aus der Altpapieraufbereitung	Innerbetriebliche energetische Verwertung der gesamten Reststoffmenge
Rückstände aus der Abwasserreinigung	Verwertung der gesamten Reststoffmenge in der Ziegelindustrie



Ökoeffizienz-Portfolio des bestehenden Entsorgungssystems und einer durch Verschiebung von Reststoffmengen zwischen den Verwertungswegen optimierten Reststoffverwertung

Gegenüberstellung der Umweltbe- und -entlastungen des bestehenden Entsorgungssystems und einer durch Verschiebung von Reststoffmengen zwischen den Entsorgungswegen optimierten Reststoffverwertung. KEA = kumulierter Energieaufwand. EW = Einwohnerwerte.

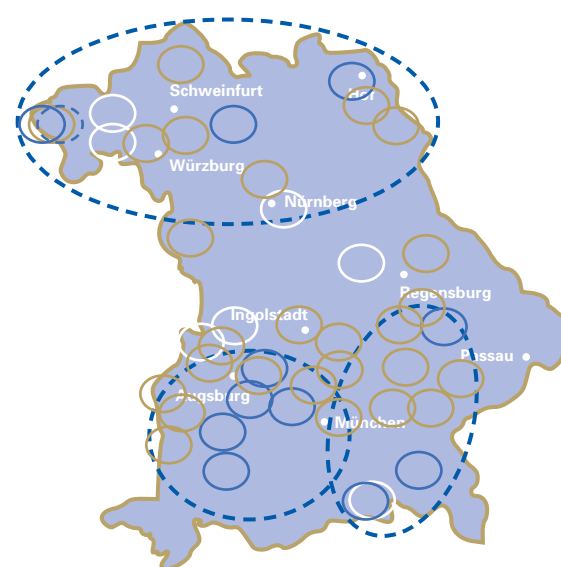
	Bestehendes Entsorgungssystem	Optimierte Reststoffverwertung	Beitrag zur Umweltentlastung durch die optimierte Reststoffverwertung
KEA gesamt	- 7,4 Mio. GJ	- 11,8 Mio. GJ	Entlastung um 4,39 Mio. GJ (25.153 EW)
Treibhauspotenzial [CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	- 337,7 Mio. kg	- 638,9 Mio. kg	Entlastung um 301,2 Mio. kg (25.512 EW)
Versauerungspotenzial [SO <sub>2</sub> -Äquivalente]	- 438.022 kg	- 2,48 Mio. kg	Entlastung um 2,04 Mio. kg (50.219 EW)
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO <sub>4</sub> -Äquivalente]	8.408 kg	- 119.188 kg	Entlastung um 127.596 kg (24.491 EW)
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	- 31.658 kg	- 47.566 kg	Entlastung um 15.908 kg (1.843 EW)
Ammoniak	76.132 kg	16.686 kg	Entlastung um 59.446 kg (7.832 EW)
Cadmium	- 1,09 kg	- 2,01 kg	Entlastung um 0,92 kg (7.110 EW)
Stickoxide	- 137.953 kg	- 961.245 kg	Entlastung um 832.292 kg (42.329 EW)
Schwefeldioxid	- 497.546 kg	- 1,85 Mio. kg	Entlastung um 1,36 Mio. kg (140.276 EW)



### 4.3 Energetische Verwertung unternehmensübergreifend gebündelter Reststoffe

#### Zusammenfassung der bayerischen Papierindustrie zu Clustern

Der thermische und elektrische Energieoutput eines Kraftwerks ist neben dem eingesetzten Brennstoff im Wesentlichen von den erreichten thermischen und elektrischen Nutzungsgraden abhängig. Große Anlagen können höhere elektrische Nutzungsgrade und somit eine bessere Energieeffizienz erreichen als kleinere Einheiten. Allerdings ist für die Nutzung zentraler großer Anlagen eine Zusammenführung der Reststoffe notwendig. Es entstehen also größere Transportaufwendungen. Um diese zu begrenzen, wurde die bayerische Papierindustrie nach räumlichen und funktionalen Gesichtspunkten in drei Cluster zusammengefasst. Hierzu wurden auf Basis von Angaben der Papiertechnischen Stiftung zwölf Papierfabriken ausgewählt, die im Jahre 2004 insgesamt etwa 3,94 Mio. Tonnen Papier hergestellt haben. Das entsprach ca. 93 % der gesamten bayerischen Papierproduktion.



