



Nachhaltiger Papierkreislauf – eine Faktenbasis

Dr. Wolfram Dietz (bifa Umweltinstitut GmbH)
Dr. Gert Meinel (Papiertechnische Stiftung)
René Peche (bifa Umweltinstitut GmbH)
Dr. Siegfried Kreibe (bifa Umweltinstitut GmbH)

Gefördert durch das Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und
Papierindustrie im Verband Deutscher Papierfabriken e.V.

Erstellt in Zusammenarbeit mit der Papiertechnischen Stiftung, Heidenau

Impressum

Alle Rechte (insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung) sind vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Kein Teil der bifa-Texte darf in irgendeiner Form ohne Genehmigung der Herausgeber reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Herausgeber
bifa Umweltinstitut GmbH
Am Mittleren Moos 46
86167 Augsburg

Verfasser

Dr. Wolfram Dietz (bifa Umweltinstitut GmbH)
Dr. Gert Meinel (Papiertechnische Stiftung)
René Peche (bifa Umweltinstitut GmbH)
Dr. Siegfried Kreibe (bifa Umweltinstitut GmbH)

Gefördert durch das Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und Papierindustrie im Verband Deutscher Papierfabriken e.V.

Erstellt in Zusammenarbeit mit der Papiertechnischen Stiftung, Heidenau

Druck
Klicks GmbH

1. Auflage 2020

© bifa Umweltinstitut GmbH

Nachhaltiger Papierkreislauf – eine Faktenbasis

Dr. Wolfram Dietz (bifa Umweltinstitut GmbH)

Dr. Gert Meinel (Papiertechnische Stiftung)

René Peche (bifa Umweltinstitut GmbH)

Dr. Siegfried Kreibe (bifa Umweltinstitut GmbH)

Gefördert durch das Kuratorium für Forschung und Technik der Zellstoff- und
Papierindustrie im Verband Deutscher Papierfabriken e.V.

Erstellt in Zusammenarbeit mit der Papiertechnischen Stiftung, Heidenau

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Zusammenfassung.....	1
2.	Ausgangssituation und Zielsetzung	3
3.	Fokus und Vorgehen.....	3
3.1	Fokus	3
3.2	Datenquellen	3
3.3	Begriffe.....	4
4.	Prozesse der Papierherstellung und des Recyclings	5
4.1	Rohstoffe und Faserstoffherzeugung	5
4.2	Papierherzeugung.....	6
4.3	Papierverarbeitung	7
4.4	Nutzung der Papierprodukte.....	7
4.5	Schließung des Papier-Alt Papier-Kreislaufes	7
5.	Produktions- und Einsatzzahlen.....	10
5.1	Wirtschaftsstrukturen	10
5.2	Produktion und Einsatz	10
5.3	Hauptsorten in Deutschland	12
5.4	Vergleich des Papiereinsatzes mit anderen Ländern.....	13
6.	Umwelteinflüsse und Energieverbrauch der Papierherzeugung und Papierherzeugung	15
6.1	Ökobilanzierung als Methodik zur umfassenden Bewertung von Umwelteinflüssen.....	15
6.2	Energieverbrauch der deutschen Papierindustrie	18
6.3	Energiebedingte Treibhausgas-Emissionen	19
6.4	Energie- und CO ₂ -Kennzahlen im internationalen Vergleich	21
6.5	Hintergründe des Energiebedarfs und Potenzial zur Optimierung	21
6.6	Wassereinsatz und abwasserbezogene Emissionen.....	22
7.	Nachhaltigkeit des Rohstoffs Holz	24
7.1	Herkunft von Holz und Primärfaserstoff für die Papierherstellung in Deutschland.....	24

7.2	Produktion von Primärfaserstoff	25
7.3	Holzanbau und -entnahme	27
7.4	Exkurs: Alternative Rohstoffe.....	34
8.	Nachhaltigkeit des Rohstoffs Altpapier	36
8.1	Rohstoffherkunft Altpapier.....	36
8.2	Recyclingquoten im Vergleich	38
8.3	Chancen und Grenzen des Recyclings	42
8.4	Stellenwert von Frischfasern und Recyclingfasern.....	44
	Glossar	46
	Quellenverzeichnis	52

1. Zusammenfassung

Mit Holz als primärem Rohstoff nutzt die Papierindustrie nachwachsende Biomasse, Papier ist zudem sehr gut recyclingfähig und wird in Deutschland in hohem Maße rezykliert. Diese Aspekte bieten einer nachhaltigen Papierwirtschaft einen guten Ausgangspunkt.

Der vorliegende Bericht stellt eine aktuelle Datenbasis zur Nachhaltigkeit von Papier zusammen. Im Blick stehen die Papierherstellung in Deutschland und das in Deutschland eingesetzte Papier. Nach einer Einführung in den Papier-Altpapier-Kreislauf und die Produktionsdaten der Papierindustrie fokussiert der Bericht auf die Themenfelder Ökobilanzierung, Energieverbrauch, Holzherkunft und Recycling.

Zur deutschen Papier- und Zellstoffindustrie zählen 91 Unternehmen mit 153 Produktionsstätten. Mit einem Produktionsvolumen von 22,1 Mio. t im Jahr 2019 steht die deutsche Papierindustrie an erster Stelle in Europa und an vierter Stelle weltweit, hinter China, den USA und Japan. Einem jährlichen Export von 13,7 Mio. t Papier steht ein Import von 10,5 Mio. t gegenüber. Nach den Verwendungszwecken lassen sich die vier Hauptsorten grafische Papiere, Papiere für Verpackungszwecke, Hygienepapiere und Spezialpapiere unterscheiden. Verpackungspapiere machen über die Hälfte der Papierproduktion aus; der Anteil stieg in den letzten Jahren an. Auch Hygienepapiere mit ca. 7% Anteil an der Gesamtproduktion weisen einen Mengenzuwachs auf. Spezialpapiere liegen bei 6% der Gesamtproduktion, ohne wesentlichen Trend über die Jahre. Demgegenüber geht die Produktionsmenge grafischer Papiere zurück.

Der rechnerische Papiereinsatz in Deutschland, also die Menge des genutzten Papiers, beträgt 18,9 Mio. t für das Jahr 2019. Der daraus berechnete jährliche Pro-Kopf-Einsatz von aktuell 227 kg ist höher als internationale Vergleichswerte. Allerdings berücksichtigt die Berechnung des Papiereinsatzes nicht die Außenhandelsströme an Papierprodukten. Wird der Papiereinsatz ins Verhältnis zum Bruttoinlandsprodukt gesetzt, liegt Deutschland nahe dem Welt-Mittelwert. Dies legt nahe, dass der Papiereinsatz eng mit der Wirtschaftsleistung zusammenhängt.

Um Umwelteinflüsse offenzulegen, ist die Ökobilanzierung die Methode der Wahl. Bei ihr werden neben den Produktionsprozessen auch die vor- und nachgelagerten Stufen betrachtet. Für Papierprodukte liegen nur wenige Ökobilanzen vor, die verschiedene Umweltwirkungen analysieren. Einige Studien betrachten allein die Umweltwirkung Klimawandel (Treibhauseffekt). Darin publizierte Werte liegen im Bereich von 531 bis 1.280 CO₂-Äquivalente pro Tonne Papierprodukt, wobei höhere Werte eher aus älteren Studien stammen und heute nach unten korrigiert werden müssen. Maßgeblich trägt der Energieverbrauch in den Papierfabriken zu den CO₂-Emissionen bei. Bei Produkten aus Zellstoff tritt zudem der Anteil der Rohstoffe hervor. Ökobilanzen enthalten Festlegungen je nach Aufgabenstellung sowie Vereinfachungen – die Ergebnisse verschiedener Studien sind daher häufig nicht direkt vergleichbar.

Mit einem jährlichen Endenergieeinsatz von 58,4 TWh, davon 16,2 TWh Strom, gehört die deutsche Papierindustrie zu den energieintensiven Branchen. Der Endenergieverbrauch pro Tonne Papier konnte über die Jahre gesenkt werden, seit 1980 um 43%. Eine wesentliche Hürde für eine deutliche weitere Senkung ist der Verfahrensschritt der Papiertrocknung.

Die energiebedingten Treibhausgas-Emissionen der deutschen Papierindustrie sind vorrangig den in eigenen Kraftwerken eingesetzten fossilen Energieträgern sowie dem bezogenen Fremdstrom zuzuordnen.

Für die Papierherstellung von 22,1 Mio. t werden in Deutschland 5,2 Mio. t Primärfaserstoff eingesetzt, vorrangig Zellstoff. In Deutschland hergestellt werden 2,3 Mio. t Primärfaserstoff. An der Nutzung einheimischer Holzrohstoffe beträgt der Anteil der Zellstoff- und Papierindustrie 7,7%. In Deutschland

ist die Waldfläche seit Jahren weitgehend konstant. Zur Herstellung von Primärfaserstoffen wird in Deutschland überwiegend Durchforstungsholz und Schwachholz verwendet; erntereife Bäume werden in der Sägeindustrie eingesetzt. Nebenprodukte der Sägeindustrie bilden eine weitere Rohstoffquelle für Primärfaserstoffe, mit einem Anteil in Deutschland von 38%.

Die weltweite Rohholzgewinnung beträgt rund 4 Mrd. fm. Davon werden 49% als Brennstoff und 51% industriell genutzt. Der Anteil der weltweiten Rohholzgewinnung, der in die Zellstoff- und Papierindustrie geht, liegt im Bereich von 14–19%.

Die nach Deutschland importierten Primärfaserstoffe kommen vorrangig aus Brasilien, Finnland, Schweden, Portugal, Uruguay, Spanien und Chile. Mit Ausnahmen von Brasilien und Portugal hat der Waldbestand in diesen Ländern durch eine Ausweitung von Wirtschaftswald zugenommen. Der vielfach zu beobachtende Rückgang an Primär- und naturnahem Wald ist kritisch zu sehen. Dass der deutsche Verbrauch an Zellstoff und Papier wesentlich zur fortschreitenden Waldzerstörung beitrage, konnte nicht belegt werden. Auch wenn ein Teil der Wälder genutzt wird, um unter anderem Holz für die Papierherstellung bereitzustellen, oder in einigen Regionen Südamerikas Naturwälder Holzplantagen zur Deckung des Bedarfs der Zellstoffindustrie weichen sollen, weisen die vorliegenden Quellen und Hinweise insgesamt darauf hin, dass die weltweite Rodung oder Umwandlung von Primär- und naturnahem Wald überwiegend anderen Zwecken als der Papierherstellung dient.

Mit der Zertifizierung von Waldflächen und mit dem Erwerb von FSC- oder PEFC-zertifiziertem Holz, Faserstoff oder Papier wird von vielen Unternehmen eine nachhaltige Waldwirtschaft unterstützt. Ein wichtiges Produktsiegel ist zudem der Blaue Engel, der u.a. für Recyclingpapier die Einhaltung umfassender ökologischer Anforderungen garantiert.

Das Altpapieraufkommen durch die Sammlung in Deutschland beträgt 14,8 Mio. t. Der Altpapiereinsatz beträgt 17,2 Mio. t und ist damit ca. 3,3-mal so groß wie der Primärfasereinsatz. Kennwerte dafür, wie entwickelt der Papier-Altpapier-Kreislauf ist, sind die Altpapierrücklaufquote (Recyclingquote) und die Altpapiereinsatzquote. Letztere beschreibt das Verhältnis von Altpapiereinsatz der Papierherstellung zu erzeugter Papiermenge. Beide Werte sind für Deutschland über die Jahre beständig angestiegen, aktuell betragen beide ca. 78%. Zum Vergleich: Die Altpapiereinsatzquote in den 18 europäischen Mitgliedsländern des Papierindustrie-Dachverbands CEPI liegt bei 72%, die Rücklaufquote bei 53%.

Das Recycling von Altpapier trägt wesentlich zu einem nachhaltigen Wirtschaften bei, der Rohstoff Holz wird effizient genutzt. Die Grenzen des Recyclings liegen dabei nicht in einem fortschreitenden Qualitätsverlust des Fasermaterials. Neuere Studien lassen den Schluss zu, dass Altpapierfasern erheblich häufiger als nur sieben Mal wiederverwendet werden können, wie dies häufig angenommen wurde. Dass die derzeitige obere Grenze der Altpapierrücklaufquote bei geschätzt 85% liegt, ist vor allem bedingt durch Wiederaufbereitungsprozesse, die verbunden mit der Abtrennung von zur Produktion ungeeigneten Bestandteilen auch zu Verlusten an Fasern führen, die Grenzen der Rezyklierbarkeit bestimmter Papierprodukte, z.B. Hygienepapiere, Tapeten oder Verbundverpackungen, und Papierverluste im Zuge der Erfassung und Sammlung.

2. Ausgangssituation und Zielsetzung

Den weltweiten Herausforderungen eines verantwortungsvollen Umgangs mit den natürlichen Ressourcen stellt sich auch die deutsche Papierindustrie. Mit Holz als primärem Rohstoff nutzt die Papierindustrie nachwachsende Biomasse. Bei nachhaltiger Anbauweise verursacht dieser Rohstoff bilanziell keine Treibhausgas-Emissionen und beeinträchtigt nicht den Wald. Papier ist zudem sehr gut recyclingfähig und wird in Deutschland mit hohen Quoten recycelt. Diese Aspekte bieten der Papierwirtschaft einen guten Ausgangspunkt, um verantwortlich und nachhaltig zu agieren.

Der vorliegende Bericht stellt eine aktuelle Datenbasis zur Betrachtung der Nachhaltigkeit von Papier zusammen. Aus den Daten heraus treten Nachhaltigkeitsaspekte in den Vordergrund, die vorrangig zu berücksichtigen sind. Nach einer Einführung in den Papier-Alt Papier-Kreislauf und die Produktionsdaten der Papierindustrie fokussiert der Bericht auf die Themenfelder Ökobilanzierung, Energieverbrauch, Holzherkunft und Recycling. Die Daten und Auswertungen geben hierzu umfassend Orientierung.

3. Fokus und Vorgehen

3.1 Fokus

Nachhaltigkeit zielt darauf ab, die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generationen zu befriedigen, ohne die Möglichkeiten der künftigen Generationen zu beschränken, deren Bedürfnisse zu befriedigen (UN 1987). Zur Konkretisierung einer weltweiten nachhaltigen Entwicklung erklärten die Vereinten Nationen 17 Ziele für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, UN 2016). Für den vorliegenden Bericht wurden aus diesen UN-Zielen sowie aus der öffentlichen Diskussion um Papier Aspekte zusammengestellt, die für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Papierrohstoffen, Papierherstellung und Papiernutzung relevant sind. Fokussiert wird auf die ökologischen Aspekte. Aufbauend auf der Zusammenstellung ist dieser Bericht strukturiert.

Im Blick steht zum einen die Papierherstellung in Deutschland, also die Wertschöpfungskette Papier inklusive deren Recyclingkreisläufe, zum anderen das in Deutschland eingesetzte Papier, also die Produktgruppe der Papierprodukte. Dabei werden Lebenszyklen und internationale Zusammenhänge beachtet.

Der Bericht richtet sich an Akteure der Nachhaltigkeitsdiskussion und weitere Interessierte, die sich auf informierter Grundlage für die Nachhaltigkeit von Papier interessieren.

3.2 Datenquellen

Die Daten und Auswertungen stützen sich auf Publikationen und Daten von öffentlichen Stellen oder solche, die aufgrund der eingesetzten Methodik als belastbar eingestuft werden können. Annahmen sind dokumentiert. Aktuell verfügbare Daten werden jeweils herangezogen. Die Bezugsjahre unterscheiden sich daher teils.

Angaben für Europa beziehen sich zumeist auf die Mitgliedsstaaten des europäischen Dachverbands der Papierindustrie CEPI (Confederation of European Paper Industries). Der CEPI-Raum umfasst die Länder Österreich, Belgien, Tschechische Republik, Finnland, Frankreich, Deutschland, Ungarn, Italien, Niederlande, Norwegen, Polen, Portugal, Rumänien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Schweden und Vereinigtes Königreich (CEPI 2020).

3.3 Begriffe

Mit dem Begriff Papier, soweit im Text nicht anderweitig ausgewiesen, werden in diesem Dokument Papier, Karton und Pappe zusammenfassend angesprochen. Für statistische Aussagen werden zum Teil Papier- und Zellstoff-erzeugende Betriebe zusammengefasst.

Im Glossar sind Begriffe im Umfeld des Themenkreises erläutert.

4. Prozesse der Papierherstellung und des Recyclings

Papier ist ein flächiger, im Wesentlichen aus pflanzlichen Rohstoffen bestehender Werkstoff, der durch Entwässerung einer Faserstoffsuspension auf einem Sieb gebildet wird. Dem entstehenden Faservlies wird durch mechanische Wasserabtrennung und durch Verdunstung das Wasser entzogen. Der Prozess von den Rohstoffen bis zu Papierprodukten lässt sich in die drei Phasen Faserstofferzeugung (Zell-, Holz- oder Altpapierstoff), Papiererzeugung und Papierverarbeitung gliedern. Der Nutzung der Papierprodukte schließt sich in vielen Fällen ein Recycling an.

4.1 Rohstoffe und Faserstofferzeugung

Wesentliche Rohstoffe der Papierherstellung sind die Primärfaserstoffe Holz- und Zellstoff, der Sekundärfaserstoff Altpapier sowie Mineralien und Additive.

Die Primärfaserstoffe werden aus Holz durch chemische und mechanische Aufschlussverfahren gewonnen. Im Zuge der Vereinzelung der Holzfasern wird das im Holzmaterial enthaltene Lignin entweder entfernt (Zellstoffe) oder es bleibt erhalten (Holzstoffe). Holzstoffe haben überwiegend schlechtere Festigkeitseigenschaften als Zellstoffe.

Altpapierstoff wird aus Altpapier in der Regel am Standort der Papiermaschine erzeugt. Die Herstellung umfasst teilweise eine Druckfarbenentfernung (Deinking, s. Abschnitt 4.5.3)

4.1.1 Holzstoffherstellung

Holzstoffe werden durch mechanische Zerfaserung von Holz gewonnen. Der mechanische Aufschluss kann durch eine thermische oder chemische Behandlung ergänzt sein. Beim Schliif-Verfahren werden Schleifsteine eingesetzt, vorrangig kommt Rundholz oder Prügelholz zum Einsatz. Beim Refiner-Verfahren werden Hackschnitzel zwischen den Stahlleisten eines Mahlaggregats, genannt Refiner, zerfasert.

Die Holzstofferzeugung erfolgt in der Regel am Standort der Papiererzeugung. Die Mahlverfahren verursachen einen hohen Anteil dieses Prozessschrittes am Energieeinsatz der Papierfabrik.

Enthalten Papiere mehr als 5% Holzstoff, werden sie als holzhaltig bezeichnet. Ein treffenderer Begriff wäre holzstoffhaltig. Durch den Anteil an Lignin neigen diese Papiere zum Vergilben.

4.1.2 Zellstoffherstellung

Zur Herstellung von Zellstoff werden der Ligninanteil und weitere Cellulosebegleitstoffe des Holzes in einem mehrstufigen chemischen Prozess weitgehend entfernt. Zellstoff besteht damit fast vollständig aus Cellulose. Zum Teil werden Zellstoffe chemisch gebleicht. Aus verschiedenen Holzarten und verschiedenen Aufschluss- und Bleichverfahren resultieren Zellstoffe mit unterschiedlichen Charakteristika.

Der Sulfatprozess ist das vorherrschende Verfahren. Rund 80% des weltweiten Zellstoffs ist Sulfatzellstoff, auch Kraftzellstoff genannt. Die Bedeutung des Sulfitverfahrens ist demgegenüber zurückgegangen. Ca. 10% der Weltproduktion ist Sulfitzellstoff (BREF PP 2015). Die namensgebenden Aufbereitungschemikalien sind zum einen Natriumsulfat, zum anderen Calcium- oder Magnesiumbisulfid. In geringem Ausmaß kommen andere Aufschlussprozesse vor allem für einjährige Nutzpflanzen wie Bambus, Stroh und Bagasse zum Tragen.

Insbesondere für grafische Papiere wird Zellstoff gebleicht, um die Fasern aufzuhellen. Als Bleichmittel werden u.a. Chlorverbindungen, Ozon und Wasserstoffperoxid eingesetzt. Die Bleiche mit elementarem Chlor spielt heute keine Rolle mehr. Ohne elementares Chlor, jedoch mit Chlorverbindungen gebleicht-

ter Zellstoff wird mit der Abkürzung ECF (elementary chlorine free) gekennzeichnet. Ohne Chlor und Chlorverbindungen gebleichter Zellstoff wird als TCF (totally chlorine free) gekennzeichnet.

Zellstoff wird überwiegend in separaten Zellstofffabriken erzeugt und in getrockneter Form an die Papierfabriken geliefert. Zu einem kleineren Teil erfolgt die Herstellung in integrierten Zellstoff- und Papierwerken.

4.2 Papiererzeugung

4.2.1 Stoffaufbereitung und Stoffzentrale

In der Stoffaufbereitung der Papierfabrik wird der Faserstoff, soweit nicht bereits in Suspension vorliegend, mit Kreislaufwasser in Suspension gebracht und zerfasert (Papiermachersprache: „aufgelöst“). Die Aufbereitung bis zur Papiermaschine umfasst je nach Anforderungen die Arbeitsgänge Vergleichmäßigen, Reinigen und Mahlen. In der Stoffzentrale werden die Rohstoffe nach Rezeptur gemischt. Hier werden auch Mineralien und chemische Additive zugegeben, die die Papierqualität und die Prozessgängigkeit beeinflussen.

4.2.2 Papiermaschine

Auf der Papiermaschine wird das Rohpapier erzeugt. Verschiedene Bauarten von Papiermaschinen weisen im Prinzip die gleichen Hauptelemente auf: Stoffauflauf und Siebpartie, Pressenpartie, Trockenpartie und Aufrollung (Abbildung 1).

Der Stoffauflauf der Papiermaschine hat die Aufgabe, die Faserstoff-Wasser-Suspension gleichmäßig auf die gesamte Breite der Papiermaschine zu verteilen. Der Fertigstoff wird vorab mit Kreislaufwasser stark verdünnt. Auf dem kontinuierlich fortbewegten Sieb lagern sich die Fasern dann ab. Das endlose Blatt wird durch einen Filtrationsvorgang gebildet. Das Wasser läuft durch das Sieb hindurch oder wird abgesaugt. Am Ende der Siebpartie wird die Papierbahn vom Sieb abgenommen. Sie enthält hier noch ca. 80% Wasser.

In der Pressenpartie wird die Papierbahn durch mechanischen Druck weiter entwässert. Aus energetischer Sicht kommt der mechanischen Entwässerung große Bedeutung zu, da ein höherer Trockengehalt nach der Pressenpartie thermische Energie in der Trockenpartie einspart. Die mechanische Entwässerung ist energetisch und kostenmäßig vorteilhaft, jedoch physikalisch und durch die angestrebte Papierqualität in der Anwendung limitiert.

Die Trockenpartie ist in der Regel das längste Bauteil einer Papiermaschine. Slalomartig läuft die Papierbahn um Dutzende dampfbeheizte Trockenzylinder. Das Restwasser wird verdampft. Der entstandene Wasserdampf wird aus der geschlossenen Trockenhaube abgesaugt und in eine Wärmerückgewinnungsanlage geführt. Die fertige Papierbahn mit einer Restfeuchte von typischerweise 5–8% wird auf einem Tambour aufgewickelt.

Moderne Anlagen können Papier in Geschwindigkeiten bis zu 2000 m/min (120 km/h) produzieren.

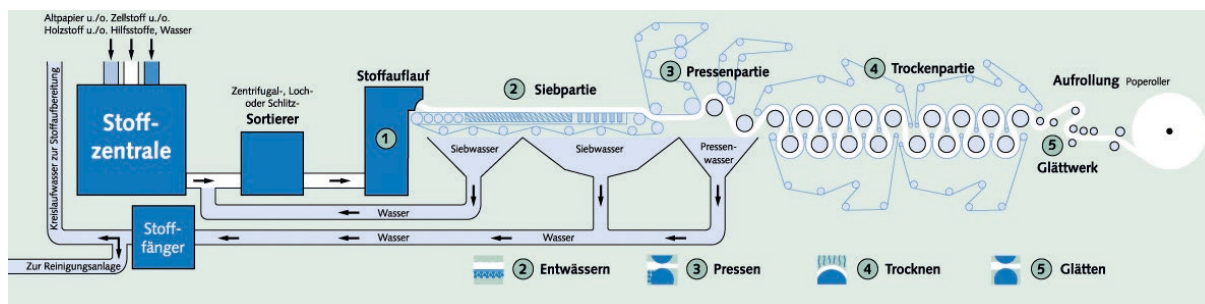


Abbildung 1 Schematischer Aufbau und Materialfluss einer Papiermaschine. (Grafik: VDP)

4.2.3 Veredelung

Die benötigten Produkteigenschaften erfordern oft eine Veredelung des Papiers. Ein wichtiges Verfahren zur Veredelung ist das Streichen. Hierbei werden Pigmente und Bindemittel auf das Rohpapier aufgetragen. Durch den Strich wird eine geschlossene und gut bedruckbare Oberfläche erzielt. Eine nachträgliche Glättung der Papieroberfläche lässt sich durch das Satinieren der Papierbahn erreichen. Dabei läuft das Papier unter Druck durch mehrere beheizte Walzen.

Verschiedene Herstellungsarten und Papiereigenschaften bedingen unterschiedliche Prozessausprägungen, die im Einzelfall auch von den zuvor skizzierten Angaben abweichen. Der Papierherstellungsprozess ist hochgradig technisch optimiert und automatisiert. Die Anlagen werden durch eine ausgefeilte Sensor- und Regelungstechnik gesteuert.

4.3 Papierverarbeitung

Nach der Papiererzeugung und -veredelung durchläuft das Papier noch verschiedene Verarbeitungsschritte wie z.B. Zuschneiden, Bedrucken oder Herstellung von Wellpappen und Packmitteln. Dabei entsteht ein Produkt mit den geforderten Eigenschaften für den vorgesehenen Gebrauch.

Nebenströme, die im Zuge der Verarbeitung anfallen, z.B. Randbeschnitt und Testdrucke bei Druckereien, Verschnittreste bei der Packmittelherstellung, sowie unverkaufte Zeitungen und Zeitschriften – sogenannte Remittenden – werden über Entsorgungsunternehmen oder direkt an die Papierfabriken zurückgeführt. Solche Altpapiere werden, da sie noch im Herstellungsprozess anfallen, Pre-Consumer-Altpapier genannt. Sie sind auf Grund ihrer Sortenreinheit bei Papierfabriken gefragte Sekundärfaserstoffquellen.

4.4 Nutzung der Papierprodukte

Die Papierprodukte werden bei privaten und gewerblichen Endkunden in einem breiten Spektrum von Einsatzbereichen genutzt. Dies reicht beispielsweise von Druck- und Schreibanwendungen über Verpackung und Transport, Hygiene und Reinigung bis zu speziellen Anwendungen etwa für Banknoten, Tapeten, zur Elektroisolierung oder zur Filterung.

4.5 Schließung des Papier-Altpapier-Kreislaufes

Papier eignet sich in hohem Maße für das Recycling. In Deutschland existiert deshalb ein weitentwickeltes System zur Sammlung und Sortierung von Altpapier, was auf eine bestmögliche Erfassung aller benutzten Papierprodukte und deren Wiederverwendung zielt. In Abbildung 2 ist der Kreislauf zusammen mit wesentlichen Ein- und Ausgangsströmen visualisiert.

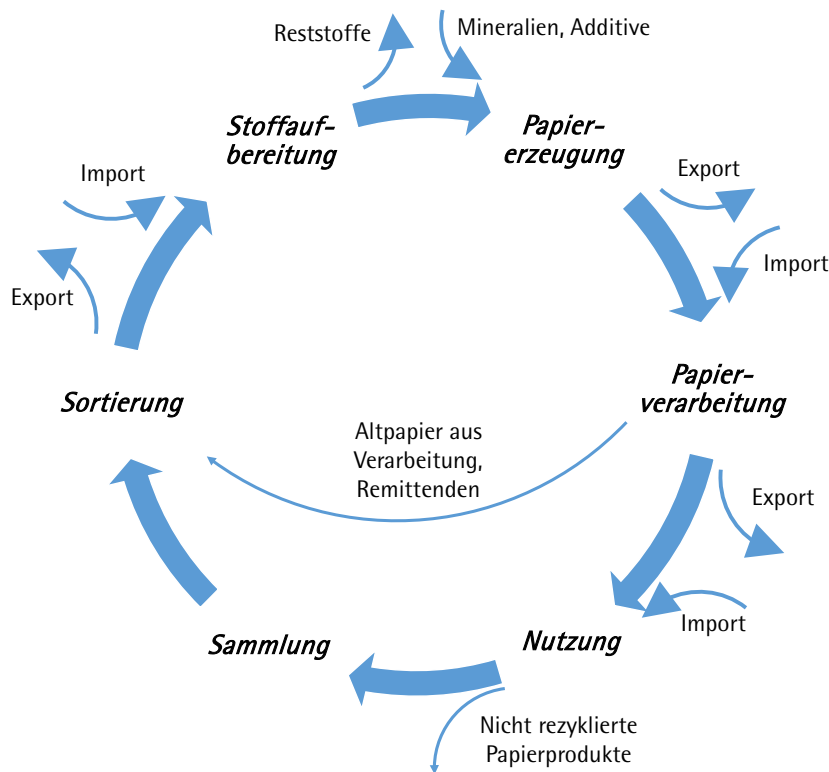


Abbildung 2 Stufen des Papier-Alt Papier-Kreislaufes und wesentliche Ein- und Ausgangsströme.

4.5.1 Sammlung

Die in Deutschland gesammelten Altpapiere stammen aus haushaltsnaher Erfassung und aus dem Gewerbe. Im haushaltsnahen Bereich wird die Sammlung fast ausnahmslos durch die Kommunen organisiert, wobei überwiegend Holsysteme existieren, die durch kommunale Recyclinghöfe ergänzt werden. Im gewerblichen Bereich existieren verschiedene Hol- und Bringsysteme. Die Sammlung und Entsorgung von Verkaufsverpackungen wird gemäß Verpackungsgesetz über Unternehmen des dualen Systems organisiert, welche ihrerseits auf kommunale Unternehmen der haushaltsnahen Sammlung zurückgreifen. Der Recyclingaufwand wird den In-Verkehr-Bringern der Verpackungen in Rechnung gestellt.

4.5.2 Sortierung in Altpapiersorten

Die Sortiereinrichtungen sind Schnittstellen zwischen den Sammelsystemen für Altpapier und den Wiederaufbereitungsanlagen der Papierindustrie. Schwerpunkt ist die Fraktionierung der gemischt anfallenden Altpapiere in marktfähige Altpapiersorten gemäß der europäischen Sortenliste EN 643, welche den Herstellern von grafischen Papieren, von Verpackungspapieren und von sonstigen Papieren als Rohstoff zur Verfügung gestellt werden.

Sortieranlagen für Altpapier verarbeiten überwiegend Papiere aus der getrennten Sammlung, das heißt aus Sammelsystemen, bei denen Papier getrennt von anderen Wertstoffen erfasst wird. Die Sortierung erfolgt mittels mechanischer oder sensorgestützter Trenntechnik im trockenen Zustand. Die Sortierprozesse laufen überwiegend automatisiert ab. Manuelle Sortierstufen finden sich nur in der Endkontrolle.

Eine typische Anlage sortiert das Eingangsmaterial in drei Fraktionen. Im Sinne einer wirtschaftlichen Optimierung wird in der Regel angestrebt, einen hohen Ertrag an sogenannter Deinkingware zu erzielen. Diese Altpapiersorte besteht überwiegend aus Zeitungen und Zeitschriften und enthält daher im Wesentlichen gebleichte Fasern, wie sie insbesondere zur Herstellung grafischer Papiere benötigt wer-

den. Weitere Sorten, die bei dieser Sortierung entstehen, sind in der Regel „gemischtes Altpapier“ und „Verpackungen aus Papier und Karton“. Sie werden vor allem von den Herstellern von Verpackungspapieren verwendet.

Etwa ein Sechstel aller gesammelten Papierprodukte (VDP 2014) gelangen in eine gemischte Sammlung, z.B. den gelben Sack oder die gelbe Tonne, aber auch in andere Wertstoffströme. Moderne Sortieranlagen sind in der Lage, aus diesen Materialgemischen Papierverpackungen wie auch Getränkekartonverpackungen von kunststoff- oder metallbasierten Verpackungen abzutrennen. Diese beiden Papierfraktionen werden überwiegend durch Hersteller von Verpackungspapieren als Faserrohstoffe genutzt.

4.5.3 Stoffaufbereitung von Altpapier

Die gesammelten und sortierten Altpapiere werden als Sekundärrohstoffe für die Papiererzeugung eingesetzt. Hier schließt sich der Kreis. Die Verfahren der Stoffaufbereitung sind integrierte Prozesse einer Altpapier verarbeitenden Papierfabrik und ähneln den in Abschnitt 4.2.1 dargelegten Prozessen für Primärfaserstoffe. Darüber hinaus müssen die Altpapiere gereinigt werden. Dabei werden papierfremde und nicht für das Recycling geeignete Bestandteile abgetrennt, die in der vorhergehenden trockenen Sortierung nicht entfernt werden konnten, wie etwa Beschichtungen, Klebestreifen, Heftklammern und vieles andere mehr.

Je nach angestrebter Produktqualität sind noch weitere Reinigungsstufen erforderlich. Zur Herstellung grafischer Papiere oder optisch ansprechender Verpackungen ist es erforderlich, Druck- und Farbpigmente von grafischen Altpapiersorten über einen mehrstufigen Prozess abzulösen, dem sogenannten Deinking. Deshalb wird die dafür vorgesehene Altpapiersorte als Deinkingware bezeichnet. Auch zur Herstellung von Hygienepapieren aus Altpapier werden Deinkingverfahren angewendet, bei denen zusätzlich Mineralstoffe aus dem Altpapierstoff entfernt werden.

Für Verbundmaterialien, wie z.B. Getränkekarton, sind grundsätzlich dieselben Aufbereitungsmethoden anwendbar, um die wertvolle Papierkomponente für eine stoffliche Wiederverwendung zugänglich zu machen. Allerdings sind die Prozessschritte zeit- und energieintensiv (FKN 2020).

5. Produktions- und Einsatzzahlen

5.1 Wirtschaftsstrukturen

Papier wurde traditionell da hergestellt, wo Holz und Wasser verfügbar waren. Aufgrund günstiger Voraussetzungen hat die Papierherstellung in Deutschland damit eine lange Geschichte. Heute steht die deutsche Papierindustrie mit einem Produktionsvolumen von 22,1 Mio. t im Jahr 2019 an erster Stelle in Europa und an vierter Stelle weltweit, hinter China, den USA und Japan (VDP 2020). Ursprünglich eine mittelständische, eher regional agierende Wirtschaft, ist die Papierwirtschaft heute international tätig.

Zur deutschen Papier- und Zellstoffindustrie zählen 91 Unternehmen mit 153 Produktionsstätten. Es existieren sechs Anlagen zur Zellstoffherstellung, wobei vier davon in Papierwerke integriert sind. Wie in anderen Branchen ist in den letzten Jahrzehnten die Zahl der Unternehmen und Werke zurückgegangen, zugleich sind die Produktionskapazitäten gestiegen. Neben dieser Konsolidierung und horizontalen Integration ist zudem eine vertikale Integration zu verzeichnen, das heißt vor- oder nachgelagerte Fertigungsstufen werden internalisiert. Auch stellen Unternehmen, die in der Vergangenheit auf grafische Papiere fokussiert waren, in den letzten Jahren ihre Produktportfolios um – insbesondere auf Verpackungspapiere sowie auf Produkte im Umfeld von Holz und Papier wie etwa Faserwerkstoffe oder Bioraffinerie-Produkte.

International werden Zellstoff und Papier häufig integriert – im gleichen Werk – erzeugt. In Deutschland dagegen existieren nur vier integrierte Anlagen, die jeweils Sulfitzellstoff herstellen und für die eigene Papierherstellung nutzen. Alle anderen papiererzeugenden Betriebe in Deutschland, die Zellstoff benötigen, beziehen diesen am Markt. Zwei Zellstoff-Fabriken stellen Sulfitzellstoff als Handelsprodukt her. Zudem ist Deutschland geprägt durch einen hohen Altpapiereinsatz: Zahlreiche Werke setzen als Faserstoff ausschließlich Altpapier und entsprechend keine Primärfaserstoffe ein. Neben Papier produzieren deutsche Papierwerke in geringem Umfang Markt-Holzstoff und Markt-Deinkingstoff.

5.2 Produktion und Einsatz

Tabelle 1 stellt wesentliche Daten zu Papiererzeugung und Papiernutzung in Deutschland, EU und weltweit zusammen. In Abbildung 3 dargestellt ist die Entwicklung der Produktionsmenge, des rechnerischen Papiereinsatzes sowie der Export- und Importquoten der deutschen Papierindustrie.

Tabelle 1 Basisdaten von Papierherstellung und Papiereinsatz.
(VDP 2020, CEPI 2019, Einwohnerzahlen: Eurostat, Worldbank 2020)

	Einheit	Deutschland 2018	Deutschland 2019	CEPI-Raum 2018	Weltweit 2018
Papierproduktion	Mio. t	22,7	22,1	92,2	419,7
Produktion von Primär- faserstoffen für Papier	Mio. t	2,40	2,33	38,0	177,6
Zellstoffproduktion	Mio. t	1,59	1,60	27,9	144,2
Anzahl Betriebe		155	153	897	
Anzahl Unternehmen		93	91	685	
Beschäftigte in der Zell- stoff- und Papierindustrie	1000	40,6	39,9	181	
Import von Papier	Mio. t	11,2	10,5	5,8	
Export von Papier	Mio. t	13,7	13,7	20,6	
Rechnerischer Papier- einsatz	Mio. t	20,2	18,9	77,4	422
Einwohner (EW)	Mio.	83,0	83,2	477	7.592
Rechnerischer Papier- einsatz pro Kopf	kg/(EW·a)	243	227	162	56

leere Felder: keine Daten vorliegend

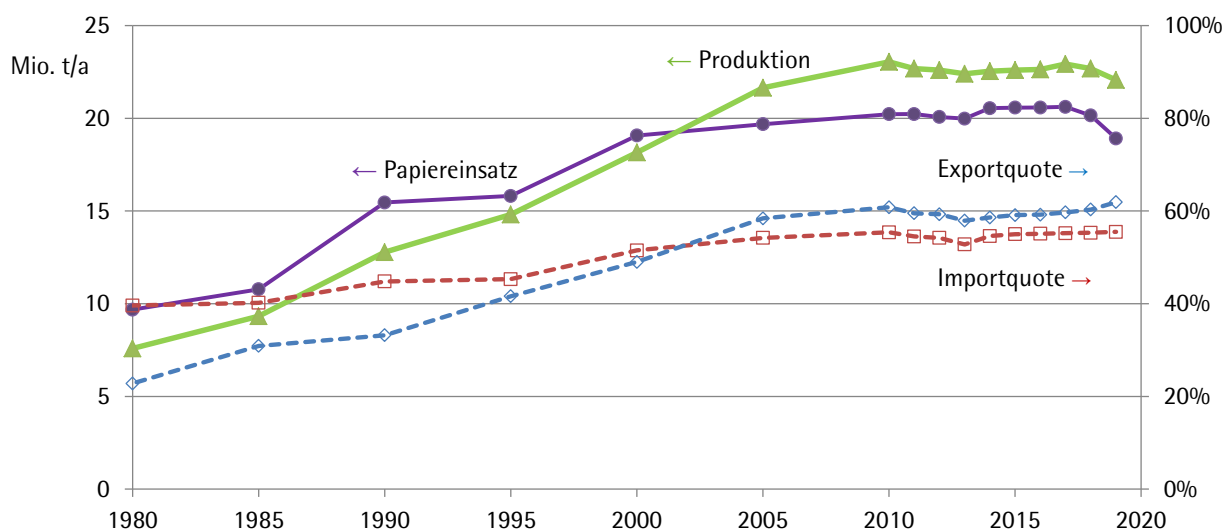


Abbildung 3 Entwicklung der Produktionsmenge, des rechnerischen Papiereinsatzes sowie der Export- und Importquoten der deutschen Papierindustrie seit 1980. (Daten aus VDP 2020)

5.3 Hauptsorten in Deutschland

Nach den Verwendungszwecken lassen sich vier Produkt-Hauptsorten unterscheiden:

- Grafische Papiere
- Papiere für Verpackungszwecke
- Hygienepapiere
- Papiere für technische und spezielle Verwendungszwecke (Spezialpapiere)

Der Anteil der Verpackungspapiere an der deutschen Papierproduktion betrug 54,8% im Jahr 2019 (VDP 2020). In den letzten Jahren stieg die Produktionsmenge in diesem Segment fortlaufend an. Demgegenüber ging die Produktionsmenge grafischer Papiere zurück. Hygienepapiere weisen wiederum einen Mengenzuwachs auf. Sie haben 2019 einen Anteil von 6,8% an der Gesamtproduktion. Spezialpapiere liegen bei 6,2% der Gesamtproduktion, ohne wesentlichen Trend über die Jahre. Ein ähnliches Bild ergibt sich einsatzseitig (s. Abbildung 4). Abbildung 5 stellt Produktion und Einsatz nach Hauptsorten gegenüber.

Als Ursachen der Verschiebungen sind die Digitalisierung von Informations- und Werbemedien, die Zunahme des Online-Handels und, im Falle von Hygienepapieren, Konsumpräferenzen und die zunehmende Alterung der Gesellschaft anzunehmen.

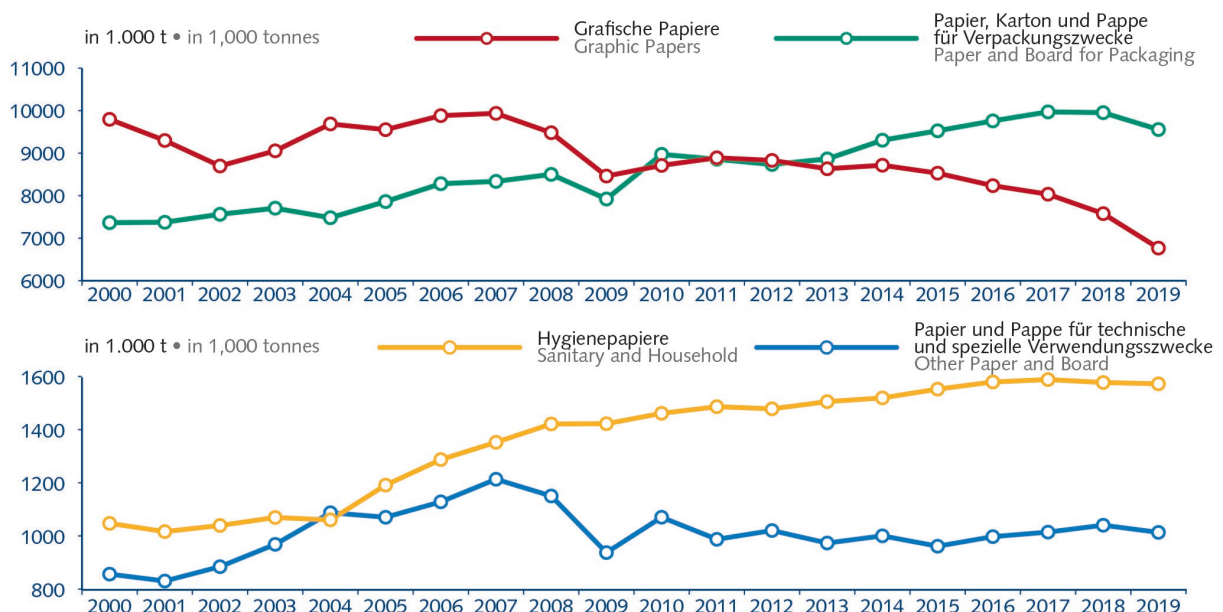


Abbildung 4 Entwicklung des rechnerischen Papiereinsatzes nach Hauptsorten. (Grafik VDP 2020)

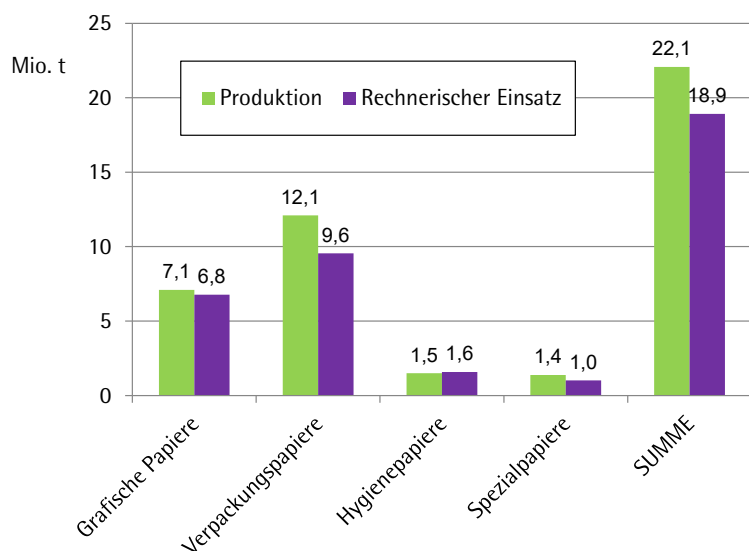


Abbildung 5 Produktion und rechnerischer Papiereinsatz in Deutschland 2019 nach Hauptsorten sowie in Summe. (Daten aus VDP 2020)

5.4 Vergleich des Papiereinsatzes mit anderen Ländern

Der rechnerische Papiereinsatz in Deutschland beträgt 20,1 Mio. t für das Jahr 2018 und 18,9 Mio. t für das Jahr 2019. Jüngste internationale Werte, die für einen Vergleich herangezogen werden können, beziehen sich auf das Jahr 2018; daher ist dies das Bezugsjahr in diesem Abschnitt.

Der rechnerische Papiereinsatz ergibt sich aus einer Produktionsmenge in Höhe von 22,7 Mio. t. Davon werden 13,7 Mio. t abgezogen, die in den Export gehen sowie 11,2 Mio. t hinzugefügt, die importiert werden (VDP 2020).

Zum internationalen Vergleich kann der rechnerische Papiereinsatz ins Verhältnis zu Bezugsgrößen gesetzt werden. Naheliegende Bezugsgrößen sind zum einen die Einwohnerzahl, zum anderen das Bruttoinlandsprodukt als Maß der Wirtschaftstätigkeit. Tabelle 2 stellt hierzu Vergleichsdaten zusammen.

Der rechnerische Papiereinsatz pro Einwohner, der sogenannte Pro-Kopf-Einsatz, beträgt in Deutschland 243 kg/a. Der Wert ist höher als in anderen Ländern (Tabelle 2). Zur Erklärung kommen folgende Aspekte in Betracht werden, ohne jedoch ein abschließendes Bild zu ergeben:

- Der Import und Export von unverarbeitetem Papier ist im rechnerischen Papiereinsatz berücksichtigt, nicht jedoch der Import und Export von verarbeiteten Papierprodukten. Deutschland hat bei verarbeiteten Papierprodukten einen Exportüberschuss. Die Menge an verarbeiteten Papierprodukten, die in Deutschland letztlich genutzt wird, war im Jahr 2012 rund 14% niedriger als der rechnerische Papiereinsatz (VDP 2014). Neuere Daten hierzu sind nicht verfügbar. Beim Vergleich zu anderen Ländern auf Basis des rechnerischen Papiereinsatzes in der verwendeten Definition wird dies nicht berücksichtigt. Eine differenziertere Betrachtung mit aktuellen Daten wäre hier wünschenswert.
- Nur einen Teil der Menge wird von Privatkonsumenten genutzt. Für die in Privathaushalten eingesetzte Papiermenge wird aus abfallseitigen Analysen ein Pro-Kopf-Wert von 105 kg/a abgeschätzt (INTECUS 2019). Diesem Ergebnis folgend überwiegt die gewerbliche Nutzung von Papier. Auch Daten für einen länderübergreifenden Vergleich des Privathaushalt-Anteils liegen nicht vor.
- Im Pro-Kopf-Papiereinsatz sind zu ca. 50% Verpackungspapiere enthalten. Der hohe Einsatz an Kartonagen, Versandtaschen, Packpapier etc. ist zum Teil auf den in Deutschland bedeutenden und stetig wachsenden Online- und Versandhandel zurückzuführen. Zwischen 2006 und 2017 hat sich der

Versandhandelsumsatz fast verdoppelt und der online erwirtschaftete Anteil daran mehr als vervierfacht (UBA 2019).

Wird der Papiereinsatz dem Bruttoinlandsprodukt gegenübergestellt, liegt Deutschland nahe am Welt-Mittelwert. Diese statistische Einordnung legt insgesamt nahe, dass der Papiereinsatz eines Landes eng mit der Wirtschaftsleistung zusammenhängt. Weitergehend differenzierende Untersuchungen zur Höhe des deutschen Papiereinsatzes im internationalen Vergleich fehlen. Ohne solche Untersuchungen ist die Aussage eines statistischen Vergleichs, wie ihn Tabelle 2 darstellt, unter Vorbehalt zu sehen.

*Tabelle 2 Kennzahlen des Papiereinsatzes 2018 für ausgewählte Staaten und Regionen.
(Papiereinsatz: VDP 2020, Einwohnerzahl: Worldbank 2020a, Bruttoinlandsprodukt: Worldbank 2020b)*

Gebiet/Land	Rechnerischer Papiereinsatz in kg/Einwohner/a	Rechnerischer Papiereinsatz bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt in t/Mio. US\$
Welt	56	4,9
EU 28	160	4,4
Deutschland	243	5,1
USA	216	3,4
Volksrepublik China	79	7,9

6. Umwelteinflüsse und Energieverbrauch der Papiernutzung und Papiererzeugung

In diesem Kapitel werden die wichtigsten ökologischen Aspekte der Papiernutzung und der Papierherstellung betrachtet. Abbildung 6 gibt in verallgemeinerter Sicht wesentliche umweltrelevante Inputs und Outputs eines Herstellungsprozesses wieder. Dem ökologischen Fußabdruck des Produkts sind neben den Umwelteinflüssen durch den Produktionsprozess auch die Umwelteinflüsse vor- und nachgelagerter Stufen zuzurechnen, beispielsweise aus der Herstellung von Faserrohstoffen.

Einige Umweltaspekte liegen außerhalb des Rahmens dieser Datensammlung. Das sind z.B. die Schutzgüter des Chemikalienrechts, Abfall, Emissionen wie Lärm und Geruch, Abwärme und Bodenbelastungen. Für alle diese Aspekte existieren in Europa und Deutschland rechtliche Anforderungen, denen die Papierindustrie unterliegt.

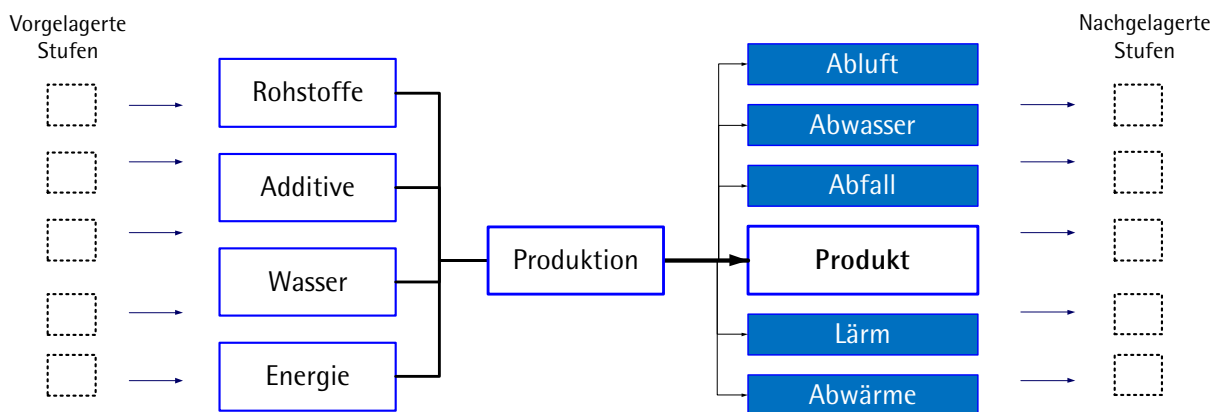


Abbildung 6 Schema ökologisch relevanter Bilanzströme und Umweltkategorien der Papierherstellung.

6.1 Ökobilanzierung als Methodik zur umfassenden Bewertung von Umwelteinflüssen

Bei einer Ökobilanz handelt es sich um eine allgemein anerkannte, systemanalytische Methode zur integrierenden, medienübergreifenden Erfassung und Auswertung umweltrelevanter Sachverhalte im Zusammenhang mit Produkten, Verfahren und Dienstleistungen. Für Ökobilanzen werden auch die Umweltbeeinflussungen erfasst und zusammengeführt, die mit vor- oder nachgelagerten Lebenszyklusphasen verbunden sind. Dabei werden sowohl Rohstoffentnahmen als auch Stoff- und Energieeinträge in die Umweltmedien Wasser, Luft und Boden berücksichtigt.

Wie in Abbildung 7 dargestellt, wird in Ökobilanzen die gesamte Wertschöpfungskette einbezogen, beginnend bei der Rohstoffentnahme aus den natürlichen Quellen über die Herstellung der Produkte bis zu deren Verwertung inklusive der Entsorgung resultierender Reststoffe. Damit ermöglichen Ökobilanzen umfassende Aussagen über die Umweltwirkungen der untersuchten Systeme. Sie sind deshalb auch für den umweltbezogenen Vergleich verschiedener Produkte und Verfahren geeignet.

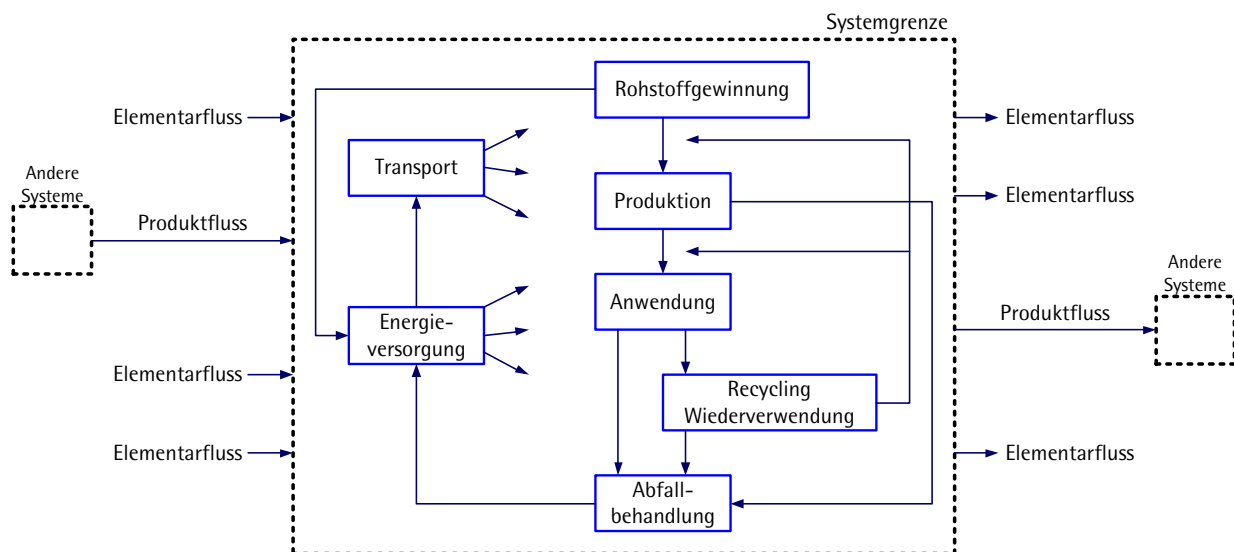


Abbildung 7 Beispiel eines Produktsystems nach DIN EN ISO 14040. (DIN 2009)

Nur wenige Ökobilanzen wurden erstellt, die für definierte Papierprodukte verschiedene Umweltwirkungen über den Lebenszyklus analysieren und die öffentlich zugänglich sind. Dazu gehören

- Ökobilanzen für grafische Papiere (UBA 2000)
- Ökologischer Vergleich von Büropapieren in Abhängigkeit vom Faserrohstoff (Ifeu 2006)
- Ökoeffizienzanalyse von Stoffströmen der Papierindustrie und Ableitung von Optimierungsansätzen für die Wertschöpfungskette Papier – Teil II: Ökoeffiziente Stoff- und Energieflüsse – ein lebenswegübergreifendes Strategiprojekt (bifa 2010)

Darüber hinaus wurden Studien in Auftrag gegeben, die als Product Carbon Footprint allein die Umweltwirkung Klimawandel betrachten. Die Umweltwirkung Klimawandel beschreibt die anthropogenen Beiträge zur Erwärmung der Erdatmosphäre (Treibhauseffekt). Allerdings wurde bisher nur ein Teil der ermittelten Ergebnisse publiziert, wie beispielsweise in

- Life cycle assessment of printing and writing paper produced in Portugal (Dias 2007)
- Carbon Footprint of an advertisement leaflet, of a hard book, of a magazine, of a newspaper, of a photo book (VTT 2010)
- A comparison of the GHG emissions caused by manufacturing tissue paper from virgin pulp or recycled waste paper (Gemechu 2013)
- European Database for Corrugated Board Life Cycle Studies (FEFCO 2018)
- Paper and Environment (EURO-GRAPH 2017)

Stellvertretend für die Ergebnisse in den genannten Ökobilanzen und Product-Carbon-Footprint-Studien sind exemplarisch nachfolgend einige ermittelte Belastungen der Umwelt mit klimaschädlichen Treibhausgasen – hauptsächlich fossiles CO₂ sowie in deutlich geringerer Größenordnung Methan und Lachgas – zusammengefasst:

- 890 bis 1.060 CO₂-Äquivalente/ t Zeitungspapier (VTT 2010)
- 905 kg CO₂-Äquivalente/ t Magazine (VTT 2010)
- 1.120 bis 1.280 kg CO₂-Äquivalente/ t Kopierpapier aus Primärfasern (Ifeu 2006)

- Ca. 930 kg CO₂-Äquivalente/ t Kopierpapier aus Sekundärfasern (Ifeu 2006)
- 531 kg CO₂-Äquivalente/ t Wellpappe (FEFCO 2018)
- 850 kg CO₂-Äquivalente/ t Küchenrolle aus Primärfasern (bifa 2010)
- 616 kg CO₂-Äquivalente/ t grafische Papiere (EURO-GRAPH 2017)

In der Zusammensicht der vorliegenden Ökobilanzstudien tritt klar hervor: Maßgeblich trägt die Bereitstellung von Energie in der Papierfabrik zu den Emissionen bei. Bei den Produkten mit Zellstoffeinsatz tritt zudem der Anteil der Roh- und Ausgangsstoffe hervor.

Bei der Bewertung der CO₂-Äquivalent-Werte ist zu beachten, dass die Ergebnisse älterer Studien bezogen auf die heutige Zeit in der Regel nach unten korrigiert werden müssen. Zurückzuführen ist dies vor allem auf veränderte Energieträgermische für die Erzeugung von Strom und Wärme mit heute deutlich höheren Anteilen regenerativer Energieträger, umweltfreundlicheren Transportmittel, effizienteren Produktionsverfahren und Entsorgungspfaden mit höherem Recyclinganteil. Darüber hinaus wurden 2014 die Treibhauspotenziale der klimarelevanten Stoffe vom Intergovernmental Panel on Climate Change korrigiert.

Neben dem Klimawandel und dem Verbrauch an fossilen Energieträger gibt es weitere Umweltwirkungen, zu denen die Papierherstellung und -nutzung beiträgt, und die in diesem Bericht – auch angesichts einer unzureichenden Datenlage – nicht weiter ausgeführt werden. Zu nennen sind vor allem Versauerung (Emission säurebildender Substanzen, „saurer Regen“), aquatische und terrestrische Eutrophierung (Nährstoffeintrag in Böden und Gewässer im Übermaß, Überdüngung), fotochemische Oxidantienbildung (Bildung von bodennahem Ozon, das als schädliches Spurengas einzuordnen ist; „Sommersmog“) und Feinstaubbelastung (Luftemissionen mit Auswirkungen auf die Atmungsorgane).

Bei der Aussagekraft ökobilanzieller Untersuchungen, wozu auch Product-Carbon-Footprint-Studien zählen, ist zu beachten:

- Für die Zuordnung von Umweltbelastungen insbesondere bei Koppelprodukten und bei Kreislaufführungen (Recycling) zu den Produkten oder Kreislaufstufen sind verschiedene Methoden anwendbar.
- Ökobilanzen sind typischerweise auf eine bestimmte Aufgabenstellung ausgerichtet und enthalten eine dafür angepasste Datenbasis und Vereinfachungen. Die Interpretation für andere Aussageziele ist mit Bedacht anzugehen.
- Biodiversität wird in Ökobilanzen nicht oder nur unzureichend berücksichtigt. Trotz intensiver Bemühungen ist es noch nicht möglich, Auswirkungen auf die Biodiversität durch Ökobilanzen umfassend zu bestimmen.
- Die Auswirkungen einer Zu- oder Abnahme von Waldfläche finden in Ökobilanzen bisher aufgrund unzureichender Datenlage keine Berücksichtigung.
- Gesellschaftliche Aspekte werden nicht betrachtet. Dafür wurde die Methode des Social Life Cycle Assessment entwickelt, die soziale und sozioökonomische Aspekte von Produkten und ihre potenziellen positiven und negativen Auswirkungen entlang des Lebensweges bewertet.

Die Methodik der Ökobilanzierung wurde und wird stetig verfeinert und weiter standardisiert. Ebenso wird die Datenlage erweitert und gefestigt. Werden die oben genannten Anwendungsgrenzen beachtet, steht mit der Ökobilanzierung ein leistungsfähiges Werkzeug zur Bewertung der Nachhaltigkeit zur Verfügung.

Zwei Beispiele der Weiterentwicklung sollen genannt werden: Unter dem Titel „Ten Toes“ entwickelte der Dachverband der europäischen Papierindustrie CEPI eine strukturierte Herangehensweise für Carbon-Footprint-Berechnungen, gegliedert nach zehn Schritten im Lebenszyklus eines Papierprodukts

und inklusive der Kohlenstoffsequestrierung in Wäldern und Kohlenstoffbindung in Holzprodukten (Waste Management 2007, CEPI 2007).

Aktuell wird auf EU-Ebene eine Methode zur Ermittlung von Umweltfußabdrücken (Product Environmental Footprint) erarbeitet, das heißt von Umwelt- und Gesundheitsbelastungen sowie Ressourcenverbräuchen, die auf ein spezifisches Produkt zurückzuführen sind. Die Betrachtung folgt dem Cradle-to-Grave-Ansatz, deckt also Wirkungen von der Rohstoffentnahme aus dem Boden bis zur Emission von Elementarflüssen in Luft, Wasser und Boden ab. Ein Schwerpunkt sind Category Rules, auf dem Lebenszyklus basierende Regeln, welche die allgemeingültige Vorgehensweise der Studien für bestimmte Produktgruppen ergänzen. Für Zwischenprodukte der Papierindustrie wurden die Category Rules im Jahr 2018 veröffentlicht (JRC 2012, JRC 2018).

6.2 Energieverbrauch der deutschen Papierindustrie

Der Energieverbrauch ist ein wesentlicher Umweltaspekt der Papierherstellung. Die Prozesse der Papierherstellung sind energieintensiv. Die Papierindustrie nimmt in Deutschland beim Vergleich des Endenergieeinsatzes nach Industriebranchen den dritten Platz nach der Metallherzeugung und der Chemischen Industrie ein. Der jährliche Gesamt-Endenergieeinsatz beträgt 58,4 TWh, davon 16,2 TWh Strom. Die Daten in diesem Abschnitt wurden dem Leistungsbericht VDP entnommen (VDP 2020) und beruhen auf einer Hochrechnung des VDP aus einer Umfrage bei Mitgliedsunternehmen mit Stand 2019. Die Endenergie setzt sich zusammen aus den Bezugsmengen an Fremdstrom (netto), Brennstoffen und Fremdwärme. Abbildung 8 stellt dies in weiterer Untergliederung dar.

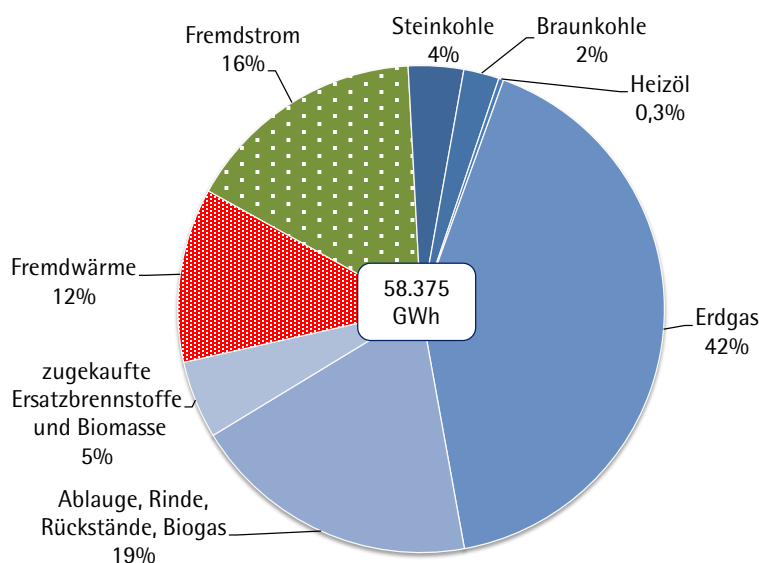


Abbildung 8 Aufteilung des Endenergiebezugs der deutschen Papierindustrie nach Energieträgern. Blautöne: Brennstoffe. (Daten aus VDP 2020)

Der Anteil der Eigenerzeugung am Stromverbrauch liegt bei 42%. Der eigenerzeugte Strom stammt zu 96% aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Wärme wird zu ca. 78% aus werkseigenen Kraftwerken gedeckt. Zur Strom- und Wärmeerzeugung in eigenen Kraftwerken werden vorrangig Erdgas, Produktions-Nebenprodukte und -rückstände (insbesondere Ablauge, Rinde, Sortier- und Deinkingrückstände, Biogas aus der Abwasserreinigung), zugekaufte Ersatzbrennstoffe und Biomasse sowie Kohle eingesetzt.

Abbildung 9 stellt die Entwicklung des absoluten und des spezifischen Energieeinsatzes der Entwicklung der jährlichen Produktionsmenge der deutschen Papierindustrie gegenüber. Der spezifische Energieverbrauch konnte über die Jahre gesenkt werden, seit 1980 um 43%.

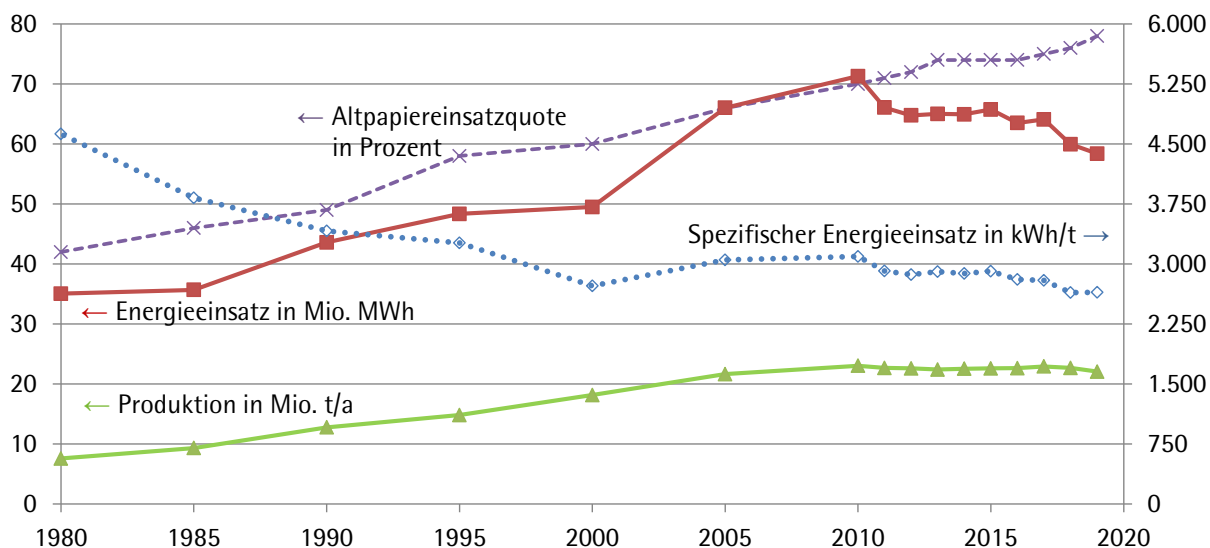


Abbildung 9 Entwicklung der Produktionsmenge, der Altpapiereinsatzquote sowie des absoluten und des spezifischen Endenergieeinsatzes der deutschen Papierindustrie seit 1980. (Daten aus VDP 2020)

6.3 Energiebedingte Treibhausgas-Emissionen

Dem im vorigen Kapitel erläuterten Endenergieverbrauch der Werke können Treibhausgas-Emissionen zugeordnet werden. Die Werte für 2019 sind in Abbildung 10 dargestellt. Die größten Anteile an den CO₂-Emissionen sind dem Erdgaseinsatz sowie dem Fremdstrombezug zuzuschreiben. Für die CO₂-Emissionen, die aus der Erzeugung des Fremdstroms im Jahr 2019 resultieren, wurde ein Emissionsfaktor für den deutschen Strommix von 0,534 t CO₂/MWh hinterlegt (VDP 2020). Zu beachten ist, dass dieser Faktor in Deutschland über die Zeit mit dem steigenden Anteil erneuerbare Energien fällt.

Die Entwicklung der spezifischen CO₂-Emissionen im Vergleich zum spezifischen Energieeinsatz seit 1995 zeigt Abbildung 11.

Um dem Ziel der Bundesregierung von 80-95% Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen bis 2050 zu folgen, liegen die Herausforderungen für die Papierindustrie damit vorrangig bei den fossilen Energieträgern. Im Bereich Fremdstrom kann nur auf externe Anbieter gesetzt werden. Beiträge zur Energiegewende leistet die Papierindustrie heute bereits im Bereich der Regelenergie, z.B. durch abschaltbare Lasten.

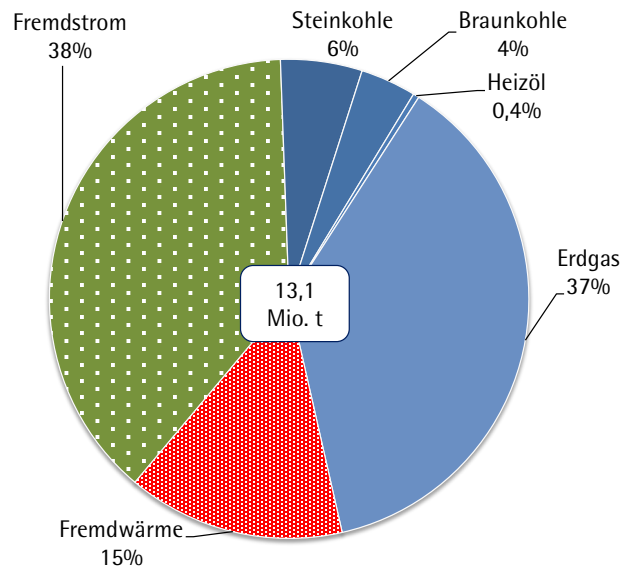


Abbildung 10 Energiebezogene Treibhausgas-Emissionen der deutschen Papierindustrie nach Energieträgern. (Daten aus VDP 2020)

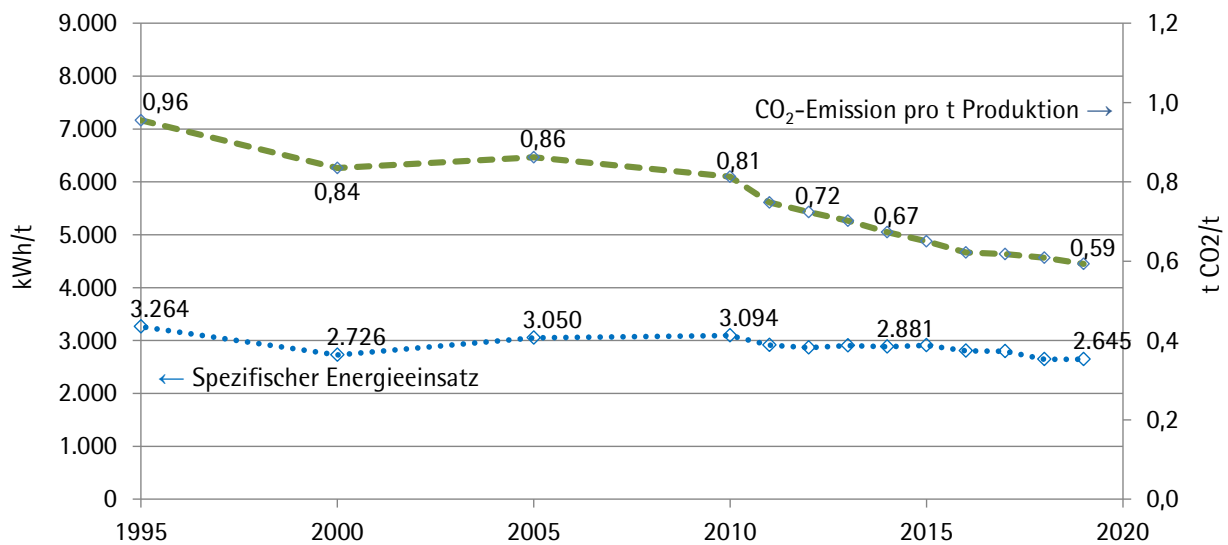


Abbildung 11 Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes sowie der spezifischen energiebezogenen Treibhausgas-Emissionen durch den Endenergieverbrauch der deutschen Werke. (Daten aus VDP 2020)

6.4 Energie- und CO₂-Kennzahlen im internationalen Vergleich

Der spezifische Endenergieeinsatz der Papier- und Zellstoffindustrie im CEPI-Raum¹, bezogen auf produzierten Zellstoff und produziertem Papier, beträgt 3.480 kWh/t (Stand 2018, CEPI 2020). Gegenüber dem zuvor genannten Wert der deutschen Papierindustrie von 2.645 kWh/t dürfte hier an erster Stelle der in anderen Ländern höhere Anteil der Zellstoffherstellung zum Tragen kommen, welche in der Regel einen höheren Energiebedarf pro Tonne Produkt aufweist als die Papierherstellung. Die Daten des VDP beziehen sich nur auf produziertem Papier. Den spezifischen CO₂-Emissionen von 0,59 t CO₂/t der deutschen Papierindustrie steht ein Wert für den CEPI-Raum¹ aus Brennstoffeinsatz und Strombezug von 0,4 t CO₂-Äquivalente/t gegenüber (Daten aus CEPI 2020). Wiederum ist der in anderen Ländern höhere Anteil der Zellstoffherstellung als Grund für den – diesmal nach unten abweichenden – CEPI-Wert zu sehen. Da Anteile des eingesetzten Holzes als Brennstoff dienen, entstehen bei der Zellstoffherstellung kaum fossile CO₂-Emissionen. Eine weitere Rolle kann der durch Wasserkraft und Biomassenutzung niedrige Emissionsfaktor des Stroms in skandinavischen Ländern spielen. Diese Interpretationsaspekte zeigen, dass es für einen aussagefähigen Vergleich der Energiekennzahlen verschiedener Länder weiterer Detaildaten bedürfte, insbesondere einer Differenzierung nach Papierherstellung und nach Zellstoffherstellung und – innerhalb der Papierherstellung – weitergehend nach Hauptsorten.

6.5 Hintergründe des Energiebedarfs und Potenzial zur Optimierung

6.5.1 Prozessschritte mit hohem Energiebedarf

6.5.1.1 Erzeugung von Primärfaserstoffen

In der Zellstoffherstellung wird Wärme zum Erhitzen verschiedener Prozessströme eingesetzt. Hinzu kommt das Verdampfen von Wasser in der Zellstofftrocknung, wenn Marktzellstoff erzeugt wird. Strom wird vorrangig für Pumpen und Antriebe benötigt. Da Entrindungsrückstände aus der Holzvorbereitung wie auch die dem Holz entzogenen Bestandteile in Form der sogenannten Schwarzlauge als Brennstoff in eigenen Kraftwerkskesseln genutzt werden, sind viele moderne Zellstoffanlagen selbstversorgend mit Energie und können häufig zusätzlich Strom verkaufen. Die genutzte Energiequelle Holz ist regenerativ.

Die Herstellung von Holzstoff ist stromintensiv, bedingt durch die Antriebe der Schleifer oder Refiner. Die entstehende Abwärme kann in der Regel weitergenutzt werden.

6.5.1.2 Papierherstellung

Für den Energiebedarf der Papierproduktion ist zuerst die Papiertrocknung ins Auge zu fassen. In der Trockenpartie wird das der Papierbahn anhaftende oder in ihr gebundene Wasser durch Erhitzung verdampft. Die Wärme wird in der Regel über dampfbeheizte Trockenzylinder zugeführt, teils auch mit der Zuluft der Trockenpartie. Die Trocknung des Rohpapiers und gegebenenfalls des Papierstrichs ist für den überwiegenden Teil des Wärmebedarfs der Papierherstellung verantwortlich. Einen wesentlichen weiteren Anteil am Energieverbrauch kann – sofern eingesetzt – die Mahlung im Rahmen der Stoffaufbereitung ausmachen, bei der benötigte Faserstoffeigenschaften durch mechanische Behandlung erzielt werden. Die entsprechenden Aggregate haben hohen Strombedarf. Zudem werden zahlreiche weitere Prozesse elektrisch betrieben, u.a. Zerfaserung, Vakuumerzeugung, Pumpen und Antriebe.

¹ ohne Ungarn, Rumänien und Slowenien

6.5.2 Maßnahmen zur Energieeinsparung

Wie in allen Betrieben ist eine übergreifende Voraussetzung zur gezielten Energieeinsparung ein Energiemonitoring und -management. Typische technische Ansätze zur effizienteren Energienutzung sind dann u.a. der Einsatz von Reststoffen und Biogas der Abwasserreinigung zur Energieerzeugung, eine Kraft-Wärme-Kopplung im Kraftwerk, drehzahlgeregelte Antriebe, die Optimierung von Refinern, Vakuumsystem, Dampf-Kondensat-System und Lüftungsanlagen, die Wärmerückgewinnung von Refinern und aus der Abluft der Trockenpartie sowie die Steigerung des Trockengehalts der nassen Papierbahn durch stärkere mechanische Entwässerung vor der Trockenpartie (BREF PP 2015, AG Branchenenergiekonzept 2008, Jung 2010).

6.5.3 Aktivitäten der Papierindustrie

Die Reduzierung des spezifischen Energiebedarfs über die Jahrzehnte beruht auf einer intensiven Forschungs- und Entwicklungstätigkeit der Papierindustrie. Die Potenziale zur Energieeinsparung erscheinen heute mit der etablierten Produktionstechnologie weitgehend ausgeschöpft. Weitere Forschungsaktivitäten fokussieren u.a. auf Alternativen zur Zellstoffherzeugung und Wege zur Vermeidung der Papiertrocknung. Eine wesentliche Hürde für eine rasche Umsetzung, selbst wenn grundlegende Innovationen entwickelt werden, sind die hohen Investitionskosten der Erzeugungsanlagen.

Ein interessanter aktueller Ansatz ist das Projekt „Modellfabrik Papier“, in dem seit 2019 Unternehmen der deutschen Papierindustrie und weitere Partner an einer weitgehend CO₂-neutralen Papierproduktion forschen. Das strategische Projekt sieht digitale Simulationen, Forschung an Versuchsaggregaten und für 2023 den Bau eines Zentrums für innovative Papierfertigung vor. (Papier kann mehr 2020)

6.6 Wassereinsatz und abwasserbezogene Emissionen

Bei der Papierherzeugung dient Wasser als Suspensionsmedium, als Transportmittel für Fasern und Füllstoffe, als Lösungsmittel für chemische Additive und zur Vermittlung der Faser-Faser-Bindungen, die die Papierfestigkeit ausmachen. In differenzierten Wasserkreisläufen wird das eingesetzte Wasser prozessintern vielfach rückgeführt und dabei zum Teil aufgereinigt.

Die deutsche Papierindustrie setzt 250 Mio. m³ Wasser in den Prozessen ein und schleust rund 200 Mio. m³ Abwasser aus. Die mittlere spezifische Abwassermenge beträgt 8,6 m³/t Produkt (Stand 2016, Bienert 2018). Die Differenz zwischen Wassereinsatz und Abwassermenge ist im Wesentlichen durch die Wasserverdampfung in der Trockenpartie bestimmt. Das eingesetzte Wasser wird zu 72% aus Oberflächengewässern bezogen, zu 27% aus Brunnen und Quellen und zu 1% aus der öffentlichen Trinkwasserversorgung. Abbildung 12 zeigt die Entwicklung der spezifischen Abwassermengen seit 1974. Zusätzliche Wassermengen werden für Kühlzwecke eingesetzt und nach Nutzung unter Beachtung der Temperatur wieder in Oberflächengewässer eingeleitet.

Nur geringe Anteile der eingesetzten Rohstoffe lösen sich im Prozesswasser oder suspendieren so feinstpartikulär, dass sie im Prozess nicht zurückgehalten werden. Aus diesen Anteilen resultiert eine Belastung des Rohabwassers. Das Rohabwasser wird daher vor der Einleitung in Gewässer mechanisch-biologisch gereinigt, sodass die behördlich zur Sicherung der Gewässergüte festgesetzten Einleitgrenzwerte eingehalten werden.

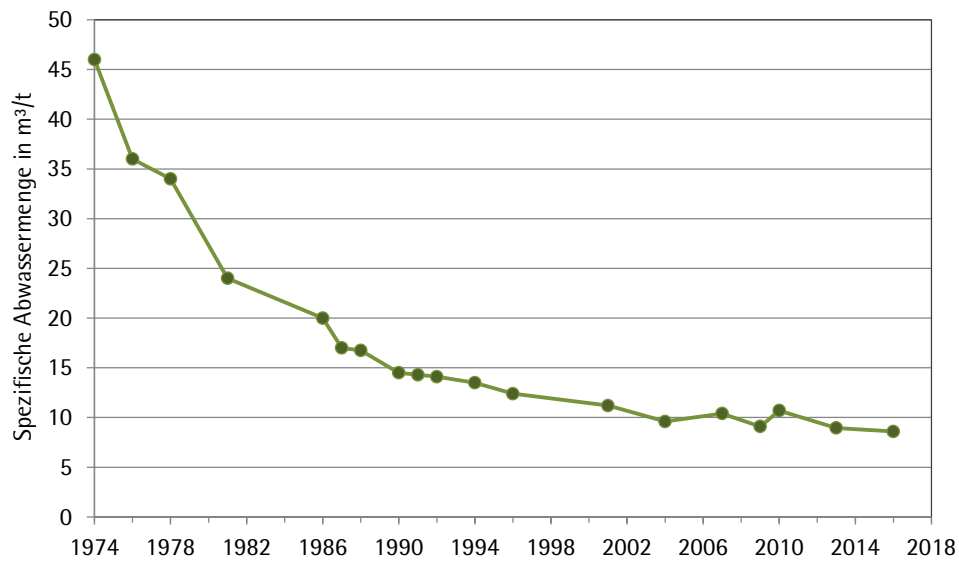


Abbildung 12 Entwicklung der mittleren spezifischen Abwassermenge der deutsche Papierindustrie. (Daten aus Bienert 2018)

7. Nachhaltigkeit des Rohstoffs Holz

In diesem Kapitel wird der Herkunft des Rohstoffs Holz sowie der darauf basierenden Faserstoffe Holzstoff und Zellstoff nachgegangen. Ökologisch relevante Aspekte werden aufgezeigt. Der dritte bedeutende Faserrohstoff der Papierherstellung, Altpapier, ist Gegenstand von Kapitel 8.

7.1 Herkunft von Holz und Primärfaserstoff für die Papierherstellung in Deutschland

7.1.1 Primärfaserstoffe für die deutsche Papierindustrie

Für die Papierherstellung von 22,1 Mio. t werden in Deutschland 5,2 Mio. t Primärfaserstoffe eingesetzt. In Deutschland hergestellt werden 2,3 Mio. t. (Tabelle 3). Die in Deutschland zum Einsatz kommenden Primärfaserstoffe sind nahezu ausschließlich holzbasiert. Andere Faserstoffe z.B. aus Baumwolle, Stroh oder anderen Nicht-Holz-Pflanzen machen mit 87.000 t im Jahr 2019 weniger als 2% des Primärfaserstoffeinsatzes aus.

Nach den Aufschlussverfahren werden grundsätzlich zwei Typen von Primärfaserstoffen unterschieden, Zellstoff und Holzstoff (vgl. Abschnitt 4.1). Bei der Herstellung von Holzstoff wird das eingesetzte Holz fast vollständig zu Faserstoff verarbeitet. Der Holzbedarf zur Erzeugung von Holzstoff beträgt rund 2,5 fm Faserholz je Tonne². Die Ausbeute bei der Zellstoffherstellung ist deutlich geringer; der Holzbedarf beträgt rund 4,7 fm je Tonne (Mantau 2018). Die Holzbestandteile, die nicht stofflich in den Zellstoff eingehen, werden zur Bereitstellung der benötigten Prozessenergie genutzt.

Tabelle 3 Einsatz von Primärfaserstoffen zur Papierherstellung in Deutschland sowie deren Produktion, Import und Export im Jahr 2019. (VDP 2020)

Typ	Inländische Produktion in Mio. t	Import in Mio. t	Export in Mio. t	Einsatz in Mio. t
Papierzellstoff	1,598	3,123	0,573	4,121
Holzstoff	0,728 ³	0,194	0,094	0,952
Sonstige Faserstoffe				0,087
gesamt	2,326	3,273	0,637	5,16

leere Felder: keine Daten vorliegend

7.1.2 Import von Primärfaserstoffen nach Deutschland

Etwa Zweidrittel der in Deutschland zur Papierherstellung eingesetzten Primärfaserstoffe werden importiert. Überwiegend sind dies Zellstoffe. Holzstoff wird häufig am Ort des Einsatzes in Deutschland produziert. Über 90% der Primärfaserstoffimporte verteilen sich auf sieben Länder (Tabelle 4).

² 1 t Nadelholz-Industrieholz oder 1 t Sägenebenprodukte entsprechen rund 2,15 fm (Festmeter); 1 t Laubholz-Industrieholz entspricht rund 1,5 fm (Mantau 2018)

³ Diese Zahl enthält nicht gegebenenfalls in der Holzwerkstoffindustrie als Nebenprodukt erzeugte Holzstoffmengen, die an Papierfabriken geliefert werden.

Tabelle 4 Ursprungsländer der Primärfaserstoff-Importe Deutschlands im Jahr 2019 (VDP 2020) und Holzarten (ZIV 2020). Andere Länder sind u.a. USA, Kanada und Österreich.

	Brasilien	Finnland	Schweden	Portugal	Uruguay	Spanien	Chile	andere
Menge in 1.000 t	899	509	507	322	231	184	200	227
Holzart	Eukalyptus	Nadelholz, Birke	Nadelholz, Birke	Eukalyptus, Nadelholz	Eukalyptus	Eukalyptus, Einjahrespflanzen	Eukalyptus, Nadelholz	-

7.2 Produktion von Primärfaserstoff

7.2.1 Herstellung von Primärfaserstoffen in Deutschland

Der Anteil der Zellstoff- und Papierindustrie an der Nutzung einheimischer Holzrohstoffe beträgt 7,7% (Mantau 2017, ohne kaskadierte Nutzung).

In Deutschland wird zur Herstellung von Primärfaserstoffen überwiegend Durchforstungsholz und Schwachholz eingesetzt. Dieses fällt bei der Pflege des Waldes zur Verbesserung von Ertrag und Qualität des Holzes an. Schwachholz bezeichnet Stämme von geringem Durchmesser, die nicht für die Sägeindustrie geeignet sind (HOLZ VON HIER 2020). Durchforstungsholz umfasst auch Schadh Holz, also Bruchholz, Sturmholz und nach Insektenbefall entnommenes Holz, sogenanntes Käferholz. Erntereife Bäume dagegen werden aus den Wirtschaftswäldern vorrangig für die Säge- und Holzmöbelindustrie entnommen. Bei der Verarbeitung werden die angelieferten Baumstämme – Langholz oder Sägerundholzabschnitte – in der Regel nach Entrindung auf einen rechteckigen Querschnitt gebracht, um sie z. B. in Bretter zu schneiden. Bei diesem Vorgang entstehen Hackschnitzel, welche in Statistiken als Sägenebenprodukte ausgewiesen werden. Sie bilden neben dem Durchforstungsholz eine weitere Rohstoffquelle für die Papierindustrie, mit einem Anteil von 38% (Tabelle 5). Auf diese Weise wird Holz kaskadiert und damit ressourceneffizient genutzt.

Tabelle 5 Einsatz der verschiedenen Holzrohstoffe für die Erzeugung der Primärfaserstoffe in Deutschland 2015. (Mantau 2018, Summenabweichungen durch Rundungen)

Holzrohstoff	zur Erzeugung von Holzstoff		zur Erzeugung von Zellstoff		Gesamt	
	in Mio. t	Anteil	in Mio. t	Anteil	in Mio. t	Anteil
Nadelholz-Industrieholz	0,872	83%	1,411	40%	2,283	50%
Laubholz-Industrieholz	-	-	0,511	15%	0,511	11%
Sägenebenprodukte	0,177	17%	1,571	45%	1,748	38%
gesamt	1,049	100%	3,494	100%	4,543	100%

7.2.2 Weltweite Herstellung von Primärfaserstoffen

7.2.2.1 Holzgewinnung

Die weltweite Rohholzgewinnung beträgt 3,97 Mrd. fm. Davon werden 49% als Brennstoff und 51% industriell genutzt (FAO 2018).

Welcher Anteil der Rohholzgewinnung in der Zellstoff- und Papierindustrie eingesetzt wird, lässt sich abschätzen. Hierbei geht ein, dass in der Zellstoff- und Papierindustrie neben forstwirtschaftlich gewonnenem Holz auch Sägenebenprodukte eingesetzt werden. Deren Mengen werden in offiziellen weltweiten Statistiken nicht erfasst. Es kann jedoch ein Bereich abgeschätzt werden: Würden keine Sägenebenprodukte eingesetzt – also nur Primär-Rohholz – entspräche der Anteil nach Festmetern 19%. Würden alle anfallenden Sägenebenprodukte in der Zellstoff- und Papierindustrie eingesetzt, läge der Anteil bei 14%. Der Anteil der weltweiten Rohholzgewinnung, der in die Zellstoff- und Papierindustrie geht, kann somit auf 14% bis 19% eingegrenzt werden. Wird nur auf die Industrierohholzgewinnung bezogen (also ohne Brennholz), ergibt sich ein Anteil der Zellstoff- und Papierindustrie nach Festmetern im Bereich 28% bis 37%.⁴

7.2.2.2 Produktion von holzbasierten Primärfaserstoffen

Die weltweite Produktion von holzbasierten Primärfaserstoffen liegt bei 184 Mio. t (Tabelle 6). Davon entfallen 77% auf Papierzellstoff und 18% auf Holzstoff. Die Hauptzeugetländer von Zellstoff sind Nordamerika und Brasilien. In Tabelle 7 sind ausgewählte Regionen und Länder mit den Produktions-, Import- und Exportmengen für Zellstoff dargestellt. Chemiezellstoff, der Vollständigkeit halber aufgeführt, dient nicht der Papierherstellung, sondern ist Rohstoff für andere Cellulose-basierte Produkte wie etwa Viskosefasern oder Zellophan.

Tabelle 6 Globale Produktion von holzbasierten Primärfaserstoff mit Hauptzeugetländern. (FAO 2017)

Faserstoff	Produktion 2017 in Mio. t	Hauptproduzenten und Menge in Mio. t	
Primärfaserstoff (gesamt)	184		
Holzstoff	33,7	Kanada	7,2
		USA	5,5
Papierzellstoff	142	USA	42,5
		Brasilien	19,0
		Kanada	9,1
		Japan	8,2
		Bangladesch	7,8
		Indonesien	7,4
Chemiezellstoff	7,9	China	1,8

⁴ Berechnung: Rohholzgewinnung 3.971 Mio. fm, Industrierohholzgewinnung 2028 Mio. fm, Sägeholzgewinnung 493 Mio. fm, Produktion Holzstoff 33,5 Mio. t, Produktion Zellstoff 142 Mio. t (FAO 2018). Rohholzäquivalente 2,5 fm/t Holzstoff, 4,7 fm/t Zellstoff, Anteil Sägenebenprodukte an Sägeholzeinsatz 39% (Mantau 2018, vgl. Abschnitt 7.1.1). Summe Holzrohstoffverbrauch 750 Mio. fm entsprechend 19% der Rohholzgewinnung. Holzrohstoffverbrauch abzüglich Sägenebenprodukte 192 Mio. fm ergibt 561 Mio. fm entsprechend 14% der Rohholzgewinnung.

Tabelle 7 Fünf führende Exportländer für holzbasierte Primärfaserstoffe (Papierzellstoff, Holzstoff und gegebenenfalls Chemiezellstoff) sowie ausgewählte weitere Länder und Regionen. (FAO 2017)

	Export in Mio. t	Import in Mio. t	Produktion in Mio. t
Welt			184
1. Brasilien	14,0	0,23	20,2
2. Kanada	9,91	0,52	16,8
3. USA	7,98	5,38	49,2
4. Indonesien	4,63	1,43	7,68
5. Chile	4,49	0,02	5,19
Lateinamerika und Karibik	21,4	1,98	29,3
Asien	5,89	36,2	35,3
Europa	17,0	19,5	47,8
Deutschland	1,20	4,77	2,43
Finnland	3,66	0,47	10,8
Schweden	3,32	0,57	12,2

7.3 Holzanbau und -entnahme

7.3.1 Waldanbaumethoden

Die FAO definiert verschiedene Waldkategorien:

- Primärwald („Primary forest“): weitestgehend frei von menschlichen Eingriffen
- Sekundärwald/naturnaher Wald („Naturally regenerated forest“): vorrangige Nutzung und Sicherung des Waldes für Erholungszwecke sowie zum Landschaftsschutz unter Beibehaltung der natürlichen Baumarten
- Wirtschaftswald („Planted forest“): gezielte wirtschaftliche Nutzung

Auch innerhalb einzelner Kategorien können verschiedene Arten der Waldnutzung differenziert werden. Plantagen sind eine besondere Form des Wirtschaftswalds. Sie sind teils ausgelegt als Kurzumtriebsplantagen mit Pflanz-Ernte-Zyklen von drei bis zehn Jahren. Darauf wird in Abschnitt 7.3.4.4 eingegangen.

7.3.2 Nachhaltigkeitszertifikate

7.3.2.1 Zertifikate für die Waldbewirtschaftung

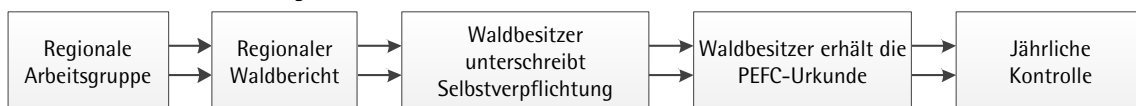
Wälder, in denen Forstwirtschaft im Sinne einer nachhaltigen Waldnutzung betrieben wird, können zertifiziert werden. Hierfür stehen verschiedene Zertifizierungssysteme zur Verfügung, die Anforderungen insbesondere an die Nachhaltigkeit, an die Umweltverträglichkeit der Waldbewirtschaftung, die Qualität der Arbeitsprozesse und an die soziale Integrität der Forstbetriebe stellen (Waldwissen 2013). Mit den Zertifikaten oder Labels wird Verbrauchern angezeigt, dass entsprechend gekennzeichnete

Holz- und Papierprodukte aus Rohstoffen von Wäldern stammen, die nach den Regeln einer ordnungsgemäßen, verantwortungsbewussten Forstwirtschaft bewirtschaftet werden (Forstwirtschaft 2020).

In Deutschland sind vor allem die Zertifikate des FSC (Forest Stewardship Council) und des PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification) etabliert.⁵ Die Waldzertifizierungssysteme haben viele Gemeinsamkeiten. Dazu gehören eine der Waldgröße angemessene Betriebsplanung, die nachhaltige Bewirtschaftung, der Schutz der Biodiversität, die besondere Berücksichtigung von Schutzgebieten, die Bereitstellung verschiedener und hochwertiger Forstprodukte, um die Verwendung der natürlichen Rohstoffe zu optimieren, und die Etablierung standortgerechter Baumarten. Neben diesen grundsätzlichen Gemeinsamkeiten weisen die Systeme Unterschiede im Detail auf. Das betrifft vor allem die Kontrolle und Prüfung der Einhaltung der Kriterien, den Anteil an Biotopbäumen (Totholz, Horst- und Höhlenbäume), die Auswahl der Baumarten, den Einsatz von Pestiziden und den Abstand der Erntegassen (FSC 2012, FSC 2020, PEFC 2018, PEFC 2020, Waldhilfe 2020). Die Anforderungen für eine FSC- oder PEFC-Zertifizierung sind in nationalen Bewirtschaftungsvorgaben an die unterschiedlichen länderspezifischen oder regionspezifischen rechtlichen, sozialen und geografischen Bedingungen angepasst (FSC 2020c, PEFC 2020b). Dort ist auch das generelle Verbot von Kahlschlägen oder deren Zulässigkeit in Ausnahmefällen nach den forst- und naturschutzrechtlichen Vorgaben des jeweiligen Landes geregelt. Somit kann unter Umständen zertifiziertes Holz aus Kahlschlägen stammen. Das ist ein wesentlicher Punkt, den Kritiker an der Zertifikatvergabe bemängeln (Greenpeace 2018, W-wie-Wissen 2018).

Der Ablauf der FSC- als auch der PEFC-Zertifizierung ist in Abbildung 13 schematisch skizziert. Das FSC-Zertifikat hat eine Laufzeit von fünf Jahren. Durch jährliche Folgeprüfungen werden die Einhaltung des FSC-Standards sichergestellt oder Auflagen erteilt, die zu erfüllen sind (FSC 2020d). Auch das PEFC-Zertifikat ist in der Regel fünf Jahre gültig, wobei die Zertifizierungsstellen die Einhaltung der Anforderungen jedes Jahr überwachen und über Aufrechterhaltung, Aussetzung oder Entzug des Zertifikats entscheiden (PEFC 2020c).

Ablauf der PEFC-Zertifizierung



Ablauf der FSC-Zertifizierung

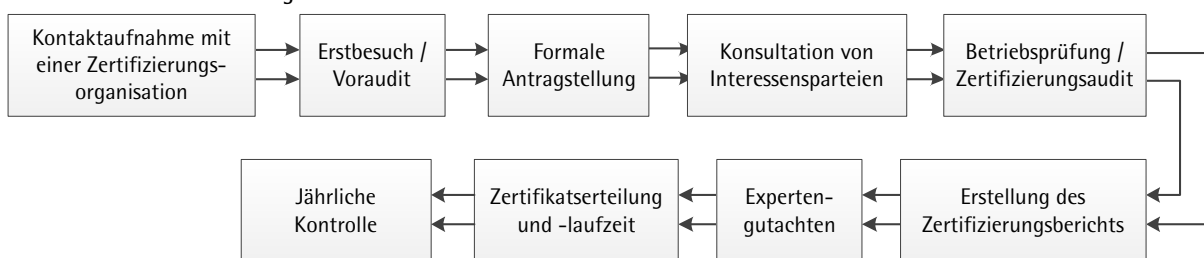


Abbildung 13 Ablauf der PEFC- und der FSC-Zertifizierung.
(Darstellungen in Anlehnung an PEFC 2020c und FSC 2020d)

⁵ Weitere Organisationen, die Zertifikate oder Labels anbieten, sind u.a. International Tropical Timber Agreement (ITTA), Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES), Forest Law Enforcement, Governance and Trade (FLEGT) und American Tree Farm System (ATFS).

7.3.2.2 Zertifikate für Produkte: Blauer Engel

Holz- und Papierprodukte können ebenso zertifiziert werden. Das bekannteste Zertifikat ist der Blaue Engel für Recyclingpapier. Das Umweltkennzeichen UZ 14a verlangt, dass die zertifizierten Produkte zu 100% aus Altpapier bestehen, mit Vorgaben zu den einzusetzenden Altpapiersorten. Weitere Anforderungen, deren Einhaltung nachgewiesen werden muss, betreffen u.a. maximal zulässige Gehalte an gesundheitsbedenklichen Inhaltsstoffen, die z.B. über bestimmte Spezialpapiere unbeabsichtigt ins Altpapier gelangen können, sowie den Ausschluss bestimmter Prozessadditive und Farbmittelkomponenten bei der Aufbereitung von Altpapier, der Papierherstellung und der Veredelung. Nicht zuletzt werden Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und Alterungsbeständigkeit der Papiere gestellt (Blauer Engel 2018).

Für verschiedene Papiersorten existieren neben dem Blauen Engel für Recyclingpapier (UZ 14a) weitere Blauer-Engel-Umweltzeichen mit jeweils spezifischen Anforderungen, so z.B. für Koch- und Heißfilterpapiere (UZ 65), Hygienepapiere (UZ 5) und Druck- und Pressepapiere überwiegend aus Altpapier (UZ 72).

7.3.2.3 Zertifikate für Produkte: EU-Ecolabel

Ein Umweltzeichen auf EU-Ebene ist das EU-Ecolabel. Es wird für grafische Papier und Hygienepapiere sowie Hygienepapierprodukte vergeben. Umweltkriterien, die dafür einzuhalten sind, betreffen Emissionen in Wasser und Luft, den Energieverbrauch, den Einsatz von Recycling- und Frischfasern, die Abfallbewirtschaftung, die Gebrauchstauglichkeit sowie Beschränkungen unterworfenen gefährlichen Stoffe und Gemische, u.a. Substances of Very High Concern (SVHC), Tenside, Biozide, Pigmente oder Farbstoffe (EU 2019).

7.3.2.4 Zertifikate für Produkte: FSC

Auch FSC und PEFC vergeben Siegel für Papierprodukte. Das FSC-Siegel gibt es in den drei Varianten „FSC 100%“, „FSC Recycled“ und „FSC Mix“. Voraussetzung für die Verwendung von FSC-Siegeln ist ein FSC-Zertifikat. Das Siegel „FSC 100%“ bedeutet, dass das Material ausschließlich FSC-zertifizierten Wäldern entstammt. Es findet sich zumeist auf Vollholzprodukten. Papierprodukte mit dem Siegel „FSC Recycled“ bestehen ausschließlich aus Recyclingfaserstoff. Das Siegel „FSC Mix“ findet sich dagegen auf Papierprodukten, die neben Recyclingfaserstoff und Holz aus FSC-zertifizierten Wäldern auch Holz aus „kontrollierten Quellen“ (controlled wood) enthalten können. Kontrollierte Quellen sind zwar nicht zertifiziert, werden aber von den FSC-zertifizierten Holzbeschaffungsorganisationen kontrolliert. Folgende „nicht akzeptable“ Quellen sind dabei ausgeschlossen (FSC 2006, FSC 2019):

- Illegal geerntetes Holz,
- Holz aus Gebieten, in denen gegen traditionelle und bürgerliche Grundrechte verstoßen wird,
- Holz aus Wäldern, deren besondere Schutzwerte durch die Waldbewirtschaftung gefährdet sind,
- Holz aus der Umwandlung von Naturwäldern in Plantagen oder nicht-forstliche Nutzungen sowie
- Holz aus Wäldern, die mit gentechnisch veränderten Baumarten bepflanzt sind.

Die Möglichkeit, zertifiziertem Material kontrolliertes beizumischen, soll Chancen für Industrieprodukte aus Regionen mit wenig FSC-zertifizierten Waldflächen bieten. Die unklare Trennung zwischen zertifizierter und nicht zertifizierter Herkunft gibt dabei zum Teil Anlass zu Kritik. Die FSC-Organisation räumt ein, dass das Siegel „FSC Mix“ bei Verbrauchern Fragen aufwirft. (FSC 2019, FSC 2019b, FSC 2020b, UBA 2020a)

7.3.2.5 Zertifikate für Produkte: PEFC

Das PEFC-Siegel umfasst die drei Varianten „PEFC zertifiziert“, „PEFC recycelt“ und „PEFC regional“. Voraussetzung für die Verwendung von PEFC-Siegeln ist ein PEFC-Zertifikat.

Das Siegel „PEFC zertifiziert“ besagt, dass das Produkt mindestens zu 70% aus PEFC-zertifizierten Rohstoffen und zu weniger als 100% Faserstoff aus Recycling-Quellen besteht. Das restliche Material muss zumindest aus „kontrollierten“, also nicht umstrittenen Quellen stammen. Eine Reihe von Aktivitäten der Waldbewirtschaftung sind als „umstritten“ ausgeschlossen, insbesondere solche (PEFC 2020e),

- die gegen lokales, nationales oder internationales Recht verstoßen,
- bei denen die Fähigkeit der Wälder zur Produktion von Holz- und Nichtholzprodukten auf nachhaltiger Basis nicht aufrechterhalten wird und
- die nicht zur Erhaltung, zum Schutz oder zur Verbesserung der biologischen Vielfalt beitragen.
- Zudem werden unter anderem Anforderung an den Arbeitsschutz und die Wahrung der Rechte indigener Völker formuliert.

Produkte mit dem Siegel „PEFC recycelt“ enthalten 100% des Faserstoffs aus Recycling-Quellen (PEFC 2020d).

Das dritte Siegel „PEFC regional“ wird für Produkte vergeben, die ausschließlich Rohstoffe aus PEFC-zertifizierten Wäldern der auf dem Label genannten Region enthalten. In Deutschland sind mögliche Herkunftsregionen in drei Ebenen aufgeteilt: Ebene 1 beinhaltet Gesamtdeutschland („heimisches Holz aus Deutschland“), Ebene 2 entspricht den Bundesländern und Ebene 3 umfasst einzelne Regionen wie beispielsweise Allgäu oder Niederbayern (PEFC 2013, UBA 2020b).

7.3.3 Holzanbau und -entnahme in Deutschland

7.3.3.1 Waldbestand und Anbaumethoden

Deutschland verfügt über eine Waldfläche von 11,4 Mio. ha, die sich in 6,1 Mio. ha oder 53% naturnaher Wald sowie in 5,3 Mio. ha oder 46% Wirtschaftswald unterteilt. Primärwald wird für Deutschland nicht ausgewiesen (FAO 2016).

Zwischen 2002 und 2012, dem Bezugsjahr des letzten Waldberichts der Bundesregierung, hat sich die Waldfläche mit einer Zunahme um ca. 0,4% oder 50.000 Hektar nur wenig geändert. Damit ist seit Jahren fast unverändert 32% der Landfläche Deutschlands bewaldet (BMEL 2017). Die häufigsten Baumarten sind Fichte, Kiefer, Buche und Eiche, wobei die Nadelbäume mit 54% am Baumbestand überwiegen. Allerdings nehmen Laubbäume und Mischwälder zu. Der Anteil ist gegenüber 2002 um 7% oder 315.000 ha auf 43% gestiegen (BMEL 2017).

7.3.3.2 Ökologische Bewertung der Forstwirtschaft in Deutschland

Im Vergleich zu anderen Landnutzungsformen ist die Waldbewirtschaftung in Deutschland extensiv. Dies soll die lebensraumtypische Vielfalt unterstützen und bewahren. Dazu sind folgende Kriterien einzuhalten (BMEL 2017):

- Holznutzung im Rahmen der forstlich nachhaltigen Hiebssätze und der Bodennachhaltigkeit
- Mehrjährige Nutzungsintervalle
- Weitgehender Verzicht auf Kahlschläge
- Verzicht auf überproportional nährstoffzehrende oder bodenschädliche Nutzungen
- Naturverjüngung
- Geringer Anteil eingeführter Baumarten

- Verzicht auf Düngemittel im Wald
- Integrierter Pflanzenschutz, minimaler Einsatz von Pflanzenschutzmitteln
- Erhalt von Biotopbäumen
- Erhalt von Totholz

Dabei wird in Deutschland zur Herstellung von Primärfaserstoffen überwiegend Durchforstungsholz eingesetzt. Durchforstung ist eine Maßnahme der Waldpflege, um den verbleibenden Bäumen ausreichenden Standraum zu gewähren. Nur so können sie Stabilitätsanforderungen erfüllen und Nutzholz entsprechender Dimension liefern. Auch ökologische Vorteile werden mit Durchforstungen verbunden (BFW 2003).

In Abschnitt 7.3.1 beschriebene Zertifizierungssysteme helfen dabei, eine nachhaltig orientierte Waldbewirtschaftung zu unterstützen und die Nachfrage nach nachhaltig erzeugtem Holz zu fördern. Von 11,4 Mio. ha Waldfläche in Deutschland sind zum Stand Oktober 2016 ca. 64% nach PEFC-Kriterien und ca. 9% nach FSC-Kriterien zertifiziert (BMEL 2017).

Die ökologische Wertigkeit der Wälder in Deutschland hat sich laut dem letzten Waldbericht mit Stand 2012 über die Jahrzehnte verbessert. So erreicht der Teilindikator für Wälder beim Indikator „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt mit 87% des Zielwertes 2013 den höchsten Wert aller Teilindikatoren (BMEL 2017). Seit ca. 2018 sind allerdings zunehmende Waldschäden durch Hitze, Dürre und Schädlinge zu verzeichnen (BMEL 2019).

7.3.4 Weltweiter Holzanbau und Holzentnahme

Zu den Inhalten dieses Kapitels – vor allem zur Nachhaltigkeit der Waldnutzung außerhalb Europas – konnten nicht immer Primärquellen oder andere Quellen identifiziert werden, die wissenschaftlich oder statistisch abgesichert erscheinen. Es wird daher teils auf Aussagen aus journalistischer Recherche sowie von Umweltinitiativen zurückgegriffen.

7.3.4.1 Weltweiter Waldbestand und Waldqualität

Rund 30% der Landoberfläche der Erde wird von Wäldern bedeckt. Das entspricht fast 4 Mrd. ha (BMEL 2017). In den Ländern, von denen Deutschland in wesentlichen Mengen Primärfaserstoffe bezieht, hat der Waldbestand durch eine Ausweitung von Wirtschaftswald zugenommen (Abbildung 14). Ausnahmen sind allerdings Brasilien und Portugal.

Obgleich der Waldbestand in vielen Ländern zugenommen hat, ist in verschiedenen Regionen ein fortschreitender Rückgang des Anteils an Primär- und naturnahem Wald zu verzeichnen. Die Ursachen dafür sind vielschichtig.

Die Waldverluste in Portugal werden vor allem auf die zunehmende Häufigkeit von Waldbränden zurückgeführt (Ferreira 2013).

In Südamerika ist der Haupttreiber die industrielle Landwirtschaft. Vordringlich zu betrachten ist die Situation in Brasilien, wo der Waldverlust im Zeitraum 1990 bis 2015 rund 10% betrug und damit eine Fläche ausmacht, die dem Gesamtwaldbestand von Schweden und Finnland entspricht. Die Rodung von Primärwäldern und naturnahen Wäldern in Brasilien wird vor allem der Anlage von landwirtschaftlichen Nutzflächen zum Soja-Anbau oder zur Rinderzucht zugeschrieben, sowie der Gewinnung von Tropenholz für die Möbelindustrie (Hecking 2019, Zeit-Online 2019). In anderen Ländern in Südamerika würden zudem auch Anbauflächen für Palmöl und Kakao geschaffen (FCPF 2012, Spiegel 2018). Als weitere Ursachen für die Waldzerstörung in Südamerika herausgestellt werden vor allem der Bergbau (FAZ 2017), die Ausbreitung von Städten und Infrastrukturprojekten und die Deckung des wachsenden

Energiebedarfs, was sich im Abbau von Kohle und Ölsand im Tagebau oder in teilweise großen Wasserkraftprojekten widerspiegelt (Alencar 2014, Fearnside 2017, WWF 2018).

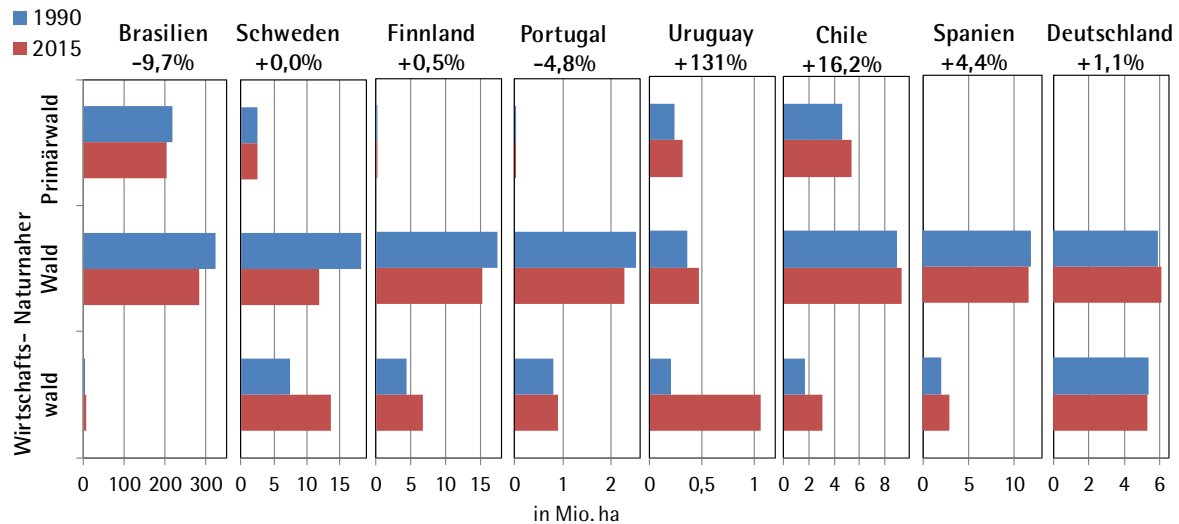


Abbildung 14 Vergleich der Waldbestände 1990 und 2015 in den Ländern, von denen Deutschland vorrangig Primärfaserstoffe bezieht, sowie für Deutschland.
 Prozentangabe in den Titeln: Änderung Waldbestand gesamt.
 (Portugal: Bezugsjahr 2000 statt 1990. Daten aus FAO 2016)

In Asien wird die Hauptursache für die Entwaldung vor allem in der industriellen Landwirtschaft gesehen, besonders dem Anbau von Ölpalmen, aber auch von Zucker, Reis und Kautschuk (WWF 2008, Yang 2009, WWF 2018, Faszination-Regenwald 2018). Auswertungen des WWF schreiben aber auch in Asien – und hier vor allem in Indonesien, aus Sicht der Entwaldung eines der Krisengebiete Asiens – den Waldverlust z.B. der Zellstoff- und Papierindustrie zu (WWF 2018). Als direkter Zellstoff- und Papierlieferant spielt Indonesien für Deutschland dabei nur eine untergeordnete Rolle, da z.B. 2019 kein Zellstoff und lediglich 14.500 t Papier von dort importiert wurden (Eurostat 2020); das ist 0,07% im Verhältnis zur deutschen Papierproduktion.

Insgesamt werden für die weltweiten Waldrodungen damit mehrere Hauptursachen verantwortlich gemacht: Die Wälder werden abgeholzt (Utopia 2019, bpb 2017, National Geographic 2018, National Geographic 2019),

- um das Holz zu nutzen (Beispiel Indonesien),
- um z.B. Palmöl- und Sojaplantagen anzulegen oder
- um an darunterliegende Rohstoffe zu kommen.
- Zudem fallen sie Waldbränden zum Opfer oder
- werden durch Feldwanderbau und Viehzucht verdrängt.

Die Aussage, der hohe Verbrauch an Zellstoff und Papier in Deutschland trage erheblich zur fortschreitenden Waldzerstörung bei, ist als Fazit der ausgewerteten Quellen nicht belegbar. Auch wenn ein Teil der Wälder genutzt wird, um unter anderem Holz für die Papierherstellung bereitzustellen, oder in einigen Regionen Südamerikas Naturwälder immer noch Holzplantagen zur Deckung des weltweiten Holzbedarfs der Zellstoff- und Papierindustrie weichen sollen (WWF 2018), weisen die vorliegenden Quellen und Hinweise darauf hin, dass die weltweite Rodung oder Umwandlung von Primär- und naturnahem Wald überwiegend anderen Zwecken als der Papierherstellung dient.

7.3.4.2 Anbaumethoden für Holz der nach Deutschland importierten Primärfaserstoffe

Die Fläche von Wirtschaftswäldern, aus denen Holz für die von Deutschland importierten Primärfaserstoffe entnommen werden, hat signifikant zugenommen (Abbildung 14). In allen genannten Ländern legen die Hersteller der Primärfaserstoffe Wert darauf, dass keine Holzentnahmen aus Primär- oder naturnahen Wäldern erfolgen. So stammt nach Aussage der brasilianischen Holzagentur iba Holz für den Einsatz in der Zellstoff- und Papierindustrie ausschließlich aus Plantagenwäldern (Hartung 2019).

Es gibt auch kritische Entwicklungen. Für Chile wird berichtet, dass für Holz-Monokulturplantagen Naturwälder weichen mussten (Dlf 2019).

Mit der Vergabe einschlägiger Zertifizierungen wie z.B. FSC oder PEFC wird angestrebt, Wirtschaftswälder und insbesondere Holzplantagen nicht auf Kosten von Primär- und naturnahen Wäldern anzulegen. Durch Unterstützung der Forstzertifizierung kann die Zellstoff- und Papierindustrie positiv auf Erhalt und Vermehrung des Waldbestands wirken. Auf die ökologische Einstufung von Holzplantagen wird weiter unten in diesem Kapitel eingegangen.

7.3.4.3 Indirekter Import von illegal eingeschlagenem Holz über Holz- oder Papierprodukte

Entsprechend der EU-Holzhandelsverordnung (EU 2010) müssen Marktteilnehmer, die Holz und Holz-erzeugnisse erstmals auf dem EU-Binnenmarkt in Verkehr bringen, Sorgfaltspflichten einhalten und damit nachweisen, dass die Produkte aus legalem Einschlag stammen. Die Sorgfaltspflichten umfassen unter anderem Belege zur Art und Herkunft des Holzes, eine Bewertung der Risiken von illegalem Holzeinschlag sowie Vorschläge zur Minderung solcher Risiken. Mit der Ausnahme von Büchern, Broschüren, Zeitschriften, Fotos sowie weiteren Produkten, in denen der Druck selbst das wesentliche Produkt darstellt, fallen auch Papierprodukte unter die EU-Holzhandelsverordnung. Dazu zählen u.a. Verpackungen, Schreib- und Kopierpapier, Toilettenpapier oder Reinigungs- und Taschentücher (NEPCon 2020, EU 2013).

Vor allem in Asien werden teils Wälder – auch in Schutzgebieten – illegal für die Zellstoffindustrie abgeholzt. Bücher, aus dem so gewonnenen Tropenholz beispielsweise in China hergestellt, gelangen so auch auf den deutschen Markt (EIA 2005, WWF 2018). Allerdings ist der Marktanteil gering. Die Produktmenge an Büchern, Zeitungen und anderen grafischen Papierprodukten, die aus China und Hongkong 2019 nach Deutschland importiert wurde, beträgt rund 30.000 t (Eurostat 2020). Selbst für den hypothetischen Fall, dass diese gesamte Menge aus illegal eingeschlagenem Holz hergestellt wäre, entspräche dies einem Verhältnis von Papier aus illegal eingeschlagenem Holz zu deutscher Papierproduktion von 0,14%. Real dürfte der Wert niedriger liegen.

7.3.4.4 Ökologische Bewertung von Plantagen

Es existiert eine Reihe von Bedenken gegenüber einer exzessiven Plantagenwirtschaft. Da es sich häufig um Monokulturen handelt, muss deren Einfluss auf Biodiversität und Bodenqualität kritisch geprüft werden. Das Beispiel Portugal macht auch soziale Risiken deutlich, da die leicht entflammaren Eukalyptus-Wälder eine nicht zu unterschätzende Gefahr für Gesundheit und Leben der Bevölkerung darstellen (Ferreira 2013).

Andererseits nimmt die Anlage von Holzplantagen den Druck von den Primär- und Sekundärwäldern. Um den negativen Auswirkungen von Monokulturen entgegenzuwirken, können diese beispielsweise durch geeignete Mischwälder ersetzt werden, was in Deutschland seit den 1990er Jahren praktiziert wird.

Nicht nur in Deutschland, auch weltweit ist die Wiederaufforstung erfolgreich. Ein Grund ist die 2011 verabschiedete Bonn Challenge – ein globales Projekt, das bisher 58 Länder unterzeichneten, die damit formelle Zusagen zur Wiederaufforstung gaben. Die Länder verpflichteten sich, dabei zu helfen, bis 2030 ca. 1,35 Mio. Quadratmeilen neuen Wald zu pflanzen. Ein detaillierter Blick auf die zugehörigen

Regierungserklärungen zeige aber, dass fast die Hälfte der neuen Wälder Monokultur-Plantagen mit schnell wachsenden Bäumen wie Akazien und Eukalyptus und nur rund ein Drittel natürliche Wälder sein werden (Yale 2019). Die Monokultur-Plantagen unterstützen zwar die lokale Wirtschaft, speichern aber deutlich weniger Kohlenstoff als natürliche Wälder (Lewis 2019). Nach einer Publikation der Yale School of Forestry & Environmental Studies ist die Kohlenstoff-Bindung von natürlichen Wäldern 40-mal höher als die von Monokultur-Plantagen, die einmal im Jahrzehnt geerntet werden. Durch die Wiederaufforstung von natürlichen Wäldern könnte daher auf Dauer mehr CO₂ gebunden werden als mit Monokultur-Plantagen.

Auch andere Vereinbarungen zur Wiederaufforstung – z.B. im Rahmen von Pariser Klimaschutzzusagen – sind laut Yale (2019) nicht ausreichend zielführend. Unter anderem sollen in Brasilien 82% und in China 99% der angekündigten Waldrestaurierung Monokultur-Plantagen und keine natürlichen Wälder sein. Auch wenn viele Plantagen der Definition eines Waldes der UN-Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation⁶ entsprechen, so fehle ihnen vor allem die biologische Vielfalt natürlicher Wälder (Lewis 2019).

Mit dem Projekt „New Generation Plantations“ will der WWF zeigen, dass gut geführte Plantagen durchaus dazu beitragen können, die biologische Vielfalt zu erhalten und menschliche Bedürfnisse zu befriedigen, während sie gleichzeitig zum Wirtschaftswachstum beitragen. Dafür soll beim Anlegen und der Bewirtschaftung unter anderem darauf geachtet werden, dass die Integrität des Ökosystems erhalten bleibt, dass die Plantagen unter Einbeziehung der verschiedenen Interessensgruppen entwickelt werden und dass sie einen Beitrag zu Wirtschaftswachstum und Beschäftigung für die lokale Bevölkerung liefern. Teilnehmer an diesem Projekt engagieren sich auch für den Erhalt und die Wiederherstellung der Naturwälder rund um ihre Plantagen. (NGP 2020)

7.4 Exkurs: Alternative Rohstoffe

Alternativen zu den etablierten Rohstoffen der Papierherstellung wurden auf den Markt gebracht. Inwieweit sind damit hergestellte Papiere ökologisch vorteilhaft? Betrachtet werden sollen an dieser Stelle sogenanntes Steinpapier und Papiere mit Anteilen an Nicht-Holz-Faserrohstoffen.

7.4.1 Sogenanntes Steinpapier

Sogenanntes Steinpapier ist eine Folie aus Polyethylen, die mit hohen Anteilen (80%) an Calciumcarbonat gefüllt ist (Stone Paper 2020, Affeldt 2016). Damit ergeben sich vom Material Papier abweichende Eigenschaften; dennoch lassen sich in einzelnen Anwendungen beide Materialien einsetzen. Aussagen zur ökologischen Vorzügen oder Nachteilen bedürfen einer vergleichenden Ökobilanz bezogen auf die konkrete Anwendung und Funktion. Normgerechte Ökobilanzen hierzu liegen nicht vor. Es existiert eine Master-of-Science-Arbeit, die Polypropylenfolie, gestrichenes Papier und Steinpapier in der Anwendung Produkt-Etiketten vergleicht. Im Ergebnis wird keinem der Materialien ein wesentlicher ökologischer Vorteil zugeschrieben (Affeldt 2016).

Mit der gegebenen Materialzusammensetzung ist aktuell kein Recycling möglich. Angesichts des irreführenden Namens bedarf es zudem klarer Hinweise an die Verbraucher, um eine Querbelastung des Altpapierrecyclings niedrig zu halten.

⁶ Mehr als 0,5 Hektar Fläche, mindestens 5 Meter hohe Bäume und mehr als 10% Überdachung (UN 2015).

7.4.2 Papier aus Stroh, Gras und anderen Nicht-Holz-Faserrohstoffen

Alternativen zum Faserrohstoff Holz wurden in den letzten Jahren beforscht und in Anteilen zur Herstellung von Papieren eingesetzt. Es geht hier um biogene Materialien wie Stroh, Gras, Trester, Spelzen oder Rückstände von Pflanzenextraktionen, die ohne Faseraufschluss eingesetzt werden – nur nach Trocknung und Zerkleinerung – und die der Papierrezeptur zugesetzt werden (Dietz 2014, Cruse 2015). Da die Aufbereitung energiearm und mit hoher Ausbeute möglich ist, erscheint der Einsatz in erster Betrachtung unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten vorteilhaft, insbesondere wenn es sich um Reststoffe handelt und Transportwege kurz sind.

Wesentlich für die Frage, ob sich tatsächlich ökologische Vorteile realisieren lassen, ist der korrekte Produktvergleich – die alternativen Produkte müssen die gleichen Funktionen erfüllen können wie die Referenzprodukte. Zugfestigkeit und verwandte mechanische Papiereigenschaften (Weiterreißfestigkeit, Streifenstauchwiderstand) stellen für viele Papieranwendungen wesentliche Materialmerkmale dar. Ohne einen mindestens mechanischen, zumeist jedoch chemischen Faseraufschluss der alternativen Faserstoffe tragen jene nicht oder nur geringfügig zur Zugfestigkeit bei. Das heißt im Umkehrschluss: Um die notwendigen Festigkeitswerte einzuhalten, müssen Beimischungen der genannten Materialien dadurch ausgeglichen werden, dass die flächenbezogene Masse (Materialstärke) erhöht wird oder qualitativ höherwertige Fasern beigemischt werden. In diesem Fall resultiert im Allgemeinen eine gegenüber dem Referenzprodukt schlechtere Ökobilanz des alternativen Produkts.

Für grafische Papiere, gegebenenfalls aber auch für andere Papiersorten, sind optische Eigenschaften wesentlich. Rein mechanisch aufbereitete Nicht-Holz-Faserrohstoffe führen hier in der Regel zu Einbußen. Im Einzelfall können diese Effekte allerdings als spezielles Verkaufskriterium erwünscht sein.

Ökologisch vorteilhaft kann unter Umständen der Einsatz von Nicht-Holz-Pflanzen nach Aufschlussverfahren sein, oder der Einsatz in Papierprodukten, bei denen ein Verlust an Zugfestigkeit oder verwandten Festigkeitsgrößen sowie optischen Eigenschaften unkritisch ist. Auch liefern zahlreiche durch einfache Mahlung aufbereitete biogene Materialien bei gezieltem Einsatz einen Beitrag zum Festigkeitsparameter Biegesteifigkeit. Dieser ist insbesondere bei Karton-Sorten ein zentrales Produktmerkmal. Die flächenbezogene Masse kann dann aufgrund der Beimischung gegebenenfalls sogar herabgesetzt werden.

Maßgeblich für die Bewertung ist stets eine nach gültigen Standards ausgeführte Ökobilanz für konkrete Produktanwendungen. Dabei ist die funktionale Einheit der Ökobilanz so zu wählen, dass die zu vergleichenden Varianten die gleiche Funktion erfüllen können. Je nach Anwendung kann hierfür eine Flächeneinheit Papier (m^2 Papier) aussagekräftig sein, oder ein vollständiges Produkt (Buch, Faltschachtel etc.). Kritisch zu betrachten sind demgegenüber Ökobilanzen auf Basis der Masse (t Faserrohstoff, t Papier) – und damit der Vergleich von Produkten, die gegebenenfalls nicht die gleiche Funktion erfüllen.

Weiterhin ist das Recycling von Papieren mit Nicht-Holz-Faseranteilen zu beachten. Die Effekte eines reduzierten Festigkeitspotenzials oder optische Inhomogenitäten sind bei den derzeit eingesetzten Mengen zwar vernachlässigbar, können aber prospektiv die Qualität des betroffenen Altpapiers negativ beeinflussen.

8. Nachhaltigkeit des Rohstoffs Altpapier

8.1 Rohstoffherkunft Altpapier

8.1.1 Altpapiereinsatz

Zur Herstellung von Papier wurden in Deutschland im Jahr 2019 insgesamt 17,2 Mio.t Altpapier eingesetzt (Tabelle 9). Daraus ergibt sich eine Altpapiereinsatzquote, das ist der auf die Papierproduktion bezogene Altpapiereinsatz, von 77,7% (vgl. Abbildung 16). Die höchste Altpapiereinsatzquote verzeichnet die Gruppe der Verpackungspapiere mit 101%. Bei den übrigen Papiersorten liegt die Altpapiereinsatzquote bei etwa 50% (vgl. Tabelle 9).

8.1.2 Altpapieraufkommen in Deutschland

Das Altpapieraufkommen in Deutschland beträgt 14,8 Mio.t (Stand 2019). Nach älteren Auswertungen (VDP 2014) speist sich dieses Aufkommen zu etwa 90% aus den verschiedenen Sammelsystemen für Altpapier im Post-Consumer-Bereich der Haushalte und Gewerbe. Die anderen 10% werden im Pre-Consumer-Bereich erfasst, z.B. als Verarbeitungsverschnitt und als unverkaufte Druckprodukte (Remittenden). Neuere Auswertungen liegen nicht vor; auch im Folgenden wird auf Auswertungen des VDP (2014) verwiesen.

Bei einer rechnerischen inländischen Papiernutzung von 18,9 Mio. t im Jahr 2019 ergibt sich aus dem obigen Altpapieraufkommen eine Rücklaufquote von 78,0%. Die rechnerische Papiernutzung berücksichtigt die Produktion von (unverarbeitetem) Papier nach Ex- und Import. Die Papiermenge, die in Deutschland letztlich genutzt wird, ist vor allem wegen des Exportüberschusses verarbeiteter Papiere geringer (vgl. Abbildung 2 und Abschnitt 5.4). Bei einer rechnerischen Papiernutzung von 20,1 Mio. t im Jahr 2012 gab der VDP diese Menge mit 17,4 Mio. t an (VDP 2014), das heißt. 14% niedriger.

8.1.3 Verluste im Papier-Altpapier-Kreislauf

Gewisse Stoffmengen verlassen den Papier-Altpapier-Kreislauf (Abbildung 2). Neben Ex- und Importen, worauf in den Abschnitten 8.1.4 bis 8.1.6 näher eingegangen wird, sind dies:

- Schlämme und Rejekte der Stoffaufbereitung von Altpapier: Für einen Wiedereinsatz zur Papierherstellung müssen dem Altpapier unerwünschte Bestandteile wie Beschichtungen und Druckfarben entfernt werden, insbesondere für Hygienepapiere auch Mineralstoffe. Unausweichlich gehen dabei auch Faserstoffe verloren. Betrachtet man als Rückstand der Stoffaufbereitung die Differenz der Papierproduktion (2019: 22,1 Mio. t) zum Rohstoffeinsatz (2019: 25,9 Mio. t) von 3,8 Mio. t und bezieht diese auf den Altpapiereinsatz (2019: 17,2 Mio. t; Daten aus VDP 2020), ergibt sich ein spezifischer Verlust von rund 22% (vgl. auch UBA 2019). Gegenwärtig werden weniger als 2% der Rückstände deponiert. Hingegen erfolgt für ca. 33% der Rückstände eine weitere werkstoffliche Verwertung in der Bauindustrie oder in anderen Industriezweigen. Etwa 61% der Rückstände werden energetisch verwertet, der Rest biologisch (Bienert 2018).

In Tabelle 8 sind typische Verlustquoten bei der Stoffaufbereitung von Altpapier zusammengefasst. Die angegebenen Schwankungsbreiten ergeben sich aus dem Einsatz unterschiedlicher Altpapiersorten und unterschiedlichen Qualitätszielen.

- Nicht dem Altpapierrecycling zugehende Mengenströme: Aus einer Bilanz der Altpapierströme wurden folgende Ströme und Mengen ermittelt (VDP 2014):

- Verluste im Haushalt über Abwasser und durch Nutzung als Brennstoff z.B. in Herden und Kaminen – geschätzt 0,8 Mio. t
- Nicht verwertbare Abfallpapiere (z.B. Hygienepapiere, Tapeten, Trafopapiere, Backpapiere usw.) beim Endverbraucher – geschätzt 1,7 Mio. t
- Langlebige Produkte – geschätzt 0,3 Mio. t
- Sammelfähiges Altpapier, welches aber in den Restmüll oder andere Abfallsysteme gelangt, aus denen Altpapier nicht abgetrennt wird – geschätzt 1,2 Mio. t

Tabelle 8 *Typische Stoffverluste in der Stoffaufbereitung von Altpapier.
(Pivnenko 2016 unter Verwendung von Daten aus Holik 2013)*

Hauptsorte	Verlustanteile bei der Altpapierzerfaserung	Verlustanteile in der weiteren Stoffaufbereitung (Schlämme)
Verpackungspapiere	4-8%	0-1%
Grafische Papiere	0-7%	8-21%
Hygienepapiere	4-7%	23-38%
Spezialpapiere	4-6%	27-40%

8.1.4 Papierexport und -import

Weitere Mengen verlassen den deutschen Papier-Altpapier-Kreislauf durch die Exportüberschüsse bei Papier und verarbeiteten Papierprodukten. Für unverarbeitete Papiere beträgt der Exportüberschuss 3,2 Mio. t. Mit einem Exportüberschuss von alleine 2,5 Mio. t sind Verpackungspapiere dabei dominierend (VDP 2020). Der Exportüberschuss bei verarbeiteten Papieren wurde für das Jahr 2012 mit 1,7 Mio. t abgeschätzt (VDP 2014).

8.1.5 Altpapierexport und -import

Das Altpapieraufkommen durch die Sammlung in Deutschland beträgt 14,8 Mio. t im Jahr 2019 (VDP 2020). Gemessen am Altpapiereinsatz von 17,2 Mio. t (siehe Abschnitt 8.1.1) ist Deutschland somit Netto-Importeur von Altpapier. Einem Export von 2,5 Mio. t Altpapier steht ein Import von 4,9 Mio. t gegenüber (VDP 2020). Altpapiere, die für die Herstellung grafischer Papiere geeignet sind, machen etwa zwei Drittel des Nettoimports aus, während das übrige Drittel vorzugsweise zur Herstellung von Verpackungspapieren verwendet wird (Destatis 2020).

Hauptbezugsquellen der von Deutschland importierten Altpapiere sind die unmittelbaren Nachbarländer sowie das Vereinigte Königreich. In diese Länder erfolgt vorzugsweise auch der Export von Altpapier (Destatis 2020). Darüber hinaus wurde 2019 Altpapier im nennenswerten Umfang in Länder Asiens, vor allem nach Indien, Thailand, Indonesien, Vietnam und China exportiert. Das Statistische Bundesamt gibt hierfür eine Menge von 0,34 Mio. t an (Destatis 2020), der VDP (2020) 0,46 Mio. t. Dabei handelt es sich überwiegend um krafthaltige Altpapiere und alte Wellpappen.

8.1.6 Direkter und indirekter Papierexport und -import

Neben dem Import und Export von Altpapier existieren weitere internationale Warenströme, die zu einem Austausch des Faseraufkommens im Papier-Altpapier-Kreislauf Deutschlands beitragen:

- Import und Export von Papier: Einem Import von 10,5 Mio. t steht ein Export von 13,7 Mio. t gegenüber (vgl. Tabelle 1). Alleine 4,0 Mio. t Papier werden aus Finnland und Schweden importiert (VDP

2020). Auf Grund der relativ niedrigen Altpapiereinsatzquote in diesen Ländern handelt es sich um Papiere mit hohem Primärfaserstoffanteil, wodurch das Faseralter im nationalen Altpapierkreislauf Deutschlands aufgefrischt wird.

- Ein- und Ausfuhr von Produktverpackungen: Das Mengenfließbild des VDP für 2012 weist einen Nettoimportüberschuss von 0,4 Mio. t „gefüllten“ Papierverpackungen aus (VDP 2014). Das sind Transport-, Verkaufs- und Umverpackungen, in denen die eigentlichen Produkte transportiert und geschützt werden. Ausschlaggebend sind vor allem die Importüberschüsse mit jenen asiatischen Ländern, aus denen Konsumgüter importiert werden, z.B. China, Malaysia, Thailand, Taiwan und Bangladesch. Es wurde geschätzt, dass aus China und Fernost 10–15 Mio. t „gefüllte“ Papierverpackungen in die gesamte Welt exportiert werden (Miranda 2010).

8.2 Recyclingquoten im Vergleich

8.2.1 Definitionen

Die Bewertung und der Vergleich des Papierrecyclings erfolgt auf der Basis verschiedener Quoten, deren Definition innerhalb der Länder des CEPI-Raumes harmonisiert ist (Abbildung 15).

Altpapiereinsatz	Im Inland eingesetzte Gesamtmenge an Altpapier zur Produktion von Papier (Altpapieraufkommen + Import von Altpapier - Export von Altpapier)
Erzeugte Papiermenge	Erzeugte Papiermenge (unverarbeitet)
Rechnerischer Papiereinsatz	Inländische Papiererzeugung + Import von Papier - Export von Papier
Altpapieraufkommen	Durch Sammelsysteme im Inland erfasste Altpapiermengen



Abbildung 15 Der Papier-Altpapier-Kreislauf wie in Abbildung 2, ergänzt durch Bilanzpunkte, die für die Berechnung von Quoten maßgeblich sind.

Daraus werden folgende Quoten berechnet:

Altpapierrücklaufquote = $\text{Altpapieraufkommen} / \text{Rechnerischer Papiereinsatz}$

Altpapiereinsatzquote = $\text{Altpapiereinsatz} / \text{Erzeugte Papiermenge}$

Die beiden Quoten beschreiben somit verschiedene Teilaspekte des Papier-Alt Papier-Kreislaufs. Die Entwicklung der Werte für Deutschland gibt Abbildung 16 wieder.

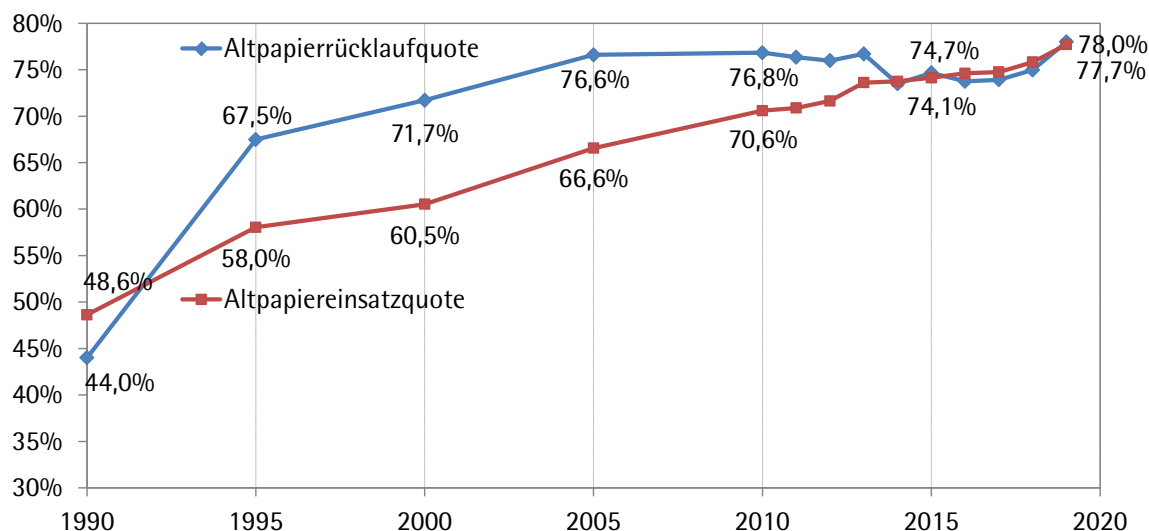


Abbildung 16 Rücklauf- und Einsatzquoten für Altpapier in Deutschland seit 1990. (Daten aus VDP 2020)

8.2.2 Bedeutung der Altpapiereinsatzquote

Die Altpapiereinsatzquote ist ein Indikator für die Substitution von Primär- durch Sekundärfaserstoffe beim Herstellungsprozess. Die Berechnung erfolgt unter Bezug auf die produzierte Papiermenge. Die Einsatzquote bei einzelnen Werken, die ausschließlich Altpapier einsetzen, kann aufgrund der Aufbereitungsverluste rechnerisch über 100% liegen.

Eine Reihe von Umständen verhindert einen vollständigen Ersatz von Primärfaserstoffen durch Sekundärfaserstoffe.

Erster Grund sind die notwendigen Reinigungsprozesse bei der Aufbereitung von Altpapier zur erneuten Papierherstellung, in deren Zuge neben der Entfernung von papierfremden Stoffen wie zum Beispiel Kunststoffen, Heftklammern und Klebern sowie z.T. Mineralstoffen auch Fasern verloren gehen (vgl. Abschnitt 8.1.3). Darüber hinaus kommt für bestimmte Papiersorten aus technischen, hygienischen oder lebensmittelrechtlichen Gründen ein Altpapiereinsatz derzeit nicht in Frage. Schlussendlich limitiert die mengenmäßige und wirtschaftliche Verfügbarkeit von Altpapiersorten deren Verwendung. Weite Lieferwege oder ein unter der Nachfrage liegendes Angebot an Altpapieren können den Altpapiereinsatz beschränken.

Für die Hauptpapiersorten sind sortenspezifische Altpapiereinsatzquoten in Tabelle 9 dargelegt. Sie machen deutlich, dass die sortenspezifischen Einsatzquoten deutlich von der Gesamt-Einsatzquote über alle Sorten abweichen.

Tabelle 9 Sortenspezifische Altpapiereinsatzquoten in Deutschland 2019. (VDP 2020; Quote berechnet)

	Verpackungs- papiere	Grafische Papiere	Hygiene- papiere	Spezialpapiere
Produktion in Mio. t	12,1	7,1	1,5	1,4
Einsatz von Altpapier in Mio. t	12,2	3,8	0,8	0,6
Altpapiereinsatzquote	101%	53%	51%	44%

Bereits jetzt erfolgt die Herstellung von Verpackungspapieren fast ausschließlich auf Basis von Altpapier. Nur noch für einige wenige Verpackungspapiere, z.B. für jene mit Lebensmittelkontakt, wird auf Primärfaserstoffe zurückgegriffen.

Innerhalb der Gruppe der grafischen Papiere ist die Situation eher heterogen. Für die Herstellung von Zeitungspapier wird in Deutschland fast ausschließlich Altpapier eingesetzt. Andere grafische Papiere haben Produktspezifikationen – beispielsweise Bedruckbarkeit, Reißfestigkeit, Farbwiedergabe oder Langzeitverhalten –, die den Einsatz von Altpapier limitieren.

Eine ähnliche Situation kann für die Gruppe der Spezialpapiere festgestellt werden. Für einige Produkte wird Altpapier eingesetzt (z.B. Rollenhülsen, Malerzubehör), während andere Produkte (z.B. Dekorpapier, Fotopapier) ausschließlich Primärfaserstoffe nutzen.

In der Gruppe der Hygienepapiere hat sich die Altpapiereinsatzquote von 74% im Jahr 2000 auf 51% im Jahr 2019 verringert. Neben einem zunehmenden Anteil von papierbasierten Sanitärprodukten, für die ein Altpapiereinsatz nur stark eingeschränkt möglich ist (z.B. Inkontinenzprodukte), haben auch Konsumpräferenzen etwa bei Toilettenpapier zu dieser Entwicklung beigetragen.

8.2.3 Exkurs: Altpapieranteil im Fertigpapier

Die Altpapiereinsatzquote gibt nicht den Anteil an Sekundärfasern im fertigen Papier wieder. Unerwünschte Bestandteile im Altpapiereinsatz müssen in den Werken ausgeschleust werden (Abschnitt 8.1.3). Es muss also eine höhere Altpapiermenge eingesetzt werden, als ins Papier gelangt. Bei Primärfaserstoffen dagegen gelangt die zur Papierherstellung eingesetzte Menge weitgehend vollständig ins Papier.

Der deutschlandweite mittlere Altpapieranteil im Fertigpapier kann somit abgeschätzt werden: Wird angenommen, dass die Differenz zwischen Rohstoffeinsatz und Produktionsmenge ausschließlich auf ausgeschleuste Mengen im Zuge der Altpapierreinigung zurückzuführen ist (2019: 3,6 Mio. t), und wird die resultierende Altpapiermenge nach der Reinigung (2019: 13,5 Mio. t) auf die Papierproduktion (2019: 22,1 Mio. t) bezogen, so ergibt sich ein mittlerer Anteil von Altpapier in den Fertigpapieren von rund 60%. (alle Werte VDP 2020)

8.2.4 Bedeutung der Altpapierrücklaufquote

Die Altpapierrücklaufquote charakterisiert die Effektivität des Altpapiererfassungssystems. Wie im nachfolgenden Abschnitt 8.3 detailliert aufgeführt wird, existieren eine Reihe Faktoren, die den Umfang des Recyclings grundsätzlich limitieren, wie zum Beispiel die Menge der nicht für ein Recycling geeigneten Papiere (Hygienepapiere, technische Papiere) sowie Papiere in Langzeitverwendung. Nimmt man einen Anteil von etwa 15% dieser Produktkategorien an der Papiernutzung an, dann ist eine maximale Rücklaufquote von etwa 85% technisch möglich. Dabei ist davon auszugehen, dass eine Annäherung der Erfassungsmenge an das theoretische Maximum mit einem stetig steigenden Aufwand bei Sammlung, Logistik und Aufbereitung einhergeht.

Statistisch erfasste Rücklaufquoten von über 100% in einzelnen Ländern (Norwegen, Schweiz) sind möglicherweise auf Importüberschüsse an verarbeiteten Papierprodukten oder „gefüllten“ Verpackungen zurückzuführen.

In die Rückführquote geht der rechnerische Papiereinsatz ein, der den Netto-Außenhandel an verarbeiteten Papierprodukten unberücksichtigt lässt (vgl. Abschnitt 5.4 und die Import-/Exportpfeile unten rechts in Abbildung 15). Entsprechend wäre ein treffenderes – aber aufwändigeres und gegebenenfalls international abzustimmendes – Rechenverfahren denkbar, das in Deutschland angesichts eines Exportüberschusses an verarbeiteten Papierprodukten nominell eine höhere Rückführquote ausweisen würde (s.a. COST 2010).

8.2.5 Altpapiereinsatzquote im europäischen Vergleich

Die Altpapiereinsatzquoten in den europäischen Ländern unterscheiden sich deutlich voneinander. Sie liegen zwischen 6% in Finnland und 89% in Ungarn. Die Werte können im Zusammenhang mit den Möglichkeiten zum Aufbau von effizienten und flächendeckenden Altpapier-Erfassungssystemen sowie der Verfügbarkeit und Nutzung von Waldbeständen gesehen werden. Die in den beiden Ländern mit den niedrigsten Quoten – Finnland mit 6% und Schweden mit 11% – produzierten Papiere, die entsprechend überwiegend frischfaserbasiert sind, werden vorrangig in den CEPI-Raum exportiert. Sie führen den dortigen nationalen Papier-Altpapier-Kreisläufen Frischfasern zu und unterstützen somit hohe Altpapiereinsatzquoten von 80% und mehr, zum Beispiel in Ungarn, Rumänien, Spanien und im Vereinigten Königreich (alle Daten CEPI 2020). In den letzten 30 Jahren hat sich die Altpapiereinsatzquote für den gesamten CEPI-Raum stetig erhöht (Abbildung 17).

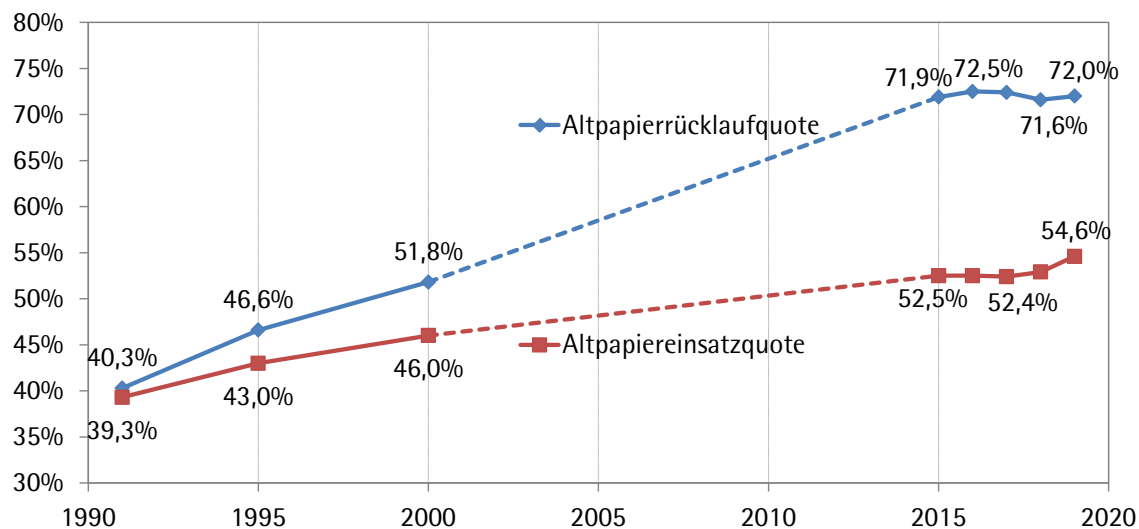


Abbildung 17 Altpapierrücklauf- und -einsatzquote im CEPI-Raum. (Daten aus CEPI 2020, COST 2010)

8.2.6 Altpapierrücklaufquote im internationalen Vergleich

Die Altpapierrücklaufquote hat sich im CEPI-Raum bei einem Wert von etwa 72% eingeepegelt und liegt deutlich über den Rücklaufquoten in anderen Regionen der Welt (Tabelle 10). Einige Länder, zum Beispiel das Vereinigte Königreich, die Slowakei und Slowenien, haben Rücklaufquoten von über 80% erzielt. Die Rücklaufquoten in Ländern mit noch in Entwicklung befindlichen Erfassungssystemen sind hingegen teilweise noch niedrig, z.B. Polen mit 46%. (CEPI 2020)

Tabelle 10 Altpapierrücklaufquote in Deutschland, Regionen und weltweit 2017.
(VDP 2020, CEPI 2020, EPRC 2018)

	Deutsch- land	CEPI- Raum	Nord- amerika	Asien	Latein- amerika	Afrika	Welt
Altpapierrücklauf- quote	78,0%	72,0%	66%	53,6%	45,8%	36,7%	58,4%

8.3 Chancen und Grenzen des Recyclings

Das Recycling von Altpapier trägt wesentlich zu einem nachhaltigen Wirtschaften bei. Dadurch werden natürliche Ressourcen geschont, sodass eine Vielzahl umweltpolitischer Maßnahmen auf eine Erhöhung von Rücklauf- und Einsatzquoten von Altpapier zielen. Damit ist unmittelbar verbunden, die Lebensdauer von Zellulosefasern zu verlängern.

Als Lebensdauer von Fasern wird die Anzahl der Herstellungszyklen bezeichnet, das heißt wie oft sie einen Papierherstellungsprozess durchlaufen. Klar zu unterscheiden sind die tatsächliche Lebensdauer im realen Papier-Altpapier-Kreislauf und die maximal mögliche Verwendbarkeit aufgrund der Fasereigenschaften unter typischen Prozessbeeinflussungen. Die maximal mögliche Verwendbarkeit kann in Laborversuchen ermittelt werden. Sie ist letztlich nicht ausschlaggebend für maximal mögliche Recyclingquoten, wie im Weiteren dargestellt wird.

8.3.1 Tatsächliche Häufigkeit der Faserverwendung

Die tatsächliche Lebensdauer von Fasern kann nicht direkt gemessen werden. Sie kann jedoch aus Mengenbilanzen der verschiedenen Eingangs-, Ausgangs- und Querströme im Papier-Altpapier-Kreislauf abgeleitet werden, wobei die in Abschnitt 8.2 definierten Quoten wesentlich eingehen.

Die Betrachtung erfolgt für einzelne Papierprodukte oder Papiersorten. Zwei Lebensdauer-Kennwerte können definiert werden: Das sogenannte Faseralter charakterisiert die vergangene Fasernutzung, die Anzahl zukünftiger Verwendungszyklen die dem Gebrauch folgende Fasernutzung. Für die Gesamtheit der Fasern in einem Produkt sind beide Kennwerte statistisch verteilt.

Das Faseralter beschreibt die Anzahl der Nutzungszyklen einer Faser seit deren Extraktion aus dem Holz. Je mehr Altpapierfasern zum Einsatz kommen, umso mehr kann die statistische Verteilung des Faseralters hin zu hohen Werten verschoben sein. Komplementär zum Faseralter kann im selben Papierprodukt die Anzahl zukünftiger Verwendungszyklen der Fasern definiert werden. Diese Zahl gibt an, wie oft eine Faser bis zu Ihrem Lebensende in weiteren Papierprodukten zum Einsatz kommt. Je besser die Recyclingfähigkeit eines Papierproduktes ist, umso mehr verschiebt sich die Verteilung hin zu hohen Verwendungszahlen. Sowohl im Faseralter als auch in der Anzahl zukünftiger Verwendungen ist die Nutzung der Faser im aktuellen Produkt eingerechnet. Ein Faseralter von 1 bedeutet, dass die Faser eine Primärfaser ist. Eine Anzahl zukünftiger Verwendungen von 1 bedeutet, dass die Faser nach der Nutzung im Papierprodukt nicht mehr für die Papierherstellung eingesetzt wird. Letzteres trifft für nahezu alle Fasern in Hygiene- und Spezialpapieren zu.

Im Rahmen eines europäischen Forschungsvorhabens wurden diese Lebensdauer-Kennwerte für einzelne Papiersorten für den Wirtschaftsraum der CEPI-Länder berechnet (Meinl 2016). Abbildung 18 zeigt die statistischen Häufigkeitsverteilungen der Kennwerte anhand von drei Papiersorten. Dies sei anhand von Zeitungspapier erläutert: Entsprechend dem Diagramm oben links in der Abbildung befinden sich in einer typischen Zeitung innerhalb des Betrachtungsrahmens 27% der Fasern in ihrem ersten Zyklus – sind also Primärfasern –, 47% als Recyclingfasern im zweiten Verwendungszyklus, 17% im dritten

Zyklus etc. Für 38% der Fasern (Diagramm unten links) wird dies die letzte Verwendung sein, 30% haben statistisch noch einen weiteren Zyklus vor sich etc.

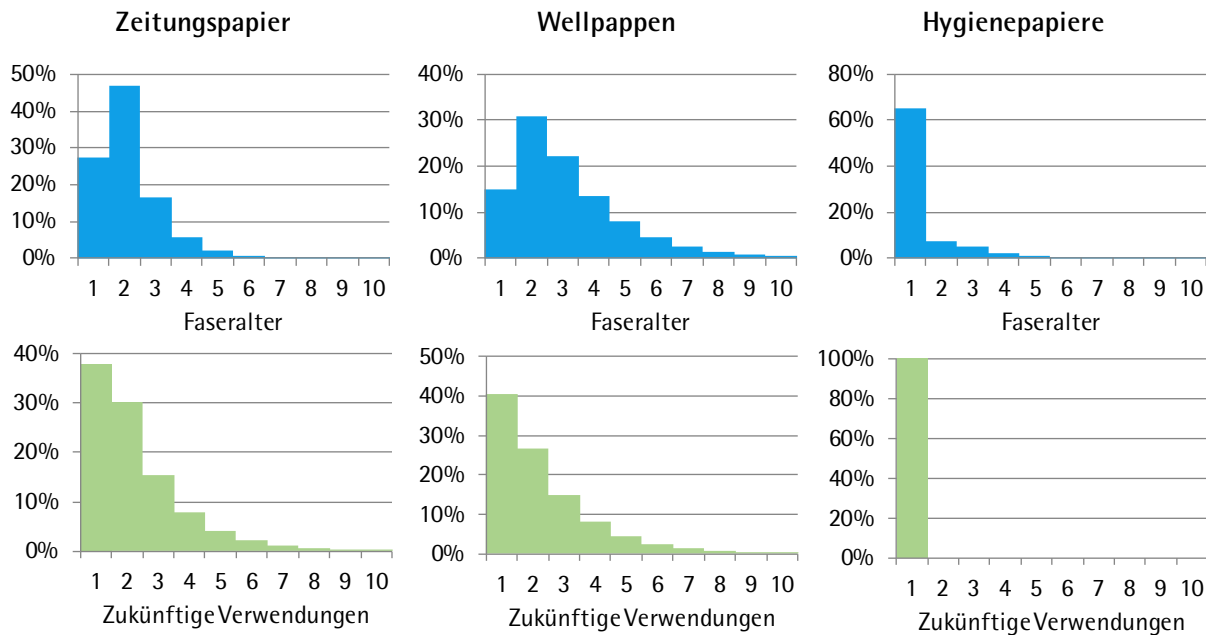


Abbildung 18 Häufigkeitsverteilungen des Faseralters (obere Reihe) sowie der Anzahl zukünftiger Faserverwendungen (untere Reihe) beispielhaft für drei Papiersorten im Wirtschaftsraum der CEPI-Länder, aus statistischen Daten abgeleitet. (Stand 2014, Daten aus Meinel 2017).

Wird schließlich die Summe aus beiden Lebensdauerkenntwerten für eine Faser gebildet und 1 subtrahiert, erhält man für alle Fasern einer Papiersorte eine geschätzte tatsächliche Lebensdauer beginnend von der ersten bis zur letzten Verwendung in Papieren.

Für Fasern in Wellpappen ergibt sich aus Abbildung 18 ein deutlich höheres Faseralter als in anderen Papiersorten. Dies folgt unter anderem aus der Altpapiereinsatzquote, die für diese Papiersorte sowohl in Deutschland als auch im CEPI-Raum sehr hoch ist. Die Verteilungen der zukünftigen Faserverwendungen sind hingegen über alle Papiersorten außer den erwähnten Hygiene- und Spezialpapieren relativ ähnlich. Ein Grund ist, dass die verschiedenen nationalen und regionalen Systeme der Altpapiererfassung versuchen, alle sammelfähigen Altpapiersorten im gleichen Maße zu erreichen.

8.3.2 Maximale physikalische Verwendbarkeit von Fasern

Aus Abbildung 18 kann entnommen werden, dass in Europa bereits jetzt ein Teil der Fasern bis zu zehnmal wiederverwendet wird. In Deutschland ist dieser Anteil angesichts höherer Altpapiereinsatz- und Altpapierrücklaufquoten noch größer.

Können angesichts einer immer wieder zitierten Verwendbarkeit von Fasern über maximal sieben Nutzungszyklen (vgl. Kreplin 2019) bei zunehmendem Recycling Papiere wirtschaftlich noch hergestellt werden? Besteht die Gefahr eines Recycling-Kollapses?

Gemäß aktueller Untersuchungsergebnisse der TU Darmstadt erweisen sich diese Befürchtungen als unbegründet. Zwar treten im Zuge der Herstellung und Nutzung Verhornung und andere Faserschädigungen auf, die dazu führen, dass vor allem nach der ersten Nutzung einer Faser deren Festigkeitspotenzial um bis zu 30% zurückgehen kann (Hubbe 2007, Howard 1992, Holik 2013). Die Untersuchungen der TU Darmstadt (Kreplin 2019) lassen aber den Schluss zu, dass Altpapierfasern mindestens 20-mal beispielsweise zur Herstellung von Verpackungspapieren verwendet werden können, ohne dass ein

nennenswerter Qualitätsverlust eintritt. Die häufig zitierte maximale Anzahl von sieben Recyclingzyklen für Papierprodukte stammt aus älteren, damals in der Zykluszahl limitierten Untersuchungen und entspricht nicht dem Stand des Wissens.

Es sind also an erster Stelle keine faserphysikalischen Faktoren, welche höhere Recyclingquoten verhindern, und es besteht keine Notwendigkeit, Fasern nach spätestens sieben Nutzungszyklen auszuschleusen. Dass derzeit nicht ein höherer Anteil an Fasern 10-fach oder häufiger wiederverwendet wird, die Altpapierrücklaufquote auf geschätzte 85% beschränkt ist (siehe Abschnitt 8.2.4) und der Gesamtkreislauf einer kontinuierlichen Zugabe von gewissen Primärfaser-Mengen bedarf, hat vor allem folgende Gründe:

- **Technologische Grenzen von Wiederaufbereitungsprozessen:** Neben Fasern kommen in Papieren eine Vielzahl weiterer Rohstoffe zum Einsatz. Diese sind für eine Wiederverwendung häufig nicht geeignet (z.B. Farbpigmente, Beschichtungen, Klebstoffe usw.) und müssen im Rahmen von aufwändigen Reinigungsprozessen abgetrennt werden. Je höher der Anspruch an die Sauberkeit des wiederaufbereiteten Faserstoffes ist, umso höher müssen auch Verluste an Faserstoffen selbst in Kauf genommen werden (vgl. Abschnitt 8.1.3).
- **Grenzen der Rezyklierfähigkeit bestimmter Papierprodukte:** Eine Reihe von Papierprodukten sind aus lebensmittelrechtlichen oder physikalischen Gründen nicht oder nur bedingt rezyklierbar. Beispielsweise sind Hygienepapiere und auch verschiedene technische Spezialpapiere (z.B. Tapetenreste, Kondensatorpapiere) von einem Recycling ausgeschlossen. Zudem treten zunehmend neue Produkte auf dem Markt, in denen Kunststoff oder Metall durch Papier ganz oder teilweise substituiert wurde. Häufig handelt es sich dabei um Verbunde mit anderen Werkstoffen, z.B. die Kunststoffmatrix in Faserkompositen, die ein wirtschaftliches Recycling derzeit nicht gestatten.
Die Rezyklierfähigkeit ist dabei keine reine Produkteigenschaft. Sie ist auch abhängig von den anwendbaren und angewendeten Recyclingtechnologien. Beispielsweise können nassfeste und beschichtete Papiere nicht in allen Papierwerken zerspannt werden, da sie besonderer Prozessbedingungen bedürfen. In Standardprozessen werden derartige nicht suspendierte Papierprodukte nach der Zerspannung abgetrennt und gehen dem Papierrecycling somit in der Regel verloren.
Für das Recycling zu beachten sind auch Stoffe im Altpapier, die in den Vorketten zugesetzt wurden, wenn sie sich im Zuge des Recyclings nicht abtrennen lassen und die Anwendbarkeit des Recyclingpapiers einschränken – z.B. wenn dieses für Lebensmittelkontakt vorgesehen ist.
- **Papierverluste im Zuge der Erfassung und Sammlung:** Gemäß der für Deutschland ausgewiesenen Rücklaufquote (Abbildung 16) gelangen gegenwärtig etwa 22% der in Verkehr gebrachten Papierprodukte nicht in das Recycling. Neben den bereits oben genannten, für ein Recycling nicht geeigneten Papieren sind das vor allem Papiere, die durch Fehlwürfe in ungeeignete Verwertungswege gelangen, z.B. in den Restmüll. Einen bilanziellen Verlust stellen auch jene Papierprodukte dar, die für eine lange Nutzungsdauer ausgelegt sind, wie zum Beispiel Papiere für künstlerische Anwendungen, für Belletristik und Sachbücher, für Wertpapiere oder für Archivierungszwecke.

8.4 Stellenwert von Frischfasern und Recyclingfasern

Die Verwendungen von Primär- und Sekundärfaserstoffen sind keine konkurrierenden Prozesse. Einerseits sind Sekundärfasern grundsätzlich immer das Ergebnis einer primären Verwendung. Andererseits kann zwar die Nutzungsdauer von Fasern verlängert werden, sie bleibt aber letztendlich beschränkt, sodass trotz moderner Recyclingprozesse Sekundärfaser im Papier-Altpapier-Kreislauf früher oder später durch neue primäre Fasern ersetzt werden müssen. Darüber hinaus kommen Papierfasern auch in Produkten zum Einsatz, für die eine stoffliche Verwertung bislang nicht in Frage kommt. Das betrifft im Wesentlichen die Hygiene- und Spezialpapiere, aber auch langlebige Papierprodukte.

Unter der Annahme, dass vor allem der „Verlust“ der letztgenannten Papierprodukte im Kreislauf einen regelmäßigen Einsatz von Frischfasern erfordert, kann eine maximal mögliche Altpapierrücklaufquote von etwa 85% angesetzt werden. Mit einer aktuellen Rücklaufquote von 78% kommt Deutschland diesem rechnerischen Maximalwert bereits nahe.

Glossar

Additive	s. Chemische Additive
Altpapier	Papier, Karton und Pappe, die außerhalb ihres Herstellungsprozesses nach Verarbeitung oder Gebrauch erfassbar anfallen. (nach DIN 6730)
Altpapiereinsatzquote	Die Altpapiereinsatzquote beschreibt das Verhältnis von Altpapiereinsatz der Papierherstellung zu erzeugter Papiermenge. Sie ist ein Indikator für die Substitution von Primär- durch Sekundärfaserstoffe beim Herstellungsprozess. (vgl. Abschnitte 8.2.1 und 8.2.2)
Altpapierrücklaufquote	Die Altpapierrücklaufquote ist der Anteil des Altpapieraufkommens am rechnerischen Papiereinsatz. Sie charakterisiert die Effektivität des Altpapiererfassungssystems. (vgl. Abschnitte 8.2.1 und 8.2.4)
Altpapiersorten	<p>Marktgängige Altpapiersorten werden nach der europäischen Liste der Altpapier-Standardarten (EN 643) anhand von Merkmalen der Zusammensetzung sowie weiterer Charakteristika definiert. Im Bericht angeführte Beispiele mit wesentlichen Merkmalen sind:</p> <p>Gemischtes Altpapier, Sorte 1.02.00: Mischung verschiedener Papier-, Karton- und Pappesorten, die maximal 40% an Zeitungen und Illustrierten enthält. In der Praxis überwiegend kleinere Konsumverpackungen und grafische Papierprodukte</p> <p>Verpackungen aus Papier und Karton, Sorte 1.04.00: gebrauchte Papier- und Kartonverpackungen, die mindestens 70% Wellpappe enthalten. Überwiegend Großverpackungen</p> <p>Deinkingware, Sorte 1.11.00: Sortiertes grafisches Papier. Es müssen mindestens 80% Zeitungen und Illustrierte und dabei mindestens 30% Zeitungen und 40% Illustrierte enthalten sein.</p>
Altpapierstoff	Zur Papierherstellung in Wasser suspendiertes (aufgeschlammtes) und zerkleinertes Altpapier. Synonym zu Sekundärfaserstoff
Biodiversität	Biologische Vielfalt. Bewertungsmaßstab für die Vielfalt unterschiedlichen Lebens in einem untersuchten Gebiet in qualitativer, zahlenmäßiger und funktioneller Betrachtung. Teilaspekte sind die genetischen Varianten innerhalb der Arten, die Fülle der Arten und die Vielfalt der Ökosysteme.
Biomasse	Im Kontext der Kreislaufwirtschaft: Materialien pflanzlichen oder tierischen Ursprungs, die als Rohstoffe oder Energieträger genutzt werden können.
Biotop	Lebensraum für eine biologische Lebensgemeinschaft mit spezifischen Merkmalen, der von seiner Umgebung abgrenzbar ist. Beispiele für Biotope sind Moor, Bergwald, Auwald, Wattlandschaft oder Teich.
Blauer Engel	Deutsches Umweltzeichen für besonders umweltschonende Produkte und Dienstleistungen, das seit 1987 vergeben wird. Zeicheninhaber ist das Bundesumweltministerium.
Cellulose	Hauptbestandteil pflanzlicher Zellwände und häufigste natürlich vorkommende organische Verbindung. Hochmolekulare Celluloseketten bilden in Pflanzen faserige Strukturen, die statische Funktionen haben. In holzbildenden Pflanzen ist die Cellulose mit Lignin verbunden.
CEPI	Europäischer Dachverband der Papierindustrie (Confederation of European Paper Industries)
CEPI-Raum	Mitgliedsstaaten der CEPI, umfasst die Länder Österreich, Belgien, Tschechische Republik, Finnland, Frankreich, Deutschland, Ungarn, Italien, Niederlande, Norwegen, Polen, Portugal, Rumänien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Schweden und Vereinigtes Königreich. (Stand 2020)

Chemiezellstoff	Chemiezellstoff wird zumeist aus Holz in einem Zellstoffprozess gewonnen und aufgereinigt. Er ist Rohstoff für Cellulose basierte Produkte wie etwa Viskosefasern oder Zellophan.
Chemische Additive	Additive der Papierherstellung werden der Stoffsuspension in der Stoffaufbereitung oder an der Papiermaschine zugegeben (vgl. Abschnitt 4.2). Zum Teil werden sie auch im Herstellungsprozess auf die Oberfläche der Papierbahn appliziert. Prozessadditive dienen dazu, die Verarbeitung der Stoffsuspension im Prozess zu ermöglichen oder zu verbessern. Funktionale Additive modifizieren die Papiereigenschaften. Sie steigern beispielsweise die Papierfestigkeit oder ändern die optischen Eigenschaften.
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ -Äquivalent	Umweltwirkung in der Ökobilanzierung. Maß für das Treibhauspotenzial von in die Luft emittierten chemischen Substanzen. Der Wert in CO ₂ -Äquivalenten gibt wieder, mit welcher emittierten Menge an Kohlendioxid (CO ₂) die betrachtete Emission in ihrer Erwärmungswirkung der Erdatmosphäre über 100 Jahren gleichzusetzen wäre.
Cradle-to-Grave	Betrachtungsweise der Umweltwirkungen von Stoffströmen über den gesamten Lebenszyklus, das heißt von der Rohstoffentnahme aus dem Boden bis zur Emission in Luft, Wasser und Boden.
Deinking	Reinigungsverfahren zur Entfernung von Druckfarbe aus Altpapier zum Zwecke der Gewinnung von Sekundärfasern. Die aus bedrucktem Altpapier gewonnene Fasersuspension wird u. a. mit Seife und Natronlauge behandelt. Dabei lösen sich die Druckfarben; sie werden abgetrennt. Der entstehende Deinkingschlamm wird eingedickt und typischerweise thermisch verwertet.
Deinkingstoff	Aufbereiteter Altpapierstoff nach Deinking
Deinkingware	s. Altpapiersorten
Durchforstungsholz	Holz aus der Pflege des Waldes zur Verbesserung von Ertrag und Qualität. Durchforstungsholz umfasst auch Schadholz, also Bruchholz, Sturmholz und nach Insektenbefall entnommenes Holz, sogenanntes Käferholz.
Elemental chlorine free (ECF)	Bezeichnung für Zellstoff, der ohne elementares Chlor, jedoch mit Chlorverbindungen gebleicht wurde
Emissionsfaktor	im Bericht: Angabe zum Treibhauspotenzial eines Stoffes oder Energieträgers, bezogen auf Masse oder Energieinhalt
Endenergie	Gesamtheit der Energieträger und -formen, die die Werksgrenzen des nutzenden Betriebs passieren
Ersatzbrennstoffe (EBS)	Brennstoffe, die aus Abfällen gewonnen werden. Sie substituieren fossile Brennstoffe. EBS werden aus Gemischen von Abfällen aus Haushalten, Gewerbe und Industrie gewonnen.
EU-Ecolabel	Europäisches Umweltzeichen (Euroblume). Gütesiegel zur Kennzeichnung von Konsumprodukten, die sich durch besondere Umweltverträglichkeit und vergleichsweise geringe Gesundheitsbelastung auszeichnen sollen.
Eutrophierung, aquatisch und terrestrisch	Umweltwirkung in der Ökobilanzierung. Summe der Emissionen von Substanzen, die zum Nährstoffeintrag in Gewässer (Überdüngung) und Böden beitragen. Für Binnengewässer angegeben in kg P-Äquivalenten, für Böden in mol N-Äquivalenten
FAO	Food and Agriculture Organization, Organisation der UNO (Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen)
Faserstoff	Wesensbestimmender Rohstoff der Papierherstellung. Hauptsächliche Typen sind Holzstoff, Zellstoff und Altpapier.

Faserstoffsuspension	Zur Papierherstellung in Wasser suspendierter (aufgeschlammter) und zerfaserter Faserstoff
Feinstaub	Luftemission von feinen Partikeln mit negativen Auswirkungen auf die Gesundheit, insbesondere über die Atmungsorgane
Festmeter (fm)	Raummaßeinheit für Rundholz. Ein Festmeter (fm) entspricht einem Kubikmeter (m ³) festen Holzes, das heißt ohne Schichtungszwischenräume.
Forest Stewardship Council (FSC)	Organisation, die eine Zertifizierung für nachhaltige Waldwirtschaft anbietet. Der Begriff FSC wird auch Zertifizierungssystem und das FSC-Siegel benutzt. (vgl. Abschnitt 7.3.2)
Fotochemische Oxidantienbildung	Umweltwirkung in der Ökobilanzierung. Summe der Emissionen von Substanzen, die zur Bildung von bodennahem Ozon beitragen. Angegeben in kg NMVOC-Äquivalente (non-methane volatile organic compounds)
„Gefüllte“ Papierverpackungen	im Zusammenhang von Import- und Export: Transport, Verkaufs- und Umverpackungen aus Papier, die dem Transport und Schutz der eigentlichen Produkte dienen
Gestrichenes Papier	Papier, dem auf der Oberfläche zur Verbesserung der Glätte, des Glanzes, der Weiße oder der Bedruckbarkeit eine Mischung aus Mineralpigmenten, Bindemitteln sowie weiteren Hilfsstoffen maschinell aufgetragen wurde. Der Veredelungsvorgang heißt Streichen.
Grafische Papiere	Papiere zum Bedrucken, Beschreiben und Kopieren, beispielsweise für Zeitungen, Kataloge, Büro- und Administrationszwecke oder Bücher.
Hackschnitzel	Hackschnitzel sind Holzstücke aus der maschinellen Zerkleinerung von Holz mittels schneidender Werkzeuge. Sie dienen vor allem als Rohstoff für die Holzverarbeitende Industrie sowie als Brennstoff.
Holzfrei	Bezeichnung für Papiere aus gebleichtem Zellstoff, die weniger als 5% Holzstoff enthalten. Ein treffenderer Begriff wäre „holzstofffrei“. Holzfrie Papiere vergilben nicht und sind für alterungsbeständige Druckerzeugnisse geeignet.
Holzhaltig	Bezeichnung für Papiere mehr als 5% Holzstoffanteil. Ein treffenderer Begriff wäre „holzstoffhaltig“. vgl. holzfrei
Holzstoff	Zusammenfassende Bezeichnung für durch mechanische Zerfaserung aus Holz gewonnene Faserstoffe. Die Herstellung kann eine thermische oder chemische Vorbehandlung und eine Bleiche beinhalten. Der Ligninanteil in Holzstoffen führt zum Vergilben von holzhaltigem Papier.
Hygienepapiere	Papiere, die für Hygiene- und Reinigungszwecke im Haushalt oder in Gemeinschaftseinrichtungen vorgesehen sind – z.B. Toilettenpapiere, Küchentücher, Papiertaschentücher, Papierservietten, Erfrischungstücher.
Kahlschlag	Planmäßiges Fällen aller ausgewachsenen Bäume auf einer definierten Waldfläche
Karton	Papierwerkstoff mit einer flächenbezogenen Masse von 150 bis 600 g/m ²
Kaskadennutzung	Mehrfache, stoffliche Nutzung eines Rohstoffs über mehrere Stufen mit zumeist abnehmender Wertschöpfung
Klimawandel	Gegenwärtige, vor allem durch den Menschen verursachte globale Erwärmung der Erdatmosphäre und Veränderung des Klimas. Umweltwirkung in der Ökobilanzierung (s. CO ₂ -Äquivalente, Treibhauseffekt)
Konfliktholz	Holz, das von bewaffneten Gruppen oder einer Verwaltung, die an einem bewaffneten Konflikt beteiligt ist, oder deren Repräsentanten an einer Stelle des PEFC-Produktkettennachweises gehandelt wurde, entweder um aus den Erlösen den Konflikt zu finanzieren oder den Konflikt zum persönlichen Vorteil nutzen (PEFC 2013).

Kraft-Wärme-Kopplung	Umwandlung von in einem thermodynamischen Prozess eingesetzter Energie in mechanische und dann elektrische Energie auf der einen Seite und zugleich nutzbare Wärme auf der anderen Seite. Die Kraft-Wärme-Kopplung mindert Energieverluste und erhöht die Energieeffizienz.
Kraftzellstoff	Im Sulfatverfahren hergestellter Zellstoff. Synonym zu Sulfatzellstoff
Lignin	Pflanzliche Gerüstsubstanz, die neben Cellulose und weiteren Bestandteilen im Holz enthalten ist. Lignin bewirkt eine zusätzliche Versteifung der Faserstrukturen der Pflanze (Verholzung). Im Papier ist Lignin unerwünscht, da es zur Vergilbung führt. Bei der Zellstoffgewinnung wird Lignin weitgehend von der Cellulose abgetrennt.
Ökobilanz	Systematische Methoden zur integrierenden, medienübergreifenden Erfassung und Auswertung umweltrelevanter Sachverhalte im Zusammenhang mit Produkten, Verfahren und Dienstleistungen. Für Ökobilanzen werden auch die Umweltbeeinflussungen erfasst und zusammengeführt, die mit vor- oder nachgelagerten Lebenszyklusphasen verbunden sind.
Papier	Flächiger Werkstoff aus mechanischen oder chemisch freigelegten Pflanzenfasern, der durch Entwässerung einer Faserstoffsuspension auf einem Sieb gebildet und anschließend getrocknet wird. Im Bericht werden, soweit nicht anderweitig beschrieben, Papier, Karton und Pappe zusammenfassend als „Papier“ angesprochen.
Papiereinsatz	Papiermenge, die den Anwendungszwecken zugeführt wird. Synonym zu Papiernutzung, Papiergebrauch, Papierverbrauch
Papierprodukt	in diesem Bericht: Produkte aus Papier, Pappe und Karton
Papierzellstoff	Zellstoff, der als Rohstoff der Papierherstellung dient
Pappe	Papierwerkstoff mit einer flächenbezogenen Masse über 225 g/m ²
Plantage	Fläche mit kommerziell angebauten Nutzpflanzen
Post-consumer Altpapier	Altpapier, das aus der Nutzung von Papierprodukten entsteht
Pre-consumer Altpapier	Altpapier, das auf der Stufe der Papierverarbeitung anfällt, z.B. Randbeschnitt bei Druckereien, Verschnittreste bei der Packmittelherstellung, unverkaufte Zeitungen und Zeitschriften
Primärfaserstoff	Faserstoff aus mechanischen oder chemisch freigelegten Pflanzenfasern, um erstmalig in der Papierherstellung eingesetzt zu werden.
Primärwald	Wald weitgehend frei von menschlichen Eingriffen
Product Carbon Footprint	Bilanz der Treibhausgasemissionen und gegebenenfalls -entzüge entlang dem Lebensweg eines Produkts. Synonym zu CO ₂ -Fußabdruck
Product Environmental Footprint	Methode zur Bewertung der Umweltwirkungen einer Ware oder Dienstleistung in der Lebenszyklusbetrachtung.
Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC)	Waldzertifizierungssystem. Der Begriff PEFC wird auch für die Produktzertifizierung und das Siegel benutzt. (vgl. Abschnitt 7.3.2)
Rechnerischer Papiereinsatz	Inländische Papiererzeugung zuzüglich Import von Papier abzüglich Export von Papier
Recyclingpapier	Papier, das aus Altpapier hergestellt wird
Recyclingquote	s. Altpapierrücklaufquote
Refiner	Aggregat zur mechanischen Herstellung oder Behandlung (Mahlung) von Faserstoff

Remittenten	Unverkaufte Druckprodukte
Rohpapier	Auf der Papiermaschine produziertes Papier vor Veredelung oder Papierverarbeitung
Sägenebenprodukte	In der Sägeindustrie anfallende Holzreste
Schadholz	Bruchholz, Sturmholz und nach Insektenbefall entnommenes Holz, sogenanntes Käferholz
Schwachholz	Schwachholz bezeichnet Stämme von geringem Durchmesser, die nicht für die Sägeindustrie geeignet sind.
Sekundärfaserstoff	s. Altpapierstoff
Sekundärwald	Natürlich sich bildende Vegetation nach der Zerstörung des Primärwalds durch menschliches Eingreifen oder durch Katastrophen
Spezialpapiere	Papiere für technische und spezielle Verwendungszwecke, z.B. Dekorpapier, Fotopapier, Banknotenpapier, Elektroisolierpapier, Filterpapier, Rollenhülsen
Streichen	s. gestrichenes Papier
Streifenstauchwiderstand	Mechanische Papiereigenschaft: Druckbelastbarkeit eines Papiers in der Blattebene. Wichtige Eigenschaft für die Herstellung von Wellpappe
Strommix	Zusammensetzung der Energieträger, aus denen Strom in einer Region erzeugt wird
Sturmholz	Holz aus Bäumen, die aufgrund von Stürmen entwurzelt oder brachen
Substances of Very High Concern (SVHC)	Chemische Stoffe nach der REACH-Verordnung, die schwerwiegende Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen oder auf die Umwelt haben können
Sulfatverfahren	Chemischer Prozess zur Herstellung von Cellulose mit den wesentlichen Chemikalien Natronlauge, Natriumsulfid und Natriumsulfat. Synonym zu Kraft-Aufschluss
Sulfatzellstoff	Im Sulfatverfahren hergestellter Zellstoff. Synonym zu Kraftzellstoff
Sulfitverfahren	Chemischer Prozess zur Herstellung von Cellulose mit Calcium- oder Magnesiumhydrogensulfit.
Sulfitzellstoff	Im Sulfitverfahren hergestellter Zellstoff.
Suspension	in diesem Bericht: Aufschlammung von Faserstoff in Wasser
Tambour	Rolle am Ende der Papiermaschine, auf die das Papier aufgerollt wird
Terrestrische Eutrophierung	Umweltwirkung in der Ökobilanzierung. Summe der Emissionen von Substanzen, die zum Nährstoffeintrag in Böden und zur Überdüngung beitragen. Angegeben in mol N-Äquivalente
Thermische Verwertung	Verbrennung von Abfall unter Nutzung der enthaltenen Energie
Totally chlorine free (TCF)	Bezeichnung für Zellstoff, der ohne Chlor oder Chlorverbindungen gebleicht wurde
Treibhausgas-Emissionen	Emissionen von treibhauswirksamen Gasen in die Atmosphäre, u.a. Kohlendioxid, Methan, Lachgas, perfluorierte Kohlenwasserstoffe. Treibhausgas-Emissionen entstehen vorwiegend, wenn fossile Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas verbrannt werden.
VDP	Verband Deutscher Papierfabriken
Verhornung	Minderung der Fähigkeit von Papierfasern zur Wasseraufnahme und damit der Bindungsfähigkeit und Flexibilität bei (wiederholter) Suspendierung und Trocknung
Verpackungspapiere	Für Verpackungszwecke vorgesehene Papiere. Wichtige Sorten sind Wellpappenpapiere und Faltschachtelkarton.

Versauerung	Umweltwirkung in der Ökobilanzierung. Summe der Emissionen säurebildender Substanzen. Angegeben in mol Proton-Äquivalente
Wärmerückgewinnung	Entnahme von Wärme aus Abluft- oder Abwasserströmen zum Wiedereinsatz in der Produktion
Weiterreißfestigkeit	Mechanische Papiereigenschaft: Charakterisierung des Widerstands von Papier gegen ein Weiterreißen bei Vorhandensein eines Anrisses
Wellpappe	Stabiles Verpackungsmittel mit Hohlvolumen. Herstellung durch Zusammenkleben von mindestens einer glatten und einer gewellten Papierbahn. Eine typische einwellige Wellpappe besteht aus Außendecke, Wellenbahn und Innendecke.
Wirtschaftswald	Wald zur gezielten wirtschaftlichen Nutzung
Zellstoff	Faserstoff, der aus pflanzlichen Faserrohstoffen durch chemischen Aufschluss gewonnen wird und als Hauptbestandteil Cellulose enthält.
Zerfaserung	Vereinzelung von Fasern durch mechanische Einwirkung bei der Herstellung einer Faserstoffsuspension

Quellenverzeichnis

- Affeldt 2016: Affeldt, C.; Leung, A.; Yang, K.: Life cycle assessment of stone paper, polypropylene film, and coated paper for use as product labels. Master of Science thesis, University of Michigan, 2016
- AG Branchenenergiekonzept 2008: Branchenleitfaden für die Papierindustrie, Ausgabe 2008. Arbeitsgemeinschaft Branchenenergiekonzept Papier 2008
- Alencar 2014: Alencar, A.; Pientokowski, W.; Charity, S.; Maretti, C.: Deforestation Scenarios in the area of influence of the Tapajós hydropower complex. Amazon Environmental Research Institute (IPAM) and WWF Living Amazon Initiative (LAI), http://ipam.org.br/wp-content/uploads/2015/12/TapajosIPAM_2015.pdf, Zugriff 05/2020
- BFW 2003: Warum durchforsten? BFW Praxis Information, Nr.2/2003. Bundesamt und Forschungszentrum für Wald. https://bfw.ac.at/040/pdf/1818_9.pdf, Zugriff 07/2020
- Bienert 2018: Bienert, C.; Persin, C.: Wasser- und Rückstandsumfrage in der deutschen Papierindustrie 2016. Wochenblatt für Papierfabrikation 3, 158-163, 2018
- bifa 2010: Ballon, A.; Peche, R.; Kreibe, S.: Ökoeffizienzanalyse von Stoffströmen der Papierindustrie und Ableitung von Optimierungsansätzen für die Wertschöpfungskette Papier – Teil II: Ökoeffiziente Stoff- und Energieflüsse – ein lebenswegübergreifendes Strategieprojekt. bifa Umweltinstitut GmbH im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit sowie der Koinitiatoren Verband Bayerischer Papierfabriken e. V. und Verband der Bayerischen Papier, Pappe und Kunststoff verarbeitenden Industrie e. V., Augsburg 2010
Broschüre des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit (Zusammenfassung der Ergebnisse): https://www.cashforpaper.de/download/LF_Oekoefiziente_Papierprodukte_barrierefrei.pdf
bifa-Text (ausführlich): <https://www.bifa.de/news/detailseite/news/oekoefiziente-papierprodukte-chancen-und-risiken-fuer-umwelt-und-kosten>
- Blauer Engel 2018: Blauer Engel. Das Umweltzeichen Recyclingpapier DE-UZ 14a. RAL gGmbH, Bonn 2018. <https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20014a-201801-de%20Kriterien.pdf>, Zugriff 07/2020
- BMEL 2017: Waldbericht der Bundesregierung 2017. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Waldbericht2017.html>, Zugriff 07/2020
- BMEL 2019: Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2019. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ergebnisse-waldzustandserhebung-2019.pdf>, Zugriff 08/2020
- Bpb 2017: Jährliche Änderung des Waldbestandes – Durchschnitt der Jahre 2010 bis 2015. Bundeszentrale für politische Bildung, <https://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/globalisierung/52727/waldbestaende>, Zugriff 04/2020
- BREF PP 2015: Suhr, M. et al.: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. European Commission Joint Research Centre, 2015
- CEPI 2007: Framework for the development of Carbon Footprints for paper and board products. Confederation of the European Paper Industry, 2007
- CEPI 2020: Capi Annual Statistics 2019. Confederation of European Paper Industries, Brussels 2020
- COST 2010: COST Action E48 – The Future of Paper Recycling in Europe: Opportunities and Limitations, The Paper Industry Technical Association PITA, Bury, Greater Manchester, 2010
- Cruse 2015: Cruse F.; Dietz, W.; Höller, M.; Szafera, S.: Entwicklung eines Verfahrens zur Gewinnung von Gras als Rohstoff und Verarbeitung für die Herstellung von Papierprodukten unter besonderer Berücksichtigung des Aufbaus einer nachhaltigen Wertschöpfungskette. Abschlussbericht, Deutsche Bundesstiftung Umwelt 2015
- Destatis 2020: Statistisches Bundesamt: Genesis online. Die Datenbank des Statistischen Bundesamtes. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>.
- Dias 2007: Dias, A.; Arroja, L.; Capela, I.: Life cycle assessment of printing and writing paper produced in Portugal. The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 12, Issue 7, 2007
- Dietz 2014: Dietz, W.; Schütt, F.; Dornack, C.: Ersatz klassischer Faserstoffe durch biogene Reststoffe, Teil 1. Wochenblatt für Papierfabrikation 4, 200-205, 2014

- DIN 2009: Deutsches Institut für Normung DIN e. V.: DIN EN ISO 14040 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Beuth Verlag, Berlin 2009
- DfF 2019: Boddenberg, S.: Unser Papier schädigt ihre Umwelt. Podcast mit Transskription, Deutschlandfunk Kultur 21.08.2019, https://www.deutschlandfunkkultur.de/zellulose-aus-chile-unser-papier-schaedigt-ihre-umwelt.979.de.html?dram:article_id=455891, Zugriff 06/2020
- EIA 2005: Stemming the Tide: Halting the Trade in Stolen Timber in Asia. Environmental Investigation Agency EIA / Telapak, London, 2005. <https://eia-international.org/wp-content/uploads/Stemming-the-Tide-low-res-Jan-06.pdf>
- EN 643: DIN EN 643:2014-11. Papier, Karton und Pappe – Europäische Liste der Altpapier-Standardsorten. Beuth Verlag 2014
- EPRC 2018: EPRC Monitoring Report 2018. European Paper Recycling Council (EPRC), Brussels 2018
- EU 2010: Verordnung (EU) Nr. 995/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Oktober 2010 über die Verpflichtungen von Marktteilnehmern, die Holz und Holzzeugnisse in Verkehr bringen.
- EU 2013: EU Timberland Regulation 2013 – What does the law say? <https://ec.europa.eu/environment/eutr2013/what-does-the-law-say/>, Zugriff 07/2020
- EU 2019: Beschluss 2019/70 der Kommission vom 11. Januar 2019 zur Festlegung der Umweltkriterien für die Vergabe des EU-Umweltzeichens für grafisches Papier und der Umweltkriterien für die Vergabe des EU-Umweltzeichens für Hygienepapier und Hygienepapierprodukte. <https://www.eu-ecolabel.de/produktgruppen-kriterien.html>, Zugriff 04/2020
- EURO-GRAPH 2017: European Association of Graphic Paper Producers: Paper and environment. <http://www.euro-graph.org/environment/paper-and-environment>, Zugriff 05/2020
- Eurostat 2020: EU trade since 1988. Eurostat Data Explorer. <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/>;
- FAO 2016: Global Forest Resources Assessment 2015. Country Report Germany. FAO, Rome 2014. <http://www.fao.org/3/a-az220e.pdf>. Zugriff 04/2020
- FAO 2017: Forest Product 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2019
- FAO 2018: Global production and trade in forest products in 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/forestry/statistics/80938/en>. Zugriff 02/2020
- Faszination-Regenwald 2018: Deutschle, T.: Palmöl, das grüne Erdöl. <http://www.faszination-regenwald.de/info-center/zerstoerung/palmoel.htm>, Zugriff 07/2020
- FAZ 2017: Frankfurter Allgemeine Zeitung: Brasilien: Riesiger Urwald soll zu Kupfer-, Gold- und Eisenminen werden. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 24.08.2017, <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/brasilien-riesiger-urwald-soll-rohstoff-minen-weichen-15166089.html>
- FCPF 2012: Kissinger, G.; Herold, M.; De Sy, V.; 2012: Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD+ Policymakers. <https://www.forestcarbonpartnership.org/sites/fcp/files/DriversOfDeforestation.pdf> N S.pdf, Zugriff 07/2020
- Fearnside 2017: Fearnside, P.: Deforestation of the Brazilian Amazon. Vol. 1, Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.102>
- FEFCO 2018: European Federation of Corrugated Board Manufacturers: A responsible attitude of the industry towards the environment. <https://www.fefco.org/lca>, Zugriff 06/2020
- Ferreira 2013: Ferreira-Leite, F.; Lourenço, L.; Bento-Gonçalves, A.: Large forest fires in mainland Portugal, brief characterization. Méditerranée [Online], 121 (2013)
- FKN 2020: Trennung von Verbunden ist kein Hexenwerk. Fachverband Kartonverpackungen für flüssige Nahrungsmittel e.V. (FKN) 2020, <https://getraenkekarton.de/recycling/technik/trennung-von-verbunden-ist-kein-hexenwerk>, Zugriff 05/2020.
- Fleischer 2002: Fleischer, G.; Hake, J.-F.: Aufwands- und ergebnisrelevante Probleme der Sachbilanzierung. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Band 30, 2002
- Forstwirtschaft 2020: Nachhaltigkeit mit Brief und Siegel: die Zertifizierung. Forstwirtschaft-in-Deutschland – ein Informationsportal von BMEL, AGDW, ANW, BDF, BIA, DBV, DFVDLG, DFUV, FNR, IGBAU, KWF und FLK, <https://www.forstwirtschaft-in-deutschland.de/forstwirtschaft/zertifizierung/>, Zugriff 04/2020

- FSC 2006: FSC Controlled wood standard for forest management enterprises. FSC-STD-30-010 (Version 2-0) EN, <https://ca.fsc.org/preview.fsc-std-30-010-v2-0-en-fsc-controlled-wood-standard-for-forest-management-enterprises.a-889.pdf>, Zugriff 05/2020
- FSC 2012: Faktencheck. <https://www.fsc-deutschland.de/preview.faktencheck-des-fscr-deutschland-zu-fsc-pefc-vergleich-in-pefc-beschaffermappe-september-2012.a-111.pdf>, Zugriff 04/2020
- FSC 2019: Das FSC® MIX-Label. <https://www.fsc-deutschland.de/preview.fsc-mix-infopapier.a-1308.pdf>, Zugriff 05/2020
- FSC 2019b: Statement FSC Mix. <https://www.fsc-deutschland.de/preview.hintergrund-zu-fsc-mix.a-1272.pdf>, Zugriff 05/2020
- FSC 2020: <https://www.fsc-deutschland.de/de-de>, Zugriff 04/2020
- FSC 2020b: Die FSC-Kennzeichen. <https://www.fsc-deutschland.de/de-de/warenzeichen/kennzeichen>, Zugriff 05/2020
- FSC 2020c: Forest Management Certification. <https://fsc.org/en/forest-management-certification>, Zugriff 05/2020
- FSC 2020d: So funktioniert die FSC-Waldzertifizierung. <https://www.fsc-deutschland.de/de-de/wald/waldzertifizierung-/ablauf-einer-zertifizierung-02>, Zugriff 06/2020
- Gemechu 2013: A comparison of the GHG emissions caused by manufacturing tissue paper from virgin pulp or recycled waste paper. The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 18, Issue 8, 2013
- Greenpeace 2018: Mängel exemplar Qualitätssiegel. <https://www.greenpeace.de/themen/waelder/maengelexemplar-qualitaetssiegel>, Zugriff 05/2020
- Hartung 2019: Hartung, P.: Brazilian Tree Industry in Defense of the Amazon. http://www.paperage.com/2019news/08_26_2019iba_amazon_fires.html. Zugriff 04/2020
- Hecking 2019: Die Milliarden Geschäfte mit Brasiliens Ressourcen. SPIEGEL Wirtschaft vom 23.08.2019. <https://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/brasilien-rindfleisch-soja-holz-milliarden-geschaeften-in-amazonien-a-1283434.html>, Zugriff 06/2020
- Hohenthal 2019: Hohenthal C. et al.: The ISO 14067 approach to open-loop recycling of paper products: Making it operational. Journal of Cleaner Production, Vol. 224, March 2019.
- Holik 2013: Handbook of Paper and Board, John Wiley & Sons, 2013
- HOLZ VON HIER 2020: Schwachholz und Durchforstungsholz. Broschüre HOLZ VON HIER gemeinnützige GmbH 2020, <https://www.holz-von-hier.eu/tools-services/waldvielfalt/holzvermarktung/schwachholz-und-durchforstungsholz/>, Zugriff 06/2020
- Howard 1992: Howard R.C.; Richard, W.: The basic Effects of Recycling on Pulp Properties. J.Pulp and Paper Science, Vol. 18, July 1992
- Hubbe 2007: Hubbe M.A. et al.: What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling? A review. BioResources 2(4), 739-788
- Ifeu 2006: Gromke, U.; Detzel, A.: Ökologischer Vergleich von Büropapieren in Abhängigkeit vom Faserrohstoff. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH im Auftrag der Initiative Pro Recyclingpapier, Heidelberg 2006
- INTECUS 2019: Wagner, J.: Gutachten zum Pro-Kopf-Papierverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland. Gutachten im Auftrag des Verbands Deutscher Papierfabriken e.V., INTECUS GmbH, Dresden 2019
- ISO/TS 14067:2018: Greenhouse gases–Carbon footprint of products–Requirements and guidelines for quantification.
- JRC 2012: European Commission's Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability: Product Environmental Footprint (PEF) Guide. July 17, 2012
- JRC 2018: European Commission's Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability: Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) – Intermediate Paper Product. October 18, 2012
- Jung 2010: Jung, H.; Pracht, D.: Energieeinsatz bei der Papiererzeugung. In: Blechschmidt, J.: Taschenbuch der Papiertechnik, Carl Hanser Leipzig 2010
- Lewis 2019: Lewis, S. L.; Wheeler, C. E.; Mitchard, E. T. A.; Koch, A.: Restoring natural forests is the best way to remove atmospheric carbon. Nature (online), London 2019. <https://www.nature.com/articles/d41586-019-01026-8>, Zugriff 07/2020

- Kreplin 2019: Kreplin, F.; Putz, H.; Schabel, S.: Multiple recycling of paperboard: Paperboard characteristics and maximum number of recycling cycles – Part I: Multiple recycling of corrugated base paper. TAPPI Journal 18(11), 631-638 (2019)
- Kreplin 2020: Kreplin, F.: Häufiger rezyklierbar als gedacht. Papier+Technik 1/2020, 4-5
- Mantau 2017: Mantau, U.; Döring, P.; Weimar, H.; Glasenapp, S.: Holz- und Zellstoffindustrie 2015. Entwicklung der Produktionskapazität und Holzrohstoffnutzung. Teilbericht zum Verbundvorhaben „Rohstoffmonitoring Holz“, Universität Hamburg, 2017.
- Mantau 2018: Mantau, U.; Döring, P.; Weimar, H.; Glasenapp, S.: Rohstoffmonitoring Holz. Mengenmäßige Erfassung und Bilanzierung der Holzverwendung in Deutschland; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2018
- Meinl 2016: Meinl, G.; Tempel, L.; Ringman, J.; Bousios, S.: European Fibre Flow Model. EU project REFFIBRE – Tools for Resource-Efficient use of recycled FIBRE materials, Deliverable 1.4. <http://www.reffibre.eu/publications.html>, Zugriff 07/2020
- Meinl 2017: How old are fibers in paper for recycling and what is their life expectancy? A contribution to the life cycle assessment of wood fiber-based products. TAPPI Journal, Vol.16, No.7 (2017)
- Miranda 2010: Miranda R., Bobu E., Grossmann H., Stawicky B., Blanco A. Factors influencing a higher use of recovered paper in the European paper industry, Cellulose Chemistry and Technology 44(10):419-430
- National Geographic 2018: Katastrophale Abholzung der Regenwälder schreitet fast ungebremst voran. <https://www.nationalgeographic.de/umwelt/2018/06/katastrophale-abholzung-der-regenwaelder-schreitet-fast-ungebremst-voran>, Zugriff 04/2020
- National Geographic 2019: Nunez, C.: Deforestation explained. <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/deforestation>, Zugriff 07/2020
- NEPCon 2020: EUTR: Welche Produkte fallen unter diese Verordnung? <https://www.nepcon.org/de/certification/timber-regulations/eutr-welche-produkte-fallen-unter-diese-verordnung>, Zugriff 07/2020
- NGP 2020: New Generation Plantations. <https://newgenerationplantations.org>, Zugriff 05/2020
- OroVerde 2017: Scholz, S.; Mannigel, E.: Unser Verbrauch und die Folgen für den Regenwald. OroVerde – Die Tropenwaldstiftung, Bonn 2017
- Papier kann mehr 2020: Deutsche Papierindustrie arbeitet an der Fabrik der Zukunft. <https://papierkannmehr.de/innovation/die-deutsche-papierindustrie-arbeitet-an-der-fabrik-der-zukunft>. Zugriff 07/2020
- PEFC 2008: Richtlinie für die Verwendung des PEFC-Logos. PEFC Deutschland, Stuttgart 2008. https://pefc.de/media/filer_public/5e/d1/5ed1d45b-3823-4d4f-89f8-cf98a7e26deb/tmppefc_d_st_2001_logorichtlinie.pdf, Zugriff 07/2020
- PEFC 2013: Produktkettennachweis von Holzprodukten – Anforderungen. PEFC Deutschland, Stuttgart 2010. https://pefc.de/media/filer_public/bd/6c/bd6ce04c-17e0-4e37-88d2-ba576b766801/pefc_d_st_2002_coc-standard_ausgabe2_002.pdf, Zugriff 07/2020
- PEFC 2018: Synopse: Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen PEFC und FSC (Stand: Juli 2018). https://pefc.de/media/filer_public/db/c5/dbc52fce-5f18-4430-9d3a-67c9da176824/pefc-fsc_synopse_2018.pdf, Zugriff 04/2020
- PEFC 2020: <https://pefc.de>, Zugriff 04/2020
- PEFC 2020b: Standards and Guides. <https://www.pefc.org/standards-implementation/standards-and-guides>, Zugriff 05/2020
- PEFC 2020c: Ablauf der Zertifizierung für Waldbesitzer. <https://pefc.de/fur-waldbesitzer/ablauf-der-zertifizierung/>, Zugriff 06/2020
- PEFC 2020d: PEFC Trademarks Rules – Requirements. <https://storage.googleapis.com/pefc-platform/pefc.org/media/2020-02/d1ad5a21-0267-4db4-a41b-07fd577ffdea/3abf07e8-b7f9-5f42-ba2a-9ca608ee415f.pdf>, Zugriff 06/2020
- PEFC 2020e: Produktkettennachweis für Holzprodukte – Anforderungen. Internationaler PEFC-Standard PEFC ST 2002:2020, https://pefc.de/media/filer_public/f7/67/f767535a-30f0-4db2-b7a5-203ee6366890/pefc_d_st_2002-2020_coc-standard.pdf, Zugriff 08/2020

- Pivnenko 2016: Pivnenko, K.; Laner, D.; Astrup, T.F.: Supporting information for Material Cycles and Chemicals: Dynamic Material Flow Analysis of Contaminants in Paper Recycling. *Environ. Sci. Technol.* 2016, 50, 22, 12302–12311, <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.6b01791>
- Spiegel 2018: Regenwaldrodung für Kakao – Die leeren Versprechen der Schokoladenkonzerne. *Der Spiegel* vom 07.12.2018. <https://www.spiegel.de/wirtschaft/regenwald-rodung-fuer-kakao-die-leeren-versprechen-der-schokoladenkonzerne-a-1241741.html>, Zugriff 07/2020
- Stone Paper 2020: www.stone-paper.com. Zugriff vom 03/2020
- UBA 2000: Tiedemann, A.; Böttcher Tiedemann, C.; Buschardt, A.; Georgi, B.; Giersberg, G.; Goosmann, G.; Gregor, H.-D.; Mehlhorn, B.; Modi, A.; Neitzel, H.; Oels, H.-J.; Schmitz, S.; Suhr, M.: Ökobilanzen für graphische Papiere. Texte 22/2000, Umweltbundesamt Berlin 2000
- UBA 2019: Schüler, K.: Aufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen in Deutschland im Jahr 2017, Texte 139/2019, Umweltbundesamt, Dessau 2019
- UBA 2020a: FSC-Label (Holzprodukte). <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/siegelkunde/fsc-label-holzprodukte>, Zugriff 05/2020
- UBA 2020b: PEFC-Label (Holzprodukte). Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/siegelkunde/pefc-label-holzprodukte>, Zugriff 05/2020
- UN 1987: Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. United Nations. www.un-documents.net/ocf-02.htm, Zugriff 07/2020
- UN 2015: UN Food and Agriculture Organization (FAO): Global Forest Resources Assessment
- UN 2016: About the Sustainable Development Goals. United Nations. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals>, Zugriff 07/2020
- Utopia 2019: Statista GmbH: Ursachen für den Verlust von Waldfläche weltweit. In <https://utopia.de/ratgeber/waldrodung-ursachen-folgen-und-was-du-tun-kannst/>, Zugriff 07/2020
- VDP 2014: Papier 2014 – Ein Leistungsbericht. Verband Deutscher Papierfabriken e.V., Bonn 2014
- VDP 2020: Papier 2020 – Ein Leistungsbericht. Verband Deutscher Papierfabriken e.V., Bonn 2020
- VTT 2010: Pihkola, H.; Nors, M.; Kujapää, K.; Helin, T.; Kariniemi, M.; Pajula, T.; Dahlno, H.; Koskela, S.: Carbon footprint and environmental impacts of print products from cradle to grave. Technical Research Centre of Finland (VTT), 2010
- Waldhilfe 2020: Zertifizierung im Wald – über FSC und PEFC. <https://www.waldhilfe.de/zertifizierung-im-forstsektor>, Zugriff 04/2020
- Waldwissen 2013: Thieme, F.: Zertifizierung mit PEFC oder FSC. *Waldwissen.net* – ein Gemeinschaftsprodukt der Forschungsinstitutionen FVA, LWF, BFW und WSL (Herausgeber) sowie den Partner-Instituten SBS, WUH, LFE und INRA, https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/fuehrung/recht/lwf_zertifizierung_de/index_DE, Zugriff 04/2020
- Waste Management 2007: The ten toes of paper's carbon footprint. <https://waste-management-world.com/a/the-ten-toes-of-paper-s-carbon-footprint>, Zugriff 06/2020
- Worldbank 2020: The World Bank. Population, total. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>
- WWF 2008: Baumüller, H.: Prospects and Drivers for Agricultural Change in the Mekong Region: The case of sugar, rice and rubber. WWF Greater Mekong Programme, Vientiane, Lao PDR. http://assets.panda.org/downloads/wwf_gmp_agriculture_report.pdf, Zugriff 05/2020
- WWF 2012: Hirschberger, P.; Beuter, C.; Gotthardt, S.; Zahnen, J.: Im Wald, da sind die Räuber – Tropenwaldzerstörung für Kinderbücher. WWF Deutschland, Berlin 2012. https://mobil.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publicationen-PDF/WWF_Kinderbuchstudie_2012.pdf, Zugriff 07/2020
- WWF 2018: Hirschberger, P.; Winter, S.: Die schwindenden Wälder der Welt – Zustand, Trends und Lösungswege – WWF-Waldbericht 2018, World Wide Fund for Nature (WWF) Deutschland und WWF Schweiz, Berlin 2018
- W-wie-Wissen 2019: W-wie-Wissen.FSC – Ein Siegel für das gute Gewissen? ARD. <https://www.daserste.de/information/wissen-kultur/w-wie-wissen/fsc-siegel-100.html>, Zugriff 07/2020
- Yale 2019: Pearce, F.: Why Green Pledges Will Not Create the Natural Forests We Need. Yale School of Forestry & Environmental Studies, <https://e360.yale.edu/features/why-green-pledges-will-not-create-the-natural-forests-we-need>, Zugriff 04/2020

-
- Yang 2009: Yang, J.; Huang, J.; Qui, H.; Rozelle, S.; Sombilla, M.A.: Biofuels and the Greater Mekong Subregion: Assessing the impact on prices, production and trade. *Applied Energy* 86, 2009 537-546
- Zeit-Online 2019: Wie Soja Brasiliens Regenwald in Gefahr bringt. ZEIT Online vom 06.05.2019.
<https://www.zeit.de/news/2019-05/06/wie-soja-brasiliens-regenwald-in-gefahr-bringt-190506-99-95516>
- ZIV 2020: Abladerliste (Stand: 23.06.2020), ZIV – Zellstoff-Import-Verein e.V.,
<https://www.ziv-deutschland.de/abladerliste>, Zugriff 07/2020

bifa Umweltinstitut GmbH

Am Mittleren Moos 46

86167 Augsburg

Germany

T +49 821 7000-0

F +49 821 7000-100

www.bifa.de