Ein automatisiertes Trennen der Schraubenkupplung ist möglich!

Egger, Martin[1], Stadlmann, Burkhard[1], Zellner, Christoph[1], Michelberger, Frank[2]

[1]FH OÖ, Fakultät für Technik und Angewandte Naturwissenschaften,Wels
[2]Institut für integrierte Mobilitätsforschung, Fachhochschule St.Pölten GmbH

Zusammenfassung

Die seit 100 Jahren im europäischen Eisenbahn-Güterverkehr eingesetzte Schraubenkupplung ist kostenintensiv und kann gefährlich in der Handhabung sein. Sämtliche Pläne diese durch eine automatische Kupplung zu ersetzten, sind bisher gescheitert und es wird auch mittelfristig wenig Chance auf Umsetzung gegeben. Dementsprechend sind unterschiedliche Lösungsvorschläge für die automatisierte Handhabung der Schraubenkupplung veröffentlicht. Doch auch diese sind bisher an einer konkreten Umsetzung gescheitert. Auf Basis bestehender Konzepte, den Gründen ihrer Nichtumsetzbarkeit, der Analyse der Prozesse am Verschiebebahnhof sowie der geometrischen Gegebenheiten am Güterwagen wird ein mechatronisches System entwickelt und getestet, das eine automatische Trennung der Schraubenkupplung ermöglicht.

1 Geschichte

Die seit über 100 Jahren praktisch alternativlos im europäischen Eisenbahn-Güterverkehr eingesetzte Schraubenkupplung (Abbildung 1) ist in die Jahre gekommen. Sie wird nach wie vor vollständig manuell bedient und macht die notwendigen Abläufe damit zeitintensiv, kostenintensiv und gefährlich. Die praktizierten Prozesse entsprechen schon lange nicht mehr dem Stand der Technik. Alternativ zur Schraubenkupplung bieten sich automatische Kupplungen an, die in vielen Ländern ebenfalls z. T. schon sehr lange im Einsatz sind [1]. Die im Zeitraum von 1893 bis 1900 in den USA entwickelte automatische Janney-Kupplung ist heute neben den USA auch in Kanada, Russland, den Baltischen

Staaten, Südamerika, Südafrika, Australien, Japan, China, Südkorea und Indien im Einsatz. Im Gegensatz zur Schraubenkupplung arbeitet sie weitgehend automatisch und ist damit wesentlich sicherer. Ihre hohe Belastbarkeit ermöglicht die Bildung kilometerlanger Züge.

