

Sachbericht zum Verwendungsnachweis
zum Förderprojekt
im BMBF Rahmenprogramm „Vom Material zur Innovation“
und in der Fördermaßnahme ProMat_KMU

Teil I - Kurzbericht

Vorhabenbezeichnung: ESDpap ESD-fähige Vollpappe für nachhaltige Transportmittel und Ladungsträger	
Zuwendungsempfänger: PAKA Glashütter Pappen- und Kartonagenfabrik GmbH	Förderkennzeichen 03XP0514A
Projektleiter & -mitarbeiter Ronny Ruider (Projektleiter und –koordinator) Halina Wojtek (Ingenieur) Roland Kühnel (Meister) Vivian Schmidt (Techniker)	Berichtszeitraum 01.01.2023 – 31.12.2024

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

1 Zielstellung und Motivation

Das Projekt ESDpap verfolgt die Entwicklung einer ESD-fähigen Vollpappe auf Basis recycelter Papierfasern. Ziel war es, eine umweltfreundliche, recyclingfähige Verpackungslösung zu schaffen, die ohne leitfähige Beschichtungen auskommt und ihre ESD-Eigenschaften durch gezielte Additivierung (z. B. Carbonfasern) direkt während der Herstellung erhält.

2 Umsetzung und Fertigung

Die ESD-Pappe wurde im industriellen Maßstab auf Wickelpappenanlagen gefertigt. Die Additivierung der Pulpe erfolgte homogen und prozesssicher. Die mechanischen und elektrischen Eigenschaften wurden systematisch untersucht. Klassische Umformprozesse (z. B. Schneiden, Rillen, Stanzen, Kleben) konnten ohne Einschränkungen durchgeführt werden. Die ESD-Werte lagen im gewünschten Zielbereich (10^6 – 10^9 Ω).

3 Prototypen & Recycling

Prototypen in Form klassischer KLTs sowie 3D-geformter Trays wurden erfolgreich hergestellt. Die Freiformprozesse (Stempel/Gesenk, Vakuumformen) zeigten gute Formhaltigkeit, insbesondere bei nasser Prozessführung.

Die Recyclingfähigkeit wurde umfassend untersucht: Eine Rückführung der ESD-Pappen in die werkseigene Pulpe ist möglich, auch wenn die Carbonfasern nur begrenzt wiederverwendbar sind. Für technische Downcycling-Anwendungen ist das Recyclat gut einsetzbar. Handlungsempfehlungen zur Sortierung und Verarbeitung wurden erarbeitet.

4 Wirtschaftliche Verwertung & Ausblick

PAKA plant die Serienproduktion ESD-fähiger KLTs ab Q1/2026. Die Herstellungskosten liegen deutlich unterhalb der konventioneller Kunststofflösungen. Die Einführung erfolgt über Lizenzmodelle, Großhändler und Fachmessen (z. B. LogiMAT). Eine Zertifizierung nach DIN EN 61340-5-1 ist vorgesehen. Eine Markteinführung im D-A-CH-Wirtschaftsraum ist ab Mitte 2026 geplant.

5 Mittelverwendung

Die bewilligten Mittel (142.740,99 €) wurden bis auf einen Restbetrag sachgerecht eingesetzt. Höhere Materialkosten (Additive) wurden durch Minderkosten bei Reisen und Personal kompensiert. Die Mittelverwendung war effizient und zweckgebunden.

6 Fazit

Das Projekt demonstriert erfolgreich die technische Machbarkeit und wirtschaftliche Attraktivität einer ESD-fähigen, recyclinggerechten Vollpappe. Die Umsetzung bei PAKA ist industriell skalierbar, das Material zeigt großes Marktpotenzial in der Elektroniklogistik.

Sachbericht zum Verwendungsnachweis
zum Förderprojekt
im BMBF Rahmenprogramm „Vom Material zur Innovation“
und in der Fördermaßnahme ProMat_KMU

Teil II - Eingehende Darstellung

Vorhabenbezeichnung:

ESDpap

ESD-fähige Vollpappe für nachhaltige Transportmittel und Ladungsträger

Zuwendungsempfänger:

PAKA Glashütter Pappen- und Kartonagenfabrik GmbH

Förderkennzeichen

03XP0514A

Projektleiter & -mitarbeiter

Ronny Ruider (Projektleiter und –koordinator)

Halina Wojtek (Ingenieur)

Roland Kühnel (Meister)

Vivian Schmidt (Techniker)

Berichtszeitraum

01.01.2023 – 31.12.2024

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

1 Überblick und Abgleich mit der Vorhabensbeschreibung

1.1 Hintergrund und Motivation

Die zunehmende Miniaturisierung elektronischer Bauelemente sowie steigende Anforderungen an Fertigungs- und Handhabungsprozesse in der Elektronikindustrie machen einen effektiven Schutz vor elektrostatischen Entladungen (ESD) unabdingbar. Schon kleinste statische Spannungen können zu nachhaltigen Beschädigungen von Halbleiterbauelementen führen, was nicht nur Ausfälle in der Produktion zur Folge hat, sondern auch die Zuverlässigkeit der Endprodukte beeinträchtigt. Üblicherweise kommen hierzu Kunststoffbehälter (Kleinladungsträger, KLT) oder mit leitfähigen Beschichtungen versehene Wellpappenlösungen zum Einsatz. Diese Lösungen weisen jedoch mehrere Nachteile auf: Kunststoffbehälter basieren vorwiegend auf fossilen Rohstoffen, sind energieintensiv in der Herstellung und erschwert zu recyceln, während beschichtete Pappenmaterialien häufig nur eingeschränkt recycelbar sind und die ESD-Eigenschaften nicht immer gleichmäßig über die gesamte Materialdicke gewährleisten.

Vor diesem Hintergrund entstand das Bestreben, eine nachhaltige Verpackungslösung auf Basis von Recyclingfasern zu entwickeln, die zugleich die erforderlichen ESD-Eigenschaften abdeckt. Ziel ist es, ein ESD-fähiges Vollpappenmaterial zu etablieren, das vollständig aus Altpapier hergestellt werden kann und ohne zusätzliche leitfähige Beschichtungen ein gleichmäßiges elektrisches Leitfähigkeitsprofil aufweist. Durch den Einsatz von Metall- oder Carbonfasern in der Pulpe soll ein homogenes, dreidimensionales Leitungsnetzwerk entstehen, das auch bei wechselnder Feuchte und Temperatur zuverlässige ESD-Klassen erfüllt.

1.2 Zielstellung

Das **Gesamtprojekt zielt** darauf ab, nachhaltige und ESD-fähige Verpackungseinheiten aus Pappwerkstoffen zu entwickeln, die empfindliche elektronische Bauteile vor elektrostatischen Entladungen schützen. Dafür wird eine ESD-fähige Vollpappe als Halbzeug entwickelt, die bereits während der Urformung durch spezielle Additive ihre ESD-Fähigkeit erhält, ohne dass eine nachträgliche Bearbeitung oder Beschichtung erforderlich ist. Der neue Werkstoff basiert vollständig auf recyceltem Altpapier und wird durch homogene Additivierung im gesamten Material ESD-Fähigkeit aufweisen, nicht nur an der Oberfläche. Durch verschiedene Umformverfahren können daraus eine Vielzahl von Förder- und Montagehilfsmitteln, wie Trays und KLTs hergestellt werden. Diese Produkte können direkt vermarktet werden und bieten eine umweltfreundliche Alternative zu herkömmlichen, ESD-fähigen Materialien aus fossilen, nicht-nachhaltigen Werkstoffen.

Das neue Material ermöglicht den direkten Weg „vom Material zur Innovation“. Hierzu ist das Gesamtvorhaben in zwei Teilprojekte mit jeweils eigenen Projektzielen gegliedert:

- Teilprojekt MATERIAL - „ESD-fähige Vollpappe“
- Teilprojekt VERARBEITUNG - „ESD-fähiger Kleinladungsträger aus nachwachsenden Rohstoffen“

Ziel des Teilprojektes „ESD-fähige Vollpappe“ ist es, ein neues Material auf Basis von Vollpappe zu entwickeln, dass zu 100% aus recyceltem Altpapier besteht. Durch die Zugabe bestimmter Additive wird die Pappe leitfähig gemacht. Dies geschieht, indem ein Wasser-Papier-Brei – die Pulpe – in dünnen Lagen übereinander aufgetragen wird, bis die gewünschte Dicke erreicht ist. Die Pulpe wird mit feinen Kohlenstoff- oder Metallfasern versetzt, um Leitfähigkeit zu erzeugen. Eine Herausforderung besteht darin, diese Zusatzstoffe in definierter Konzentration und homogen einzumischen. Durch gezieltes Anmischen der Pulpe und spezielle Steuerung des Herstellungsverfahrens wird nicht nur die Oberfläche, sondern der gesamte Materialquerschnitt ESD-fähig gemacht.