Cluster der bayerischen Papierindustrie mit den Standorten von Papierfabriken (blau) sowie einzelner Ziegel- (gold) und Zementwerke (weiß).  
Quelle: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V.

#### Verbrennungskonzepte und Verwertungsanlagen

Die zu untersuchenden optimierten Verbrennungskonzepte und Verwertungsanlagen für die Reststoffe wurden in Form folgender Szenarien festgelegt:

- Energetische Verwertung der Rinde/Holzreste
  - a) dezentral in kleinen Heizwerken
  - b) zentral in großen KWK-Anlagen mit ganzjährigem Wärmebedarf, etwa in Papierfabriken.

Wärme- oder Stromabnehmer könnten verschiedene Industriezweige oder im Fall kleinerer dezentraler Einheiten auch Nahwärmenetze regionaler Energieversorger sein.

- Energetische Verwertung der Rinde/Holzreste
  - a) dezentral in kleinen Heizkraftwerken
  - b) zentral in großen KWK-Anlagen mit ganzjährigem Wärmebedarf, etwa in Papierfabriken.

Wärme- oder Stromabnehmer könnten verschiedene Industriezweige oder im Fall kleinerer dezentraler Einheiten auch Nahwärmenetze regionaler Energieversorger sein.

- Energetische Verwertung der Sortierückstände
  - a) dezentral in Müllverbrennungsanlagen
  - b) zentral in großen KWK-Anlagen mit ganzjährigem Wärmebedarf, etwa in Papierfabriken.

Der thermische und der elektrische Energieertrag sind dabei im Wesentlichen von den Anlagennutzungsgraden abhängig. Die folgende Tabelle zeigt, welche Nutzungsgrade für diese Anlagen der Berechnung zugrunde gelegt wurden.

Der Untersuchung zugrunde liegende Nutzungsgrade [IWT 2006]

Parameter	Elektrischer Nutzungsgrad	Thermischer Nutzungsgrad	Gesamtnutzungsgrad
KWK-Anlage für die zentrale energetische Verwertung <sup>1</sup>	28 %	55,2 %	83,2 %
Heizwerk für die dezentrale energetische Verwertung	–	85 %	85 %
Heizkraftwerk für die dezentrale energetische Verwertung <sup>2</sup>	16,6 %	56,4 %	73 %
Durchschnittliche Müllverbrennungsanlage	10 %	30 %	40 %

<sup>1</sup>) maximale elektrische Leistung von ca. 52 MW    <sup>2</sup>) maximale elektrische Leistung von 3 MW

#### Auswirkungen auf die Ökoeffizienz

Um den Einfluss von Transporten zu bewerten, wurden für die zentrale energetische Verwertung in jedem Cluster zwei Alternativen untersucht: Dies ist zum einen die Papierfabrik mit dem größten Energiebedarf und zum anderen die Papierfabrik, in der die größte Reststoffmenge anfällt. Für die dezentrale energetische Verwertung der Rinde/Holzreste wurden Heizwerke und Heizkraftwerke in unmittelbarer Nähe der einzelnen Papierfabriken angenommen, für die dezentrale energetische Verwertung der Sortierückstände ein Transport zur nächstgelegenen Müllverbrennungsanlage.

Die Auswertungen zeigen für Rinde/Holzreste und für Sortierückstände, dass in jedem Cluster eine zentrale energetische Verwertung an Standorten mit ganzjährigem Wärmebedarf eine höhere Ökoeffizienz aufweist als die dezentrale energetische Verwertung.



Strom aus Reststoffverwertung spart fossile Brennstoffe  
Foto: European mediaculture online

Die zentrale energetische Verwertung von Rinde/Holzresten bei der Papierfabrik pro Cluster, in der die größte Reststoffmenge anfällt, ist ökologisch und hinsichtlich der Kosten der günstigste Verwertungsweg und erreicht damit die höchste Ökoeffizienz. Für alle betrachteten Umweltwirkungen sind die Ergebnisse hier am besten. Die betriebswirtschaftlichen Erlöse aus der Energieerzeugung sind um ca. 22 % höher als bei zentraler energetischer Verwertung in der Papierfabrik mit dem jeweils größten Energiebedarf im Cluster und bei dezentraler energetischer Verwertung in kleinen Heiz- bzw. Heizkraftwerken.

Auch im Fall der Sortierückstände stellt die zentrale energetische Verwertung bei der Papierfabrik, in der die größte Reststoffmenge anfällt, das ökoeffizienteste Szenario. Mit Ausnahme der Ammoniak- und Cadmiumemissionen ist hier für alle betrachteten Umweltwirkungen die Belastung der Umwelt am geringsten. Gegenüber der dezentralen energetischen Verwertung in Müllverbrennungsanlagen, die Kosten verursacht, werden hier Erlöse aus der Energieerzeugung erzielt. Diese sind um ca. 8 % höher als bei zentraler, energetischer Verwertung in der Papierfabrik mit dem größten Energiebedarf im Cluster.



Holzreste  
Foto: Shutterstock

#### 4.4 Energetische Verwertung unternehmens- und fraktionsübergreifend gebündelter Reststoffgemische

##### Die Entsorgungssysteme

Aufbauend auf den zuvor beschriebenen Ergebnissen wurden nun die Deinkingrückstände als größte energetisch verwertbare, aber relativ heizwertarme Einzelfraktion mit in die Analyse aufgenommen. Dadurch wird die Papierfabrik, die im Cluster den größten Energiebedarf aufweist, zugleich die Papierfabrik mit der größten Reststoffmenge. Wieder wurde angenommen, dass die energetisch verwertbaren Reststoffe der anderen Papierfabriken im Cluster dorthin transportiert und zentral zur Deckung des dortigen elektrischen und thermischen Energiebedarfs verwertet werden.

Die zu untersuchenden optimierten Entsorgungssysteme wurden in Form folgender Szenarien festgelegt:

- Im Szenario 1 werden Rinde/Holzreste und Deinkingrückstände unternehmens- und fraktionsübergreifend zu einem Abfallstrom gebündelt und in jedem Cluster in der Papierfabrik mit dem größten Energiebedarf und der größten Reststoffmenge in einer KWK-Anlage verwertet. Die Sortierückstände werden dort in einer separaten und daher auch meist kleineren Feuerungsanlage thermisch genutzt.
- Im Szenario 2 wird die gemeinsame energetische Verwertung von Deinking- und Sortierückständen in jedem Cluster in der Papierfabrik mit dem größten Energiebedarf und der größten Reststoffmenge in einer KWK-Anlage betrachtet. Die anfallenden Mengen Rinde/Holzreste werden dort separat verwertet.
- Im Szenario 3 werden unternehmens- und fraktionsübergreifend die gebündelten Reststoffgemische aus Rinde/Holzreste, Deinkingrückständen und Sortierresten in jedem Cluster in einer KWK-Anlage der Papierfabrik mit dem größten Energiebedarf und der größten Reststoffmenge gemeinsam energetisch verwertet.

Die folgende Tabelle zeigt die thermischen und elektrischen Energiebedarfs-Deckungsbeiträge, also die durch die Reststoffverwertung gedeckten Anteile des Energiebedarfs der Papierfabriken mit dem größten Energiebedarf und der größten Reststoffmenge.

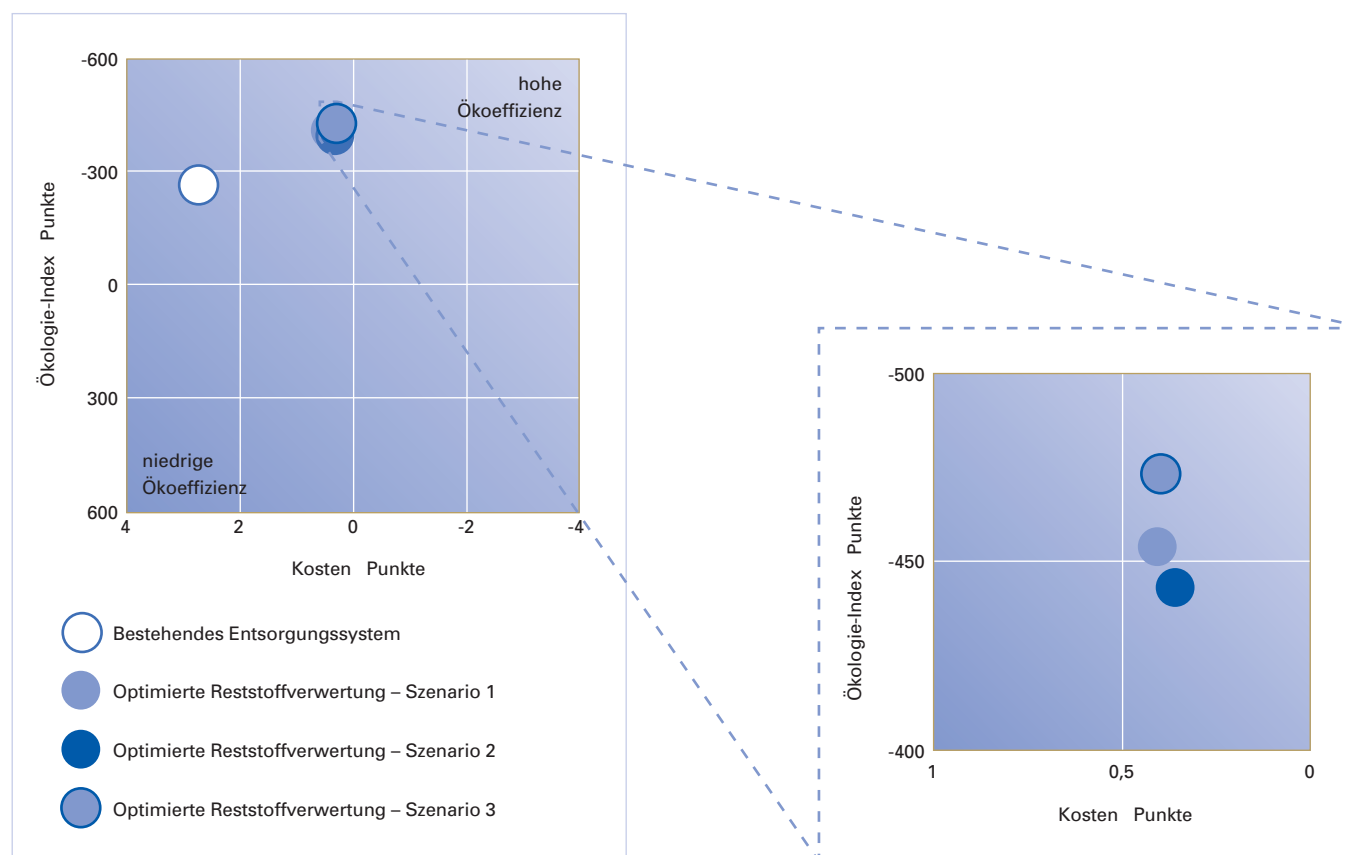
Thermische ( $d_{\text{thermisch}}$ ) und elektrische ( $d_{\text{elektrisch}}$ ) Energiebedarfs-Deckungsbeiträge (durch die Reststoffverwertung gedeckter Anteil des Energiebedarfs der Papierfabriken mit dem größten Energiebedarf und der größten Reststoffmenge)

	Szenario 1		Szenario 2		Szenario 3	
	$d_{\text{elektrisch}}$	$d_{\text{thermisch}}$	$d_{\text{elektrisch}}$	$d_{\text{thermisch}}$	$d_{\text{elektrisch}}$	$d_{\text{thermisch}}$
Cluster 1	19,5 %	41,3 %	21 %	41,2 %	22,9 %	41,0 %
Cluster 2	44,4 %	57,9 %	40,3 %	58,2 %	46,8 %	57,8 %
Cluster 3	17,2 %	38,3 %	17,6 %	38,3 %	18,7 %	38,2 %



### Auswirkungen auf die Ökoeffizienz

Alle drei optimierten Szenarien schneiden hinsichtlich der Umweltwirkungen und der Kosten deutlich besser ab als das bestehende Entsorgungssystem. Im Vergleich untereinander sind die optimierten Reststoffverwertungsszenarien nahezu gleichwertig. Eine genauere Betrachtung zeigt, dass Szenario 3 bei den Kosten zwischen den beiden anderen Szenarien liegt, jedoch bei den Umweltwirkungen am günstigsten abschneidet. Im Szenario 3 liegen die Entsorgungskosten um ca. 85 % niedriger als im bestehenden Entsorgungssystem und die bereits für das bestehende Entsorgungssystem ermittelten Entlastungen der Umwelt werden noch einmal deutlich weiter verbessert. Lediglich bei den Cadmiumemissionen und beim Ozonbildungspotenzial ist hier eine etwas geringere Umweltentlastung zu verzeichnen.



Ökoeffizienz-Portfolio des bestehenden Entsorgungssystems und der Szenarien 1, 2 und 3. Zusammenfassung der Ergebnisse aus allen drei Clustern.

## 5. Konzept für ein optimiertes Entsorgungssystem

Aus den Ergebnissen der zuvor beschriebenen Ökoeffizienzanalysen wurde schließlich das folgende Konzept eines optimierten Entsorgungssystems für die Reststoffe aus der Papierindustrie abgeleitet:

- Gemeinsame energetische Verwertung von Rinde/ Holzreste, Deinkingrückständen und Sortierückständen aus der Altpapieraufbereitung in drei KWK-Anlagen (pro Cluster eine Anlage), in denen ganzjährige und umfassende Abwärmenutzung gewährleistet ist,
- Verwertung der Verbrennungsrückstände in der Zementindustrie und
- Verwertung der Rückstände aus der Abwasserreinigung in der Ziegelindustrie.



KWK-Anlage einer Papierfabrik  
Foto: UPM-Kymmene Papier GmbH & Co. KG

Hinsichtlich der Umweltwirkungen und der Kosten schneidet dieses optimierte Entsorgungssystem im Ökoeffizienz-Portfolio wesentlich günstiger ab als das bestehende. Die Entsorgungskosten liegen um mehr als 90 % niedriger, und die durch das bestehende Entsorgungssystem bereits erzielten Umwelt-Entlastungen würden noch einmal deutlich verbessert. Die dadurch zusätzlich erreichbaren Umweltentlastungen liegen zwischen 2.520 Einwohnerwerten (Ozonbildungspotenzial) und 158.171 Einwohnerwerten (Schwefeldioxidemissionen).