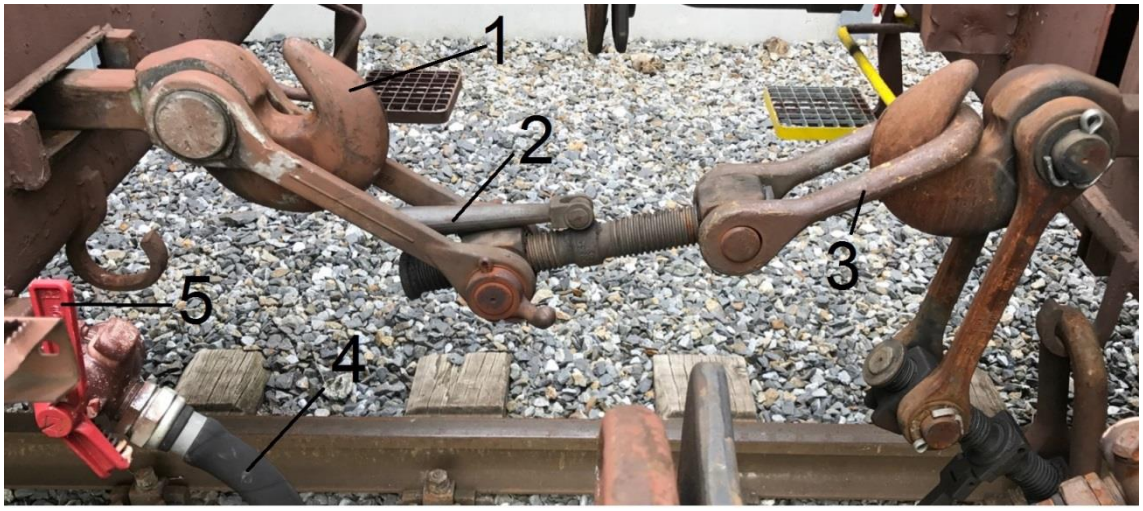

Abbildung 1: Die Schraubenkupplung und ihre Elemente: (1) Zughaken, (2) Kupplungsschwengel, (3) Kupplungsbügel, (4) Bremsschlauch, (5) Druckluft-Absperrhahn.

Im europäischen Eisenbahn-Güterverkehr konnte sich eine automatische Kupplung bis heute nicht durchsetzen. Gründe für das Scheitern der Umstellung auf eine automatische Kupplung waren die hohen Kosten, die notwendigen internationalen Vereinbarungen, die geforderte Simultanumstellung aller Betreiber und letztendlich der fehlende politische Wille. Den Plänen für eine Umstellung wird auch mittelfristig wenig Chance auf Umsetzung gegeben. Der europäische Eisenbahn-Güterverkehr wird sich daher auch in Zukunft mit der Schraubenkupplung zurechtfinden müssen. Abbildung 1 zeigt ihre zentralen Elemente (1) Zughaken, (2) Kupplungsschwengel, (3) Kupplungsbügel, (4) Bremsschlauch, (5) Druckluft-Absperrhahn die allesamt für eine manuelle Bedienung konzipiert sind.

2 Prozesse am Verschiebebahnhof

Güterzüge, insbesondere im Wagenladungsverkehr, bestehen aus einzelnen Güterwagen mit unterschiedlichen Herkunfts- und Zielorten. Die jeweiligen Güterwagen bzw. ganze Wagengruppen werden entsprechend ihrer Route in Rangierbahnhöfen (in Österreich auch als Verschiebebahnhöfe bezeichnet) immer wieder aufgeteilt und neu verbunden. Bei einem einfachen Transportvorgang fallen 14 Entkupplungs- und Kupplungsprozesse an, im Durchschnitt liegt diese Anzahl wesentlich höher [2]. Rangier-/Verschiebebahnhöfe sind innerhalb des Schienennetzes strategisch sinnvoll verteilt. In der Einfahrgruppe A und dem Ablaufberg/Abrollberg B werden Güterzüge aufgetrennt, in der Richtungsgruppe D werden sie neu zusammengesetzt (Abbildung 2).

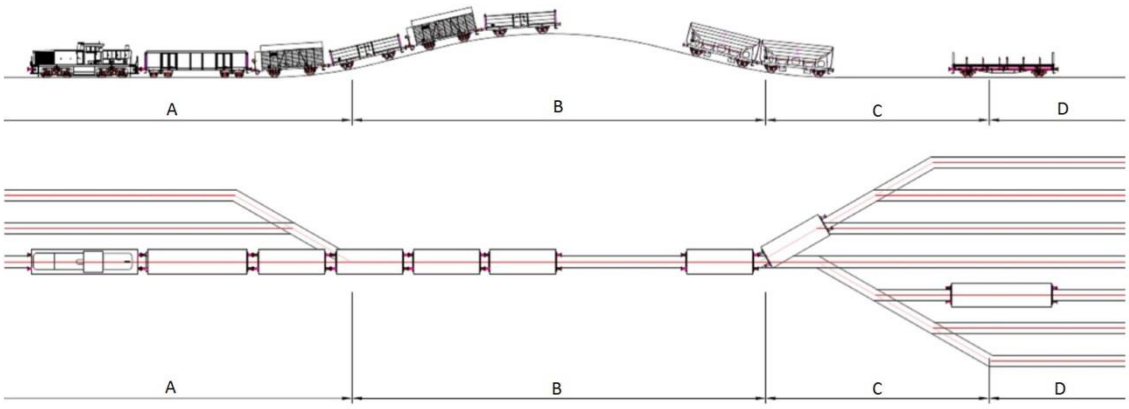

Abbildung 2: Bereiche eines Verschiebebahnhofes: A: Einfahrgruppe, B: Abrollberg, D: Richtungsgruppe [3]

