Untersuchung der Schallabstrahlung von unterschiedlichen industriell genutzten Klebebändern

Jan Selzer[1], Ingo Albrecht[1], Zoltán Lampert[1], Ronny Herzog[2], Markus Haaß[2]
[1] *Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), 53757 Sankt Augustin, Deutschland, Email: jan.selzer@dguv.de*
[2] *Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN), 68165 Mannheim, Deutschland*

Einleitung

In industriellen Verpackungsbereichen unterschiedlicher Branchen werden Verpackungsmaschinen zum automatischen Verschließen von Kartons genutzt. Hierbei können in diesen Bereichen potenziell gehörgefährdende Schalldruckpegel hervorgerufen werden. Das Abroll- und Abrissgeräusch der eingesetzten Klebebänder ist die Quelle der Schallentstehung. Bei einer Recherche in einer Unfallversicherungsträger-internen Datenbank konnte für Verpackungsbereiche eine Pegelspanne von etwa **(79 ± 5) dB** festgestellt werden. Damit wird in einem Teil der Daten bei einer Expositionszeit von 8 h der untere Auslösewert von $L_{\mathrm{EX,8h}}$ 80 dB nach der LärmVibrationsArbSchV überschritten [1].

Im Verkauf befindliche Klebebänder werden teilweise mit den Attributen *Low Noise* oder *geräuscharmes und leises Abrollen* beworben. Jedoch gibt es nach aktuellem Wissensstand keine Messvorschriften, die verlässliche Angaben zu Schallemissionen durch das Abroll- oder Abrissgeräusch von Klebebändern an industriellen Verpackungsmaschinen erlauben. Um diese Wissenslücke zu schließen, wurde in einem ersten Schritt der folgenden Fragestellung nachgegangen:

Sind beim Abrollen von unterschiedlichen industriell genutzten Klebebändern Pegeldifferenzen vorhanden?

Eine Marktrecherche dient zur Identifikation vergleichbarer selbstklebender, einseitiger, industriell genutzter Klebebänder. Auf Basis der getroffenen Auswahl von Klebebändern mit unterschiedlichen Klebstoffen und Trägermaterialien, wird eine systematische Untersuchung durchgeführt. Dazu wurde eine Datenerhebung mit Labor- und Betriebsmessungen durchgeführt. Im Betrieb wurde einerseits die o. g. Fragestellung in den Fokus gerückt, um bei unterschiedlichen eingesetzten Klebebändern Pegeldifferenzen feststellen zu können. Andererseits kann bei den Betriebsmessungen auch die Lärmimmission an den Arbeitsplätzen der Verpackungsbereiche ermittelt werden. Im Fokus dieser Ausarbeitung stehen die Labormessungen. Hierfür wurde eine Abrollmaschine geplant und konstruiert sowie eine zugehörige Messmethode entwickelt, mithilfe derer es möglich ist Klebebänder unter kontrollierten Bedingungen im Semi-Freifeldraum des IFA abzurollen. Damit lässt sich ausschließlich das Abrollgeräusch der Klebebänder beurteilen. Aus den Labormessungen lassen sich Pegelspannen, Differenzen zwischen Klebebändern und ein mögliches Lärmminderungspotenzial in den Verpackungsbereichen der Betriebe durch den Einsatz von leiseren Klebebändern darstellen.

Grundlagenermittlung

An Verpackungsmaschinen werden hauptsächlich Klebebandrollen mit einem 3”-Kern (76.2 mm) und einer Bandbreite von 48 bis maximal 50 mm eingesetzt. Die Rollenlängen für Klebebänder an Verpackungsmaschinen betragen 990 bis 2000 m. An Handabrollern sind hingegen Rollenlängen von 66 bis 150 m üblich. Dies führt zu einem Rollendurchmesser von etwa 140 bis 300 mm.

Bei Klebebandrollen ist das Klebeband auf einem Papier- oder Kunststoffkern aufgerollt. Die oberste Schicht ist der sogenannte Coat, der ein Verkleben zwischen den einzelnen Layern des Bands verhindert. Darunter befindet sich das Trägermaterial. So besteht der Träger üblicherweise aus Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC) oder auch Papier. Auf der Unterseite befindet sich ein vom Trägermaterial durch einen Primer getrennter Klebstoff. Hier finden häufig Acrylat, Natur- oder Synthesekautschuk Anwendung (vgl. Abbildung 1). In den Datenblättern zu den unterschiedlichen Klebebändern werden meist nur Angaben zu Trägermaterial und Klebstoff gemacht. Informationen zu Coat oder Primer werden von den Herstellern nicht zur Verfügung gestellt.

