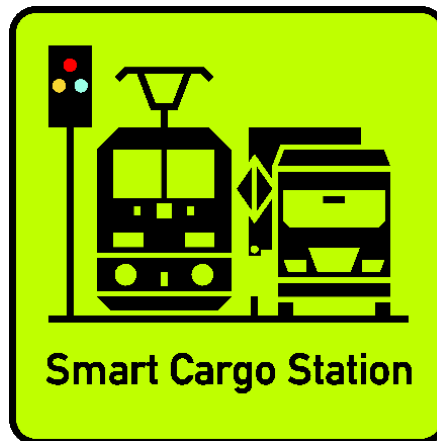


**Abschlussbericht zum geförderten Forschungsprojekt
„Interaktion von neuen Technologien des kombinierten Güterverkehrs mit der Gestaltung und dem Betrieb von Bahnanlagen“
- Smart Cargo Station -**

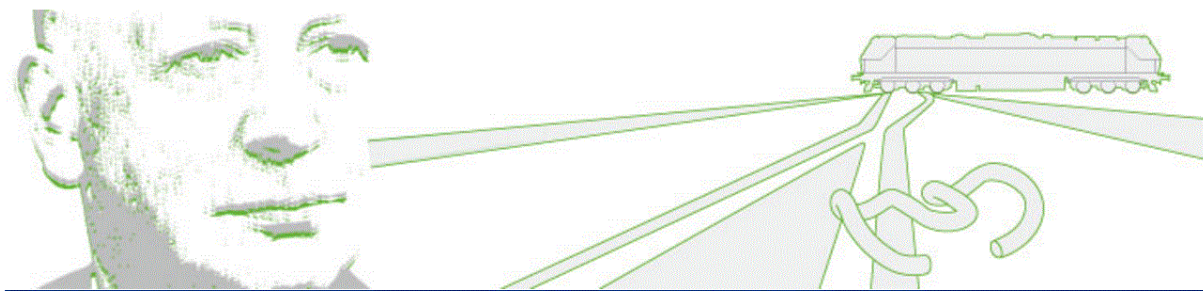


Ansprechpartner:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Christoph Thiel
Inhaber Lehrstuhl Eisenbahnwesen, BTU Cottbus-Senftenberg
E-Mail: hc.thiel@b-tu.de

Christian Menzel, M.Sc.
Doktorand Lehrstuhl Eisenbahnwesen, BTU Cottbus-Senftenberg
E-Mail: menzel.ch@gmail.com

Karl-Vossloh-Stiftung



gefördert durch die Karl-Vossloh-Stiftung

Inhaltsverzeichnis

1. Problemanalyse und Projektidee	3
2. Erarbeitung des Konzepts der Smart Cargo Station	8
3. Gefahren- und Risikoanalyse für Güterumschlag an Hauptgleisen	12
4. Sicherungstechnik, Betrieb und Layout der Smart Cargo Station	16
5. Standorteignung und modulare Anpassung der Smart Cargo Station	22
6. Labor- und Lehranlage der Smart Cargo Station an der BTU	26
7. Ausstellungs- und Messemodell der Smart Cargo Station	33
8. Cargo Train Device-Demonstrator	34
9. Veröffentlichungen und Präsentationen	38
10. Zusammenfassung und Ausblick	40
Anhang 1: Fotos der Labor- und Lehranlage	44
Anhang 2: Gleisplan der Labor- und Lehranlage	45
Anhang 2: Präsentation InnoTrans 2018	46
Anhang 4: Projektposter	49

1. Problemanalyse und Projektidee

Zur Erreichung der Klimaschutzziele und Entlastung des Straßennetzes wird seit Jahrzehnten eine Verlagerung wesentlicher Transportanteile von der Straße auf die Schiene gefordert. Eine derartige Verkehrswende wäre auch energetisch sinnvoll, denn die Eisenbahn weist einen um ca. 75 % geringeren Primärenergiebedarf gegenüber dem Straßenverkehr auf. Des Weiteren bilden schwere LKW eine Hauptgefahrenquelle für Unfälle. Auch müssen LKW-Fahrer meist sehr schlechte Arbeitsbedingungen hinnehmen. Da der Güterverkehr insgesamt ständig zunimmt, sind Ausbaumaßnahmen an den Verkehrswegen zwingend erforderlich. So sind die Kapazitäten von Autobahnrastplätzen für LKW (zur Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Ruhezeiten) vielerorts längst gefährlich überschritten. Aus all diesen Gründen sollte dem Verkehrsträger Schiene zukünftig eine besondere Bedeutung zukommen, wie es auch der „Masterplan Schienengüterverkehr 2018“ fordert. Gleichzeitig erscheint es unverständlich, dass trotz der sehr guten wirtschaftlichen Konjunktur in Deutschland der Anteil des Schienengüterverkehrs (Modal Split) in den Jahren 2016 auf 2017 um 0,9 Prozentpunkte von 17,7 auf 16,8 % zurückgegangen ist. Die Senkung der Trassenpreise für Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) war Ende 2018 ein erster, sinnvoller Schritt. Jedoch fehlen im Masterplan sowie bei weiteren verkehrspolitischen Programmen Vorschläge für konkrete betriebliche und bauliche Maßnahmen, mit denen eine Stärkung des Schienengüterverkehrs erreicht werden kann. Unstrittig ist, dass die Kapazität des Eisenbahnnetzes insgesamt gesteigert werden muss. Das allein wird aber noch nicht nennenswert mehr Güterverkehr auf die Schiene bringen. Daher hat der Lehrstuhl Eisenbahnwesen der BTU Cottbus-Senftenberg den Schienengüterverkehr zu einem Forschungsschwerpunkt erklärt und nach neuen, bisher unbekannten Lösungsansätzen gesucht, um tatsächliche Verkehrsverlagerungen zu erreichen, wofür die Karl-Vossloh-Stiftung als fördernder Partner gewonnen werden konnte.

Der Lösungsfindung ging eine Analyse der Probleme im heutigen Schienengüterverkehr in Deutschland voraus. Derer gibt es recht viele. Häufig ist es die Personaleinsatzplanung oder Komplikationen bei betrieblichen Abläufen, nicht verfügbare Fahrplantrassen oder Verspätungen, bis hin zu Beeinträchtigungen durch Baumaßnahmen oder die mangelhafte Verfügbarkeit von Fahrzeugmaterial. Wenngleich auf all diesen Gebieten dringender Handlungsbedarf besteht, so liegt der inhaltliche Schwerpunkt in der Arbeit des Lehrstuhls Eisenbahnwesen doch auf dem Infrastrukturbereich. Der Planung von Bahnanlagen muss jedoch eine genaue Definition der betrieblichen Anforderungen an diese vorausgehen.

Um die Probleme der Gegenwart besser zu verstehen, ist ein Blick in die Geschichte hilfreich. So hat die Eisenbahn auf dem Gebiet der DDR noch Ende der 1980er-Jahre über 80 % des Gesamtgüterverkehrs bewältigt, bei steigender Tendenz. Heute liegt der bahnseitige Anteil der Güterverkehrsleistung in Deutschland bei unter 17 % (gemessen an den Tonnenkilometern). Auch wenn sich in der Zwischenzeit viele Rahmenbedingungen geändert haben, so ist dieses enorme Missverhältnis sehr signifikant. Bei detaillierterer Betrachtung fällt auf, dass früher auch im Nahbereich deutlich

häufiger mit der Eisenbahn transportiert wurde. Güterverkehre über 50 km waren in der DDR aus Gründen der Kraftstoffeinsparung sogar per Gesetz auf der Schiene durchzuführen. Möglich war das nur im sogenannten Einzelwagenverkehr. Heute liegt der Schwerpunkt jedoch eher im Ganzzugbereich und langen Transportrelationen, da der Aufwand dafür geringer und die Einnahmen größer sind.

Um früher derart hohe Beförderungsquoten auf der Schiene zu erreichen, mussten möglichst viele Versender und Empfänger an das Eisenbahnnetz angeschlossen sein. Nur ein räumlich naher Zugang ermöglicht den flächendeckenden Eisenbahngüterverkehr. Zu diesem Zweck besaßen die meisten Großbetriebe einen Gleisanschluss, der Mangels alternativer Transportmöglichkeiten eine Notwendigkeit war. Aber auch fast alle öffentlichen Bahnhöfe verfügten über eine Güterabfertigung, bestehend aus Ladegleisen mit Güterschuppen, Ladestraße und Kopf-/ Seitenrampen. Dort war es auch kleineren Güterkunden aus der Region möglich, ihre Waren oder Expressgut auf Güterwagen zu verladen sowie ggf. Zwischenzulagern. Örtliches Personal stand für diese Dienstleistungen bereit. Die einzelnen Güterwagen sammelte man mittels Nahgüterzügen und brachte sie über Verteilerknoten und Rangierbahnhöfe zu den Zielbahnhöfen, wo ebenfalls die zuvor beschriebene Infrastruktur vorhanden war. Dieses System bewährte sich über einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren. Mit der einsetzenden Motorisierung des Straßenverkehrs im frühen 20. Jahrhundert begann jedoch auch der langsame Verlust der Monopolstellung der Eisenbahn. Um dem entgegenzuwirken, waren neue Lösungsansätze und Verbesserungen notwendig.

Die Feinverteilung kleinteiliger Güter auf dem Straßenweg im Nahbereich nannte man einst „Güterbestätterung“, die von Rollfuhrunternehmern, teilweise sogar direkt im Dienste der Eisenbahn, übernommen wurde. Heute reden wir in diesem Zusammenhang von der problematischen „ersten und letzten Meile“. Schon in den Anfängen des Eisenbahnwesens wurde der Aufwand des Umladens von Hand als Problem identifiziert. Es gab vereinzelt Bestrebungen, den Güterumschlag von der Eisenbahn auf Fuhrwerke oder Binnenschiffe durch das Umsetzen gleich großer Kisten, Behälter oder sogar ganzer Kutschkästen zu vereinfachen. Solange Arbeitskräfte jedoch billig waren und zur Eisenbahn keine Alternativen bestanden, stellte der manuelle Güterumschlag die Regel dar. Außerdem dominierten bei den Bahnverwaltungen in Deutschland stückzahlenmäßig die offenen und gedeckten Güterwagen der Regelbauart, welche prinzipbedingt nur ein händisches Be- und Entladen gestatteten. Erst der aufkommende Güterkraftverkehr bewirkte ein Umdenken. Die Deutsche Reichsbahn beschaffte Ende der 1920er-Jahre selbst LKW als Ergänzung ihres Angebots und führte den Behälterverkehr ein. Der sogenannte „Reichsbahnbehälter“ konnte vom nächstgelegenen Bahnhof auf der Straße zu seinem Bestimmungsort gebracht werden, ohne dass die Güter nochmals einzeln umzuladen waren. In den Niederlanden entwickelte eine Firma für LKW-Anhängerbau ungefähr zeitgleich eine technische Lösung, wie derartige, genormte Behälter mit kleinen Rollen ohne Einsatz eines Krans zwischen Eisenbahnwagen und LKW schnell und einfach umgeschlagen werden konnten. Der 2. Weltkrieg verhinderte zunächst die Ausbreitung dieses Konzepts.

In den frühen 1950er-Jahren griff die junge Deutsche Bundesbahn die Idee des Behältertransports wieder auf und etablierte das „Von Haus zu Haus“-System mit Großbehältern (auch pa-Behälter genannt) zu einer festen Größe. Bei vielen kriegsbeschädigten Güterwagen wurden nur das Fahrwerk und Rahmen instandgesetzt und anstelle des ursprünglichen Aufbaus dienten diese dann als Tragwagen für die pa-Behälter. Außerdem schaffte die Bundesbahn Straßenzustellfahrzeuge an, bei denen die hydraulische Horizontalumschlagtechnik integriert war. Ein günstiger Ausnahmetarif sowie das Angebot eines Großbehälter-Städteschnellverkehrs mit Zustellung über Nacht bildeten ein attraktives Angebot, welches sehr gut angenommen wurde. Viele neue Güterkunden ohne eigenen Gleisanschluss nutzten damit trotzdem den Schienengüterverkehr. Selbst Industriebetriebe mit größeren Transportmengen und speziellen Ladegütern konnten bedient werden, denn es standen nach kurzer Entwicklungszeit ca. zehn verschiedene Behältertypen für individuelle Anforderungen in großer Stückzahl zur Verfügung, neben den offenen und geschlossenen auch Spezialbehälter für eine Vielzahl von Ladegütern (staubförmige Stoffe, Granulate, feuergefährliche Flüssigkeiten, Getränke, Tiefkühlware, Gemüse, Baustoffe usw.). Der Umschlagprozess der pa-Behälter von oder auf die Eisenbahnwagen erfolgte an den Ladestraßen der Bahnhöfe, welche damals noch flächendeckend existierten. Bahnseitig waren für die Bereitstellung der Wagen Rangierprozesse erforderlich, die sich von herkömmlichen Betriebsabläufen nicht unterschieden. Neu waren der Einsatz der Behälter und die Art des Umschlags. Für derartige Transporte, bei denen Behälter zum Einsatz kommen und der größte Teil der Transportrelation per Bahn, aber das erste/ letzte Stück auf der Straße zurückgelegt wird, wurde der Begriff „Kombinierter Verkehr“ (KV) eingeführt, in letzter Zeit auch vermehrt als „Multimodalität“ bezeichnet.

Parallel zu den Binnenverkehren mit pa-Behältern, entwickelte eine US-amerikanische Reederei Mitte der 1960er-Jahre einen noch größeren Einheitsbehälter für Überseetransporte, den sogenannten 20-Fuß-ISO-Container. Schnell dominierte das Containersystem die internationalen Warenströme auf den Weltmeeren. Auch die Eisenbahn rüstete sich für den Transport dieser neuen Container und stellte entsprechende Tragwagen in Dienst. Rollen, wie die pa-Behälter, besaßen die ISO-Container nicht. Daher war für deren Umschlag eine Krananlage mit Greifgeschirr nötig. Zu diesem Zweck entstanden eigene Containerbahnhöfe, sowohl in der BRD als auch in der DDR (dort als Containerumschlagplätze bezeichnet). Viele Verkehrsexperten sahen schon damals die Zukunft des Schienengüterverkehrs im Containerverkehr. Zwar nahm dieser stetig zu, entwickelte sich in der Praxis aber zunächst nicht im prognostizierten Maße. Gleichzeitig wurde das ältere „Von Haus zu Haus“-System mit pa-Behältern immer weiter eingeschränkt, obwohl es seitens der Kunden beliebt war. Ursächlich waren das steigende Alter und der Verschleiß bei den pa-Behältern, den Tragwagen und den Straßenzustellfahrzeugen. Größere Investitionen wären erforderlich gewesen. Ein weiterer, noch bedeutenderer Grund war der zunehmende Wegfall von Umschlagpunkten, also den Zugangsstellen zum Bahnnetz. Durch Veränderungen der Tarifstruktur stiegen außerdem die Preise bei einem immer schlechteren Angebot, weswegen das „Von Haus zu Haus“-System Mitte der 1980er-Jahre eingestellt wurde.

Damit verschwand auch der kranlose Horizontalumschlag von Behältern. Die ISO-Container konnten diese Lücke nicht füllen, da sie stets auf Containerbahnhöfe mit Verladekränen angewiesen waren, von denen es verhältnismäßig wenige gab. Auch das Ab- und Aufladen der Container beim Kunden war nicht so einfach möglich, wie mit den alten Straßenzustellfahrzeugen für pa-Behälter. Viele Güterkunden, die zuvor das „Von Haus zu Haus“-System nutzten, transportierten fortan komplett auf der Straße, denn leistungsstarke LKW und ein ausgebautes Fernstraßennetz standen aufgrund entsprechender Investitionsprogramme nun zur Verfügung.

Die Deutsche Reichsbahn der DDR betrieb neben dem Containertransportsystem noch eine weitere Art des Kombinierten Verkehrs, was im Zusammenhang mit dem Projekt Smart Cargo Station von Bedeutung ist. Seit den 1960er-Jahren entstanden vielerorts in der DDR Großwohnsiedlungen aus vorgefertigten Gebäudeplatten. Diese Betonfertigteile konnten nicht vor Ort produziert werden, sondern wurden in zentralen Betonwerken hergestellt. Damit ergab sich das Problem, wie die fertigen Decken- und Wandelemente (sogar mit bereits montierten Fenstern) auf die Baustellen gelangen sollten. Dazu entwickelte die Hochschule für Verkehrswesen in Dresden eine Technologie auf der Grundlage von festen Ladeeinheiten als Großpaletten mit Rollen. Ziel war der Umschlag jener bis zu 40 Tonnen schweren, mit Betonfertigteilen beladenen Großpaletten, ohne den Einsatz von Krananlagen. Zunächst war der Transport nur auf der Straße vorgesehen. Es zeigte sich jedoch schnell der hohe Aufwand bei längeren Strecken. Die verwendeten Tiefladeanhänger mussten bei größeren Steigungen mit zwei Straßenzugmaschinen bespannt werden. Niedrige Durchfahrtshöhen unter Brücken, der schlechte Straßenzustand und die Verfügbarkeit der Fahrzeuge, in Kombination mit immer größeren Entfernungen zwischen Betonwerken und Baustellen, führten zu einem Umdenken. Die Hauptrelationen der Betonfertigteiltransporte konnte nur mittels der Eisenbahn bewältigt werden, aber unter Nutzung der bereits entwickelten Großpalettentechnologie. Spezielle Großpalettenumschlagplätze wurden bei bestehenden Bahnhöfen angelegt oder die notwendigen Bahnanlagen neu geschaffen. Dem Bahntransport der Großpaletten dienten sechssachsige Schwerlastwagen (Gattung Samms), die u. a. auch für Panzertransporte genutzt wurden. Nach geringen Anpassungen (Einbau von quer angeordneten Laufschiene auf der Ladefläche, Abnehmen der Seitenwände) konnte je ein Wagen zwei beladene Großpaletten aufnehmen, was einem Ladegewicht von 80 Tonnen entsprach. Die Großpaletten wurden mittels Seilzügen horizontal quer umgeschlagen. Eine Zwischenlagerung auf Absetzplätzen neben den Gleisen war möglich, von dort erfolgte in derselben Art und Weise der Umschlag auf das Straßenfahrzeug. Diese Umschlagplätze wurden ihrerseits ebenfalls aus genormten Betonfertigteilen errichtet. Teils waren sogar spezielle bewegliche Bühnen vorhanden, um die Großpaletten im Bereich der Zwischenlagerung zu sortieren. Auf den Baustellen gab es mobile Absetzrampen in Stahlbauweise. Insgesamt bewährte sich diese Technologie sehr gut und ermöglichte erst den industriellen Wohnungsbau im großen Umfang.

Diese heute wenig bekannten Beispiele zeigen, dass schon in der Vergangenheit innovative Lösungen entwickelt wurden, um speziellen Transportbedürfnissen zu entsprechen und die Flexibilität des Schienengüterverkehrs zu verbessern. Dabei handelt es sich keineswegs um experimentelle Ansätze (die es auch gegeben hat), sondern um praxiserprobte Technologien, die ihre Leistungsfähigkeit über Jahrzehnte unter Beweis stellten. Diese Erkenntnisse haben die Entwicklung der Smart Cargo Station maßgeblich beeinflusst.

Heute sind unter dem Oberbegriff des Kombinierten Verkehrs (KV) diverse Systeme zusammengefasst, deren Gemeinsamkeit im Transport von Ladungseinheiten liegt, die den anteilig längeren Weg auf der Schiene und den kürzeren Weg auf der Straße zurücklegen. Zum einen handelt es sich um die bereits erwähnten ISO-Container in genormten Größen, meist 20, 40 oder 45 Fuß, nutzbar für Stückgüter aller Art. Überwiegend dienen sie dem Seehafenhinterlandverkehr von den Nordseehäfen in verschiedene europäische Länder, sind übereinander stapelbar und mit standardisierten Eckbeschlägen ausgerüstet. Jedoch entsprechen die Innenmaße der ISO-Container nicht den europäischen Anforderungen. Zwei Europaletten (EPAL) nebeneinander haben im Inneren keinen Platz. Daher wurden für Binnenverkehre im KV die Wechselbrücke entwickelt. Wechselbrücken besitzen klappbare Stützbeine, die das Absetzen vom LKW auf einer befestigten Fläche ohne weitere Hilfsmittel erlauben. Die Innenmaße sind geringfügig größer als bei ISO-Containern, was jedoch mit dem Verzicht auf tragende Außenwände einhergeht, womit Wechselbrücken nicht gestapelt werden können. Das äußere Breitenmaß und der Standard der Eckbeschläge wurde für die Wechselbrücken von den ISO-Containern übernommen. Damit ist die Beförderung mit denselben LKW oder Tragwagen möglich. Weiterhin existiert eine Vielzahl von Spezialcontainern für verschiedene Aufgaben (Kühlcontainer, Tankcontainer, Schüttgutcontainer, Flats etc.). Auch zum Kombinierten Verkehr zählt der Transport von LKW-Sattelauflegern per Eisenbahn oder kompletten Sattelzügen als sogenannte „Rollende Landstraße“ (RoLa). Nachteilig wirkt sich bei den beiden letztgenannten Transportarten die hohe Totlast durch die Mitbeförderung des Straßenfahrwerks bzw. auch der Sattelzugmaschine aus. Bei der RoLa-Lösung fahren die LKW aus eigener Kraft auf die Spezialwagen.