Diese Arbeit beschäftigt sich exklusiv mit dem Auftrennen von Güterzügen. Die auszuführenden Aktionen beim Trennen der Schraubenkupplung werden mit den Begriffen *‚Langmachen‘* und *‚Entkuppeln‘* zusammengefasst. Diese Einteilung ist insofern sinnvoll, da die jeweiligen Tätigkeiten, je nach Topologie des Ablauf-/Abrollberges, aktuell auch an verschieden Stellen am Verschiebebahnhof durchgeführt werden.

Das *Langmachen* erfolgt immer in der Einfahrgruppe am stehenden Zug. Es umfasst die Tätigkeiten:

- Positionierung entlang des Zuges in der bis zu 750 m langen Einfahrgruppe
- Identifizierung der Verbindungen die gelöst werden müssen
- Betätigen des Lösezuges, d.h. Lösen der Druckluftbremse
- Schließen der Druckluft-Absperrhähne
- Öffnen der Bremsschläuche
- Aufschrauben der Schraubenkupplung

Das *Entkuppeln* erfolgt entweder unmittelbar nach dem Langmachen am stehenden Zug, oder kurz vor dem Abrollen, dann aber am fahrenden Zug. Es umfasst die Tätigkeiten:

- Kontrolle der Trennstelle
- Aushängen des Kupplungsbügels aus dem Zughaken

Nach wie vor werden alle diese Tätigkeiten vom Rangier-/Verschubpersonal unter hohem körperlichen Einsatz durchgeführt. Das Verschieben ist zeitintensiv, kostenintensiv und gefährlich! Es stellt sich die Frage, inwieweit eine Automatisierbarkeit des Trennprozesses zum derzeitigen Stand der Technik möglich und auch wirtschaftlich sinnvoll ist, welche geometrischen, kinematischen, mechanischen und arbeitsrechtlichen Randbedingungen einzuhalten sind und wie so eine Trennvorrichtung aufgebaut sein muss bzw. welche Informationen sie benötigt. Eine derartige Anlage muss allen Anforderungen des Arbeitnehmerschutzes entsprechen. Einbauten sind so zu gestalten, dass sie keine Stolpergefahr

darstellen oder ausreichend gekennzeichnet sind. Ein gefahrloses Betreten des Arbeitsbereiches muss durch geeignete Maßnahmen möglich sein. Die Platzverhältnisse seitlich zwischen den Gleisen sind äußerst beschränkt. Abbildung 3 zeigt vereinfacht die einzuhaltenden Sicherheitsabstände, die je nach Nutzung der Gleise des Rangier-/Verschiebebahnhofes noch weiteren Beschränkungen unterworfen sind.

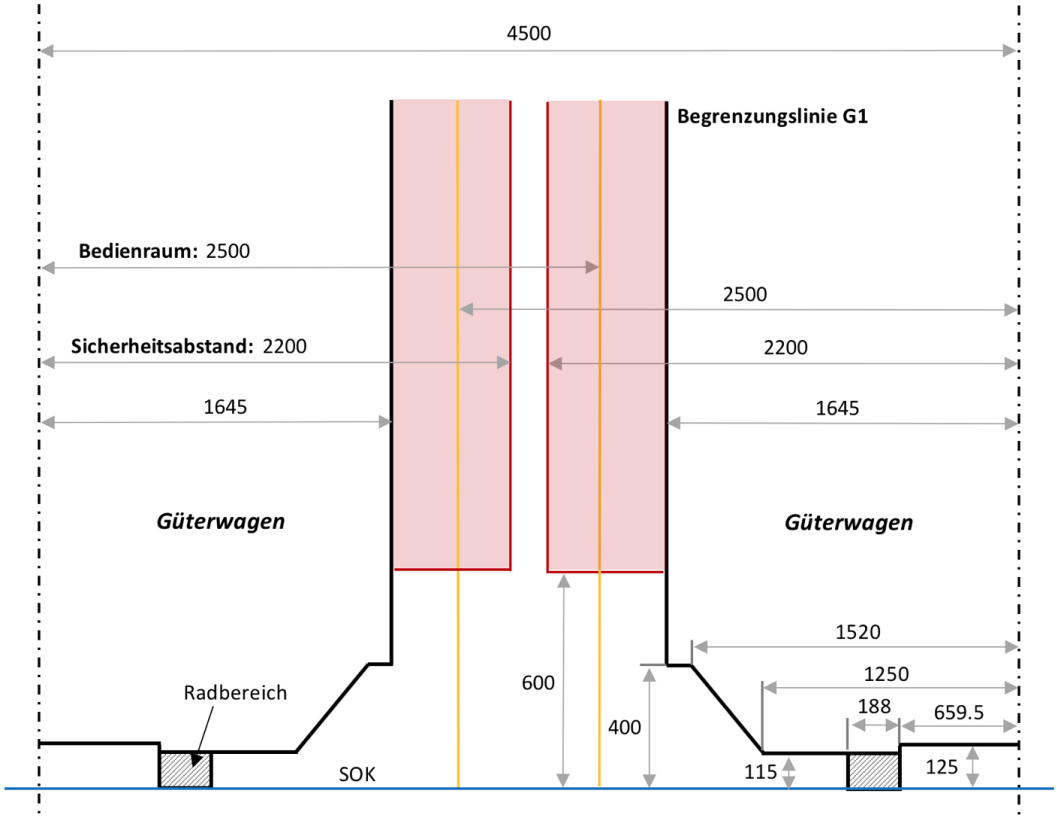

Abbildung 3: Beschränkte Platzverhältnisse zwischen den Gleisen in der Einfahrgruppe

3 Konzepte für die automatische Handhabung der Schraubenkupplung

In den letzten 30 Jahren wurden unterschiedliche Patente mit Lösungsvorschlägen für die automatisierte Handhabung der offensichtlich unersetzbaren Schraubenkupplung veröffentlicht. Doch diese sind bisher an einer konkreten Umsetzung gescheitert. Eine Analyse bestehender Lösungsvorschläge und der Gründe ihrer Nichtumsetzbarkeit unterstützt die Entwicklung neuer Konzepte. Tabelle 1 fasst die Eigenschaften relevanter Erfindungen zusammen. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen darin, in welcher Richtung auf die Trennstelle zugegriffen wird, in ihren Positionierungsmöglichkeiten sowie im Ausarbeitungsgrad. Z.T. handelt es sich um prinzipielle Ideen [6], [7], [8] und zum Teil um sehr detaillierte Konzepte [5].

	Rangieranlage für Schienenfahrzeuge	Automatisches Trennen von Güterwagen mit Schrauben-kupp-lungen	Vollautom. Trennen von Güterwagen mit automatischen Kupplungen	Vorrichtung zum Abkuppeln von Schienen-fahr-zeugen
Patent Nr.:	DE 3344979 [5]	DE 3819388 [6]	DE 4015878 [7]	DE 19621651[8]
Zugriff von	unten	unten	seitlich	Seitlich
Wirkprinzip Langmachen	*Druckluftkup-plungsgreifer Spannschrauben-dreher*	Nicht möglich	Nicht möglich	Nicht möglich
Wirkprinzip Entkuppeln	*Zugkupplungs-bü-gelgreifer*	*Hebemechanis-mus Effektor*	*Roboterarm*	*Roboterarm*
Positionierung	Unter den Gleisen	Unter den Gleisen	Neben den Glei-sen	Fixe Montage Keine Positio-nierung
Anforderung-gen an die Inf-rastruktur	hoch	hoch	hoch	Gering
Arbeit-neh-merschutz	problematisch	problematisch	problematisch	Gut möglich

Tabelle 1: Eigenschaften relevanter Erfindungen für die automatische Handhabung von Eisennbahn-Kupplungen

Die Möglichkeit der Positionierung entlang des Zuges stellt hohe Anforderungen an die Infrastruktur und schafft Probleme hinsichtlich des Arbeitnehmerschutzes. Es sind Fragen der Energieversorgung, der Zugänglichkeit für Wartungszwecke, Absturz und Stolpergefahr zu berücksichtigen. Ein Verfahren unterhalb der Gleise erfordert eine aufwändige Grube, die geeignet abzudecken ist. Ein Verfahren neben dem Gleis ist hinsichtlich des zur Verfügung stehenden Platzes schwer zu realisieren (Abbildung 3). Dementsprechend ist eine fixe Montage wesentlich einfacher realisierbar, entsprechend begrenzt allerdings sind dann die Möglichkeiten der Trennvorrichtung.

4 Was ist bisher schiefgelaufen?

Keiner der bisher veröffentlichten Ansätze schaffte es, zu einem Endprodukt entwickelt und im breiten Feld eingesetzt zu werden. Dies beruht mutmaßlich nicht primär auf der zum jeweiligen Zeitpunkt noch unzureichenden technischen Entwicklung. Mit entsprechendem Aufwand wäre die eine oder andere Realisierung durchaus vorstellbar. Aber,

die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit einer Automatisierungslösung muss in der Anwendung gegeben sein und diese hängt zumindest sekundär vom technischen Entwicklungsstand ab. Die Verfügbarkeit von kostengünstigen Sensoren für die Wahrnehmung und leistungsfähigen Computern für die Erkennung der Trennstelle sind Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz. Eine automatische Trennvorrichtung muss Kriterien erfüllen, die in den bisherigen Konzepten offensichtlich nicht ausreichend berücksichtig wurden:

- Zuverlässige Funktionsweise
- Kostengünstig in Anschaffung und Betrieb
- Einfacher und robuster Aufbau
- Mit geringem Aufwand in bestehende Anlagen integrierbar
- Vereinbarkeit mit dem Arbeitnehmerschutz

5 Mechanik

Unter Berücksichtigung der gewonnenen Erkenntnisse entstanden auf Basis der VDI 2221 verschiedene mechanische Wirkprinzipien, die in weiterer Folge zu Wirkstrukturen für das Langmachen und das Entkuppeln kombiniert und bewertet wurden. Die Bewertung erfolgte hinsichtlich

- technischer Realisierbarkeit
- Wirtschaftlichkeit
- Arbeitnehmerschutz

Die als am geeignetsten angesehen Konzepte wurden weiter ausgearbeitet und schließlich als Demonstratoren aufgebaut. Für das Langmachen wird eine Kombination aus klappbaren Schaufeln (Öffnen der Bremsschläuche), drehbar gelagertem Gestänge (Positionieren des Kupplungsschwengels) und offenem Zahnkranz (Aufschrauben der Schraubenkupplung) eingesetzt. Abbildung 4 zeigt das mechanische Konzept zum Langmachen der Schraubenkupplung. Der Mechanismus wird mittels Seiltrieb über der Trennstelle positioniert und dem veränderlichen Kupplungsdurchhang nachgeführt.

