

**Automation im Schienengüterverkehr:
Projekt «Optimierung letzte Meile/Zugbildung».**

Abschlussbericht SBB Cargo Nr. V, gemäss Verfügung
BAV vom 11. Dez 2019

Olten, 28.02. 2022

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1. Einleitung	6
2. Resultate der Teilprojekte	8
2.1. Rahmenbedingungen Automationspilot im kombinierten Verkehr	8
2.1.1. Betriebskonzept, Fahrplan und Ressourcendimensionierung	8
2.1.2. Umbau und Materiallieferungen	10
2.2. Teilautomatische Mittelpufferkupplung	12
2.2.1. Evaluation Kupplungstyp und Anbietermarkt und Lieferantenwahl	12
2.2.2. Technologische Umsetzung	13
2.2.3. Test der Prototypen und Entwicklungsprozess	15
2.2.4. Zulassung und Nachweisführung für Wagen und Lokomotiven	17
2.2.5. Ausbildung	18
2.2.6. Einführungsplanung	19
2.2.7. Lessons Learned, Betriebserfahrung und Test	21
2.2.8. Umfrage zur Anwendung der AKU	24
2.2.9. Abschluss und nächste Schritte	25
2.3. Automatische Bremsprobe	25
2.3.1. Evaluation Anbietermarkt und Lieferantenwahl	25
2.3.2. Test der Prototypen	26
2.3.3. Entwicklungsprozess und technische Realisierung des ABP Systems	26
2.3.4. Normative Anforderungen, Zulassung und Nachweisführung	29
2.3.5. Ausbildung, Betriebseinführung und Einführungsplanung	30
2.3.6. Lessons Learned bis zum aktuellen Projektstand	31
2.3.8. Abschluss und nächste Schritte	32
2.4. Unbesetzte Spitze (Teilautonome Rangierlok)	33
2.4.1. Evaluation Anbietermarkt und Lieferantenwahl	33
2.4.2. Test der Prototypen	33
2.4.3. Entwicklungsprozess	33
2.4.4. Ergebnisse und wesentliche Erkenntnisse	34

2.4.5.	Konsequenzen für den Ein-Personen-Betrieb und nächste Schritte	36
3.	Schlussfolgerungen und Nutzen für den Gütertransport auf der Schiene	37
3.1.	Reflektion der Zielerreichung und Erkenntnisse für weiterführende Projekte	38
3.2.	Reflexion Zielbild Ein-Personen-Betrieb	39
3.3.	Ergebnisse aus dem Gutachten der TU Dresden von 2020	41
3.4.	Ausblick nationaler und internationaler Kontext	42
4.	Abkürzungsverzeichnis	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: KV-Netz, in welchem die AKU eingesetzt wurde	9
Abbildung 2: AKU im gekuppelten Zustand.	14
Abbildung 3: Re420 mit Hybridkupplung.....	14
Abbildung 4: Tm232 mit Rangierkupplung	15
Abbildung 5: Monitoringkonzept (Auszug aus dem Originaldokument)	21
Abbildung 6: Systembild Automatische Bremsprobe	27
Abbildung 7: Anzeige des Bremsstatus auf dem Tablet.....	28
Abbildung 8: Wintertest der unbesetzten Spitze in Gossau	34
Abbildung 9: Kuppelversuch mit Funkfernbedienung und Tablet für die Bildübertragung.....	35
Abbildung 10: Vom Objekterkennungssystem erkannter Hemmschuh.....	36
Abbildung 11: Fahrstrassenerkennung und Objekterkennung	37
Abbildung 12: Detailanalyse Prozessketten.....	41

Danksagung

SBB Cargo dankt dem Bundesamt für Verkehr (BAV) für die finanzielle Unterstützung, die dieses Projekt möglich gemacht hat. SBB Cargo ist überzeugt, dass dieses Projekt und dessen Nachfolger die Realisierung des automatisierten Güterverkehrs in der Schweiz und in Europa einen grossen Schritt näherbringen. Das Projektteam «Automation» von SBB Cargo dankt insbesondere der Sektion Güterverkehr des BAV und den Kollegen der Sektionen Fahrzeuge sowie Sicherheit für die Zusammenarbeit bei der Umsetzung dieses Projekts.

Zusammenfassung

Die Umsetzung von Innovationen ist die Basis für die Zukunftsfähigkeit des Schienengüterverkehrs. Mit der Automatisierung können zahlreiche manuelle Arbeitsschritte in der Produktionsvorbereitung und -abwicklung ersetzt werden. Am Anbietermarkt gibt es jedoch keine verfügbaren technischen Lösungen, so dass SBB Cargo in Eigenregie mit Partnern das identifizierte Technologieportfolio in Angriff genommen hat.

Der vorliegende Bericht bildet den Abschluss des Projekts Automation im Schienengüterverkehr (SGV): «Optimierung letzte Meile/Zugbildung». Basis des Projekts bildet die Verfügung des Bundesamt für Verkehr (BAV) vom 27. März 2018 und deren Aufdatierung vom 11. Dezember 2019, nachdem SBB ein Gesuch um Wiedererwägung von SBB Cargo gestellt hatte. Parallel dazu verabschiedeten das Cargo Forum Schweiz (CFS), der Verband öffentlicher Verkehr (VöV) und das BAV 6. Januar 2018 eine Absichtserklärung, welche die Bestrebungen unterstützt.

Wie bereits im Projektantrag von 2017 vermerkt war das Ziel des Vorhabens die «Pilotierung der verschiedenen technologischen Innovationsprojekte», konkret der teilautomatischen Mittelpufferkupplung (AKU), der automatischen Bremsprobe (ABP) sowie der unbesetzten Spitze (UBS). Ziel der Pilotierung war, die technologischen Voraussetzungen zu schaffen, um zukünftig die Produktionsabläufe im Wagenladungsverkehr von der Zugvorbereitung bis zur Zustellung im Anschlussgleis durchgängig mit einer Person, statt in der Regel mit zwei bis drei Personen, durchzuführen.

In den verschiedenen Projekten wurde technologische Pionierarbeit geleistet und es konnten unterschiedliche technische Reifegrade erreicht werden, teilweise haben sich die Vorhaben als akutell noch nicht umsetzbar erwiesen.

Tabelle 1: Übersicht realisierte Projekte

Vorhaben	Status	Zulassung	Anzahl Fahrzeuge		Resultate
Automatische Mittelpufferkupplung (AKU für Wagen, Hybridkupplung HK für Lokomotiven, Rangierkupplung RK für Tm232)	Ausrüstung im KV-Verkehr, Regelbetrieb läuft seit Mai 2019	Wagen Sgnss, Sdggmrs unbefristet, Loks Re420, Am843, Tm232 befristet, Auflagen BAV erfüllt	Sgnss (Sdggmrs)	56 30	- Stabile Betriebsprozesse - Technik AKU und HK in mehreren Rollkuren optimiert - Basis für Kupplungsentscheid Europa gelegt
			Zwischenwagen	9	
			Re420	12	
			Am843	11	
			Tm232	3	
Automatische Bremsprobe (ABP)	Parallelbetrieb erfolgreich abgeschlossen; besondere Herausforderungen: Übergabe Sicherheitsverantwortung eines manuellen Prozesses an ein System; Schaffung neuer Rollen und Verantwortlichkeiten; Nachweisführung Safety	Sicherheitsnachweis in Erstellung.	Sgnss und Sdggmrs wie bei AKU		- Kompetenzaufbau Nachweisführung nach EN 50126ff. - hohe Akzeptanz beim Personal während des Parallelbetriebs

	und Security IT neue Disziplin in der Branche			
Unbesetzte Spitze UBS	Verfügbaren Basistechnologien (4G-Netz) reichen nicht aus für eine sichere Bildübertragung	Antrag auf Typenzulassung zurückgezogen	1 (Eem923)	- für eine sichere Bildübertragung in Echtzeit (und ohne Kompression) ist ein performanteres Übertragungsnetz erforderlich (z.B. 5G) - für verträgliche Ergonomie ist die AKU Voraussetzung - System wird weiterverfolgt als Assistenzsystem

Im Laufe der Projektarbeiten konnte eine Reihe von wichtigen Erkenntnissen und Ergebnissen erzielt werden, welche die nötigen Inputs für die weitere Bearbeitung Automatisierungs- und Digitalisierungsinitiativen im Schienengüterverkehr liefern:

- Unter anderem durch das Pilotprojekt zur AKU von SBB Cargo wurde ein europäischer Aufbruch zur Umsetzung der digitalen automatischen Kupplung ausgelöst. Es entstanden weitere Initiativen wie z.B. europäische Pilotprojekte (DAC4EU) und Umsetzungsbestrebungen (EDDP).
- Die technischen Vorarbeiten von SBB Cargo haben massgeblich zur Auswahl des Kupplungstyps Scharfenberg auf europäischer Ebene beigetragen.
- Die neuen Technologien werden von den Mitarbeitenden gut angenommen und der nötige Veränderungsprozess stellt auf Basis bedienerfreundlicher Anwendungen und massgeschneiderten Schulungen keine grössere Hürde für die Einführung dar.
- Eine Systementwicklung für sicherheitsgerichtete Anwendungen im Bahnbetrieb stellt sowohl die Industrie als auch die EVU vor grosse Herausforderungen. Da es im Güterverkehr keine Referenzsysteme gibt (z.B. bei der automatischen Bremsprobe) muss sehr viel zeitintensive Grundlagenarbeit geleistet werden, welche das Projekt massiv verzögert hat.
- Die Rolle des EVU als Integrator der Lösungen (Integration in die Betriebsprozesse, in die Fahrzeuge und in die IT-Landschaft) ist neu im Güterverkehr und erfordert neue Kompetenzen und Rollen, die so erst aufgebaut werden müssen.
- Der Weg vom Prototypen hin zum serien- und betriebstauglichen Produkt (Zuverlässigkeit, Bedienbarkeit) geht über mehrere Iterationen im Realbetrieb.
- Sobald Betriebserfahrungen im kommerziellen Realbetrieb gesammelt werden sollen, ist eine vollständige Zulassung des Systems eine Eingangsvoraussetzung, was den Aufwand für Pilotbetriebe sehr umfangreich werden lässt.
- Die Anforderungen an die Technologie sind im sicherheitsgerichteten Umfeld ungleich höher als im Commoditybereich (z.B. Bildübertragung).

Die Umsetzung des Projektes Automation hat sowohl aus technischer als auch aus betrieblicher Sicht eine grosse Lernkurve für alle Beteiligten mit sich gebracht.

1. Einleitung

Die Prozesse im Wagenladungsverkehr (WLV) basieren weitgehend auf mechanischen Technologien des vergangenen Jahrhunderts. Zahlreiche Arbeitsschritte in der Produktionsvorbereitung und -abwicklung erfolgen bis heute manuell, ohne technische oder digitale Unterstützung. Dies führt zu einer hohen Anzahl von Manipulationen pro Wagen auf der Transportkette (z. B. Kuppeln und Entkuppeln, Durchführung der Bremsprobe), was den Schienengüterverkehr langsam und teuer macht.

Trotz der manuellen Prozesse nimmt der Transport von Gütern auf der Schiene in der Schweiz weiterhin einen hohen Stellenwert ein. Die zunehmende Deindustrialisierung in der Schweiz, kleiner werdende Losgrössen, wie auch Innovationen bei anderen Verkehrsträgern, insbesondere im Strassengüterverkehr, bringen den Schienengüterverkehr jedoch unter Druck.

Die Umsetzung von Innovationen und verstärkte Investitionen in die Automatisierung des Schienengüterverkehrs bilden die Basis für dessen Zukunftsfähigkeit. Durch Automation können die Umlaufzeiten verkürzt und die Güter effizienter transportiert werden. So wird mit der Einführung einer automatischen Kupplung (AKU) und der automatischen Bremsprobe (ABP) die Produktivität durch den Wegfall des manuellen Kupplungsprozesses erhöht. Von der daraus resultierenden Erhöhung der Systemgeschwindigkeit profitieren nicht nur Eisenbahnverkehrsunternehmen, wie SBB Cargo, sondern auch die Infrastrukturbetreiber, Verlader und das System Schiene als Ganzes.

Der vorliegende Bericht bildet den Abschluss zur ersten Phase der Einführung der Automation im kombinierten Verkehr (KV) des Projekts «Optimierung letzte Meile/Zugbildung».¹ Die Arbeiten werden im Zuge der Erweiterung der Pilotanwendungen auf das komplette KV-Netz weitergeführt (insbesondere die Zulassung und Betriebsaufnahme der automatischen Bremsprobe), allerdings im Rahmen eines zweiten Projektes, zu welchem zu einem späteren Zeitpunkt ein entsprechender Abschlussbericht erstellt wird.

Den ersten Antrag für eine Förderung von Innovationen im Schienengüterverkehr gemäss Artikel 10 des Gütertransportgesetzes (GüTG) reichte SBB Cargo am 27. Juli 2017 ein. Dieser Antrag umfasste die zwei Teile «Optimierung letzte Meile/Zugbildung» und «Neue Prüfkonzeppte». Nach der Vorprüfung des Bundesamts für Verkehr (BAV) wurde der Teil «Neue Prüfkonzeppte» herausgelöst und am 26. Oktober 2017 das Gesuch zur «Optimierung letzte Meile/Zugbildung» durch SBB Cargo eingereicht. Hierzu folgte am 26. Januar 2018 ein Nachtrag sowie das Gesuch um Wiedererwägung vom 23. September 2019.

In der Verfügung vom 27. März 2018 stimmt das BAV einer Förderung gemäss Artikel 10 GüTG zu. Am 11. Dezember 2019 wurde diese Verfügung auf Basis des Gesuchs um Wiedererwägung von SBB Cargo durch das BAV aufdatiert. Die Auszahlung der Fördersumme erfolgt,

¹ Im vorliegenden Bericht, auf Basis Art. 23 der Gütertransportverordnung (GüTV), rapportiert SBB Cargo über die Umsetzung der technischen Neuerungen und die praktischen Resultate und schätzt den Nutzen für den Gütertransport auf der Schiene ein. Die Inhalte dieses Berichts gelten nicht als Berufs-, Geschäfts- oder Fabrikationsgeheimnis im Sinne des Öffentlichkeitsgesetzes vom 17. Dezember 2004.

wenn der Nachweis erbracht ist, dass, entsprechend dem Wiedererwägungsgesuch vom 23. September 2019, 65 KV-Tragwagen (55 x Vollumrüstung plus 10 x Zwischenwagen), 12 Streckenlokomotiven sowie 14 Rangierlokomotiven im Besitz von SBB Cargo umgerüstet und sieben Hilfskupplungen im Abschleppfall und 14 Reservekupplungen beschafft wurden. Ausserdem muss SBB Cargo die Ergebnisse der Pilotanwendungen, die praktischen Resultate und den tatsächlichen Nutzen für den Gütertransport auf der Schiene für Dritte zugänglich machen.

Parallel zur Stellung des Gesuchs und den Verfügungen erarbeiteten das Cargo Forum Schweiz (CFS), der Verband öffentlicher Verkehr (VöV) und das BAV eine gemeinsame Absichtserklärung zur Förderung und Umsetzung technischer Neuerungen im schweizerischen Schienengüterverkehr, die am 6. Januar 2018 veröffentlicht wurde. Mit der Unterzeichnung der Erklärung stellte sich die Branche vollumfänglich hinter die mit dem Projekt «Optimierung letzte Meile/Zugbildung» verfolgte Stossrichtung.²

Im Rahmen des vorliegenden Pilotverkehrs wurde die automatische Kupplung ab 2019 im Liniennetz des kombinierten Verkehrs (KV) von SBB Cargo getestet. Die automatische Bremsprobe wird ab 2022 ebenfalls in dem genannten Teilnetz verprobt. Für die unbesetzte Spitze gab es einzelne Versuchsträger im Teambahnhof Gossau.

Das Projektziel bestand zum einen in der Entwicklung und Einführung der drei oben genannten Technologien, zum anderen in der Bestätigung der Anwendbarkeit im Zielbild eines effizienten Schienengüterverkehrs. Sowohl SBB Cargo als auch dem BAV war bei Projektstart bewusst, dass der hohe Grad an Neuerungen zu Änderungen bezüglich des Zeitplans und der Umsetzung, aber auch der Kostenprognose führen kann.

Die Basistechnologien der AKU und auch die sehr komplexe Systementwicklung der ABP können bestätigt werden. Auch die erwarteten Zeiteinsparungen in der Produktion lassen sich verifizieren. Die unbesetzte Spitze kann aufgrund fehlender Basistechnologien aktuell noch nicht in Serie umgesetzt werden (siehe Kapitel 2.4.). Flankierende Untersuchungen wie z. B. eine Studie mit der TU Dresden bestätigen den Weg der Automatisierung, auch wenn die Einführungshürden z. T. höher sind als angenommen.

Im nächsten Kapitel werden die Resultate der Teilprojekte – teilautomatische Mittelpufferkupplung, automatische Bremsprobe und die teilautonome Rangierlok – im Detail vorgestellt. Das Kapitel beginnt mit einer Einschätzung der Rahmenbedingungen für den Automationspilot im kombinierten Verkehr.

Das abschliessende Kapitel drei reflektiert den Nutzen des Projekts für den Gütertransport auf der Schiene. Es werden die Erkenntnisse für die Umsetzung, das Zielbild des Ein-Personen-Betriebs, die Ergebnisse aus einem Gutachten der TU Dresden von 2020 und Schlussfolgerungen für die Migration vorgestellt. Last but not least präsentiert das Kapitel einen Ausblick auf die Entwicklungen im nationalen und internationalen Kontext.

² Sinngemäss ist damit die Anhörung der Branche gemäss Art. 21 Abs. 3 GüTV erfolgt und zu einem positiven Ergebnis gekommen.