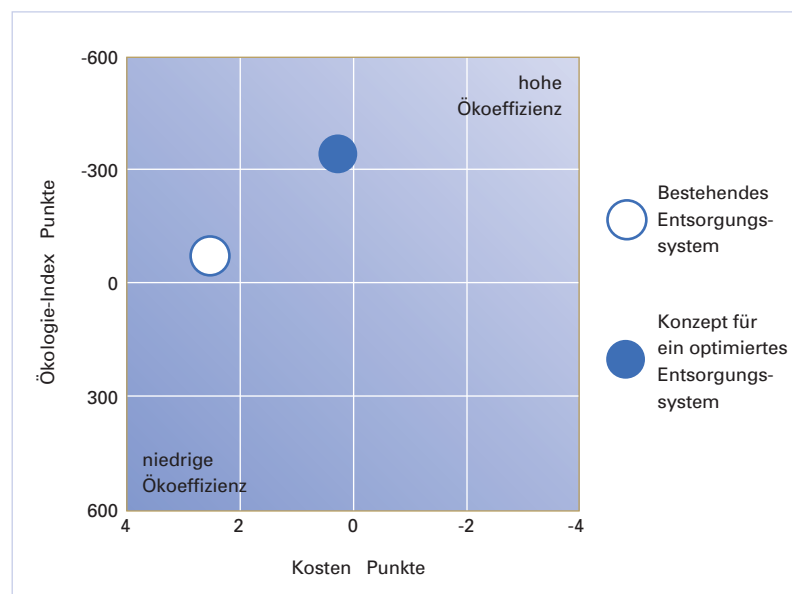
Zementfabrik  
Foto: Shutterstock

Die Kostendaten wurden zu fiktiven KWK-Anlagen berechnet. Eine Kalkulation vor dem Hintergrund eines realen betrieblichen Umfelds kann zu abweichenden Zahlen führen. Die deutliche Differenz zum Ist-Zustand zeigt jedoch, dass in jedem Fall die Bündelung von Reststoffströmen über die Unternehmensgrenzen hinaus und insbesondere die vermehrte energetische Verwertung bei ganzjähriger Abwärmenutzung nicht nur ein Umweltentlastungs-, sondern auch ein erhebliches Kostensenkungspotenzial aufweist.



Ziegelwerk  
Foto: Shutterstock





Ökoeffizienz-Portfolio des bestehenden Entsorgungssystems für die Reststoffe der bayerischen Papierindustrie im Vergleich mit dem Konzept für ein optimiertes Entsorgungssystem

Gegenüberstellung der Umweltbe- und -entlastungen des bestehenden und des optimierten Entsorgungssystems für die Reststoffe der bayerischen Papierindustrie. KEA = kumulierter Energieaufwand.

	Bestehendes Entsorgungssystem	Optimiertes Entsorgungssystem	Beitrag zur Umweltentlastung durch das optimierte Entsorgungssystem
KEA gesamt	- 7,4 Mio. GJ	- 1 3,9 Mio. GJ	Entlastung um 6,5 Mio. GJ (37.270 EW)
Treibhauspotenzial [CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	- 337,7 Mio. kg	- 950,1 Mio. kg	Entlastung um 612,3 Mio. kg (51.871 EW)
Versauerungspotenzial [SO <sub>2</sub> -Äquivalente]	- 438.022 kg	- 2,92 Mio. kg	Entlastung um 2,48 Mio. kg (60.966 EW)
Eutrophierungspotenzial terrestrisch [PO <sub>4</sub> -Äquivalente]	8.408 kg	- 166.793 kg	Entlastung um 175.147 kg (33.618 EW)
Fotooxidantienbildung [Ethen-Äquivalente]	- 31.658 kg	- 53.404 kg	Entlastung um 21.746 kg (2.520 EW)
Ammoniak	76.132 kg	17.026 kg	Entlastung um 59.107 kg (7.787 EW)
Cadmium	- 1,09 kg	- 1,87 kg	Entlastung um 0,78 kg (6.034 EW)
Stickoxide	- 137.952 kg	- 1,33 Mio. kg	Entlastung um 1,19 Mio. kg (61.181 EW)
Schwefeldioxid	- 497.546 kg	- 2,03 Mio. kg	Entlastung um 1,53 Mio. kg (158.171 EW)

## 6. Schlussfolgerungen

Durch die fast vollständige Verwertung der Reststoffe bewirkte schon das bestehende Entsorgungssystem im Jahr 2004 eine erhebliche Umweltentlastung. Gleichwohl zeigt die detaillierte Analyse erhebliche ökologische und betriebswirtschaftliche Optimierungspotenziale auf:

1. Eine Verschiebung von Stoffströmen zwischen bestehenden Entsorgungswegen ergibt eine potenzielle Kostensenkung von etwa 25 %. Dabei sollten nicht die brennbaren Verbrennungsrückstände bevorzugt in der Zementindustrie und Rückstände aus der Abwasserreinigung insbesondere in der Ziegelindustrie verwertet werden. Wesentliche Verbesserungen der Energieausbeute verbunden mit entsprechenden betriebswirtschaftlichen und ökologischen Vorteilen lassen sich erreichen, wenn noch größere Anteile der Rinde/Holzreste, Deinking- und Sortierückstände der energetischen Verwertung zugeführt werden.
2. Eine erhebliche Steigerung der Energieeffizienz ist möglich, wenn die energetische Verwertung verstärkt an Standorten mit ganzjährig hohem Wärmebedarf erfolgt. Papierfabriken mit hohem Reststoffaufkommen und hohem Energiebedarf haben sich dabei als vorteilhafte Standorte erwiesen.
3. Die Zusammenführung gleichartiger Reststoffe aus mehreren Papierfabriken ermöglicht die Nutzung größerer Verbrennungsanlagen. Die dadurch gegebenen Skaleneffekte bedingen eine höhere Energieeffizienz und günstigere spezifische Kosten als dies bei kleineren Anlagen der Fall ist.
4. Diese Skaleneffekte lassen sich weiter steigern, indem bei der energetischen Verwertung Rinde/Holzreste, Deinking- und Sortierückstände aus mehreren Papierfabriken zu einem Stoffstrom gebündelt werden.

Transportentfernungen haben einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die ökologischen Effekte der Entsorgung heizwertarmer Reststoffe, also der Rückstände aus der Abwasserreinigung, der Verbrennungs- und der Deinkingrückstände. Für die heizwertreichen Reststoffe Sortierückstände und Rinde/Holzreste ist der Einfluss hingegen nur gering.

Das alle diese Ansätze zusammenführende Konzept für ein optimiertes Entsorgungssystem ermöglicht eine Senkung der Kosten auf weniger als 10 % der Aufwendungen im Jahr 2004. Diese Einsparung ist hauptsächlich auf die vermehrte energetische Verwertung in großen KWK-Anlagen mit ganzjähriger Abwärmenutzung zurückzuführen. Aber: Diese Kostensenkung beruht auf einem Ökoeffizienz-Vergleich des bestehenden Entsorgungssystems mit einem hypothetisch über Jahre gewachsenen optimalen System. Die mit der Realisierung des optimalen Modells verbundenen Umstellungskosten wie Stilllegungskosten oder längerfristige vertragliche Bindungen sind dabei nicht berücksichtigt. Zu beachten sind ferner mögliche Limitierungen, die in der Zement- und Ziegelindustrie für zusätzliche Reststoffmengen aus der Papierindustrie bestehen.