Üblicherweise dienen Portalkräne in KV-Terminals dem Umschlag der ISO-Container, Wechselbrücken oder Sattelaufleger. In kleineren Terminals kommen Greifstapler, auch Reach Stacker genannt, zum Einsatz. Die Deutsche Bundesbahn experimentierte in den 1980er-Jahren mit einem schienengebunden Umschlaggerät (ULS), verfolgte dieses Konzept jedoch strategischen Gründen nicht weiter. Die letzten Jahrzehnte haben aber auch eine Vielzahl von Innovationen im Kombinierten Verkehr hervorgebracht. Besonders sind dabei die Horizontalumschlagsysteme zu nennen. Einige davon konnten ihre Zuverlässigkeit bereits unter Beweis stellen, vor allem, wenn sie auf den etablierten Behältersystemen basieren. Mobile Horizontalumschlagsysteme sind deutlich kostengünstiger und flexibler als feste Portalkrananlagen. Ein zusätzlicher, betrieblicher Nutzen ist die Anwendbarkeit unter der Oberleitung. Ein flächendeckender Einsatz dieser Technologie steht jedoch noch aus.

Zusammenfassend konnten folgende Probleme festgestellt werden:

- Fehlende Zugangsstellen wurden als eine Ursache für den heute schwachen Schienengüterverkehr identifiziert.
- Flexible Ladeeinheiten in Form von genormten Behältern haben große Vorteile gegenüber normalen Güterwagen.
- Kombinierte Verkehr erreicht auch Güterkunden ohne eigenen Gleisanschluss.
- Horizontalumschlag ohne Kran ermöglicht kostengünstige Umschlaganlagen
- Bestehende Containerbahnhöfe bzw. KV-Terminals haben einen begrenzten Einzugsbereich, der viele potentielle Güterkunden nicht einschließt.
- Gleisanschlüsse und öffentliche Ladestellen auf Bahnhöfen sind in Deutschland stark zurückgegangen oder gar nicht mehr vorhanden.
- Der klassische Einzelwagenverkehr ist rückläufig.
- Transportketten im SGV erfordern individuelle und aufwendige Lösungen.
- An den bahnbetrieblichen Prozessen des Schienengüterverkehrs hat sich prinzipiell nie etwas geändert.
- Dem eigentlichen Güterumschlag sind viele zeitaufwändige Prozesse, wie Rangieren und Zugbehandlung vor- und nachgelagert.
- Ein Neubau von Bahnanlagen des Schienengüterverkehrs erfolgt selten, da die mit den Prozessen verbundene Infrastruktur teuer ist.

Aus der beschriebenen Problemanalyse ging die Idee einer neuen Zugangsstelle für den Schienengüterverkehr hervor. Die technologische Grundlage soll der kombinierte Verkehr bilden. Niedrige Infrastrukturkosten bei gleichzeitig schneller Abfertigung waren weitere Kernanforderungen. Es galt, die Lücke zu schließen, welche durch die Aufgabe der Ortsgüterfunktion in den meisten Bahnhöfen und Stilllegung zahlreicher Anschlussgleise entstand und auch nicht durch die KV-Terminals in relativ niedriger Anzahl kompensiert werden konnte. Das neue Konzept sollte alle Möglichkeiten des heutigen Standes der Technik sinnvoll ausschöpfen, um ein einst bewährtes Prinzip technologisch in die Neuzeit zu überführen. Diesen Anspruch verdeutlicht auch die gewählte Kurzbezeichnung: Smart Cargo Station (SCS).

2. Erarbeitung des Konzepts der Smart Cargo Station

Eine Vielzahl an Regelwerken gewährleistet in Deutschland den ordnungsgemäßen Bau von Bahnanlagen die sichere und zuverlässige Durchführung des Bahnbetriebs. An erster Stelle ist hier die Eisenbahnbau- und Betriebsordnung (EBO) zu nennen. Die EBO definiert exakte Begriffe, welche die Basis für das Verständnis der zugrundeliegenden Ordnung bilden. Jene dort getroffenen Regeln sind historisch gewachsen und

legen den Umgang mit den für das Rad-Schiene-System charakteristischen Problemfällen fest. Die großen Massen in Bewegung befindlicher Eisenbahnfahrzeuge, in Verbindung mit der Spurführung und niedrigen Reibungswerten, gestatten das Anhalten innerhalb der Sichtweite ab bestimmten Geschwindigkeiten nicht mehr. Daher müssen Betriebsverfahren sowie eine geeignete Sicherungstechnik dafür Sorge tragen, dass es nicht zu Kollisionen kommt. Ausschlaggebend ist dabei der Gedanke, dass immer nur ein Fahrzeug(verband) einen durch Hauptsignale abgegrenzten Gleisabschnitt besetzen darf. Man spricht in diesem Zusammenhang von einem Zug, welcher eine Zugfahrt durchführt. Weiterhin ist für Zugfahrten auch ein definierter lichter Raum neben und über dem Gleis freizuhalten. Gleise, welche Zugfahrten dienen, bezeichnet die EBO als Hauptgleise. Das gilt unabhängig davon, ob sich diese im Bahnhof oder auf der freien Strecke befinden.

Der klassische Schienengüterverkehr weist bestimmte Charakteristika auf, die mit den Festlegungen von „Züge fahren“ nicht vereinbar sind. Um Wagen aufzunehmen oder abzusetzen, ist das fahren in besetzte Gleise unvermeidbar. Dabei kann nur das unmittelbar anwesende Betriebspersonal die Sicherheit gewährleisten und die Eisenbahnfahrzeuge beim Erkennen gefährlicher Situationen sofort stoppen. Für diese Art der Fahrzeugbewegungen wurde der Begriff „Rangierfahrt“ eingeführt. Hierbei gelten Geschwindigkeitsbeschränkungen, um trotz des „Fahrens auf Sicht“ noch rechtzeitig anhalten zu können. Rangierfahrten sind nur in Bahnhöfen gestattet. Ein weiteres Problem bilden die für den Schienengüterverkehr notwendige Umschlagsgeräte (Kran, Bagger, Gabelstapler etc.) und feste bauliche Anlagen wie Rampen, welche dauerhaft oder zeitweise das Lichtraumprofil dazugehöriger Gleise beanspruchen. Deshalb wurde eine zweite Gleiskategorie, die Nebengleise, geschaffen. Nebengleise befinden sich immer in Bahnhöfen und dürfen nur von Rangierfahrten, nicht jedoch von Zugfahrten, genutzt werden.

Ladegleise sind demnach im klassischen Sinne immer Nebengleise. Dieser Umstand hat einen gewichtigen Einfluss auf die Betriebsprozesse und die Gestaltung von Bahnanlagen des Schienengüterverkehrs. Sollen Güter eines ankommenden Zuges umgeschlagen werden, muss dieser zunächst seine Zugfahrt auf dem Hauptgleis eines Bahnhofs beenden. Anschließend folgt das Rangieren in ein Neben- bzw. Ladegleis, ggf. auch Fahrtrichtungswechsel oder Teilung des Wagenzuges, danach beginnt erst der eigentliche Umschlagprozess. Einerseits geht damit ein hoher zeitlicher Aufwand einher, andererseits muss die benötigte Infrastruktur bereitgestellt und instandgehalten werden. In Verbindung mit der Konkurrenz des Straßengüterverkehrs führte dies dazu, dass Transporte auf die Straße verlagert wurden. Der Rückbau von Bahnanlagen des Schienengüterverkehrs und der zugeordneten Gleise hinterließ Brachflächen in vielen Bahnhöfen, Güterumschlag ist dort nicht mehr möglich.

Jedem Gewerbe- oder Industrieunternehmen (wieder) einen eigenen Gleisanschluss zu legen oder öffentliche Ladestellen nach altem Muster neu einzurichten, ist oftmals unrentabel. Auch der Kombinierte Verkehr in seiner heutigen Ausprägung stellt nur bedingt eine Alternative zu Langstreckenverkehren per LKW dar, denn der Umschlag zwischen den Verkehrsträgern in KV-Terminals ist mit Zeitverlust sowie

zusätzlichen Kosten verbunden. Daher liegt der Verkehrsleistungsanteil des KV am Eisenbahngüterverkehr in Deutschland nur bei 25 %, gemessen am Güterverkehr aller Verkehrsträger sogar nur bei 4,9 % der Tonnenkilometer. KV-Terminals sind rar gesät und die Wege dorthin oft weit. Wirtschaftlich sinnvoll werden konventionelle KV-Verkehre daher erst bei einem großen Güteraufkommen und langen Transportrelationen. Beides erreichen Güterkunden der mittelständischen Wirtschaft nur in wenigen Fällen. Selbst die Regionen entlang der europäischen Güterverkehrskorridore sind de facto vom Kombinierten Verkehr abgehängt, weil die Züge abseits der KV-Terminals nicht zum Be- oder Entladen halten. Es mangelt also an einem Konzept, mit dem Güter auf kürzestem Wege, schnell, sicher und unkompliziert zum Zug kommen.

Die Projektidee der Smart Cargo Station besteht aus der Übertragung von Grundprinzipien des öffentlichen Personenverkehrs auf den Gütertransport. Verkehrsstationen in Siedlungsnähe gestatten Reisenden den schnellen Ein-, Aus- und Umstieg von einem Verkehrsmittel in das andere, auch vom eigenen Auto in den Personenzug. Was fehlt, ist ein bauliches Pendant für den Güterverkehr. Dafür soll die Smart Cargo Station entwickelt werden, die eine Erweiterung des KV-Systems darstellt und sich vor Allem für eine dezentrale Lage eignet. Die kostengünstige Gestaltung hat Vorrang vor einer Maximierung der Umschlagsleistung. Dadurch könnten Smart Cargo Stations in großer Anzahl das existierende Eisenbahn- und KV-Netz um einen neuen Baustein ergänzen und zusätzliche Potentiale des Güterverkehrs für die Eisenbahn erschließen. Die genormte Gestaltung mit erweiterbaren Modulen soll sich in bestehende Bahnanlagen integrieren und keinen Eingriff in bestehende Stellwerkstechnik erfordern. Die benötigten Areale stehen in Gestalt von Brachflächen, entstanden durch Rückbau von Bahnhofsgleisen, zur Verfügung. Geeignete Horizontalumschlagstechnik für Behälter, z. B. von der schweizerischen Firma InnovaTrain, können in der Smart Cargo Station den Einsatz teurer Krananlagen vermeiden und funktionieren auch bei elektrischem Bahnbetrieb mittels Oberleitung. Den Kern des Projektes bildet eine neuartige Lösung, bei der zeitraubende Rangier- und Zugbildungsprozesse sowie Vorbereitungsarbeiten, wie die Bremsprobe, komplett entfallen. Stattdessen soll der Güterumschlag während eines kurzen Verkehrshaltes an einem Hauptgleis möglich gemacht werden, selbstverständlich unter dem Nachweis gleichbleibender Sicherheit im Bahnbetrieb. Das zu nutzende Hauptgleis sollte vorzugsweise ein Überholgleis sein, durchgehende Hauptgleise erscheinen aufgrund der benötigten Verfügbarkeit und möglicher Konflikte bei der Fahrplankonstruktion ungeeignet. Eigene Untersuchungen haben ergeben, dass Überholgleise dagegen in Bahnhöfen für längere Zeiträume am Tag ungenutzt sind und demzufolge eine zusätzliche Gleisbelegung für den schnellen Güterumschlag aus Sicht des Gesamtbetriebes gestatten. Auch die durch die untersuchten Bahnhöfe führenden Strecken wiesen in den beobachteten Zeiträumen deutliche Kapazitätsreserven (ungenutzte Fahrplantrassen) auf. Auf in Ausnahmefällen tatsächlich realisierte Zugfolgezeiten von vier bis fünf Minuten folgten Phasen von durchschnittlich ca. 20 Minuten bis 40 Minuten ohne Zugfahrten. Offizielle Zahlen der DB Netz AG waren auf mehrfache Anfragen, auch in Form von Ortserminen, mit dem Verweis auf das Geschäftsgeheimnis nicht erhältlich.

Die Smart Cargo Station bildet eine Bahnanlage mit neuer Infrastruktur für den Güterumschlag an Hauptgleisen, unter Einbeziehung bereits vorhandener und neu zu entwickelnder Bestandteile. Die Vorgaben der bestehenden Regelwerke mit dem hohen, allgemeinen Sicherheitsanspruch der Eisenbahnen in Deutschland sind vollumfänglich zu beachten. Die Philosophie der SCS besteht darin, mit möglichst geringem Aufwand einen möglichst hohen Nutzen zu erzielen, was sich in dem Grundgedanken der Verwendung bereits vorhandener Hauptgleise, brachliegendem Bahngelände und Nichteingriff in die Stellwerkstechnik zeigt. Mit Hilfe dieses Sparsamkeitsprinzips soll das Konzept auch aus wirtschaftlicher Sicht gute Realisierungschancen aufweisen. Die Anknüpfung an das KV-System dient dem gleichen Zweck. Smart Cargo Stations sollen vorhandene KV-Terminals keinesfalls ersetzen oder in Konkurrenz treten, vielmehr bilden sie eine sinnvolle Ergänzung für das bestehende Netz des Kombinierten Verkehrs, machen dieses engmaschiger und gewährleisten einen niederschweligen Zugang für einen erweiterten Nutzerkreis abseits bestehender KV-Terminals.

Bahnbetrieblich versucht das SCS-Konzept eine Alternative zu gängigen Lösungsansätzen einer Verbesserung des SGV zu bieten. Seit langer Zeit wird über eine automatische Mittelpufferkupplung als vielversprechende Investition in den Schienengüterverkehr diskutiert. Länder wie Russland oder die USA nutzen diese aus Arbeitsschutzgründen seit Anfang des 20. Jahrhunderts. Der Grund für das häufige Kuppeln und Entkuppeln liegt aber im damals vorherrschenden Prinzip des Einzelwagenverkehrs. Die kleinste Einheit ist eine Wagenladung, der Wagen selbst bildet den Behälter. Bei vielen unterschiedlichen Versendern und Empfängern einzelner Wagenladungen müssen Züge häufig neu- und umgebildet werden, um Wagen für längere Abschnitte des Laufwegs zu bündeln und dann wieder zu vereinzeln. Der kombinierte Verkehr bietet die Möglichkeit einer anderen Lösung durch Trennung von Eisenbahnfahrzeug (Tragwagen) und Behälter. Jedoch wurde das KV-System bisher nicht flächendeckend eingeführt, stattdessen existiert es heute parallel zum Einzelwagensystem, welches jedoch beständig schrumpft. Dazu kommen noch Ganzzüge mit fest definiertem Start und Ziel der gesamten Zugladung, was jedoch keine Flexibilität oder Feinverteilung der Güter zulässt. Die Smart Cargo Station soll den kombinierten Verkehr stärken, damit dessen Vorteile besser genutzt werden können. Dazu gehört auch das Umsetzen einzelner Behälter mit unterschiedlichen Laufwegen von einem Zug auf einen anderen („Umsteigen“). Da der Behälterumschlag („Ein- und Aussteigen“) in der SCS auf einem Hauptgleis durchgeführt wird, fällt die Hauptursache des Rangierens weg. Stattdessen verkehren weitestgehend feste Wagenzugarnituren, deren Verband in der Regel nicht getrennt werden muss, ähnlich wie heute im Personenverkehr üblich. Damit entfällt auch der Bedarf einer Mittelpufferkupplung, deren Realisierung mit hohem finanziellen und organisatorischem Aufwand verbunden wäre und durch fehlende Standards zwischen den vielen kleinen EVU weiter erschwert wird. Bereits vor der Liberalisierung des europäischen Bahnmarktes (Bahnreform) ist dies den relativ wenigen Staatsbahnen seit den 1960er Jahren nicht gelungen. Das Konzept der Smart Cargo Station setzt daher bewusst auf die Vermeidung von Rangier- und Kuppelvorgängen, statt diese technisch zu vereinfachen.

Systemvorteile der Smart Cargo Station gegenüber bisherigem Güterumschlag:

- keine zusätzlichen Gleise oder Weichen erforderlich
- kein Eingriff in bestehende Stellwerkstechnik erforderlich
- Nutzung vorhandener und planrechtlich für Eisenbahnbetriebszwecke gewidmeter Brachflächen aus Gleisrückbau in Bahnhöfen
- Genormte, modularere Gestaltung, dadurch Anpassung an örtliche Gegebenheiten trotz rationaler Vereinheitlichung
- keine Rangiervorgänge und kein Rangierpersonal erforderlich
- kein Fahrtrichtungswechsel des Wagenzuges erforderlich
- keine Zugbildungsprozesse erforderlich
- keine Beschädigung der Ladung durch Rangierstöße
- keine teuren Krananlagen erforderlich, da Nutzung innovativer Horizontalumschlagtechnik für Behälter im Kombinierten Verkehr
- Behälterumschlag mit innovativer Horizontalumschlagstechnik unter elektrischer Oberleitung möglich
- Erschließung ländlicher, dezentraler Regionen für den Schienengüterverkehr durch Schaffung neuer Zugangsstellen
- kurze Halte- und Umschlagszeiten, dadurch Linienverkehre mit Güterzügen im Kombinierten Verkehr möglich

3. Gefahren- und Risikoanalyse für Güterumschlag an Hauptgleisen

Um gleichbleibende Sicherheit bei einer neuen Bahnanlage für Güterumschlag an Hauptgleisen zu garantieren, wurde eine Gefahren- und Risikoanalyse nach DIN EN 50126 (Bahnanwendungen - Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit) durchgeführt. Die damit verbundene Methodik identifiziert Fehlerquellen der Komponenten eines Systems und das daraus resultierende Schadensausmaß. Anschließend erfolgt eine Bewertung nach Gefahrenstufe sowie der Eintrittshäufigkeit des Ereignisses, woraus sich mit Hilfe einer Risikomatrix die Risikokategorie (zwischen untragbar und vernachlässigbar) ableiten lässt. Bei intolerablen Risiken werden mögliche Schutzmaßnahmen bzw. Risikoreduktionsfaktoren aus ingenieurtechnischer Sicht ermittelt und die Bewertung erneut vorgenommen. Auf diese Art erfolgt eine sicherheitsbezogene Systemoptimierung, was sich durch die Veränderung oder Hinzufügung von Systemkomponenten äußert. Im Ergebnis der Gefahren- und Risikoanalyse wird dem System in allen Bestandteilen eine mindestens akzeptable Risikokategorie bescheinigt.

Die Methodik der Gefahren- und Risikoanalyse bestimmt die Vorgehensweise auf dem Weg zu einem sicheren System. Für die Inhalte und daraus resultierende

Schlussfolgerungen ist detailliertes Fachwissen über den Bearbeitungsgegenstand notwendig. Daher ist es ratsam, möglichst viele Quellen zu erschließen und mehrere Experten einzubeziehen, um sich nicht auf das Urteil einer Einzelperson verlassen zu müssen. Aus diesen Gründen wurde im Rahmen des Projekts, nach erfolgter Abstimmung mit der Karl-Vossloh-Stiftung, ein geeigneter Projektpartner hinzugezogen. Dabei handelt es sich um das CERSS Kompetenzzentrum Bahnsicherungstechnik aus Dresden. Es wurde vertraglich festgelegt, dass CERSS Hilfestellung in der Anwendung der Gefahren- und Risikoanalyse nach o. g. Norm leistet und berufliche Erfahrungen für die Einschätzung von identifizierten Gefährdungen zur Verfügung stellt. Die eigentliche wissenschaftliche Leistung, in Form der Entwicklung von Schutzmaßnahmen bzw. Risikoreduktionsfaktoren wurde vollumfänglich von Seiten des BTU-Lehrstuhls Eisenbahnwesen erbracht. Eine abschließende Bestätigung des im Endergebnis der Gefahren- und Risikoanalyse als sicher eingestuften Systemkonzeptes der Smart Cargo Station erging durch CERSS.

Für die Gefahren- und Risikoanalyse wurde ein Ausgangssystem zugrunde gelegt, bestehend aus einem Bahnhofshauptgleis (Überholgleis) mit unmittelbar daneben angeordneter, befestigter Straßenverkehrsfläche für den Horizontalumschlag. Auf der anderen Seite wird im üblichen Abstand ein Nachbargleis (ebenfalls Hauptgleis) oder ein Personenbahnsteig angenommen. Das Hauptgleis kann von allen Arten von Zügen befahren werden (Mischbetrieb). Dazu zählen Güterzüge, die zum Zweck des Güterumschlags oder aus anderen betrieblichen Gründen halten, durchfahrende Güterzüge, Personenzüge mit Verkehrshalt (gegenüberliegender Bahnsteig) oder Betriebshalt und durchfahrende Personenzüge. Auch Hinsichtlich der Geschwindigkeiten wurde keine Einschränkung vorgenommen, da die neue Anlage den Betriebsfluss nicht behindern soll. Speziell nachgerüstete Straßenfahrzeuge, sog. „Mover-LKW“ führen den Horizontalumschlag der Behälter durch. Ein oder mehrere Mover-LKW sind vorgesehen, die zu diesem Zweck an das Gleis heranfahren müssen. Des Weiteren ist externen LKW, die Behälter Anliefern oder Abholen, die Einfahrt in die Anlage zu gewähren. Auf Grundlage dieser Anordnung des Ausgangssystems wurden gefährliche Ereignisse identifiziert.