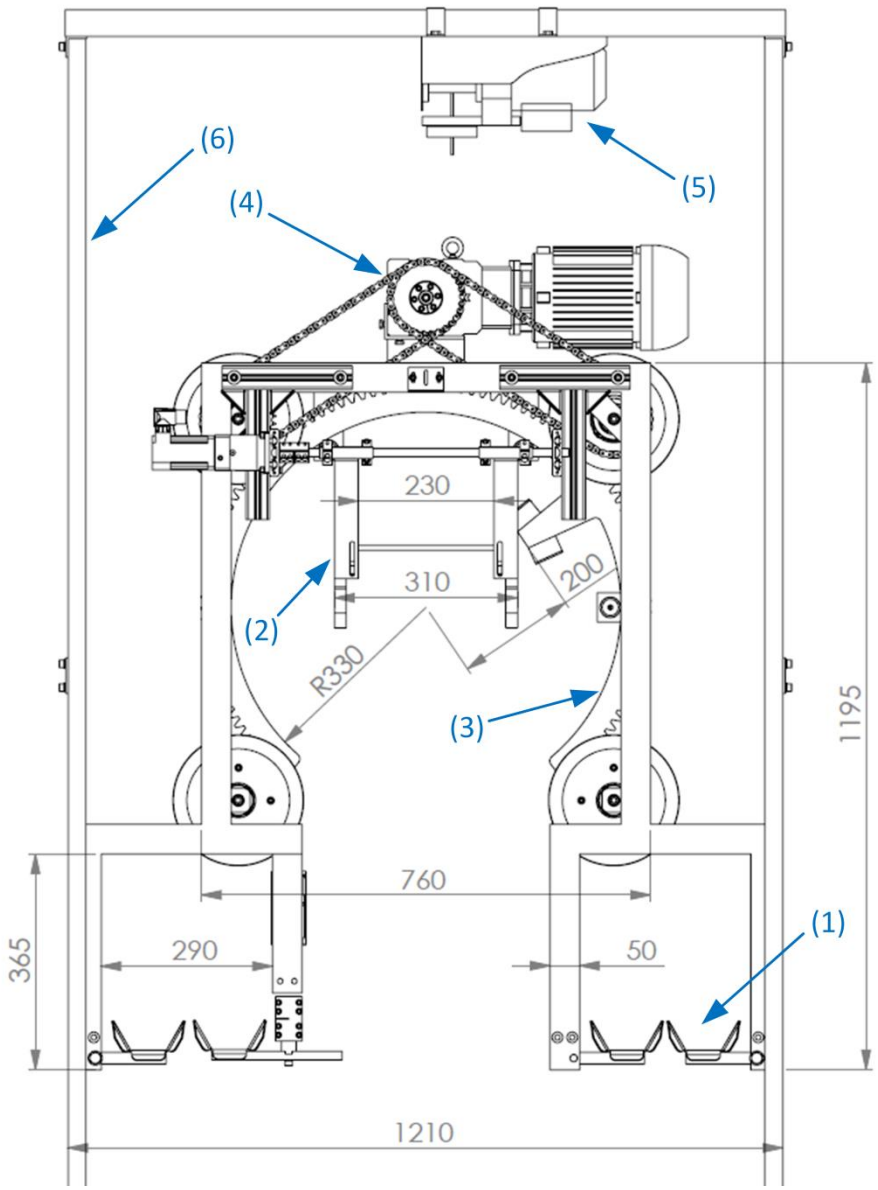

Abbildung 4: Mechanisches Konzept zum Langmachen der Schraubenkupplung: (1) Klappen mit Schaufeln zum Öffnen der Bremsschläuche, (2) Gestänge zum Positionieren des Kupplungsschwengels, (3) offener Zahnkranz zum Aufschrauben der Schraubenkupplung, (4) Antrieb des Zahnkranzes (5), Seiltrieb für die vertikale Positionierung, (6) Führungsschienen

Dieses Konzept des Langmachers wurde als Labordemonstrator aufgebaut und getestet. Zusätzlich wurde der Demonstrator auch bereits an realen Güterwagen im Verschiebebahnhof Linz validiert, wobei die grundsätzliche Praxistauglichkeit des Langmachers gezeigt werden konnte.

Das finale Konzept für das Entkuppeln stellt eine Kombination aus Aushängeplatte, Kniehebel und zwei Seilantrieben dar (Abbildung 5). Zwei Seiltriebe bewegen unabhängig

voneinander die Schenkelenden eines Kniehebelmechanismus und können damit die Aushängeplatte sowohl entlang der Gleise (*x*-Richtung) bewegen als auch aufrichten (y-Richtung). Die gesamte Anordnung ist zwischen den Gleisen untergebracht und erfordert damit nur einen minimalen Eingriff in die Eisenbahn-Infrastruktur.