Die meisten der wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele wurden gemäß der Vorhabensbeschreibung erreicht (vgl. Abbildung 1).

Arbeitsziele

Bereich	Nr.	Arbeitsziel	
I. Grundlagen	I.1	Gezielte Beeinflussung des Oberflächenwiderstandes (besondere Herausforderung: unabhängig von der Oberflächenfeuchte)	erreicht nicht erreicht
	I.2	Auswahl geeigneter Additive (und entsprechender Halbzeugvarianten)	erreicht
	I.3	Realisieren der ESD-Eigenschaften im gesamten Materialquerschnitt	erreicht
II. Material / Halbzeug	II.1	Homogenes Einmischen der Zusatzstoffe in die Pulpe	erreicht
	II.2	Gezieltes Einstellen der Konzentration der Zusatzstoffe in der Pulpe	erreicht
	II.3	Prozesssicheres Vergautschen von Pulpe zu Pappe	erreicht
	II.4	Beibehalten einer homogenen Additivverteilung im Bogen; Verhindern eventueller Entmischungen	erreicht
III. Verarbeitung/ Endprodukt	III.1	Realisieren ausreichender Umformgrade für den Schritt „Falten“	erreicht
	III.2	Erhalt der ESD-Eigenschaften trotz Umformung bzw. Bearbeitung	erreicht
	III.3	Freiformen: Ermitteln der nötigen Prozessparameter (Zeit, Feuchte, Temperatur)	erreicht
	III.4	Freiformen: Konzipieren nötiger Maschinenteknik und Hilfsmittel	erreicht
IV. Ökonomie/ Ökologie	IV.1	Realisieren hoher Standzeiten für Schneid- und Stanzwerkzeuge	noch zu untersuchen
	IV.2	Deutlich günstigere Ökobilanz der Endprodukte als der Stand der Technik	erreicht

Abbildung 1: Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele laut Vorhabensbeschreibung und deren Erreichung im Projekt

1.3 Durchgeführte Arbeiten

AP 1: Spezifikation der technischen Anforderungen / Pflichtenheft

- Aufnahme bzw. Aktualisierung des Ist-Zustandes hinsichtlich der Leitfähigkeit der Papp- Erzeugnisse der Firma

- Ermittlung der Anforderungen an den Werkstoff und die Endprodukte
- Formulierung des Pflichtenheftes

Alle Arbeitspunkte wurden gemäß Vorhabensbeschreibung bearbeitet.

AP 2: Konzeption des Materials

- Erstellen von Eigenschaftsprofilen bzgl. wichtiger Funktionsparameter (insbesondere Flächenmasse, Oberflächenbeschaffenheit und Biegeeigenschaften)
- Beurteilung möglicher Additive in Bezug auf die Verarbeitbarkeit im Produktionsprozess
- Ableiten produktionsrelevanter Eigenschaftsparameter der Pulpe (Rohmasse der Pappe)
- Analyse der Parameter im Produktionsbetrieb und Ableitung des erwartbaren Eigenschaftenspektrums

Alle Arbeitspunkte wurden gemäß Vorhabensbeschreibung bearbeitet.

AP 3: Aufbau Evaluierungssystem und Versuchsplanung

- Beschaffung Inbetriebnahme der nötigen Gerätetechnik (z. B. ESD-Messgerät)

Alle Arbeitspunkte wurden gemäß Vorhabensbeschreibung bearbeitet.

AP 4: Herstellung und Evaluation von Materialmustern

- Herstellung von Muster-Chargen
- Ermitteln des Eigenschaftenspektrums der Pulpen-Chargen
- Untersuchung der Leitfähigkeit für die jeweiligen Probekörper-Chargen
- Feststellen eines Parameterspektrums zur reproduzierbaren Einstellbarkeit der Pulpen-Eigenschaften
- Auswertung der Versuchsergebnisse / Auswahl einer Vorzugslösung der Additiv-Pappe-Kombination

Alle Arbeitspunkte wurden gemäß Vorhabensbeschreibung bearbeitet.

AP 5: Herstellung endproduktnaher Halbzeuge

- Praxisnahe Herstellung von Halbzeugen aus ESD-fähiger Vollpappe (Bögen)
- Ermittlung aller Fertigungsprozessparameter

Alle Arbeitspunkte wurden gemäß Vorhabensbeschreibung bearbeitet.

AP 6: Prüfung der Verarbeitbarkeit

- Konkrete Verarbeitungsversuche der Halbzeuge bezüglich der Verfahren Schneiden, Stanzen, Falten, Perforieren, Nieten / Heften, Kleben / Bedrucken

Alle Arbeitspunkte wurden gemäß Vorhabensbeschreibung bearbeitet.

AP 7: Entwicklung des Umformverfahrens (Freiformen)

- Auswertung der Ergebnisse und ggf. ReDesign von Prozess o./u. Anlage
- Definition der Zielparameter im Demonstrator

Alle Arbeitspunkte wurden gemäß Vorhabensbeschreibung bearbeitet.

AP 8: Herstellung und Evaluation von Prototypen

- Fertigung aller Teile für Prototyp „klassisches Umformen“
- Montage aller Teile für Prototyp „klassisches Umformen“
- Inbetriebnahme, Funktionstest

Alle Arbeitspunkte wurden gemäß Vorhabensbeschreibung bearbeitet.

AP 9: Ökobilanzierung und Recyclebarkeit

- Konzeption von Recycle-Strategien für den neuen Verbundwerkstoff
- Untersuchung der Recyclebarkeit durch Rückführung der ESD-fähigen Pappe in den eigenen Produktionsprozess
- Untersuchung und Aufnahme des daraus resultierenden Eigenschaftenspektrums der Pulpen-Chargen
- Erarbeiten von Handlungsanweisungen im Umgang mit den Recyclaten, sowohl der Pappe-Komponente als auch der Metallfasern

Fast alle Arbeitspunkte wurden gemäß Vorhabensbeschreibung bearbeitet. Während des Projektes wurde der Ansatz, Metallfasern als Additive zu verwenden, verworfen. Alle Punkte, die diese Fasern betreffen wurden deshalb nicht bearbeitet.

AP 10: Zusammenfassung und Dokumentation Forschungsergebnisse

- Entwickeln von Rezepturen für den neuen Verbundwerkstoff
- Zusammenstellen einer Parametersammlung für die Werkstofffertigung
- Erstellen von Zwischen- und Abschlussberichten

Alle Arbeitspunkte wurden gemäß Vorhabensbeschreibung bearbeitet.

1.4 Erzielte Ergebnisse

Das Forschungsprojekt hat beiden Projektpartnern viele wichtige Erkenntnisse gebracht, welche nicht nur das aktuelle Projekt haben erfolgreich werden lassen, sondern die auch in zukünftige Vorhaben eingehen werden.

Eine Auswahl ganz konkreter, wesentlicher Arbeitsergebnisse sind im Folgenden kurz zusammengefasst. Sie werden im nächsten Kapitel ausführlicher dargestellt.

Herstellverfahren

Die ESD-fähige Pappe konnte im industriellen Maßstab auf vorhandenen Wickelpappenanlagen mit integrierten Carbonfasern prozesssicher gefertigt werden. Die homogene Verteilung von Carbonfasern in der Pulpe und den fertigen Halbzeugen wurde nachgewiesen.

ESD-Fähigkeit

Die entwickelten Materialien erreichen Oberflächen- und Volumenwiderstände im Zielbereich (10^6 – $10^9 \Omega$).

Physikalische Eigenschaften

Oberflächenrauheit, Brandverhalten und Reibungseigenschaften der ESD-Pappe sind vergleichbar mit der Original-Pappe.

