

## **Flexibles, automatisches Gepäcksystem für komfortable Zugreisen**

Konzept eines vom Fahrgast räumlich getrennten automatischen Gepäcktransportsystems für den Next Generation Train

Marc Arendt, Mathias Böhm, Gregor Malzacher, Andreas Eursch

Das in diesem Artikel vorgestellte Konzept zeigt die Zukunftsperspektive eines automatischen Gepäcksystems für einen Hochgeschwindigkeitszug, welches einen von den Fahrgästen getrennten Transport von Reisegepäck im Zug ermöglicht. Dadurch wird ein besseres Komfortempfinden während der Fahrt erreicht, was deutlich zur angestrebten Erhöhung der Fahrgastzahlen bei der Bahn beitragen kann. Dieses neuartige Gepäcksystem zeichnet sich durch eine Aufteilung des in beiden Endwagen des Triebzugs zur Verfügung stehenden Transportraumes in zwei unterschiedlich ausgeführte Einlagerabschnitte aus, womit die hohen Anforderungen beispielsweise hinsichtlich kurzer Fahrgastwechselzeiten im Eisenbahnverkehr adressiert werden.

### **Komfortempfinden – ein Hemmnis für die Wahl des Verkehrsmittels Zug**

Als Reaktion auf ein Urteil des Bundesverfassungsgerichts vom 24. März 2021 wurde erst kürzlich die ursprünglich für das Jahr 2050 angestrebte deutsche Netto-Treibhausgasneutralität auf das Jahr 2045 vorverlegt [1]. In Deutschland ist der Verkehrs- und Transportsektor für 20 % der nationalen Treibhausgasemissionen verantwortlich [2]. Aus diesem Grund wurden von der deutschen Bundesregierung für diesen Bereich Klimaziele definiert, die u. a. eine Verdopplung der Fahrgastzahlen im deutschen Schienenverkehr bis 2030 im Vergleich zum Bezugsjahr 2018 ausgegeben [3].

Dieses Ziel ist mit der heute vorhandenen Eisenbahninfrastruktur nicht erreichbar. Insbesondere einige aufkommensreiche Knotenpunktbahnhöfe sind für ein doppelt so hohes Fahrgastaufkommen nicht ausgelegt. Eine Engstelle entsteht vor allem beim Fahrgastwechsel am Bahnsteig und im Zug. Vorausgehende Untersuchungen konnten jedoch zeigen, dass durch die Trennung von Fahrgästen und ihrem Gepäck bei gleicher Raumeinteilung und gleichem Raumangebot im Zug geringere Fahrgastwechselzeiten erreicht werden können [4]. Des Weiteren stellt das Komfortempfinden einen wichtigen Aspekt bei der Wahl des Verkehrsmittels dar und wird im Schienenverkehr maßgeblich durch die Erschwernisse der Gepäckmitnahme negativ beeinflusst. Nach Umfragen stellt für knapp 60 % der Bahnreisenden die Mitnahme von Gepäck eine Belastung dar [5]. Zudem geben 30 % an, mit schwerem Gepäck Probleme beim Einsteigen in Hochflurfahrzeuge zu haben. Bei 25 % der befragten Reisenden treten Schwierigkeiten beim Verstauen des Gepäcks auf [6]. Ein anderes Gepäcktransportkonzept als das aktuell gebräuchliche besitzt das Potenzial, die Attraktivität der Bahn zu erhöhen, um die angestrebten höheren Fahrgastzahlen zu erreichen.

Die Deutsche Bahn AG (DB) forscht aktuell im Zuge des Aktionsplans „Zug zum Flug“ an Möglichkeiten, den Zubringerverkehr zu Flughäfen zu stärken. Eines der Hauptthemen ist hierbei, ein möglichst komfortables Reiseerlebnis für den Kunden zu erreichen, was u. a. durch kürzere Umsteigezeiten und verbesserte Gepäckhandhabung erreicht werden soll [7]. Vor allem im ostasiatischen Raum wird hingegen schon seit Jahrzehnten ein Fokus auf kundenfreundliche Zugverbindungen zu Flughäfen gelegt. Beispielsweise in Hongkong ist der getrennte Gepäcktransport auf der U-Bahn Verbindung zum Flughafen bereits etabliert.