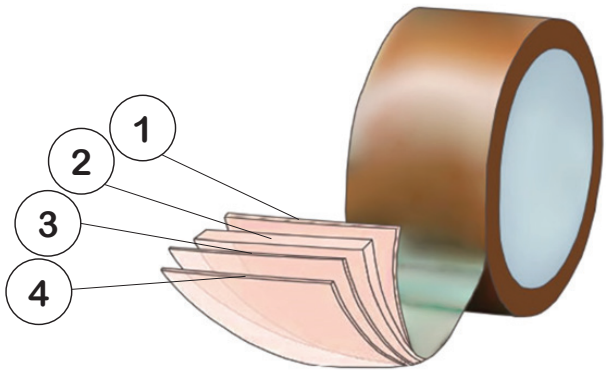

Abbildung 1: (1) Trennlackierung bzw. Coat, (2) Trägermaterial, wie bspw. PP, PVC oder Papier, (3) Haftvermittler bzw. Primer, (4) Klebstoff, z. B. Acrylat, Natur- oder Synthesekautschuk. Bildquelle: [2].

Für die weitere Wissenserlangung wurde zu Projektbeginn der Stand der Technik auf Basis vorhandener Normen berücksichtigt. Insbesondere sind für die Erstellung einer Klebebandabrollmaschine die Quellen [3, 4, 5] zu berücksichtigen. So konnten bspw. relevante Abrollgeschwindigkeiten aus [4, 5] festgelegt werden.

Eine weitere interessante Erkenntnis liefert [7, 7.3.2.12, S. 82]: „*... Verwender sollten dazu angehalten werden Klebeband zu verwenden, das Geräuschemissionen minimiert.*“ Dies stellt sich leider als obsolet dar, weil keine Emissionsdaten oder weitere Geräuschkenndaten auf Basis einer vergleichbaren Messvorschrift oder -methode für Klebebänder vorhanden sind.

Mittels der recherchierten Erkenntnisse konnte eine Auswahl unterschiedlicher Klebebänder für eine Laboruntersuchung getroffen werden (Tabelle 1).

Labormessungen

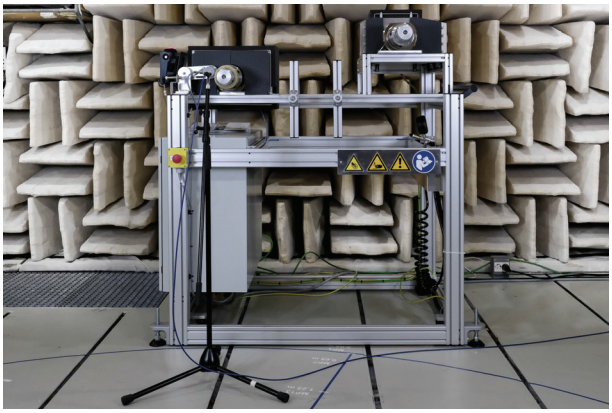

Abbildung 2: Klebebandabrollmaschine im Semi-Freifeldraum des IFA. Mikrofon auf der Achse des abrollenden Bands in 50 cm Entfernung zur Bandmitte. Auf der linken Seite befindet sich die Bremse, auf der rechten Seite der Motor, der das Klebeband abzieht. Ein Sensor an der Bremsen-Seite ermittelt die Geschwindigkeit. Die Einstellung der Abrollmaschine erfolgt über ein Steuerpanel.

Die Rahmenbedingungen für die Messungen werden hier in Kürze zusammengefasst:

- Konditionierung der Klebebandrollen für 24 h bei Prüfbedingungen: (23 ± 1)°C und (50 ± 5)% rel. Feuchte
- Nutzung von Klebebandrollen mit einer
  - Bandbreite von 48 bzw. 50 mm
  - Länge von 66 m – zur Vermeidung von weiteren Abfällen
- Messmikrofonposition in 50 cm Entfernung zur Klebebandmitte auf der Achse des abrollenden Bandes
- Prüfgeschwindigkeiten (in Anlehnung an [4, 5])
  - minimal: 0.5 m/s und
  - maximal: 2.0 m/s
- Messbeginn bei Erreichen der Zielgeschwindigkeit zur Messung des Abrollgeräuschs
- Aufzeichnung der Parameter, sekundenweise
  - L_{Aeq}, A-bew. energieäquivalenter Dauerschalldruckpegel in dB
  - $L_{\mathrm{Terz,eq}}$, energieäquivalenter Terzschalldruckpegel in dB
  - Bandgeschwindigkeit in m/s
  - „Füllstand“ der Rolle in mm

