

CustomLCA

# Ökobilanzen grafischer Papiere und Hygienepapiere, 2024

Erarbeitung Inventare und Auswertung Ökobilanzen

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU

## Impressum

**Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.**

### **Auftraggeber**

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Ökonomie und Innovation, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

### **Auftragnehmer**

Carbotech AG, Basel

### **Verfasser/Autoren**

Cornelia Stettler, Lars Blumberg, Carbotech AG

### **Externes kritisches Gutachten**

Roman Zürcher, ecopaper

### **Begleitung**

Peter Gerber, BAFU, Sektion Konsum und Produkte (Leitung)

Pierryyves Padey, BAFU, Sektion Konsum und Produkte

Geneviève Doublet, BAFU, Fachstelle ökologische öffentliche Beschaffung

Nicolas Leippert, GS-UVEK, Leiter Fachstelle RUMBA

Martin Schwengeler, BBL, Leiter Publikationen

Roman Zürcher, ecopaper (Reviewer)

Anzahl Seiten: 45

Interne Referenz: P23-0682

Basel, 23. Januar 2025

—

Dieser Bericht wurde von der Carbotech AG mit Sorgfalt erarbeitet unter Verwendung aller uns zur Verfügung stehenden, aktuellen und angemessenen Hilfsmittel und Grundlagen, dies im Rahmen der vertraglichen Abmachung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung der Vereinbarung bezüglich eingesetzter Ressourcen. Die Grundlagen der Bewertungsmethode, auf welcher dieser Bericht basiert, können ändern. Danach sind die Schlussfolgerungen nicht mehr uneingeschränkt gültig und vom Auftraggeber nur noch auf eigene Verantwortung verwendbar. Aus dem Inhalt dieses Berichtes hervorgehende Veröffentlichungen, welche Resultate und Schlussfolgerungen daraus nur teilweise und nicht im Sinne des Gesamtberichtes darstellen, sind nicht erlaubt. Insbesondere dürfen solche Veröffentlichungen diesen Bericht nicht als Quelle angeben oder es darf nicht anderweitig eine Verbindung mit diesem Bericht oder der Carbotech AG hergestellt werden können. Für Forderungen ausserhalb des oben genannten Rahmens lehnen wir jegliche Verantwortung gegenüber dem Auftraggeber sowie Dritten ab.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>1 Ausgangslage und Auftrag</b>	<b>7</b>
1.1 Ausgangslage und Zielsetzung	7
1.2 Auftrag und Vorgehen	7
1.2.1 Erarbeitung Inventardaten	7
1.2.2 Berechnung der Ökobilanzen der 12 Papiere	8
1.2.3 Aufbereiten und Bereitstellen der Daten der Kopierpapiere und Hygienepapiere (Durchschnittswerte)	9
<b>2 Methodik</b>	<b>9</b>
2.1 Festlegung der Zielsetzung und Rahmenbedingungen	9
2.1.1 Zielsetzung	9
2.1.2 Funktionelle Einheit	10
2.1.3 Systemgrenzen	10
2.1.4 Sensitivitätsanalysen	10
2.1.5 Kritischer Review	11
2.2 Sachbilanz	11
2.2.1 Inputdaten	11
2.2.2 Allokationen	11
2.2.3 Annahmen	12
2.2.3.1 Umweltfussabdruck Elektrizität	12
2.2.3.2 Energetische Nutzung Deinking- und Papierschlämme, Ersatzbrennstoffe	12
2.3 Sachbilanz	12
2.4 Wirkbilanz	13
2.4.1 Umfang der Wirkbilanz	13
2.4.2 Treibhausgasemissionen nach IPCC 2021, GWP 100a (IPCC, 2021)	13
2.5 Bewertung	14
2.5.1 Methode der ökologischen Knappheit 2021	14
2.5.2 Environmental Footprint EF 3.1	15
<b>3 Resultate</b>	<b>16</b>
3.1 Vergleich Umweltbelastung Kopierpapiere	16
3.2 Detailanalyse der Kopierpapiere	17
3.2.1 KP1 Kopierpapier, 100% Zellstoff, hochweiss	17
3.2.2 KP2 Kopierpapier, 100% Zellstoff, hochweiss	18
3.2.3 KP3 Kopierpapier, Sandwich, 30% Recycling und 70% Zellstoff	19
3.2.4 KP4 Kopierpapier, 100% Recycling, grau-weiss	20
3.2.5 KP5 Kopierpapier, 100% Recycling, grau-weiss	21
3.3 Vergleich Umweltbelastung Kuverts	22
3.4 Detailanalyse der Kuverts	23
3.4.1 K1 Kuvert, 100% Recycling, braun	23
3.4.2 K2 Kuvert, 100% Recycling, weiss	24
3.4.3 K3 Kuvert, 100% Recycling, grau	25
3.5 Vergleich Umweltbelastung Hygienepapiere	26

3.6	Detailanalyse der Hygienepapiere	27
3.6.1	HP4 Toilettenpapier, 100% Recycling, weisslich	27
3.6.2	HP1 Toilettenpapier, 100% Zellstoff, hochweiss	28
3.6.3	HP5 Papierhandtücher, 100% Recycling, weiss	29
3.6.4	HP2 Papierhandtücher, 100% Zellstoff, hochweiss	30
3.6.5	HP3 Haushaltpapier, 100% Zellstoff, hochweiss	31
3.7	Sensitivitätsanalysen	32
3.7.1	Unsicherheiten Pestizide und Luftemissionen	32
3.7.2	Allokation hochwertiges Altpapier	32
3.7.3	Auswahl Stromprodukt	33
3.7.4	Allokation energetische Nutzung Abfallfraktionen	34
<b>4</b>	<b>Diskussion und allgemeine Erkenntnisse</b>	<b>35</b>
4.1	Vergleich der Kopierpapiere	36
4.2	Vergleich der Kuverts	36
4.3	Vergleich der Hygienepapiere	36
4.4	Empfehlungen für die Beschaffung	36
<b>5</b>	<b>Literatur</b>	<b>37</b>
	<b>Anhang</b>	<b>A-1</b>
<b>A1</b>	<b>Resultate Umweltfussabdruck nach UBP 2021</b>	<b>A-1</b>
<b>A2</b>	<b>Resultate Umweltfussabdruck nach EF</b>	<b>A-2</b>
<b>A3</b>	<b>Resultate Klimafussabdruck nach IPCC</b>	<b>A-3</b>
<b>A4</b>	<b>Inventare für die BAFU-Datenbank</b>	<b>A-4</b>
A4.1	Inventare grafischer Papiere (Kopierpapier/Kuverts)	A-5
A4.2	Inventare Hygienepapiere	A-7

# Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Ökobilanzierung von 12 Produkten von Kopier-, Kuvert- und Hygienepapier wird für die Beschaffung eine Grundlage zur Bewertung der Umweltauswirkungen im Rahmen von RUMBA (Ressourcen und Umweltmanagement der Bundesverwaltung) erstellt. Die Ergebnisse aus älteren Studien werden aktualisiert und mit zusätzlichen Produktkategorien ergänzt. Die Umweltbelastung wird mit der Methode der ökologischen Knappheit (UBP-Methode; UBP = Umweltbelastungspunkte) aus dem Jahr 2021 dargestellt. Ergänzend zur Gesamtbetrachtung der Umweltbelastung mit Umweltbelastungspunkten wurden Analysen mit Fokus auf die Treibhausgasemissionen erstellt sowie eine zweite umfassende Betrachtung der Umweltbelastung mit der europäischen Methode Environmental Footprint EF 3.1 durchgeführt.

Angaben zur Produktion und zur Lieferdistanz für den Einkauf in der Schweiz wurden soweit möglich bei Herstellern erhoben. Die Resultate der damit verbundenen Umweltbelastung der einzelnen Produkte sind im hier vorliegenden Bericht zusammengefasst und einer mittleren Produktion gegenübergestellt. Letztere wurde aus den gesammelten Daten der Hersteller sowie Literaturangaben und öffentlich zugänglichen Ökobilanzdaten hergeleitet und für die Verwendung in der Datenbank der Bundesverwaltung (BAFU:2024) aufbereitet.

Die Beurteilung der Papiere bezieht sich auf die Produktion von 1 t Papier inklusive der Lieferung zum Kunden. Unterschiede im Verbrauch beim Endkunden aufgrund des gewählten Blattgewichts des grafischen Papiers oder der Anzahl Lagen beim Hygienepapier sind nicht adressiert und zusätzlich als Faktor beim Entscheid und Einkauf zu berücksichtigen.

## Ergebnisse der Umweltbilanz von grafischen Papieren

Das Ergebnis der Umweltbelastung der analysierten Kopierpapiere und Kuverts ist in Abbildung 1 relativ zum Ergebnis der Referenz einer durchschnittlichen Produktion grafischer Papiere aus Frischfasern dargestellt.

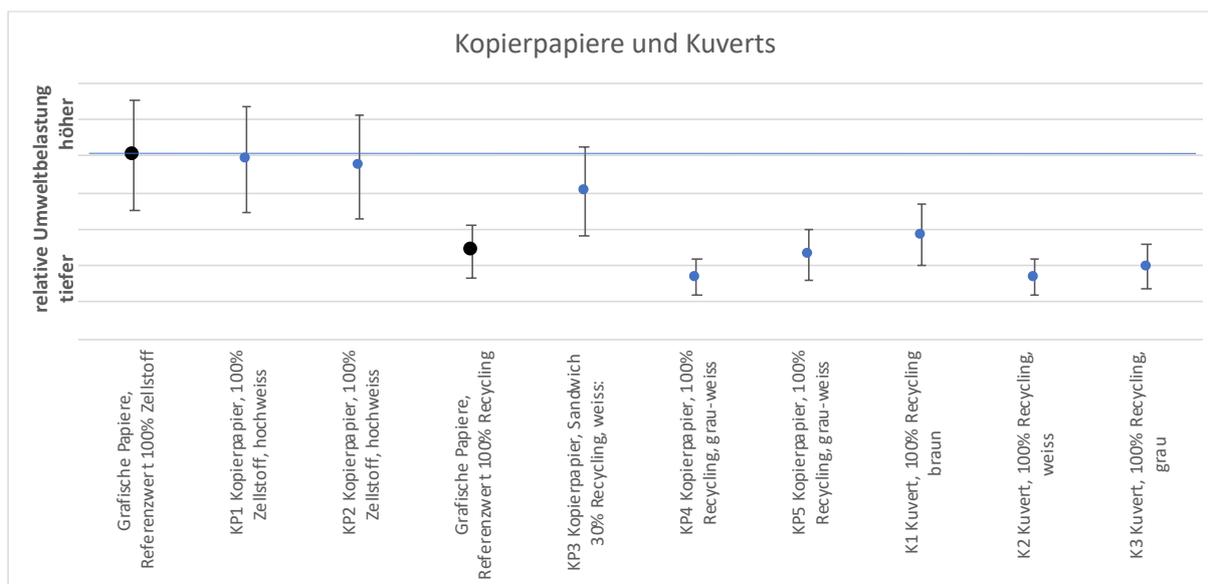


Abbildung 1: Vergleich der Umweltbelastung der verschiedenen Kopierpapiere und Kuverts

Recyclingpapiere schneiden mit der geringeren Landnutzung und der Einsparung von Holz im Vergleich zu Frischfaserpapieren besser ab<sup>1</sup>. Der Wert des Hybridpapieres mit 30% Recyclingfasern liegt dazwischen. Innerhalb der Frischfaserpapiere liegt die Umweltbelastung der analysierten Produkte im Bereich des Referenzwertes einer durchschnittlichen Produktion Frischfaserpapier. Innerhalb der Recyclingpapiere liegt die Umweltbelastung der analysierten Kopierpapiere teilweise etwas unter und teilweise etwas über dem Vergleichswert einer durchschnittlichen Produktion Recyclingpapier. Eine geringere Umweltbelastung erzielen in erster Linie Kopierpapiere und Kuverts mit höheren Anteilen erneuerbarer Energie in der Papierproduktion.

### Ergebnisse der Umweltbilanz von Hygienepapieren

Das Ergebnis der Umweltbelastung der analysierten Hygienepapiere ist in Abbildung 2 relativ zum Ergebnis der Referenz einer durchschnittlichen Produktion Frischfaser-Hygienepapier dargestellt.

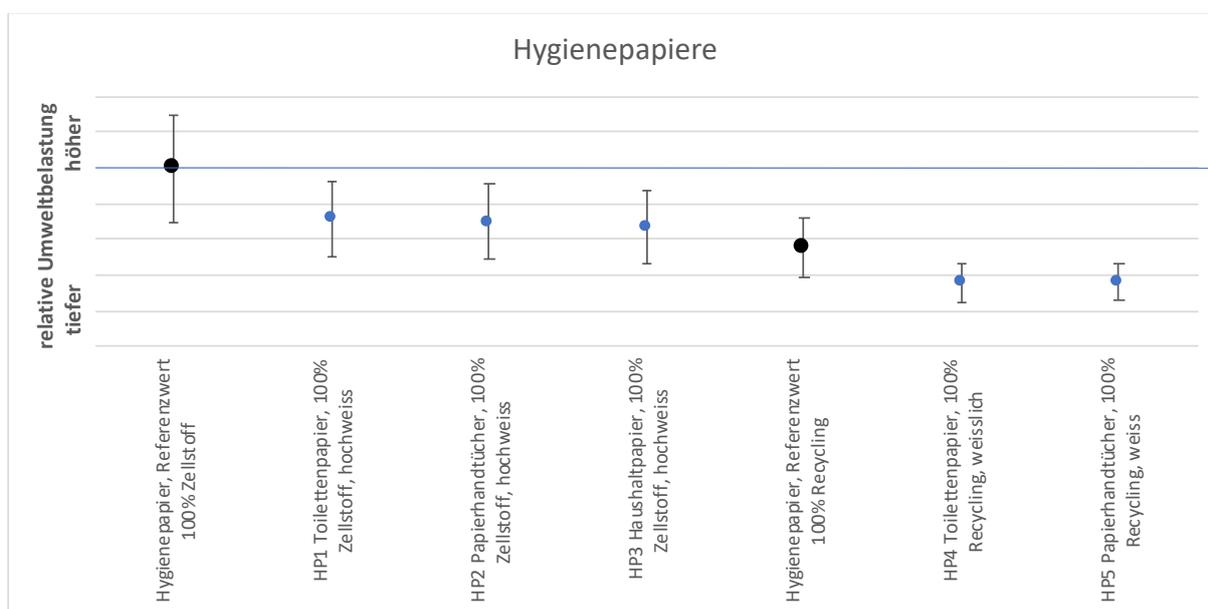


Abbildung 2: Vergleich der Umweltbelastung der verschiedenen Hygienepapiere

Bei den analysierten Hygienepapieren stammen alle Produkte vom gleichen Hersteller mit zwei Produktionsstandorten. Unterschiede zwischen WC-Papier, Haushaltspapier und Handtücher ergeben sich gemäss den Angaben des Herstellers aus den Unterschieden der eingesetzten Fasern und der Beigabe von Nassfestmitteln. Die übrigen Produktionsaufwände beruhen bei allen Produkten auf den gleichen Datengrundlagen zur Papierproduktion. Auch hier schneiden die Recycling-Hygienepapiere aufgrund der geringeren Landnutzung und der Einsparung von Holz besser ab als die Frischfaser-Hygienepapiere. Die Umweltbelastung der Produkte des Herstellers fällt im Vergleich zur Referenz einer durchschnittlichen Produktion Hygienepapier geringer aus, aufgrund der geringeren Anteile fossiler Energie in der Herstellung.

### Einfluss der Beiträge der CO<sub>2</sub>-Bilanz auf die Umweltbilanz der analysierten Papiere

Für den Beitrag der CO<sub>2</sub>-Bilanz entscheidend sind die eingesetzten Energieträger für die Wärme- und Stromproduktion bei den einzelnen Herstellern. Dies gilt gleichermassen für Frischfaser- und Recyclingpapiere. Bei den Herstellern zeichnet sich ein zunehmender Ersatz von fossiler Energie ab. Als Alternativen sind bei den analysierten Herstellern Biomasse, Reststoffe der Materialaufbereitung, für die Papierproduktion, Ersatzbrennstoffe, Klärschlämme und Abwärme aus der Industrie im Einsatz.

<sup>1</sup> Anbau Holz zu 100% dem Frischfaserprodukt angerechnet.

# 1 Ausgangslage und Auftrag

## 1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Mit dem Ressourcen- und Umweltmanagementsystem RUMBA (Ressourcen- und Umweltmanagement der Bundesverwaltung) setzte der Bundesrat im Jahr 2006 der Bundesverwaltung Ziele, die Treibhausgas-Emissionen (THG-E) und die Gesamtumweltbelastung kontinuierlich zu senken. Durch das 2019 beschlossene «Klimapaket Bundesverwaltung» wurden die Ziele noch verschärft. Neben Flugreisen und Wärme gehört Papier zu den drei Kategorien, die am meisten zu der von der Bundesverwaltung verursachten und abgeschätzten Umweltbelastung beitragen.

Damit die von der Bundesverwaltung beschafften und aktuell verwendeten Papiere (Kopierpapiere, Kuverts, Hygienepapiere und Papierhandtücher) hinsichtlich ihrer Umweltwirkung im Rahmen von RUMBA bewertet und bei künftigen Beschaffungsvorhaben möglichst ökologische Papiere beschafft werden können, werden aktuelle Ökobilanzen der heute auf dem Markt verfügbaren und heute verwendeten Papiere benötigt.

Mit der vorliegenden Studie werden die Ökobilanzen von grafischen Papieren der Bundesverwaltung auf einen neuen Stand gebracht und mit neuen Papiertypen ergänzt. Die Berechnungen werden mit der neuen Version der Methode der ökologischen Knappheit (UBP-Methode; UBP = Umweltbelastungspunkte) aus dem Jahr 2021 berechnet und damit die Bewertung auf die aktuelle Situation der Emission an Schadstoffen und des Verbrauchs von Ressourcen sowie der von der schweizerischen Umweltpolitik gesetzten Ziele aktualisiert. Die Resultate der Studie sind damit nicht direkt mit älteren Analysen vergleichbar.

Für die von der Bundesverwaltung verwendeten Frischfaser- und Recyclingpapiere (Kopierpapiere, Kuverts, Hygienepapiere, Papierhandtücher und Papiere für interne und externe Druckaufträge) werden Ökoinventardaten erhoben und Ökobilanzen für die Produkte berechnet. Die einzelnen Ökobilanzergebnisse werden in Vergleichsgrafiken einander gegenübergestellt. Die Resultate und Inventare der durchschnittlichen Hygienepapiere und grafischen Papiere werden für die Verwendung in Ökobilanzrechnern und Datenbanken aufbereitet und zur Verfügung gestellt.

## 1.2 Auftrag und Vorgehen

Aus der Zielsetzung ergeben sich die drei folgenden Arbeitspakete.

### 1.2.1 Erarbeitung Inventardaten

Erarbeitung und Aufbereitung von herstellereinspezifischen Inventardaten und Herleitung der Mittelwerte der Produktion in Europa für eine Einordnung der Produkte sowie die Verwendung in Datenbanken und Ökobilanzrechnern. Diese Erarbeitung erfolgt für die nachfolgenden Papierprodukte mit Umfragen bei Herstellern sowie mit ergänzenden Literaturrecherchen für die Herleitung von Durchschnittsdaten der Industrie:

#### **Kopierpapiere (KP)**

- *KP1 Kopierpapier, 100% Zellstoff, hochweiss: A4+A3, leicht satiniert, 100-200 g/m<sup>2</sup>, FSC, EU Ecolabel*
- *KP2 Kopierpapier, 100% Zellstoff, hochweiss: A4+A3, leicht satiniert, 90 g/m<sup>2</sup>, FSC, EU Ecolabel*
- *KP3 Kopierpapier, Sandwich 30% Recycling, weiss: A4+A3, 80 g/m<sup>2</sup>, weiss, FSC, ICE, EU Ecolabel*

- *KP4 Kopierpapier, 100% Recycling, grau-weiss: A4+A3, 135-er Weisse, 80 g/m<sup>2</sup>, blauer Engel*
- *KP5 Kopierpapier, 100% Recycling, grau-weiss: A4+A3, 85-er Weisse, 80 g/m<sup>2</sup>, grau, blauer Engel*

Für die unterschiedlichen Produkte wurden Herstellerangaben eingeholt.

#### **Kuverts (K)**

- *K1 Kuvert, 100% Recycling braun: C4, C5 und C6, braun, Kraft*
- *K2 Kuvert, 100% Recycling, weiss: C4, C5 und C6, FSC, blauer Engel, weiss*
- *K3 Kuvert, 100% Recycling, grau: C4, C5 und C6, grau*

Für die unterschiedlichen Produkte wurden Herstellerangaben eingeholt.