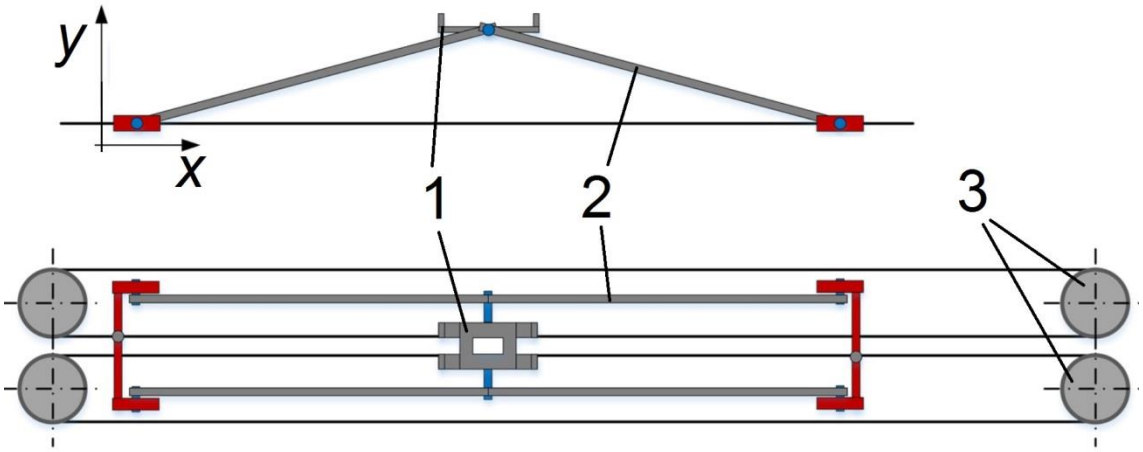

Abbildung 5: Mechanisches Konzept zum Entkuppeln der Schraubenkupplung: (1) Aushängeplatte, (2) Kniehebel, (3) Seiltriebe

6 Informationsfluss

Ein automatischer Trennvorgang benötigt folgende primäre Informationen:

- Präzise Position der Schraubenkupplung
- Status der Schraubenkupplung (langgemacht oder festgezogen, welche Seite ist eingehängt)
- Präzise Position des Lösezuges

Optische Verfahren erfüllen die geforderten Voraussetzungen die komplexen Strukturen berührungslos und mit der entsprechenden örtlichen und zeitlichen Auflösung zu erfassen. Das Prinzip der Time-of-flight Kamera liefert kontrastreiche Aufnahmen der Schraubenkupplung, da durch die mitgelieferte Tiefeninformation sämtliche Elemente, die sich nicht in der Zugmittelebene befinden ausgefiltert werden können. Ergänzend dazu liefern die Aufnahmen eines Laserscanners sehr charakteristische Aufnahmen der Puffer. Die Zusammenführung der Informationen beider Systeme sowie deren Interpretation mittels neuronaler Netze liefert die Kupplungsposition mit einer gewissen Fehlerreduktion und Redundanz.

Die Bestimmung der präzisen Positionen ist nur im Erfassungsbereich der dafür eingesetzten Kamera erfolgreich. Demensprechend sind einerseits für die Bestimmung der ‚globalen' Position der Trennstellen entlang des Zuges sowie andererseits für die Bestimmung der Kupplungs- und Lösezugsposition außerhalb des Sichtfeldes der Kamera sekundäre Informationen erforderlich:

- Position der Trennstellen entlang der Zuges
- Kupplungsgeschwindigkeit

Die globale Position einer Trennstelle entlang des Zuges lässt sich entweder absolut durch die optische Erkennung der Wagennummer, oder relativ durch die Zählung der Wagenachsen ermitteln. Der Achszähler ist ein im Eisenbahnverkehr etabliertes Messinstrument, ganz im Gegensatz zu optischen Systemen zur Erkennung der Wagennummer. Für die berührungslose Bestimmung der Kupplungsgeschwindigkeit eignen sich Radar und Laserentfernungsmesser. Das Wagengestell wird als starr angenommen und damit kann die Kupplungsgeschwindigkeit der Wagengeschwindigkeit gleichgesetzt werden. Die beim Trennen auftretende Geschwindigkeit ist gering (<2,5m/s) und muss relativ genau bestimmt werden (±0,026m/s). Die für die Entkupplungsmechanik erforderliche Genauigkeit in der Positionierung beträgt ±5cm.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Sowohl für das Langmachen, als auch für das Entkuppeln können auf Basis bestehender Konzepte, den Gründen ihrer Nichtumsetzbarkeit, der Analyse der Prozesse am Rangier-/Verschiebebahnhof sowie der geometrischen Gegebenheiten am Güterwagen Konzepte abgeleitet werden die einen automatisierten Trennvorgang der Schraubenkupplung ermöglichen und auch wirtschaftlich sinnvoll erscheinen. Ein entsprechender Felddemonstrator für das automatische Entkuppeln wurde am Nebenabrollberg des Verschiebebahnhofs Linz, in Österreich (Abbildung 6) aufgebaut. Die bisher damit erzielten Ergebnisse sind äußerst vielversprechend. Die Maschine erweist sich als für den Einsatz am Verschiebebahnhof tauglich. Diese Erfahrungen fließen in die weitere Entwicklung des Prototyps ein. Somit steht einer automatischen Trennung der Schraubenkupplung in Zukunft nichts im Wege.

Die Forschungstätigkeit wird im Rahmen des Förderungsprogramms „Mobilität der Zukunft“ vom österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) sowie der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) gefördert.

Abbildung 6: Felddemonstrator für das automatische Entkuppeln, Verschiebebahnhof Linz, Gleis 187, Österreich

Literatur

[1] Stuhr H.: Untersuchung von Einsatzszenarien einer automatischen Mittelpufferkupplung, Eisenbahntechnische Rundschau, Juni 2013, S. 17-21.

[2] Sünderhauf B.: Die Automatische Mittelpufferkupplung (AK). ALTAPLAN LEASING GmbH, 2009, S 106.

[3] https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5953334, 31.01.2019 um 11:05

[4] ÖNORM EN 15273-2:2012-11 Bahnanwendungen - Begrenzungslinien - Teil 2: Fahrzeugbegrenzungslinien.

[5] Huber E.: Rangieranlage für Schienenfahrzeuge. DE 3344979 C2, Dezember 1983.

[6] Bruns M. et al: Einrichtung und Verfahren zum automatischen Trennen von Güterwagen mit Schraubenkupplungen, DE 3819388 A1, Juni 1988.

[7] Bruns M. et al: Einrichtung zum vollautomatischen Trennen von Güterwagen mit automatischen Kupplungen, DE 4015878 A1, Mai 1990.

[8] Cappelletti J., Zakaria S.: Vorrichtung zum Abkuppeln von Schienenfahrzeugen. DE19621651 C2, Mai 1996

Autoren

Martin Egger

Martin Egger ist Professor für Konstruktionswissenschaften und technische Logistik an der Fachhochschule Oberösterreich in Wels.

Burkhard Stadlmann

Burkhard Stadlmann ist Professor für Automatisierungstechnik und Leiter der Forschungsgruppe Bahnautomatisierung und Verkehrstelematik der Fachhochschule Oberösterreich in Wels.

Christoph Zellner

Christoph Zellner ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Forschungsgruppe Bahnautomatisierung und Verkehrstelematik der Fachhochschule Oberösterreich in Wels.

Frank Michelberger

Frank Michelberger ist Leiter des Carl Ritter von Ghega Institutes für integrierte Mobilitätsforschung der Fachhochschule St. Pölten.