Die Messungen wurden im vierten Quartal 2022 durchgeführt. Es wurden jeweils fünf Klebebandrollen pro Produkt (Tape Nr. in Tabelle 1) für eine Messung genutzt. Bei der Maximalgeschwindigkeit betrug die Messdauer 20 s. In dieser Zeit wurde die gesamte Klebebandrolle abgerollt. Im Falle der Minimalgeschwindigkeit wurde eine Messdauer von jeweils 10 s gewählt, sodass pro Klebebandrolle sechs bis acht Messungen ermöglicht werden konnten.

Anhand des Log-Files der für diese Messungen konstruierten Abrollmaschine (sichtbar in Abbildung 2) konnten die Abrollgeschwindigkeit bestimmt werden. Bei der Einstellung beider Geschwindigkeiten am Steuerpanel werden diese jeweils mit einer Standardabweichung von etwa 10% (2.05 ± 0.21 m/s respektive 0.52 ± 0.06 m/s) erreicht.

Ergebnisse

Die Ergebnisdarstellung erfolgt als Differenz zwischen Medianschalldruckpegel $\tilde{L}_{\mathrm{Aeq}}$ aller Klebebandrollen einer bestimmten Geschwindigkeit v und der jeweiligen Messwiederholung n einer Klebebandrolle eines Produkts (Tape): $\tilde{L}_{\mathrm{Aeq},v} - L_{\mathrm{Aeq,Tape},n,v}$.

Damit konnte zwischen den in der Klebebandauswahl befindlichen lautesten und leisesten Klebebandrollen unabhängig von der Geschwindigkeit eine Differenz ΔL von etwa **15 dB** festgestellt werden (Tabelle 2). Ein einzelnes Klebeband (Tape Nr. 3) erreicht bei der Geschwindigkeit von 0.5 m/s im Mittel eine Differenz zum Median von $\tilde{L}_{\mathrm{Aeq},0.5\,\mathrm{m/s}} - \bar{L}_{\mathrm{Aeq},3,0.5\,\mathrm{m/s}} = -20.0$ dB (vgl. Tabelle 2 und Abbildung 4; Standardabweichung (SD) bei fünf Klebebandrollen und insgesamt 40 Wiederholungsmessungen von 1.6 dB). Dies führt sogar zu einer maximalen Differenz ΔL von 27.4 dB!

Eine weitere interessante Erkenntnis zeigt Abbildung 3. Hier werden die Ergebnisse der jeweils fünf gemessenen Klebebandrollen eines Produkts (Tape Nr.) nach beworbener Geräuschentstehung im Abrollverhalten und nach Geschwindigkeit aufgeteilt. Sind die Klebebänder als *Low Noise* oder *geräuschoptimiert* beworben, werden diese in der Abbildung türkis dargestellt. Wie zu sehen ist, erlaubt diese Herstelleraussage keine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Produkten. Bei hoher Abrollgeschwindigkeit scheinen die geräuschoptimierten Bänder sogar grundsätzlich lauter zu sein.

In Abbildung 4 werden die Ergebnisse aller Messungen pro Tape Nr. in Abhängigkeit der Geschwindigkeit dargestellt. Diese Darstellung zeigt, dass das Verhalten der verschiedenen Produkte stark inhomogen ist. Es werden unterschiedlich hohe Pegelspannen erreicht, wie bspw. bei Tape Nr. 4 (0.5 m/s) mit ca. 13.8 dB (SD: 6.0 dB) oder Tape Nr. 5 (0.5 m/s) mit ca. 0.4 dB (SD: 0.2 dB). Teilweise befinden sich die Ergebnisse bei 0.5 m/s unter dem Median und bei 2.0 m/s darüber (bspw. Tape Nr. 4, 7 und 10) oder vice-versa (bspw. Tape Nr. 6, 9 und 12).

Tabelle 1: Klebebandauswahl zur systematischen Untersuchung auf der Abrollmaschine mit zusammengefassten Materialeigenschaften aus den Datenblättern. Mit '*' gekennzeichnete Felder zeigen nicht vorhandene Daten in den Datenblättern.

Tape Nr.	Träger-material	Klebstoff	Gesamt-dicke [μm]	Dicke des Träger-materials [μm]	Klebkraft auf Stahl [N/cm]	Reiß-dehnung	Reißkraft [N/cm]	Geräusch-optimiert
1	PP	Kautschuk synth.	48	28	4.2	160%	50	Nein
2	PP	Acrylat	50	28	2.6	160%	50	Nein
3	PVC	Kautschuk natur	50	33	2.5	75%	60	Ja
4	PP	Aacrylat	45	25	*	*	*	Ja
5	PP	Aacrylat	45	25	*	140%	35.2	Ja
6	PP	Kautschuk synth.	42	*	4.8	145%	40	Nein
7	PVC	Kautschuk natur	49	*	2	75%	43	Ja
8	Papier	Kautschuk synth.	107	*	7.5	6%	60	Nein
9	PP	Kombination	43	23	2.5	100%	*	Nein
10	PP	Kombination	43	23	2.5	100%	*	Ja
11	PP	Acrylat	57	*	3.7	*	40	Ja
12	PP	Acrylat	50	28	2.7	150%	39.3	Nein

Tabelle 2: Darstellung der maximalen und minimalen Pegelunterschiede zum Median $\tilde{L}_{\mathrm{Aeq},v}$ sowie der Differenz zwischen lautestem und leisestem Klebeband ΔL pro Geschwindigkeit.

Geschwin-digkeit [m/s]	**Max. [dB]**	**Min. [dB]**	**ΔL [dB]**
0.5	7.4	-20.0 / -7.9	27.4 / 15.4
2.0	5.8	-8.9	14.7

Zusammenfassung und Ausblick

Die in der Einleitung genannte Fragestellung *Sind beim Abrollen von unterschiedlichen industriell genutzten Klebebändern Pegeldifferenzen vorhanden?* lässt sich mit einem deutlichen **Ja** beantworten. So kann unabhängig von der Abrollgeschwindigkeit bei den untersuchten Klebebandrollen je nach gewähltem Klebeband eine Differenz von etwa 15 dB aufgezeigt werden.

Diese Aussage ist jedoch mit Einschränkungen verbunden. Es befinden sich in der Klebebandauswahl nur drei Bänder, die nicht Polypropylen (PP) als Trägermaterial besitzen (vgl. Tabelle 1). Die dargestellten Pegelunterschiede sind Emissionsunterschiede. Die Auswirkung auf die Lärmimmission bei der Nutzung von leiseren Klebebändern im Betrieb hängt von weiteren Faktoren ab. Diese Faktoren sind u. a. die Entfernung zum Klebeband, die Abrolldauer oder Anzahl der Pakete, aber auch die Schirmung durch bspw. eine gute Einhausung oder Schallschutzkapsel für eine Verpackungsmaschine. Weiterhin kann in einem Verpackungsbereich nur eine Lärmminderung durch ein leiseres Klebeband erreicht werden, wenn dies auch die Hauptlärmquelle ist. Sind weitere Maschinen oder auch andere Maschinenteile am Kartonschließer für die hohe Lärmemission verantwortlich, ist es notwendig diese zuerst ausfindig zu machen und die Lärmminderung dort anzugehen. Darüber hinaus sind weitere, nicht-akustische Eigenschaften der Klebebänder zu berücksichtigen. Darunter fallen Aspekte, wie bspw. der Umweltschutz und Recycling (Nutzung von Trägermaterialien aus PVC, PP oder Papier?), aber auch Unterbrechungen im Betriebsablauf durch Klebebandabrisse und allgemeine Kosten.

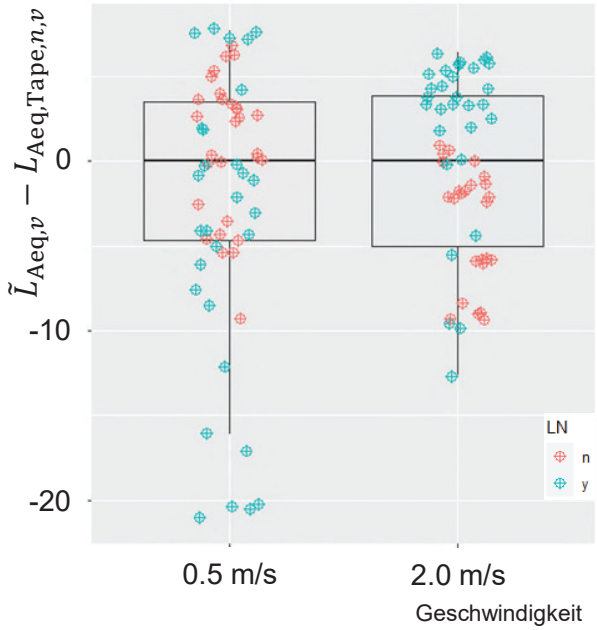

Abbildung 3: Die Ergebnisse der einzelnen Messwiederholungen n pro Geschwindigkeit v sind im Boxplot als $\tilde{L}_{\mathrm{Aeq},v} - L_{\mathrm{Aeq,Tape},n,v}$ dargestellt. Die türkisen Daten kennzeichnen *geräuschoptimierte* Klebebänder.

Auf Grundlage der gewonnen Erkenntnisse entstehen weitere Fragestellungen:

- Kann auf Basis von **technischen Eigenschaften** eine Prognose zur Lärmentstehung erarbeitet werden? Wie maßgeblich ist der Einfluss durch Trägermaterial, Klebstoff, Klebkraft, Reißdehnung oder sonstiger technischer Größen auf die Geräuschentstehung? Werden weitere Angaben von den Herstellern verfügbar gemacht, bspw. zu Trennlackierung/Coat oder Haftvermittler/Primer? Diesen Fragestellungen kann nach einer deutlichen **Ausdehnung der Datenbasis** (Messung weiterer Klebebänder) bspw. mittels einer explorativen Faktoranalyse (EFA) nachgegangen werden.

- Ungeachtet dieser Fragen spielen gewiss noch weite-

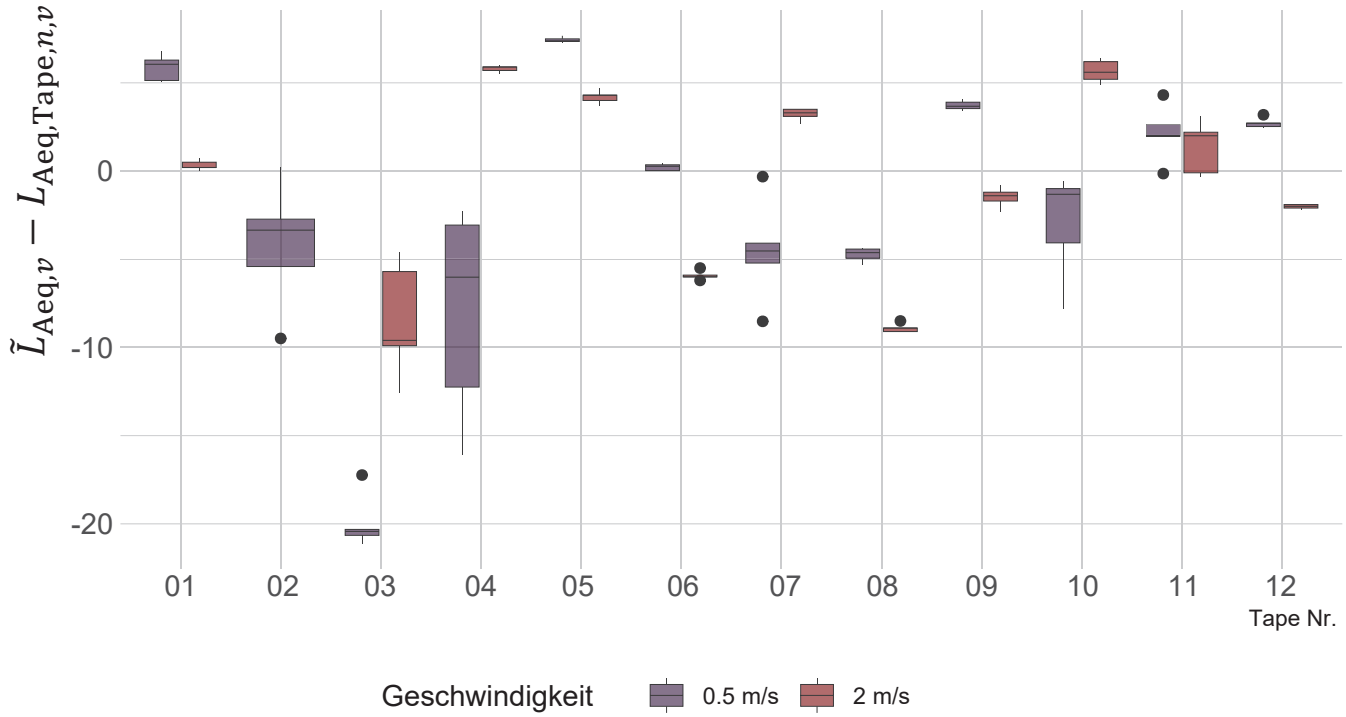

Abbildung 4: Darstellung der Ergebnisse in Abhängigkeit der Geschwindigkeit für $\tilde{L}_{\mathrm{Aeq},v} - L_{\mathrm{Aeq,Tape},n,v}$ als Boxplots mit der Datengrundlage von jeweils fünf Messergebnissen pro Tape Nr. Die Boxplots auf der jeweils linken Seite eines Bands in lila zeigen die Geschwindigkeit 0.5 m/s, während auf der rechten Seite in rot die Messungen bei 2.0 m/s dargestellt werden. Bei Tape Nr. 2 konnte aufgrund eines wiederholten Bandabrisses keine Messung bei 2.0 m/s durchgeführt werden. Die Punkte außerhalb der Boxplots zeigen mögliche Ausreißer.

re Gesichtspunkte eine Rolle. Der Einfluss der **Temperatur** auf die Geräuschentstehung beim Abrollen von Klebebändern ist ohne Zweifel relevant. Dies ist z. B. in Verpackungsbereichen für Tiefkühlware von Bedeutung.

- Des Weiteren sind nur Datenpunkte für zwei **Geschwindigkeiten** vorhanden. Wie verhält sich das Klebeband bei langsameren Geschwindigkeit als 0.5 m/s oder im Bereich zwischen 0.5 m/s und 2.0 m/s?
- Auch wenn weitere **Messpositionen und Entfernungen** für die Messungen probehalber angewandt wurden, muss der Einfluss durch die Messposition genauer betrachtet werden. Die Auswirkung auf die Ergebnisse durch verschiedene **Messmethoden** muss Berücksichtigung finden.
- Außerdem ist die **Schallabstrahlcharakteristik der Klebebänder** unbekannt.
- Ferner sind die **Pegel- und Frequenzverläufe** über die Abrolldauer noch nicht genauer betrachtet worden.

Schlussendlich ist mit einer solch hohen Emissionsdifferenz zwischen unterschiedlichen industriell genutzten Klebebändern ein Lärmminderungspotenzial vorhanden, um in Verpackungsbereichen mit Hauptlärmquelle „Klebeband“ den unteren Auslösewert von 80 dB $L_{\mathrm{EX,8h}}$ nach LärmVibrationsArbSchV zu unterschreiten. Um eine Handlungshilfe zum Einkauf lärmgeminderter Klebebänder anbieten zu können, bedarf es jedoch weiterer Untersuchungen. Die Angabe der Hersteller bzgl. leiser Klebebänder ist dabei ohne Bezug zu einer einheitlichen Messmethode nicht reliabel.

Literatur

[1] Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung vom 6. März 2007 (BGBl. I S. 261), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 21. Juli 2021 (BGBl. I S. 3115) geändert worden ist

[2] TransPak - Wissenswertes zu Klebebändern. transpak.de, Stand: 21.03.2023.

[3] DIN EN ISO 12481:2001-03, Klebebänder – Terminologie; Deutsche Fassung EN 12481:2000.

[4] DIN EN 1944:1996-04, Klebebänder – Messung der Abrollkraft bei niedriger Geschwindigkeit; Deutsche Fassung EN 1944:1996.

[5] DIN EN 12026:1996-07, Klebebänder – Messung der Abrollkraft bei hoher Geschwindigkeit; Deutsche Fassung EN 12026:1996.

[6] DIN EN ISO 29862:2019-09, Klebebänder – Bestimmung der Klebkraft (ISO 29862:2018); Deutsche Fassung EN ISO 2986:2019.

[7] DIN EN 415-7:2009-12, Sicherheit von Verpackungsmaschinen – Teil 7: Sammelpackmaschinen; Deutsche Feassung EN 415-7:2006+A1:2008.