Der vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) im Projekt Next Generation Train (NGT) [8] entwickelte Technologieträger eines Hochgeschwindigkeitszuges (NGT High Speed Train - HST) adressiert zusammen mit der Next Generation Station (NGS) [4] die Herausforderungen der zukünftigen Mobilität auf der Schiene. Durch Untersuchungen mithilfe von Fahrgastflusssimulationen konnte der positive Einfluss einer getrennten Beförderung von Reisegepäck und Reisenden auf den Fahrgaststrom an der NGS und im NGT HST bestätigt werden. Diese Trennung wurde bereits bei der ersten Konzeptionsphase eingeführt und im weiteren Verlauf der Forschungen berücksichtigt [4]. Darauf aufbauend wurde nun ein konkretes Konzept erarbeitet, wie ein vom Fahrgast getrennter, automatischer und in den Triebwagen des NGT HST Triebzuges integrierter Gepäcktransport umgesetzt werden kann.

### **Automatischer und vom Fahrgast getrennter Gepäcktransport im Zug**

Die besonderen Anforderungen an ein Gepäcksystem im Schienenverkehr ergeben sich aus dem Betriebskonzept einer Eisenbahn. Ein Zug hält während einer Fahrt fahrplanmäßig an mehreren Zwischenbahnhöfen bzw. Haltepunkten, wohingegen bei bereits bestehenden Konzepten für einen separaten Gepäcktransport - wie z.B. im Flugverkehr - nur ein Start- und ein Zielhalt berücksichtigt werden müssen - unter Vernachlässigung von Zubringerflügen, Umsteigeflügen oder Gabelflügen. Hierdurch gestaltet sich ein getrennter Gepäcktransport im Eisenbahnverkehr deutlich komplexer, da i. d. R. nicht alle, sondern nur einige Gepäckstücke an einem Bahnhof entladen und neu beladen werden müssen. Weitere Anforderungen aus dem Betriebsablauf ergeben sich beispielsweise im Kontext des NGT-Konzeptes aus der maximalen Haltezeit von 120 Sekunden oder einer minimalen Fahrtzeit zwischen zwei Halten von 20 Minuten [9]. Auch hier ist der Unterschied zum Flugzeug klar erkennbar, bei dem der Gepäckaustausch mit dem Flughafen in einer vielfach längeren Zeitdauer erfolgen kann und alle Gepäckstücke auf einmal ent- bzw. beladen werden. Diese Problemstellung muss auf Basis der zuvor genannten Anforderungen dadurch gelöst werden, dass das Gepäck während der Fahrt im Zug für den nächsten Halt vorsortiert wird. Auf diese Weise wird das Gepäck für den nächsten Bahnhof separiert und gleichzeitig Lagervolumen für eingehendes Gepäck bereitgestellt. Darüber hinaus ergeben sich geometrische Anforderungen aus dem zur Verfügung stehenden Bauraum als auch Gewichtsrestriktionen aus den maximalen Achslasten des Zuges von 17 t. Zudem muss die Funktion des Gepäcksystems auch im bewegten oder beschleunigenden Zug jederzeit gegeben sein.

Weitere wichtige Eigenschaften an ein System zum separaten Transport von Gepäck in der Eisenbahn ergeben sich aus dem zu transportierenden Gepäck selbst. Die Einteilung von Gepäckstücken im Schienenverkehr erfolgt entsprechend der Einteilung nach [10] in jeweils drei Gepäckarten und Größenkategorien. Diese Unterteilung basiert auf Befragungen in österreichischen und deutschen Fernreisezügen, bei denen erkannt wurde, dass die drei häufigsten Gepäckarten Koffer, Reisetaschen und Rucksäcke sind. Diese drei Gepäckarten haben einen Anteil von 96 % am Gesamtgepäck und werden üblicherweise nochmals in jeweils drei Größenkategorien eingeteilt. Mittlere und große Gepäckstücke der drei Arten werden in der Rubrik Reisegepäck zusammengefasst. Gepäckstücke die in diese Rubrik fallen, sollen vom automatischen Gepäcksystem transportiert werden, da kleinere Gepäckstücke einen geringeren Einfluss auf die Fahrgastwechselzeit besitzen. Die Anzahl der Reisegepäckstücke lässt sich bei einer maximalen Fahrgastzahl von 800 Fahrgästen nach [10] auf durchschnittlich 656 Gepäckstücke festlegen. Zusätzlich wird an großen Bahnhöfen mit einer

Fahrgastwechselquote von bis zu 50 % gerechnet, was entsprechend auch auf die Gepäckstücke anzuwenden ist.