Mechanische Eigenschaften

Die Druckfestigkeit der ESD-Pappe entspricht der der Originalpappe. Es zeigen sich jedoch reduzierte Zug- und Biegefestigkeiten sowie eine höhere Neigung zur Delamination unter Last.

Verarbeitbarkeit - Klassische Umformverfahren

Die ESD-Pappe lässt sich problemlos schneiden, stanzen, rillen, kleben und bedrucken – ohne Abweichungen zur konventionellen Verpackungspappe.

Verarbeitbarkeit - Freiform-Verfahren

Im nassen Zustand sind sehr enge Radien (bis 1,5 mm) und stabile 3D-Formen realisierbar. Das Trocknen in der Form sichert dauerhaft gute Formhaltigkeit.

Prototypen

Sowohl klassischen Faltschachteln als auch Freiform-Transporttrays wurden erfolgreich gefertigt und erfüllen ESD- und Stabilitätsanforderungen im Praxistest.

Ökologische Betrachtungen / Recyclebarkeit

Es wurden ökologische Betrachtungen des neuartigen Pappe-Werkstoffes durchgeführt. Richtlinien zum Recycling wurden erarbeitet.

1.5 Meilensteine

Meilenstein 1: „Leitfähigkeit im ESD-Bereich“

- Fälligkeit: Ende des 11. Projektmonats
 - Kriterium I: Der Oberflächenwiderstand liegt nach ESD-Norm im Bereich zwischen $10^6\Omega$ bis $10^9\Omega$
 - Kriterium II: Der Durchgangswiderstand (Volumenwiderstand durch die Materialdicke) liegt nach ESD-Norm im Bereich zwischen $10^6\Omega$ bis $10^9\Omega$
- ➔ Beide Kriterien wurden nachgewiesen und erfüllt - der Meilenstein gilt als erreicht.

Meilenstein 2: „Verbundwerkstoff kann verarbeitet werden; nötige Parameter sind bekannt“

- Fälligkeit: Ende des 15. Projektmonats
 - Kriterium I: Der minimale Biegeradius beträgt maximal das 1,2-Fache der Materialdicke ($r_{\min} \leq 1,2 \cdot d$).
 - Kriterium II: Die Standzeit des verwendeten Stanzwerkzeugs beim ESD-Material beträgt mindestens 90 % der Standzeit bei Verarbeitung eines konventionellen, nicht-additiven Werkstoffes.
- ➔ Beide Kriterien wurden nachgewiesen und erfüllt - der Meilenstein gilt als erreicht.

Meilenstein 3: „technische und ökologische Eigenschaften werden entsprechend des Pflichtenheftes erreicht“

- Fälligkeit: Ende des Projekts
- ➔ Alle Kriterien wurden nachgewiesen und erfüllt - der Meilenstein gilt als erreicht.

2 Wesentliche Ergebnisse

2.1 Herstellverfahren

Der Herstellungsprozess von Wickelpappe zeichnet sich durch eine besondere Fertigungstechnik aus, die von der Herstellung von Papier und Karton abweicht. Ausgangspunkt bei der Herstellung von Wickelpappe ist ein Faserstoff. Dieser besteht im Projekt zu 100% aus Altpapier, also Papier, Zeitungen oder Verpackungen. Das Altpapier wird in einem ersten Schritt zu einer wässrigen Suspension, der sogenannten Pulpe, aufbereitet. Dabei wird auch das ausgewählte Additiv – nämlich Carbonfasern (Produkt „SIGRAFIL C C3-4.0/240-G100“) eingebracht und gleichmäßig verteilt.

Mittels Siebtrommeln wird dieser Pulpe eine nasse Faserstoffbahn entnommen und auf einer sogenannten Formatwalze abgelegt. Dies wird so lange wiederholt, bis die gewünschte Dicke und Festigkeit der Pappe erreicht ist. Anschließend wird der entstandene Pappzylinder von der Walze abgenommen und quer aufgeschnitten. Die noch feuchte Wickelpappe wird über eine Trocknungsanlage auf die anvisierte Restfeuchtigkeit getrocknet. Nach dem Trocknen erfolgt das Zuschneiden auf die gewünschten Formate mittels Längs- und Querschneider bzw. durch weitere Verarbeitungsmaschinen.

Herstellung der Halbzeuge - Wickelpappenmaschine



Abbildung 2: Formatwalze der Wickelpappenmaschine mit darauf liegender Faserstoffbahn

Herstellung der Halbzeuge - Wickelpappenmaschine



Abbildung 3: Pappebogen nach der Trocknung auf dem Weg zum Zuschneiden

Prozessparameter (Auswahl)

- Additiv-Konzentration: 2,5% im Endprodukt
- Durchsatzrate: 3 m³ Pulpe pro Stunde
- Feststoffgehalt: 0,45% [an der Maschine; 3,3% in der Maschinenbütte; 5,0% im Pulper]
- Mischdauer: 45 Minuten
- Walzengeschwindigkeit: bis zu 60 m/min
- Restfeuchte nach Trocknung: 8 bis 12% je nach Anwendung (Zwischenlage oder Schachtel)
- Dicke Endprodukt: 3 mm
- Grammaturn Endprodukt: 2.100 g/m²

Homogenität / Faserverteilung

Die Herstellung der Pulpe erfolgt bereits im Standardprozess durch sehr starkes Bewegen des Gemisches. Das Zudosieren und Verteilen der Additiv-Fasern war demnach kein Problem. Mikroskopische Untersuchungen (50x- und 175x-Vergrößerung) an den fertigen Pappebögen zeigten, dass die Carbonfasern in der Pulpe weitgehend gleichmäßig verteilt sind: Auf der Oberfläche bilden sie ein dichtes Netz, während im Querschnitt die Fasern überwiegend in Längsrichtung der Pappe angeordnet sind.

Homogenität (Faserverteilung)

Ergebnisse - Oberfläche

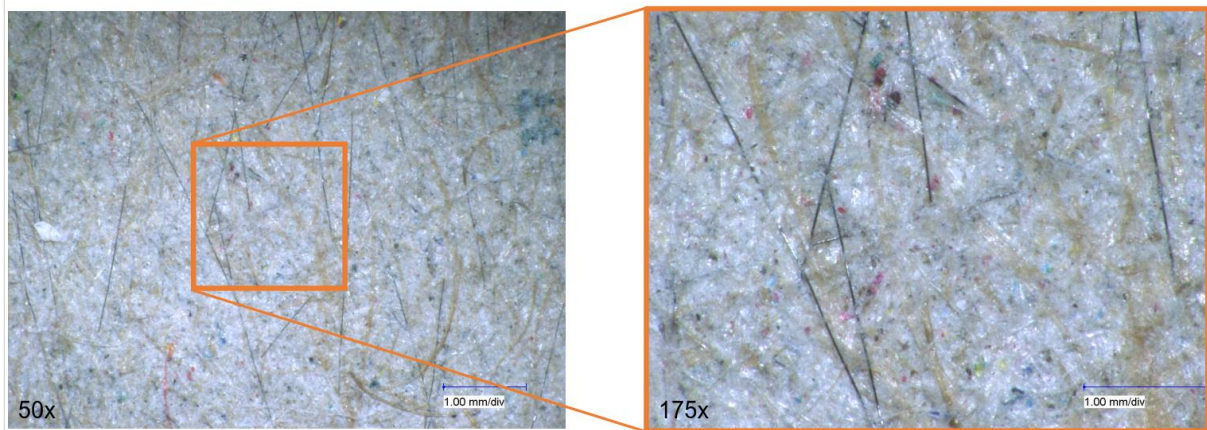


Abbildung 4: Mikroskopaufnahmen der Carbonfaser-Verteilung an der Oberfläche

Homogenität (Faserverteilung)

Ergebnisse - Oberfläche (Vergleich original (links) vs. ESD (rechts))