Hauptgefahrenquelle ist die Möglichkeit der Kollision eines Zuges mit einem Mover-LKW oder einem externen LKW. Um den Horizontalumschlag zu ermöglichen, muss die Straßenverkehrsfläche bis unmittelbar an das Hauptgleis heranreichen. Der Mover-LKW platziert sich für den Umschlagvorgang in geringem Abstand zu den Tragwagen, welche schmaler als andere Eisenbahnwagen sind. Daher kommt es zu einer Überschneidung von Bauraum des LKW und Fahrzeugumgrenzungsprofil der Eisenbahn. Für den eigentlichen Horizontalumschlagprozess ist das unproblematisch, denn von einem stehenden Zug geht keine Gefahr aus. Ist das Gleis jedoch augenscheinlich frei, könnte ein LKW durch Fahrmanöver (Schrägstellung, Fahrzeugüberhänge) mit Fahrzeugteilen in das Lichtraum- und Fahrzeugumgrenzungsprofil des Hauptgleises ragen. Aus Sicherheitsgründen fordert die EBO an Hauptgleisen einen freizuhaltenden Bereich von 2,50 m, gemessen ab Gleismitte. Hier liegt also ein Ver-

stoß gegen die EBO sowie eine Gefährdung des Bahnbetriebs vor. Gemäß dem Grundsatz, dass wo ein Körper ist, kein zweiter sein kann, besteht die Gefahr einer Kollision. Bei den üblichen Geschwindigkeiten und bewegten Massen ist mit einem hohen Eintritt kinetischer Energie zu rechnen. Als schlimmstes anzunehmendes Ereignis wird eine Entgleisung in Folge Zusammenstoß mit einem normalen LKW oder einem Mover-LKW angenommen, was darüber hinaus auch zu einer Gefährdung auf dem Nachbargleis führt. Daraus ergibt sich ein entsprechendes Schadensausmaß mit hohem Sachschaden bis hin zu einzelnen Toten. Es ist davon auszugehen, dass ein solches Ereignis mit wahrscheinlicher Häufigkeit eintritt. Als Referenzsystem können hier Bahnübergänge (BÜ) ohne technische Sicherung herangezogen werden, die bei Hauptgleisen von Hauptbahnen unzulässig sind. Kollisionen an Bahnübergängen ereignen sich leider immer wieder und zählen zu den häufigsten Unfällen im Bahnbetrieb. Obwohl die Straßenverkehrsordnung den Vorrang der Eisenbahn eindeutig regelt, kommt es fortlaufend zu Fehlverhalten von Straßenverkehrsteilnehmern. Als Schutzmaßnahme ist daher das Gelände der SCS vom öffentlichen Straßenraum abzugrenzen und entsprechend zu kennzeichnen, ähnlich einem Werksgelände. Die Zufahrt wird nur Straßenfahrzeugen mit entsprechender Berechtigung gestattet. Dazu zählen externe LKW für die Anlieferung und Abholung von Behältern sowie die SCS-eigenen Mover-LKW. Das schwächt das Gefahrenpotential gegenüber einem BÜ ohne technische Sicherung bereits ab. Dennoch können auch die Fahrer der zufahrtsberechtigten Straßenfahrzeuge Fehler begehen, die zu den oben beschriebenen gefährlichen Ereignissen führen. Daher erscheint die Schaffung eines baulich abgetrennten Sicherheitsbereichs für den Horizontalumschlagprozess, genannt „Safety Zone“, als geeignetste Lösung. Die Zufahrt wird über Schranken reglementiert und nur bei einem stehenden Zug mit Umschlagauftrag gestattet (vergleichbar mit der Türfreigabe bei Personenzügen). Schranken sind ein international anerkanntes und selbsterklärendes Mittel zur Absperrung bestimmter Bereiche. Darüber hinaus erfolgt die Anordnung eines nicht überfahrbaren Gleisbords als bauliche Abgrenzung zwischen Safety Zone und Gleisbereich, womit ein direktes Befahren des Gleises ausgeschlossen wird. Bei Einhaltung dieses Prinzips ist die Häufigkeit eines Kollisionsereignisses unvorstellbar klein, was ein vernachlässigbares Risiko zur Folge hat.

Der zweite, sicherheitsrelevante Komplex ist das Thema der Ladungssicherung. Das klassische Verfahren einer zeitaufwändigen Kontrolle durch einen Wagenmeister oder –prüfer kommt aus Zeitgründen nicht in Frage. Ein Verkehrshalt mit Güterumschlag am Hauptgleis, auch wenn er auf einem Überholgleis stattfindet, muss zeitlich so kurz wie möglich ausfallen. Gleiskapazität des Bahnhofs und Transportgeschwindigkeit des Zuges können nur in bestimmten Grenzen ausgeschöpft werden. Trotzdem gilt natürlich uneingeschränkt der Grundsatz gleichbleibender Sicherheit im Bahnbetrieb. Ladungssicherung im Fall der Smart Cargo Station betrifft ausschließlich den Bereich des Kombinierten Verkehrs, da die umzuschlagenden Ladeeinheiten genormte Behälter sind. Probleme mit der Ladungssicherung lassen sich daher stark eingrenzen: Gefahrenquellen können die Nichteinhaltung der Behälterhöchstmaße und –gewichte sowie die fehlerhafte Positionierung auf dem Tragwagen sein. Über das

Fahrzeugumgrenzungsprofil hinausragende oder herunterfallende Behälter können ein Schadensausmaß bis hin zu vielen Toten hervorrufen, was zu einer katastrophalen Gefahrenstufe führt. Verbunden mit einer wahrscheinlichen Häufigkeit fällt diese Art der Gefährdung in die intolerable Risikokategorie. Die Überprüfung der Behälter muss jedoch nicht erst auf dem Zug während eines sehr kleinen Zeitfensters erfolgen, sondern kann bereits vor oder während dem eigentlichen Umschlagprozess durchgeführt werden. Das bietet sogar bessere und genauere Prüfmöglichkeiten, da der Mover-LKW über eine integrierte Wiegeeinrichtung verfügt. Die Massen der Behälter werden somit beim Aufnehmen von den Behälterabsetzplätzen ermittelt, digital verarbeitet und zur Berechnung des veränderten Zuggewichts (Wagenliste und Bremszettel) herangezogen. Das sonst übliche Messen der Behälterhöhe auf dem Zug wird stattdessen während der kurzen Zwischenlagerung auf den Behälterabsetzplätzen durchgeführt, die Bauhöhe der Tragwagen vorab mit den Zugdaten geliefert. Nun muss lediglich der einwandfreie Sitz der Behältereckbeschläge in den Sicherungszapfen unmittelbar nach jedem einzelnen Horizontalumschlagvorgang festgestellt werden. Diese verantwortungsvollen Tätigkeiten übernimmt derselbe Mitarbeiter, welcher auch den Mover-LKW fährt. Eine entsprechende Qualifikation wird vorausgesetzt. Da er für die gesamte Anlage der Smart Cargo Station eine Betriebsleiterfunktion erfüllt, die mehrere Aufgabengebiete umfasst, wird er als „Cargo Station Master“ bezeichnet. Die Häufigkeit gefährlicher Ereignisse bei der Ladungssicherung kann mittels der beschriebenen Lösung als unwahrscheinlich eingestuft werden, wobei menschliches Fehlverhalten bei diesem, sowie auch dem heute angewendeten Verfahren nicht komplett auszuschließen ist. Die neue Risikokategorie ist tolerabel.

Als dritter Problemfall wurde ein vorzeitiges Abfahren des Zuges bei einem noch laufenden Umschlagvorgang identifiziert. Das Fehlverhalten liegt dabei in der Person des Triebfahrzeugführers. Der Mover-LKW kann vom anfahrenden Zug in Folge der ausgefahrenen Moverbalken mitgezogen werden. Ein Aushebeln des Tragwagens bis zur Entgleisung wäre die Folge. Nicht vollständig umgeschlagene Behälter können sich in einer solchen Situation verkeilen oder vom Zug fallen. Daher würde auch bei diesem Gefährdungsszenario das Nachbargleis und ein darauf fahrender Zug in Mitleidenschaft gezogen werden. Ein Schadensausmaß mit vielen Toten wäre zu befürchten, daher die Einordnung in die katastrophale Gefahrenstufe. Als Schutzmaßnahme wird eine technische Abhängigkeit zwischen Zugabfahrt und vollständig abgeschlossenem Umschlagvorgang vorgeschlagen. Personenzüge mit den Türsteuerungssystemen TAV (Technisches Abfertungsverfahren) oder SAT (Selbstabfertigung durch Triebfahrzeugführer) besitzen eine ähnliche Einrichtung (Traktionsperre), die das Anfahren bei offenen Türen verhindert. Bei der für die SCS vorgeschlagenen Lösung bewirkt ein Gerät am Zug (Cargo Train Device) eine Wegfahrsperrung, solange der Umschlagprozess läuft und die (technisch unterstützte) Abfahrbereitschaft nicht gemeldet wurde. Abweichend von der Traktionsperre im Personenverkehr wird der Eingriff für die Wegfahrsperrung über die Zugbremse realisiert, welche während des gesamten Umschlagprozesses angelegt bleiben muss. Somit ergibt sich ein vernachlässigbares Risiko.

Die Gefahren- und Risikoanalyse umfasste noch weitere Prüfungen von Teilfunktionen, die sich aus den Schutzmaßnahmen zu den drei genannten Hauptgefahrenquellen ableiten. Der vollständige Überblick ist in einer Gefährdungstabelle zusammengefasst. Im folgenden Kapitel werden diese Ergebnisse als Bestandteil von Technik und Betriebsabläufen in der SCS detaillierter verdeutlicht.

4. Sicherungstechnik, Betrieb und Layout der Smart Cargo Station

Anhand einer chronologischen Prozessbeschreibung sollen nun die sicherungstechnischen Lösungen, der Betriebsablauf und das bauliche Layout der Smart Cargo Station vorgestellt werden. Die bahnbetrieblichen Prozesse orientieren sich an den Festlegungen der Fahrdienstvorschrift 408 (Züge Fahren und Rangieren) der DB Netz AG, welche für die bundeseigene Eisenbahninfrastruktur Gültigkeit besitzt sowie ergänzende Ausführungen wie VDV-Schriften oder Fachliteratur.

Die Flächen in der Smart Cargo Station sind mit einer Asphaltdecke befestigt und funktional in Zonen aufgeteilt. Den sicherungstechnisch sensibelsten Bereich bildet die Safety Zone. In der Grundstellung ist diese frei von Straßenfahrzeugen und mittels geschlossener Schranken und Schutzplanken von den anderen Flächen abgegrenzt. Zugfahrten auf dem zugeordneten Hauptgleis können ungehindert passieren und sind vor gefährlichen Ereignissen (z. B. Kollisionen mit Straßenfahrzeugen) geschützt. Die Safety Zone bildet außerdem die Umschlagfläche mit erhöhter, punktueller Fahrbahnbelastung durch die ausfahrbaren Stützbeine der Mover-LKW. Daher wird der Einbau von besonders tragfähigem Asphaltgemisch (z. B. Asphaltbeton) empfohlen. Weiterhin existiert die Traffic Zone, welche als Fahrstraße für Mover-LKW und externe LKW dient. An den Enden befinden sich Wendeschleifen (mit Kurzzeitstellplätzen für LKW-Anhänger im Innern) und die Zufahrten zum öffentlichen Straßennetz. Storage Zonen mit Absetzplätzen sind für zeitlich begrenzte Zwischenlagerung von Behältern vorgesehen. Die beiden letzteren Zonen sind auch bei laufendem Zugverkehr für Straßenfahrzeuge mit Berechtigung zugänglich. Dort werden Behälter für den Weitertransport per Bahn angeliefert oder für die Feinverteilung im Einzugsgebiet der SCS abgeholt. Diese Aufgaben können durch externe LKW, aber bei längeren Pausen zwischen den Umschlaghalten auch von den Mover-LKW übernommen werden. Ein Büro- und Sozialraum für die SCS-Mitarbeiter wird in Containerbauweise beim Zufahrtsbereich der Smart Cargo Station angeordnet. Ein angeschlossener Technikraum beinhaltet den SCS-Steuerungsrechner und Medienanschlüsse. Daneben befinden sich Parkplätze für die Mover-LKW in Zeiträumen der Nichtbenutzung. Dies bildet die Administration Zone.

Übersicht SCS-Zonen:

- Safety Zone
- Traffic Zone
- Storage Zone
- Administration Zone

In der Grundausstattung ist einer Smart Cargo Station mindestens ein Mover-LKW und der Cargo Station Master als Mitarbeiter zugeordnet. Um die Umschlagleistung zu steigern (mehr Umschlagvorgänge pro Umschlagshalt oder kürzere Haltezeit der SCS-Züge) können weitere Mover-LKW eingesetzt werden. Dabei gilt dann ein hierarchisches Prinzip: Der Cargo Station Master fährt und bedient den Master-Mover. Er ist den Fahrern der Slave-Mover gegenüber weisungsbefugt. Diese handeln aufgrund seiner Vorgaben im Rahmen ihrer Berechtigungen (ähnlich des Prinzips Zugführer und Zugschaffner). Die fortschreitende Automatisierung der Mover-LKW wird die Dauer eines Umschlagvorgangs künftig noch stärker verkürzen. An entsprechenden Weiterentwicklungen wird seitens des Herstellers gearbeitet und einige seit Markteinführung des Systems bereits umgesetzt. So erfolgt die Höhenanpassung des Mover-LKW zum Bahnwagen mittlerweile selbstständig. Denkbar ist, dass die Mover-LKW im Bereich der Smart Cargo Station (kein öffentlicher Straßenraum) in naher Zukunft vollautomatisch fahrerlos operieren. Dabei wird im Bereich der SCS das Master-Slave-Prinzip beibehalten und in die Steuerungslogik überführt.

Die Smart Cargo Station ist konzeptionell in ein übergreifendes System des Kombinierten Verkehrs eingebettet, genannt „Smart Cargo Logistics“. Mittels einer gemeinsamen Cargo-Datenplattform werden die Angaben über SCS-Züge und Behälter von den Akteuren bereitgestellt und abgerufen. Diese notwendigen Informationen eilen der Ladung voraus und sind in der Smart Cargo Station von entscheidender Wichtigkeit für die korrekte und schnelle Durchführung der Umschlagprozesse. Der Cargo Station Master informiert sich zu Beginn seiner Dienstschrift über die anstehenden Abläufe. Der Fahrplan der SCS-Züge ist dabei Grundlage für die Umschlagshalte.

Nährt sich ein SCS-Zug zwecks Umschlagshalt der Smart Cargo Station, ist die straßenseitige Annahme von Behältern zu beenden und Vorbereitungen für den Umschlagprozess einzuleiten. Die Daten der anstehenden Arbeitsaufträge (Umschlagvorgänge) werden auf die Bordrechner der Mover-LKW geladen. Um die Fahrstrecken und -zeiten zwischen Aufnehmen und Absetzen der Behälter so kurz wie möglich zu halten, wird jedem Mover-LKW ein zusammenhängender Sektor (Teilabschnitt von Safety Zone und Storage Zone) zugeteilt. Schon bei der Zwischenlagerung der Behälter ist zu berücksichtigen, dass diese auf den Absetzplätzen der Storage Zonen nahe zu der erwarteten Umschlagposition am Zug gestellt werden (ähnlich den Sektoren auf Personenbahnsteigen). Derartige Optimierungsprozesse sind mittels

durchgehender Datenhaltung, -übertragung und -auswertung automatisch vorzunehmen. Die Mover-LKW fahren nun in die ihnen zugewiesenen Sektoren und positionieren sich vor den noch geschlossenen Schranken zur Safety Zone.

Der SCS-Zug ist mit einem neuartigen Zuggerät, dem Cargo Train Device (CTD), ausgerüstet. Der Cargo Train Device ist an der vorderen Pufferbohle des ersten Wagens hinter der Lok befestigt. Neben dem Anschluss an die Informations- und Steuerleitung (UIC-Kabel), die auch der Stromversorgung des CTD dient, ist das Gerät auch über den freien rechten Luftschlauch der Lokomotive mit der Hauptluftleitung (HLL) der Druckluftbremse verbunden. Des Weiteren ist ein Funksystem eingebaut, welches dem drahtlosen Austausch von Steuerungsbefehlen von und zur Smart Cargo Station dient und gleichzeitig eine Ortung mit hoher Genauigkeit ermöglicht (Local Positioning System). Der SCS-Zug fährt nun in den Bahnhof ein, bis zum regulären Halteplatz des SCS-Hauptgleises (durch eine H-Tafel gekennzeichnet). Zeitgleich baut der CTD selbstständig die Drahtlosverbindung zur SCS auf, der SCS-Steuerungsrechner identifiziert den SCS-Zug und prüft dessen Daten mit jenen der Cargo-Datenplattform ab. Nachdem der SCS-Zug zum Stillstand gekommen ist, darf der Triebfahrzeugführer (Tf) jedoch die Zugbremse nicht auslösen, sondern belässt den Hauptluftleitungsdruck bei höchstens 4 bar, womit die Bremsen aller Wagen und der Lok angelegt bleiben. Anschließend betätigt er den zuvor auf „neutral“ stehenden Türtaster auf dem Bedienpult der Lokomotive in Stellung „To“ (Türen offen). Nahezu alle heutigen Lokomotiven (auch Güterzuglokomotiven) verfügen über einen derartigen Türtaster für das Türsteuerungssystem „TB0“ (Türblockierung ab 0 km/h). Dadurch wird über die Kontakte 9 (+) und 12 (-) der Anschlussdose für die Informations- und Steuerleitung (UIC-Kabel) das anliegende 24-V-Dauersignal unterbrochen. Diese Anschlussdose befindet sich an der Stirnseite der Lokomotive und ist normalerweise mit den Wagen eines gekuppelten Personenzuges per 18-poligem Kabel verbunden. Bei der Lösung für die Smart Cargo Station ist hier die Kabelverbindung zum CTD angeschlossen. Der Türöffnungsbefehl des Triebfahrzeugführers wird vom CTD registriert und stößt eine Prozesskette an: Zuerst prüft das Gerät, dass sich der SCS-Zug tatsächlich in der Smart Cargo Station auf dem SCS-Hauptgleis befindet (und nicht beispielsweise auf dem Nachbargleis). Die Genauigkeit des LPS ermöglicht, im Gegensatz zu GPS, eine gleis-scharfe Ortung. Anschließend wird sichergestellt, dass der Zug sich nicht mehr bewegt, ebenfalls mit Hilfe des LPS. Dann wird der Druck der HLL über einen Drucksensor gemessen. Liegt dieser unter 4 bar (Bremsen des Zuges angelegt) sind alle Voraussetzungen für den sicheren Beginn des Horizontalumschlagprozesses gegeben. Der CTD sendet über sein Funksystem die Befehlsabgabe zur Schrankenfreigabe an die SCS. Damit wird über den CTD der HLL-Druck am Zug permanent auf < 4 bar überwacht. Im CTD ist ein Magnetventil verbaut. Versucht der Tf die Bremse zu lösen, registriert der Drucksensor den Druckanstieg und öffnet das Magnetventil, womit die Druckluft aus der HLL ins Freie entweicht, bis der Druck wieder auf < 4 bar abgesunken ist. Aus dieser Überwachung kann sich der Tf nicht selbst befreien, da die Befehlsabgabe zur Schrankenfreigabe nach dem Prinzip des Erlaubniswechsels arbeitet. Die

Erlaubnis kann nur abgegeben (nicht geholt) werden und befindet sich wechselseitig entweder beim Zug oder bei der SCS (nicht bei beiden gleichzeitig).