### **Das automatische Gepäcksystem im Detail**

Das hier beschriebene Konzept ist das Ergebnis eines methodischen Konzeptentwicklungsprozesses auf Basis des „Münchner Vorgehensmodells“ nach [11]. Durch Aufgliederung des Gesamtproblems in kleinere Teilprobleme wurde die Komplexität zunächst auf ein beherrschbares Maß reduziert. Die anschließende Lösungsfindung mithilfe von unterschiedlichen Kreativmethoden konzentrierte sich zunächst auf die zuvor definierten Teilprobleme und hatte das Ziel, einen möglichst großen Lösungsraum aufzuspannen. Diese Teillösungen wurden daraufhin mithilfe eines morphologischen Kastens zu insgesamt 14 Gesamtkonzepten kombiniert, die wiederum u. a. hinsichtlich Realisierbarkeit, Funktionalität und Leistungsfähigkeit analysiert wurden. Mit den Bewertungsverfahren Punktabstimmung, gewichtete Punktbewertung und paarweiser Vergleich wurde auf dieser Basis im Anschluss strukturiert das beste Konzept ausgewählt. Dieses wurde konkretisiert und wird im Folgenden vorgestellt.

Das ausgewählte Konzept besitzt einen in zwei Bereiche unterteilten Lagerraum. Ein Bereich fungiert als Kurzzeitlager, der andere als Langzeitlager. Aus dieser Aufteilung heraus ergeben sich einige Vorteile. Durch das Kurzzeitlager wird eine bessere Sortierbarkeit, sowie ein schnelles und paralleles Be- und Entladen ermöglicht, da der Gepäckwechsel zwischen Fahrzeug und bahnhofseitigem Gepäcksystem ausschließlich über diesen Lagerbereich erfolgt. Im Langzeitlager wird Gepäck vorwiegend statisch gelagert, wodurch eine höhere Gepäckdichte ermöglicht wird. Der Lagerraum ist vertikal in mehrere Ebenen eingeteilt, die jeweils in Kurz- und Langzeitlager aufgeteilt sind. Es besteht die Möglichkeit, Gepäckstücke im Kurzzeitlager auch zwischen den Ebenen zu verschieben. Abbildung 1 zeigt die konstruktive Ausführung des automatischen Gepäcksystems. Mittig liegt das Langzeitlager und ist nach außen hin vom Kurzzeitlager umschlossen. Im Folgenden wird auf die Umsetzung der einzelnen Elemente genauer eingegangen.

Das Kurzzeitlager ist als eine durchgehende Bahn aufgebaut, in der Gepäckstücke in einer Ebene kreisen können. Die langen, geraden Rollenbahnen sind dabei in der Lage, Gepäck entlang der Bahn als auch quer zur Bahn zu bewegen. Der umlaufende Transport erfolgt durch individuell mit Elektromotoren ausgestatteten Rollen, wodurch sich einzelne Gepäckstücke auch gezielt ansteuern und positionieren lassen. Zwischen den Rollen befinden sich Förderriemen, die sich elektrisch anheben und absenken lassen. Werden die Förderriemen unter einem Gepäckstück hochgefahren, liegt dieses nur auf den Bändern auf. Durch einen Riemenantrieb kann das Gepäck in Querrichtung bewegt und somit zwischen Langzeit- und Kurzzeitlager verschoben werden (Abbildung 2).

An den beiden Stirnseiten des Kurzzeitlager befinden sich Förderband- und Kurvenbandelemente, mit denen die beiden seitlich liegenden Rollenbahnen verbunden werden. Der hier platzierte gerade Förderbandabschnitt fungiert gleichzeitig als Übergabestelle zu der darunterliegenden Ebene. Dazu kann dieses Förderband nach unten geklappt werden, wodurch Gepäckstücke in eine Ebene tiefer wechseln können (Abbildung 3).

Das in der Ebene mittig liegende Langzeitlager hat die Aufgabe, Gepäck zu lagern, wenn dieses nicht am nächsten Bahnhof entladen werden muss. Hier wird das Gepäck durch elektrisch angetriebene Rollen bewegt, die in die Tragstruktur eingelassen sind. Die Rollen stehen aus den Profilen heraus,

wodurch die Gepäckstücke ausschließlich auf den Rollen aufliegen. Im Gegensatz zu den Rollen im Kurzzeitlager sind die Rollen im Langzeitlager um 90° gedreht und kleiner ausgeführt. Hierdurch wird im Langzeitlager nochmals eine höhere Adaptierbarkeit an unterschiedliche Gepäckgrößen und damit eine sehr kompakte Lagerung der Gepäckstücke erreicht.

Das Sortieren des Gepäcks erfolgt durch das Zusammenspiel von Kurz- und Langzeitlager. Um ein Gepäckstück an einen freien Platz im Langzeitlager zu positionieren, werden die in Abbildung 4 gezeigten Schritte durchlaufen. Das betreffende Gepäckstück wird zunächst im Kurzzeitlager an die entsprechende Stelle gefahren und separiert. Anschließend wird es ins Langzeitlager verschoben und die Lücke im Kurzzeitlager geschlossen.

Die Positionserkennung der Gepäckstücke im Gepäcksystem erfolgt durch ein Kamerasystem. Mit der Umdrehungsgeschwindigkeit der Rollen gibt das Gepäcksystem die Gepäckgeschwindigkeit vor. Aufgrund von Schlupf zwischen den Gepäckstücken und den Rollen entsteht eine gewisse Geschwindigkeitsdifferenz, welche durch das Kamerasystem überwacht wird. Mit diesen Informationen können die einzelnen mechanischen Komponenten im Langzeit- und Kurzzeitlager passend angesteuert werden. Die Kameramodule sind über den Ebenen des Langzeitlagers als auch über den Rollenbahnen des Kurzzeitlagers verteilt.

Das Sortieren des Gepäcks erfolgt während der Fahrt so lange, bis alle Gepäckstücke für den nächsten Bahnhof im Kurzzeitlager in einer Reihe vorliegen. Die Gepäckübergabe zwischen dem zugseitigen Gepäcksystem und dem Bahnhof erfolgt ausschließlich über das Kurzzeitlager auf bis zu vier Ebenen parallel. Auf jeder Ebene kann das Be- und Entladen von Gepäck am Bahnhof größtenteils gleichzeitig erfolgen, indem frei werdender Lagerplatz im Kurzzeitlager direkt für eingehendes Gepäck genutzt wird. Auf diese Weise ist das Be- und Entladen innerhalb einer zwei-minütigen Haltezeit möglich. Die Schnittstelle zum bahnhofseitigen Gepäcksystem sieht für den Gepäcktransport in den Zug Gurtförderer mit einer angewinkelten Anschlussseite vor. Der Gepäcktransport aus dem Zug erfolgt über Abweiser und Rollenbahnen (Abbildung 5).

Das dargestellte automatische Gepäcksystem wurde dafür ausgelegt, Gepäckstücke bis zu einer maximalen Größe von 950 x 600 x 400 mm zu transportieren. Die Transportkapazität des Gepäcksystems in einem Endwagens beträgt 346 Gepäckstücke. In einem kompletten Zug mit zwei Endwagen können insgesamt 692 Gepäckstücke transportiert werden. Mit dem entwickelten Konzept konnte die benötigte Anzahl von 656 Reisegepäckstücken, die bei einer Auslastung von 100 % aufkommen, übertroffen werden. Somit ist es möglich, auch bei einem voll besetzten Zug das üblicherweise anfallende Reisegepäck im automatischen Gepäcksystem aufzunehmen und zu transportieren. Mit der aktuellen Umsetzung ergibt sich für das automatische Gepäcksystem in einem Triebkopf ein Nettogewicht von ca. 12 t bzw. 17 t inklusive Gepäck. Eine Abschätzung der Leistungsfähigkeit zeigt, dass das vorgestellte Gepäcksystem die geforderte kurze Be- und Entladezeit an den Haltestellen erreicht. Zudem wurde das Gepäckverhalten im Gepäcksystem durch Mehrkörper-Computersimulationen unter Berücksichtigung von Reibwerten, Beschleunigungen und Bremsvorgängen überprüft, sowie durch Berechnungen die sichere Lage der Gepäckstücke bei Not- und Schnellbremsungen bestätigt.

## **Fazit und Ausblick**

Mit dem entwickelten Konzept konnte nachgewiesen werden, dass ein automatisches Gepäcksystem für einen Hochgeschwindigkeitszug unter den gegebenen anspruchsvollen Randbedingungen realisierbar ist. Die nächsten Schritte für das dargestellte Konzept sind die weitere konstruktive Ausarbeitung und die Identifikation geeigneter Komponenten, um einen funktionsfähigen Prototyp realisieren zu können. Parallel sind weitere Simulationen zur Sicherstellung der mechanischen Belastungsfähigkeit sowie der Logistikfähigkeit durchzuführen, als auch die infrastrukturseitige Anbindung der Schnittstelle am Bahnsteig weiter zu untersuchen.

Das gezeigte System ist ausreichend flexibel anpassbar, sodass ein versuchsweiser Einbau im Anschluss kurzfristig möglich wäre, z. B. in einen leeren ICE-Wagen. Hierbei würde es ausreichen, anfangs nur eine Ebene zu realisieren und erst nach erfolgreicher Testphase ein System mit mehreren Ebenen aufzubauen. Der Einsatz des Gepäcksystems in Zubringerzügen zu Flughäfen bietet sich hier besonders an, da auf diesen Strecken mit einer höheren Belastung der Fahrgäste durch Reisegepäck zu rechnen ist. Mit dem hier gezeigten System wird das intermodale Fahrerlebnis von Fluggästen, die mit dem Zug anreisen, nicht durch Komforteinbußen bei der Zugfahrt verringert, sondern bleibt während der gesamten Reise auf einem gleich hohen Niveau. Damit bietet dieses System einen Lösungsvorschlag für den bereits angesprochenen Gepäckservice im Aktionsplan „Zug zum Flug“ der DB.

Auch mit Sicht in die fernere Zukunft, in der Flugverbindungen unter 1.000 km auf die Schiene verlagert werden sollen, kann ein getrennter Transport von Fahrgast und Reisegepäck eine entscheidende Rolle zur Erreichung dieses Ziels spielen. Durch das automatische Gepäcksystem und der damit erreichten gepäcklosen Fahrt, erfährt der Kunde ein mindestens gleichgutes Komfortempfinden wie bei einer Flugreise. Hierdurch kann der Zug die bessere Alternative zu Kurzstreckenflügen werden, da dem Fahrgast im Zusammenspiel mit einer Gepäckaufgabestation in der NGS eine noch einfachere und schnellere Gepäckaufgabe als im Flugverkehr angeboten wird. Zudem besteht die Möglichkeit, das Gepäcksystem mit anderen Systemen oder Dienstleistungen zu verknüpfen und so entlang der gesamten Reisekette den Fahrgast von seinem Gepäck zu entlasten.

Entstanden ist ein Konzept, das nicht nur für den Gepäcktransport eingesetzt werden kann. Denkbar wäre ein Einsatz für Kurier-Express-Paket-Dienste (KEP), sowohl auf der Schiene als auch auf der Straße. Dabei kann entweder im Zug nicht durch Gepäck benutzter Lagerplatz für den KEP-Transport verwendet oder das System als reines KEP-Transportsystem eingesetzt werden.

## Quellen

- [1] Bundesregierung: Entwurf eines Ersten Gesetzes zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes, Berlin, 2021
- [2] Umweltbundesamt: Nationales Treibhausgasinventar 2021, Presseinformation 07/2021 vom 15.03.2021
- [3] Bundesregierung: Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, Berlin, 2018
- [4] Böhm, M.; Popa, A.; Malzacher, G.; Winter, J.: Next Generation Station Konzept für einen leistungsfähigen Bahnhof der Zukunft, Internationales Verkehrswesen 1/2020, S. 32-37
- [5] Rüger, B.: Bereitschaftselastizität - Empirische Ermittlung zum Verkehrsmittelwahlverhalten, 20. Verkehrswissenschaftliche Tage in Dresden, Dresden, 2005
- [6] Rüger, B.; Matzenberger, P.; Benz, V.: KundInnengerechte Reisegepäckbeförderung, Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), Bd. 7/8, S. 75-79, August 2015
- [7] BDL e.V.; DB AG: AKTIONSPLAN für ein verbessertes Zusammenwirken von Luftverkehr und Deutscher Bahn, April 2021, <https://www.deutschebahn.com/resource/blob/6109894/7bd3fe8c1876c20a6bcf225dbdbd25a4/20210413-Aktionsplan-DB-BDL-data.pdf>, 20.08. 2021 um 14:30
- [8] Winter, J.: Next Generation Train - 20 Jahre Forschung für die Eisenbahn, Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), S. 17-21, März 2019
- [9] Schumann, T.: Betriebskonzepte für den Next Generation Train, Votragsreihe VDI - Arbeitskreis Bahn, Braunschweig, 2014
- [10] Plank, V.: Dimensionierung von Gepäckablagen in Reisezügen, Diplomarbeit, Wien, 2008
- [11] Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2009, S. 341

## Autorenangaben

Marc Arendt (M.Sc.): Absolvent Masterstudium in Maschinenbau an der Fakultät für Maschinenbau, Fahrzeugtechnik und Flugzeugtechnik, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, MArendt@hm.edu

Mathias Böhm (Dipl.-Ing.): wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Fahrzeugkonzepte, Forschungsfeld Technologiebewertung und Systemanalyse, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Mathias.Boehm@dlr.de

Gregor Malzacher (Dipl.-Ing.): wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Fahrzeugkonzepte, Forschungsfeld Leichtbau- und Hybridbauweisen, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Gregor.Malzacher@dlr.de

Prof. Andreas Eursch (Dr.-Ing.): Professor der Produktentwicklung an der Fakultät für Maschinenbau, Fahrzeugtechnik und Flugzeugtechnik, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Andreas.Eursch@hm.edu

## Bildunterschriften

Aufmacher: Automatisches Gepäcksortier- und Einlagersystem im Triebkopf des Next Generation Train

Abbildung 1: Modell des Gepäcksystems, unterste Ebene mit Koffern und darüberliegende Ebenen transparent dargestellt

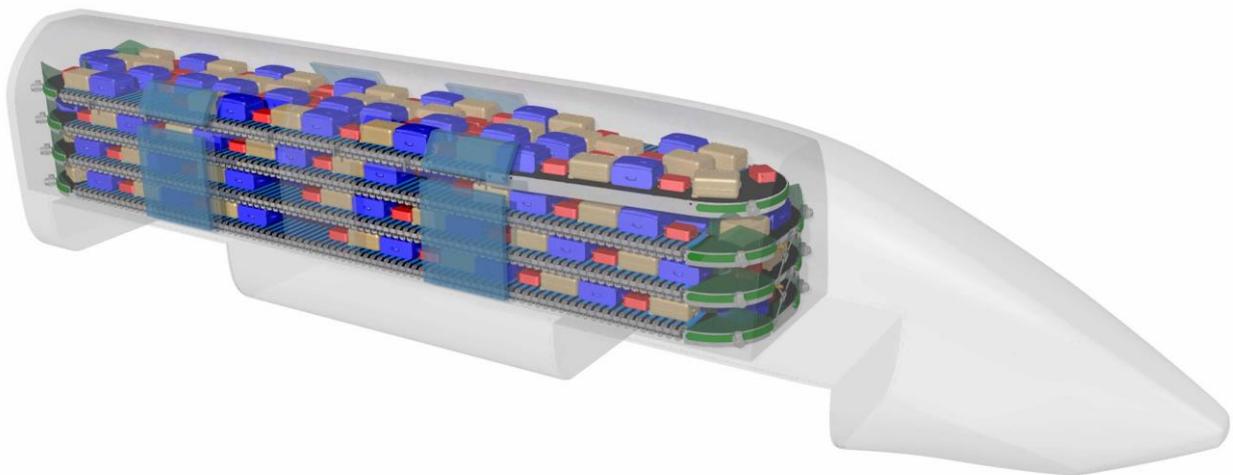
Abbildung 2: Abschnitt des Gepäcksystems bei Übergabe eines Koffers vom Kurzzeit- ans Langzeitlager

Abbildung 3: Klappbarer Förderbandabschnitt

Abbildung 4: Gepäckbewegung und -platzierung im Kurz- und Langzeitlager

Abbildung 5: Schnittstelle zur NGS

[Alle Abbildungen: Autoren]



Aufmacher

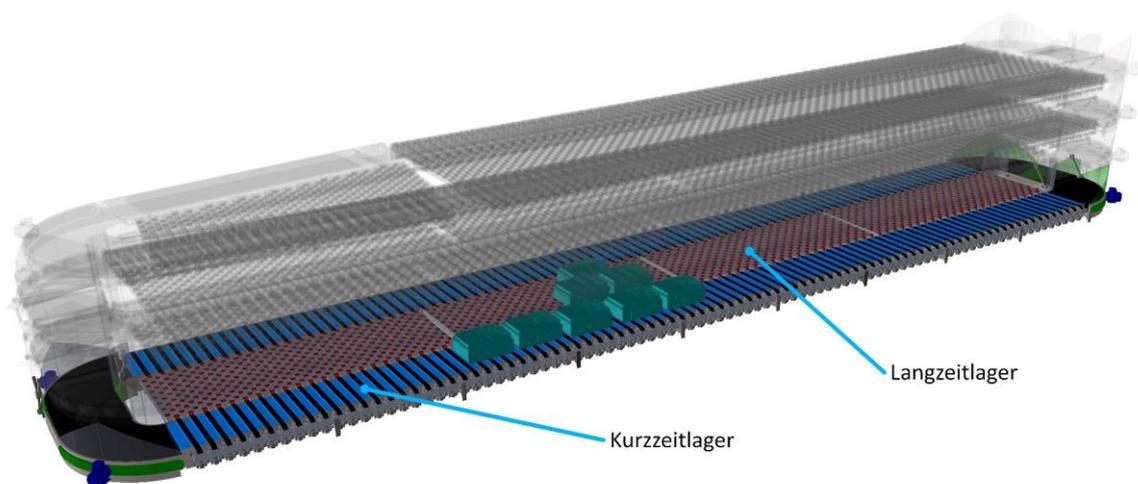


Abbildung 1

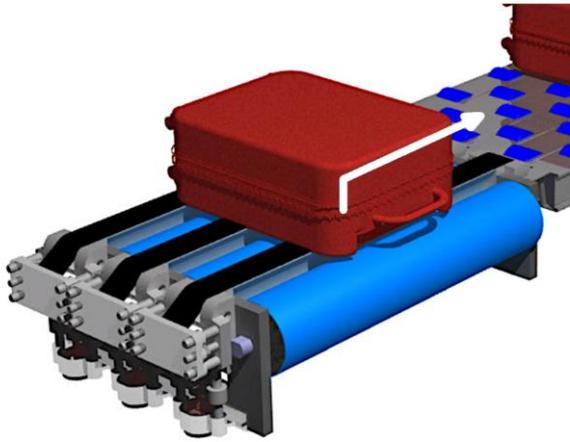


Abbildung 2

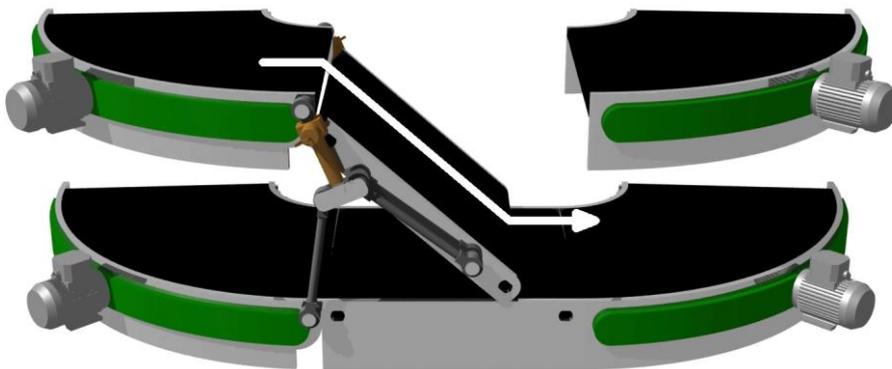


Abbildung 3

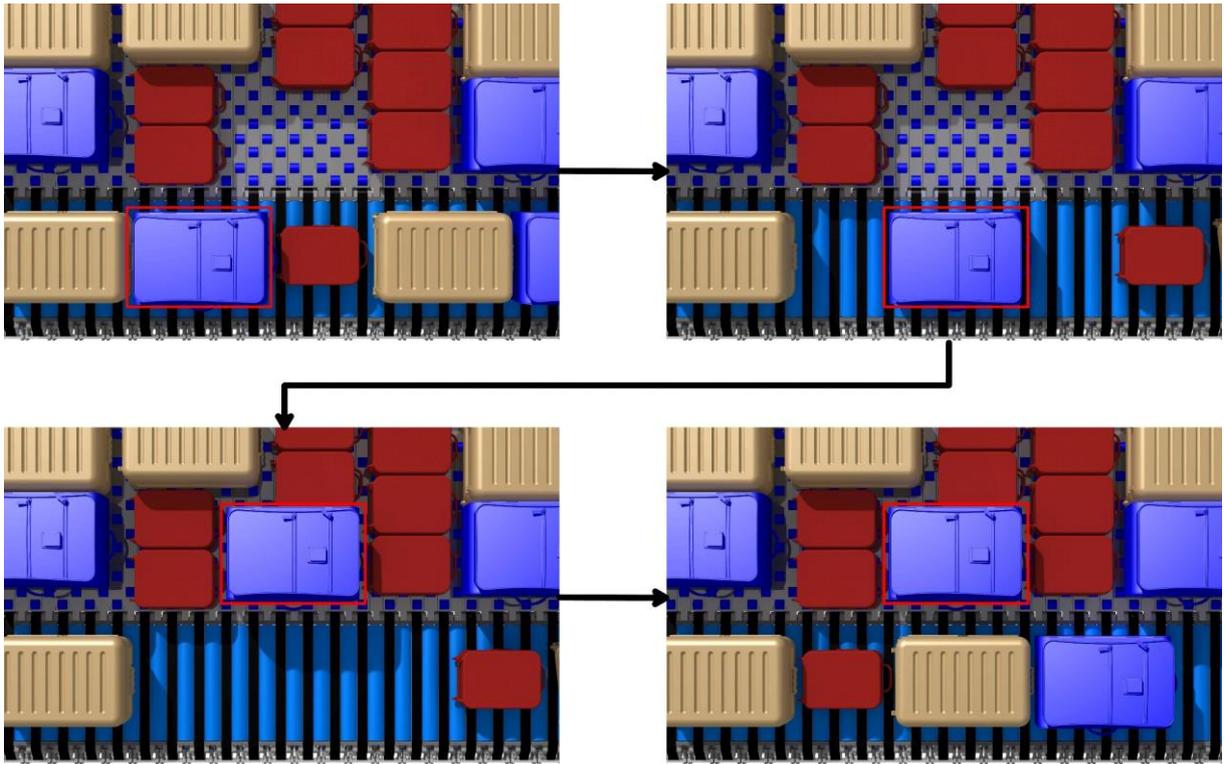


Abbildung 4

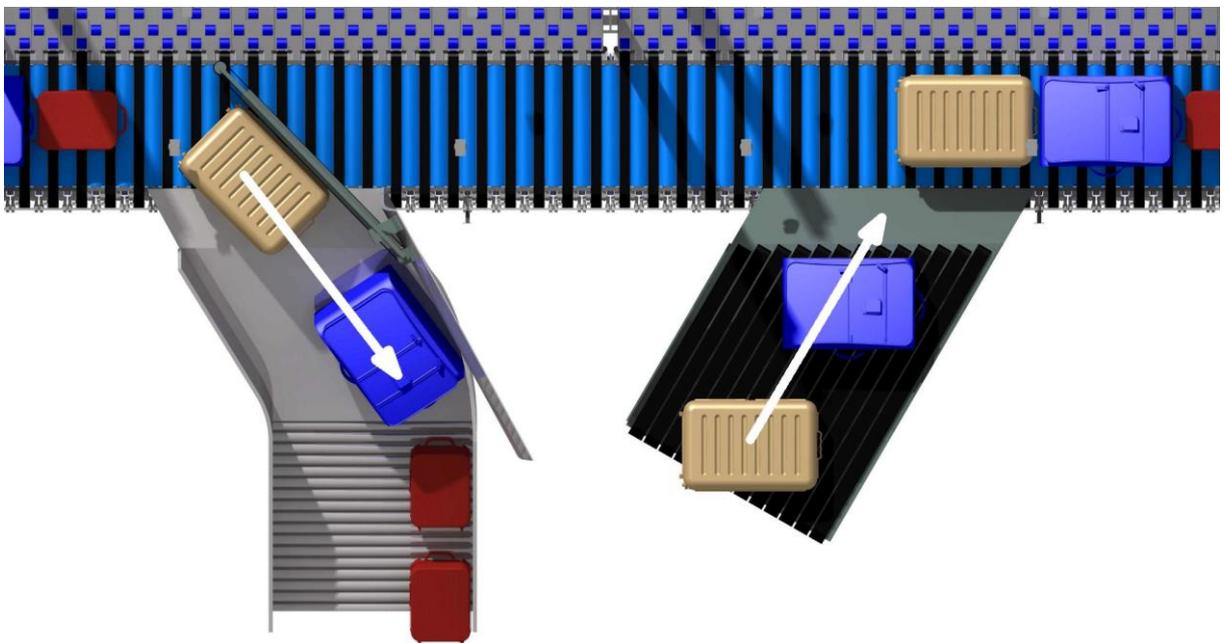


Abbildung 5