#### **Hygienepapiere (HP)**

- *HP1 Toilettenpapier, 100% Zellstoff, hochweiss: Rolle à 250 Blatt, 2- oder 3-lagig, lagenverleimt, hochweiss, chlorfrei gebleicht, ohne Duftstoffe, Zellstoff FSC*
- *HP2 Papierhandtücher, 100% Zellstoff, hochweiss: Falthandtuch C-Falz 3-lagig für Behälter, hochweiss chlorfrei gebleicht, ohne Duftstoffe*
- *HP3 Haushaltpapier, 100% Zellstoff, hochweiss: 51 Coupons pro Rolle 3-lagig, Coupongröße 26 x 23 cm, hochweiss unbedruckt, ohne Zusatz von optischen Aufhellern, ohne Duftstoffe, Zellstoff FSC mixed*
- *HP4 Toilettenpapier, 100% Recycling, weisslich: Rolle à 250 Blatt 3-lagig, lagenverleimt, weisslich, ohne Zusatz von optischen Aufhellern, ungefärbt, unbedruckt, deinked, ohne Duftstoffe*
- *HP5 Papierhandtücher, 100% Recycling, weiss: Falthandtuch C-Falz 2-lagig für Behälter, weiss ungefärbt, unbedruckt, deinked, ohne Zusatz von optischen Aufhellern, ohne Duftstoffe*

Für die unterschiedlichen Produkte wurden Herstellerangaben eingeholt.

#### **Literaturrecherchen für Referenzwerte grafische Papiere und Hygienepapiere**

- Literaturangaben zur Papierproduktion in Europa. Publikationen der Best Available Techniques (European Commission. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies., 2015)
- Publierte Ökobilanzstudien zur Papierproduktion aus Deutschland (Wellenreuther u. a., 2022)
- Ökobilanzdaten und Grundlagen aus EPD für Zellstoffe, Hygienepapier (Rossmann, 2019), grafische Papiere sowie aus Umweltberichten der Hersteller von Zellstoffen und Papierprodukten
- Energiestatistiken zum Einsatz der Energie in der Papier- und Zellstoffindustrie (Cepi ©, 2023)

### **1.2.2 Berechnung der Ökobilanzen der 12 Papiere**

Die Berechnungen der Ökobilanzen werden mit der Methode der ökologischen Knappheit 2021 durchgeführt. Um sicher zu gehen, dass die Ergebnisse nicht von methodischen Eigenheiten beeinflusst werden, werden parallel die Berechnungen auch mit der Methode Environmental Footprint EF 3.1 durchgeführt. Die Grafiken sind im Anhang enthalten. Um den heutigen starken Fokus auf die Klimawirkung aufzunehmen, werden die Berechnungen zusätzlich auch noch mit dem Indikator CO<sub>2</sub>-eq. des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks ausgeführt.

Die Grafiken zeigen einerseits die Herkunft der Umweltwirkung pro Papier (Quellenanalyse des Papiers, aufgeteilt in Fasern, Chemikalien, Energie, Wasseremissionen und Transporte, sowie eine Analyse der Schadstoffquellen der Umweltbelastung des spezifischen Papiers) und andererseits den Überblick über die analysierten Produkte innerhalb einer Papierkategorie (Vergleich der Papiere der Kategorie, z.B. Kopierpapiere). Die Grafiken waren so bereits im Bericht «Ökobilanz verschiedener grafischer Papiere, 2014» der Carbotech AG von Mai 2014 enthalten und haben sich bewährt. In den Vergleichsgrafiken sind die Ökobilanzergebnisse der untersuchten Papiere einander und Durchschnittspapieren gegenübergestellt.

### 1.2.3 Aufbereiten und Bereitstellen der Daten der Kopierpapiere und Hygienepapiere (Durchschnittswerte)

Es werden Inventardaten für das Einlesen in die Datenbank der Bundesverwaltung (BAFU:2024) aufbereitet. Dabei wird jeweils eine Recycling- und eine Frischfaser-Variante der drei Produktkategorien erstellt. Als Grundlage für die Herleitung der Durchschnittswerte werden Ergebnisse der Datenerhebungen und Literaturangaben verwendet.

## 2 Methodik

Mit der Ökobilanz werden die Auswirkungen der relevanten Stoff- und Energieflüsse auf die Umwelt über den gesamten Lebensweg oder über Teile davon erfasst. Eine ökologische Bewertung umfasst nach der ISO-Norm 14'040 die folgenden Schritte:

- Festlegung der Ziel- und Rahmenbedingungen
  - Zielsetzung und Zielpublikum
  - Funktionelle Einheit
  - Systemgrenzen
  - Sensitivitätsanalysen
  - Externer Review
- Sachbilanz
  - Inputdaten
  - Allokationen
  - Weitere Annahmen
- Wirkungsabschätzung
- Bewertung (Auswertung und Interpretation)

In dieser Ökobilanz werden die erfahrungsgemäss relevantesten vor- und nachgelagerten Prozesse über den gesamten Lebensweg oder einen bestimmten Teil davon betrachtet. Dabei wird auf vorhandene Inventardaten und die Erfahrung der Carbotech zurückgegriffen. Die damit verbundene Unsicherheit wird in den Resultaten entsprechend dargestellt. Nicht betrachtet und bewertet werden soziale Aspekte, welche zum Beispiel beim FSC-Label als ein Teil der Anforderungen definiert sind. Alle Inputdaten wurden von der Carbotech entweder selber erhoben oder eingehend auf Plausibilität überprüft. Damit kann die Carbotech gewährleisten, dass die Erstellung dieser Ökobilanz nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt worden ist.

## 2.1 Festlegung der Zielsetzung und Rahmenbedingungen

### 2.1.1 Zielsetzung

Wie in Kapitel 1.1 beschrieben, ist das Ziel dieser Ökobilanz-Studie die Erarbeitung von Umweltkennzahlen von eingekauften Papiersorten. Diese sollen als Entscheidungsgrundlage für die ökologische Beschaffung von Papieren zur Verfügung gestellt werden. Dazu wird die Umweltbelastung von insgesamt 12 eingekauften

Produkten aus den Papierkategorien Kopier-, Kuvert- und Hygienepapiere untersucht und mit Referenzwerten einer durchschnittlichen Produktion verglichen. Die Ergebnisse der Umweltbilanz werden im Rahmen von RUMBA (Ressourcen und Umweltmanagement der Bundesverwaltung) verwendet. Für eine breitere Nutzung sollen die Datengrundlagen für durchschnittliche Papiere aufbereitet und als Ökoinventare über die BAFU-Datenbank zur Verfügung gestellt werden.

### 2.1.2 Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit für den Vergleich der Papiere wird die Produktion und Anlieferung von einer Tonne Papier zum Standort des Endverbrauchers (BBL, Bern) definiert, welche für den vorgesehenen Gebrauch ohne technische Einschränkungen verwendbar ist. Die Resultate der Kopierpapiere und Kuverts dieser Ökobilanz können somit nur auf Papiere mit gleichem Flächengewicht (z.B. 80 g/m<sup>2</sup>) und dem gleichen Papierformat direkt angewendet werden. Für einen Vergleich von Papieren mit verschiedenen Flächengewichten (bei gleichem Nutzen) müssen die Ergebnisse entsprechend angepasst und pro Blatt Papier verglichen werden. Bei den Hygienepapieren werden entsprechende Überlegungen zum Blattgewicht mit unterschiedlicher Zahl Lagen und Qualität der Produkte empfohlen.

### 2.1.3 Systemgrenzen

In das System der Ökobilanz eingeschlossen sind alle als relevant betrachteten Stoff- und Energieflüsse der verschiedenen Papiere. Dies sind vor allem die folgenden Parameter:

- Energieverbrauch der Papier- und Zellstoffherstellung, inkl. Informationen bzgl. Primärenergiequelle;
- Eingesetzte Chemikalien und Hilfsmittel der Papier- und Zellstoffherstellung;
- Herkunftsgebiet und Art der Holzproduktion (Waldbewirtschaftung, Plantagenbewirtschaftung, eine Unterscheidung von FSC und nicht-FSC kann aus Mangel an Datengrundlagen nicht vollzogen werden, Effekte auf die Biodiversität, Nährstoffkreisläufe und Wasserhaushalt variieren abhängig vom Standort und sind schwer quantifizierbar);
- Abwasseremissionen (DOC, Dissolved Organic Carbon; COD, Chemical Oxygen Demand; AOX, Absorbable Organic Halogens)
- Luftemissionen (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>)
- Transporte der Zellstoffe bis zur Papierfabrik und Transporte der Papiere bis zum BBL in der Schweiz.

Nicht betrachtet wurde die Produktionsinfrastruktur, da sie sich in ähnlichen Vergleichsstudien (Bradley et al., 1998; Franov et al., 2000) als nicht relevant erwiesen.

Alle vorgelagerten Prozesse werden soweit möglich und sinnvoll von der Wiege bis zur Bahre (“cradle to grave”) abgebildet, während die verglichenen Endprodukte (Papiere) von der Wiege bis zum Standort des Endverbrauchers (“cradle to site”) analysiert werden. Als Standort des Endverbrauchers wurde für diese Studie Bern definiert. Dieser Ansatz wird für vergleichende Produktökobilanzen gewählt, wenn die Nutzungsphase des Produktes keine oder vernachlässigbare Umweltbelastungen verursacht und der Entsorgungsweg nach dem Verkauf nicht vom Produkt selber abhängig ist, sondern nur vom Benutzerverhalten.

### 2.1.4 Sensitivitätsanalysen

Eine Sensitivitätsanalyse wird ausgehend von den dargestellten Resultaten einerseits für relevante Beiträge mit einer grösseren Unsicherheit und andererseits für methodische Entscheidungen erstellt. Die folgenden Schwerpunkte wurden gesetzt:

- Handhabung der Stromprodukte

- Allokationen der energetischen Nutzung Abfälle
- Allokationen für verwendete Altpapiersorten
- Beiträge Partikelemissionen (verwendete Inventare Zellstoffproduktion)
- Beiträge Pestizide (verwendete Inventare Leim und Anbau stärkehaltiger Rohstoffe)

### 2.1.5 Kritischer Review

Eine kritische Prüfung erfolgt durch den Reviewer Roman Zürcher, als Experte für Papiere.

## 2.2 Sachbilanz

### 2.2.1 Inputdaten

Die Inputdaten der spezifischen Produkte und die entsprechenden Prozesse, welche in die Ökobilanz einfließen, werden in diesem Bericht nicht veröffentlicht, da sie von den Herstellern als vertraulich klassiert wurden. Die Inputdaten für die Energie- und Stoffflüsse der Papierproduktion wurden von den Papierherstellern direkt angefragt und basieren auf Daten aus dem Jahr 2022. Nicht vollständige Angaben zum Chemikalieneinsatz, Abwasserwerten und Logistik wurden mit Daten der ermittelten Referenzwerte angenähert. Die erhaltenen Daten wurden mit publizierten Werten und Angaben weiterer Hersteller verglichen und auf Plausibilität geprüft.

Die Inputdaten der Referenzwerte einer durchschnittlichen Produktion basieren einerseits auf den hier erhobenen Herstellerangaben und andererseits auf unterschiedlichen Literaturangaben. Die Referenzwerte werden für die Verwendung in Datenbanken und Ökobilanzrechnern aufbereitet und sind im Anhang A4 aufgeführt.

### 2.2.2 Allokationen

In dieser Ökobilanz wurde für die folgenden eingekauften Produkte Altpapier sowie Sekundärbrennstoffe, industrielle Abwärme und Nebenprodukte der Zellstoffproduktion eine Allokation verwendet:

- Für den Bezug von Wärme aus einem Kraftwerk wurde für das Nebenprodukt der Ansatz Exergie und gemäss der Handhabung in den Inventaren die Datenbank BAFU:2024 angewendet.
- Für die Weitergabe Abwärme aus der Papierproduktion wurde konservativ ein Cut-off verwendet.
- Für Abwärme aus der Kehrrechtverbrennung wurde gemäss der Datengrundlage BAFU:2024 ein Cut-off angewendet und damit keine Emissionen der bezogenen Wärme angerechnet. Umgekehrt wurde bei einem direkten Einsatz von Abfällen als Ersatzbrennstoffe in der Papierproduktion 100% der Emissionen angerechnet (dies gilt sowohl für intern anfallende für die Energieerzeugung genutzten Schlämme und Rejects der Stoffaufbereitung als auch den Einsatz von extern bezogenen Ersatzbrennstoffen).
- Das Altpapier wurde mit Ausnahme hochwertiger und direkt einsetzbarer weisser Abschnitte als «post-consumer» Abfall betrachtet und ein Cut-off angewendet. Damit wird für Altpapier mit geringer Qualität und für bedrucktes Papier höherer Qualität nur der Zusatzaufwand der Sammlung und Aufbereitung dem Recyclingprodukt angerechnet. Für die weissen Abschnitte wurde eine ökonomische Allokation eingesetzt und damit 10% Aufwand der Zellstoffproduktion angerechnet.

Die Handhabung entspricht dem in den Hintergrunddaten verwendeten Ansatz der BAFU-Datenbank und den Ökobilanz-Vorgaben sowie der Schweizer Handhabung der Anrechnung von CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Ersatzbrennstoffen und der Abwärme von KVA. Der Einfluss der Allokationen wird im Kapitel Sensitivitäten diskutiert.

## 2.2.3 Annahmen

### 2.2.3.1 Umweltfussabdruck Elektrizität

Der Energiebedarf der Papierproduktion hat einen entscheidenden Einfluss auf die Ökobilanz des Produkts. Neben der Wärme werden auch grössere Mengen Strom benötigt. Für den Vergleich unterschiedlicher Produkte bestehen drei Möglichkeiten, wie mit der Stromauswahl für die Ökobilanz umgegangen werden kann.

- Option 1: Alle Produkte werden mit dem gleichen Stromprodukt (z.B. Mix Europa) bilanziert. Somit liegt der Fokus der Ökobilanz in dieser Hinsicht auf der Effizienz der Produktionsstandorte, Produzenten mit niedrigerem Stromverbrauch schneiden in der Ökobilanz besser ab.
- Option 2: Jedes Produkt wird mit dem länderspezifischen Stromprodukt bilanziert. Das Stromprodukt entspricht dem Versorgungsmix der Region. Diese berücksichtigt die Inlandproduktion sowie Importe und Exporte. Produktionsstandorte mit einem ökologischen Stromprodukt können trotz eines absoluten Mehrverbrauchs besser in der Ökobilanz abschneiden als Produktionsstandorte mit einem weniger ökologischen Stromprodukt aber niedrigerem absolutem Verbrauch. Eine Verlagerung der Produktion in Länder mit weniger ökologischen Stromprodukten wird bestraft. Energieeffizienzmassnahmen werden durch ökonomische Anreize dennoch angestossen.
- Option 3: Jedes Produkt wird mit dem beim Händler eingekauften Stromprodukt bilanziert. Der Einkauf von Zertifikaten für Ökostrom wirkt sich direkt auf die Bilanz aus. Die Bilanz der einzelnen Jahre hängt ab vom Einkauf der Zertifikate in der betrachteten Periode.

In dieser Studie wird die zweite Option mit dem länderspezifischen Strommix verwendet. Für ein Schweizer Unternehmen wird folglich der Schweizer Strommix verwendet. Der Einfluss der Stromprodukte wird im Kapitel Sensitivitäten illustriert.

### 2.2.3.2 Energetische Nutzung Deinking- und Papierschlämme, Ersatzbrennstoffe

Die Emissionen der energetischen Nutzung unterschiedlicher Abfallfraktionen wird mangels genauerer Angaben mit dem Profil der Emissionen der Entsorgung in der KVA abgeschätzt. Für die biogenen Bestandteile wurden als Annäherung die Emissionen der Verbrennung von Papier und für die fossilen Anteile die Entsorgung von Polyethylen eingesetzt.

## 2.3 Sachbilanz

Die Sachbilanz wurde mit der Ökobilanz-Software SimaPro Version 9.6.0.1 (PRé Consultants, 2023) berechnet und für die Wirkbilanz verwendet. Die gesammelten Vordergrunddaten wurden mit den entsprechenden Hintergrundinventaren aus der Datenbank der Bundesverwaltung (BAFU:2024) verknüpft. Da keine Inventare für Zellstoffe aus Eukalyptus und für den Rohstoff Eukalyptus für die Regionen Südeuropa und Südamerika in der Datenbank vorhanden sind, wurde das bestehende Inventar des Sulfat-Zellstoffs für Eukalyptus aus Thailand kopiert und angepasst für Eukalyptus aus Südamerika und Südeuropa mit Anpassungen auf typische Herstellerländer Brasilien und Spanien für Eukalypten. Neben der Korrektur der Region Landnutzung und Flächenbedarf im Anbau Eukalyptus wurde für die Produktion des Zellstoffes in diesen Regionen das Stromprodukt auf den Ländermix der Region gesetzt.

## 2.4 Wirkbilanz

### 2.4.1 Umfang der Wirkbilanz

In diesem Schritt wird die Sachbilanz bezüglich der Auswirkungen auf die Umwelt bewertet. Im Rahmen dieses Projektes wurden u. a. die folgenden Wirkungen berechnet: Treibhauspotential, nicht erneuerbare energetische Ressourcen, Ozonbildungspotential, Säurebildungspotential, Eutrophierung und Ökosystembelastung. Die einzelnen Wirkungen werden mit Ausnahme der Resultate des Treibhauspotentials nicht explizit dargestellt, weil sie ohne eine weitere Einordnung der Relevanz keine direkte Unterstützung bei der Entscheidungsfindung bieten. Sie bilden jedoch zusammen mit der Bewertungsmethode (siehe Kapitel 2.5) die Basis für die Beurteilung der Resultate und die Erarbeitung der Empfehlungen.

Aufgrund der Zielsetzung der Reduktion der Treibhausgasemissionen wird das Treibhauspotential als relevante Kennzahl für die Beschaffung separat ausgewiesen. Die Resultate dieser Kenngröße sind im Anhang zusammengefasst.

### 2.4.2 Treibhausgasemissionen nach IPCC 2021, GWP 100a (IPCC, 2021)

In dieser Methode wird nur die Umweltwirkung der Klimaerwärmung berücksichtigt. Dabei wird für jede klimarelevante Substanz das Treibhauspotential über 100 Jahre bestimmt. Aus dem Verhältnis zum Treibhauspotential von CO<sub>2</sub> kann damit für jede Emission deren Auswirkungen auf das Klima als entsprechende Menge CO<sub>2</sub> angegeben werden. Daraus resultieren Angaben in sogenannten CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>-eq).

Die pflanzliche Aufnahme und Freisetzung von biogenem CO<sub>2</sub> wird als CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet und ist damit nicht in der Bilanzierung enthalten.

## 2.5 Bewertung

### 2.5.1 Methode der ökologischen Knappheit 2021

Im Rahmen dieser Studie wurde die Methode der ökologischen Knappheit 2021 (Bundesamt für Umwelt, 2021) verwendet. Die Bewertung mittels der Methode der ökologischen Knappheit wurde unter Mitarbeit des Bundesamts für Umwelt weiterentwickelt und ist in der Schweiz etabliert. Die Resultate werden in Umweltbelastungspunkten (UBP) ausgedrückt.

Diese Methode wurde gewählt, weil sie für die Bewertung sowohl die Umweltsituation (Schadstoffemissionen und Ressourcenverbräuche) als auch die Umweltziele der Schweiz berücksichtigt (vgl. Abbildung 3) und somit bezüglich Werthaltung politisch legitimiert und breit abgestützt ist. Betreffend der Verwendung der gesamtaggrierenden Methoden richtet sich die vorliegende Studie nicht ausschliesslich nach der ISO Norm 14'040, sondern geht über diese hinaus.<sup>2</sup>

Die Version UBP 2021 enthält eine überarbeitete Bewertung der Landnutzung und damit verbundene Biodiversitätsverluste. Diese ist abhängig von der Intensität des Anbaus und der Region des Anbaus. Es fehlt eine Differenzierung für die Effekte der FSC Bewirtschaftung im Sinne einer best practice innerhalb der definierten Landnutzungskategorien.

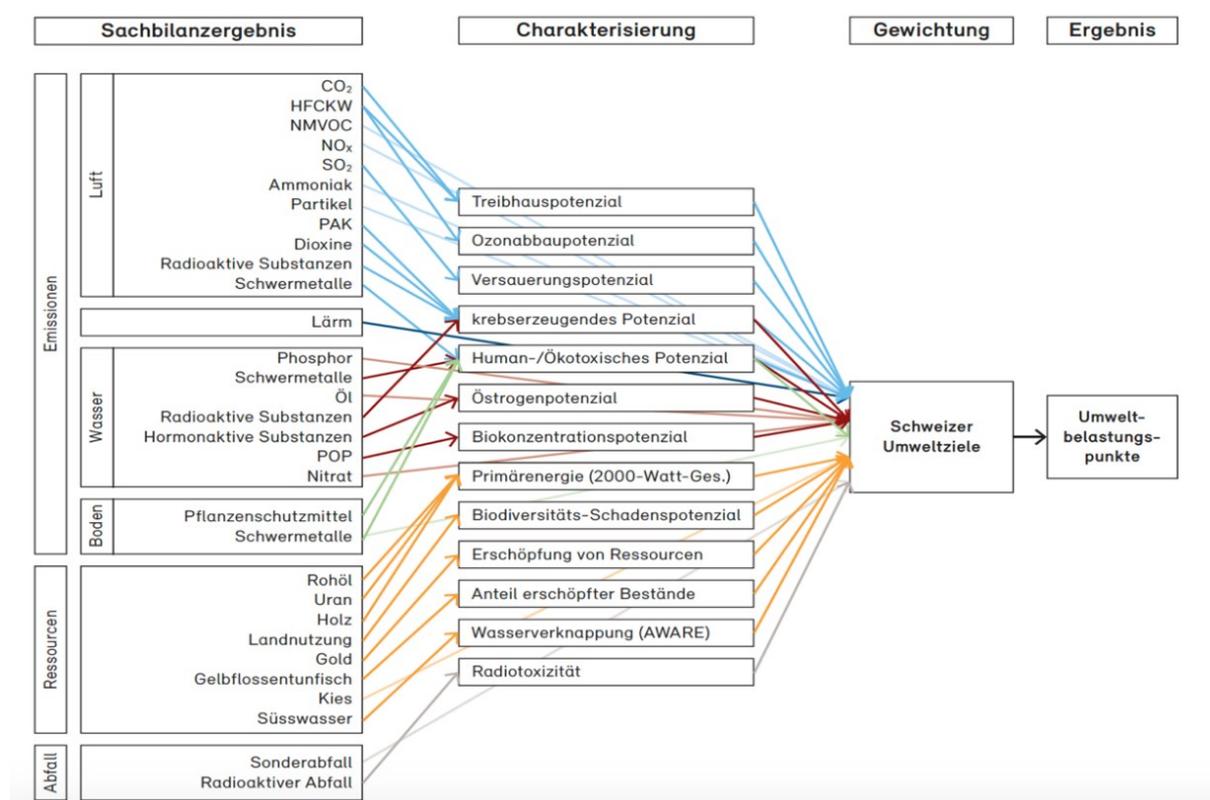


Abbildung 3: Grundschema der Methode der ökologischen Knappheit (Grafik aus Frischknecht u. a., 2021)

<sup>2</sup> Da die Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen von Wertmassstäben abhängig ist, werden diese gesamtaggrierenden Methoden teilweise abgelehnt, z. B. auch von der ISO Norm 14'044. Dabei ist zu beachten, dass auch eine Auswahl der Umweltauswirkungen subjektiv ist. Falls nur ein Teil der Auswirkungen, z. B. nur der CO<sub>2</sub>-Fussabdruck betrachtet wird, kommt dies einer Gewichtung der anderen Auswirkungen mit Null gleich. Die Betrachtung der einzelnen Wirkkategorien kann durchaus hilfreich sein, z. B. zur Ermittlung der Ursachen von spezifischen Auswirkungen und Erarbeitung von möglichen Optimierungspotentialen. Als Entscheidungsgrundlage oder für die Betrachtung der gesamten Umweltauswirkungen dürfen jedoch nicht einzelne Umweltaspekte ausgeklammert werden. Dafür sind gesamt aggrierende Bewertungsmethoden nicht nur hilfreich, sondern notwendig (Kägi u. a., 2016), um die Aussagekraft der Resultate abzusichern.

## 2.5.2 Environmental Footprint EF 3.1

Wie in Abbildung 4 dargestellt, aggregiert die EF Methode die Inputs und Outputs der Sachbilanz in 16 Midpoint Kategorien. Diese Wirkungskategorien werden dann normalisiert und gewichtet. Die gewichteten Wirkungskategorien können anschliessend summiert werden, um den EF Gesamtwert, ausgedrückt in Punkten, zu erhalten (Andreas Bassi, S u. a., 2023).



Abbildung 4: Schema der EF Methode (Grafik aus Andreas Bassi, S u. a., 2023)

### 3 Resultate

In den folgenden Kapiteln werden für die drei Papierkategorien (Kopierpapiere ab 3.1, Kuverts 3.4 und Hygienepapiere ab 3.5) die Resultate zusammengefasst und Sensitivitäten und Unsicherheiten diskutiert (Kapitel 0). Dabei wird jeweils für die Methode der ökologischen Knappheit zunächst eine Übersicht der Umweltbelastung mit dem Vergleich der verschiedenen Varianten Papiere pro Tonne dargestellt und anschliessend pro Produkt eine Detailanalyse. Alle Ergebnisse werden relativ im Vergleich zum hergeleiteten Referenzprodukt einer durchschnittlichen Produktion Frischfaserpapier ausgewiesen. Im Anhang A1 sind ergänzend die absoluten Werte in UBP aufgeführt sowie in Anhang 0 und A3 die Vergleiche der Resultate für die Methode der Bewertung Environmental Footprint EF 3.1 und Treibhausgasemissionen nach IPCC mit Angaben in CO<sub>2</sub>-eq (IPCC 2021, GWP100a).

Die Detailanalysen geben Auskunft über die Quellen der Umweltbelastungen und die entsprechenden Emissionen und Ressourcen. Es werden die Umweltbelastungen aufgetrennt in Transport nach Bern, Faser/Altpapier, Chemikalien, Energie, Transporte Herstellung und Wasseremissionen.

#### 3.1 Vergleich Umweltbelastung Kopierpapiere

In Abbildung 5 werden die untersuchten Kopierpapiere bezüglich der Umweltbelastung pro Tonne Papier miteinander verglichen. Dargestellt sind pro Papier jeweils die Resultate für die Methode der ökologischen Knappheit 2021. Im linken Teil sind die Frischfaserpapiere dargestellt, im rechten Teil die Recycling- und Hybridpapiere. Als Referenz wird das erarbeitete Inventar für den Mittelwert von Frischfaserpapieren gesetzt. Die eingekauften Produkte werden mit diesem Mittelwert ins Verhältnis gesetzt. Die Boxplots geben die Unsicherheiten der Resultate an, also den Bereich, in welchem der jeweilige Wert liegen kann.

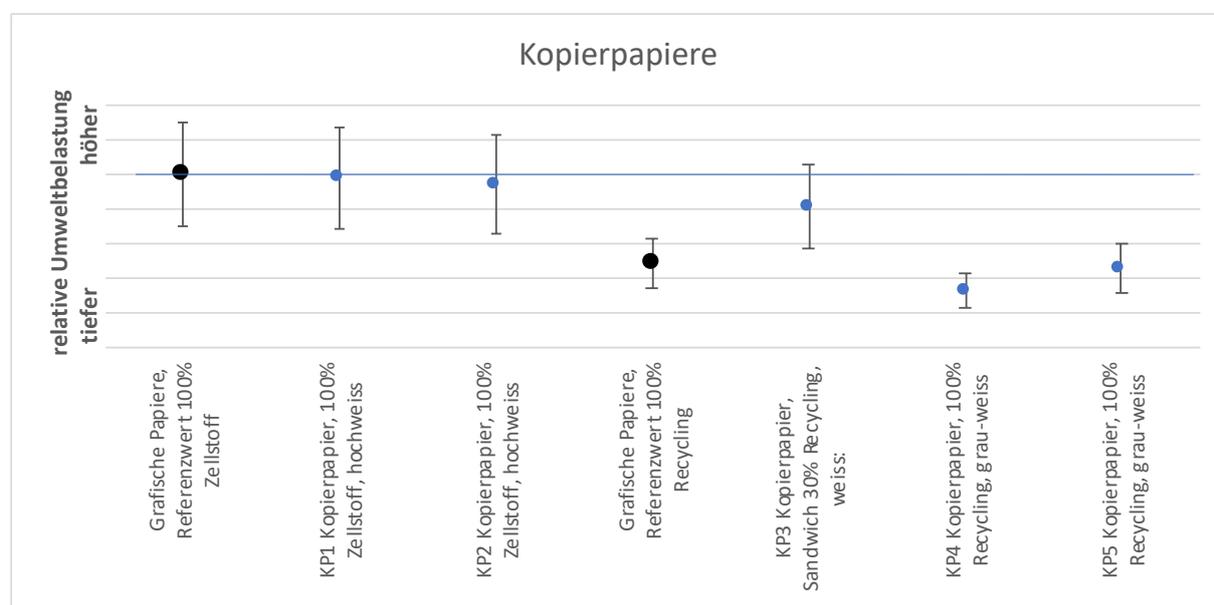


Abbildung 5: Vergleich Umweltbelastung der verschiedenen Kopierpapiere

Die Umweltbelastung der analysierten Frischfaserpapiere liegt im Bereich der Referenz einer mittleren Produktion Frischfaserpapier. Die Ergebnisse sind ausgewiesen pro Tonne Papier, Differenzen ergeben sich in der Bilanz pro Blatt abhängig vom Materialbedarf. Die Umweltbelastung der Recyclingpapiere fällt im Vergleich zu den Frischfaserpapieren aufgrund der geringeren Landnutzung für den Anbau Holz tiefer aus,

beim Hybridpapier reduziert sich die Belastung dank dem Recyclinganteil<sup>3</sup>. Eine geringere Umweltbelastung innerhalb der Recyclingpapiere ist in erster Linie zurückzuführen auf höhere Anteile erneuerbarer Energie bei der Herstellung.

Im folgenden Kapitel werden die Resultate der einzelnen Papiere analysiert und diskutiert.

## 3.2 Detailanalyse der Kopierpapiere

### 3.2.1 KP1 Kopierpapier, 100% Zellstoff, hochweiss

Beim Kopierpapier KP1 (für die Varianten 100-200 g/m<sup>2</sup>) stammt etwas mehr als die Hälfte der Umweltbelastung aus der Bereitstellung des Faserstoffs. Alle anderen Prozesse tragen bis zu etwa 20% oder weniger zur totalen Umweltbelastung bei.

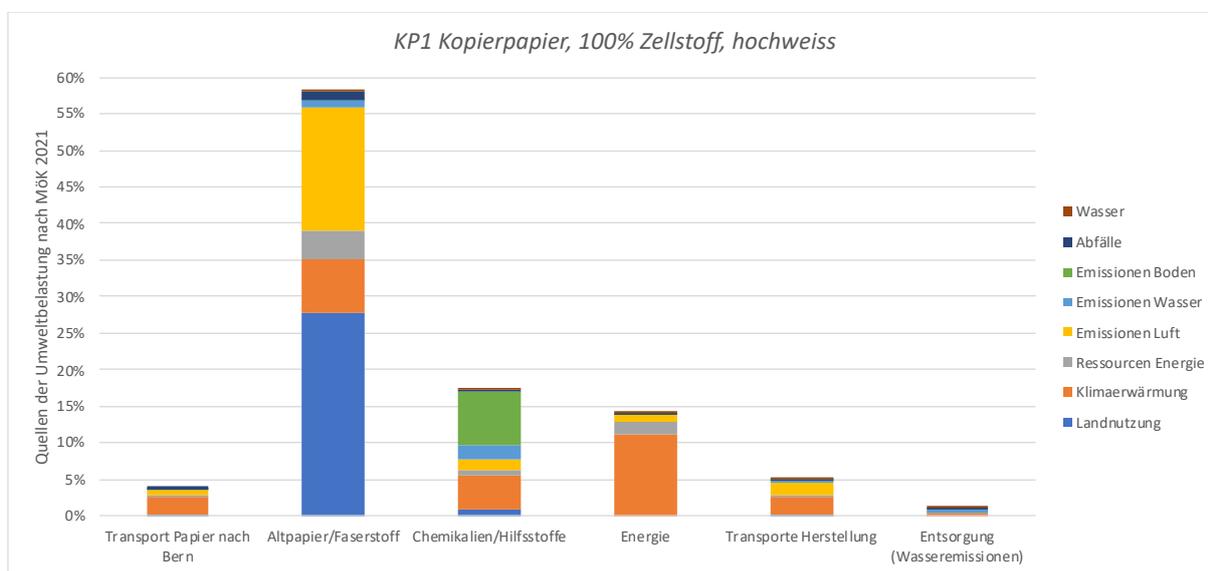


Abbildung 6: Analyse der Quellen der Umweltbelastung von KP1 Kopierpapier, 100% Zellstoff, hochweiss

Bei der Analyse der Umweltbelastung bezüglich der einzelnen Schadstoffe und Einwirkungen wird ersichtlich, dass die Umweltbelastung vor allem durch Landnutzung, Klimaerwärmung sowie Luftverschmutzung und Partikelemissionen entsteht.

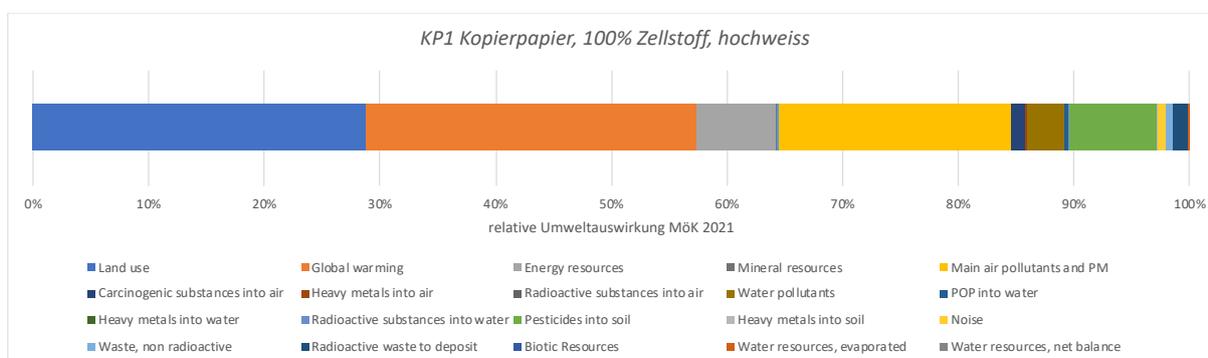


Abbildung 7: Schadstoffquellen der Umweltbelastung für KP1 Kopierpapier, 100% Zellstoff, hochweiss

<sup>3</sup> Anbau Holz zu 100% dem Frischfaserprodukt angerechnet.

### 3.2.2 KP2 Kopierpapier, 100% Zellstoff, hochweiss

Beim Kopierpapier KP2 (für die Variante 90 g/m<sup>2</sup>) stammt etwas mehr als die Hälfte der Umweltbelastung aus der Bereitstellung des Faserstoffs. Alle anderen Prozesse tragen etwa 20% oder weniger zur totalen Umweltbelastung bei.

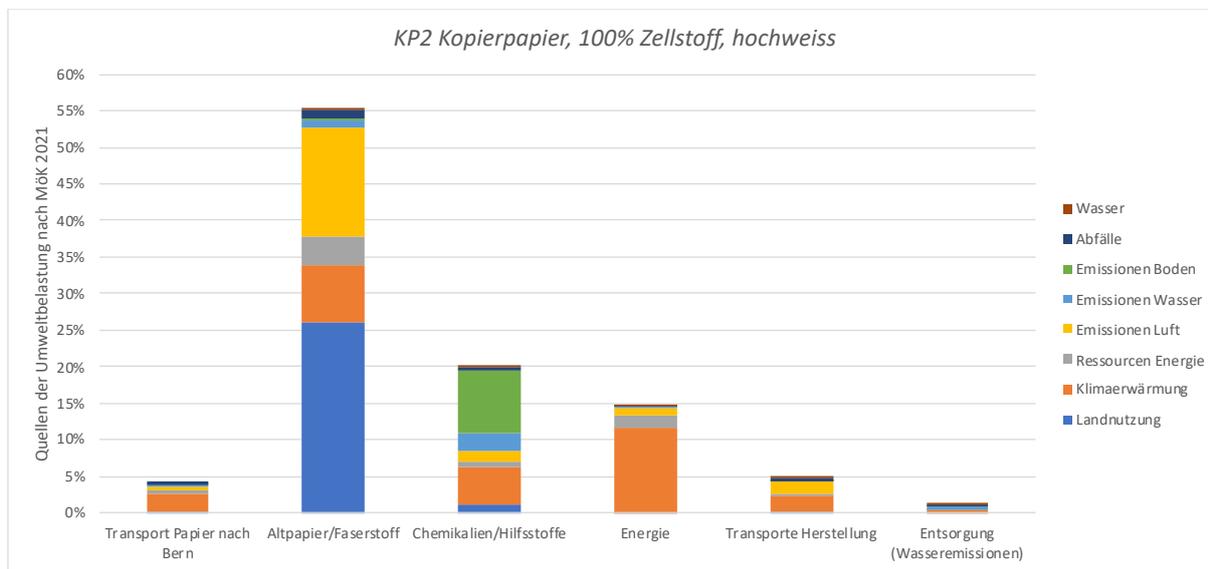


Abbildung 8: Analyse der Quelle der Umweltbelastung KP2 Kopierpapier, 100% Zellstoff, hochweiss

Bei der Analyse der Umweltbelastung bezüglich der einzelnen Schadstoffe und Einwirkungen wird ersichtlich, dass die Umweltbelastung vor allem durch Landnutzung, Klimaerwärmung sowie Luftverschmutzung und Partikelemissionen entsteht.

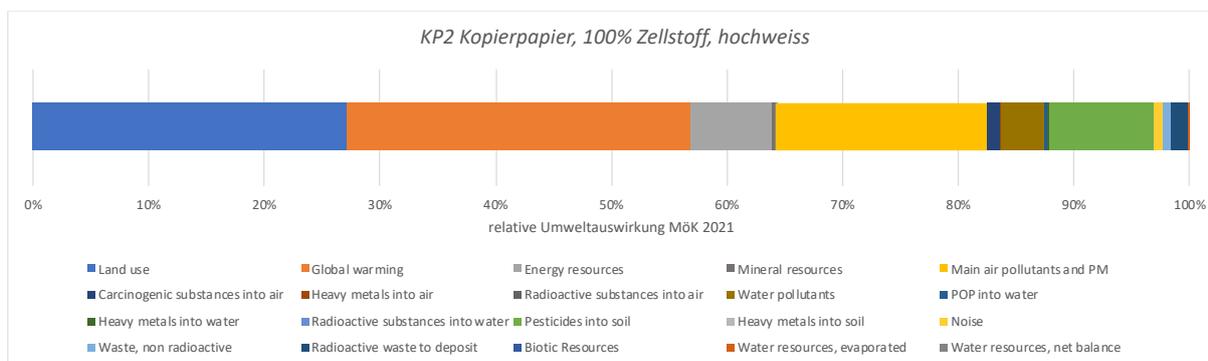


Abbildung 9: Schadstoffquellen der Umweltbelastung von KP2 Kopierpapier, 100% Zellstoff, hochweiss

### 3.2.3 KP3 Kopierpapier, Sandwich, 30% Recycling und 70% Zellstoff

Beim Kopierpapier Hybridpapier mit rund 70% Frischfaseranteil und 30% Recyclingfasern stammt etwa die Hälfte der Umweltbelastung aus der Bereitstellung des Faserstoffs und des Altpapiers. Alle anderen Prozesse tragen bis etwa 20% oder weniger zur totalen Umweltbelastung bei.

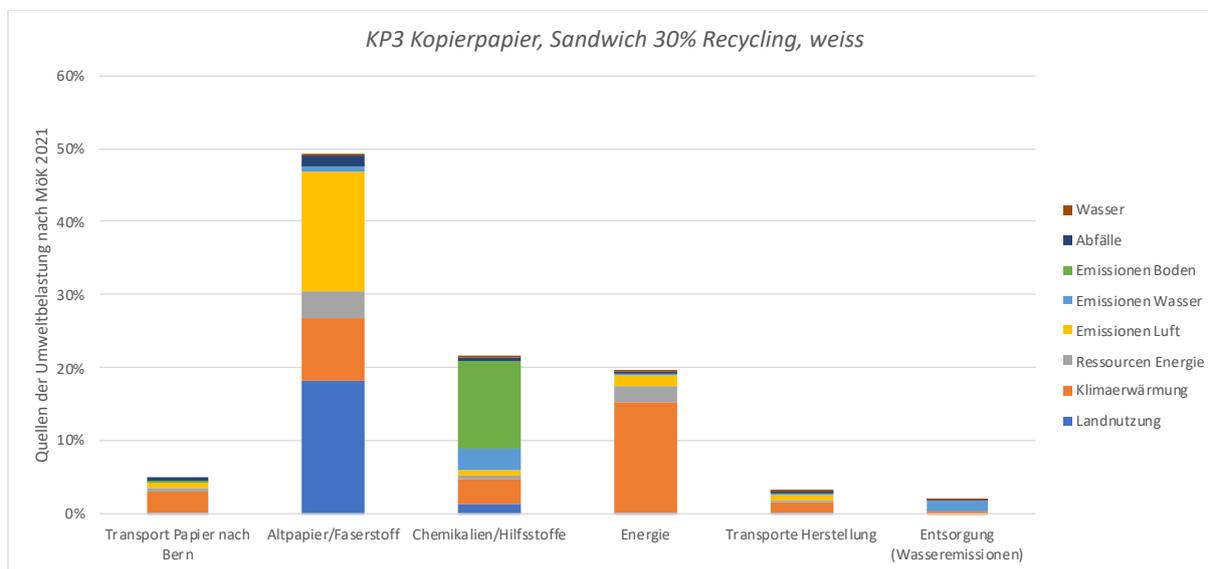


Abbildung 10: Analyse der Quellen der Umweltbelastung für KP3 Kopierpapier, Sandwich 30% Recycling, weiss

Bei der Analyse der Umweltbelastung bezüglich der einzelnen Schadstoffe und Einwirkungen wird ersichtlich, dass die Umweltbelastung vor allem durch Landnutzung, Klimaerwärmung, Luftverschmutzung/Partikelemissionen und Pestizideinträge in den Boden entsteht.

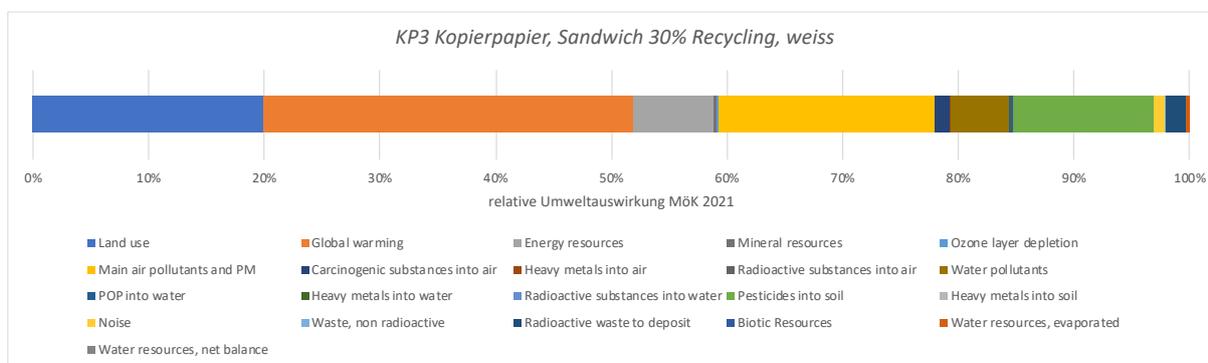


Abbildung 11: Schadstoffquellen der Umweltbelastung von KP3 Kopierpapier, Sandwich 30% Recycling, weiss

### 3.2.4 KP4 Kopierpapier, 100% Recycling, grau-weiss

Beim Recycling Kopierpapier KP4 stammt etwa je ein Drittel der Umweltbelastung von den Chemikalien und Hilfsstoffen sowie der Energie. Alle anderen Prozesse tragen etwa 20% oder weniger zur totalen Umweltbelastung bei.

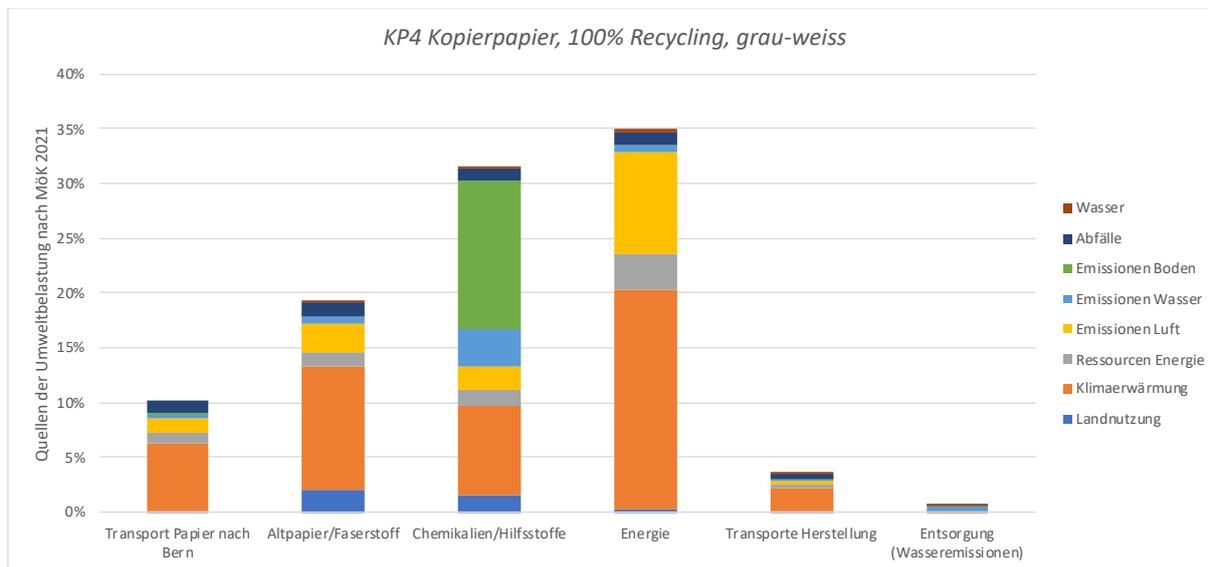


Abbildung 12: Analyse der Quellen der Umweltbelastung für KP4 Kopierpapier, 100% Recycling, grau-weiss

Bei der Analyse der Umweltbelastung bezüglich der einzelnen Schadstoffe und Einwirkungen wird ersichtlich, dass über 40% der Umweltbelastung durch Treibhausgasemissionen mit Wirkung auf die Klimaerwärmung entstehen. Weitere relevante Quellen sind Luftschadstoffe wie z.B. Partikelemissionen und Pestizide.

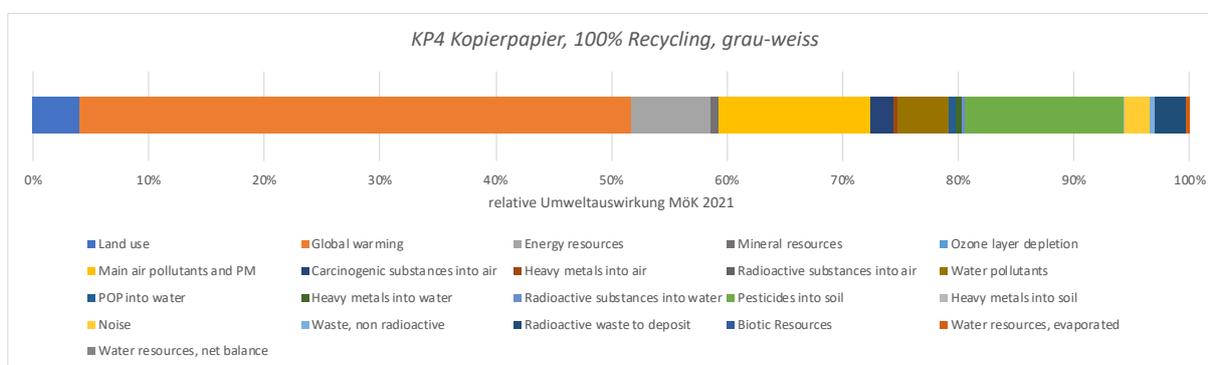


Abbildung 13: Schadstoffquellen der Umweltbelastung von KP4 Kopierpapier, 100% Recycling, grau-weiss

### 3.2.5 KP5 Kopierpapier, 100% Recycling, grau-weiss

Beim Recycling Kopierpapier KP5 wird über die Hälfte der Umweltbelastung durch den Energieverbrauch verursacht. Alle anderen Prozesse tragen 20% oder weniger zur totalen Umweltbelastung bei.

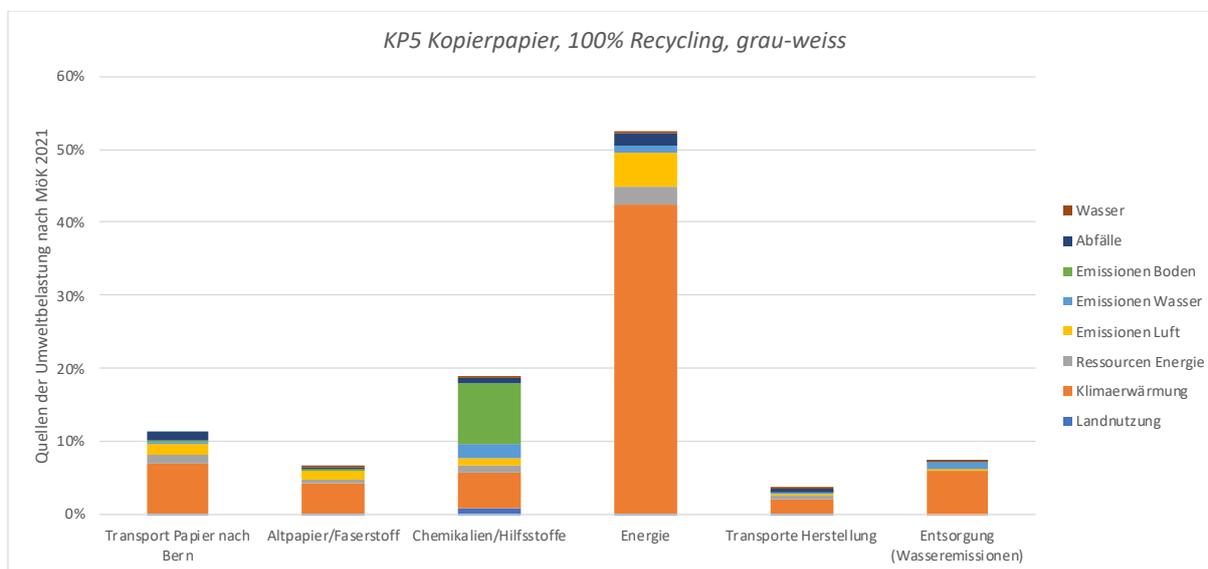


Abbildung 14: Analyse der Quelle der Umweltbelastung für KP5 Kopierpapier, 100% Recycling, grau-weiss

Bei der Analyse der Umweltbelastung bezüglich der einzelnen Schadstoffe und Einwirkungen wird ersichtlich, dass etwa zwei Drittel der Umweltbelastung durch die Klimaerwärmung entstehen. Ausschlaggebend sind fossile Energieträger für Wärme und Strom in der Papierproduktion sowie Treibstoffe für Transporte.

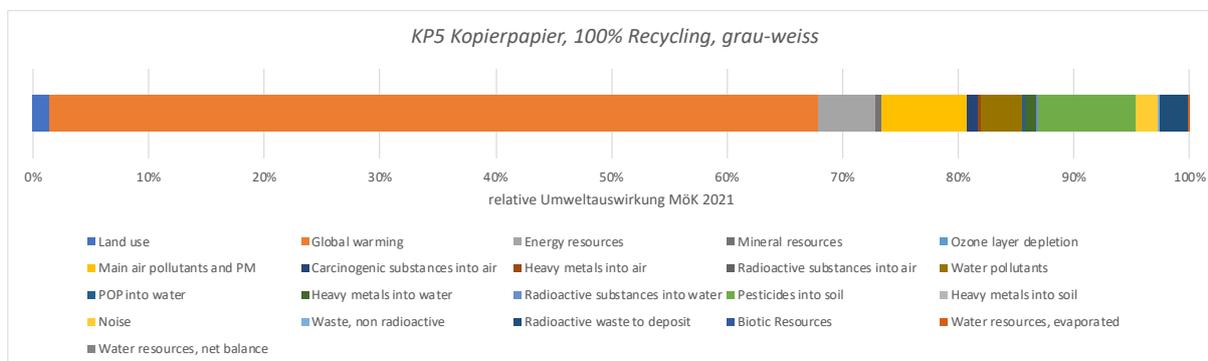


Abbildung 15: Schadstoffquellen der Umweltbelastung von KP5 Kopierpapier, 100% Recycling, grau-weiss

### 3.3 Vergleich Umweltbelastung Kuverts

In Abbildung 16 werden die untersuchten Kuverts bezüglich Umweltbelastung miteinander verglichen. Dargestellt sind pro Papier jeweils die Resultate für die Methode der ökologischen Knappheit 2021. Als Referenz wird das erarbeitete Inventar für den Mittelwert von Frischfaserpapieren gesetzt. Die Recycling-Varianten der eingekauften Produkte werden mit diesem Mittelwert ins Verhältnis gesetzt. Die Boxplots geben die Unsicherheiten der Resultate an, also den Bereich, in welchem der jeweilige Wert liegen kann.

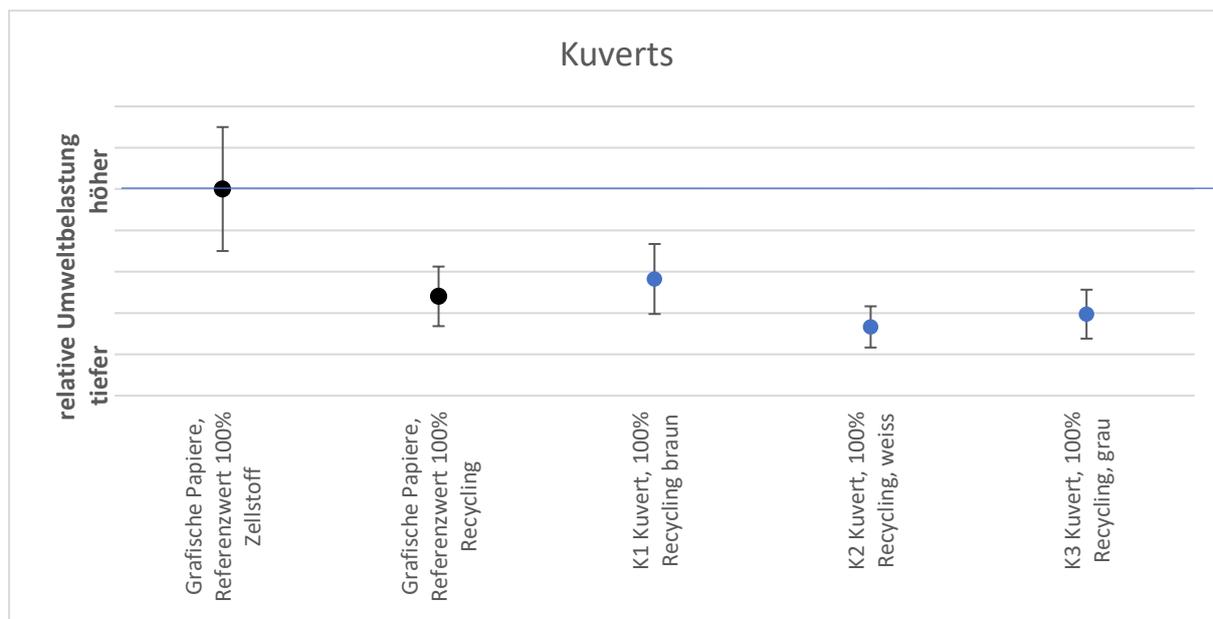


Abbildung 16: Vergleich Umweltbelastung der verschiedenen Kuvertpapiere

Die Umweltbelastung der drei analysierten Produkte liegt im Vergleich pro Tonne in der Grössenordnung des Vergleichswertes eines durchschnittlichen Recyclingpapiers. Innerhalb der Recyclingpapiere führt ein geringerer Energieaufwand und der Einsatz von erneuerbarer Energie zu tieferen Resultaten. Ein weiterer Ersatz fossiler Energie steht im der Produktion der einzelnen Anbieter an. Ein wichtiger Faktor für die Beurteilung des Einkaufs ist das Blattgewicht und der damit verbundene Materialbedarf.

Im folgenden Kapitel werden die Resultate der einzelnen Papiere analysiert und diskutiert.

## 3.4 Detailanalyse der Kuverts

### 3.4.1 K1 Kuvert, 100% Recycling, braun

Bei den Recycling Kuverts K1 stammen etwa die Hälfte der Umweltbelastung aus dem Energieverbrauch (ein Wechsel der Energieversorgung ist anstehend, was in Zukunft zu einer tieferen Umweltbelastung führen dürfte). Alle anderen Prozesse tragen etwa 25% oder weniger zur totalen Umweltbelastung bei.

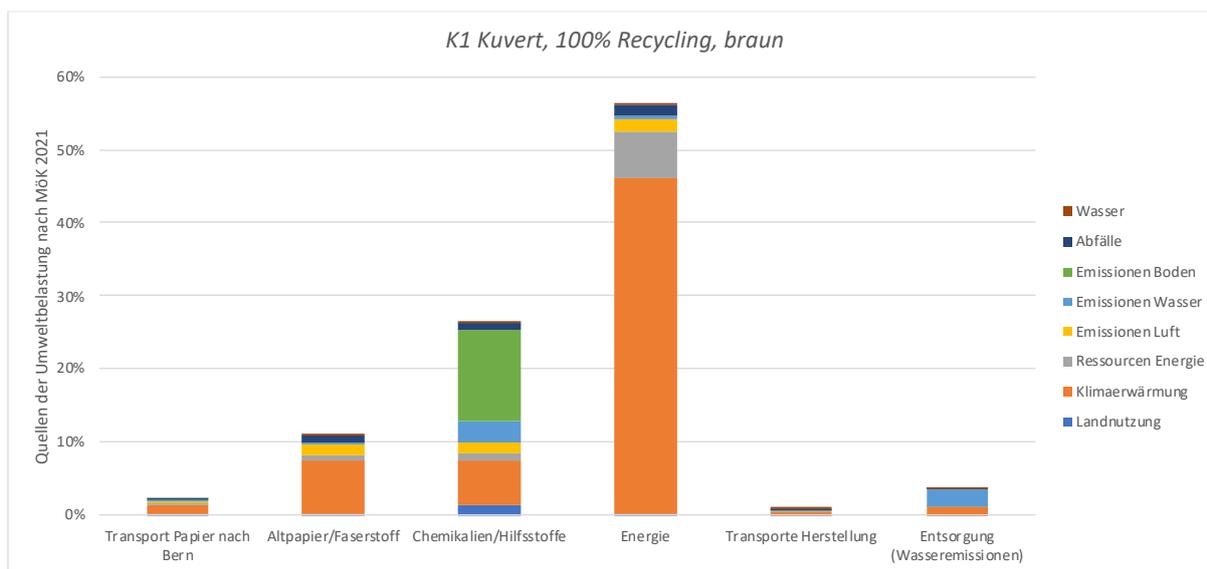


Abbildung 17: Analyse der Quellen der Umweltbelastung für K1 Kuvert, 100% Recycling, braun

Bei der Analyse der Umweltbelastung bezüglich der einzelnen Schadstoffe und Einwirkungen wird ersichtlich, dass die Umweltbelastung vor allem durch Klimaerwärmung aufgrund fossiler Energieträger entsteht.

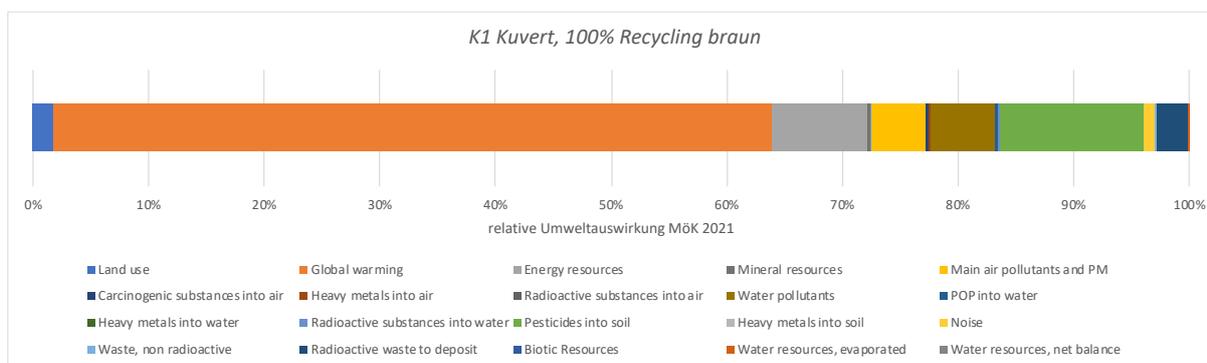


Abbildung 18: Schadstoffquellen der Umweltbelastung von K1 Kuvert, 100% Recycling, braun

### 3.4.2 K2 Kuvert, 100% Recycling, weiss

Beim Recycling Kuvert K2 stammt etwa je ein Drittel der Umweltbelastung vom Energieverbrauch und von den Chemikalien und Hilfsstoffen. Alle anderen Prozesse tragen etwa 20% oder weniger zur totalen Umweltbelastung bei.

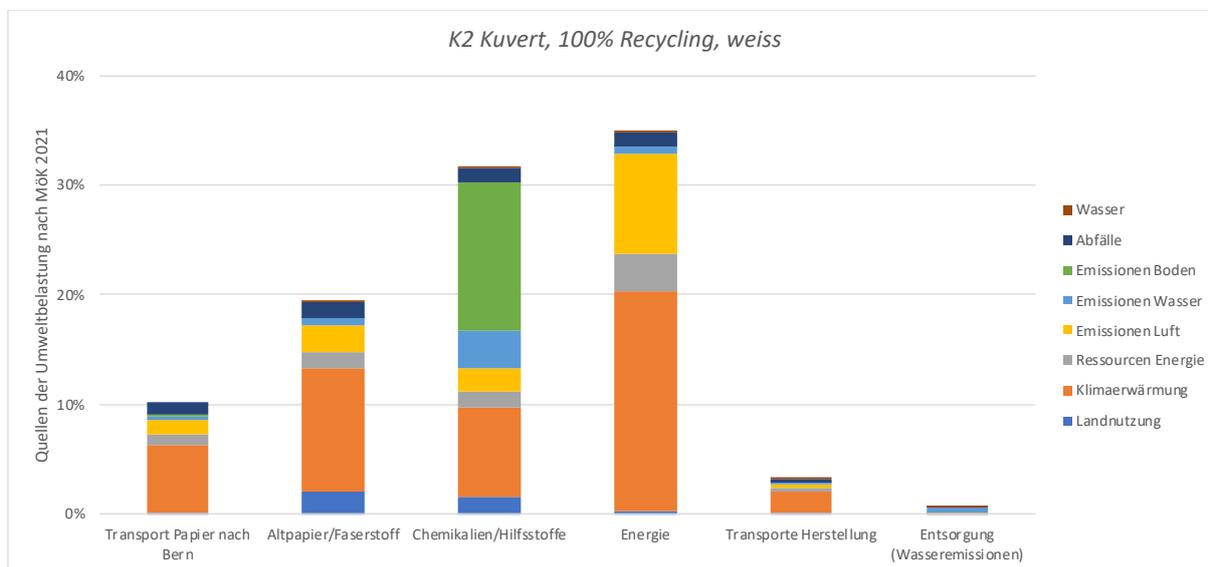


Abbildung 19: Analyse der Quellen der Umweltbelastung für K2 Kuvert, 100% Recycling, weiss

Bei der Analyse der Umweltbelastung bezüglich der einzelnen Schadstoffe und Einwirkungen wird ersichtlich, dass die Umweltbelastung vor allem durch Klimaerwärmung, Luftverschmutzung/Partikelemissionen und Pestizide (Kartoffelstärke) entsteht.

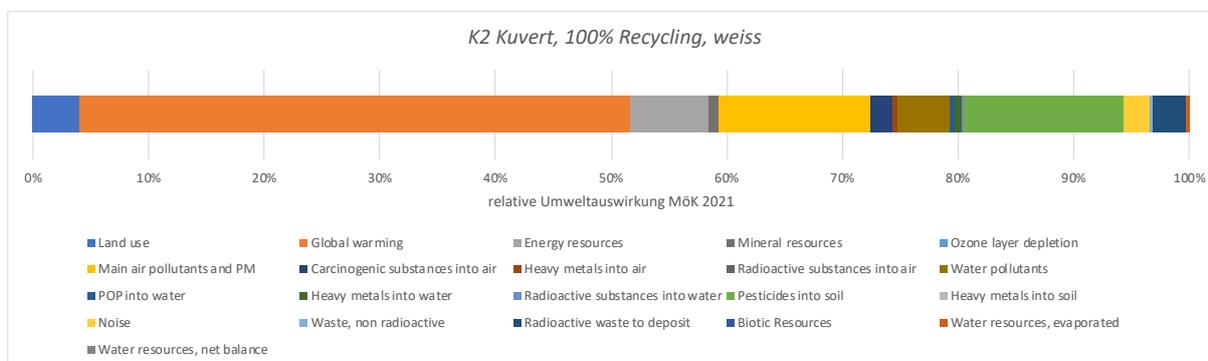


Abbildung 20: Schadstoffquellen der Umweltbelastung von K2 Kuvert, 100% Recycling, weiss

### 3.4.3 K3 Kuvert, 100% Recycling, grau

Bei den Recycling Kuverts K3 stammt mehr als die Hälfte der Umweltbelastung aus dem Energieverbrauch. Alle anderen Prozesse tragen etwa 20% oder weniger zur totalen Umweltbelastung bei.

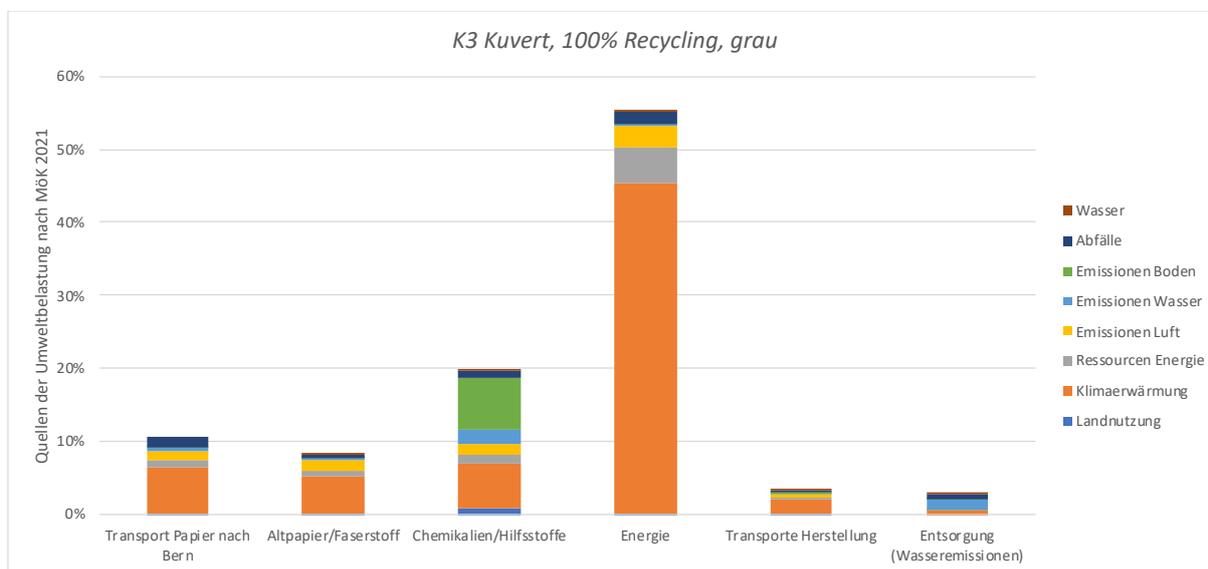


Abbildung 21: Analyse der Quellen der Umweltbelastung für K3 Kuvert, 100% Recycling, grau

Bei der Analyse der Umweltbelastung bezüglich der einzelnen Schadstoffe und Einwirkungen wird ersichtlich, dass die Umweltbelastung vor allem durch Klimaerwärmung aufgrund fossiler Energieträger entsteht.

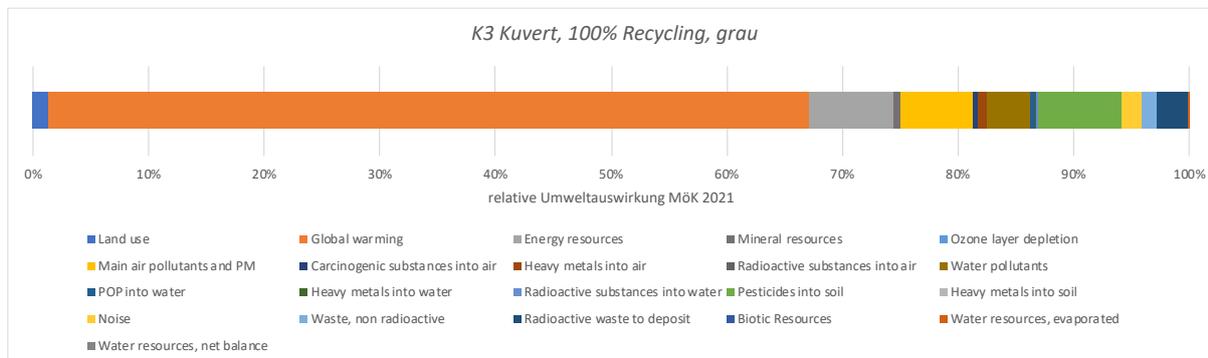


Abbildung 22: Schadstoffquellen der Umweltbelastung von K3 Kuvert, 100% Recycling, grau

### 3.5 Vergleich Umweltbelastung Hygienepapiere

In Abbildung 23 werden die untersuchten Hygienepapiere bezüglich Umweltbelastung miteinander verglichen. Dargestellt sind pro Papier jeweils die Resultate für die Methode der ökologischen Knappheit 2021. Im linken Teil sind die Frischfaserpapiere dargestellt, im rechten Teil die Recyclingpapiere. Als Referenz wird das erarbeitete Inventar für den Mittelwert der Zellstoffvariante gesetzt. Die weiteren Varianten werden mit diesem Mittelwert ins Verhältnis gesetzt. Die Boxplots geben die Unsicherheiten der Resultate an, also den Bereich, in welchem der jeweilige Wert liegen kann.

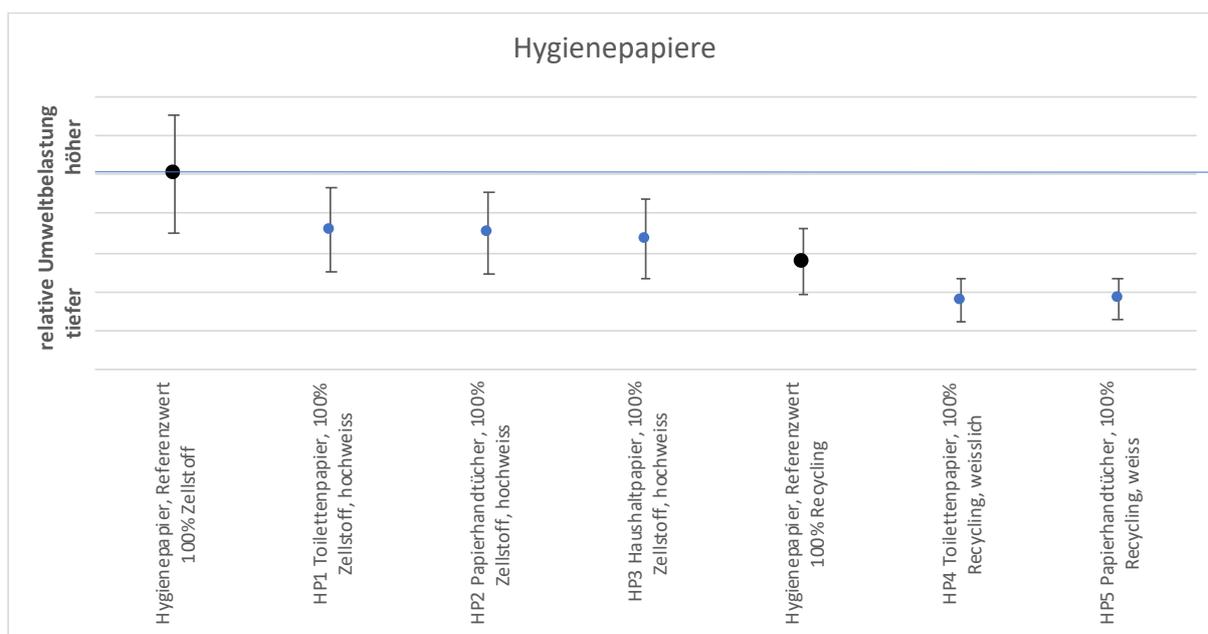


Abbildung 23: Vergleich Umweltbelastung der verschiedenen Hygienepapiere

Der Mittelwert Frischfaser und Recycling Hygienepapier liegt im Vergleich pro Tonne höher als die jeweiligen untersuchten Produkte, welche alle von einem Hersteller sind. Die untersuchten Produkte des Herstellers weisen hauptsächlich auf Grund der energetischen Nutzung von Reststoffen aus der Stoffaufbereitung, Klärschlämmen und Abwärme Industrie, eine niedrigere Umweltbelastung als der Mittelwert auf.

Ein weiterer Faktor für die Bewertung beim Einkauf ist die Anzahl Lagen und damit verbunden das Gewicht pro Blatt oder Nutzungseinheit.

In den folgenden Kapiteln werden die Resultate der einzelnen Papiere analysiert und diskutiert.

## 3.6 Detailanalyse der Hygienepapiere

### 3.6.1 HP4 Toilettenpapier, 100% Recycling, weisslich

Beim Recycling WC-Papier stammen etwa zwei Drittel der Umweltbelastung aus dem Energieverbrauch. Alle anderen Prozesse tragen etwa 20% oder weniger zur totalen Umweltbelastung bei.

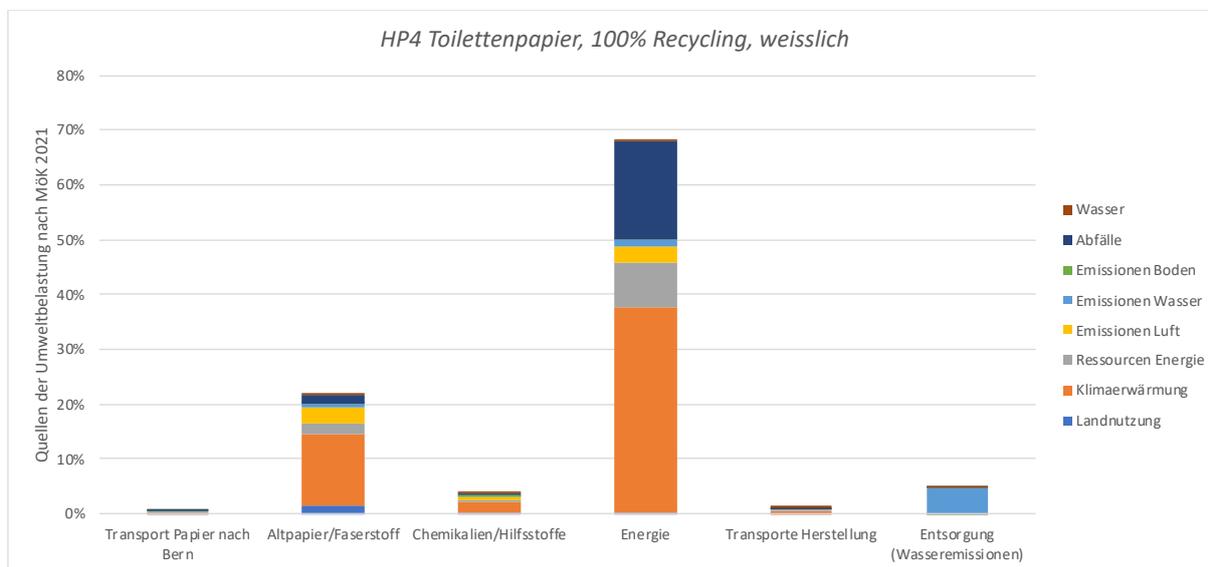


Abbildung 24: Analyse der Quellen der Umweltbelastung für HP4 Toilettenpapier, 100% Recycling, weisslich

Bei der Analyse der Umweltbelastung bezüglich der einzelnen Schadstoffe und Einwirkungen wird ersichtlich, dass die Umweltbelastung vor allem durch Klimaerwärmung, Nutzung von Energieressourcen sowie radioaktive Abfälle entsteht.

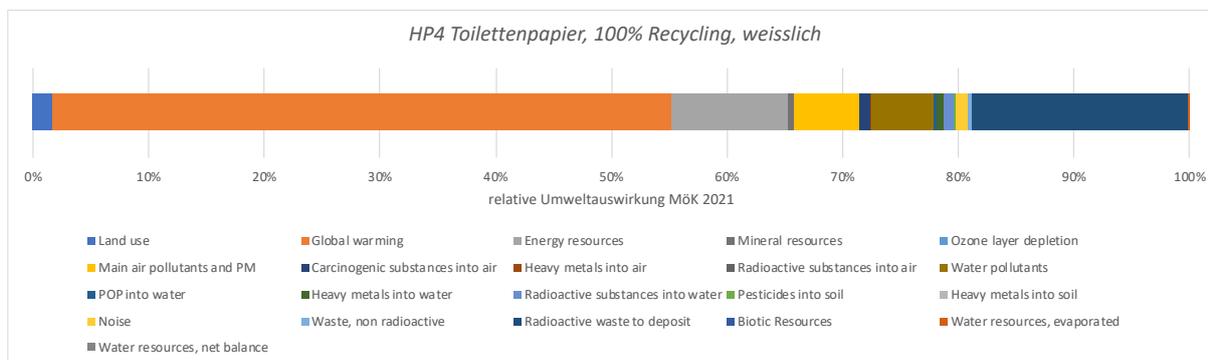


Abbildung 25: Schadstoffquellen der Umweltbelastung von HP4 Toilettenpapier, 100% Recycling, weisslich

### 3.6.2 HP1 Toilettenpapier, 100% Zellstoff, hochweiss

Beim Frischfaser WC-Papier HP1 stammen etwa 70% der Umweltbelastung aus der Bereitstellung des Faserstoffs. Alle anderen Prozesse tragen etwa 20% oder weniger zur totalen Umweltbelastung bei.

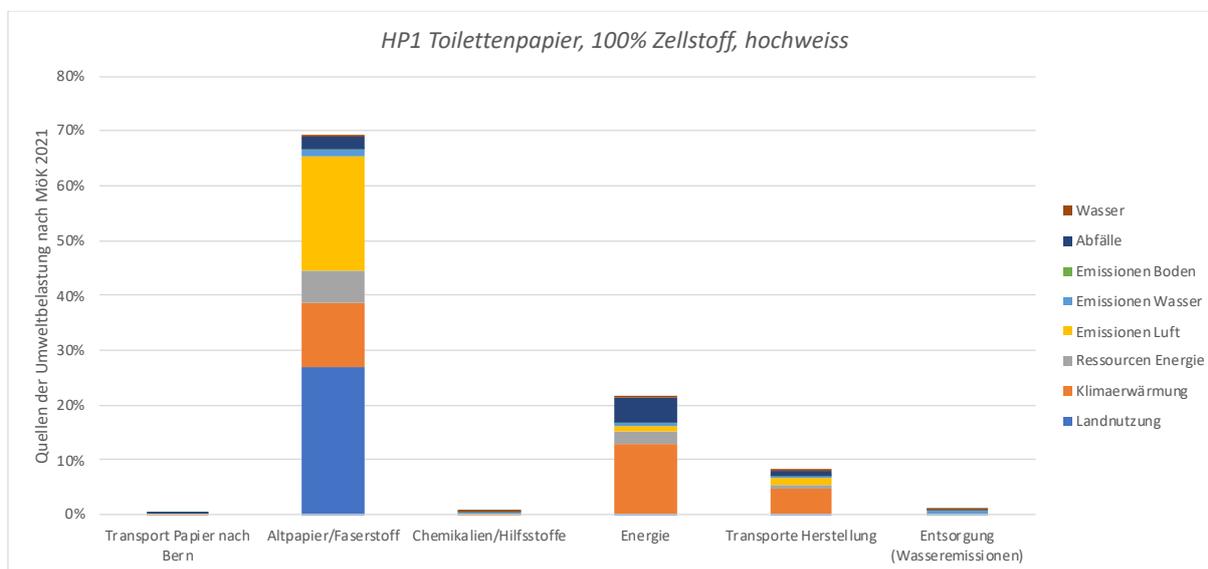


Abbildung 26: Analyse der Quellen der Umweltbelastung für HP1 Toilettenpapier, 100% Zellstoff, hochweiss

Bei der Analyse der Umweltbelastung bezüglich der einzelnen Schadstoffe und Einwirkungen wird ersichtlich, dass die Umweltbelastung vor allem durch Landnutzung, Klimaerwärmung sowie Luftverschmutzung und Partikelemissionen entsteht.

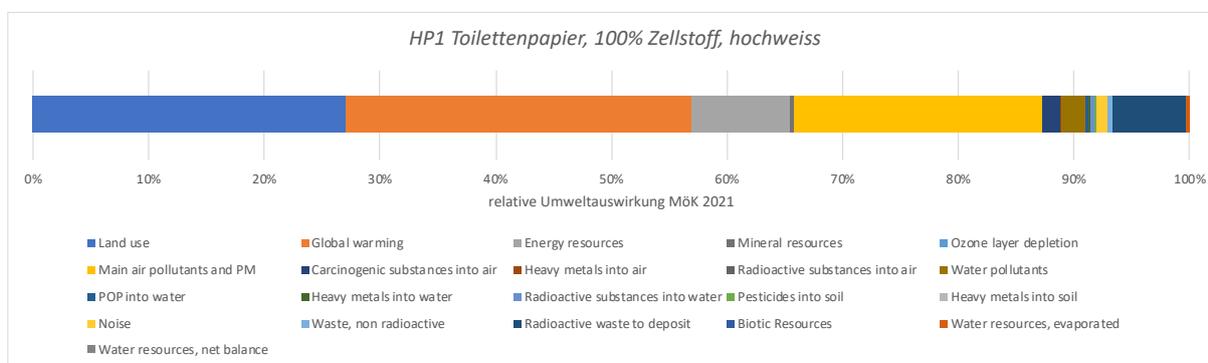


Abbildung 27: Schadstoffquellen der Umweltbelastung von HP1 Toilettenpapier, 100% Zellstoff, hochweiss

### 3.6.3 HP5 Papierhandtücher, 100% Recycling, weiss

Beim Recycling Papierhandtuch HP5 werden knapp 65% der Umweltbelastung durch den Energieverbrauch verursacht. Alle anderen Prozesse tragen etwa 20% oder weniger zur totalen Umweltbelastung bei.

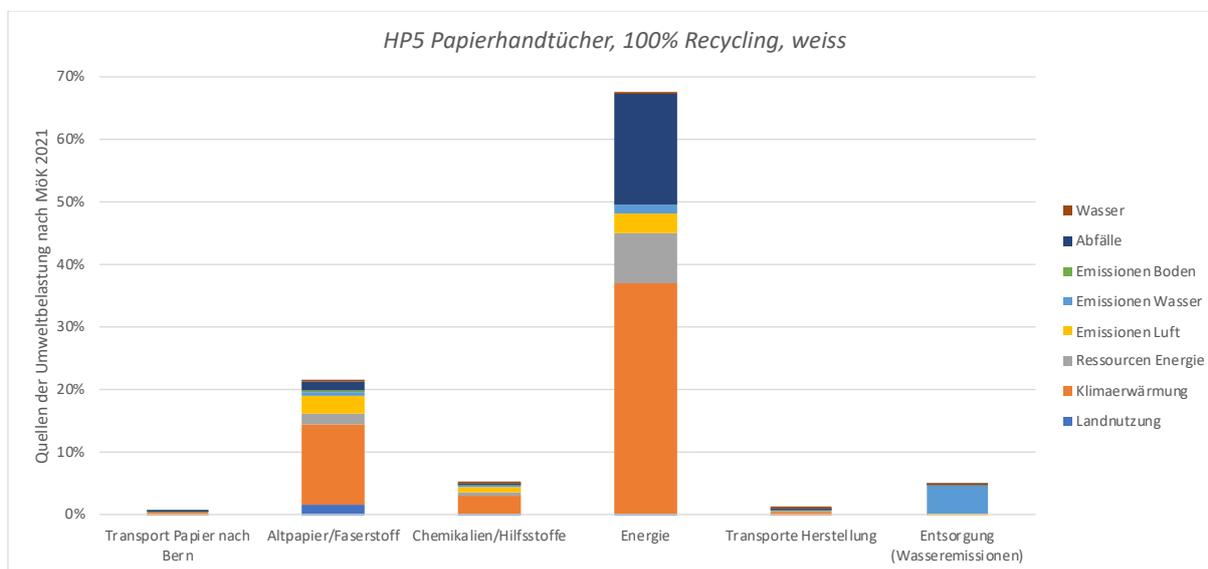


Abbildung 28: Analyse der Quellen der Umweltbelastung für HP5 Papierhandtücher, 100% Recycling, weiss

Bei der Analyse der Umweltbelastung bezüglich der einzelnen Schadstoffe und Einwirkungen wird ersichtlich, dass die Umweltbelastung vor allem durch Klimaerwärmung, Nutzung von Energieressourcen sowie radioaktive Abfälle entsteht.

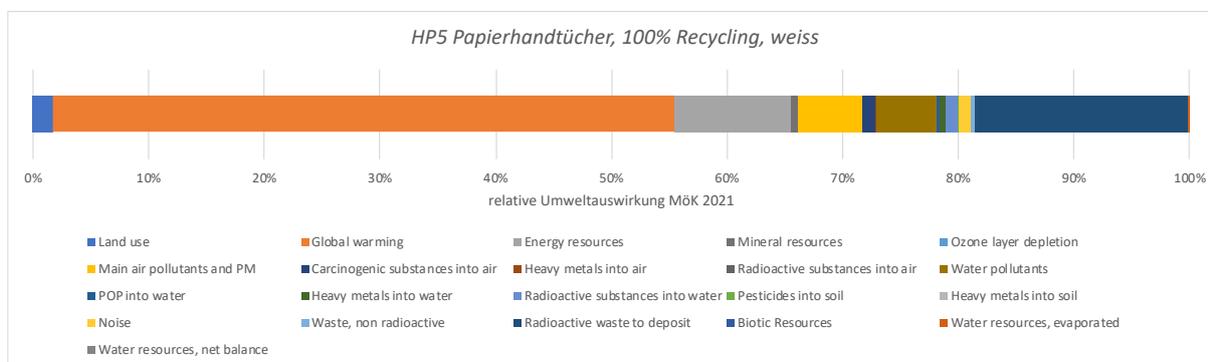


Abbildung 29: Schadstoffquellen der Umweltbelastung von HP5 Papierhandtücher, 100% Recycling, weiss

### 3.6.4 HP2 Papierhandtücher, 100% Zellstoff, hochweiss

Beim Frischfaser Papierhandtuch HP2 stammen zwei Drittel der Umweltbelastung aus der Bereitstellung des Faserstoffs. Alle anderen Prozesse tragen etwa 20% oder weniger zur totalen Umweltbelastung bei.

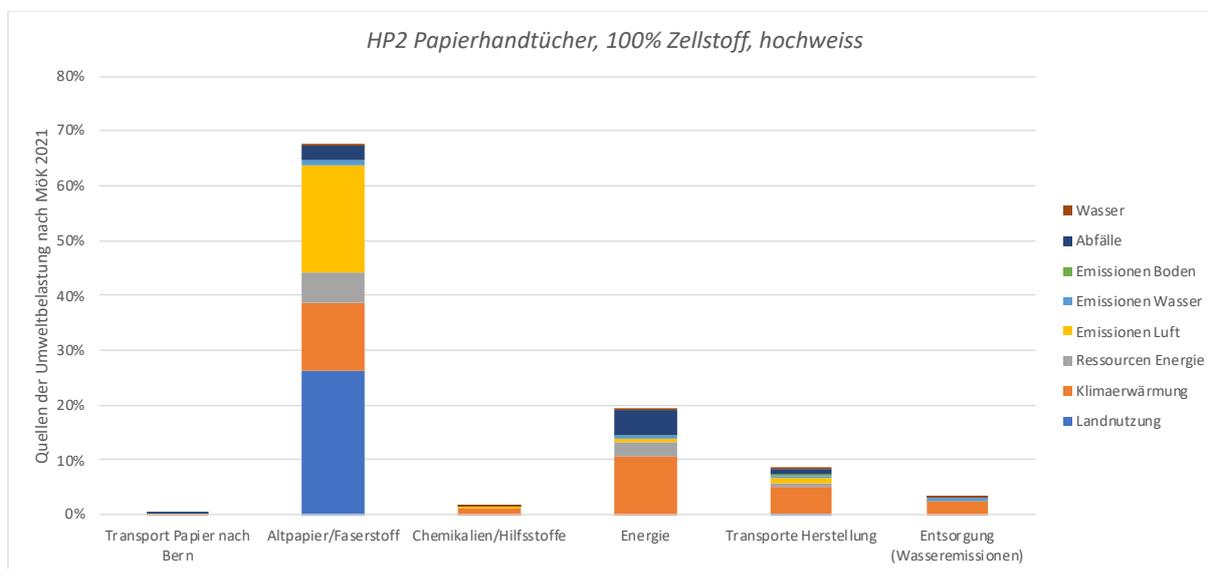


Abbildung 30: Analyse der Quellen der Umweltbelastung für HP2 Papierhandtücher, 100% Zellstoff, hochweiss

Bei der Analyse der Umweltbelastung bezüglich der einzelnen Schadstoffe und Einwirkungen wird ersichtlich, dass die Umweltbelastung vor allem durch Landnutzung, Klimaerwärmung sowie Luftverschmutzung und Partikelemissionen entsteht.

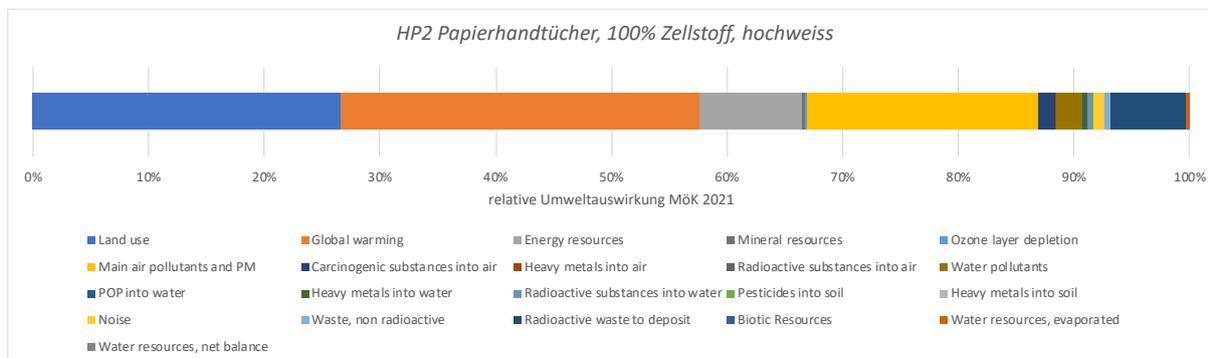


Abbildung 31: Schadstoffquellen der Umweltbelastung von HP2 Papierhandtücher, 100% Zellstoff, hochweiss

### 3.6.5 HP3 Haushaltspapier, 100% Zellstoff, hochweiss

Bei dem Frischfaser Haushaltspapier HP3 stammen etwa 65% der Umweltbelastung aus der Bereitstellung des Faserstoffs. Alle anderen Prozesse tragen etwa 25% oder weniger zur totalen Umweltbelastung bei.

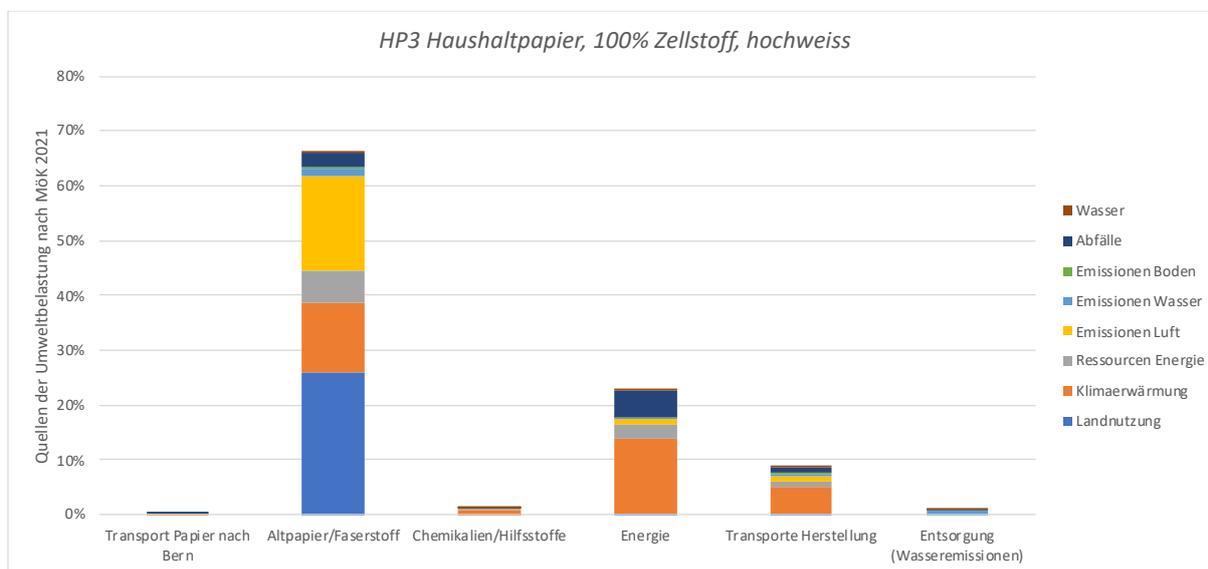


Abbildung 32: Analyse der Quellen der Umweltbelastung für HP3 Haushaltspapier, 100% Zellstoff, hochweiss

Bei der Analyse der Umweltbelastung bezüglich der einzelnen Schadstoffe und Einwirkungen wird ersichtlich, dass die Umweltbelastung vor allem durch Landnutzung, Klimaerwärmung sowie Luftverschmutzung und Partikelemissionen entsteht.

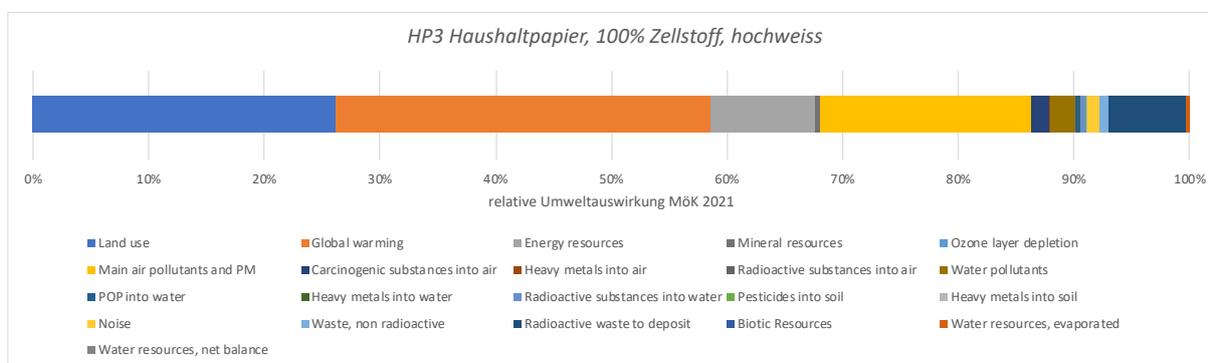


Abbildung 33: Schadstoffquellen der Umweltbelastung von HP3 Haushaltspapier, 100% Zellstoff, hochweiss

## 3.7 Sensitivitätsanalysen

In der Übersicht der Umweltbilanz sind Unsicherheiten in den Ergebnissen ausgewiesen. Für einzelne Beiträge mit einer grösseren Unsicherheit in den verwendeten, teilweise älteren Hintergrunddaten wird nachfolgend der Einfluss einzelner Faktoren auf das Endresultat thematisiert. Zudem werden für die wichtigsten getroffenen methodischen Entscheide und gewählten Ökobilanzinventare mit den nachfolgenden Sensitivitätsanalysen die Effekte der gewählten Methode und Allokation illustriert.

### 3.7.1 Unsicherheiten Pestizide und Luftemissionen

Grössere Unsicherheiten ergeben sich bei den Beiträgen Pestizide und Luftemissionen in der Umweltbilanz der Papiere. Die Pestizidbeiträge in der Umweltbilanz sind zurückzuführen auf das verwendete Inventar für Leim und die darin enthaltene Kartoffelstärke<sup>4</sup>. Der Beitrag zur Umweltbilanz erreicht in einzelnen Produkten einen Anteil von bis zu 14%. Der Einfluss ist nachfolgend für die Mittelwerte der Papiere mit dem Resultat ohne den Beitrag der Pestizide dargestellt. Der Beitrag von Partikelemissionen erreicht einen Anteil von bis zu 20% in der Umweltbilanz einzelner Papiere. Ein wesentlicher Teil ist auf das verwendete Inventar zum Anbau Eukalyptus mit Verbrennungsemissionen bei der Bewirtschaftung von Plantagen zurückzuführen. Deren Beitrag ist relevant für die Frischfaserprodukte mit Eukalyptus-Zellstoffen. Effekte von geringeren Partikelemissionen beim Anbau von Eukalypten ist mit einer Reduktion der Beiträge der Partikelemissionen illustriert.

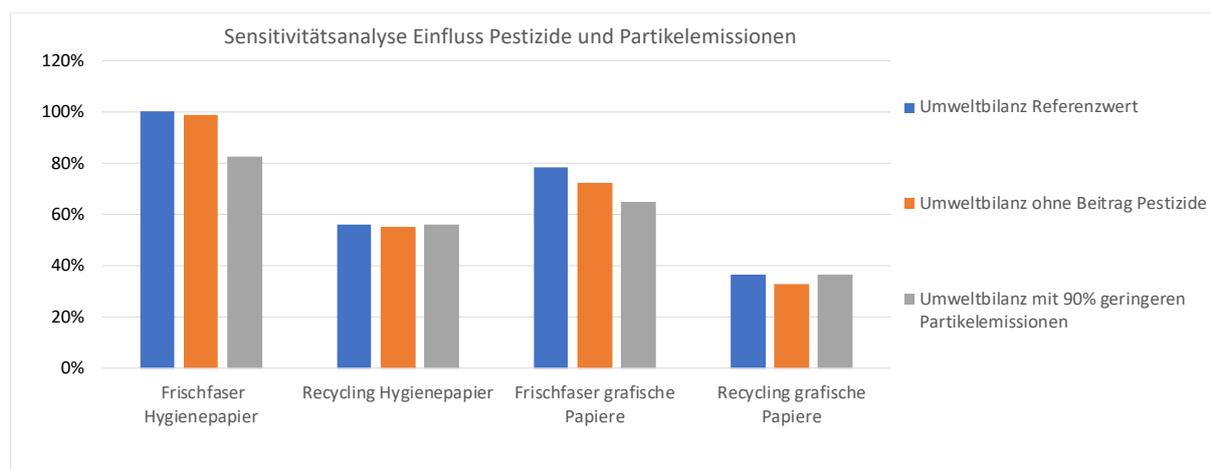


Abbildung 34: Einfluss Pestizide und Partikelemissionen Luft auf das Resultat der Umweltbelastung. Die Resultate sind dargestellt relativ im Vergleich zum Referenzwert Frischfaser Hygienepapier

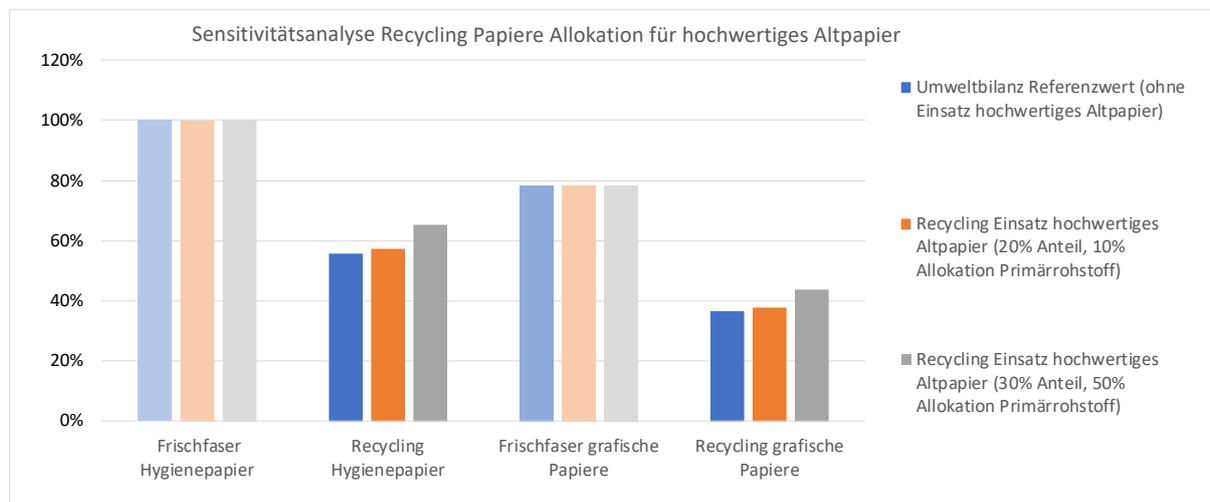
Die Höhe der Partikelemissionen der Zellstoffproduktion sind vor allem relevant für das Ergebnis der Frischfaser Papiere. Pestizide prägen vor allem das Resultat der grafischen Papiere.

### 3.7.2 Allokation hochwertiges Altpapier

In den analysierten Betrieben wird beim Recycling in Einzelfällen bis zu 20% hochwertiges weisses Altpapier und bis zu 30% hochwertiges hellbuntes Altpapier mit hohen Anteilen weiss eingesetzt. Mit einer ökonomischen Allokation für hochwertiges weisses Altpapier bei den einzelnen Herstellern wird ein Teil des Aufwandes der Primärproduktion Fasern in der Grössenordnung von 10% weiterverrechnet. Im Referenzdatensatz wurde kein Einsatz hochwertiger Produkte als Standard hinterlegt. Effekte des Einsatzes

<sup>4</sup> Die Umweltbelastung durch Pestizide ist auf das Pestizid Chlorothalonil zurückzuführen, welches beim Anbau von Kartoffeln eingesetzt wurde. Das Pestizid ist seit dem 1. Januar 2020 in der Schweiz nicht mehr zugelassen, auch auf EU-Ebene wurde die Zulassung bereits 2019 zurückgezogen.

und einer Allokation sind nachfolgend illustriert. Die eingesetzte Menge an hochwertigem Altpapier erhöht die Umweltbelastung bei einer Allokation von 10% nur minimal. Ein Maximalwert wurde mit einem Anteil 30% hochwertiges Altpapier und einer ökonomischen Allokation von 50% abgebildet. Dies ergibt einen Anstieg der Umweltbelastung von Recyclingpapieren um bis zu 15%.



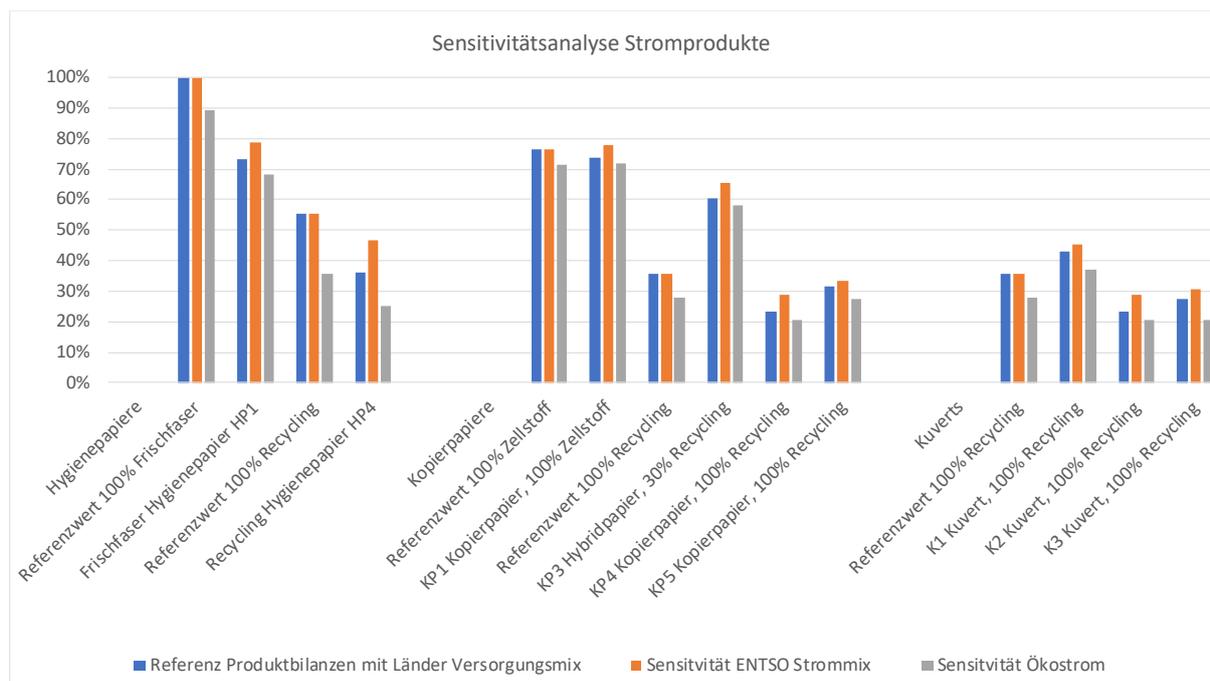
**Abbildung 35: Einfluss der Allokation für hochwertiges weisses Altpapier. Die Resultate der Umweltbelastung sind dargestellt relativ im Vergleich zum Referenzwert Frischfaser Hygienepapier**

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass eine Allokation des Erstaufwandes auf das eingesetzte hochwertige Altpapier einen relevanten Einfluss auf das Resultat der Recyclingprodukte hat.

Teilweise wird in Ökobilanzen über Verpackungen der Ansatz der Circular Footprint Formula (CFF) verwendet. Dieser zielt bei cradle-to-grave Betrachtungen auf eine Verteilung der Aufwände zwischen dem Frischfaserprodukt und den Recyclingprodukten der nachfolgenden Nutzung der Fasern ab. Ein Argument dafür ist ein Anreiz zur Erhöhung der Ressourceneffizienz, Vermeidung von Abfällen und optimale Nutzung unterschiedlicher Qualitäten Altpapier. Der CFF Ansatz ist jedoch nicht geeignet für die in dieser Studie angewandte cradle-to-gate Betrachtung. Die Konsequenzen der CFF Handhabung sind im Rahmen dieser Studie daher nicht weiter aufgeführt. Die Aufwände des Holzanbaus werden zu 100% dem Frischfaserpapier und dem Recyclingprodukt sind die Zusatzaufwände ab dem Zeitpunkt der Sammlung Altpapier angerechnet.

### 3.7.3 Auswahl Stromprodukt

In der Studie wurde für den Einkauf von Strom für die ausgewerteten Produkte der Versorgungsmix der einzelnen Länder und für die Mittelwerte der Papierproduktion der europäische Strommix ENTSO verwendet. Der Beitrag des Stromverbrauches fällt je nach Zusammensetzung der Stromprodukte im Versorgungsmix der Länder Schweiz, Deutschland und Österreich unterschiedlich aus. Um den Effekt der Stromprodukte zu erfassen, wurde die Umweltbilanz aller Produkte zusätzlich mit dem europäischen ENTSO Strommix berechnet und die damit verbundene Veränderung illustriert.



**Abbildung 36: Einfluss der Stromprodukte auf die Umweltbilanz, Produktbilanzen mit europäischem Strommix ENTSO anstelle Länder Strommix für den bezogenen Strom. Die Umweltbelastung ist dargestellt relativ im Vergleich zum Referenzwert Frischfaser Hygienepapier**

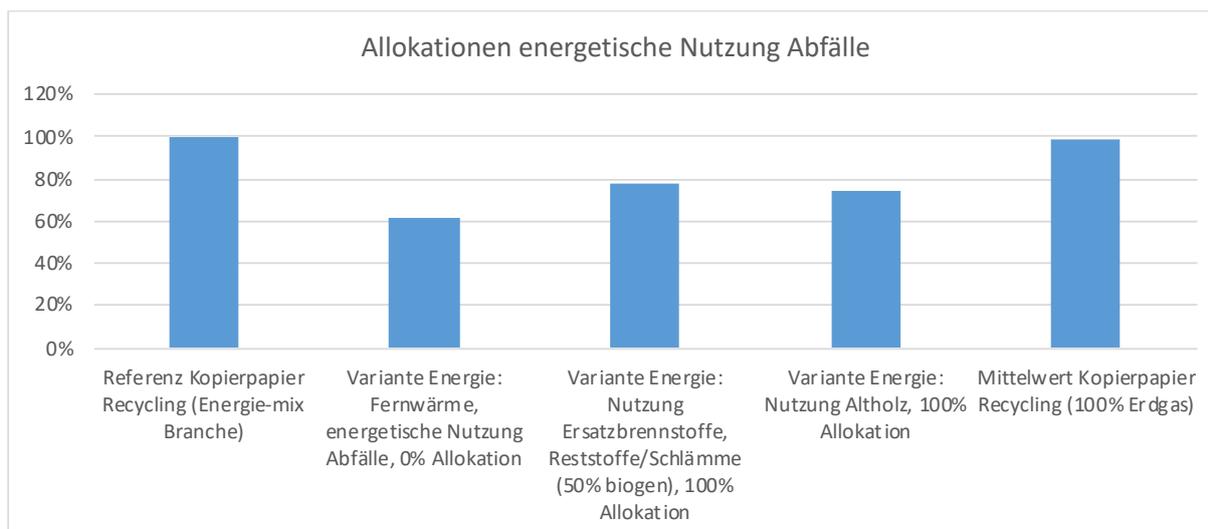
Die folgenden Schlussfolgerungen ergeben sich aus den Analysen:

- Das Ergebnis der Umweltbelastung der einzelnen Hersteller fällt mit dem weniger ökologischen ENTSO Strommix statt dem Schweizer oder Österreicher Strommix deutlich höher aus.
- Die Differenz gegenüber dem ENTSO Strommix ist am Standort einer Produktion in Deutschland weniger ausgeprägt im Vergleich zu Österreich und der Schweiz.
- Die bereits mit dem ENTSO Strommix berechneten Mittelwerte bleiben unverändert.

Ein Einkauf von Ökostrom ist in den Analysen der Produkte nicht eingerechnet, das Endergebnis der analysierten Produkte kann abhängig vom Ausgangswert und dem Beitrag der Stromprodukte bis zu einem Drittel niedriger ausfallen. Der Stromeinkauf der einzelnen Standorte hängt auch davon ab, welcher Anteil des Strombedarfes die Eigenerzeugung deckt und ob im Rahmen der Dekarbonisierung Schritte zur Elektrifizierung einzelner Prozesse umgesetzt sind.

### 3.7.4 Allokation energetische Nutzung Abfallfraktionen

Für die Wärmeproduktion werden als Alternative zu fossilen Brennstoffen unterschiedliche Abfallfraktionen wie z.B. Deinking- und Papierschlämme oder auch Ersatzbrennstoffe und Altholz energetisch genutzt. Mit dem gewählten Ansatz werden die Emissionen der energetischen Nutzung der Abfälle zu 100% der Energie angerechnet. Die nachfolgende Grafik zeigt den Effekt der Energieversorgung und der Allokation am Beispiel der Produktion grafischer Recyclingpapiere mit unterschiedlichen Varianten der Energieerzeugung.



**Abbildung 37: Einfluss der Allokation für die energetische Nutzung von Abfallfraktionen (100% Anrechnung für die energetische Nutzung vor Ort und 0% Allokation für die bezogene Wärme ab einer KVA). Die Umweltbilanz ist dargestellt relativ im Vergleich zum Referenzwert eines grafischen Papiers (Energimix der Branche).**

Die energetische Nutzung von Abfällen hat abhängig von deren Zusammensetzung und verwendeten Allokationen für die Nutzenergie einen relevanten Einfluss auf das Resultat. Bei Recyclingpapieren häufig eingesetzt werden Reststoffe und Schlämme aus der Stoffaufbereitung, zudem werden auch Ersatzbrennstoffe bezogen.

## 4 Diskussion und allgemeine Erkenntnisse

Ein Ziel dieser Ökobilanz war die Berechnung der verschiedenen Produkte und der Vergleich innerhalb einer Kategorie. Die Produkte wurden aktuellen Mittelwerten der jeweiligen Kategorie gegenübergestellt. Für die Erstellung der aktuellen Mittelwerte wurden Daten von Herstellern, Angaben aus EPDs, Literatur und Datenbankinventaren verwendet. Die aktuellen Mittelwerte werden als neue Datenbankinventare aufbereitet.

Die Ergebnisse zeigen die wichtigsten Ursachen der Umweltbelastungen für die einzelnen Produkte:

- Hohe Relevanz: Energieverbrauch und Wahl der Energieträger
- Hohe Relevanz: Herkunft Fasern, Anbaugesbiet Holz und Art der Bewirtschaftung
- Mittlere bis hohe Relevanz: Chemikalien Einsatz
- Weitere relevante Beiträge: Transporte Anlieferung Fasern
- Wenig relevant: Abwasser (es wird bereits ein hoher Standard erfüllt)

Recyclingfasern sind beschränkt verfügbar, tragen aber zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs bei. Weitere Aspekte, welche zu einer Reduktion der Umweltbelastung bei Papieren beitragen:

- Art der Energiebereitstellung, z.B. Ersatz fossiler Energieträger der Wärme- und Stromproduktion
- Wahl einer integrierten Produktion, welche zur Verringerung von Trocknungsschritten führt
- Optimierung von Ressourcen- und Chemikalieneinsatz, z.B. weniger stark gebleichte Produkte.

Das Profil der Herkunft der Umweltbelastung zeigt, dass die wichtigsten Umweltauswirkungen von klimarelevanten Emissionen, Landnutzung für Frischfasern und von Emissionen in Luft und Böden

stammen. Ein wesentlicher Teil davon fällt durch den Energiebedarf und den damit verbundenen Verbrennungsemissionen an sowie durch die Herstellungsprozesse der Chemikalien und Stärke.

## 4.1 Vergleich der Kopierpapiere

Bei den Kopierpapieren wurden zwei Varianten Frischfaserpapier (KP2 für die Varianten 90 g/m<sup>2</sup> und KP1 für die Variante 100-200 g/m<sup>2</sup>), ein Hybridpapier (KP3 mit 30% Recyclingfasern) und zwei Recyclingpapiere (KP4 und KP5 mit 100% Recyclingfasern) analysiert.

Beide Varianten der Frischfaserpapiere liegen im Bereich des aktuellen Mittelwerts für Frischfaserpapiere. Das Hybridpapier schneidet etwas besser ab als der Mittelwert für Frischfaserpapiere aber schlechter als die Recyclingpapiere. Bei den Recyclingpapieren schneidet tendenziell das KP4 etwas besser als der aktuelle Mittelwert für Recyclingpapiere ab, die Variante KP5 in etwa gleich wie der Mittelwert für Recyclingpapiere. Entscheidend für die unterschiedlichen Umweltbelastungen der Recyclingpapiere sind die Beiträge der Energieträger.

## 4.2 Vergleich der Kuverts

Kuvertpapiere sind in der Produktion vergleichbar mit Kopierpapieren und entsprechend dem Referenzwert mit Kopierpapieren gleichzusetzen. Bei den Kuverts wurden drei Recyclingpapiere analysiert. Die Bilanz der analysierten Produkte liegt in der Grössenordnung des Mittelwertes. K1 weist etwas höhere Werte auf als der Mittelwert Recyclingpapier. K3 liegt etwas tiefer im Vergleich zum entsprechenden Mittelwert. Ausschlaggebend ist die Zusammensetzung der eingesetzten Energieträger (wobei bereits weitere Schritte zum Ersatz von fossilen Energieträgern bei den Herstellern in Planung sind).

## 4.3 Vergleich der Hygienepapiere

Bei den Hygienepapieren wurden drei Frischfaserpapiere und zwei Recyclingpapiere untersucht, welche alle vom selben Hersteller produziert werden. Die Frischfaserpapiere und die Recyclingpapiere des Herstellers schneiden jeweils besser ab als die entsprechenden Referenzwerte für eine durchschnittliche Produktion. Ausschlaggebend ist die Zusammensetzung der für die Produktion eingesetzten Energieträger.

## 4.4 Empfehlungen für die Beschaffung

Aufgrund der ausgeführten Analysen empfehlen wir bei der weiteren Ausarbeitung von Beschaffungskriterien für den Einkauf die nachfolgenden Möglichkeiten zur Reduktion der Umweltbelastung zu berücksichtigen:

- Sparsame Produkte mit geringem Gewicht
- Priorisierung Recyclingfasern, Prüfung verfügbarer Recyclingpapiere
- Qualität der eingesetzten Frischfasern: Standard FSC, Label
- Standortspezifische Faktoren der Produktion (Energieversorgung/integrierte Produktion/Distanz)
- Wahl von Produkten mit reduzierter Weisse, reduziertem Einsatz von Chemikalien

Die vorliegenden Analysen ermöglichen eine Einordnung der Relevanz von Kriterien.

## 5 Literatur

Andreas Bassi, S., Biganzoli, F., Ferrara, N., Amadei, A., Valente, A., Sala, S., u. a. (2023). Updated characterisation and normalisation factors for the Environmental Footprint 3.1 method. *JRC Technical Report, Publications Office of the European Union*. <http://doi.org/doi:10.2760/798894>

Bundesamt für Umwelt. (2021). *Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz*. (S. 260). Bern. Abgerufen von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/publikationen-studien/publikationen/oekofaktoren-schweiz.html>

Cepi ©. (2023). 2022-Key-Statistics-FINAL.pdf. Abgerufen 13. August 2024, von <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2023/07/2022-Key-Statistics-FINAL.pdf>

European Commission. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies. (2015). *Best Available Techniques (BAT) reference document for the production of pulp, paper and board*. LU: Publications Office. Abgerufen von <https://data.europa.eu/doi/10.2791/370629>

Frischknecht, R., & Büsser Knöpfel, S. (2013). *Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der Ökologischen Knappheit - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz* (No. 1330) (S. 256). Bern: Bundesamt für Umwelt.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press. <http://doi.org/10.1017/9781009157896>

Rossmann. (2019, Juli 12). EPD tissue Rossmann.pdf. The International EPD System. Abgerufen von [www.environdec.com](http://www.environdec.com)

Wellenreuther, F., Detzel, A., Krüger, M., & Busch, M. (2022). Aktualisierte Ökobilanz von Grafik- und Hygienepapier.

# Anhang

## A1 Resultate Umweltfussabdruck nach UBP 2021

Die nachfolgende Grafik zeigt die absoluten Werte des Umweltfussabdrucks, dargestellt für die Methode der ökologischen Knappheit (UBP-Methode; UBP = Umweltbelastungspunkte) aus dem Jahr 2021 (siehe auch Kapitel 2.5.1). Entscheidend sind Energieträger für die Wärme- und Stromproduktion mit relevanten Beiträgen an Ressourcen und Treibhausgasemissionen sowie weitere mit der Produktion Zellstoff verbundene Aufwände und Emissionen.

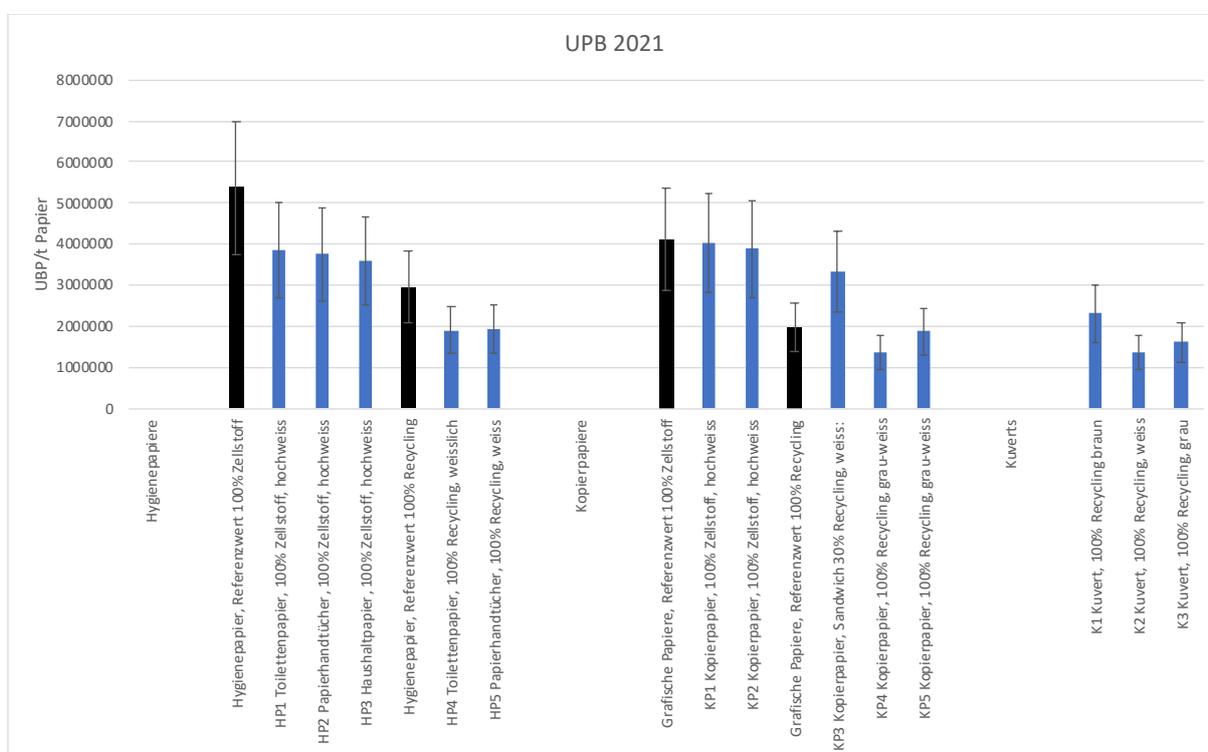


Abbildung 38: Zusammenfassung aller Papiere, analysiert mit Methode der ökologischen Knappheit (UBP 2021)

## A2 Resultate Umweltfussabdruck nach EF

Die nachfolgende Grafik zeigt den Umweltfussabdruck berechnet mit der europäischen Methode des Environmental Footprint EF Version 3.1 (siehe auch Kapitel 2.5.2). Die für die Analyse verwendeten Methoden und Daten entsprechen der Beschreibung im Kapitel 2. Entscheidend für den Umweltfussabdruck EF sind Art und Menge der eingesetzten Energieträger für die Wärme- und Stromproduktion mit relevanten Beiträgen Ressourcen und Treibhausgasemissionen sowie weitere mit der Produktion Zellstoff verbundene Aufwände und Emissionen.

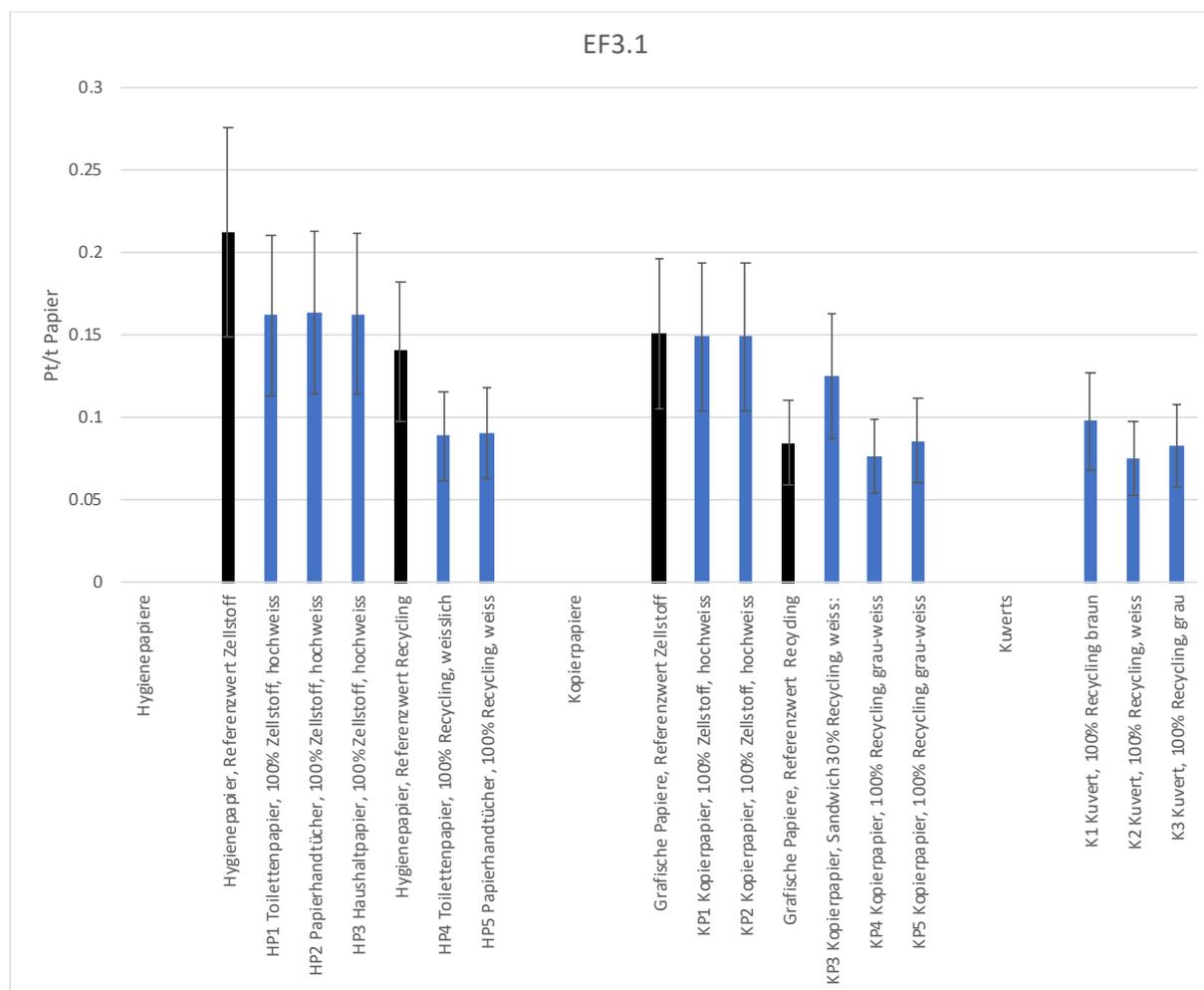


Abbildung 39: Zusammenfassung aller Papiere, analysiert mit Methode Environmental Footprint EF3.1

## A3 Resultate Klimafussabdruck nach IPCC

Die nachfolgende Grafik zeigt den Klimafussabdruck der unterschiedlichen analysierten Produkte. Berechnungen der Hersteller können von diesen Resultaten abweichen, abhängig von der Definition der Systemgrenzen, methodischen Ansätzen und verwendeten Hintergrunddaten. Die für die Analyse verwendeten Methoden und Daten entsprechen der Beschreibung im Kapitel 2. Ausschlaggebend für die CO<sub>2</sub>-Bilanz sind Art und Menge der eingesetzten Energieträger für die Wärme- und Stromproduktion. In der vorliegenden Studie wurden beim Stromprodukt der länderspezifische Versorgungsmix eingesetzt.

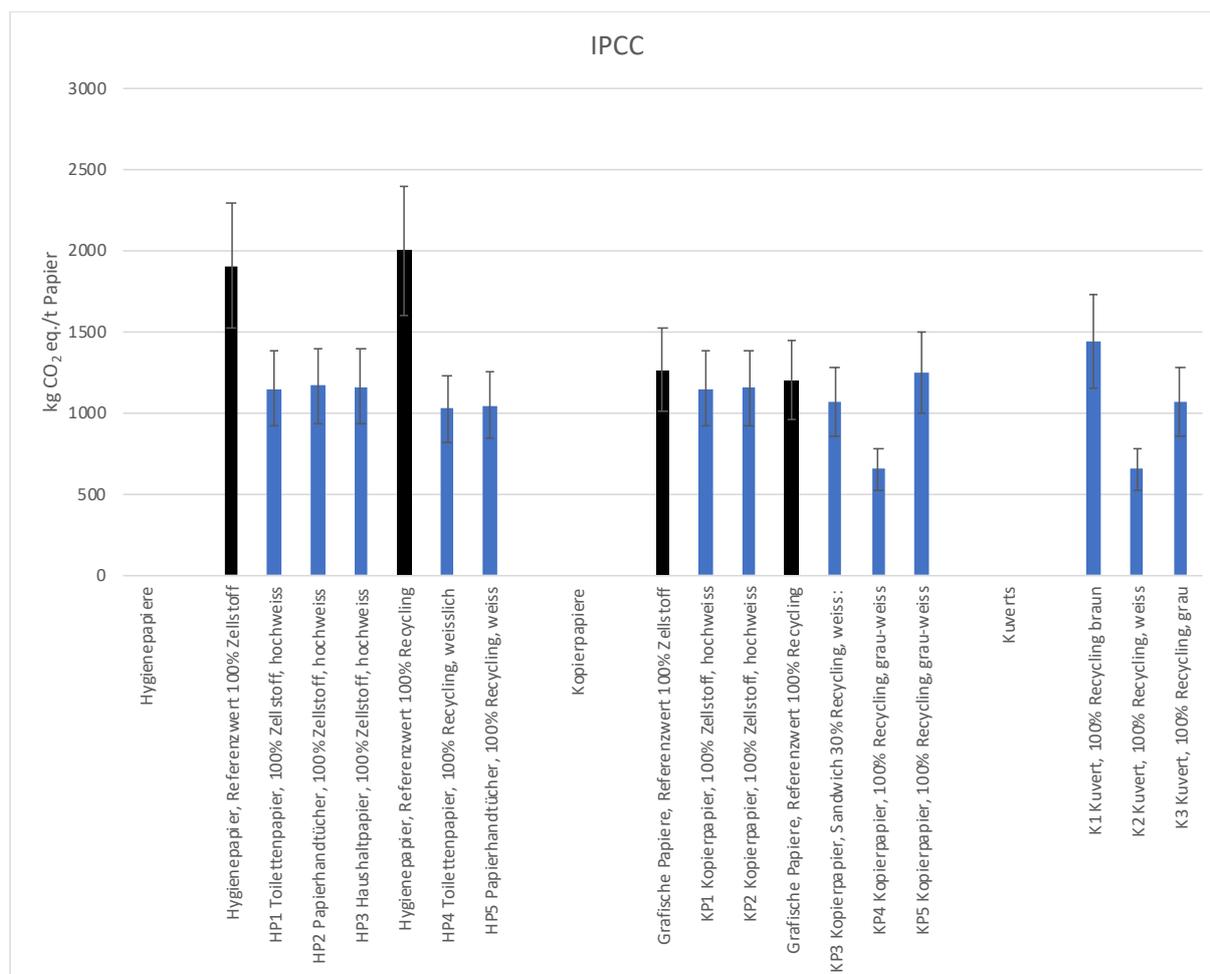


Abbildung 40: Zusammenfassung aller Papiere, analysiert mit der IPCC Methode

## A4 Inventare für die BAFU-Datenbank

Um den Referenzwert einer mittleren Papierproduktion für grafische Papiere und Hygienepapiere herzuleiten wurde auf Literaturangaben sowie Herstellerangaben und bestehende Datenbankinventare zur Papierproduktion zurückgegriffen. Die so erstellten Inventare für die Frischfaser- und Recyclingpapiere sind nachfolgend für grafische Papiere und Hygienepapiere beschrieben, mit den entsprechenden Quellenangaben. Die verwendete Literatur umfasst die Deutsche Ökobilanz Studie zur Papierproduktion des Umweltbundesamtes (Wellenreuther u.a., 2022) und die Erhebung zur Papierindustrie «BAT Best Available Technology» der EU (JRC. 2015). Die Zusammensetzung der Energieträger der Wärmeproduktion wurde ausgehend von Statistiken von CEPI für die Papier- und Zellstoffindustrie erstellt. Da die Biomasse hauptsächlich für den Energiebedarf der Zellstoffproduktion eingesetzt wird, wurde der Anteil Biomasse beim Energiemix für die Papiermaschine reduziert und bei den Herstellern von Recyclingprodukten durch einen Anteil energetische Nutzung der Abfälle der Stoffaufbereitung ersetzt.

## A4.1 Inventare grafischer Papiere (Kopierpapier/Kuverts)

Die nachfolgende Tabelle beschreibt das erarbeitete Inventar für die durchschnittliche Produktion grafischer Papiere aus Frischfasern. Die darauffolgende Tabelle das Inventar der Variante Recyclingpapier.

**Abbildung 41: Inventardaten der durchschnittlichen Produktion grafischer Papiere, Variante Frischfaser**

product	paper, virgin, at mill	RER	kg	1	
resource, in water	Water, well, in ground	-	m3	1,34E+1	average from one producer and a German LCA study
technosphere	sulphate pulp, from eucalyptus ssp. (SFM), unbleached, at pulpmill	BR	kg	4,64E+2	derived from producer information and pulp market supply indicated in German LCA study
	sulphate pulp, average, at regional storage	RER	kg	1,14E+2	derived from producer information and pulp market supply indicated in German LCA study
	sulphate pulp, from eucalyptus ssp. (SFM), unbleached, at pulpmill	ES	kg	1,83E+2	derived from producer information and pulp market supply indicated in German LCA study
	transport, freight, rail	RER	tkm	2,28E+2	derived from market supply indicated in German LCA study
	transport, transoceanic freight ship	OCE	tkm	4,77E+3	derived from market supply indicated in German LCA study
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	tkm	4,33E+2	derived from market supply indicated in German LCA study
	kaolin, at plant	RER	kg	2,33E+0	average of several producers
	limestone, milled, loose, at plant	CH	kg	2,59E+2	average of several producers
	potato starch, at plant	DE	kg	5,32E+1	average of several producers
	rosin size, in paper production, at plant	RER	kg	3,50E+0	average of several producers
	chemicals inorganic, at plant	GLO	kg	1,06E+1	average of several producers
	chemicals organic, at plant	GLO	kg	1,00E-1	average of several producers
	pigments, paper production, unspecified, at plant	RER	kg	1,00E+0	derived from BAT study
	optical brighteners, in paper production, at plant	RER	kg	4,53E+0	average of several producers
	paper mill, integrated	RER	unit	5,44E-8	derived from former LCI
	natural gas, burned in industrial furnace 1MW	CH	MJ	4,81E+3	derived from BAT study and CEPI energy statistics
	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	RER	MJ	3,06E+1	derived from BAT study and CEPI energy statistics
	wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW	CH	MJ	5,31E+2	derived from BAT study and CEPI energy statistics
	hard coal, burned in industrial furnace 1-10MW	RER	MJ	8,34E+2	derived from BAT study and CEPI energy statistics
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	kWh	3,32E+2	derived from BAT study and CEPI energy statistics
emission air, unspecified	Water	-	kg	2,00E+3	derived from BAT study
emission water, river	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	-	kg	5,20E-3	derived from BAT study
	BOD5, Biological Oxygen Demand	-	kg	1,50E-1	derived from BAT study
	COD, Chemical Oxygen Demand	-	kg	1,04E+0	derived from BAT study
	Nitrogen	-	kg	4,85E-2	derived from BAT study
	Phosphorus	-	kg	5,20E-3	derived from BAT study
	Suspended solids, unspecified	-	kg	1,57E-1	derived from BAT study
	Water	-	kg	1,14E+4	derived from BAT study
technosphere	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	CH	kg	3,36E+0	derived from former LCI
	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill	CH	kg	3,36E+0	derived from former LCI
	disposal, sludge from pulp and paper production, 25% water, to sanitary landfill	CH	kg	6,89E+0	derived from former LCI
	disposal, ash from paper prod. sludge, 0% water, to residual material landfill	CH	kg	1,95E+0	derived from former LCI
	disposal, hazardous waste, 0% water, to underground deposit	DE	kg	9,00E-2	derived from former LCI

**Abbildung 42: Inventardaten der durchschnittlichen Produktion grafischer Papiere, Variante Recyclingfasern**

product	paper, recycling, at mill	RER	0	kg	1		
resource, in water	Water, well, in ground	-	-	m3	3.24E+1	derived from BAT study	
technosphere	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.49E+2	derived from former LCI	
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	0	tkm	5.62E+1	derived from former LCI and for producers	
	waste paper, mixed, from public collection, for further treatment	RER	0	kg	5.87E+2	derived from former LCI and for producers	
	waste paper, sorted, for further treatment	RER	0	kg	5.87E+2	derived from former LCI and for producers	
	hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant	RER	0	kg	1.50E+1	derived from BAT study	
	sodium dithionite, anhydrous, at plant	RER	0	kg	8.00E+0	derived from BAT study	
	sulphuric acid, liquid, at plant	RER	0	kg	8.00E+0	derived from BAT study	
	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant	RER	0	kg	6.00E+0	derived from BAT study	
	sodium silicate, spray powder 80%, at plant	RER	0	kg	1.20E+1	derived from BAT study	
	kaolin, at plant	RER	0	kg	2.50E+1	average from several producers	
	limestone, milled, loose, at plant	CH	0	kg	5.64E+1	average from several producers	
	potato starch, at plant	DE	0	kg	3.24E+1	derived from five producer	
	rosin size, in paper production, at plant	RER	0	kg	4.57E+0	average from several producers	
	chemicals inorganic, at plant	GLO	0	kg	4.57E+0	average from several producers	
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	3.00E+0	average from several producers	
	sodium chloride, powder, at plant	RER	0	kg	4.54E-1	average from several producers	
	optical brighteners, in paper production, at plant	RER	0	kg	1.31E-1	average from several producers	
	paper mill, integrated	RER	1	unit	5.44E-8	derived from former LCI	
	emission air, unspecified	natural gas, burned in industrial furnace 1MW	CH	0	MJ	5.91E+3	derived from BAT study, producer information and CEPI energy statistics
		light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	RER	0	MJ	3.76E+1	derived from BAT study, producer information and CEPI energy statistics
hard coal, burned in industrial furnace 1-10MW		RER	0	MJ	1.02E+3	derived from BAT study, producer information and CEPI energy statistics	
heat, biowaste, at waste incineration plant, allocation price		CH	0	MJ	5.72E+2	derived from BAT study, producer information and CEPI energy statistics	
electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid		ENTSO	0	kWh	4.71E+2	derived from BAT study, producer information and CEPI energy statistics	
Water		-	-	kg	2.00E+3	derived from BAT study	
emission water, river	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	-	-	kg	8.50E-3	derived from BAT study	
	BOD5, Biological Oxygen Demand	-	-	kg	4.10E-1	derived from BAT study	
	COD, Chemical Oxygen Demand	-	-	kg	2.21E+0	derived from BAT study	
	Nitrogen	-	-	kg	2.79E-2	derived from BAT study	
	Phosphorus	-	-	kg	4.00E-3	derived from BAT study	
	Suspended solids, unspecified	-	-	kg	7.75E-3	derived from BAT study	
	Water	-	-	kg	3.04E+4	derived from BAT study	
technosphere	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	4.50E+0	derived from former LCI	
	disposal, paper, 11.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.43E+0	derived from former LCI	
	disposal, textiles, soiled, 25% water, to municipal incineration	CH	0	kg	4.64E-1	derived from former LCI	
	disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.50E-1	derived from former LCI	
	disposal, steel, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	5.00E-1	derived from former LCI	
	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill	CH	0	kg	2.39E+0	derived from former LCI	
	disposal, hazardous waste, 0% water, to underground deposit	DE	0	kg	1.20E-1	derived from former LCI	
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill	CH	0	kg	6.28E+1	derived from former LCI	
	disposal, ash from deinking sludge, 0% water, to residual material landfill	CH	0	kg	7.78E+1	derived from former LCI	

## A4.2 Inventare Hygienepapiere

Die nachfolgende Tabelle beschreibt das erarbeitete Inventar für die durchschnittliche Produktion Hygienepapier aus Frischfasern. Die darauffolgende Tabelle die Variante Recyclingpapier.

**Abbildung 43: Inventardaten der durchschnittlichen Produktion Hygienepapiere, Variante Frischfasern**

product	tissue paper, virgin, at mill	RER	kg	1	
resource, in water	Water, well, in ground	-	m3	2.17E+1	average from one producer and BAT study
technosphere	sulphate pulp, from eucalyptus ssp. (SFM), unbleached, at pulpmill	BR	kg	5.58E+2	average pulp amount from BAT study, market supply mix derived from German LCA study
	sulphate pulp, average, at regional storage	RER	kg	1.52E+2	average pulp amount from BAT study, market supply mix derived from German LCA study
	sulphate pulp, from eucalyptus ssp. (SFM), unbleached, at pulpmill	ES	kg	3.04E+2	average pulp amount from BAT, market supply mix derived from German LCA study
	transport, freight, rail	RER	tkm	3.04E+2	derived from market of pulp supply in German LCA study
	transport, transoceanic freight ship	OCE	tkm	5.94E+3	derived from market of pulp supply in German LCA study
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	tkm	5.16E+2	derived from market of pulp supply in German LCA study
	potato starch, at plant	DE	kg	7.50E+0	derived from BAT study and information of one producer
	rosin size, in paper production, at plant	RER	kg	7.16E-1	derived from one producer
	chemicals inorganic, at plant	GLO	kg	2.50E+0	derived from BAT study, range of additives
	chemicals organic, at plant	GLO	kg	2.50E+0	derived from BAT study, range of additives
	melamine formaldehyde resin, at plant	RER	kg	1.76E+1	derived from published data in EPDs of one producer
	pigments, paper production, unspecified, at plant	RER	kg	1.00E+0	derived from BAT study, range of colour agents
	paper mill, integrated	RER	unit	5.44E-8	derived from former LCI
	natural gas, burned in industrial furnace 1MW	CH	MJ	7.76E+3	derived from BAT and CEPI energy statistics
	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	RER	MJ	4.93E+1	derived from BAT and CEPI energy statistics
	wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW	CH	MJ	8.57E+2	derived from BAT and CEPI energy statistics
	hard coal, burned in industrial furnace 1-10MW	RER	MJ	1.34E+3	derived from BAT and CEPI energy statistics
electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	kWh	8.82E+2	derived from BAT study	
emission air, unspecified	Water	-	kg	2.00E+3	derived from BAT study
emission water, river	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	-	kg	8.50E-3	derived from BAT study
	BOD5, Biological Oxygen Demand	-	kg	3.00E-1	derived from BAT study
	COD, Chemical Oxygen Demand	-	kg	3.50E-1	derived from BAT study
	Nitrogen	-	kg	2.45E-1	derived from BAT study
	Phosphorus	-	kg	1.52E-2	derived from BAT study
	Suspended solids, unspecified	-	kg	4.00E-1	derived from BAT study
	Water	-	kg	1.97E+4	derived from BAT study
technosphere	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	CH	kg	3.36E+0	derived from former LCI
	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill	CH	kg	3.36E+0	derived from former LCI
	disposal, sludge from pulp and paper production, 25% water, to sanitary landfill	CH	kg	6.89E+0	derived from former LCI
	disposal, ash from paper prod. sludge, 0% water, to residual material landfill	CH	kg	1.95E+0	derived from former LCI
	disposal, hazardous waste, 0% water, to underground deposit	DE	kg	9.00E-2	derived from former LCI

**Abbildung 44: Inventardaten der durchschnittlichen Produktion Hygienepapiere, Variante Recycling**

product	tissue paper, recycling, at mill	RER	kg	1	
resource, in water	Water, well, in ground	-	m3	3.02E+1	average from one producer and a German LCA study
technosphere	transport, freight, rail	RER	tkm	2.37E+2	derived from former LCI and waste paper consumption of producers
	transport, freight, lorry, fleet average	RER	tkm	5.46E+1	derived from former LCI and waste paper consumption of producers
	waste paper, sorted, for further treatment	RER	kg	1.87E+3	derived from one producer
	hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant	RER	kg	5.00E+0	derived from BAT study
	sodium dithionite, anhydrous, at plant	RER	kg	8.00E+0	derived from BAT study
	sulphuric acid, liquid, at plant	RER	kg	8.00E+0	derived from BAT study
	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant	RER	kg	6.00E+0	derived from BAT study
	sodium silicate, spray powder 80%, at plant	RER	kg	1.20E+1	derived from BAT study
	potato starch, at plant	DE	kg	7.50E+0	derived from BAT study
	rosin size, in paper production, at plant	RER	kg	7.16E-1	derived from one producer
	chemicals inorganic, at plant	GLO	kg	2.50E+0	derived from BAT study
	chemicals organic, at plant	GLO	kg	2.50E+0	derived from BAT study
	melamine formaldehyde resin, at plant	RER	kg	1.76E+1	derived from public EPD
	pigments, paper production, unspecified, at plant	RER	kg	1.00E+0	derived from BAT study
	paper mill, integrated	RER	unit	5.44E-8	derived from former LCI
	natural gas, burned in industrial furnace 1MW	CH	MJ	8.04E+3	derived from German LCA study
	light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating	RER	MJ	5.11E+1	derived from German LCA study
	hard coal, burned in industrial furnace 1-10MW	RER	MJ	1.39E+3	derived from German LCA study
	heat, biowaste, at waste incineration plant, allocation price	CH	MJ	7.78E+2	derived from German LCA study
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	kWh	1.33E+3	derived from German LCA study
	emission air, unspecified	Water	-	kg	2.00E+3
emission water, river	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	-	kg	8.50E-3	average of several producers
	BOD5, Biological Oxygen Demand	-	kg	3.00E-1	average of several producers
	COD, Chemical Oxygen Demand	-	kg	3.50E-1	average of several producers
	Nitrogen	-	kg	2.45E-1	average of several producers
	Phosphorus	-	kg	1.52E-2	average of several producers
	Suspended solids, unspecified	-	kg	4.00E-1	average of several producers
	Water	-	kg	2.82E+4	derived from BAT study
technosphere	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	kg	4.50E+0	derived from former LCI
	disposal, paper, 11.2% water, to municipal incineration	CH	kg	1.43E+0	derived from former LCI
	disposal, textiles, soiled, 25% water, to municipal incineration	CH	kg	4.64E-1	derived from former LCI
	disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration	CH	kg	2.50E-1	derived from former LCI
	disposal, steel, 0% water, to municipal incineration	CH	kg	5.00E-1	derived from former LCI
	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill	CH	kg	2.39E+0	derived from former LCI
	disposal, hazardous waste, 0% water, to underground deposit	DE	kg	1.20E-1	derived from former LCI
	disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill	CH	kg	6.28E+1	derived from former LCI
	disposal, ash from drinking sludge, 0% water, to residual material landfill	CH	kg	7.78E+1	derived from former LCI
	disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration	CH	kg	1.44E+1	derived from former LCI