Nachdem die Schrankenfreigabe (ähnlich der Türfreigabe eines Personenzuges) erfolgt ist, wird dies auf den Borddisplays der Mover-LKW angezeigt. Die Schranken sind dabei noch geschlossen, können nun aber vom Fahrer eines Mover-LKW funkbasiert geöffnet werden. Da es sich bei der Smart Cargo Station nicht um öffentlichen Verkehrsraum handelt, können abweichend von Bahnübergängen, Parkplatzschranken üblicher Bauart (je eine Doppelschranke pro Zufahrt zur Safety Zone) zum Einsatz kommen. Die Schranken schließen nach der Durchfahrt eines Mover-LKW selbstständig hinter diesem, damit externe LKW die Safety Zone nicht versehentlich befahren. Unter den Schranken befinden sich Induktionsschleifen, die das vorzeitige Schließen, und damit Beschädigungen an den Mover-LKW, verhindern. Fahrbahnmarkierungen, Piktogramme und Hinweisschilder regeln ebenfalls die Bewegungen von Straßenfahrzeugen in der Smart Cargo Station. Das Einfahrverbot für externe LKW zur Safety Zone wird zusätzlich mit durchgezogenen Begrenzungslinien auf dem Asphalt kenntlich gemacht. Mittels des Local Positioning System (LPS) navigieren die Mover zielgerichtet zu den Positionen der Behälter auf dem Zug. Für dieses System wird die Technologie UWB-Radar vorgeschlagen. Die Mover-LKW (Master und Slave) sowie der Cargo Train Device (auf dem Zug) beinhalten mobile UWB-Knoten. Die SCS ist mit festen Knoten und einem Koordinator ausgestattet. Die Ortungsgenauigkeit liegt im Bereich von 2 cm. Damit eignet sich das System sowohl für organisatorische, als auch für sicherheitsrelevante Funktionen im Anwendungsfall Smart Cargo Station. Ein Ausfall des LPS (UWB-Radar) führt jedoch systembedingt immer zum Verharren in einem sicheren Zustand. Der Horizontalumschlag funktioniert nur auf der in Fahrtrichtung rechten Seite des Mover-LKW. Daher ist die Safety Zone auch nur in eine Richtung befahrbar (Prinzip einer Einbahnstraße). Bei der Zufahrt von der Traffic Zone durch die Safety-Zone-Schranken muss stets nach links abgebogen werden. Die Fahrstrecke des Mover zwischen Zug (Safety Zone) und Absetzplätzen (Storage Zone) über die Traffic Zone folgt dafür einer ringförmigen Bewegung gegen den Uhrzeigersinn. Da jeder der Mover-LKW einen zugewiesenen Sektor am Zug bedient, müssen sich die Mover-LKW selten oder nicht gegenseitig überholen. Die Absetzplätze sollten mit am Boden installierten Stützbeinen (z. B. System InnovaTrain ContainerStation) ausgestattet sein. Dadurch entfällt bei Wechselbrücken das Ausklappen der eigenen Stützbeine, was den Umschlagprozess beschleunigt und für ISO-Container ohne eigene Stützbeine das Abstellen möglich macht. Für abgearbeitete Umschlagvorgänge werden die jeweiligen Arbeitsaufträge auf dem Borddisplay der Mover-LKW abgehakt und anschließend der nächste Arbeitsauftrag aufgerufen. Das dient einerseits als Assistenz für die Mover-Fahrer und stellt andererseits sicher, dass auch tatsächlich die Behälter wie geplant auf den Zug wechseln („einsteigen“) oder diesen verlassen („aussteigen“). Die Mover speichern diese Daten und laden sie auf die Cargo-Datenplattform von Smart Cargo Logistics hoch. Hat einer der Mover-LKW seine Arbeitsaufträge (Umschlagvorgänge) vollständig abgearbeitet, ist die Safety Zone umgehend zu ver-

lassen. Der Master-Mover hat über das Borddisplay die Übersicht des aktuellen Arbeitsfortschritts der einzelnen Slave-Mover. Haben alle Slave-Mover und er selbst die Umschlagvorgänge wie geplant beendet, folgt der letzte Schritt des Gesamtumschlagprozesses, die elektronische Generierung von Wagenliste und Bremszettel. Die dafür erforderlichen Angaben (Wagenreihung und Gewicht der Ladung vor/ nach dem Umschlagprozess) stehen über die Cargo-Datenplattform und die von den Mover-LKW gesammelten Informationen (Verwiegung der Behälter beim Anheben und Erfassung der tatsächlich ausgeführten Umschlagvorgänge) Wagen für Wagen zur Verfügung. Da gegenwärtig noch keine elektronische Schnittstelle für die Übertragung von Wagenliste und Bremszettel auf das Triebfahrzeug besteht, müssen diese auf dem Master-Mover mittels eines mobilen Druckers ausgedruckt werden. Der Cargo Station Master fährt dann mit dem Master-Mover zur Lokomotive an der Zugspitze und übergibt dem Triebfahrzeugführer diese beiden betrieblichen Dokumente. Dieser gibt darauf sofort die neuen Zugdaten in das EBULA- und PZB-Gerät der Lokomotive ein. Parallel verlässt der Master-Mover die Safety Zone. Bei planmäßigem Verlauf sind nun alle Behälter umgeschlagen, die Safety Zone frei von Fahrzeugen und die Safety-Zone-Schranken geschlossen (aber noch nicht verriegelt). Der Prozessschritt Umschlagvorgang (vergleichbar mit dem Fahrgastwechsel im Personenverkehr) ist damit abgeschlossen, der Umschlaghalt des SCS-Zuges jedoch noch nicht.

Das Ausfahrtsignal für den SCS-Zug wird unabhängig vom Betriebszustand der SCS durch Zustimmung des Fahrdienstleiters (Fdl) auf Fahrt gestellt. Das geschieht über die vorhandene Sicherungstechnik vom Stellwerk oder der Betriebszentrale aus. Stellwerk und Fahrdienstleiter sind in die Prozesse des Umschlaghaltes bewusst nicht über Abhängigkeiten einbezogen. Das vermeidet aufwändige und teure Umbauten an Stellwerken. Die nachträgliche Integration sicherungstechnischer Komponenten ist gerade bei aktuellen elektronischen Stellwerken (EStw) mit hohen Kosten verbunden, da sowohl Hard- als auch Software anzupassen sind und anschließend die veränderte Anlage von der Aufsichtsbehörde abgenommen werden muss. Die Smart Cargo Station bedient sich für den Güterumschlag auf einem Hauptgleis daher mit dem Cargo Train Device einer zugbasierten Lösung, angelehnt an moderne Zugabfertigungsverfahren des Personenverkehrs. Für den Umschlaghalt des SCS-Zuges ist eine bestimmte Haltezeit im Fahrplan vorgesehen, die sich aus der Umschlagsleistung der jeweiligen SCS und der Anzahl beim Halt umzuschlagender Behälter richtet. Es wird ein gewisser, zeitlicher Puffer empfohlen. Sobald der Blockabschnitt vor dem haltenden SCS-Zug frei und das Zeitfenster im Fahrplan gekommen ist, kann der Fahrdienstleiter das Ausfahrtsignal auf Fahrt stellen. Für den Tf des SCS-Zuges bedeutet das jedoch nicht, dass er unvermittelt abfahren kann, denn die Wegfahrsperre am Zug ist noch wirksam. Hier kommt das neue Verfahren der technisch unterstützten Abfahrbereitschaft zur Anwendung. Zunächst muss die Safety Zone auf Freisein von Mover-LKW geprüft werden. Das geschieht wiederum über das Local Positioning System, durch Ortung aller Mover-LKW, deren Standorte sich außerhalb der Safety Zone befinden müssen. Nach Prüfung dieser Voraussetzung verriegelt der CSM vom Master-Mover aus die Schranken. Die Erlaubnis Schrankenfreigabe wird damit von der SCS

an den Zug (via Cargo Train Device) zurückgeben. Damit ist der CSM nicht mehr in der Lage, die Schranken zu öffnen. Am Zug löst sich die Wegfahrsperrung, indem die Überwachung des HLL-Drucks aufgehoben wird. Der CSM übermittelt dem Tf daraufhin fernmündlich die Feststellung der Abfahrtsbereitschaft des Zuges. Liegt auch die Zustimmung des Fahrdienstleiters zur Abfahrt vor, kann sich der Tf in gleichzeitiger Funktion des Zf (wie heute allgemein üblich) selbst den Abfahrtsauftrag (Zp 9) erteilen und den Zug in Bewegung setzen. Die Smart Cargo Station befindet sich wieder in der Grundstellung

Cargo Station Master (CSM) - bahnbetriebliche Qualifikation und Aufgaben:

- Lademeister (Fahren und Bedienen des Mover-LKW, Durchführung des Horizontalumschlags)
- Wagenmeister G/KV (Stufe 4 ohne Bremsprobenberechtigung nach VDV-Schrift 758) **oder vereinfacht:** Wagenprüfer mit Qualifikation Kombierter Verkehr (würde nur die für die Abfertigung eines Zuges in der SCS notwendigen Teilqualifikationen beinhalten)
- Zugaufsicht (für Feststellung der technisch unterstützten Abfahrtsbereitschaft)

Der Cargo Station Master ist ein neues Berufsbild, welches Elemente von klassischen eisenbahnbetrieblichen Qualifikationen übernimmt und neu kombiniert.

Neben dem bisher beschriebenen sicherungstechnischen Verfahren (auch als SCS-Sicherungstyp 1 bezeichnet) wurde noch eine alternative Variante entwickelt, der SCS-Sicherungstyp 2, welcher ohne Safety-Zone-Schranken auskommt, was jedoch zusätzliche Signaltechnik erfordert. Die Einfahrsignale derartig ausgestatteter Bahnhöfe müssen mit einem Frühhaltanzeiger (Zs 13) ausgerüstet sein, der bei Fahrten in das SCS-Gleis aufleuchtet. Hinter dem jeweiligen Weichenbereich, aber noch vor Beginn der Safety Zone, ist ein Lichtsperrsignal aufgestellt, an welchem die Zugfahrt aus betrieblicher Sicht endet. Mit Zustimmung des Fahrdienstleiters kann die Zugfahrt ohne Halt in eine Rangierfahrt übergehen. Der Tf muss nun auf Sicht fahren und Hindernisse wie zu dicht am Gleis befindliche LKW erkennen und im Gefahrenfall rechtzeitig anhalten. Via Local Positioning System und Cargo Train Device wird der Erlaubniswechsel mit Wegfahrsperrung für die Dauer des Umschlagprozesses nach dem von Sicherungstyp 1 bekannten Prinzip durchgeführt. Nach dem Umschlagprozess müssen die Mover-LKW außerhalb der Safety Zone sein (Erkennung durch LPS), um die Erlaubnis an den Zug zurückzugeben und die Wegfahrsperrung zu lösen. Die Ausfahrt des Zuges erfolgt anschließend auf Hauptsignal als normale Zugfahrt. Durchfahrten anderer Züge über das SCS-Gleis sind bei Sicherungstyp 2 nicht möglich.

Da nur einzelne Behälter pro Smart Cargo Station umgeschlagen werden sollen, können kurze Haltezeiten der SCS-Güterzüge, je nach Behälteraufkommen, von ca. 20 bis 60 Minuten realisiert werden. Die Daten der Ladung eilen dem Behälter auf elektronischem Wege voraus, womit klar ist, welcher Behälter wann und wo umgeschlagen

wird. Auch die Veränderung am Zuggewicht ist daher schon vorab bekannt und kann dem Triebfahrzeugführer mittels eines elektronisch generierten Bremszettels kurz vor der Abfahrt übermittelt werden. In den Zeiträumen zwischen den Umschlagprozessen ist die Storage Zone für externe LKW zwecks Abholung oder Anlieferung zugänglich. Alternativ kann auch der Mover-LKW die Kunden ohne eigene Zustellfahrzeuge bedienen. Da die Fahrstrecken des Movers-LKW im Nahbereich liegen und dieser stets wieder in die Smart Cargo Station zurückkehrt, bietet sich ein vollelektrisches, akku-basiertes Antriebskonzept an.

Die konsequente Nutzung der Technologien des Digitalzeitalters, jedoch über existierende Schnittstellen eingebunden, ermöglicht die Integration der Smart Cargo Station in das heutige Bahnsystem. Die Grundidee des Konzeptes erfordert ein Umdenken im betrieblichen Bereich, orientiert sich aber auch an erfolgreichen Lösungen der Vergangenheit, die für die Erfordernisse der Gegenwart adaptiert werden. So wie die Technologie der Windmühlen mit den modernen Windkraftanlagen eine Renaissance feiert, soll die örtliche Güterabfertigung in Gestalt der Smart Cargo Station wiederbelebt werden.

5. Standorteignung und modulare Anpassung der Smart Cargo Station

Die Smart Cargo Station ist ein Konzept für dezentrale Standorte. Sie eignet sich aus wirtschaftlicher Sicht besonders dort, wo zwar (Straßen-)Güteraufkommen generiert wird, jedoch nicht in einem Maße, das die Investition in ein herkömmliches KV-Terminal mit Bahnanschluss zu rechtfertigt. Wenn gleichzeitig auch kein Einzugsbereich bestehender KV-Terminals und keine Gleisanschlüsse, jedoch ein Bahnhof an einer Bahnlinie vorhanden sind, kann von einem geeigneten Standort gesprochen werden. Bisher wurden die Einzugsbereiche von KV-Terminals oft zu großzügig eingeschätzt. Ein Straßenvor- oder Nachlauf im KV-Binnenverkehr von 50 km oder mehr kann jedoch schon deutlich zu weit sein. Die Akzeptanzgrenze ist eher bei 20 km bis 30 km Umkreis anzusetzen. Interessant wird die Smart Cargo Station besonders für Firmen in Gewerbegebieten. Mit einem gemeinsamen Logistikkonzept auf Behälterbasis lassen sich die LKW-Shuttles zur örtlichen Smart Cargo Station wirtschaftlich organisieren und der SCS-Betreiber kann mit einer sicheren Grundauslastung bei den Umschlägen rechnen. Folgen weitere Gewerbetreibende anderenorts diesem Beispiel, lassen sich viele Güter behälterisieren, was EVU zur Schaffung von regelmäßig verkehrenden KV-Linienzügen mit unterschiedlichen Zielen bewegen wird. Dadurch wächst und verdichtet sich das KV-Netzwerk auf der Schiene mit Hilfe von Smart Cargo Stations an dezentralen Standorten.

Bautechnisch betrachtet, sollte ein vorhandener Bahnhof bestimmte Kriterien erfüllen, um als geeignet für die Errichtung einer SCS zu gelten. Jedoch sind Bahnhöfe historisch gewachsen und weisen meist sehr individuelle Merkmale auf, angefangen von der Gleisplangestaltung über die LST-Ausrüstung bis hin zur Einbettung in die

Siedlungsstruktur. Dennoch ist in Deutschland eine gewisse Systematik in der Bahnhofsgestaltung erkennbar, an der sich das Konzept der SCS ausrichtet. Grundsätzlich folgt die SCS einem einheitlichen Entwurf, der durch einen modularen Aufbau gekennzeichnet ist. Anpassungen an örtliche Gegebenheiten können durch Variation in der Kombination der Module erreicht werden. Bei manchen Bahnhöfen sind die baulichen Voraussetzungen besser als bei anderen, einige kommen möglicherweise auch gar nicht in Betracht. Da der Grundgedanke hinter der SCS dem Sparsamkeitsprinzip folgt, wird die Entscheidung für oder gegen die Errichtung einer SCS auch stark von den Baukosten abhängen, welche hauptsächlich von der baulichen Eignung am Standort abhängen. Daher sollen hier die Kriterien für einen SCS-Standort sowie der Anpassungsbedarf an der bestehenden Infrastruktur aufgezeigt und die einzelnen SCS-Module vorgestellt werden.

Bauliche Eignungskriterien für einen SCS-Standort:

- Bahnhof mit mindestens einem weiteren als dem/ den durchgehenden Hauptgleis(en), z. B. ein Überholgleis
- Zugänglichkeit auf einer Gleisseite
- weitestgehend Baufreiheit in einem Streifen von ca. 35 m Breite neben dem Gleis (bahntechnische Ausstattung wie Oberleitung oder Kabelschacht kann angepasst werden, Brücken oder BÜs sind problematisch)
- möglichst große Nutzlänge (zwischen den Ausfahrtsignalen), 500 m aufwärts
- ebenes Gelände, tragfähiger Baugrund
- mindestens auf einer Seite Straßenanbindung vorhanden (z. B. alte Zufahrt Ladestraße) oder herstellbar
- rechtliche Widmung für Eisenbahnbetriebszwecke vorhanden oder möglich

Möglicher baulicher Anpassungsbedarf der Infrastruktur an einem SCS-Standort:

- Versetzen von Oberleitungsmasten
- Umverlegung von Kabelkanälen oder Erdverlegung der Kabel
- Anpassen der Entwässerung, z. B. Verrohrung des Bahngrabens, Drainage
- Abbrucharbeiten
- Rodungsarbeiten
- Erdarbeiten

Aus betrieblicher Sicht ist die SCS in Längsrichtung in die schon vorgestellten Zonen unterteilt. Baulich gesehen erfolgte eine Untergliederung in Querrichtung, abschnittsweise in einzelne Module. Diese sind teilweise in der Ausdehnung, Position und/ oder

Anzahl variabel. Beispielsweise kann ein Einfahrmodul nur an einer oder beiden Enden der SCS vorhanden sein. Absetzplatz-Module können hinsichtlich der Länge und Anzahl variieren, ebenso die Schrankenmodule. In Kombination mit der Anzahl der Mover-LKW lässt sich die SCS hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Zwischenlagerkapazität optimal auf die örtlichen Bedürfnisse abstimmen.

Übersicht der SCS-Module:

- Einfahrmodul
- Wendeschleifenmodul
- Schrankenmodul
- Absetzplatzmodul

Ein weiteres, bedeutsames Merkmal einer SCS ist die Längenausdehnung. Diese entscheidet darüber, ob eine zuglange oder eine kurze Umschlagfläche zur Verfügung steht. Die zuglange Variante ist klar zu favorisieren, da so alle Behälter eines SCS-Zuges beim Umschlag halt freizügig erreichbar sind. Jedoch sind heute übliche Zuglängen von 600 m bis 650 m oder noch darüber hinaus für die bauliche Anlage einer SCS teilweise eine Herausforderung. Aus finanziellen oder ortsspezifischen Gründen kann eine zuglange Umschlagsfläche möglicherweise (zunächst oder dauerhaft) nicht realisierbar sein. Daher ist auch die kurze Variante als Option vorgesehen. Das erfordert allerdings Anpassungen bei den Betriebs- und Logistikprozessen. Entweder sind die umzuschlagenden Behälter vorab passend auf dem Zug zu platzieren, oder es sind grundsätzlich kürzere Züge einzusetzen, die innerhalb der verfügbaren Gleisnutzlänge passend halten (und ggf. aufrücken) können.

Um die Standorteignung von Bahnhöfen für die Anlage von Smart Cargo Stations besser bewerten zu können, wurde im Rahmen des Forschungsprojektes eine Recherche durchgeführt. Dafür fand eine Aufbereitung von Infrastrukturdaten über Verkehrsstationen des Schienennetzes im Regionalbereich Nordost der DB Netz AG statt. Die Erfassung und Katalogisierung der Daten aus verschiedenen Quellen (historische Gleispläne, Eisenbahnatlas Deutschland, OpenRailwayMap, DB Stredax, Geoportale, Wikipedia, Google Earth) erfolgte nach bestimmten Parametern. Dadurch waren Rückschlüsse der technischen und baulichen Eignung zur Einrichtung von modularisierten Smart-Cargo-Stations, nach oben genannten Kriterien, möglich. Es erfolgte die Anlage einer Datenbank als Datengrundlage für das SCS-Abfrage-Tool (Visual-Basics-Application-Programmierung). Über eine Suchmaske können per Eingabe von Stationsname oder Streckennummer die Angaben zur SCS-Eignung (mit möglicher Anordnung in Kilometrierungsrichtung) sowie weitere Informationen (Streckenklasse, Höchstgeschwindigkeit, Elektrifizierung, Bahnhofstyp, Anzahl Bahnhofsgleise, Anzahl ehemaliger Gleise/ gleisfreies Planum, Gleise mit Bahnsteig, Bahnseigttyp, Anordnung Bahnsteig in Kilometrierungsrichtung, Gleisnutzlänge, ...) abgerufen werden.

Zum Umgang mit dem SCS-Abfrage-Tool wurde ein ausführliches Handbuch verfasst, womit das Programm bedient und weiter gepflegt werden kann.

Ferner sind zwei Forschungsreisen zu nennen, die für das Projekt durchgeführt wurden. So erfolgte ein Besuch mit Multimomentenaufnahme im Industrie- und Gewerbecampus Frisia Emden. Dort führt die Firma Smart Rail Logistik seit dem 1. Juni 2018 im Auftrag von Volkswagen Güterumschlag mit Mover-LKW des Herstellers InnovaTrain durch. Auf der Anschlussbahn kommen drei Mal pro Woche Ganzzüge mit Wechselbehältern an, welche Komponenten für die Automobilherstellung transportieren. Für die Be- und Entladung des Zuges kommt die auch für die SCS vorgesehene Horizontalumschlagtechnik zur Anwendung, welche im Praxiseinsatz während einer vollen Dienstschrift eingehend studiert werden konnte. Insgesamt waren während der Besichtigung drei Mover-LKW im Einsatz, wovon ein Fahrzeug auch als Versuchsträger genutzt wird. Durch Fachgespräche mit dem zuständigen Ingenieur konnten für die Konzeption der SCS relevante Informationen über in Erprobung befindliche und geplante Weiterentwicklungen des InnovaTrain-Horizontalumschlagsystems gewonnen werden. Dies betrifft speziell die eingesetzte Sensortechnik und den Automatisierungsgrad. Ein Aussteigen des Fahrers wird voraussichtlich bei künftigen Mover-Generationen nicht mehr nötig sein, womit der Umschlagvorgang noch schneller von staten gehen und die Umschlagshaltezeit der SCS-Züge verkürzt wird. Ebenso zeigte sich, dass beim Zusammenspiel von Fahrzeug und Infrastruktur noch Verbesserungsbedarf besteht, welcher in das SCS-Konzept aufgenommen wurde. So sinken die Stützbeine der Mover-LKW beispielsweise bei hohen Außentemperaturen im herkömmlichen Asphalt der Umschlagfläche ein, weshalb für den Bereich der Safety Zone in der SCS ein hochbelastbarer Asphaltbeton empfohlen wird.

