

INFOR-Projekt Nr. 171 R

**Gefahr Recyclingkollaps? – Aufklärung von Art,
Wirkrichtung und Wechselwirkungen der aktuellen
Entwicklungstrends im Hinblick auf die zukünftige
Altpapierqualität in Mitteleuropa**

Schlussbericht

April 2014

Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Papierfabrikation und
Mechanische Verfahrenstechnik

Papiertechnische Stiftung – PTS

Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel

Projektbearbeiter:

Dr.-Ing. Hans-Joachim Putz

Dipl.-Ing. Saskia Runte

Dr. Frank Miletzky

Projektbearbeiter:

Dr.-Ing. Johannes Kappen

Dipl.-Ing. (FH) Constanze Seidemann

Dr. Gert Meinel

Schlussbericht INFOR-Projekt 171R

Gefahr Recyclingkollaps? - Aufklärung von Art, Wirkrichtung und Wechselwirkungen der aktuellen Entwicklungstrends in Hinblick auf die zukünftige Altpapierqualität in Mitteleuropa

Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik (PMV)
Technische Universität Darmstadt

Papiertechnische Stiftung (PTS)

Projektbearbeiter:

Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik (PMV) / TU Darmstadt

Dr.-Ing. Hans-Joachim Putz

Dipl.-Ing. Saskia Runte

Papiertechnische Stiftung (PTS)

Dr.-Ing. Johannes Kappen

Dipl.-Ing. (FH) Constanze Seidemann

Dr. Gert Meinel

April 2014



Projektbegleiter:

Herr Tobias Baker / Papier- und Kartonfabrik Varel, Varel (Projektsprecher)

Herr Dr. Hans-Günter Ludwig / Weig Karton, Mayen

Herr Tino Berthel / Papierfabrik Palm, Werk Eltmann

Herr Pascal Philipps / Smurfit Kappa Recycling, Mönchengladbach

Herr Dr. Hubertus Burkhardt / Kübler & Niethammer, Kriebstein

Herr Sandro Taske / LEIPA, Schwedt

Herr Manfred Geistbeck / UPM, Augsburg

Gast

Herr Klaus Spielmann / VPWP, Darmstadt

1	Zusammenfassung	3
2	Ausgangssituationen und Zielstellungen des Projektes	5
2.1	Ausgangssituation	5
2.2	Zielstellungen.....	6
3	Methodik	7
3.1	Begriffsdefinitionen.....	7
3.2	Bewertung der Wirkmechanismen zwischen den Veränderungstrends	8
3.2.1	Verbindung Veränderungstrends und Altpapier-Qualitätseigenschaften	8
3.2.2	Visualisierung der kausalen Zusammenhänge	8
3.2.3	Analyse der Wirkmechanismen zwischen den Veränderungstrends.....	10
3.3	Modellierung	10
3.3.1	Allgemeine Beschreibung des Modells	10
3.3.1.1	Bilanzierung Faserstoffströme	10
3.3.1.2	Prognosefunktion Papiereigenschaften	12
3.3.2	Betrachtete Stoffströme und Prognosezeitraum	13
3.3.3	Systematik und Rahmenbedingungen	13
4	Ergebnisse	14
4.1	Megatrends in Gesellschaft und Industrie und ihre Einflüsse auf die Akteure des Papierkreislaufes	14
4.2	Veränderungstrends und ihre Wirkmechanismen.....	16
4.2.1	Qualitative Bewertung von Veränderungstrends welche die Festigkeits- und Struktureigenschaften von Altpapier beeinflussen.....	16
4.2.1.1	Parameter „mittlere Generationenanzahl des Faserstoffes“.....	16
4.2.1.2	Parameter Aschegehalt.....	19
4.3	Quantitative Bewertung der Veränderungstrends mittels Bilanzierungs- und Festigkeitsberechnung	23
4.3.1	Quantifizierung zukünftiger Verbrauchsmengen und Produktionsmengen von Papier	23
4.3.2	Modellgestützte Bewertung zum Einfluss von Veränderungstrends auf ausgewählte Altpapiereigenschaften	25
4.3.2.1	Datenbasis und Modellstruktur.....	25
4.3.2.2	Ergebnisse der Modellbetrachtung	27
4.3.3	Schlussfolgerungen aus der qualitativen und quantitativen Bewertung der Veränderungstrends bezüglich der Möglichkeit eines Recyclingkollapses.....	35
5	Anhang.....	0
5.1	Veränderungstrends in der Gesellschaft und Industrie.....	0

5.2	Analysen zu vergangenen und zukünftigen Veränderungen bezüglich der Rohpapierzusammensetzung und der sortenspezifischen Verbrauchs- und Produktionsmengen von Papier	7
5.3	Annahmen für die Bilanzierung	26
6	Literatur	28

1 Zusammenfassung

Das Recycling von Papier erfolgt in Deutschland auf einem sehr hohen qualitativen und quantitativen Niveau. Grundvoraussetzung hierfür ist eine ausreichende Verfügbarkeit von hochwertigem Altpapier für die Papierindustrie. Die derzeit zu beobachtenden Veränderungen in Gesellschaft und Industrie haben bereits zu einer Veränderung der Produktionsstruktur in der Papierindustrie geführt, welche sich langsam aber stetig auch auf die Altpapierqualität auswirken wird. In diesem Projekt wurde aufgezeigt, dass sich aus den zukünftig im Papierkreislauf zu erwartenden Veränderungen eine Reihe von wirtschaftlichen und/oder qualitativen Risiken für den Altpapiereinsatz in Deutschland ergeben.

Dieses Risiko leitet sich aus folgenden grundlegenden Trends ab:

- Verknappung von Rohstoffen und Energie,
- Digitalisierung von Information und Kommunikation durch zunehmende Verfügbarkeit und Nutzung elektronischer Endgeräte,
- Steigendes Bewusstsein für Qualität, Gesundheit und Nachhaltigkeit in der Gesellschaft und
- Preis- und Kostenorientierung von Konsumenten und Industrie,

welche im globalen Maßstab wirksam sind. Es ist zu erwarten, dass die wesentlichen Faktoren, die den Altpapiereinsatz in Deutschland gefährden, zeitversetzt auch auf internationaler Ebene eine Rolle spielen werden. Aus diesem Grund ist die Kenntnis dieser treibenden Kräfte und deren direkte und indirekte Verbindungen zur Altpapierqualität ein wichtiges Hilfsmittel zur Erkennung kritischer Einflüsse für das Papierrecycling. Deren Beurteilung in Bezug auf eine mögliche Gefährdung des Recyclings erfordert sortenspezifische Daten über Art und Umfang der für die Hauptaltpapiersorten zu erwartenden Eigenschaftsänderungen und deren Einfluss auf die Papierkreisläufe. Diese wurden im Rahmen des Projektes erarbeitet. Das Projekt betrachtet einen Zeitraum bis zum Jahr 2025.

Folgende Ergebnisse konnten im Rahmen des Projektes gewonnen werden:

- Die größten Einflüsse auf die Qualität und die Verfügbarkeit von Altpapier in Deutschland ergeben sich einerseits durch die bereits zu beobachtenden Veränderungen in der Struktur von Papierverbrauch und –produktion sowie andererseits durch den starken Anstieg von Bedarf bzw. Produktion an Verpackungspapieren bei gleichzeitigem Rückgang im grafischen Bereich. Ursächlich ist diese auf eine zunehmende Nutzung von elektronischen Endgeräten in allen Bereichen von Gesellschaft und Industrie zurückzuführen. Eine im Rahmen des Projektes erfolgte fundierte Abschätzung der zu erwartenden Veränderungsraten für die Produktionsmengen der Hauptpapiersorten zeigt, dass bis zum Jahr 2025 ein Rückgang der Produktion der grafischen Papiere um 14 % auf 7,9 Mio. t und ein Anstieg bei Verpackungspapieren und Karton um 47 % auf 15,4 Mio. t zu erwarten ist.
- Die analysierten Veränderungen in der Papierproduktion wirken sich in erster Linie und mit ausschließlich negativer Wirkrichtung auf die für die Festigkeitseigenschaften des Altpapieres wesentlichen Parameter Aschegehalt und mittlere Faserstoff-Generationenanzahl (Faseralter) aus. Zudem führen sie zu einer Verringerung der Verfügbarkeit von Altpapier. Die negativen Einflüsse auf die Festigkeitseigenschaften werden auch durch andere beobachtete Veränderungen in den Prozessen des Papierkreislaufes verstärkt. Dazu zählt beispielsweise der zunehmende Einsatz kurzfasriger Zellstoffe und/oder mineralischer Stoffe durch den Trend zur wirtschaftlicheren Nutzung von Ressourcen. Bedeutende Entwicklungstrends mit positiver Wirkrichtung bezüglich der Festigkeitseigenschaften konnten im deutschen und europäischen Raum nicht identifiziert werden.

- Die zu beobachtenden Entwicklungen zu hochwertigen und komplexeren Verpackungen werden sich vor allem auf die erzielbare Ausbeute von Verpackungsaltpapieren sowie bei Fehlwürfen auf die Deinkbarkeit der Sorte 1.11 auswirken.
- Die mittels Modellrechnung erfolgte Quantifizierung von zukünftigen Entwicklungen der Altpapierqualität bezüglich Aschegehalt, mittlerer Fasergenerationenanzahl und Festigkeitseigenschaften ergab, dass sich die typischen zur Verpackungspapierproduktion eingesetzten Altpapierqualitäten (1.02, 1.04) bzw. deren Mischung in erheblich stärkeren Maße verändern werden, als die aus grafischen Papieren bestehende Altpapiersorte 1.11.
- Die für das Jahr 2025 berechneten Abnahmen der für die Verpackungspapier- und Kartonherstellung relevanten Festigkeitseigenschaften Berstdruck, SCT-Wert und Biegesteifigkeit sind als sehr hoch zu bewerten und sind unter den derzeitigen wirtschaftlichen und technologischen Rahmenbedingungen nicht kompensierbar. Damit wären die im Rahmen des Projektes festgelegten Kriterien für einen Recyclingkollaps erfüllt. Zudem besteht das Risiko, dass der Anstieg von Aschegehalt und Generationenanzahl durch weitere Optimierungsmaßnahmen in der Papierindustrie zusätzlich beschleunigt wird.
- Im Vergleich zu den Verpackungsaltpapieren ist die für das Jahr 2025 ermittelte Abnahme der Faserstoffqualität und der Festigkeitseigenschaften bei der Sorte 1.11 deutlich geringer. Die möglichen Auswirkungen auf den Papierherstellungsprozess und die Produktqualität und damit das Risiko bezüglich eines Recyclingkollapses können in diesem Produktbereich nicht so klar benannt werden wie bei den Verpackungsaltpapieren. Grundsätzlich besteht auch im grafischen Bereich die Möglichkeit einer Beschleunigung/Verstärkung der berechneten Abnahme der Festigkeitseigenschaften durch Veränderungen im Rohstoffeinsatz bei der Herstellung der grafischen Papiere.
- Als kritisch ist zu bewerten, dass keine Veränderungstrends bzw. Wirkmechanismen identifiziert werden konnten, welche zukünftig einen positiven Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften in den Altpapiersorten haben.
- Zur Ableitung von Indikatoren, welche eine schnelle Abschätzung über die weitere Entwicklung der Parameter Aschegehalt und Generationenanzahl im Altpapier ermöglichen, erfolgte im Rahmen des Projektes eine qualitative Analyse für die betrachteten Hauptpapiersorten und ihre Produktionsmengen bezüglich ihrer Wirkung auf diese Faserstoffeigenschaften. Im Ergebnis der Untersuchung wurde als einziges Produktsegment mit positivem Einfluss sowohl auf den Aschegehalt im Recyclingkreislauf als auch auf die mittlere Generationenanzahl des Faserstoffs das der holzfreien grafischen Papiere herausgearbeitet. Dem gegenüber steht das Segment der Verpackungspapiere und Karton, für das aufgrund des hohen Sekundärfaserstoffeinsatzes und der fehlenden Entaschung kein positiver Einfluss auf die durchschnittliche Altpapierqualität in Deutschland ausgewiesen werden konnte. Für die Produktion und das Recycling der beiden grafischen Produktgruppen - Magazinpapiere und Zeitungsdruckpapier - wurden sowohl positive als auch negative Effekte auf den Recyclingkreislauf bestimmt. Als Ergebnis dieser Untersuchung kann abgeleitet werden, dass über die zwischen diesen Produktgruppen bestehenden Mengenverhältnisse eine qualitative Abschätzung der Entwicklung der Parameter Aschegehalt und Generationenanzahl im Altpapier möglich ist.

2 Ausgangssituationen und Zielstellungen des Projektes

2.1 Ausgangssituation

Könnte sich die Altpapierqualität in Mitteleuropa in den nächsten Jahren drastisch verschlechtern? Die großen Entwicklungstrends, wie steigende Energie- und Rohstoffkosten, zunehmende Globalisierung der Wirtschaft, Entwicklung von neuen Technologien sowie sich verändernde gesellschaftliche und gesetzliche Rahmenbedingungen wirken sich auf verschiedene Art und Weise auf alle Prozesse der Wertschöpfungskette Papier aus. Zur Verdeutlichung der vielfältigen internen und externen Wechselwirkungen des Papierkreislaufes sind diese in der nachfolgenden **Abbildung 1** schematisch dargestellt.

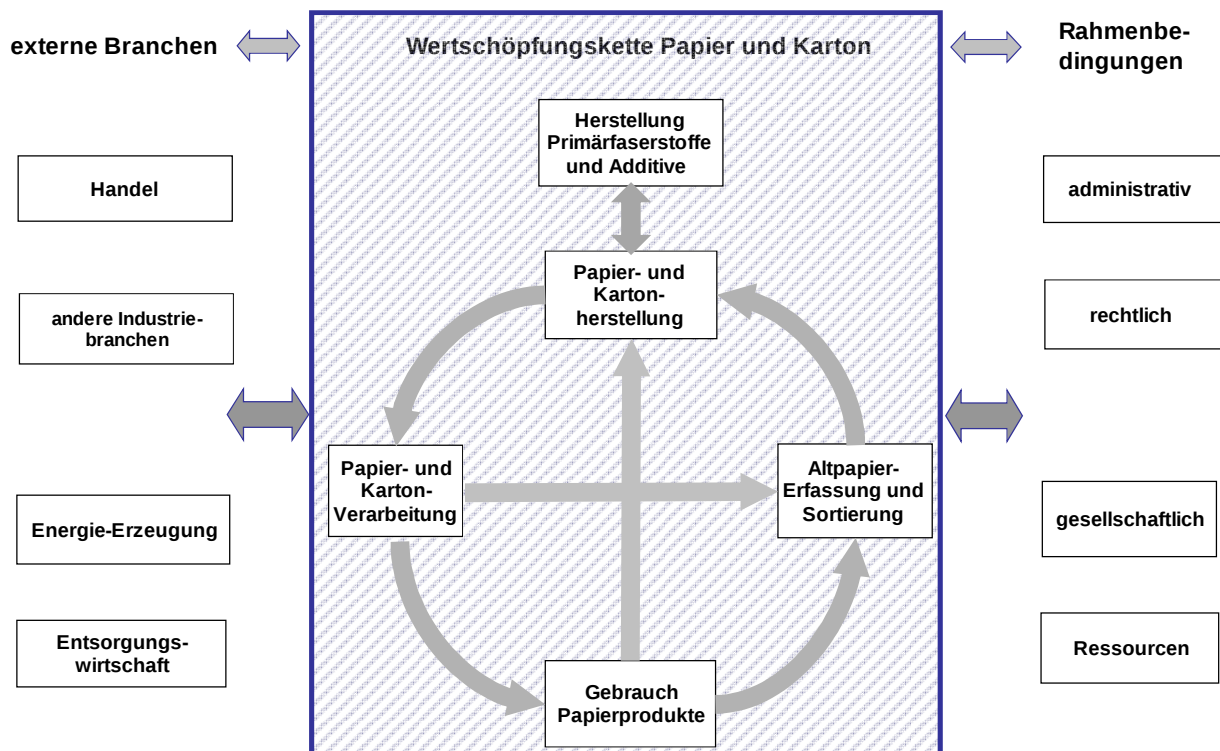


Abbildung 1: Schematische Darstellung der internen und externen Wechselbeziehungen der Wertschöpfungsprozesse des Papierkreislaufes

In den letzten Jahren ist eine Zunahme von Anzahl, Vielfalt und Dimension der auf den Papierkreislauf einwirkenden Veränderungen aus Gesellschaft und Industrie zu verzeichnen. Ursachen hierfür sind z. B. die zunehmende Verknappung von Rohstoff- und Energieressourcen, die steigende Digitalisierung von Prozessen und Informationen in Industrie und Gesellschaft, gesellschaftliche Rahmenbedingungen und Veränderungen im Verbraucherverhalten.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes sind in den verschiedenen Wertschöpfungsprozessen des Papierkreislaufes bestehende Veränderungstrends zusammen mit einer halbquantitativen Bewertung der zukünftigen Entwicklungsrichtung recherchiert worden. Für ausgewählte, wesentliche Veränderungstrends im Bereich von Produktion und Rohstoffeinsatz der Papierindustrie erfolgt zu deren zukünftiger Entwicklung eine quantitative Abschätzung.

Auf den Faserrohstoff Altpapier wirken auf Grund dessen, dass er alle Prozesse der Papierwertschöpfungskette durchläuft, diese Veränderungen - auf direktem oder indirektem Weg - in besonderem Maße ein. Jedoch liegen derzeit keine systematischen Darstellungen über in den einzelnen

Wertschöpfungsprozessen für Papier und Karton bestehenden bzw. vorgesehenen Veränderungen und ihrer Wirkung auf die Altpapierqualität vor. Somit sind gegenwärtig keine belastbaren Informationen verfügbar, welche eine Auskunft darüber geben, ob sich bei Fortführung der gegenwärtigen Veränderungstrends die Altpapierqualität in einem Maße verschlechtert, welches das erreichte hohe qualitative und quantitative Niveau des Papierrecyclings gefährdet.

Aufgrund der Komplexität und Vielfalt der Veränderungen wird es für die Papierindustrie und den anderen Akteuren der Wertschöpfungskette Papier immer wichtiger, langfristige Veränderungen vorausschauend zu erkennen, um rechtzeitig zu reagieren oder im Idealfall proaktiv agieren zu können.

2.2 Zielstellungen

Ziel des Projektes ist die Ermittlung von den zu erwartenden wesentlichen Entwicklungen in der Wertschöpfungskette Papier im Zeitraum bis 2025 und deren Bewertung bezüglich eines sich daraus ergebenden Risikos für einen Recyclingkollaps. Der Schwerpunkt des Projektes liegt auf den für die deutsche Papierindustrie mengenmäßig bedeutenden Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 1.11 [14].

Das Projekt ist in die folgenden drei Abschnitte gegliedert:

Darstellung bisheriger und zukünftiger Veränderungen in den Hauptprozessen der Wertschöpfungskette Papier

Dazu werden die in den letzten 10 Jahren aufgetretenen Veränderungen in den Wertschöpfungsprozessen Altpapiersortierung, Papierherstellung und Papierverarbeitung recherchiert. Ausgewählte Veränderungen im Rohstoffeinsatz und der Produktionsstruktur der Papierindustrie werden einer weitergehenden Analyse unterzogen, welche eine quantitative Aufnahme der Veränderungen in der vergangenen Dekade und die Benennung der dafür verantwortlichen Triebfedern beinhaltet. Daraus resultierend wird eine Ableitung der zukünftigen Veränderungsdaten aufgezeigt. Der Zeithorizont für diese perspektivische Betrachtung ist 2025.

Benennung von für die Altpapierqualität kritische Veränderungen in der Wertschöpfungskette Papier

Die Veränderungstrends werden in Bezug auf ihren Einfluss auf die Altpapierqualitäten qualitativ bewertet. Dazu erfolgt eine Klassifizierung nach folgenden Kriterien:

- Art und Richtung der beeinflussten Altpapiereigenschaften sowie die
- beeinflussten Altpapiersorten.

Veränderungstrends mit identischer Wirkrichtung und Wirkeigenschaft werden herausgearbeitet und die daraus resultierenden Wirkzusammenhänge mittels Wirkdiagrammen visualisiert. An den Verknüpfungsstellen erfolgt eine Analyse der sich unter der jeweiligen Eigenschaft ergebenden Wirkrichtung.

Quantitative Bewertung der zukünftigen Entwicklung von kritisch beeinflussten Altpapiereigenschaften

Die Stoff- und Mengenströme des Papierkreislaufes Deutschlands werden in geeigneter Differenzierung abgebildet. Die Auswirkungen von wesentlichen Veränderungen im Papierkreislauf auf die Altpapiereigenschaften werden quantifiziert.

Das Projekt soll im Rahmen dieser drei Abschnitte Antworten auf folgende Fragen liefern:

- Welche papiertechnologischen Faserstoffeigenschaften werden durch die einzelnen Entwicklungen beeinflusst und in welche Richtung?
- Besteht eine Akkumulation von wirkungsgleichen Veränderungen in einer Altpapiersorte und damit u. U. in einem Produktsegment der Papierindustrie?
- Welche Veränderungen sind besonders kritisch für die Altpapierqualität und damit für die Entwicklung des Papierrecyclings?

Die Antworten auf diese Fragen geben Auskunft über Art und Umfang von Recycling gefährdenden Eigenschaftsveränderungen des Altpapiers. Ursächlich damit in Verbindung stehende strukturelle Schwachstellen des Papierkreislaufes werden identifiziert. Damit ergeben sich wichtige Ansatzpunkte, um Risiken und Chancen für das Papierrecycling rechtzeitig erkennen und im Idealfall proaktiv agieren zu können.

3 Methodik

3.1 Begriffsdefinitionen

Recyclingkollaps

Als Recyclingkollaps wird im Rahmen dieses Projektes eine Situation mit sehr schlechter Altpapierqualität bzw. geringer Verfügbarkeit verstanden, so dass mit bestehenden Aufbereitungs- und Papierherstellungstechnologien keine hochwertige und wirtschaftliche Papierproduktion mehr möglich ist.

Mittlere Faserstoff-Generationenanzahl

Der Parameter „mittlere Generationenanzahl eines Faserstoffes“, auch als mittleres Faseralter bezeichnet, kennzeichnet die mittlere Anzahl an Recyclingzyklen, welche die Fasern eines Papiers durchlaufen haben. Ein Recyclingzyklus ist insbesondere durch die Nass- und Trockenprozesse der Papierherstellung gekennzeichnet. So weisen z. B. Altpapiersorten, welche ausschließlich aus zu 100 % aus Primärfaserstoffen hergestellten Papieren bzw. Papierprodukten generiert werden, eine mittlere Generationenanzahl von Eins auf.

Expertenmeinung

Die in diesem Projekt als Expertenmeinung beschriebenen Inhalte wurden durch den projektbegleitenden Ausschuss oder durch Abstimmung der Projektbearbeiter definiert.

Verluste Altpapier

Die Mengendifferenz, welche sich aus dem rechnerischen Bedarf der Kreisläufe an einzelnen Papierprodukten und deren Produktionsmenge ergibt, wird in dem Bilanzmodell mit dem Parameter „Verluste Altpapier“ ausgewiesen

3.2 Bewertung der Wirkmechanismen zwischen den Veränderungstrends

3.2.1 Verbindung Veränderungstrends und Altpapier-Qualitätseigenschaften

Eine wesentliche Arbeit des Projektes besteht in der Aufdeckung der zwischen den einzelnen Veränderungstrends und den Altpapiereigenschaften bestehenden Kausalkette und die Überführung in eine vermittelbare Darstellungsform. Hierfür wurde in dem Projekt zur Entwicklung der Wirkverbindungen für die faserstoffbedingten Qualitätseigenschaften der theoretische Ansatz gewählt, die Altpapiersorten stufenweise nach ausgewählten stofflichen Kriterien bis in die Faserstoffebene zu untergliedern. Die Auswahl der Gliederungskriterien erfolgt anhand der betrachteten Veränderungstrends. Anschließend werden die direkten Einflussfaktoren ermittelt, welche unter dem betrachteten Aspekt die quantitative Zusammensetzung der beiden Gliederungsstufen bestimmen und diese – soweit möglich – auf allgemein bekannte Kenngrößen, wie z. B. Papierproduktion, Altpapiereinsatzquote usw. übertragen. Nachfolgend ist diese Vorgehensweise in der **Abbildung 2** schematisch dargestellt.

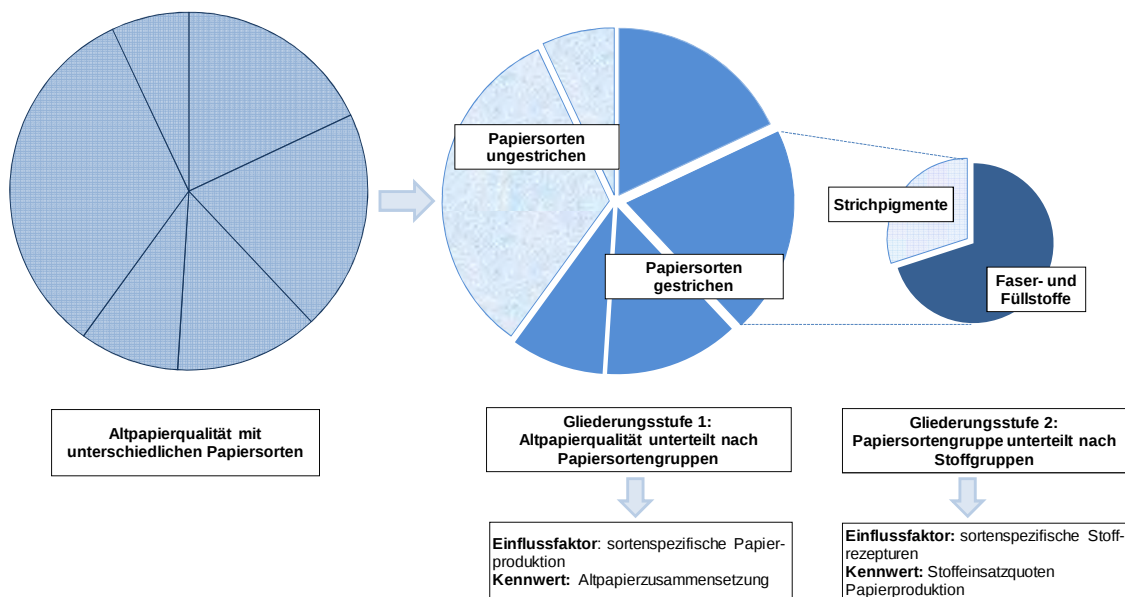


Abbildung 2: Schematische Darstellung der 2-stufigen Unterteilung von Altpapierqualitäten nach spezifischen stofflichen Kriterien und Ableitung der jeweiligen Einflussfaktoren und beschreibenden Kennwerte; hier am Beispiel der Stoffkomponente „Strich“

3.2.2 Visualisierung der kausalen Zusammenhänge

Welche Veränderungstrends oder Einflussketten stellen den größten Risikofaktor für eine bestimmte Altpapiereigenschaft dar bzw. haben einen stark positiven Einfluss? Zu Klärung dieser grundsätzlichen Fragestellungen werden die Veränderungstrends bezüglich der zwischen ihnen bestehenden kausalen Zusammenhänge und Wirkrichtungen untersucht. Diese Herangehensweise ermöglicht die Benennung von Veränderungstrends, welche die Qualitätseigenschaften einer theoretischen durchschnittlichen Altpapierqualität in Deutschland in positiver oder negativer Richtung beeinflussen. Eine Differenzierung nach einzelnen Altpapierqualitäten erfordert eine genaue Quantifizierung der Einflussfaktoren und deren Wirkverbindungen mit entsprechender Modellierung. Dieser Ansatz wird in einem separaten Teil des Projektes aufgegriffen.