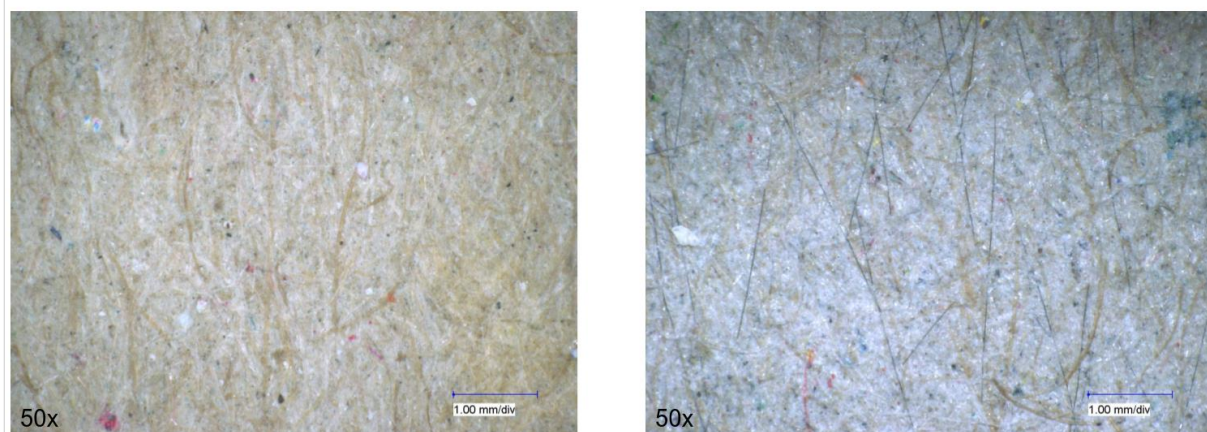


Abbildung 5: Mikroskopaufnahmen: Vergleich Standardpappe vs. ESD-Pappe

2.2 ESD-Fähigkeit

Methodik

Zur Bestimmung der ESD-Eigenschaften kam ein Messgerät der Firma MetrISO (Modell B 530) in Verbindung mit einer Ringelektrode der Firma DPV Elektronik (Modell 880) zum Einsatz. Die Prüfungen erfolgten nach DIN EN 61340-4-1 sowie DIN EN 61340-2-3.

Leitfähigkeitsmessungen - Methode

Methode



Messaufbau für den Oberflächenwiderstand



Messaufbau für den Durchgangs- bzw. Volumenwiderstand

Abbildung 6: Aufbauten zur Messung der ESD-Fähigkeit

Es wurden zwei Messgrößen untersucht: der **Oberflächenwiderstand** und der Durchgangs-**Volumenwiderstand**.

Die Messungen erfolgten sowohl an den reinen Papp-Halbzeugen (additiviert und unadditiviert) als auch am Prototyp „Kiste“ (groß/klein), jeweils unter definierten Klimabedingungen (Temperatur, relative Feuchte). Auch der Einfluss dieser Bedingungen wurde nach Konditionierung ermittelt.

Ergebnisse

Die Zugabe von Carbonfasern führt zu einer signifikanten Reduzierung der Widerstände gegenüber der Original-Pappe. Insbesondere ist erwartungsgemäß zu erkennen, dass die Widerstände umso geringer werden, je höher der Additivanteil ist.

Leitfähigkeit an der Oberfläche

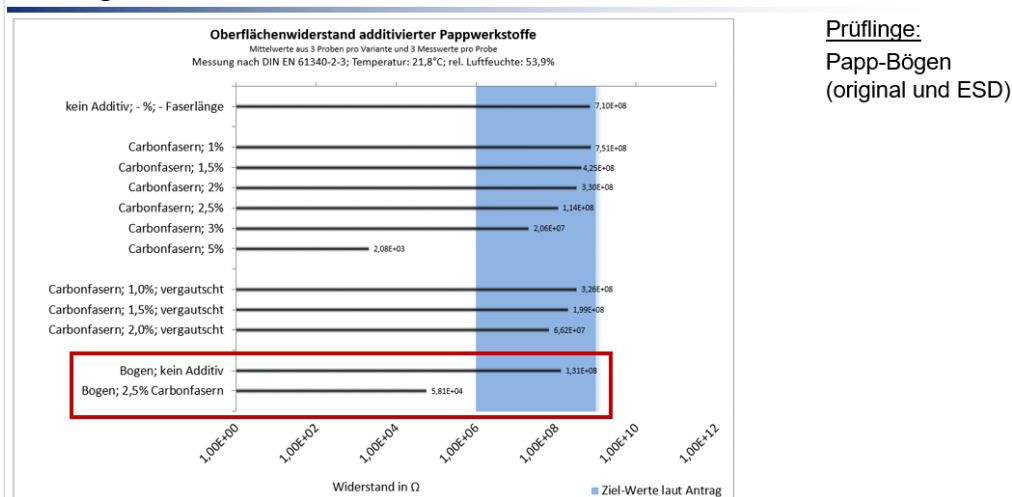


Abbildung 7: ESD-Fähigkeit der neuen Pappe - Oberflächenwiderstand

Dennoch liegt der ermittelte **Oberflächenwiderstand** der Vorzugsvariante unterhalb des angestrebten Zielbereichs. Er bleibt außerdem stark von der Luftfeuchte abhängig, wenn auch weniger ausgeprägt als bei nicht-additiver Pappe. Bei Variation der Temperatur fällt der Oberflächenwiderstand stets in den Zielbereich, sofern die relative Feuchte konstant gehalten wird.

Der **Volumenwiderstand** der additiven Variante liegt innerhalb des geforderten Spektrums und zeigt insgesamt eine bessere Stabilität gegenüber Feuchteschwankungen als die Oberfläche.

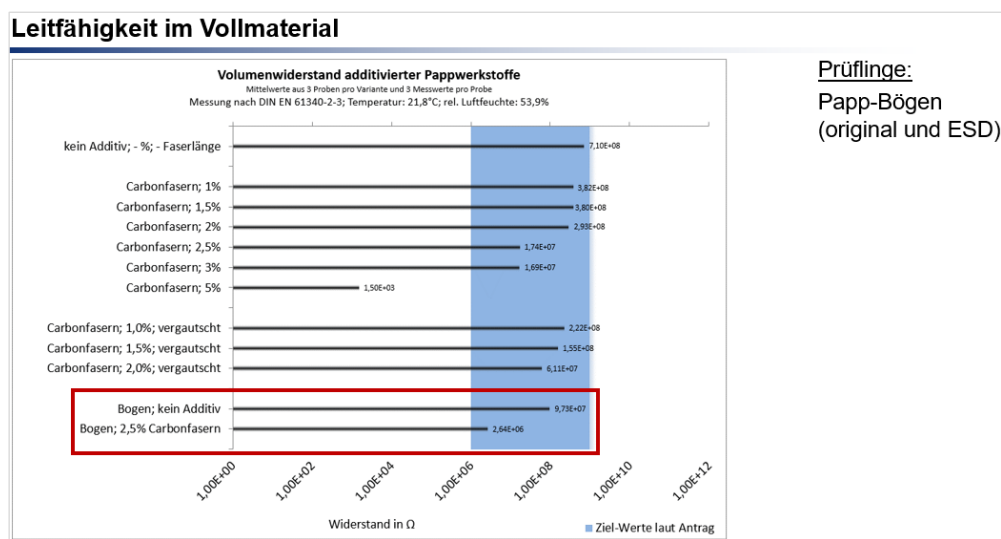
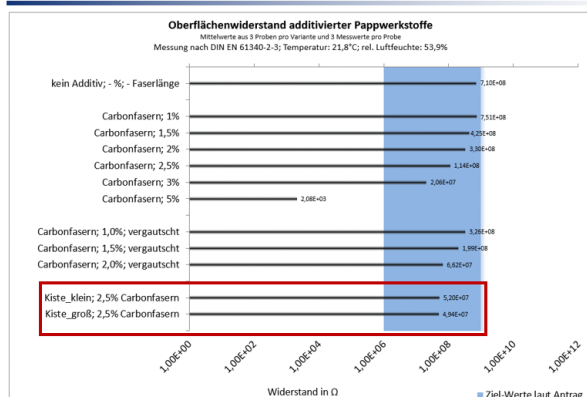


Abbildung 8: ESD-Fähigkeit der neuen Pappe - Volumenwiderstand

Die **Prototyp-Messungen** an den ESD-Kisten („groß“ und „klein“) zeigen vergleichbare Widerstandswerte wie die Halbzeuge. Die Werte weisen allerdings eine deutlich geringere Streuung auf und liegen konsequent im vorgegebenen ESD-Bereich.

Leitfähigkeit an der Oberfläche



Leitfähigkeit im Vollmaterial

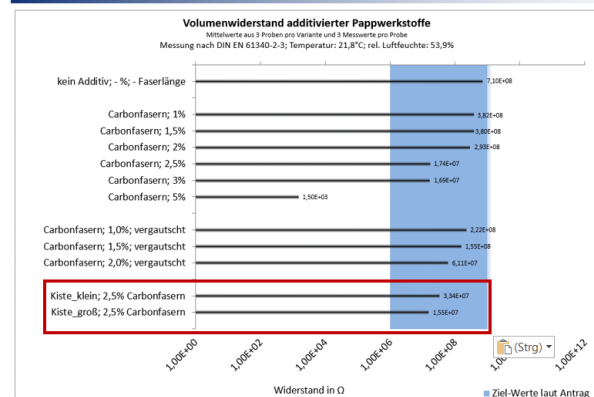


Abbildung 9: ESD-Fähigkeiten des Prototyps "Kiste"

Diskussion

- Carbonfasern reduzieren den Widerstand deutlich, erlauben jedoch nicht immer eine perfekte Übereinstimmung mit Handmuster-Werten
- Volumenwiderstände erfüllen die Normvorgaben, Oberflächenwiderstände sind durch Feuchte- und Temperatureinfluss weiterhin limitiert, aber im Zielbereich
- Für den finalen Prototyp (ESD-Kiste) bleiben die Widerstände innerhalb der spezifizierten ESD-Grenzen
- Unterschiede zwischen den Messungen an Handmustern, maschinell gefertigten Halbzeugen und dem Prototyp lassen sich durch Unterschiede in den Chargen und durch Schwankungen im Herstellungsprozess erklären

2.3 Physikalische Eigenschaften

→ siehe Bericht des Projektpartners

2.4 Mechanische Eigenschaften

→ siehe Bericht des Projektpartners

2.5 Verarbeitbarkeit - Klassische Umformverfahren

Schneiden

Die Schneidaktivitäten bei PAKA erfolgen hauptsächlich über sogenannte Planschneider, auch Schnellschneider genannt. In Abgrenzung zu andere Schneidmethoden werden dabei die Bögen flach bzw. plano geschnitten.

Bei den Tests und Prüfungen konnten weder in Bezug auf die Verarbeitbarkeit noch in Bezug auf das Ergebnis Unterschiede zwischen beiden Prüfchargen festgestellt werden. Es ist also davon auszugehen, dass die ESD-fähige Pappe sich ebenso schneiden lässt wie eine nicht ESD-fähige Pappe.

Stanzen

Beim Stanzen wird die Wickelpappe vorwiegend mittels Bandstahllinien in Form gebracht. Dafür stehen verschiedene halbautomatische oder manuelle Stanzmaschinen zur Verfügung, die je nach Material, Stanzform und Auflagenhöhe zum Einsatz kommen.

Bei den durchgeführten verschiedenen Tests konnten keine Nachteile im Vergleich zu einer normalen Graupappe festgestellt werden, so dass davon auszugehen ist, dass es zu keinen Einschränkungen kommt.

Falten (im Sinne von Rillen)

Beim Falten bzw. Rillen werden durch eine Rillmaschine mechanisch Kerben/Rillen in die Pappe eingebracht, um das Material an diesen Stellen leichter biegen zu können.

Die Verarbeitung der ESD-Pappe war nicht unterschiedlich zu normaler Pappe in der gleichen Stärke. Es ist also davon auszugehen, dass es keine Einschränkungen im Verarbeitungsschritt Rillen gibt.

Schlitzen

Beim Schlitzen werden Einschnitte in der Pappe vorgenommen, die zumeist dazu dienen das Material zu einer Stülp-Deckel-Schachtel zu verbinden.

Die Verarbeitung der ESD-Pappe war analog normaler Pappe möglich, so dass auch hier keine Unterschiede zu konstatieren waren oder zukünftig zu erwarten sind.

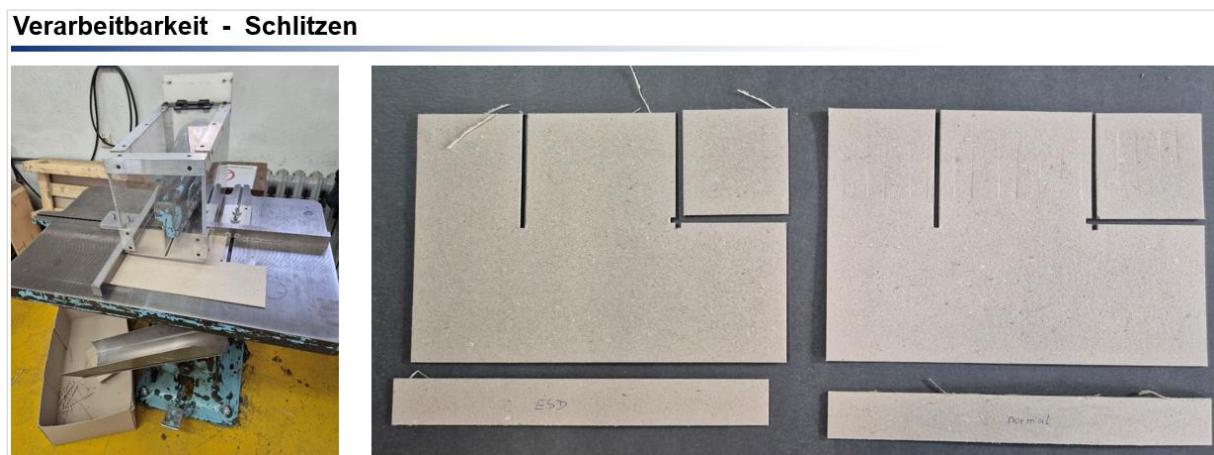


Abbildung 10: Schlitzmaschine (links) und Schlitzproben beider Pappe-Werkstoffe

Heften

Beim Heften erfolgt das Verbinden von zwei Pappteilen mittels eines Drahts. Die Maschine durchsticht dabei die zu verbindende Teile an zwei Stellen und „verschließt“ das Drahtstück auf der Rückseite der Pappenteile.

Das Heften konnte bei der ESD-Pappe im gleichen Maße bewerkstelligt werden, wie bei der normalen Pappe. Es sind also auch bei diesem Verarbeitungsschritt keinerlei Einschränkungen festzustellen.

Nieten

Analog dem Heften werden beim Nieten zwei Pappteilen verbunden. Dabei kommt allerdings ein Niet zum Einsatz, der durch die Pappen geschossen und auf der Rückseite „verankert“ wird.

Auch das Nieten konnte ohne Probleme bei der ESD-Pappe analog normaler Pappe erfolgen.

Kleben

Zwei Pappteile können auch stoffschlüssig durch Verklebung zusammengebracht werden.

Beide Materialien erzielten sehr gute Klebeergebnisse, sowohl mit Kalt- als auch mit Heißleim. Es ist also auch hier davon auszugehen, dass keine Unterschiede zwischen ESD- und Nicht-ESD-Materialien bestehen.

Bedrucken

Beim Drucken von Vollpappe können verschiedene Verfahren zum Einsatz kommen. Bei PAKA kommen Flexodruck- und Offsetdruckverfahren ebenso wie der Digitaldruck (Handdrucker) zum Einsatz.

Bei Tests mittels Digitaldruck können im Vergleich beiden Pappen keine Unterschiede festgestellt werden. Es ist also davon auszugehen, dass sich ESD-Pappen gleich gut wie normale Pappen bedrucken lassen.

Lasern

Das Lasern von Pappe ist aktuell kein Standardverfahren. Es wird aber als zukunftssträftig eingeschätzt, da sehr flexibel auf neue Konturen umgestellt werden kann und da es ohne verschleißende Werkzeuge auskommt.

Die Originalpappe lässt sich mit sehr viel geringerer Schneidleistung bearbeiten als die ESD-Pappe. Dies liegt an der Dissipation der Laserenergie durch die Carbonfasern. Prinzipiell lassen sich aber beide Werkstoffe bearbeiten.

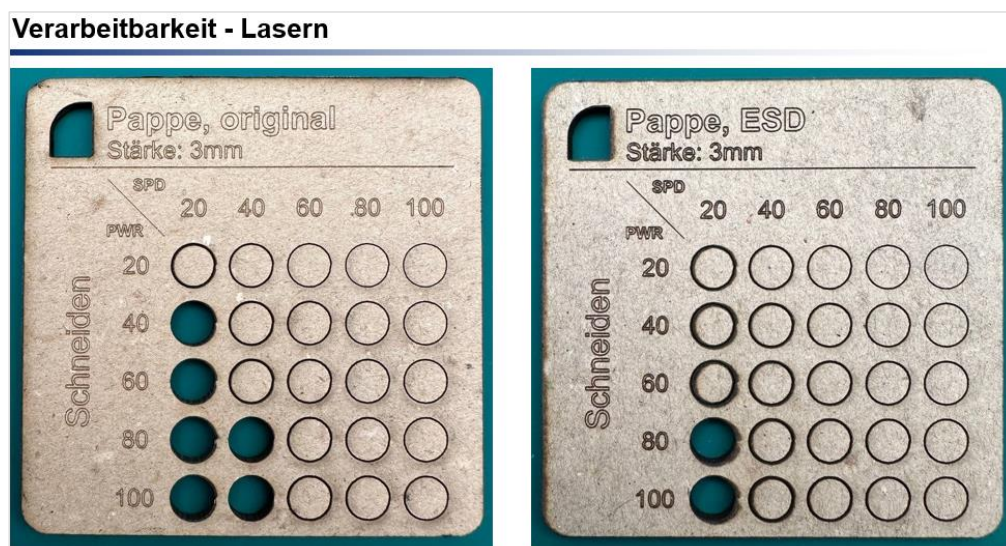


Abbildung 11: Laserproben beider Pappe-Werkstoffe

2.6 Verarbeitbarkeit - Freiform-Verfahren

→ siehe Bericht des Projektpartners

2.7 Prototypen

→ siehe auch Bericht des Projektpartners

Im letzten Schritt wurden aus den entwickelten ESD-Pappe-Halbzeugen funktionsfähige Prototypen gefertigt, um die Praxistauglichkeit hinsichtlich ESD-Eigenschaften, mechanischer Stabilität und Handhabbarkeit zu überprüfen. Dabei differenzierte das Projekt zwischen zwei Prototypenkategorien:

- klassische Umformprototypen als KLT und
- freiform-gefertigte Transporttrays.

Klassische Umformprototypen - Faltschachteln als KLT

Ziel war es, ESD-fähige Kleinladungsträger (KLT) in bekannten KLT-Geometrien zu realisieren. Hierfür wurden die ESD-Pappe-Bögen zunächst auf die Endformatgröße zugeschnitten und anschließend mit Stanzwerkzeugen konturgenau ausgestanzt. Im Anschluss erfolgten das Falten und Heften zu standardisierten KLT-Volumina (nach VDA-Norm).

Prototyp „Klassisches Umformen“

Beschreibung

- Faltschachtel I
(400mm x 300mm x 147mm)
- Faltschachtel II
(200mm x 300mm x 147mm)



Abbildung 12: ESD-fähige Faltschachteln als Prototypen

Die Schachteln sind mit 10 bzw. 15 kg Zuladung hochbelastbar. Außerdem sind sie so geformt, dass sie stapelbar sind. Damit erfüllen sie u. a. eine wesentliche Funktion, die auch vergleichbare Kunststoff-KLTs zeigen.

Prototyp „Klassisches Umformen“

Beschreibung - Stapelbarkeit



Abbildung 13: stapelbare Faltschachteln

An den fertiggestellten KLT-Prototypen wurden Oberflächen- und Volumenwiderstand gemessen (vgl. Punkt 2.2). Die Werte lagen im Sollbereich.

Um die Belastbarkeit der Behälterkonstruktion zu testen, wurde ein Prototyp-KLT einem Falltest unterzogen. Dazu wurde er mit einer 3 kg schweren Last befüllt und aus 1 m Höhe auf eine der vier Ecken fallen gelassen. Nach einmaligem Fallen zeigten sich nur leichte Kantendeformationen, ohne dass die Tragstruktur versagte. Nach zehn Wiederholungen traten an den Ecken deutliche Beschädigungen auf, die Stapel- und Standfähigkeit blieben jedoch weitestgehend erhalten.

Prototyp „Klassisches Umformen“

Belastungstest



Abbildung 14: Prototyp "Faltschachtel" nach Falltest

Die ESD-KLT erreichten die geforderte Funktionalität und mechanische Robustheit. Sowohl die ESD-Eigenschaften als auch die standardisierten Fall- und Lasttests bestätigten die Eignung für logistische Anwendungen. Die Integration in bestehende Verpackungslinien ist ohne

Anpassungen möglich, da Schnitt-, Falz- und Klebevorgänge identisch zu konventioneller Pappe sind.

Gesamtfazit Prototypen

Beide Prototypenkategorien (klassische KLT und Freiform-Trays) erfüllen die primären Anforderungen hinsichtlich ESD-Schutzes, mechanischer Robustheit und Formbarkeit. Klassische Umformverfahren lassen sich nahtlos in bestehende Produktionslinien integrieren und garantieren sofort einsatzfähige ESD-KLT. Freiform-Verfahren über Stempel/Gesenk und Vakuum bieten zusätzliche Freiheit in der Tray-Gestaltung und ermöglichen maßgeschneiderte Bauteilaufnahmen. Die nachgewiesene Formhaltigkeit und elektrische Leitfähigkeit belegen das Potenzial für den industriellen Einsatz in der Elektroniklogistik. Empfehlungen zur Optimierung der Schichthaftung liegen vor, um die Langzeitlebensdauer weiter zu steigern.

2.8 Ökologische Betrachtungen / Recyclebarkeit

→ siehe auch Bericht des Projektpartners

Recyclingstrategien für den neuen Verbundwerkstoff

Die im Projekt entwickelte ESD-Pappe basiert auf einem recyclingfähigen Zellstoffträger, der mit elektrisch leitfähigen Additiven – Carbonfasern – versetzt ist. Aus werkstofflicher Sicht handelt es sich um einen *faserbasierten, nicht mehr sortenreinen, aber trotzdem recyclingkompatiblen Verbundwerkstoff*. Im Projekt wurden verschiedene Rückführungsoptionen hinsichtlich technischer Machbarkeit, stofflicher Trennbarkeit und ökologischer Sinnhaftigkeit bewertet.

- Wiederverwendung / Mehrfachnutzung
Die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der ESD-Pappe erlauben eine mehrfache Nutzung – etwa in internen Logistikkreisläufen oder als langlebige Arbeitsunterlage in ESD-geschützten Bereichen. Eine verlängerte Produktlebensdauer reduziert die Notwendigkeit häufiger Entsorgung und erhöht die Materialeffizienz.
- Rückführung in das PAKA-eigene Recyclingpulpe-System
Versuche zur stofflichen Rückführung gebrauchter ESD-Pappen in den werkseigenen Recyclingkreislauf zeigten, dass eine Faserzurückgewinnung technisch möglich ist jedoch die kurzen Carbonfasern beim Aufschlussprozess weitgehend in der Schwimmschicht verbleiben, weshalb die recycelte Pulpe nur bedingt für die direkte Herstellung (ohne zusätzliche Carbonfasern) erneut ESD-wirksamer Materialien geeignet ist. Die Carbonanteile behindern den klassischen Deinking-Prozess nicht, führen aber zu einem erhöhten Siebrückstand. Für Anwendungen ohne ESD-Anforderung (z. B. einfache

Schachteln, Zwischenlagen) kann die Sekundärpulpe uneingeschränkt weiterverwendet werden.

- Trennung in Monofractionen – *nicht vorgesehen*
Eine Trennung von Zellstoff und Additiven (z. B. durch Dispergierung oder Zentrifugieren) ist technisch aufwendig, ökonomisch nicht sinnvoll und aufgrund der Faserlängenverteilung nur mit großem Verlust möglich. Aus diesem Grund wurde keine chemische oder mechanische Fraktionierung der Bestandteile weiterverfolgt.
- Energetische Verwertung
Da sowohl Zellstoff als auch Carbonfasern brennbar sind, stellt die kontrollierte energetische Verwertung (thermische Nutzung in Heizkraftwerken) eine ökologisch akzeptable Rückführungsstrategie für kontaminierte oder unbrauchbare Reststoffe dar.

Trotz der Materialmodifikation bleibt die ESD-Pappe recyclingfähig. Eine sortenreine Rückgewinnung der Additive ist nicht zielführend, aber die stoffliche Weiterverwendung der Gesamtmasse als Sekundärrohstoff ist technisch machbar. Das Konzept der mehrfachen Nutzung in langlebigen Anwendungen (z. B. ESD-KLTs, Trays) kombiniert mit einem Downcycling nach Lebensende bildet eine realistische und ressourcenschonende Recyclingstrategie.

Auswirkungen von ESD-Pappe-Recyclat auf die Eigenschaften neuer Pulpen

Im Rahmen des Projekts wurde untersucht, inwieweit Rückläufer aus ESD-Pappe (Post-Consumer- oder Produktionsausschuss-Material) in bestehende Pulpeansätze reintegriert werden können – entweder zur Herstellung neuer ESD-Pappen oder für Standardpappen. Dabei wurden technische, funktionale und ökologische Kriterien berücksichtigt.

- Mechanische Rezyklierbarkeit
Die faserbasierten Bestandteile der ESD-Pappe (überwiegend Altpapier, Zellstoff) lassen sich im Recyclingprozess problemlos wiederaufschließen. Die Carbonfasern als Additive verursachen keine Blockaden im Mahlsystem, werden aber aufgrund ihrer geringen Länge (Kurzfaserverhalten) nur begrenzt erneut verfälscht. Dies beeinflusst die mechanischen Eigenschaften des resultierenden Rezyklats wie folgt:
 - *Verringerte Festigkeit: Reduzierung von Zug- und Biegefestigkeit um ca. 10–15 % gegenüber Primärpulpe*
 - *Reduzierte Schichtkohäsion: Geringfügig erhöhte Neigung zu Delamination bei mehrlagigen Produkten*
- Auswirkungen auf die ESD-Funktionalität
Die Verteilung und Konzentration der verbliebenen Carbonfasern im Rezyklat ist ungleichmäßig und im Mittel zu gering, um bei Zweitverwendung wieder einen normgerechten Oberflächen- oder Volumenwiderstand zu erreichen. Eine gezielte Nachadditivierung wäre notwendig, um erneut ESD-wirksames Material herzustellen.
- Optische und haptische Eigenschaften
Durch die dunklen Carbonfasern zeigt das Recyclat eine gräuliche Färbung und rauere Oberfläche. Dies limitiert den Einsatz für Sichtverpackungen, hat aber keine Auswirkungen auf technische Anwendungen (z. B. Zwischenlagen, Füllmaterialien, Kantenschutz).

Das ESD-Pappe-Recyclat ist stofflich rückführbar, auch wenn die elektrische Funktionalität dabei verloren geht. Für hochwertige technische Anwendungen ist die Wiederverwendung nur mit gezielter Additivierung denkbar. Für niederwertige Verpackungspapiere hingegen stellt das Recyclat eine akzeptable Rohstoffquelle dar, wodurch Materialkreisläufe geschlossen und Primärrohstoffe geschont werden können.

Handlungsanweisungen im Umgang mit den Recyclaten

Für eine geordnete Rückführung gebrauchter ESD-Pappen in den Stoffkreislauf wurden im Projekt praxisnahe Handlungsempfehlungen erarbeitet. Ziel ist es, die ökologischen Vorteile des Materials durch eine werkstoffliche Verwertung zu erhalten, ohne die Qualität nachfolgender Papierprodukte zu gefährden.

- **Getrennte Sammlung und Sortierung**

ESD-Pappen sollten getrennt von klassischen Pappen und Kartonagen erfasst werden, da die enthaltenen Additive (Carbonfasern) Farbton und Leitfähigkeit des Sekundärmaterials beeinflussen können. Eine Kennzeichnung (z. B. Druckvermerk „ESD – nicht mischbar“) auf dem Produkt kann die Rückführung erleichtern.

- **Verwendung nur in definierten Pulpeansätzen**

ESD-Recyclat sollte nicht in hochwertigen grafischen oder weißen Papieren verwendet werden. Eine Beimischung von bis zu 20 % in graue, nicht sichtrelevante Verpackungspapiere (z. B. Zwischenlagen, Kantenschutz, Hülsenpappe) ist aus Sicht der Projektpartner unkritisch. Vor jeder Chargenbeimischung sollte eine einfache Sichtprüfung und ggf. Leitfähigkeitsmessung der Pulpe erfolgen, um Fehlchargen zu vermeiden.

- **Keine Re-Additivierung für ESD-Zwecke**

Die unkontrollierte Verteilung und reduzierte Wirksamkeit der zurückgewonnenen Carbonfasern macht eine Wiederverwendung für ESD-Produkte wirtschaftlich und technisch nicht sinnvoll. Recyclate sollten daher nicht für neue ESD-Anwendungen eingesetzt, sondern gezielt „downgecycelt“ werden.

- **Zwischenlagerung und Transport**

Aufgrund des erhöhten Feinanteils (Abrieb durch Carbonfasern) sollte das Recyclat möglichst staubarm gelagert werden. Bei Transport und Lagerung sind keine besonderen Sicherheitsvorschriften erforderlich, da keine gefährlichen Stoffe enthalten sind.

- **Energetische Verwertung nur bei Ausschluss anderer Optionen**

Material, dass stark verschmutzt, kontaminiert oder mechanisch beschädigt ist, sollte der thermischen Verwertung (z. B. in Kraftwerken) zugeführt werden. Die ESD-Pappe zählt dabei zu den nicht gefährlichen Abfällen und kann gemäß AVV 030307 verwertet werden.

3 Verwertungsplan

Im Verwertungsplan werden die ermittelten Nutzenpotenziale für die Wissenschaft und die Industrie dargelegt, die Strategien zur Realisierung dieser Potenziale beschrieben sowie der zeitliche Ablauf der nächsten Schritte skizziert. Dabei sind wissenschaftliche und wirtschaftliche Aspekte getrennt voneinander betrachtet, um eine klare Zuordnung der jeweiligen Verwertungswege zu ermöglichen.

3.1 Nutzen für Industrie und Forschung

Wissenschaftlicher Nutzen

→ siehe Bericht des Projektpartners

Wirtschaftlicher Nutzen

- **Nachhaltige Elektronik-Logistik:**
ESD-fähige Vollpappe bietet eine umweltfreundliche Alternative zu Kunststoff-KLT und beschichteten Wellpappen, indem sie auf recycelten Altpapierfasern basiert. Für Logistikdienstleister und Elektronikzulieferer bedeutet dies eine Reduktion von CO₂-Emissionen sowie eine Vereinfachung der Recyclingprozesse, da keine zusätzlichen Trennschritte zur Stoffaufbereitung (z. B. Beschichtungsabtrennung) notwendig sind.
- **Kostenwettbewerbsfähigkeit:**
Basierend auf den Pilotrechnungen liegen die Herstellungskosten pro ESD-Pappe-KLT bei ca. 3,90 € (EK) gegenüber 8,50 € (EK) für konventionelle Kunststoff-KLT. Diese Kostenvorteile eröffnen Herstellern eine attraktive Margenperspektive, insbesondere bei höheren Stückzahlen. Zudem können geringere Entsorgungskosten adressiert werden, da Altpapierkreisläufe besser etabliert sind als Kunststoffrecycling.
- **Wettbewerbsvorteil und Markenimage:**
Unternehmen, die auf ESD-fähige Vollpappe umsteigen, stärken ihr Image im Sinne der Corporate Social Responsibility (CSR). Insbesondere in Branchen mit hohen Umweltauforderungen (z. B. Automobil, Halbleiterindustrie) kann die umweltfreundliche Verpackungslösung zu einer verbesserten Positionierung gegenüber Kunden und Partnern führen.

3.2 Verwertungsstrategien

Wissenschaftliche Verwertungsstrategien

→ siehe Bericht des Projektpartners

Wirtschaftliche Verwertungsstrategien

- **Lizenzvergabe für Materialrezepturen:**
 - Lizenzpaket Carbonfaser-Pulpe: PAKA bietet ein Lizenzmodell für die Pulpenrezepturen (Massenanteile, Mischtechnologien) an, dass Verpackungsherstellern gegen eine

einmalige Lizenzgebühr und Umsatzprovision den direkten Zugang zur Technologie ermöglicht.

- Schulungs- und Supportvertrag: Parallel wird ein Servicepaket angeboten, das Inbetriebnahmeunterstützung für bestehende Wickel- und Umformanlagen (z. B. Anpassung von Düsen und Siebanlagen) sowie Trainingsschulungen für Produktionsmitarbeiter umfasst.
- **Markteinführung über Kooperationen:**
 - Printmedien und Fachmessen: Teilnahme an Leitmessen wie der LogiMAT oder FachPack, um den direkten Kontakt zu Verpackungs- und Logistikunternehmen herzustellen.
 - Vertriebsnetzwerk: Partnerschaft mit einem spezialisierten Großhändler für Verpackungsmaterialien, der das Produktportfolio um ESD-Pappe-KLT ergänzt und den Marktzugang in Deutschland, Österreich und der Schweiz organisiert.
- **Zertifizierungen und Normenanpassungen:**
 - ESD-Zertifizierung: Beschleunigte Zertifizierung nach DIN EN 61340-5-1 für Serienmaterial, um die Zulassung in Zulieferketten (z. B. Automotive, Elektronik) sicherzustellen.
 - Mitwirkung in Normungsausschüssen: Aktive Mitarbeit in den Arbeitskreisen zur Weiterentwicklung von VDA 4504 (ESD-Anforderungen) und DIN EN 61340, um frühzeitig technische Spezifikationen zu implementieren und Standardisierung voranzutreiben.

3.3 Zeithorizont und nächste Schritte

Wissenschaftlicher Zeithorizont

→ siehe Bericht des Projektpartners

Wirtschaftlicher Zeithorizont

- Q3/2025: Start der Serien-Pilotläufe bei PAKA; Validierung der Produktionskosten und Stabilitätsprüfung der Rezeptur über mehrere Produktionszyklen.
- Q4 2025: Abschluss der Vakuumform-Pilotphase; finaler Leistungstest mit realen Logistikpartnern
- Q1 2026: Erstes Serienprodukt von ESD-Pappe-KLT (avisierte Mindestabnahme 10.000 Stück) lauffähig; Markteintritt in Deutschland.
- Q2 2026: Rollout in den D-A-CH-Markt; Einführung zusätzlicher Freiform-Tray-Geometrien für Spezialanwendungen (z. B. EMV-abschirmende IC-Trays).
- Q3 2026: Erschließung weiterer europäischer Märkte (Benelux, Skandinavien); Lizenzverhandlungen mit mindestens zwei internationalen Verpackungsherstellern abgeschlossen.

4 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Den Projektpartnern sind keine Veröffentlichungen oder ähnliche Informationen von dritter Seite bekannt geworden, die in irgendeiner Weise Einfluss auf die Durchführung des Vorhabens gehabt haben könnten. Bei fortwährenden Recherchen zum Stand von Forschung und Technik wurden weder wissenschaftliche Publikationen und Konferenzbeiträge noch Patente oder andere Schutzrechte gefunden.

Parallel wurde stets auch der Markt für ESD-Verpackungs- und Transportlösungen beobachtet. Hier wurden folgende Produkte im Projektzeitraum bekannt:

- „ESD Paper Bag“
 - Flachbeutel mit Seitennaht und selbstklebender Verschlusslasche
 - ESD-Spezialpapier, 100% Recyclingpapier, 70 g/m²
 - WEBER Verpackungen GmbH & Co. KG, Deutschland
 - Auf dem Markt seit: Herbst 2024
 - Relevanz: unklar
(es ist nicht bekannt, wie die ESD-Eigenschaften realisiert werden; eine Musterbestellung ist erfolgt, liegt aber noch nicht für Analysen und Tests vor)
- Antistatisches Packpapier und Antistatische Vollpappe
 - Froeb-Verpackungen GmbH, Deutschland
 - Auf dem Markt seit: Frühjahr 2024
 - Relevanz: keine
(Die ESD-Eigenschaften werden durch eine separate Beschichtung realisiert. Das Wirkungsprinzip ist damit gänzlich anders als bei der ESD-Pappe im Projekt.)

5 Verwendung der Zuwendung / wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

5.1 Gesamtkosten und Zuwendungsstruktur

Im Rahmen des Projekts erfolgte die Finanzierung über Zuwendungen des Bundes. Die beantragten Mittel i.H.v. 142.740,99 € wurden bis auf einen offenen Restbetrag von 17.053,91 € ausgezahlt. In Bezug auf die Beantragung des Restbetrages wurde mit dem Projektträger vereinbart, diese mit dem Einreichen des Verwendungsnachweises zu verbinden.

Eigenmittel wurden in Höhe von 112.153,64 € eingesetzt.

Zusätzliche Mittel wurden nicht akquiriert.

Die Mittelfreigabe durch den Projektträger erfolgte bzgl. Zeitpunkt und Höhe stets vereinbarungsgemäß.

Während des Projektzeitraumes gab es beantragte Mittelumwidmung: die anvisierten Reisekosten wurden aufgrund von Schwierigkeiten bei der Abrechnung (bei der internen Dieseltankstelle werden keine Abrechnungsbelege erstellt) nicht beantragt. Zudem waren die Personalkosten unter dem anvisierten Betrag. Beide Positionen sollen zur Kompensation der wesentlich höheren Materialkosten angesetzt werden.

Die Details der Finanzierungsplanung und –umsetzung gehen aus dem „Zahlenmäßigen Nachweis“ hervor und sind dem Projektträger bekannt.

5.2 Aufschlüsselung nach Kostenarten

Die Ausgaben wurden entsprechend des Zuwendungsbescheides in drei zentrale Kostenpositionen gegliedert:

Positionen		Ausgaben	
		geplant lt. Bescheid	tatsächlich entstanden
0813	Material	2.550,00 €	12.608,63 €
0837	Personalkosten	248.655,12 €	242.286,00 €
0838	Reisekosten	1.200,00 €	0,00 €

Diese Struktur verdeutlicht, dass die zur Verfügung gestellten Mittel gezielt und transparent eingesetzt wurden, um sämtliche Projektaktivitäten effizient umzusetzen.

Der zahlenmäßige Nachweis belegt somit die wirtschaftliche Effizienz und die sorgfältige Verwaltung der Ressourcen, wodurch die finanzielle Solidität des Vorhabens unterstrichen wird.

5.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Personalkosten

Die Personalkosten stellen den größten Kostenblock dar. Sie waren notwendig, um die einzelnen Arbeitspunkte abwickeln zu können. Ohne diesen Personalaufwand hätten weder die umfangreichen Recherchen noch die Umsetzung der einzelnen Produktionsprozesse realisiert werden können.

Materialkosten

Die Materialkosten, hauptsächlich für die Additive zur Herstellung der Projekt-Pappe, sind wesentlich höher als in der Projektplanung anvisiert ausgefallen. Zum einen war die Erwartung an die Kosten für mögliche einzusetzende Additive wesentlich niedriger. Zudem haben sich seit Entstehen des Projektes Kosten und Verfügbarkeiten der Materialien verschlechtert. Letztendlich war der Bedarf an Additiven wesentlich höher als gedacht.

Reisekosten

Die Reisekosten waren dazu da, Abstimmungsgespräche mit dem Projektpartner abzudecken. Trotz effizienter Kommunikationsmittel, wie Videokonferenzen, fanden einige Treffen statt. Das Ansetzen von Reisekosten bei Dienstwagen ist nur in Höhe des Treibstoffes möglich. Da dieser aus einer internen Tankstelle, die auch zum Betanken der Diesel-Gabelstapler genutzt wird, kommt und keine Abrechnungsbelege entstehen, wurde mit dem Projektpartner besprochen, auf das Ansetzen der Reisekosten zu verzichten, da zum damaligen Zeitpunkt schon erkennbar war, dass die Materialkosten wesentlich höher als anvisiert ausfallen werden.

Gesamtbewertung der Angemessenheit

In Summe belegen die Zahlen, dass die tatsächlichen Ausgaben nicht groß von den Planungen abweichen. Alle Kostenblöcke standen in direktem Zusammenhang mit den Projektzielen und wurden effizient eingesetzt. Die Mittelverwendung entspricht damit den Anforderungen des Fördergebers hinsichtlich Zweckbindung, Nachvollziehbarkeit und Effizienz.

6 Veröffentlichungen

Bis zur Einreichung dieses Berichtes (Juni 2025) wurden keine projektrelevanten Veröffentlichungen durch die Projektpartner durchgeführt.