Eine weitere Forschungsreise führte nach Hamburg zur Kattwykbrücke. Hintergrund war die doppelte Besonderheit dieses Bauwerks in Form einer Hubbrücke als kombinierte Eisenbahn-Straßenbrücke, wo Zugfahrten einer elektrifizierten Eisenbahn und der öffentliche Straßenverkehr auf einer Länge von ca. 500 m wechselseitig denselben Verkehrsraum nutzen. In Teilaspekten ist die Situation daher mit der Safety Zone einer Smart Cargo Station vergleichbar. Es galt herauszufinden, wie die sichere Gefahrraumfreimeldung bei sämtlichen Witterungs- und Sichtverhältnissen erfolgt, und somit eine Kollision zwischen Schienen- und Straßenfahrzeugen ausgeschlossen wird. Weiterhin muss auch das Befahren der Hubbrücke im für den Schiffsverkehr geöffneten Zustand komplett unterbunden und eine Gefährdung der Straßenverkehrsteilnehmer durch die elektrische Oberleitung ausgeschlossen werden. Der Infrastrukturbetreiber Hamburg Port Authority (HPA) nutzt hier eine Lösung, bei der die Sicherheitsverantwortung nach wie vor beim Menschen liegt, dieser jedoch durch Technik unterstützt wird. Auf der Brücke sind acht Fernsehanlagen (Überwachungskameras) installiert, deren Bilder auf Flachbildmonitore zum Brückenbediener im Leitstand des Brückenhauses übertragen werden. Der Leitstand ist durchgehend mit einem Bediener besetzt, der auch die Aufgaben eines Bedieners von Signalanlagen für das zugeordnete Stellwerk wahrnimmt. Er hat sich per Augenschein vom Freisein des Gefahrraums zu überzeugen. Für die Nachtstunden ist Beleuchtungstechnik vorhanden.

Bei schlechten Sichtverhältnissen muss ein Nebelposten angefordert werden, der mit dem Fahrrad den gesamten Gefahrraumbereich abfährt, sich anschließend fernmündlich beim Brückenbediener meldet und ihn über das Ergebnis der Gefahrraumprüfung unterrichtet. Die Absperrung des Straßenraums erfolgt analog eines BÜs mit Schranken und Lichtzeichen. Die elektrische Eisenbahnoberleitung ist in Grundstellung stromlos, vor einer Zugfahrt wird der Fahrstrom zugeschaltet. Dieses recht komplizierte Verfahren wird jedoch bald der Vergangenheit angehören, da für den Eisenbahnverkehr eine separate, neue Brücke errichtet, und die bisherige Brücke künftig nur noch dem Straßenverkehr dienen wird. Eine weitereöffnungsfähige Brücke der HPA (ohne Eisenbahn), die Mahatma-Gandhi-Klappbrücke, nutzt eine Infrarot-Scannertechnik, die theoretisch automatisiert arbeitet, um den Gefahrraum auf der Brücke vor dem Hochklappen als frei von Straßenfahrzeugen und Menschen zu erkennen. Jedoch zeigt die Technik im Praxiseinsatz noch deutliche Schwächen, z. B. Fehlerkennung von Vögeln sowie Verwechslung der Scanner mit Mülleimern und Verstopfung als Folge. Eine weitere Kombinationsbrücke ist die Lindaunisbrücke über die Schley, für die ebenfalls ein Ersatzneubau ansteht, jedoch wieder als Eisenbahn-Straßen-Kombinationsbrücke. Geplant ist eine weitgehende Automatisierung, Einbindung ins elektronische Stellwerk und Verzicht auf einen örtlichen Bediener. Die LST-Lösung ist jedoch gegenwärtig noch unklar, da Common Safety Methods (CSM) angewendet werden müssen und ferner eine Genehmigung des Eisenbahnbundesamtes (EBA) nach mehrmaligen Projektverzögerungen weiterhin aussteht. Die vorgefundenen Lösungen zur Gefahrraumfreimeldung konnten für das SCS-Forschungsprojekt nicht überzeugen. Daher wurde ein alternatives Konzept in Form des Local Positioning Systems in Kombination mit nach jeder Durchfahrt eines Mover-LKW schließenden Safety-Zone-Schranken erarbeitet.

Zusammengefasst gilt für die SCS der sinngemäße Grundsatz „geringer Aufwand, hoher Nutzen“ bei möglichst wenig Eingriffen in Bestehendes. Durch den vorschreitenden Umbau zahlreicher Bahnhöfe mit Gleisplänen nach Standardentwürfen der DB Netz AG lässt sich das modularisierte SCS-Layout relativ einfach integrieren. Die Nutzung entstandener Brachflächen mit rechtlicher Widmung für Eisenbahnbetriebszwecke und eine eigenständige, sicherungstechnische Lösung stellen dabei weitere Vorteile dar.

6. Labor- und Lehranlage der Smart Cargo Station an der BTU

Kernbestandteil des geförderten Forschungsprojektes war der Aufbau einer Labor- und Lehranlage zum Thema Smart Cargo Station am Lehrstuhl Eisenbahnwesen der BTU Cottbus-Senftenberg. Dafür konnte ein Raum von ca. 22 Quadratmeter Grundfläche genutzt werden. Die Idee besteht darin, das Konzept klassischer Eisenbahnbetriebsfelder mit dem Thema Schienengüterverkehr im Allgemeinen und der Smart Cargo Station im Besonderen zu verbinden. Die Integration der Smart Cargo Station

in den Betriebsablauf einer vollständigen Eisenbahninfrastruktur benötigt entsprechend lange Strecken mit mehreren Betriebsstellen. Umsetzbar erschien das mit einem gegenständlichen Funktionsmodell, welches einerseits klein genug für realistische Längenverhältnisse, aber auch betriebssicher und mit allen relevanten Elementen ausstattbar sein muss. Daher fiel die Wahl auf den Modellmaßstab 1:160 (Nenngröße N, Spurweite 9 mm).

Grundanforderungen an die Labor- und Lehranlage:

- Darstellung der Entwicklung des Schienengüterverkehrs der Vergangenheit, der Gegenwart und mit dem SCS-Konzept im Vergleich
- Abwechslungsreiche Betriebsstellen (Endbahnhof, Zwischenbahnhof, Abzweigbahnhof, Haltepunkt, Ausweichanschlussstelle)
- Zwei- und eingleisige Streckenführung
- Integration von Smart Cargo Stations in unterschiedlichen Layouttypen
- Vollständige und funktionsfähige Umsetzung der LST-Außenanlagen (Signale)
- Fahrplanmäßiger Zugbetrieb
- Flachbildmonitor bei jedem Bahnhof zur Einblendung relevanter Informationen (Simulation betrieblicher Prozesse, des Umschlagvorgangs, Anzeigen von Fahrplaninformationen usw.)
- Züge unterschiedlicher Gattungen (Personenverkehr mit Fernverkehrs- und Regionalzügen, Güterverkehr mit Ganzzug, Einzelwagenzug, KV-Zügen)
- Verzicht auf Landschaft und anderes Beiwerk, stattdessen Konzentration auf die betriebsrelevanten Elemente
- Klares Farbkonzept zur besseren Erkennbarkeit der wesentlichen Inhalte
- Betriebsabläufe in Verbindung mit Smart Cargo Station in einem bestehenden Bahnnetz entwickeln und aufzeigen

Für die Steuerung der Anlage kam moderne Digitaltechnik (DCC-System) und die führende Steuerungssoftware (Train Controller) zum Einsatz. Eine Erweiterung durch Schaffung realistischer Fahrdienstleiter-Bedienplätze ist möglich. Zwei Digitalzentralen sind über einen Steuerungsrechner vernetzt, eine „Fleischmann MultiZentrale Pro“ für die Steuerung von Triebfahrzeugen, die Ansteuerung der Magnetartikeldecoder (Weichen- und Signalantriebe) sowie Lichtsignaldecoder und eine weitere Digitalzentrale „High Speed Interface HSI-88-USB“ von Littfinski Daten Technik für die Gleisfreimeldung über den s88-Rückmeldebus. Diese Technik ermöglicht den zeitgleichen Betrieb mehrerer Züge auf einer Modellbahninfrastruktur mit den annähernd gleichen betrieblichen Sicherheiten einer realen Bahnanlage (Fahren im Blockabstand, Weichen- und Signalabhängigkeit, Fahrstraßenausschlüsse usw.). Zusätzlich stellt diese Art der Steuerung prinzipiell ein CBTC-System dar (Communication Based Train Con-

trol), bestehend aus ATC (Automatic Train Control) und ATO (Automatic Train Operation), denn sämtliche Steuerungsbefehle werden im Steuerungsrechner generiert, es gibt keine Fahrdienstleiter oder Triebfahrzeugführer. Der automatische Anlagenbetrieb erlaubt die Fokussierung auf den eigentlichen Betrachtungsgegenstand, die Smart Cargo Station.

Das gewählte Gleissystem ist „Fleischmann Piccolo“ mit Schotterbettung. Für die Bögen kamen nur große Radien (R3 und R4) zur Anwendung. Die Gleise sind farblich behandelt, jedoch nicht aus optischen Gründen. Zweck ist die optische Unterscheidung der betrieblichen Gleiskategorien: Hauptgleise der freien Strecke sind schwarz, Hauptgleise im Bahnhof grau und Nebengleise weiß lackiert. Die Erkennbarkeit dieser Einteilung ist für das Konzept der Smart Cargo Station sehr bedeutsam. Für die Umgebung (Grundplatten) wurde die Grundfarbe weiß gewählt. Vorhandene betriebsnotwendige Bahnbauten (Empfangsgebäude, Stellwerksgebäude, Bahnsteige, Portal Kran usw.) sind ebenfalls Weiß gehalten. Dieses Farbkonzept wurde von Architekturmodellen übernommen, um die Gebäude zwar darzustellen, den Blick des Betrachters jedoch auf das Wesentliche zu lenken. Nur die Eisenbahnfahrzeuge und sämtliche Bestandteile der Smart Cargo Stadions sind in realen Farben gehalten.

Die Streckenführung ist ringförmig an den vier Wänden des Raums entlang über zwei Ebenen angelegt. Die räumliche Tiefe der Grundplatten beträgt 80 cm. Auf der unteren Ebene befindet sich eine zweigleisige Hauptbahn und ein Abzweigbahnhof zur oberen Ebene über zwei Rampen. Der Höhenunterschied beträgt 10 cm und die Steigung der Rampen ca. 4 %. Die obere Ebene ist nicht in sich geschlossen, sondern U-förmig gestaltet, mit zwei Endbahnhöfen einer eingleisigen Hauptbahn und zwei Abzweigbahnhöfen zur unteren Ebene. Im Wesentlichen ist die Gesamtanlage symmetrisch, wobei sich die Gleispläne der Bahnhöfe jedoch individuell unterscheiden. An der Stirnseite des Raumes, wo die obere Ebene unterbrochen ist und der große Abzweigbahnhof liegt, ist die Grundplatte klappbar, um den Zugang über die Eingangstür des Raumes zu gewährleisten. Der Innenbereich des Raumes ist komplett begehbar und dadurch alle Anlagenteile gut einsehbar. Zum Nachbarraum besteht aus Brandschutz- und Evakuierungsgründen ein offener Durchgang, jedoch ohne Klappmechanismus der Anlagengrundplatte (Durchsteigen unter der Platte ist erforderlich).

Zur Veranschaulichung klassischer Betriebsprozesse im Schienengüterverkehr bietet die Anlage zusätzlich die Möglichkeit der Durchführung einer Übergabefahrt Zwischen dem Bf Fünfstadt und der Ausweichanschlagsstelle (Awanst) Zweidorf. Dabei sind alle Fahrzeugbewegungen mittels eines drahtlosen Handreglers (Fleischmann MultiMausPro) zu steuern. Die dafür notwendige Trasse wird im Fahrplan freigehalten, unabhängig davon, ob die Bedienung stattfindet oder nicht. Zunächst sind Rangierfahrten im Bf Fünfstadt über Ladestraße, Güterschuppen und Ausziehgleis notwendig, um mit den dort zwecks Beladung abgestellten Güterwagen und der Diesellok einen Zug zu bilden. Das Stellen der Weichen erfolgt ebenfalls manuell über den Handregler. Vor der Abfahrt ist auf ein Bahnhofshauptgleis zu rangieren. Über den gesamten Laufweg sind die Signale zu beachten. Die Zugfahrt endet betrieblich im letzten Bahnhof vor der Ausweichanschlagsstelle (Bf Einsstadt). Von dort geht es als

Sperrfahrt (mit reduzierter Geschwindigkeit von 50 km/h) weiter. Vor der Awanst Zweidorf muss gehalten und der Fahrweg eingestellt werden. Die Sperrfahrt fährt dann in die Awanst und muss dort nach zurücklegen der Anschluss- und Schutzweiche eingeschlossen werden. Es folgen Rangierarbeiten, um die Wagen an Lagerschuppen und Ladestraße zur Entladung bereitzustellen. Nach einer gewissen Zeitspanne (und dem Passieren mehrerer Züge auf dem Streckengleis) muss in gleicher Art und Weise zum Bf Fünfstadt zurückgefahren werden. Der Laufweg lässt sich variieren, z. B. mit Kopfmachen und Umsetzen der Lokomotive, Sperrfahrt im Gegengleis oder geschobener Sperrfahrt (30 km/h). Dieses Planspiel verdeutlicht den hohen zeitlichen, baulichen und personellen Aufwand des herkömmlichen Schienengüterverkehrs im Gegensatz zum effizienten Konzept der Smart Cargo Station.

Insgesamt sind auf der Labor- und Lehranlage vier Smart Cargo Stations unterschiedlicher Layout- und Sicherungstypen vorhanden. Gemeinsam mit dem klassischen KV-Terminal bilden sie ein zukünftiges Cargo-Netzwerk mit regionalen Zugangsstellen, im Mischbetrieb mit anderen Güterzügen (z. B. Ganzzüge für Massengüter) sowie Personennah- und Fernverkehr.

Betriebsstellen auf der Labor- und Lehranlage SCS:

Bahnhof Einsstadt

Zentraler Knotenbahnhof mit sechs langen Hauptgleisen und drei Inselbahnsteigen. Verknüpfung zwischen der zweigleisigen, elektrifizierten Hauptbahn (untere Anlagenebene) und der eingleisigen, elektrifizierten Hauptbahn (über Rampen zur oberen Anlagenebene). Ein großes Empfangsgebäude und zwei Stellwerke an den Bahnhofsköpfen. Der Bahnhof Einsstadt besitzt eine kleine Smart Cargo Station mit kurzer Umschlagfläche und einspuriger Traffic Zone sowie beidseitiger Zufahrt. Die SCS Einsstadt ist über alle in den Bf einmündenden Streckengleise durch Zügfahrten erreichbar und teilt sich das SCS-Hauptgleis mit einer Bahnsteigkante.

Haltepunkt Zweidorf

Haltepunkt an der zweigleisigen, freien Strecke mit zwei kurzen, gegenüberliegenden Außenbahnsteigen. Die Strecke Einsstadt-Dreistadt lässt hier Gleiswechselbetrieb zu.

Ausweichanschlussstelle Zweidorf

Im Regelgleis Einsstadt-Dreistadt, hinter dem Bahnsteig des Hp Zweidorf, liegt die Anschlussweiche der Awanst Zweidorf. Eine Schutzweiche ist vorhanden. In der Awanst gibt es ein kurzes Umsetzgleis, eine Ladestraße, einen Lagerschuppen mit überdachtem Kopfgleis und seitlichem Rampengleis sowie ein kurzes Lokabstellgleis. Die Gleise der Awanst Zweidorf sind nicht elektrifiziert, daher müssen die Bedienfahrten mit Dieseltraktion erfolgen.

Bahnhof Dreistadt

Zwischenbahnhof der zweigleisigen, elektrifizierten Hauptbahn mit bedarfsoptimiertem Standardgleisplan, je eine einfache Gleisverbindung zwischen den durchgehenden Hauptgleisen in beiden Bahnhofsköpfen und ein Überholgleis. Ein Außenbahnsteig und ein Inselbahnsteig. Kein Empfangsgebäude, nur verglaste Wetterschutzhäuschen. Am Überholgleis wurde eine Smart Cargo Station mit zuglanger Umschlagfläche eingerichtet. Als Besonderheit ist diese SCS für den Umschlag von 40'' - bis 45''-Container ausgelegt. Die Behälterabsetzplätze sowie die Schleppkurven sind für den Einsatz der entsprechenden Sattelschlepper-Mover eingerichtet. Dieses System befindet sich mit Stand 2019 beim Hersteller InnovaTrain noch in Entwicklung. Die SCS Dreistadt gestattet beidseitig Ein- und Ausfahrten der Züge von beiden Gleisen der freien Strecke in die Smart Cargo Station und teilt sich das SCS-Hauptgleis mit einer Bahnsteigkante.

Haltepunkt Vierdorf

Haltepunkt an der zweigleisigen, freien Strecke mit zwei kurzen, versetzt angeordneten Außenbahnsteigen.

Blockstelle Vierdorf

Auf halber Strecke zwischen den Bahnhöfen Dreistadt und Einsstadt liegt die Blockstelle Vierdorf in Höhe des Hp Vierdorf. Es sind Blocksignale (mit Vorsignalen) nur für das Regelgleis vorhanden (kein Gleiswechselbetrieb).

Bahnhof Fünfstadt

Endbahnhof der eingleisigen Hauptbahn auf der oberen Anlagenebene. Der Bahnhof weist eine klassische Gleisplangestaltung auf und verkörpert die alten Bahnbetriebstechnologien des Personen- und Güterverkehrs. Drei Hauptgleise mit einem Haus- und einem Inselbahnsteig stehen zur Verfügung, dazu kommen einige Nebengleise mit Ladestraße, kombinierter Kopf- und Seitenrampe, Güterschuppen und einem Ausziehgleis. Der Bahnhof ist als einziger komplett mit Formsignalen ausgerüstet. An Gebäuden ist weiterhin noch ein Empfangsgebäude, ein Wasserturm und zwei Stellwerke (Befehls- und Wärterstellwerk) vorhanden. An den Bahnsteigenden stehen Wasserkräne aus der Zeit des Dampflokomotivbetriebes. Die eingleisige Hauptbahn ist zwischen Fünfstadt und Sechsstadt nicht elektrifiziert.

Bahnhof Sechsstadt

Abzweigbahnhof an der eingleisigen, elektrifizierten Hauptbahn. Über eine Rampe führt eine Verbindungsstrecke zum Bahnhof Einsstadt. Der Bahnhof besitzt vier Hauptgleise, fünf Nebengleise und dient vordergründig dem Güterverkehr. Ein Inselbahnsteig mit Wetterschutzhäuschen ist vorhanden. Dem Bahnhof Sechsstadt ist ein

klassisches KV-Terminal zugeordnet. Ein Portalkran überspannt zwei nicht elektrifizierte Ladegleise und eine LKW-Fahrspur. Um in das KV-Terminal rangieren zu können, ist ein Ausziehgleis vorhanden. Bei ankommenden KV-Zügen mit Ellok muss die Lokomotive zunächst abgespannt werden, wozu ein kurzes, elektrifiziertes Lokabstellgleis vorhanden ist. Anschließend übernimmt die örtliche Diesel-Rangierlokomotive, zieht die Rangiereinheit in das Ausziehgleis und drückt dann in eines der Ladegleise zurück. Dafür ist die Spitze der geschobenen Rangiereinheit mit einem Rangierbegleiter zu besetzen. Weiterhin verfügt der Bahnhof über ein zuglanges Abstellgleis und das KV-Terminal über ein Verwaltungsgebäude. Der Bahnhof Siebenstadt repräsentiert den gegenwärtigen Entwicklungsstand des Schienengüterverkehrs im kombinierten Verkehr.

Bahnhof Siebenstadt

Abzweigbahnhof an der eingleisigen, elektrifizierten Hauptbahn. Über eine Rampe führt eine Verbindungsstrecke zum Bahnhof Einsstadt. Gegenüber dem Bf Sechsstadt ist der Gleisplan mit drei Hauptgleisen stark reduziert. Ein Inselbahnsteig nebst Wetterschutzhäuschen ist vorhanden. Am äußeren Hauptgleis ist eine Smart Cargo Station des SCS-Sicherungstyps 2 (ohne Safety-Zone-Schranken) angeordnet. Dafür sind die Einfahrtsignale aller drei Richtungen jeweils mit einem Frühhaltanzeiger (Zs 13) ausgerüstet und vor der Safety Zone stehen beidseitig Lichtsperrsignale. Die Steuerungssoftware Train Controller ist so programmiert, dass keine Durchfahrten über das SCS-Gleis erfolgen, da dies bei dem SCS-Sicherungstyp 2 prinzipbedingt nicht möglich ist. Die Besonderheiten des SCS-Sicherungstyps 2 werden auf dem Informationsmonitor des Bahnhofs Siebenstadt thematisiert.

Bahnhof Achtstadt

Endbahnhof der eingleisigen Hauptbahn auf der oberen Anlagenebene mit minimierter Infrastruktur. Eine Weiche und zwei Hauptgleise sind vorhanden, dazwischen ein Inselbahnsteig. An einer freien Gleiskante befindet sich eine Smart Cargo Station. Zum Bahnhof Achtstadt können regulär nur Wendezüge oder Triebzüge verkehren, da der Gleisplan das Umsetzen einer Lokomotive nicht gestattet. In Deutschland sind Güter-Wendezüge oder -Triebzüge eine große Seltenheit. Daher kommt hier ein KV-Triebzug japanischen Ursprungs, der M250 „Super Rail Cargo“ zum Einsatz, um auch diese Betriebsform und ihre Vorteile darstellen zu können.

Planmäßig verkehren auf der Labor- und Lehranlage acht Zuggarnituren nach einem festen Fahrplan. Die eingesetzten Züge bilden einen exemplarischen Querschnitt des heutigen Alltagsverkehrs im deutschen Eisenbahnnetz, ergänzt um SCS-fähige Züge (lokbespannte, normale Tragwagen und ein innovativer KV-Triebzug). Zusätzlich können auch Sonderzüge eingesetzt werden.