Die Gleichsinnigkeit und die Deutlichkeit der ökologischen wie der betriebswirtschaftlichen Bewertung zeigen jedoch unabwiesbar, dass die Frage, auf welche Weise, mit welchem Zeithorizont und in welchem Umfang eine Annäherung an dieses idealisierte Modell realisiert werden kann, einer gründlichen Prüfung wert ist. Ein Teil der Vorschläge dürfte problemlos und zeitnah umsetzbar sein. Andere Maßnahmen sollten eher mittelfristig in Betracht gezogen werden, etwa dann, wenn Anlagen stillgelegt oder neu gebaut werden müssen. Und schließlich wird es Fälle geben, in denen sich eine Umsetzung aufgrund der spezifischen Rahmenbedingungen als nicht realisierbar erweist. Die hier vorliegende Potenzialanalyse sollte daher als Grundlage für eine systematische und ergebnisoffene Strategiediskussion genutzt werden.

## Quellen

- [CHRYSSOS 1996] Chryssos, G.: Reststoffsituation in der deutschen Papierindustrie. In Murr, J.; Chryssos, G. (Hrg.): Abfallwirtschaft in der Papierindustrie: Vermeidung, Verwertung und Entsorgung papiertechnischer Reststoffe. Papiertechnische Stiftung, München 1996
- [IWT 2006] Institut für Wärmetechnik: Dezentrale Einspeisung von erneuerbaren Energieträgern in Fernwärmenetze und Möglichkeiten der Biomasse KWK. Stand 2006, [www.energiesystemederzukunft.at](http://www.energiesystemederzukunft.at), download 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
- [VBP 2007] Verband Bayerischer Papierfabriken e. V.: Auswertung der Rückstandsumfrage in der deutschen Papierindustrie (2004) für Bayern. Papiertechnische Stiftung im Auftrag des Verband Bayerischer Papierfabriken e. V., München 2007
- [VDP 2005] Verband Deutscher Papierfabriken e. V.: Wasser- und Rückstandsumfrage in der deutschen Papierindustrie (2004). Papiertechnische Stiftung im Auftrag des Verband Deutscher Papierfabriken e. V., Infor-Projekt 83R, Bonn 2005



Altpapier  
Foto: UPM-Kymmene Papier GmbH & Co. KG

## Impressum

Herausgeber: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz  
Rosenkavalierplatz 2, 81925 München (StMUGV)

Internet: [www.stmugv.bayern.de](http://www.stmugv.bayern.de)  
E-Mail: [poststelle@stmugv.bayern.de](mailto:poststelle@stmugv.bayern.de)

Gestaltung: Diamond Graphics KG, Augsburg  
Druck: Schöttner Offsetdruck GmbH, Oberhaching

Stand: Mai 2008

© StMUGV, alle Rechte vorbehalten

Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier

Diese Druckschrift wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung.

Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars erbeten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt.

Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 0180 1 201010 (3,9 Cent pro Minute aus dem deutschen Festnetz; abweichende Preise aus Mobilfunknetzen) oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

## Projektpartner



bifa Umweltinstitut  
Am Mittleren Moos 46  
86167 Augsburg  
Tel.: +49 821 7000-0  
Fax: +49 821 7000-100  
[www.bifa.de](http://www.bifa.de)



Papiertechnische Stiftung  
Heißstr. 134  
80797 München  
Tel.: +49 89 12146-0  
Fax: +49 89 12146-36  
[www.ptspaper.de](http://www.ptspaper.de)



Forschungsstelle für  
Energiewirtschaft e. V.  
Am Blütenanger 71  
80995 München  
Tel.: +49 89 158121-0  
Fax: +49 89 158121-10  
[www.ffe.de](http://www.ffe.de)



Verband Bayerischer  
Papierfabriken e. V.  
Oberföhringer Str. 58  
81925 München  
Tel.: +49 89 212305-0  
Fax: +49 89 212305-55  
[www.baypapier.com](http://www.baypapier.com)

Die ausführliche Studie mit einem Umfang von  
60 Seiten kann über [www.bifa.de](http://www.bifa.de) erworben werden



BAYERN I DIREKT Tel.: 0180 1 201010  
3,9 ct/min aus dem deutschen Festnetz;  
max. 42 ct/min aus den Mobilfunknetzen.