2. Resultate der Teilprojekte

Dieses Kapitel widmet sich den drei Teilprojekten automatische Kupplung, der automatischen Bremsprobe und der unbesetzten Spitze. Einleitend werden die Rahmenbedingungen bei Start des Projekts dargelegt. Ursprünglich war geplant, die AKU und die ABP gleichzeitig einzuführen. Aufgrund der umfangreichen Anforderungen an die Systementwicklung der ABP musste dieses Vorgehen revidiert werden. Die grundsätzlichen Überlegungen zu Netzdesign, Fahrplanplanung, Ressourcenbedarf und Umbautätigkeiten, welche im Abschnitt 2.1 vorgestellt werden, gelten für beide Teilprojekte AKU und ABP. Die zeitliche Abfolge ist jedoch gestaffelt. In den Abschnitten 2.2, 2.3 und 2.4 werden die einzelnen Teilprojekte AKU, ABP und UBS vertieft vorgestellt und deren Resultate gewertet.

2.1. Rahmenbedingungen Automationspilot im kombinierten Verkehr

2.1.1. Betriebskonzept, Fahrplan und Ressourcendimensionierung

Für die Detailkonzept- und Realisierungsphase wurde jeweils eine Projektgruppe mit Vertreterinnen und Vertretern der Bereiche Asset-Management, Einkauf, Finanzen sowie der Produktion von SBB Cargo gebildet. Der Einbezug weiterer Stellen aus den Linienorganisationen erfolgte nach Bedarf durch die Teilprojektleiter.

Das Betriebskonzept für den Automationspilot 2019 wurde auf Basis des 2017 gültigen Betriebskonzeptes «KV-Binnen» erarbeitet, welches in einem in sich geschlossenen Netz fünf Terminals via HUB Dottikon Umspannanlage verbindet. Das KV-Binnennetz umfasst immer die beiden Technologien automatische Kupplung und automatische Bremsprobe, welche parallel im Regelbetrieb genutzt werden sollen. Für die unbesetzte Spitze hingegen war eine Erprobung im Teambahnhof vorgesehen, da die Rangiermanöver im KV-Binnennetz für den Einsatz nicht geeignet sind.

Auf Basis des Produktionskonzeptes, des kommerziellen Wagenbedarfes und des zu erwartenden Verkehrspotentials wurden die notwendigen Fahrzeuge dimensioniert und für den Einbau der automatischen Kupplung für die Wagen, Hybridkupplungen für die Lokomotiven Re420 und Am843 sowie die Rangierkupplung für die Rangierlok Tm232 vorgesehen. Neben Sgnss-Tragwagen von SBB Cargo wurden auch spezielle Doppeltaschenwagen für den Transport von Sattelaufliegern benötigt, welche von der Firma VTG angemietet wurden.

Das Konzept umfasste fünf Terminals sowie den HUB Dottikon und bildete die Basis zur Berechnung der notwendigen Ressourcen für den Verkehr mit automatischer Kupplung. Die Verkehre der nicht angebundenen KV-Terminals von SBB Cargo, wie z. B. Gossau, wurden vorübergehend in das Expressnetz des Wagenladungsverkehrs verlagert und über den Rangierbahnhof Limmattal (RBL) in Dietikon produziert.

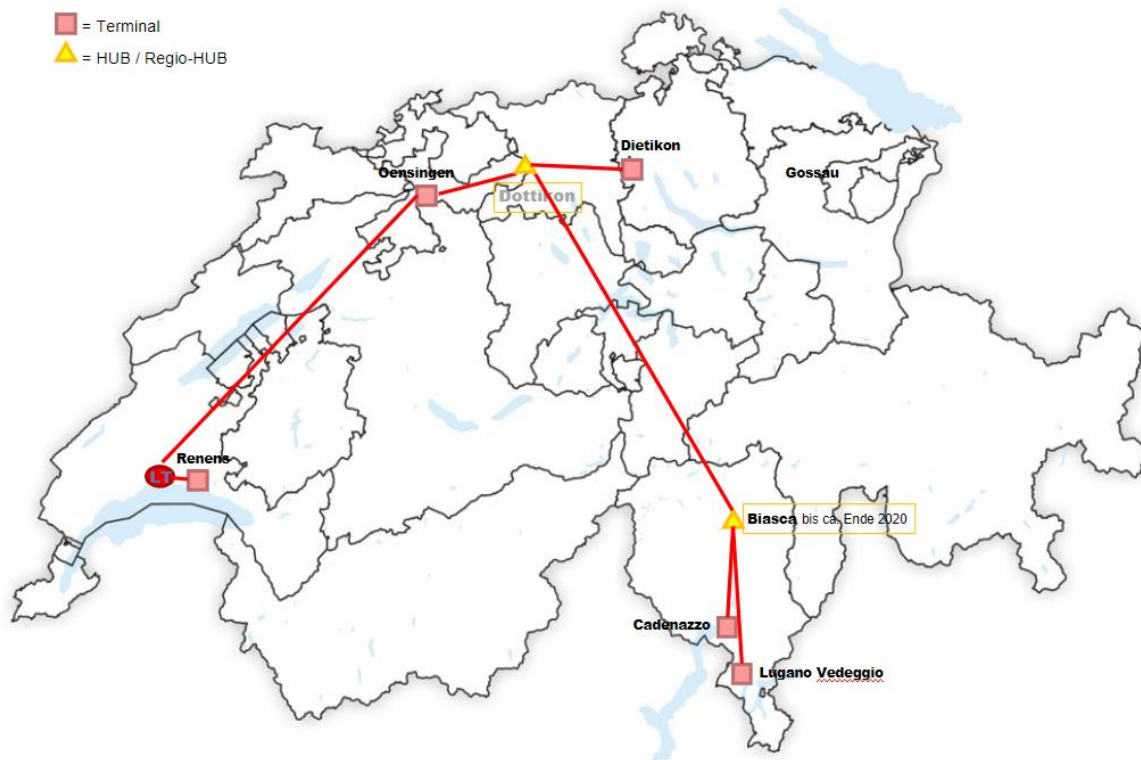


Abbildung 1: KV-Netz, in welchem die AKU eingesetzt wurde

In der Umsetzungsphase musste die Fahrzeugdimensionierung aus verschiedenen Gründen geändert werden. Die Struktur des Tm232 erwies sich als zu schwach, um die Stossbelastungen des Terminalbetriebes von bis zu 2kN aufzunehmen. Der Betrieb der Tm232 wurde auf die Serviceanlagen in Muttenz und Dietikon beschränkt und durch eine erhöhte Anzahl Am843 mit Hybridkupplung (HK) für die Terminals ausgeglichen. Auf Wagenseite ergab sich aus kommerziellen Gründen ein verminderter Bedarf an Sgnss. Zudem wurden als Rückfallebene sogenannte Zwischenwagen (eine Seite mit AKU, eine Seite Schraubenkupplung, ohne ABP-Ausrüstung) vorgesehen, um auch im Notfall mit konventionellen Lokomotiven mit Schraubenkupplung rangieren und Zugfahrten ausführen zu können.

Dies ergab eine Bestelländerung beim Kupplungshersteller und den folgenden finalen Bedarf für den Umbau der Fahrzeuge:

Fahrzeugtyp	Total Fahrzeuge	Anzahl gem. Wieder- erwägung
Sgnss ³ voll	56	65
Sgnss Zwischenwagen	9	
Sdggmrs(s) ⁴	30	
Hilfskupplungen	13	7
SL: Re420 HK	12	12
RL: Am843 HK	11	14
RL: Tm232 RK	3	
Anzahl Reservekupp- lungen	13 Köpfe 5 Zug&Stossappa- rate	13

2.1.2. Umbau und Materiallieferungen

2.1.2.1. Umbau Sgnss / Sdggmrs(s) in der SA MuttENZ

Der Umbau der Wagen wurde in der Serviceanlage (SA) von SBB Cargo in MuttENZ durchgeführt. In einem Konzept wurden die Rahmenbedingungen und notwendigen Massnahmen (z. B. Standplätze für den Umbau, Materialbedarf und Materiallieferung, Zu- und Wegführung der Umbauwagen, Abstellkapazitäten für umgebaute Wagen usw.) festgehalten.

Die Taschenwagen von VTG waren Neubaufahrzeuge vom Typ «Twin III DISC Sdggmrs(s)». So konnten beim Bau der Fahrzeuge bereits Vorarbeiten erfolgen, die den späteren Umbau in der SA MuttENZ erheblich vereinfachten. Eine komplette Umrüstung im Werk war zu diesem Zeitpunkt nicht möglich, aufgrund der späten Materiallieferungen sowie der Zulassung der Fahrzeuge ausschliesslich in der Schweiz.

³ Bei den AKU für Sgnss wurde keine Anpassung der Bestellung vorgenommen, da man davon ausging, dass die nicht verbauten Kupplungen im weiteren Projektverlauf genutzt werden können.

⁴ Diese Wagen wurden im direkt im Rahmen des separaten Antrags von der VTG gefördert.

Für die Termine und Verantwortlichkeiten wurde eine To-Do-Liste geführt.

Cluster	Tasks
Kommerziell	Verträge für die Systemlieferungen und Anmietungen von Wagenmaterial, Beschaffung von Zusatzkomponenten, Kleinteilen, Spezialwerkzeugen usw.
Engineering und Zulassung	Fahrzeugspezifische Integration ABP und AKU, Sicherheitsnachweisführung, Zulassung durch das BAV
Administration und vorbereitende Arbeiten	Sicherstellung der Personalressourcen, Reservation der Standplätze, Materialbewirtschaftung in SAP, Organisation von Umbauhilfsmittel (Material, Werkzeuge usw.), typenscharfe Umbauplanung
Qualität	Qualifizierung Mitarbeitende, Sicherheitsbegehung SA MuttENZ, Erstellung der Umbau- und Einbauanleitungen, First Article Inspection, Vorbereitung Inbetriebnahme Protokoll, Prototyp, Einbauversuch, Taktung und Produktionsfluss des Umbaus
Logistik	Abstimmung der Lieferpläne aller benötigten Komponenten und Materialien, Konfektionsliste pro Fahrzeugtyp, Zwischenlagerung von Komponenten und Material für Umbau, Abtransport und Einlagerung ausgebaute Komponenten, Zu- und Abfuhr der umzubauenden und umgebauten Wagen, Abstellgleise für Zwischenparkierung vor und nach Umbau

Am 16.07. 2018 wurde die industrielle Reife zum Start der Umbauten festgestellt. Nach dem Start verzögerte sich jedoch die Lieferung der Sdggmrs(s)-Wagen von VTG und von Material für die Kupplung wie auch für die ABP. Zudem war die Lernkurve Wagenumbau flacher als geplant und es mussten technische Unzulänglichkeiten des AKU-Systems, insbesondere an der Klinkenstange und beim Entkupplungsmechanismus, behoben werden.

Für die physische Ausrüstung der Fahrzeuge mit automatischen Kupplungen, der Sensorik für die automatische Bremsprobe und der zentralen Bremsproben-Einheit, wie auch bei der Verrohrung und Verkabelung, gab es zwei verschiedene Ausgangslagen:

- Die 65 Sgnss (56 komplett umgerüstete Wagen, 9 Zwischenwagen) sind Bestandsfahrzeuge von SBB Cargo, für die eine entsprechende Umbauanleitung erstellt wurde, gemäss der die Systeme eingebaut und in Betrieb genommen wurden. Die entsprechende Dokumentation ist nun Teil der Fahrzeugakte. Als Richtwert wurden für den Einbau (nach Einlaufkurve) 50h (37h AKU, 13h ABP) pro Wagen benötigt.
- Die dreissig Sdggmrs(s) sind Neufahrzeuge ab Werk. Die Vorrüstungen pro Wagen wurden bereits im Serienproduktionsprozess berücksichtigt. Der Einbau gestaltet sich deutlich einfacher und die Einbauzeit belief sich auf ca. 42h (22h AKU und 19h ABP) pro Wagen.

Bei der Elektronik und Sensorik kann von einer Lebenszeit von zehn bis 15 Jahren ausgegangen werden. Die für den Betrieb nötigen Zuverlässigkeitswerte wurden im Rahmen der Spezifikationsphase ermittelt und sind in die Systemanforderungen eingeflossen. Aufgrund der Sicherheitsrelevanz des Systems ist eine jährliche Wartung eingeplant. Der Zeitraum wird je nach Erfahrung später auf zwei Jahre hochgesetzt.

2.1.2.2. Lokomotiven mit Hybrid- oder Rangierkupplung

Aufgrund der komplexen Integration der Hybrid- und Rangierkupplung in die Lokomotiven wurde SBB Personenverkehr für das Engineering und den Umbau ausgewählt. Zwölf Re420 wurden im Industriewerk Bellinzona, und elf Am843 sowie drei Tm232 wurden im Industriewerk Biel umgerüstet.

Die Ausrüstung der Lokomotiven mit der HK war die grössere Herausforderung, da die Systeme Neuentwicklungen sind. In Zusammenarbeit mit Voith, dem Engineering der beiden Industriewerke sowie mit dem Projektteam wurde ein entsprechender Projektplan sowie, wie bei den Wagen, eine To-Do-Liste erarbeitet. Es wurde beschlossen, je eine Am843 und eine Re420 als Prototyp zu erstellen.

Die Lieferung der Kupplungskomponenten durch Voith und die Bereitstellung der Steuerungskomponenten in den Industriewerken lief teilweise parallel und unter hohem Zeitdruck. Aufgrund der Erfahrungen aus dem Prototypenumbau wurde der Durchlauf für den Serienumbau für eine Re420 auf zweieinhalb und für eine Am843 auf eineinhalb Wochen festgelegt.

Der Einbau der Rangierkupplung in die Tm232 im Industriewerk Biel war aus konstruktionsbedingten Gründen wesentlich einfacher umzusetzen. Die Kupplung wird am vorhandenen Zughaken montiert. Es sind pneumatische Leitungen für das Heben und Senken der Kupplung sowie die Funktionalität «Entkuppeln vom Führerstand» sowie die dazu notwendigen elektrischen Komponenten zu verbauen. Das Prototypenfahrzeug konnte bis Mitte Juli 2018 umgebaut und dem Projekt übergeben werden.

2.2. Teilautomatische Mittelpufferkupplung

2.2.1. Evaluation Kupplungstyp und Anbietermarkt und Lieferantenwahl

Parallel zur Erstellung des Betriebskonzeptes (siehe 2.1.1.) musste der Kupplungstyp für den Automationspilot gewählt werden. Für die Evaluation standen die an den 5L-Wagen⁵ verbauten Kupplungstypen «Scharfenberg Typ10» des Herstellers Voith und die «Schwab» Frontkupplung FK-15-8.5-60T-L des Herstellers Faiveley Transport Schwab AG (Wabtec) zur Auswahl.

2.2.1.1. Technische, betriebliche und kommerzielle Beurteilung

Mit technischen und betrieblichen Tests sollten die Nachweise der generellen Betriebstauglichkeit erbracht und der Anpassungsbedarf an den Kupplungssystemen für die Serienfertigung eruiert werden. Zudem sollten Erkenntnisse über notwendige Änderungen des Prozesses und der Vorschriften für den künftigen Einsatz der automatischen Kupplung gewonnen werden.

Die betrieblichen und technischen Tests wurden im Oktober 2017 in der Rangieranlage Zürich Mülligen und in der Klimakammer im Industriewerk Olten durchgeführt. In der

⁵ 5L steht für leise, leicht, laufstark, logistikfähig, Life-Cycle-Cost-optimiert. Der 5L-Wagen wurde in einem Förderprojekt des Bundesamtes für Umwelt (Bafu) eingesetzt, bei dem innovative Güterwagenkomponenten wie Drehgestelle, zusätzliche lärmreduzierende Bleche und Antiblockierschutz verprobt wurden.

Gesamtbeurteilung der Funktionalitäten der Kupplungen lagen beide Typen fast gleichauf. Bei verschiedenen Punkten wurde Weiterentwicklungsbedarf festgestellt, der mit den Lieferanten direkt besprochen wurde. Aus technischer- und betrieblicher Sicht erschienen beide Kupplungstypen für einen Einsatz im Automationspiloten geeignet.

Zum Zeitpunkt der Evaluation standen von beiden Herstellern erst erste Skizzen einer Hybridkupplung zur Verfügung. Die Tests der HK wurden schlussendlich mit dem ausgewählten Kupplungstypen Scharfenberg Typ 10 von Voith nach dem Umbau der Prototypen im August 2018 in Basel RB durchgeführt.

Neben den technischen und betrieblichen Belangen wurden im Evaluationsverfahren die finanziellen Aspekte, die Zusammenarbeit, Innovationsbereitschaft und die Lieferfähigkeit der Anbieter beurteilt. In den Bereichen Innovationsbereitschaft und Professionalität wurde Voith besser bewertet.

2.2.1.2. Lieferantenentscheid und Abwicklung

Der finale Lieferantenentscheid wurde mittels einer Bewertungsliste gefällt, welche die drei Themenfelder Technik, Betrieb und kommerzielle Kriterien abdeckt und die einzelnen Beurteilungskriterien gewichtet.

Da in der technischen und betrieblichen Beurteilung minimale Unterschiede zu Tage traten, war die kommerzielle Beurteilung für den Lieferantenentscheid zu Gunsten von Voith massgebend.

Folgende Punkte wurden, neben finanziellen und rechtlichen Aspekten, vertraglich vereinbart:

- Stückzahlen pro Kupplungssystem und deren Liefertermine
- Dokumentation
- Erstmontagebegleitung und Schulung
- Zusammenarbeitsform
- Zuverlässigkeitswerte der Kupplungssysteme
- Lieferung von Festigkeitsberechnungen bzw. Daten zur deren Berechnung durch SBB Cargo
- Unterstützung im Zulassungsverfahren inklusive Lieferung der dazu notwendigen Daten
- Supportleistungen bei Störungen und Reparatur
- Kostenrückvergütungen an die von SBB Cargo geleisteten anteiligen Entwicklungskosten
- Lieferbedingungen

2.2.2. Technologische Umsetzung

Aufgrund der Tests im Rahmen der Evaluation des Kupplungstyps, der detaillierten Einbauuntersuchungen, der Erstellung von Prototypenwagen und Lokomotiven sowie der Entwicklung der HK für die Lokomotiven wurden in Zusammenarbeit mit dem Kupplungshersteller Anpassungen auf der Fahrzeugseite wie auch bei den Kupplungen vorgenommen.

2.2.2.1. Wagenkupplung AKU Sgnss und Sdggmrs(s)



Abbildung 2: AKU im gekuppelten Zustand.

Zum Start der Umsetzung bestanden keine wesentlichen technologischen Herausforderungen betreffend Grundfunktionen der Kupplung. Die AKU wurde jedoch insbesondere in den Bereichen der Wintertauglichkeit, der Anzeige des Kuppelzustandes und des manuellen Entkuppelns angepasst. Bei den Sgnss wurde zudem die Druckaufnahme im UIC-Einbauraum gegenüber dem ursprünglich angedachten Konzept geändert, um die Festigkeit wagenseitig sicherzustellen. Bei den Sdggmrs(s)-Neuwagen gestaltete sich der Einbau der Kupplung aufgrund der bereits im Herstellerwerk vorgenommenen Anpassungen als einfach.

2.2.2.2. Hybridkupplungen Re420 und Am843 und Rangierkupplung (RK) Tm232



Abbildung 3: Re420 mit Hybridkupplung.

Die HK ist eine Neuentwicklung. Darum mussten diverse Herausforderungen gelöst werden. In Zusammenarbeit mit den beiden Industrierwerken von SBB Personenverkehr in Bellinzona und Biel und mit Voith wurden insbesondere die Schnittstellen zwischen Fahrzeug und Kupplung

und die Anforderungen an die Steuerung der Hebevorrichtung sowie der Kupplungsheizung weiterentwickelt, bevor mit der Fertigung aller notwendigen Komponenten gestartet werden konnte. Bei der Re420 musste zudem eine Lösung für die Überwachung der auftretenden Zug- und Stosskräfte erarbeitet werden, da die geforderten Festigkeitswerte aufgrund der Stahlqualität im Stossbalkenbereich nicht erreicht werden konnten.



Abbildung 4: Tm232 mit Rangierkupplung.

Für die Ausrüstung des Tm232 konnte weitestgehend auf ein bereits vorhandenes Produkt bei Voith aufgesetzt werden, so dass sich der Umbau relativ einfach gestaltete.

2.2.3. Test der Prototypen und Entwicklungsprozess

Im Rahmen der ersten Überführungen der umgebauten Wagen und Testfahrten wurden bei den Wagen die nachfolgenden Hauptprobleme erkannt:

2.2.3.1. Zu hoher Kraftaufwand beim Entkuppeln

Der von Voith gelieferte Entkupplungsmechanismus an der Wagenseite erforderte einen zu hohen Kraftaufwand beim manuellen Entkuppeln, welcher bei einer Untersuchung durch das Institut für Mechanische Systeme und Biomechanical Engineering der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften nachgewiesen wurde. Die Werte lagen mit 750 bis 850N deutlich über den Angaben des Herstellers von 400N und den Referenzwerten der DIN EN 1005-3. Auf der Basis der Ergebnisse wurde der produktive Betrieb durch die SUVA am 20.12. 2018 untersagt.

Mit Voith wurden Modifikationen zur Reduktion der Entkupplungskräfte geprüft. Um gleichwohl eine schnelle Einführung des Automationspiloten sicherzustellen, wurde der Kabelzug an den Kupplungskopf verlegt. Die damit erreichte Verringerung des Kraftaufwands wurde für eine Übergangsphase von der SUVA akzeptiert. Eine finale Lösung durch die Weiterentwicklung der Entkupplungsmechanik mit Ziel einer weiteren Reduktion des Kraftaufwandes wurde bei Voith beauftragt.

2.2.3.2. Unsauberes Trennen der Kupplungen

Im weiteren Verlauf des Umbaus wurden sporadische Fehlfunktionen beim manuellen Entkuppeln festgestellt, welche durch eine mechanische Nachbearbeitung der Klinkenstange des

Kupplungsmechanismus behoben wurden. Bei sämtlichen bis zu diesem Zeitpunkt verbauten Kupplungen wurde eine entsprechende Umrüstung im Rahmen einer Rollkur durchgeführt.

2.2.3.3. Querschnitt Hauptluftleitung-Luftkupplung

Nachdem erstmals Züge bis zwanzig Wagen mit automatischer Kupplung für Überföhrungsfahrten gebildet wurden, berichtete der zuständige Lokföhrer über eine verzögerte Bremswirkung. Bei der Überprüfung des Aufbaus und der Funktion der Bremsanlage, wurde als Ursache, in Abweichung zur normalen Hauptluftleitung (HL) des Wagens mit einem Durchmesser von 1.25 Zoll, ein auf 1.0 Zoll verringerter Querschnitt des Luftrohrs sowie die strömungstechnisch suboptimale Auslegung des Luftventils auf dem Kupplungskopf festgestellt. Während das 1.0-Zoll-Mass bei Personenverkehrsfahrzeugen Standard ist, sind Güterverkehrsfahrzeuge auf einen Leitungsquerschnitt von 1.25 Zoll ausgelegt.

Um die Auswirkungen des verminderten Leitungsquerschnittes zu eruieren und Massnahmen abzuleiten, wurden mit Unterstützung eines Bremsgutachters und Messspezialisten von SBB Personenverkehr im November 2018 statische Bremstests organisiert. Die Resultate zeigten eine gegenüber Fahrzeugen mit Schraubenkupplung anderthalb Mal längere HL-Druckabsenkung und ein entsprechend verzögertes Ansprechen der Wagenbremsen. Da eine technische Korrektur in kurzer Zeit bis zur Betriebsaufnahme des Automationspiloten nicht umsetzbar war, musste die verzögerte Bremswirkzeit durch eine betriebliche Anweisung kompensiert werden (veränderte Bremsrechnung). Nochmalige statische Bremstests im März 2019 wiesen die Wirksamkeit der entsprechenden betrieblichen Massnahmen nach. Die Einschränkungen führten zu geringen Fahrzeitverlusten und hatten keine Auswirkungen auf die betrieblichen Abläufe. Einzig die Beschränkung auf 500m Zugslänge in starken Gefällen führte im Tessin zu Änderungen des Betriebskonzeptes und zusätzlichen Ressourcenaufwendungen.

Die technische Lösung mit einer durchgängigen Erweiterung des HL-Querschnitts auf 1.25 Zoll wurde durch den Lieferanten Voith mit Unterstützung der TU-Berlin erarbeitet und ab ersten Halbjahr 2020 auf der Flotte ausgerollt. Um die Wirkung der Massnahmen nachweisen zu können, wurden im Februar 2020 entsprechende statische Tests an einer 500 Meter Wagenkomposition durchgeführt. Aufgrund der positiven Ergebnisse wurden nach Abschluss der Ausrollung an allen AKU- und HK-Fahrzeugen die Bremsvorschriften per 13.12. 2020 angepasst, so dass die AKU-Züge nur noch mit einer minimalen Reduktion der Bremsreihe verkehren.

Voith entwickelt das Luftsystem der automatischen Kupplung weiter, damit mindestens Luftdurchschlagswerte wie bei der Standardluftleitung erreicht werden.

2.2.3.4. Hybridkupplungen Re420 und Am843

Nach der Fertigstellung der beiden Prototypen Re420 HK und Am843 HK und ersten Funktionstests in den Industrierwerken wurden die Lokomotiven auf die Einsatzfähigkeit überprüft. Im Hybrid-Kupplungsmodus wurde die volle Funktionalität nachgewiesen.

Im Schraubenkupplungsmodus wurde allerdings festgestellt, dass in engen Kurvenradien ein Kuppeln und Entkuppeln mit bestimmten Wagentypen aufgrund der um ca. 25 mm kürzeren Gesamtlänge der verbauten Schraubenkupplung nicht möglich war. Zudem führten die Platzverhältnisse durch den hochgeklappten Kupplungskopf im Bernerraum zu Einschränkungen für das Rangierpersonal, insbesondere durch eine schlechtere Erreichbarkeit der

Luftabsperrhähne. Unter Beizug von Voith und der Abteilung Sicherheit, Qualität, Umwelt von SBB Cargo wurden Korrekturmassnahmen (Verlegung der Luftabsperrhähne) erarbeitet und implementiert (exkl. technische Modifikation Schraubenkupplung).

Die Konstruktion einer neuen Schraubenkupplung für die HK wurde von Voith in Angriff genommen. Nach der Lieferung von Prototypen für die Am843 und Re420 wurde im Frühjahr 2020 die Betriebstauglichkeit nachgewiesen und die Ausrollung des Schraubenkupplungsmodells in Angriff genommen. Wegen Lieferverzögerungen zog sich der Abschluss der Arbeiten bis Ende 2021 hin.

Bei den Seilwinden, deren Steuerung und dem dazugehörigen Bediengerät offenbarten sich Probleme, welche auf teilweise falsche Verdrahtungen auf der Lok oder dem Steuergerät zurückzuführen waren. Diese Mängel wurden laufend und rechtzeitig behoben.

Die Anwendung der Vielfachsteuerung Re420 HK mit HK und HK mit SK zeigte im Praxiseinsatz Unzulänglichkeiten, welche korrigiert werden mussten. Die Lokomotiven wurden mit zwei verschiedenen Vielfachsteuereckabeln, neuen Anschlüssen der Rangierbremsleitungen, einer verlängerten Rangierbremsleitung und den entsprechenden Halterungen zum Deponieren dieser Elemente ausgerüstet.

In der Praxis stossen die gewählten Lösungen beim Lokpersonal auf wenig Akzeptanz, da «das Stecken» des Vielfachsteuereckabels durch den eingeschränkten Platz im Bernerraum und die Verwendung verschiedener Kabel und Schläuche als mühsam betrachtet wird. Abhilfe könnte hier einzig der Umbau der Anbindung des Vielfachsteuereckabels über die Pufferebene (analog Neuer Pendelzug RBDe 4/4 von SBB Personenverkehr) schaffen. Eine verbesserte Lösung wird im Rahmen des Nachfolgeprojekts eruiert.

2.2.4. Zulassung und Nachweisführung für Wagen und Lokomotiven

Als Grundlage für das Zulassungskonzept für alle umgebauten Fahrzeuge wurde die «Richtlinie Zulassung Eisenbahnfahrzeuge» des BAV angewendet. Die Fahrzeuge sind nur in der Schweiz zugelassen. In mehreren Treffen mit den zuständigen Personen beim BAV wurde das Zulassungskonzept erarbeitet. Der Zulassungsprozess der AKU ist nicht nur für SBB Cargo und VTG, sondern auch für die entsprechenden Fachstellen des BAV eine Herausforderung.

Die Zulassung der Sdggmrs(s) oblag der Firma VTG als Wagenhalter. Da im Zulassungsprozess viele Parallelen zur Zulassung der Fahrzeuge von SBB Cargo bestanden, war eine enge Zusammenarbeit zielführend. Das Zulassungsverfahren Sgnss wurde auf der Zulassung der 5L-Wagen aufgebaut und von der Abteilung Flottentechnik Güterwagen von SBB Cargo geführt. Zu Beginn wurde von einem vereinfachten Vorgehen ausgegangen, jedoch zeigte sich im Verlauf der Arbeiten, dass auch hier weit mehr zu erbringen war.

Standen zu Beginn des Zulassungsverfahrens seitens des BAV ausschliesslich die technischen Änderungen im Fokus, wurde die Bewertung seitens der Behörde im Verlaufe des Verfahrens auf die betrieblichen Abläufe ausgedehnt. Auf Basis einer gesondert durchgeführten Risikobetrachtung des Betriebes wurde der Nachweis der gleichen Sicherheit erbracht. Die Risikobetrachtung wurde durch einen Sachverständigen freigegeben.

Durch diese Erweiterung des Betrachtungswinkels zu einem späten Zeitpunkt des Projektverlaufs kam es zu Verzögerungen in der Erlangung der betrieblichen Zulassung, welche schliesslich für beide Fahrzeugtypen am 11.04. 2019 unbefristet erteilt wurde.

Das Zulassungsverfahren für die Lokomotiven Re420, Am843 und Tm232 wurde auf der Basis der Vorgehensbeschreibung des BAV hinsichtlich technischer Änderung an Fahrzeugen durchgeführt. Bei der Erstellung der Zulassungskonzepte und der Sicherheitsnachweise konnte auf den Engineering Dienstleister Prose zurückgegriffen werden. Mit diesem Vorgehen wurde die bis 31.12. 2019 befristete Zulassung für die Lokomotiven erlangt.

Aufgrund der Verzögerung bei der Auflagenerfüllung wurde entschieden, per 01.01. 2020 erneut eine bis 15.02. 2021 befristete Betriebsbewilligung für die drei Loktypen zu beantragen, welche durch das BAV am 19.12. 2019 bestätigt wurde.

Am 3.2. 2021 stellte SBB Cargo den Antrag an das BAV, für alle drei Loktypen die befristeten in unbefristete Betriebsbewilligungen umzuwandeln. Nach Erwägung der Situation gab das BAV dem Gesuch nicht statt. Um den Versuchsbetrieb fortzusetzen, wurden stattdessen die befristeten Betriebsbewilligungen um ein Jahr verlängert (bis 15.03. 2022) und gleichzeitig weitere Re420 und Am843 betriebsbewilligt. Die Auflagen und Einsatzbedingungen, die in diesen Bewilligungen verfügt wurden, behalten ihre Gültigkeit. Vor allem sind die Regelungen für den Betrieb von Fahrzeugen mit AKU weiterhin umzusetzen und nach den Vorgaben des Sicherheitsmanagementsystems von SBB Cargo weiterzuentwickeln.

2.2.5. Ausbildung

Das Ausbildungs- und Befähigungskonzept wurde erst in der Realisierungsphase des Projektes erarbeitet, um die technischen und betrieblichen Entwicklungen mitzubetrachten. Das Konzept zeigt den Schulungsbedarf für die von der Einführung der AKU betroffenen Mitarbeitenden sowie die Vorgehensweise auf. Dabei wurden folgende Hauptpunkte betrachtet:

- Technische Ausrüstung der eingesetzten Güterwagen und Lokomotiven
- Bedienung der verschiedenen Kupplungstypen
- Abbildung der Fahrzeugausrüstung in den verschiedenen IT-Betriebssystemen
- Verkehrskonzept inkl. Verkehrsabwicklung
- Betriebliche Vorgaben und Einschränkungen für den Einsatz der AKU und ABP inkl. Prozessabläufe, Vorschriften und Arbeitsanweisungen
- Vorgehen im Störfall im Terminal und HUB wie auch bei Zugsfahrten
- Präventiver und kurativer Unterhalt
- Monitoring

Aufgrund der Verzögerungen bei der Entwicklung der ABP konnte die Schulung dieses Systems nicht in diesen Schulungsschritt aufgenommen werden.

Auch wenn zum Projektstart nur fünf Terminals und ein HUB in der betrieblichen Abwicklung involviert waren, musste die Ausbildung auch für weitere Zielgruppen geöffnet werden. Neben den beteiligten Rangierpersonalteams und Lokführern wurden auch Mitarbeitende der Instandhaltung, der Planungsstellen und Disposition von SBB Cargo ausgebildet. Zudem betrifft der Einsatz der AKU, bzw. das Verkehren von Zügen mit AKU, auch Stellen der Infrastruktur und der Intervention.

Die Ausbildung wurde auf die Benutzergruppen abgestimmt und wo notwendig am Objekt durchgeführt, wobei der zeitliche Aufwand möglichst geringgehalten wurde. Mittels eLearning wurden die für die Benutzergruppen relevanten Punkte in den Bereichen Technik, Bedienung, Prozess und Vorschriften geschult. Für die Bedienung von AKU und HK wurden Lernvideos erstellt, welche ebenfalls im eLearning zugänglich gemacht wurden.

Für die betroffenen Mitarbeitenden der Terminals und im HUB sowie für die Mitarbeitenden der Serviceanlagen und Industriewerke wurde eine praktische Instruktion vor Ort durchgeführt. Für das Streckenlokpersonal wurde, in Abstimmung mit der Leitung der Abteilung Transport, entschieden, auf eine Praxisausbildung zu verzichten. Dies führte im Betrieb der Re420-HK zu Reklamationen. Um dem Lokpersonal die Möglichkeit zu geben sich mit der HK vertraut zu machen, wurde an den wichtigsten LP-Standorten eine Re420-HK sowie, wenn möglich, eine Sgnss AKU zur Verfügung gestellt. Zusätzlich standen wo möglich Prüfungsexperten oder Leiter Lokpersonal zur Verfügung, um Fragen zur Anwendung und den betrieblichen Vorgaben zu beantworten.

2.2.6. Einführungsplanung

Als risikomindernde Massnahme wurde festgelegt, die vorgesehenen Verkehre fahrplantechnisch auf den offiziellen Fahrplanwechsel 2018/2019 umzustellen, jedoch den Einsatz der Fahrzeuge mit automatischer Kupplung erst im Januar 2019 zu vollziehen. Neben der bereits vorhanden Masterliste wurde zur Steuerung der Einführung eine Meilensteinliste erstellt und laufend bearbeitet. Unter anderem wegen Verzögerungen bei der Bereitstellung der Fahrzeuge sowie der Schulungsunterlagen und der Problematik der verminderten Bremswirkzeit wurde die Einführung zuerst auf Februar, dann auf den 06.05. 2019 verschoben.

2.2.6.1. Planung und Umsetzung

Die in der Serviceanlage Muttenz umgebauten Wagen wurden mehrheitlich laufend in die Abstellanlage Dottikon überführt und abgestellt. Um die Zuführung der AKU-Wagen ab Dottikon Umspannanlage und die Wegführung der nicht mehr benötigten SK-Wagen sicherzustellen, wurde an einem Workshop mit den beteiligten Terminalleiten ein Konzept erarbeitet, welches auf die örtlichen Gegebenheiten (Platzverhältnisse, die Verkehrsabwicklung, die Ressourcensituation usw.) Rücksicht nahm.

Auf Basis dieser Planung wurden anschliessend die für die Zu- und Wegführung benötigten Trassen und Ressourcen bestellt und sichergestellt, dass zum Projektstart am 06.05. 2019 abends die notwendige Anzahl an Sgnss und Sdggmrs(s) in den einzelnen Terminals zum Verlad zur Verfügung standen. Gleichzeitig wurde mit diesen Überführungen auch die Zuführung der Re420 HK für die Abgangszüge sichergestellt. Die in den Terminals benötigten Am843 mit HK wurden bereits im Vorfeld auf die Standorte verteilt.

Insgesamt verkehrte zwischen Freitag, 03.05. bis Montag, 06.05. 2019 je ein Zug ab Dottikon Umspannanlage an die fünf Terminalstandorte sowie ein Zug ab Dietikon nach Dottikon Umspannanlage mit Sdggmrs(s) SK zur Abstellung. Die Sgnss SK und Sdggmrs(s) SK (exkl. Dietikon) wurden vorerst als Rückfallebene in den Terminals belassen. Die Wegführung dieser Wagen ab den Terminals erfolgte ab Anfang Juni 2019. Die Umsetzung des Wagentausches

erfolgte wie geplant und ohne Komplikationen, so dass die Einführung der AKU wie vorgesehen erfolgte.

2.2.6.2. Einführungsorganisation inkl. Support

Zur Unterstützung der Einführung des Automationspiloten wurde eine Supportorganisation mit den folgenden Aufgaben aufgebaut:

- Technische und betriebliche Unterstützung in den Terminals und im HUB
- Sicherstellung des technischen Supports durch die mobile Equipe (MEQ) von SBB Cargo und dem Lieferanten Trelco
- Regelmässige Telefonkonferenzen zur Bearbeitung auftretender Probleme
- Sicherstellung einer ganztägigen (24 Stunden) Erreichbarkeit des Automationsteams

Die Unterstützung in den Terminals und im HUB wurde in Abstimmung mit den Standortleitern festgelegt und durch geschulte Projektmitarbeitende Automation sichergestellt. Vom 06. bis 18.05. 2019 wurden werktags zwei Telefonkonferenzen mit Vertretern der Projektorganisation, den Terminalleitern sowie Vertretern des Vertriebs, der Sicherheitsabteilung, der operativen Disposition, der Planungsstellen sowie der Instandhaltungssteuerung durchgeführt.

Am Morgen wurde jeweils die Verkehrsabwicklung der vergangenen Nacht reflektiert, aufgetretene Probleme analysiert und dazu notwendige To-Dos inklusive Umsetzungsverantwortung festgelegt und in einer Protokollliste entsprechend aufgeführt. Am Nachmittag erfolgte der Standbericht über umgesetzte Massnahmen und offene Punkte sowie ein Ausblick auf die folgende Nacht. Zudem erfolgte bei Bedarf die Massnahmendefinition, welche durch die Support-Mitarbeitende vor Ort kommuniziert und überwacht werden mussten.

Aufgrund der stabilen Verkehrsabwicklung und der wirksamen Massnahmen wurden die Telefonkonferenzen reduziert und ab 10.07. 2019 aufgehoben. Die noch offenen Punkte wurden zur Erledigung an die entsprechenden Linienorganisationen übergeben oder in der Projektorganisation weiterbearbeitet.

2.2.6.3. Monitoring

Zur Projektumsetzung gehörte auch der Auftrag, den Betrieb zu überwachen, um die korrekte Umsetzung und Funktionalität der Neuerungen und Anpassungen sicherzustellen. Dazu wurde ein spezifisches Monitoringkonzept erstellt, welches die Ziele, das Vorgehen und die Verantwortlichkeiten für das Monitoring beschreibt:

- Sicherstellung der Wirksamkeit und Beachtung der Massnahmen: insbesondere bezüglich Sicherheit im Betrieb aus der Massnahmenliste, aus Signifikanzbewertung je Fahrzeuggattung und der Massnahmenliste aus der Risikobeurteilung Betrieb
- Sammeln von Erkenntnissen zur technischen Weiterentwicklung der verbauten Systeme und zur betrieblichen Weiterentwicklung der Produktion mit der AKU in den Bereichen Sicherheit, Prozessabläufe, Gesundheitsmanagement und Effizienzsteigerung

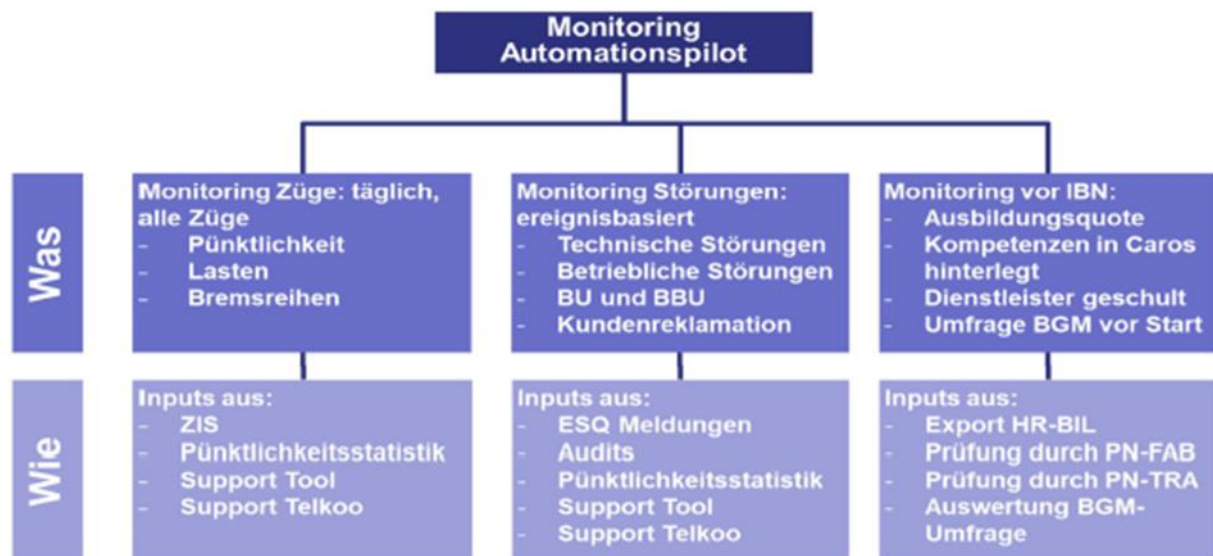


Abbildung 5: Monitoringkonzept (Auszug aus dem Originaldokument).

Das Monitoringkonzept bildete einen festen Bestandteil der Supportorganisation bei der Einführung. Nach Aufhebung der Supportorganisation stellte die Projektorganisation Automation das Monitoring sicher. Auf Grund des stabilen Betriebs und positiven Rückmeldungen aller Beteiligten wurde auf ein Erstellen von regelmässigen Monitoringberichten verzichtet.

Weiterhin unter Beobachtung durch die Projektleitung standen die Auslastung und die Pünktlichkeit sowie die korrekte Erfassung der Bremsdaten der Züge im Rahmen eines wöchentlichen Berichts. Ereignismeldungen und technische Störungen wurden durch die Linienorganisation im Standardprozess behandelt und weiterhin an die Projektleitung gemeldet.

2.2.7. Lessons Learned, Betriebserfahrung und Test

Mit dem Start der Detailkonzeptphase begann eine für alle Beteiligten intensive Zeit, in welcher eine hohe Flexibilität und schnelle Entscheidungen aufgrund wechselnder Rahmenbedingungen und den neuen Projektergebnissen gefordert waren. Die Umsetzung neuer Technologien in einem kurzen Zeitraum birgt Gefahren und führt zu Herausforderungen, die nur durch eine flexible Projektorganisation bewältigt werden können, die auf eine stabile operative Organisation zählen kann. Naturgemäss ist dies auch mit einem Lernprozess verbunden, wobei die nachfolgenden Punkte in künftigen Projekten zu beachten sind.

2.2.7.1. Projektorganisation

Das Projektteam stand unter Zeitdruck, was zu einer Fokussierung auf die wesentlichen Arbeitspakete und zu klaren Entscheiden führte. Die interne Organisation und die Lieferanten konnten auch dadurch für das Projekt gewonnen werden.

Der Termindruck führte aber auch zu Schwierigkeiten:

- Es konnten kaum Zeitreserven eingeplant werden. Unvorhergesehene Mehraufwände führten (wie z. B. bei der Zulassung der Sgnss oder bei der Ausbildung) zu Verschiebungen.

- Das Projekt benötigte Unterstützung aus der Linienorganisation, welche durch Restrukturierung ausgelastet war.
- Das Stakeholdermanagement sowie eine sich daraus ergebende Kommunikationsplanung mit einem adäquaten Projektmarketing konnte nur am Rande durchgeführt werden.
- Durch die enge Zeitplanung haben die Flächenorganisation und der Hauptlieferant eigenständig Lösungen auf kurzfristig auftretende Herausforderungen umgesetzt. Im Bereich der Beschaffung, führte die direkte Kontaktaufnahme der Teilprojektleiter mit Lieferanten, mit dem Ziel schnelle Lösungen zu erwirken, zu Doppelspurigkeiten und Verwirrung. Künftig muss eine klare Trennung der Verantwortlichkeiten gemäss Projektorganisation eingehalten werden.

Die Supportorganisation mit den angewandten Hilfsmitteln war die Grundlage für eine schnelle Reaktion auf Herausforderungen und die Beherrschung der kleinen Details in der Einführungsphase. Zudem hatten alle Mitarbeitenden jederzeit Ansprechpartner aus dem Projektteam. Die Vorortvertretung wurde zudem vom Personal geschätzt und hat das gegenseitige Verständnis über die Herausforderungen und die zu definierenden Massnahmen gefördert.

Der gemeinsame Entscheid über den Einführungstermin sorgte für ein einheitliches Commitment und überführte die Verantwortung auf die gesamte Organisation.

2.2.7.2. Projektabwicklung

- Eine gesamtheitliche Betrachtung über alle Projektteile von den technischen- und betrieblichen Komponenten bis zu sicherheitsrelevanten Betrachtungen konnte aufgrund der zeitlichen Rahmenbedingungen nur marginal ausgeführt werden. Dies führte zu Mehraufwand und Verzögerungen, z. B. beim Einbezug der SUVA betreffend Entkupplungskräfte.
- Die Zielveränderungen in den Mengengerüsten (z. B. Tm232, tieferer Wagenbedarf usw.) und geänderte Liefertermine führten zu zusätzlichen Aufwänden.
- Durch die beschränkten Ressourcen und die technischen Herausforderungen, hervorgerufen durch die sehr kurze Prototypentestphase der HK, konnte sich das Teilprojekt Betrieb und die Projektleitung erst spät der Befähigung und der Vorschriftenerstellung widmen.
- Das Knowhow für Zulassungen und die Erlangung von Betriebsbewilligungen ist bei SBB Cargo schwach ausgeprägt. Das Projektteam konnte sich nur partiell auf die Linienorganisation abstützen und musste, parallel zu bestehenden Aufgaben, wesentlich zuarbeiten.
- Dem Einbezug des Lokpersonals wurde im Gegensatz zum Rangierpersonal (vorwiegend via Terminalleiter) zu wenig Rechnung getragen. Dies führte insbesondere bei der Übergabe der Re420 HK in den Betrieb zu Unzufriedenheit beim Lokpersonal bezüglich technischer Umsetzung aber auch bei der Ausbildung.
- Bei der Befähigung konnte nicht auf ein funktionierendes System und verlässliche Prozesse zurückgegriffen werden. Die Schulungsplattform wie auch der Zugriff über die persönlichen Tablets auf die Ausbildungsunterlagen funktionierten nicht korrekt und sorgten für Verzögerung. Ebenso war die Nachweisführung über geschulte Mitarbeitende zu kompliziert.
- Die Finanzabläufe in SAP sind nicht auf innovative Projekte ausgelegt. Die Materialbewirtschaftung, die Abrechnung der Arbeitsstunden usw. konnte nicht immer sauber erfasst werden. Es entstand viel manueller Erfassungs- und Abstimmungsaufwand.

2.2.7.3. Technik

Als Mangel stellte sich die verwendete Steckverbindung des Bediengeräts für die Hybridkupplung heraus, welcher nach einer Häufung ausgefallener Bediengeräte in der ersten Betriebswoche durch den Verbau von Steckverbindungen aus dem Automotivbereich behoben wurde. Seit dem Umbau traten in diesem Bereich keine Störungen mehr auf.

Als anfällig für Fehlbedienung erwies sich die elektrische Steuerung der Seilwinde der HK, da es durch das Fehlen eines Endschalters in der Position «HK tief» zu Verwicklungen des Seiles kam. Durch den Austausch des vorhandenen Seiles gegen ein Seil mit höherer Qualität konnte diese Situation entschärft werden.

Für einen stabileren Betrieb wurden im Bereich der Seilwinde und dem Bediengerät Verbesserungsmaßnahmen erarbeitet und ab Frühjahr 2020 bei den Re420 HK und Am843 HK implementiert:

- Überwachung beim Herunterklappen des Kupplungskopfes mittels Endschalter
- Montage von fixen Bediengeräten an allen vier Ecken der Lokomotiven
- Anpassung der Steuerung des Bordnetzumrichters der Re420

Die Massnahmen führten zu einer höheren Zuverlässigkeit im Bereich der Seilwinde und deren Anwendung.

2.2.7.4. Betriebserfahrung

Mit dem Aufbau und der Durchführung eines Pilotbetriebes ging man bewusst das Risiko ein, dass Systeme und Komponenten wie auch neue Prozessabläufe im Betrieb den gewonnen Erkenntnissen angepasst werden müssen. Zudem wurde das Projekt auf einem Verkehrsniveau gestartet, welches eine betrieblich kommerzielle Weiterentwicklung von Anfang an zulässt.

Seit dem Start des Einsatzes der AKU am 06.05. 2019, bis zum Nachfolgeprojekt per 04.06. 2021 wurden viele Erfahrungen gesammelt, welche für die technischen Weiterentwicklung der Systeme, der Weiterentwicklung der Produktionsabläufe sowie der generellen Abwicklung von Systemintegrationen genutzt werden können. Die Aufnahme des Terminal Stabio in das AKU-Netz im Frühjahr 2020, wie auch der eigentliche Betrieb der automatischen Kupplung verlief, ausgenommen der bereits erwähnten technischen Unzulänglichkeiten, von Anbeginn an reibungslos. Das beteiligte Personal in den Terminals und im HUB fand sich schnell mit der Anwendung der AKU zurecht. Auch das Streckenlokpersoneel hat die Besonderheiten der HK mittlerweile im Griff. Negative Rückmeldungen bezüglich des generellen Einsatzes der Re420 HK sind aber nach wie vor vorhanden.

Im Berichtszeitraum kam es zu keinen grösseren Unfällen und Ereignissen, welche auf das AKU-System zurückzuführen waren. Gerissene Entkupplungsseile und technische Probleme bei der Bedienung der HK führten zu Bagatellunfällen, zudem mussten einzelne Anpralle von Wagen mit AKU an Prellböcke verzeichnet werden. Bei den Zügen des Automationspiloten kam es zu keinem Zwischenfall, welcher AKU oder den bereits verbauten Komponenten der ABP zugewiesen werden kann. Auch verkehrten die Züge mit guter Betriebsqualität, jedoch führt die schwankende Fahrzeugverfügbarkeit dazu, dass die für den Transport benötigten Wagen nicht gestellt werden konnten oder durch Lokmangel kurzfristig Züge ausfielen.

Die Verfügbarkeit wurde teilweise durchlaufende Rollkuren an den Fahrzeugen mit AKU negativ beeinflusst, mehrheitlich waren es aber andere technische Gründe, welche sich auf die Fahrzeugverfügbarkeit auswirkten.

2.2.8. Umfrage zur Anwendung der AKU

Zwischen Mitte März und Mitte April 2021 wurde bei den Mitarbeitenden der beteiligten Terminals sowie beim gesamten Lokpersonal SBB Cargo eine Umfrage zur Anwendung der AKU durchgeführt. Insgesamt gingen 203 Rückmeldungen ein, wovon 51 aus den Reihen der Mitarbeitenden der Terminals und 152 aus den Reihen des Lokpersonals. Die Fragestellungen wurden berufsspezifisch unterschieden.

Die wichtigsten Erkenntnisse der Antworten des Rangierpersonals:

- Das Entkuppeln funktioniert im Grundsatz, wobei der Kraftaufwand und die Risse des Entkopplungsseils bemängelt werden.
- Das Kuppeln funktioniert auch bei verschiedenen topologischen Voraussetzungen und bei verschiedensten Wetterbedingungen zuverlässig.
- Im AKU-Modus wird im Gegensatz zum manuellen Kuppeln die Verletzungsgefahr beim Entkuppeln höher eingeschätzt. Dies ist primär auf den Kraftaufwand wie auch auf die Seilrisse zurückzuführen.
- Die Anwendung der HK Am843 im Schraubenkupplungsmodus führt an einigen Bedienpunkten mit engen Kurvenradien zu Problemen. Generell wird der Platz im Bernerraum für das Kuppeln und Entkuppeln als zu eng taxiert. Durch den Verbau der neuesten Variante der SK konnte die Thematik der engen Kurvenradien verbessert werden.
- Die Funktionalität hoch- und runterklappen der HK an den Am843 wird als positiv bewertet, wobei hier mit den bereits erwähnten technischen Verbesserungen eine weitere Steigerung der Anwenderfreundlichkeit und Zuverlässigkeit erreicht wird.

Rund ein Drittel des Lokpersonals, welches an der Umfrage teilnahm, fährt in der Praxis keine Züge mit AKU und kommt somit nur teilweise in Berührung mit der HK (einrichten Vielfachsteuerung, Kuppeln und Entkuppeln Re420 HK mit Wagen im Schraubenkupplungsmodus).

- Im Gegensatz zum Rangierpersonal wird durch das Lokpersonal die Funktionalität hoch- und runterklappen der HK an den Re420 schlechter bewertet. Die nun auf der Re420 ausge rollte Montage der fixen Bediengeräte der Hybridkupplung hat positive Reaktionen ausgelöst und wird vom Lokpersonal als gut befunden.
- Die Anwendung der HK Re420 im SK-Modus wird in knapp die Hälfte der Antworten als schlecht taxiert. Generell wird der Platz im Bernerraum für das Kuppeln und Entkuppeln als zu eng und kompliziert bemängelt.
- Das Einrichten der Vielfachsteuerung zweier HK-Lokomotiven wurde leicht besser beurteilt als dies bei der Konfiguration HK-Lok und SK-Lok der Fall ist. Neben dem Platzmangel wurden die verschiedenen zu verwendenden Kabel und Bremsschläuche bemängelt.
- Die Platzverhältnisse führen auch im Zusammenhang mit der Verletzungsgefahr bei Kuppeln und Entkuppeln im SK-Modus und bei Einrichten und Rückbau der Vielfachsteuerung zu einer Bewertung im mittleren Bereich der Skala.
- Die Zuverlässigkeit beim Kuppeln von Re420 HK mit AKU-Wagen wird grundsätzlich als gut bis sehr gut, diejenige beim Entkuppeln leicht schlechter beurteilt.

2.2.9. Abschluss und nächste Schritte

Der Einsatz der AKU bei SBB Cargo hat die grundsätzliche Tauglichkeit des ausgewählten Kupplungssystems bewiesen. Es besteht jedoch in den technischen Belangen noch Weiterentwicklungsbedarf um die Anwendungssicherheit, die Zuverlässigkeit sowie die Ablaufbergtauglichkeit zu erhöhen bzw. herzustellen.

Eine Effizienzsteigerung in der Produktion wurde bisher allein auf Basis der AKU nicht erzielt, da der isolierte Einsatz der automatischen Kupplung in einem kleinen Einsatzgebiet zu wenig Zeitgewinn bringt. Hier werden erst mit dem parallelen Einsatz der AKU und der ABP Einsparungen erzielt. Derzeit wird von einer Einsparung von ein bis zwei Mitarbeitenden ausgegangen. Der Fokus liegt hier auf dem HUB Dottikon, an dem pro Tag mit Abstand die meisten Rangierleistungen durchgeführt werden. Aufgrund der Knappheit der Anlage (Gleise, Rangierlogik über eine Gleisharfe) leistet die AKU bereits jetzt einen wichtigen Beitrag, dass in der knappen Abfertigungszeit die nötige Rangierleistung erbracht werden kann.

Die gesammelte Betriebserfahrung sowie die Ergebnisse aus den verschiedenen Tests werden in intensiver Zusammenarbeit mit dem Kupplungslieferanten Voith für die Weiterentwicklung der technischen Komponenten genutzt und fließen mittlerweile auch auf europäischer Ebene in das Projekt DAC4EU ein.

Auch aufgrund der gesammelten positiven Erfahrungen mit dem Kupplungssystem wurde die Ausweitung auf weitere Terminals per Anfang Juni 2021 beschlossen. Die Betriebsprozesse in den Terminals wie auch für Zugfahrten mussten nur marginal angepasst werden und deren Einhaltung wird laufend überwacht. Aktuell sind diesbezüglich keine Änderungen vorgesehen.

2.3. Automatische Bremsprobe

Bei der manuellen Bremsprobe handelt es sich um einen zeitintensiven Produktionsprozess, bei dem der Zug zweimal abgelaufen und der Status der Bremse manuell kontrolliert werden muss. In der Branche gibt es schon seit längerem die Bestrebung, diesen Prozess zu automatisieren, alle bisherigen Versuche sind aber über erste Machbarkeitsanalysen nicht hinausgekommen.

Da es sich um einen sicherheitsrelevanten Prozess im Betriebsablauf handelt muss die Systementwicklung nach den Grundsätzen der (RAMS) Systementwicklung, insbesondere der funktionalen Sicherheit erfolgen, was umfassende Anforderungen an den Ablauf, die Dokumentation und die Nachweisführung stellt.

2.3.1. Evaluation Anbietermarkt und Lieferantenwahl

Anders als bei der automatischen Kupplung konnte bei der automatischen Bremsprobe trotz entsprechender Vorprojekte nicht auf einen etablierten Anbietermarkt zurückgegriffen werden.

SBB Cargo hatte bereits in 2014 / 2015 zusammen mit der Firma AIS aus Dresden Versuchsträger zur automatischen Bremsprobe aufgebaut und Tests durchgeführt. Diese Versuche wurden im Rahmen der Abgeltungsvereinbarung mit Schreiben von 07.10.2013 ebenfalls durch das BAV gefördert. Leider konnte das System mit einer Verfügbarkeit von nur 56% technisch nicht überzeugen. Die gewählte Technologie mittels WLAN-Kommunikation und Stromversorgung durch eine Batterie haben sich als nicht bahntauglich herausgestellt. Auch die Aspekte

des Sicherheitsnachweises wurden seitens des Anbieters nicht berücksichtigt und eine Fortführung der Zusammenarbeit war aufgrund der geringen Erfahrung des Anbieters und der Performance des Testsystems keine Option.

Daher hat SBB Cargo für den nächsten Schritt nach alternativen Anbietern gesucht, leider jedoch waren die etablierten Bremshersteller wie Knorr oder Wabtec an einer Entwicklungszusammenarbeit nicht interessiert. Die Kooperation aus SNCF und Traxxens, welche sich auch eine automatische Bremsprobe zum Ziel gesetzt hatten, war zu einer Zusammenarbeit nicht bereit und hat mittlerweile das Projekt abgebrochen.

Schliesslich hat das Konsortium aus SBB Cargo, Rail Cargo Austria und der Firma PJ Messtechnik gemeinsam einen Kooperationsvertrag für die Entwicklung eines Systems für die Durchführung der automatischen Bremsprobe geschlossen und die Entwicklung gestartet.

2.3.2. Test der Prototypen

Der Test der Prototypen erfolgte im August 2017, also vor dem Start des Förderprojektes. Es wurden 20 Wagen mit einem Prototypensystem von PJM ausgerüstet. Die Zielstellung war der funktionale Nachweis der Machbarkeit mit einem bahntauglichen System (Radsatzlagergenerator, Kraftmessstange, anwendungsgerechtes Funkband), bevor mit der normativen Entwicklung nach EN50126 begonnen wurde. Insbesondere konnte nachgewiesen werden, dass die Probleme, welche mit dem ersten Testsystem bestanden haben, mit der gewählten Konfiguration lösbar sind. Die Tests brachten gute Ergebnisse und machten weiteren Handlungsbedarf in der technischen Auslegung deutlich, welche dann in die weitere Entwicklung eingeflossen sind (Dual-Radsatzlagergenerator, Verzicht auf das bei den Prototypen verbaute Wiegesystem, Anforderungen an den gewählten Funkstandard).

2.3.3. Entwicklungsprozess und technische Realisierung des ABP Systems

Gemäss gültiger Schweizerischer Fahrdienstvorschriften FDV (R300.1-.15) darf die Bremsprobe vom Führerstand durchgeführt werden, wenn alle Fahrzeuge über eine «geeignete Meldevorrichtung» verfügen. Ziel des Teilprojekts ABP ist die Entwicklung, Nachweisführung, Integration und in Folge der Betrieb einer solchen «geeigneten Meldevorrichtung». Für die Entwicklung und Einführung dieses sicherheitsrelevanten Prozesses sind die entsprechenden Normen und Vorschriften einzuhalten. Da es auf dem Markt derzeit kein Referenzsystem gibt handelt es sich um eine Grundlagenentwicklung.

Basis für die Entwicklung ist die Definition der Anforderungen und Rahmenbedingungen an das System, welches im produktiven Einsatz Sicherheitsverantwortung übernimmt:

- Eine automatisierte und im besten Fall automatische Bremsprobe muss sämtliche funktionalen und sicherheitsrelevanten Voraussetzungen hinsichtlich des Fahrzeugs und Betriebs erfüllen. Die betriebliche Sicherheit muss gewährleistet sein.
- Funktionale Anforderungen sowie technische und betriebliche Sicherheitsanforderungen müssen entwickelt werden.
- Die IT wird als Umgebungssystem in das Bremsprobensystem integriert, da durch die Systemanbindung des Bremsprobensystems an die IT-Infrastruktur von SBB Cargo diese IT-Systeme auch Sicherheitsverantwortung übernehmen (die IT-Infrastruktur liefert den Dateninput aus den Vorprozessen).

- Die ABP muss als System in die Bestandsfahrzeuge integriert werden können. Dabei muss die Überwachung des Bremszustandes mehrere Kriterien erfüllen: Sie muss rückwirkungs-frei und ohne physischen Eingriff auf das Bremssystem oder den Bremsvorgang erfolgen. Die ABP muss darauf ausgelegt sein, den Bremszustand der Güterwagen im Zugverband sicher und zuverlässig festzustellen.
- Betriebliche und sicherheitsrelevante Aspekte des Eisenbahnbetriebs müssen in der nor-mativen Systementwicklung berücksichtigt sein.
- Es muss eine Neuentwicklung der digitalen Übermittlung der Bremszustände im Güterzug erfolgen und die Entwicklung einer Applikation, die es ermöglicht, die gesammelten und ausgewerteten Kontrollergebnisse auf einem einzigen Anzeigengerät sicher darzustellen.
- Die automatische Übermittlung der wagenspezifischen Bremszustände der durchgeführten Bremsprobe erfolgt via IT-Protokoll an den Server von SBB Cargo.
- Die Durchführung einer herkömmlichen manuellen Bremsprobe muss jederzeit als Rückfall-ebene bei Fehlfunktionen oder Systemausfällen möglich sein.
- Das System muss den Umgebungsbedingungen des Schienengüterverkehrs standhalten und alle Anforderungen an elektromagnetischer Verträglichkeit erfüllen.
- Die Implementierung eines digitalen Prozesses erfordert geschulte Mitarbeitende.

Die technische Realisierung des Systems erfolgt auf drei Ebenen, danach erfolgt bei SBB Cargo die Integration in die IT-Systeme sowie die betriebliche Prozessintegration.

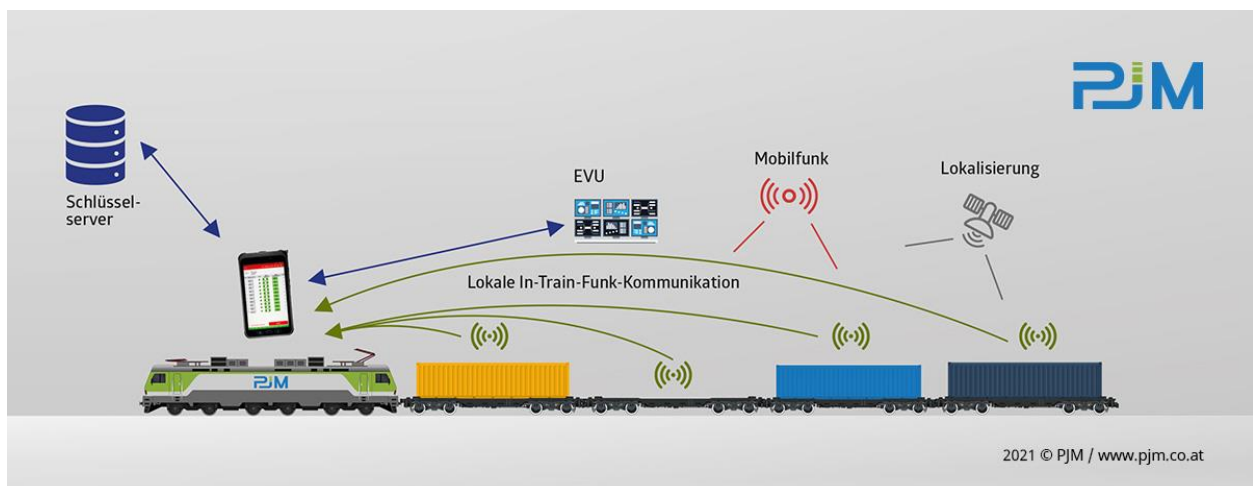


Abbildung 6: Systembild automatische Bremsprobe.

Ebene 1: Ausrüstung der Fahrzeuge mit zentraler Einheit, Sensorik und Funksystem

Die Wagen sind mit einer zentralen Einheit (ABP WaggonTracker-System) ausgerüstet, welche die Sensorsignale verarbeitet und das Funkmodul zur Übertragung der Daten beherbergt. Zur Stromversorgung der zentralen Einheit (WaggonTracker) dient der Radnabengenerator, der den Wagen mit Energie speist. Ausserdem ist auf den Wagen Sensorik verbaut, welche die zu Zu-standsdaten abhängig vom Bremssystemaufbau wagenspezifisch erfasst. Bei üblicher Klotz-bremse kommen folgende Verfahren zum Einsatz:

- Messung des Bremszylinderdrucks (C-Druck) zur Funktionskontrolle der Betriebsbremse
- Messung der Kräfte im Bremsgestänge zur Überprüfung von Hand- und Betriebsbremse

- Erfassung der Stellung des Hebels zur Lastumstellung sowie des Bremsstellungswechsels G/P zur weiteren Prüfung der vorab durchgeführten Zugvorbereitung.
- Hochpräzise Ortung jedes Fahrzeugs zur Verifizierung der korrekten Wagenreihung.
- Funksystem: Das lokale Funksystem gewährleistet eine sichere, schnelle und direkte Kommunikation im Zugverband mit allen ausgestatteten Wagen (auch von anderen Wagenhaltern). Dieses In-Train-Kommunikationssystem verfügt über eine verschlüsselte, gesicherte Verbindung.

Ebene 2: Das Zentralgerät

Das Zentralgerät wird gespeist vom Schlüsselservers (zur Gewährleistung der Anforderungen an die Cyber Security) und der IT-Integration des Eisenbahnunternehmens. Der Schlüsselservers gewährleistet die Security der lokalen Funkkommunikation und bei Anwendungen verschiedener EVU die Interoperabilität, während die IT-Integration für den Datenaustausch bzgl. Wagenlisten und Protokolle sorgt. Die Daten dieser beiden Tools werden an das Zentralgerät übermittelt. Das Zentralgerät ist ein Tablet, das mit einem Funkmodul zur Wagenkommunikation und der Bremsprobe-App ausgestattet ist.

Ebene 3: Die Bremsprobe-App

Die dritte Ebene ist das Ergebnis des gesamten Bremsprobensystems. Während sämtliche Informationen im Hintergrund zusammengeführt werden, sind die Ergebnisse der ABP über die Bremsprobe-App auf dem Tablet des Bremsprobeverantwortlichen ersichtlich.

Die Bedieneroberfläche ist einfach zu bedienen. Der oder die Bremsprobeverantwortliche kann die Überprüfung der Bremsen aus der Ferne mit einem Klick von seinem Tablet aus durchführen. Der Bremsstatus aller Wagen ist mit einem Blick ersichtlich. Es ist ein umfassender Fehlerprozess hinterlegt, welcher den Bedienenden auch im Falle von Fehlern oder Abweichungen sicher durch den Prozess führt.

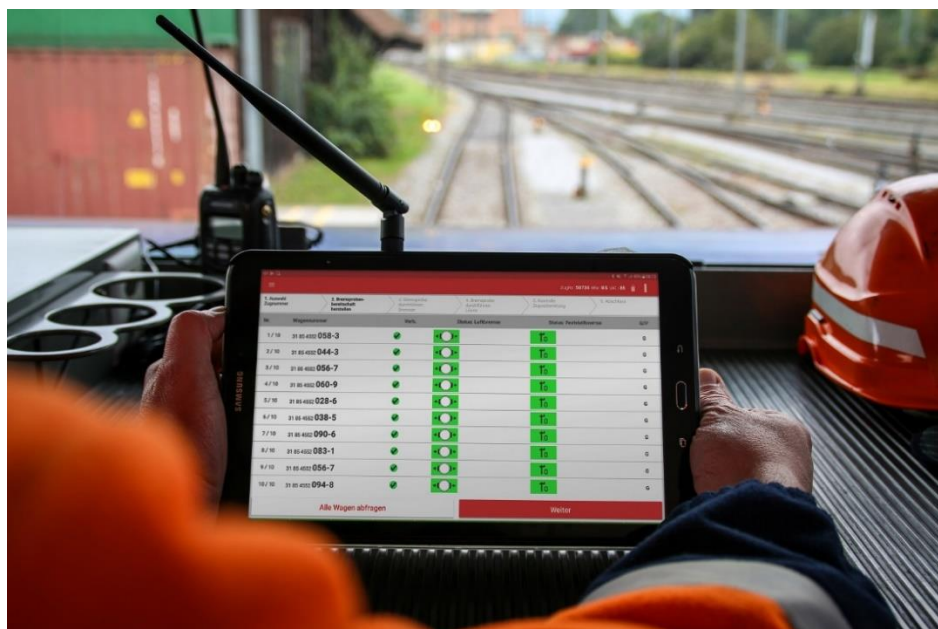


Abbildung 7: Anzeige des Bremsstatus auf dem Tablet.

2.3.3.1. IT- und Prozessintegration

Das System der ABP hat diverse Schnittstellen in der IT-Landschaft von SBB Cargo, welche beschrieben, umgesetzt und gemanagt werden müssen. Hierzu zählen insbesondere der Bezug der Wagenliste aus den Vorgängerprozessen der Zugvorbereitung (Wagenliste), aber auch der Bezug der Bremsproben-App aus dem SBB-spezifischen App-Store, die Vergabe der Nutzungsrechte nur an entsprechend geschulte Mitarbeitende sowie die Ablage der Ergebnis-Protokolle der durchgeführten Bremsproben und deren strukturierte Auswertung. Hierbei sind alle Aspekte der funktionalen Sicherheit und die Anforderungen bezüglich Cyber-Security und des sicheren Systembetriebs nach der produktiven Einführung der ABP zu berücksichtigen.

Die Einführung bringt Schulungsbedarf und eine Veränderung der bestehenden Abläufe mit sich, welche im Managementsystem von SBB Cargo entsprechend abgebildet werden müssen. Besonderes Augenmerk liegt hier auf den Anwendungsbedingungen des technischen Systems, welche sicher umgesetzt werden müssen. Dazu gehören insbesondere auch die Instandhaltungsprozesse der neuen technischen Systeme durch das ECM (Enterprise Content Management) sowie die IT.

2.3.4. Normative Anforderungen, Zulassung und Nachweisführung

Zum Nachweis der nötigen Sicherheit des Gesamtsystems der automatischen Bremsprobe ist der relevante Katalog der technischen Normen zu erfüllen. Hierfür ist federführend die EN 50126:2017 (Bahnanwendungen / Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS)). Für die Technologie und Nachweisführung sind EN 50155:2017, EN 50129:2018, EN 50657:2017 und EN 50159:2010 zu nennen.

Die Zulassung der ABP erfolgt nach dem Verfahren «Typenzulassung für Elemente von Eisenbahnanlagen» (RL TZL). Da es sich um eine Prozessentwicklung im Rahmen einer betrieblichen Anwendung handelt, ist die Zulassung von Fahrzeugen von untergeordneter Natur. Die Grundlage für die Systementwicklung bildet die Norm EN50126 und das V-Modell nach CENELEC (Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung). Eine Systementwicklung erfolgt in 10 Phasen, wobei SBB Cargo insbesondere in der Systemdefinition (Phase 1-4) als auch in der Integration (Phasen 8-11) massive eigene Entwicklungsanteile zu bewältigen hat. Die technische Entwicklung der funktionalen Einheiten liegen in der Hauptverantwortung von PJM. Hierbei ist anzumerken, dass SBB Cargo nur Erfahrung in den Phasen 10 und 11 (Systemabnahme und Betrieb) mitbringt.

Als Struktur der Nachweisführung wird ein generischer Ansatz gewählt und die beiden aktuell im Betrieb stehenden Wagen Sgnss und Sdggmrs(s) sind die Erstanwendung der generischen Applikation. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass weitere Fahrzeugtypen im Rahmen weiterer Anwendungsfälle mit niedrigem Aufwand nachgezogen werden können.

Ein wichtiger Teil der Nachweisführung ist die Gutachtenstruktur. Es sind folgende Begutachtungsstufen vorgesehen:

- Die Entwicklung Fahrzeugapplikation für den generischen als auch für den spezifischen Teil der Erstanwendung durch einen Sachverständigen. Das Gutachten beinhaltet die technisch-betriebliche Integration mit dem Fokus der funktionalen Sicherheit.

- Das Risikomanagement und der Sicherheitsnachweis der generischen Anwendung. Dies wird von einer vom BAV anerkannten Risikobewertungsstelle durchgeführt.
- Die Prüfung der Gebrauchstauglichkeit der Anwendung ABP und die Umsetzbarkeit der Anforderungen für den operativen Einsatz des Gesamtsystems.
- Die Entwicklung des IT-Datenaustauschs inklusive «Cyber Security» durch einen Sachverständigen.

2.3.5. Ausbildung, Betriebseinführung und Einführungsplanung

Der Betriebseinführung und dem Befähigungskonzept kommen eine zentrale Rolle zu. Dazu gehörten das Befähigungskonzept für die Produktion und für den IT-Betrieb und einen Schulungsplan für die Instandhaltung. Die Instandhaltung der Wageneinheiten wird durch den Lieferanten PJM geschult. In der IT liegt der Schulungsfokus auf der sicherheitsrelevanten Anwendung, d.h. es wird gezielt auf Change und Release Management fokussiert. Die dazugehörigen Dokumente wie z.B. das Konzept Betriebliche Entwicklung sind Teil der Typenzulassung.

Die entsprechenden Konzepte und Unterlagen sind integraler Bestandteil der Nachweisführung und Zulassung, da sie eine Voraussetzung sind für den sicheren Betrieb des Systems.

Für eine erfolgreiche Einführung (Phase 4, siehe unten) müssen verschiedene technische, betriebliche und regulatorische Voraussetzungen erfüllt sein. Betrieblich muss das Personal entsprechend geschult sein und alle relevanten Betriebsdokumente müssen vorliegen. Ausserdem muss die Hard- und Software des ABP-Systems ist auf allen Wagen mit AKU eingebaut und betriebsbereit sein. Die IT-technischen Voraussetzungen für die Inbetriebnahme sind im IT-Betriebshandbuch beschrieben und müssen ebenfalls vor Betriebsaufnahme erfüllt sein. Ausserdem muss die Bewilligung des BAV zur Betriebserprobung unter Sicherheitsverantwortung vorliegen.

2.3.5.1. Einführungsphase

Die Einführung des ABP Systems ist in verschiedene Phasen gegliedert:

Phase 1: Flächentests und Validierung – Intensive Tests des Systems ABP durch Projektmitarbeiter an mehreren dafür abgestellten Wagen im Gleisfeld. Die Validierungstests gemäss den Vorgaben der normativen Entwicklung werden ebenfalls in dieser Phase durchgeführt. Fokus liegt auf der Funktionalität des Systems und der Prüfung, ob die System- und Sicherheitsanforderungen erfüllt sind. Diese Phase konnte im Juni 2021 erfolgreich abgeschlossen werden.

Phase 2: Testwochen durch Superuser – anwendungsbezogener Systemtest. Bewertung der Ausbildungsunterlagen, Handbücher und Vorschriften durch die Superuser und gegebenenfalls Veranlassung von Anpassungen. Diese Phase wurde im Oktober 2021 abgeschlossen.

Phase 3: Parallelbetrieb – Neben der herkömmlichen manuellen Bremsprobe wird an ausgewählten Standorten an explizit definierten Zügen im Rahmen der ordentlichen Zugvorbereitung auch eine Bremsprobe mit dem System ABP durch operatives Stammpersonal durchgeführt. Der Fokus dieser Phase liegt auf der Erfüllung der betrieblichen Anforderungen und der Überprüfung, ob das System auch im operativen Gebrauch die Sicherheits-, Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsanforderungen erfüllt. Die Phase 3 entspricht der Sicherheitserprobung nach EN 50129. Diese Phase wurde ebenfalls im Oktober 2021 erfolgreich abgeschlossen.

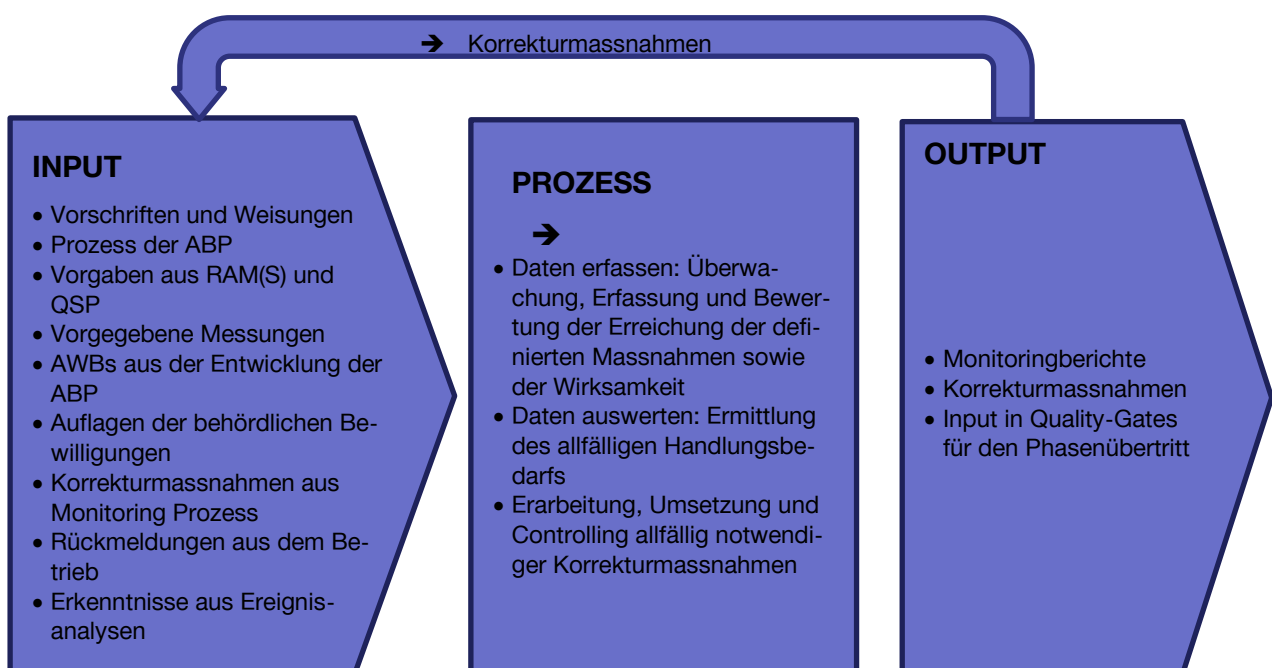
Phase 4: Betriebserprobung - In der Betriebserprobung wird die Funktionalität, Effizienz und Praxistauglichkeit des Zulassungsgegenstands überprüft.

Diese Phase wird nach Erhalt der Bewilligung für die Betriebserprobung vom BAV gestartet.

Der Fokus liegt insbesondere auf:

- Der Einhaltung der betrieblichen Vorschriften und Arbeitsanweisung
- Der Einhaltung der geforderten RAMS-Anforderungen
- Der Überprüfung der Handhabung des Systems durch die Mitarbeiter in Bezug auf Anwendungssicherheit und Prozessverständnis
- Der Überprüfung, ob das System ABP die erwarteten Effizienzgewinne im Prozess der Zugvorbereitung erfüllt

2.3.5.2. Monitoringkonzept



Das Monitoring basiert im Wesentlichen auf der Auswertung von Protokolldaten des Systems ABP, Audits und Begleitungen, Auswertung von betrieblichen Meldungen und Rückmeldungen der Anwender.

Auf Grund der analysierten Daten und im Abgleich mit den Vorgaben werden entsprechende Massnahmen festgelegt, umgesetzt und über das Monitoring wieder kontrolliert (Kreislauf).

2.3.6. Lessons Learned bis zum aktuellen Projektstand

Demonstratoren und Prototypen-Versuche liefern wichtige Erkenntnisse für die Systemauslegung, aber faktisch beginnt die Entwicklung nach der Prototypen-Phase von vorn (normative Entwicklung).

Die Systemspezifikation und die Entwicklung eines neuartigen und integrierten Systems in die Eisenbahn können nur unter Einhaltung der gültigen Normen und Vorgaben erfolgen (der Versuch von Abkürzungen oder Vereinfachungen scheitert).

Durch die Neuartigkeit der Systeme werden Systemgrenzen verschoben und Verantwortungen neu zugeordnet. Anwendungen dieser Normen und Vorgaben stellen alle am Entwicklungsprozess beteiligten vor neue Herausforderungen.

In der Organisation müssen neue Rollen zur Entwicklung und Betrieb der Systeme geschaffen werden. Das EVU (SBB Cargo) kommt neu in die Rolle des Integrators und muss sich eine Reihe neuer Kompetenzen aneignen, um den Entwicklungsprozess erfolgreich durchlaufen zu können.

Die Entwicklung von IT-Security und IT-Safety sind für alle (Industrie, Gutachter, IT-Ingenieure, BAV) neue Disziplinen, welche neue Kompetenzen erfordern, die auf dem Markt nur schwer verfügbar sind. Das Entwicklungsrisiko und die Komplexität der Methoden und Verfahren steigen somit signifikant.

Der Entwicklungsprozess läuft iterativ ab. Neue Erkenntnisse fließen auch immer rückwirkend in die frühen Projektphasen ein und erfordern Changes und Anpassungen im gesamten Dossier. Es braucht einen «langen Atem», um ein Projekt dieser Komplexität und dieses Umfangs zum Erfolg zu führen.

Der Aufwand für die Betriebserprobung innovativer Systeme ist hoch, da nur nach vollständiger und abgeschlossener Nachweisführung ein ordentlicher Betrieb zulässig ist. Dies widerspricht dem Ansatz des «minimal viable products» aus dem modernen Innovationsmanagement.

2.3.8. Abschluss und nächste Schritte

Aufgrund der noch nicht erteilten Zulassung für die Betriebserprobung unter Sicherheitsverantwortung kann bezüglich Erfahrungen im Realbetrieb nur auf die Validierungstests bzw. auf die Erprobung im Parallelbetrieb zurückgegriffen werden. Der Zeitbedarf wird wie erwartet durch das physische Befüllen und Entlüften der Wagen verursacht. Das Abfragen des Bremsstatus der Wagen selbst dauert nur wenige Sekunden. So konnte an einem Zug mit 530m Länge innerhalb von sechs Minuten eine volle Bremsprobe erfolgreich durchgeführt werden. Dies bestätigt die Annahmen der möglichen Zeitersparungen im Betriebseinsatz.

Die Mitarbeitenden haben sich positiv über die Verständlichkeit der App und die bisher durchgeführten Schulungen geäußert. Je nach Affinität zu Tablet und Neuerungen im Arbeitsalltag wird die Dauer der Begleitung im Rahmen der Einführung durch das Projektteam angepasst. Die grundsätzliche Anwendbarkeit der ABP wird sowohl intern durch die Abteilung Sicherheit als auch extern durch den Gutachter im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit bestätigt.

Da die ABP in der jetzigen Konfiguration auf den Wagen autark funktioniert (Strom und Datenversorgung unabhängig von der Kupplung) könnte die Anwendung auch unabhängig von der AKU ausgerollt werden. Hier wären zum Beispiel Ganzzüge oder zeitkritische Verkehre wie die Postverkehre mögliche Anwendungsfelder.

Durch den komplizierten und verspäteten Zulassungsprozess der ABP konnten im Rahmen des Projekts keine breiten Erfahrungen zu den betrieblichen Auswirkungen der Zusammenwirkung

von AKU und ABP gewonnen werden. Konkrete Ergebnisse zu den Vorteilen im Betrieb, inklusive Rückmeldungen der Mitarbeitenden von SBB Cargo – werden mit der Umsetzung des Nachfolgeprojekts vorliegen.

2.4. Unbesetzte Spitze (Teilautonome Rangierlok)

Das Ziel der unbesetzten Spitze ist es, die Lokomotive mittels des übertragenen Bildes und der überlagerten Hinderniserkennung von jeder Position am Zug aus mittels Funkfernbedienung zu bewegen, auch wenn der Fahrweg nicht direkt, sondern nur mittels übertragenem Bild eingesehen werden kann.

2.4.1. Evaluation Anbietermarkt und Lieferantenwahl

Die ersten Ideen für die Anwendung unbesetzte Spitze und das Upgrade der Funkfernbedienung sind im Jahr 2016 entstanden und in diesem Kontext wurde der mögliche Anbietermarkt systematisch evaluiert. Wie bei allen Vorhaben gab es auch bei dieser Applikation kein verfügbares Produkt auf dem Markt. Eine umfassende Marktanalyse hatte als Ergebnis, dass erste Aktivitäten auf dem Gebiet bei den Firmen Bosch und Bombardier sowie dem Start-Up Railvision gestartet wurden. Während Bombardier sich zu dem Zeitpunkt voll auf Trambahnen fokussierte, waren die Firmen Bosch und Railvision für einen ersten Proof of Concept bereit. Das jeweils frühe Stadium der Arbeiten und eine niedrige Technologiereife erlaubten zu dem Zeitpunkt noch keine Auswahl oder Bewertung.

2.4.2. Test der Prototypen

Vor dieser Ausgangslage erstellte SBB Cargo ein erstes funktionales Lastenheft für die Applikation und jeweils mit Bosch und Railvision einen Proof of Concept durchgeführt. Als Projektpartner fungierten jeweils die Hersteller der bereits auf den Fahrzeugen installierten Funkfernbedienungen. Eine Auswertung der Ergebnisse ergab, dass durch den Ansatz der Firma Bosch, die bestehenden Sensoren aus dem Automobilbereich auch auf die Bahn zu übertragen, die Anforderungen von SBB Cargo nicht erfüllt werden können. Insbesondere die Umfelderkennung mittels Radarsensorik konnte im Bahnumfeld mit viel verbautem Stahl nicht überzeugen. Als Ergebnis des Proof of Concept wurde die Firma Railvision in Zusammenarbeit mit dem Funkfernbedienungshersteller SEAG (Schweizer Electronic AG) für die weitere Projektrealisierung ausgewählt.

2.4.3. Entwicklungsprozess



Abbildung 8: Wintertest der unbesetzten Spitze in Gossau.

Wichtige Bestandteile des Systems sind Kameras (optisch, infrarot) zur Fahrwegerkennung und zur Überwachung des Bernerraums, die sichere Übertragung des Bildes in ausreichender Qualität und in Nahe-Echtzeit auf das Tablet des Rangierlokführers sowie die Algorithmik zur Hinderniserkennung. Das Bedienungsinterface besteht in einem Standard-Tablet, welches mittels Halterung auf die Funkfernbedienung montiert wird.

Per September 2020 wurde eine Eem923-019 als Funktionsmuster (FuMo) der UBS mit den beiden Systemkomponenten Hindernis- und Fahrwegerkennungssystem (Lieferumfang der Firma Railvision, vertreten durch Knorr Bremse) sowie nach den Grundsätzen funktionalen Sicherheit entwickelte Videosignalübertragung auf ein mobiles Tablet (Lieferumfang Firma Schweizer Elektronik) umgebaut.

Da die Anwendung sowohl für Railvision und Knorr als auch für Schweizer Elektronik eine neue Technologie darstellt, musste viel in Grundlagenarbeit investiert werden, um an den Punkt effizienter Tests mit einem seriennahen System zu kommen. Insbesondere mussten diverse Komponenten aufgrund von Defekten ausgetauscht sowie teilweise verstärkt oder geschützt werden und die Datenübertragungsrate zur Verhinderung von Verbindungsabbrüchen und zu hohen Latenzen auf Kosten der Qualität reduziert werden.

Parallel dazu wurde eine umfassende Risiko- und Machbarkeitsanalyse mit der Firma SafeInTrain durchgeführt, aus der sich die Sicherheitsanforderungen für das Zulassungskonzept ableiten lassen.

2.4.4. Ergebnisse und wesentliche Erkenntnisse

- Die Hindernis- und Fahrwegerkennung funktioniert gut (vergessene Hemmschuhe werden auf knapp 40m erkannt). Insbesondere im Dunkeln besteht aufgrund der guten visuellen Darstellung ein deutlicher Mehrwert, welcher z. B. zur Vermeidung von Schäden (Fahrwegerkennung, Personen, Hindernisse, Hemmschuhe) beitragen kann. Weitere Hindernisse (z.

B. Sperrtafeln, Bügelsenssignale, Prellböcke) können dem System durch Training der künstlichen Intelligenz (KI) beigebracht werden.

- Die sichere Videoübertragung in Nahe-Echtzeit kann mit der zur Verfügung stehenden Basis-Technologie des 4G/LTE-Netzes nicht gelöst werden. Die Netzqualität in den einzelnen Zellen schwankt auslastungsbedingt stark und die nötige Übertragungsperformance kann von der Swisscom nicht stabil gewährleistet werden. Sonst angewendete Optimierungen wie Komprimierung oder Pufferung kommen aufgrund der Sicherheitsrelevanz der Anwendung nicht in Frage. Ein lokales Netzwerk am jeweiligen Bedienpunkt kann aufgrund der hohen Anzahl dezentraler Punkte und dem damit verbundenen Kostenaufwand ebenfalls nicht umgesetzt werden.
- Die Ergonomie mit der Kombination Tablet und Funkfernbedienung ist zufriedenstellend, solange der oder die Mitarbeitende nicht, wie im heutigen Set-Up, zum Kuppeln und Entkuppeln unter den Puffern durch in den Bernerraum treten muss. Andere Lösungen, wie z. B. eine Virtual Reality Brille wurden evaluiert, sind aber im Eisenbahnverkehr und unter den gegebenen Sicherheitsanforderungen nicht umsetzbar.

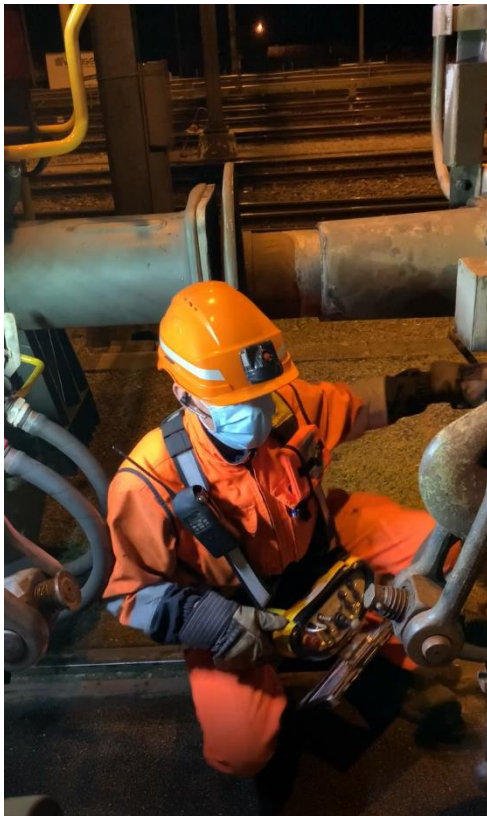


Abbildung 9: Kuppelversuch mit Funkfernbedienung und Tablet für die Bildübertragung.

Aufgrund dieser fehlenden (technischen) Voraussetzungen, wie z.B. die flächige Einführung der AKU und eines 5G-Netzes, wurde das FuMo per Ende Juni wie geplant beendet und die geplante Serienumrüstung von 10 Lokomotiven nicht realisiert. Das Ziel des Projekts UBS wurden von der remoten Überwachung der Rangierfahrt hin zu einem reinen Assistenzsystem (DAS, Driver Assistance System mit Hindernis-, Fahrweg- und Signalerkennung) angepasst.

Anders als bei der UBS stehen hier ausschliesslich die Verhinderung bzw. die Verringerung von Schäden im Rangierbetrieb im Vordergrund. Durch die Reduktion der Systemkomplexität sowie der involvierten Partner gestaltet sich die Realisierung deutlich einfacher.



Abbildung 10: Vom Objekterkennungssystem erkannter Hemmschuh und Gleisabschluss.

2.4.5. Konsequenzen für den Ein-Personen-Betrieb und nächste Schritte

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, was dieses Ergebnis für die Umsetzung des Ein-Personen-Betriebs bedeutet und welche Schlussfolgerungen daraus für die nächsten Projektschritte gezogen werden können.

Die Detailanalyse im Rahmen der Betriebserprobung und auch des Gutachtens der TU Dresden ergeben, dass die UBS nicht existenziell für den Ein-Personen-Betrieb ist (Gutachten TU Dresden, Fazit zur UBS). Durch den bereits im Status Quo teilweise praktizierten Einsatz einer Funkfernsteuerung erschliessen sich viele Arbeitsprozessvereinfachungen im Vergleich zum Einsatz einer dauerhaft besetzten Lok mit einem Rangierleitenden. Dennoch wird der zusätzliche Effekt der unbesetzten Spitze von den Regionalleitern von SBB Cargo nach wie vor als hoch eingestuft, so dass eine Wiederaufnahme des Projektes bei entsprechend verfügbaren Basistechnologien nach wie vor geplant ist.

Es hat sich ausserdem herausgestellt, dass bei der konsequenten Entwicklung der UBS, neben den oben genannten K.O. Kriterien, noch einige Hürden zu bewältigen sind:

- Für die Realisierung der technischen Lösung braucht es eine Vielzahl von Partnern, die von einem Integrator gemanagt werden müssen. Im bisherigen Projektverlauf hat SBB Cargo diese Rolle übernommen, was aber für eine Serienlösung als problematisch einzustufen ist, da die nötige Schlüsselkompetenz nicht stabil vorhanden ist.
- Der Bestandteil der Hinderniserkennung (Künstliche Intelligenz) ist zwar in aller Munde, wie mit diesen Technologien zulassungs- und nachweistechisch umzugehen ist, ist aber noch weitgehend eine Grauzone, die sich erst in den kommenden Jahren konkretisieren wird.

- Die Übertragung des Bildes in hoher Auflösung bei geringer möglicher Kompressionsrate generiert aktuell hohe Datenübertragungskosten, die den positiven finanziellen Effekten entgegenlaufen, auch wenn für die Zukunft von sinkenden Kosten ausgegangen werden kann. Mit den Netzprovidern müssten daher deutlich attraktive Tarife für die Datenübertragung verhandelt werden, was in Anbetracht der nötigen hohen Datenvolumina und den hohen Qualitätsanforderungen (Netzpriorisierung) unsicher scheint.

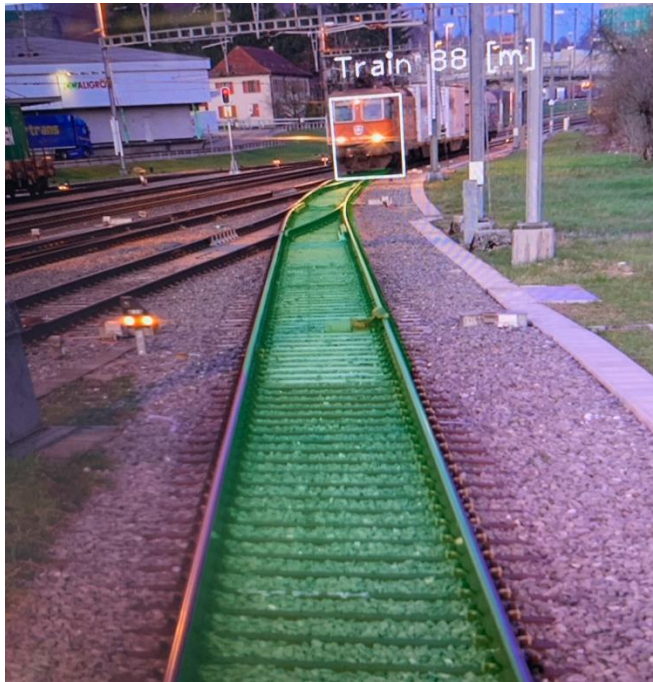


Abbildung 11: Fahrstrassenerkennung und Objekterkennung.

Basierend auf diesen Erkenntnissen evaluiert SBB Cargo derzeit in Zusammenarbeit mit der SBB, ob die Anwendung des Systems als Fahrerassistenzsystem zur Erhöhung der Rangiersicherheit weiterverfolgt werden könnte. Voraussetzung hierfür ist ein positiver Business Case im Sinne Kosten vs. Prognose einzusparender Rangierschäden.

Wir gehen davon aus, dass die Entwicklung der Anwendung im Rahmen der flächendeckenden Ausrollung der AKU und des 5G-Netzes, basierend auf Weiterentwicklungen und Erfahrungen aus dem Fahrerassistenzsystem, wieder aufgenommen wird. Auch besteht die Erwartung, dass im Rahmen der vielfältigen Vorhaben im Bereich ATO die Bedeutung der Analyse und Übertragung von Kamerabildern zunimmt und der Markt entsprechende Fortschritte wird vorweisen können.

3. Schlussfolgerungen und Nutzen für den Gütertransport auf der Schiene

In diesem abschliessenden Kapitel wird der Nutzen des Projekts für den Gütertransport auf der Schiene kritisch reflektiert und die Erkenntnisse für weiterführende Pilotprojekte finanziert durch Artikel 10 GüTG vorgestellt. Zudem wird das Zielbild des Ein-Personen-Betriebs thematisiert und die Ergebnisse aus einem Gutachten der TU Dresden von 2020 vorgestellt. Der

Bericht endet mit einem Ausblick auf die Entwicklungen im nationalen und internationalen Kontext.

3.1. Reflektion der Zielerreichung und Erkenntnisse für weiterführende Projekte

Im Projektantrag wurde eine Reihe von Zielen formuliert, welche hier in Form einer kritischen Reflektion mit den erreichten Ergebnissen abgeglichen werden sollen.

Der Antrag fokussiert auf die Entwicklung der nötigen Basistechnologien sowie die Ausrüstung der im KV benötigten Fahrzeuge zur Erprobung der Technologie sowie der neuen Betriebsprozesse. Zitat aus dem Projektantrag:

«Der Zeithorizont des vorliegenden Förderantrags betrifft die Spanne von September 2017 bis Ende 2018 und umfasst die erforderlichen Schritte zur Schaffung der Voraussetzungen für die Erprobung der Innovationen im kommerziellen Betrieb. [...] der Pilotversuch ermöglicht das Sammeln belastbarer Erfahrungen und eine systematische Auswertung der eingesetzten Technologien in einem noch frühen Projektstadium sowie darauf aufgesetzt die weitere Planung einer allfälligen Migration. Da diese fundamentale Neuerung einer sorgfältigen Vorbereitung und Etappierung bedarf, hat sich SBB Cargo entschlossen, einen breit angelegten betrieblichen Piloten im KV zu starten.»

Ziel gemäss Antrag	Erreichtes Ergebnis / kritische Würdigung
<i>Entwicklung der nötigen Technologien bis hin zur Serienreife und Sammeln von Erfahrungen im Realbetrieb</i>	Erfolgt für AKU / HK. Verzögert für ABP aufgrund der aufwendigen Systementwicklung und Nachweisführung – wird im Rahmen des Erweiterungsprojektes abgeschlossen. Abgebrochen für UBS aufgrund fehlender Basistechnologien.
<i>Evaluation und Anpassung der Betriebsprozesse</i>	Erfolgt für AKU und ABP. Detaillierte Analysen im Bereich UBS, welche allerdings nicht zur Anwendung kommen.
<i>Kontrolle und Nachweis der mit dem Gesamtvorhaben avisierten Wirkung</i>	Erfolgt (siehe Gutachten TU Dresden).
<i>Gewinnung von Stakeholdern in der Branche (CH und EU) und Erbringung eines Machbarkeitsnachweises</i>	Erfolgt.

Bei dem Förderprojekt Automation handelte es sich um ein ambitioniertes Vorhaben. Insbesondere weil bereits in einem frühen Entwicklungsstand der für den Einsatz vorgesehenen Technologien mit einem kommerziellen betrieblichen Einsatz geplant wurde. In der Regel umfassen Förderprojekte entweder nur den Nachweis der grundsätzlichen technischen Machbarkeit (vgl.

5L-Demonstrator-Zug (BAFU), DAC4EU des deutschen Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur), sind reine Entwicklungsprojekte (z. B. SmartRail) oder betreffen die Ausrollung bereits zugelassener Technologien (vgl. Lärmsanierung). Die Kombination von Entwicklung, Zulassung, Ausrollung und Betriebseinführung in einem Projekt ist unüblich und aufgrund des explorativen Charakters der Entwicklungsinhalte schwer planbar.

Die Tatsache, dass zwei der drei angestrebten Technologien zur Serienreife gebracht und ausgerollt wurden, beweist den Erfolg des Projektes. Auch der Projektteil unbesetzte Spitze, welcher aufgrund der noch nicht verfügbaren Basistechnologien mit reduziertem Umfang weiterverfolgt wird, hat wichtige Erkenntnisse für die Erhöhung der Rangiersicherheit geliefert und die Perspektive für die spätere Projektumsetzung geschärft.

Generell sind der hohe Entwicklungsanteil und die Herausforderungen der Betriebsintegration für eine Organisation wie SBB Cargo nur schwer zu stemmen. SBB Cargo hat als Geschäftsauftrag die Beförderung von Gütern und bewegt sich in einem kostensensitiven Umfeld. Die Strassentransporteure können hier auf die Kraft der Branche zählen und Innovationen im Lastwagenbereich werden aufgrund der hohen Stückzahlen marktreif von der Industrie angeboten.

Dank dem Förderbeitrag des BAV sind erzielten Ergebnisse überhaupt möglich. Diese Ergebnisse zu sichern und bis zur flächendeckenden Betriebseinführung weiterzuentwickeln ist ein wichtiger Fokus der kommenden Monate und Jahre.

Die wichtigste Erkenntnis für den künftigen Projektverlauf ist, dass jeder weitere Entwicklungsschritt nur dann zum Einsatz kommen darf, wenn die folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

- zugelassene und im Pilotbetrieb erprobte Technologie
- detaillierte Planung und Anpassung aller relevanten Betriebsprozesse
- intensive Begleitung der Betriebseinführung bis hin zum stabilen und störungsfreien Betrieb
- genügend Zeit für Optimierungen aus den gesammelten Betriebserfahrungen

3.2. Reflexion Zielbild Ein-Personen-Betrieb

Das Zielbild des Ein-Personen-Betriebs wurde bereits früh im Projekt gesetzt, um die Ratio der mit dem Programm angestrebten Optimierungen im Bahnbetrieb zu verdeutlichen: einzelne kleinere Optimierungen im komplexen Bahnumfeld bedeuten nur geringfügige Verbesserungen im operativen Ablauf, können aber keinen wesentlichen Beitrag zur Effizienzsteigerung auf der ersten und letzten Meile leisten.

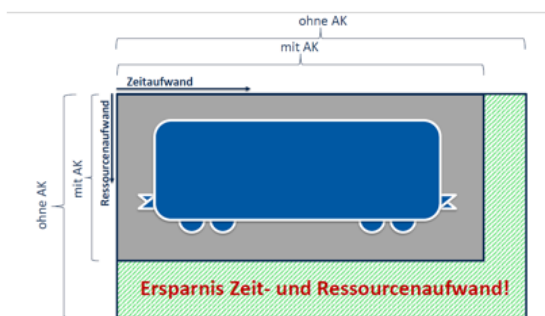
Erst wenn die Abläufe sich vereinfachen und die Einsparungen dazu führen, dass die Prozesse in der Fläche mit einer statt mit heute zwei Personen durchgeführt werden können, wird eine deutliche Verbesserung erreicht.

Die Detailanalysen der Flächenbedienung, die im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden, machen deutlich, dass auch das heutige Betriebskonzept heterogen ist und die einfache Formel $2/2=1$ so pauschal nicht angewendet werden kann. Daher hat SBB Cargo im Jahr 2020 eine vertiefte Analyse bei der TU Dresden in Auftrag gegeben, um die betriebliche Anwendbarkeit und zu erwartenden Effekte der Automation bei SBB Cargo vertieft zu beleuchten und zu bewerten.

Neben der reinen Effizienzsteigerung hat die Automation noch eine Reihe von weiteren, zum Teil schwer quantifizierbaren Nutzenkategorien, deren qualitativer Mehrwert unbestritten ist:

- Erhöhung der Arbeitssicherheit für das Rangierpersonal
- Reduktion der gesundheitlichen Belastungen durch schwere körperliche Arbeit
- Dokumentation der Ergebnisse durch Digitalisierung von Betriebsprozessen (ABP)
- Auch für junge Mitarbeitende attraktive Berufsbilder in Rangierbereich
- Basis für weitere Verbesserungen

Grundsätzlich können die erzielten Einsparungen in der Fläche entweder in Effizienzsteigerungen (Personalreduktion, Ein-Personen-Betrieb) oder aber in eine Reduktion der Durchlaufzeiten investiert werden (vergleiche Abbildung unten). Im Rangierbahnhof ist beides möglich.



A) In der Flächenbedienung:

- Prozess der letzten Meile nicht automatisiert
- Automation wirkt punktuell als Beschleuniger, meistens Trade-off Ressourcen oder Zeit
- Gesamtprozess noch viele manuelle Tätigkeiten

B) Im Rangierbahnhof:

- Prozess schon stark automatisiert
- Hauptzeitaufwand heute Entkuppeln, Kuppeln, Bremsprobe und Technische Kontrolle (RIZ)
- Automation wirkt damit auf Zeit und Ressourcen

In der Flächenbedienung kann der Hebel Automation entweder für schnellere Durchlaufzeiten (→ Angebotsverbesserung) oder Kostenoptimierung eingesetzt werden. Im Rangierbahnhof ist beides möglich.

Abbildung 12: Wirklogik der Einspareffekte.

Eine Detailanalyse der Prozessketten in der Flächenbedienung (siehe Abbildung unten) zeigt, wo die Hebel der Automation in der heutigen Ausprägung wirken (grün) und wo das Zielbild bei einer Weiterentwicklung der technisch-/betrieblichen Use Cases hinweist (gelb). Vollautomatische Prozesse wie ATO (Autonomous Train Operation) und eine Erneuerung der Infrastruktur (Ersatz Handweichen) sind explizit nicht Umfang der hier durchgeführten Betrachtungen, da diese ausserhalb des Einflussbereiches von SBB Cargo liegen.

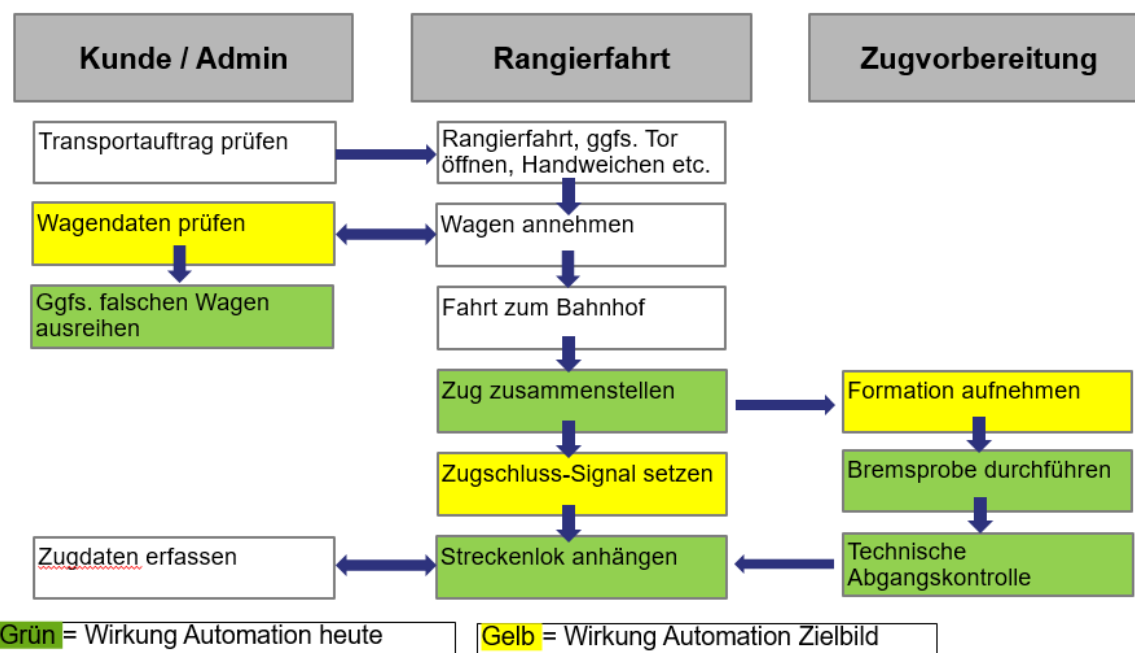


Abbildung 13: Detailanalyse Prozessketten.

Damit wird deutlich, dass mit dem aktuellen Stand der Entwicklung bereits ein wichtiger Schritt für eine effiziente Zugvorbereitung getan ist, die Entwicklung aber noch nicht abgeschlossen ist. Die Möglichkeiten, die sich aus der Einführung der DAK Typ 4 ergeben, können hier sicherlich einen wichtigen Beitrag leisten. So würde die Zugintegritätsprüfung z. B. das Stecken des Zugschlusssignals überflüssig machen.

3.3. Ergebnisse aus dem Gutachten der TU Dresden von 2020

Im Sommer 2020 hat SBB Cargo die TU Dresden, bzw. deren Spin-Off Neomobil, beauftragt, eine Einschätzung zu Machbarkeit und Wirkung der Innovationsprojekte im Kontext der Automation durchzuführen. Der Fokus lag dabei auf allen sich in Entwicklung befindlichen Projekten inkl. der digitalen Prüflogik, welche nicht im Förderumfang des vorliegenden Projektes enthalten ist. Die Schlussfolgerungen des Gutachtens sind aber auch für das vorliegende Projekt nützlich.

Als Projektfazit empfehlen die Gutachter, den Weg zum zukunftsfähigen Produktionssystem, bei SBB Cargo u. a. im Programm Automation und im Zielbild Ein-Personen-Betrieb verankert, fortzusetzen. Im Untersuchungsbereich des Projektes, markiert in der unten gezeigten Abbildung, wird die betriebliche Umsetzbarkeit der Innovationskomponenten in der Flächenbedien- und deren angestrebte Wirkungen grundsätzlich bestätigt.

Die Flächenbedienung bei SBB Cargo ist aufgrund unterschiedlicher örtlicher Begebenheiten heterogen. Weder der alte noch der neue Ressourcenbedarf kann pauschal berechnet werden. Zur Plausibilisierung der Wirkung der Automation wurden im Rahmen der Untersuchungen mit der TU Dresden einige repräsentative Bedienfälle mit Hilfe des Tools «PRT-Matrix» exemplarisch bewertet. Diese Bewertung bestätigt die erwarteten Einsparungen, kommt aber auch zu

der Aussage, dass für eine umfassende Bewertung des WLV eine vertiefte Analyse einer höheren Anzahl von Teambahnhöfen und Bedienpunkten getätigt werden muss.

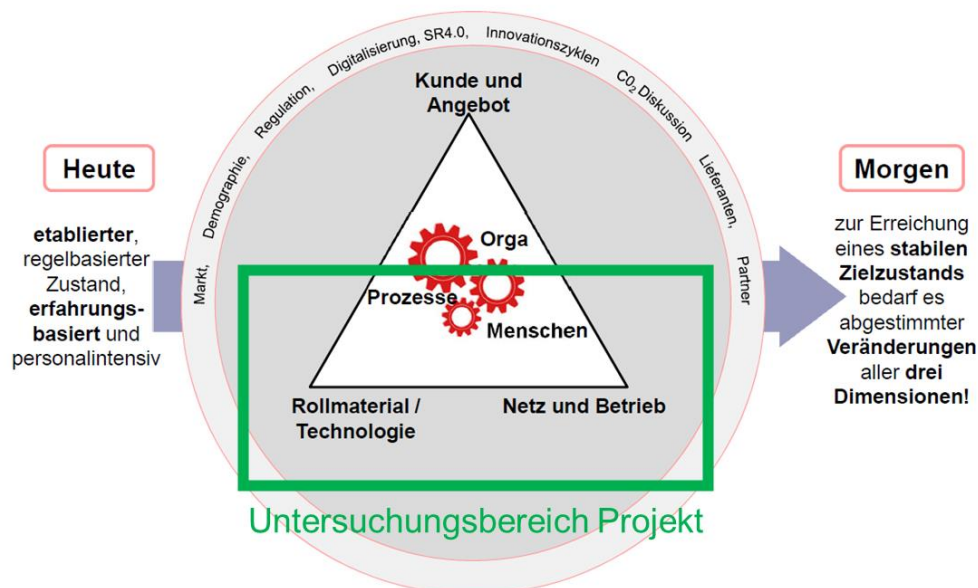


Abbildung 14: Prinzipskizze Changeprozess bei SBB Cargo.

3.4. Ausblick nationaler und internationaler Kontext

Im Rahmen des Projekts wurden wesentliche Fortschritte gemacht und wichtige Erkenntnisse gewonnen. Die Entwicklung ist aber noch nicht abgeschlossen. Sowohl im europäischen Ausland wie auch in der Schweiz stehen weitere Schritte und wichtige Aktivitäten in Bezug auf die Entwicklung und Einführung der Automation an. Mit der weiteren Umsetzung sind eine Reihe von Risiken verbunden, welche zum heutigen Zeitpunkt zusammenfassend als «hoch» bewertet werden müssen.

Tabelle 2: Haupt-Risiken der weiteren Umsetzung

Risiko	Massnahmen	Bewertung
Verzögerung aufgrund der Abhängigkeit von Entwicklungs-, Migrations- und Finanzierungsprozess auf europäischer Ebene.	Enge Mitarbeit in den europäischen Gremien.	Hoch
Komplexität der noch ausstehenden technischen Entwicklungen für die DAC4 sowie deren Integration in die Bahnprozesse.	Anschlussprojekte wie z.B. der Powerline Testzug.	Mittel
Verzögerte Entwicklung der nötigen Basis-Technologien wie 5G und	Enge Marktbeobachtung.	Mittel

deren Verfügbarkeit zu akzeptablen finanziellen Konditionen.		
Der für die Realisierung nötige Kompetenzaufbau bei SBB Cargo kann nicht mit der nötigen Vorlaufzeit gewährleistet werden.	Kompetenzmanagement im Rahmen der finanziellen Möglichkeiten.	Hoch

Bei der Umsetzung der Automation im Schienengüterverkehr handelt es sich um eine umfassende Erneuerung der Technologie- und Prozesslandschaft und um einen Paradigmenwechsel, der weit über die Reichweite eines klassischen Optimierungsprojekts hinausgeht. Die Umsetzung muss fest in den Linienfunktionen der Organisation verankert werden, damit alle Belange der Umsetzung adäquat bearbeitet werden und der damit verbundene Change-Prozess in der Flächenorganisation ankommt.

Während der Migration, bei der zwei Systeme parallel zur Anwendung kommen, sind Dissynergien und Mehraufwände in den Betriebsabläufen zu erwarten, welche nun im Rahmen der Detailplanung Expressnetz des WLV ermittelt werden. Es hat sich gezeigt, dass ein hoher Aufwand beim Netzdesign und der Fahrplanplanung zu erwarten ist, um den Migrationsprozess effizient zu steuern und die Auswirkungen für die Kunden möglichst klein zu halten.

Auch ist der Einbezug weiterer Branchenteilnehmer wie Wagenhalter und weitere Eisenbahnverkehrsunternehmen ein wichtiger nächster Schritt, damit die Migration nicht nur aus einer Perspektive betrachtet wird, sondern in der Branche breit abgestützt ist.

Diesem breiten Ansatz folgt nun auch das zwischen BAV, VAP und VöV aufgesetzte Projekt zur Umsetzung der Motion Dittli «Durch Automation Güter auf der Schiene effizienter transportieren». Das Parlament hat die Motion im Dezember 2020 angenommen. Sie fordert vom Bundesrat ein «Konzept für die Finanzierung und für die koordinierte Umsetzung technischer Neuerungen», dieses soll vor allem «eine (Teil-)Automatisierung der letzten Meile im Schienengüterverkehr ermöglichen». Die Motion und auch das Projekt zu deren Umsetzung sind wichtige Meilensteine in der Umsetzung der Automation für den Schweizer Binnenverkehr. Neben der Finanzierung liegt in der Umsetzung der Fokus der Migration und den Business Case für den ganzen Sektor. Hier wird SBB Cargo eine wichtige gestaltende Rolle übernehmen und die Erfahrungen aus dem vorliegenden Projekt miteinbringen. Ausserdem liegt der Fokus auf der Erweiterung der KV-Verkehre (vgl. Verfügung vom 28.04. 2021).

Parallel zum gesetzgeberischen und politischen Prozess muss die technologische und prozessuale Entwicklung weitergeführt werden, damit die Branche im Falle eines positiven Parlamentsentscheides für die Umsetzung bereit ist. Hierzu zählen die Integration der digitalen automatischen Kupplung (DAC oder DAK) und erste Basistests zur Eignung des intelligenten Backbones im intelligenten Güterzug, die Weiterentwicklung der automatischen Zugvorbereitung basierend auf der ABP sowie die detaillierten Einbauuntersuchungen und Prototypen weiterer Fahrzeugtypen aus dem Schweizer Binnenverkehr. Auch die Umrüstung weiterer Inselverkehre wie das Post-Netz oder Railcare bieten sich als weitere Umsetzungsschritte an.

Ein Zuwarten bis zu einem parlamentarischen Beschluss im Zeithorizont 2024 würde bedeuten, dass die aufgebauten Strukturen sowohl bei SBB Cargo als auch bei den Schlüssellieferanten nicht mehr für die Umsetzung zur Verfügung stehen würden.

In Europa hat das European DAC Delivery Programme (EDDP) unter der Schirmherrschaft des Shift2Rail Joint Undertaking, neu Europe's Rail Joint Undertaking genannt, einen sehr ambitionierten Technologie- und Migrationsplan skizziert. Als ein wichtiger Meilenstein wurde im September 2021 die Scharfenberg als Kupplungskopf ausgewählt. Das Design hat sich gegen den Typen Schwab und SA3 durchgesetzt, dies nicht zuletzt auf Basis der im Rahmen des vorliegenden Projektes umgesetzten Designoptimierungen und Weiterentwicklungen.

Für die Ausrollung in Europa sind konkrete Umsetzungsschritte allerdings noch nicht in ausreichendem Mass mit dem nötigen Härtegrad definiert, so dass die kommenden sechs Monate auch hier für die Konkretisierung der avisierten Pläne entscheidend sind.

Der aktuelle Migrationsplan ist ambitioniert, vor allem vor dem Hintergrund der Erfahrungen, die in der Schweiz betreffend Entwicklungsaufwände gemacht wurden. Die erhöhte Komplexität der Umsetzung einer DAC Level 4 Kupplung⁶ macht Herausforderung noch grösser. Neben der Entwicklung des Elektroteils der Kupplung, ist insbesondere die Integration geplanter Applikationen (wie z. B. die Zugintegritätsfunktion oder eine elektropneumatische Bremse) sowie die Anbindung per Hybridkupplung an die Lokomotive zu nennen.

Im Rahmen der Zusammenarbeit in den verschiedenen internationalen Arbeitsgruppen bringt sich SBB Cargo aktiv ein, sowohl mit den bereits gesammelten Erfahrungen als auch in Fragen der Migration und Weiterentwicklung.

Olten, 28.2. 2022



Anja-Maria Sonntag
Leiterin Development SBB Cargo



Manuel Herrmann
Fachspezialist Regulation

⁶ Die Scharfenbergkupplung, welche bei SBB Cargo eingesetzt wird, ist eine automatische Kupplung. Sie erlaubt automatisches Kuppeln und teilautomatisches Entkuppeln. Die DAC Level 4 hat zusätzlich eine Daten- und Stromleitung. In Europa, wie auch in der Schweiz, ist eine Umrüstung aus DAC Level 4 vorgesehen.

4. Abkürzungsverzeichnis

ABP	Automatische Bremsprobe
AKU	Automatische Kupplung
Am843	Diesel-Rangierlok von SBB Cargo
ATO	Autonomous Train Operation
BAV	Bundesamt für Verkehr
CENELEC	Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung, französisch: Comité Européen de Normalisation Électrotechnique
CFS	Cargo Forum Schweiz (siehe auch VAP)
DAC oder DAK	Digitale automatische Kupplung (inkl. Strom- und Datenübertragung)
DAC4EU	Vom BMVI finanziertes Konsortium zur Erprobung der DAC
ESM	Enterprise Content Management
EDDP	European DAC Delivery Program
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
FDV	Fahrdienstvorschrift
FuMo	Funktionsmuster
HK	Hybridkupplung
HUB	Zentraler Rangierknoten im Netz
KI	Künstliche Intelligenz
MEQ	Mechanische Equipe zur Behebung von Störungen im Feld
PJM	Fa. PJ Messtechnik
RAMS	Reliability Availability Maintainability Safety
Re420	Altbau Streckenlok von SBB Cargo
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
Sdggrms	6-achsige Taschenwagen
SEAG	Schweizer Electronic AG
Sgnss	Containertragwagen
SGV	Schienengüterverkehr

SK	Schraubenkupplung
SNCF	Französische Staatsbahnen
SUVA	Schweizerische Unfallverhütungsanstalt
Tm232	Diesel-Rangiertraktor von SBB Cargo
UBS	Unbesetzte Spitze
VAP	Verband der verladenden Wirtschaft (siehe auch CFS)
VöV	Verband öffentlicher Verkehr
WLV	Wagenladungsverkehr