Im Einzelnen kommen folgende Zuggarnituren zum Einsatz:

Personenzüge:

- **DB InterCity** (1x Lok BR 101 + 6x IC-Wagen, davon ein Steuerwagen)
- **DB Talent 2 vierteilig** (BR 442.2)
- **ODEG Stadler Gtw Diesel** (BR VT 646)

Güterzüge:

- **Schwerer Kohlezug** (1x Lok Vossloh G 2000 BB BR 272 + 18x Selbstentladewagen Facs 092 mit Kohle, Zuglänge 200 m)
- **KV-Zug 1** (1x Lok TAURUS BR 182 + Containertragwagen, Zuglänge 190 m)
- **KV-Zug 2** (1x Lok VECTRON BR 193 + Containertragwagen, Zuglänge 190 m)
- **Japan Freight Super Rail Cargo** (BR M250, 1x angetriebener Endwagen, 1x angetriebener Mittelwagen, 4x Mittelwagen ohne Antrieb, 1x angetriebener Mittelwagen, 1x angetriebener Endwagen)
- **Kurzer Übergabe-Zug** (1x Lok V100 BR 115 + 2x offene Güterwagen 4achsiger Eaos + 3x gedeckte Güterwagen 2achsiger Gbs)

Der Fahrplan wurde mit dem Programm FBS (Fahrplan-Bearbeitungs-System) der Firma iRFP erstellt. Zu diesem Zweck wurde das Infrastruktur-Modell der Anlage in FBS übertragen. Um trotz der relativ kurzen Abschnitte zwischen den Betriebsstellen realistische Fahrplandaten zu erhalten, wurde der Längen- und Zeitmaßstab angepasst. Die Modellgleislängen wurden nicht mit dem Faktor 160 (was der Wirklichkeit entspräche), sondern mit dem Faktor 1.600 multipliziert. Daher weisen alle Gleisabschnitte im FBS-Infrastrukturmodell die zehnfache Länge auf. Um dies mit den Fahrzeugbewegungen der Modellzüge zu synchronisieren, wurde gleichzeitig der Zeitmaßstab von 1:10 eingeführt. Eine Modellminute hat daher nur 6 Realsekunden. Die Fahrzeuge verkehren mit ihrer vorbildgerechten Geschwindigkeit, in den Modellmaßstab von 1:160 umgerechnet. Ist ein Gleisabschnitt auf der Anlage 3 m lang, ergibt dies im FBS-Modell 4,8 km. Wird dieser von einem Zug mit 120 km/h Realgeschwindigkeit (= 0,75 km/h Modellgeschwindigkeit) durchfahren, benötigt er dafür 14,4 Realsekunden, was 2,4 Modellminuten entspricht. Die Fahrpläne können in unterschiedlichen Formaten auf den Informationsmonitoren über den Betriebsstellen abgebildet werden. Ein separater Monitor dient der Anzeige der aktuellen Modellzeit (im Layout einer klassischen Bahnhofsuhr).

Damit die Modellzüge alle mit der fahrplanmäßigen Geschwindigkeit verkehren, wurden die Digitaldecoder der Modelltriebfahrzeuge unter Zuhilfenahme eines Rollenprüfstands mit Geschwindigkeitsmesssystem (mazero „Max“), angeschlossen an den Steuerungsrechner und die Software Train Programmer, geeicht und programmiert. Der fertige Fahrplan entspricht einem realistischen Betriebsszenario und be-

rücksichtigen die Smart Cargo Stations im Zusammenspiel mit dem sonstigen Verkehr. Die Fahrplandaten mussten händisch von FBS in Train Controller übertragen werden, da es dafür keine Datenschnittstelle gibt. Auch die Zugdaten waren aus diesem Grund doppelt zu programmieren, einmal in FBS und einmal in Train Controller. Durch die Verknüpfung von Fahrplan- und Zugdaten in Train Controller kann der Betrieb auf der Anlage wie geplant ablaufen. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Bedienung der Smart Cargo Stations. Die Ansteuerung der Safety-Zone-Schranken erfolgt dabei zeitbasiert über Melder, die mit isolierten Schienenstößen und den gekoppelten Rückmeldedecodern verknüpft sind. Aufgrund der hohen Ortungsgenauigkeit könnte hier künftig sogar im Modellmaßstab das UWB-Radar als Local Positioning System zum Einsatz kommen.

Insgesamt besitzt die Labor- und Lehranlage 43 Weichen (davon 11 Doppelkreuzungsweichen), 92 Gleisfreimeldeabschnitte, 112 isolierte Schienenstöße, 68 Blockabschnitte und 24 Weichenbereiche. Der Aufbau der Labor- und Lehranlage erfolgte mit der Unterstützung von studentischen und wissenschaftlichen Hilfskräften, welche im Rahmen des geförderten Forschungsprojektes am Lehrstuhl Eisenbahnwesen angestellt waren.

7. Ausstellungs- und Messemodell der Smart Cargo Station

Zusätzlich zur Labor- und Lehranlage wurde im selben Maßstab (1:160) ein transportables Ausstellungs- und Messemodell mit den Maßen 100 cm x 40 cm entwickelt und gebaut. Es zeigt den vorderen Teil einer Smart Cargo Station mit Einfahrmodul, Wendeschleifenmodul, zwei Zugangsmodulen und zwei Absetzplatzmodulen. Der dargestellte Bahnhof einer zweigleisigen Hauptbahn besitzt ein Überholgleis (hier ist die SCS angegliedert), zwei Inselbahnsteige und Ausfahrtsignale an allen Gleisen. Die Einfahr- und Safety-Zone-Schranken in der Smart Cargo Station sind funktionsfähig und über eine im Boden des Modellgrundkörpers installierte elektrische Schaltung in realistische Abhängigkeiten zum Cargo Train Device gebracht. Über zwei Funkfernbedienungen lassen sich die grundlegenden Funktionen schalten und damit die Interaktion zwischen Zug und Smart Cargo Station gut nachvollziehbar darstellen. Zwei Leuchtmelder an der Vorderseite des Modells zeigen den Status des Cargo Train Device an (Erlaubnis beim Zug/ Erlaubnis bei der SCS). Modelllokomotiven, -wagen und -straßenfahrzeuge sowie die Behälter werden lose positioniert.

Fernbedienung 1 (mit einem Drucktaster): Repräsentiert den Türtaster des Triebfahrzeugs am SCS-Zug mit installiertem Cargo Train Device. Ausgehend von der SCS-Grundstellung (Schranken geschlossen) wird damit die Erlaubnis zur Schrankenfreigabe vom Triebfahrzeugführer des SCS-Zuges abgegeben. Die Anzeige an der Vorderseite des Modells wechselt vom grünen zum roten Leuchtmelder. Ein Rückholen der Erlaubnis ist mit dieser Fernbedienung nicht möglich.

Fernbedienung 2 (mit vier Drucktastern A, B, C, D): Repräsentiert die Steuerungsfunktionen des Cargo Station Masters vom Mover-LKW aus. Taster A schließt die zentralen Einfahrschranken zwischen SCS und öffentlicher Zufahrtsstraße. Taster B öffnet die Safety-Zone-Schranken zur Safety Zone, vorausgesetzt, die Erlaubnis liegt bei der SCS (Erlaubnisabgabe über Fernbedienung 1). Taster C schließt die Safety-Zone-Schranken nach dem simulierten Umschlagvorgang wieder und öffnet gleichzeitig die Einfahrtsschranken zur SCS. Damit ist die Grundstellung der SCS wiederhergestellt. Taster D gibt die Erlaubnis zurück an das Triebfahrzeug des SCS-Zuges. Damit wechseln die Leuchtmelder von Rot auf Grün und der SCS-Zug kann seine Fahrt fortsetzen. Über die spezielle Relaisschaltung ist diese Erlaubnisrückgabe blockiert, so lange die Safety-Zone-Schranken noch offen sind.

Ergänzend kamen Lichtfunktionen zum Einbau, so ist die Fahrflächenbeleuchtung mittels Flachgittermasten funktionsfähig und die drei Lichtausfahrtsignale des Bahnhofskopfes leuchten in passenden Signalblidern (Halt für die beiden durchgehenden Hauptgleise, Fahrt mit Geschwindigkeitsbeschränkung für das Überholgleis). Die Gleise (Fleischmann Piccolo mit Schotterbettung) sind an eine Fleischmann MultiZentralePro (ebenfalls im Boden des Modells) angeschlossen. Dadurch können mit Hilfe des drahtlosen Handreglers MultiMausPro Funktionen an den Modellfahrzeugen geschaltet werden, z. B. Spitzenlicht, Innenbeleuchtung, Sound (sofern vorhanden) und das Fahren ist auf den relativ kurzen Gleisen auch möglich. Alle elektrischen und elektronischen Bauelemente werden über ein gemeinsames, integriertes Netzteil mit Gleichspannung versorgt, der externe Anschluss besteht nur aus einem herkömmlichen Kabel mit Schukostecker für 230 V/ 50 Hz. Die vier höhenregulierbaren Standfüße des Modells sind dank stabiler Gewindeplatten ab Boden des Modellgrundkörpers abschraubbar. Dadurch lässt sich die gesamte Konstruktion zerlegen und in einer passenden Transportkiste platzsparend verstauen. Das ermöglicht den mobilen Einsatz auf Veranstaltungen. In Kombination mit dem offiziellen Präsentationsposter lässt sich das Konzept der Smart Cargo Station durch das Ausstellungs- und Messemodell auf attraktive Art demonstrieren, was mehrfach erfolgreich durchgeführt wurde.

8. Cargo Train Device-Demonstrator

Nachdem sich die Favorisierung einer stellwerksunabhängigen Lösung für die SCS mittels des Zuggeräts Cargo Train Device (CTD) herauskristallisierte, entstand der Gedanke, einen funktionsfähigen Demonstrator in 1:1-Größe zu entwickeln und zu bauen. Da das Gerät ohne Umbauten oder Einschränkungen am Zug installiert werden soll, waren Anbauort und Außenmaße zu ermitteln. Nach Recherchen und einem Vor-Ort-Termin im Lokomotivenwerk München-Allach der Firma Siemens Mobility sowie Vermessungsarbeiten an realen Güterwagen wurde das grundlegende Design festgelegt. Der CTD wird am ersten Wagen hinter der der Zuglokomotive angebaut. Ein Großteil der heute verkehrenden Tragwagen besitzt konstruktive Vorbereitungen für

eine automatische Mittelpufferkupplung, um eine Umstellung ohne Schweiß- und Schneidarbeiten zu ermöglichen. Aus verschiedenen politischen und wirtschaftlichen Gründen kam eine solche Kupplung aber bisher nicht flächendeckend zum Einbau und es ist auch in Zukunft nicht damit zu rechnen. Bestandteil dieser Vorbereitungen ist eine kastenförmige Nische im Kopfstück des Fahrzeugrahmens mit je vier im Abstand von 50 mm übereinanderliegenden Bohrungen von 16 mm Durchmesser rechts und links des Zughakens. Diese sollten dem Anbau der Führung des Mittelpufferkupplungskopfes dienen, sind aber heute ohne Nutzung. Die in Fahrtrichtung rechten Bohrungen werden meist von der Halterung für Luftabsperrrhahn und Bremschlauch verdeckt, die links liegenden sind jedoch in der Regel frei zugänglich. Dadurch ergibt sich eine stabile, universelle und genormte Befestigungsmöglichkeit. Der CTD benötigt an der Rückseite zwei Gewindebolzen M16 mit Verdrehsicherung und Splintloch, die in die obere und untere Bohrung des Kopfstücks passen. Von hinten wird je eine M16er Mutter aufgeschraubt und dann mittels Federsplint gesichert. Für diese Teile wird rostfreier Stahl empfohlen.

Die Gehäuseabmessungen des CTD leiten sich von zwei Einflussfaktoren ab: Dem Bauraum neben der Bohrung für Höhe und Breite sowie dem Berner Raum für die Tiefe. Der Berner Raum definiert den freizuhaltenden Bereich für einen Eisenbahner beim manuellen Kuppelvorgang von zwei Fahrzeugen. Keine festen Anbauteile dürfen in den Berner Raum hineinragen, was demzufolge auch für den Cargo Train Device gilt (davon ausgenommen sind flexible Teile wie Schläuche und Kabel). Somit ergeben sich die äußeren Gehäuseabmessungen von maximal 300 mm x 150 mm x 250 mm (Höhe x Breite x Tiefe). Um den Demonstrator im Rahmen des Projektes mit eigenen Mitteln bauen zu können, sollte dieser nur aus handelsüblichen Bauteilen bestehen. Daher wurden die Maximalabmessungen voll ausgenutzt, eine Serienversion kann durch Miniaturisierung der elektrischen und elektronischen Bauteile bei gleichzeitiger anwendungsspezifischer Ausführung kleiner ausfallen. Weiterhin wurde auf das Local Positioning System (UWB) aus Kostengründen zunächst verzichtet, dessen Aufgaben übernimmt eine manuelle Hilfstasterbetätigung. Eine Funkantenne und Bauraum für die Nachrüstung eines UWB-Moduls sind jedoch vorhanden.

Im nächsten Schritt erfolgte das Design des Gehäuses mit Anbauteilen. Die schon erwähnte Antenne wurde zweckmäßigerweise auf der Oberseite angeordnet. Dahinter findet sich ein stabiler Tragegriff. Die Vorderseite dient im oberen Teil dem Anbau der UIC-Kupplungsdose für die Informations- und Steuerleitung (Normteil der Firma Schaltbau München). Etwa mittig wird ein Manometer für den Druck der Hauptluftleitung angeordnet, rechts und links daneben Leuchtmelder für die Anzeige HLL-Druck größer/ kleiner 4 bar sowie zugehörige Hilfstaster zur Simulation der Betriebszustände ohne HLL-Anschluss. Ein weiterer Leuchtmelder reagiert, wenn im Gefahrenfall Luft aus der HLL bei einem unzulässigen Löseversuch der Bremse entlassen werden muss. An der Unterseite ist der Abgang des um 45 Grad geneigten Rohrstützens mit 1 ¼ Zoll Außengewinde für den Bremsluftschlauch sowie dahinter die vertikale Austrittsöffnung für abgelassene Druckluft angeordnet. Die linke Seite weist eine

Reihe von Statusanzeigen und Hilfstastern (nur beim Demonstrator, nicht bei Serienmodellen vorgesehen) auf: Anzeige Spannung/ Stromstärke für internen Akku und UIC-Kabel, Ladestatus Akku, Anliegender HLL-Druck, Anliegende Spannung vom UIC-Kabel, Zug in/ nicht in der SCS, Erlaubnis beim Zug/ Erlaubnis bei der SCS. Auf der rechten Seite finden sich im oberen Bereich das Lademodul für den internen Akku mit Anzeigedisplay, daneben Feinsicherungen für den Akku- und UIC-Stromkreis. Weiterhin ist eine große Wartungsklappe für die Zugänglichkeit der innen liegenden Bauteile eingearbeitet. Alle Schalter und Leuchtmelder sind bestimmungsgemäß beschriftet. Zusätzlich ist der Schriftzug „Cargo Train Device“, die Fabrikationsnummer und das Baujahr angeschrieben. Das SCS- und BTU-Logo sowie der Verweis auf den Lehrstuhl Eisenbahnwesen und die Karl-Vossloh-Stiftung runden das Erscheinungsbild ab. Die Farbgebung ist limettengrün und schwarz (SCS-Design).

Der innere Aufbau besteht aus einem Druckluftteil und einem elektrischen Teil. Ein eingebautes Druckluftmagnetventil (in Grundstellung geschlossen) sperrt das freie Ende der Hauptluftleitung ab, indem es mit dem linken, hinteren Luftschlauch der Zuglokomotive verbunden ist. Der Luftschlauch des Wagens ist in normaler Art mit dem rechten Luftschlauch der Zuglokomotive gekuppelt. Das Magnetventil ist somit drucklufttechnisch nicht zwischen Lokomotive und Wagen geschaltet, sondern am vorderen Ende der Hauptluftleitung des Zuges angeordnet. In der geschlossenen Stellung hat es keinen Einfluss auf die Arbeitsweise der Bremsanlage des Zuges. Damit der CTD aktiv werden kann, sind zunächst der Luftschlauch und das UIC-Kabel anzuschließen und dann der Luftabsperrrhahn der Lok zu öffnen. Das Gerät erkennt mittels eines Druckschalters, ob Druck von der Hauptluftleitung anliegt und schaltet sich damit selbsttätig ein. Damit die Stromversorgung sichergestellt ist, muss das TB0-Dauersignal 24 V anliegen. Durch Schalten von „To“ über den Türtaster wird dieses jedoch unterbrochen. Daher hat der CTD einen internen Akku, um automatisch das Signal „Tz“ („Schlüsseln“) zurückzusenden, was von der Lok eingelesen wird und das Dauersignal 24 V wiederherstellt. Damit wird der Akku geladen und einige Systeme, wie Leuchtmelder, auch direkt betrieben. Der Erlaubniswechsel wird technisch über ein Relais realisiert, welches je nach Zustand umschaltet und damit das Druckluftmagnetventil „scharf schaltet“. Das Druckluftmagnetventil öffnet nur, wenn der Tf in der SCS bei abgegebener Erlaubnis, also laufendem Umschlagvorgang und freigegebener Safety Zone, das Lösen der Zugbremse einleitet. Ein zweiter Druckluftschalter ist auf einen Schaltdruck von 4 bar eingestellt. Wird dieser überschritten, öffnet das Druckluftmagnetventil und lässt so viel Luft heraus, dass der HLL-Druck wieder unter 4 bar sinkt und ein Lösen der Zugbremse damit nicht möglich ist. Der Tf wird durch eine akustische Warnmeldung, übertragen mittels des UIC-Kabels zu den Lautsprechern des Führerstandes, auf seinen Fehler aufmerksam gemacht. Die Schaltung besteht im Wesentlichen aus einer logischen Verkettung von drei verschiedenen Relaisarten: Normal-Relais, Umschalt-Relais und Zeit-Relais. Alle druckführenden Teile bestehen aus Messing, hauptsächlich genormte Fittings mit zöllischem Gewinde. Der Demonstrator muss als erster Prototyp angesehen werden, der das Funktionsprinzip bei gleich-

zeitiger Betriebsfähigkeit veranschaulichen soll. Die Planung und Entwicklung erfolgte unter Zuhilfenahme frei erhältlicher Bauteile (Gehäuse, Technikkomponenten, elektrische Schaltung). Der Schaltplan ist der Dissertation als Anlage beigelegt.

In Teilaspekten ist der Cargo Train Device (CTD) mit dem End Of Train Device (ETD) vergleichbar, wie er z. B. bei nordamerikanischen Eisenbahnen zum Einsatz kommt. ETD-Geräte gibt es in unterschiedlicher Ausführung, sie sind immer an der hinteren Mittelpufferkupplung des letzten Wagens befestigt und mit der Hauptluftleitung gekuppelt. ETD stellen den technischen Ersatz der früher am Zugschluss laufenden und mit einem Zugführer besetzten Güterzugbegleitwagen (Caboose) dar. Meist dienen sie dazu, die Hauptluftleitung sehr langer Güterzüge auch vom Zugschluss aus zu entlüften und damit das Lösen der Bremsen zu beschleunigen sowie mögliche Zugtrennungen zu erkennen. Dazu verfügen sie über eine Funkschnittstelle und sind drahtlos mit einem korrespondierenden Head Of Train Device (HTD) auf dem Führerstand der besetzten, führenden Lokomotive verbunden. Umgangssprachlich wird diese Kombination auch als „Fred“ und „Wilma“ bezeichnet. Der ETD gewinnt seine elektrische Energie über eine kleine, eingebaute Druckluftturbine mit angeschlossenem Dynamo aus der Hauptluftleitung. Diese kleine Luftmenge wird (wie auch Luftverluste infolge geringer Undichtigkeiten an den Schlauchkupplungen) vom Luftverdichter der Lokomotive(n) durch Nachspeisen ausgeglichen. Der ETD wird nach Zusammenstellen eines Zuges vom Rangierer am letzten Wagen angebracht. Die Geräte sind tragbar und in großer Stückzahl vorhanden.

Es wäre eine Option, den CTD um die Funktionalität eines ETD zu erweitern, um damit eine Lösung für das bestehende Problem der Zugintegritätsprüfung für Güterzüge unter ETCS Level 3 mit wanderndem Raumabstand (Moving Block) anzubieten. Die Hauptbestandteile von CTD und ETD ähneln sich, wenn der Zweck auch ein anderer ist. Die Erweiterung der Funktionalität wäre daher konstruktiv relativ einfach umsetzbar. Bei diesem Szenario würden die CTDs dann jeweils an beiden Enden der SCS-Wagenzugarnituren angebracht werden, die im Regelfall wegen des Verzichts auf Rangierprozesse als feste Einheiten verkehren und nicht getrennt werden. Der vordere Cargo Train Device dient dann im bereits erläuterten Sinne der Datenkommunikation und als Sicherheitsfeature in Zusammenhang mit der SCS, während der hintere die Zugintegrität überwacht. Die Funkverbindung würde dann auch zwischen vorderem und hinteren CTD bestehen, wobei der vordere CTD den „Head“ bildet und der hintere das „End“. Die Informationsübertragung auf die Lokomotive und zum Tf geschieht mit der beim vorderen CTD sowieso gekuppelten Informations- und Steuerleitung (UIC-Kabel), also einer Standardschnittstelle, über die nahezu alle Lokomotiven verfügen. Gegenüber dem „normalen“ CTD wären GPS, eine Druckluftturbine sowie elektronische Hard- und Software zu ergänzen. Alle Geräte sollten gleich aufgebaut sein, damit der Einsatz als „Head“- oder „End“-Gerät freizügig erfolgen kann. Das würde auch die Fahrtrichtungsänderung des Zuges mit Umsetzender Lokomotive an das andere Zugende erleichtern, da die CTDs an Ort und Stelle verbleiben können und nur umgeschaltet werden müssen. Mit der beschriebenen Erweiterung würde der CTD zwei aktuelle Probleme des Schienengüterverkehrs gleichzeitig lösen.

