

TEXTE

123/2022

Aktualisierte Ökobilanz von Grafik- und Hygienepapier

von:

Frank Wellenreuther, Andreas Detzel, Martina Krüger, Mirjam Busch
ifeu, Heidelberg

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 123/2022

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3717 36 323 0

FB000870

Aktualisierte Ökobilanz von Grafik- und Hygienepapier

spotlight report

von

Frank Wellenreuther, Andreas Detzel, Martina Krüger,
Mirjam Busch

ifeu, Heidelberg

unter Mitwirkung von

Simon Früh, Raphael Wagener, Saskia Grünwasser, Fabienne
Wolf

ifeu, Heidelberg

mit zusätzlicher Unterstützung von Evelyn Schönheit und
Jupp Trauth

FÖP

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
Wilckensstraße 3
69120 Heidelberg
Deutschland

Abschlussdatum:

August 2022

Redaktion:

Abschnitt III 2.1
Almut Reichart

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, November 2022

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Aktualisierte Ökobilanz von Grafik- und Hygienepapieren

Die letzte Ökobilanz des Umweltbundesamtes für grafische Papiere, in der die Umweltwirkungen von Primär- und Recyclingpapieren umfassend untersucht wurden, stammt aus dem Jahr 2000 (Tiedemann et al. 2000). Ein zentrales Ergebnis dieser Studie war, dass "die Herstellung von grafischen Papieren aus Recyclingfasern wesentlich umweltfreundlicher ist als die Verwendung von Frischfasern aus Holz als Rohstoff".

Die Vergabekriterien des Umweltzeichens Blauer Engel für Papierprodukte basieren ebenfalls auf den Ergebnissen dieser Studie und fordern die höchstmögliche Verwendung von Recyclingpapier, vorzugsweise aus Post-Consumer-Abfällen, als Rohstoff für die Papierherstellung.

Die vorliegende Studie stellt eine Aktualisierung dieser Ökobilanz dar. Dabei wurde sie um die Betrachtung von Hygienepapieren, und eine Diskussion über Biodiversität, Landnutzungswandel und Kohlenstoffspeicherung ergänzt. Besonderer Fokus liegt zudem auf dem Papierrecycling in Deutschland.

Die aktualisierten Ergebnisse stützen weitgehend die bisherigen Empfehlungen des UBA und die Anforderungen des Ökolabels Blauer Engel zur Förderung von Recyclingpapier. Es ist wesentlich umweltfreundlicher, grafisches Papier aus recycelten Fasern herzustellen, als Primärfasern aus Holz als Rohstoff zu verwenden.

Abstract: Updated life-cycle assessment of graphic and tissue paper

The last life-cycle assessment of the German Environment Agency for graphic papers, in which the environmental impacts of virgin papers and recycled papers were comprehensively examined, dates from the year 2000 (Tiedemann et al. 2000). A key finding of this study was that "it is much more environmentally friendly to produce graphic papers from recycled fibres than to use virgin fibres from wood as a raw material".

The award criteria of the Blauer Engel (Blue Angel) eco-label for paper products are also based on the results of this study and demand the highest possible use of recycled paper, preferably from post-consumer waste, as raw material for paper production.

The present study is an update of this LCA. It has been extended to include the consideration of tissue papers and a discussion on biodiversity, land use change and carbon capture in forests. A special focus is also placed on paper recycling in Germany.

The updated results largely support the previous UBA recommendations and the requirements of the Blue Angel eco-label for the promotion of recycled paper. It is much more environmentally friendly to produce graphic paper from recycled fibres than to use virgin fibres from wood as raw material.

Die vorliegende deutsche Version des Spotlight-Berichts ist eine Übersetzung des englischen Originals. Im Falle von Unstimmigkeiten ist das englische Original maßgebend.

Vorwort

Der vorliegende Spotlight-Bericht enthält die wichtigsten Informationen und Ergebnisse der LCA-Studie und geht darüber hinaus auf schwer quantifizierbare Landnutzungskriterien wie Biodiversität, Landnutzungsänderung und Kohlenstoffspeicherung in Wäldern ein. Außerdem ist ein Kapitel enthalten, das ein besseres Verständnis dafür vermittelt, wie der Papierkreislauf für Büro- und Hygienepapier verbessert werden kann und wie Ökolabel zu diesem Ziel beitragen können.

Zusätzlich zu diesem Spotlight-Bericht steht ein Hintergrundbericht (background report) (Wellenreuther et al. 2022) auf der Website des Umweltbundesamtes zum Download zur Verfügung. Dieser enthält eine wesentlich umfangreichere und detailliertere Beschreibung der Annahmen und Daten und geht auf einige zusätzliche Aspekte ein, die im Spotlight-Bericht nicht beschrieben werden. Dazu gehören zum Beispiel die Berücksichtigung unterschiedlicher Faserzusammensetzungen, einschließlich der Verwendung von Grasfasern oder die Bewertung eines Endprodukts auf Verbraucherebene.

Die Studie wurde vom Umweltbundesamt (UBA) am 21. Juni 2017 in Auftrag gegeben. Hauptauftragnehmer ist das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (ifeu), Unterauftragnehmer ist das Forum Ökologie & Papier (FÖP) für die Marktforschung.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	13
Verwendete Einheiten.....	15
1 Ziel und Untersuchungsrahmen	16
1.1 Hintergrund und Zielsetzung.....	16
1.2 Ziel und Umfang der Lebenszyklusanalyse	16
1.2.1 Systemgrenzen.....	16
1.2.2 Funktionelle Einheit	19
1.2.3 Umweltwirkungskategorien und Inventarindikatoren	19
1.2.4 Marktforschung und Entwicklung von Clustern	21
1.2.5 Verwendete Sachbilanzdaten	25
1.2.6 Szenarioüberblick.....	29
2 Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse.....	32
2.1 Ergebnisse Büropapier	33
2.1.1 Ergebnisse der Basisszenarien für Büropapier	33
2.1.2 Ergebnisse des Vergleichs von Primärfaserpapier und Recyclingpapier	44
2.1.3 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse hinsichtlich der potenziellen künftigen Stromerzeugung.....	47
2.1.4 Weitere Szenario-Ergebnisse der Büropapiervariante	49
2.2 Ergebnisse Hygienepapier.....	49
2.2.1 Ergebnisse der Basisszenarien für Hygienepapier	49
2.2.2 Weitere Ergebnisse der Hygienepapiervariante.....	59
2.3 Zusammenfassung und Diskussion der LCA-Ergebnisse	59
3 Ökologische Bewertung der Holzherkunft	65
3.1 Aktuelle Debatte über den natürlichen Zustand der Wälder	65
3.2 Holzherkunft für die deutsche Primärfaserpapierproduktion	67
3.3 Bewertung der Biodiversität	70
3.3.1 Methodik des Biodiversitätsverlustpotenzials von (Chaudhary and Brooks 2018).....	70
3.3.2 Mögliche Auswirkungen des Forstzertifizierungssystems auf den Verlust der Biodiversität	72
3.3.3 Anwendung des Konzepts des Schädigungspotenzials der Biodiversität	73

3.3.4	Diskussion der Ergebnisse des Schadenspotenzials für die Biodiversität.....	77
3.4	Änderung der Landnutzung	78
3.4.1	Berücksichtigung von Landnutzungsänderungen in Zertifizierungssystemen für nachhaltige Wälder.....	79
3.4.2	Risiko der Landnutzungsänderung je Herkunftsregion des Holzes.....	80
3.4.3	Diskussion über das Risiko von Landnutzungsänderungen	83
3.5	Kohlenstoffspeicherung in Wäldern	84
4	Überlegungen zum Papierrecycling.....	87
4.1	Der deutsche Papierkreislauf im Jahr 2018	87
4.2	Schlüsselfaktoren zur Steigerung des Papierrecyclings in Deutschland	89
4.2.1	Sammlung und Sortierung von PfR.....	89
4.2.2	Einfuhren von PfR	90
4.2.3	Technologische Wiederverwertbarkeit	90
4.3	Blauer Engel und die EU-Umweltzeichenkriterien für Büro- und Hygienepapier.....	92
4.4	Diskussion	96
5	Schlussfolgerungen.....	98
5.1	Ökobilanz	98
5.2	Auswirkungen der Holzherkunft	101
5.3	Papier-Recycling.....	102
5.3.1	Verstärkung des Papierkreislaufs.....	102
5.3.2	Potenzielle Aktionspunkte im Zusammenhang mit Umweltgütesiegeln.....	103
5.4	Zusammenfassung	104
6	Literaturverzeichnis.....	106

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Systemgrenzen für die aktuelle Studie.....	18
Abbildung 2:	Kumulativer Energiebedarf (KEA) gesamt, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien	35
Abbildung 3:	Kumulativer Energiebedarf (KEA) erneuerbar, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien	36
Abbildung 4:	Kumulativer Energiebedarf (KEA) nicht erneuerbar, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien	36
Abbildung 5:	Kumulierter Energiebedarf (KEA) ohne Energie aus Einsatzmaterial, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien	37
Abbildung 6:	Klimawandel, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien	37
Abbildung 7:	Versauerung, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien	38
Abbildung 8:	Terrestrische Eutrophierung, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien	39
Abbildung 9:	Aquatische Eutrophierung, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien	40
Abbildung 10:	Süßwasserbedarf, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien	41
Abbildung 11:	Adsorbierbare organische halogenierte Verbindungen (AOX), 1000 kg Büropapier, Basisszenarien.....	41
Abbildung 12:	Photochemische Oxidantienbildung, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien	42
Abbildung 13:	Feinstaub (PM 2.5), 1000 kg Büropapier, Basisszenarien	43
Abbildung 14:	Stratosphärischer Ozonabbau, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien	44
Abbildung 15:	Klimawandel, 1000 kg Büropapier, Vergleich Primär- vs. Recyclingpapier	45
Abbildung 16:	Umweltwirkungskategorien, 1000 kg Büropapier, Vergleich Primärfaser vs. Recyclingpapier	46
Abbildung 17:	Inventarkategorien, 1000 kg Büropapier, Vergleich Primär- vs. Recyclingpapier	47
Abbildung 18:	Klimawandel, 1000 kg Büropapier, Empfindlichkeit 2030.....	49
Abbildung 19:	Kumulativer Energiebedarf (KEA) gesamt, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien	51
Abbildung 20:	Kumulativer Energiebedarf (KEA) erneuerbar, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien	52
Abbildung 21:	Kumulativer Energiebedarf (KEA) nicht erneuerbar, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien	53
Abbildung 22:	Klimawandel, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien.....	53
Abbildung 23:	Versauerung, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien.....	54
Abbildung 24:	Terrestrische Eutrophierung, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien	54
Abbildung 25:	Aquatische Eutrophierung, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien	55

Abbildung 26:	Süßwasserbedarf, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien.....	56
Abbildung 27:	Adsorbierbare organische halogenierte Verbindungen (AOX), 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien	56
Abbildung 28:	Photochemische Ozonbildung, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien	57
Abbildung 29:	Feinstaub (PM 2.5), 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien ...	58
Abbildung 30:	Stratosphärischer Ozonabbau, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien	59
Abbildung 31:	Vergleich der Ergebnisse der Wirkungskategorien: Primärfaser, nicht integriertes und integriert hergestelltes Büropapier vs. recycltes, integriert hergestelltes Büropapier.....	60
Abbildung 32:	Vergleich der Ergebnisse der Inventarkategorien: Primärfaser, nicht integriertes und integriert hergestelltes Büropapier vs. recycltes, integriert hergestelltes Büropapier.....	61
Abbildung 33:	Vergleich der Ergebnisse der Wirkungskategorien: Primärfaser, nicht integriertes Hygienepapier vs. recycltes, integriert hergestelltes Hygienepapier	62
Abbildung 34:	Vergleich der Ergebnisse der Inventarkategorien: Primärfaser, nicht integriert hergestelltes Hygienepapier vs. recycltes, integriert hergestelltes Hygienepapier.....	63
Abbildung 35:	Anteile der Herkunftsländer für Hart- und Weichholz pro Szenario für nicht integriert hergestelltes Büro- und Hygienepapier und für integriert hergestelltes Büropapier (LA = Lateinamerika, SE = Südeuropa, NE = Nordeuropa, NA = Nordamerika, CE = Mitteleuropa)	69
Abbildung 36:	Bandbreite der Charakterisierungsfaktoren aus (Chaudhary and Brooks 2018) für Forstplantagen und bewirtschaftete Wälder in den Herkunftsländern, die der deutschen Papierproduktion im potenziell verschwundenen Anteil (PDF) pro m ² zugerechnet werden.....	72
Abbildung 37:	Anteil des Kahlschlags, der Retentionsforstwirtschaft und des selektiven Holzeinschlags für die Herkunftsländer, die der deutschen Papierproduktion zugerechnet werden	75
Abbildung 38:	Gesamtwaldfläche (links) und potenziell verschwundener Anteil (rechts) , dargestellt als Bandbreite für die Varianten des "niedrigen" und "hohen" PDF-Szenarios, 1000 kg Büropapier (LA = Lateinamerika, SE = Südeuropa, NE = Nordeuropa, NA = Nordamerika, CE = Mitteleuropa)	76
Abbildung 39:	Gesamtwaldfläche (links) und potenziell verschwundener Anteil (rechts), dargestellt als Spanne für die Varianten des "niedrigen" und "hohen "-PDF-Szenarios, 1000 kg Hygienepapier (LA = Lateinamerika, SE = Südeuropa, NE = Nordeuropa, NA = Nordamerika, CE = Mitteleuropa)	77

Abbildung 40:	Zeitleiste der Papierproduktion und des Papierverbrauchs nach Papiersorten in Deutschland	87
Abbildung 41:	Materialflussdiagramm für den Papierkreislauf in Deutschland 2018.....	88
Abbildung 42:	Vergleich der Umweltwirkungsergebnisse: nicht integriert und integriert hergestelltes Primär-Büropapier vs. integriert hergestelltes Recycling-Büropapier.....	98
Abbildung 43:	Vergleich der Inventarkategorien: nicht integriert und integriert hergestelltes Primär-Büropapier vs. integriert hergestelltes Recycling-Büropapier.....	99
Abbildung 44:	Vergleich der Umweltwirkungsergebnisse: nicht integriert hergestelltes Primär-Hygienepapier vs. integriert hergestelltes Recycling-Hygienepapier	100
Abbildung 45:	Vergleich der Inventarkategorien: nicht integriert hergestelltes Primär-Hygienepapier vs. integriert hergestelltes Recycling-Hygienepapier	101

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Klassifizierung der importierten Büropapiere nach Papier-Produktionstypen	22
Tabelle 2:	Herkunft des Marktzellstoffs (für Papier aus nicht integrierter Produktion).....	23
Tabelle 3:	Cluster Büropapier: Gesamtverbrauch Deutschland 2016: ~600.000 t/a	23
Tabelle 4:	Cluster Hygienepapier: Gesamtverbrauch Deutschland 2017*: 1.592.000 t/a	24
Tabelle 5:	Entsprechungen der Szenariennamen für die ökologische Bewertung der Holzherkunft (LA = Lateinamerika, SE = Südeuropa, NE = Nordeuropa, NA = Nordamerika, CE = Mitteleuropa)	67
Tabelle 6:	Vergleich ausgewählter Kriterien der untersuchten Ökolabels	94

Abkürzungsverzeichnis

ADMT	Luftgetrocknete metrische Tonne (engl. air-dried metric ton)
AGRAPA	Arbeitsgemeinschaft Graphische Papiere
AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
BREF	Referenzdokument über die besten verfügbaren Techniken (engl. Best available techniques reference document)
KEA	Kumulierter Energiebedarf (engl. cumulated energy demand)
CHP	Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (engl. combined heat and power plant)
CO₂	Kohlendioxid
COD	Chemischer Sauerstoffbedarf (engl. chemical oxygen demand)
DIP	Deinked-Zellstoff (engl. deinked pulp)
ECF	Elementar chlorfrei (engl. elementary chlorine-free)
EPD	Produkt-Umwelt-Erklärung (engl. Environmental Product Declaration)
FSC	Forest Stewardship Council
GLOBIOM	Global Biosphere Management Model
ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
ILCD	(Engl. The International Reference Life Cycle Data System)
IPR	Initiative Pro Recyclingpapier (Initiative zur nachhaltigen Nutzung von Papier)
LCA	Life Cycle Assessment (Ökobilanz)
LWC	Leicht beschichtet (Papier) (engl. lightweight coated)
NMIR	Maximale inkrementelle Reaktivität unter Berücksichtigung der NO _x -Sensitivität (engl. maximum incremental reactivity taking into account NO _x sensitivity)
NO_x	Stickstoffoxid
MIR	Maximale inkrementelle Reaktivität (engl. maximum incremental reactivity)
MSWI	Verbrennungsanlagen fester Siedlungsabfälle (engl. Municipal Solid Waste Incineration)
PEFC	Programm für die Anerkennung von Waldzertifizierungssystemen (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes)
PEFCR	Produktkategorieregeln für die Erstellung eines ökologischen Fußabdrucks von Papier-(zwischen)produkten auf der Grundlage der vorgeschlagenen EU-Methodik für die Ökobilanzierung
PfR	Papier für Recycling
PM 10	Feinstaub mit einem Partikeldurchmesser von weniger als 10 µm
PCR	Produktkategorieregeln (engl. Product Category Rules)

PEF	Ökologischer Fußabdruck des Produkts (engl. Product Environmental Footprint)
PO₄	Phosphat
POCP	Photochemisches Ozonbildungspotenzial (engl. Photochemical Ozone Creation Potential)
SC	Superkalandriert (Papier) (engl. super calandered)
SO₂	Schwefeldioxid
TCF	Chlorfrei gebleicht (engl. totally chlorine-free)
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
VDP	Verband Deutscher Papierfabriken

Verwendete Einheiten

µm	Mikrometer, 10 ⁻⁶ Meter
L	Liter
m²	Quadratmeter
m³	Kubikmeter, 1.000 Liter
mg	Milligramm
g	Gramm
kg	Kilogramm, 1.000 Gramm
t	Tonne, 1.000 Kilogramm
kJ	Kilojoule, 1.000 Joule
GJ	Gigajoule, 1.000 000 Kilojoule
kt	Kilotonne, 1.000 Tonnen
MJ	Megajoule, 1.000.000 Kilojoule
W	watt
MWh	Megawattstunden, 1.000 Kilowattstunden
a	Jahr

Hinweis zum Dezimaltrennzeichen:

Das in diesem Dokument als Dezimaltrennzeichen verwendete Symbol ist ein Komma. Dies entspricht den Empfehlungen von (ISO 80000-1 2013) für internationale Dokumente.

1 Ziel und Untersuchungsrahmen

1.1 Hintergrund und Zielsetzung

Im Jahr 2000 veröffentlichte das Umweltbundesamt (UBA) eine umfassende Ökobilanz zu grafischen Papieren (Tiedemann et al. 2000), die in den Folgejahren zu einer Referenzstudie für die Erstellung von Richtlinien für die Papierbeschaffung in öffentlichen Einrichtungen und privaten Unternehmen wurde.

Die Studie untersuchte den deutschen Markt für grafische Papiere, einschließlich importierter Papiere und Fasern. Sie basierte auf einer umfangreichen Sammlung von Prozessdaten für alle wichtigen grafischen Papiersorten, einschließlich Daten für Papier- und Zellstofffabriken in den nordischen Ländern. Das Ökobilanzmodell umfasste den gesamten grafischen Papierkreislauf mit allen Faser- und Papierströmen und den Gesamtverbrauch von grafischen Papieren in Deutschland. Ein zentrales Ergebnis dieser Studie war, dass "die Herstellung von grafischen Papieren aus Recyclingfasern wesentlich umweltfreundlicher ist als die Verwendung von Primärfasern aus Holz als Rohstoff". Auch die aktuellen Vergabekriterien des Umweltzeichens "Blauer Engel" für Papierprodukte basieren auf den Ergebnissen dieser Studie und fordern einen möglichst hohen Einsatz von Recyclingpapier, vorzugsweise aus Post-Consumer-Abfällen, als Rohstoff für die Papierherstellung.

Eine auf Büropapier beschränkte Studie wurde 2008 im Auftrag des UBA durchgeführt (Detzel et al. 2008), um das UBA über die Auswirkungen der damals laufenden Verbesserungsmaßnahmen in der Papierindustrie - insbesondere eine Verlagerung hin zu einem höheren Anteil an erneuerbaren Energien in Verbindung mit einer gesteigerten Energieeffizienz - auf das Umweltprofil von Büropapier zu informieren. Die Ergebnisse der Studie wurden vorübergehend auf der Internetseite des UBA zur Verfügung gestellt, aber nicht gesondert in Form eines Berichts veröffentlicht.

Die vorliegende Studie wurde vom UBA im Jahr 2017 unter Beibehaltung des 10-jährigen Aktualisierungsrhythmus in Auftrag gegeben, um auf der Grundlage der aktuellen Situation der für den Verbrauch in Deutschland produzierten Büro- und Hygienepapiere und ihrer möglichen Auswirkungen auf künftige Überarbeitungen von Umweltzeichen für Papier Entscheidungsgrundlagen zu liefern. Die Zielsetzung des UBA umfasste nicht nur eine Bewertung der (vergleichenden) Umweltwirkung von Natur- und Recyclingpapieren mittels Ökobilanz, sondern auch die Berücksichtigung schwer quantifizierbarer Kriterien wie Biodiversität, Landnutzungsänderung und CO₂ Speicherung in Wäldern sowie die Beschreibung der Rahmenbedingungen für eine weitere Verbesserung des Papierkreislaufs. Die Studie gliedert sich in zwei Berichte, diesen Spotlight-Bericht und einen Hintergrundbericht (background report), der zusätzliche Perspektiven berücksichtigt (siehe 1.2.1) und detailliertere Informationen zu bestimmten Aspekten wie verwendete Daten und Methoden liefert.

1.2 Ziel und Umfang der Lebenszyklusanalyse

1.2.1 Systemgrenzen

In der vorliegenden Studie wurden drei verschiedene Perspektiven auf Papier bzw. Papierprodukte betrachtet. In diesem Spotlight-Bericht wird nur die erste berücksichtigt. Die beiden anderen Ansätze sind im Hintergrundbericht (background report) (Wellenreuther et al. 2022) enthalten:

1. Papier am Ausgang der Papierfabrik (Papierzwischenprodukt)
Dies wird in Form einer Cradle-to-Gate-Systemgrenze modelliert (Abbildung 1)
2. Gebrauchsfertige Papierprodukte (Papierendprodukt)
Dies wird in Form einer Cradle-to-Grave-Systemgrenze modelliert (Abbildung 1)
3. Papier in einer mehrfachen Verwertungskette
Weitere Informationen zu dieser Perspektive finden Sie im Hintergrundbericht (background report) (Wellenreuther et al. 2022).

Jede Perspektive erfordert eine spezifische Festlegung der Systemgrenzen und kann auch Entscheidungen über die Allokation beinhalten. Abbildung 1 verdeutlicht dies für den Cradle-to-Gate- und den Cradle-to-Grave-Ansatz. Deutlich wird, dass sich die Cradle-to-Grave-Perspektive im Prinzip nur dadurch von der Cradle-to-Gate-Perspektive unterscheidet, dass sie weitere Lebenszyklusschritte hinzufügt - einschließlich der Umwandlung in ein gebrauchsfertiges Papierprodukt. Beide Perspektiven lassen sich sowohl auf Primärfaser- als auch auf Recyclingpapier und Papierprodukte anwenden, die beide - und das ist wichtig zu beachten - auf dem Markt die gleiche Funktionalität in Bezug auf Bedruckbarkeit, Reißfestigkeit usw. bieten müssen.

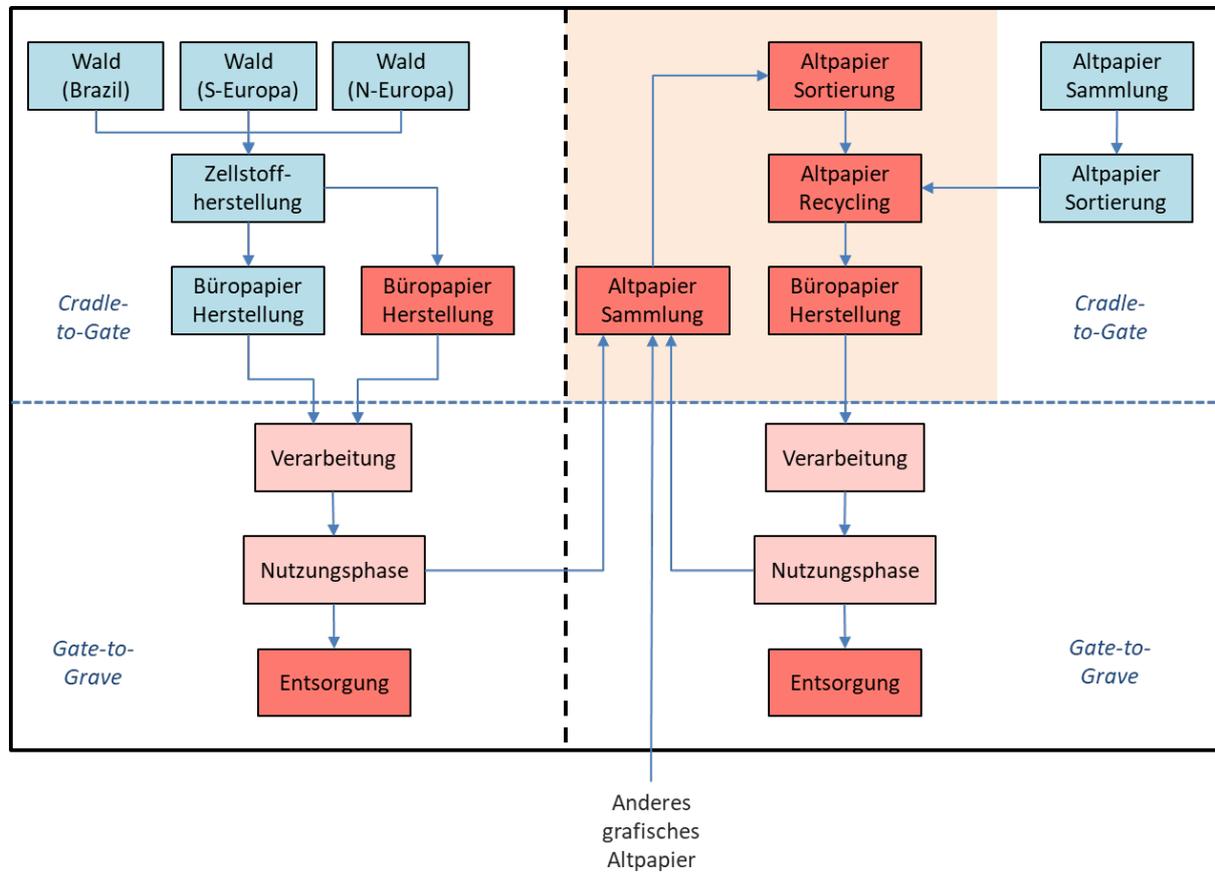
Abbildung 1 zeigt zwar, dass Primärfaser- und Recyclingpapier Teil eines miteinander verbundenen Stoffstromsystems sind, doch um das eine mit dem anderen zu vergleichen - was eines der Hauptziele der vorliegenden Studie ist - müssen die entsprechenden Systeme getrennt untersucht werden, wie durch die vertikale gestrichelte Linie in Abbildung 1 angedeutet. Da beide Systeme miteinander verbunden sind, erfordert eine solche Trennung eine Entscheidung, ob und wenn ja in welchem Verhältnis Umweltlasten auf beide Systeme verteilt werden. Entscheidung über die Lastenteilung wird "Allokation" genannt, und das Verhältnis wird als "Allokationsfaktor" bezeichnet. Erfolgt keine Allokation, so spricht man von einem "Cut-off"-Ansatz, der sich darauf bezieht, dass die Bewertung der jeweiligen Produkte nur die Prozesse innerhalb der dargestellten Systemgrenzen umfasst, ohne Aktivitäten in Vor- oder Folgesystemen zu berücksichtigen.

Für einen direkten Vergleich von Primärfaserpapier und Recyclingpapier sind nur die Cradle-to-Gate Grenzen relevant, da die Auswirkungen, die durch die Umwandlung in Endprodukte, die Nutzungsphase und die Entsorgung verursacht werden, als dieselben angesehen werden können. In diesem Sinne beschreiben der Weg des Primärpapiers und der Weg des Recyclingpapiers zwei Wege zur Herstellung der gleichen Produktfunktion, jedoch mit unterschiedlichen Rohstoffen. Außerdem ist es für ein klares Verständnis der Unterschiede nicht sinnvoll, die Umweltlasten auf beide Wege aufzuteilen. Daher wird in der vorliegenden Studie der Cut-Off-Ansatz für den LCA-Vergleich von Primärfaser- und Recyclingpapier angewandt und bildet auch die Grundlage für die in diesem Spotlight-Bericht vorgestellten LCA-Szenarien und Ergebnisse. Aus Gründen der Transparenz ist es das Ziel dieser Studie, die Informationen so darzustellen, dass ein Vergleich der verschiedenen Prozesse möglich ist. Für die Bewertung des ökologischen Fußabdrucks eines Produkts kann gegebenenfalls eine Aufteilung der Umweltbelastung in der Vorlebenszeit des Produkts vorgenommen werden.

Es ist wichtig zu betonen, dass eine solche Trennung nur solange gültig ist, wie die erforderliche Faserqualität innerhalb des übergreifenden Papierkreislaufs durch eine ausreichende Menge an Primärfasern aufrechterhalten wird, die den Faserpool kontinuierlich auffrischen. Daher, und mit dem Hintergrund, dass eine Allokation der Umweltlasten zwischen Primärfaser- und Recyclingpapiersystemen auch in Ökobilanzstudien für Papier häufig angewandt wird, wurde in der Cradle-to-Grave-Bewertung eines Übungsbuchs ein 50:50-Aufteilungsansatz angewandt, dessen Ergebnisse im Hintergrundbericht (background report) (Wellenreuther et al. 2022)

dokumentiert sind. Darüber hinaus werden Sensitivitätsszenarien unter Berücksichtigung der Circular-Footprint-Formel als Allokationsalternative sowie verschiedene Ansätze zur Bewertung der biogenen Kohlenstoffaufnahme und -emissionen angewendet, die ebenfalls im Hintergrundbericht (background report) (Wellenreuther et al. 2022) dokumentiert sind.

Abbildung 1: Systemgrenzen für die aktuelle Studie



Blaue Kästchen: Prozesse außerhalb Deutschlands

Rote Kästchen: Prozesse innerhalb Deutschlands

Cradle-to-Gate: Basismodell der Systemgrenzen, das einen direkten Vergleich der zentral unterschiedlichen Schritte im Produktionsprozess ermöglicht.

Gate-to-Grave: Exemplarische Einbeziehung der Verarbeitung zu verbrauchernahen Produkten (z.B. Schulhefte) und Entsorgungsprozessen zur Ermittlung der Umweltprofile des gesamten Lebenszyklus und der damit verbundenen Hotspots.

Quelle: Eigene Darstellung 2021, ifeu

Die Herstellung von Papier aus Primärfasern umfasst folgende Prozesse:

- Forstwirtschaftliche Holzversorgung
- Vorbereitung der Fasern
- Papierherstellung
- Transport von Papier

Die Herstellung von Papier aus recycelten Fasern umfasst folgende Prozesse:

- Altpapiersortierung und Lieferung an die Altpapieraufbereitung

- Altpapieraufbereitung, DIP-Produktion
- Papierherstellung
- Transport von Papier

1.2.2 Funktionelle Einheit

Die funktionellen Einheiten für die Cradle-to-Gate Ergebnisse, die in diesem Spotlight-Bericht vorgestellt werden, sind wie folgt.

- Die Produktion von 1 Tonne Büropapier 80 g/m² (stellvertretend für Schreibpapier) und dessen Bereitstellung für den Transport an den Toren der Produktionsstätte
- Die Produktion von 1 Tonne Hygienepapier 16 g/m² (entspricht einer Lage Toilettenpapier) und deren Bereitstellung für den Transport an den Toren der Produktionsstätte

Um bei anderen Hygieneprodukten die gleiche Endproduktqualität zu erreichen, kann es erforderlich sein, das Flächengewicht der Recyclingprodukte zu erhöhen oder Festigkeitszusätze oder Primärfasern zu verwenden, was insbesondere bei Handtuchprodukten zu beobachten ist.

1.2.3 Umweltwirkungskategorien und Inventarindikatoren

Die Auswahl der Umweltwirkungskategorien und die Methoden der Umweltprüfung im vorliegenden Projekt basieren auf dem UBA-Leitfaden zur Ökobilanzierung, der in den UBA-Texten 23/95 (UBA 1995) und 92/99 (UBA 1999) niedergelegt ist. Dieser methodische Leitfaden wurde zum Zeitpunkt des Projekts vom UBA überarbeitet. Leider wurde ein neuer Methodensatz erst in der Endphase dieses Projekts veröffentlicht und konnte daher für diese Studie nicht verwendet werden.

Die folgenden Umweltwirkungs- und Inventarkategorien werden in dieser Studie behandelt (*nicht bewertete Inventarkategorien in kursiver Schrift*):

- ▶ Klimawandel
- ▶ Versauerung
- ▶ Terrestrische Eutrophierung
- ▶ Aquatische Eutrophierung
- ▶ *Bedarf an Prozesswasser (Süßwasser)*
- ▶ *Adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX)*
- ▶ *Kumulativer Energiebedarf (KEA) nicht-erneuerbar*
- ▶ *Kumulierter Energiebedarf (KEA) erneuerbar*
- ▶ *Kumulierter Energiebedarf (KEA) ohne Energie aus Einsatzmaterial*

- ▶ *Kumulierter Energiebedarf (KEA) gesamt*
- ▶ Photochemische Oxidantienbildung
- ▶ Feinstaub (PM 2,5)
- ▶ Stratosphärischer Ozonabbau

In Kapitel 3 dieses Berichts werden Biodiversität und Landnutzungsänderungen sowie die CO₂ Speicherung in Wäldern auf einer hauptsächlich qualitativen Ebene diskutiert. Darüber hinaus wird auch eine Bewertungsmethode für die Biodiversität angewandt.

Anmerkung zur Bewertung des Klimawandels in Bezug auf den Umgang mit biogenem Kohlenstoff:

In den letzten Jahren wird die Berechnung der Kohlenstoffauswirkungen von Waldbiomasse infrage gestellt, hauptsächlich im Hinblick auf die Verbrennung von Holz zur Energieerzeugung. Diese Diskussion umfasst mehrere Aspekte in Bezug auf den Kohlenstoff: Der im Holz enthaltene Kohlenstoff, wobei der Schwerpunkt auf dem Zeitpunkt des Biomassewachstums und dem Zeitpunkt der Emissionen liegt, der Kohlenstoff aus Landnutzungsänderungen und die Verringerung der Kohlenstoffspeicherkapazität der Wälder. Es wurden dynamische Ansätze entwickelt und veranschaulicht, die temporäre Auswirkungen biogener Kohlendioxidemissionen auf den Klimawandel bis zur erneuten Aufnahme berücksichtigen, oder Kohlenstoffbilanzmodelle, die Kohlenstoffflüsse unter sich ändernden Waldbewirtschaftungssystemen berechnen (Tellnes et al. 2017; Hoxha et al. 2020, Matthews et al. 2014). Diese wertvolle Forschung zeigt die Notwendigkeit einer kritischen Betrachtung der Klassifizierung von Biomasse durch das Emissionshandelssystem der Europäischen Union, das derzeit Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung von Biomasse bevorzugt behandelt. Auch wenn die dynamische Modellierung biogener Kohlenstoffflüsse in Ökobilanzen wünschenswert ist, sind die derzeitigen Berechnungsmodelle mit einer hohen Variabilität verbunden, und verschiedene Ansätze liefern unterschiedliche Ergebnisse. Zudem besteht derzeit keinen wissenschaftlichen Konsens darüber, welche Methode für den Einsatz in Ökobilanzen am besten geeignet ist (Tellnes et al. 2017; Hoxha et al. 2020; Fehrenbach et. al.2016). Die Studie von (Matthews et al. 2014), die im Auftrag der Europäischen Kommission durchgeführt wurde, kommt zu dem Schluss, dass aufgrund der Variabilität biogener Quellen in Bezug auf die damit verbundenen THG-Emissionen eine qualitative Bewertung unter Verwendung eines Entscheidungsbaums am besten geeignet ist, um Risiken in Bezug auf THG-Emissionen zu identifizieren. Da der Standort der für die Papierherstellung beanspruchten Wälder unsicher ist (siehe Kapitel 3), stellt sich im Rahmen dieser Studie auch die Frage, für welche potenziellen Kohlenstoffverluste der Wälder die Papierherstellung genau verantwortlich ist. Daher werden die Risiken von Landnutzungsänderungen und Prinzipien der Waldbewirtschaftung, die einer positiven Kohlenstoffbilanz entgegenwirken, in Kapitel 3 qualitativ diskutiert. Die Quantifizierung der mit der Papierherstellung oder -aufnahme verbundenen Kohlenstoffdynamik unter Verwendung derzeit entwickelter Modelle zur Berechnung der Walddynamik der mit der Papierherstellung verbundenen Waldfläche wäre eher Gegenstand eines separaten Forschungsprojekts.

Daher folgt diese Studie den Regeln der derzeit bestehenden LCA-Methoden. Gemäß dem Ansatz von ILCD 2010, PAS 2050 und ISO-14067 werden biogene THG-Emissionen und -Entnahmen innerhalb des 100-Jahres-Zeitraums so betrachtet, als ob sie zu Beginn des Bewertungszeitraums freigesetzt oder entnommen worden wären.

1.2.4 Marktforschung und Entwicklung von Clustern

Um Ökobilanzvergleiche zwischen Papieren aus Primärfasern und Papieren auf Basis von Recyclingfasern zu ermöglichen, müssen deren Herkunft, Rohstoffbeschaffung und Herstellungsverfahren bekannt sein. Zu diesem Zweck haben die Auftragnehmer (größtenteils FÖP) den Papiergroß- und -einzelhandel befragt, um die Menge der in Deutschland verwendeten Kopier- und Hygienepapiere und deren Hersteller möglichst vollständig zu ermitteln. In einem zweiten Schritt der Recherche wurden die Papierhersteller kontaktiert, um Daten zu den jeweiligen Produktionsstandorten und -verfahren sowie zu den Lieferländern bzw. -regionen der eingesetzten Primärfasern und Recyclingfasern zu erhalten. Nur wenige der kontaktierten Hersteller lieferten Marktdaten, sodass eine Einschätzung des Gesamtmarktes auf Basis der erhobenen Daten nicht möglich war.

Aus diesem Grund wurde eine Datenrecherche auf Basis öffentlich zugänglicher Datenquellen durchgeführt, um geeignete Papierproduktcluster zu definieren, die mittels Ökobilanzszenarien untersucht werden sollen.

Für die Ableitung der Massenströme auf dem Markt, die die untersuchten Papierprodukt-Cluster definieren, werden folgende öffentliche Datenquellen herangezogen:

- ▶ Bericht über recyceltes Papier (IPR 2015)
- ▶ Öffentliche Statistiken (StBA 2019)
- ▶ Umweltberichte von Herstellern von Faserstoffen und Papier
- ▶ Jahresbericht des Verbands Deutscher Papierfabriken (VDP) (Moldenhauer et al. 2018)
- ▶ Primärdaten, die von einem deutschen Recyclingpapierhersteller bereitgestellt wurden
- ▶ Referenzdokument über "Die besten verfügbaren Techniken in der Zellstoff- und Papierindustrie" (EU COM, PPP BREF 2015)

1.2.4.1 Marktanalyse

Marktergebnisse Büropapiere:

Der jährliche Verbrauch von Büropapier in Deutschland beträgt rund 600.000 t/a (IPR 2016). Laut (IPR 2015) liegt der Marktanteil von 100 % recyceltem Büropapier in Deutschland bei 14 %. Dies entspricht 84.000 t/a.

In einem weiteren Schritt wurden die A4-Papierimporte nach Deutschland auf Basis der Importstatistik (StBa 2019) für das Jahr 2017 analysiert. Da die Importe aus außereuropäischen Ländern weniger als 5 % der gesamten Büropapierimporte ausmachen, werden für die weitere Clusterung nur europäische Importe berücksichtigt. Die relevanten Importe sind in der folgenden Tabelle 1 zusammengefasst. Die einzelnen in der Importstatistik aufgeführten Herkunftsländer werden dann auf Grundlage von öffentlich zugänglichen Informationen von Büropapierherstellern / standortspezifischen öffentlichen Informationen (UPM 2020, Stora Enso 2020, Leipa 2020) einem Produktionstyp zugeordnet. Bei den Produktionstypen wird zwischen integrierter und nicht-integrierter Produktion unterschieden. Diese werden im (EU COM PPP BREF 2015) wie folgt definiert:

- **Integrierte Produktion**
Sowohl Zellstoff als auch Papier/Karton werden am selben Standort hergestellt. Der Zellstoff wird in der Regel vor der Papier-/Kartonherstellung nicht getrocknet.
- **Nicht-integrierte Produktion**
Entweder (a) Herstellung von Marktzellstoff (zum Verkauf) in Fabriken, die keine Papiermaschinen betreiben, oder (b) Herstellung von Papier, Pappe, Kartonagen unter ausschließlicher Verwendung von in anderen Werken hergestelltem Zellstoff (Marktzellstoff).

Tabelle 1: Klassifizierung der importierten Büropapiere nach Papier-Produktionstypen

Herkunftsland	Produktionstyp	Importierte Masse (2017) kt/Jahr*	Wichtige Produktionsstandorte
Österreich	Primärfaser, nicht integriert	100	Mondi (Theresienthal)
Frankreich	Primärfaser, nicht-integriert und Primärfaser, integriert	48,5 48,5	International Paper (Saillat), Clairefontaine
Slowakei	Primärfaser, integriert	80	Mondi Rezemberok
Polen	Primärfaser, nicht integriert	15	International Paper (Kwidzyn)
Portugal	Primärfaser, nicht-integriert und Primärfaser, integriert	34,5 34,5	Navigator
Schweden	Primärfaser, integriert	56	Stora Enso (Nymölla)
Finnland	Primärfaser, integriert	40	UPM (Kymi), Stora Enso (Kemi)
<i>Import gesamt</i>	<i>Primärfaser, nicht-integriert und Primärfaser, integriert</i>	<i>198 +259 =457</i>	

*Quelle der Importzahlen: (StBA 2019), Bezugsjahr 2017

Für die Länder Frankreich und Portugal wird angenommen, dass die Aufteilung zwischen integrierten und nicht-integrierten Produktionstypen 50/50 beträgt.

Neben der Herkunft der importierten Papiere sind auch Informationen zur Zellstoffherkunft insbesondere für die nicht-integrierte Papierherstellung relevant, um repräsentative Marktcluster ableiten zu können. Da im Rahmen des Forschungsprojekts keine Primärinformationen von Büropapierunternehmen erhoben werden konnten, wird stattdessen die Zellstoffimportstatistik nach (Moldenhauer et al. 2018) als Datenquelle für die Zellstoffherkunft, differenziert nach Lang- und Kurzfasern, verwendet.

Die folgende Tabelle 2 fasst die wichtigsten Zellstoffimporte zusammen, die für die nicht-integrierte Büropapierproduktion betrachtet werden.

Tabelle 2: Herkunft des Marktzellstoffs (für Papier aus nicht integrierter Produktion)

Fasertyp	Herkunftsland	Importierte Masse (2017) kt/Jahr*
Kurzfaser, Laubholz	Brasilien	1.140
	Uruguay	165
	Chile	199
	Portugal	380
	Spanien	213
<i>Laubholz-Zellstoff gesamt</i>		<i>2.097</i>
Langfaseriges, Nadelholz	Schweden	510
	Finnland	310
	Kanada	35
	Vereinigte Staaten	95
<i>Zellstoff aus Nadelholz gesamt</i>		<i>950</i>

*Quelle der Importzahlen: (Moldenhauer et al. 2018)

Für die Cluster-Definition wird eine Verteilung der Faserherkunft auf Basis der oben dargestellten Daten abgeleitet: 72 % aus Lateinamerika und 28 % aus Südwesteuropa für kurze Fasern sowie 87 % aus Nordeuropa und 13 % aus Nordamerika für lange Fasern. Dies deckt im Jahr 2017 >88 % der Kurzfasereimporte und >98 % der Langfasereimporte nach Deutschland ab. Der typische Anteil der verschiedenen Primärfasern für integrierte und nicht integrierte Büropapiere liegt bei 85 % Kurzfasern und 15 % Langfasern.

Abgeleitete Büropapiercluster:

Die folgende Tabelle 3 fasst die abgeleiteten Büropapier-Cluster und ihre Marktanteile für den deutschen Büropapiermarkt zusammen, die auf den in den vorangegangenen Tabellen dargestellten Rohdaten basieren. Die Differenz zwischen importiertem Büropapier, in Deutschland hergestelltem Recycling-Büropapier und dem deutschen Büropapiermarkt in Höhe von 600.000 Tonnen wird der nicht-integrierten deutschen Papierproduktion zugerechnet und ist somit Teil der nicht-integrierten Papierproduktion in Mitteleuropa.

Tabelle 3: Cluster Büropapier: Gesamtverbrauch Deutschland 2016: ~600.000 t/a

Cluster	Papiersorte	Produktion	Standort Papiermaschine	Berechnete Marktmenge (kt/a)	Berechneter Anteil am deutschen Markt (Repräsentativer Status 97,4 %)
O1	Primärfaser	Nicht integriert	Mitteleuropa und Südwesteuropa	257	43 %

Cluster	Papiersorte	Produktion	Standort Papiermaschine	Berechnete Marktmenge (kt/a)	Berechneter Anteil am deutschen Markt (Repräsentativer Status 97,4 %)
O2a	Primärfaser	Integriert	Nord-, Mittel- und Südwesteuropa	259	43 %
O3	Recyclingfaser	Integriert	Mitteleuropa	84	14 %

Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu: IPR, weitere Quellen: VDP: Paper Performance Report 2018 (Bezugsjahr 2017) / Außenhandelsstatistik, Statistisches Bundesamt (Bezugsjahr 2017) / Primärdatenerhebung im Projekt)

Marktergebnisse und abgeleitete Cluster von Hygienepapieren:

Der jährliche Verbrauch von Hygienepapieren in Deutschland (maschinelle Produktion) liegt bei 1.572.000 t/a (Moldenhauer et al. 2018). Primärdaten zu den Produktionsmengen von Hygienepapier in Mitteleuropa für den deutschen Markt konnten im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts von mehreren Hygienepapierunternehmen (WEPA¹, Essity², Fripa³) eingeholt werden.

Auf Grundlage der gesammelten Primärdaten wurde in Tabelle 4 die im Folgenden dargestellte Klassifizierung der Hygienepapier-Produktionstypen abgeleitet.

Tabelle 4: Cluster Hygienepapier: Gesamtverbrauch Deutschland 2017*: 1.592.000 t/a

Cluster	Papiersorte	Produktion	Standort Papiermaschine	Berechnete Marktmenge (kt/a)	Berechneter Anteil am deutschen Markt (Repräsentativer Status 92,4 %)
T1a	Primärfaser	Nicht integriert	Mitteleuropa	1162	73,9 %
T2a	Primärfaser	Nicht integriert	Mitteleuropa	159	10,1 %
T2b	Recyclingfaser	Integriert	Mitteleuropa	132	8,4 %

*Quelle der Marktzahlen für Hygienepapier: (Moldenhauer et al. 2018)

Die Informationen über die Herkunft des Zellstoffs, die im Rahmen dieses Forschungsprojekts aus der Primärdatenerhebung gewonnen wurden, reichen nicht aus, um einen Gesamtmix der Zellstoffherkunft abzuleiten. Aus diesem Grund wird davon ausgegangen, dass die Zellstoffherkunft für Lang- und Kurzfasern dieselbe ist wie in den vorangegangenen Kapiteln für Büropapiere beschrieben, da die Zellstoffimportstatistiken nicht nach der Verwendung der Papierprodukte differenzieren. Für Hygienepapiere wird daher angenommen, dass die

¹ Persönliche Kommunikation mit Frau Anja Rohr, 2018

² Persönliche Kommunikation mit Frau Martina Eisenbeis, 2018

³ Persönliche Kommunikation mit Herrn Torsten Bahl, 2019

Kurzfasern zu 72 % aus Lateinamerika und zu 28 % aus Südwesteuropa sowie die Langfasern zu 87 % aus Nordeuropa bzw. zu 13 % aus Nordamerika stammen. Der typische Anteil der verschiedenen Primärfasern für Hygienepapier beträgt 80 % kurze Fasern und 20 % lange Fasern.

1.2.5 Verwendete Sachbilanzdaten

Eine wichtige Komponente des Projekts war die Sammlung aktueller Prozessdaten zur Herstellung von Primärzellstoff sowie von Daten zur Herstellung von recyceltem Deinking-Zellstoff (DIP) und recyceltem Büro- und Hygienepapier. Ein Ansatz, um so viele Primärdaten wie möglich zu sammeln, bestand darin, die Papierindustrie um Unterstützung bei der Bereitstellung von Prozessdatensätzen zu bitten. Leider führten mehrere Treffen mit Vertretern der Industrie nicht zu einer Vereinbarung über die Bereitstellung von Prozessdaten für dieses Projekt. Einer der Gründe dafür waren kartellrechtliche Bedenken, die trotz einer Prüfung durch die Juristen des UBA nicht ausgeräumt werden konnten. Abgesehen von begrenzten Marktdaten einiger Unternehmen und Prozessdaten für recyceltes Büropapier konnten keine Primärdaten beschafft werden.

1.2.5.1 Überblick der Datenquellen

Ohne die Unterstützung der Papierindustrie bei der Erhebung von Prozessdaten, lag der Schwerpunkt auf der Auswertung öffentlich zugänglicher Informationen. Ergänzt wurden diese Daten durch Daten zur DIP- und Recycling-Büropapierproduktion, die von einem deutschen Recyclingpapierhersteller bezogen wurden. Insgesamt wurden die folgenden Datenquellen für die Erstellung der LCA-Modelle verwendet:

- ▶ Referenzdokument über "Die besten verfügbaren Techniken in der Zellstoff- und Papierindustrie" (EU COM PPP BREF 2015)
- ▶ Ecoinvent Lebenszyklus-Inventardatenbank, Version 3.6 (Ecoinvent 2019)
- ▶ Primärdaten, bereitgestellt von einem deutschen Recyclingpapierhersteller
- ▶ Umweltberichte von Herstellern von Faserstoffen und Papier
- ▶ Interne Datenbank des ifeu Heidelberg
- ▶ Referenzdokument: „Ökologischer Vergleich von Büropapieren in Abhängigkeit vom Faserrohstoff“ (Gromke, U.; Detzel, A. 2006)

Im Folgenden wird kurz beschrieben, wie die verfügbaren Daten für die Modellierung der Papiersorten verwendet werden. Die modellierten Cluster sind in Tabelle 3 und Tabelle 4 beschrieben.

1.2.5.2 Nicht integriert hergestelltes Primärfaser-Büropapier

Die nicht-integrierte Herstellung von Büropapier aus Primärfasern umfasst die folgenden Verfahren:

- *Holzbereitstellung aus der Forstwirtschaft*

Für nördliches Zellstoffholz werden die Inventardatensätze „softwood forestry, pine, Sweden and softwood forestry, spruce, Sweden“ aus (Ecoinvent 2019) verwendet. Für brasilianisches Eukalyptusholz wird der Inventardatensatz „hardwood forestry, *eucalyptus ssp.*, planted forest

management, Brazil“ aus (Ecoinvent 2019) verwendet. Es wird ein Durchschnitt der drei in der Ecoinvent-Datenbank verfügbaren brasilianischen Eukalyptus-Plantagenregionen (Goiás, Minas Gerais, São Paulo) verwendet. Für iberisches Eukalyptusholz ist kein vollständiger Inventardatensatz öffentlich zugänglich. Aus diesem Grund wird der brasilianische Datensatz als Proxy-Datensatz mit einer Anpassung des Ernteertrags verwendet. Für mitteleuropäisches Laubholz werden die Inventardatensätze „hardwood pulpwood, inventory datasets hardwood forestry, oak, Germany“ aus (Ecoinvent 2019) verwendet. Für die Bereitstellung von nordamerikanischem Nadelholz ist kein vollständiger Inventurdatensatz öffentlich verfügbar. Aus diesem Grund wird der Nordeuropa-Nadelholz-Datensatz als Proxy-Datensatz verwendet.

Der Holzertrag bzw. die Landnutzung der einzelnen Länder und Holzarten basiert auf den genannten Quellen. Er basiert auf dem jährlichen Wachstum der Wälder und umfasst sowohl Rundholz als auch Durchforstungsholz, das während der Umtriebszeit geerntet wird. Da der Anteil des Durchforstungsholzes für die mitteleuropäische Papierproduktion möglicherweise höher ist als in der vorliegenden Studie angenommen, könnte die für die mitteleuropäische Papierproduktion benötigte Waldfläche überschätzt werden. Für die verschiedenen Arten der Waldbewirtschaftung (selektive Forstwirtschaft, Kahlschlag oder Erhaltungsforstwirtschaft) wird der gleiche Ertrag angenommen.

- *Herstellung von Marktsulfatzellstoff*

Die Herstellung von Sulfatzellstoff in Nordamerika basiert auf dem Datensatz "sulfate pulp production, from hardwood, bleached" in Kanada, Quebec, der aus (Ecoinvent 2019) stammt. Er umfasst die Produktion von elementar chlorfrei gebleichtem (ECF) Sulfatzellstoff aus dem Kraftverfahren. Die zugrundeliegenden Daten beziehen sich auf einen Mix aus kanadischen Werken, die sowohl Nadel- als auch Laubholz zu Zellstoff verarbeiten. Es wird davon ausgegangen, dass die Produktion zu 50 % in Kanada und zu 50 % in den Vereinigten Staaten stattfindet.

Die Herstellung von lateinamerikanischem Sulfatzellstoff aus Eukalyptus basiert auf dem Datensatz "sulfate pulp production, eucalyptus, bleached, Latin America and the Caribbean", der aus (Ecoinvent 2019) stammt. Er deckt den Produktionsmix von ECF und total chlorfrei (TCF) gebleichtem Sulfatzellstoff aus dem Kraftverfahren in Lateinamerika ab. Da für die iberische Eukalyptuszellstoffproduktion kein spezifischer Inventardatensatz öffentlich verfügbar ist, wird dieser Datensatz auch für iberischen Eukalyptuszellstoff verwendet. Externe Energievorleistungen (z. B. Elektrizität) werden jedoch an Lateinamerika und Iberien angepasst.

Die Herstellung von Sulfatzellstoff aus Nordeuropa basiert auf "sulfate pulp production, from softwood, bleached, Europe" aus (Ecoinvent 2019). Er umfasst ECF- und TCF-Kraftzellstoff, der aus nordeuropäischem Nadelholz gewonnen wird.

Datenquellen für Vorketten von extern bezogener Energie und allen relevanten Vormaterialien und Hilfschemikalien, einschließlich deren Vorketten, sind entnommen aus: (Ecoinvent 2019, Tiedemann et al. 2000, ifeu 2019).

- *Veredelung von Zellstoff*

Bevor der getrocknete Zellstoff in die Papiermaschinen gelangt, muss er gemahlen und fibrilliert werden. Die für die Mahlung verwendeten Energieverbrauchswerte beruhen auf (Bos 1999) und müssen gegebenenfalls anhand von Versuchswerten auf Grundlage von (Gehr 2006) an die Zellstoffart angepasst werden.

- *Herstellung von Büropapier*

Papier wird im letzten betrachteten Prozessschritt aus dem angelieferten Zellstoff hergestellt. Es wird der Inventardatensatz "paper production, woodfree, uncoated, at non-integrated mill" aus (Ecoinvent 2019) verwendet. Die Datenquellen für die Vorketten der extern bezogenen Energie und aller relevanten Vormaterialien und Hilfschemikalien, einschließlich ihrer Vorketten, stammen aus (Ecoinvent 2019, Tiedemann et al. 2000, ifeu 2019).

1.2.5.3 Integriert hergestelltes Primärfaser-Büropapier

Die Herstellung von integriertem Büropapier aus Primärfasern umfasst die folgenden Verfahren:

- *Holzbereitstellung aus der Forstwirtschaft*

Für die integrierte Produktion in Nordeuropa wird sowohl nordisches Laubholz als auch Nadelholz als Rohstoff benötigt. Für Zellstoffholz aus Nordeuropa wird der Inventardatensatz "softwood forestry, pine, Sweden and softwood forestry, spruce, Sweden" aus (Ecoinvent 2019) verwendet. Für die Laubholzforstwirtschaft in Nordeuropa wird der Inventardatensatz "hardwood forestry, birch, Sweden" aus (Ecoinvent 2019) verwendet.

Im Falle der integrierten Produktion in Südeuropa wird davon ausgegangen, dass der Kurzfaserteil aus iberischem Eukalyptus stammt. Für iberisches Eukalyptusholz ist kein vollständiger Inventardatensatz öffentlich verfügbar. Aus diesem Grund wird der brasilianische Datensatz (Ecoinvent 2019) als Proxy-Datensatz mit einer Anpassung des Ernteertrags gemäß (Shibu et al. 2018) verwendet. Beim Langfaserteil wird angenommen, dass mitteleuropäisches Nadelholz verwendet wird, da kein südeuropäischer Datensatz zur Nadelholzforstwirtschaft verfügbar ist. Es werden die Inventardatensätze "softwood forestry, pine, Germany and softwood forestry, spruce, Germany" aus (Ecoinvent 2019) verwendet.

Für die integrierte Produktion in Mitteleuropa müssen sowohl Kurz- als auch Langfasern durch mitteleuropäisches Zellstoffholz abgedeckt werden. Für mitteleuropäisches Laubschnittholz werden die Inventardatensätze "hardwood forestry, oak, Germany and hardwood forestry, beech, Germany" aus (Ecoinvent 2019) verwendet, da Inventardatensätze für weitere relevante mitteleuropäische Laubholzarten (wie Espe, Pappel) nicht verfügbar sind. Der Langfasergehalt basiert auf den Inventardatensätzen "softwood forestry, pine, Germany and softwood forestry, spruce, Germany" aus (Ecoinvent 2019).

- *Integrierte Büropapierproduktion*

Papier wird aus dem angelieferten Holz in einer integrierten Papierfabrik hergestellt. Es wird der Inventardatensatz "paper production, woodfree, uncoated, at integrated mill" aus (Ecoinvent 2019) verwendet. Die Datenquellen für die Vorketten der extern bezogenen Energie und aller relevanten Vormaterialien und Hilfschemikalien, einschließlich ihrer Vorketten, stammen aus: (Ecoinvent 2019, Tiedemann et al. 2000, ifeu 2019). Die extern bereitgestellte Energie (Netzstrom) ist für die integrierte Papierproduktion in Nord-, Mittel- und Südwesteuropa an die geografischen Gegebenheiten angepasst.

1.2.5.4 Integriert hergestelltes Recycling-Büropapier

Die Herstellung von Büropapier aus recycelten Fasern umfasst die folgenden Verfahren:

- *Sortierung von Altpapier und Anlieferung zur Altpapieraufbereitung*

Verwendete Daten: (UBA 1998), Energie-Vorketten entnommen aus (Ecoinvent 2019, ifeu 2019).

- *Altpapieraufbereitung, DIP-Produktion*

Daten zum Endenergieverbrauch, Chemikalienbedarf und Abwasser (STP 2018).

Der Energieträgermix wurde so gewählt, dass er eine Annäherung an die typische deutsche Situation in der DIP-Produktion darstellt, Quellen: (Gehr 2018, Gromke und Detzel 2006).

- *Herstellung von Büropapier*

Aus dem DIP wird im letzten Prozessschritt Papier hergestellt. Die für die Papierherstellung notwendigen Daten stammen aus (STP 2018). Datenquellen für Vorketten von fremdbezogener Energie und allen relevanten Vormaterialien und Hilfschemikalien, einschließlich deren Vorketten, stammen aus: (Ecoinvent 2019, Tiedemann et al. 2000, ifeu 2019).

1.2.5.5 Nicht integriert hergestelltes Primärfaser-Hygienepapier

Die Herstellung von Hygienepapier aus Primärfasern, nicht integriert, umfasst die folgenden Verfahren:

- *Holzbereitstellung aus der Forstwirtschaft*

Für die Basisszenarien wird nordeuropäisches Nadelholz sowie Eukalyptus aus Lateinamerika und Südeuropa als Rohstoff für Zellstoffprozesse verwendet. Für nordeuropäisches Zellstoffholz werden die Inventardatensätze „softwood forestry, pine, Sweden and softwood forestry, spruce, Sweden“ aus (Ecoinvent 2019) verwendet. Für brasilianisches Eukalyptusholz wird der „hardwood forestry, *eucalyptus* spp., planted forest management, Brazil“ aus (Ecoinvent 2019) verwendet. Es wird ein Durchschnitt der drei in der Ecoinvent-Datenbank verfügbaren brasilianischen Eukalyptus-Plantagenregionen (Goiás, Minas Gerais, São Paulo) verwendet. Für iberisches Eukalyptusholz ist kein vollständiger Inventardatensatz öffentlich verfügbar. Aus diesem Grund wird der brasilianische Datensatz als Proxy-Datensatz mit einer Anpassung des Ernteertrags nach (Shibu et al. 2018) verwendet. Für die Bereitstellung von nordamerikanischem Nadelholz ist kein vollständiger Bestandsdatensatz öffentlich verfügbar. Aus diesem Grund wird der nordeuropäische Nadelholzdatsatz als Proxy-Datensatz verwendet.

Einige zusätzliche forstwirtschaftliche Datensätze sind für die technischen Variantenszenarien mit unterschiedlicher Herkunft von Laubholz- und Nadelholz-Zellstoff erforderlich. Für mitteleuropäisches Laubholz-Zellstoffholz werden die Inventurdatensätze "hardwood forestry, oak, Germany" und "hardwood forestry, beech, Germany" aus (Ecoinvent 2019) verwendet. Für mitteleuropäisches Nadelholz werden die Inventardatensätze „softwood forestry, pine, Germany“ und "softwood forestry, spruce, Germany" aus (Ecoinvent 2019) verwendet.

- *Herstellung von Marktsulfatzellstoff*

Die Herstellung von Sulfatzellstoff in Nordamerika basiert auf dem Datensatz "sulfate pulp production, from hardwood, bleached" in Kanada, Quebec aus (Ecoinvent 2019). Er deckt die Produktion von gebleichtem ECF-Sulfatzellstoff nach dem Kraftverfahren ab. Die zugrundeliegenden Daten beziehen sich auf einen Mix aus kanadischen Werken, die sowohl Nadel- als auch Laubholz zu Zellstoff verarbeiten. Es wird angenommen, dass die Produktion zu 50 % in Kanada und zu 50 % in den Vereinigten Staaten stattfindet.

Die Herstellung von lateinamerikanischem Sulfatzellstoff aus Eukalyptus basiert auf dem Datensatz "sulfate pulp production, eucalyptus, bleached, Latin America and the Caribbean" aus (Ecoinvent 2019). Er deckt den Produktionsmix von ECF und total chlorfrei (TCF) gebleichtem Sulfatzellstoff aus dem Kraftverfahren in Lateinamerika ab. Da für die iberische Eukalyptuszellstoffproduktion kein spezifischer Inventardatensatz öffentlich verfügbar ist, wird dieser Datensatz auch für iberischen Eukalyptuszellstoff verwendet. Externe Energievorleistungen (z. B. Elektrizität) werden jedoch an Lateinamerika und Iberien angepasst.

Die Herstellung von Sulfatzellstoff aus Nordeuropa basiert auf "sulfate pulp production, from softwood, bleached, Europe" aus (Ecoinvent 2019). Er umfasst ECF- und TCF-Kraftzellstoff, der aus nordeuropäischem Nadelholz gewonnen wird.

Datenquellen für Vorketten von extern bezogener Energie und allen relevanten Vormaterialien und Hilfschemikalien, einschließlich deren Vorketten, sind entnommen aus: (Ecoinvent 2019, Tiedemann et al. 2000, ifeu 2019).

- *Raffination von Zellstoff*

Bevor der getrocknete Zellstoff in die Papiermaschinen gelangt, muss er gemahlen und fibrilliert werden. Die für die Mahlung verwendeten Energieverbrauchswerte beruhen auf (Bos 1999) und müssen gegebenenfalls anhand von Versuchswerten auf Grundlage von (STP 2006) an die Zellstoffart angepasst werden.

- *Herstellung von Hygienepapier*

Aus dem angelieferten Zellstoff wird im letzten betrachteten Prozessschritt Papier hergestellt. Die Inventardaten für die Hygienepapierherstellung basieren auf (EU COM PPP BREF 2015). Datenquellen für Vorketten von extern bezogener Energie und allen relevanten Vormaterialien und Hilfschemikalien, einschließlich ihrer Vorketten, stammen aus: (Ecoinvent 2019, Tiedemann et al. 2000, ifeu 2019).

1.2.5.6 Integriert hergestelltes Recycling-Hygienepapier

Die Herstellung von Hygienepapier aus recycelten Fasern umfasst die folgenden Verfahren:

- *Sortierung von Altpapier und Anlieferung zur Altpapieraufbereitung*

Verwendete Daten: (UBA 1998), Energie-Vorketten entnommen aus (Ecoinvent 2019, ifeu 2019)

- *Altpapieraufbereitung, DIP-Produktion*

Die Bestandsdaten für das DIP-Verfahren basieren auf (EU COM PPP BREF 2015).

- *Herstellung von Hygienepapier*

Aus dem DIP wird im letzten betrachteten Prozessschritt Papier hergestellt. Die für die Papierherstellung notwendigen Daten stammen aus (EU COM PPP BREF 2015). Die Datenquellen für die Vorketten an fremdbezogener Energie und alle relevanten Vormaterialien und Hilfschemikalien, einschließlich deren Vorketten, stammen aus: (Ecoinvent 2019, Tiedemann et al. 2000, ifeu 2019).

1.2.6 Szenarioüberblick

Im Folgenden wird ein Überblick der Szenarien auf Basis der Marktanalyse gegeben. Zu beachten ist, dass diese Szenarien darauf abzielen, das durchschnittliche Marktgeschehen von Papier auf dem deutschen Markt darzustellen. Die Ergebnisse für spezifische Fälle wie die Produktion einer einzelnen Fabrik oder eines einzelnen Unternehmens können abweichen.

Solche Informationen können in separaten LCA- oder Carbon-Footprint-Studien gefunden werden, wie z.B. in den aktuellen Studien von Holmen (Lindberg et al. 2018) oder Metsä Tissue (AFRY 2021).

1.2.6.1 Büropapier

Szenarioübersicht Büropapiere (Cradle-to-Gate):

Basisszenarien sind Cradle-to-Gate-Szenarien (für eine Darstellung der Systemgrenzen siehe 1.2.1), die auf einen Vergleich der Produktionstechnologien für Primär- und Recycling-Büropapier abzielen, einschließlich der Bewertung von Varianten der nicht-integrierten Produktion hinsichtlich der Zellstoffzusammensetzung. Die Basisszenarien sind wie folgt:

- Primärfasern, nicht-integrierte Produktion abgekürzt: Primär, nicht-integriert
- Primärfasern, integrierte Produktion abgekürzt: Primär, integriert
- Recycelte Fasern, integrierte Produktion abgekürzt: Recycling, integriert

Die Basisszenarien beruhen auf den Ergebnissen der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Cluster von Büropapiersorten (siehe Tabelle 3) wobei jedes der Basisszenarien einen der Marktcluster darstellt. Es wird angenommen, dass sowohl integriertes als auch nicht integriertes Büropapier zu 85 % aus Kurzfasern und zu 15 % aus Langfasern besteht. Diese Zusammensetzung von Büropapier soll eine typische Zusammensetzung von Büropapier darstellen. Für den Basisfall wird davon ausgegangen, dass der Kurzfaserteil von Primärfaser, nicht integriertem Büropapier aus Eukalyptusfasern besteht, da auf der Grundlage der Kurzfasereimportstatistiken sowohl lateinamerikanische als auch südeuropäische Eukalyptusfasern eine vorherrschende Rolle spielen. Der Anteil an Langfasern stammt überwiegend aus nordeuropäischem Nadelholz und zu einem kleineren Teil aus nordamerikanischem Nadelholz, wie aus den Statistiken über Langfasereimporte hervorgeht.

Zum Klimawandel wird eine zusätzliche Sensitivitätsanalyse durchgeführt, in der der Einfluss des sich ändernden Strommixes in Deutschland, wo der größte Teil der Recyclingpapierproduktion stattfindet, überprüft wird.

Weitere Szenarien zur Zellstoffzusammensetzung und Herkunft der Fasern sind im Hintergrundbericht (background report) (Wellenreuther et al. 2022) enthalten.

1.2.6.2 Hygienepapier

Basisszenarien sind Cradle-to-Gate-Szenarien (für eine Darstellung der Systemgrenzen siehe 1.2.1), die auf einen technologischen Vergleich der Herstellung von Primär- und Recycling-Hygienepapier abzielen, einschließlich der Bewertung von Papiervarianten aus nicht integrierter Produktion hinsichtlich der Zellstoffzusammensetzung.

Die Basisszenarien werden in 2 Gruppen unterschieden:

- Primärfasern, nicht-integrierte Produktion abgekürzt: Primär, nicht-integriert
- Recyclingfasern, integrierte Produktion abgekürzt: Recycling, integriert

Der Cluster nicht-integrierte Recyclingfasern, ist in Tabelle 4 im Cluster der integriert hergestellten Recyclingfasern enthalten, da die Autoren der vorliegenden Studie die zugrunde liegenden Daten für eine Differenzierung als unzureichend erachten (z. B. sind die typischen Transportentfernungen von Recyclingfasern nicht aus öffentlichen Datenquellen verfügbar).

Außerdem dürften die Unterschiede in der Umweltwirkung zwischen integriert und nicht integriert hergestelltem Recyclingfaser-Hygienepapier geringer sein als die Unterschiede zwischen der integrierten und der nicht integrierten Papierherstellung auf Primärfaserbasis.

Weitere Szenarien zur Zellstoffzusammensetzung und Herkunft der Fasern sind im Hintergrundbericht (background report) (Wellenreuther et al. 2022) enthalten.

2 Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse

Zur Darstellung der Umweltbewertung werden gestapelte Balkendiagramme verwendet. Dabei wird zwischen verschiedenen Sektoren der Papierherstellungskette unterschieden. Die einzelnen Sektoren enthalten neben den Hauptprozessen auch alle relevanten Vorketten wie die Energiebereitstellung oder die Bereitstellung von Hilfsstoffen, wie z.B. den Transport von Roh- oder Hilfsstoffen (Holz, Altpapier, Natronlauge, etc.), sofern sie nicht gesondert ausgewiesen sind. In den folgenden Kapiteln wird beschrieben, wie die Ergebnisse in Teilprozesse aufgeschlüsselt werden. Zur besseren Orientierung wird in der Aufzählung der Teilprozesse zusätzlich in eckigen Klammern die Kurzbezeichnung der Teilprozesse angegeben, wie sie in den Diagrammen verwendet wird.

Alle dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die Rahmenbedingungen, die in Kapitel 1.1 beschrieben sind.

Die nicht integrierte Papierherstellung aus Primärfasern gliedert sich in die folgenden Teilprozesse:

- ▶ Holzbereitstellung (Forstwirtschaft/Altpapier)
- ▶ Transport von Holz zur Zellstofffabrik (Transport Holz/Altpapier)
- ▶ Zellstoffherstellung (Zellstoff/DIP)
- ▶ Transport von Zellstoff zur Papierfabrik (Transport Zellstoff)
- ▶ Papierherstellung aus Zellstoff (Papierherstellung)
- ▶ Transport von Papier zum deutschen Markt (Transport Papier)

Die integrierte Papierherstellung aus Primärfasern gliedert sich in die folgenden Teilprozesse:

- ▶ Holzbereitstellung (Forstwirtschaft/Altpapier)
- ▶ Transport von Holz zum integrierten Werk (Transport Holz/Altpapier)
- ▶ Integrierte Papierherstellung aus Holz (integrierte Papierfabrik)
- ▶ Transport von Papier zum deutschen Markt (Transport Papier)

Die Papierherstellung aus Altpapier ist in die folgenden Sektoren unterteilt:

- ▶ Sammlung und Sortierung von Altpapier (Holz/Altpapier)
- ▶ Transport von Altpapier zur Papierfabrik (Transport von Holz/Altpapier)
- ▶ Produktion von DIP-Chemikalien (Vorketten) (DIP) (Zellstoff/DIP)
- ▶ Integrierte DIP/Papierherstellung aus Recyclingfasern (Papierherstellung)
- ▶ Transport von Papier zum deutschen Markt (Transport Papier)

Alle Ergebnisse beziehen sich auf die Produktion von einer Tonne Papier.

Ein Hinweis zur Signifikanz: Für Studien, die für vergleichende Aussagen verwendet werden sollen, die der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden sollen, verlangt ISO 14044 eine Analyse der Ergebnisse hinsichtlich Sensitivität und Unsicherheit. Es ist oft nicht möglich, die Unsicherheiten von Datensätzen und gewählten Parametern mit mathematisch fundierten statistischen Methoden zu bestimmen. Für die Berechnung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen von LCA-Ergebnissen sind statistische Methoden daher in der Regel nicht oder nur eingeschränkt anwendbar. Um die Signifikanz von Ergebnisunterschieden zu definieren, wird eine geschätzte Signifikanzschwelle von 10 % gewählt. Dies kann als gängige Praxis für Ökobilanzstudien zum Vergleich verschiedener Produktsysteme angesehen werden. Dies bedeutet, dass Unterschiede zwischen Produktsystemen $\leq 10\%$ als nicht signifikant betrachtet werden.

2.1 Ergebnisse Büropapier

2.1.1 Ergebnisse der Basisszenarien für Büropapier

2.1.1.1 Ergebnisse des Basisszenarios für Büropapier: Klimawandel, KEA gesamt, KEA erneuerbar & KEA nicht-erneuerbar

Zunächst werden die Umweltindikatoren betrachtet, die in erster Linie mit der Energiebereitstellung zusammenhängen, nämlich der *KEA gesamt*, der *KEA erneuerbar*, der *KEA nicht-erneuerbar* und der *Klimawandel*. Um einen direkteren Vergleich zwischen Primärfaser- und Recyclingpapier zu ermöglichen, wird in diesem Kapitel ein gewichtetes Durchschnittsergebnis für die gesamte Produktion von Primärfaserpapier gebildet 2.1.2.

Auch wenn die Ergebnisse des KEA keine bewerteten Umweltauswirkungen darstellen, können sie wertvolle zusätzliche Informationen liefern. Der kumulierte Energiebedarf eines Produkts stellt den direkten und indirekten Energieverbrauch während des gesamten Lebenszyklus dar, im Falle dieser Cradle-to-Gate-Szenarien bis zum Werkstor. Er umfasst also auch die im Produkt selbst enthaltene Energie der Ausgangsstoffe. Da der endgültige Verbleib der untersuchten Produkte bei einem Cradle-to-Gate-Ansatz nicht in die Bewertung einfließt, können die Ergebnisse der von der Primärenergie dominierten Kategorien KEA gesamt und KEA erneuerbar irreführende Informationen liefern. Bei Cradle-to-Gate-Szenarien sollte der Schwerpunkt auf dem nicht-erneuerbaren KEA liegen. Durch die Nichtberücksichtigung von Energie aus erneuerbaren Quellen kann jedoch der Eindruck entstehen, dass ihre Verwendung aus Sicht der Umwelt keine Rolle spielt. Dies ist natürlich nicht der Fall. Ein weiteres Ergebnisdiagramm (Abbildung 6) ist unten abgebildet. Diese Abbildung zeigt den gesamten KEA ohne Energie aus Einsatzmaterial.

Integrierte Recycling-Büropapiere sind mit einem um 62 % niedrigeren Gesamt-Primärenergiebedarf verbunden als integrierte Primärfaser-Büropapiere und mit einem um 72 % niedrigeren Gesamt-Primärenergiebedarf als nicht integrierte Primärfaser-Büropapiere. Darüber hinaus sind integrierte Recycling-Büropapiere mit einem geringeren Bedarf an erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Primärenergie verbunden als nicht-integrierte Primärfaser-Büropapiere. Der Gesamt- und der erneuerbare Primärenergiebedarf von Recyclingpapieren ist ebenfalls niedriger als der von integrierten Büropapieren, liegt aber in Bezug auf den nicht-erneuerbaren KEA auf einem ähnlichen Niveau. Zieht man die Energie der Rohstoffe ab, so zeigt sich, dass Recycling-Büropapiere in Bezug auf die gesamte eingesetzte Prozessenergie einen geringeren Gesamtenergiebedarf haben als die beiden Typen von Primärfaser-Büropapieren.

Entsprechend den Ergebnissen des *KEA nicht-erneuerbar* sind die Treibhausgasemissionen (*Klimawandel*) im Zusammenhang mit der Herstellung von Büropapier bei Recyclingpapier um

31 % niedriger als bei nicht integriertem Primärfaserpapier, liegen aber in der gleichen Größenordnung wie bei integriertem Büropapier. Ein Grund dafür ist vor allem der sehr hohe Anteil biomassebasierter Prozessenergie bei der Herstellung von integriertem Primärfaserpapier durch die Verwendung von Schwarzlauge, Rinde und Holzspänen..

Die höchsten Lasten der Gesamtergebnisse nicht integrierter Büropapiere für die hier diskutierten Indikatoren kommen für alle Papiersorten aus der Papierherstellung. Bei Papieren aus integrierter Produktion kommen die höchsten Lasten aus dem Gesamtprozess der integrierten Papierfabrik. Weitere auffällige Abschnitte im Lebenszyklus sind der Aufschluss und der Transport des Zellstoffs sowie der DIP-Prozess bei Papieren aus nicht integrierter Produktion. Die Zellstofftransporte sind vor allem durch die Langstreckentransporte des iberischen und lateinamerikanischen Eukalyptuszellstoffs bedeutend. Holztransporte sind im Hinblick auf nicht erneuerbare Primärenergien und den Klimawandel kaum wahrnehmbar, mit Ausnahme von neuen Papieren aus Südwesteuropa, wo einige Eukalyptusholzimporte aus Brasilien (~13 % der südwesteuropäischen Eukalyptusholzversorgung) einen gewissen Beitrag leisten.

Anmerkung zu gekauftem Strom aus erneuerbaren Quellen

Einige Faser- und Papierfabriken verwenden anbieterspezifisch eingekaufte Energie, indem sie grüne Zertifikate kaufen. Um Doppelzählungen zu vermeiden, müssten diese von den in allen anderen Prozessen verwendeten Strommischen abgezogen werden. Dies ist im Rahmen dieser Ökobilanz nicht möglich, da nicht nur kein Restmix zur Verfügung steht, sondern auch die Aggregation vieler Hintergrundprozesse es unmöglich macht, die verwendeten durchschnittlichen Strommische zu ersetzen. Daher wird extern eingekaufter Strom aus erneuerbaren Quellen nicht berücksichtigt, obwohl auf der Ebene der einzelnen Produktionsstandorte der Einkauf von erneuerbaren Energien einen positiven Effekt auf den Kohlenstofffußabdruck hat. Dieser Ansatz steht im Einklang mit den ISO-Normen für Ökobilanzen ISO 14040 und ISO 14044.

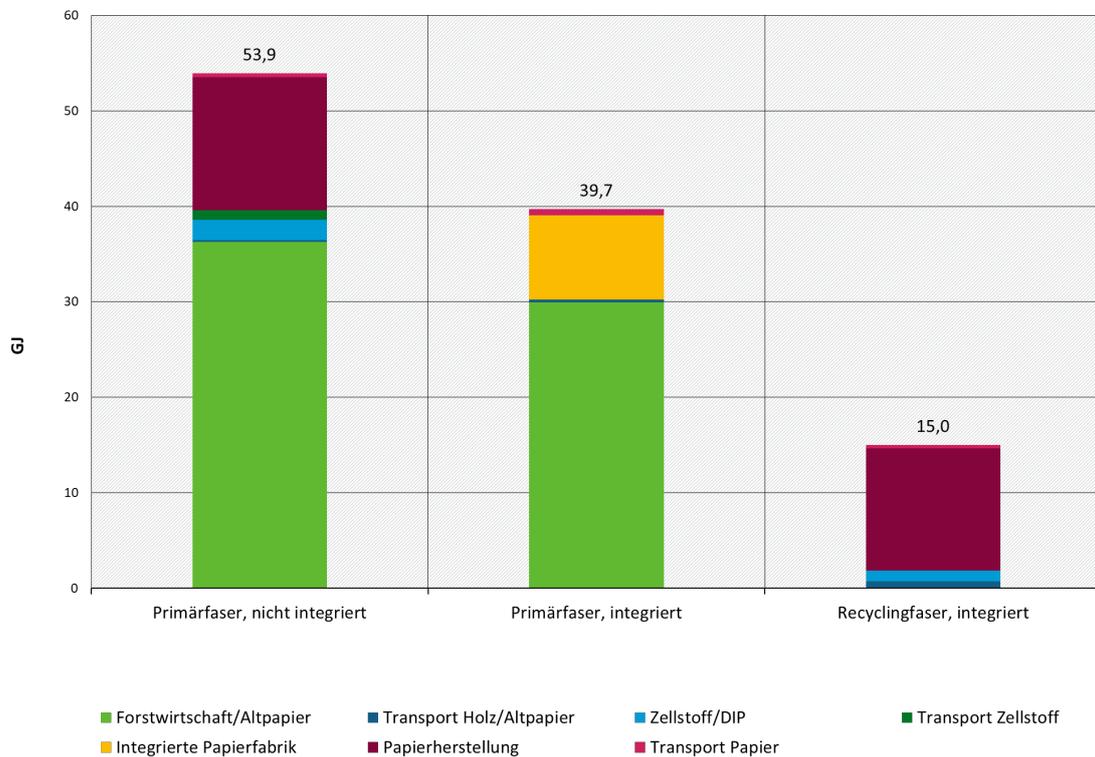
Anmerkung zur Bewertung des Klimawandels in Bezug auf den Umgang mit biogenem Kohlenstoff

In den letzten Jahren wird die Berechnung der Kohlenstoffauswirkungen von Waldbiomasse infrage gestellt, insbesondere im Hinblick auf die Verbrennung von Holz zur Energieerzeugung. Diese Diskussion umfasst mehrere Aspekte in Bezug auf den Kohlenstoff: Der im Holz enthaltene Kohlenstoff, wobei der Schwerpunkt auf dem Zeitpunkt des Biomassewachstums und dem Zeitpunkt der Emissionen liegt, der Kohlenstoff aus Landnutzungsänderungen und die Verringerung der Kohlenstoffspeicherkapazität der Wälder. Es wurden dynamische Ansätze entwickelt und veranschaulicht, die temporäre Auswirkungen biogener Kohlendioxidemissionen auf den Klimawandel bis zur erneuten Aufnahme berücksichtigen, oder Kohlenstoffbilanzmodelle, die Kohlenstoffflüsse unter sich ändernden Waldbewirtschaftungssystemen berechnen (Tellnes et al. 2017; Hoxha et al. 2020, Matthews et al. 2014). Diese wertvolle Forschung zeigt die Notwendigkeit einer kritischen Betrachtung der Klassifizierung von Biomasse durch das Emissionshandelssystem der Europäischen Union, das derzeit Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung von Biomasse bevorzugt behandelt. Auch wenn die dynamische Modellierung biogener Kohlenstoffflüsse in Ökobilanzen wünschenswert ist, sind die derzeitigen Berechnungsmodelle mit einer hohen Variabilität verbunden, und verschiedene Ansätze liefern unterschiedliche Ergebnisse. Zudem besteht derzeit kein wissenschaftlicher Konsens darüber, welche Methode für den Einsatz in Ökobilanzen am besten geeignet ist (Tellnes et al. 2017; Hoxha et al. 2020; Fehrenbach et al. 2016). Die Studie von (Matthews et al. 2014), die im Auftrag der Europäischen Kommission durchgeführt wurde, kommt zu dem Schluss, dass aufgrund der

Variabilität biogener Quellen in Bezug auf die damit verbundenen THG-Emissionen eine qualitative Bewertung unter Verwendung eines Entscheidungsbaums am besten geeignet ist, um Risiken in Bezug auf THG-Emissionen zu identifizieren. Da der Standort der für die Papierherstellung beanspruchten Wälder unsicher ist (siehe Kapitel 3), stellt sich im Rahmen dieser Studie auch die Frage, für welche potenziellen Kohlenstoffverluste der Wälder die Papierherstellung genau verantwortlich ist. Daher werden die Risiken von Landnutzungsänderungen und Prinzipien der Waldbewirtschaftung, die einer positiven Kohlenstoffbilanz entgegenwirken, in Kapitel 3 qualitativ diskutiert. Die Quantifizierung der mit der Papierherstellung oder -aufnahme verbundenen Kohlenstoffdynamik unter Verwendung derzeit entwickelter Modelle zur Berechnung der Walddynamik der mit der Papierherstellung verbundenen Waldfläche wäre eher Gegenstand eines separaten Forschungsprojekts.

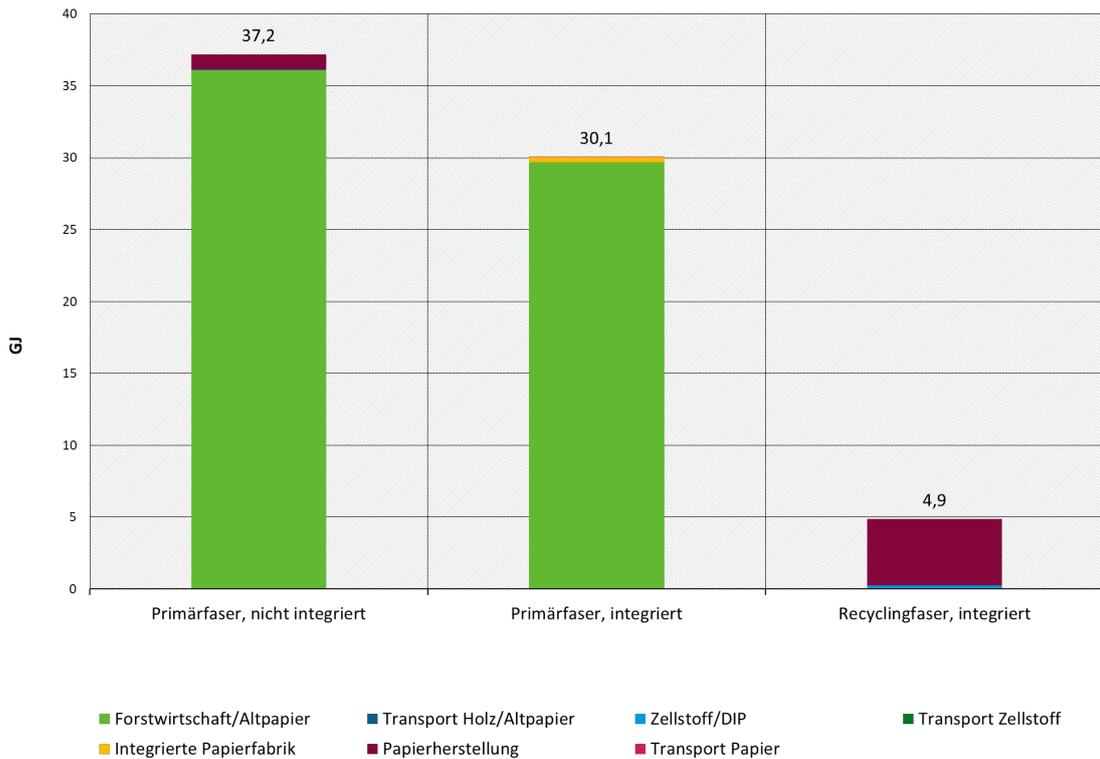
Daher folgt diese Studie den Regeln der derzeit bestehenden LCA-Methoden. Gemäß dem Ansatz von ILCD 2010, PAS 2050 und ISO-14067 werden biogene THG-Emissionen und -Entnahmen innerhalb des 100-Jahres-Zeitraums so betrachtet, als ob sie zu Beginn des Bewertungszeitraums freigesetzt oder entnommen worden wären.

Abbildung 2: Kumulativer Energiebedarf (KEA) gesamt, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien



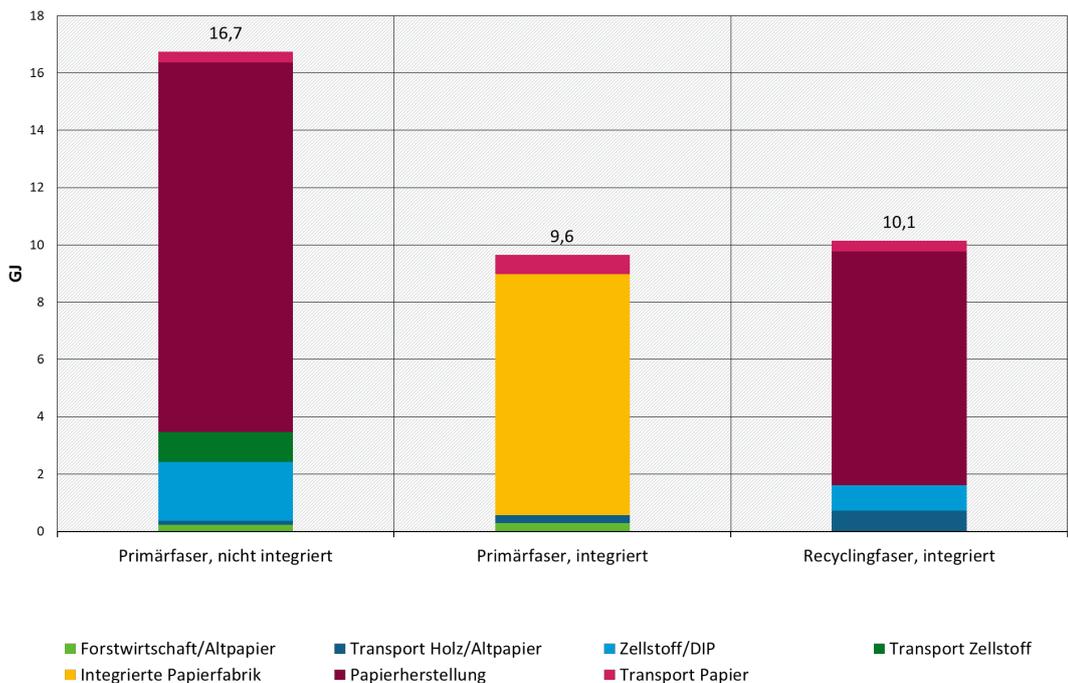
Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 3: Kumulativer Energiebedarf (KEA) erneuerbar, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien



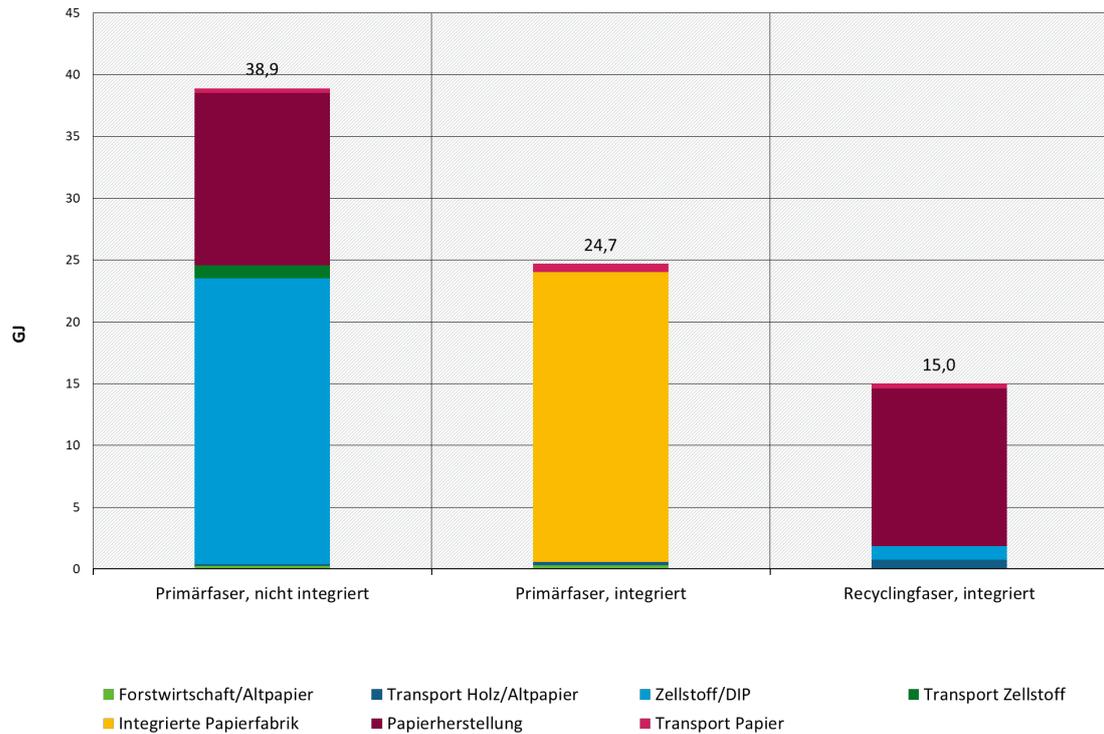
Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 4: Kumulativer Energiebedarf (KEA) nicht erneuerbar, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien



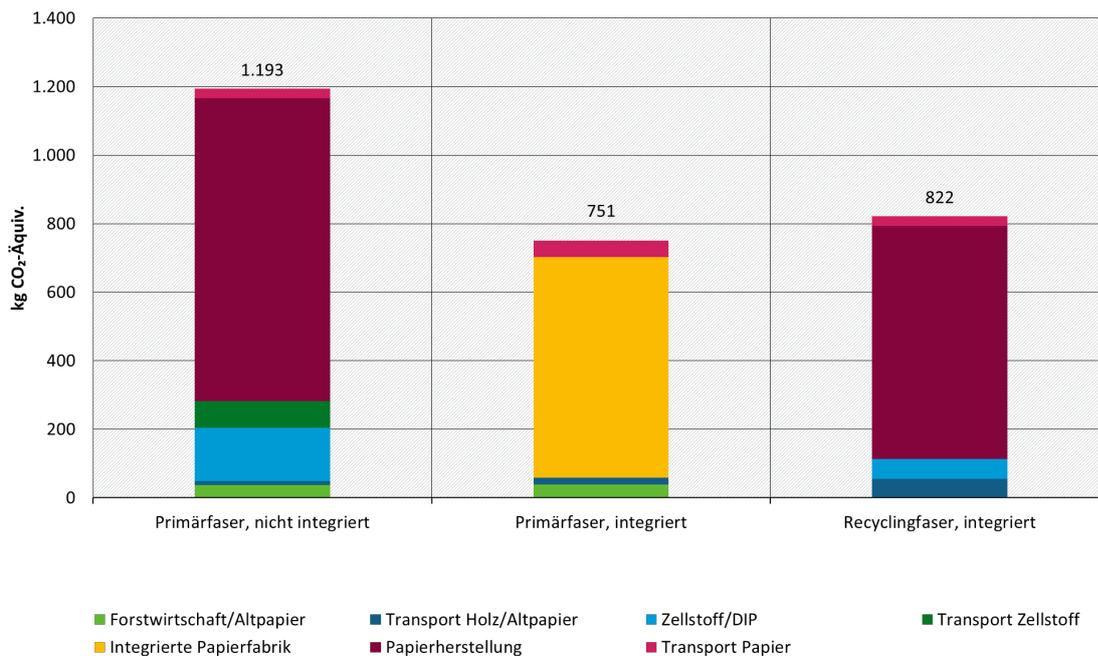
Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 5: Kumulierter Energiebedarf (KEA) ohne Energie aus Einsatzmaterial, 1000 kg Büro­papier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 6: Klimawandel, 1000 kg Büro­papier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

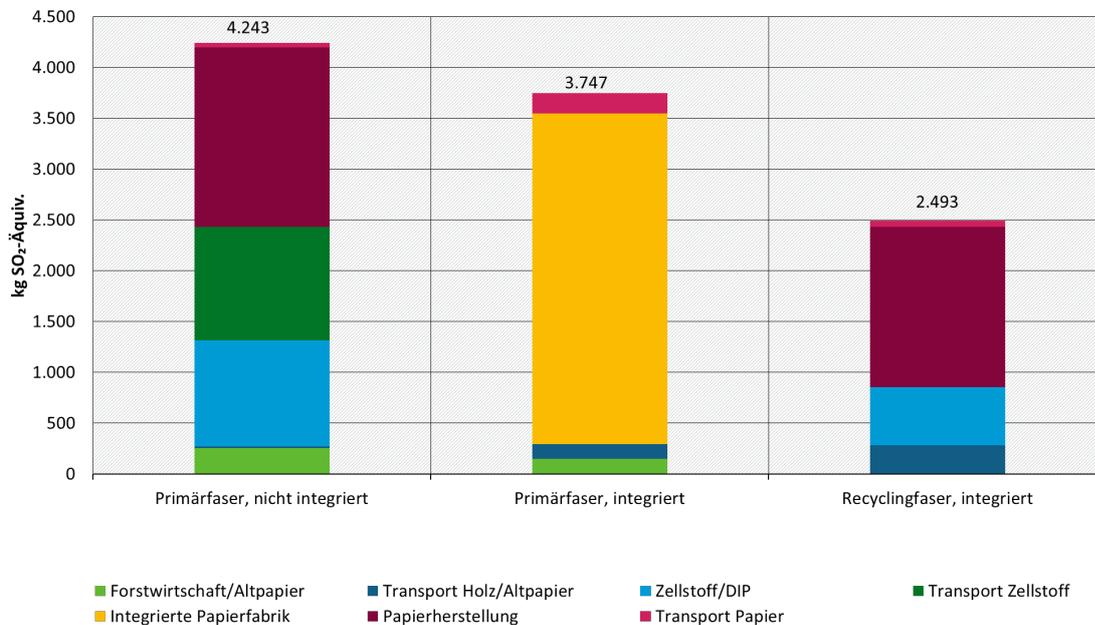
Siehe Kapitel 2.1.2 für den Vergleich der Ergebnisse der Auswirkungen von durchschnittlichem Primärfaserpapier und Recyclingpapier.

2.1.1.2 Ergebnisse der Basisszenarien für Büropapier: Versauerung & Terrestrische Eutrophierung

In diesem Kapitel werden die Umweltindikatoren betrachtet, die sich nicht auf Kohlendioxid-Luftemissionen, sondern auf Stickstoff- und Schwefelverbindungen, *Versauerung* und *Terrestrische Eutrophierung* beziehen. Diese Verbindungen sind typischerweise sowohl mit Transporten als auch mit Verbrennungsprozessen verbunden.

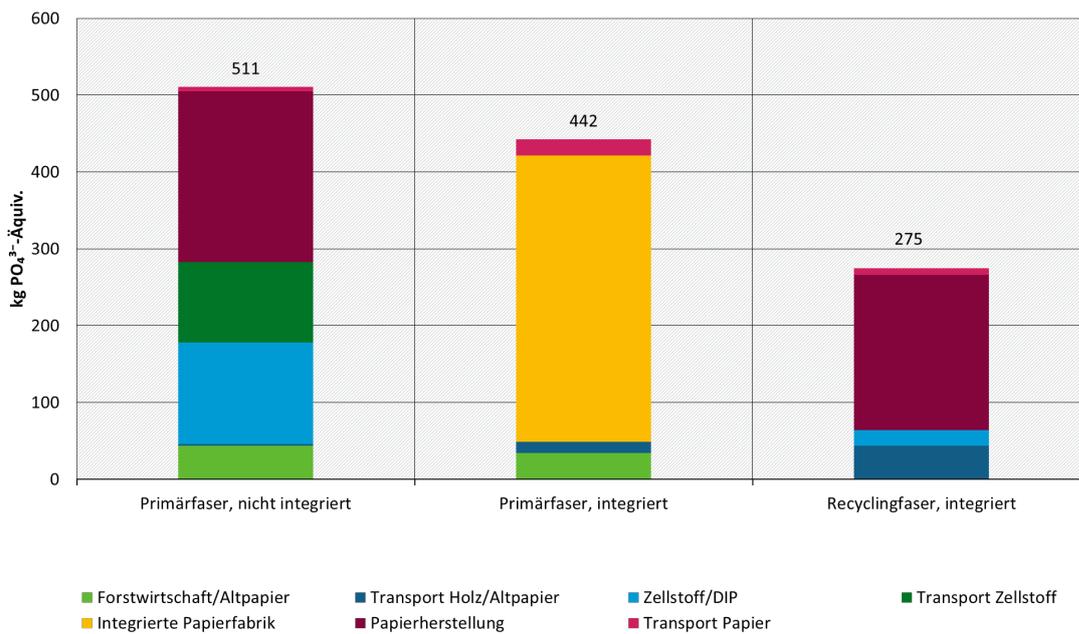
Integrierte Recycling-Büropapiere aus integrierter Produktion sind mit 41 % bzw. 46 % geringeren (Versauerung bzw. terrestrische Eutrophierung) Umweltauswirkungen verbunden als nicht integrierte Primärfaser-Büropapiere und mit 33 % bzw. 38 % geringeren Auswirkungen als integrierte Primärfaser-Büropapiere bei den genannten Indikatoren. Dies hängt zu einem großen Teil mit dem hohen Anteil an Prozessenergie aus Biomasse zusammen, die für die integrierte Zellstoff- und Papierproduktion benötigt wird, und zwar aufgrund der Freisetzung von Schwefel und Stickstoff aus der Biomasse und der thermischen Stickoxidbildung bei Verbrennungsprozessen zur Energieerzeugung. Erhebliche Transportvorgänge tragen zur Emission von Schwefel- und Stickstoffverbindungen in die Luft bei, insbesondere bei nicht integrierten Primärfaserpapieren (Zellstofftransporte z.B. aus Iberien und Lateinamerika).

Abbildung 7: Versauerung, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 8: Terrestrische Eutrophierung, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Siehe Kapitel 2.1.2 für den Vergleich der Ergebnisse der Auswirkungen von durchschnittlichem Primärfaserpapier und Recyclingpapier.

2.1.1.3 Ergebnisse der Basisszenarien für Büropapier: Wasserbezogene Ergebnisse

Die Betrachtung wasserbezogener Umweltauswirkungen und wasserbezogener Umweltindikatoren bietet zusätzliche Einblicke in die Umweltwirkung der Papierherstellung. Dazu gehören die Aquatische Eutrophierung, adsorbierbare organische halogenierte Verbindungen (AOX) und der Prozesswasserbedarf (Süßwasser).

Bei den drei Umweltindikatoren, die hier im Mittelpunkt stehen, sind die Ergebnisse von Recyclingpapier deutlich niedriger (mindestens 50 % weniger oder mehr bei der aquatischen Eutrophierung und sogar höher bei den beiden anderen wasserbezogenen Indikatoren) als bei allen untersuchten Primärfaserpapieren.

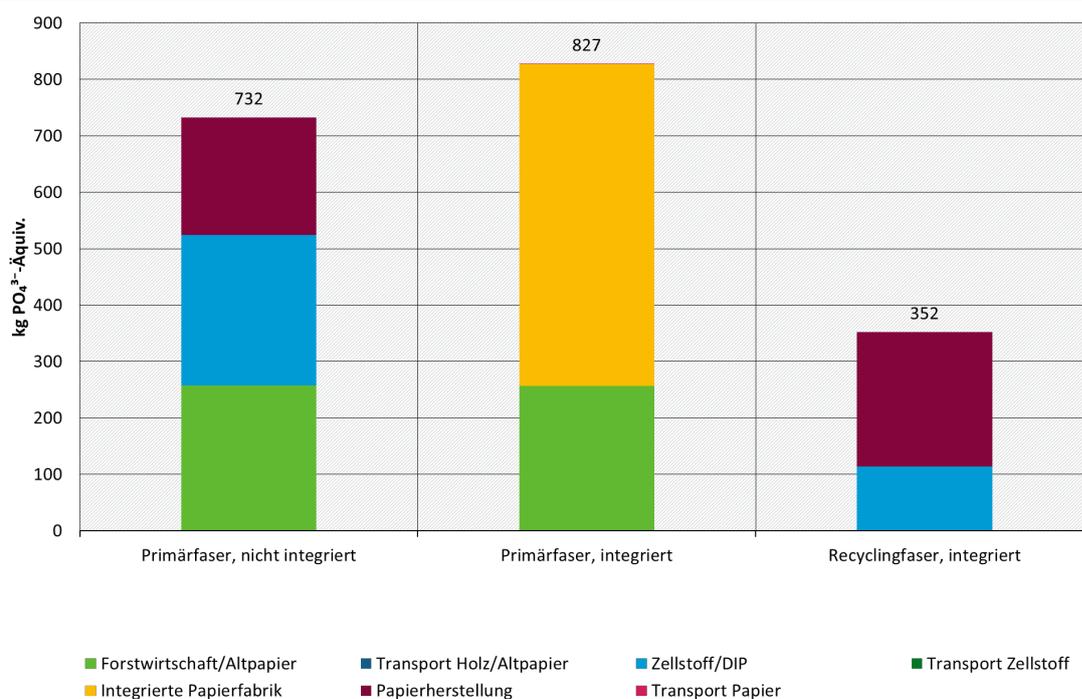
Der Beitrag der Primärfaserpapiere liegt in der aquatischen Eutrophierung in einer ähnlichen Größenordnung, unabhängig davon, ob sie integriert oder nicht integriert hergestellt werden. Da die zugrundeliegenden Emissionen in das Wasser (z. B. COD (engl. chemical oxygen demand) chemischer Sauerstoffbedarf) weitgehend mit der Verwendung von Prozesschemikalien zusammenhängen, ist die aquatische Eutrophierung im Zusammenhang mit dem gesamten Papierherstellungsprozess (d. h. integrierte Fabrik gegenüber der Summe aus Zellstoff- und Papierherstellung im Falle der nicht integrierten Produktion) bei gleicher Menge an Primärfasern in etwa vergleichbar. Andererseits trägt auch die Forstwirtschaft durch Stickstoff- und Phosphorverbindungen, die in das Wasser abgegeben werden, zur Eutrophierung der Gewässer bei, sodass z. B. je nach Holzerntheausbeute Unterschiede bei der Eutrophierung der Gewässer je nach Zellstoffart zu beobachten sind.

Beim Prozesswasserbedarf (Süßwasser) ergibt sich ein anderes Bild. Der Wasserbedarf für die Herstellung von Recyclingpapier ist um 75 % niedriger als bei nicht integriertem Primärfaserpapier und um 80 % niedriger als bei integriertem Primärfaserpapier (Abbildung 10). Die nicht-integrierte Produktion ist mit einem geringeren Wasserbedarf verbunden als die Papiere aus integrierter Produktion. Ein klares Bild ergibt sich dagegen beim Vergleich von

Primärfaser-Büropapier mit recyceltem Büropapier, bei dem die DIP-Produktion offensichtlich einen deutlich geringeren Süßwassereinsatz erfordert als die Primärzellstoffproduktion. Um einen direkteren Vergleich zwischen Primär- und Recyclingpapier hinsichtlich des Prozesswasserbedarfs (Frischwasserbedarfs) zu ermöglichen, wird in Kapitel 2.1.2 ein gewichtetes Durchschnittsergebnis für die gesamte Produktion von Primärfaserpapier gebildet.

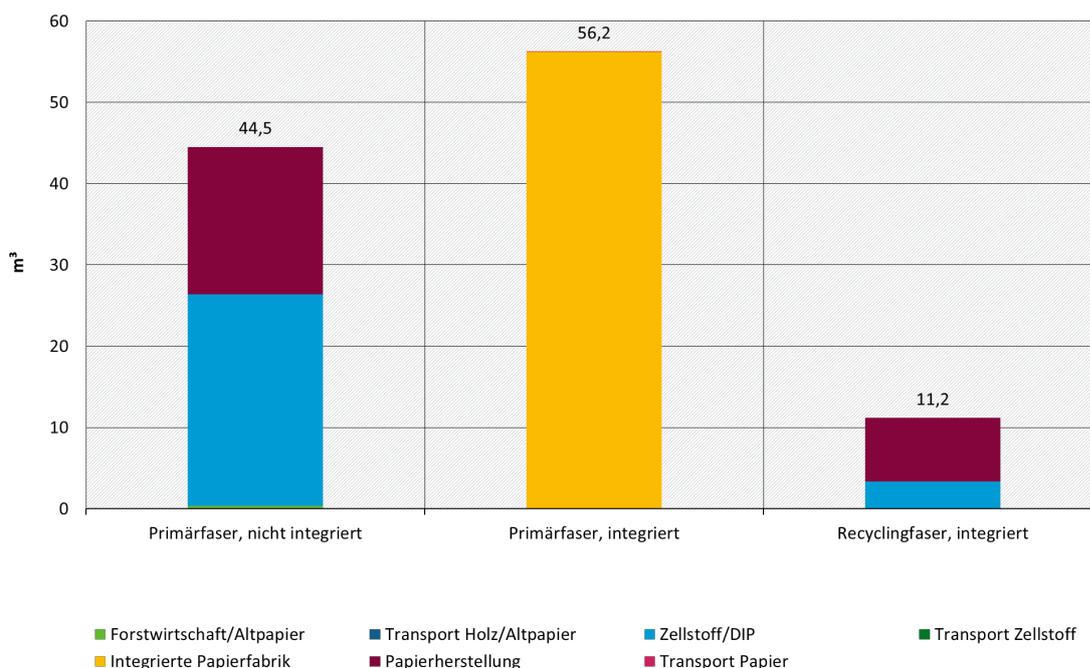
Die AOX-Ergebnisse deuten darauf hin, dass bei der nicht-integrierten Herstellung von Primärfaser-Büropapier weniger halogenierte organische Verbindungen in das Wasser abgegeben werden als bei integrierten Verfahren zur Herstellung von Primärfaserpapier. Dieser Befund könnte auch mit dem unterschiedlichen Anteil von Aufschlussverfahren auf der Basis von Chlorverbindungen (und damit unterschiedlichen Zellstoff-/Bleichtechnologien und damit verbundenen erforderlichen Prozesschemikalien) in den integrierten und nicht integrierten Papierherstellungsketten zusammenhängen.

Abbildung 9: Aquatische Eutrophierung, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien



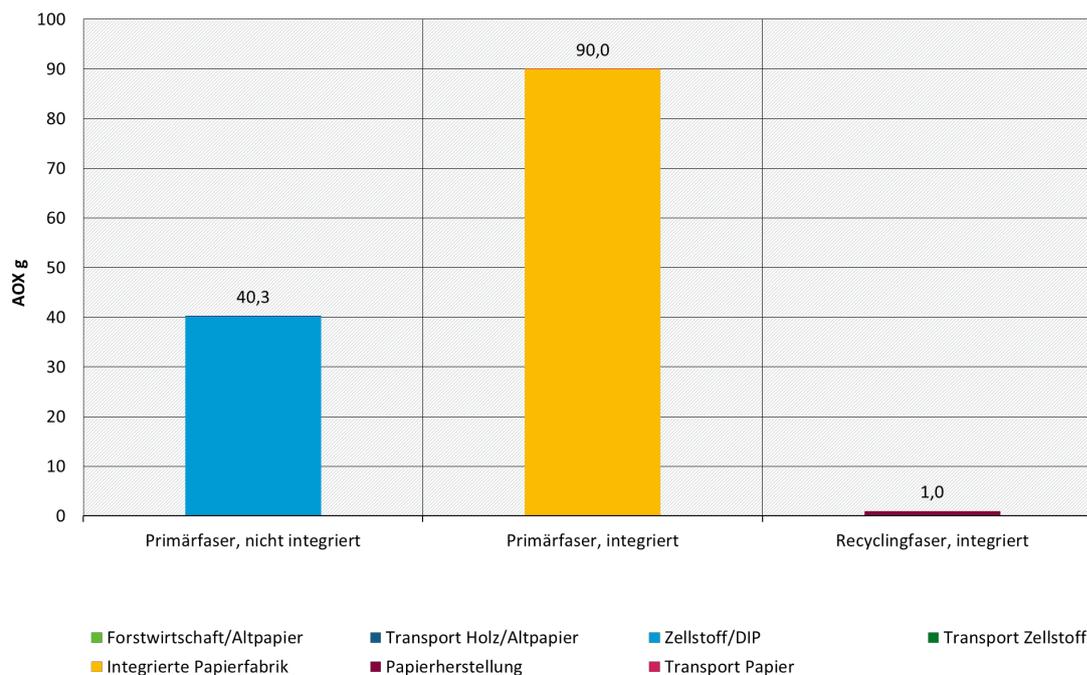
Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 10: Süßwasserbedarf, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 11: Adsorbierbare organische halogenierte Verbindungen (AOX), 1000 kg Büropapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

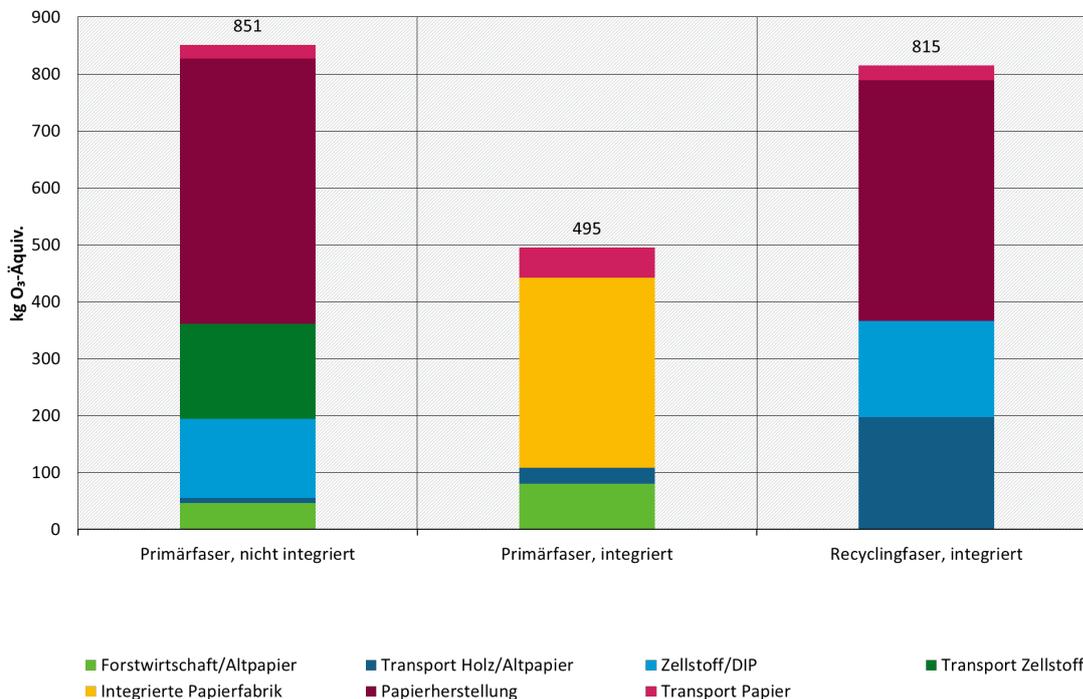
Siehe Kapitel 2.1.2 für den Vergleich der Ergebnisse der Auswirkungen von durchschnittlichem Primärfaserpapier und Recyclingpapier.

2.1.1.4 Ergebnisse der Basisszenarien für Büropapier: Ergebnisse für die menschliche Gesundheit

Die Indikatoren *Photochemische Oxidantienbildung* und *Feinstaub (PM 2.5)* sind Umweltindikatoren, die auch die Gesundheit betreffen. In diesem Kapitel wird die Umweltwirkung von Büropapieren im Hinblick auf diese Aspekte näher beleuchtet.

Integriert hergestellte Büropapiere haben eine geringere Photochemische Oxidantienbildung als nicht integriert hergestellte Papiere, sowohl Primärfaser- als auch Recyclingpapiere. Dieses Ergebnis hängt mit den organischen Luftemissionen (VOC und NMVOC) zusammen, die mit Verbrennungsprozessen/Energievorketten im Allgemeinen verbunden sind. Einige dieser Luftemissionen sind auch mit dem Transport verbunden, d.h. neben den energieintensiven Verarbeitungsschritten der Zellstoff- und Papierherstellung und den integrierten Papierfabriken tragen auch die Transporte von Faserholz/Altpapier/Zellstoff dazu bei. **Vergleichende Ergebnisse zu diesem Aspekt sind jedoch nur sehr eingeschränkt nutzbar, da die Datensymmetrie innerhalb der verschiedenen Einzeldatensätze, die zu diesem Ergebnis beitragen, auf der Grundlage der derzeit verfügbaren Inventardaten möglicherweise nicht vollständig gegeben ist.**

Abbildung 12: Photochemische Oxidantienbildung, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien

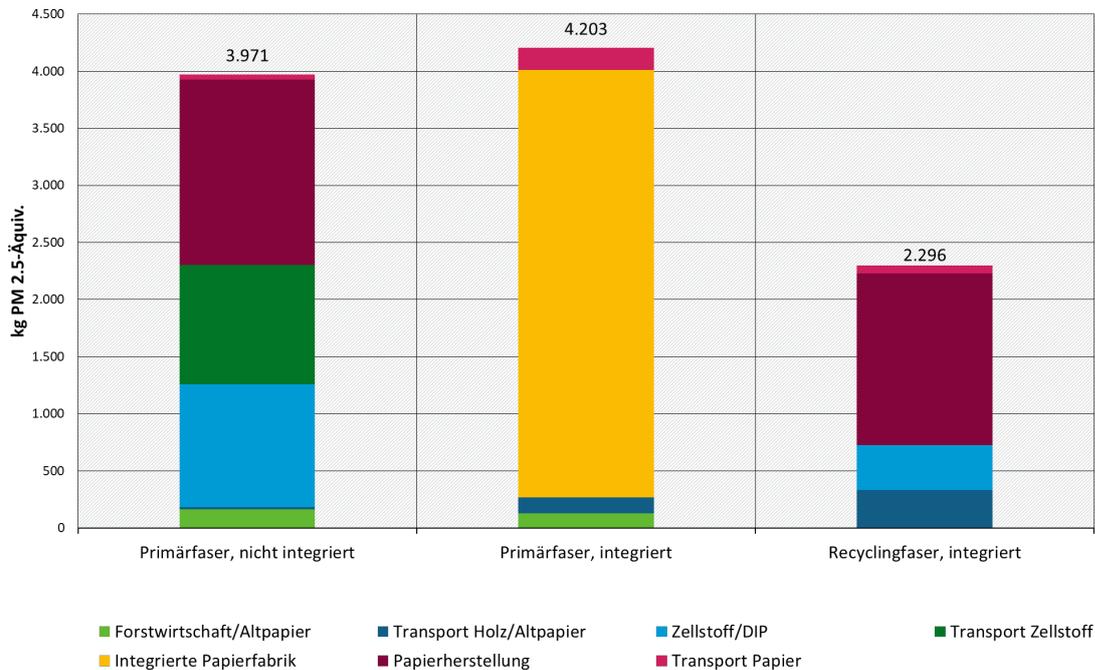


Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Recycelte Büropapiere werden mit weniger Feinstaub (PM 2.5) assoziiert als alle untersuchten Primärfaserpapiere. Dies liegt vor allem an den Schwefel- und Stickstoffoxidemissionen. Hauptquellen dieser Luftemissionen sind Verbrennungsprozesse zur Energieerzeugung und in geringerem Maße Kraftstoffverbrennungsprozesse der Transporte. Aus dem letztgenannten Grund sind zusätzliche Auswirkungen bei Holztransporten zu den integrierten Papierfabriken in Südwesteuropa zu beobachten (aufgrund einiger Zellstoffholzimporte aus Lateinamerika und somit Langstreckentransporte nach Übersee). Bis zu einem gewissen Grad gilt dies auch für nicht integrierte Primärfaserpapiere (Langstreckenimporte von Zellstoff, z.B. aus Lateinamerika).

Unterschiede im Zusammenhang mit Verbrennungsprozessen können sich aus einem unterschiedlichen Grad der Rauchgasreinigung ergeben, je nach den örtlichen Luftqualitätsanforderungen und/oder dem Alter der Energieerzeugungsanlage.

Abbildung 13: Feinstaub (PM 2.5), 1000 kg Büropapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

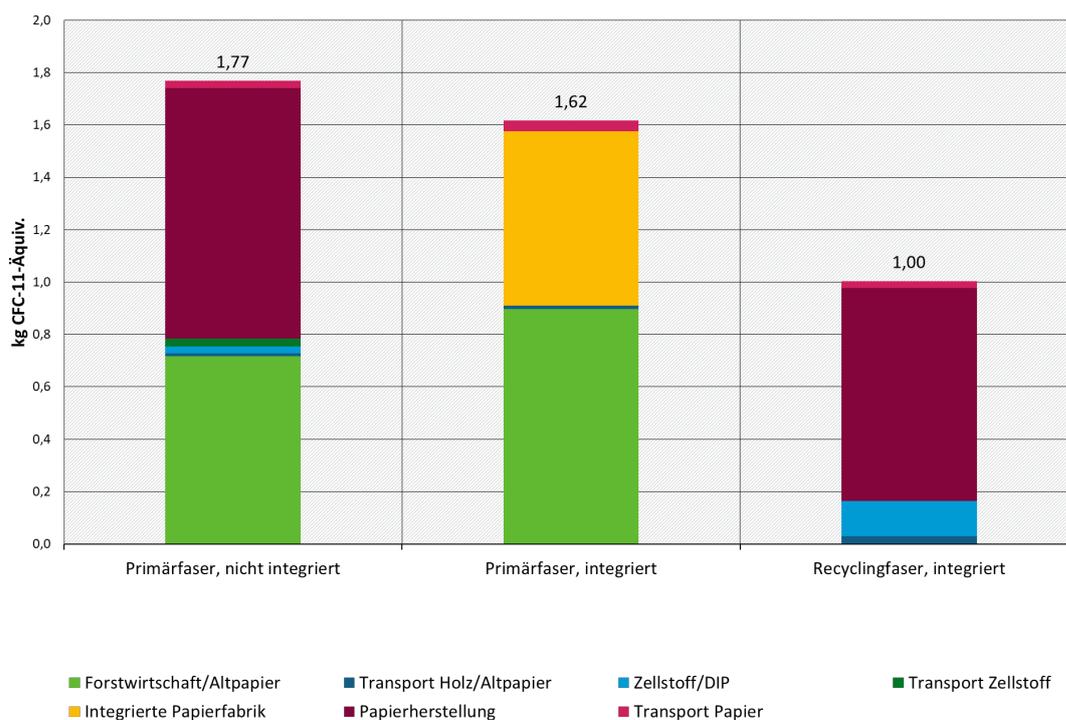
Siehe Kapitel 2.1.2 für den Vergleich der Ergebnisse der Auswirkungen von durchschnittlichem Primärfaserpapier und Recyclingpapier.

2.1.1.5 Ergebnisse der Basisszenarien für Büropapier: Stratosphärischer Ozonabbau

Recyceltes Büropapier hat deutlich geringere Auswirkungen auf den Stratosphärischen Ozonabbau als die untersuchten integrierten und nicht integrierten Primärfaserpapiere. Bei Papier aus integrierter Primärfaserproduktion ist die größte Emission, die zum Ozonabbau beiträgt, Lachgas (N₂O), das bei forstwirtschaftlichen Tätigkeiten in die Luft abgegeben wird. Bei der Herstellung von Primärfaser, nicht integriertem Papier ist die Lachgasemission nicht der größte, sondern der zweitgrößte Beitrag.

Recyceltes Büropapier hingegen weist den höchsten Beitrag im Zusammenhang mit Energieerzeugungsprozessen auf, bei denen auch Lachgas infolge von Verbrennungsprozessen (sowohl biogene als auch fossile Brennstoffe) emittiert wird.

Abbildung 14: Stratosphärischer Ozonabbau, 1000 kg Büropapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Siehe Kapitel 2.1.2 für den Vergleich der Ergebnisse der Auswirkungen von durchschnittlichem Primärfaserpapier und Recyclingpapier.

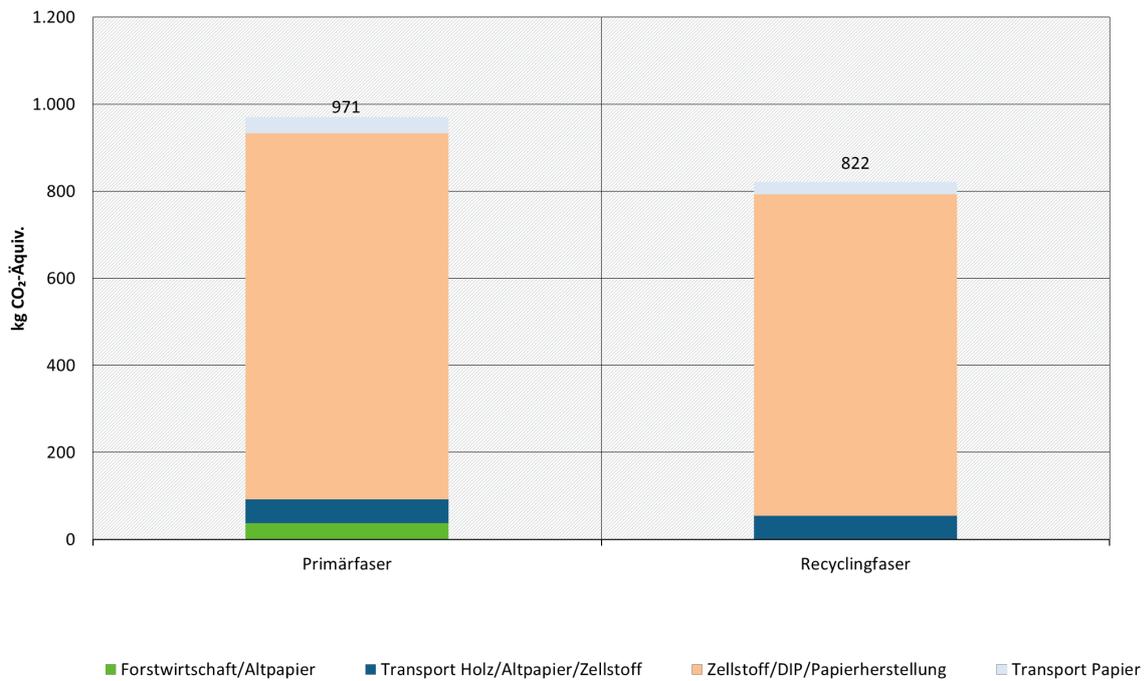
2.1.2 Ergebnisse des Vergleichs von Primärfaserpapier und Recyclingpapier

Die Darstellung der Ergebnisse in Kapitel 2.1.1.1 basiert auf der Auswahl von Clustern in Kapitel 1.2.2. Das bedeutet, dass Primärfaserpapiere nach zwei Produktionsarten (nicht integriert und integriert) unterschieden werden, während Recyclingpapiere nicht unterschieden werden, da der Anteil der nicht integrierten Recyclingpapiere zu gering ist, um einen eigenen Cluster zu bilden. Um einen direkteren Vergleich zwischen Primärfaser- und Recyclingpapier zu ermöglichen, wird daher für diesen Vergleich ein gewichtetes Durchschnittsergebnis für die gesamte Produktion von Primärfaserpapier gebildet. Die Ergebnisse sind dargestellt in Abbildung 15, Abbildung und Abbildung 17.

Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse für den Klimawandel. Die Auswirkungen von Recyclingpapier aus integrierter Produktion sind um 15 % geringer als die des durchschnittlichen Primärfaserpapiers.

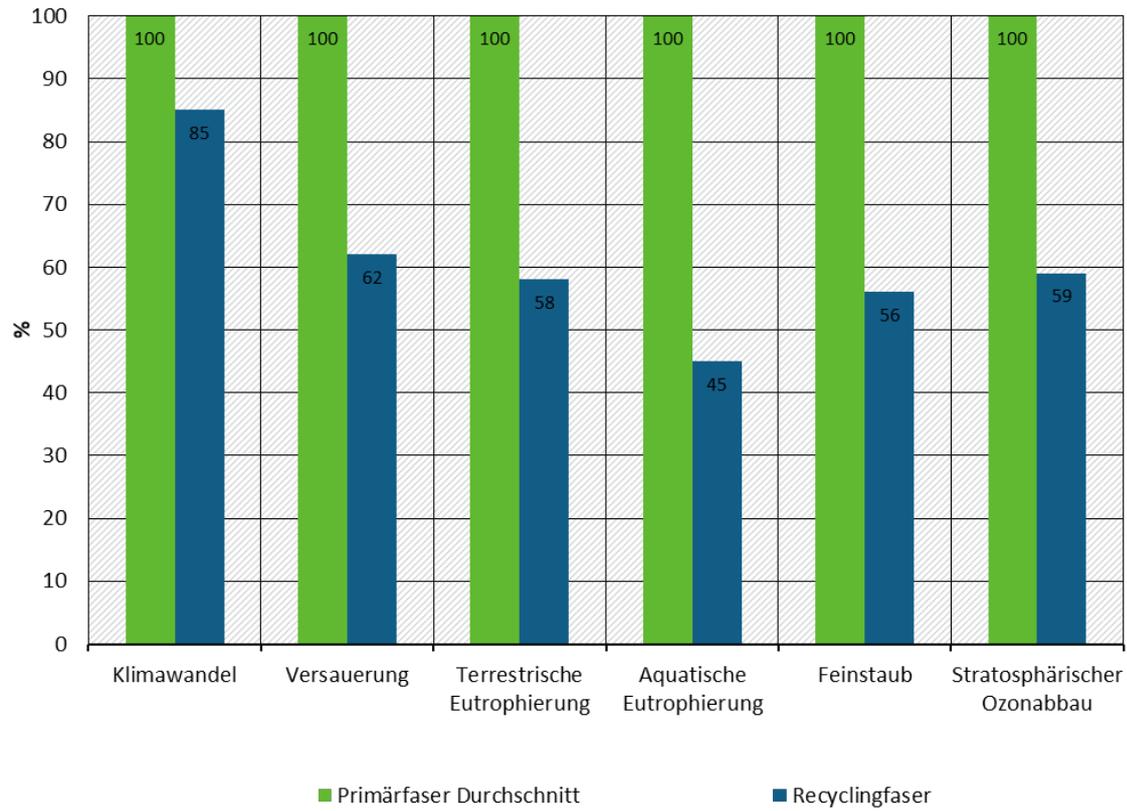
Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen die relativen Ergebnisse der Umweltwirkungskategorien und der Inventarkategorien. Alle diese Auswirkungen und Inventarwerte von Recyclingpapier aus integrierter Produktion sind ebenfalls deutlich niedriger als die des durchschnittlichen Primärfaserpapiers.

Abbildung 15: Klimawandel, 1000 kg Büropapier, Vergleich Primär- vs. Recyclingpapier



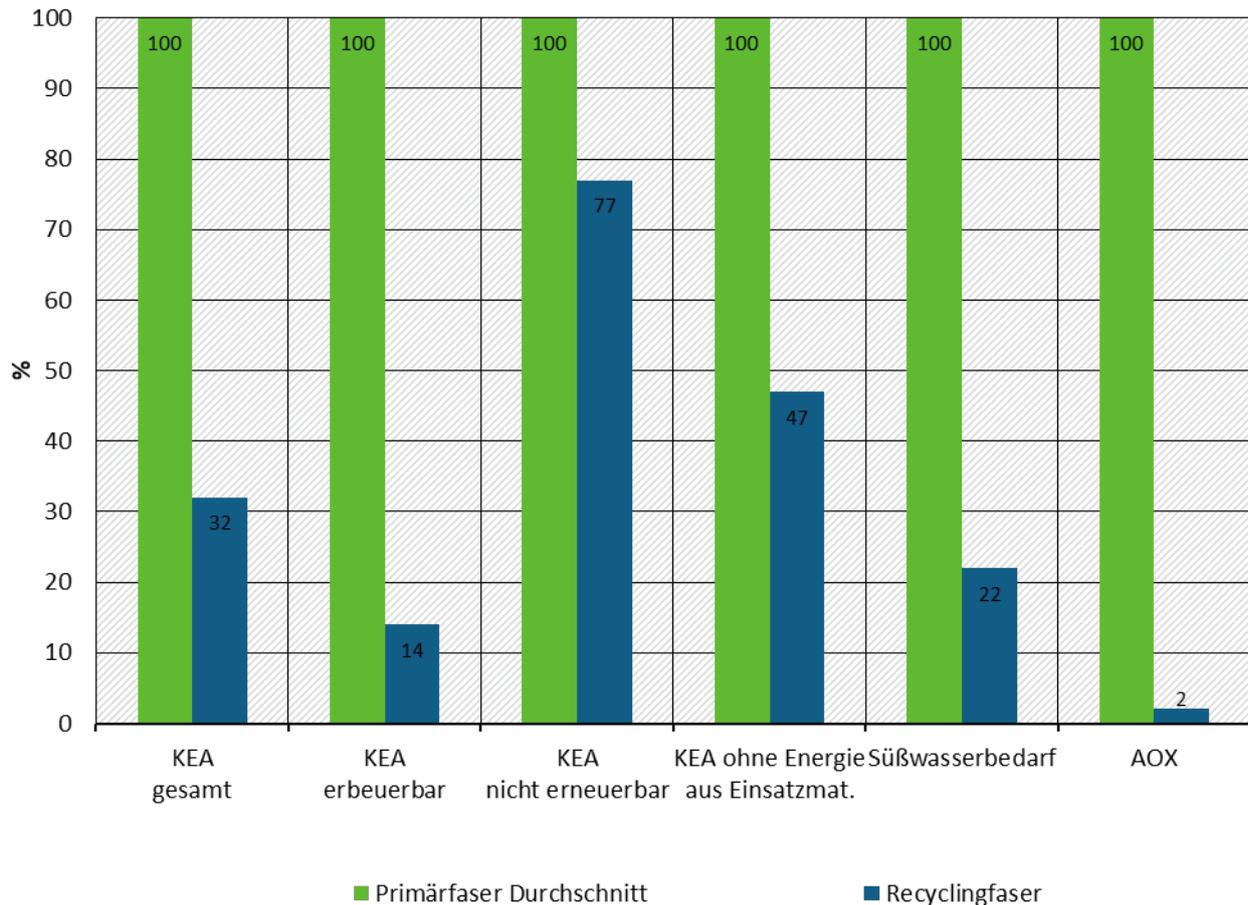
Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 16: Umweltwirkungskategorien, 1000 kg Büropapier, Vergleich Primärfaser vs. Recyclingpapier



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 17: Inventarkategorien, 1000 kg Büropapier, Vergleich Primär- vs. Recyclingpapier



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

2.1.3 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse hinsichtlich der potenziellen künftigen Stromerzeugung

Die Ergebnisse in Kapitel 2.1.1.1 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von nicht erneuerbaren Energien einen großen Einfluss auf die Ergebnisse der Umweltwirkungskategorie Klimawandel hat. Vor allem das Recyclingpapier wird hauptsächlich in Deutschland hergestellt, wo ein Übergang von einer Dominanz der fossilen Stromerzeugung zu einem höheren Anteil an erneuerbaren Energiequellen stattfindet.

In dieser Sensitivität wird ein potenzieller zukünftiger Stromerzeugungsmix für das Jahr 2030 in Deutschland für die Szenarien der nicht-integrierten Primärfaser-Papierproduktion und der integrierten Recycling-Papierproduktion verwendet. Die integrierte Papierproduktion nutzt hauptsächlich biomassebasierte Prozessenergie durch den Einsatz von Schwarzlauge, Rinde sowie Holzhackschnitzeln als Energieträger anstelle von zugekauftem Strom. Aus diesem Grund und weil keine Prognosen über die Entwicklung der Stromerzeugung in Nord- und Südwesteuropa vorliegen, bleibt das Szenario für die integrierte Primärfaser-Büropapierproduktion unverändert.

Der potenzielle deutsche Strommix für das Jahr 2030 ist den "Politikszenerarien für den Klimaschutz VII" (Reppening et.al. 2018) entnommen, einer Veröffentlichung des Umweltbundesamtes, die Prognosen für die Entwicklung des deutschen Strommixes enthält. In

diesem potenziellen Strommix sind die Folgen des Ausstiegs aus der Kohleverstromung nicht enthalten, da dieser erst im Jahr 2038 erfolgen wird. Die Verwendung eines potenziellen zukünftigen Stroms für einen noch späteren Zeitpunkt wie 2040 oder 2050 wird nicht berücksichtigt, da dies für eine Bewertung nicht angemessen wäre, ohne auch mögliche Änderungen anderer Parameter wie Produktions- oder Transportprozesse oder einen veränderten Papiermarkt so weit in der Zukunft zu berücksichtigen.

Das für diese Sensitivität verwendete Szenario ist das "With Additional Measures Scenario (WAMS)", das die zusätzlichen Maßnahmen umfasst, die die deutsche Regierung in ihrem Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 und ihrem Nationalen Aktionsplan für Energieeffizienz vom Dezember 2014 ergriffen hat, um das Ziel zu erreichen, ihre Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 % gegenüber 1990 zu reduzieren.

Der Mix der Energiequellen in diesem Szenario ist wie folgt:

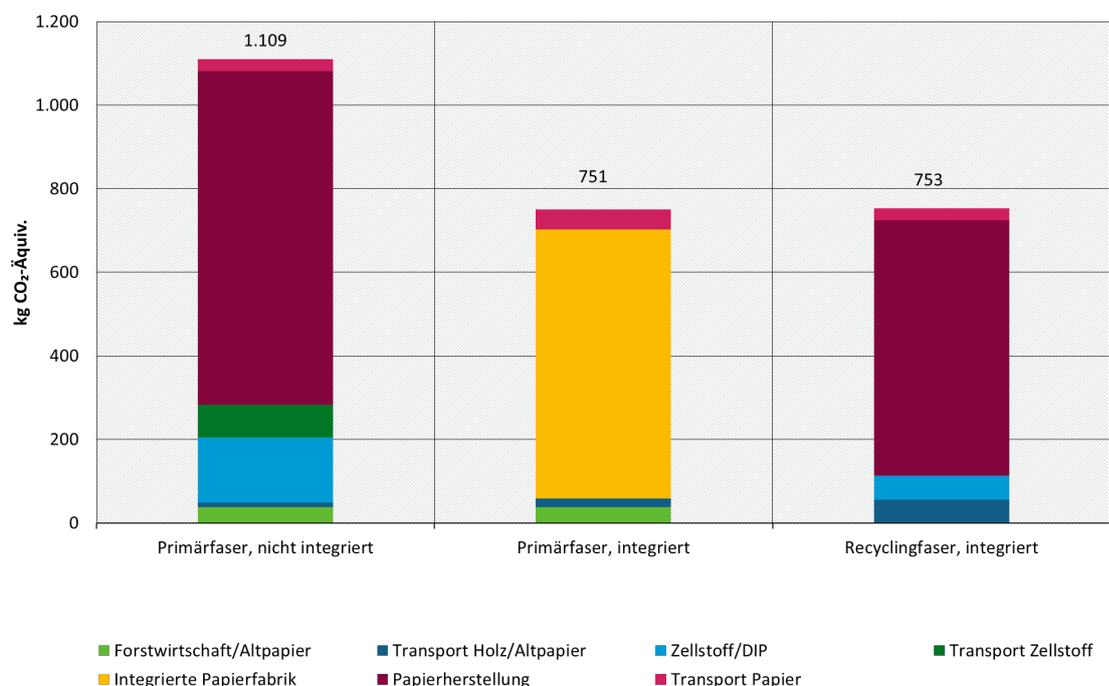
- Kernenergie 0 %
- Braunkohle 14,1 %
- Steinkohle 11,4
- Erdgas 12,4
- Sonstige 2,7 %.
- Erneuerbare Energien 58,7 %.
- Pumpspeicherkraftwerke 0,7 %.

Der Emissionsfaktor für diesen potenziellen Strommix 2030 beträgt 408 g CO₂-äquiv./kWh, während der Emissionsfaktor für den in den Basisszenarien verwendeten Strommix 2015 581 g CO₂-äquiv./kWh beträgt.

Unter Berücksichtigung der Signifikanzschwelle von 10 % für den Vergleich der Ergebnisse, zeigen die Ergebnisse in Abbildung 18 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Klimawirkung von Recyclingpapier aus integrierter Produktion auf dem gleichen Niveau liegt wie die des Basisszenarios. (753 kg CO₂-äquiv. vs. 822 kg CO₂-äquiv.). In dieser Analyse liegt die Klimawirkung von Recyclingpapier auch auf dem gleichen Niveau wie die des unveränderten Szenarios für Primärfaser- Büropapier aus integrierter Produktion (752,51 kg CO₂-äquiv. vs. 750,9 kg CO₂-äquiv.).

Die Auswirkungen von Primärfaserpapier aus nicht integrierter Produktion liegen ebenfalls auf dem gleichen Niveau wie beim Basisszenario, sind aber immer noch deutlich höher als die von Primärfaserpapier aus integrierter Produktion und Recyclingpapier.

Abbildung 18: Klimawandel, 1000 kg Büropapier, Empfindlichkeit 2030



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

2.1.4 Weitere Szenario-Ergebnisse der Büropapiervariante

Die Ergebnisse weiterer Szenarien der Büropapiervariante sind im Hintergrundbericht (Wellenreuther et al. 2022) dieser Studie dargestellt.

2.2 Ergebnisse Hygienepapier

2.2.1 Ergebnisse der Basisszenarien für Hygienepapier

2.2.1.1 Ergebnisse der Basisszenarien für Hygienepapier: Klimawandel, KEA gesamt, KEA erneuerbar & KEA nicht-erneuerbar

Zunächst werden die Umweltindikatoren betrachtet, die in erster Linie mit der Bereitstellung von Energie zusammenhängen, nämlich der *KEA gesamt*, der *KEA erneuerbar*, der *KEA nicht-erneuerbar* und der *Klimawandel*.

Recycelte Hygienepapiere sind mit einem geringeren Gesamtbedarf (-70 %) und einem geringeren Bedarf an erneuerbarer Energie (-97 %) verbunden als nicht integrierte Papiere aus Primärfasern. Beim nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf liegen die Ergebnisse bei beiden Produktionsarten auf dem gleichen Niveau. Die mit der Herstellung von Hygienepapier verbundenen Treibhausgasemissionen sind bei Recycling-Papieren geringer (-12 %) als bei nicht-integrierten Hygienepapieren aus Primärfasern.

Die höchsten Lasten (mehr als 70 %) der Gesamtergebnisse von Hygienepapieren für beide hier diskutierten Indikatoren kommen aus der Papierherstellung. Weitere sichtbare Lebenszyklusstufen sind die Zellstoffaufbereitung und der Zellstofftransport sowie der DIP-Prozess. Die Zellstofftransporte sind aufgrund der Langstreckentransporte des iberischen und lateinamerikanischen Eukalyptuszellstoffs auffällig.

Anmerkung zu gekauftem Strom aus erneuerbaren Quellen

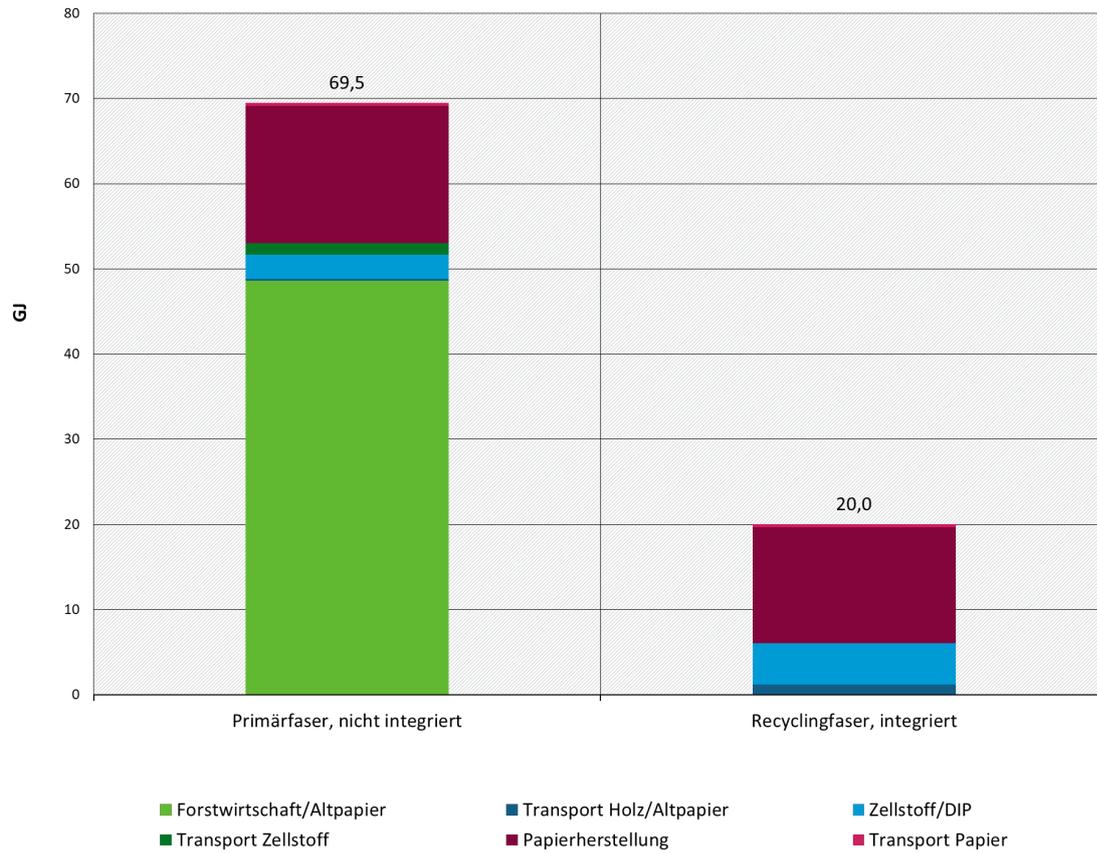
Einige Faser- und Papierfabriken verwenden anbieterspezifisch eingekaufte Energie, indem sie grüne Zertifikate kaufen. Um eine Doppelzählung zu vermeiden, müssten diese von den in allen anderen Prozessen verwendeten Strommischen abgezogen werden. Dies ist im Rahmen dieser Ökobilanz nicht möglich, da nicht nur kein Restmix zur Verfügung steht, sondern auch die Aggregation vieler Hintergrundprozesse es unmöglich macht, die verwendeten durchschnittlichen Strommische zu ersetzen. Daher wird extern eingekaufter Strom aus erneuerbaren Quellen nicht berücksichtigt, obwohl auf der Ebene der einzelnen Produktionsstandorte der Einkauf von erneuerbaren Energien einen positiven Effekt auf die Kohlenstoffbilanz hat. Dieser Ansatz steht im Einklang mit den ISO-Normen für Ökobilanzen ISO 14040 und ISO 14044.

Anmerkung zur Bewertung des Klimawandels in Bezug auf den Umgang mit biogenem Kohlenstoff

In den letzten Jahren wird die Berechnung der Kohlenstoffauswirkungen von Waldbiomasse infrage gestellt, insbesondere im Hinblick auf die Verbrennung von Holz zur Energieerzeugung. Diese Diskussion umfasst mehrere Aspekte in Bezug auf den Kohlenstoff: Der im Holz enthaltene Kohlenstoff, wobei der Schwerpunkt auf dem Zeitpunkt des Biomassewachstums und dem Zeitpunkt der Emissionen liegt, der Kohlenstoff aus Landnutzungsänderungen und die Verringerung der Kohlenstoffspeicherkapazität der Wälder. Es wurden dynamische Ansätze entwickelt und veranschaulicht, die temporäre Auswirkungen biogener Kohlendioxidemissionen auf den Klimawandel bis zur erneuten Aufnahme berücksichtigen, oder Kohlenstoffbilanzmodelle, die Kohlenstoffflüsse unter sich ändernden Waldbewirtschaftungssystemen berechnen (Tellnes et al. 2017; Hoxha et al. 2020, Matthews et al. 2014). Diese wertvolle Forschung zeigt die Notwendigkeit einer kritischen Betrachtung der Klassifizierung von Biomasse durch das Emissionshandelssystem der Europäischen Union, das derzeit Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung von Biomasse bevorzugt behandelt. Auch wenn die dynamische Modellierung biogener Kohlenstoffflüsse in Ökobilanzen wünschenswert ist, sind die derzeitigen Berechnungsmodelle mit einer hohen Variabilität verbunden, und verschiedene Ansätze liefern unterschiedliche Ergebnisse. Zudem besteht derzeit kein wissenschaftlicher Konsens darüber, welche Methode für den Einsatz in Ökobilanzen am besten geeignet ist (Tellnes et al. 2017; Hoxha et al. 2020; Fehrenbach et al. 2016). Die Studie von (Matthews et al. 2014), die im Auftrag der Europäischen Kommission durchgeführt wurde, kommt zu dem Schluss, dass aufgrund der Variabilität biogener Quellen in Bezug auf die damit verbundenen THG-Emissionen eine qualitative Bewertung unter Verwendung eines Entscheidungsbaums am besten geeignet ist, um Risiken in Bezug auf THG-Emissionen zu identifizieren. Da der Standort der für die Papierherstellung beanspruchten Wälder unsicher ist (siehe Kapitel 3), stellt sich im Rahmen dieser Studie auch die Frage, für welche potenziellen Kohlenstoffverluste der Wälder die Papierherstellung genau verantwortlich ist. Daher werden die Risiken von Landnutzungsänderungen und Prinzipien der Waldbewirtschaftung, die einer positiven Kohlenstoffbilanz entgegenwirken, in Kapitel 3 qualitativ diskutiert. Die Quantifizierung der mit der Papierherstellung oder -aufnahme verbundenen Kohlenstoffdynamik unter Verwendung derzeit entwickelter Modelle zur Berechnung der Walddynamik der mit der Papierherstellung verbundenen Waldfläche wäre eher Gegenstand eines separaten Forschungsprojekts.

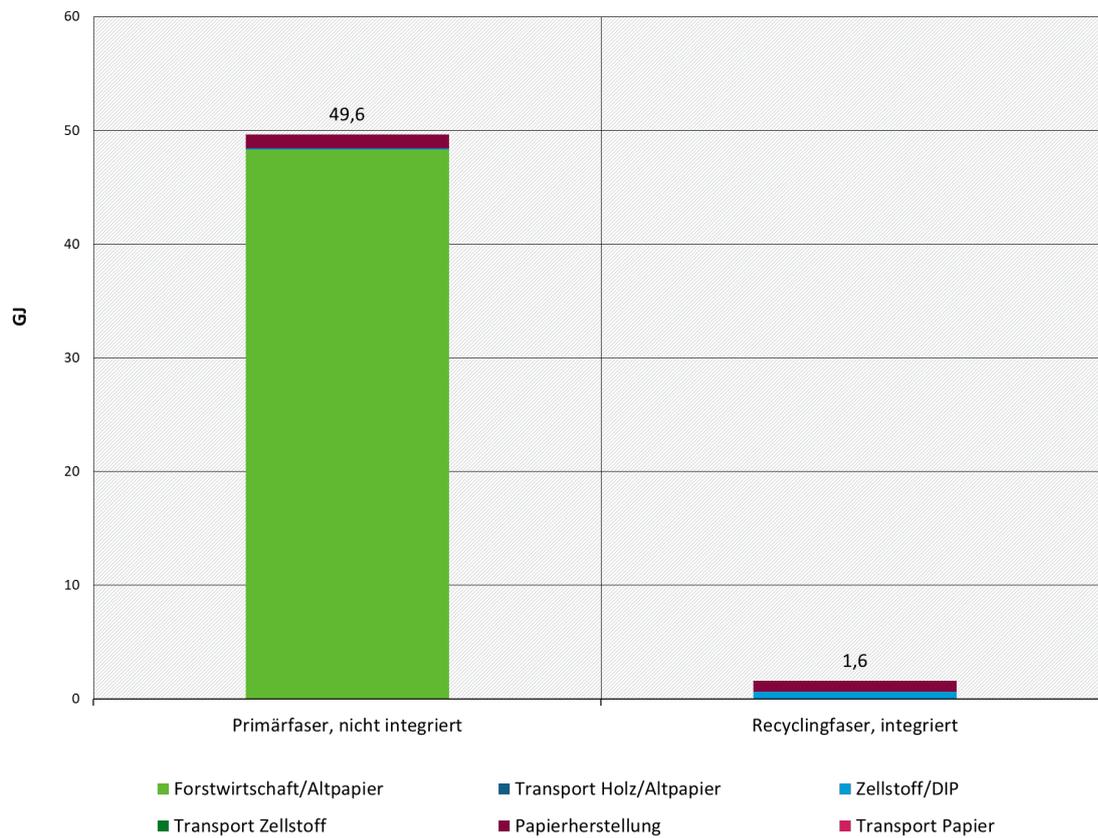
Daher folgt diese Studie den Regeln der derzeit bestehenden LCA-Methoden. Gemäß dem Ansatz von ILCD 2010, PAS 2050 und ISO-14067 werden biogene THG-Emissionen und -Entnahmen innerhalb des 100-Jahres-Zeitraums so betrachtet, als ob sie zu Beginn des Bewertungszeitraums freigesetzt oder entnommen worden wären.

Abbildung 19: Kumulativer Energiebedarf (KEA) gesamt, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien



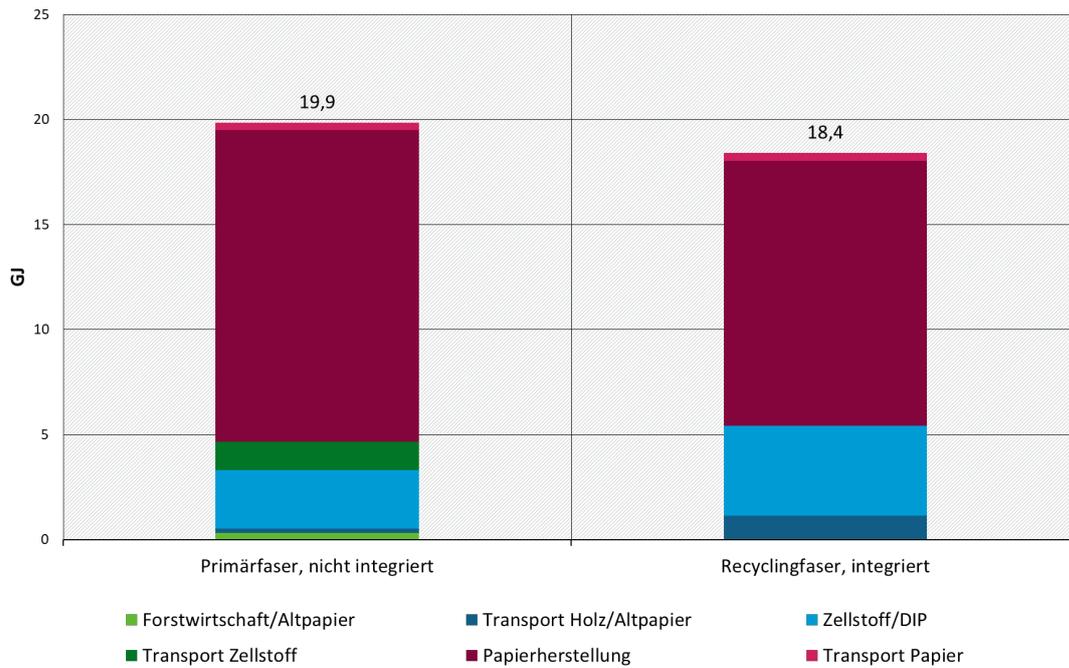
Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 20: Kumulativer Energiebedarf (KEA) erneuerbar, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien



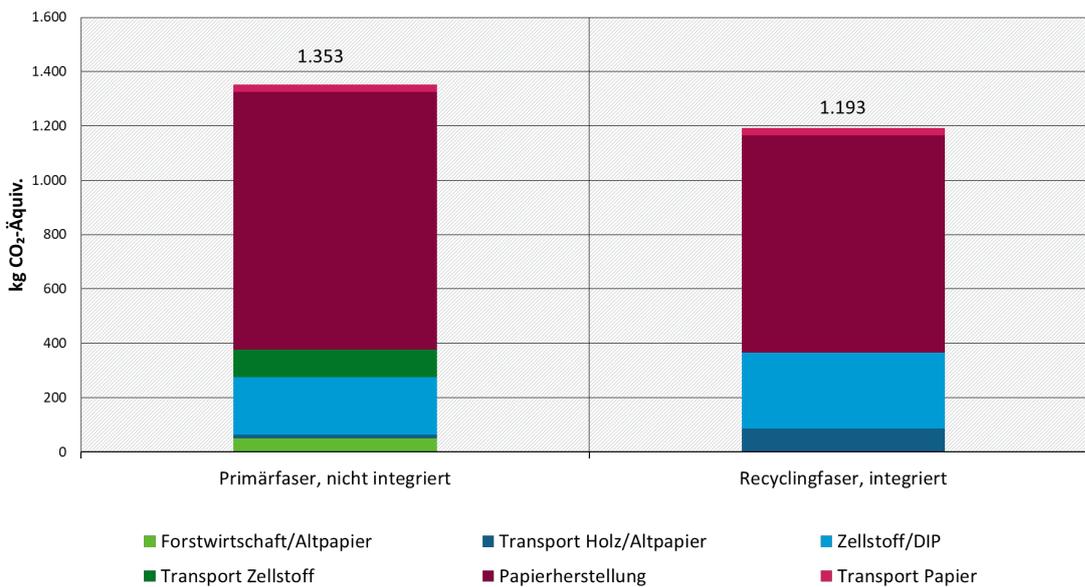
Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 21: Kumulativer Energiebedarf (KEA) nicht erneuerbar, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 22: Klimawandel, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

2.2.1.2 Ergebnisse der Basisszenarien für Hygienepapier: Versauerung & Terrestrische Eutrophierung

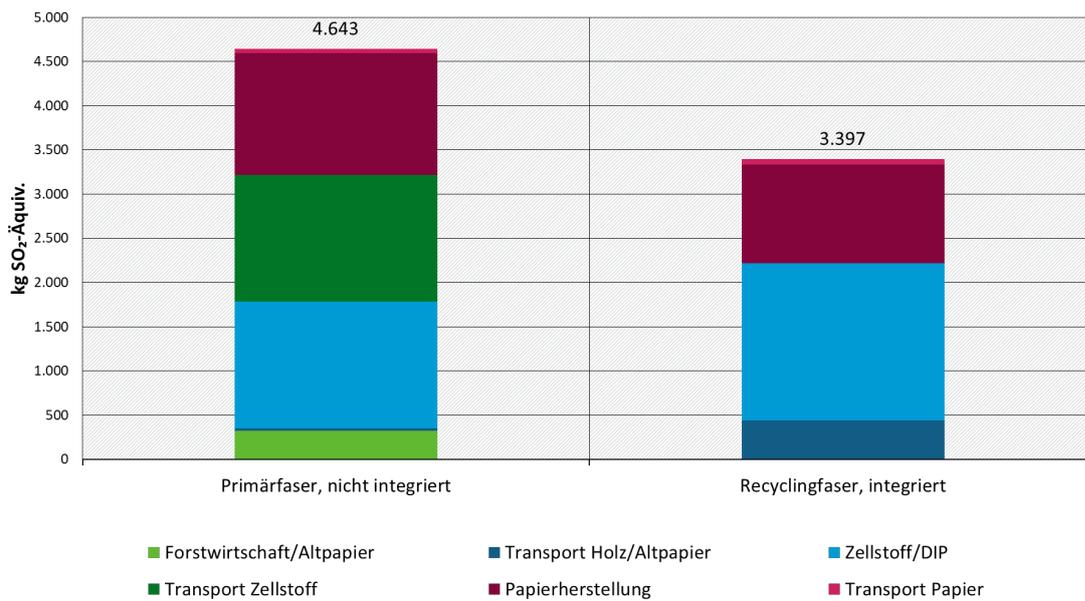
In diesem Kapitel werden die Umweltindikatoren betrachtet, die nicht mit Kohlendioxid-Luftemissionen, sondern mit Stickstoff- und Schwefelverbindungen, *Versauerung* und

Terrestrischer Eutrophierung zusammenhängen. Diese Verbindungen sind beide typischerweise mit Transport- und Verbrennungsprozessen verbunden.

Recycelte Hygienepapiere haben in den genannten Indikatoren (Versauerung bzw. Terrestrische Eutrophierung) mindestens 30 % bis 60 % geringere Umweltauswirkungen als Primärfaser-Hygienepapiere. Dies hängt größtenteils mit den Aufschluss- und Zellstofftransportprozessen für Primärfaser-Hygienepapiere zusammen, die durch die Freisetzung von Schwefel und Stickstoff aus der Biomasse und die thermische Stickoxidbildung bei der Verbrennung verursacht werden.

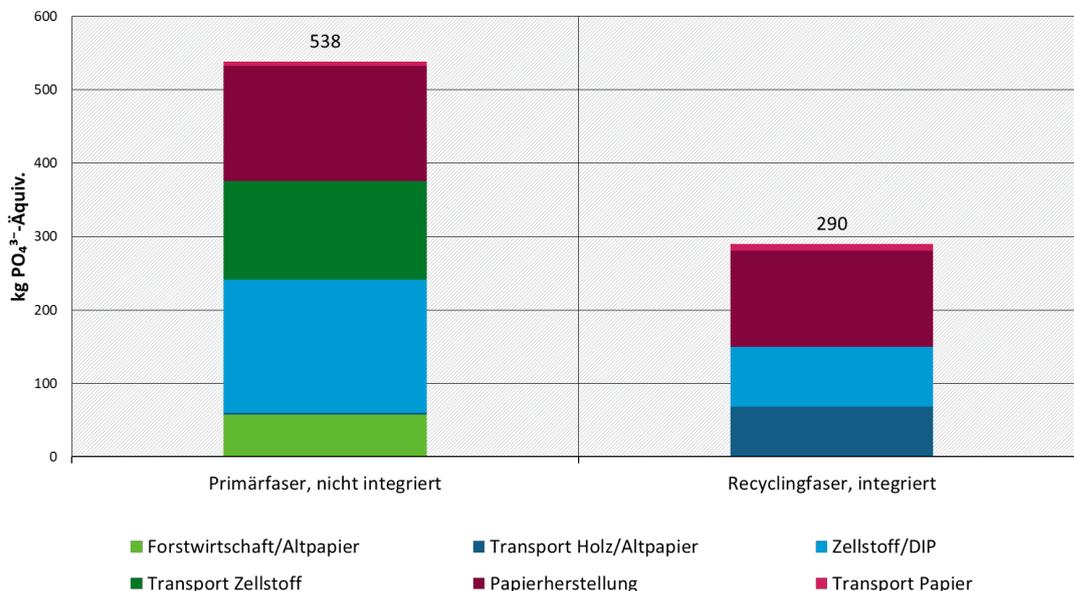
Bei der nicht integrierten Herstellung von Hygienepapier tragen erhebliche Transportvorgänge zu den Schwefel- und Stickstoffemissionen in die Luft bei, z. B. durch den Transport von Zellstoff von der Iberischen Halbinsel und aus Lateinamerika.

Abbildung 23: Versauerung, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 24: Terrestrische Eutrophierung, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

2.2.1.3 Ergebnisse der Basisszenarien für Hygienepapier: Wasserbezogene Ergebnisse

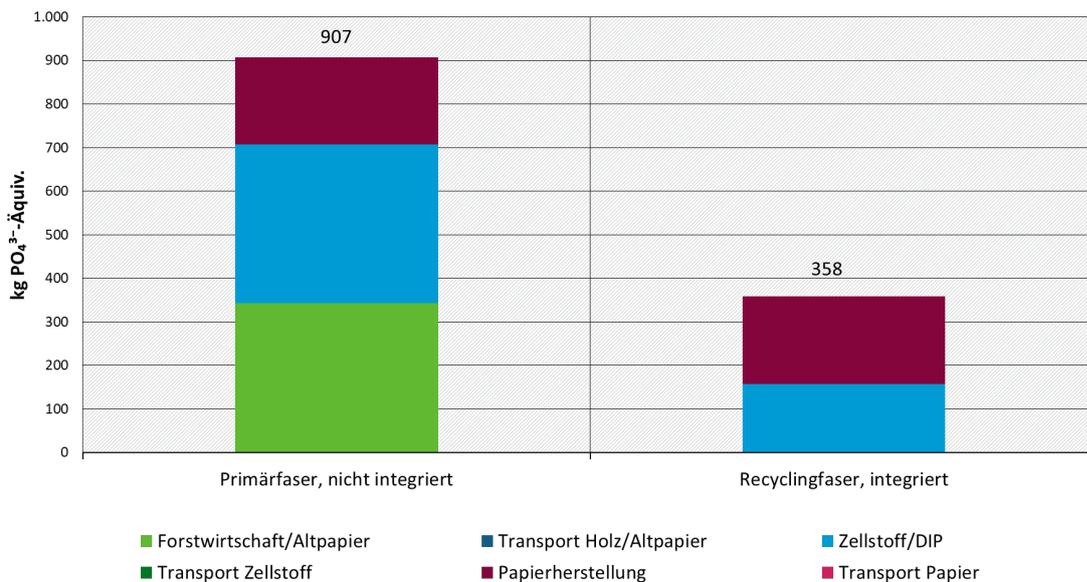
Die Betrachtung wasserbezogener Umweltauswirkungen und wasserbezogener Umweltindikatoren bietet zusätzliche Einblicke in die Umweltwirkung der Papierherstellung. Dazu gehören die *Aquatische Eutrophierung*, *adsorbierbare organische halogenierte Verbindungen (AOX)* und der *Prozesswasserbedarf (Süßwasser)*.

Bei den drei Umweltindikatoren, die hier im Mittelpunkt stehen, sind die Ergebnisse für Recyclingpapier deutlich niedriger (25 % weniger Frischwasserbedarf und mindestens 50 % weniger oder mehr Eutrophierung der Gewässer) als die Ergebnisse für das untersuchte Primärfaserpapier.

Da die zugrundeliegenden Emissionen in das Wasser (z. B. COD (engl. chemical oxygen demand) chemischer Sauerstoffbedarf) größtenteils mit der Verwendung von Prozesschemikalien zusammenhängen, ist die Eutrophierung der Gewässer im Zusammenhang mit dem gesamten Papierherstellungsprozess (d. h. integrierte Papierfabrik gegenüber der Summe aus Zellstoff- und Papierherstellung im Falle der nicht integrierten Produktion) bei gleicher Menge an Primärfasern in etwa vergleichbar. Darüber hinaus trägt auch die Forstwirtschaft durch Stickstoff- und Phosphorverbindungen, die in das Wasser abgegeben werden, zur Eutrophierung bei, sodass Primärfaserpapier auch hier eine gewisse Belastung darstellt.

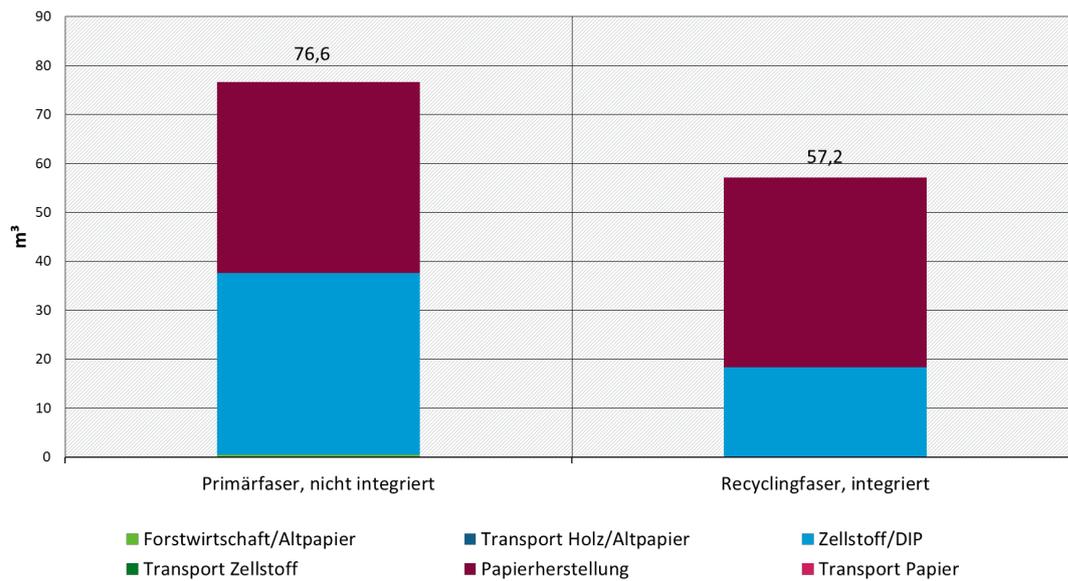
Die AOX-Emissionen in das Wasser stehen in direktem Zusammenhang mit der Verwendung von z. B. Chlorverbindungen im Aufschlussverfahren, sodass hier der Anteil des TCF-Aufschlusses für die AOX-Emissionen von Primärfaserpapieren entscheidend ist. Da die Bleiche von DIP in der Regel ohne Halogenverbindungen, sondern z. B. mit Wasserstoffperoxid und Natronlauge durchgeführt wird, sind die AOX-Emissionen von Recycling-Hygienepapieren sehr gering.

Abbildung 25: Aquatische Eutrophierung, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien



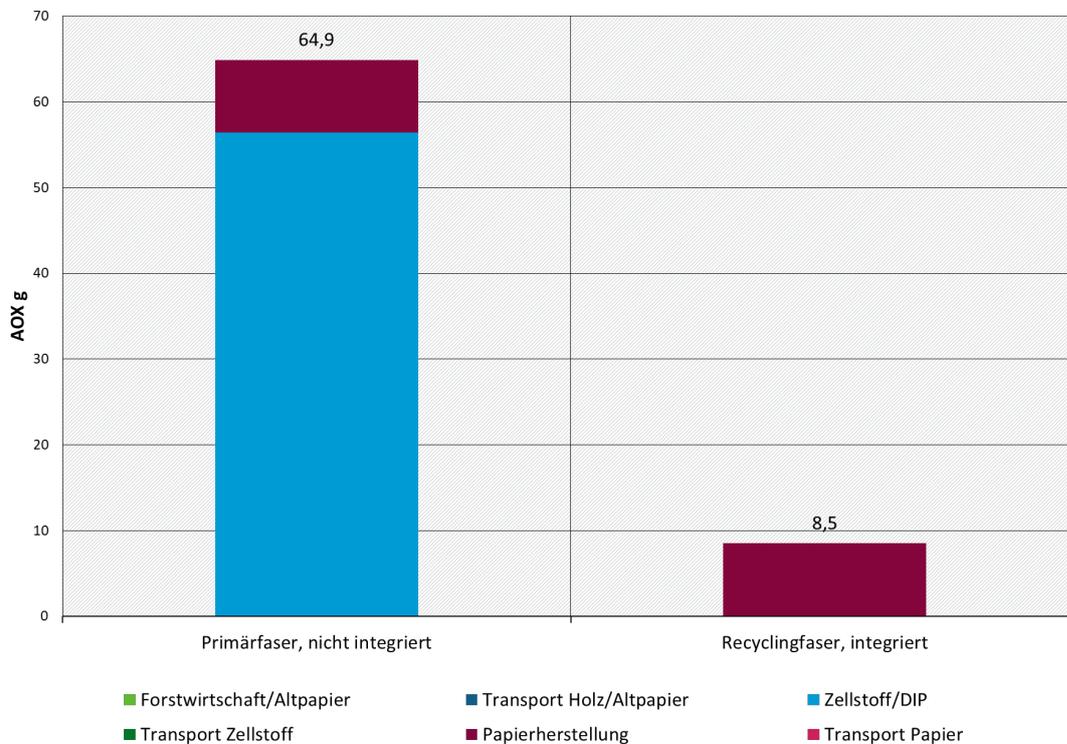
Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 26: Süßwasserbedarf, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 27: Adsorbierbare organische halogenierte Verbindungen (AOX), 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

2.2.1.4 Ergebnisse der Basisszenarien für Hygienepapier: Ergebnisse für die menschliche Gesundheit

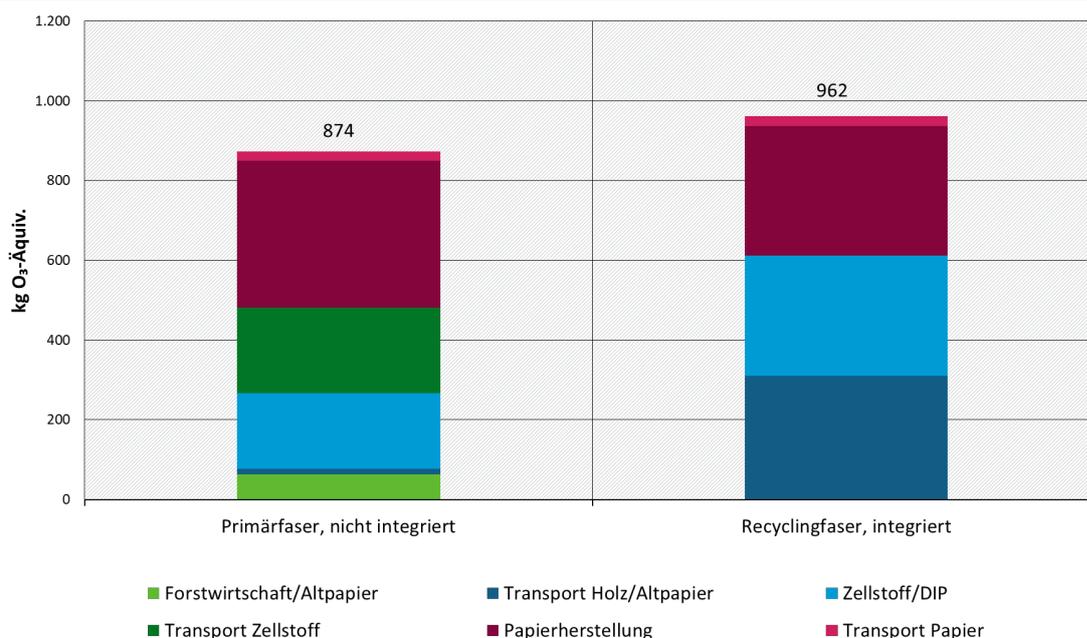
Die Indikatoren *Photochemische Oxidantienbildung* und *Feinstaub (PM 2.5)* sind Umweltindikatoren, die auch die Gesundheit betreffen. In diesem Kapitel wird die Umweltwirkung von Hygienepapieren im Hinblick auf diese Aspekte näher untersucht.

Primärfaser-Hygienepapier zeigt vergleichbare Ergebnisse in der Photochemischen Oxidantienbildung wie Recyclingpapier. Dieses Ergebnis hängt mit den organischen Luftemissionen (VOC und NMVOC) zusammen, die mit Verbrennungsprozessen/Energievorketten im Allgemeinen verbunden sind. Einige dieser Luftemissionen sind auch mit dem Transport verbunden, sodass neben den energieintensiven Verarbeitungsschritten der Zellstoff- und Papierherstellung auch der Transport von Altpapier/Zellstoff einen Beitrag leistet. Die Sammlung und der Transport von Altpapier ist in diesem Fall sogar mit einer höheren photochemischen Oxidantienbildung verbunden als die Einfuhr von Zellstoff.

Vergleichende Erkenntnisse in diesem Bereich sind jedoch nur sehr eingeschränkt nutzbar, da die Datensymmetrie innerhalb der verschiedenen Einzeldatensätze, die zu diesem Ergebnis beitragen, auf der Grundlage der derzeit verfügbaren Bestandsdaten möglicherweise nicht vollständig gegeben ist.

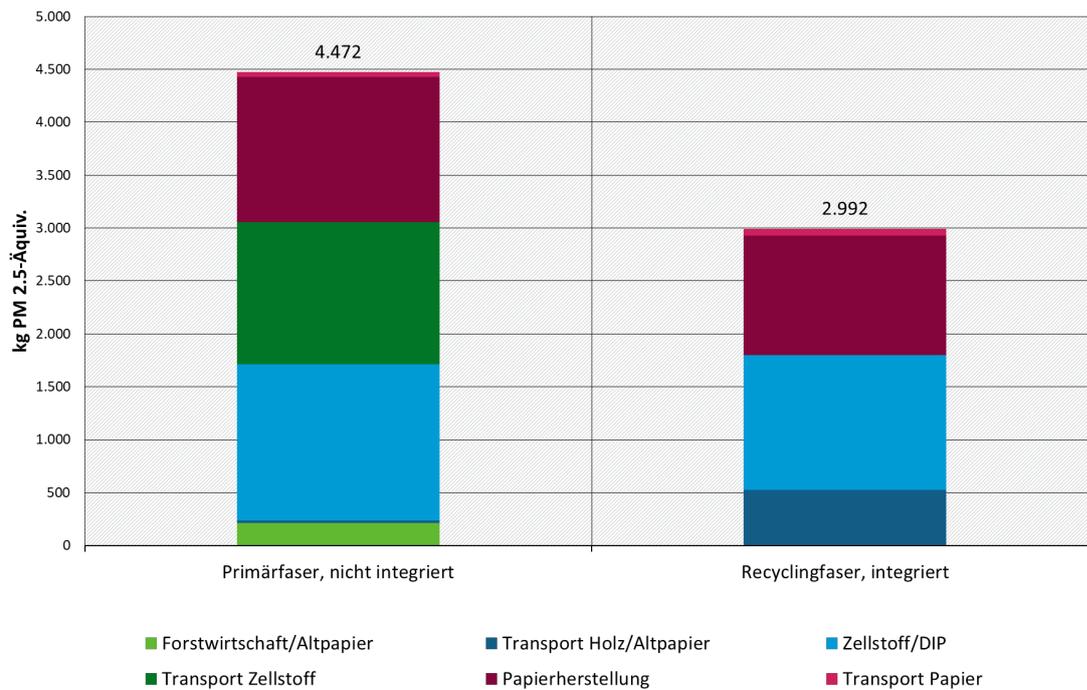
Recycelte Hygienepapiere hingegen haben deutlich geringere Feinstaubbelastungen (PM 2.5) als Primärfaser-Hygienepapiere. Dies hängt zu einem guten Teil mit sekundären Feinstaubpartikeln wie Stickstoff- und Schwefeloxiden zusammen, die bei der (auch biobasierten) Energieerzeugung, z. B. bei der Zellstoffherstellung, entstehen.

Abbildung 28: Photochemische Ozonbildung, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 29: Feinstaub (PM 2.5), 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien



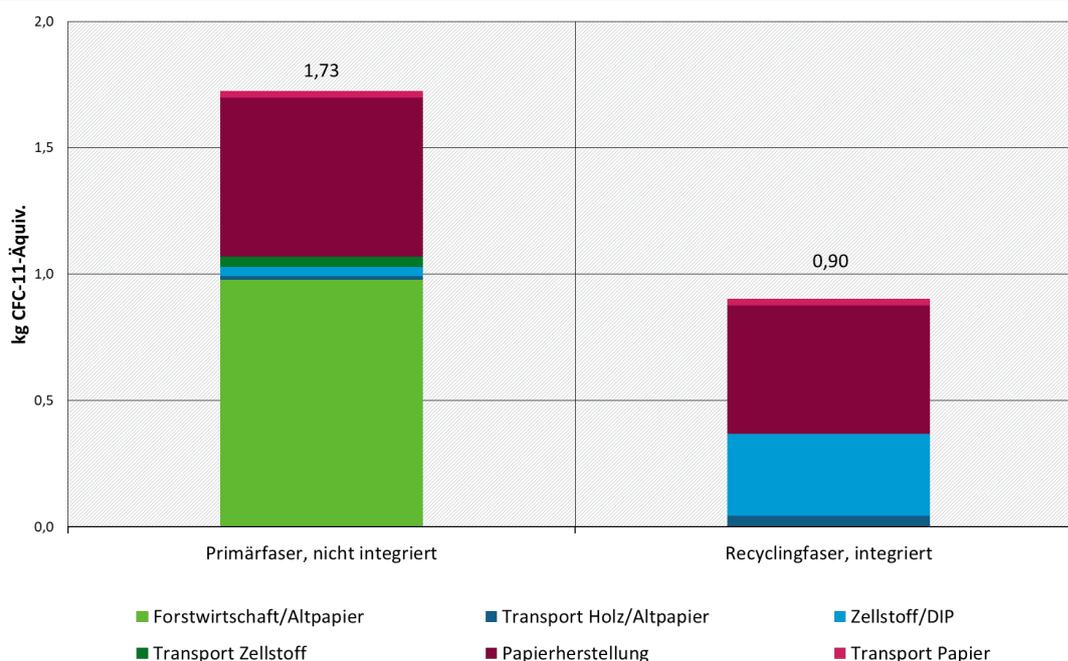
Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

2.2.1.5 Ergebnisse der Basisszenarien für Hygienepapier: Stratosphärischer Ozonabbau

Recycelte Hygienepapiere haben deutlich geringere Auswirkungen auf den Stratosphärischen Ozonabbau als die untersuchten Primärfaser-Hygienepapiere. Dies hängt mit der Emission von Distickstoffoxid (Lachgas, N₂O) in die Luft durch die Forstwirtschaft zusammen, die zu mehr als 50 % zum Ozonabbau beiträgt.

Recycelte Hygienepapiere hingegen weisen den höchsten Beitrag im Zusammenhang mit Energieerzeugungsprozessen für die Papierherstellung auf, bei denen auch Lachgas als Ergebnis von Verbrennungsprozessen (sowohl biogene als auch fossile Brennstoffe) zur Erzeugung von Wärme z. B. für Trocknungsprozesse emittiert wird.

Abbildung 30: Stratosphärischer Ozonabbau, 1000 kg Hygienepapier, Basisszenarien



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

2.2.2 Weitere Ergebnisse der Hygienepapiervariante

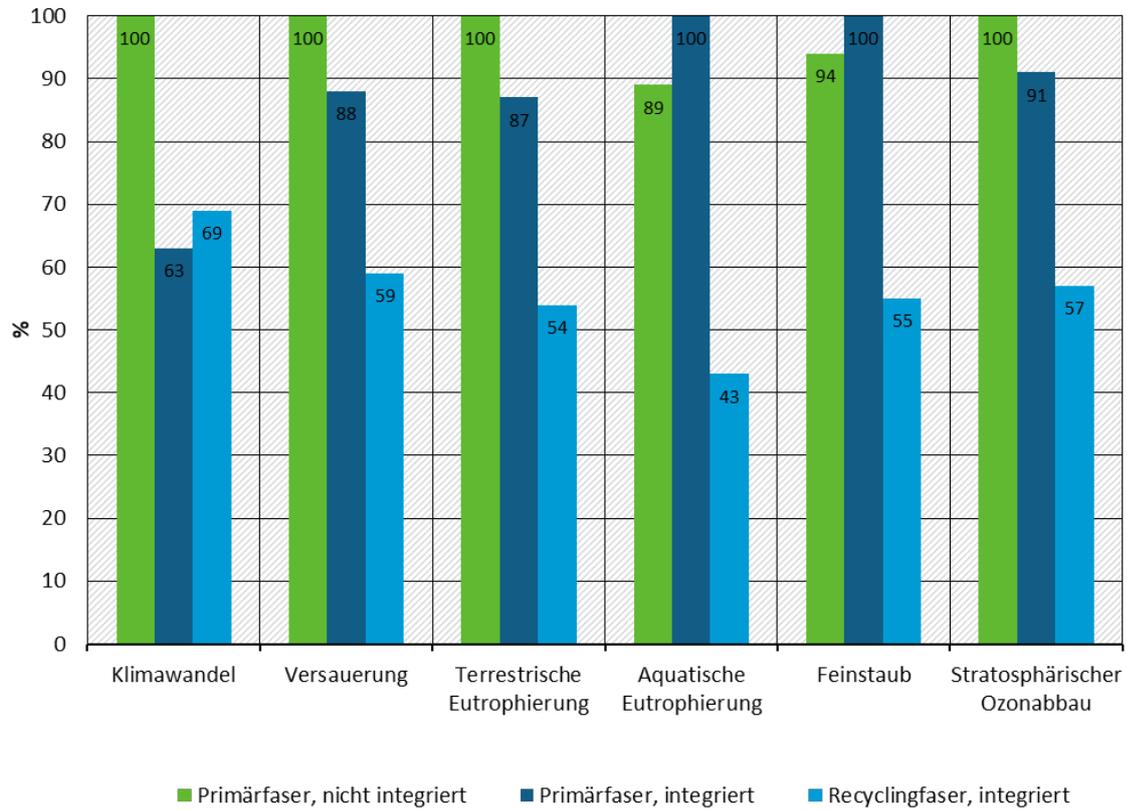
Die Ergebnisse weiterer Hygienepapier-Variantszenarien sind im Hintergrundbericht (Wellenreuther et al. 2022) dieser Studie dargestellt.

2.3 Zusammenfassung und Diskussion der LCA-Ergebnisse

Bei der Bewertung verschiedener Produktionstechnologien für die Herstellung von Büropapier durch einen Vergleich der *Cradle-to-Gate-LCA-Ergebnisse* zeigen sich generell geringere Umweltauswirkungen für die Papierherstellung aus Recyclingpapier. Dies wird insbesondere im Vergleich zu einer nicht integrierten Produktion von Papier aus Primärfasern deutlich. Der Vergleich von Recycling-Büropapier mit Primärfaserpapier aus integrierter Produktion zeigt geringere Auswirkungen in den Umweltwirkungskategorien Versauerung, Terrestrische Eutrophierung, Aquatische Eutrophierung, Feinstaub und Stratosphärischer Ozonabbau und ähnliche Auswirkungen in der Kategorie Klimawandel. In der Kategorie Photochemische Oxidantienbildung bleibt die vorliegende Studie mangels vergleichbarer Daten ohne Aussage (siehe Kapitel 2.1.1.4 über die Asymmetrie der Daten zur Photochemischen Oxidantienbildung).

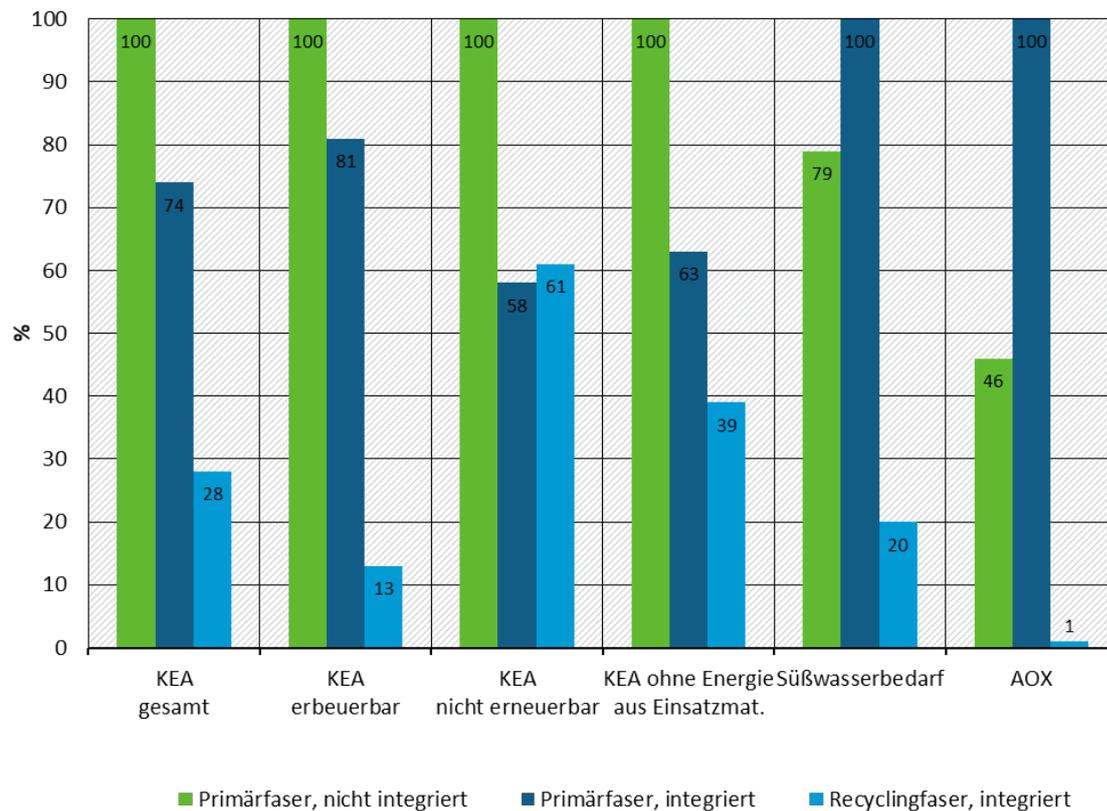
Die folgende Abbildung 31 und Abbildung 32 zeigen die relativen Ergebnisse der Umweltwirkungskategorien und der Bestandskategorien für Büropapier.

Abbildung 31: Vergleich der Ergebnisse der Wirkungskategorien: Primärfaser, nicht integriertes und integriert hergestelltes Büropapier vs. recyceltes, integriert hergestelltes Büropapier



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 32: Vergleich der Ergebnisse der Inventarkategorien: Primärfaser, nicht integriertes und integriert hergestelltes Büropapier vs. recyceltes, integriert hergestelltes Büropapier

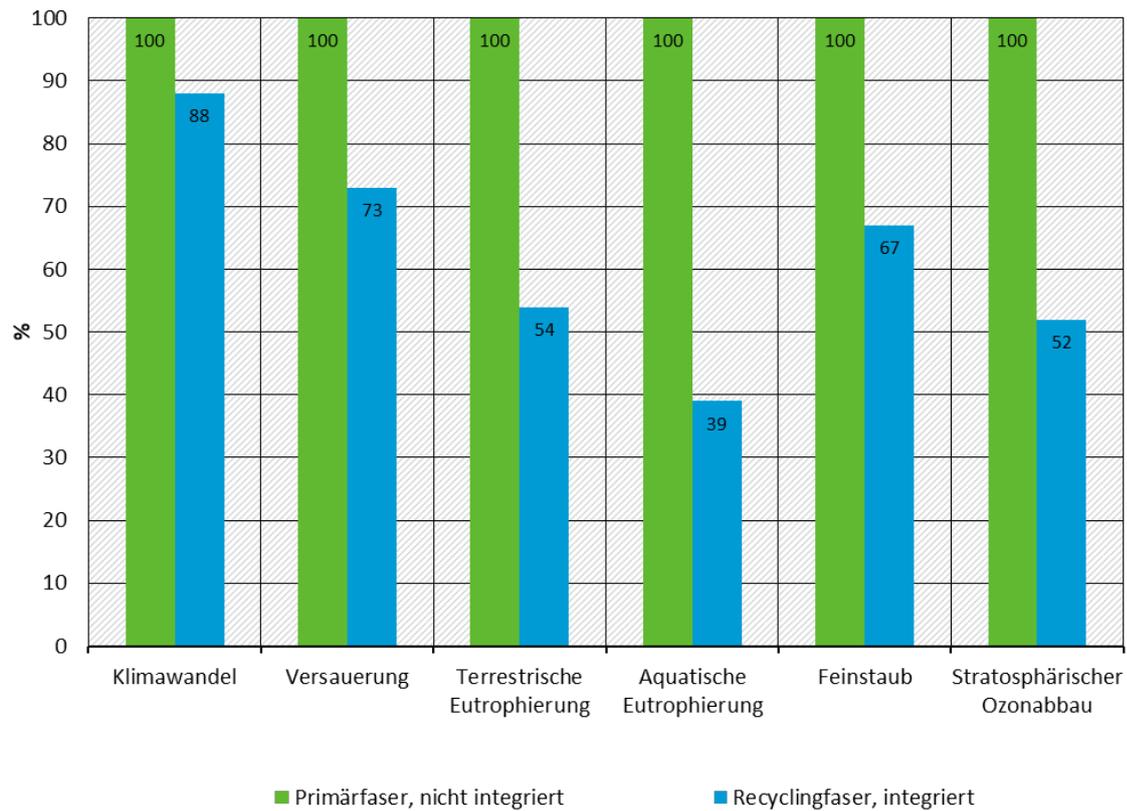


Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Bei der Bewertung verschiedener Produktionstechnologien für die Herstellung von Hygienepapier durch den Vergleich der *Cradle-to-Gate-LCA-Ergebnisse* zeigen sich in allen erfolgreich bewerteten Umweltwirkungskategorien geringere Umweltauswirkungen für die Papierherstellung aus Recyclingpapier.

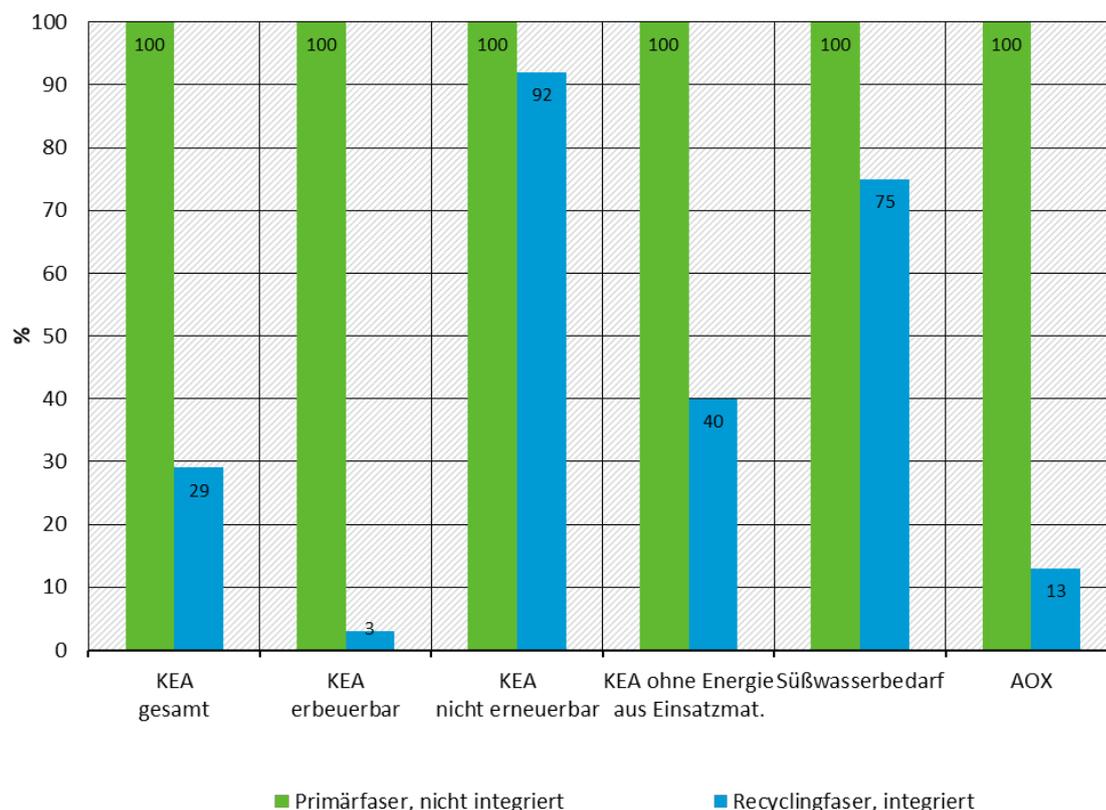
Die folgende Abbildung 33 und Abbildung 34 zeigen die relativen Ergebnisse der Umweltbelastungs- und Inventarkategorien für Hygienepapier.

Abbildung 33: Vergleich der Ergebnisse der Wirkungskategorien: Primärfaser, nicht integriertes Hygienepapier vs. recyceltes, integriert hergestelltes Hygienepapier



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 34: Vergleich der Ergebnisse der Inventarkategorien: Primärfaser, nicht integriert hergestelltes Hygienepapier vs. recyceltes, integriert hergestelltes Hygienepapier



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Die Ergebnisse der Ökobilanz zeigen, dass Recyclingpapier aus integrierter Produktion im Allgemeinen besser abschneidet als die verglichenen Primärfaserpapiere. Insbesondere beim Vergleich von Recycling-Büropapier aus integrierter Produktion mit Primärfaser-Büropapier aus nicht-integrierter Produktion sind die Ergebnisse des Recyclingpapiers in allen bewerteten Umweltwirkungskategorien deutlich niedriger.

Im Vergleich zu Primärfaser-Büropapier aus integrierter Produktion weist das Recyclingpapier geringere Auswirkungen in den bewerteten Umweltwirkungskategorien Versauerung, terrestrische Eutrophierung, aquatische Eutrophierung, Feinstaub und Ozonabbau auf. Ähnliche Auswirkungen weist es in der Kategorie Klimawandel auf.

Der Vergleich in Kapitel 2.1.2, bei dem beide Produktionstypen für Primärfaser-Büropapier zusammen als gewichteter Durchschnitt dargestellt werden, zeigt, dass beim Vergleich von Recycling-Büropapier mit dem durchschnittlichen Primärfaser-Büropapier das Recycling-Papier in allen untersuchten Kategorien, einschließlich des Klimawandels (15 % geringere Auswirkungen), geringere Auswirkungen und Inventarwerte aufweist als das Primärfaserpapier.

Die in Kapitel 2.1.3 vorgestellte Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Recyclingpapierproduktion mit einem potenziellen zukünftigen Stromerzeugungsmix mit höheren Anteilen an erneuerbaren Energiequellen zu geringeren Auswirkungen führen wird. Auch die Dekarbonisierung der Erzeugung von Prozesswärme in den kommenden Jahren wird die Ergebnisse von Recyclingpapier in der Wirkungskategorie Klimawandel weiter verbessern.

Der Vergleich von recyceltem Hygienepapier aus integrierter Produktion mit Primärfaser-Hygienepapier aus nicht integrierter Produktion zeigt geringere Auswirkungen in allen erfolgreich bewerteten Umweltwirkungskategorien, einschließlich des Klimawandels.

3 Ökologische Bewertung der Holzherkunft

In diesem Kapitel werden schwer quantifizierbare Landnutzungskriterien wie Biodiversität, Landnutzungsänderung und Kohlenstoffspeicherung in Wäldern genauer beleuchtet. Ziel ist es, diese über die Ökobilanz hinausgehenden Aspekte zu erörtern und Schlussfolgerungen für die Verwendung von Primärfasern in Büro- und Hygienepapieren zu ziehen, die die Ökobilanzergebnisse der vorangegangenen Kapitel ergänzen und zu einer übergreifenden Sicht auf den Vergleich der in dieser Studie untersuchten Papiere beitragen. Dazu wird zunächst der Kontext des internationalen und nationalen Naturzustandes der Wälder im Verhältnis zur Holznachfrage dargestellt. Für die anschließende Betrachtung von Biodiversität, Landnutzungsänderung und CO₂ Speicherung in Wäldern wird im nächsten Unterkapitel die Holzherkunft für die in der Ökobilanz verwendeten Szenarien dargestellt. Darüber hinaus wird die Bedeutung von forstlichen Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen in Bezug auf Biodiversität und Landnutzungsänderung in einem jeweiligen Unterkapitel gesondert dargestellt.

Auch wenn die hier vorgestellten Analysen und Bewertungen der Holzherkunft für die Primärfaserproduktion die Produktion von Recyclingfasern nicht einschließen, werden die potenziellen positiven Auswirkungen der Verwendung von Recyclingfasern anstelle von Primärfasern in den Diskussionen angesprochen.

3.1 Aktuelle Debatte über den natürlichen Zustand der Wälder

Der Statusbericht "The State of the World's Forests", der von der (FAO and UNEP 2020) veröffentlicht wurde, zeigt, dass die Wälder der Welt äußerst vielfältige Lebensräume bieten, in denen der größte Teil der terrestrischen Biodiversität zu finden ist. Zwar ist der Netto-Verlust an Waldfläche zurückgegangen, doch findet weiterhin Abholzung und Degradierung von Wäldern zu Gunsten von Agrar- und Weideflächen statt. Auch Primärwälder, die eine wichtige Rolle als Kohlenstoffspeicher und für die Biodiversität spielen, sind weiterhin bedroht (FAO and UNEP 2020). Der Bericht zeigt auf, dass die Biodiversitätsziele der Sustainable Development Goals bis 2030 aufgrund der Waldbewirtschaftung und Abholzung wahrscheinlich nicht erreicht werden können. Durch großflächige Wiederaufforstung und einer nachhaltigen Waldwirtschaft mit Fokus auf den Erhalt der Artenvielfalt kann diesem Trend entgegengewirkt werden (FAO and UNEP 2020).

Auch der aktuelle Bericht über den Zustand der Natur in Deutschland des BMU (BMU 2020) erwähnt, dass „die Anstrengungen zum ökologischen Waldumbau, auch vor dem Hintergrund des Klimawandels, erheblich intensiviert werden“ müssen und die Waldwirtschaft stärker an „ökosystemaren Gesichtspunkten“ ausgerichtet werden sollte (BMU 2020). Das Ziel der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt, 5 % der Waldflächen einer un gelenkten Waldentwicklung zu überlassen, wurde Stand 2019 allerdings nicht erreicht (BMU 2020). (BMEL 2014) liefert eine Bewertung des Waldzustandes auf der Grundlage der deutschen Naturwaldinventur und stellt im Vorwort fest, dass sich der Wald in einem guten Zustand befindet. Die Ergebnisse in (BMEL 2014) zeigen, dass 15 % der Wälder eine sehr naturnahe, 21 % eine naturnahe und 41 % eine bedingt naturnahe Baumartenzusammensetzung aufweisen. Die restlichen 23 % können als kulturbetont und kulturbstimmig eingestuft werden. Es ist jedoch zu beachten, dass sich der Parameter "Naturnähe" in der deutschen Bundeswaldinventur ausschließlich auf die Baumarten des Waldes bezieht. Auch wenn die deutsche Bundeswaldinventur im Vergleich zu anderen europäischen Ländern eine Vorreiter-Rolle in der Berichterstattung von z.B. Totholz, Baumartenverteilung oder Mikrohabitate an Bäumen, einnimmt, so sind nach (Reise et al. 2017a) "Rückschlüsse über den Einfluss von forstlichem Management, auf den Zustand und die Veränderung der Artenvielfalt im Wald nur eingeschränkt

möglich" (Reise et al. 2017a). Dementsprechend können auf Basis der Bundeswaldinventur keine Rückschlüsse auf den natürlichen Zustand oder die Biodiversität in Wäldern gezogen werden.

Im Gegensatz dazu zeigt der alternative Waldzustandsbericht der Naturwaldakademie Lübeck (Welle et al. 2018) eine umfassendere Bewertung des naturschutzfachlichen Zustands der deutschen Wälder nach den Kriterien Repräsentanz, Gefährdung und Seltenheit, Naturnähe, Lebensraumtradition, Erhaltungszustand und Management. Das aggregierte Ergebnis für die sechs Kriterien zeigt, dass sich mehr als 80 % der deutschen Wälder in einem schlechten bis sehr schlechten naturschutzfachlichen Zustand befinden.

Inwieweit eine nachhaltigere Waldbewirtschaftung realisiert werden kann, hängt von dem potenziellen Angebot und der Nachfrage nach Rohholz ab. Dazu wurden in dem vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) geförderten Projekt " Nachhaltigkeitsbewertung alternativer Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien unter besonderer Berücksichtigung von Klima- und Biodiversitätsschutz " (WEHAM-Szenarien)⁴ verschiedene Szenarien des deutschen Holzmarktes und seiner Entwicklung bis zum Jahr 2050 modelliert. In den WEHAM-Szenarien, die u.a. von (Schier und Weimar 2018) vorgestellt wurden, werden verschiedene Ansätze der Waldbewirtschaftung verglichen: ein Basisszenario, das auf der aktuellen forstwirtschaftlichen Praxis basiert, ein Holzpräferenzszenario, das durch eine intensivierte Waldbewirtschaftung gekennzeichnet ist, und ein Naturschutzpräferenzszenario mit Fokus auf den Naturschutz. Die Szenarien wurden mit verschiedenen Holznachfrageszenarien kombiniert: das Basisszenario mit dem Holzreferenzszenario (Zunahme von Holz für die stoffliche Nutzung, Abnahme von Holz für die energetische Nutzung), das Holzpräferenzszenario mit dem Holzförderszenario (Zunahme von Holz für die stoffliche und energetische Nutzung) und das Naturschutzpräferenzszenario mit dem Holzrestriktionsszenario (leichte Zunahme von Holz für die stoffliche Nutzung und deutliche Abnahme von Holz für die energetische Nutzung).

Die Ergebnisse aller Szenarien zeigen, dass der Bedarf an Nadelholz für die stoffliche Nutzung innerhalb der nächsten Jahre mit heimischem Holz gedeckt werden könnte, wenn kein Holz für energetische Zwecke genutzt wird. In der langfristigen Perspektive ab 2030 übersteigt der Bedarf an stofflich genutztem Nadelholz jedoch in allen untersuchten Szenarien das potenzielle Angebot an Nadelrohholz aus deutschen Wäldern (Schier und Weimar 2018). Der Bedarf an Laubholz für die stoffliche Nutzung könnte in allen Szenarien bis 2050 durch heimisches Holz gedeckt werden, wenn kein Holz für energetische Zwecke genutzt wird. Dies gilt auch, wenn das Naturschutzpräferenzszenario mit Szenarien kombiniert wird, die von einer steigenden Nachfrage nach Laubholz für die stoffliche Nutzung ausgehen. Wird das Naturschutzpräferenzszenario für die Produktion von Nadelholz mit Szenarien kombiniert, die von einer höheren Nachfrage nach Nadelholz ausgehen, würde die Differenz zwischen Nachfrage und Produktion in Zukunft noch größer werden. Die Differenz zwischen der Nachfrage und dem inländischen Angebot an rohem Nadelholz wird durch Rohholzimporte gedeckt. Eine stark steigende Nachfrage nach Holz, insbesondere Nadelholz, steht demnach in direkter Konkurrenz zur Verbesserung des Naturzustandes und der Erhaltung der Biodiversität im deutschen Wald

⁴ WEHAM-Szenarien: Verbundforschungsprojekt - Nachhaltigkeitsbewertung alternativer Waldbehandlungs- und Holzverwendungsszenarien unter besonderer Berücksichtigung von Klima- und Biodiversitätsschutz (WEHAM-Szenarien).

<https://www.weham-szenarien.de/> (Zugriff am: 24.06.2020).

oder verursacht Holzimporte, die auch mit Biodiversitätsverlusten oder Landnutzungsänderungen verbunden sein können.

Neben dem Verlust des natürlichen Zustands und der Biodiversität in den Wäldern sind auch Entwaldung und Walddegradierung weltweit in großem Umfang zu beobachten. Während die Nettowaldfläche in Europa leicht zunimmt, ist insbesondere in Südamerika und Afrika ein starker Rückgang zu verzeichnen (FAO 2020). Da die Netto-Waldfläche sowohl Entwaldung als auch wieder aufgeforstete Flächen beinhaltet (FAO 2020), könnte der Verlust an Primärwald in allen Regionen höher sein, als es die Statistik der Nettoveränderung der Waldfläche aufzeigt. Die Hauptursachen für die Entwaldung und Degradierung von Primärwäldern sind Agrarprodukte (Cuypers et al. 2013, FAO und UNEP 2020). Waldflächenverluste sind jedoch auch mit Zellstoffimporten verbunden, die für die Jahre 1990 bis 2008 0,1 Millionen Hektar betragen (Cuypers et al. 2013). Ungefähr zwei Drittel dieser Entwaldung im Zusammenhang mit Zellstoff findet in Südamerika statt, der Rest in Südostasien und Afrika südlich der Sahara (Cuypers et al. 2013). Was die Nettowaldfläche in den europäischen Ländern betrifft, so ist festzustellen, dass die Nettowaldfläche in Europa zwar zunimmt, die jährlich geerntete Waldbiomasse in den letzten Jahren jedoch deutlich gestiegen ist (Ceccherini et al. 2020). Dies zeigt, dass die Holzentnahme und der Druck auf die bewirtschafteten Wälder zunehmen. In (Ceccherini et al. 2020) werden drei mögliche Ursachen für den jüngsten Anstieg der Waldwirtschaftsfläche genannt: 1) Alterung der europäischen Wälder, 2) Zunahme an Kalamitätsholz, 3) Marktnachfrage und politische Rahmenbedingungen, wobei der letztgenannte Faktor höchstwahrscheinlich die wichtigste Triebkraft für die Zunahme der Einschlagsfläche ist.

Ausgehend von der Herkunft des Holzes für die deutsche Papierproduktion werden daher im Folgenden die Ergebnisse der Bewertung der Biodiversität für die in diesem Bericht vorgestellten Szenarien dargestellt und mögliche Risiken im Zusammenhang mit Landnutzungsänderungen und Kohlenstoffverlusten in Wäldern erörtert.

3.2 Holzherkunft für die deutsche Primärfaserpapierproduktion

Die Bewertung von Naturräumen und Biodiversität in Ökobilanzen und die Analyse möglicher Landnutzungsänderungen basieren auf den Hauptherkunftsländern des verarbeiteten Holzes. Die folgende Liste zeigt die für die ökologische Bewertung der Holzherkunft ausgewählten Szenarien und ihre Entsprechungen zu den Szenariennamen im Hintergrundbericht (Wellenreuther et al. 2022). Die Szenarienauswahl umfasst alle wichtigen Herkunftscluster der deutschen Papierproduktion.

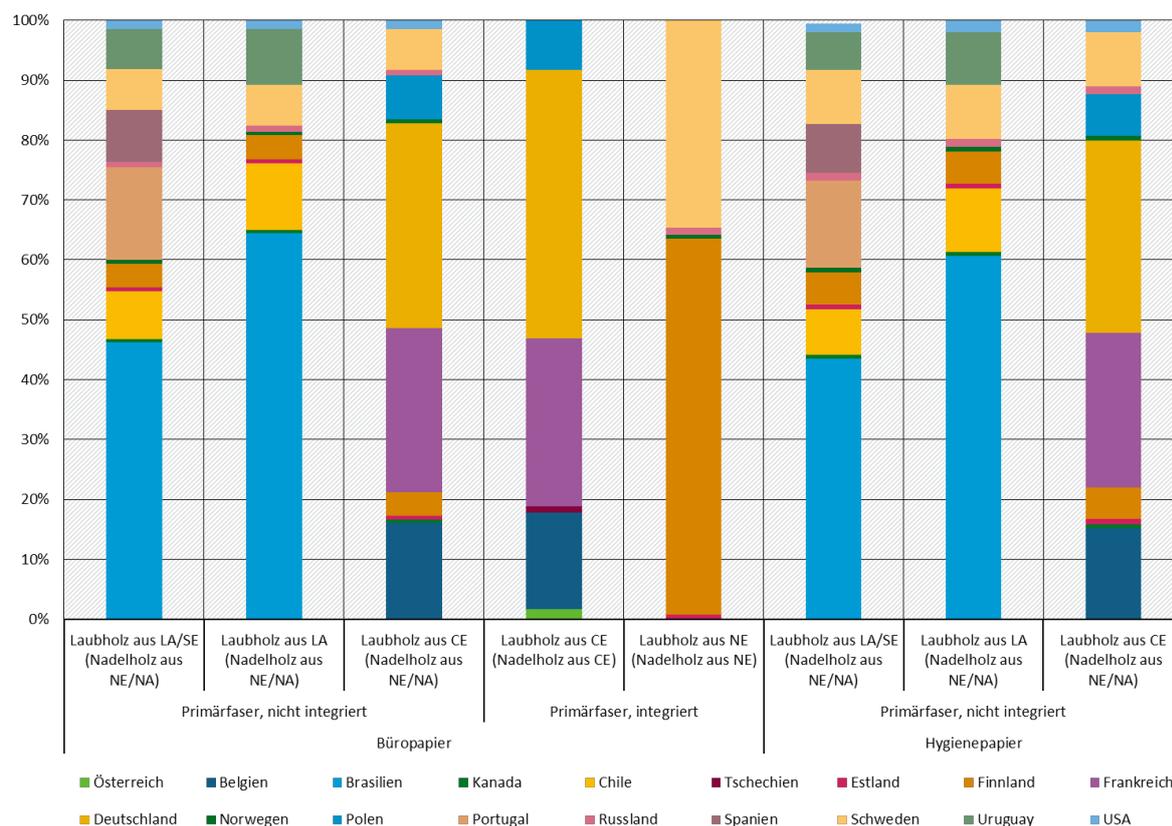
Tabelle 5: Entsprechungen der Szenariennamen für die ökologische Bewertung der Holzherkunft (LA = Lateinamerika, SE = Südeuropa, NE = Nordeuropa, NA = Nordamerika, CE = Mitteleuropa)

Analysierte Szenarien für die ökologische Bewertung der Holzherkunft im Spotlight-Bericht.		Entsprechende Basisszenarien sowie die in den Kapiteln 2.4.6 und 2.4.7 definierten Szenarien der Zellstoffvarianten. (Tabelle 6 und 7) im Hintergrundbericht (Wellenreuther et al. 2022).
Büropapier: primär, nicht integriert hergestelltes Papier	Laubholz aus LA/SE (Nadelholz aus NE/NA)	O1 virg. non-int. CE: [85 % Euca LA/SE, 15 % softwood NE/NA]

Analysierte Szenarien für die ökologische Bewertung der Holzherkunft im Spotlight-Bericht.		Entsprechende Basisszenarien sowie die in den Kapiteln 2.4.6 und 2.4.7 definierten Szenarien der Zellstoffvarianten. (Tabelle 6 und 7) im Hintergrundbericht (Wellenreuther et al. 2022).
	Laubholz aus LA (Nadelholz aus NE/NA)	O1 virg. non-int. CE: [85 % Euca LA, 15 % softwood NE/NA]
	Laubholz aus CE (Nadelholz aus NE/NA)	O1 virg. non-int. CE: [85 % hardwood CE, 15 % softwood NE/NA]
Büropapier: primär integriert hergestelltes Papier	Nadelholz aus CE (Weichholz aus CE)	O2a virg. non-int. CE [85 % hardwood CE, 15 % softwood CE]
	Laubholz aus NE (Nadelholz aus NE)	O2b virg. int. NE [85 % hardwood NE, 15 % softwood NE]
Hygienepapier: primär, nicht integriert hergestelltes Papier	Laubholz aus LA/SE (Nadelholz aus NE/NA)	T1 virg. non-int.: [80 % Euca LA, 20 % softwood NE/NA]
	Laubholz aus LA (Nadelholz aus NE/NA)	T1 virg. non-int.: [80 % Euca LA/SE, 20 % softwood NE/NA]
	Laubholz aus CE (Nadelholz aus NE/NA)	T1 virg. non-int.: [80 % hardwood CE, 20 % softwood NE/NA]

Abbildung 35 zeigt, dass die Hauptherkunftsländer des für die Papierherstellung in Deutschland verwendeten Holzes sehr vielfältig sind, d.h. es wird Holz aus der ganzen Welt importiert, z.B. aus Brasilien, Uruguay, Kanada und den USA, Spanien, den baltischen Staaten oder Russland. Die Holzherkunftsanalyse basiert auf aktuellen Holzproduktions- und Importstatistiken aus den Jahren 2016, 2017 oder 2018. Soweit die Holzmarktzahlen eine Differenzierung nach Schnittholz, Industrieholz oder Holz für die Papierproduktion zulassen, basieren die abgeleiteten Anteile auf den der Papier- oder Zellstoffproduktion zugeführten Mengen. (siehe Kennziffern (a) bis (d) Abbildung 35).

Abbildung 355: Anteile der Herkunftsländer für Hart- und Weichholz pro Szenario für nicht integriert hergestelltes Büro- und Hygienepapier und für integriert hergestelltes Büropapier (LA = Lateinamerika, SE = Südeuropa, NE = Nordeuropa, NA = Nordamerika, CE = Mitteleuropa)



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu, basierend auf:

Herkunft von Zellstoff und Papier für die integrierte und nicht-integrierte Papierherstellung nach (Moldenhauer et al. 2018)

Die Herkunft von Laub- und Nadelholz wird anhand der folgenden Quellen geschätzt:

Finnland (a): Lukas (2020), Referenzjahr: 2019

Schweden (b): SFIF (2020), Bezugsjahr: 2018; Palviainen et al. (2015); Skogsstyrelsen (2019), Bezugsjahr: 2018; EOS (2019), Bezugsjahr: 2017; Ekstrom (2018), Bezugsjahr: 2018; Generandi 2016, Bezugsjahr: 2016

Deutschland (c): EOS 2019, Bezugsjahr: 2017; BMEL (2018), Bezugsjahr: 2018

Österreich (d): BMLRT (2017), Bezugsjahr: 2016 und 2017; FAO und UNECE 2019, Bezugsjahr: 2018, Höher und Strimtzter (2018), Bezugsjahr: 2017

Frankreich (b): EOS 2019, Bezugsjahr: 2017; UN 2019, Bezugsjahr: 2017; Sédillot (2018), Bezugsjahr: 2018; EOS und ETTF (2017), Bezugsjahr: 2016

(a) Holzimporte und Importländer auf Basis von Zellstoffholz; **(b)** Holzimporte auf Basis von Zellstoffholz, Importländer auf Basis von Industrieholz; **(c)** Holzimporte auf Basis von Zellstoffholz, Importländer auf Basis von Rohholz; **(d)** Holzimporte und Importländer auf Basis von Industrieholz

Das in der Zellstoff- und Papierproduktion eingesetzte Laubholz wird zum großen Teil in den Produktionsländern gewonnen und nur in geringen Mengen importiert. Das gleiche gilt auch für Laubholz in Nordamerika, dessen Markt größtenteils aus eigenen Holzvorräten gedeckt wird. Daher wird von keinen Importen in diese Länder ausgegangen.

Im Gegensatz dazu gibt es in den europäischen Ländern beträchtliche Marktströme für Nadelholz, das für die Papierherstellung verwendet wird. So wird in Finnland neben dem inländischen Holz (28,4 Mio. m³) auch Nadelholz aus Russland (ca. 4,9 Mio. m³) und den baltischen Staaten (ca. 2,4 Mio. m³) für die Papierherstellung verwendet (Luke 2020). Schweden importiert z.B. Holz aus Finnland, Norwegen und den baltischen Staaten. Deutschland importierte 2018 vor allem Industrieholz aus der Tschechischen Republik und Polen. Die Tschechische Republik ist auch einer der Hauptlieferanten von Nadelholz für Österreich, dessen

Holz für die Papierherstellung auch aus Deutschland stammt. Frankreich wiederum importierte geringe Mengen an Nadelholz aus Deutschland und Finnland.

Der Holzmarkt unterliegt einem steten Wandel. So sind die deutschen Rundholzimporte aus Norwegen und Estland im Jahr 2018 im Vergleich zum Vorjahr erheblich zurückgegangen, während Liefermengen aus Polen und der Tschechische Republik auf ca. 2/3 des Imports angestiegen sind. Diese Fluktuationen im Holzmarkt sind in den hier herangezogenen Daten nicht abgebildet, da für die einzelnen Länder nur eine Jahresstatistik herangezogen wurde. Dies wird allerdings als Grundlage für die Diskussion der Forstflächen als ausreichend angesehen.

3.3 Bewertung der Biodiversität

Graduelle Unterschiede zwischen verschiedenen nicht stark intensivierten Bewirtschaftungsformen in unterschiedlichen Regionen dieser Welt sind schwierig herauszuarbeiten.. Ein vielversprechender Ansatz, der zumindest eine Unterscheidung nach stark intensiven und weniger stark intensiven Bewirtschaftungsformen auf Länderebene zulässt, findet sich in der Methode von (Chaudhary and Brooks 2018). Daher erfolgt die quantitative Bewertung der temporären Landnutzung im Rahmen dieses Forschungsvorhabens anhand des Biodiversitätsverlustpotentials von (Chaudhary and Brooks 2018).

3.3.1 Methodik des Biodiversitätsverlustpotenzials von (Chaudhary and Brooks 2018)

Um die Auswirkungen der Landnutzung auf die Biodiversität im Kontext des Produktlebenszyklus zu bewerten, wurden in (Chaudhary and Brooks 2018) Charakterisierungsfaktoren entwickelt, die das Biodiversitätsverlustpotential als Indikator verwenden. Das Biodiversitätsverlustpotential wird als potenziell verschwundener Anteil von Arten (PDF - Potentially Disappeared Fraction) pro m² ausgedrückt. Diese Kennzahl gibt den Anteil an Arten pro Ökoregion oder Land an, der durch die menschliche Interaktion auf einem m² potenziell verloren gehen kann.

Der potenziell verschwundene Anteil an Arten für die 5 verschiedenen Landnutzungstypen Wirtschaftswälder, Plantagen, Weideland, Ackerland und Siedlungsflächen wurde in (Chaudhary and Brooks 2018) auf der Grundlage von Studien über die Auswirkungen der Landnutzung auf die Biodiversität für fünf Artengruppen (Säugetiere, Vögel, Amphibien, Reptilien und Pflanzen) für 804 terrestrische Ökoregionen berechnet. Für jede Landnutzungsart werden 3 verschiedene Bewirtschaftungsintensitäten berücksichtigt. Bei der Holzproduktion wurde zwischen folgenden Landnutzungsarten und Bewirtschaftungsintensitäten unterschieden:

► Wirtschaftswälder:

- Intensive Nutzung (Kahlschlag)
- Leichte Nutzung (Selektiver Holzeinschlag)
- Minimale Nutzung (Wälder mit reduziertem Einschlag in den Tropen (reduced-impact logging (RIL))

► Forstplantagen:

- Intensive Nutzung (Monokulturen, gleich alte Bäume, Kahlschlag in den letzten 20 Jahren)

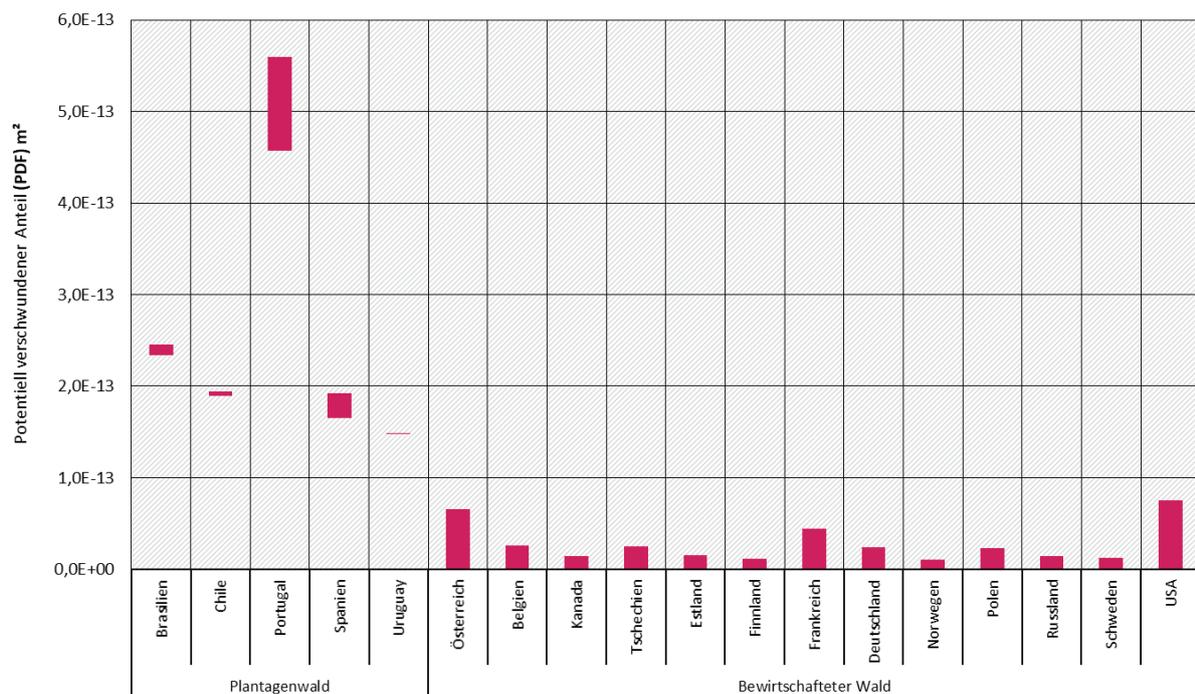
- Leichte Nutzung (Monokulturen, gemischtes Alter, kein Kahlschlag in den letzten 20 Jahren)
- Minimale Nutzung (extensiv bewirtschaftete oder gemischte Holzplantagen, kein Kahlschlag in den letzten 20 Jahren).

Die in (Chaudhary and Brooks 2018) bereitgestellten Charakterisierungsfaktoren für Waldökosysteme basieren auf der von (Chaudhary et al. 2016) veröffentlichten Meta-Analyse, in der 287 Studien zum Vergleich der Biodiversität in bewirtschafteten und unbewirtschafteten Wäldern herangezogen wurden. Diese Meta-Analyse zeigt, dass hochintensiver Kahlschlag zu Biodiversitätsverlusten bei allen Arten führt. Außerdem war der potenzielle Biodiversitätsverlust in mitteleuropäischen Wäldern höher als in nordeuropäischen Wäldern. Im Gegensatz dazu ergab die Meta-Analyse, dass selektiver Holzeinschlag, d.h. alle Formen des Holzeinschlags die keinen konventionellen Kahlschlag beinhalten, in Mitteleuropa und Skandinavien nicht mit einer signifikanten Schädigung der Biodiversität verbunden ist. Aus diesem Grund wird in (Chaudhary and Brooks 2018) für diese Länder ein Charakterisierungsfaktor von 0 PDF pro m² (Potentially Disappeared Fraction) angegeben. Diese Annahme ist konsistent mit den Ergebnissen aus (Reise et al. 2017a) und (Reise et al. 2017b) und entspricht dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Mit der Methode von (Chaudhary and Brooks 2018) können signifikante Unterschiede zwischen Forstplantagen, intensiver Forstwirtschaft und weniger intensiver Forstwirtschaft in verschiedenen Ländern quantifiziert werden. Die Einschränkung der Methode besteht darin, dass eine weitergehende Differenzierung von weniger intensiven Bewirtschaftungsformen wie der naturnahen Forstwirtschaft noch nicht möglich ist. (Chaudhary and Brooks 2018) diskutieren die Unsicherheiten ihrer Methode zur Berechnung des regional aufgelösten Biodiversitätsverlustpotentials, der mit einer bestimmten Landnutzung und Bewirtschaftungsform verbunden ist. Sie kommen zu dem Schluss, dass diese Effekte mit Datenlücken, Modell- und Parameterunsicherheiten und die mit den Charakterisierungsansätzen verbundenen Werthaltungen zurückzuführen.

Abbildung 366 zeigt die Bandbreite der von (Chaudhary and Brooks 2018) veröffentlichten Charakterisierungsfaktoren von niedriger bis hoher Bewirtschaftungsintensität für die Herkunftsländer, die mit der deutschen Papierproduktion einhergehen können. Die Schwebebalken sind als Spanne der Charakterisierungsfaktoren zu verstehen, wobei der untere Rand des Balkens die PDF für eine niedrige und der obere Rand die PDF für eine hohe Bewirtschaftungsintensität darstellt.

Im Ländervergleich lassen sich die Faktoren wie folgt interpretieren: Die Auswirkungen der Landnutzung pro Hektar sind in Österreich 5,5-mal höher als in Schweden, wenn Kahlschlag (hohe Bewirtschaftungsintensität) stattfindet, und die potenziellen Auswirkungen von Forstplantagen auf die Biodiversität pro Hektar sind in Portugal etwa 2- bis 4-mal höher als in den anderen Ländern. Die höheren Werte und die breitere Spanne der Werte in Portugal im Vergleich zu den anderen Ländern stammen aus der Plantagenforstwirtschaft auf Madeira, wo der potenzielle Verlust an Biodiversität in der Ökoregion "Madeira Evergreen Forest" eine hohe Anfälligkeit und Empfindlichkeit gegenüber der Intensität der Plantagenbewirtschaftung aufweist. Die vorgestellten Charakterisierungsfaktoren bilden die Grundlage für die Bewertung der Biodiversität und zeigen Unterschiede in den potenziellen Auswirkungen der Forstwirtschaft und der Plantagenbewirtschaftung pro Fläche. Um das Biodiversitätsverlustpotenzial von Produkten zu berechnen, muss dieser flächenbezogene Wert mit der Plantagen- bzw. Waldfläche multipliziert werden, die sich aus dem Flächenertrag und der Holzmenge ergibt.

Abbildung 366: Bandbreite der Charakterisierungsfaktoren aus (Chaudhary and Brooks 2018) für Forstplantagen und bewirtschaftete Wälder in den Herkunftsländern, die der deutschen Papierproduktion im potenziell verschwundenen Anteil (PDF) pro m² zugerechnet werden.



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

3.3.2 Mögliche Auswirkungen des Forstzertifizierungssystems auf den Verlust der Biodiversität

Die folgenden Kapitel sollen aufzeigen, inwieweit FSC- oder PEFC-zertifizierte Waldflächen bei der Bewertung der Biodiversität bevorzugt berücksichtigt werden können.

Eine Literaturübersicht über den Einfluss von Zertifizierungssystemen wie Forest Stewardship Council (FSC) oder Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes (PEFC) auf die Biodiversität in Wäldern zeigt, dass es kaum Belege für signifikante positive Auswirkungen der Waldzertifizierung auf die Biodiversität gibt. Dies wird in (Kuijk et al. 2009) und (Di Girolami und Arts 2018) dargelegt. (Di Girolami und Arts 2018) bietet eine qualitative Literaturübersicht über 31 Studien zu den Umweltauswirkungen von Zertifizierungssystemen und umfasst etwa 1,5 % der zertifizierten Wälder weltweit. Diese Überprüfung umfasst sechs Fallgebiete mit FSC- und zwei mit PEFC-Zertifizierung in borealen Wäldern. Die Hälfte der Studien zeigte, dass die Zertifizierungssysteme keine statistisch signifikanten Auswirkungen hatten, die andere Hälfte zeigte eine positive Wirkung auf die Fauna. Für den tropischen Lebensraum konnten nur Studien mit FSC-Zertifikat identifiziert werden, um die Auswirkungen auf Flora und Fauna zu analysieren. "For the tropical biome, FSC succeeds in halting or reducing deforestation in most reported cases" (Di Girolami and Arts 2018), allerdings umfassen diese Studien keine FSC-zertifizierten Forstplantagen in den Herkunftsländern, die in der vorliegenden Studie untersucht werden. Insgesamt zeigen (Di Girolami und Arts 2018), dass FSC und PEFC positive oder neutrale Auswirkungen auf die Fauna und Flora haben, und nur eine Studie zeigt in einem tropischen Biom negative Auswirkungen.

Unabhängig von Zertifizierungssystemen existiert Zahlreiche Literatur für den Zusammenhang zwischen Biodiversität und Retentions-Forstwirtschaft (retention forestry), die Teil der Zertifizierungssysteme ist. Die Retentions-Forstwirtschaft legt den Fokus auf Kontinuität in der

Waldstruktur, um die Biodiversität zu fördern und die ökologischen Funktionen auf verschiedenen räumlichen Ebenen aufrechtzuerhalten. Hierfür werden bei der Holzernte z.B. wichtige Strukturen wie lebende und tote Bäume und Baumstümpfe hinterlassen und auf kleinen Teilflächen unbeeinflusste Waldentwicklung zugelassen.

Die meisten europäischen FSC- und PEFC-Kriterienkataloge enthalten Kriterien für Maßnahmen, die Schlüsselemente der Retentionswaldwirtschaft sind. Ausnahmen sind die Tschechische Republik, wo der FSC- und PEFC-Kriterienkatalog und Russland, wo der PEFC-Kriterienkatalog keine quantifizierbaren Maßnahmen zum Retentionsmanagement verlangt (FSC 2015; FSC 2020; PEFC 2015; PEFC 2016). Der aktualisierte russische FSC-Standard enthält Kriterien für Retentionsmaßnahmen, allerdings gilt die Vorgabe, auf 10 % der Fläche Baumgruppen stehen zu lassen, nur für Kahlschlagflächen von mehr als 15 ha. Der aktualisierte russische FSC-Standard enthält immer noch keine Leitlinien für die Verringerung der Kahlschlaggröße, wie in (Blumröder et al. 2020) kritisiert wird.

Die verfügbare Literatur zeigt, dass die Retentionsforstwirtschaft die Waldeigenschaften und -funktionen bis zu einem gewissen Grad aufrechterhält, einen Großteil der Biodiversität in Wirtschaftswäldern bewahrt und, je nach Größe der erhaltenen Fläche, einen Verlust der Biodiversität im Gegensatz zum konventionellen Kahlschlag verhindert (Gustafsson et al. 2010; Fedrowitz et al. 2014; Lundmark et al. 2017; Kruys et al. 2013; Simonsson et al. 2015; Tikkanen et al. 2006; Belyazid et al. 2013; Gustafsson et al. 2020). In (Gustafsson et al. 2020) heißt es jedoch, dass mehr als 50 % des Bestandsvolumens nicht abgeerntet werden dürfen, um häufige Waldarten zu erhalten, und dass Retentionsflächen mehr als eine halbe Hektar groß sein müssen (wahrscheinlich sogar größer) um alte Waldartengemeinschaften zu erhalten. In (Kuuluvainen et al. 2019) wird gezeigt, dass die Größe der Retentionsflächen für den Erhalt der Biodiversität relevant ist. Die von (Kuuluvainen et al. 2019) veröffentlichte Fallstudie zu Finnland hat gezeigt, dass die Retentionsflächen im finnischen PEFC-Zertifizierungssystem für eine signifikante positive Auswirkung auf die Biodiversität viel zu niedrig sind. Wie FSC-zertifizierte Flächen, bei denen die Größe doppelt so groß sein muss wie bei PEFC, abschneiden würden, wird in (Kuuluvainen et al. 2019) nicht diskutiert. Es bedarf weiterer Forschung zu Retentionsansätzen und dazu, wie die derzeit angewandten flächenspezifischen Retentionskriterien von FSC oder PEFC die Biodiversität im Vergleich zu konventionellen Kahlschlägen in Nordeuropa erhalten. Es ist zu beachten, dass Retentionsmaßnahmen auch auf nicht zertifizierten Flächen durchgeführt werden können.

(Gustafsson et al. 2020) stellt jedoch fest, dass selbst das Belassen kleiner Stände besser ist als der traditionelle Kahlschlag mit Entfernung aller Bäume. Daher wird für die folgende Biodiversitätsbewertung der Anteil an FSC- und PEFC-zertifizierten Flächen zur Bildung eines Szenarios mit potentiell geringeren Auswirkungen („niedrige“ PDF) auf die Biodiversität verwendet. In diesem Szenario wird der zertifizierte Flächenanteil nicht zum herkömmlichen Kahlschlag, sondern zur Retentionsforstwirtschaft gezählt.

3.3.3 Anwendung des Konzepts des Schädigungspotenzials der Biodiversität

Das Biodiversitätsverlustpotential wird in drei Schritten angewandt: Erstens werden die für die Holzproduktion benötigten Wald- und Plantagenflächen in die Landnutzungsklassen von (Chaudhary and Brooks 2018) eingeteilt; zweitens werden die Flächen entsprechend der in Kapitel 3.2 ermittelten Holzherkunft Bewirtschaftungsintensitäten zugeordnet und Szenarien gebildet; und drittens werden die Ergebnisse berechnet und dargestellt.

1. Einteilung in Landnutzungstypen

Die Klassifizierung der für die Papierherstellung genutzten Waldflächen in die beiden Landnutzungstypen Wirtschaftswald und Forstplantage, die in Kapitel 3.3.1 aufgeführt sind, basiert auf den Definitionen der Landnutzungstypen, die in (Chaudhary et al. 2016) beschrieben sind. Demnach wird Eukalyptusholz den Forstplantagen und die übrigen Nadel- und Laubwälder den bewirtschafteten Wäldern zugeordnet.

2a. Einteilung in Bewirtschaftungsintensitäten: bewirtschaftete Wälder

Im Folgenden wird dargestellt, welche Anteile des Holzes aus den in dieser Studie betrachteten Ländern den drei Intensitätsklassen (intensive, leichte und minimale Forstplantagen- und Wirtschaftswaldnutzung) zugeordnet werden.

Die Nadel- und Laubwälder der nördlichen Hemisphäre können innerhalb des bewirtschafteten Waldes entweder als Kahlschlag oder als selektiv abgeholzte Wälder klassifiziert werden. Da das Reduced Impact Logging (RIL) für tropische Wälder vorgesehen ist, wird diese Klasse für Holz aus Mittel- und Nordeuropa sowie Russland und Nordamerika nicht berücksichtigt (Chaudhary et al. 2016). Retentionsforstwirtschaft in borealen und gemäßigten Regionen als eine Form des Kahlschlags kann nach (Chaudhary et al. 2016) als Waldbewirtschaftung mit leichter Nutzung betrachtet werden.

Im Folgenden wird der Anteil der gerodeten oder selektiv abgeholzten Wälder in den Ländern der nördlichen Hemisphäre abgeleitet.

Eine aktuelle Studie über die abgeholzte Waldfläche in der Europäischen Union wurde von (Ceccherini et al. 2020) im Juli 2020 veröffentlicht. Diese Studie enthält den Anteil des durch Kahlschlag geernteten Holzes in jedem EU-Land. Diese Anteile, die den Schirmschlag und die Entnahme von Kalamitätsholz beinhalten und einen Durchschnitt über mehrere Jahre darstellen, wurden als Grundlage für die vorliegende Biodiversitätsbewertung für die EU-Länder verwendet. Für Deutschland wurde in (Ceccherini et al. 2020) für die Jahre 2000 bis 2015 ein durchschnittlicher Kahlschlaganteil von 34 % des Gesamteinschlags veröffentlicht, was dem Erntevolumen von Kalamitätsholz nach größeren natürlichen Störungen" (Ceccherini et al. 2020) entspricht. Da sich die vorliegende Studie auf die deutsche Papierproduktion bezieht, wurde der Anteil der Ernte aus Kalamitätsholz auf der Grundlage der Holzeinschlagsstatistiken der Jahre 2014 bis 2019 neu berechnet (Destatis 2015; Destatis 2016; Destatis 2017; Destatis 2018; Destatis 2019; Destatis 2020). Der durchschnittliche Anteil des Kahlschlags der Jahre 2014 bis 2019 beträgt 31 % des gesamten Einschlags. Die Kahlschlaganteile für Nicht-EU-Länder basieren auf den folgenden aktuellen Literaturquellen: Kanada basierend auf (NFD 2020) (Durchschnitt der Jahre 2017 und 2018), Norwegen berechnet als Durchschnitt von Finnland und Schweden, Russland basierend auf (Prokopov 2007) (Jahr 2003) und USA basierend auf (USDA 2015; USDA 2016; USDA 2017; USDA 2018; USDA 2019) (Durchschnitt der Jahre 2015 bis 2019).

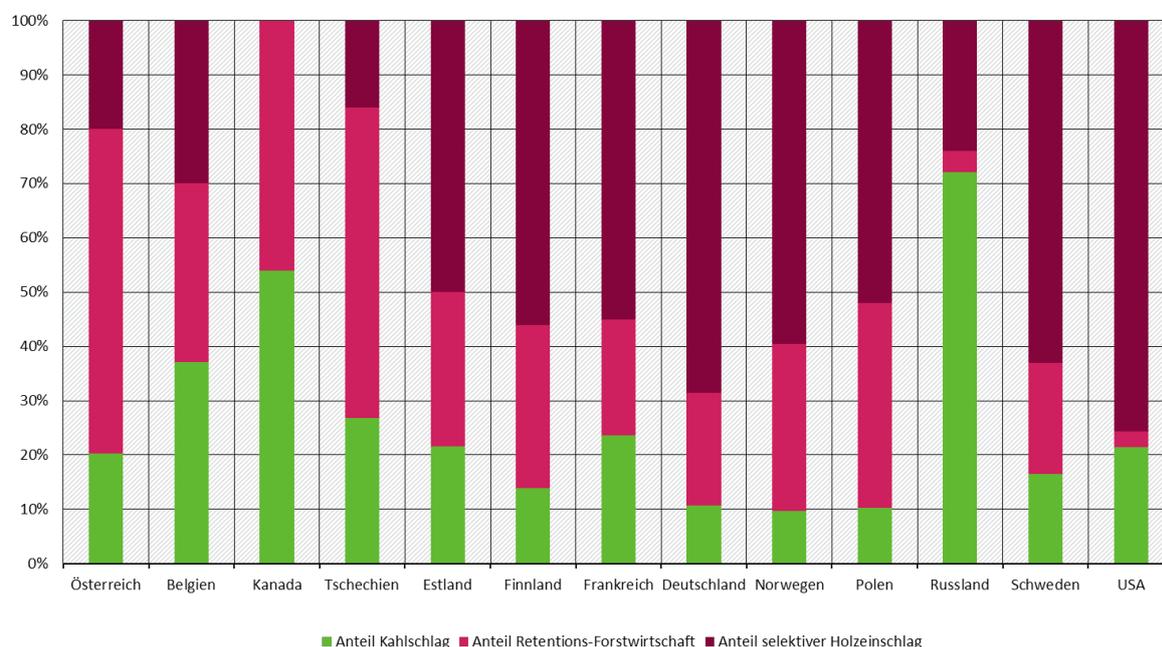
Für die Erhaltung der Biodiversität ist die vollständige Entnahme von Kalamitätsholz ohne Erhalt relevanter struktureller Elemente ebenfalls mit negativen Auswirkungen verbunden (Thorn et al. 2018; Lindenmayer und Noss 2006; Orczewska et al. 2019). (Thorn et al. 2018) kommt zu dem Schluss, dass die Entnahme von Kalamitätsholz sich auf die Artenzahl und die Gemeinschaftszusammensetzung verschiedener Arten auswirkt und mit erheblichen negativen Folgen für z.B. saproxyliche Arten verbunden ist. In (Thorn et al. 2018) wird vorgeschlagen, die Auswirkungen der Kalamitätsholzentnahme auf die Biodiversität zu reduzieren, indem erhebliche Mengen an Totholz vor Ort belassen werden (Thorn et al. 2018). Natürlich ist die Kalamitätsholzentnahme als ungewollte Ernte in Bezug auf die Eingriffsintensität und die Häufigkeit, mit der Durchforstung und Holzeinschlag durchgeführt werden, nicht mit dem

geplanten konventionellen Kahlschlag vergleichbar. Da sich jedoch die Entnahme von Kalamitätsholz ohne Retentionsmaßnahmen negativ auf die Biodiversität auswirkt, wird diese im Folgenden als Kahlschlag behandelt

Die oben dargestellten Zahlen zum Umfang des Kahlschlags (inkl. Kalamitätsholz) gehen nicht auf die Frage ein, ob Retentionsforstwirtschaft praktiziert wird. Aufgrund fehlender Informationen über die tatsächliche Waldbewirtschaftung in den jeweiligen Ländern wird der Anteil der zertifizierten Waldfläche als Retentionsforstwirtschaft eingestuft und somit als selektiv abgeholzter Wald behandelt. Die folgende Abbildung 37 zeigt den Anteil von Kahlschlag, Retentionsforstwirtschaft und selektivem Holzeinschlag, der für die vorliegende Bewertung der Biodiversität verwendet wird.

Aufgrund der Unsicherheiten bezüglich des tatsächlichen Anteils der Retentionsforstwirtschaft sowie der oben beschriebene Effektivität der Retentionsforstwirtschaft auf die Erhaltung der Biodiversität (siehe Kapitel 3.3.2) wurden zwei Szenarien berechnet: eines, in dem die Retentionsforstwirtschaft als selektiver Holzeinschlag eingestuft wird ("niedriges"-PDF-Szenario) und eines, in dem die Retentionsforstwirtschaft als Kahlschlag eingestuft wird ("hohes"-PDF-Szenario).

Abbildung 377: Anteil des Kahlschlags, der Retentionsforstwirtschaft und des selektiven Holzeinschlags für die Herkunftsländer, die der deutschen Papierproduktion zugerechnet werden



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu, basierend auf (Ceccherini et al. 2020) für Österreich, Tschechische Republik, Estland, Finnland, Frankreich, Polen und Schweden, (Destatis 2015; Destatis 2016; Destatis 2017; Destatis 2018; Destatis 2019; Destatis 2020) für Deutschland, (NFD 2020) für Kanada, Durchschnitt von Finnland und Schweden für Norwegen, (Prokopov 2007) für Russland und (USDA 2015; USDA 2016; USDA 2017; USDA 2018; USDA 2019) für USA)

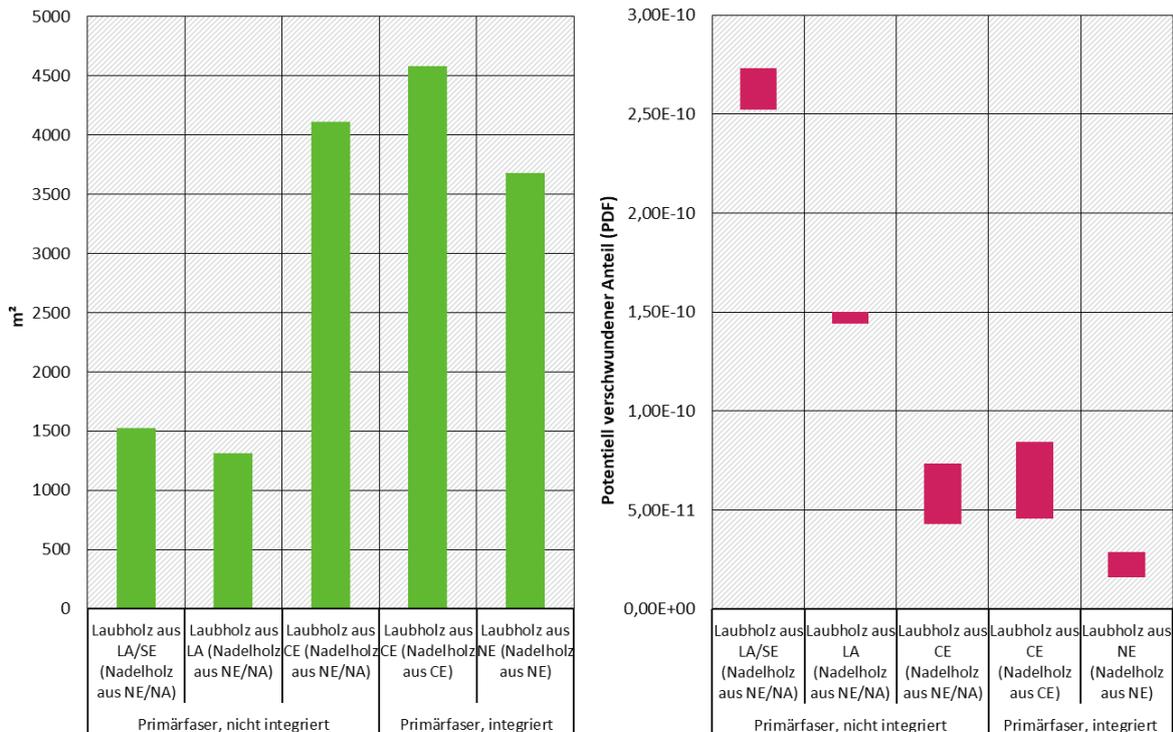
2b. Einteilung in Bewirtschaftungsintensitäten: Forstplantagen

Nach den Definitionen von (Chaudhary and Brooks 2018) wird Eukalyptusholz aus Südeuropa und Südamerika in die Unterkategorie Forstplantagen mit intensiver Nutzung eingestuft. Um zu untersuchen, wie sich eine weniger intensive Plantagenbewirtschaftung auf die Ergebnisse auswirken würde, werden auch hier zwei Szenarien erstellt. Das Szenario PDF "hoch" basiert auf der erwähnten Annahme, dass alle Plantagen als intensiv genutzt eingestuft werden. Für das "niedriges"-PDF-Szenario werden die Plantagen als eine Stufe weniger intensiv eingestuft.

3. Berechnung und Darstellung der Ergebnisse der Biodiversitätsbewertung

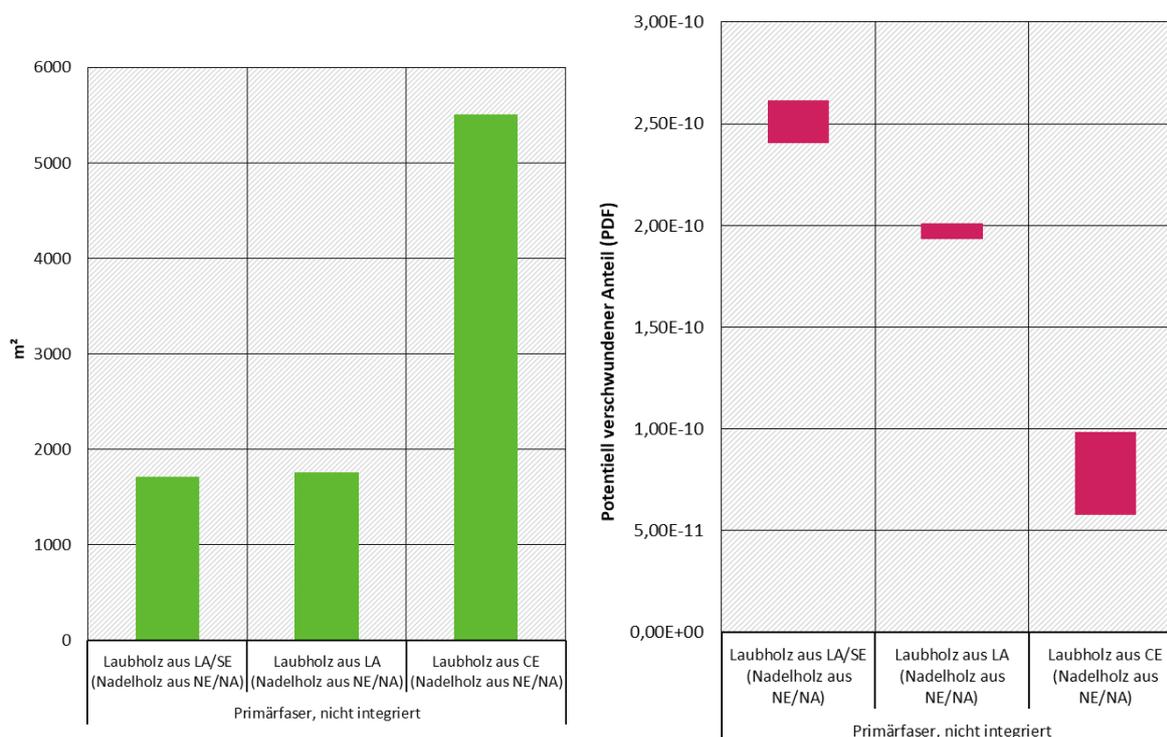
Das Schadenspotenzial der Papierprodukte für die Biodiversität ergibt sich aus der Multiplikation der in der Ökobilanz quantifizierten Waldflächen (Grafiken links in Abbildung 388 und 399) mit den für jedes Land angegebenen Charakterisierungsfaktoren nach (Chaudhary and Brooks 2018). Für die Wälder der nördlichen Hemisphäre wird der Waldflächenbedarf zunächst in intensiv genutzte und weniger intensiv genutzte Bewirtschaftung unterteilt und dann mit den jeweiligen Charakterisierungsfaktoren multipliziert. Die Szenarien "hohe"- und "niedrige"-PDF unterscheiden sich darin, ob die Retentionsforstwirtschaft dem Kahlschlag oder dem selektiven Holzeinschlag zugeordnet wird. Für Eukalyptusholz wird die Gesamtfläche entweder mit dem Charakterisierungsfaktor der intensiven Nutzung ("hohes"-PDF-Szenario) oder der leichten Nutzung ("niedriges"-PDF-Szenario) multipliziert. Abbildung 388 und 399 veranschaulichen die Ergebnisse des Waldflächenbedarfs zusammen mit dem Biodiversitätsverlustpotenzial nach (Chaudhary and Brooks 2018) für 1000 kg Büro- und Hygienepapier. Die Schwebebalken (Diagramme auf der rechten Seite in Abbildung 388 und Abbildung 399) zeigen die Bandbreite der Ergebnisse für das PDF für das definierte "niedrige"- und "hohe"-PDF-Szenario und damit den Einfluss von Annahmen über die gewählten Bewirtschaftungsintensitäten. Der untere Rand des Balkens zeigt die PDF-Ergebnisse für das "niedrige"-PDF-Szenario und der obere Rand für das "hohe"-PDF-Szenario für die einzelnen Szenarien der Holzherkünfte, wie in Kapitel 3.2 beschrieben.

Abbildung 38: Gesamtwaldfläche (links) und potenziell verschwundener Anteil (rechts), dargestellt als Bandbreite für die Varianten des "niedrigen" und "hohen" PDF-Szenarios, 1000 kg Büropapier (LA = Lateinamerika, SE = Südeuropa, NE = Nordeuropa, NA = Nordamerika, CE = Mitteleuropa)



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 399: Gesamtwaldfläche (links) und potenziell verschwundener Anteil (rechts), dargestellt als Spanne für die Varianten des "niedrigen" und "hohen"-PDF-Szenarios, 1000 kg Hygienepapier (LA = Lateinamerika, SE = Südeuropa, NE = Nordeuropa, NA = Nordamerika, CE = Mitteleuropa)



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Landnutzung auf Inventarebene (Gesamtwaldfläche, Grafiken links in Abbildung 388 und 399) zeigt für die eukalyptusbasierten Varianten (Laubholz aus LA/SE oder LA) geringere Ergebnisse als für die Szenarien, bei denen das Laubholz aus Mittel- oder Nordeuropa stammt. Wird jedoch das Biodiversitätsverlustpotential berücksichtigt, (Diagramme auf der rechten Seite in Abbildung 388 und 399), kehrt sich dieses Ergebnis um. Die Verwendung von Eukalyptusholz führt zu einem potenziell höheren Biodiversitätsverlust als die Verwendung von Laubholz aus Mittel- oder Nordeuropa. Insbesondere führt die Gewinnung von europäischem Eukalyptusholz zu einem höheren Biodiversitätsverlustpotential als die Verwendung von Eukalyptusholz aus Südamerika. Dies lässt sich zum einen durch die höheren Charakterisierungsfaktoren der portugiesischen Forstplantagen (Biodiversitätsverlustpotential pro Fläche) aufgrund des höheren Potenzials für das Verschwinden endemischer Arten der Ökoregion "Madeira Evergreen Forest" erklären. Zum anderen erfordert der Anbau von Eukalyptusholz in Portugal und Spanien aufgrund einer geringeren Wachstumsrate im Vergleich zu Südamerika mehr Waldfläche pro geerntetem Kubikmeter Eukalyptus.

Es ist zu beachten, dass die Annahme, dass Kalamitätsholzentnahme die gleiche Wirkung wie ein geplanter konventioneller Kahlschlag hat, zu einer potentiellen Überschätzung der Auswirkungen führt. Die ungeplante Nutzung von Kalamitätsholz ist wahrscheinlich mit einer geringeren Bewirtschaftungsintensität verbunden als ein geplanter konventioneller Kahlschlag.

3.3.4 Diskussion der Ergebnisse des Schadenspotenzials für die Biodiversität

Die Bandbreite der Ergebnisse zeigt, dass die verschiedenen Bewirtschaftungsformen der Forstplantagen in Lateinamerika das Ergebnis nur geringfügig verbessern. Im Verhältnis zum Gesamtergebnis haben sie relativ wenig Einfluss auf die potenzielle Schädigung der Biodiversität

im Zusammenhang mit der Produktion von Eukalyptusholz. Es ist zu beachten, dass eine Plantage nur dann als "leicht genutzt" eingestuft werden kann, wenn in den letzten 20 Jahren kein Kahlschlag stattgefunden hat. Und selbst dann ist das Potenzial für einen Verlust an Biodiversität höher als in den Szenarien, in denen das Laubholz aus bewirtschafteten Wäldern in Mittel- und Nordeuropa stammt.

In bewirtschafteten Wäldern der nördlichen Hemisphäre hat die Intensität der Forstwirtschaft einen starken Einfluss auf die Ergebnisse. Der Vergleich der potenziellen Biodiversitätsschäden bei der Papierherstellung mit Holz aus mitteleuropäischen und nordeuropäischen Wäldern ist daher stark vom Anteil der hochintensiven Waldnutzung abhängig. Da der Anteil der Retentionsforstwirtschaft am Kahlschlag und die Effektivität der tatsächlich durchgeführten Retentionsforstwirtschaft für den Erhalt der Biodiversität für die europäischen Länder nicht bekannt ist, können die Ergebnisse sowohl für die mitteleuropäischen als auch für die nordeuropäischen Länder über- oder unterschätzt sein. Auch wenn die Charakterisierungsfaktoren für Deutschland und Frankreich ein deutlich höheres Biodiversitätsverlustpotential durch intensive Forstwirtschaft als für die nordeuropäischen Länder zeigen, haben die Unsicherheiten bei der Einstufung in die Waldbewirtschaftungstypen eine größere Auswirkung als der Länderunterschied in den Charakterisierungsfaktoren. Darüber hinaus stammt die gesamte Kahlschlagfläche in Deutschland aus Kalamitätsholzentnahmen, das ein geringeres Schadenspotenzial für die Biodiversität haben kann als geplanter Kahlschlag, so dass die Ergebnisse für Papier mit Holzherkünften aus Mitteleuropa möglicherweise überschätzt sind. Daher kann an dieser Stelle keine vergleichenden Aussagen zur Wahl der Holzherkunft aus Mittel- oder Nordeuropa getroffen werden.

Zusammenfassung: Bewertung der Biodiversität

Generell stellt jede Holzentnahme für Primärfasern einen Eingriff in das Waldökosystem dar und birgt daher ein gewisses Schadenspotenzial für die Biodiversität der Wälder. Die Verwendung von Recyclingfasern hingegen würde die potentiellen Auswirkungen auf die Biodiversität der Wälder verringern.

Im Falle der Holzgewinnung für die Frischfaserproduktion zeigt die Analyse der Flächen nach der von (Chaudhary and Brooks 2018) vorgeschlagenen Methode, dass trotz der Tatsache, dass mehr Waldfläche für die gleiche Menge an Papier benötigt wird (Grafiken links in Abbildung 38 und Abbildung 39), die Papierproduktion aus Nadel- und Laubholz aus Mittel- oder Nordeuropa, das für die Herstellung von Frischfaserpapier verwendet wird, ein geringeres Schädigungspotenzial für die Biodiversität besitzt (Diagramme auf der rechten Seite in Abbildung 38 und Abbildung 39), als die Papierherstellung aus Eukalyptusholz. Darüber hinaus zeigt sich, dass die Holzentnahme für die Papierherstellung aus Forstplantagen in Portugal potenziell zu höheren Schäden an der Biodiversität führt als die Holzentnahme aus Südamerika. Im Rahmen der europäischen Waldbewirtschaftung ist es wichtig, konventionelle Kahlschläge zu vermeiden und eine weniger intensive Forstwirtschaft zu betreiben.

3.4 Änderung der Landnutzung

Auf Basis der vorliegenden Studien (FAO und UNEP 2020; Keenan et al. 2015) lässt sich für die Holzherkünfte der deutschen Papierproduktion ein potenzielles Risiko hinsichtlich der Landnutzungsänderung von Primärwald zu Wirtschaftswald oder Forstplantagen ableiten.

Im Folgenden werden die Risiken einer Landnutzungsänderung von Primärwaldflächen zu Wirtschaftswäldern oder Forstplantagen je Region der Herkunftsländer untersucht. Für die Zwecke dieser Studie wird der Begriff "Primärwald" für Wälder verwendet, die eine hohe Naturnähe aufweisen und daher, Urwälder, Altwälder, intakte oder lange unberührte Wälder umfassen, wie in (Sabatini et al. 2018) und in Übereinstimmung mit (FAO 2015). Primärwälder mit einer Ausdehnung von mehr als 500 km², die "groß genug sind, dass die gesamte einheimische Biodiversität, einschließlich lebensfähiger Populationen weit verbreiteter Arten, erhalten werden kann" (Potapov et al. 2008), wurden weltweit nach dem Ansatz der intakten Waldlandschaften (IFL) kartiert. In der vorliegenden Studie werden alle Primärwälder unabhängig von ihrer Ausdehnung berücksichtigt.

Zuvor soll auch gezeigt werden, ob ein Zertifizierungssystem für nachhaltige Forstwirtschaft dazu beitragen kann, das Risiko von Landnutzungsänderungen zu minimieren.

3.4.1 Berücksichtigung von Landnutzungsänderungen in Zertifizierungssystemen für nachhaltige Wälder

► Forstplantagen

Das FSC-Zertifizierungssystem für nachhaltige Waldbewirtschaftung sieht Einschränkungen für die Umwandlung von Primärwäldern in Forstplantagen vor (FSC 2018a). Es heißt: "Bewirtschaftungseinheiten mit Plantagen, die auf Flächen errichtet wurden, die nach November 1994 aus Naturwald umgewandelt wurden, kommen für eine Zertifizierung nicht infrage, es sei denn: a) es wird eindeutig und ausreichend nachgewiesen, dass die Organisation nicht direkt oder indirekt für die Umwandlung verantwortlich war, oder b) die Umwandlung betraf einen sehr begrenzten Teil der Fläche der Bewirtschaftungseinheit und bringt einen eindeutigen, wesentlichen, zusätzlichen und langfristig gesicherten Erhaltungsnutzen in der Bewirtschaftungseinheit". Die Grenze für den sehr begrenzten Anteil ist auf 5 % der Bewirtschaftungseinheit festgelegt. Dies bedeutet, dass Holz aus FSC-zertifizierten Wäldern oder Forstplantagen zu mindestens 95 % eine beabsichtigte Umwandlung von Primärwald in Forstplantagen nach 1994 ausschließt. Forstplantagen werden unter anderem definiert als Waldflächen, "die durch Anpflanzung oder Aussaat unter Verwendung entweder gebietsfremder oder einheimischer Arten, oft mit einer oder wenigen Arten, regelmäßigen Abständen und gleichmäßigem Alter angelegt werden und denen die meisten der Hauptmerkmale und Schlüsselemente von Naturwäldern fehlen" (FSC 2018a). Ob ein bewirtschafteter borealer Wald als Plantage eingestuft wird oder nicht, hängt von den nationalen FSC-Richtlinien ab. Es ist auch anzumerken, dass ein Richtlinienentwurf (FSC-POL-01-007) zu Konversionsaspekten von einer ausgewogenen Arbeitsgruppe von 2017 bis 2020 erarbeitet wurde. Der dritte und vierte Entwurf zur Überarbeitung dieser Richtlinie wurde im September 2020 und April 2021 veröffentlicht (FSC 2020; FSC 2021). Nach den vorliegenden Vorschlägen kommt eine Fläche, die nach November 1994 und vor dem Inkrafttreten der Richtlinie umgewandelt wurde, für eine FSC-Zertifizierung der Waldbewirtschaftung infrage, wenn die Umwandlung mehr als fünf Jahre zurückliegt und eine definierte Abhilfemaßnahme durchgeführt wird.

Bewirtschaftungseinheiten, die Naturwaldflächen enthalten, die nach dem Datum des Inkrafttretens dieser Richtlinie umgewandelt wurden, kommen für eine FSC-Zertifizierung nicht infrage (FSC 2021). Je nachdem, wie die Umwandlungspolitik geändert wird, kann sich das Risiko einer Landnutzungsänderung für FSC-Flächen erhöhen.

Der PEFC-Standard hingegen unterstützt nur nationale Standards, die die Waldumwandlung regeln, und "verbietet nicht die Umwandlung von Naturwald in Plantagen, sondern schreibt vor, dass die Umwandlung nur unter "gerechtfertigten Umständen" erfolgen sollte" (FAO 2018).

Darüber hinaus sind "Forstplantagen aus der Zeit vor 2011 für das [PEFC]-System zugelassen, unabhängig davon, ob sie diese Anforderungen erfüllen oder nicht" (FAO 2018).

► Bewirtschaftete Wälder

Neben der Umwandlung von Wald in Plantagen oder Nicht-Waldflächen hat das FSC-Zertifikat seit 2014 das Konzept der intakten Waldlandschaft in das Prinzip 9 "hohe Schutzwerte" im sogenannten Antrag 65 aufgenommen. Die neue Verordnung verlangt von den Waldbewirtschaftern, 80 % der IFL innerhalb ihrer Bewirtschaftungseinheit zu schützen, wenn nationale Standards vorhanden sind. Standardentwickler können im Rahmen von Prozessen einen anderen Schwellenwert als 80 % entwickeln (FSC 2018a). Der russische Standard schlägt beispielsweise für bereits zertifizierte Flächen einen stufenweisen Ansatz von 80 %, 50 % und 30 % vor, bei dem am Ende nur 30 % der IFL-Fläche unbewirtschaftet bleiben. "Die Möglichkeit der Zonierung von IFL und der Ausweisung von IFL-Teilen, in denen Bewirtschaftungsmaßnahmen zulässig sind, besteht jedoch nur bis zum 01. Januar 2022. Nach diesem Datum werden neu zertifizierte IFL vollständig von Bewirtschaftungsaktivitäten ausgeschlossen (d.h. für 100% der Fläche wird "strenger Schutz" festgelegt)" (FSC 2020c). Ein weiteres Beispiel ist der nationale Standard für die Republik Kongo, der Bewirtschaftungsaktivitäten auf 50 % der IFL-Flächen zulässt (FSC 2020c). Die Behauptung, 80 % der IFL-Flächen nicht zu nutzen, führt jedoch zu der Diskussion, ob sich Unternehmen in Zukunft zu einer FSC-Zertifizierung verpflichten werden und wenn nicht, ob IFL-Flächen von Unternehmen ohne jeglichen Schutz von IFL-Flächen abgeholzt werden (Kleinschroth et al. 2019).

Der PEFC-Standard für die Waldbewirtschaftung verlangt lediglich, "ökologisch wichtige Waldgebiete zu identifizieren, zu schützen, zu erhalten oder stillzulegen". Allerdings heißt es: "Dies verbietet keine Waldbewirtschaftungsmaßnahmen, die die wichtigen ökologischen Werte dieser Biotope nicht beeinträchtigen" (PEFC 2015).

Die FSC-Zertifikate sind ein ausreichender Indikator, um das Risiko einer Landnutzungsänderung von Primärwäldern zu Wirtschaftswäldern und Plantagenwäldern bis zu einem gewissen Grad zu verringern, je nachdem, wie die IFL-Politik in den nationalen Standards umgesetzt wird.

PEFC-Zertifikate können nicht verwendet werden, um das Risiko einer Landnutzungsänderung von Primärwald in Wirtschaftswald oder in Plantagenwälder zu verringern.

3.4.2 Risiko der Landnutzungsänderung je Herkunftsregion des Holzes

► Mittel-/Südeuropa: Österreich, Belgien, Frankreich, Deutschland, Polen, Tschechische Republik, Portugal, Spanien

Primärwälder sind in Mittel- und Südeuropa durch jahrhundertelange Abholzung und Forstwirtschaft fast vollständig verschwunden. Die Fläche des Primärwaldes bzw. des vom Menschen ungestörten Waldes in den für die deutsche Papierproduktion relevanten Ländern Mittel- und Südeuropas beträgt weniger als 100.000 ha (Sabatini et al. 2018 und Forest Europe 2020). Europäische Länder mit Primärwaldflächen über 50.000 ha wären Finnland, Norwegen, Ukraine, Bulgarien und Rumänien (Sabatini et al. 2018). Wie in (FAO und UNEP 2020) und in Anlehnung an OECD (2019) dargestellt, gibt es in Süd- und Mitteleuropa kaum noch intakte Waldlandschaften.

In Deutschland beträgt die unbewirtschaftete Waldfläche nur 2,8 % der Waldfläche (Stand 2019) (BMU 2020) und die Primärwaldfläche 59.300 ha (Sabatini et al. 2018), was 0,05 % der deutschen Waldfläche entspricht.

Nach (Sabatini et al. 2018) ist der Großteil des Primärwaldes in den für die Holzversorgung der Papierproduktion relevanten Ländern Mittel- und Südeuropas geschützt, aber nur in Spanien (92 %), Portugal (25 %), Österreich (11 %) und der Tschechischen Republik (7 %) stehen Primärwälder unter strengem Schutz (Kategorie I der International Union for Conservation of Nature (IUCN)) (Sabatini et al. 2018). Darüber hinaus dokumentiert (Keenan et al. 2015) für die hier betrachteten Länder eine geringe Netto-Waldflächenzunahme für die Jahre 2005 bis 2015.

Dementsprechend ist das Risiko einer Landnutzungsänderung von unbewirtschafteten Waldflächen zu bewirtschafteten Waldflächen in Süd- und Mitteleuropa relativ gering.

Da es in den untersuchten Ländern Mittel- und Südeuropas keine IFL-Gebiete gibt, wird der Schutz von Primärwaldflächen nicht direkt von den FSC-Standards abgedeckt.

► Nordeuropa: Finnland, Schweden, Estland, Norwegen

Die nordeuropäischen borealen Wälder Skandinaviens und die Wälder der baltischen Staaten verfügen noch über relativ große intakte Waldflächen (OECD 2019).

In Nordeuropa wurden von (Sabatini et al. 2018) 1,1 Millionen Hektar Primärwälder und von (Forest Europe 2020) 2,8 Millionen Hektar "vom Menschen ungestörte" Wälder kartiert. Der Unterschied zwischen den kartierten Flächen der Primärwälder in (Sabatini et al. 2018) und der geschätzten ungestörten Fläche in (Forest Europe 2020) könnte auf die sehr begrenzten räumlichen Datensätze zurückzuführen sein, die für Schweden und die Karpaten in (Sabatini et al. 2018)⁵ abgeleitet werden konnten. (OECD 2019) gibt für Schweden, Finnland und Norwegen 2,29 Millionen Hektar IFL an, davon 50 % in Schweden und 42 % in Finnland.

In Estland, Finnland und Schweden sind mehr als 95 % dieser Primärwälder geschützt, z. B. in Nationalparks (IUCN-Kategorie II). Nur in Finnland stehen 55 % der Primärwälder unter strengem Schutz (IUCN-Kategorie I). In Norwegen hingegen stehen laut (Sabatini et al. 2018) nur 6 % der Primärwälder unter einem Schutzregime (IUCN-Kategorie II). (Keenan et al. 2015) zeigen, dass die natürliche Waldfläche in Estland und Norwegen leicht zurückgegangen ist und die intensiv bewirtschaftete Waldfläche in Norwegen zugenommen hat. In Schweden hat die natürliche Waldfläche stark ab- und die gepflanzte Waldfläche zugenommen. Inwieweit es sich dabei um Primärwälder handelt, lässt sich aufgrund einer Änderung der Klassifizierung zwischen den FAO-Statistiken für einzelne Jahre nicht sagen (Keenan et al. 2015). In Finnland ist die natürliche Waldfläche in den letzten 15 Jahren mehr oder weniger stabil geblieben, während die intensiv bewirtschaftete Fläche zugenommen hat, was zu einem Anstieg der Gesamtwaldfläche geführt hat. Die Statistiken von (Forest Europe 2020) oder der OECD (2019) zeigen, dass die Gesamtwaldfläche oder die IFL-Fläche in Nordeuropa in den letzten zwei Jahrzehnten mehr oder weniger stabil geblieben ist.

Aufgrund der im Vergleich zu den untersuchten mittel- und südeuropäischen Ländern viel größeren Fläche an verbleibenden Primärwäldern ist das Risiko der Umwandlung von Primärwaldflächen in Wirtschaftswaldflächen in Nordeuropa höher als in Mitteleuropa. Holz aus

⁵ Die für Schweden kartierte Primärwaldfläche (0,03 Millionen Hektar in Sabatini et al. 2018) liegt weit unter der aktuellen, in (Forest Europe 2020) veröffentlichten Schätzung (2,3 Millionen Hektar).

den baltischen Staaten oder Schweden hat das Potenzial, weniger intensiv genutzte Wälder in intensiver genutzte Wälder umzuwandeln.

Der nationale FSC-Standard für Schweden enthält Regelungen zur Waldbewirtschaftung oberhalb der Naturschutzgrenze in Schweden und in IFL. "Diese Wälder sind von allen Bewirtschaftungsaktivitäten ausgenommen, mit Ausnahme derjenigen, die der Förderung der natürlichen Biodiversität dienen." (FSC 2020b). Primärwälder, die nicht durch das ILF-Rahmenwerk kartiert sind, werden von dieser FSC-Verordnung jedoch nicht angesprochen. Die IFL-Politik wurde im nationalen FSC-Standard Finnlands (FSC 2010) nicht umgesetzt, daher gilt der internationale generische FSC-Indikator zum Schutz von 80 % der IFL innerhalb der Managementeinheit. Für Norwegen gibt es keinen nationalen FSC-Standard.

► Nordamerika: Kanada, USA

Kanada und die USA verfügen zusammen über 29 % der intakten Waldlandschaften der Welt, mit 286 Millionen Hektar in Kanada und 49 Millionen Hektar in den USA (OECD 2019). Laut (Keenan et al. 2015) verzeichneten die USA von 2010 bis 2015 eine Nettozunahme der Waldfläche von 275 Hektar pro Jahr. Kanada hingegen verzeichnet einen Verlust an natürlichen Wäldern von 408.000 ha pro Jahr zugunsten einer stark intensivierten Forstwirtschaft. Die OECD (2019) zeigt, dass zwischen 2013 und 2016 in Kanada 3,6 Millionen Hektar und in den USA 0,6 Millionen Hektar intakter Waldflächen verloren gingen.

Aufgrund der großen Fläche der verbleibenden Primärwälder und des immer noch bestehenden Rückgangs der intakten Waldfläche besteht das potenzielle Risiko, dass Primärwaldflächen in Wirtschaftswaldflächen umgewandelt werden, selbst wenn die Nettowaldfläche in den USA zunimmt.

Die IFL-Politik wurde in den nationalen FSC-Standards von Kanada und den USA nicht umgesetzt (FSC 2018b; FSC 2018c), daher gilt der internationale generische FSC-Indikator zum Schutz von 80 % der IFL innerhalb der Bewirtschaftungseinheit.

► Russland

Auf Russland entfallen 21 % der intakten Waldfläche der Welt (OECD 2019). Die Flächenumwandlung von Naturwald in andere Landnutzungen beträgt etwa 87 000 ha pro Jahr (Keenan et al. 2015). Von 2013 bis 2016 gingen jedoch 9,5 Millionen Hektar intakter Waldlandschaftsfläche verloren (OECD 2019). In Russland ist also ein Verlust von Primärwäldern zugunsten einer stark intensivierten Forstwirtschaft zu verzeichnen.

Bei einem gegebenen Nadelholzanteil im Papier von 20 % aus Nordeuropa werden weniger als 2 % des Holzes aus Russland bezogen. Das aus Russland stammende Holz könnte jedoch mit der Umwandlung von Primärwäldern in bewirtschaftete Wälder zusammenhängen.

Die IFL-Politik wurde in die nationalen FSC-Standards Russlands für 2020 (FSC 2020c) aufgenommen. Für bereits zertifizierte Flächen wird ein schrittweiser Ansatz von 80 %, 50 % und 30 % angewandt, bei dem am Ende nur noch 30 % der IFL-Fläche unbewirtschaftet sind. "Alle neu zertifizierten IFL (nach dem 01. Januar 2022) "werden vollständig von der Bewirtschaftung ausgeschlossen" (FSC 2020c).

► Südamerika: Brasilien, Uruguay und Chile

Die Ergebnisse von (FAO und UNEP 2020) zeigen, dass die größte Flächenumwandlung von intakten Wäldern in Südamerika stattfindet. Brasilien hat mit 229 Millionen Hektar 20 % der intakten Waldlandschaften der Welt, Chile hat 13 Millionen Hektar, während Uruguay laut (OECD 2019) keine intakten Waldlandschaften hat. Nach (Keenan et al. 2015) haben in Uruguay und Chile sowohl die Naturwaldfläche (22.800 Hektar pro Jahr) als auch die Plantagenfläche (300.800 Hektar pro Jahr) in den Jahren 2010 bis 2015 zugenommen. OECD (2019) zeigt, dass die intakte Waldfläche in Chile mehr oder weniger stabil geblieben ist, während in Brasilien von 2013 bis 2016 4,2 Millionen Hektar intakter Waldfläche verloren gingen. Dem steht ein jährlicher Zuwachs von 152.600 Hektar an Forstplantagen gegenüber, was einen jährlichen Netto-Waldflächenverlust von fast einer Million Hektar bedeutet (Keenan et al. 2015). In (Câmara et al. 2015) wird das Modell GLOBIOM-Brazil (Global Biosphere Management Model) verwendet, um die Landnutzungsänderung in Brasilien von 2020 bis 2050 zu projizieren. Die Ergebnisse zeigen, dass mit der Umsetzung des brasilianischen Forstgesetzes im Jahr 2012 die Waldanpflanzungen von 7,65 Millionen Hektar im Jahr 2010 auf 16 Millionen Hektar im Jahr 2050 ansteigen würden. Die Modellierung zeigt jedoch auch, dass bis 2050 noch 11 % der Primärwälder außerhalb von Schutzgebieten abgeholzt werden. In (Pendrill und Persson 2017) werden verschiedene globale und regionale Geodatenätze zur Landbedeckung analysiert, um die Landbedeckung von zuvor entwaldeten Gebieten in Lateinamerika nach dem Verlust zu ermitteln. Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass ein Drittel der nach dem Verlust der Wälder genutzten Fläche für forstwirtschaftliche Zwecke genutzt wird. Den Autoren zufolge ist dies jedoch größtenteils auf die Schwierigkeiten bei der Kombination globaler Datensätze zurückzuführen. Die derzeit veröffentlichten Studien geben keine Auskunft darüber, wie viel des brasilianischen Regenwaldes in Forstplantagen oder Wirtschaftswald umgewandelt wird. Dass jedoch eine Landnutzungsänderung von Naturwäldern zu Forstplantagen stattfindet, geht aus einer Aussage zur Berechnung des Kohlenstoffverlustes in (Câmara et al. 2015) hervor.

Es besteht daher ein realistisches Risiko, dass der Primärwald für brasilianische Holzplantagen umgewandelt wird.

Laut (Neeff und Linhares-Juvenal 2017) verbietet das Plantagen-Zertifizierungssystem FSC die Umwandlung von Primärwäldern in Brasilien. Basierend auf diesem Bericht und den oben erwähnten PEFC-Regeln kann die PEFC-Zertifizierung nicht verwendet werden, um das Risiko der Umwandlung von Primärwäldern auszuschließen.

3.4.3 Diskussion über das Risiko von Landnutzungsänderungen

Die Analyse zeigt, dass es fast unmöglich ist, zu garantieren, dass Holz aus einer bestimmten Region, in der es noch Primärwald gibt, nicht aus Gebieten stammt, die in den letzten Jahren von Primärwald in bewirtschafteten Wald oder Forstplantagen umgewandelt wurden. Es kann jedoch der Schluss gezogen werden, dass das Risiko der Umwandlung von Primärwäldern in Mittel- und Südeuropa relativ gering ist, da es kaum Primärwälder gibt und einige Länder eine strenge nationale Schutzpolitik für Primärwälder verfolgen.

Aufgrund der noch vorhandenen größeren Primärwaldflächen in den skandinavischen Ländern, den baltischen Staaten, Russland, den USA und Kanada ist das Risiko der Umwandlung von Primärwaldflächen in Wirtschaftswaldflächen im Vergleich zu Mitteleuropa höher. Insbesondere in Kanada und Russland wird das Risiko der Umwandlung von Primärwäldern als nicht vernachlässigbar angesehen.

Auch bei Holz aus Brasilien besteht ein hohes Risiko, dass es von Flächen stammt, die aus Primärwäldern umgewandelt wurden. Selbst wenn die Nettowaldfläche in Uruguay und Chile zunimmt und die IFL-Flächen in Chile stabil bleiben, besteht immer noch das Risiko einer Umwandlung von Wald in Forstplantagen.

Zusammenfassung: Landnutzungsänderung

In allen in dieser Studie untersuchten Regionen besteht ein potenzielles Risiko der Landumwandlung aufgrund der Lieferung von Holz für die Zellstoff- und Papierproduktion, außer in Mittel- und Südeuropa, wo das Risiko aufgrund der fast nicht vorhandenen intakten Waldlandschaften sehr gering ist. Der beste Weg, das Risiko einer weiteren Flächenumwandlung so weit wie möglich zu vermeiden, ist bisher

Priorität A: Verwendung recycelter Fasern

Priorität B: Lieferung von Holz aus Ländern ohne relevante Primärwaldfläche (Mittel- und Südeuropa)

- aus zertifizierten Plantagen auf der Grundlage der Zertifizierungssysteme FSC

- aus Ländern wie Schweden mit nationalen FSC-Standards, in denen zumindest nicht alle Primärwälder, aber alle IFL-Gebiete geschützt sind

- im Allgemeinen aus FSC-zertifizierten Wäldern, in denen zumindest ein bestimmter Anteil der IFL-Fläche geschützt ist.

3.5 Kohlenstoffspeicherung in Wäldern

Wälder sind eine der wichtigsten Kohlenstoffsinken der Welt. Zwischen 1990 und 2015 ist der Kohlenstoffbestand der Wälder um 13,6 Milliarden Tonnen zurückgegangen (Köhl et al. 2015). Der Rückgang des Kohlenstoffs ist hauptsächlich auf die Abnahme der Waldflächen in Südamerika und West- und Zentralafrika zurückzuführen. In diesen Regionen ist der Kohlenstoffbestand pro Fläche höher als in anderen Regionen der Welt, sodass der Verlust von Waldflächen hier größere Auswirkungen hat als in anderen Regionen (Köhl et al. 2015).

Die größten Kohlenstoffverluste entstehen durch die Umwandlung von Waldsystemen in andere Formen der Landnutzung. Um dies zu berücksichtigen, wurden Landnutzungsänderungen in die Berechnung der nationalen Treibhausgasinventare einbezogen. Die bestehenden Berechnungsregeln (IPCC 1996; RL 2009/28/EG (Europäische Kommission 2018); PAS2050-1 2012) beziehen nur Landnutzungsänderungen aus und in Waldsysteme ein. Eine Landnutzungsänderung zwischen verschiedenen Waldsystemen wie Primärwald, Forstplantagen oder zwischen unterschiedlich intensiv bewirtschafteten Wirtschaftswäldern wird nicht berücksichtigt.

Daher können etablierte Berechnungsregeln und Inventare nicht verwendet werden, um die Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsmethoden auf die Kohlenstoffbilanz der Wälder und die langfristige Kohlenstoffspeicherung in verschiedenen Regionen zu bewerten.

Dies zeigte sich auch in der Studie von (Harris et al. 2015), einer Meta-Analyse mit dem Ziel, die Auswirkungen von Landnutzungsänderungen für Bioenergiequellen zu quantifizieren. Diese Studie zeigte, dass die Studienlage unzureichend ist, um Veränderungen des Bodenkohlenstoffgehalts und der Treibhausgasemissionen aufgrund von

Landnutzungsänderungen durch Kurzumtriebsplantagen zu berechnen⁶. Die Fallstudie von (Juntheikki 2014) schätzt das Kohlenstoffbindungspotenzial in Eukalyptusplantagen in Uruguay. Die Berechnungen von (Câmara et al. 2015) beinhalten jedoch einen Kohlenstoffverlust für die Landnutzungsänderung von Naturwald zu Forstplantagen.

Für Wälder in der nördlichen Hemisphäre analysierten (Jandl et al. 2007), welche Formen der Waldbewirtschaftung einen positiven oder negativen Einfluss auf die Kohlenstoffspeicherung in Wäldern haben. Aus dieser Studie geht hervor, dass die Verlängerung der Umtriebszeit zu einem Anstieg der Kohlenstoffspeicherung führt. Kurze Umtriebszeiten maximieren zwar die oberirdische Biomasseproduktion, nicht aber die Kohlenstoffspeicherung im Boden (Jandl et al. 2007). Diese Aussage wird durch Studien über unbewirtschaftete Wälder in gemäßigten Breiten gestützt, die eine stetige Zunahme des Biomasse-Kohlenstoffpools mit zunehmendem Alter zeigen (Jandl et al. 2007). Darüber hinaus werden die Störungsereignisse, die zum Verlust von Bodenkohlenstoff führen, durch längere Umtriebszeiten verringert. Im Gegensatz dazu zeigen Monokulturen negative Auswirkungen auf die Kohlenstoffspeicherung. Die Forstwirtschaft sollte so gestaltet sein, dass sie die Stabilität von Waldökosystemen, die Akkumulation oberirdischer Biomasse und die Bildung kohlenstoffreicher Waldböden fördert (Jandl et al. 2007). (Bravo et al. 2017) empfehlen außerdem, "die Kohlenstoffdichte auf Landschaftsebene durch Walderhaltung, längere Umtriebszeiten, Brandmanagement sowie Schädlings- und Krankheitsbekämpfung zu erhalten oder zu erhöhen", um die Kohlenstoffvorräte in Wäldern zu erhöhen. Darüber hinaus können laut (Bravo et al. 2015) standortgerechte forstwirtschaftliche Techniken wie Durchforstung, Teilentnahme oder Anpassung der Artenzusammensetzung zu einer Erhöhung der Kohlenstoffvorräte führen. Allerdings zeigen (Jandl et al. 2007), dass Durchforstung und Teilernte zu Verlusten beim Kohlenstoffgehalt des Bodens führen könne.

Zusammenfassung: Kohlenstoffspeicherung in Wäldern

Um den in den Wäldern gespeicherten Kohlenstoff zu erhalten oder sogar zu erhöhen, sollte die deutsche Papierproduktion darauf hinwirken, dass

- der Anteil an rezyklierten Fasern maximiert wird,
- Holz aus gemäßigten und borealen Wäldern aus einer Waldbewirtschaftung stammt, die darauf abzielt, sowohl den Kohlenstoffgehalt im Boden als auch den Kohlenstoffgehalt der oberirdischen Biomasse zu fördern,
- Holz aus Eukalyptusplantagen nicht in Verbindung mit einer veränderten Flächennutzung durch natürliche Wälder steht,
- Holz aus Wirtschaftswäldern mit langer Umtriebszeit bevorzugt wird.

Hinweis zur Länge der Rotationsperiode

Die baumartenspezifische Umtriebslänge als durchschnittliche Produktions- bzw. Erntezeit ist abhängig vom gewünschten Zieldurchmesser, d.h. den sortimentspezifischen Produktionszielen, sowie von weiteren Faktoren wie Ertragserwartungen, Liquiditätsüberlegungen oder Produktionsrisiken. Das bedeutet, dass die Umtriebszeit immer von der jeweiligen Waldbewirtschaftung und dem Produktionsziel in dem jeweiligen geografischen Gebiet abhängt und daher keinen absoluten Wert darstellt. Die in dieser Studie verwendeten

⁶ Die Kurzumtriebsforstwirtschaft wird in Harris et al. 2015 mit einer durchschnittlichen Umtriebszeit von 18 bis 20 Jahren definiert. Die folgenden Arten werden als Beispiele genannt: Eukalyptus, Erle, Birke, Platane, Konifere, Buche, Pappel

Holzproduktionsdatensätze basieren auf (Ecoinvent 2019) und gehen für Deutschland von folgenden Umtriebszeiten aus: 100 Jahre für Fichte, 120 Jahre für Kiefer, 140 Jahre für Buche und 140 Jahre für Eiche. Für die nordischen Wälder wird gemäß den Ecoinvent-Datensätzen eine Umtriebszeit von 80 Jahren für Kiefer und Fichte angenommen.

Die Bandbreite der Umtriebszeiten in Abhängigkeit von den forstwirtschaftlichen Zielen lässt sich an den alternativen WEHAM-Szenarien ablesen (Oehmichen et al. 2018). So wurden im Szenario "Holzpräferenz" Umtriebszeiten von 80 Jahren für Fichte und Kiefer, 103 Jahren für Buche und 113 Jahren für Eiche festgelegt; im Szenario "Waldvision" mit Fokus auf Naturschutz wurden die Umtriebszeiten für alle Baumarten, die Teil der heutigen potenziellen natürlichen Vegetation sind, auf 140 Jahre für Kiefer, 200 Jahre für Buche und 250 Jahre für Eiche erhöht.

Nach dem alternativen WEHAM-Szenario "Holzpräferenzszenario" und (Felton et al. 2017) ist der höchste mittlere jährliche Holzzuwachs für Fichte und Kiefer in Deutschland und Schweden bei einer Umtriebszeit von etwa 80 Jahren zu erwarten. Die Präferenz für Holz aus Wirtschaftswäldern mit langen Umtriebszeiten könnte daher bedeuten, dass Holzherkünfte mit einer längeren Umtriebszeit als der durch den Holzzuwachs bestimmten Umtriebszeit bevorzugt werden sollten.

4 Überlegungen zum Papierrecycling

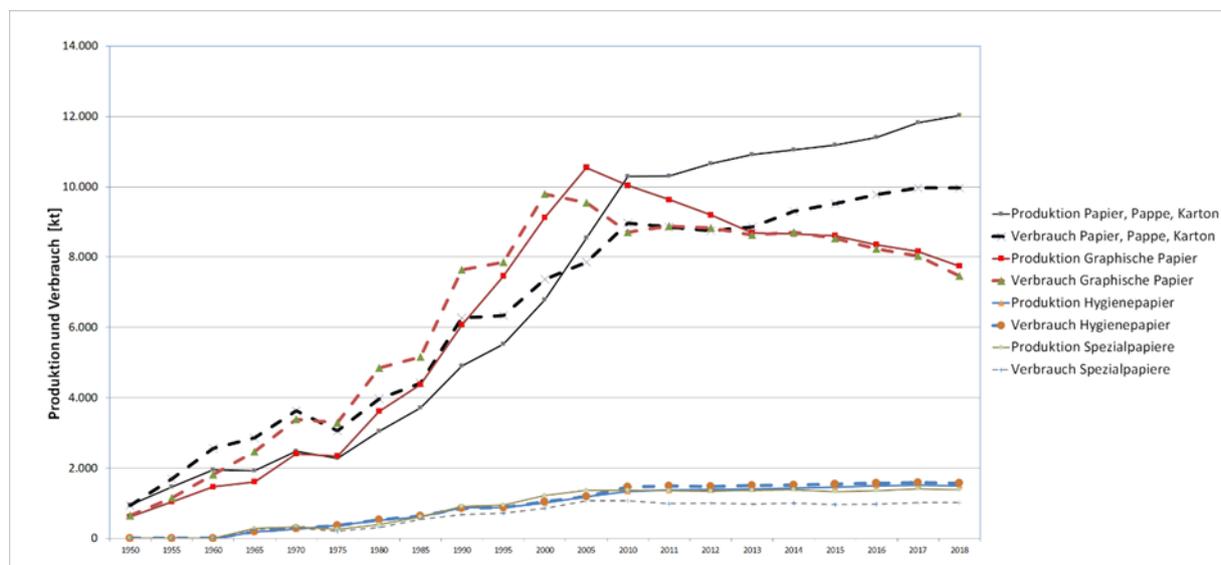
4.1 Der deutsche Papierkreislauf im Jahr 2018

Dieses Kapitel soll ein besseres Verständnis dafür vermitteln, wie der Papierkreislauf in Bezug auf Büro- und Hygienepapier gestärkt werden kann und wie Öko-Labels zu diesem Ziel beitragen können. Um Missverständnissen vorzubeugen, soll an dieser Stelle betont werden, dass die Notwendigkeit eines Primärfaserinputs in den deutschen Markt zur Sicherstellung eines voll funktionsfähigen Faserkreislaufs außer Frage steht. Vielmehr geht es hier um die weitere Ausschöpfung vorhandener Potenziale für das Recycling von Papierfasern.

Die Entwicklung der Papierproduktion und des Verbrauchs ist in der Abbildung 40 separat für die vier Hauptpapiersorten dargestellt. Der Verbrauch von Hygienepapieren und Spezialpapieren war in den letzten zehn Jahren relativ stabil und lag 2018 bei 1.581 bzw. 1.020 Tausend Tonnen. Dagegen ist der Verbrauch von grafischen Papieren seit dem Jahr 2000 kontinuierlich auf 7.467 Tausend Tonnen im Jahr 2018 (-25 %) gesunken. Von dieser Entwicklung sind aller Wahrscheinlichkeit nach vor allem Zeitungen und Zeitschriften, aber auch in gewissem Umfang Büropapiere betroffen. Dagegen stieg der Verbrauch von Papier für Verpackungszwecke kontinuierlich auf 9.965 Tsd. t im Jahr 2018 an, was einer Steigerung von rund 35 % seit 2000 entspricht.

Während die Produktions- und Verbrauchsmengen von grafischen Papieren, Hygienepapieren und Spezialpapieren im Jahr 2018 relativ ähnlich waren, gab es bei Verpackungspapier, Karton und Pappe (im Folgenden: "Verpackungspapier") einen deutlichen Nettoexportüberschuss, der seit etwa 10 Jahren zu beobachten ist. Haupttreiber für den Anstieg des Verbrauchs von Verpackungspapier sind die wachsende Bedeutung des Distanzhandels und der vermehrte Einsatz von Umverpackungen in der stationären Einzelhandelsauslage, d. h. für die Warenpräsentation im Verkaufsregal (Detzel et al. 2020).

Abbildung 40: Zeitleiste der Papierproduktion und des Papierverbrauchs nach Papiersorten in Deutschland



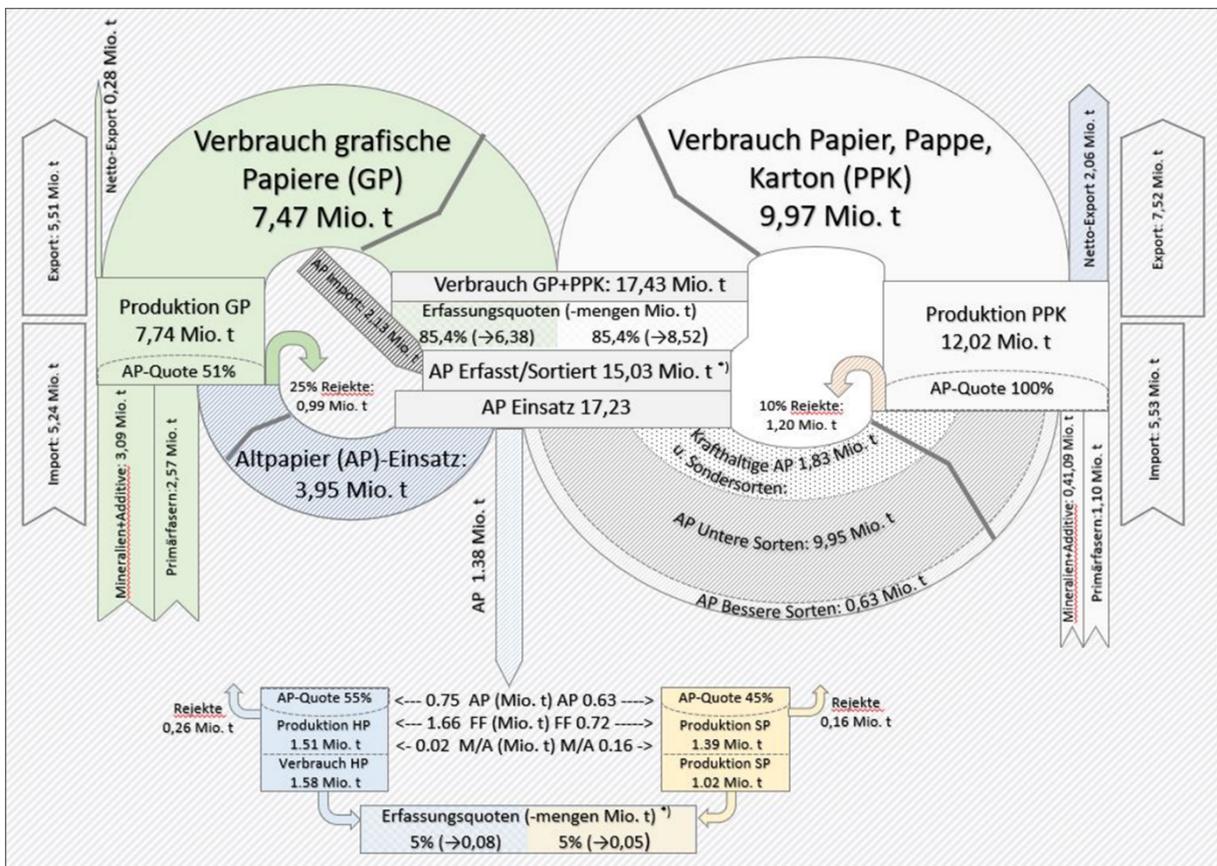
Quelle: (Moldenhauer et al. 2019); "Verpackungspapier" umfasst Papier, Pappe und Karton

Auf Büropapier entfallen ca. 600 Tausend Tonnen des grafischen Papierverbrauchs, das sind 8 % des grafischen Papierverbrauchs. Der Anteil von Recyclingpapier am Büropapier beträgt 84

Tausend Tonnen (14 % des Büropapierverbrauchs). Nach (Detzel et al. 2008) lag der Anteil an Recyclingpapier im Jahr 2006 bei 80 Tausend Tonnen, was auf eine gewisse Stabilität entgegen dem Markttrend hindeutet. Bei Hygienepapier beträgt der Anteil an Recyclingpapier ca. 290 Tausend Tonnen (18 % des Hygienepapierverbrauchs).

Obwohl der Schwerpunkt dieser Studie auf Büro- und Hygienepapier liegt, erfordern Überlegungen zur Förderung des Papierrecyclings in Deutschland ein Verständnis des gesamten Papierflusses.

Abbildung 41: Materialflussdiagramm für den Papierkreislauf in Deutschland 2018



Quelle: ifeu, angepasst an (Putz und Schabel 2018); *) beinhaltet die Sammlung von gebrauchtem Spezialpapier für das Recycling

Der deutsche Faser- und Papierfluss ist in der Abbildung 41 schematisch dargestellt und zeigt, dass:

- die beiden wichtigsten "Kreislaufsysteme" innerhalb des deutschen Papierstoffstroms sind die Produktion von grafischen Papieren und Verpackungspapieren sowie deren Sammlung und Verwertung in Form von Recyclingpapier
- aus dem grafischen Papierkreislauf fließen erhebliche Mengen in die Produktion von Verpackungspapier und kleinere Mengen in die Produktion von Hygienepapier und Spezialpapier

- der Materialverlust in Form von Ausschuss ist bei der Rückführung von Altpapier in die Hygienepapierproduktion besonders hoch (Annahme hier: 40 %), bei der Rückführung von Altpapier in die Verpackungspapierproduktion relativ gering (Annahme hier: 10 %)
- der direkte Primäfasereinsatz in der deutschen Papierproduktion ist bei grafischen Papieren am höchsten
- Primäfasern werden auch durch den Import von Fertigpapieren auf den deutschen Markt geliefert (siehe Pfeile auf der linken und rechten Außenseite der Abbildung 41). Der Import von grafischen Papieren und Verpackungspapieren bewegt sich in einer vergleichbaren Größenordnung.

4.2 Schlüsselfaktoren zur Steigerung des Papierrecyclings in Deutschland

Die Abbildung 411 zeigt, dass theoretisch und im Durchschnitt noch ungenutzte Potenziale für einen erhöhten Einsatz von Recyclingpapier (im Folgenden: "PfR") insbesondere in der grafischen Papierproduktion sowie in geringerem Umfang in der Hygiene- und Spezialpapierproduktion bestehen. Unter der Annahme einer statischen Situation, d.h. einer gleichbleibenden deutschen Papierproduktion, würde dies jedoch die Bereitstellung von zusätzlichem PfR erfordern. Mögliche Quellen dafür werden im Folgenden diskutiert.

4.2.1 Sammlung und Sortierung von PfR

Verstärkte quantitative und/oder qualitative Sammlung von Altpapier

Nicht alle im Umlauf befindlichen Papierprodukte können separat gesammelt und dem stofflichen Recycling zugeführt werden. Nach Angaben des European Paper Recycling Council "liegt die derzeitige theoretische maximale Papierrecyclingrate aufgrund nicht sammelbarer, nicht wiederverwertbarer Papierprodukte tatsächlich nur bei 78 %" (EPRC 2020a). Im deutschen Kontext wird allgemein davon ausgegangen, dass es sich um ca. 15 % der verbrauchten Papiere handelt, insbesondere um Spezial- und Hygienepapiere sowie "Verluste durch Archivierung, Verschmutzung etc." (Schönheit und Trauth 2013). Die aktuellen Erfassungsquoten von grafischen Papieren und Verpackungspapieren in Deutschland liegen bereits auf diesem Niveau, sodass das zusätzliche technische Erfassungspotenzial für diese beiden Papiersorten marginal ist.

Hingegen scheint die Qualität des gesammelten Altpapiers noch ausbaufähig zu sein. Dies ist auch deshalb essentiell, weil Verunreinigungen des Altpapiers möglichst vermieden werden sollten, um die physikalische Verwertbarkeit der Fasern effektiv zu nutzen. (Schönheit und Trauth 2013) schlagen z. B. eine "gebündelte Sammlung nach Papiersorten und eine getrennte Sammlung in Büros für weißes Altpapier und Kartonagen" vor. Sie weisen auch darauf hin, dass "die Papierverarbeitung und -veredelung von vornherein strikt recyclingfreundlich sein muss - insbesondere im Hinblick auf Klebstoffe und Druckfarben" und fordern "Grenzwerte für papierfremde Bestandteile und unerwünschte Materialien sowie eine Qualitätsgarantie für an Papierfabriken angeliefertes Altpapier".

Verbesserte/erweiterte Sortierung von Altpapier

Laut (Umweltbundesamt 2015) gibt es einen allgemeinen "Trend in der Altpapiersortierung zur Verbesserung des Reinheitsgrades der Altpapiersorten und zum verstärkten Einsatz von automatisierten, opto-elektronischen und teilweise mehrstufigen Sortieranlagen mit anschließender manueller Qualitätskontrolle. Ohne Nachsortierung gehen erhebliche Mengen

deinkbarer Altpapiere (20 % -40 %) über die Auslaufströme von Sortieranlagen verloren. Dieser Verlust kann durch eine integrierte Nachsortierung um ca. 50 % reduziert werden, was auch die Qualität der produzierten Sorten und das gesamte Vermarktungsergebnis verbessert."

Derzeit muss jedoch davon ausgegangen werden, dass eine solche Nachsortierung nicht die Regel ist. So ergab eine 2018 durchgeführte Studie zur Zusammensetzung von Altpapier in Deutschland, dass das Papier für die Recyclingklasse 1.02 (gemischtes Altpapier) 64 % grafisches Papier enthielt, mehr als doppelt so viel wie der Anteil an Verpackungspapier (Schabel 2019). Ebenso berichten (Faul et al. 2018) von typischen Gehalten an grafischem Papier in gemischtem Altpapier zwischen 50 % und 65 %.

Die Fraktion, die nach der Sortierung in die Produktion von Verpackungspapier geht, enthält daher noch erhebliche Mengen an grafischem Papier. Hier könnten durch eine Verbesserung der Sortiereffizienz weitere Mengen an grafischem Altpapier zurückgewonnen werden, um den Recyclingkreislauf zu optimieren. Obwohl die EN 643 für die Regelung der Qualität von Recyclingpapier zur Verfügung steht, scheint sie in der Marktrealität nicht immer im gewünschten Umfang befolgt zu werden. Darüber hinaus ist die EN 643 in ihrer aktuellen Fassung möglicherweise nicht ausreichend, "to derive the quality of the individual paper for recycling grades in terms of their potential for producing new paper and cardboard products" (Schabel 2019).

Der hohe Anteil an grafischen Papieren im gemischten Altpapier könnte zum Teil auch daran liegen, dass das in der blauen Tonne gesammelte Altpapier (Altpapierklasse 5.01), das in die drei Fraktionen gemischtes Altpapier (Klasse 1.02), gemischte Kaufhauspapiere (Klasse 1.04) und Deinkingpapier (1.11) sortiert werden sollte, entgegen der EN 643 ohne weitere Sortierung als Altpapierklasse 1.02 deklariert und als solches vermarktet werden darf.

4.2.2 Einfuhren von PfR

Insgesamt liegt die europäische Papierrecyclingquote im Jahr 2019 bei 72 % (EPRC 2020b) und die Statistiken in (Moldenhauer et al. 2019) zeigen große Spannweiten der Altpapiersammelquoten und PfR-Nutzungsquoten zwischen den europäischen Ländern. Einige EU-Länder wie Ungarn, Slowenien, Tschechien, die Niederlande und Dänemark (siehe Hintergrundbericht (Schütze et al. 2021) Tabelle 26) haben noch erhebliches Potenzial zur Steigerung der Altpapierverwertung. Während unter den derzeitigen Marktbedingungen ein Aufbau zusätzlicher Recyclingkapazitäten in diesen Ländern aufgrund der hohen Kapitalintensität der Faser- und Papierproduktion nicht sehr wahrscheinlich ist, könnten zusätzlich gesammelte Mengen an PfR in Ländern mit bereits gut entwickelten Recyclingkapazitäten wie Deutschland eingesetzt werden.

4.2.3 Technologische Wiederverwertbarkeit

(Meinl et al. 2017) errechneten für die Europäische Union inkl. Norwegen und der Schweiz ein durchschnittliches Faseralter von 3,6 Jahren im Jahr 2016, was aber laut (Putz und Schabel 2018) "nicht die maximal mögliche technologische Recyclingrate angibt". Vielmehr leiteten sie aus der verfügbaren Literatur zu mehreren Recyclingstudien von Zeitungsdruckpapieren die folgenden Kernaussagen ab:

- ▶ "Selbst nach vier oder fünf Recycling-Zyklen ist das Qualitätsniveau des produzierten Zeitungspapiers zufriedenstellend und die Papiere waren leicht zu bedrucken".

- ▶ "Der für grafische Papiere so wichtige optische Parameter Weißgrad ist nach fünf Recyclingzyklen im Vergleich zu unbedrucktem Primärfaserpapier um 18 % niedriger. Auffällig ist, dass sich die Weiße bereits nach dem ersten Recyclingzyklus von 67 % auf 60 %, also um 11 %, reduziert. Die folgenden vier Recyclingzyklen haben den Weißgradverlust nur um weitere 7 % verschärft".
- ▶ "Faserersatz im deutschen Papierkreislauf findet hauptsächlich im Bereich der grafischen Papiere statt."

(Putz und Schabel 2018) erreichten in eigenen Untersuchungen zum Mehrfachrecycling eines Wellpappen-Papiergemisches insgesamt 25 (zusätzliche) Recyclingzyklen ohne jegliche Zugabe von Primärfasern. Basierend auf ihren eigenen Versuchen und anderen Literaturquellen kommen sie zu dem Schluss, dass:

- ▶ "Die vereinfachende Aussage, dass Papierfasern vier bis sieben Mal recycelt werden können und danach zu schwach sind, um für die Herstellung von weiterem Papier verwendet zu werden, ist widerlegt".
- ▶ "Ältere Literatur zeigt, dass bei verschiedenen Primärfasermaterialien mit bis zu 12 Recyclingzyklen die größten Veränderungen während der ersten zwei bis vier Zyklen auftreten."

Sie wiesen jedoch auch darauf hin, dass "die Herausforderung für die Papierfabriken bei der Verwendung von Recyclingpapier als Rohstoff für die Papierherstellung in erster Linie die Abtrennung von Verunreinigungen und papierfremden Materialien ist, die mit den Papierprodukten mitkommen. Diese Materialien können nicht vollständig entfernt werden, was zu einer Verschlechterung der Qualität durch mehrere Recycling-Runden führt. Es wäre wünschenswert, dass die Hersteller von Papierprodukten bei der Gestaltung solcher Produkte stärker auf die Recyclingfähigkeit achten" (Putz und Schabel 2018). Die Bewertung der Rezyklierbarkeit erfolgt in der Regel anhand der INGEDE-Methode zur Bewertung der Rezyklierbarkeit (INGEDE 2013). Nach (Blauer Engel 2021) "gelten Druckerzeugnisse als nachweislich deinkbar, wenn sie nach Anwendung der INGEDE-Prüfmethoden den Richtlinien der "Deinkability Scorecard" und bei Klebstoffanwendungen der "Removability Scorecard" des European Paper Recycling Council (EPRC) entsprechen".

Erwähnenswert ist auch, dass bei der deutschen Papierproduktion im Jahr 2018 5,5 Millionen Tonnen Primärfasern (Zellstoff und Holzschliff) und ca. 14,5 Millionen Tonnen Recyclingfasern eingesetzt wurden (siehe Abbildung 41). Zusätzlicher Primärfaserinput wurde durch Importe von fertigem Papier und Papierprodukten bereitgestellt. Nach (Moldenhauer et al. 2019) stammten im Jahr 2018 mehr als 50 % der importierten Papiermenge (ca. 11 Mio. t) aus drei Ländern: Schweden (20 %), Finnland (19 %) und Österreich (12 %), deren Anteil an Recyclingpapier an der jeweiligen nationalen Papierproduktion 11 %, 6 % und 46 % (im Jahr 2017) betrug. Basierend auf den oben genannten Prozentsätzen würde sich der Zufluss von Primärfasern mit Papierimporten aus diesen Ländern nach Deutschland auf ca. 4,6 Mio. Tonnen belaufen. Da der durchschnittliche Primärfasergehalt der importierten und exportierten Papiere jedoch nicht bekannt ist, kann der genaue Anteil der Primärfasern am deutschen Papierverbrauch nicht mit absoluter Genauigkeit bestimmt werden.

(Schönheit und Trauth 2013) gingen in ihrer Studie davon aus, dass aufgrund der großen Mengen an importiertem Papier mit hohem Primärfaseranteil der Anteil des Recyclingpapiers am Gesamtpapierverbrauch deutlich geringer sein könnte, als es die Recyclingpapierquote in der

Produktion vermuten lässt. Die Autoren der vorliegenden Studie stimmen darin überein, dass diese Annahme angesichts der vorliegenden Papier- und Faserflusdaten in Deutschland nach wie vor gültig sein könnte.

Dies unterstützt auch die Annahme, dass die technische Verwertbarkeit von Fasern im deutschen Faserkreislauf noch lange nicht ausgeschöpft ist.

4.3 Blauer Engel und die EU-Umweltzeichenkriterien für Büro- und Hygienepapier

Ziel der Studie ist es unter anderem, Empfehlungen zur Weiterentwicklung der papierbezogenen Umweltzeichen im deutschen und EU-Kontext zu geben. Mögliche Handlungsfelder werden in diesem Kapitel aufgezeigt⁷. Die aktuellen Kriterien für die Vergabe des Blauen Engels und des EU-Umweltzeichens sind:

- Blauer Engel für grafisches Papier und Karton aus 100 % Recyclingpapier
DE-UZ 14a (Stand: 1/2020)
- Blauer Engel für Endprodukte für Büro- und Schulbedarf
DE-UZ 14b (Stand: 1/2020)
- Blauer Engel für Toilettenpapier
DE-UZ 5 (Stand: 7/2014)
- EU-Umweltzeichen für grafische Papiere, Hygienepapiere und Hygienepapierprodukte Beschluss (EU) 2019/70 der Kommission vom 11.01.2019
- EU-Umweltzeichen für bedrucktes Papier. Die alte Fassung 2012/481/EU hat eine Laufzeit bis 2022. Die neue Fassung, gemäß Beschluss (EU 2020/1803) bezieht Druckerzeugnisse, Schreibwaren aus Papier und Papiertragetaschenerzeugnisse ein und hat eine Laufzeit bis 2028

Der Blaue Engel setzt sich folgende Ziele:

- Schonung von Ressourcen, insbesondere von Waldökosystemen und damit Schutz von Arten und Klima und die Reduzierung von Abfällen durch die Verwendung von Altpapier bei der Herstellung von grafischem oder Hygienepapier, insbesondere bei der Verwendung von Altpapier aus Haushalts- und Gewerbesammlungen.
- Vermeidung von Umweltbelastungen, die direkt mit der Produktion von Zellstoff und Holzstoff verbunden sind
- DE-UZ 14b zielt auch darauf ab, technologisch unnötige Stoffe bei der Produktion und Verarbeitung zu vermeiden.

Das EU-Umweltzeichen zielt darauf ab:

⁷ Die Revisionen der Umweltzeichen 14a und 14b sind zum Zeitpunkt der Endredaktion der vorliegenden Studie abgeschlossen und die Empfehlungen wurden größtenteils schon umgesetzt

- Reduktion des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Emissionen in die Luft
- Reduktion von Umweltschäden durch Verringerung von Emissionen in Wasser und Abfallproduktion
- Reduzierung von Umweltschäden oder -risiken, die durch den Einsatz gefährlicher Chemikalien entstehen
- Schutz der Wälder durch verpflichtende Beschaffung von recycelten Fasern oder Primärfasern aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern und Gebieten."

Tabelle 6 zeigt eine Gegenüberstellung der Vergabekriterien des Blauen Engels und des EU-Umweltzeichens für Büro- und Hygienepapiere. Der Übersichtlichkeit halber und um eine transparente Struktur zu schaffen, sind die Kriterien in die Kategorien Fasern, Produktspezifikationen, Emissionen/Energie und Abfall unterteilt.

Tabelle 6: Vergleich ausgewählter Kriterien der untersuchten Ökolabels

Anforderungskategorien:	Grafische Papiere und Kartons inkl. Endprodukte DE-UZ 14a (1/2020) DE-UZ 14b (1/2020) ⁸	Hygienepapier DE-UZ 5 (7/2014) ⁹	Grafisches Papier, Hygienepapier und Hygienepapierprodukte - 2019-70-EU
1. Fasern			
A. Papier für Recycling (PfR)	<p>Papier 100 % PfR mindestens 65 % PfR aus einfache Klassen mittlere Qualitäten Kraftsorten spezielle Noten. maximal 35 % PfR aus höherer Qualität</p> <p>Endprodukte: Toleranz von 5 % anderen Materialien als recycelten Fasern Minimierungsanforderungen für Tinten, Toner, Druckfarben, Oberflächenveredelungen mittel, Beschichtungen und Klebstoffe Verbot von Diisobutylphthalat</p>	<p>100 % PfR mindestens 65 % PfR aus einfache Klassen mittlere Qualitäten Kraftsorten spezielle Sorten <u>Ausnahme</u> Krepp-Toilettenpapier: nur einfache Klassen mittlere Qualitäten Kraftsorten spezielle Sorten Krepp-Papierhandtücher: nur einfache Klassen mittlere Qualitäten spezielle Sorten</p>	<p>mindestens 70 % Fasern aus recycelten Quellen (oder anteilig aus nachhaltiger Forstwirtschaft¹⁰)</p> <p><u>Nicht anrechenbar</u>: recycelte Fasern, die in denselben Prozess zurückgeführt werden können, aus dem sie stammen (d.h. Papiermaschinenausschuss - selbst hergestellt oder gekauft).</p> <p><u>Anrechenbar</u>: die Lieferung von Ausschuss aus Verarbeitungsprozessen, sofern ein Lieferschein nach EN 643 vorhanden ist</p>
B. Primärfaser	<i>Nicht anwendbar</i>	<i>Nicht anwendbar</i>	<p>Primärfaser 100 % dokumentiert aus legalen Quellen Verbot der Herkunft aus gentechnisch veränderten Baumarten mindestens 70 % Fasern aus nachweislich nachhaltiger Forstwirtschaft (oder anteilig aus recycelten Quellen¹¹)</p>

⁸ Einige der Produkte, die unter diese Vergabekriterien fallen, erfüllen derzeit nicht sicher die Anforderungen an die Rezyklierbarkeit nach Kriterium 3.8. Die Rezyklierbarkeit ist jedoch für die weiteren Lebenszyklen der Papierprodukte von großer Bedeutung. Die Jury Umweltzeichen erwartet daher, dass die Recyclingfähigkeit der Produkte (nach Kriterium 3.8 dieser Vergabekriterien) während der Geltungsdauer weiterentwickelt wird. Die Jury plant, das derzeitige optionale Kriterium 3.8 in der nächsten Revision in ein verpflichtendes Kriterium umzuwandeln [DE UZ 5]. Beim DE-UZ 14b in der Fassung von 1/2020 wurde die Recyclingfähigkeit als Soll-Anforderung bereits umgesetzt.

⁹ Ibid Fußnote 4

¹⁰ Unter diesem Umweltzeichen können sowohl Recycling- als auch Primärfasern als Rohstoff für die Papierherstellung verwendet werden

¹¹ Ibid Fußnote 4

Anforderungskategorien:	Grafische Papiere und Kartons inkl. Endprodukte DE-UZ 14a (1/2020) DE-UZ 14b (1/2020). ⁸	Hygienepapier DE-UZ 5 (7/2014). ⁹	Grafisches Papier, Hygienepapier und Hygienepapierprodukte - 2019-70-EU
			Unabhängige Zertifizierung der Lieferkette, z. B. nach FSC oder PEFC erforderlich
2. Produktspezifikationen			
Weiße	maximal 100 % (DIN ISO 2470) inkl. UV optische Aufheller verboten; Ausnahme: SC-Papiere > 110 g/m ² Gestrichene Papiere >75 g/m ²	maximal 80 % (nach DIN ISO 2470) inkl. UV Verbotene optische Aufheller	keine Anforderungen an den Weißgrad optische Aufheller erlaubt Hygienepapier: Nachweis der Farbechtheit erforderlich
Wiederverwendbarkeit	Endprodukte: <u>Generell:</u> Recyclbar gemäß European Paper Recycling Council EPRC <u>Im Besonderen:</u> Deinkbarkeit (Ingede Methode 11) Trennbarkeit von Klebstoffanwendungen (Ingede Methode 13) Ausnahme: redispersierbare und wasserlösliche Klebstoffe.	Keine Anforderungen	Bedrucktes Papier: <u>Generell:</u> Wiederverwertbarkeit angefordert <u>Im Besonderen:</u> Deinkbarkeit muss nachgewiesen werden Beschichtung und Kaschierung mit Kunststoffen nur für Abdeckungen erlaubt Klebstoffe müssen ablösbar sein Nassfestmittel dürfen die Rezyklierbarkeit nicht behindern
Benutzerfreundlichkeit	spezifische Anforderungen für einzelne Produktkategorien; z. B. Kopierpapier: Laufeigenschaften (DIN 12281) Beständigkeit gegen Alterung (DIN 20494 6738) Kontrolle der VOC-Emissionen	Keine Anforderungen	Nachweis der Produktqualität nach EN ISO/IEC 17050 Hygienepapier: Mindestanforderungen an die Saugfähigkeit

Emissionen/ Energie			
Referenzwerte für Emissionen und Energieeffizienz	Emissionswerte für Direkteinleiter basierend auf den unteren Referenzwerten gemäß EU COM PPP BREF (2015) sowie Anhang 28 der Abwasserverordnung für CSB, BSB5, AOX, Gesamt N, Gesamt P	Keine besonderen Anforderungen	<p>Versauerung + Eutrophierung: Referenzwerte für CSB, P, NOX, S und ein Summenwert aus diesen</p> <p>AOX: Referenzwert für Zellstoff</p> <p>co2 fossil: Referenzwerte für Papiere aus DIP, chemischem Zellstoff oder Holzstoff</p> <p>Energie-Effizienz: Referenzwerte für Strom und Brennstoff</p>
Abfall			
Abfallwirtschaft	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen	<p>Der Nachweis über ein Abfallmanagementsystem muss erbracht werden.</p> <p>EMAS- oder ISO-14001-Zertifizierung als Nachweis geeignet.</p>

Alle Umweltzeichen erfordern die Angabe von Papieren für Recyclingsorten nach DIN EN 6432

Der Vergleich zeigt, dass der Blaue Engel einen klaren Fokus auf Anforderungen an die Altpapiereigenschaften und das Recycling hat und Anforderungen an Primärfasern daher implizit irrelevant sind. Im EU-Umweltzeichen sind die Kriterien für Recyclingfasern weniger nuanciert. So werden beispielsweise keine Anforderungen an die Qualität des Papiers für das Recycling definiert. Für Primärfasern ist die Hauptanforderung, dass ein Herkunftsnachweis aus nachhaltiger Waldbewirtschaftung vorliegen muss. Darüber hinaus sind Höchstwerte für bestimmte Emissionswerte und den Energieverbrauch durch sogenannte Referenzwerte definiert, sowohl für Primärfasern als auch für Recyclingfasern bzw. die daraus hergestellten Papiere.

4.4 Diskussion

Die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Informationen lassen darauf schließen, dass die Hauptwege zur weiteren Steigerung des Papierrecyclings in der deutschen Papierproduktion folgende sind:

- Sicherstellen, dass Papierprodukte recyclingfreundlich sind. Dies würde eine höhere Ausbeute an hochwertigen Recyclingfasern ermöglichen, aber auch erfordern, dass mehr Papierprodukte auf dem Markt mit geeigneten Klebstoffen und Druckfarben ausgestattet werden. Bisher scheint es jedoch schwierig zu sein, die genaue Herkunft von nicht recyclingfreundlichen Papierprodukten zurückzuverfolgen und/oder verbindliche Maßnahmen des Design-for-Recycling an diesen Quellen umzusetzen.
- Trennung der in den gemischten Altpapierfraktionen enthaltenen grafischen Papiere zur Verwendung als PfR in der grafischen Papierproduktion. Dies wäre zwar z.B. durch den

Einsatz einer automatischen Erkennung möglich, jedoch scheint es nicht immer einen ausreichenden Anreiz für die Marktteilnehmer zu geben, dies zu tun.

- Vermehrter Import von PfR. Dies würde voraussetzen, dass generell mehr Altpapier vor allem in anderen europäischen Ländern gesammelt und umweltfreundlich nach Deutschland transportiert wird. Das Massenpotenzial für solche Maßnahmen bleibt jedoch unklar, da es von den Sammelanstrengungen in den potenziellen Herkunftsländern sowie von der Marktdynamik abhängt.

Ökolabels können auch zur Stärkung des Papierrecyclings und eines Marktes für Recyclingpapierprodukte beitragen. Mögliche Aktivitäten sind hier

- Weitere Anpassung der Weißgradanforderungen. Eine Herabsetzung der maximal tolerierten Weißgradschwelle auf Werte von 90 % ISO und darunter würde wahrscheinlich den Wettbewerb um PfR-Fractionen verringern, die höhere Anteile an mit optischen Aufhellern ausgestatteten Primärfaserprodukten haben. Andererseits könnte es sich negativ auf die Akzeptanz von Papierprodukten mit Umweltzeichen auswirken, wenn diese nur in niedrigeren Weißgraden erhältlich wären.
- Einführung einer Quotenvorgabe für den verpflichtenden Einsatz von normalen und mittleren Papiersorten für das Recycling im EU-Umweltzeichen. Dies könnte ein Weg sein, eine europaweite Ausweitung und eine gezieltere und zielgerichtete Gestaltung der Sammelsysteme zu steuern.
- Einführung spezifischer Kriterien von Testverfahren zum Nachweis der Deinkbarkeit und Trennbarkeit in zukünftigen Revisionen des EU-Umweltzeichens für bedrucktes Papier.

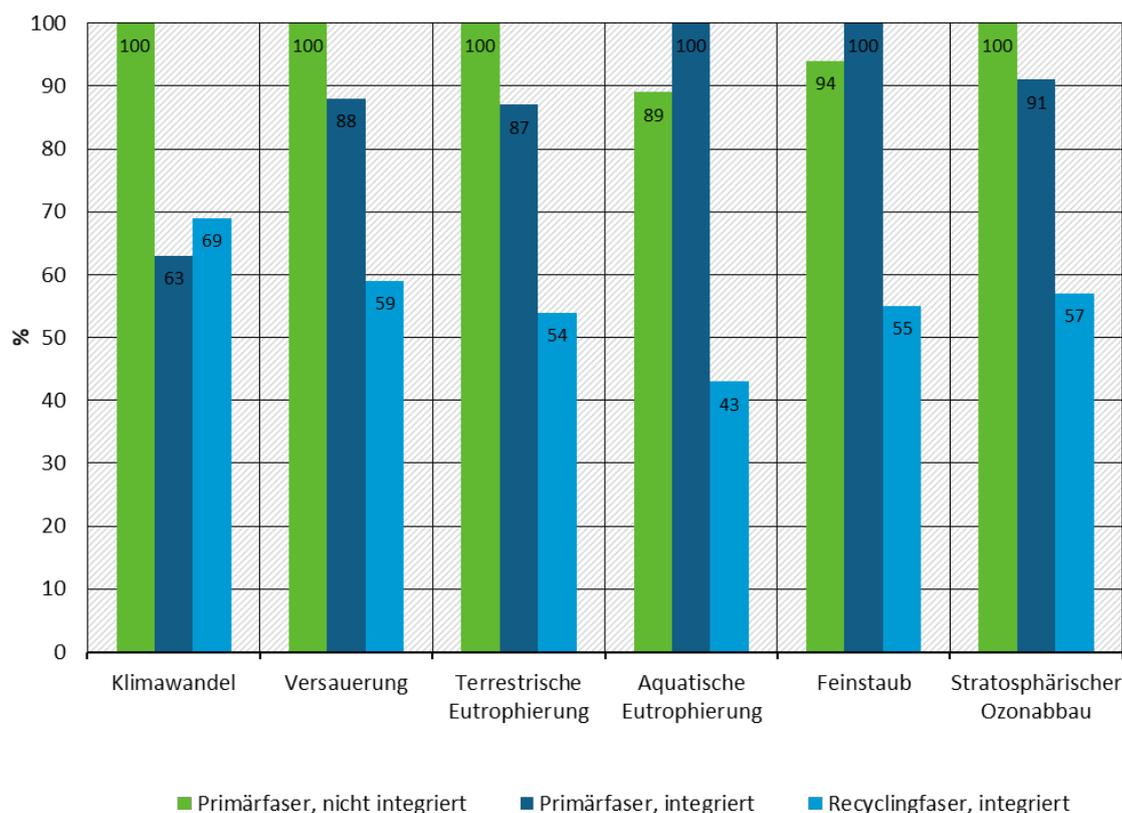
5 Schlussfolgerungen

5.1 Ökobilanz

Die Ergebnisse der Ökobilanz in Kapitel 1.2.5 zeigen, dass Recyclingpapier aus integrierter Produktion im Allgemeinen deutlich besser abschneidet als die verglichenen Primärfaserpapiere.

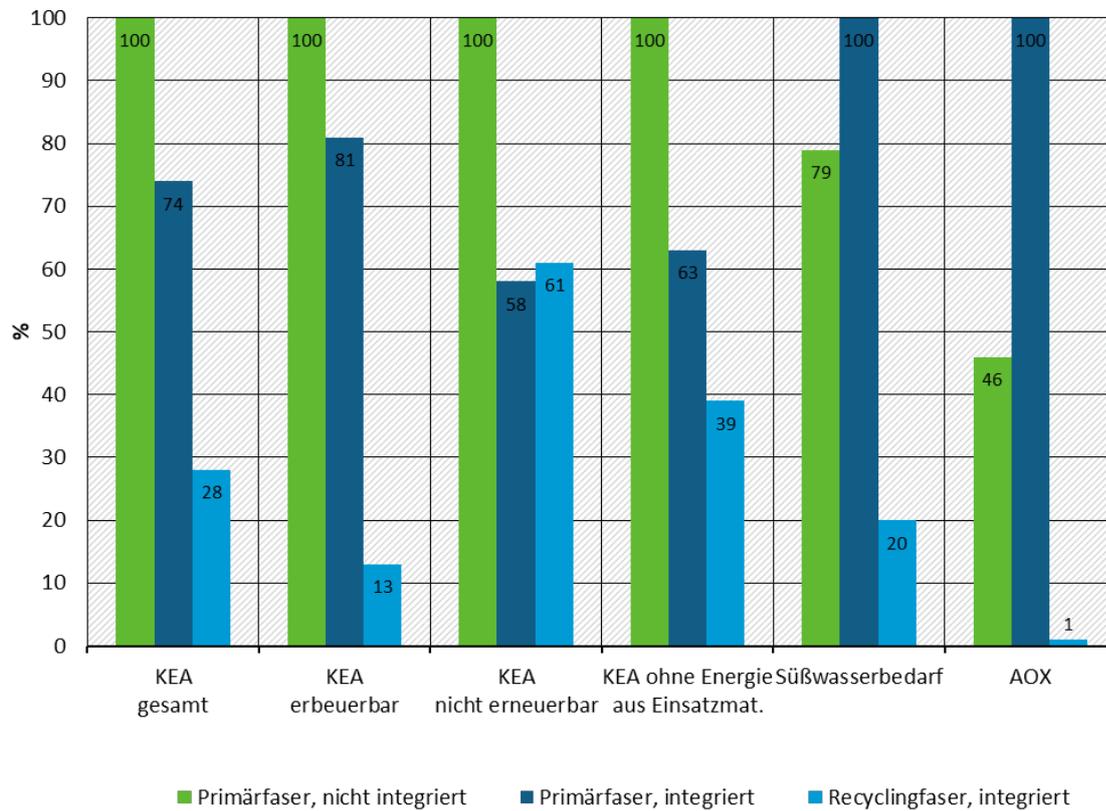
Abbildung 422,Abbildung 433,Abbildung 444 undAbbildung 455 zeigen, dass recyceltes Büro- oder Hygienepapier in allen bewerteten Umweltwirkungskategorien, für die die Ergebnisse als belastbar gelten, geringere Umweltwirkungen hat als das jeweilige Primärfaserpapier. (Siehe Kapitel 2.1.1.4 zur Asymmetrie der Daten für die Bildung von Photooxidantien). Die einzige Ausnahme bildet der Vergleich von Recycling-Büropapier mit Primärfaser-Büropapier aus integrierter Produktion, bei dem die Ergebnisse für eine der bewerteten Wirkungskategorien (Klimawandel) in etwa auf demselben Niveau liegen. Der Hauptgrund für die Umweltwirkungen von Recycling-Büropapier ist der höhere Anteil an fossilen Brennstoffen für die Dampferzeugung und der Emissionsfaktor des für die Produktion in Mitteleuropa im Jahr 2015 verwendeten Stroms. Die in Kapitel 0 dargestellte Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Produktion von Recyclingpapier bei einem potenziellen künftigen Strommix mit einem höheren Anteil an erneuerbaren Energiequellen zu geringeren Auswirkungen führen wird. Auch die Dekarbonisierung der Erzeugung von Prozesswärme in den kommenden Jahren wird die Ergebnisse von Recyclingpapier in der Wirkungskategorie Klimawandel weiter verbessern.

Abbildung 42: Vergleich der Umweltwirkungsergebnisse: nicht integriert und integriert hergestelltes Primär-Büropapier vs. integriert hergestelltes Recycling-Büropapier



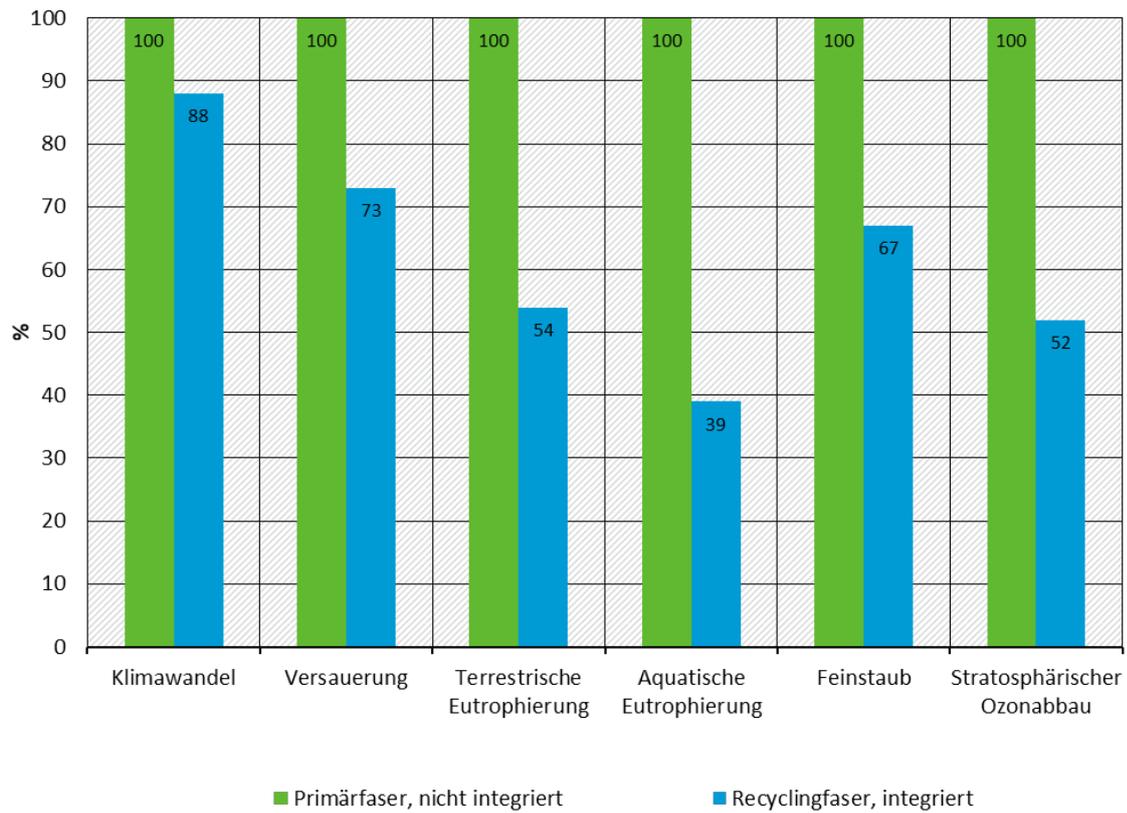
Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 43: Vergleich der Inventarkategorien: nicht integriert und integriert hergestelltes Primär-Büropapier vs. integriert hergestelltes Recycling-Büropapier



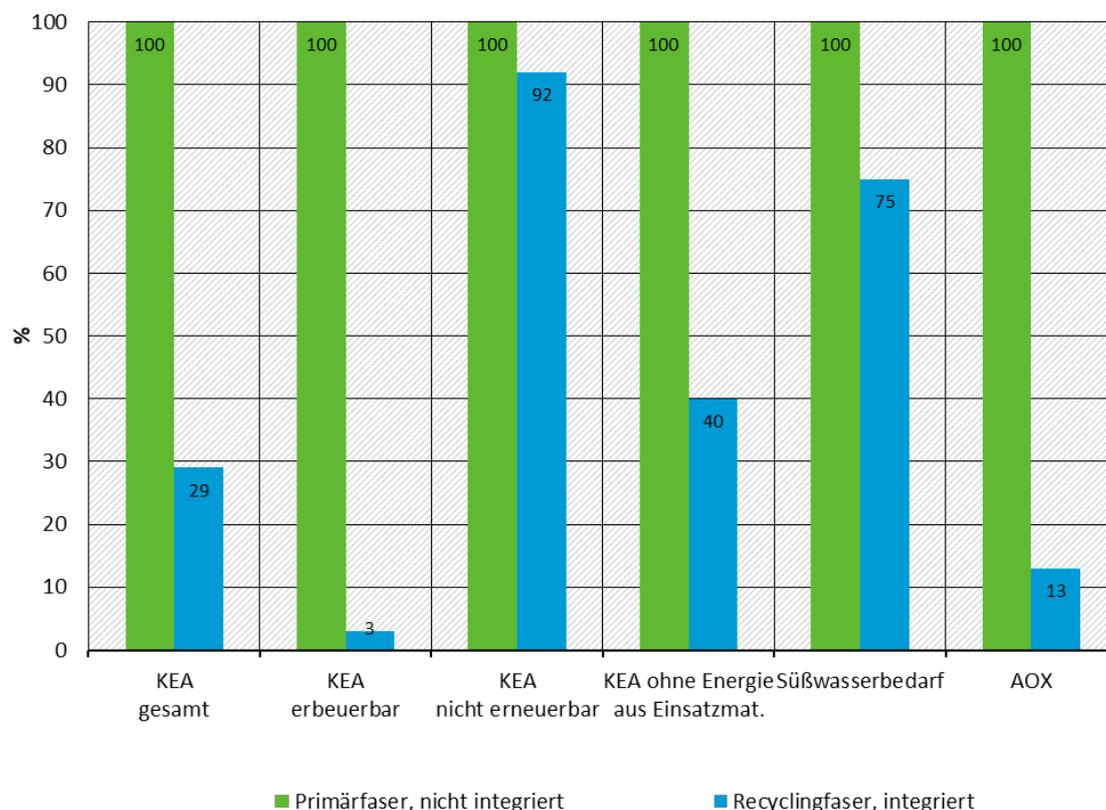
Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 44: Vergleich der Umweltwirkungsergebnisse: nicht integriert hergestelltes Primär-Hygienepapier vs. integriert hergestelltes Recycling-Hygienepapier



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

Abbildung 45: Vergleich der Inventarkategorien: nicht integriert hergestelltes Primär-Hygienepapier vs. integriert hergestelltes Recycling-Hygienepapier



Quelle: (Eigene Darstellung 2021, ifeu)

5.2 Auswirkungen der Holzherkunft

Die Ergebnisse und Diskussionen in Kapitel 3 zeigen, dass der Druck auf die Waldflächen sowohl in Europa als auch weltweit zunimmt. Dies ist mit potenziellen Verlusten an biologischer Vielfalt sowie mit Einschränkungen der Kohlenstoffspeicherung in Wäldern verbunden.

Die Umsetzung der weltweit bestehenden Forderungen zum Schutz der Wälder und zur Förderung einer nachhaltigen Forstwirtschaft kann nicht nur auf politischen Naturschutzvorgaben beruhen, sondern bedeutet auch, die allgemeine Nachfrage nach Holz zu reduzieren.

Dies führt zu den Empfehlungen:

1. den Gesamtpapierverbrauch zu reduzieren,
2. so viel Papier wie möglich zu recyceln und
3. den Anteil der Primärfasern zu verringern.

Auch mit bestehenden Maßnahmen wie Zertifizierungssystemen lassen sich negative Auswirkungen auf die Kohlenstoffspeicherung und die biologische Vielfalt sowie die Umwandlung von Primärwäldern nicht sicher vermeiden.

Die bestehenden Zertifizierungssysteme können nur bis zu einem gewissen Grad als Qualitätsanforderungen für Umweltzeichen für die Verwendung von Primärfasern bei der Papierherstellung dienen. Daher kann die Verwendung von Recyclingfasern als das sicherste Qualitätskriterium für den Schutz der Wälder und die Förderung einer nachhaltigen

Forstwirtschaft herangezogen werden. Um die Zertifizierungssysteme nach FSC- und PEFC-Kriterien sinnvoll in politische Instrumente zur Sicherstellung einer möglichst naturnahen Waldbewirtschaftung einzubinden, sollten die Zertifizierungssysteme messbare Nachweise z.B. über das Ausmaß menschlicher Eingriffe (Hemerobie) oder den Erhalt der Biodiversität liefern.

Für das Holz bzw. die Primärfasern, die für die deutsche Papierversorgung benötigt werden, sind folgende Aspekte zu berücksichtigen: die Erhöhung der globalen Kohlenstoffspeicherung der Wälder und die Erhaltung der Artenvielfalt und Natürlichkeit.

Dies kann in erster Linie dadurch erreicht werden, dass sichergestellt wird, dass keine Primärwälder in bewirtschaftete Wälder oder Forstplantagen umgewandelt werden. Neben der Verringerung des Papierverbrauchs und der Verwendung von Recyclingfasern besteht die beste Möglichkeit, das Risiko der Flächenumwandlung so weit wie möglich zu vermeiden, darin, Holz aus Ländern ohne relevante Primärwaldflächen (Mittel- und Südeuropa), aus zertifizierten Plantagen auf der Grundlage des FSC-Zertifizierungssystems, aus Ländern wie Schweden mit nationalen FSC-Standards, in denen zumindest nicht alle Primärwälder, aber alle IFL-Flächen geschützt sind, oder generell aus FSC-zertifizierten Wäldern zu beziehen, in denen zumindest ein bestimmter Anteil der IFL-Flächen geschützt ist.

Selbst wenn Forstplantagen ein höheres Potenzial für den Verlust an biologischer Vielfalt aufweisen, könnten sie den Druck auf die Primärwälder möglicherweise verringern. Dies ist natürlich nur möglich, wenn die Forstplantagen nicht direkt oder indirekt für die Umwandlung von Primärwäldern verantwortlich waren, was in vielen Fällen nicht der Fall sein dürfte.

Holz aus gemäßigten und borealen Wäldern, deren Flächen nicht aus Primärwäldern umgewandelt werden, kann unter dem Gesichtspunkt der biologischen Vielfalt und der Kohlenstoffbindung empfohlen werden, wenn die Waldbewirtschaftung mit dem Ziel durchgeführt wird, den Kohlenstoffgehalt des Bodens, den Kohlenstoffgehalt der oberirdischen Biomasse und die biologische Vielfalt durch Erhaltungsmaßnahmen oder eine naturnahe Waldbewirtschaftung zu erhöhen. Es sei nochmals erwähnt, dass konventioneller Kahlschlag vermieden werden sollte. Die meisten europäischen FSC- und PEFC-Kriterienkataloge enthalten Kriterien für Maßnahmen, die Schlüsselemente der Erhaltungsforstwirtschaft sind. Ausnahmen sind der nationale FSC- und PEFC-Standard für die Tschechische Republik und der nationale PEFC-Standard für Russland. Die derzeit verfügbaren Studien zeigen jedoch, dass die Rückhaltmaßnahmen erweitert werden sollten. Außerdem enthält der russische FSC-Standard keine Richtlinie für die maximale Größe von Kahlschlägen.

Hier ist die Politik gefordert, den Einsatz von Recyclingfasern zu fördern, um den Druck auf die Naturwälder zu verringern sowie ein wirksames Förderprogramm für naturnahe Waldbewirtschaftung und Waldschutz zu schaffen. Dazu gehört auch die Umsetzung von Naturschutzmaßnahmen im Staatswald. Um der Umwandlung von Primärwäldern entgegenzuwirken und sicherzustellen, dass das nach Deutschland importierte Holz bzw. der Zellstoff nicht aus Gebieten stammt, die von der Umwandlung von Primärwäldern betroffen sind, müssen die weltweite Kartierung von Waldgebieten weiterentwickelt, nationale Richtlinien zum strengen Schutz von Primärwäldern umgesetzt und die Möglichkeit der Rückverfolgung von Lieferketten gefördert werden.

5.3 Papier-Recycling

5.3.1 Verstärkung des Papierkreislaufs

Ein erhöhter Einsatz von PfR könnte und sollte vor allem bei der Herstellung grafischer Papiere angestrebt werden. Bei einem Altpapiereinsatz von 51 % scheint ein erhebliches Potenzial für

einen erhöhten Einsatz von Recyclingfasern in der deutschen Produktion von grafischen Papieren vorhanden zu sein. Wie bereits erwähnt, könnte die Altpapierfraktion der grafischen Papiere im gemischten Altpapier durch eine verbesserte Sortierung für diesen Zweck genutzt werden. Hier sollten die Altpapiersortieranlagen in Zukunft stärker in die Pflicht genommen werden.

Eine - wenn auch recht überschaubare - Einschränkung könnte hier der erforderliche Weißgrad sein. Nach der Sortierung enthält gebrauchtes grafisches Papier für das Recycling noch geringe Mengen von etwa 4-6 % brauner Sorten (Steinbeis)¹². Die Herstellung von hochwertigem Recyclingpapier erfordert daher eine gründliche Eingangskontrolle und eine gute Recyclingtechnik. So werden z. B. für Recyclingpapiere mit hohem Weißgrad, d. h. mit Weißgraden von 90 und 100, speziell mittlere und hohe Recyclingpapiersorten eingesetzt. Bei Recyclingpapieren mit dem Blauen Engel erfolgt dies durch die Kombination dieser Sorten mit dem geforderten Mindestanteil an normalen und mittleren Sorten.

Nach wie vor dominieren die normalen Recyclingpapiersorten den Altpapiermarkt. Während der Weißgrad für die LCA-Ergebnisse von Recyclingpapier eine relativ geringe Rolle spielt, wird er eindeutig von den im Recyclingprozess verwendeten Recyclingpapiersorten gesteuert. Die Akzeptanz von niedrigeren Weißgraden durch die Verbraucher erhöht somit die nutzbare Bandbreite an Recyclingpapier. Dies gilt insbesondere für Büropapiere, da der Markt hier einen besonders hohen Weißgrad verlangt.

Was das Recycling von Hygienepapier betrifft, so könnte eine (zumindest teilweise) Versorgung mit Papier für das Recycling durch die gezielte Sammlung von gebrauchtem Hygienepapier erfolgen: Es gibt erste Versuche, Papierhandtücher zu recyceln (siehe Tork PaperCircle®, (Tork 2020)). Dies erfordert jedoch die Einrichtung einer Sammlungsstruktur und die Anpassung des Recyclingprozesses an die Handhabung von Nassfestmitteln und die Gewährleistung der Sterilität des Recyclingpapiers.

Auch der größere Recyclingkreislauf, der über die deutschen Grenzen hinausreicht, kann über die Papiernachfrage in Deutschland eingebunden werden. Es ist zu erwarten, dass der Papierhandel auf Signale einer erhöhten Marktnachfrage nach Recyclingpapier bzw. nach Papieren mit höheren Recyclinganteilen letztlich mit einer entsprechenden Einkaufspolitik auch bei Importen von Papiervor- und -fertigprodukten reagieren wird.

5.3.2 Potenzielle Aktionspunkte im Zusammenhang mit Umweltgütesiegeln

Blauer Engel, UZ 14a/b

In der aktuellen Fassung der Vergabekriterien für das Umweltzeichen UZ 14a ist ein maximaler ISO-Weißgrad von 100 % als Maximalanforderung vorgeschrieben. Niedrigere Weißgrade könnten jedoch zur Stabilisierung oder sogar Verlängerung des Faserkreislaufs vorteilhaft sein. Zu beachten ist auch, dass Primärfasern physikalisch nur bis zu einem Weißgrad von 90 % bleichbar sind und höhere Weißgrade nur mit optischen Aufhellern oder der Verwendung von PfR, die diese bereits enthalten, erreicht werden können. Diese sind daher nur unter künstlicher Beleuchtung oder bei Tageslicht wirksam. Es wäre daher überlegenswert, den maximalen Weißgrad für das Umweltzeichen im Zuge der Überarbeitung noch weiter auf 90 % bzw. 80 % zu senken. Dies würde auch die Notwendigkeit verringern, für das Recycling Papier zu verwenden, das einen hohen Anteil an optischen Aufhellern enthält. Infolgedessen könnte es auch

¹² Persönliche Kommunikation mit Herrn Michael Hunold ,2020

gerechtfertigt sein, für das EU-Umweltzeichen strengere Grenzwerte für optische Aufheller in Primärfaser- und Recyclingpapieren festzulegen.

Außerdem stellt sich die Frage, ob Recyclingpapier notwendigerweise den gleichen Weißgrad haben muss wie Primärfaserpapier. Vielmehr könnte ein abgestufter Weißgrad als Unterscheidungsmerkmal dienen und in der Verbraucherkommunikation gezielt angesprochen werden. Doch obwohl ein Weißgrad von 70 % aus Gründen der Nachhaltigkeit ideal wäre, könnte dies das Ziel der Förderung von Recyclingpapier unter Marketinggesichtspunkten behindern.

Blauer Engel, UZ 5

Bei der Verarbeitung von Altpapier zur Herstellung von Hygienepapier fallen besonders große Mengen an Abfällen an. Es sollte daher überlegt werden, ob für die Vergabe des Siegels Anforderungen an die Abfallbewirtschaftung aufgenommen werden sollten, ähnlich denen für das EU-Umweltzeichen. Zumindest sollte sichergestellt werden, dass alle Nebenproduktströme mit hohem Mineral- und/oder Füllstoffgehalt nach Möglichkeit recycelt werden.

Erforderlichenfalls könnten auch weitergehende Anforderungen (z. B. Spezifikationen für die Rückgewinnung von Prozesswasser) zur Begrenzung des Wasserverbrauchs in Betracht gezogen werden, da dies aufgrund der Reinheitsanforderungen für Hygienepapier ein relevanter technischer Parameter ist.

EU-Umweltzeichen 2019-70-EU

Die vorliegende Ökobilanz hat gezeigt, dass die prozessbedingten Emissionen und der Energieverbrauch bei der Herstellung von Recyclingfasern in der Regel deutlich geringer sind als die von Primärfasern. Die Tatsache, dass der Blaue Engel UZ 14a/b und UZ 5 nur für 100 % Recyclingpapier vergeben wird, entspricht daher weiterhin den in den Vergabekriterien festgelegten Zielen. Da das EU-Umweltzeichen auch für Primärfaserpapiere gelten soll, ist es nur folgerichtig, deren relativ höheren spezifischen Prozessemissionen und Energiebedarf für die Vergabe des Umweltzeichens durch Referenzwerte zu begrenzen. Damit dient es auch der Ressourcenschonung.

Wie in den vorangegangenen Abschnitten angedeutet, ist die Quotenvorgabe für die verpflichtende Verwendung normaler und mittlerer Papiersorten für das Recycling wesentlich für die Förderung des Kreislaufwirtschaftssystems. Diese sind im EU-Umweltzeichen noch nicht enthalten, wären aber geeignet, eine europaweite Ausweitung und eine gezieltere und zielgerichtete Gestaltung der Sammelsysteme zu steuern.

Im EU-Umweltzeichen für bedrucktes Papier sollten die derzeitigen Anforderungen an die Recyclingfähigkeit in zukünftigen Kriterienaktualisierungen durch die Spezifizierung von Prüfverfahren zum Nachweis der Deinkbarkeit und Trennbarkeit analog zu den in DE-UZ 14b geforderten erweitert werden.

Erhöhung der Anforderungen an die nachhaltige Beschaffung von Primärfasern für das EU-Umweltzeichen. Die Anforderung von 100 % FSC-zertifizierten Fasern auf der Grundlage eines Massenbilanzsystems würde sicherstellen, dass die Menge an zertifizierten Fasern, die in einer Anlage verwendet wird, der Menge an Fasern entspricht, die für eine entsprechende Menge eines mit dem Umweltzeichen versehenen Produkts benötigt wird.

5.4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Ökobilanz zeigen, dass recyceltes Büro- und Hygienepapier in fast allen betrachteten Umweltwirkungskategorien deutlich geringere Auswirkungen hat als Papier aus

Primärfasern. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse hinsichtlich der Anwendung eines zukünftigen Stromerzeugungsmixes zeigen, dass die Klimaauswirkungen von Recyclingpapier mit dem Fortschreiten der Energiewende weiter abnehmen werden. Daher unterstützen die Ergebnisse der Ökobilanz die Politik des UBA und die Anforderungen des Blauen Engels, die den Verbrauch von Recyclingpapier fördern.

Die getrennte ökologische Bewertung der Holzherkunft führt u.a. zu den folgenden Ergebnissen:

- Eukalyptus aus lateinamerikanischen und insbesondere aus südwesteuropäischen Plantagen ist mit einem höheren Verlust an Biodiversität verbunden als andere Laub- und Nadelhölzer aus nord- oder mitteleuropäischen Wäldern.
- Auch wenn Eukalyptusplantagen einen wichtigen Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung in Wäldern leisten können, gilt dies nur, wenn ihre Einrichtung nicht direkt oder indirekt für die Umwandlung von Primärwald verantwortlich war. Es ist jedoch fast unmöglich zu garantieren, dass Holz aus einer bestimmten Region, in der es noch Primärwald gibt, nicht aus Gebieten stammt, in denen in den letzten Jahren eine Umwandlung von Primärwald in Forstplantagen stattgefunden hat. Bei Holz aus FSC-zertifizierten Wirtschaftswäldern ist jedoch zumindest ein gewisser Anteil an intakter Waldfläche geschützt.
- Auch mit bestehenden Maßnahmen wie Zertifizierungssystemen lassen sich negative Auswirkungen auf die Kohlenstoffspeicherung und die Biodiversität nicht sicher vermeiden.

Um die Risiken für die Biodiversität und die Gefahr von Landnutzungsänderungen zu verringern, sollte eine Reduzierung des Gesamtpapierverbrauchs angestrebt werden. Darüber hinaus kann eine verstärkte Verwendung von Papier für das Recycling dazu beitragen, die Menge der benötigten Primärfasern zu verringern.

Die wichtigsten Wege zur weiteren Steigerung des Papierrecyclings sind:

- Eine Verbesserung der Sammlung und Sortierung von Papier für das Recycling in allen europäischen Ländern, z. B. durch die Trennung von grafischen Papieren, die in den gemischten Altpapierfraktionen enthalten sind, für die Verwendung in der Produktion von grafischem Recyclingpapier oder Hygienerecyclingpapier
- Ein erhöhter Import von Recyclingpapier aus europäischen Ländern mit geringerer Nachfrage nach Recyclingfasern als Deutschland
- Verringerung des Weißgrads von Recyclingpapier, insbesondere bei Büropapieren

Diese Maßnahmen können zumindest teilweise durch die Verwendung von Umweltzeichen unterstützt werden. Beispiele hierfür sind die Herabsetzung des maximal zulässigen Weißgrads auf 90 % ISO und darunter beim Umweltzeichen "Blauer Engel" (UZ 14a) oder die Einführung einer Quotenregelung für die obligatorische Verwendung von unteren und mittlerem Altpapiersorten beim EU-Umweltzeichen.

6 Literaturverzeichnis

- AFRY (2021): Metsä Tissue Comparison of environmental performance indicators of Fresh and Recycled fibre based tissue products, November 2021
- Belyazid, U.; Belyazid, S.; Akselsson, C. (2013): Biodiversity of boreal forest ecosystems- Effects of nitrogen fertilization, whole-tree harvest and stump harvest. Appendix D to the report "Effects of climate change, nitrogen fertilization, whole-tree harvesting and stump harvesting on boreal forest ecosystems - A review of current knowledge and an evaluation of how these factors may influence the possibilities to reach the Swedish environmental objectives". Belyazid Consulting & Communication, Physical Geography and Ecosystem Sciences, Lund University
<http://www.belyazid.com/doks/Biodiversity.pdf>
- (EU 2020/1803): Commission Decision (EU) 2020/1803 of 27 November 2020 establishing the EU Ecolabel criteria for printed paper, stationery paper, and paper carrier bag products.
- Blauer Engel (2021): Druckerzeugnisse DE-UZ 195. Vergabekriterien, Ausgabe Januar 2021, Version 1
- Blumröder, J. S.; Hoffmann, M. T.; Ilina, O.; Winter, W.; Hobson, P.R.; Ibisch, P. L. (2020): Clearcuts and related secondary dieback undermine the ecological effectiveness of FSC certification in a boreal forest. *Ecological Processes* (2020) 9:10.
<https://doi.org/10.1186/s13717-020-0214-4>
- BMEL (2014): Der Wald in Deutschland - Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Berlin
https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Downloads/BMEL_Wald_Broschuere_3_Auflage_RZ2_web.pdf
- BMEL (2018): Holzmarktbericht 2018 - Abschlussergebnisse für die Forst- und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2018. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
- BMLRT (2017): Holzeinschlagsmeldung über das Kalenderjahr 2017. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien
- BMU (2020): Die Lage der Natur in Deutschland - Ergebnisse von EU-Vogelschutz- und FFH-Bericht. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Berlin, Bonn
- Bravo, F.; del Río, M.; Bravo-Oviedo, A.; Ruiz-Peinado, R.; del Peso, C.; Montero, G. (2017): Forest Carbon Sequestration: The Impact of Forest Management. In: Bravo, F.; LeMay, V. J. (2017): *Managing Forest Ecosystems: The Challenge of Climate Change*, Springer International Publishing, pp. 251–275
http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-28250-3_13
- Câmara, G.; Soterroni, A.; Ramos, F.; Carvalho, A.; Andrade, P.; Cartaxo Souza, R.; Mosnier, A.; Mant, R.; Buurman, M.; Pena, M.; Havlik, P.; Pirker, J.; Kraxner, F.; Obersteiner, M.; Kapos, V.; Affonso, A.; Espíndola, G.; Bocqueho G. (2015): *Modelling Land Use Change in Brazil: 2000–2050*. São José dos Campos, Brasília, Laxenburg, Cambridge, INPE, IPEA, IIASA, UNEP-WCMC, 1st edition
- Ceccherini, G.; Duveiller, G.; Grassi, G.; Lemoine, G.; Avitabile, V.; Pilli, R. (2020): Abrupt increase in harvested forest area over Europe after 2015, *Nature* 583(7814). Publishing, pp. 72–7, July 2020
<http://www.nature.com/articles/s41586-020-2438-y>
- Chaudhary, A.; Burivalova, Z.; Koh, L. P.; Hellweg, S. (2016): Impact of Forest Management on Species Richness: Global Meta-Analysis and Economic Trade-Offs. In: *Scientific Reports*. Vol. 6, No.1, S. 23954.
- Chaudhary, A. and Brooks, T. (2018): Land Use Intensity-Specific Global Characterization Factors to Assess Product Biodiversity Footprints. *Environmental Science Technology*, 52 (9), pp. 5094–5104
- Cuyppers, D.; Lust, A.; Geerken, T.; Gorissen, L.; Peters, G.; Karstensen, J. (2013): The impact of EU consumption on deforestation: Comprehensive analysis of the impact of EU consumption on deforestation, final report Publications Office, Luxembourg <http://dx.publications.europa.eu/10.2779/82226>
- Detzel, A.; Krüger, M.; Knappe, F.; Trauth, J.; Schönheit, E.; Hamm, U. (2008): Datengrundlagen zur Klima- und Ressourceneffizienz von Kopierpapier auf dem deutschen Markt. Umweltbundesamt

Detzel, A.; Rubik F.; Bick, C.; Schmidt, S.; Kitzberger, M.; Holewik, C. (2020): Verpackungsaufkommen und regulative Rahmenbedingungen, Hintergrundpapier des Forschungsprojekts Innoredux.
<https://www.plastik-reduzieren.de/deutsch/veroeffentlichungen/>

Di Girolami, E. and Arts, B. (2018): Environmental impacts of forest certification: Qualitative Literature Review of Scientific Research on the Environmental Impacts of the Forest Stewardship Council (FSC) Certification Scheme and the Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC) in the Boreal, Temperate and Tropical Biomes. Nature Conservation Policy Group. Wageningen University and Research

Ekstrom, H. (2018): Global Timber and Wood Products Market Update - a news brief from Wood Resources International LLC. Wood Resources International LLC
<https://mb.cision.com/Main/1902/2585019/885928.pdf>

EOS and ETTF (2017): International softwood conference 2017. European Organisation of the Sawmill Industry (EOS), European Timber Trade Federation (ETTF), Hamburg
<https://www.ettf.info/sites/ettf/files/ISC2017/RAPPORT%20ISC%202017%20NOV%202017.pdf>

EOS (2019): Annual Report of the European Sawmill Industry. EOS-European Organisation of the Sawmill Industry
<https://www.eos-oes.eu/downloads/EOS-annual-report-2018-2019.pdf>

EPRC (2020a): European Declaration On Paper Recycling 2016-2020. European Paper Recycling Council (EPRC), www.paperforrecycling.eu

EPRC (2020b): European paper recycling rate 2019. European Paper Recycling Council (EPRC),
<https://www.paperforrecycling.eu/press-release-european-recycling-rate-increased-to-72-in-2019/>

EU COM PPP BREF (2015): Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board – Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). In: JRC Science and Policy Reports (2015): EUR 27235 EN, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Publications Office of the European Union, Luxembourg

European Commission (2018): Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast), RED II. European Commission
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L .2018.328.01.0082.01.ENG>

FAO (2015): Global Forest Resources Assessment 2015 - Terms and definitions. Forest resources Assessment Working Paper 180, Rome
<http://www.fao.org/3/ap862e/ap862e00.pdf>

FAO (2018): Zero-deforestation commitments: A new avenue towards enhanced forest governance? Forestry Working Paper 3, Rome, <http://www.fao.org/3/i9927en/i9927EN.pdf>

FAO and UNECE (2019): Forest Products Annual Market Review 2018-2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations Economic Commission for Europe
<https://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/SP48.pdf>

FAO and UNEP (2020): The State of the World's Forests 2020 - Forests, biodiversity and people. Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations environment programme, Rome
<https://doi.org/10.4060/ca8642en>

Faul, A.; Geistbeck, M.; Wollschläger, U. (2018): Quo vadis, Mixed Paper? - Aspects of quality and availability of paper for recycling. INGEDE Symposium Munich

Fedrowitz, K.; Koricheva, J.; Baker, S.; Lindenmayer, D.; Palik, B.; Rosenthal, R.; Beese, W.; Franklin, J.; Kouki, J.; Macdonald, E.; Messier, C.; Sverdrup-Thygeson, A.; Gustafsson, L. (2014): Review: Can retention forestry help conserve biodiversity? - A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 51 (6), pp. 1669–79
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12289>

Fehrenbach, H.; Köppen, S.; Markwardt, S.; Vogt, R. (2016): UBA Texte 09/2016. Aktualisierung der Eingangsdaten und Emissionsbilanzen wesentlicher biogener Energienutzungspfade (BioEm). Bearbeitung durch ifeu, Heidelberg.

Felton, A.; Sonesson, J.; Nilsson, U.; Lämås, T.; Lundmark, T.; Nordin, A.; Ranius T.; Roberge, J.-M. (2017): Varying rotation lengths in northern production forests: Implications for habitats provided by retention and production trees. *Ambio* 46, pp. 324–334
<https://doi.org/10.1007/s13280-017-0909-7>

Forest Europe (2020): State of Europe's Forests 2020. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe
https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/SoEF_2020.pdf
FSC International Center (2010): FSC Standard for Finland. FSC-STD-FIN-(Ver1-1)-2006 Finland natural forests EN. Date: 08 November 2010
<https://fsc.org/en/document-centre>

FSC International Center (2015): National Forest Stewardship Standard for Czech Republic. FSC-STD-CZE-03-2013 Czech Natural and Plantations EN. Publication date: 22 May 2015
<https://fsc.org/en/document-centre>

FSC International Center (2018a): International Generic Indicators. FSC-STD-60-004 V2-0 EN, Bonn
<https://fsc.org/en/document-centre>

FSC International Center (2018b): FSC-US Forest Management Standard (V1.1). FSC-STD-USA-1.1-2018. Approval date: 16 February 2018, Bonn
<https://fsc.org/en/document-centre>

FSC International Center (2018c): FSC National Forest Stewardship Standard of Canada. FSC-STD-CAN-01-2018 EN. Approval date: 19.10.2018
<https://fsc.org/en/document-centre>

FSC International Center (2020a): Policy on Conversion. FSC-POL-01-007 V 1-0, Draft 3-0, Bonn
<https://fsc.org/en/document-centre>

FSC International Center (2020b): The FSC National Forest Stewardship Standard of Sweden. FSC-STD-SWE-03-2019. Publication date: 30 June 2020, Bonn
<https://fsc.org/en/document-centre>

FSC International Center (2020c): The FSC National Forest Stewardship Standard of Russian Federation. FSC-STD-RUS-02-2020 EN. Publication date: 22 September 2020
<https://fsc.org/en/document-centre>

FSC International Center (2020d): The FSC National Forest Stewardship Standard of the Republic of Cameroon. FSC-STD-CMR-02-2020 EN. Publication date: 29 September 2020, Bonn

FSC International Center (2021): Policy on Conversion FSC-POL-01-007 V 1-0, Revisions between draft 3-0 and current draft 4-0
<https://fsc.org/en/document-centre>

Generandi (2016): European Pulpwood Import Markets. Generandi Trading Ltd.
https://events.risiinfo.com/wood-fiber/sites/default/files/presentations/2017/Prados%20Presentation_0.pdf

Gromke, U.; Detzel, A. (2006): Ökologischer Vergleich von Büropapieren in Abhängigkeit vom Faserrohstoff. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Berlin

Gustafsson, L.; Kouki, J.; Sverdrup-Thygeson, A. (2010): Tree Retention as a Conservation Measure in Clear-Cut Forests of Northern Europe: A Review of Ecological Consequences. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25 (4), 295–308
<https://doi.org/10.1080/02827581.2010.497495>

Gustafsson, L.; Hannerz, M.; Koivula, M.; Shorohova, E.; Vanha-Majamaa, I.; Weslien, J. (2020): Research on retention forestry in Northern Europe. *Ecological Processes* (2020) 9:3
<https://doi.org/10.1186/s13717-019-0208-2>

Harris, Z.M.; Spake, R.; Taylor, G. (2015): Land use change to bioenergy: A meta-analysis of soil carbon and GHG emissions. *Biomass and Bioenergy*, 82, pp. 27–39

- Höher, M.; Strimitzer, L. (2018): Import und Export von Holzsortimenten - Marktinformation Teil 4. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Abt. Nachhaltige Finanzen und Standortpolitik, Österreichische Energieagentur Austrian Energy Agency, Wien
- Hoxha, E.; Passer, A.; Saade, M. R. M.; Trigaux, D. Shuttleworth, A.; Pittau, F.; Allacker, K.; Habert, G. (2020): Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods. *Buildings and Cities*, 1(1), pp. 504–524. DOI: <https://doi.org/10.5334/bc.46>
- ILCD (2010): Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context, JRC, Ispra
- INGEDE (2013): Bewertung der Rezyklierbarkeit von Druckprodukten – Prüfung des Fragmentierhaltens von Klebstoffapplikationen. INGEDE e.V. (Internationale Forschungsgemeinschaft Deinking-Technik e.V.). <http://pub.ingede.com/methoden/#:~:text=Diese%20INGEDE-Methode%20beschreibt%20ein%20Verfahren%20zur%20Pr%C3%BCfung%20des%20Fragmentier,Bewertung%20der%20Rezyklierbarkeit%20von%20Druckerzeugnissen>
- IPR (2015): Recyclingpapier-Report 2015, Aktive Sektoren für Ressourcenschutz
- IPR (2016): Recyclingpapier: Kleiner Mehraufwand, großer Effekt für die Umwelt. In: *UmweltDialog* 29.08.2016
- Jandl, R.; Vesterdal, L.; Olsson, M.; Bens, O.; Badeck, F.; Rock, J. (2007): Carbon sequestration and forest management. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 2 (17) <http://www.cabi.org/cabreviews/review/20073124578>
- Juntheikki, J. (2014): Estimation of Eucalyptus Forest Plantations Carbon Sequestration Potential in Uruguay with the CO2fix Model. Master's thesis. University of Helsinki - Faculty of Agriculture and Forestry, May 2014
- Keenan, R. J.; Reams, G. A.; Achard, F.; de Freitas, J. V.; Grainger, A.; Lindquist, E. (2015): Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment, *Forest Ecology and Management*, 352, pp. 9 – 20
- Kleinschroth, F.; Rayden, T.; Ghazoul, J. (2019): The Dilemma of Maintaining Intact Forest Through Certification. *Front. For. Glob. Change* 2:72. doi: 10.3389/ffgc.2019.00072
- Köhl, M.; Lasco R.; Cifuentes, M.; Jonsson, Ö.; Korhonen, K.T.; Mundhenk, P. (2015): Changes in forest production, biomass and carbon: Results from the 2015 UN FAO Global Forest Resource Assessment. *Forest Ecology and Management*, 352, pp. 21–34
- Kruys, N.; Fridman, J.; Götmark, F.; Simonsson, P.; Gustafsson, L. (2013): Retaining Trees for Conservation at Clearcutting Has Increased Structural Diversity in Young Swedish Production Forests. *Forest Ecology and Management* 304, pp. 312–21 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.018>
- Kuuluvainen, T.; Lindberg, H.; Vanha-Majamaa, I.; Keto-Tokoi, P.; Punttila, P. (2019): Low-level retention forestry, certification, and biodiversity: case Finland. *Ecological Processes* (2019) 8:47 <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0198-0>
- LEIPA (2020): Partner aus Leidenschaft. Seit 1847. – Innovative und umweltfreundliche Papier- und Verpackungslösungen auf 100 % Recyclingbasis <http://www.leipa.de>
- Lindberg, J.; Stripple, H.; Zhang, Y.; Sanne, K. (2018): Life Cycle Assessment (LCA) of Specialty Paper for Holmen Paper. June, 2018
- Lindenmayer, D. B.; Noss, R. F. (2006): Salvage Logging, Ecosystem Processes, and Biodiversity Conservation: Overview of Salvage Logging. *Conservation Biology* 2006, 20 (4), 949–958 <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00497.x>
- Luke (2020): Forest Industries' Wood Consumption Decreased in 2019. Natural Resources Institute Finland (Luke) <https://www.luke.fi/en/news/forest-industries-wood-consumption-decreased-in-2019/>

Lundmark, H.; Josefsson, T.; Östlund, L. (2017): The Introduction of Modern Forest Management and Clear-Cutting in Sweden: Ridö State Forest 1832–2014. *European Journal of Forest Research* 136 (2), pp. 269–85
<https://doi.org/10.1007/s10342-017-1027-6>

Matthews, R.; Mortimer, N.; Lesschen, J.P.; Lindroos, T.J.; Sokka, L.; Morris, A.; Henshall, P.; Hatto, C.; Mwabonje, O.; Rix, J.; Mackie, E.; Sayce, M. (2015): Carbon impact of biomass consumed in the EU: quantitative assessment. Final project report, project: DG ENER/C1/427. Forest Research: Farnham.

Matthews, R.; Sokka, L.; Soimakallio, S.; Mortimer, N.; Rix, J.; Schelhaas, M.-J.; Jenkins, T.; Hogan, G.; Mackie, E.; Morris, A.; Randle, T. (2014): Review of literature on biogenic carbon and life cycle assessment of forest bioenergy. Final Task 1 report, EU DG ENER project ENER/C1/427, 'Carbon impacts of biomass consumed in the EU'. Forest Research: Farnham.

Meinl, G.; Tempel, L.; Schiefer, M.; Seidemann, C. (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, pp. 397-405

Moldenhauer, T.; Burkard, A.; Geiger, G. A.; Brabender, K.; Windhagen, K. (2018): Paper 2018– Annual Report. German Pulp and Paper Association, Druckerei Brandt GmbH, Bonn

Moldenhauer, T.; Burkard, A.; Geiger, G. A.; Brabender, K.; Steiner, C.; Wieland, S.; Windhagen, S. (2019): Paper 2019 – Annual Report. German Pulp and Paper Association, Bonn

Neeff, T. and Linhares-Juvenal, T. (2017): Zero deforestation initiatives and their impacts on commodity supply chains - Discussion paper prepared for the 57th Session of the FAO Advisory Committee on Sustainable Forest-based Industries, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome

National Forestry Database (NFD) (2020): Forest area harvested on private and Crown lands in Canada: 5.2 Area harvested by jurisdiction, tenure, management and harvesting method
https://public.tableau.com/views/5_2-Areaharvestedbytenuremethod/5_2_EN?:embed=y&:embed_code_version=3&:loadOrderID=2&:display_count=y&:origin=viz_share_link (03.09.2020)

Oehmichen, K.; Klatt, S.; Gerber, K.; Polley, H.; Röhling, S.; Dunger, K. (2018): Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutz-präferenz und Trendfortschreibung - Szenarientwicklung, Ergebnisse und Analyse. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 59. Braunschweig
https://www.weham-szenarien.de/fileadmin/weham/Ergebnisse/Oehmichen_Die_alternativen_WEHAM-Szenarien_2018.pdf

Orczewska, A.; Czortek, P.; Jaroszewicz, B. (2019): The Impact of Salvage Logging on Herb Layer Species Composition and Plant Community Recovery in Białowieża Forest. *Biodivers Conserv* 2019, 28 (13), 3407–3428.
<https://doi.org/10.1007/s10531-019-01795-8>.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2019): Intact Forest Landscapes dataset. Environment Directorate, Accompanies the Intact Forest Landscapes dataset, August 2019. Accompanies the Intact Forest Landscapes dataset
https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=INTACT_FOREST_LANDSCAPES

PAS 2050 (2011): Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. BSI System.

EFC RUSSIA Forest Certification System (2015): Forest management standard: PEFC-RUSSIA-ST-01-2015

PEFC Czech Republic (2016): Criteria and indicators of sustainable forest management. TD CFCS 1003:2016, Issue 1

PEFC Swedish Forest Certification System (2017): Swedish PEFC Forest standard: PEFC SWE 002:4

Potapov, P.; Yaroshenko, A.; Turubanova, S.; Dubinin, M.; Laestadius,.; Thies, C.; Aksenov, D.; Egorov, A.; Yesipova, Y.; Glushkov, I.; Karpachevskiy, M.; Kostikova, A.; Manisha, A.; Tsybikova, E.; Zhuravleva, I. (2008): Mapping the world's intact forest landscapes by remote sensing. *Ecology and Society* 13(2): 51.
<http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art51/>

Putz, H.-J. and Schabel, S. (2018): Der Mythos begrenzter Faserlebenszyklen- Über die Leistungsfähigkeit einer Papierfaser. Wochenblatt für Papierfabrikation, pp. 350-357

Pendrill, F. and Persson, U.M. (2017): Combining global land cover datasets to quantify agricultural expansion into forests in Latin America: Limitations and challenges. Vadrevu KP, 12 (7)

Prokopov, A. (2007): Current situation in forest sector and voluntary certification in Russia Union of timber manufacturers and exporters of Russia. Joint UNECE Timber Committee & International Softwood Conference Market Discussions. 8 - 9 October 2007, Geneva
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/docs/tc-sessions/tc-65/md/presentations/07Prokopov.pdf>

Reise, J.; Wenz, E.; Kukulka, F.; Line, A.; Winter, S. (2017a): Bewertung der Waldbiodiversität der WEHAM-Szenarien. Fachbereich Wald und Umwelt der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE) im Teilprojekt „Biodiversitätsschutzwirkungen“ des Verbundprojektes „WEHAM-Szenarien“, AFZ Wald 72 (13), 32-34
https://www.weham-szenarien.de/fileadmin/weham/Ergebnisse/AFZ_13_17_8_Bewertung_der_Waldbiodiversitaet_der_WEHAM-Szenarien.pdf

Reise, J.; Wenz, E.; Kukulka, F.; Trotzer, S.; Winter, S. (2017b): Biodiversität in Zahlen – Die Bundeswaldinventur als Grundlage für ein Biodiversitätsmonitoring im Wald. Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Universität Potsdam
https://www.weham-szenarien.de/fileadmin/weham/Ergebnisse/AFZ_13_17_8_Bewertung_der_Waldbiodiversitaet_der_WEHAM-Szenarien.pdf

Repenning, J.; Emele, L.; Blanck, R.; Cook, V.; Harthan, R.; Hermann, H.; Förster, H.; Greiner, B.; Jörß, W.; Loreck, C.; Ludig, S.; Kasten, P.; Matthes, F.; Scheffler, M.; Schumacher, K.; Wiegmann, K.; Zell-Ziegler, C.; Braungardt, S.; Eichhammer, W.; Fleiter, T.; Schломann, B.; Steinbach, J.; Ziesing, H.J. (2018): Politikszenerarien für den Klimaschutz VII – Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2035. In der Reihe Climate Change. Bearbeitung durch Öko-Institut Berlin und Fraunhofer ISI, Karlsruhe. Forschungskennzahl 3714 41 104 0

Sabatini, F.M.; Burrascano, S.; Keeton, W.S.; et al. (2018): Where are Europe's last primary forests?. Diversity and Distributions. 2018; 24: pp. 1426–1439
<https://doi.org/10.1111/ddi.12778>

Schabel, S. (2019): Neue Methoden zur Erfassung der Altpapierqualität hinsichtlich der Kriterien der Neufassung der DIN EN 643 zur Charakterisierung der Altpapiersorten. IGF-Vorhaben Nr. 19118 N., Darmstadt

Schau, E. M.; Davidsson, B.; Neyroumande, E. (2016): Product Environmental Footprint (PEF) Category Rules (PEFCR) - Intermediate Paper Products. Joint Research Centre, confederation of European paper industries, European Commission

Schier, F. and Weimar, H. (2018): Holzmarktmodellierung - Szenarienbasierte Folgenabschätzung verschiedener Rohholzangebotssituationen für den Sektor Forst und Holz. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Working Paper 91, Braunschweig

Schönheit, E.; Trauth, J. (2013): Kritischer Papierbericht 2013. Weiterentwicklung des Umweltzeichens Blauer Engel, UFOPLAN-Vorhaben FKZ 3709 95 302

Schütze, G.; Günther, J.; Fee, E.; Klatt, A.; Döring, U.; Schmitz, D.; Behnke, A.; Reichart, A.; Nowack, A.; Brozowski, F.; Fischer, J.; Güth, M.; Schwanemann, T.; Hofmeier, K. (2021): Hintergrund - Umweltschutz, Wald und nachhaltige Holznutzung in Deutschland. Umweltbundesamt (Hrsg.). 2. Überarbeitete und aktualisierte Auflage – März 2021, Dessau-Roßlau
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_hgp_umweltschutzwald_u_nachhaltigeholznutzung_bf.pdf

Sédillot, B. (2018): Récolte de boiset production de sciages en 2018. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation Secrétariat Général, Paris

SFIF (2020): Forest Industries. Swedish Forest Industries Federation
<https://www.forestindustries.se/forest-industry/>

Silva, D. A. L.; Raymundo Pavan, A. L.; Augusto de Oliveira, J.; Ometto, A. R. (2015): Life cycle assessment of offset paper production in Brazil: hotspots and cleaner production alternatives. *Journal of Cleaner Production*, 93, pp. 222–233
doi:10.1016/j.jclepro.2015.01.030

Simonsson, P.; Gustafsson, L.; Östlund, L. (2015): Retention Forestry in Sweden: Driving Forces, Debate and Implementation 1968–2003. *Scandinavian Journal of Forest Research* 30 (2), pp. 154–73
<https://doi.org/10.1080/02827581.2014.968201>

Skogsstyrelsen (2019): Market Statement 2019 – Sweden. Swedish Forest Agency, Geneva

StBA (2019): Uncoated paper and paperboard, of a kind used for writing, printing or other graphic purposes, and non-perforated punchcards and punch tape paper, in rectangular sheets with one side measuring 297 mm and the other side 210 mm A4 format: Import flows, period January to December 2017, Eurostat International Trade Statistics

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2015): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Forstwirtschaftliche Bodennutzung – Holzeinschlagsstatistik 2014. Fachserie 3, Reihe 3.3.1
https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00130336

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2016): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Forstwirtschaftliche Bodennutzung – Holzeinschlagsstatistik 2015. Fachserie 3, Reihe 3.3.1
https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00130336

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2017): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Forstwirtschaftliche Bodennutzung – Holzeinschlagsstatistik 2016. Fachserie 3, Reihe 3.3.1
https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00130336

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2018): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Forstwirtschaftliche Bodennutzung – Holzeinschlagsstatistik 2017. Fachserie 3, Reihe 3.3.1
https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00130336

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2019): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Forstwirtschaftliche Bodennutzung – Holzeinschlagsstatistik 2018. Fachserie 3, Reihe 3.3.1
https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00130336

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2020): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Forstwirtschaftliche Bodennutzung – Holzeinschlagsstatistik 2019. Fachserie 3, Reihe 3.3.1
https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00130336

Storaenso (2020): Environmental Statement 2018.
<https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/sustainability/environmental-statement-2018.pdf> (10.02.2020)

Tellnes, L.G.F.; Ganne-Chedeville, C.; Dias, A.; Dolezal, F.; Hill, C.; Zea Escamilla, E. (2017): Comparative assessment for biogenic carbon accounting methods in carbon footprint of products: a review study for construction materials based on forest products. *iForest* 10: 815–823. – doi: 10.3832/IFOR2386-010 [online 2017-09-25]

Tiedemann, A.; Tiedemann, C. B.; Buschardt, A.; Georgi, B.; Giersberg, G.; Goosmann, G.; Gregor, H.-D.; Mehlhorn, B.; Modi, A.; Neitzel, H.; Oels, H.-J.; Schmitz, S.; Suhr, M. (2000): Ökobilanz graphische Papiere – Vergleich von Verwertungs- und Beseitigungsverfahren für graphische Altpapiere sowie Produktvergleiche für Zeitungsdruck-, Zeitschriften- und Klopierpapiere unter Umweltgesichtspunkten. Umweltbundesamt, Berlin

Tikkanen, O.-P.; Martikainen, P.; Hyvärinen, E.; Junninen, K.; Kouki, J. (2006): Red-Listed Boreal Forest Species of Finland: Associations with Forest Structure, Tree Species, and Decaying Wood. *Annales Zoologici Fennici*, 43, pp. 373–383

Thorn, S.; Bässler, C.; Brandl, R.; Burton, P. J.; Cahall, R.; Campbell, J. L.; Castro, J.; Choi, C.-Y.; Cobb, T.; Donato, D. C.; Durska, E.; Fontaine, J. B.; Gauthier, S.; Hebert, C.; Hothorn, T.; Hutto, R. L.; Lee, E.-J.; Leverkus, A. B.; Lindenmayer, D. B.; Obrist, M. K.; Rost, J.; Seibold, S.; Seidl, R.; Thom, D.; Waldron, K.; Wermelinger, B.; Winter, M.-B.; Zmihorski, M.; Müller, J. (2018): Impacts of Salvage Logging on Biodiversity: A Meta-Analysis. *Journal of*

Applied Ecology 55(1): 279–289
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12945>.

Tork (2020): <https://www.tork.de/services/tork-papercircle>

Umweltbundesamt (2015): Altpapiersortierung und –aufbereitung. Informationspapier des Umweltbundesamts, Dessau-Roßlau, Deutschland.
https://www.cleaner-production.de/images/BestPractice/data_de/WPS.pdf

UN (2019): Le Marché du bois en France - Situation actuelle et perspectives à court terme. United Nations, Ministère de l’agriculture et de l’alimentation, Direction générale de la performance économique et environnementale des entreprises, Service du Développement des Filières et de l’Emploi, Sous-direction des filières Forêt-bois, Cheval et Bioéconomie, Bureau des Entreprises Forestières et des Industries du Bois, Genf
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/country-info/statements/France2019.pdf>

UN (2020): United Nations Global Sustainable Development Goals Database. United Nations Statistics Division Development Data and Outreach Branch
<https://unstats.un.org/sdgs/indicators/database/>

UPM (2020): UPM Annual Report 2018.
https://www.upm.com/siteassets/asset/investors/2018/upm_ar18_en_190227_web_secured.pdf

United States Department of Agriculture (USDA) (2015). Annual reforestation and timber stand improvement report: Fiscal Year 2015
<https://www.fs.fed.us/forestmanagement/vegetation-management/reforest-tsi.shtml>

United States Department of Agriculture (USDA) (2016). Annual reforestation and timber stand improvement report: Fiscal Year 2016
<https://www.fs.fed.us/forestmanagement/vegetation-management/reforest-tsi.shtml>

United States Department of Agriculture (USDA) (2017). Annual reforestation and timber stand improvement report: Fiscal Year 2017
<https://www.fs.fed.us/forestmanagement/vegetation-management/reforest-tsi.shtml>

United States Department of Agriculture (USDA) (2018). Annual reforestation and timber stand improvement report: Fiscal Year 2018
<https://www.fs.fed.us/forestmanagement/vegetation-management/reforest-tsi.shtml>

United States Department of Agriculture (USDA) (2019). Annual reforestation and timber stand improvement report: Fiscal Year 2019
<https://www.fs.fed.us/forestmanagement/vegetation-management/reforest-tsi.shtml>

Welle, T.; Sturm, K.; Bohr, Y. (2018): Alternativer Waldzustandsbericht: Eine Waldökosystemtypen-basierte Analyse des Waldzustandes in Deutschland anhand naturschutzfachlicher Kriterien. Naturwald Akademie

Wellenreuther, F.; Detzel, A.; Krüger, M.; Busch, M. (2022): Updated life-cycle assessment of graphic and tissue paper, background report. ifeu, Heidelberg. WWF (Hrsg.) (2011): Ein Zustandsbericht - Globale Waldzerstörung und ihre Auswirkungen auf Klima, Mensch und Natur. 2. Auflage 2011, WWF Schweiz & WWF Deutschland; Stand Mai 2011