Aufgrund der zumeist vielfältigen Einflussfaktoren und der hohen Komplexität zwischen den bestehenden Wirkbeziehungen ist eine Visualisierung in Form von Wirknetzen sinnvoll [1]. Anhand dieser Diagramme sind die Verschaltungen der einzelnen Faktoren, die eine konkrete Altpapiereigenschaft beeinflussen sowie ihre hierarchische Struktur deutlich erkennbar. Weiterhin ist die Wirkrichtung der einzelnen Einflussfaktoren in Bezug auf den Zielparameter ersichtlich. Nicht dargestellt ist in diesen Wirkdiagrammen das Ausmaß der Auswirkungen. Der prinzipielle Aufbau eines Wirknetzes ist in der am Beispiel des Zielparameters Festigkeitseigenschaften und dessen direkter Einflussfaktoren dargestellt. Die Pfeile symbolisieren, dass eine Variable eine andere durch einen Stoff- oder Informationsfluss beeinflusst. Die Wirkrichtung dieser zwischen zwei Variablen bestehenden Beeinflussung ist für eine bestimmten Entwicklungsrichtung aus den Pfeilen zugeordneten Symbolen (+), (=) und (-) ersichtlich, die eine positive, keine oder eine negative Wirkung auf die Zieleigenschaft haben. Die Bestimmung der Wirkung von zwei mit gegensätzlicher Wirkrichtung aufeinandertreffender Einflussfaktoren erfordert eine Quantifizierung dieser Variablen.

Die Wirkbeziehungen der jeweiligen Altpapier-Zieleigenschaft mit kritischen Einflüssen sind durch rote Linien, die Zieleigenschaft mit verbessernden Einflüssen mit grünen Linien gekennzeichnet. Damit sind besonders kritische oder auch positive Entwicklungspfade schnell zu erkennen. Beim Durchlaufen der einzelnen Verbindungslinien in Pfeilrichtung können diese Annahmen nachvollzogen werden. Zum Beispiel: Wenn der Aschegehalt der in der Altpapiersorte enthaltenen Papierqualitäten zunimmt, wirkt sich das negativ auf die Festigkeitseigenschaften der Altpapiersorte aus. Der zweite Einflussfaktor ist die in den Papierqualitäten der Altpapiersorte vorliegende mittlere Faserstoff-Generationenanzahl. Im dargestellten Beispiel in **Abbildung 3** wird keine Veränderung dieses Einflussparameters angeführt. Aus dem Zusammentreffen des negativ einwirkenden Faktors „Steigender Aschegehalt“ und der indifferent wirkenden Faserstoff-Generationenanzahl ergibt sich für den Zielparameter „Festigkeitseigenschaft Altpapiersorte“ ein Rückgang.

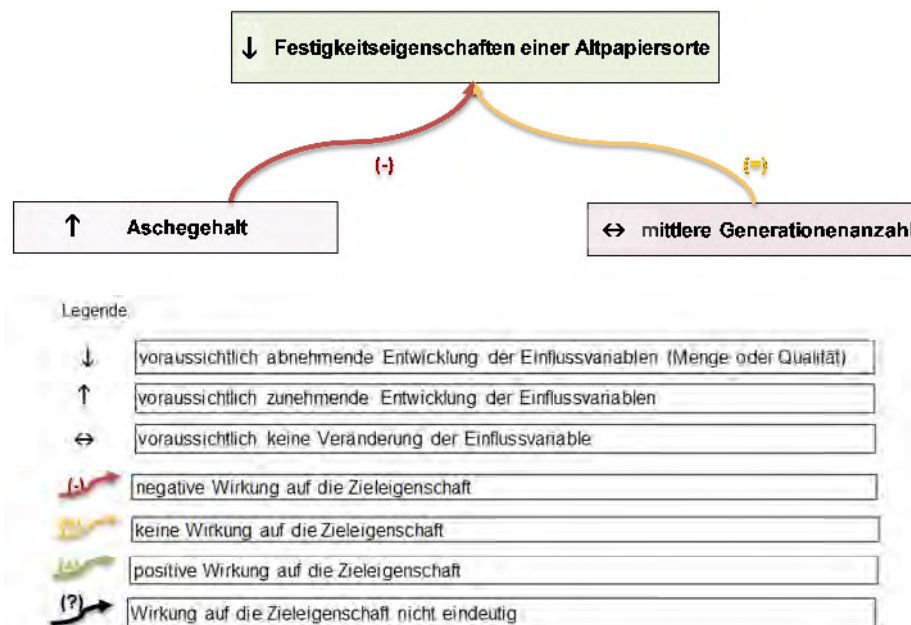


Abbildung 3: Prinzipieller Aufbau eines Wirknetzes am Beispiel des Zielparameters Festigkeitseigenschaften mit den direkten Einflussfaktoren und deren Entwicklungsrichtungen

Die Kästen in den Diagrammen stehen für Materialmengen oder Qualitätsparameter welche die jeweilige Altpapier-Zieleigenschaft beeinflussen. Dies können z. B. Produktionsmengen oder Anteile an Sekundärfasern bzw. Asche in Altpapiersorten oder Papierqualitäten sein.

3.2.3 Analyse der Wirkmechanismen zwischen den Veränderungstrends

Die Analyse der zwischen den Veränderungstrends bestehenden Wirkmechanismen hat eine zumindest halbquantitative Bewertung der Veränderungstrends zum Ziel. Dadurch können einerseits die Entwicklungsrichtungen identifiziert werden, welche entscheidend auf die Altpapierqualität einwirken und andererseits die Altpapiereigenschaften bestimmt werden, welche in besonderem Maße durch bestehende und/oder zukünftige Entwicklungstrends positiv oder negativ beeinflusst werden.

Die Untersuchung beinhaltet folgende Arbeiten:

- Bestimmung der Wirkrichtungen der Veränderungstrends in Bezug auf ihre Auswirkungen auf die Zieleigenschaft
- Untersuchung der Verknüpfungsstellen bezüglich synergistischer oder antagonistischer Wirkmechanismen

Synergistische Wirkmechanismen liegen vor, wenn mehrere Entwicklungstrends die gleiche Altpapiereigenschaft mit identischer Wirkrichtung beeinflussen. Antagonistische Wirkmechanismen sind dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Entwicklungstrends die gleiche Altpapiereigenschaft aber mit unterschiedlicher Wirkrichtung beeinflussen.

- Qualitative Bewertung der Summenwirkung von durch antagonistische Wirkmechanismen charakterisierte Verknüpfungsstellen auf die jeweilige Altpapiereigenschaft. Diese Bewertung erfolgt auf der Basis von:
 - allgemein verfügbaren Daten und Veröffentlichungen
 - Informationen durch die Projektbegleiter und
 - Analogieschlüssen und
 - Expertenmeinungen.

3.3 Modellierung

3.3.1 Allgemeine Beschreibung des Modells

Die quantitative Abschätzung der zukünftigen Entwicklungen von Altpapiereigenschaften in Deutschland erfolgt mittels eines Berechnungsmodells, welches aus einem Bilanzierungsmodell zur Abbildung der Faserstoffströme und einer Prognosefunktion für ausgewählte Papiereigenschaften besteht.

3.3.1.1 Bilanzierung Faserstoffströme

Das Rechenprinzip greift auf die Arbeit von Hunold zur Simulation der Altpapierkreisläufe zurück [2]. Die Grundidee der Simulation wurde zwischenzeitlich erweitert, um die zu beobachtenden wesentlichen Entwicklungen im Rohstoffeintrag und der Produktionsstruktur detaillierter abbilden zu können. Dazu wurde auf den bereits in den INFOR-Projekten INFOR 162 R [3] und INFOR 143 R [4] gewähl-

ten Ansatz zurückgegriffen, den Gesamtpapierkreislauf in Mikrozyklen einzelner ausgewählter Papiersorten aufzuteilen. In

Abbildung 4 sind die in diesem Projekt betrachteten Mikrozyklen und deren Verknüpfungen schematisch dargestellt. Die Bilanzierung der ausgewählten Recyclingkreisläufe und deren Verknüpfungen erfolgt mittels eines EXCEL-basierten Modells.

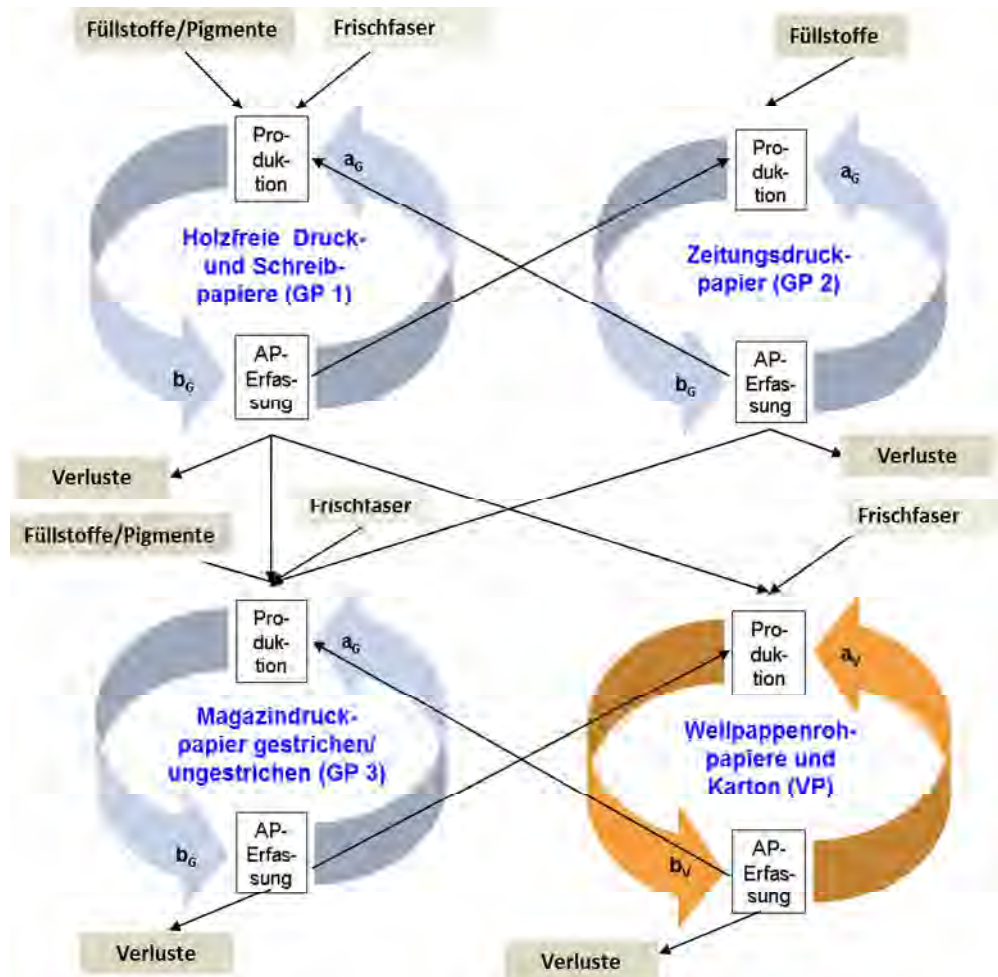


Abbildung 4: Betrachtete Mikrozyklen und deren Verknüpfungen

Jeder Einzelzyklus wird durch 8 Eingabeparameter (Einheit: Mio. t/a) gesteuert (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**):

- 1 Einsatz Frischfaser
- 2 Einsatz Strichpigmente (Asche)
- 3 Einsatz Füllstoffe (Asche)
- 4 Rejekte der Stoffaufbereitung (z. B.: 20 % organische und 80 % anorganische Bestandteile)
- 5 Produktionsmenge
- 6 – 8 Papierprodukte als Altpapierquelle der jeweils anderen drei Mikrozyklen.

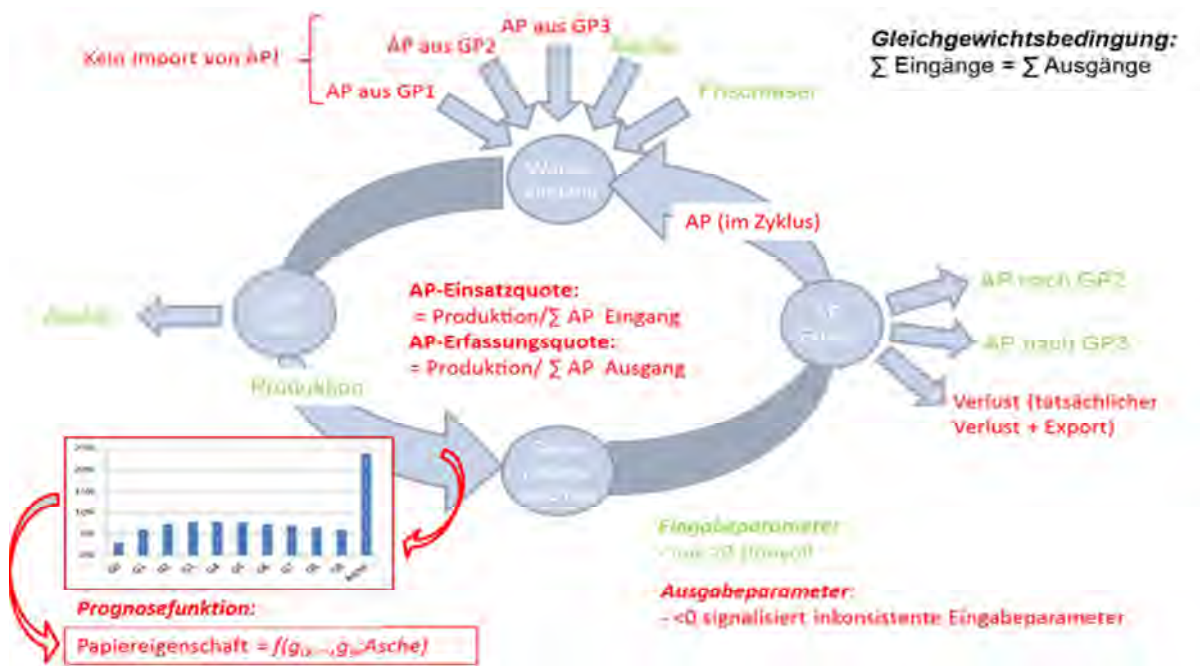
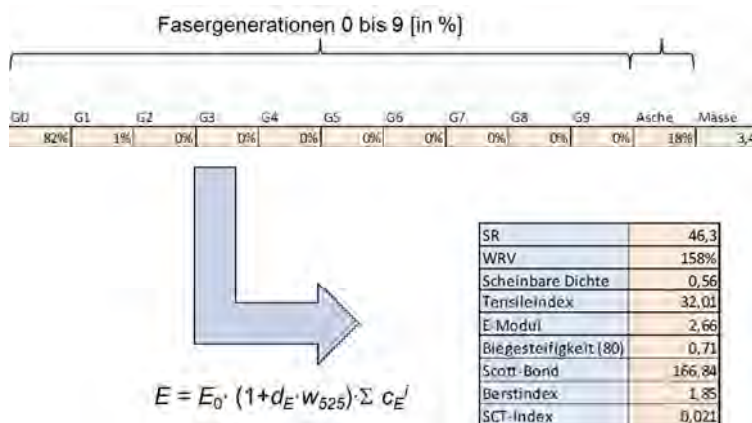


Abbildung 5: Ein- und Ausgabeparameter eines Einzelzyklus für den Verpackungspapierkreislauf in einem 4-Zyken-Modell (G1, G2 und G3 sind die jeweils komplementären Zyklen)

3.3.1.2 Prognosefunktion Papiereigenschaften

Zusätzlich zur Massebilanzierung und Bestimmung der Faserstoffzusammensetzung in Bezug auf Faseralter und Anteil anorganischer Bestandteile liefert das Bilanzmodell eine Prognose der mittleren Produktqualität in jedem Zyklus. Dies erfolgt auf Basis eines Prognosetools, welches auf der Basis der Generationsverteilung im Faserstoff und dem Glührückstand (w_{525}) die zu erwartenden (mittleren) mechanische Eigenschaften eines Laborblattes mit einem Flächengewicht von 80 g/m² berechnet (**Abbildung 6**). Eine detaillierte Beschreibung des Tools und dessen papierphysikalischen Hintergründe erfolgt unter [3].



E_0 : Wert der Papiereigenschaft (Laborblatt) vor der ersten Rezyklierung

c_E : Veränderungsrate der Papiereigenschaft E je Rezyklierzyklus

E_1 : Wert der Papiereigenschaft (Laborblatt) bei 0 % Asche

d_E : Veränderungsrate der Papiereigenschaft E je % Ascheanteil

w_{525} : Glührückstand 525 °C im Laborblatt

Abbildung 6: Prognosefunktion Papiereigenschaften

3.3.2 Betrachtete Stoffströme und Prognosezeitraum

Zur Berechnung von Eigenschaftskennwerten der in dem Modell betrachteten Rohpapiere/Altpapierqualitäten wurde eine Untergliederung des Gesamtpapierkreislaufes in folgende vier Produktgruppen vorgenommen:

- Holzfremde grafische Papiere (GP1)
- Zeitungsdruckpapier (GP 2)
- Magazinpapiere (SC und LWC) (GP 3)
- Verpackungspapiere und Karton (VP).

Im Bereich der grafischen Papiere ist aufgrund der unterschiedlichen Faserstoffrezepturen und Produktionsentwicklungen eine starke Differenzierung vorgenommen worden. Dafür sind Verpackungspapiere und Karton in einem Kreislauf zusammengefasst.

Als Ausgangsjahr für die Betrachtungen ist das Jahr 2012 gewählt worden. Die Berechnungen der zukünftigen Entwicklungen erfolgt für die Jahre 2018 und 2025.

3.3.3 Systematik und Rahmenbedingungen

Die Berechnung der Eigenschaftskennwerten der in dem Modell betrachteten Rohpapiere/Altpapierqualitäten erfolgt auf der Basis folgender Daten:

- Produktionsmengen nach Sorten
- Einsatzquoten von Altpapier
- Eintragsanteile von Primärfasern und mineralischen Stoffen
- Produktionsverluste von Faserstoffen und mineralischen Stoffe.

Weiterhin sind Angaben zu den Mengenanteilen an Papierprodukten in den wesentlichen Altpapiersorten (1.02, 1.04, 1.11) in Deutschland erforderlich.

Der gewählte Abstraktionsgrad für die Modellierung der Faserstoffströme der deutschen Papierindustrie bedingt unter anderem folgende Einschränkungen und Nebenbedingungen:

- Hygienepapiere sowie technische und Spezialpapiere (Anteil an der Gesamtproduktion 2011: 12,5 %) bleiben unberücksichtigt, da diese kaum in den Recyclingkreislauf gelangen.
- Ex- und Import von Faserstoffen werden von den nationalen Stoffströmen nicht unterschieden; eventuelle Export- oder Importüberschüsse werden durch den Ausgabeparameter „Verlust“ berücksichtigt.
- Es erfolgt keine tiefgehende Differenzierung nach Altpapiersorten, d. h. in den Recyclingzyklen der grafischen bzw. der Verpackungspapiere erfolgt ausschließlich der Einsatz der unteren Sorten 1.11 bzw. 1.02/1.04.

Für die Prognosen für die Jahre 2018 und 2025 wurden folgende Rahmenbedingungen festgelegt:

- Unveränderte Verfahren in den Bereichen der Altpapiererfassung, Altpapiertrockensortierung, Nassaufbereitung von Altpapier sowie der Papierherstellung und –verarbeitung.
- Keine Veränderung des Im- und Exportverhaltens für Papierprodukte und Altpapier.
- Konstanter Verteilungsschlüssel für die Migrationsströme der Papierprodukte zwischen den einzelnen Produktgruppen, d. h. die Zusammensetzung der Altpapiere verändert sich ausschließlich entsprechend der Produktionsstruktur der Papierindustrie.

4 Ergebnisse

4.1 Megatrends in Gesellschaft und Industrie und ihre Einflüsse auf die Akteure des Papierkreislaufes

Wesentliche Treiber für die in Gesellschaft, Industrie und Handel zu beobachtenden umfassenden und tiefgreifenden Veränderungen sind die Bereiche

- Verbraucherverhalten,
- Verfügbarkeit von Rohstoffen und Energie sowie
- Entwicklung, Herstellung und Nutzung von Sensorik, Elektronik und Datenverarbeitung [5].

Diese umwälzenden Veränderungen, auch als Megatrends bezeichnet, wirken auf direkte oder indirekte Art und Weise auch auf die Papierproduktion und letztlich auf die Altpapierqualität ein.

Zusammenfassend sind die wesentlichen Megatrends und ihre Einflüsse auf die Schlüsselprozesse des Papierkreislaufes, die Papierherstellung und die Papierverarbeitung in der nachfolgenden **Tabelle 1** dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht über die Megatrends in Gesellschaft und Industrie und ihre direkten Einflüsse auf die Papierherstellung und -verarbeitung

Megatrends	Einfluss auf die Papierherstellung	Einfluss auf die Papierverarbeitung
Steigendes Bewusstsein für Qualität, Gesundheit und Nachhaltigkeit in der Gesellschaft	- Der Bedarf an Verpackungspapier und Karton steigt - Höhere Anforderungen bezüglich Gehalt an gesundheitsrelevanten Stoffen	- Erhöhter Bedarf an papierbasierten Verpackungen - zunehmende Veredelung von Verpackungen
Verknappung von Rohstoffen und Energie	- Zunehmende Nutzungskonkurrenz für Holz befördert ein hohes Niveau für den Altpapiereinsatz und die Substitution von Faserstoff durch mineralische Stoffe	- Verstärkte Umsetzung von Maßnahmen zur Erhöhung der Materialeffizienz
Digitalisierung von Information und Kommunikation	- Die Produktion von grafischen Papieren geht zurück	- Rückläufige Produktionsmengen im grafischen Bereich - Trend zu kleinen, zielgruppenorientierten Auflagen
Preis- und Kostenorientierung von Konsumenten und Industrie	- Erhöhter Druck zur Umsetzung von Maßnahmen zur Kostenreduzierung; wie Ausbeutesteigerung, Rezepturoptimierung usw.	- Erhöhter Druck zur Umsetzung von Maßnahmen zur Kostenreduzierung; wie Ausschussminimierung usw.

Die Auswirkungen aus dem Bereich der Gesellschaft auf die Papierindustrie ergeben sich durch steigendes Bewusstsein für Nachhaltigkeit und Produktsicherheit insbesondere für Lebensmittelverpackungen. Der Werkstoff Papier wird insbesondere im Verpackungsbereich mit den Themen Qualität, Gesundheit und Nachhaltigkeit verbunden [6]. Wichtige Auswirkungen dieser Entwicklungen auf die Papierindustrie und die Altpapierqualität sind in der **Tabelle 13** und in der **Tabelle 18** im Anhang dargestellt.

Ein zusätzlicher Entwicklungstrend im Prozess der Papierherstellung ist die stetig steigende Substitution von Primärfaserstoff durch Altpapier.

Ein weiterer durch andere Industriezweige bewirkter Einflusssschwerpunkt ist die zunehmende Nutzung von Energie und Rohstoffen aus nachwachsenden Quellen. Eine Auswahl aus der Vielzahl der aus anderen Industriebranchen auf den Papierkreislauf einwirkenden Einflüsse sind ebenfalls aus der **Tabelle 13** im Anhang ersichtlich.

Im Bereich Rohstoffe und Energie sind vor allem die Veränderungen von großer Bedeutung für die Papierindustrie, welche Einfluss auf die Verfügbarkeit und die Qualität von Holz nehmen. Einige wesentliche Veränderungen in diesem Bereich sind aus der Tabelle 16 im Anhang ersichtlich. Die steigende Nutzungskonkurrenz für Holz ist eine maßgebliche Ursache für den weltweit zunehmenden Altpapiereinsatz [7]. Gleichzeitig ist ein Trend zur verstärkten Berücksichtigung des Qualitätsaspektes beim Kauf von Altpapier zu beobachten [8]. Die entsprechenden Auswirkungen auf die Altpapierqualität sind im Punkt 20 der **Tabelle 19** dargestellt.

In vielen Industriebranchen sind Veränderungen in den Herstellungsprozessen, Produkten und/oder im Rohstoffeinsatz zu beobachten, welche sich auf unterschiedliche Art und Weise auch auf die Prozesse des Papierkreislaufes auswirken. Insbesondere die Elektronik- und Sensorikbranchen üben durch die Entwicklung neuer Produkte einen großen Einfluss auf das Verbraucherverhalten aus und Eröffnen neue Möglichkeiten zur Erhöhung der Effizienz bzw. Effektivität von Produktions- und Logistikprozessen. Von Letzterem profitieren neben der Papierindustrie auch die Verarbeitung sowie die Altpapiersortierung. Wesentliche sich hieraus auf die Altpapierqualität ergebende Einflüsse sind in der **Tabelle 14**, der **Tabelle 15**, der **Tabelle 17**, der **Tabelle 18** sowie der **Tabelle 19** zusammengestellt.

Ein hohes Kostenbewusstsein der Konsumenten und die steigenden Ansprüche an eine verkaufsfördernde Präsentation des Papierproduktes bzw. des Füllgutes im Handel haben direkten Einfluss auf die Produktgestaltung von Rohpapieren und Papierprodukten sowie auf deren Herstellungsprozesse. Insbesondere ergeben sich daraus für die Papierherstellung und –verarbeitung neue Herausforderungen in Bezug auf eine Erhöhung der Material- und Energieeffizienz bei der Herstellung und der Verbesserung der optischen Produkteigenschaften. Sich daraus ergebende wesentliche Einflüsse auf die Altpapierqualität sind in den Tabellen im Anhang aufgeführt (**Tabelle 16**, **Tabelle 17**, **Tabelle 18** und **Tabelle 19**).

Vor dem Hintergrund der Bewertung der Möglichkeit eines Recyclingkollapses im Papierkreislauf sind die zukünftigen Veränderungen in den Bereichen:

- Verbrauch und Produktion einzelner Papiersorten und
- Einsatz von mineralischen Stoffen bei der Papierherstellung

von entscheidender Bedeutung.

Aus diesem Grund erfolgte eine separate Untersuchung dieser Parameter bezüglich ihrer vergangenen und zukünftig zu erwartenden Entwicklung sowie der entsprechenden Einflussparameter. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Anhang in den nachfolgend aufgeführten Tabellen zusammengestellt (**Tabelle 20 - Tabelle 28**).

4.2 Veränderungstrends und ihre Wirkmechanismen

Als für das Papierrecycling besonders relevant wurden im Rahmen der Projektarbeit die Festigkeits- und Struktureigenschaften des Altpapiers definiert. In einem ersten Schritt werden zu diesen Eigenschaften die jeweils darauf einwirkenden Veränderungstrends bestimmt. Dabei wurde aus Gründen der Praktikabilität und Übersichtlichkeit eine vereinfachte Betrachtung des Papierkreislaufes in Deutschland ohne internationale Handelsströme vorgenommen. In der Realität wird die Altpapierqualität eines Landes auch durch den Im- und Export von Papier, Papierprodukten und Altpapier bestimmt. Die Erreichung der für das Projekt formulierten Zielstellung, der Bestimmung der grundsätzlichen, die Altpapierqualität beeinflussenden Faktoren und Wirkprinzipien, wird durch diese Vereinfachung nur unwesentlich beeinflusst, da davon ausgegangen wird, dass international gehandelte identische Papier- und Altpapiersorten qualitativ austauschbar sind.

4.2.1 Qualitative Bewertung von Veränderungstrends welche die Festigkeits- und Struktureigenschaften von Altpapier beeinflussen

Eine der Haupteinflussfaktoren für die Festigkeits- und Struktureigenschaften von Papier sind die Parameter Aschegehalt und durchschnittliche Generationenanzahl des Faserstoffes. Unter diesen Aspekten sind alle Veränderungstrends, welche mittel- oder unmittelbar mit dem Einsatz von Faserstoffen und dem Eintrag und der Ausschleusung von Füllstoffen und Pigmenten in Verbindung stehen, in der Kategorie „Festigkeits-/Struktureigenschaften“ enthalten.

4.2.1.1 Parameter „mittlere Generationenanzahl des Faserstoffes“

Einflussparameter

Aus rein theoretischer Sicht sind für die in einer bestimmten Altpapiersorte vorliegende mittlere Faserstoff-Generationenanzahl der Mengenanteil an Sekundärfaserstoff und dessen mittlere Generationenanzahl die bestimmenden Variablen. Zusätzlich gibt es noch eine Reihe weitere Einflussgrößen, wie z. B. der Einsatz von nicht auf Faserstoff basierenden Roh- und Hilfsstoffen bei der Papierherstellung, welche unter dem Aspekt einer prinzipiellen Betrachtung als von eher untergeordneter Bedeutung einzuschätzen sind.

Um von diesen abstrakten Einflussparametern den Bezug zu den realen, durch die Industrie bzw. Gesellschaft beeinflussten Faktoren herzustellen, erfolgt eine gedankliche Aufteilung des Altpapiers in die darin enthaltenen Papierqualitäten und deren Faserstoffzusammensetzung. Beide Gliederungsstufen ermöglichen eine Quantifizierung des Sekundärfasergehaltes anhand von Kennwerten und es können die entsprechenden Einflussfaktoren und deren Veränderungstrends benannt werden. So wird z. B. der Sekundärfaseranteil der in Deutschland vorliegenden durchschnittlichen Altpapierqualität - unter den theoretischen Bedingungen eines abgeschlossenen Systems und den gegebenen Erfassungs-, Sortier- und sonstigen Rahmenbedingungen – durch die Produktionsmenge der verschiedenen Papierqualitäten und deren Altpapiereinsatzquote bestimmt. Beispielsweise führt eine steigende Produktionsmenge bzw. Altpapiereinsatzquote bei einer bestimmten Papiersorte prinzipiell zu steigenden Sekundärfaserstoffanteilen im Altpapier.

Systemdarstellung

Eine Systemdarstellung, aus der die Wirkrichtung von zukünftigen Entwicklungstrends bezüglich der betrachteten Zieleigenschaft erkennbar ist, erfordert eine zumindest halbquantitative Bewertung der Einflussfaktoren. Eine Übersicht über die die mittlere Generationenanzahl von Altpapier beeinflussenden Faktoren und deren im Rahmen des Projektes herausgearbeiteten Entwicklungsrichtungen zeigt die nachfolgende **Tabelle 2**. Die Festlegung der jeweiligen Entwicklungsrichtungen erfolgten nur für die für den Recyclingkreislauf relevanten grafischen Papiersorten sowie Verpackungspapier- und Karton. Die Segmente Hygienepapiere und Spezialpapiere sind nicht mit betrachtet worden.

Tabelle 2: Die mittlere Generationenanzahl beeinflussenden prinzipiellen Faktoren und deren zukünftige Entwicklungsrichtung

Einflussfaktoren			Zukünftige Entwicklung
Beschreibung	Papiersorten	Kennwert	
Produktionsmenge von Papieren ohne Sekundärfasereinsatz	Holzfrie grafische Papiere	Sortenspezifische Produktionsmengen	↓ (Rückgang)
Produktionsmenge von Papieren mit mittlerem Sekundärfasereinsatz	Magazindruckpapiere	Sortenspezifische Produktionsmengen	↓ (Rückgang)
Produktionsmenge von Papieren mit sehr hohem Sekundärfasereinsatz	Verpackungspapiere	Sortenspezifische Produktionsmengen	↑ (Anstieg)
	Zeitungsdruckpapier	Sortenspezifische Produktionsmengen	↓ (Rückgang)
Anteil Primärfaserstoffe in den sekundärfaserstoffhaltigen Papierqualitäten	Alle sekundärfaserstoffhaltigen Papiersorten	Sortenspezifische Altpapiereinsatzquote	↔ (keine Veränderung)
Anteil Sekundärfaserstoffe in den sekundärfaserstoffhaltigen Papierqualitäten	Alle sekundärfaserstoffhaltigen Papiersorten	Sortenspezifische Altpapiereinsatzquote	↔ (keine Veränderung)

Die Verknüpfungen dieser Einflussfaktoren und die sich für die angegebenen Entwicklungsrichtungen zukünftig ergebenden Wirkbeziehungen sind in der auf der nächsten Seite befindlichen **Abbildung 7** systemisch dargestellt. In der Mitte der Abbildung sind die kritischen Kausalketten ersichtlich, durch die zukünftig ein Anstieg des mittleren Generationenalters von Altpapier bewirkt wird. Dieser Anstieg des Generationsalters wird durch zwei sich voneinander unabhängig entwickelnden Einflussparameter angetrieben: zum einen die durch zunehmenden Versandhandel mögliche steigende Produktion von Verpackungspapieren und zum anderen der durch vermehrte Nutzung von elektronischen Kommunikations- und Informationsmedien bewirkte Produktionsrückgang von Magazin- und Schreibpapieren. Jede dieser Entwicklungen würde bereits für sich allein zu einem Anstieg des mittleren Generationsalters des Altpapiers führen. Durch das Wirken eines zweiten „Antriebsmotors“ wird der Anstieg entsprechend verstärkt. Weiterhin geht aus der Abbildung hervor, dass Entwicklungstrends mit positiver Wirkrichtung nur indirekt die Zieleigenschaft „Generationenalter“ beeinflussen und somit nur eine leicht abschwächende Wirkung auf das Faseralter ausüben. So bewirkt der Rückgang der Zeitungsdruckpapierproduktion, welcher als Entwicklung mit positiver Wirkrichtung auf den Sekundärfasergehalt und das Generationsalter des Altpapiers bewertet wurde, nur eine Abschwächung des durch die steigende Verpackungspapierproduktion stark zunehmenden Eintrages von Sekundärfaserstoffen in den Papierkreislauf. Auch durch die Reduzierung der Produktions-

menge der Magazindruckpapiere wird der Sekundärfaserstoffeintrag in den Recyclingkreislauf vermindert, gleichzeitig führt diese Entwicklung aber auch zu einem Rückgang der Zufuhr an Primärfaserstoffen in den Kreislauf. Somit ist der Rückgang der Magazindruckpapierproduktion als ein Veränderungstrend mit sowohl positiver als auch negativer Wirkrichtung auf die Generationenanzahl zu betrachten. Eine Aussage über deren summarische Wirkung kann jedoch nur mittels einer Analyse der Stoffströme und einer darauf aufbauende Modellierung der Festigkeitseigenschaften getroffen werden.

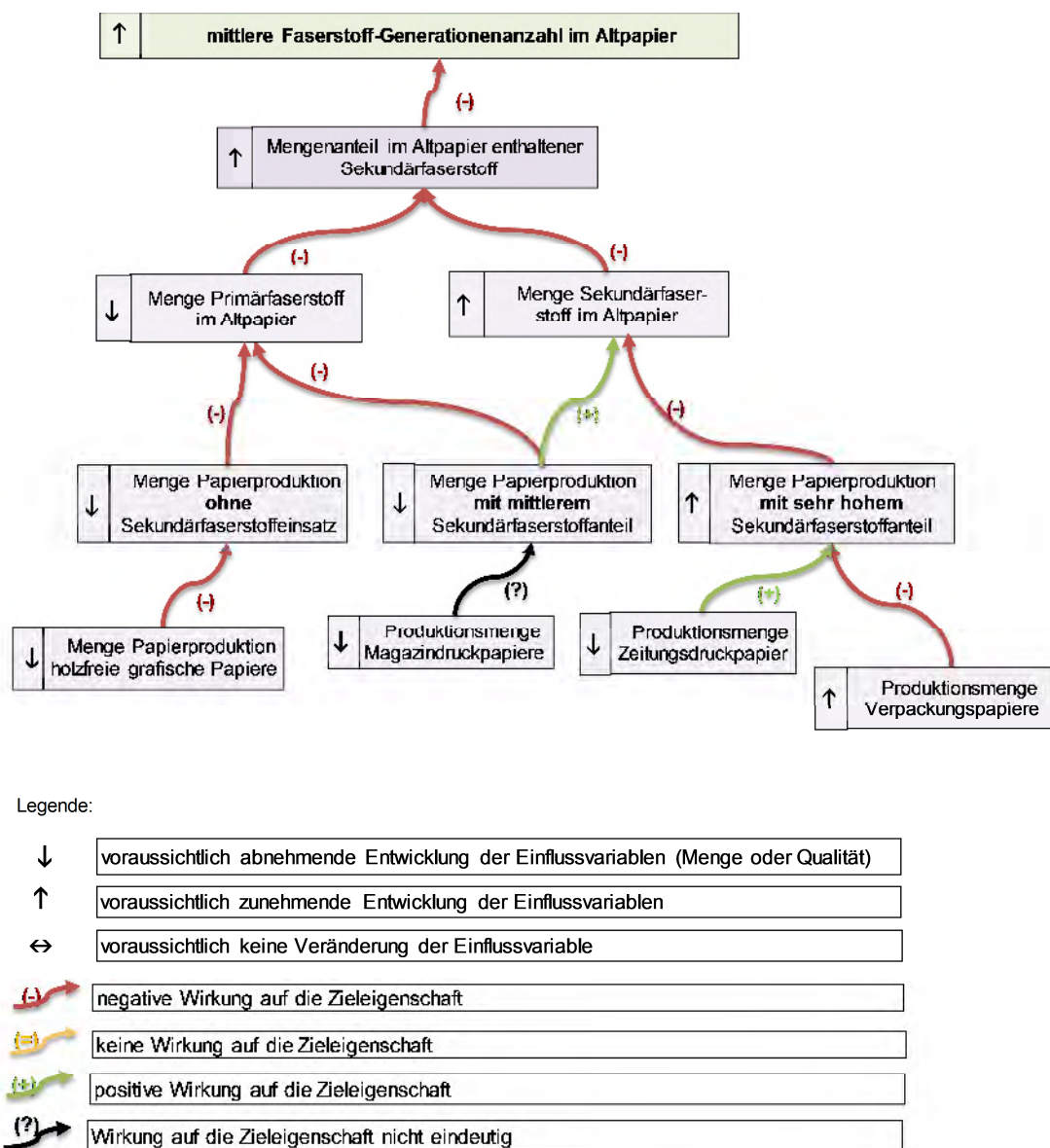


Abbildung 7: Systemdarstellung der prinzipiellen Einflussfaktoren und deren Wirkrichtung auf die mittlere Generationenanzahl von Altpapier

4.2.1.2 Parameter Aschegehalt

Einflussparameter

Unter dem Parameter Aschegehalt wird der Mengenanteil des bei einer Veraschungstemperatur von 525°C bestimmten Glührückstandes eines Papierses verstanden. Er besteht stofflich überwiegend aus mineralischen Stoffen, welche dem Papier ursprünglich in Form von Füllstoffen und/oder Pigmenten zugesetzt und/oder im Altpapier enthalten sind. Unter bilanziellem Aspekt ergibt sich der Aschegehalt eines Papierses aus dem Verhältnis der Resultierenden aus Asche-Ein- und Austrag zu der aus Ein- und Austrag von Fasern beim Papierherstellungsprozess.

Dieser Zusammenhang ist nachfolgend noch einmal in verkürzter Form dargestellt:

$$\text{Aschegehalt Papier} = ((\text{Ascheeintrag} - \text{Ascheaustrag}) / (\text{Fasereintrag} - \text{Faseraustrag}))$$

Unter diesem Gesichtspunkt erfordert eine Analyse der den Aschegehalt von Altpapier beeinflussenden Faktoren die Betrachtung der im Recyclingkreislauf mit dem Eintrag und dem Austrag von mineralischen Stoffen und Faserstoffen verbundenen Prozesse bzw. Stoffströme. Auf Unternehmensebene erfolgt der Ascheeintrag sortenspezifisch durch den Einsatz von Pigmenten und Füllstoffen und durch aschehaltige Sekundärfaserstoffe. Der Austrag erfolgt in geringem Umfang durch die in allen Papierfabriken vorhandenen Faserstoffsorrierprozesse. Speziell die Herstellungsprozesse von sekundärfaserhaltigen grafischen Papieren und Tissuepapier sind durch die Nutzung von Flotations- und Waschprozessen gekennzeichnet, welche eine deutliche Entaschung des Faserstoffes bewirken.

Analog der Asche-Ein-/Ausgangsströmen sind die eingesetzten Fasermengen und deren Prozessverluste weitere Variable, welche den Aschegehalt der Fertigpapiere bestimmen. Der Eintrag von Fasern erfolgt je nach Papiersorte in Form von weitestgehend aschefreien Primärfaserstoffen oder als Altpapier, wodurch aber tw. erhebliche Aschemengen mit eingetragen werden. Der Austrag von Fasern beim Papierherstellungsprozess erfolgt in geringem Umfang durch die zur Störstoff- und Druckfarbenentfernung installierten Trennprozesse, wie z. B. Sortierung und Flotation.

Zusammenfassend können auf der Ebene der Papierfabriken folgende prinzipiellen Einflussfaktoren bezüglich des Aschegehaltes des Fertigpapierses benannt werden:

- Zusatz Füllstoffe / Pigmente,
- Eintrag mineralischer Stoffe durch aschehaltige Faserstoffe,
- Austrag mineralischer Stoffe durch Trennprozesse der Faserstoffaufbereitung (Sortierung, Flotation, Wäsche, usw.),
- Eintrag aschefreier bzw. ascheärmer Faserstoffe,
- Austrag Faserstoffe durch Trennprozesse der Faserstoffaufbereitung (Sortierung, Flotation, Wäsche, usw.).

Systemdarstellung

Zur Ermittlung der Parameter, die den Aschegehalt von Altpapier bestimmen, wurden die den Aschegehalt der erzeugten Rohpapiere beeinflussenden Faktoren und deren Herleitung sinngemäß auf die Ebene des Gesamt-Papierkreislaufes übertragen. Ein spezifisches Merkmal dieser Betrachtungsebene ist, dass für den Ein- /Austrag von Asche bzw. Faserstoffen keine technologischen Prozesse benannt werden müssen. Zur Lösung dieser Problematik erfolgte eine Zuordnung der Ein- und Austragsprozesse zu den Papiersorten, bei deren Herstellung diese zum Einsatz kommen.

Daraus ergeben sich die in der nachfolgenden **Tabelle 3** dargestellten Zusammenhänge. Die zur Verdeutlichung beigefügten Papiersortenbeispiele sind unter dem prinzipiellen Ansatz dieser Betrachtung zu sehen. Unter dem Aspekt der Untersuchung der Einflussfaktoren bezüglich des Aschegehaltes von Altpapier sind für eine weitere Betrachtung nur die Papiersortengruppen relevant, welche wieder als Altpapier dem Recyclingkreislauf zugeführt werden.

Tabelle 3: Den Aschegehalt von Rohpapieren bestimmende technologischen Prozesse und deren Übertragung auf die Stoffkreislaubebene

Firmenebene	→	Ebene des Gesamtpapierkreislaufes	
Prozesse	→	Papiersortengruppen	Beispiel Papiersorten
Wirkkategorie: Eintrag/Quelle Asche			
Strichauftrag	→	Gestrichene Papiersorten	Gestrichene Magazindruckpapiere
Füllstoffzusatz	→	Gefüllte Papierqualitäten	Holzfrie grafische Papiere, Magazindruckpapiere
Wirkkategorie: Austrag/Senke Asche (Entaschung)			
Einsatz Flotationsprozess zur Druckfarbenabtrennung	→	Papiersorten; Herstellung unter Einsatz einer Flotation	Zeitungsdruckpapiere, Magazindruckpapiere
Einsatz Waschprozess	→	Papiersorten; Herstellung unter Einsatz einer Faserstoffwäsche	Hygienepapiere
Wirkkategorie: Eintrag/Quelle Fasern			
Eintrag Primärfaserstoff	→	Papiersorten aus Primärfaserstoffen	Holzfrie grafische Papiere, Magazindruckpapiere
Wirkkategorie: Austrag/Senke Fasern			
Einsatz Trennprozesse (Insbesondere Sortierung)	→	Papiersorten; Herstellung unter Einsatz von Trennprozessen	Alle Papiersorten

Die den Aschegehalt von Altpapier beeinflussenden Faktoren und deren im Rahmen des Projektes herausgearbeiteten Entwicklungsrichtungen zeigt die nachfolgende **Tabelle 4**.

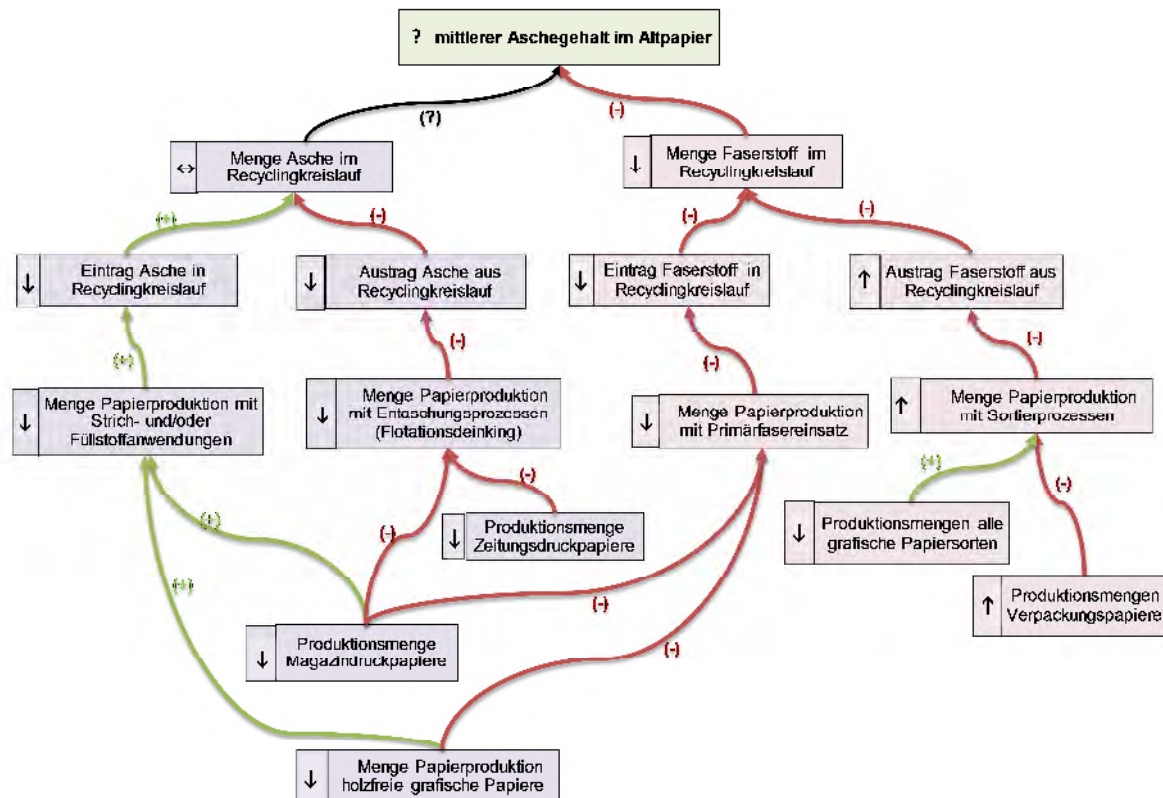
Tabelle 4: Die auf der Papierkreislausebene den Aschegehalt beeinflussende prinzipielle Faktoren und deren zukünftige Entwicklungsrichtung

Einflussfaktoren			Zukünftige Entwicklung
Beschreibung	Papiersorten	Kennwert	
Produktionsmenge von Papieren mit Strichauftrag	Magazindruckpapiere	Sortenspezifische Produktionsmengen	↓ (Rückgang)
Produktionsmenge von Papieren mit Flotationsprozessen	Magazindruckpapiere und Zeitungsdruckpapiere	Sortenspezifische Produktionsmengen	↓ (Rückgang)
Produktionsmenge von Papieren mit Primärfaserstoffeintrag	Holzfrie grafische Papiere und Magazindruckpapiere	Sortenspezifische Produktionsmengen	↓ (Rückgang)
Produktionsmenge von Papieren mit Trennprozessen (insbesondere Sortierung)	Verpackungs-, Spezial- und Hygienepapiere	Sortenspezifische Produktionsmengen	↑ (Anstieg)
	Grafische Papiere	Sortenspezifische Produktionsmengen	↑ (Rückgang)

Die Verknüpfungen dieser Einflussfaktoren und die sich für die angegebenen Entwicklungsrichtungen zukünftig ergebenden Wirkbeziehungen sind in der nachfolgenden **Abbildung 8** systemisch dargestellt. Im Vergleich zur mittleren Generationenanzahl kann mittels der gewählten Vorgehensweise einer systemischen Abbildung der Entwicklungstrends und deren halbquantitative Bewertung keine eindeutige Aussage darüber abgeleitet werden, ob der Aschegehalt im Altpapier grundsätzlich ansteigen, zurückgehen oder auf dem bestehenden Niveau bleiben wird.

Dennoch können aus der Darstellung wichtige Erkenntnisse gewonnen werden. Als Erstes ist festzustellen, dass der Altpapier-Aschegehalt über mehrere Wirkbeziehungen mit der Produktion der grafischen Papiere in Verbindung steht. Durch den für alle Segmente dieser Branche prognostizierte Produktionsrückgang ergibt sich einerseits ein verminderter Eintrag von Füllstoffen und Pigmenten in den Recyclingkreislauf. Andererseits geht auch der Austrag an mineralischen Stoffen durch den Rückgang von Flotationsanwendungen zurück. Diese gegensätzlichen Wirkzusammenhänge sind auf der linken Abbildungsseite dargestellt. Eine Aussage über deren resultierende Wirkung auf den Aschegehalt des Altpapiers ist ohne eine quantitative Untersuchung der betreffenden Stoffströme nicht möglich. Eine weitere wichtige Einflussgröße bezüglich des sich im Altpapier einstellenden Aschegehaltes ist die im Papierkreislauf enthaltene Menge an Faserstoff. Der Faserstoff ist unter dem Aspekt des Aschegehaltes im Altpapierfaserstoff im übertragenen Sinne als Verdünnungsmittel für die mineralischen Stoffe zu betrachten. Unter diesem Gesichtspunkt sind alle Veränderungstrends, welche den Eintrag von Faserstoff in den Papierkreislauf verringern und/oder dessen Austrag aus dem Kreislauf erhöhen als kritisch bezüglich des Aschegehaltes des Altpapiers zu bewerten. Unter diese Wirkkategorie fallen die prognostizierten Produktionsrückgänge bei den als wesentliche Faserstoffquelle für den Papierkreislauf fungierenden Magazinpapiere und holzfreien grafischen Papiere und der Anstieg der sortierbedingten Faserverluste aufgrund der prognostizierten zunehmenden Gesamtproduktionsmenge für Papier. Dieser Produktionszuwachs beruht ausschließlich auf der prognostizierten überproportionalen Produktionssteigerung für die Verpackungspapierherstellung. In Summe ist aufgrund dieser Entwicklungen ein Rückgang der im Papierkreislauf befindlichen Faserstoffmenge zu erwarten. Ob bzw. in welchem Umfang sich diese Entwicklung auf die zukünftige Aschekonzentration im Altpapier auswirken wird, ist von der Entwicklung des Mengenverhältnisses zwischen Ascheeintrag und -austrag abhängig. Dieses Verhältnis wird im Wesentli-

chen von der Mengenentwicklung der gleichen Papiersorten gesteuert, durch die auch entscheidend der Fasereintrag in den Papierkreislauf beeinflusst wird (Magazindruckpapier und holzfreie grafische Papiere). Problematisch dabei ist, dass die Wirkrichtungen dieser Papiersorten in den beiden Wirkkategorien „Ascheeintrag“ und „Faserstoffeintrag“ gegensätzlich ist, so dass z. B. eine Produktionssteigerung in diesen Segmenten zwar zu einem erhöhten Faserstoffeintrag in den Recyclingkreislauf führt, andererseits ist damit auch ein verstärkter Eintrag von Füllstoffen und Pigmenten in den Kreislauf verbunden. Das einzige Produktsegment im Recyclingkreislauf Papier, welches die Wirkkategorie „Ascheaustrag“ ohne gegensätzliche Wirkungen in den Kategorien „Faserstoffeintrag“ und „Ascheeintrag“ beeinflusst, ist die Zeitungspapierproduktion.



Legende:

↓	voraussichtlich abnehmende Entwicklung der Einflussvariablen (Menge oder Qualität)
↑	voraussichtlich zunehmende Entwicklung der Einflussvariablen
↔	voraussichtlich keine Veränderung der Einflussvariable
(?)	voraussichtliche Veränderung der Einflussvariable nicht eindeutig
(-)	negative Wirkung auf die Zieleigenschaft
(+)	keine Wirkung auf die Zieleigenschaft
(+)	positive Wirkung auf die Zieleigenschaft
(?)	Wirkung auf die Zieleigenschaft nicht eindeutig

Abbildung 8: Systemdarstellung der prinzipiellen Einflussfaktoren und deren Wirkrichtung auf den Aschegehalt von Altpapier

Zusammenfassend ist die Wirkung der Produktion der betrachteten vier Papierqualitäten auf den Aschegehalt und die mittlere Generationenanzahl im Altpapier in der nachfolgenden **Tabelle 5** dargestellt.

Tabelle 5: Wirkung der Produktion der Hauptpapiersorten auf den Aschegehalt und die mittlere Generationenanzahl im Altpapier

Papierqualitäten	Wirkung bezüglich	
	Durchschnittlicher Aschegehalt im Altpapier	Mittlere Generationenanzahl (Faseralter) im Altpapier
Verpackungspapiere und Karton	-	Steigernd (hoher Recyclingquote)
Holzfremde grafische Papiere	Absenkend (Primärfaserzusatz)	Absenkend (hoher Primärfaserzusatz)
Magazindruckpapiere	Absenkend (Flotation) und steigend (Strich- und Füllstoffzusatz)	Absenkend
Zeitungsdruckpapier	Absenkend (Flotation)	Steigernd (hoher Recyclingquote)

4.3 Quantitative Bewertung der Veränderungstrends mittels Bilanzierungs- und Festigkeitsberechnung

4.3.1 Quantifizierung zukünftiger Verbrauchsmengen und Produktionsmengen von Papier

Aufgrund der zentralen Bedeutung der Papierverbrauchs- und -produktionsmengen für die zukünftige Altpapierqualität wurden deren zukünftige Entwicklungen bis zum Jahr 2025 sortenspezifisch abgeschätzt.

Als Basis für diese Abschätzung wurde die Aussage der CEPI Roadmap 2050 [9] herangezogen, wonach im CEPI-Raum bis zum Jahr 2025 ein jährlicher Anstieg von Gesamtpapierproduktion und -verbrauch um 1,0 % zu erwarten ist. Für die in Deutschland zu erwartende Mengenentwicklungen wurden durch die im Rahmen des Projektes erfolgte Expertenabschätzung jährliche Zuwachsraten von 1,5 % festgelegt. Diese Festlegung erfolgt unter den Aspekten, dass die gesamtwirtschaftliche Situation in Deutschland und das sehr hohe technologische Niveau der deutschen Papierindustrie eine überdurchschnittliche Steigerung von Papierverbrauch und -produktion bedingt.

Die Aufteilung der für Gesamtpapierverbrauch und -produktion festgelegten Steigerungsraten auf die einzelnen Papiersortengruppen erfolgte auf der Grundlage einer Expertenabschätzung. Die definierten prozentualen Veränderungen sind aus der nachfolgenden **Tabelle 6** ersichtlich. Die sich daraus für den Papierverbrauch und die -produktion ergebenden Mengenänderungen zeigen **Abbildung 9** und **Abbildung 10**.

Tabelle 6: Prognose für die jährlichen Steigerungsraten für Papierproduktion und -verbrauch in Deutschland bis 2025 [9] und Expertenabschätzung

Papierproduktgruppen	Prozentualer Trend pro Jahr in Deutschland bis 2025	
	Verbrauch in %	Produktion in %
Zeitungsdruckpapier	- 3	- 2
Grafische Papiere (Gesamt)	- 1,5	- 1
Verpackungspapiere	+ 3,5	+ 3
Hygiene- und Spezialpapiere	+ 3 (jeweils)	+ 3 (jeweils)
Gesamt	+ 1,5	+ 1,5 %

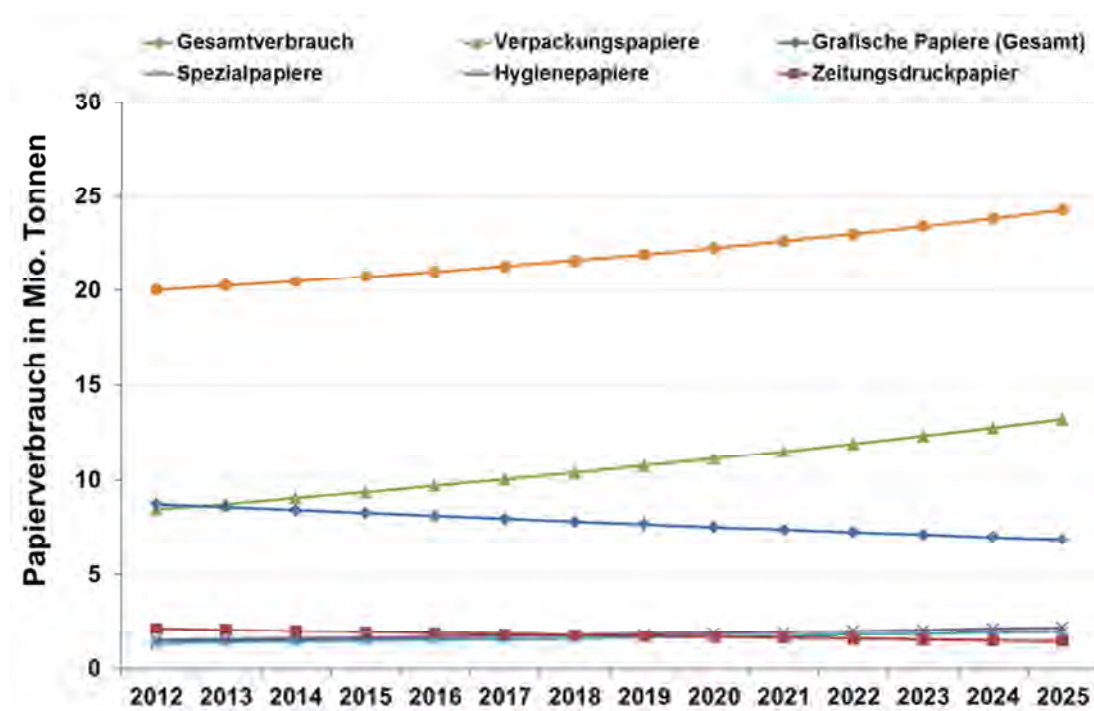


Abbildung 9: Entwicklung Papierverbrauch nach Papiersortengruppen in Deutschland

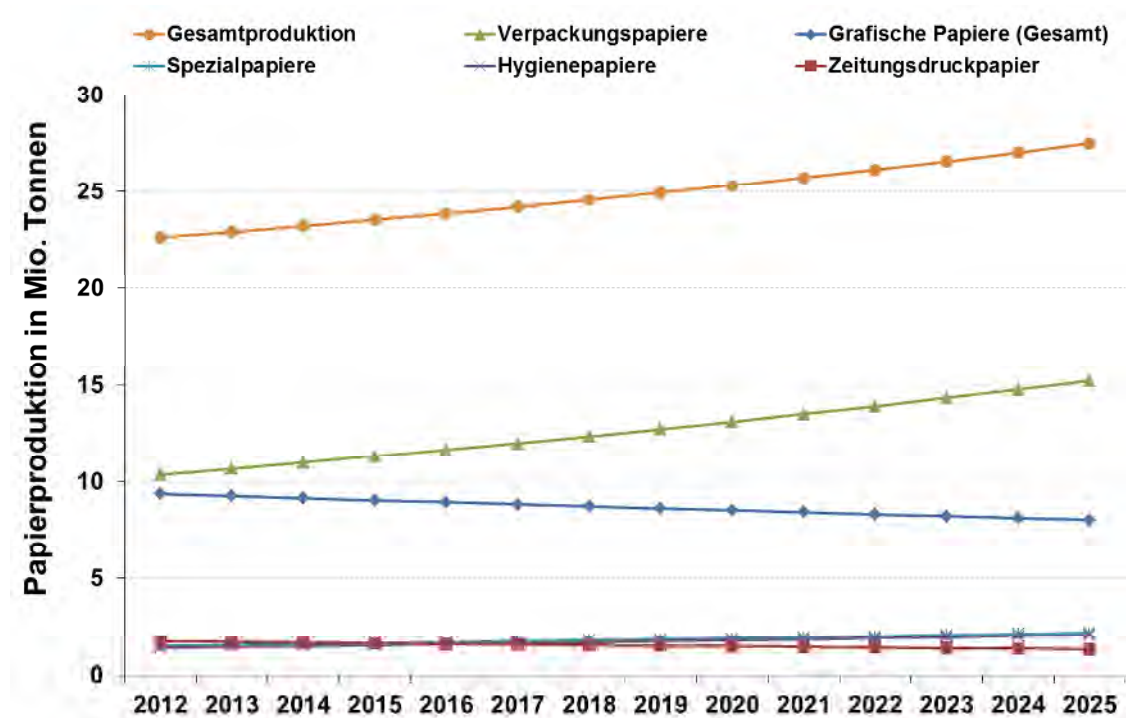


Abbildung 10: Entwicklung Papierproduktion nach Papiersortengruppen in Deutschland

4.3.2 Modellgestützte Bewertung zum Einfluss von Veränderungstrends auf ausgewählte Altpapiereigenschaften

4.3.2.1 Datenbasis und Modellstruktur

Die Grundlage der modellbasierten Untersuchungen der zukünftigen Eigenschaftsentwicklungen bildet die Aufnahme und Analyse des Papierkreislaufes für das Jahr 2012. Im ersten Schritt erfolgte die Aufstellung eines Mengengerüsts für die vier betrachteten Produktionskreisläufe. Die Daten zu den Produktionsmengen für 2012 und zum Altpapiereinsatz wurden dem VDP Leistungsbericht 2013 [14] entnommen. Die Werte zu den Produktionsverlusten der betrachteten Produktionskreisläufe sowie die Daten zum Faserstoff- Füllstoff- und Pigmenteinsatz wurden auf der Grundlage von Expertenabschätzungen festgelegt. Diese zur Abbildung des Ist-Zustandes für das Jahr 2012 genutzten Daten sind in der nachfolgenden **Tabelle 7** aufgeführt.

Tabelle 7: Angenommene und resultierende Stoff- und Mengenströme des Bilanzierungsmodells für das Jahr 2012 (farbig hinterlegt: resultierende Stoff-/Mengenströme)

Produktgruppen Stoffströme 2012 (in Mio.t/a)	Holzfrie gra- fische Papiere (GP 1)	Zeitungs- druckpapier (GP 2)	Magazinpa- piere - SC und LWC (GP 3)	Verpackungs- papiere und Karton (VP)
Produktion	3,44	1,95	3,79	10,51
Einsatz Primärfaserstoff	2,81	0,00	1,30	0,30
Einsatz Füllstoffe /Pigmente	0,60	0,20	1,00	0,40
Rejekte	0,00	0,37	0,50	0,90
Verluste Altpapier	-0,02	-0,26	1,77	3,35
Altpapier von GP 1	0,03	0,68	0,70	2,05
Altpapier von GP 2	0,00	0,73	0,77	0,71
Altpapier von GP 3	0,00	0,62	0,43	0,97
Altpapier von VP	0,00	0,09	0,09	6,98
Altpapier nach GP 1	0,02	0,00	0,00	0,00
Altpapier nach GP 2	0,68	0,73	0,62	0,09
Altpapier nach GP 3	0,70	0,77	0,43	0,09
Altpapier nach VP	2,05	0,71	0,97	6,98

Die für das Jahr 2012 ausgewiesenen Mengenströme, welche zwischen den vier Mikrozyklen migrieren, resultieren aus der Verknüpfung der Kreisläufe anhand folgender Parameter

- Produktionsmenge
- Mischungsverhältnis und Menge der eingesetzten Altpapiersorten und
- der Zusammensetzung der Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 1.11.

Ausgangsbasis für die Festlegung von Menge und Qualität der Migrationsströme sind die Input-Charakteristiken der einzelnen Recyclingkreisläufe (Mikrozyklen) bezüglich der eingesetzter Altpapiermengen, -sorten und –zusammensetzung. Daraus wird mittels des Bilanzmodells die Verteilung der Produktionsmengen der einzelnen Kreisläufe in die drei anderen Mikrozyklen ermittelt. Diese für das Jahr 2012 produktspezifisch ermittelten Verteilungsschlüssel werden in den Bilanzierungsrech-

nungen für die Jahre 2018 und 2025 beibehalten. Die mittels der Bilanzierungsrechnung für das Jahr 2012 berechnete und in den Modellen für die Jahre 2018 und 2025 angewandte Verteilungsschlüssel für die vier Papierproduktgruppen ist in der nachfolgenden **Tabelle 8** dargestellt.

Tabelle 8: Prozentuale Verteilung der Papierprodukte der vier Mikrozyklen in die jeweilig anderen Kreisläufe (Verteilungsschlüssel)

Produktgruppen Stoffströme der produzierten Papiere	Holzfreie grafische Papiere (GP 1)	Zeitungsdruckpapier (GP 2)	Magazinpapiere - SC und LWC (GP 3)	Verpackungspapiere und Karton (VP)
	Mengenanteile in %	Mengenanteile in %	Mengenanteile in %	Mengenanteile in %
Altpapier nach GP 1	1	0	0	0
Altpapier nach GP 2	20	33	31	1
Altpapier nach GP 3	20	35	21	1
Altpapier nach VP	59	32	48	98
Summe	100	100	100	100

Die Mengendifferenz, welche sich aus dem rechnerischen Bedarf der Kreisläufe an einzelnen Papierprodukten und deren Produktionsmenge ergibt, wird in dem Bilanzmodell mit dem Parameter „Verluste Altpapier“ ausgewiesen.

Die Zusammensetzung des Altpapiers für den Mikrozyklus VP (Verpackungspapiere und -karton) wird dem 40:60-Mix der Sorten 1.02 und 1.04 entsprechend berechnet. Die Zusammensetzung des Altpapiers für die Mikrozyklen GP2 (Zeitungsdruckpapier) und GP3 (Magazinpapiere (SC und LWC)) entspricht der Altpapiersorte 1.11. Die angenommenen Zusammensetzungen der Altpapiersorten 1.02, 1.04 und 1.11 stützen sich auf Daten, welche im Rahmen des Forschungsvorhabens INFOR 155 [10] für eine Abschätzung der Papierproduktkreisläufe 2011 herangezogen wurden (**Tabelle 9**).

Tabelle 9: Im Bilanzierungsmodell verwendete Zusammensetzung der Hauptaltpapiersorten (Basierend auf INFOR-Projekt 155 [10])

Produkt	Anteil	Altpapiersorten		
		1.11	1.02	1.04
Holzfreie grafische Papiere (GP 1)	(%)	33	28	11
Zeitungsdruckpapier (GP 2)	(%)	35	13	5
Magazinpapiere - SC und LWC (GP 3)	(%)	27	17	5
Verpackungspapiere und Karton (VP)	(%)	5	42	79

Die Quantifizierung der Auswirkungen der für die nächsten Jahre prognostizierten Änderungen der Sortenstruktur der Papierindustrie auf die Eigenschaftsentwicklungen der hergestellten Rohpapiere erfolgt für die Jahre 2018 und 2025. Die dazu jeweilig erstellten Mengengerüste sowie die aus den Bilanzierungsrechnungen resultierenden Mengenströme sind im Anhang in der Tabelle 31 und Tabelle 32 zusammengestellt. Der im Bilanzmodell für das Jahr 2012 festgelegte Verteilungsschlüssel für die Papierproduktion der einzelnen Produktgruppen in das Altpapier wurde für die Modelluntersuchungen der Jahre 2018 und 2025 nicht verändert. Aus dieser Vorgehensweise ergibt sich, dass

in diesen Modellen die Zusammensetzung der in den Produktgruppen eingesetzten Altpapiere entsprechend den Veränderungen der einzelnen Produktionsmengen variiert.

4.3.2.2 Ergebnisse der Modellbetrachtung

Entwicklung der Produktionsstruktur

Die bis zum Jahr 2025 durch die angenommenen Veränderungen der Produktionsmengen bewirkte Verschiebung der Produktstruktur der Papierindustrie Deutschlands verdeutlicht die nachfolgende **Abbildung 11**. Während im Jahr 2012 noch eine weitestgehend gleichmäßige Verteilung der Produktionsmengen zwischen dem grafischen Sektor und dem Bereich der Verpackungspapier bzw. Kartonherstellung zu verzeichnen ist, wird im Jahr 2025 die Verpackungsproduktion mit ca. 2/3 Mengenanteil eine dominierende Position einnehmen.

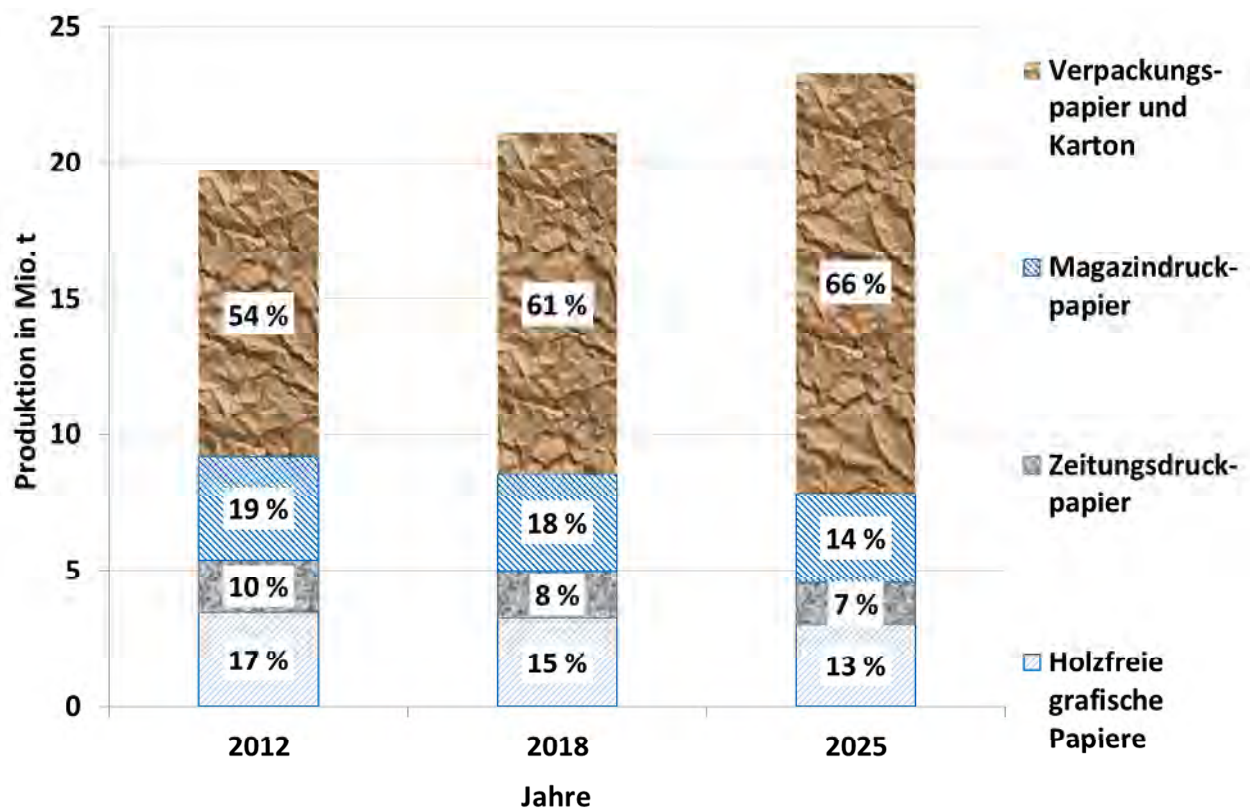


Abbildung 11: Produktion grafischer Papiere sowie Verpackungspapiere und Karton in Deutschland 2012-2025

Entwicklung der Rohstoffzusammensetzung

Die Rohpapiere gelangen als gebrauchte Papierprodukte wieder in den Recyclingkreislauf, so dass deren Mengenanteile und stoffliche Zusammensetzung die Faserstoffzusammensetzung der daraus generierten Altpapierqualitäten bestimmen. Unter diesem Aspekt ist eine genaue Analyse der Szenarien für die Jahre 2018 und 2025 angenommene Produktionsentwicklung von großer Bedeutung. In **Abbildung 12** wird verdeutlicht, dass durch die angenommene Veränderung der Produktionsstruktur die Mengenanteile der Papiersorten deutlich zurückgehen, welche hohe Anteile an Primärfaserstoff und/oder Mineralien (Füllstoffe/Pigmente) beinhalten und somit die wesentlichen Quellen für diese Stoffe im Recyclingkreislauf Papier sind. Entsprechend ergibt sich daraus ein Rückgang

des Mengenanteils an mineralischen Stoffen am Rohstoffeintrag der Papierproduktion von 10,2 % auf 8,5 % und eine starke Zunahme des Altpapieranteils von 69,2 % auf 75,6 % (**Abbildung 13**).

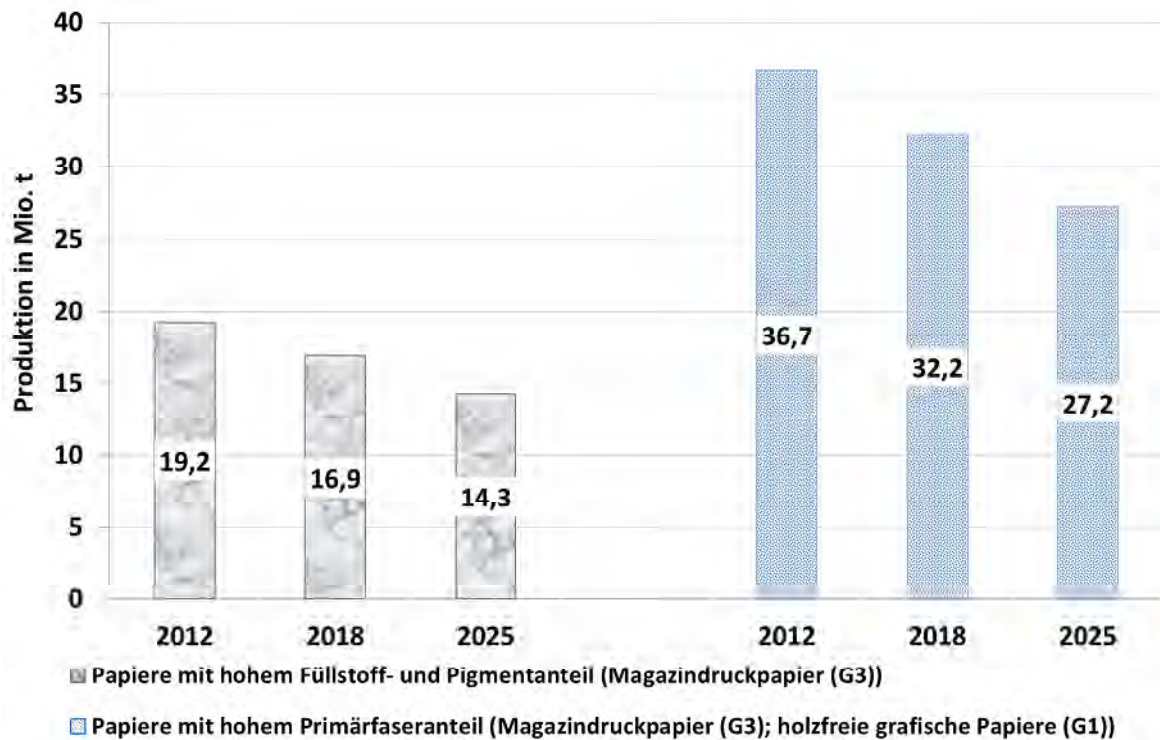


Abbildung 12: Entwicklung der Produktionsmengen von Papiersorten mit hohen Anteilen an Primärfaserstoffen bzw. Mineralien (ohne Hygiene- und Spezialpapiere)

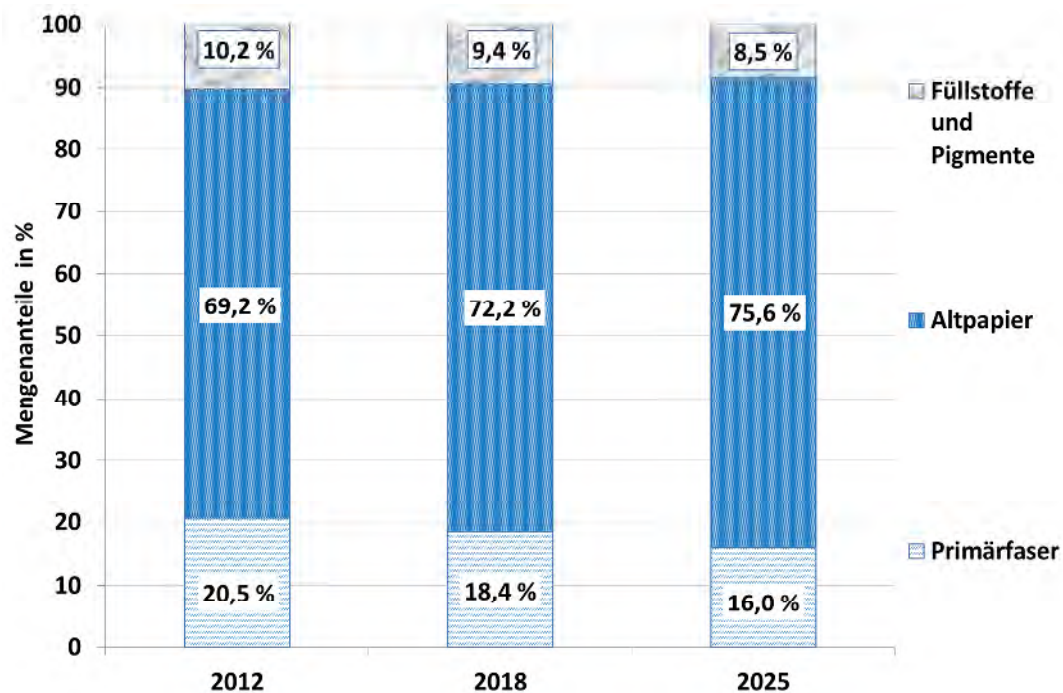


Abbildung 13: Zusammensetzung des gegenwärtigen und zukünftigen Rohstoffeintrages der betrachteten vier Papierproduktgruppen

Entwicklung der stofflichen Zusammensetzung von Altpapiersorten bzw. -mischungen

Die Auswertung der Bilanzierungsrechnungen bezüglich der sich für die Jahre 2018 und 2025 einstellenden Zusammensetzungen der betrachteten Altpapiersorte bzw. -sortenmischung zeigen die **Abbildung 14** und **Abbildung 15**. Es ist erkennbar, dass sich die betrachteten Strukturveränderungen in der Papierindustrie sehr unterschiedlich auf die im grafischen Sektor eingesetzte Altpapiersorten 1.11 und die im Verpackungsbereich eingesetzten Altpapiersorten auswirken. Dies trifft insbesondere auf den Anteil der durch ein geringes Faseralter charakterisierten Papierqualitäten G1 (holzfreie grafische Papiere) und G3 (Magazinpapiere) zu. Während für die grafische Altpapiersorte 1.11 durch das Modell ein Anstieg des Mengenanteils um ca. 15 % (relativ) an diesen Papiersorten ausgewiesen wird, sinkt dieser in dem für die Verpackungspapierherstellung berechneten Altpapiermix um ca. 40 % (relativ). Unter dem Aspekt des Anteils an Papieren mit hohem Aschegehalt ist die Fraktion der Magazinpapiere (G3) von Bedeutung. Für diese Fraktion ist bei der Sorte 1.11 ein Anstieg um ca. 10 % (relativ) und bei der betrachteten Mischung aus den Sorten 1.02 und 1.04 ein Rückgang um ca. 50 % (relativ) berechnet worden. Für die betrachtete Verpackungsaltpapiermischung ist ein Entwicklungstrend zu einem deutlich ansteigenden Anteil an Verpackungspapieren bzw. Karton erkennbar.

Die für die Sorte 1.11 ausgewiesene Zunahme des Verpackungspapieranteils ist auf den im Berechnungsmodell gewählten Ansatz, Nebenbedingungen nicht zu berücksichtigen und die Papiersorten nur anhand eines festgelegten Verteilungsschlüssels auf die anderen Kreisläufe zu verteilen, zurückzuführen. In der Praxis ist davon auszugehen, dass der Mengenanteil dieser Fraktion prinzipiell auf dem für das Jahr 2012 festgelegten Niveau bleibt. Die durch diese Vereinfachung sich ergebende Ungenauigkeit ist als eher gering einzuschätzen und bezüglich der herausgearbeiteten Aussagen zu den grundsätzlichen Entwicklungen ohne Relevanz.

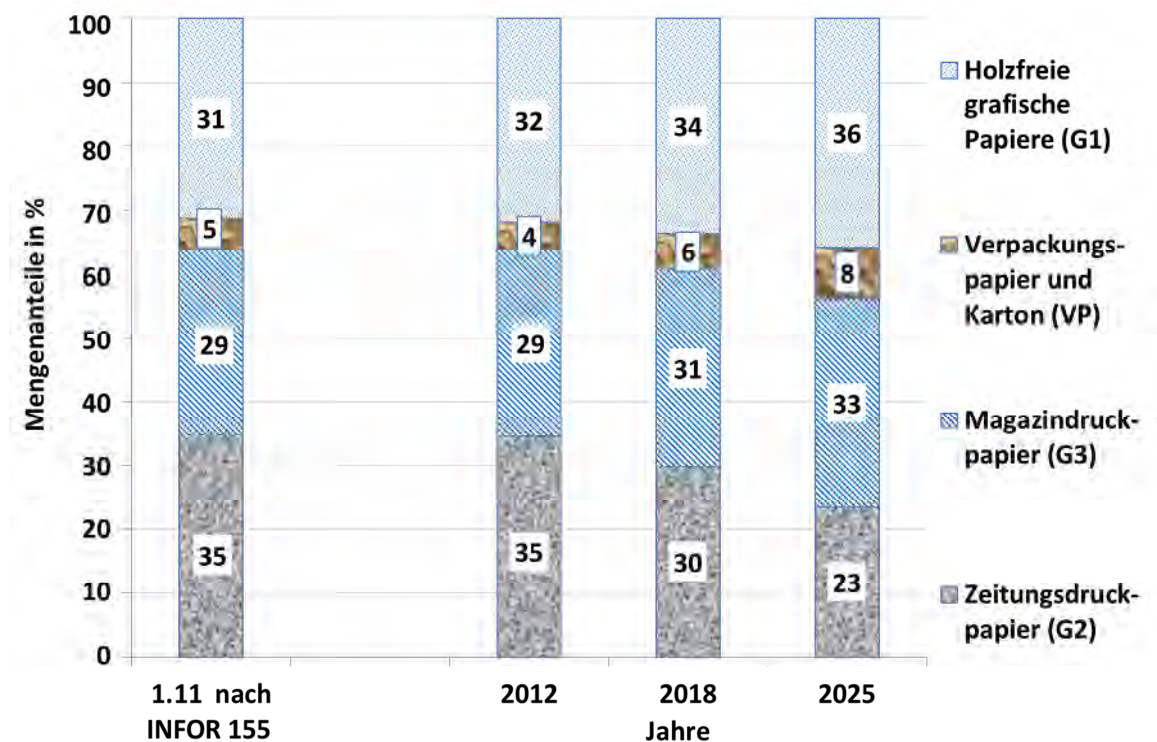


Abbildung 14: Entwicklung der Zusammensetzung der Altpapiersorte 1.11 bis 2025

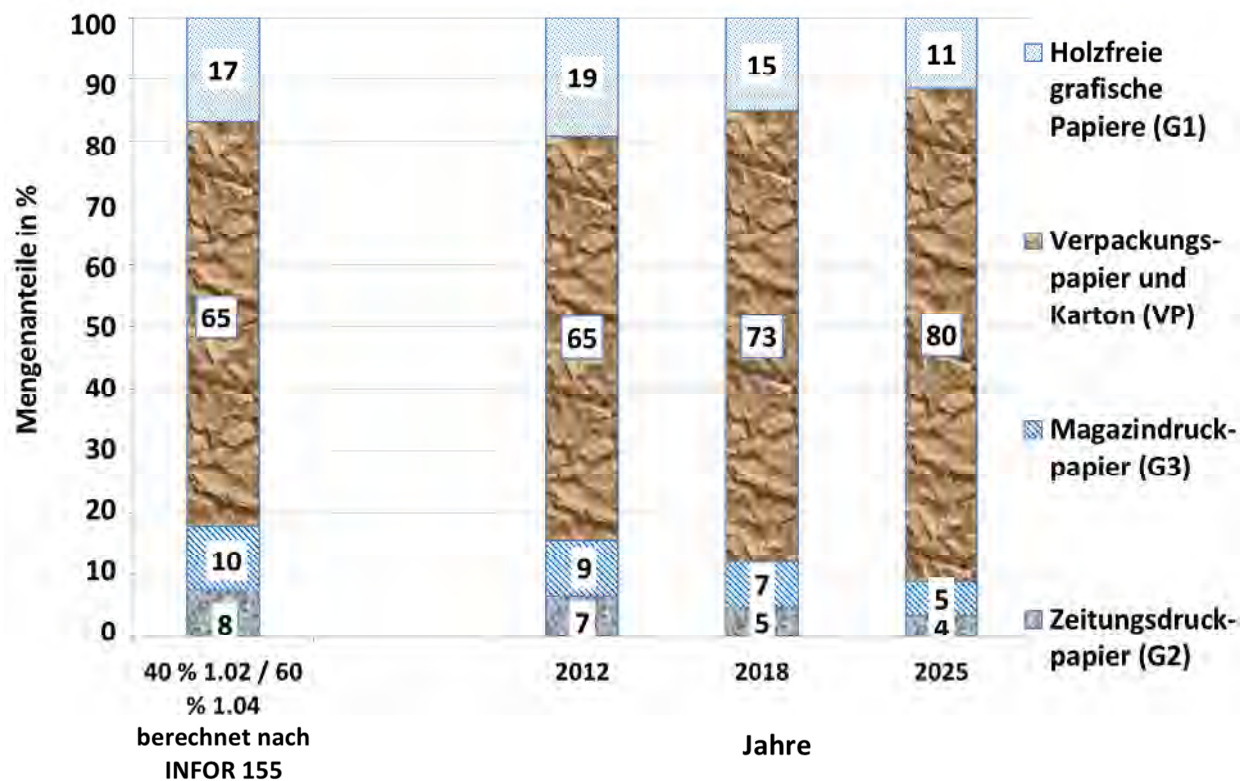


Abbildung 15: Entwicklung der Zusammensetzung des Altpapier-Mix 40 % 1.02 und 60 % 1.04 bis 2025

Entwicklung der papiertechnologischen Eigenschaften der Rohpapiere

Faseralter und Gehalt an mineralischen Stoffen

Die im vorherigen Kapitel ausgewiesenen Veränderungen in der Zusammensetzung der Altpapiere spiegeln sich auch in den papiertechnologischen Eigenschaften der daraus hergestellten Rohpapiere wieder. In **Abbildung 16** ist jeweils für die vier untersuchten Papierprodukte die berechneten Entwicklungen bezüglich Faseralter und Anteil an mineralischen Stoffen dargestellt. Für die im Modell ausschließlich mit Primärfaserstoffeinsatz berechnete Produktgruppe der holzfreien grafischen Papiere (G1) wurden erwartungsgemäß keine Veränderungen für diese Parameter ausgewiesen. Auch für die Produktgruppen Magazinpapiere (G3) und Zeitungsdruckpapiere (G2) ergaben die Berechnungen für das Faseralter und den Aschegehalt keine erheblichen Veränderungen. Für den Aschegehalt wurde ein sehr geringer Anstieg von ca. 1 %-Punkt bis zum Jahr 2025 und für das Faseralter ein Rückgang um ca. 0,1 Generationen bestimmt. Im Gegensatz zu den grafischen Produktgruppen zeigten die Modelluntersuchungen für Verpackungspapiere und Karton (VP) einen sehr deutlichen Anstieg des Aschegehaltes um ca. 5 %-Punkte und des Faseralters um ca. 0,7 Generationen bis zum Jahr 2025.

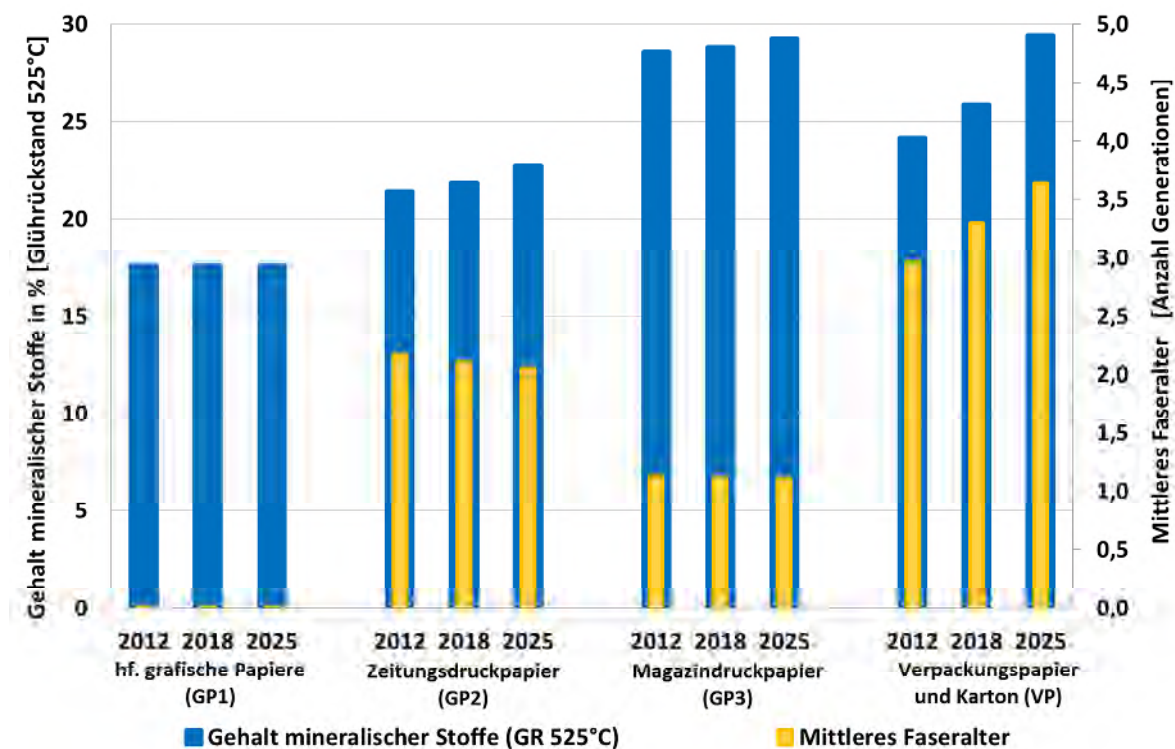


Abbildung 16: Berechnete zeitliche Entwicklung des Anteils an mineralischen Stoffen und der mittleren Fasergeneration in den vier Produktgruppen

Festigkeitseigenschaften

Die für die vier Rohpapierqualitäten durchgeführten Modellberechnungen für die Festigkeitseigenschaften ergaben einen Rückgang der Festigkeitskennwerte bei den altpapierbasierenden Papierprodukten im betrachteten Zeitraum und spiegeln tendenziell die im vorherigen Abschnitt diskutierten Anstiege von Aschegehalt und Faseralter wieder. Bemerkenswert an den Modellergebnissen ist insbesondere, dass sich die Eigenschaftsveränderungen über den betrachteten Zeitraum von 2012 bis 2025 nicht linear entwickeln, sondern sich mit der Zeit verstärken. So wurde z. B. für das Segment der Verpackungspapiere und Karton (VP) für den Zeitraum von 2012 bis 2018 ein durchschnittlicher Rückgang des Berst-Index von 0,012 kPa*m/g pro Jahr und für den Zeitraum von 2018 bis 2025 von 0,023 kPa*m/g ermittelt. Dieses Entwicklungsverhalten zeigten tendenziell alle durch das Modell für die drei altpapierbasierten Papierqualitäten berechneten Eigenschaftskennwerte.

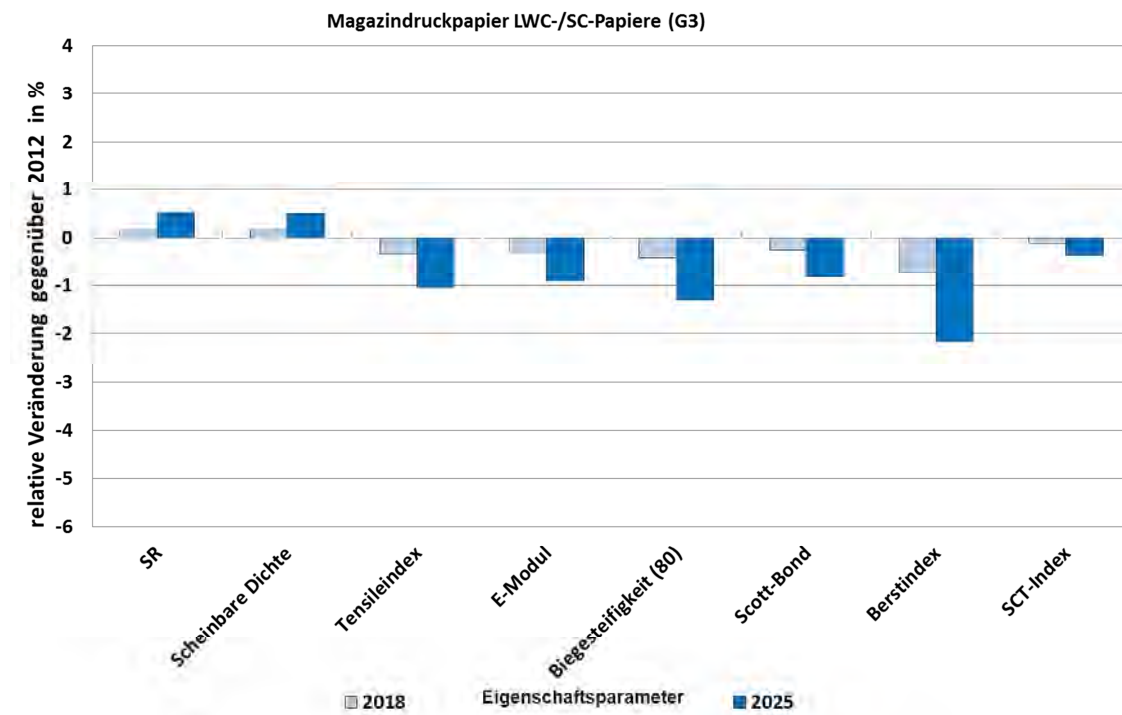


Abbildung 17: Entwicklung der Festigkeitseigenschaften (relativ) für Magazindruckpapiere (G3)

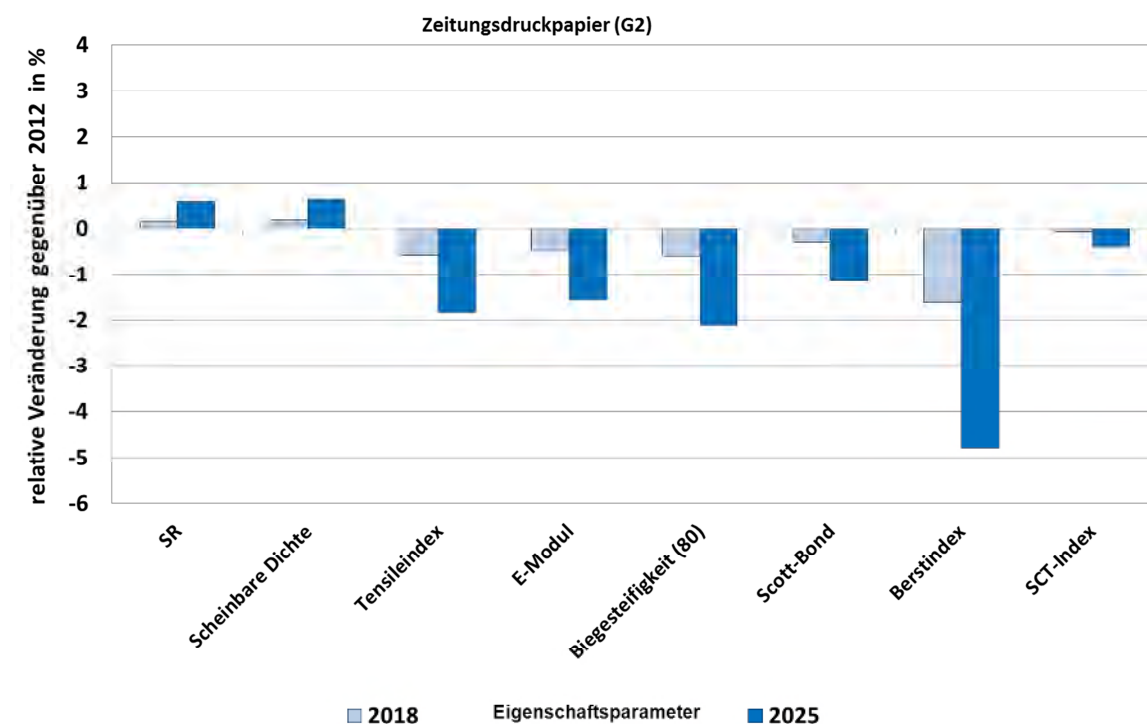


Abbildung 18: Entwicklung der Festigkeitseigenschaften (relativ) für Zeitungsdruckpapiere (G2)

Der geringste Festigkeitsrückgang wurde für das Magazinpapier (G3) berechnet. Die für diesen Produktbereich relevante Festigkeitskennwert Tensil-Index wurde bis 2025 ein Rückgang von 1% ausgewiesen. Auch für die Zeitungsdruckpapiere (G2) wurde für diesen Kennwert mit -1,8% ein verhält-

nismäßig geringer Rückgang in dem betrachteten Zeitraum bestimmt (**Abbildung 17** und **Abbildung 18**).

Die für den Verpackungspapierkreislauf durchgeführten Modellberechnungen ergaben für die Verpackungspapier und Karton folgende Entwicklungen:

Für die Eigenschaftskennwerte Berstwiderstand und Biegesteifigkeit wird bis zum Jahr 2018 ein Rückgang um ca. 6 % gegenüber den Referenzwerten von 2012 ausgewiesen. Für die darauf folgenden sieben Jahre bis zum Jahr 2025 wurde ein weiterer sehr starker Festigkeitsrückgang berechnet. So ergaben die Modelluntersuchungen z. B. für Berstwiderstand und Biegesteifigkeit der Papiere und Kartone, dass im Jahr 2025 deren Niveau nur noch ca. 85 % im Vergleich zu 2012 betragen wird (**Abbildung 19**). Für den für die Wellpappenrohpaperherstellung wichtigen Kennwert SCT-Index ist anhand der Berechnungen eine Reduzierung von 0,0177 kN*m/g auf 0,0169 kN*m/g im Zeitraum von 2012 bis 2025 zu erwarten (**Abbildung 20**). Dieser Rückgang ist z. B. unter dem Aspekt kritisch, dass bei der Herstellung von Wellpappenrohpaper für eine Steigerung des SCT-Index (quer) um 0,00135 kNm/g und des Berst-Index um 0,162 kPa*m²/g ein Gramm Oberflächenstärke pro Quadratmeter Papier aufgetragen werden muss. Weiterhin beachtenswert ist der bis 2025 berechnete Anstieg des Entwässerungswiderstandes um ca. 5 %.

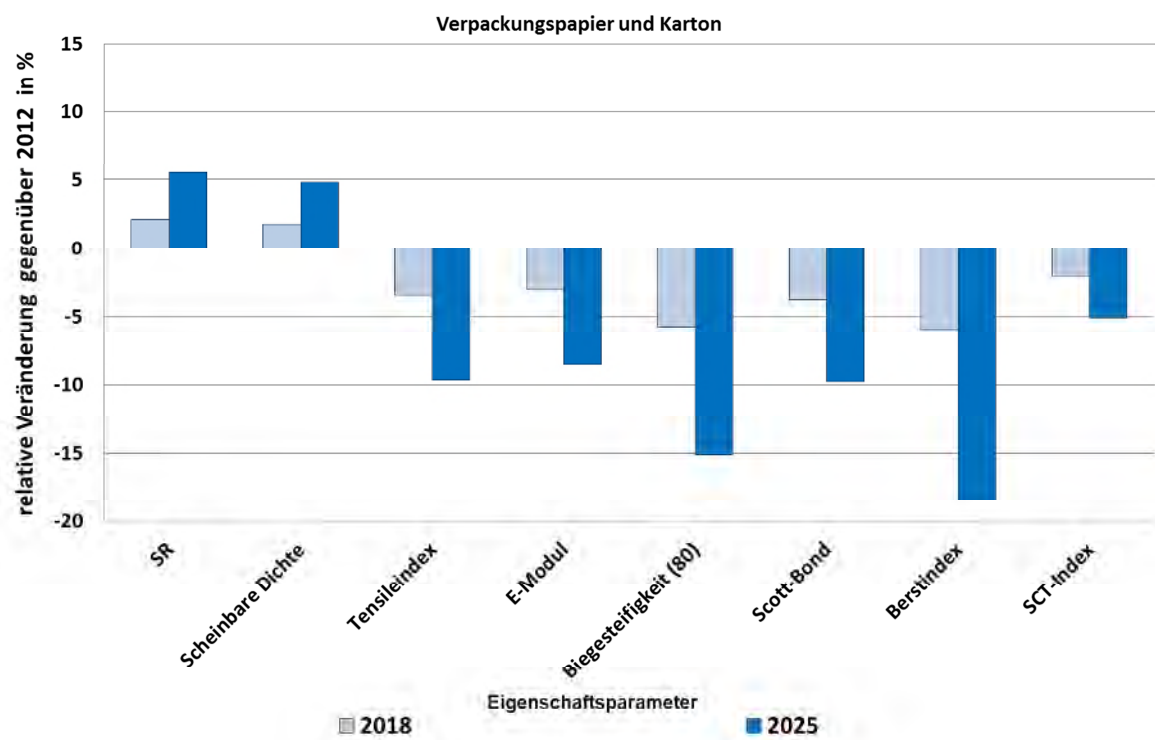


Abbildung 19: Entwicklung der Festigkeitseigenschaften (relativ) für Verpackungspapier und Karton (VP)

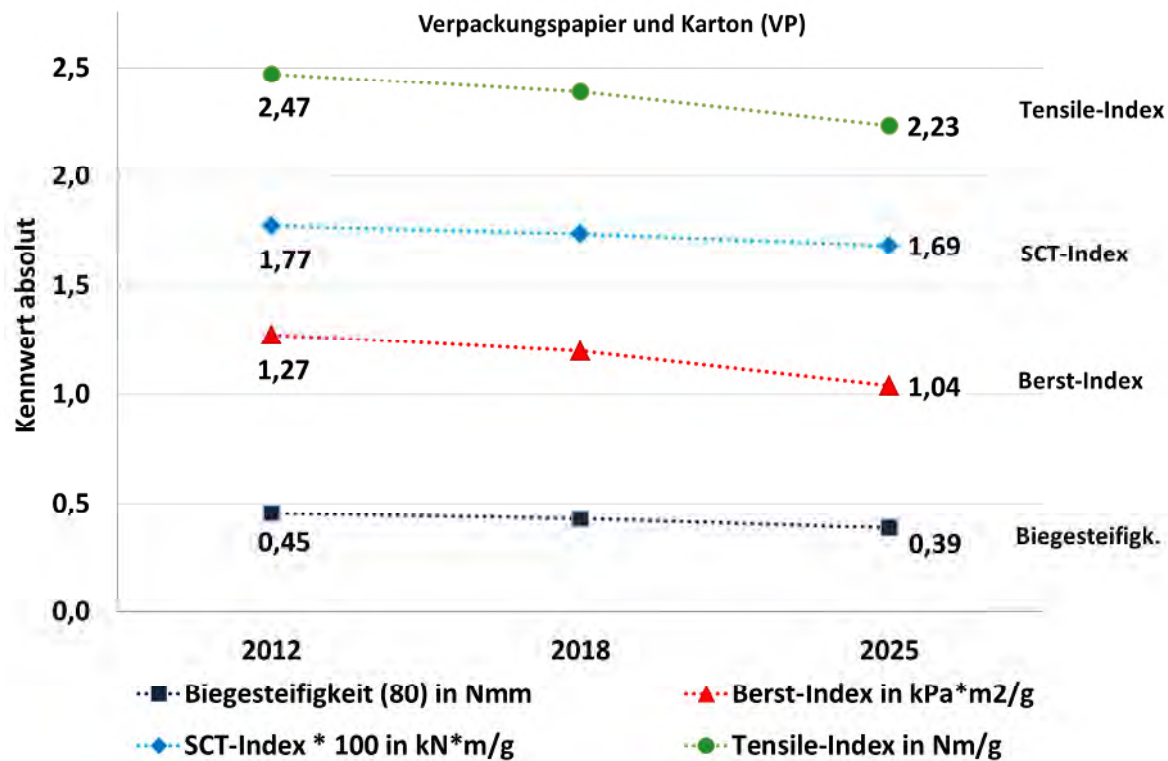


Abbildung 20: Entwicklung der absoluten Festigkeitseigenschaften für Verpackungspapier und Karton (VP)

Entwicklung der Überschuss-/Verlustmengen

Für die untersuchten vier Recyclingkreisläufe werden durch das Modell die sich bilanziell ergebenden Differenzmengen für die einzelnen Papierkreisläufe ausgewiesen (**Abbildung 21**). Aus qualitativer Sicht sind unter den berechneten Defizit- bzw. Überschussmengen an Stoffströmen wie z. B. nicht erfasste Papierprodukte sowie direkte und indirekte Ex- und Importe von Papierprodukten zu verstehen. Diese Differenzmengen sind somit ein erster Anhaltspunkt zur Bewertung der Verfügbarkeit der Papierqualitäten bzw. der daraus generierten Altpapiersorten. Insbesondere können tendenzielle Aussagen über die zeitliche Entwicklung dieser Mengenströme und den zwischen den Produktkreisläufen bestehenden Unterschieden getroffen werden.

Grundlage der Untersuchungen bilden die Differenzmengen, welche für das Ausgangsjahr 2012 bestimmt wurden. Für dieses Jahr weist die Berechnung ein Defizit für den Zeitungsdruckpapierkreislauf (G2) in Höhe von 0,3 Mio. t aus, welches im Rahmen der Modellrechnung durch eine nicht aus dem Bilanzraum Deutschland stammende Menge an Zeitungsdruckpapier ausgeglichen wurde. Auch für den Kreislauf der holzfreien grafischen Papiere (G1) ergab die Untersuchung ein geringes Defizit von 20.000 t Papier. Im Gegensatz zu diesen beiden Papierkreisläufen wurden für die Kreisläufe der Magazin- und Verpackungspapiere (G3 und VP) erhebliche Überschussmengen ermittelt: 1,8 Mio. t für die Magazinpapierkreislauf (GP3) und 3,4 Mio. t für den Verpackungspapier und Kartonkreislauf (VP). Eine Analyse der zeitlichen Veränderungen der berechneten Differenzmengen zeigt, dass insbesondere im Kreislauf der Verpackungspapiere die ausgewiesenen Überschussmengen bis 2025 sehr stark zurückgehen werden. Dieses Ergebnis ist bilanziell in den absinkenden Beträgen für die Inputströme „Frischfaser“ und „Asche“ aufgrund der angenommenen Verringerung

der Produktionsmengen bei den holzfreien grafischen Papieren (G1) und den Magazinpapieren (G3) begründet.

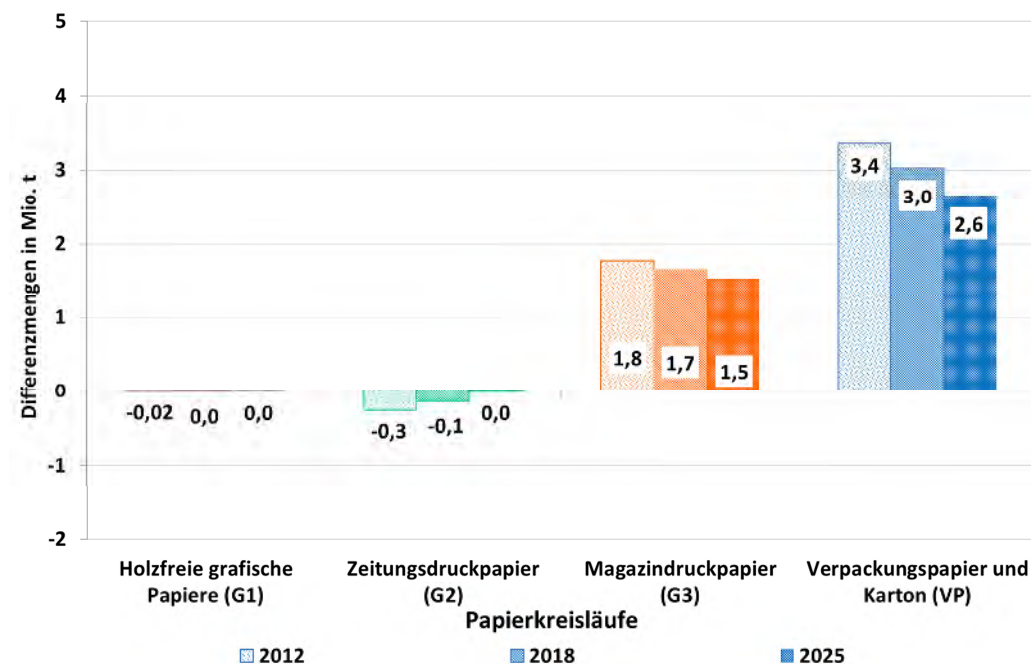


Abbildung 21: Entwicklung von Defizit- und Überschussmengen der Recyclingkreisläufe für den Bilanzraum Deutschland bei konstantem Verteilungsschlüssel für die Papierprodukte in die Altpapierqualitäten

4.3.3 Schlussfolgerungen aus der qualitativen und quantitativen Bewertung der Veränderungstrends bezüglich der Möglichkeit eines Recyclingkollapses

Eine zusammenfassende Bewertung der durch die grundlegenden Trends bewirkten Veränderungen in den Bereichen Papierherstellung und –verarbeitung bezüglich ihrer Auswirkungen auf die mengenmäßig bedeutsamen Altpapierqualitäten 1.02, 1.04 und 1.11 zeigen die Tabellen auf den nachfolgenden Seiten (**Tabelle 10**, **Tabelle 11** und **Tabelle 12**).

Es ist deutlich zu erkennen, dass für die im Verpackungsbereich eingesetzten Altpapierqualitäten 1.02 und 1.04 eine erhebliche Verschlechterung ihrer zentralen papiertechnologischen Eigenschaften zu erwarten ist. Die für das Jahr 2025 berechneten Rückgänge der Festigkeitseigenschaften im Verpackungsbereich sind so hoch, dass sie mit den gegenwärtigen wirtschaftlich und technologisch Möglichkeiten nicht ausgeglichen werden können. Grundsätzlich ist auf Basis dieser Projektergebnisse von einem Risiko bezüglich eines zukünftigen Recyclingkollapses im Bereich der Verpackungsaltpapiere auszugehen.

Für die Sorte 1.11 wurde bis zum Jahr 2025 in Bezug auf die Festigkeitseigenschaften und des Aschegehaltes eine im Vergleich zu den Verpackungspapieren nur geringfügige Qualitätsverschlechterung ermittelt. Ob diese zu erheblichen Einschränkungen bei der Papierproduktion und/oder der Produktqualität führen, konnte im Rahmen des Projektes nicht eindeutig geklärt werden.

Bezüglich der zukünftigen Verfügbarkeit des Altpapiers wurde für alle drei betrachteten Altpapierqualitäten ein Rückgang prognostiziert. Für die Sorten 1.11 und 1.02 ist dies durch den Produktionsrückgang der primärfaserhaltigen Magazindruckpapieren und holzfreien grafischen Papieren begründet. Für die Sorten 1.02 und 1.04 resultiert die reduzierte Verfügbarkeit aus dem steigenden Bedarf für die Verpackungspapierproduktion.

Hervorzuheben ist, dass die für den deutschen und europäischen Wirtschaftsraum durchgeführten Recherchen und Untersuchungen keine substanziellen Entwicklungen mit positiven Wirkungen auf die Altpapierqualitäten ergeben haben.

Die insbesondere für den Verpackungsbereich ausgewiesenen Risiken bezüglich eines Recyclingkollapses erfordern für ihre Abwendung grundsätzliche Veränderungen in den Anwendungspositionen der Prozesse Entaschung und Frischfasereintrag im Gesamt-Recyclingkreislauf. Beide Prozesse sind derzeit fast ausschließlich im Bereich der Produktion grafischer Papiere angesiedelt. Die mit dem Produktionsrückgang dieses Produktsegmentes verbundene Reduzierung dieser Prozessanwendungen müsste zukünftig den mengenmäßig dominierenden Bereich der Verpackungspapierherstellung ausgleichen. Erste Ansätze zur Veränderung der Einsatzposition für Primärfaserstoffe im Gesamtkreislauf wurden im Rahmen des INFOR-Projektes 162 R erarbeitet [3].

Tabelle 10: Ausgewählte zukünftige Veränderungen in Papierherstellung und –verarbeitung und ihre Auswirkungen auf wesentliche Eigenschaftskennwerte der Altpapiersorte 1.02 bezüglich ihrer Einsetzbarkeit bei der Verpackungspapier und Kartonherstellung

Veränderungen in den Bereichen Papierherstellung und -verarbeitung	Altpapiersorte 1.02: Für die Einsetzbarkeit wesentliche Eigenschaftskennwerte				
	Faserstoffeigenschaften		Prozessfähigkeit	Wirtschaftlichkeit	
	Festigkeitseigenschaften	Blattdichte	Zerfaserbarkeit	Reinheit bezüglich papierfremder Stoffe	Verfügbarkeit
Rückgang Produktion grafischer Papiere	↓↓↓	↓↓↓	↔	↑ [Erläuterung Tabelle 19]	↓
Steigende Produktion Verpackungspapiere				↔	↓
Zunahme Produktion von Packmitteln mit Beschichtungen / Kaschierungen	↔	↔	↓	↓	↔
Zunahme Produktion von Packmitteln mit gestrichener / weiß gedeckter Oberfläche	↓	↓	↔	↔	↔

Legende:

- ↓↓↓ - starke Verschlechterung der Altpapiereigenschaft
- ↓ - geringe bis mittlere Verschlechterung der Zieleigenschaft
- ↔ - keine Auswirkungen auf die Altpapiereigenschaft
- ↑ - Verbesserung der Altpapiereigenschaft

Tabelle 11: Ausgewählte zukünftige Veränderungen der Papierherstellung und –verarbeitung und ihre Auswirkungen auf wesentliche Eigenschaftskennwerte der Altpapiersorte 1.04 bezüglich ihrer Einsetzbarkeit bei der Verpackungspapier und Kartonherstellung

Veränderungen in den Bereichen Papierherstellung und -verarbeitung	Altpapiersorte 1.04: Für die Einsetzbarkeit wesentliche Eigenschaftskennwerte				
	Faserstoffeigenschaften		Prozessfähigkeit	Wirtschaftlichkeit	
	Festigkeitseigenschaften	Blattdichte	Zerfaserbarkeit	Reinheit bezüglich papierfremder Stoffe	Verfügbarkeit
Rückgang Produktion grafischer Papiere	↓↓↓	↓↓↓	↔	↑ [Erläuterung Tabelle 19]	↔
Steigende Produktion Verpackungspapiere				↔	↓
Zunahme Produktion von Packmitteln mit Beschichtungen / Kaschierungen	↔	↔	↓	↓	↔
Zunahme Produktion von Packmitteln mit gestrichener / weiß gedeckter Oberfläche	↓	↓	↔	↔	↔

Legende:

- ↓↓↓ - starke Verschlechterung der Altpapiereigenschaft
- ↓ - geringe bis mittlere Verschlechterung der Zieleigenschaft
- ↔ - keine Auswirkungen auf die Altpapiereigenschaft
- ↑ - Verbesserung der Altpapiereigenschaft

Tabelle 12: Ausgewählte zukünftige Veränderungen der Papierherstellung und –verarbeitung und ihre Auswirkungen auf wesentliche Eigenschaftskennwerte der Altpapiersorte 1.11 bezüglich ihrer Einsetzbarkeit bei Herstellung holzhaltiger grafischer Massendruckpapiere

Veränderungen in den Bereichen Papierherstellung und -verarbeitung	Altpapiersorte 1.11: Für die Einsetzbarkeit wesentliche Eigenschaftskennwerte				
	Faserstoffeigenschaften	Prozessfähigkeit	Wirtschaftlichkeit		
	Festigkeitseigenschaften	Deinkbarkeit	Reinheit bezüglich papierfremder Stoffe	Ausbeute Deinking	Verfügbarkeit
Rückgang Produktion grafischer Papiere	↓	↔	↔	↓	↓
Steigende Produktion Verpackungspapiere	↔	↔	↔	↔	↓
Zunahme Produktion von Packmitteln mit Beschichtungen / Kaschierungen	↔	↔	↓	↔	↔
Zunahme Produktion von Packmitteln mit gestrichener / weiß gedeckter Oberfläche	↔	↓ [Erläuterung Tabelle 18]	↔	↔	↓ [Erläuterung Tabelle 15]

Legende:

- ↓↓↓ - starke Verschlechterung der Altpapiereigenschaft
- ↓ - geringe bis mittlere Verschlechterung der Zieleigenschaft
- ↔ - keine Auswirkungen auf die Altpapiereigenschaft
- ↑ - Verbesserung der Altpapiereigenschaft

5 Anhang

5.1 Veränderungstrends in der Gesellschaft und Industrie

Tabelle 13: Veränderungstrends in der Gesellschaft sowie in Industriebranchen außerhalb der Papierindustrie und deren Auswirkungen auf die Altpapierqualität bzw. den Altpapiereinsatz in der Papierindustrie

Nr.	Veränderungen				Auswirkungen auf die Altpapier verarbeitende Papierindustrie				
	die Veränderung auslösende Branche bzw. Gesellschaftsbereich	Trend	sich aus den Trend ergebende direkte Einflussfaktoren für die Papierindustrie	Entwicklungsrichtung		direkte Auswirkungen	Erläuterungen	betroffener Zielparameter bezüglich Altpapierqualität / Altpapiereinsatz	Entwicklungsrichtung
22	Gesellschaft, Forschung, Gesetzgeber	zunehmend kritische Bewertung von in die Papierkette eingebrachten Stoffen bezüglich Umwelt- und Gesundheitsrelevanz (insbesondere relevant für Lebensmittelverpackungen)	Aufwendungen für Papierindustrie zur Herstellung von Verpackungspapier und -karton für Lebensmittelkontakt	↑	→	verstärkte Herstellung von Verpackungspapieren auf Frischfaserbasis bzw. auf Altpapierbasis mit Barrierebeschichtungen bzw. zusätzlicher Aufbereitungsaufwand für Altpapier; Substitution von papierbasierenden Produkte durch Produkte auf anderer Materialbasis	ohne spezifische Abreicherungsverfahren in der Altpapieraufbereitung erfolgt eine Anreicherung der Stoffe im Papierkreislauf	spezifische Faserstoff- und Aufbereitungskosten für die Herstellung von Verpackungspapieren und -kartone für den Lebensmittelbereich	↑
								Nachfrage nach Altpapier für die Herstellung von Verpackungen auf Altpapierbasis	↓
2	andere Industriebranchen (Energieerzeugung, Chemie u.a.)	zunehmende Nutzungskonkurrenz für Stärke	Verfügbarkeit für native/modifizierte Stärke und Stärkeprodukte	↓	→	Preis für native/modifizierte Stärke und Stärkeprodukte	Anwendung alternativer Strategien (Einsatz von krafthaltigen Altpapier, Zellstoff, synthetischen Trockenverfestigern, usw.) zur Festigkeitssteigerung oder höherer Frischfasereinsatz	spezifische Kosten Festigkeitssteigerung für Papierherstellung mit Altpapiereinsatz	↑
23	andere Industriebranchen	Einsatz Papierprodukte in Branchen außerhalb der Papierindustrie (z. B. Baustoff- und Polstermaterialherstellung, usw.); (Altpapier-Nutzungskonkurrenz für die Altpapier einsetzende Papierindustrie)	Altpapier geht nicht in Recyclingkreislauf zurück	?	→			Verfügbarkeit Altpapier für Papierindustrie	?

Tabelle 14: Veränderungstrends in Industriebranchen außerhalb der Papierindustrie und deren Auswirkungen auf die Altpapierqualität bzw. den Altpapiereinsatz in der Papierindustrie

Nr.	Veränderungen				Auswirkungen auf die Altpapier verarbeitende Papierindustrie				
	die Veränderung auslösende Branche bzw. Gesellschaftsbereich	Trend	sich aus den Trend ergebende direkte Einflussfaktoren für die Papierindustrie	Entwicklungsrichtung		direkte Auswirkungen	Erläuterungen	betroffener Zielparameter bezüglich Altpapierqualität / Altpapiereinsatz	Entwicklungsrichtung
30a/ 12	andere Industriebranchen (Elektronik, Sensorik, Datenverarbeitung u.ä.)	der Verbrauch an Zeitungen sinkt	Produktionsmenge Zeitungsdruckpapier	↓	→	Rückgang der aus den haushaltsnahen Bereich erfassbaren Altpapiermenge bzw. Menge an deinkbaren Papieren; Mengenrückgang von Verarbeitungsabfällen aus der Zeitungsherstellung	steigender spezifischer Aufwand für die Altpapierfassung in Haushalt und Gewerbe und für die Trockensortierung zur Gewinnung von 1.11	Kosten Altpapiersorte 1.11 und mittlere Altpapiersorten	↑
			bisherige und zu erwartende zukünftige Entwicklung wird im Rahmen des Berichtes ausführlich dargestellt (Steckbrief)					die Auswirkungen auf den Aschegehalt und die mittlere Generationenanzahl im Papierkreislauf bzw. Altpapier wird im des Bericht ausführlich dargestellt	
30b/ 13a	andere Industriebranchen (Elektronik, Sensorik, Datenverarbeitung u.ä.)	der Verbrauch an Magazinen sinkt	Produktionsmenge Magazindruckpapiere (gestrichen/ungestrichen)	↓	→	Rückgang der aus den haushaltsnahen Bereich erfassbaren Altpapiermenge bzw. Menge an deinkbaren Papieren; Mengenrückgang von Verarbeitungsabfällen aus der Magazinerstellung	steigender spezifischer Aufwand für die Altpapierfassung in Haushalt und Gewerbe und für die Trockensortierung zur Gewinnung von 1.11	Kosten Altpapiersorte 1.11 und mittlere Altpapiersorten	↑
			bisherige und zu erwartende zukünftige Entwicklung wird im Rahmen des Berichtes ausführlich dargestellt (Steckbrief)					die Auswirkungen auf den Aschegehalt und die mittlere Generationenanzahl im Papierkreislauf bzw. Altpapier wird im des Bericht ausführlich dargestellt	

Tabelle 15: Veränderungstrends in Industriebranchen außerhalb der Papierindustrie und deren Auswirkungen auf die Altpapierqualität bzw. den Altpapiereinsatz in der Papierindustrie

Nr.	Veränderungen				Auswirkungen auf die Altpapier verarbeitende Papierindustrie			
	die Veränderung auslösende Branche bzw. Gesellschaftsbereich	Trend	sich aus den Trend ergebende direkte Einflussfaktoren für die Papierindustrie	Entwicklungsrichtung	direkte Auswirkungen	Erläuterungen	betroffener Zielparame-ter / Altpapiereinsatz	Entwicklungsrichtung
30c/ 13b	andere Industrie-branchen (Elektronik, Sensorik, Datenverarbeitung u.ä.)	der Verbrauch an holzfreien grafischen Papieren sinkt	Produktionsmenge holzfreie grafische Papiere (gestrichen/un-gestrichen)	↓	→ Rückgang der aus den haushaltsnahen Bereich erfassbaren Altpapiermenge bzw. Menge an deinkbaren Papieren; Mengenrückgang von Verarbeitungsabfällen aus der Herstellung von grafischen Papierprodukten aus holzfreiem grafischen Papieren	steigender spezifischer Aufwand für die Altpapiererfassung in Haushalt und Gewerbe und für die Trockensortierung zur Gewinnung von 1.11	Kosten Altpapiersorte 1.11 und bessere Altpapiersorten	↑
			bisherige und zu erwartende zukünftige Entwicklung wird im Rahmen des Berichtes ausführlich dargestellt (Steckbrief)				die Auswirkungen auf den Asche-gehalt und die mittlere Generationenanzahl im Papier-kreislauf bzw. Altpapier wird im des Bericht ausführlich dargestellt	
30x/ 13x	andere Industrie-branchen (Elektronik, Sensorik, Datenverarbeitung u.ä.)	der Verbrauch an Verpackungspapieren (Wellpappenroh-papiere, Karton, Pappe) steigt	Produktionsmenge Verpackungspapiere (Wellpappenroh-papiere, Karton, Pappe) D	↑	→ Zunahme der aus den haushaltsnahen Bereich erfassbaren Altpapiermenge; Rückgang des Anteils an deinkbaren Papieren; Mengensteigerung für Verarbeitungsabfällen aus der Herstellung von Packmitteln; Mehrbedarf an Altpapiersorten für die Verpackungspapier-herstellung (1.02, 1.04, 1.05)	sinkender spezifischer Aufwand für die Altpapiererfassung in Haushalt und Gewerbe; steigender Aufwand für die Trockensortierung zur Gewinnung von 1.11	Kosten Altpapiersorte 1.11	↑
			bisherige und zu erwartende zukünftige Entwicklung wird im Rahmen des Berichtes ausführlich dargestellt (Steckbrief)				Kosten Altpapiersorten für Verpackungspapier-herstellung	↑
							die Auswirkungen auf den Asche-gehalt und die mittlere Generationenanzahl im Papier-kreislauf bzw. Altpapier wird im des Bericht ausführlich dargestellt	

Tabelle 16: Veränderungstrends in den Bereichen Rohstoffgewinnung bzw. –erzeugung sowie in der Papierindustrie und deren Auswirkungen auf die Altpapierqualität bzw. den Altpapiereinsatz in der Papierindustrie

Nr.	Veränderungen				Auswirkungen auf die Altpapier verarbeitende Papierindustrie				
	die Veränderung auslösende Branche bzw. Gesellschaftsbereich	Trend	sich aus den Trend ergebende direkte Einflussfaktoren für die Papierindustrie	Entwicklungsrichtung		direkte Auswirkungen	Erläuterungen	betroffener Zielparameter bezüglich Altpapierqualität / Altpapiereinsatz	Entwicklungsrichtung
3	Rohstoffgewinnung bzw. -erzeugung	positive Preisdifferenz Birkenzellstoff gegenüber Eucalyptuszellstoff	Substitution Birkenzellstoff durch Eucalyptuszellstoff bei der Herstellung grafischer Papiere	↑	→	sinkende mittlere Faserlänge im Altpapier, dünnwandige Fasern	fehlende Armierung => Reduzierung Festigkeitseigenschaften insb. bei der Verpackungspapierherstellung	Festigkeitseigenschaften Altpapier	↓
4	Rohstoffgewinnung bzw. -erzeugung	positive Preisdifferenz Langfaserzellstoff gegenüber Kurzfaserzellstoff	Substitution Langfaserzellstoff durch Kurzfaserzellstoff bei der Herstellung grafischer Papiere	↓	→	sinkende mittlere Faserlänge im Altpapier	fehlende Armierung => Reduzierung Festigkeitseigenschaften insb. bei der Verpackungspapierherstellung	Festigkeitseigenschaften Altpapier	↓
6	Rohstoffgewinnung bzw. -erzeugung; Papierherstellung	negative Preisdifferenz mineralische Stoffe gegenüber Faserstoffe, Verbesserung der optischen und Bedruckbarkeitseigenschaften der Papiere	bisherige und zu erwartende zukünftige Entwicklung wird im Rahmen des Berichtes ausführlich dargestellt (Steckbrief)		→	Substitution Faserstoffe durch mineralische Stoffe (Strichauftrag, Füllstoffzusatz) in einzelnen Segmenten der Herstellung grafischer und Verpackungspapiere => steigender Aschegehalt in einzelnen Papierproduktgruppen und in einzelnen Altpapierqualitäten	steigende Verluste beim Deinkingprozess, Reduzierung Festigkeitseigenschaften und Volumen bei Einsatz bestimmter Altpapierqualitäten	spezifische Kosten für Reststoffentsorgung für Papierherstellung mit Deinkingprozess	↑
								die Auswirkungen auf den Aschegehalt im Papierkreislauf bzw. Altpapier wird innerhalb des Berichtes ausführlich dargestellt	
5	Papierherstellung	Verbesserung Sortierwirkung bei der Verpackungspapierherstellung durch z.B. engere Schlitzweiten	Abtrennung Langfaseranteil bei der Altpapieraufbereitung (Sortierung) bei der Verpackungspapierherstellung	↑	→	Reduzierung Langfaseranteil s	Verringerung des Festigkeitspotentials des Faserstoffes; Erhöhung des spezifischen Reststoffanfalls	Festigkeitseigenschaften	↓
								spezifische Kosten für Faserstoffe und Reststoffentsorgung Papierherstellung	↑
7	Papierherstellung	Ausbeutesteigerung Flotationsprozess Zeitungsdruckpapierherstellung	Anteil an mineralischen Stoffen im Fertigpapier Zeitungsdruckpapiere D	↑	→	steigender Aschegehalt im Zeitungsdruckpapier und im Altpapier	steigende Verluste beim Deinkingprozess, Reduzierung Festigkeitseigenschaften und Volumen	Festigkeitseigenschaften Altpapier	↓
								spezifische Kosten für Reststoffentsorgung für Papierherstellung mit Deinkingprozess	↑

Tabelle 17: Veränderungstrends im Bereich der Papierverarbeitung und deren Auswirkungen auf die Altpapierqualität bzw. den Altpapiereinsatz in der Papierindustrie

Nr.	Veränderungen				Auswirkungen auf die Altpapier verarbeitende Papierindustrie				
	die Veränderung auslösende Branche bzw. Gesellschaftsbereich	Trend	sich aus den Trend ergebende direkte Einflussfaktoren für die Papierindustrie	Entwicklungsrichtung		direkte Auswirkungen	Erläuterungen	betroffener Zielparameter bezüglich Altpapierqualität / Altpapiereinsatz	Entwicklungsrichtung
8	Papierverarbeitung	steigende Anwendung von Druckverfahren mit nicht deinkbaren Farben (Indigo-Prints, Ink Jet Druck, Flexodruck)	Anteil Druckprodukte mit nicht deinkbaren Druckfarben	↑	→	Verschlechterung Deinkbarkeit der Altpapiersorte 1.11, ggf. auch von anderen grafischen Altpapiersorten; Erhöhung (Trocken-) Sortieraufwand	Reduzierung Weißgrad des Fertigpapiers	Deinkbarkeit grafische Altpapiersorten	↓
								Aufwand Trockensortierung	↑
9	Papierverarbeitung	Prozessoptimierung bei der Verarbeitung grafischer Papiere	Anteil spezifischer Ausschuss- und Verschnittmengen bei der Verarbeitung grafischer Papiere	↓	→	Verfügbarkeit von hochwertigen Altpapiersorten der Gruppen 2 und 3 sinkt	Gegenmaßnahmen: Einsatz minderer AP-Qualitäten => Erhöhter Aufbereitungsaufwand bei der AP-Aufbereitung (Deinking); Einsatz von Primärfaserstoffen	spezifische Faserstoff-/Aufbereitungskosten für helle grafische Papiere und weiss gedeckte Verpackungspapiere	↑
10	Papierverarbeitung	singende Auflagengröße bei der Herstellung grafischer Papierprodukte	Anteil spezifischer Ausschuss- und Verschnittmengen bei der Verarbeitung grafischer Papiere	↑	→	Verfügbarkeit von hochwertigen Altpapiersorten der Gruppen 2 und 3 steigt	abnehmender Aufbereitungsaufwand bei der AP-Aufbereitung (Deinking); Substitution von Primärfaserstoffen durch mittlere/bessere Altpapiersorten	spezifische Faserstoff-/Aufbereitungskosten für helle grafische Papiere und weiss gedeckte Verpackungspapiere	↓
11	Papierverarbeitung	Verringerung der Masse von Packmitteln	flächenbezogene Masse von Wellpappenroh-papiere	↓	→	geringere Anfallmengen von Verpackungspapieren im haushaltsnah erfasstem AP und von Verarbeitungsausschuss; steigender Anteil Zusatzstoffe aus der Verarbeitung (z.B. Folien, Kleber) in den Packmitteln und im Altpapier	geringere Verfügbarkeit höherwertiger AP-Qualitäten aus der Papierverarbeitung, höhere Belastung mit Kleber, Folien, u.ä.; erhöhte Aufwendungen Sortierung	spezifische Kosten für Faserstoffe, Aufbereitung und Reststoffentsorgung bei der Herstellung von Verpackungspapieren und -kartone	↑

Tabelle 18: Veränderungstrends im Bereich Papierverarbeitung und deren Auswirkungen auf die Altpapierqualität bzw. den Altpapiereinsatz in der Papierindustrie (11; 6)

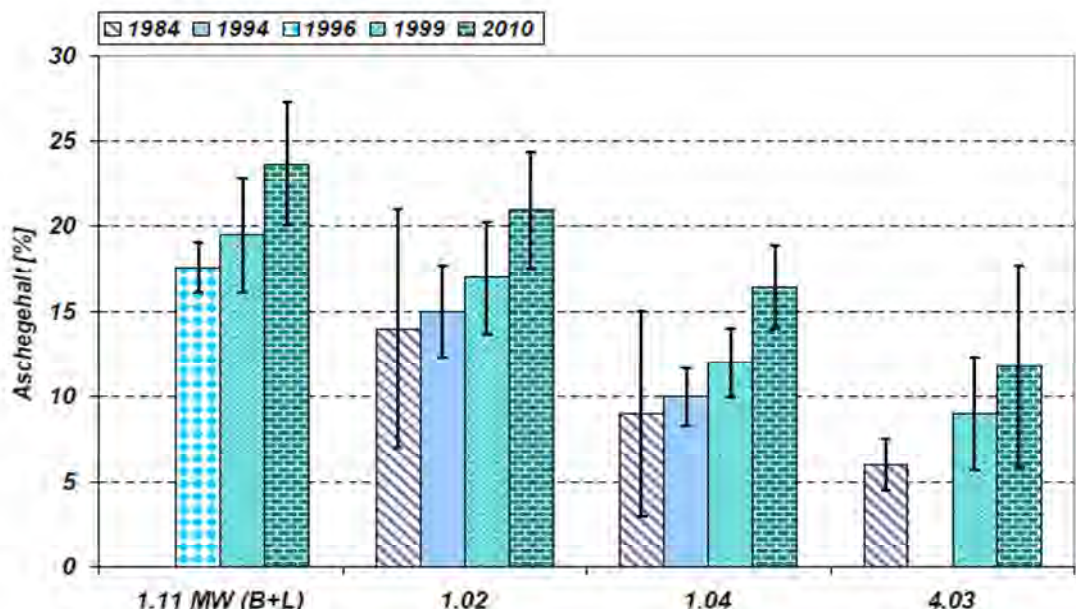
Nr.	Veränderungen				Auswirkungen auf die Altpapier verarbeitende Papierindustrie				
	die Veränderung auslösende Branche bzw. Gesellschaftsbereich	Trend	sich aus den Trend ergebende direkte Einflussfaktoren für die Papierindustrie	Entwicklungsrichtung		direkte Auswirkungen	Erläuterungen	betroffener Zielparameter bezüglich Altpapierqualität / Altpapiereinsatz	Entwicklungsrichtung
15	Papierverarbeitung	zunehmende Herstellung von Packmitteln mit weisser Oberfläche	Produktion von Packmitteln mit weißer Oberfläche; Produktionsmenge von Karton und Wellpappenroh-papieren mit weißer Oberseite	↑	→	steigender Anteil an Verpackungen in der Deinkingware bzw. steigender Sortieraufwand; höherer Bedarf grafischen Altpapierqualitäten durch die Hersteller von Verpackungspapieren	Differenzierung zwischen den gestrichenen Oberflächen von Kartonen / Wellpappen und Magazinen mittels NIR-Sensorik nur bedingt möglich => steigender Sortieraufwand (Nutzung weiterer Trennverfahren)	Optische Eigenschaften grafischer Papiere	↓
								spezifische Aufbereitungskosten für grafische Papiere	↑
								spezifische Faserstoffkosten für die Herstellung von weiss gedeckten Verpackungspapieren und -kartone und grafische holzhaltige Papiere	↑
16	Papierverarbeitung	steigende Herstellung von faserbasierten Packmitteln mit Barriereeigenschaften u.ä.	Mengenentwicklung für Papierverbunde im Packmittelbereich	↑	→	steigender Anteil von mit Folien, Beschichtungen, Barrieren u.ä. ausgerüsteten Karton- oder Wellpappenverpackungen im Altpapier	Erkennung und Abtrennung von beschichteten Verpackungen und papierbasierten Verbunden, Compounds u.ä. nur eingeschränkt möglich bzw.steigender Sortier- und Aufbereitungsaufwand	spezifische Kosten für Faserstoffe und Reststoffentsorgung Papierherstellung	↑

Tabelle 19: Veränderungstrends in den Bereichen des Altpapierhandels und der Altpapier-Trockensortierung und deren Auswirkungen auf die Altpapierqualität bzw. den Altpapiereinsatz in der Papierindustrie

Nr.	Veränderungen				Auswirkungen auf die Altpapier verarbeitende Papierindustrie				
	die Veränderung auslösende Branche bzw. Gesellschaftsbereich	Trend	sich aus den Trend ergebende direkte Einflussfaktoren für die Papierindustrie	Entwicklungsrichtung		direkte Auswirkungen	Erläuterungen	betroffener Zielparame-ter bezüglich Altpapierqualität / Altpapiereinsatz	Entwicklungsrichtung
20	Altpapier-Erfassung; Altpapier Handel; Papier-industrie	Steigende Erfassungsraten in anderen Ländern und zunehmende Bedeutung der Altpapierqualität können die Exportmöglichkeiten für Altpapiere minderer Qualität verringern	Senke im Papierkreislauf für Altpapierfaserstoffe mit minderer Faserqualität	↓	→	Steigender Anteil an mineralischen Stoffen im Altpapier, steigende mittlere Faserstoffgenerationenanzahl insbesondere in den unteren Altpapiersorten		Festigkeitseigen-schaften Altpapier	↓
21	Trockensortie-rung Altpapier	Erzeugung/Sortierung der Altpapiersorte 1.11	Menge sortierte Deinkingware	↓	→	die sortierte 1.11 -Menge beeinflusst die Menge der als Nebenfraktionen anfallenden Sorten 1.02 und 1.04	Zusammensetzung der aus Sortieranlagen für Deinkingware stammenden Sorten 1.02 und 1.04 kann von dem aus Originalanfallstellen stammenden Material abweichen	Menge an aus Sortieranlagen stammenden Sorten 1.02 und 1.04	↓

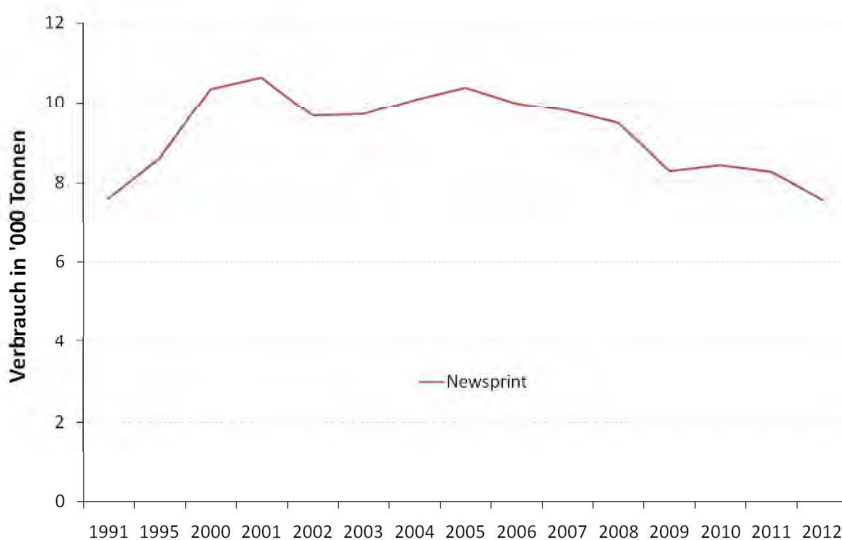
5.2 Analysen zu vergangenen und zukünftigen Veränderungen bezüglich der Rohpapierzusammensetzung und der sortenspezifischen Verbrauchs- und Produktionsmengen von Papier

Tabelle 20: Analyse zur zukünftigen Entwicklung des Anteils mineralischer Stoffe (Pigment, Füllstoffe) am Fertigpapier

Nr. 6	Anteil mineralischer Stoffe (Pigment, Füllstoffe) am Fertigpapier																														
1 Trendanalyse der Vergangenheit																															
1.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Vergangenheit - Erhöhter Einsatz von Altpapier bei Papierproduktion - Produktionsrückgang an gestrichenen, grafischen Produkten - Leicht rückläufiger Einsatz von Mineralstoffen und Additiven bei der Papierherstellung in Deutschland Quellen: - Expertenabschätzung - [12, 13, 14]																														
1.2	Trend des Parameters in der Vergangenheit Auswertung: Aschegehalt in den Hauptaltpapiersorten ist angestiegen, dies ist ein Indiz dafür, dass sich der Anteil an mineralischen Stoffen in den Rohpapieren erhöht hat <table><thead><tr><th>Papierart</th><th>1984</th><th>1994</th><th>1996</th><th>1999</th><th>2010</th></tr></thead><tbody><tr><td>1.11 MW (B+L)</td><td>17.5</td><td>19.5</td><td>20.5</td><td>23.5</td><td>24.5</td></tr><tr><td>1.02</td><td>14.0</td><td>15.0</td><td>17.0</td><td>18.0</td><td>21.0</td></tr><tr><td>1.04</td><td>9.0</td><td>10.0</td><td>12.0</td><td>14.0</td><td>16.5</td></tr><tr><td>4.03</td><td>6.0</td><td>9.0</td><td>9.0</td><td>12.0</td><td>12.0</td></tr></tbody></table> Abbildung 22: Aschegehalt von Hauptaltpapiersorten in den Jahren 1984 bis 2010 [15] Quellen: - [15]	Papierart	1984	1994	1996	1999	2010	1.11 MW (B+L)	17.5	19.5	20.5	23.5	24.5	1.02	14.0	15.0	17.0	18.0	21.0	1.04	9.0	10.0	12.0	14.0	16.5	4.03	6.0	9.0	9.0	12.0	12.0
Papierart	1984	1994	1996	1999	2010																										
1.11 MW (B+L)	17.5	19.5	20.5	23.5	24.5																										
1.02	14.0	15.0	17.0	18.0	21.0																										
1.04	9.0	10.0	12.0	14.0	16.5																										
4.03	6.0	9.0	9.0	12.0	12.0																										

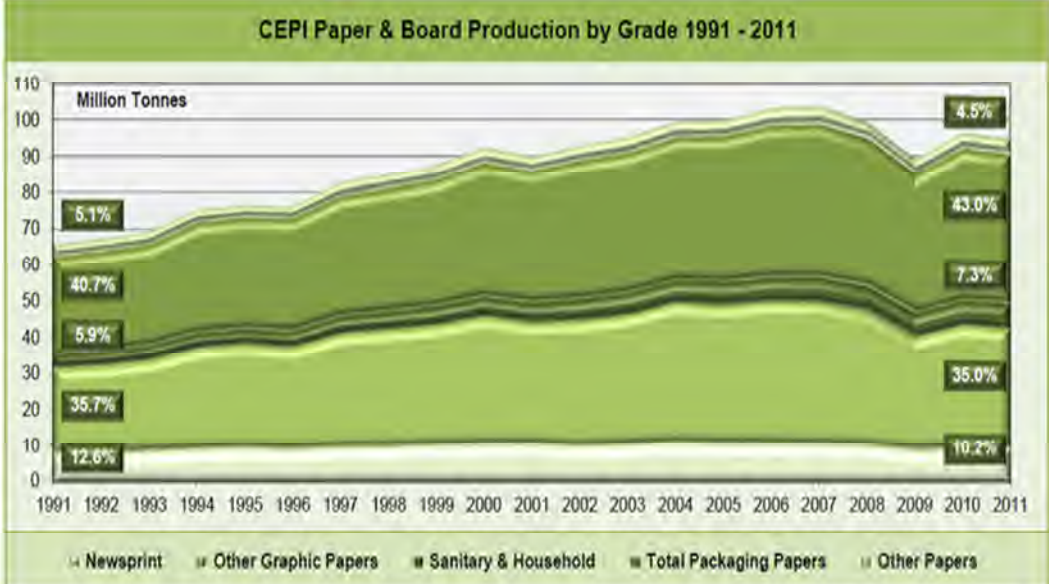
2 Ausblick in die Zukunft – Analyse einzelner Einflussfaktoren	
2.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Zukunft - Altpapiereinsatz - Kostendifferenz zwischen Faserstoffen und mineralische Stoffe - Technisch / technologische Entwicklungen der Applikationstechnik - Optische Anforderungen an Papierqualitäten <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.2	Argumente für die zukünftige Abnahme des Anteils an mineralischen Stoffen (Pigment, Füllstoffe) im Fertigpapier <u>Argumente:</u> - Bessere Entfrachtung von Asche bei der Aufbereitung von Altpapier <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.3	Argumente für die zukünftige Zunahme des Anteils an mineralischen Stoffen (Pigment, Füllstoffe) im Fertigpapier <u>Argumente:</u> - Substitution von Fasern durch Mineralstoffe (Strichauftrag, Füllstoffzusatz), aber nicht stark, da es Limitierungen bei der Produktion gibt - Steigende Anforderungen an die optischen Papiereigenschaften - Steigender Altpapiereinsatz im globalen Maßstab <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung - [16]
2.4	Argumente für zukünftige Beibehaltung des Anteils an mineralischen Stoffen (Pigment, Füllstoffe) im Fertigpapier <u>Argumente:</u> - keine
3 Prognose für die Zukunft – Zusammenfassende Aussage zur Trendentwicklung in den nächsten 10 – 15 Jahren auf Basis von Punkt 2 (Expertenabschätzung)	
Zukünftige Entwicklung des Aschegehalte in den Fertigpapieren nicht abschätzbar	

Tabelle 21: Analyse zur zukünftigen Entwicklung der Verbrauchsmenge von Zeitungsdruckpapier

Nr. 30a	Verbrauchsmenge Zeitungsdruckpapier
1 Trendanalyse der Vergangenheit	
1.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Vergangenheit Die Bedeutung des Internet als Informationsmedium nimmt zu. • Mobile Endgeräte treiben den Internetkonsum voran (Unterwegs-Nutzung: 2012: 23% des Internetkonsums durch mobile Endgeräte; 2013: 41%). Die tägliche Nutzungsdauer an digitalen Medien stieg in 2013 um 36 Minuten auf 169 min an) • Online-Angebot für Zeitungen wird langsam ausgebaut (die gedruckten Auflagen von Zeitungen nimmt ab) Spezielle Segmente des Zeitungsmarktes bleiben für den Leser attraktiv • am Wochenende wird mehr Zeit als unter der Woche für das Lesen einer Zeitung investiert). • Wertschätzung des Regionalteils in Zeitungen recht hoch. <u>Quellen:</u> - [17, 18, 19, 20]
Trend des Parameters in der Vergangenheit (mögl. letzte 10 Jahre) <u>Auswertung:</u> 2011 ist die Verbrauchsmenge für Zeitungsdruckpapier im CEPI -Raum auf dem Niveau von 1991. Seit 2005 sinkt der Verbrauch kontinuierlich ca. 2,8 % pro Jahr  Abbildung 23: Entwicklung der Verbrauchsmenge an Zeitungsdruckpapier im CEPI-Raum von 1991 bis 2012 [12] <u>Quellen:</u> - [12, 12, 22]	

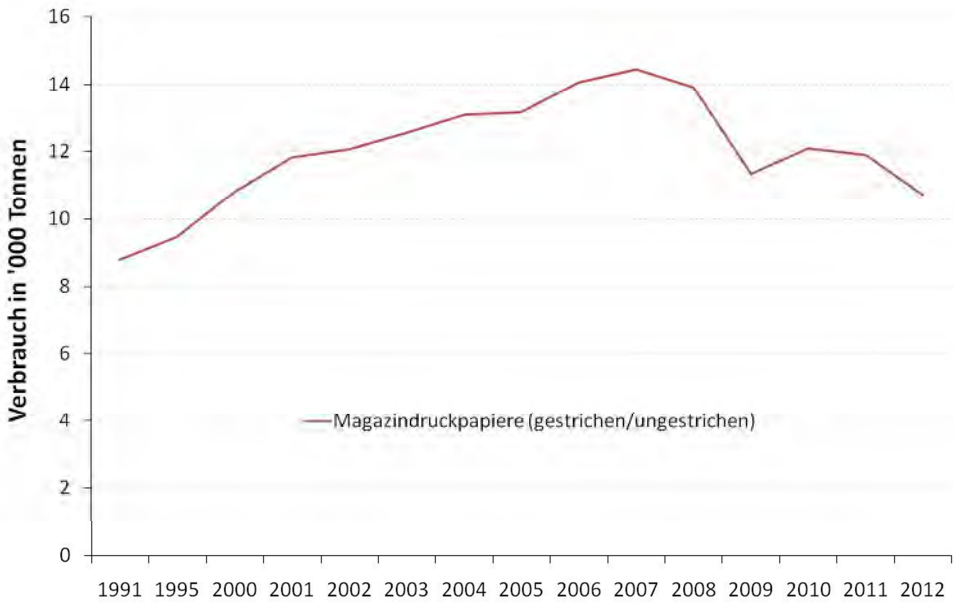
2 Ausblick in die Zukunft – Analyse einzelner Einflussfaktoren	
2.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Zukunft <u>Argumente:</u> - Verfügbarkeit digitaler Medien - Kosten digitaler Geräte / Medien - „Generationswechsel“ und demografischer Wandel - Informations- und Kommunikationsbedarf - Zeitungsdruckpapier wird aus qualitativen / wirtschaftlichen Gründen auch für andere Printprodukte eingesetzt (Werbung, Magazine ..) <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.2	Argumente für zukünftige Abnahme der Verbrauchsmenge Zeitungsdruckpapier <u>Argumente:</u> - Verfügbarkeit digitaler Medien wird zunehmen; - Durch „Generationswechsel“ verstärkte Nutzung digitaler Medien <u>Quellen:</u> - [21]
2.3	Argumente für zukünftige Zunahme der Verbrauchsmenge Zeitungsdruckpapier <u>Argumente:</u> Verbraucherverhalten: - Ältere Menschen lesen wieder mehr Zeitungen?; - Verteuerung der digitalen Endgeräte?; - kostenlose Zeitungen als Werbeträger Papierverarbeitung, Medien - Zeitungsdruckpapier wird aus qualitativen / wirtschaftlichen Gründen auch für andere Printprodukte eingesetzt (Werbung, Magazine, usw.) <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.4	Argumente für zukünftige Beibehaltung der Verbrauchsmenge Zeitungsdruckpapier <u>Argumente:</u> - keine
3 Prognose für die Zukunft – Zusammenfassende Aussage zur Trendentwicklung in den nächsten 10 – 15 Jahren auf Basis von Punkt 2 (Expertenabschätzung)	
	Verbrauchsmenge von Zeitungsdruckpapier wird abnehmen

Tabelle 22: Analyse zur zukünftigen Entwicklung der Produktionsmenge von Zeitungsdruckpapier

Nr. 12	Produktionsmenge Zeitungsdruckpapier
1 Trendanalyse der Vergangenheit	
1.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Vergangenheit
- Konsumverhalten hat sich verändert – immer weniger Leute lesen Zeitungen; zunehmende Nutzung digitaler Medien	
<u>Quellen:</u>	
- Expertenabschätzung	
1.2	Trend des Parameters in der Vergangenheit
Von 1991 bis 2011 ist der Anteil an der Produktion von ZDP um 2,4 % gesunken.	
 CEPI Paper & Board Production by Grade 1991 - 2011 Million Tonnes 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 Newsprint 12.6% 4.5% Other Graphic Papers 35.7% Sanitary & Household 5.9% Total Packaging Papers 40.7% Other Papers 5.1% CEPI Historic Statistics 1991 - 2011 / Page 46	
Abbildung 24: Entwicklung der Produktionsmenge an Zeitungsdruckpapier und anderen Papierqualitäten im CEPI-Raum von 1991 bis 2012 [12]	
<u>Quellen:</u>	
- [12, 22]	
2 Ausblick in die Zukunft – Analyse einzelner Einflussfaktoren	
2.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Zukunft
<u>Argumente:</u>	
- Kosten und Akzeptanz digitaler Medien - Substitutionsmöglichkeiten von anderer Papierqualitäten durch Zeitungsdruckpapier - Kosten der Zeitungspapierherstellung und erzielbare Produktqualität	

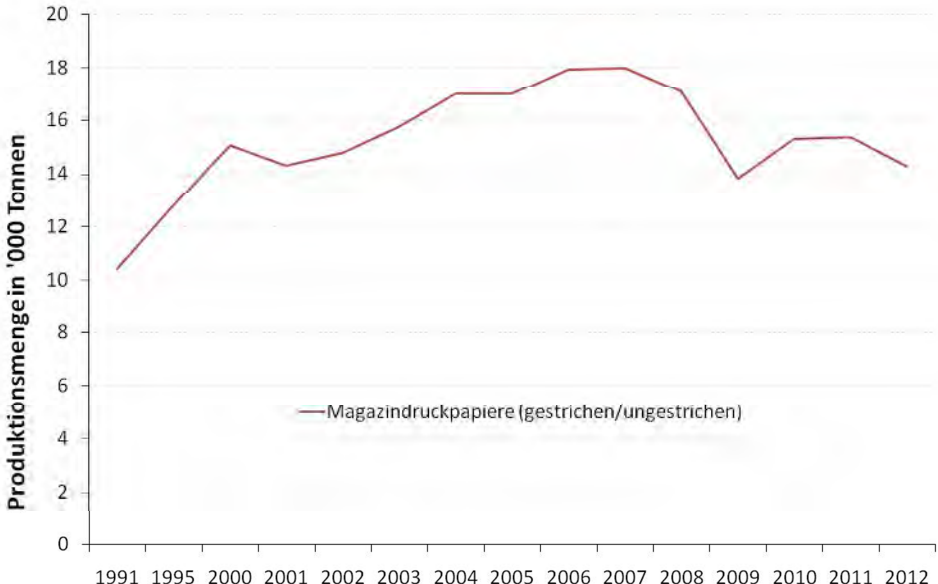
2.2	Argumente für zukünftige Abnahme der Produktionsmenge Zeitungsdruckpapier <u>Argumente:</u> - Verbrauchsmenge von Zeitungsdruckpapier geht zurück <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.3	Argumente für zukünftige Zunahme der Produktionsmenge Zeitungsdruckpapier <u>Argumente:</u> - keine <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.4	Argumente für zukünftige Beibehaltung der Produktionsmenge Zeitungsdruckpapier <u>Argumente:</u> <u>Papierindustrie:</u> - hoher technologischer Stand und somit hohe Produktivität und Effizienz der Produktionsanlagen in Deutschland - Expertenabschätzung
3	Prognose für die Zukunft – Zusammenfassende Aussage zur Trendentwicklung in den nächsten 10 – 15 Jahren auf Basis von Punkt 2 (Expertenabschätzung)
	Produktionsmenge von Zeitungsdruckpapier wird abnehmen

Tabelle 23: Analyse zur zukünftigen Entwicklung der Verbrauchsmenge von Magazindruckpapier

Nr. 30b	Verbrauchsmenge Magazindruckpapiere (gestrichen/ungestrichen)
1 Trendanalyse der Vergangenheit	
1.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Vergangenheit
	- Konsumverhalten hat sich verändert: zunehmende Nutzung digitaler Medien
	<u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
1.2	Trend des Parameters in der Vergangenheit
	 Abbildung 25: Entwicklung der Verbrauchsmenge an Magazindruckpapier im CEPI-Raum von 1991 bis 2012 [12]
	<u>Quellen:</u> - [12]
2 Ausblick in die Zukunft – Analyse einzelner Einflussfaktoren	
2.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Verbrauch von Magazindruckpapiere in der Zukunft
	- Verfügbarkeit digitaler Medien - Kosten digitaler Geräte / Medien - „Generationswechsel“ - demografischer Wandel - Informations- und Kommunikationsbedarf - Substitutionsmöglichkeiten von Magazindruckpapier durch andere Papierqualitäten

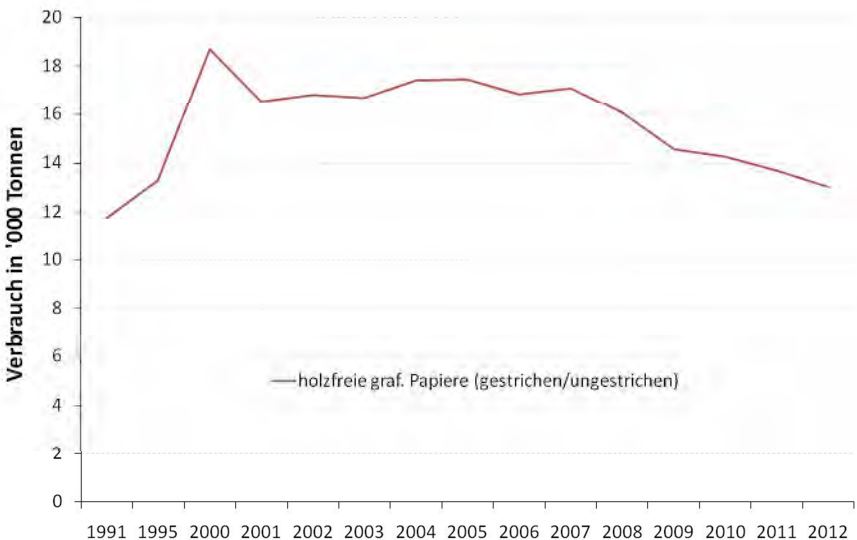
	<u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.2	Argumente für zukünftige Abnahme des Verbrauchs von Magazindruckpapiere <u>Argumente:</u> - Verfügbarkeit digitaler Medien wird zunehmen; - Durch „Generationswechsel“ verstärkte Nutzung digitaler Medien; - c) Magazindruckpapier wird bei bestimmten Printprodukten durch Zeitungsdruckpapier verdrängt (Werbung, Magazine ..) <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.3	Argumente für zukünftige Zunahme des Verbrauchs von Magazindruckpapiere <u>Argumente:</u> Verbraucherverhalten: - Ältere Menschen lesen wieder mehr Zeitungen?; - Verteuerung der digitalen Endgeräte?; - kostenlose Zeitungen als Werbeträger <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.4	Argumente für zukünftige Beibehaltung des Verbrauchs von Magazindruckpapiere <u>Argumente:</u> - Zeitschriften/Klatschblätter werden weiterhin gelesen (in Wartezimmern, Friseur,...) <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
3	Prognose für die Zukunft – Zusammenfassende Aussage zur Trendentwicklung in den nächsten 10 – 15 Jahren auf Basis von Punkt 2 (Expertenabschätzung)
	Verbrauchsmenge von Magazindruckpapier wird abnehmen

Tabelle 24: Analyse zur zukünftigen Entwicklung der Produktionsmenge von Magazindruckpapier

Nr. 13a	Produktionsmenge Magazindruckpapiere (gestrichen/ungestrichen)
1 Trendanalyse der Vergangenheit	
1.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Vergangenheit
	- Konsumverhalten hat sich verändert – immer weniger Leute lesen Zeitschriften; zunehmende Nutzung digitaler Medien
	<u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
1.2	Trend des Parameters in der Vergangenheit
	 Abbildung 26: Entwicklung der Produktionsmenge an Magazindruckpapier im CEPI-Raum von 1991 bis 2012 [12]
	<u>Quellen:</u> - [12]
2 Ausblick in die Zukunft – Analyse einzelner Einflussfaktoren	
2.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Zukunft
	- Kosten und Akzeptanz digitaler Medien - Mögliche Substitution von Magazindruckpapier durch andere Papierqualitäten - Kosten der Magazindruckpapierherstellung und erzielbare Produktqualität
	<u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung

2.2	Argumente für zukünftige Abnahme der Produktionsmenge von Magazindruckpapiere <u>Argumente:</u> - Verbrauchsmenge von Magazindruckpapier geht zurück <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.3	Argumente für zukünftige Zunahme der Produktionsmenge von Magazindruckpapiere <u>Argumente:</u> - keine <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.4	Argumente für zukünftige Beibehaltung der Produktionsmenge von Magazindruckpapiere <u>Argumente:</u> - hoher technologischer Stand und somit hohe Produktivität und Effizienz der Produktionsanlagen in Deutschland <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
3 Prognose für die Zukunft – Zusammenfassende Aussage zur Trendentwicklung in den nächsten 10 – 15 Jahren auf Basis von Punkt 2 (Expertenabschätzung)	
Produktionsmenge von Magazindruckpapier wird abnehmen	

Tabelle 25: Analyse zur zukünftigen Entwicklung der Verbrauchsmenge von holzfreien grafischen Papieren

Nr. 30c	Verbrauchsmenge holzfreie grafische Papiere (gestrichen/ungestrichen)
1 Trendanalyse der Vergangenheit	
1.1 Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Vergangenheit - Konsumverhalten hat sich verändert – zunehmende Nutzung digitaler Kommunikationsmittel und Medien <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung	
1.2 Trend des Parameters in der Vergangenheit  Abbildung 27: Entwicklung der Verbrauchsmenge von holzfreien grafischen Papieren an im CEPI-Raum von 1991 bis 2012 [12] <u>Quellen:</u> - [12]	
2 Ausblick in die Zukunft – Analyse einzelner Einflussfaktoren	
2.1 Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Zukunft <u>Argumente:</u> - Verfügbarkeit digitaler Medien - Kosten digitaler Geräte / Medien - „Generationswechsel“ - demografischer Wandel - Informations- und Kommunikationsbedarf - Datensicherheit	

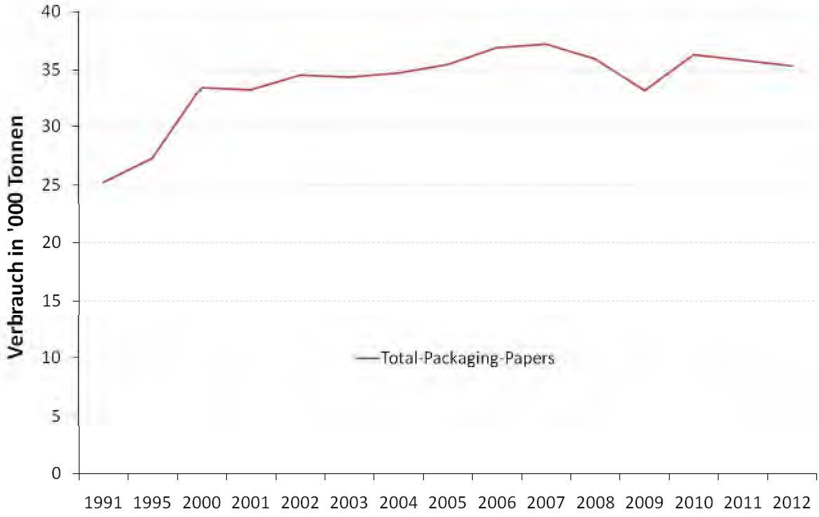
	- Substitutionsmöglichkeiten von holzfreien grafischen Papieren durch andere Papierqualitäten <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.2	Argumente für zukünftige Abnahme der Verbrauchsmenge holzfreier grafischer Papiere <u>Argumente:</u> - Verfügbarkeit digitaler Kommunikationsmittel wird zunehmen; - Durch „Generationswechsel“ verstärkte Nutzung digitaler Kommunikationsmittel <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.3	Argumente für zukünftige Zunahme der Verbrauchsmenge holzfreier grafischer Papiere <u>Argumente:</u> - Datensicherheit nimmt an Bedeutung zu - Steigende Nutzung ausgedruckter Informationen, insbesondere angetrieben durch demografischen Wandel <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.4	Argumente für zukünftige Beibehaltung der Verbrauchsmenge holzfreier grafischer Papiere <u>Argumente:</u> - Hochwertige Prospekte werden weiterhin zur Werbung genutzt (z.B. für Versicherungen, hochwertige Produkte) <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
3	Prognose für die Zukunft – Zusammenfassende Aussage zur Trendentwicklung in den nächsten 10 – 15 Jahren auf Basis von Punkt 2 (Expertenabschätzung)
	Verbrauchsmenge von holzfreien grafischen Papieren wird abnehmen

Tabelle 26: Analyse zur zukünftigen Entwicklung der Produktionsmenge von holzfreien grafischen Papieren

Nr. 13b	Produktionsmenge holzfreier grafischer Papiere (gestrichen/ungestrichen)
1 Trendanalyse der Vergangenheit	
1.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Vergangenheit
	- Konsumverhalten hat sich verändert – zunehmende Nutzung digitaler Kommunikationsmittel und Medien
	<u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
1.2	Trend des Parameters in der Vergangenheit
	 Abbildung 28: Produktionsmenge von holzfreien grafischen Papieren im CEPI-Raum von 1991 bis 2012 [12]
	<u>Quellen:</u> - [12]
2 Ausblick in die Zukunft – Analyse einzelner Einflussfaktoren	
2.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Zukunft
	<u>Argumente:</u> - Kosten und Akzeptanz von digitalen Kommunikationsmittel und Medien - Mögliche Substitution holzfreier grafischer Papieren durch andere Papierqualitäten - Kosten der Herstellung holzfreier grafischer Papiere und erzielbare Produktqualität - Verfügbarkeit Primärfaserstoffe (Kosten)
	<u>Quellen:</u>

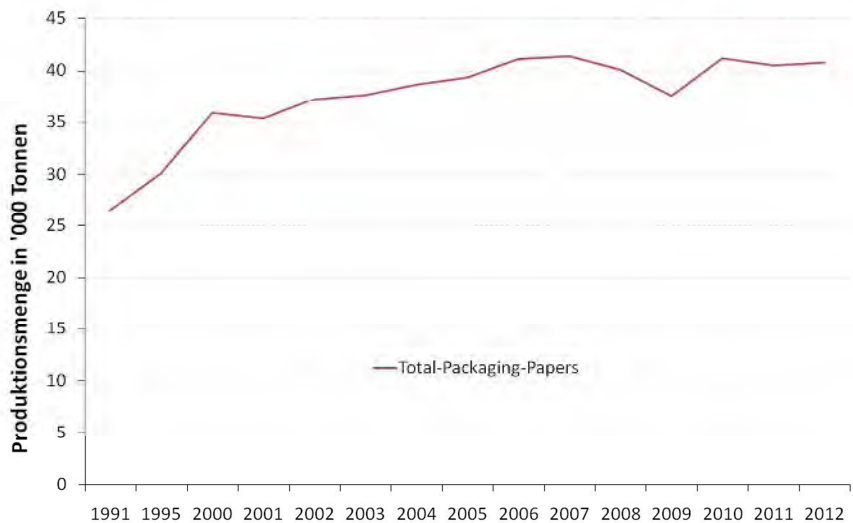
	- Expertenabschätzung
2.2	Argumente für zukünftige Abnahme der Produktionsmenge holzfreier grafischer Papiere
	<u>Argumente:</u>
	- Verbrauchsmenge von holzfreien grafischen Papieren geht zurück
	<u>Quellen:</u>
	- Expertenabschätzung
2.3	Argumente für zukünftige Zunahme der Produktionsmenge holzfreier grafischer Papiere
	<u>Argumente:</u>
	- keine
	<u>Quellen:</u>
	- Expertenabschätzung
2.4	Argumente für zukünftige Beibehaltung der Produktionsmenge von holzfreien grafischen Papieren
	<u>Argumente:</u>
	- hoher technologischer Stand und somit hohe Produktivität und Effizienz der Produktionsanlagen in Deutschland
	<u>Quellen:</u>
	- Expertenabschätzung
3	Prognose für die Zukunft – Zusammenfassende Aussage zur Trendentwicklung in den nächsten 10 – 15 Jahren auf Basis von Punkt 2 (Expertenabschätzung)
	Produktionsmenge von holzfreien grafischen Papieren wird abnehmen

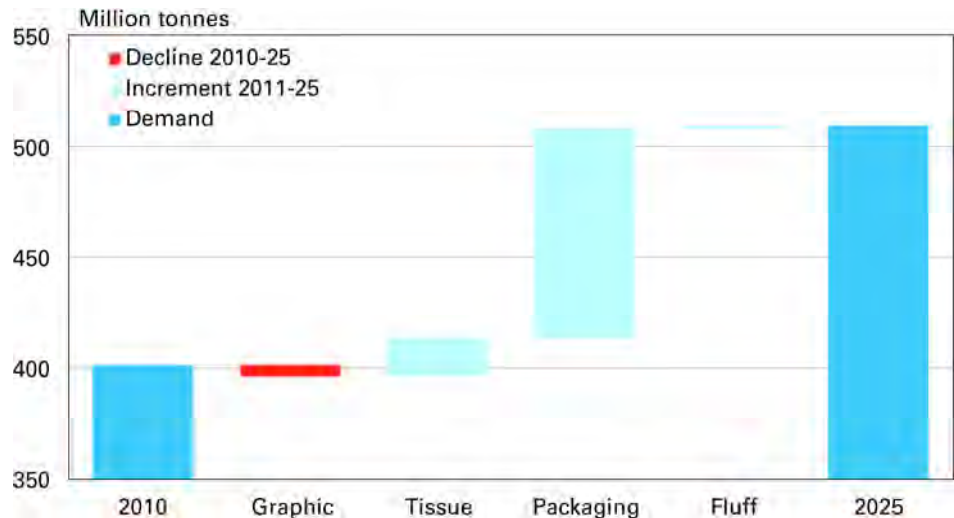
Tabelle 27: Analyse zur zukünftigen Entwicklung der Verbrauchsmenge von Verpackungspapier und Kartonen

Nr. 30x	Verbrauchsmenge von Verpackungspapier und Karton
1 Trendanalyse der Vergangenheit	
1.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Vergangenheit
	- Konsumverhalten hat sich verändert – zunehmende Nutzung des Internethandels - zunehmender internationaler Handel
	<u>Quellen:</u>
	- Expertenabschätzung
1.2	Trend des Parameters in der Vergangenheit
	<u>Auswertung:</u>
	 Abbildung 29: Entwicklung der Produktionsmenge holzfreien grafischen Papieren im CEPI-Raum von 1991 bis 2012 [12]
	<u>Quellen:</u>
	- [12]
2 Ausblick in die Zukunft – Analyse einzelner Einflussfaktoren	
2.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Zukunft
	- Kosten digitaler Geräte - „Generationswechsel“ - demografischer Wandel - Konsumfreudigkeit - Substitutionsmöglichkeiten von kunststoffbasierenden Packmitteln durch papier-basierende Packmittel

	<u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.2	Argumente für zukünftige Abnahme der Verbrauchsmenge von Verpackungspapieren und -kartonen <u>Argumente:</u> - Geringerer Konsum - Regionaler Einkauf - Einsatz von Packstoffen auf Basis anderer Materialien (Nicht-Papier) <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.3	Argumente für zukünftige Zunahme der Verbrauchsmenge von Verpackungspapieren und -kartonen <u>Argumente:</u> - Es werden immer mehr Produkte über Internet bestellt die verpackt werden - Substitution kunststoffbasierter Packmittel durch papierbasierte Packmittel (Nachhaltigkeit) <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung - [6]
2.4	Argumente für zukünftige Beibehaltung der Verbrauchsmenge von Verpackungspapieren und -kartonen <u>Argumente:</u> - keine
3	Prognose für die Zukunft – Zusammenfassende Aussage zur Trendentwicklung in den nächsten 10 – 15 Jahren auf Basis von Punkt 2 (Expertenabschätzung)
	Verbrauchsmenge von Verpackungspapieren und -kartonen wird zunehmen

Tabelle 28: Analyse zur zukünftigen Entwicklung der Produktionsmenge von Verpackungspapier und Kartonen

Nr. 13x	Produktionsmenge von Verpackungspapier und Karton
1	Trendanalyse der Vergangenheit
1.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Vergangenheit - Konsumverhalten hat sich verändert – zunehmende Nutzung des Internethandels - zunehmender internationaler Handel <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
1.2	Trend des Parameters in der Vergangenheit  Abbildung 30: Entwicklung der Produktionsmenge von Verpackungspapieren und -kartonen im CEPI-Raum von 1991 bis 2012 [12] <u>Quellen:</u> - [12]
2	Ausblick in die Zukunft – Analyse einzelner Einflussfaktoren
2.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf den Parameter in der Zukunft - Konsum und Handel - Stellenwert von Nachhaltigkeit - Mögliche Substitution von Packmitteln aus Kunststoff durch Packmittel aus Karton - Kosten der Herstellung von Verpackungspapieren und erzielbare Produktqualität - Rohstoffverfügbarkeit, Energiekosten <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung

2.2	Argumente für zukünftige Abnahme der Produktionsmenge von Verpackungspapieren und -kartonen <u>Argumente:</u> - steigende Kosten für Rohstoffe und Energie <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.3	Argumente für zukünftige Zunahme der Produktionsmenge von Verpackungspapieren und -kartonen <u>Argumente:</u> - Verbrauchsmenge von Verpackungspapieren und -kartonen nimmt zu - hoher technologischer Stand und somit hohe Produktivität und Effizienz der Produktionsanlagen in Deutschland <u>Quellen:</u> - Expertenabschätzung
2.4	Argumente für zukünftige Beibehaltung der Produktionsmenge von Verpackungspapieren und -kartonen <u>Argumente:</u> - keine
3 Prognose für die Zukunft – Zusammenfassende Aussage zur Trendentwicklung in den nächsten 10 – 15 Jahren auf Basis von Punkt 2	
	Produktionsmenge von Verpackungspapieren und Karton wird zunehmen  Abbildung 31: Prognose zur globalen Mengenentwicklung einzelner Produktsegmente der Papierindustrie bis 2025 [23]

Quellen:

- Expertenabschätzung
- [23]

5.3 Annahmen für die Bilanzierung

Tabelle 29: Sortenspezifische Kennwerte der grafischen Papierproduktion in Deutschland im Jahr 2012 [14]

Papiersorten	Altpapiereinsatz- quote in % (gerundet)	Produktions- menge in Mio. t	AP-Verbrauch in Mio. t mit gerundeten Daten be- rechnet
Zeitungsdruckpapier	108,7 (109)	1,718	1,873
LWC-Papier	57,9 (60)	1,835	1,101
SC-Papier	57,9 (60)	1,955	1,173
Recyclingpapier	108,9 (115)	0,236	0,271
Holzfreie Papiere	0,8 (1)	3,268	0,033
Rest	0,5 (0)	0,168	0,000

Tabelle 30: Sortenspezifische Kennwerte der Papierproduktion in Deutschland im Jahr 2012 [13]

Papiersorten	Altpapiereinsatz- quote in % (gerundet)	Produktions- menge in Mio. t	AP-Verbrauch in Mio. t mit gerundeten Daten be- rechnet
Zeitungsdruck- und Recyclingpapier	109	1,954	2,130
Magazindruckpapier	60	3,79	2,274
Holzfreie Druck- und Schreibpapiere	1,5	3,436	0,052
Verpackungspapiere und Karton (VDP)	101	10,510	10,615

Tabelle 31: Angenommene und resultierende Stoff- und Mengenströme des Bilanzierungsmodells für das Jahr 2018 (farbig hinterlegt: resultierende Stoff-/Mengenströme)

Produktgruppen Stoffströme 2018 (in Mio.t/a)	Holzfrie gra- fische Papiere (GP 1)	Zeitungs- druckpapier (GP 2)	Magazinpa- piere - SC und LWC (GP 3)	Verpackungs- papiere und Karton (VP)
Produktion	3,44	1,954	3,79	10,51
Einsatz Primärfaserstoff	2,81	0	1,3	0,3
Einsatz Füllstoffe /Pigmente	0,6	0,2	0,8	0,4
Rejekte	0	0,37	0,5	0,9
Verluste Altpapier	-0,02	-0,26	1,57	3,35
Altpapier von GP 1	0,03	0,68	0,7	2,05
Altpapier von GP 2	0	0,734	0,77	0,71
Altpapier von GP 3	0	0,62	0,63	0,97
Altpapier von VP	0	0,09	0,09	6,98
Altpapier nach GP 1	0,03	0	0	0
Altpapier nach GP 2	0,68	0,734	0,62	0,09
Altpapier nach GP 3	0,7	0,77	0,63	0,09
Altpapier nach VP	2,05	0,71	0,97	6,98

Tabelle 32: Angenommene und resultierende Stoff- und Mengenströme des Bilanzierungsmodells für das Jahr 2025 (farbig hinterlegt: resultierende Stoff-/Mengenströme)

Produktgruppen Stoffströme 2025 (in Mio.t/a)	Holzfrie gra- fische Papiere (GP 1)	Zeitungs- druckpapier (GP 2)	Magazinpa- piere - SC und LWC (GP 3)	Verpackungs- papiere und Karton (VP)
Produktion	3,015	1,53	3,326	15,434
Einsatz Primärfaserstoff	2,466	0	1,141	0,441
Einsatz Füllstoffe /Pigmente	0,527	0,156	0,877	0,587
Rejekte	0	0,289	0,439	1,322
Verluste Altpapier	-0,018	-0,018	1,533	2,647
Altpapier von GP 1	0,023	0,597	0,614	1,799
Altpapier von GP 2	0	0,39	0,602	0,555
Altpapier von GP 3	0	0,544	0,398	0,851
Altpapier von VP	0	0,132	0,132	12,523
Altpapier nach GP 1	0,023	0	0	0
Altpapier nach GP 2	0,597	0,39	0,544	0,132
Altpapier nach GP 3	0,614	0,602	0,398	0,132
Altpapier nach VP	1,799	0,555	0,851	12,523

6 Literatur

- 1 G. Ossimitz
Systemisches Denken braucht systemische Darstellungsformen. Vortrag auf der GWS-Jahrestagung, Industrieseminar der Universität Mannheim, 30.09.2000
- 2 M. Hunold
Experimentelle und theoretische Untersuchungen über quantitative und qualitative Auswirkungen steigender Altpapier-Einsatzquoten auf das Recyclingsystem Papier-Altpapier. Dissertation, Institut für Papierfabrikation, TH Darmstadt, 1997
- 3 J. Kappen, Ch. Dornack, G. Meinl, G. Müller; H.-J. Putz, H. Kröling
Produkt-Designentwicklung eines Verpackungspapiers unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter Nachhaltigkeitskriterien. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben INFOR 162 R, VDP 2014
- 4 S. Schabel, J. Bösner, W. Dietz, J. Kappen, G. Meinl, D. Römer
Ressourcenoptimiertes Produktdesign. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben INFOR-143 R, VDP 2012
- 5 http://www.z-punkt.de/fileadmin/be_user/D_Publikationen/D_Giveaways/Megatrends_Update_DE.pdf
- 6 N.N.
Der Verpackungsmarkt für Papierverbunde in Deutschland -Trends und Potentiale bis 2016. GVM-Studie; GVM Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung; Oktober 2012
- 7 B. Duill
Der Markt für Altpapier in Mitteleuropa. Vortrag auf dem PTS-Seminar „Chancen in der Wertschöpfungskette Altpapier“ am 18.Juni 2012 in Dresden
- 8 N.N.
Infobrief Altpapier 03/2014. Recovered Paper Media UG; März 2014
- 9 www.cepi.org/
- 10 I. Demel, J. Kappen, A. Kersten, H.-J. Putz
Bewertung von Maßnahmen zur Problemlösung von Mineralöl in Verpackungspapieren und Karton. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben INFOR 155, VDP, 2012
- 11 <http://wellpappen-industrie.de/presse/wellpappe-report/2013-04-09-die-verpackung-macht-die-marke-118.htm>
- 12 N.N.
Historic Statistic 1991 - 2012. European Pulp and Paper Industry. CEPI, Brussels, 2013
- 13 N.N.
Papier 2008 - Ein Leistungsbericht. VDP, Bonn, 2008
- 14 N.N.
Papier 2013 - Ein Leistungsbericht. VDP, Bonn, 2013
- 15 S. Weinert, H.-J. Putz
Qualitätseigenschaften der wichtigsten Sorten in Abhängigkeit von den Sortierbedingungen. AiF-Abschlussbericht 15408 N, Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik, TU Darmstadt, 2010

- 16 K. Kneer
FIBER. GAA Environmental Workshop Washington, D.C. 2012, New York, NY, Pöyry Consulting, 2012
- 17 ARD/ZDF-Onlinestudie 2013 (<http://www.ard-zdf-onlinestudie.de/>)
- 18 <http://www.bdzv.de/markttrends-und-daten/wirtschaftliche-lage/schaubilder/>
- 19 <http://www.media-perspektiven.de/6616.html>
- 20 Studie „Zeitungsqualitäten“ (<http://sz-media.sueddeutsche.de/en/home/files/zeitungsqualitaeten-2011.pdf>; S.23, 28)
- 21 <http://futureexploration.net/>
- 22 Faostat.fao.org
- 23 Suhonen
World Fiber Outlook - Fibre market in transition. (Pöyry Managment Consulting), posted by Redazione on 18 March 2013 in Raw material. Abgerufen Mai 2013 auf <http://www.paperindustryworld.com/fibre-market-in-transition/>