9. Veröffentlichungen und Präsentationen

Ein wichtiger Aspekt des Projektes Smart Cargo Station war die öffentliche Bekanntmachung des Konzeptes SCS und der Austausch mit fachlichen Partnern. Einerseits, um den Entwicklungsstand im Dialog auf aktuelle Anforderungen abzustimmen, andererseits, um eine mögliche Realisierung vorzubereiten.

Von Bedeutung für die öffentliche Wahrnehmung ist eine eindeutige Wiedererkennbarkeit durch ein einprägsames Logo und eine abgestimmte Corporate Identity in allen Projektmedien. Dazu wurde das SCS-Design entwickelt. Das quadratische Logo besitzt einen limettengrünen Hintergrund und schwarze, zweidimensionale Akzentflächen. Es zeigt nebeneinander die stilisierte Front einer fiktiven Elektrolokomotive als Spitze des SCS-Zuges und daneben die Vorderansicht eines Mover-LKW. Ein Behälter ist während des Horizontalumschlagprozesses dargestellt und ragt daher seitlich aus dem Mover heraus. Zwischen Mover und Zug, in die Behälterfläche integriert, befinden sich zwei Pfeilköpfe zur Symbolisierung der beidseitig möglichen Bewegung des Behälters. Auf der anderen Seite der Lokomotive ist ein Ausfahrtsignal als Ks-Lichthauptsignal abgebildet. Dadurch wird deutlich, dass es sich um ein Hauptgleis handelt, auf welchem der Behälterumschlag stattfindet. Als besondere Betonung sind die Signaloptiken als farbige Kreise (grün, gelb, rot) dargestellt, während alle anderen Flächen schwarz gehalten sind. Genaugenommen zeigt das Signalbild in die falsche Richtung, was jedoch als akzeptabler Kompromiss unter dem Aspekt der Erkennbarkeit hingenommen wird. Unter Zug und Mover verläuft eine horizontale Linie, dazwischen ist das Gleisbord als Abgrenzung des Gleises zur Safety Zone angedeutet. Darunter befindet sich der Schriftzug „Smart Cargo Station“ in der serifenlosen Schriftart DIN 1451 Mittelschrift, welche auch für Anschriften an Eisenbahnfahrzeugen verwendet wird. Die Darstellung der Objekte im Logo ist bewusst einfach gehalten, nur besonders charakteristische Details sind sichtbar. Jedoch stimmen deren Proportionen und Abmessungen genau mit dem realen Vorbild überein, so dass Lokomotive und Mover-LKW harmonisch wirken. Zwischen den Kontrastflächen wurden stets Abstände in derselben Breite verwendet. Das Logo wird von einem quadratischen, schwarzen Rahmen mit leicht abgerundeten Ecken begrenzt. Das gesamte Design ist bewusst an jenes von Verkehrsschildern angelehnt. Für die Monitoranzeigen der Labor- und Lehranlage wurden noch zwei weitere Logos nach den gleichen Gestaltungsgrundsätzen entwickelt. Für den Bahnhof Fünfstadt steht das Motiv einer Diesellok und eines älteren LKW mit einem Güterschuppen dazwischen und orangem Hintergrund, im Bahnhof Sechstadt ist es eine Diesellok und ein moderner LKW, überspannt mit einem arbeitenden Portalkran.

Beschreibungstexte sind mit Hintergründen je nach Akzentuierung in Mittelgrau, Hellgrau oder Weiß gehalten, die Schriftart ist ebenfalls DIN 1451 Mittelschrift. Dadurch wirkt das Corporate Design der SCS sachlich, aufgeräumt und eisenbahnbezogen. Besonderer Wert wurde stets auf die gemeinsame Platzierung des Logos der BTU Cottbus-Senftenberg und der Karl-Vossloh-Stiftung gelegt.

Auf der Internetpräsenz des Lehrstuhls Eisenbahnwesen (Teil der Homepage der BTU-Cottbus-Senftenberg) wurde eine Projektwebseite zur Smart Cargo Station eingerichtet, welche grundlegende Informationen und exemplarische Abbildungen zum Projekt enthält, ohne zu sehr in die Tiefe zu gehen. Ein Projektposter im A0-Format ist öffentlich zugänglich am Lehrstuhl Eisenbahnwesen ausgehängt, unmittelbar neben dem Zugang zum Raum der Labor- und Lehranlage. In einer kleineren Version existieren auch Flyer bzw. Handzettel zum Verteilen bei Veranstaltungen. In diversen Fachzeitschriften sind Prof. Thiel und Christian Menzel als Autoren tätig geworden und interessierte Leser konnten sich über die Smart Cargo Station und das, durch die Karl-Vossloh-Stiftung geförderte, Projekt informieren.

Folgende Artikel zum Projekt SCS sind in Fachzeitschriften erschienen:

- **RailBUSINESS SPEZIAL Mai 2018:** Güterbahnen in Aufbruchsstimmung – Forschung - Smart Cargo Station an der BTU
- **BTU-News Nr. 52 September 2018:** Mehr Gütertransporte auf die Schiene - Das BTU-Projekt Smart Cargo Station nutzt Vorteile des Personenverkehrs für den Güterverkehr
- **Karriere im ÖPNV- und Bahnmarkt 2018:** Wissenschaftlich Arbeiten – Von der Idee bis zum Modell – SCS: Beispiel für ein hochschulgebundenes Forschungsprojekt
- **Lausitz Magazin Nr. 8 Winter 2018/2019:** Smart Cargo Station – Zukunft der Containerlogistik
- **EISENBAHNINGENIEUR Januar 2019:** Betrieb und Verkehr – Neuartige Systemlösung für multimodalen Güterumschlag an Hauptgleisen, bei der Güter im Bahnverkehr so simpel wie Personen ein-, aus- und umsteigen

Auch im Fernsehen war die Smart Cargo Station bereits präsent. So drehte ein Team des Journalisten Rico Herkner einen Filmbeitrag unter dem Titel „Logistikrevolution aus Cottbus“ für den Rundfunk Berlin Brandenburg (RBB), welcher in der Sendung „Brandenburg Aktuell“ am 07.01.2019 ausgestrahlt wurde.

Besonders hervorzuheben ist der Messestand des Lehrstuhls Eisenbahnwesen auf der weltgrößten Messe für Bahntechnik, der InnoTrans in Berlin vom 18. bis 21. September 2018. Dieser Messeauftritt war auch für die gesamte BTU Cottbus-Senftenberg eine Premiere, wobei die Smart Cargo Station eine zentrale Rolle einnahm. Die Organisation erfolgte gemeinsam mit der Abteilung Wissens- und Technologietransfer der BTU. Extra zu diesem Zweck wurde das bereits beschriebene Ausstellungs- und Messemodell angefertigt. Die Präsentation stieß auf ein reges, fachliches und öffentliches Interesse bei den Messebesuchern. Im Anschluss an die InnoTrans folgte eine weitere Präsentation im Rahmen des 3. BTU-Transfertages am 17.10.2018, der sich speziell an Unternehmer richtete, die universitäre Forschungsprojekte in wirtschaftliche Ideen überführen möchten.

Das Thema Smart Cargo Station war auch Gegenstand von fachlichen Vorträgen. So sprach Christian Menzel auf der 24. Sicherungstechnischen Fachtagung am 27.09.2018 zum Thema „Sicherungstechnische Integration der Smart Cargo Station“ an der Technischen Universität Dresden. Prof. Thiel hielt auf dem Unternehmertag Lausitz in Schwarze Pumpe am 19.10.2018 einen Vortrag mit dem Titel „Wirtschaftsentwicklung durch Infrastrukturentwicklung - Beitrag der BTU für die regionale Wirtschaft - Smart Cargo Station“. Weiterhin wurde der Arbeitsstand der Dissertation von Christian Menzel zur Smart Cargo Station regelmäßig fakultätsöffentlich an der BTU Cottbus-Senftenberg bei Doktorandenkolloquien des Lehrstuhls Eisenbahnwesen und auch an der TU Dresden (bei Zweitgutachter Prof. König und bei der Professur Verkehrssicherungstechnik) vorgestellt.

Bei allen Veröffentlichungen, Präsentationen und Vorträgen erging stets der ausdrückliche Hinweis auf die Forschungsförderung seitens der Karl-Vossloh-Stiftung in diesem Projekt.

10. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Smart Cargo Station das richtige Konzept zur richtigen Zeit ist, um einen entscheidenden und bisher wenig bedachten Beitrag zu einer ökologischen Verkehrswende im Gütertransport zu leisten. Diese Zielperspektive aus der Entstehungsphase des Projektes wurde gegen Projektende durch die positiven Reaktionen der Öffentlichkeit auf beeindruckende Art bestätigt. Daher ist es nur folgerichtig, dass die Idee der Smart Cargo Station nicht mit dem geförderten Forschungsprojekt auf der gegenwärtigen Entwicklungsstufe endet.

Gerade die Region der Lausitz bietet sehr gute Voraussetzungen, um die Smart Cargo Station in der Praxis zu testen. Die Lausitz weist viele kleine und mittlere Städte mit lokaler Industrie und Gewerbe auf. Gleichzeitig führen wichtige Bahnkorridore, z. B. in das Nachbarland Polen, durch die Region. In den kommenden Jahrzehnten steht der Lausitz ein umfassender Strukturwandel bevor, denn die bedeutsame Braunkohleförderung und -verstromung soll im Jahr 2038 enden. Daher muss sich die Region komplett neu ausrichten, um nicht ins wirtschaftliche Abseits zu geraten. Zu diesem Zweck wurde 2018 die sog. „Kohlekommission“ einberufen, welche am 30.01.2019 ihren Abschlussbericht vorlegte. Darin wurden vier „Lausitz-Cluster“ für die zukünftige Entwicklung definiert, wovon ein Cluster den Titel „Mobilität“ trägt. Mit umfangreichen Förderprogrammen soll der Kohleausstieg wirtschaftlich abgedeckt werden. In diesem Zusammenhang ergeben sich auch realistische Chancen, die Smart Cargo Station in der Lausitz zu etablieren und für die zu stärkenden Wirtschaftszweige zukunftsfähige Zugangsstellen zum leistungsfähigen und energieeffizienten Schienengüterverkehr zu schaffen.

Um ein Anschlussprojekt auf den Weg zu bringen, wurde der Kontakt zur Wirtschaftsregion Lausitz GmbH hergestellt. Möglich wäre beispielsweise die Nutzung

des 2019er Förderprogramms „Unternehmen Revier“. Zum Zeitpunkt dieses Abschlussberichts laufen die dafür nötigen Verhandlungen. Bereits in Bearbeitung sind studentische Projekt- und Abschlussarbeiten unter Nutzung digitaler Planungsmethoden des Building Information Modeling (BIM) zur Untersuchung der baulichen Eignung von SCS-Standorten im Großraum Senftenberg. Der weitere Forschungsbedarf geht jedoch über die fachlichen Schwerpunkte des Lehrstuhls Eisenbahnwesen deutlich hinaus. Daher bedarf es einer umfassenden, interdisziplinären Zusammenarbeit mit anderen BTU-Lehrstühlen, anderen Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Wirtschaftspartnern.

Mit dem vorliegenden Arbeitsergebnis wurden System und Systemumgebung sowie das bauliche und betriebliche Konzept der Smart Cargo Station beschrieben. Der nächste thematische Komplex sollte eine umfassende Wirtschaftlichkeitsanalyse sein. Es muss geklärt werden, unter welchen Faktoren eine Smart Cargo Station mit welchem Betreibermodell wirtschaftlich arbeiten kann. Auf der einen Seite stehen die Planungs- Bau- und Betriebskosten, dazwischen das Betriebskonzept und auf der anderen Seite die zu erzielenden Einnahmen. Diese werden stark standort- und nutzerabhängig sein und durch die Akzeptanz des Angebotes beeinflusst werden. Die Akzeptanz wiederum hängt vor allem davon ab, ob der Schienengüterverkehr mit Hilfe der Smart Cargo Station hinsichtlich Transportkosten, -geschwindigkeit und -qualität besser und einfacher funktioniert als der direkte Konkurrent LKW. All diese Aspekte sind mit einer Analyse zu untersuchen und mit konkreten Maßnahmen und Zahlen zu hinterlegen, was für sich gesehen ein eigenes Forschungsprojekt zum Thema **Wirtschaftlichkeit der SCS** ausfüllen kann.

Die relevante Steigerung des Schienengüterverkehrs ist ein hoch gestecktes Ziel, das neben der SCS noch deutlich mehr Verbesserungen im Bahnsystem erfordert. Dazu gehört der Kapazitätsausbau von Netz und Knoten, um die Stärken des Mischbetriebes von Personen- und Güterverkehr durch Abbau der Schwächen besser nutzen zu können. Die Geschwindigkeit zukünftiger Güterzüge muss denen von Personenzügen entsprechen, also schneller werden, denn gleich schnelle Züge bedeuten eine optimale Nutzung der Streckenleistungsfähigkeit. Am Ende derartiger Überlegungen kann ein Deutschlandtakt nicht nur für den Personen-, sondern auch für den Güterverkehr stehen. Zu diesem Zweck sind bahnbetriebliche Simulationen durchzuführen. Die Smart Cargo Station sollte bei weiteren Projekten nicht mehr separat betrachtet werden, da sie in ein Gesamtsystem eingebettet ist und nur einen Teil davon darstellt. Umschreiben lässt sich das mit dem Begriff „Smart Cargo Logistics“. Besonders wichtig ist dabei eine gemeinsame Cargo-Datenplattform, welche alle betriebs- und nutzerrelevanten Informationen für sämtliche Akteure in Echtzeit zur Verfügung stellt. **Logistikprozesse und Kapazitätsfragen im Zusammenhang mit der SCS** gehören daher ebenfalls wissenschaftlich betrachtet.

Kleinteiligere, aber nicht minder wichtige Aufgaben liegen im Bereich der Komponenten- und Geräteentwicklung für die Smart Cargo Station. Mit dem Demonstrator des Cargo Train Device ist ein Anfang gemacht, jedoch muss dieser noch komplettiert und mit dem Local Positioning System (UWB-Radar) nachgerüstet werden. Für die

Safety-Zone-Schranken können theoretisch am Markt verfügbare Produkte eingesetzt werden, jedoch müssen die genauen Anforderungen noch spezifiziert und durch Tests validiert werden. Ähnliches gilt für den Steuerungsrechner und die Vernetzung der aktiven SCS-Technikkomponenten, wo Programmierungsbedarf für eine Steuerungssoftware vorliegt. Die SCS ist eine Entwicklung des Digitalzeitalters, ohne dessen neuen Möglichkeiten das Konzept nicht denkbar wäre. Dennoch existieren kaum maßgeschneiderte Lösungen, gerade hinsichtlich neuer Bahnanwendungen. In Zusammenarbeit mit Akteuren und der Aufsichtsbehörde könnte eine erste Prototyp-Anlage einer SCS entstehen, um die Tauglichkeit des Systems in allen Bereichen zu erproben, damit sich das Verfahren des Güterumschlags an Hauptgleisen als Stand von Wissenschaft und Technik im Bahnsektor etablieren kann. Auch auf der Fahrzeugseite wären Weiterentwicklungen von Vorteil. Zwar können bereits heutige Lokomotiven und Tragwagen durch geringe Anpassungen SCS-fähig gemacht werden, bei einer neuen Generation von Fahrzeugen müssten die entsprechenden Funktionen optimaler Weise von vornherein integriert werden. Zukünftige Tragwagen sollten generell uneingeschränkt für Horizontalumschlag geeignet sein. Dazu müssten die Sicherungszapfen für die Behälter mit ca. 12 cm hohen Konsolen unterfüttert werden und die seitlichen Andockprofile für den Mover-LKW angeschweißt werden. Dadurch entfielen bei sehr geringem fertigungsbedingtem Mehraufwand die Adapterrahmen, ohne jegliche Nutzungseinschränkung bei herkömmlichem Kranumschlag. Der Cargo Train Device muss nicht zwingend als eigenständiges Gerät zur Anwendung kommen. Er könnte konstruktiv in die Bordsysteme einer Lokomotive integriert werden. Allein durch das LPS ergäbe sich darüber hinaus ein zusätzlicher Nutzen bei der Disposition in größeren Bahnhöfen durch die gleisscharfe Ortungsmöglichkeit mit Bereitstellung der Wagenzug- und Triebfahrzeugdaten bei Vorhandensein einer örtlichen LPS-Infrastruktur. Dieses Bündel an Themen bildet den weiterführenden Schwerpunkt **Forschung und Entwicklung für SCS-Systemkomponenten**.

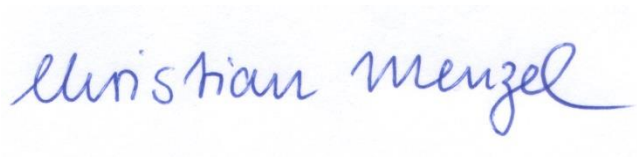
Auch die Labor- und Lehranlage SCS an der BTU weist noch offene Restarbeiten (zur Erlangung der vollen Funktionsfähigkeit) und darüber hinaus Weiterentwicklungspotential auf. Für die Lehre wäre es von großem Nutzen, die Betriebsstellen mit einzelnen Fahrdienstleiter-Arbeitsplätzen nachzurüsten, die einzeln von Automatik auf manuelle Bedienung umschaltbar sind. So könnten fahrdienstliche Prozesse mit unterschiedlich großen Gruppen von Studierenden oder bei Weiterbildungen trainiert werden. Auch die Simulation von Logistikprozessen des Schienengüterverkehrs mit aktiver Einbeziehung der Trainingsteilnehmer wäre denkbar. Diese könnten Aufgaben aus Sicht eines EVU/ EIU übernehmen, z. B. Trassenbuchungen, oder aus Sicht des SCS-Betreibers/ Kunden das Tracking/ Tracing einzelner Behälter übernehmen. Dazu wäre die **Integration der bereits beschriebenen Cargo-Datenplattform in das gegenständliche Modell der Labor- und Lehranlage** nötig.

Der Lehrstuhl Eisenbahnwesen der BTU Cottbus-Senftenberg bedankt sich an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich bei der Karl-Vossloh-Stiftung für die Gewährung der Förderung, welche die dargestellte Entwicklung der Smart Cargo Station erst ermöglicht hat. Für den Projektanteil des Lehrstuhls Graphische Systeme ergeht ein gesonderter Abschlussbericht.

Cottbus, den 08.05.2019

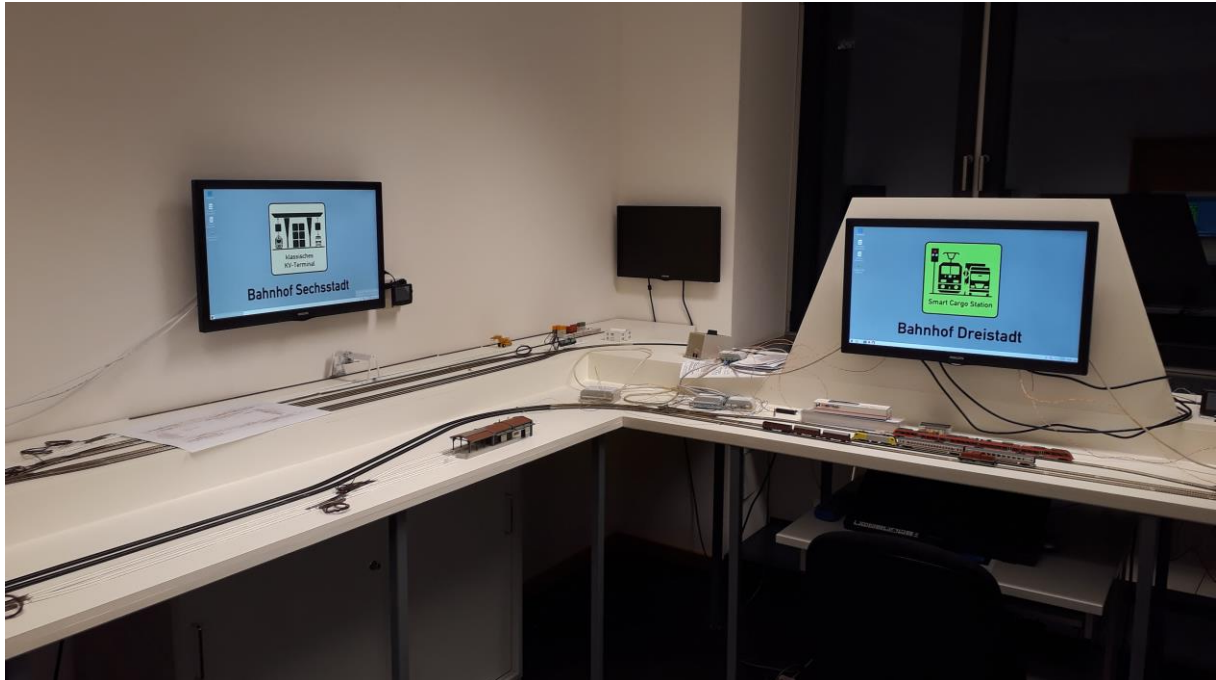
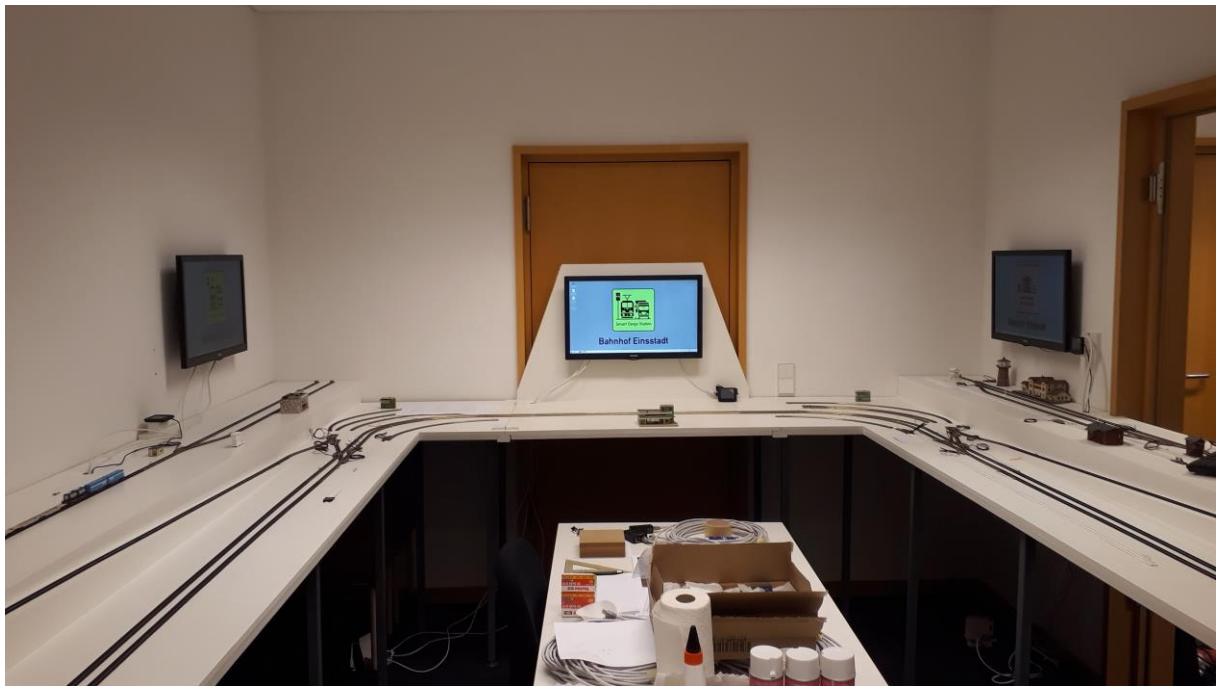


Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Christoph Thiel (Lehrstuhlinhaber)

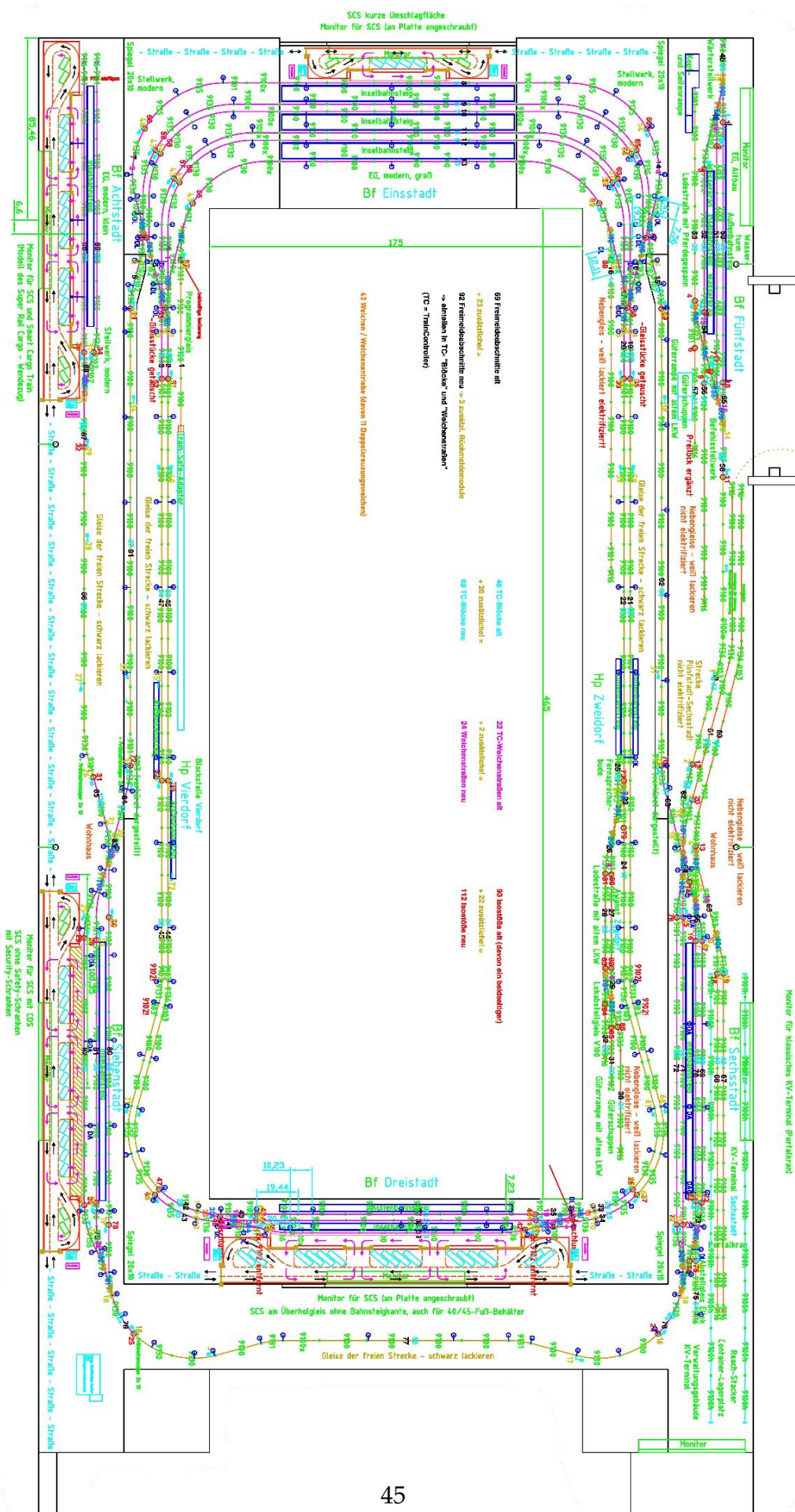


Christian Menzel, M.Sc. (Doktorand)

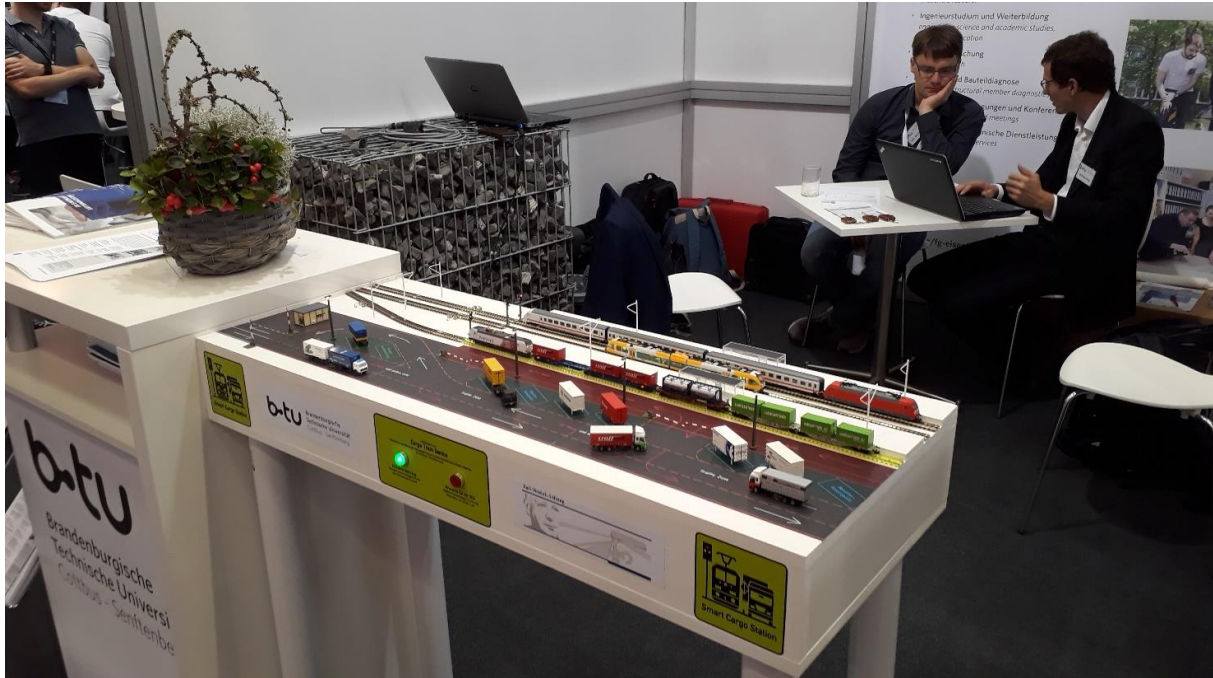
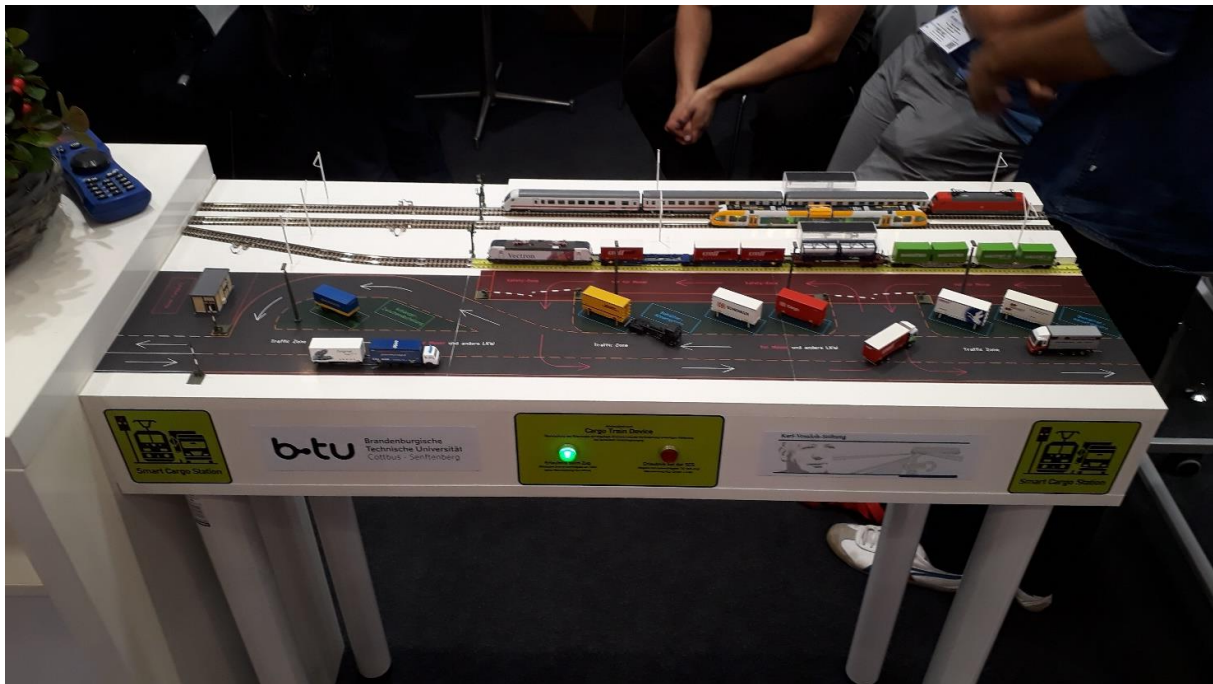
Anhang 1: Labor- und Lehranlage der Smart Cargo Station in den Räumen des Lehrstuhls Eisenbahnwesen an der BTU Cottbus-Senftenberg



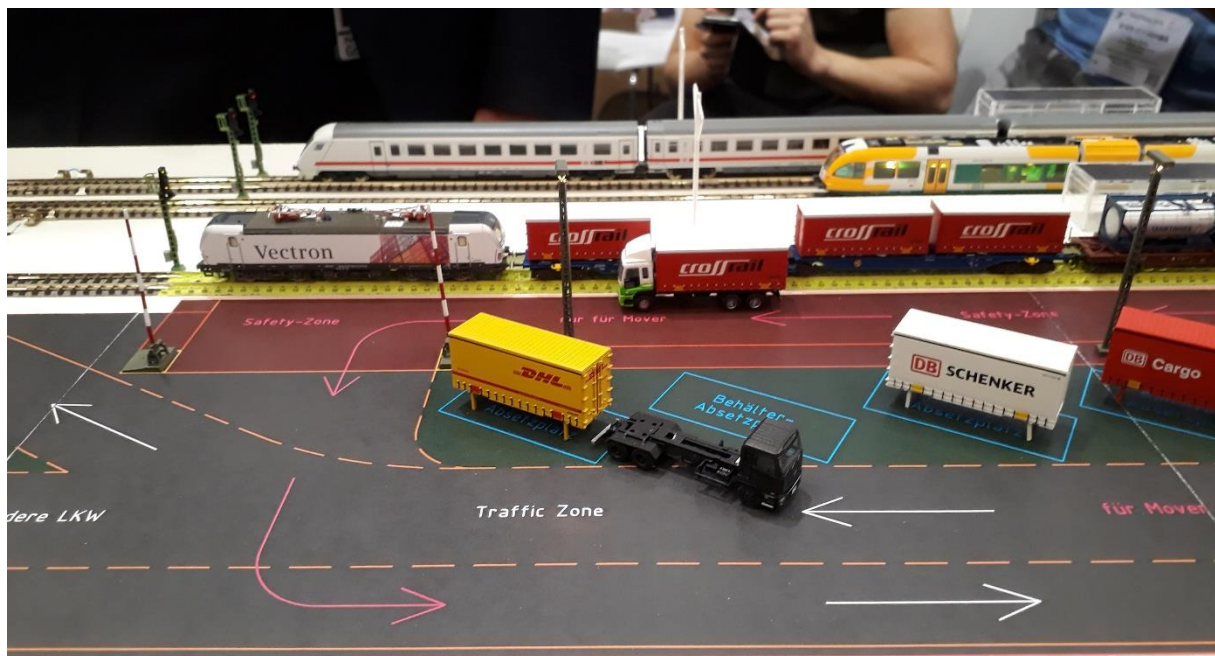
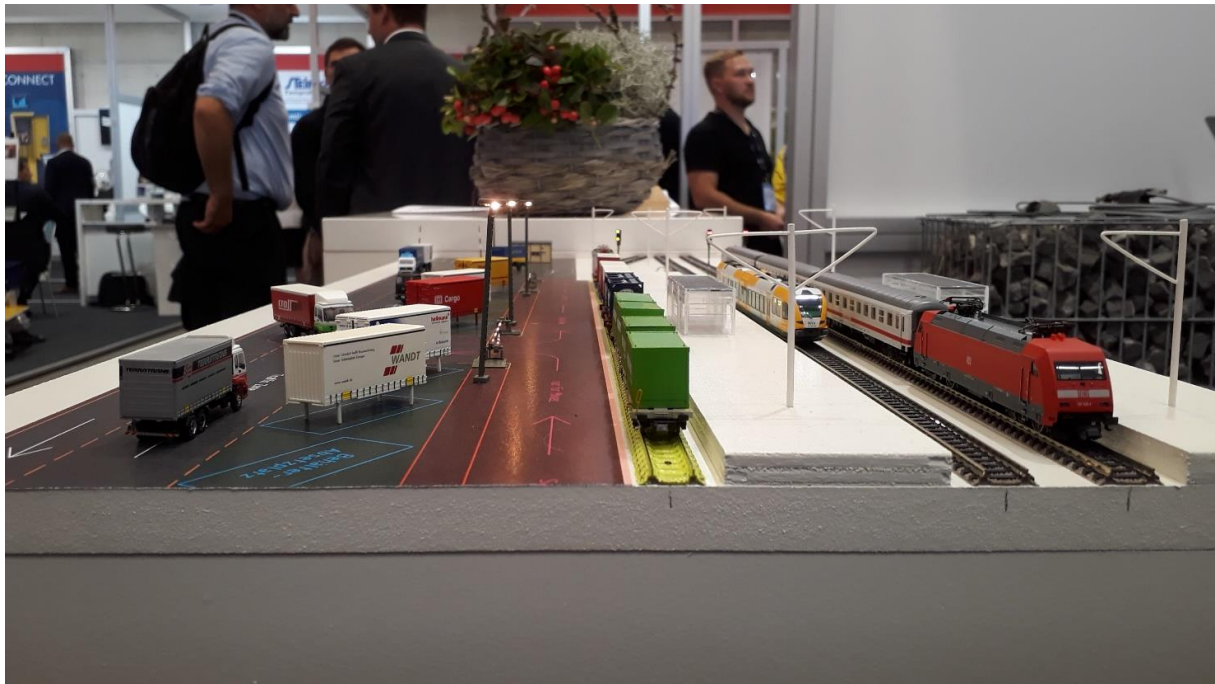
Anhang 2: Gleisplan der Labor- und Lehranlage



Anhang 3: Präsentation des SCS-Forschungsprojektes mit dem eigens dafür angefertigten Messemodell auf der InnoTrans 2018 in Berlin:







Alle Fotos: Christian Menzel, Lehrstuhl Eisenbahnwesen, BTU Cottbus-Senftenberg



Smart Cargo Station (SCS)



Wo Güter im Schienenverkehr so simpel wie Personen ein-, aus- und umsteigen

Vorspann

LKW beherrschen heute den Güterverkehr. Überlastete und geschädigte Straßen, ein großes Unfallrisiko, Niedriglohnarbeit, Luftverschmutzung und hoher Verbrauch fossiler Treibstoffe prägen diese energetisch ineffiziente Art des Transportes. Die einst dominierende Eisenbahn wird von der europäischen Politik zu Recht wieder als Alternative gefordert. Innovative Technologien des kombinierten Verkehrs Straße-Schiene setzen sich jedoch nur schleppend durch, weil geeignete Zugangsstellen zum Schienennetz fehlen.

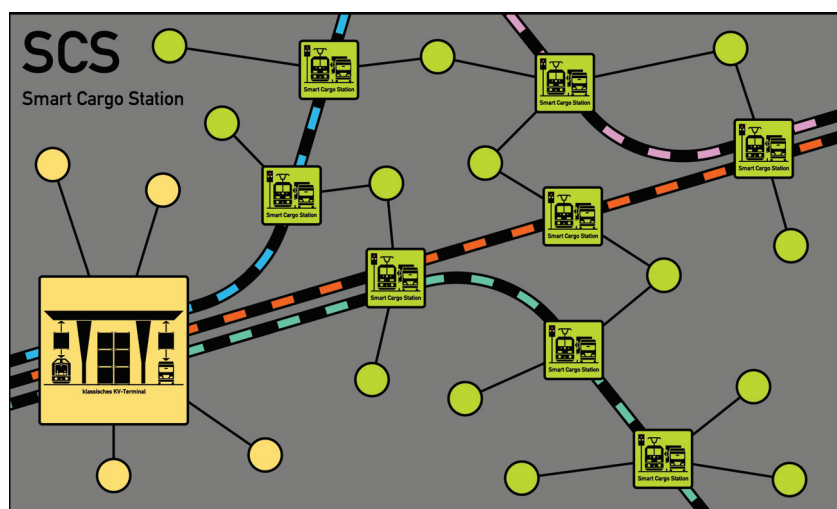
Im Vordergrund steht daher die Frage: Wie kommen die Güter eigentlich auf die Schienen?

➔ **Smart Cargo Stations** könnten die Antwort liefern!

Forschungsschwerpunkt

**Übertragung der Grundprinzipien
des öffentlichen Personenverkehrs
auf den Gütertransport**

- ➔ **Smart Cargo Stations** in dezentraler Lage
- ➔ Zugangsstellen nah an Gewerbe und Industrie
- ➔ Behälterumschlag während eines Verkehrshalts



**NEU: Güterumschlag an
Hauptgleisen ermöglichen**

schnelle Umschlagsprozesse

genormte Gestaltung

modulare Erweiterbarkeit

**kein Eingriff in bestehende
Stellwerkstechnik nötig**

keine zusätzlichen Gleise nötig

Integration in bestehende Bahnanlagen

Woher kommen die benötigten Areale in den Bahnhöfen?

➔ Nutzung vorhandener Brachflächen aus Gleisrückbau

Stiftungsprojekt

**„Interaktion von neuen Technologien des kombinierten Güterverkehrs mit der
Gestaltung und dem Betrieb von Bahnanlagen“**

gefördert durch:

Karl-Vossloh-Stiftung

bearbeitet durch:

