

„Erstellung eines Konzeptes für die EU- weite Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr“

Fachbericht „Simulation Parallelbetrieb von Schraubenkupplung und Digitaler Automatischer Kupplung (DAK) in Zugbildungsanlagen“

für das
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI
Invalidenstraße 44
D-10117 Berlin
Deutschland

Erstellt durch

Technische Universität Dresden
Professur für Bahnverkehr, öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr

Bearbeitet von:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer König
Tobias Pollehn, M.Sc.
Moritz Ruf, M.Sc.

Dresden, den 29. Juni 2020

Disclaimer

In diesem Bericht sowie in den dazugehörigen Fachberichten wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

Inhalt

Zusammenfassung	4
1. Einleitung	6
1.1 Ausgangsposition.....	6
1.2 Vorgehensweise.....	8
2. Randbedingungen für die Simulationsexperimente und Abgrenzung der Untersuchung	11
2.1 Status Quo in der simulierten Zugbildungsanlage	11
2.2 Technische Prämissen und Abgrenzungen der Untersuchung	12
2.3 Ergänzende betriebliche Anforderungen außerhalb von ZBA	13
3. Modell- und Szenariendefinition	14
3.1 Varianten bei den Betriebsstrategien.....	15
3.2 Prozessketten und Zeitwerte	18
3.3 Mengengerüst und Branchendefinition	22
4. Ergebnisse der Simulation des Parallelbetriebes	25
4.1 Ergebnisse Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“	25
4.2 Grobabschätzung: Anzahl von Kupplungswagen in einer ZBA	30
4.3 Zusammenfassung „Gemischte Verkehre“	31
4.4 Ergebnisse Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“	32
4.5 Zusammenfassung „Getrennte Verkehre“	36
5. Schlussfolgerungen für eine Migrationsstrategie	38
6. Schlussbemerkungen	42
Quellenverzeichnis	44
Abbildungsverzeichnis	45
Tabellenverzeichnis	46
Abkürzungsverzeichnis	47
Anlage 1: Projektteam	48

Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde eine Simulation eines Parallelbetriebs von Güterwagen mit Schraubenkupplung (SK) und Güterwagen mit Digitaler Automatischer Kupplung (DAK) für eine Zugbildungsanlage (ZBA) durchgeführt.

Im Einzelwagenverkehr wird die Einführung einer DAK als wesentlicher Enabler bei der Steigerung der Qualität der Verkehre, einer Reduzierung des betrieblichen Aufwandes und – mit Zukunftspotenzial – für eine Digitalisierung und Automatisierung der Betriebsprozesse bei allen europäischen Schienengüterverkehrsunternehmen gesehen. Pilotprojekte fokussieren bereits praktische Anwendungsfälle und eine technische Erprobung einer DAK im Betrieb.

Bei Einführung einer DAK stellt sich die Frage, wie eine Migration im bestehenden Einzelwagenverkehrssystem in Europa erfolgen kann. Einen maßgeblichen Einfluss auf diese Entscheidung haben Faktoren wie die Geschwindigkeit der Verfügbarkeit einer DAK für Systembeteiligte sowie die Gestaltung eines Parallelbetriebs von SK und DAK in einem längeren Migrationszeitraum. Die Notwendigkeit eines Parallelbetriebs entsteht dadurch, dass nach aktuellem Stand der Technik ohne spezielle Adaptertechnologien keine direkte Kompatibilität zwischen SK und DAK besteht.

In der vorliegenden Untersuchung der Technischen Universität Dresden werden daher die Auswirkungen eines mehrjährigen Parallelbetriebs von SK und DAK auf eine ZBA bei Nutzung verschiedener Betriebsstrategien untersucht.

Die Untersuchungen erfolgten mit der Methode der Simulation. Hierfür kam eine Experimentalvariante des Tools „APP ZBA“ (Automatisierte Prozessplanung in Zugbildungsanlagen) zum Einsatz. Im Ergebnis einer Forschungsk Kooperation mit der Deutschen Bahn ist eine Weiterentwicklung dieser Variante in ZBA bei der DB Cargo AG im produktiven Einsatz. Als Simulationsmodellanlage für diese Studie wurden in Abstimmung mit den Projektbeteiligten die ZBA München-Nord in ihrer Konfiguration und mit den Regelprozessen aus dem Jahr 2019 verwendet. Die Simulationen wurden auf Basis von realen Betriebsdaten (Zugfahrten und Wagenaufkommen) aus dem Monat März des Jahres 2019 durchgeführt.

Die Simulation nutzt Szenarien, welche unterschiedliche Zeitpunkte während einer Migration einer DAK auf Basis der betrieblichen Abläufe in einer ZBA abbilden. Die Auswahl, welche Wagen innerhalb einer Branche zu welchem Zeitpunkt umgerüstet werden, erfolgt zufällig und ist somit nicht gesteuert.

Die beiden untersuchten Betriebsstrategien werden als „Gemischte Verkehre“ und „Getrennte Verkehre“ bezeichnet. Erstere bedeutet, dass innerhalb eines Zuges zwei Gruppen aus Wagen mit je gleichem Kupplungstypen eingestellt werden. Dies erfordert eine aufwändige Zugbildung durch Einrangieren eines Kupplungswagens zur Herstellung der Kompatibilität der Kupplungen. Die zweite Strategie betrachtet kupplungsartreine Züge, die in ihrer Behandlung einfacher, in ihrer Anzahl aber aufgrund der erschwerten Bündelung von Wagen höher sind.

Unter diesen Bedingungen zeigt sich für die Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“, dass eine Umrüstung von SK zur DAK über einen mehrjährigen Migrationszeitraum zu einer schnellen Überlastung der ZBA führt. Durch die Vielzahl gemischter Züge entsteht ein erheblicher Rangiermehraufwand, welcher bei einer zu hohen Anzahl gemischter Züge die Kapazitäten einer Anlage übersteigt.

Die Simulationen mit einer Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ zeigen deutlich, dass lediglich die Szenarien zur Umrüstung einer Branche (hier der Automotive-Branche, und nur

ohne Berücksichtigung zusätzlicher operativer Sonderprozesse und interner Verkehre) lösbar sind. Allerdings wird bereits in diesem Szenario die Kapazitätsgrenze der ZBA erreicht. In den Szenarien zur darauf folgenden Umrüstung der Chemiebranche sowie von Wagen weiterer Branchen konnte keine zulässige Lösung gefunden werden. Dies liegt insbesondere an der stark zunehmenden Zugzahl in diesen Szenarien (Getrennte Züge SK und DAK), welche Ressourcen und Infrastruktur der ZBA überlasten.

Auf Basis der Simulationsuntersuchungen als auch der Auswertung ihrer Ergebnisse kann festgestellt werden, dass sowohl die Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ als auch die Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ Optimierungsansätze bieten.

Als wesentliches Element dieser Optimierungsstrategien ist in beiden Fällen der Rangiermehraufwand mit geeigneten Maßnahmen zu begrenzen, um die Leistungsfähigkeit des Einzelwagenverkehrssystems weitgehend zu erhalten. Insbesondere sollten Maßnahmen zur zeitlichen und räumlichen Entflechtung von Wagenströmen nach Kupplungsart untersucht werden. Hierfür wird von den Verfassern die Nutzung eines Drei-Ebenen-Modells für eine Koordinierte Migration empfohlen, die auf verschiedenen Ebenen gesteuert werden kann:

- Steuerung des Migrationsprozesses;
- Steuerung der Verkehre im Netzwerk;
- Steuerung der Prozesse in den ZBA.

Insgesamt zeigt die vorliegende Untersuchung, dass während eines Parallelbetriebes von Wagen mit SK und Wagen mit DAK in den ZBA ein erheblicher Rangiermehraufwand bei einer unkoordinierten Umrüstung von Wagen zu erwarten ist. Die Anlagen erreichen ohne zusätzliche Ressourcenbereitstellung (Infrastruktur, Personal, Lokomotiven) oder ohne eine funktionierende Steuerung der Migration und der täglichen Betriebsabläufe (im Netz, bei den Kunden des Einzelwagenverkehrs und in den Anlagen selbst), schnell ihre Kapazitätsgrenzen. Die Ergebnisse der Studie stützen die Aussagen, dass eine Migrationsphase möglichst kurz zu gestalten ist.

Für eine Planung verschiedener Migrationsansätze werden weitere Untersuchungen zu möglichen Anpassungen im Einzelwagenverkehrsnetz und zu Machbarkeit und Effekten einer übergreifenden Steuerung für Netzwerk und ZBA benötigt. Dazu sollten ebenso die Kunden des Einzelwagenverkehrs einbezogen werden.

Eine intelligente Steuerung des Migrationsprozesses im Netzwerk und in den ZBA stellt einen wesentlichen Erfolgsfaktor dar, um die Leistungsfähigkeit des Einzelwagenverkehrs während einer Migrationsphase zu erhalten, auf dem Weg von der SK hin zur benötigten DAK.

1. Einleitung

1.1 Ausgangsposition

Im Kontext der Weiterentwicklung von Eisenbahngüterwagen in Europa kommt der Einführung einer Digitalen Automatischen Kupplung (DAK) eine herausragende Bedeutung und Schlüsselstellung zu. Insbesondere schließt eine DAK die bisher vorhandene technologische Lücke bei der Digitalisierung und Automatisierung von elementaren betrieblichen Prozessen im Schienengüterverkehr (SGV). Verschiedene Demonstrator- und Pilotprojekte in Mitteleuropa sind deshalb seit dem Jahr 2017 auf ausgewählte Anwendungsfälle und spezifische Effekte beim Einsatz einer DAK orientiert (u. a. Innovativer Güterwagen der DB Cargo AG und VTG AG im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur¹, 5L-Zug der SBB Cargo²).

Ein Übergang zum verbreiteten oder vollständigen Einsatz einer DAK im SGV in Europa wirft notwendigerweise die Frage auf, wie ein erfolgreicher Migrationsansatz konzipiert und gestaltet werden kann.

Im System des Einzelwagenverkehrs kommt der Frage des Migrationsansatzes eine besonders wichtige und - für das Gesamtsystem - erfolgsentscheidende Bedeutung zu. Sie wird insbesondere durch zwei zu betrachtende, komplexe Systemzusammenhänge begründet:

1. Geschwindigkeit der Verfügbarkeit der neuen DAK-Systeme für das Gesamtsystem (Systemkomponenten und Systembeteiligte) sowie
2. Betriebsdurchführung im Produktionssystem des Einzelwagenverkehrs bei gleichzeitigem Einsatz von zwei nicht kompatiblen Kupplungssystemen am Eisenbahngüterwagen (Schraubenkupplung (SK) und DAK).

Die erste Konstellation impliziert die Kernfrage, ob eine Migration in Tagen bis Monaten erfolgen kann oder dafür ein längerer Zeitraum über mehrere Jahre vorzusehen ist. Die Bedeutung des zweiten Zusammenhanges wächst mit der Dauer des Zeitraumes, der für eine Migration erforderlich wird.

Für einen wirtschaftlichen und auf Kundennutzen orientierten SGV sind deshalb bei einem längerfristigen Migrationszeitraum Konzepte erforderlich, die ein paralleles Handling dieser beiden Kupplungssysteme im Einzelwagenverkehr sowohl bei Transport, Rangierprozessen, in den Anlagen und Serviceeinrichtungen sowie im Last-Mile Bereich einschließlich an den Kundenschnittstellen berücksichtigen.

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) beauftragte und finanziert die Erstellung eines EU-weiten Konzepts für die Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems im Schienengüterverkehr.³ Das Teilprojekt „Simulation Parallelbetrieb von Schraubenkupplung und Digitaler Automatischer Kupplung in Zugbildungsanlagen“, auf das sich dieser Bericht bezieht, ist auf die Schaffung von Transparenz hinsichtlich der Auswirkungen eines längerfristigen Migrationszeitraumes ausgerichtet. Dabei konzentriert sich die inhaltliche Arbeit auf die Gegebenheiten in den neuralgischen Punkten im

¹ Vgl. DB Cargo AG & VTG AG (2020).

² Vgl. SBB Cargo AG (2019).

³ Vgl. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI (2020).

Einzelwagenverkehrssystem: auf die ZBA (ZBA). In den ZBA des Einzelwagenverkehrssystems werden die ankommenden Züge aufgelöst, die Wagen sortiert und für den Weitertransport zu neuen Ausgangszügen gebildet.

Bei der Diskussion über die Weiterentwicklung des Einzelwagenverkehrs wird immer wieder betont, dass ohne eine DAK maßgebliche Prozesse bei der Zugauflösung und -bildung weiter mit einem hohen manuellen Aufwand zu verrichten sind, jeweils verbunden mit hohen Prozesszeiten.⁴ In den ZBA trifft das insbesondere für das Entkuppeln bei der Behandlung von Eingangszügen und das Kuppeln von Ausgangszügen mit Schraubenkupplung (SK) zu. Die Einführung einer DAK zielt deshalb auch darauf ab, die Effizienz dieser Prozesse zu steigern und die Arbeitssicherheit in den ZBA zu erhöhen.

Für die Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems untersucht die vorliegende Studie die Auswirkungen eines mehrjährigen Parallelbetriebs von SK und DAK auf eine ZBA bei Nutzung verschiedener Betriebsstrategien.

Für die Betriebsprozesse in einer ZBA stellt der Übergang von einer SK zu einer DAK eine große Herausforderung dar. SK und DAK sind per se nicht kompatibel.

Dieser Umstand führt dazu, dass Wagen mit DAK und SK nicht direkt miteinander gekuppelt werden können. Lediglich durch den Einsatz von Adaptern oder Kupplungswagen lassen sich SK- und DAK-Wagen miteinander verbinden.

Für den Parallelbetrieb von SK und DAK in ZBA können grundsätzlich unterschiedliche Betriebsstrategien genutzt werden. In dieser Studie erfolgt die Untersuchung von zwei vielversprechenden Betriebsstrategien. Hierbei handelt es sich um die Betriebsstrategien

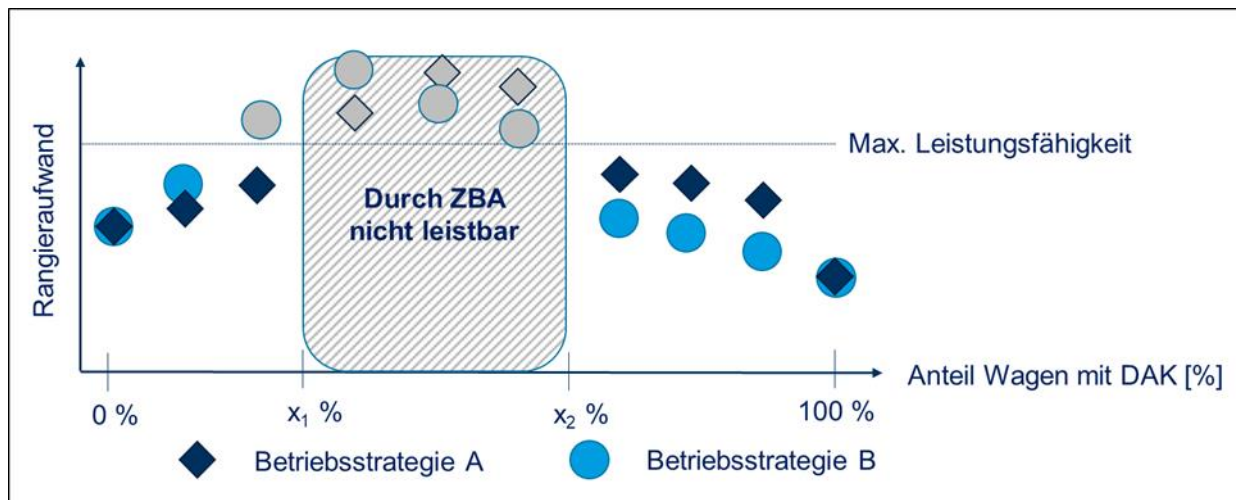
„Gemischte Verkehre“ und „Getrennte Verkehre“.

Eine Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ erlaubt in ZBA neben der Behandlung von kupplungsartreinen SK- und DAK-Zügen gleichzeitig eine Behandlung von gemischten Zügen, die aus je einer SK- und DAK-Gruppe bestehen. Bei einer Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ verkehren zu und von einer ZBA ausschließlich kupplungsartreine Züge. SK- und DAK-Wagen sind sowohl im Fernverkehr als auch in den Betriebsprozessen in einer ZBA separiert. Weitere Strategien, wie das vermehrte Nutzen von Mehrfachsammlern mit einer Kupplungsart zur Reduzierung der Anzahl notwendiger Gruppenbildungen, sind prinzipiell denkbar, werden in dieser Studie aber nicht untersucht.

Bei einer Untersuchung über einen Zeitraum von mehreren Jahren ist zu berücksichtigen, dass zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Migration verschiedene Anteile von Wagen mit SK und Wagen mit DAK am Wagengesamtaufkommen erreicht werden. In der Studie wird daher vorausgesetzt, dass sich der Betrieb in einer ZBA hieran dynamisch anpasst. Es kann erwartet werden, dass der Rangieraufwand mit wachsendem DAK-Umrüstungsgrad zunächst ansteigt und erst nach Umrüstung einer kritischen Masse an DAK-Güterwagen wieder abnimmt (vgl. Abbildung 1).

⁴ Vgl. König & Hecht (2012); Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr (2019).

Abbildung 1: Erwartungshaltung hinsichtlich der Auswirkungen von Betriebsstrategien auf den Rangieraufwand in ZBA



Quelle: TU Dresden

Für die Untersuchung wird ein Simulationsprogramm genutzt, welches an der Technischen Universität Dresden an der Professur für Bahnverkehr, öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr entwickelt wurde und geeignet ist, verschiedene Betriebsstrategien in ZBA abzubilden.⁵ Unterschiedliche DAK-Umrüstungsgrade zu bestimmten Zeitpunkten der Migration werden als Szenarien definiert und simuliert. Für jedes simulierte Szenario und die dabei verwendeten Mengenströme an Zügen und Wagen erfolgt hierbei eine Aussage hinsichtlich der betrieblichen Machbarkeit der Prozesse in der untersuchten ZBA. Darüber hinaus erfolgt für jedes Szenario die Erstellung von Kennzahlen zu Ressourcenaufwand und Infrastrukturbedarfen. Die Simulationen werden für eine ZBA unter Nutzung realer Daten aus dem Jahr 2019 (Zugfahrten und Wagenaufkommen) durchgeführt. Als Modell-ZBA in ihrer Konfiguration im Jahr 2019 wird hierbei die Anlage München-Nord ausgewählt, eine der leistungsstärksten ZBA im Einzelwagenverkehr.

1.2 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise zur Simulation des Parallelbetriebes von SK und DAK in einer ZBA wird durch vier wesentliche Schritte gekennzeichnet:

1. Definition der Randbedingungen und Datenbereitstellung
2. Modell- und Szenariendefinition
3. Simulationsexperimente
4. Auswertung und Schlussfolgerungen.

In einem Auftaktworkshop⁶ zwischen Projektbeteiligten und Akteuren aus dem Sektor Einzelwagenverkehr⁷ erfolgte zunächst eine Diskussion über die bereitzustellenden Aussagen aus den Simulationsexperimenten, der im Simulationsmodell abzubildenden betrieblichen Randbedingungen, der Kerneigenschaften des Simulationsmodells sowie der für die Experimente erforderlichen Daten aus der Praxis. Als Ergebnis der Diskussion wurde als Untersuchungsgegenstand die Simulation des Parallelbetriebes von SK und DAK in der ZBA

⁵ Vgl. Eisold, Freitag, König (2017).

⁶ Auftaktworkshop, Frankfurt am Main, 17.07.2019.

⁷ hwh Gesellschaft für Transport- und Unternehmensberatung mbH, Technische Universität Dresden, Deutsche Bahn AG, DB Cargo AG.

München-Nord definiert in ihrer Konfiguration und mit modellrelevanten Mengenströmen des Jahres 2019.

Bei der Modell-Szenarienbildung werden grundsätzlich zwei unterschiedliche Betriebsstrategien in der Untersuchung betrachtet: „Gemischte Verkehre“ und „Getrennte Verkehre“. Für beide Betriebsstrategien werden Prozessketten für den Betrieb in ZBA entwickelt. Diese Prozessketten basieren auf den realen Prozessketten in München-Nord und den zugehörigen entsprechenden Prozesszeitwerten. Für neue Prozesse durch den Einsatz einer DAK werden Prozesszeiten auf Basis von Expertenschätzungen angenommen. Die Prozessketten werden anschließend in das genutzte Simulationstool eingepflegt. Dabei handelt es sich um eine Experimentalvariante des an der Technischen Universität Dresden entwickelten Tools „APP ZBA“ (Automatisierte Prozessplanung in ZBA). APP ZBA wurde in einer Forschungs Kooperation mit der DB Cargo AG entwickelt. Der produktive Einsatz einer Weiterentwicklung dieses Tools erfolgt in der Phase der Betriebsplanung in ZBA der DB Cargo AG. Für die Simulationsexperimente wird eine Experimentalvariante dieses Tools genutzt. Dabei erfolgen die Untersuchungen anhand eines realen Datensatzes, welcher sich über drei Tage erstreckt. Dieser Datensatz wird von der DB Cargo AG für die Untersuchung bereitgestellt und stellt repräsentative Betriebstage in der ZBA München-Nord dar. Der Datensatz enthält sämtliche Zugfahrten und Wagenaufkommen für den entsprechenden Zeitraum. Die DB Cargo AG realisiert als Eisenbahnverkehrsunternehmen die in den Simulationsexperimenten abzubildenden Ein- und Ausgangsprozesse mit Zugauflösung und Zugbildung sowie die Umstell- und Dispositionsprozesse auf der in der ZBA München-Nord vorhandenen Infrastruktur.

Um die Phase der Migration in der Simulation abzubilden, werden verschiedene Szenarien sowohl für die Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ als auch für die Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ entwickelt. Im o. a. Auftaktworkshop wurde dazu eine branchenorientierte Umrüstung der Wagenflotte als für die Migration umsetzbare Vorgehensweise definiert und als grundsätzliche Vorgehensweise für die Simulationen abgestimmt. Die Szenarien umfassen die stufenweise Umrüstung der Wagen vom Status Quo bis zur vollständigen DAK-Umrüstung. Mit Blick auf den Migrationsprozess an sich wird im Simulationsmodell die Umrüstung der Wagen innerhalb einer Branche als zufällig angesehen, weshalb der Migrationsprozess in den Simulationsexperimenten als unkoordinierte Migration definiert ist. Ein Modell für einen gesteuerten Migrationsprozess über mehrere Jahre wäre zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur hypothetisch aufstellbar gewesen. Es würde die Gefahr bestehen, in der Praxis dafür kaum Zustimmung zu finden. Deshalb wird das Zugerüst nicht nach einem vorgegebenen Rhythmus dynamisch angepasst. Eine dynamische, gesteuerte Umrüstung kann gegenüber einer zufälligen Umrüstung zu günstigeren betrieblichen Aufwendungen führen. Somit wird an dieser Stelle quasi von einem „Worst Case“ Szenario ausgegangen.

Für die Simulation wurden für die Betriebsstrategien „Gemischte Verkehre“ und „Getrennte Verkehre“ insgesamt 31 Szenarien simuliert. Des Weiteren erfolgte die Durchführung von weiteren 16 Szenariountersuchungen zur Analyse von Engpässen in den ZBA. Dazu sind die Simulationsszenarien jeweils am Umrüstungsgrad orientiert und bilden die dazugehörigen betrieblichen Prozessketten unter den gegebenen Migrationsbedingungen und zu den interessierenden Migrationszeitpunkten ab. Die Simulationsexperimente erfolgten im Zeitraum von Oktober 2019 bis März 2020. Parallel dazu fanden stufenweise eine Zwischenpräsentation der jeweils erreichten Ergebnisse vor dem Auftraggeber, dem Projektteam und den o. a. Akteuren aus dem Sektor statt.

In den Simulationsexperimenten wird zunächst betrachtet, ob das Szenario durchführbar ist, d. h. ob mit der gegebenen Infrastruktur und einem bestimmten Ressourcengerüst in der Anlage ein zulässiger Rangierarbeitsplan ermittelt werden kann. Bei Vorliegen eines umsetzbaren Rangierarbeitsplanes für die ZBA (realistische Prozessketten mit jeweils konkreter Arbeitsfolge im Szenario) können auf Basis der Simulationsergebnisse die interessierenden Erkenntnisse hinsichtlich des Personal-, Rangierlok- und Infrastrukturbedarfs in der gewählten Modell-ZBA herausgearbeitet werden. Auf Basis dieser Auswertungen erfolgen danach die konkreten Empfehlungen und Schlussfolgerungen für einen Parallelbetrieb von SK und DAK in ZBA.

2. Randbedingungen für die Simulationsexperimente und Abgrenzung der Untersuchung

Dieses Kapitel widmet sich dem Status Quo des Betriebs in der simulierten ZBA, den technischen Prämissen sowie der Abgrenzung der Untersuchung. Bei der Beschreibung der getroffenen Prämissen für die Simulation wird insbesondere auf Annahmen zur technischen Spezifikation der untersuchten Kupplung eingegangen sowie die Ausrüstung von relevanten Lokomotiven und Kupplungswagen mit entsprechenden Hybridkupplungen beschrieben. Ergänzend werden Eigenschaften des Betriebs im Status Quo sowie die Übertragbarkeit auf andere ZBA angesprochen.

2.1 Status Quo in der simulierten Zugbildungsanlage

Die Simulation wird beispielhaft für die ZBA München-Nord durchgeführt. Das zugrundeliegende Zuggerüst basiert auf Originaldaten von drei realen, typischen Betriebstagen aus dem Jahr 2019. Die in der Simulation abgebildete Infrastruktur entspricht dem vorhandenen Ausrüstungsstand der ZBA im Betrachtungszeitraum. Als wichtige Orientierung für die Leistungsfähigkeit der Anlage sollen dazu die an diesen Tagen verfügbaren 40 Richtungsgleise genannt werden. Dieser Umstand ist besonders zu erwähnen, da ab dem Jahr 2020 ff. für diese Anlage Umbaumaßnahmen mit Auswirkungen auf die Kapazität der ZBA geplant sind (in dieser Simulation kein Gegenstand der Aufgabenstellung).

Die untersuchte ZBA ist im Untersuchungszeitraum 2019 gut ausgelastet und operiert im oberen Drittel ihrer Leistungsfähigkeit. Die verbliebene Restkapazität wird operativ dafür genutzt, auf mögliche Verspätungen aus dem Netzwerk sowie auf Aufkommensschwankungen reagieren zu können. Zudem ist es teilweise notwendig, für Instandhaltungsmaßnahmen Kapazitäten vorzuhalten.

Für neu definierte Prozesse (z. B. Bereitstellung eines Kupplungswagens für die Gruppenbildung eines Ausgangszugs mit untereinander nicht kompatiblen Wagen) werden auf Basis von Experteneinschätzungen Prozessdauern und Ressourcenbedarfe definiert.

Für genaue Untersuchungen und anlagenspezifische Aussagen müssen die verfügbaren Ressourcen, insbesondere die Infrastruktur, sowie die Prozesslandschaft der jeweiligen ZBA und das erwartete Mengengerüst dann aktuell berücksichtigt werden.

2.2 Technische Prämissen und Abgrenzungen der Untersuchung

Grundlegende technische Randbedingungen werden im Hauptbericht dieser Studie (Hagenlocher et al., 2020) sowie im Fachbericht zur Technik DAK (Hecht, Leiste, Discher 2020) vertieft erläutert.

Für die Simulationsexperimente konnte noch kein Grundtyp für eine DAK vorgegeben werden. Die DAK wird auf einem der bisher bekannten Grundtypen (z. B. Scharfenberg, SA3, Schwab) aufbauen. Welcher dies sein wird, ist zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung noch in Klärung gewesen. Erklärtes Ziel ist es, EU-weit eine Standard-DAK einzuführen. In den Simulationsexperimenten wird deshalb angenommen, dass alle mit DAK ausgerüsteten Güterwagen untereinander kompatibel sind.

Für den Betrieb unter Migrationsbedingungen stellt der Umstand der Inkompatibilität zwischen SK und DAK, wie bereits erwähnt, eine große Herausforderung dar. Das bedeutet, dass Wagen mit SK und DAK nicht direkt miteinander gekuppelt werden können. Lediglich durch den Einsatz von Adaptern oder Kupplungswagen können SK- und DAK-Wagen miteinander verbunden werden. Die Anzahl und hohe Verfügbarkeit entsprechender Vorrichtungen ist Voraussetzung für eine erfolgreiche DAK-Einführung. In Abstimmung mit den beim Auftaktworkshop anwesenden Akteuren wurde festgelegt, dass in den Simulationsexperimenten Kupplungswagen für das Kuppeln von SK und DAK in gemischten Zügen vorzusehen sind.

Des Weiteren sind in einer Migrationsphase zusätzliche konstruktive Möglichkeiten erforderlich, die das Kuppeln von Triebfahrzeugen und Wagen mit unterschiedlicher Kupplung zulassen. Hybridkupplungen an Triebfahrzeugen (Streckenloks und Rangierloks) ermöglichen die Kupplung von Triebfahrzeugen untereinander und mit Wagen trotz unterschiedlicher Kupplungssysteme. Es wird folglich in der Simulation angenommen, dass sämtliche Strecken- und Rangierlokomotiven mit einer Hybridkupplung ausgerüstet sind.

Aus diesen Zusammenhängen ergibt sich für die Simulation:

- Hybridkupplungen sind auch untereinander kuppelbar.
- Kupplungswagen verfügen beidseitig über Hybridkupplungen.

Für die konstruktive Gestaltung einer DAK gibt es mehrere Möglichkeiten, wie im „Fachbericht Technik DAK“ im Rahmen der vorliegenden Studie dargestellt. Diese hier dargestellten Varianten unterscheiden sich u. a. durch ihren Automatisierungsgrad. Für die Simulation des Parallelbetriebes wurde im o. a. Auftaktworkshop (17.07.2019) eine DAK des Typs 4 als Modellvariante ausgewählt (mit automatischem Kuppeln von Hauptluftleitung, Stromversorgung und Datenbus sowie halbautomatischem Entkuppeln). Bei dieser Variante umfasst die Bedienung der DAK:

1. Kuppeln: Automatisch, nach vorheriger Einstellung beim Auflaufen
2. Entkuppeln: Per Hand am Wagen, bspw. durch einen Seilzug.

Eine weitere Prämisse liegt darin, dass die DAK während des Ablaufs von der Pufferstellung in die Kuppelbereitschaft wechselt (im Simulationsmodell berücksichtigt). Sollte dies nicht möglich sein, sind örtliche Mitarbeiter während des Abdrückvorgangs am Scheitelpunkt des Bergs einzusetzen (nicht simuliert).

Die Bedienung aller Hybridkupplungen an Triebfahrzeugen erfolgt beim Entkuppeln von der Lok aus bzw. via Fernbedienung oder per Hand im Gleis (Annahme für Simulationsmodell:

jeweils gleiche Zeitanteile). Das Kuppeln erfolgt automatisch beim Auflaufen.

Zudem sei zu erwähnen, dass durch eine DAK ermöglichte Automatisierungslösungen (bspw. automatische Bremsprobe) in dieser Studie keine Berücksichtigung finden. Mit diesen technischen Prämissen konnte die Modell- und Szenariendefinition vorgenommen werden.

2.3 Ergänzende betriebliche Anforderungen außerhalb von ZBA

Außerhalb des Untersuchungsgebiets dieser Studie ergeben sich während des Migrationszeitraums zahlreiche Einschränkungen und neue Restriktionen, die bei der Planung einer Umrüstung auf DAK sorgfältig beachtet werden müssen. Einige betriebliche Aspekte, die neben dem Aufbau notwendiger Produktions-, Wartungs- und Instandhaltungskapazitäten im Rahmen einer Migration dringend beachtet und tiefergehend untersucht werden sollten, werden im Folgenden kurz genannt.

Jede rangiertechnische Behandlung von Güterwagen mit DAK ist nur möglich, wenn an den Behandlungsorten entweder Kupplungswagen oder geeignete, d. h. mit Hybridkupplung ausgerüstete Rangiermittel in ausreichender Anzahl vorhanden sind. Rangiermittel sind primär Rangierloks oder Streckenloks, aber auch Rangierrobots, Zweibegefahrzeuge u. a..

Planmäßige Behandlungsorte sind vor allem Gleisanschlüsse oder Anschlussbahnen der Versender und Empfänger, an denen Sammel- und Verteilprozesse stattfinden. Hinzu kommen Satellitenbahnhöfe mit Zugbildungen und -auflösungen im Nahbereich sowie Instandhaltungsbereiche. Weiter können unplanmäßige Behandlungsorte alle Bahnhöfe sein, an denen Wagen wegen technischer Defekte ausgesetzt werden müssen. Sollte aufgrund fehlender Rangiermittel mit geeigneter Kupplung die Behandlung nicht durchgeführt werden können, sind Verzögerungen für alle eingebundenen Betriebsmittel und Personale die Folge. Unter Umständen übertragen sich diese Verzögerungen auf weitere Fahrten, bspw. durch Blockieren eines Bahnhofsgleises bei unplanmäßigen Behandlungen.

Aus den o. g. Gründen ist es zwingend erforderlich, bei der **Wagenumlaufplanung** die Kupplungsausstattung zu berücksichtigen. Dies gilt für die Last- und Leerläufe aber auch für Wartung, Pflege und Instandhaltung. Besonderes Augenmerk erfordern hierbei Kupplungswagen.

Die Ausstattung mit DAK begrenzt den Einsatzbereich auf Relationen, in denen geeignete Triebfahrzeuge und Rangiermittel zur Verfügung stehen. Dies gilt sowohl für den nationalen als auch für den internationalen Verkehr. Analog zu den Wagen sind auch beim Management der Triebfahrzeuge und Rangiermittel die Kupplungen zu berücksichtigen.

3. Modell- und Szenariendefinition

Als systemkritische Schnittstelle des Einzelwagenverkehrs haben ZBA einen entscheidenden Einfluss auf Aufwand und Erfolg einer Umrüstung. Nach aktuellem Kenntnisstand der Technik und Forschung fehlen derzeit noch Erkenntnisse über das Verhalten von ZBA in einer Migrationsphase. Vielmehr wird die ZBA zumeist als Blackbox des Eisenbahnverkehrs betrachtet.⁸ Diesem Desiderat soll in dieser Studie mit einem neuartigen Simulationsansatz begegnet werden.

In diesem Kapitel erfolgt eine Beschreibung der Simulationsszenarien zur Umrüstung von SK auf DAK. Hierfür werden zunächst die in der Simulation genutzten Betriebsstrategien „Gemischte Verkehre“ und „Getrennte Verkehre“ erklärt. Anschließend werden die sich ergebenden Prozessketten und zugehörigen Zeitwerte für die beiden Betriebsstrategien kurz vorgestellt. Zudem wird das in der Simulation genutzte Mengengerüst definiert und auf die branchenorientierte Umrüstung von Wagen eingegangen.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass die nachfolgend definierten Prozessketten für die untersuchten Betriebsstrategien jeweils für die konkreten Bedingungen in der ZBA München-Nord definiert wurden (Konfiguration 2019). Sie können nicht ohne Anpassung auf eine andere ZBA übertragen werden. Dies schließt Prozesszeiten und Ressourcenbedarfe ein. Somit ist eine direkte Übertragung der Erkenntnisse auf weitere ZBA nicht ohne Zusatzbetrachtungen möglich, da infrastrukturelle und prozessuale Unterschiede in den Anlagen bestehen. Die Simulationsergebnisse erlauben jedoch trotzdem Verallgemeinerungen und generelle Schlussfolgerungen für eine Migration.

⁸ Vgl. König et al., 2018.

3.1 Varianten bei den Betriebsstrategien

Bei den Betriebsstrategien zur Nutzung der ZBA ergeben sich diverse Konstellationen (vgl. Tabelle 1). Nicht alle theoretisch möglichen Fälle sind in der Praxis relevant. Hier werden daher nur diejenigen Fälle kurz diskutiert, die mit der größten Wahrscheinlichkeit genutzt werden könnten.

In dieser Studie wird unter einem gemischten Zug ein Zugverband verstanden, welcher aus je einer Gruppe mit SK-Wagen und einer Gruppe mit DAK-Wagen besteht. Bei „Bunten Zügen“ befinden sich DAK und SK Wagen nicht in Gruppen getrennt, sondern können im Zugverband verteilt sein.

Tabelle 1: Kombinationsmöglichkeiten von Eingangs- und Ausgangszügen in ZBA mit SK/DAK

	Ausgangs- züge			
Eingangszüge	DAK ausschließlich	DAK-SK getrennte Züge	DAK-SK gemischte Züge	DAK-SK bunte Züge
DAK ausschließlich	Fall 1	entfällt	entfällt	entfällt
DAK-SK getrennte Züge	entfällt	Fall 2	Fall 5	Fall 6
DAK-SK gemischte Züge	entfällt	Fall 7	Fall 3	Fall 8
DAK-SK bunte Züge	entfällt	Fall 9	Fall 10	Fall 4

Quelle: TU Dresden

Nachfolgend werden die in Tabelle 1 enthaltenen Kombinationsfälle kurz erläutert.

Fall 1: „Trennung der ZBA nach Kupplungsart“

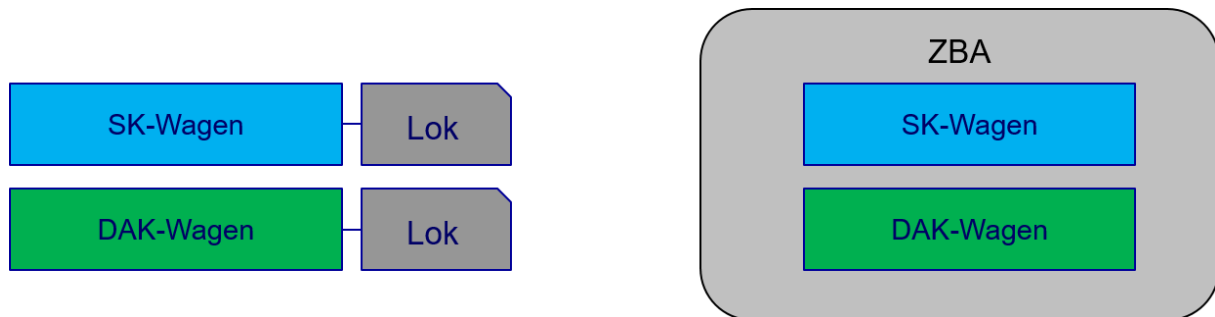
In diesem Fall würden die ZBA entweder für Betriebsprozesse mit Güterwagen, die nur mit SK oder nur mit DAK ausgerüstet sind, ausgerichtet. Dabei blieben bei völliger Trennung der Anlagen für die Zugbildung nach Kupplungsart die Prozesse und Anlagen für Wagen mit SK unverändert. Die Anlagen für die Behandlung von DAK-Wagen wären in Korrespondenz zu den zugehörigen Prozessabläufen anzupassen.

Bei einer Entscheidung für diesen Fall wären die Kosten für den getrennten Betrieb der Anlagen und für deren Vorhaltung zu berücksichtigen. Hinzu kämen Kosten, die sich aus den längeren Zeiten und Wegen für die An- und Abfahrt der Züge zu und von den ZBA ergeben.

Fall 2: „Getrennte Verkehre“

Bei diesem Fall werden im Streckenverkehr zu und von den ZBA die Verkehre sortenrein getrennt nach Zügen und Wagen jeweils mit nur einem Kupplungstypen (vgl. Abbildung 2). Bei einer Behandlung aller Züge und Wagen unabhängig vom Kupplungstyp würde der Mehraufwand bei den Streckenverkehren und der Steuerung der Züge im Fall einer Vorhaltung getrennter Anlagen damit entfallen.

Abbildung 2: Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“



Quelle: TU Dresden

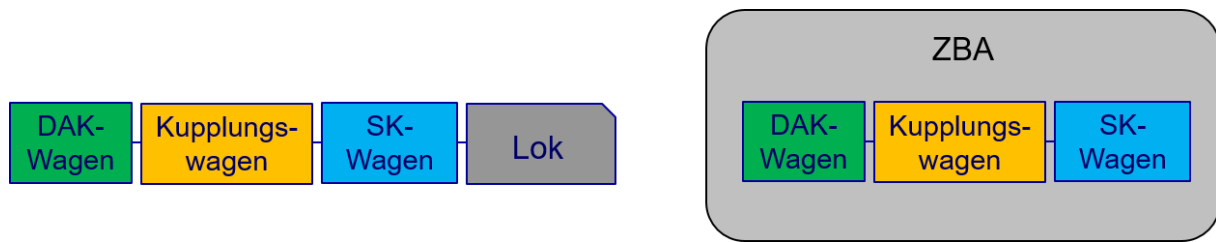
Für die Kupplung von Wagen mit unterschiedlichen Kupplungssystemen innerhalb eines Zuges beim Streckenverkehr bestünde dann keine Notwendigkeit. Dieser Vorteil wäre jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit nur um den Preis schlechterer Zugauslastungen und damit einhergehender vergrößerter Zugerüste erreichbar. Zudem ist eine Steigerung der Wagenumlaufzeiten zu vermuten, da zur Erreichung wirtschaftlich sinnvoller Wagenanzahlen pro Zug länger gesammelt werden müsste.

Fall 3: „Gemischte Verkehre“

Als Alternative zu den bisher skizzierten Fällen 1 und 2 erscheint die Zu- bzw. Abfuhr bei den ZBA durch gruppierte, also gemischte Züge sinnvoll („Gemischte Verkehre“). Das bedeutet, innerhalb eines Zuges werden Wagengruppen aus Wagen mit gleichem Kupplungstypen eingestellt (vgl. Abbildung 3). Dadurch treffen in einer ZBA nur an den Trennstellen zwischen den Gruppen und am Triebfahrzeug unterschiedliche Kupplungen aufeinander. An den Triebfahrzeugen lassen sich Hybridkupplungen installieren, die an die Wagen mit beiden Kupplungstypen kuppelbar sind. Zwischen den Wagengruppen können Kupplungswagen eingesetzt werden, die beidseitig mit Hybridkupplungen ausgestattet sein müssen. Auch in diesem Fall werden Wagen mit unterschiedlicher Kupplung in einer ZBA behandelt.

Eine Vorhaltung getrennter Anlagen würde damit ebenfalls entfallen. Die Bildung solcher Gruppenzüge gewährleistet eine bessere Zugauslastung. Gegenüber Fall 1 entsteht ein erheblicher Mehraufwand durch die notwendige Vorhaltung und Bewirtschaftung der erforderlichen speziellen Kupplungswagen. Relevant für die Simulationsexperimente und deren Auswertung sind die zu erwartenden Aussagen zu Auswirkungen auf die Betriebsprozesse. So sind z. B. für die Gruppenbildung zusätzliche Rangierbewegungen erforderlich. Selbstverständlich sind problemlos auch Züge mit sortenreiner Kupplung handhabbar, die dann wiederum weniger Aufwand verursachen. Bei entsprechendem Wagenaufkommen kann dieses Optimierungspotenzial genutzt werden.

Abbildung 3: Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“



Quelle: TU Dresden

In den Simulationen wird davon ausgegangen, dass in der Richtungsgruppe der ZBA eine sortenreine Trennung der Wagen nach Kupplungstyp pro Richtung erforderlich ist. Das bedeutet einen erhöhten Bedarf bei der Anzahl der Richtungsgleise. Aus heutiger Sicht wird davon ausgegangen, dass ein Auflaufen von Wagen mit SK auf stehende Wagen mit DAK und umgekehrt zu technischen Schäden an den Wagen führt. Ein Einrangieren von Kupplungswagen im Ablaufprozess ist theoretisch möglich aber betrieblich bzw. wirtschaftlich mit einem hohen Aufwand verbunden und daher wohl nur selten sinnvoll.

Weitere Fälle

Die in Tabelle 1 genannten weiteren Fälle 4 bis 10 enthalten entweder Subvarianten der bereits vorgestellten Fälle 1 bis 3 oder sie basieren darauf, dass Zu- und/oder Abfuhr mit Wagen unterschiedlichen Kupplungstyps ohne Gruppierung durchgeführt werden. Ungruppierte Züge, also sogenannte „bunte Züge“, wie sie sich in den Fällen 4, 6 und 8 ergeben, erscheinen aus betrieblichen und wirtschaftlichen Gründen nur in Ausnahmefällen vertretbar, da innerhalb des jeweiligen Zuges bei jedem Zusammentreffen unterschiedlicher Kupplungstypen ein Kupplungswagen einrangiert werden müsste. Dagegen sprechen der hohe Rangieraufwand und der hohe Bedarf an Kupplungswagen.

Simulationsuntersuchungen

Vor dem Hintergrund der genannten Zusammenhänge erfolgen die Simulationsuntersuchungen daher für

1. den Fall 2 (Getrennte Verkehre) und
2. den Fall 3 (Gemischte Verkehre).⁹

In den Simulationen wird von der Annahme ausgegangen, dass bei den Gemischten Verkehren zulaufende und ausgehende Züge aus zwei sortenreinen Wagengruppen mit jeweils einem Kupplungstypen bestehen. Damit haben die Züge in der Regel folgenden Aufbau:

- Triebfahrzeug - Wagengruppe mit SK – Kupplungswagen - Wagengruppe mit DAK.

Folglich finden in der Simulation drei Zugzusammenstellungen Berücksichtigung:

- Kupplungsartreine Züge nur mit SK-Wagen,
- kupplungsartreine Züge nur mit DAK-Wagen (Abbildung 2) und
- Gemischte Züge (Zugbildungsschema nach Abbildung 3).

⁹ Auftaktworkshop, Frankfurt am Main, 17.07.2019.

Im Folgenden sollen die Fälle der „Gemischten Verkehre“ und „Getrennten Verkehre“ hinsichtlich ihrer Prozessketten genauer vorgestellt werden.

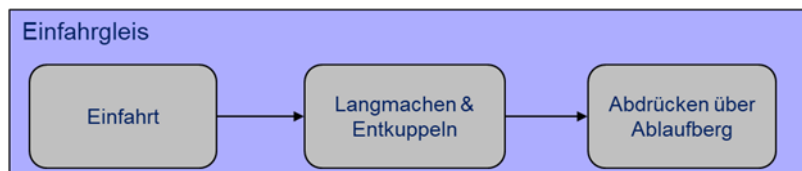
3.2 Prozessketten und Zeitwerte

Status Quo

Die Standardprozesse im Status Quo vor einer Umrüstung der Güterwagen sind für die Zugauflösung und Zugbildung in Abbildung 4 sowie Abbildung 5 dargestellt.

Nach der Einfahrt des Zuges in der Einfahrgruppe wird die Zuglok abgehängt und die Wagen werden entsprechend ihres vorgesehenen Wagenübergangs getrennt. Dafür ist das Aufdrehen der SK, das Aushängen des Bügels aus dem Zughaken sowie das Trennen der Bremsschläuche notwendig. Zudem werden die Wagen entlüftet, um ein Abrollen der Wagen zu ermöglichen. Anschließend schiebt eine Abdrücklokomotive die Wagen über den Ablaufberg, damit diese durch die Schwerkraft angetrieben und durch Gleisbremsen kontrolliert in das vorgesehene Richtungsgleis rollen.

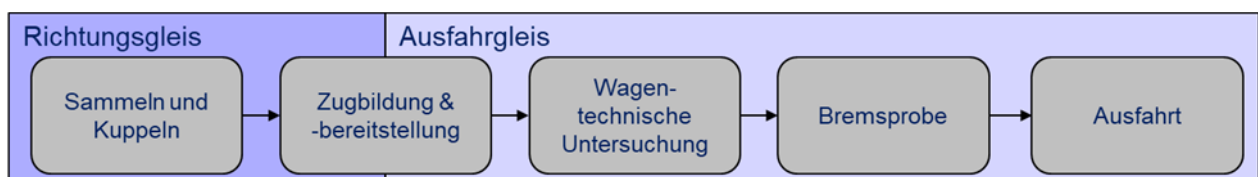
Abbildung 4: Prozesskette zur Zugauflösung im Status Quo mit SK



Quelle: TU Dresden

Im Richtungsgleis werden nach Sammelende die Wagen gekuppelt, der Bügel wird dabei in den Zughaken eingehängt, die Kupplung mit der Spindel kurzgemacht, die Bremsschläuche verbunden und die Ventile geöffnet. Anschließend überführt eine Rangierlokomotive den gebildeten Zug in die Ausfahrgruppe. Dort erfolgt die wagentechnische Untersuchung, um die technische Lauffähigkeit der Wagen sicherzustellen, und der Ausgangszug verlässt nach der Durchführung einer Bremsprobe mit einer Streckenlokomotive die ZBA.

Abbildung 5: Prozesskette zur Zugbildung im Status Quo mit SK



Quelle: TU Dresden

Die in der Simulation angenommenen Prozessdauern für den Status Quo sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Prozessdauern werden individuell pro Zug in Abhängigkeit der Anzahl der Wagen berechnet. Die Dauern bestehen aus einem fixen Anteil (bspw. Fußwege der örtlichen Mitarbeiter) sowie variablen Werten pro Wagen (bspw. Entkuppeln eines Wagens). Sämtliche hier aufgeführten Prozesswerte wurden durch Akteure des Schienengüterverkehrs verifiziert.

Tabelle 2: Angenommene Prozessdauern für Status Quo (reine SK-Wagen)

Prozess	Dauer fix [min]	Dauer variabel pro Wagen [min]
Einfahrt in Einfahrgleis	8,00	0,00
Langmachen und Entkuppeln	9,05	0,55
Abdrücken	1,00	0,43
Wagen kuppeln	11,52	0,40
Zug bereitstellen im Ausfahrgleis	27,05	0,00
Wagenuntersuchung	16,52	1,86
Vereinfachte Bremsprobe	15,35	0,24
Ausfahrt aus Ausfahrgleis	5,00	0,00

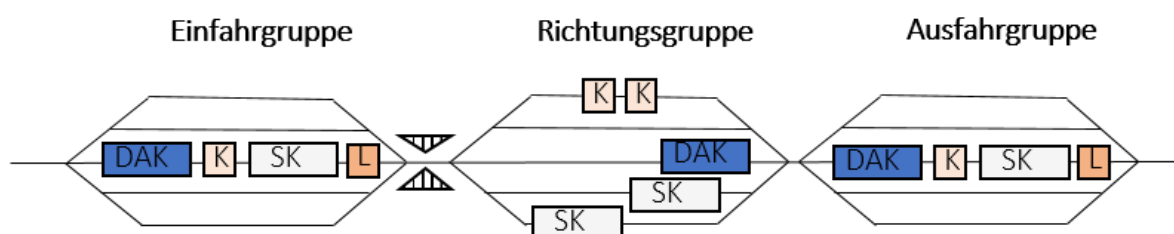
Quelle: TU Dresden

Nachfolgend werden die Prozessketten, die Wagen mit DAK berücksichtigen, vertieft. Zur Vermeidung einer Vermischung von Effekten, werden in den Simulationen neben der DAK keine weiteren Automatisierungskomponenten berücksichtigt (bspw. automatische Bremsprobe, digitale technische Wagenbehandlung).

„Gemischte Verkehre“

Züge, die sowohl Wagen mit SK als auch mit DAK mit sich führen, erfordern eine abweichende Prozesskette. Für die Zugauflösung und -bildung zeigen Abbildung 7 und Abbildung 8 schematisch die Prozessabläufe mit Gleiszuordnungen. Ein abstrahierter Überblick ist Abbildung 6 zu entnehmen.

Abbildung 6: Überblick Zugaufbildung und -zerlegung



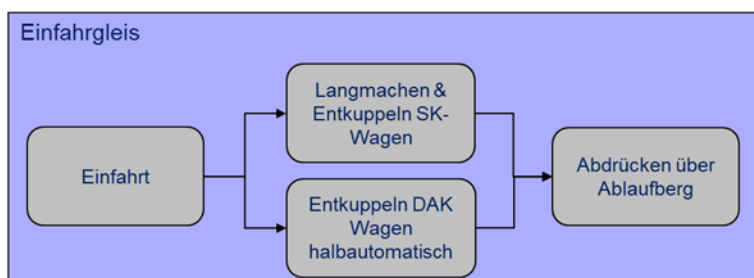
Legende:

- DAK Wagengruppe mit Digitaler Automatischer Kupplung
- SK Wagengruppe mit Schrauben-Kupplung
- K Kupplungswagen
- L (Strecken-)Lok

Quelle: TU Dresden

Für denjenigen Teil des Zuges, der aus Wagen mit SK besteht, erfolgt das Langmachen und Entkuppeln entsprechend obiger Beschreibung. Der andere Teil des Zuges mit Wagen, die über ein Digitales Automatisches Kupplungssystem verfügen, wird ebenfalls im Einfahrgleis getrennt. Dafür entlüftet ein örtlicher Mitarbeiter die Wagen und trennt das Kupplungssystem, etwa durch einen Seilzug.

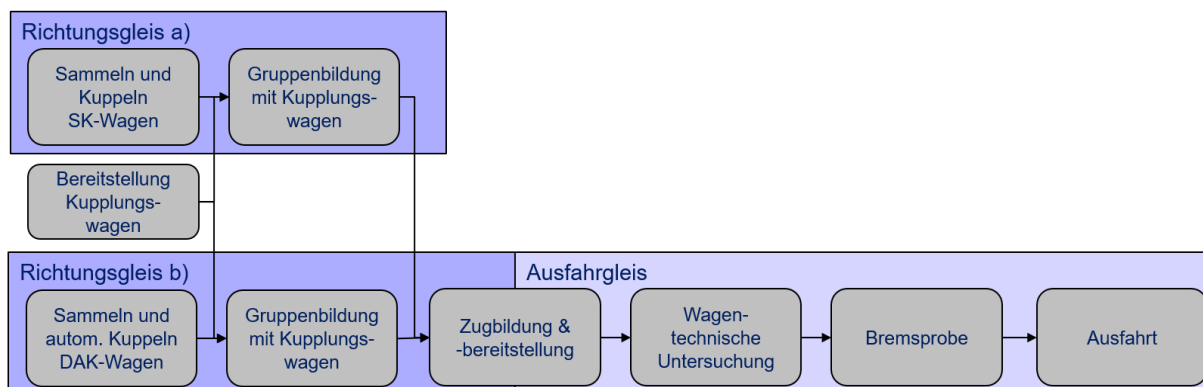
Abbildung 7: Prozesskette zur Zugauflösung für „Gemischte Verkehre“ mit SK und DAK



Quelle: TU Dresden

Die Zugbildung eines gemischten Ausgangszugs unterscheidet sich deutlich von derjenigen von kupplungsartreinen Zügen. Es werden auf zwei Richtungsgleisen die Wagen nach Kupplungsart getrennt für den Ausgangszug gesammelt. Die Wagen mit SK werden von einem örtlichen Mitarbeiter wie oben beschrieben gekuppelt. Die übrigen Wagen mit DAK kuppeln beim Auflaufen selbsttätig. Dies betrifft sowohl das mechanische Kuppeln als auch das des Mediums Luft sowie übriger Leitungen. Ergänzend müssen Kupplungswagen mit Hybridkupplung in einem weiteren Richtungsgleis bereitgehalten werden. Zur Zugbildung entsprechend der in Abschnitt 3.1 definierten Reihung wird folgendes Verfahren vorgeschlagen: Eine Rangierlokomotive zieht die gekuppelte Wagengruppe mit SK aus dem Richtungsgleis a (Abbildung 8) und setzt sie auf einen Wagen mit Hybridkupplung auf. Der Verbund, bestehend aus Wagen mit SK und einem Kupplungswagen, wird anschließend auf die Wagen mit DAK aufgesetzt (Richtungsgleis b). Der nun vollständig gebildete Ausgangszug wird in die Ausfahrgruppe überführt, wo er eine Ausgangsbehandlung wie oben beschrieben erfährt.

Abbildung 8: Prozesskette zur Zugbildung für „Gemischte Verkehre“ mit SK und DAK



Quelle: TU Dresden

Die angenommenen Prozessdauern enthält Tabelle 3. Sowohl bei der Zugzerlegung als auch bei der Zugbildung sind die Prozesszeiten abhängig von der Mischung zwischen Wagen mit SK und DAK.

Tabelle 3: Prozessdauern bei gemischten Zügen

Prozess	Dauer fix [min]	Dauer variabel pro Wagen [min]
Einfahrt in Einfahrgleis	8,00	0,00
Langmachen und Entkuppeln	9,05	0,35 pro DAK-Wagen
		0,55 pro SK-Wagen
Abdrücken	1,00	0,43
Wagen kuppeln SK-Gruppe	11,52	0,40 pro SK-Wagen
Wagen kuppeln DAK-Gruppe	0,00	0,00
Bilden gemischter Ausgangszug	25,20	0,00
Zug bereitstellen im Ausfahrgleis	27,05	0,00
Wagenuntersuchung	16,52	1,86
Vereinfachte Bremsprobe	15,35	0,24
Ausfahrt aus Ausfahrgleis	5,00	0,00

Quelle: TU Dresden

„Getrennte Verkehre“

Bei „Getrennten Verkehren“ fahren alle Züge kupplungsartrein. Entsprechend erfolgt der Prozess der Zugzerlegung und –bildung für Züge mit SK wie im Status Quo (Zeitwerte vgl. Tabelle 2). Bei Zügen mit DAK entfällt der Prozess des Kuppelns. Die übrigen Prozesse bleiben bestehen. Die angewandten Zeitdauern für DAK-reine Züge sind in Tabelle 4 zu finden.

Tabelle 4: Prozessdauern von gänzlich auf DAK umgerüsteten Zügen

Prozess	Dauer fix [min]	Dauer variabel pro Wagen [min]
Einfahrt in Einfahrgleis	8,00	0,00
Langmachen und Entkuppeln	9,05	0,35
Abdrücken	1,00	0,43
Wagen kuppeln	0,00	0,00
Zug bereitstellen im Ausfahrgleis	25,20	0,00
Wagenuntersuchung	16,52	1,86
Vereinfachte Bremsprobe	15,35	0,24
Ausfahrt aus Ausfahrgleis	5,00	0,00

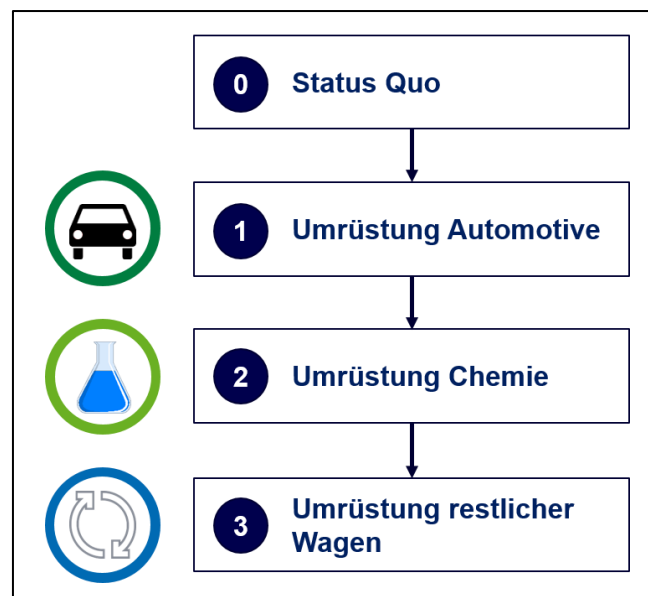
Quelle: TU Dresden

3.3 Mengengerüst und Branchendefinition

Der Datensatz, welcher für die Untersuchung von Seiten der DB Cargo AG zur Verfügung gestellt wurde, umfasst ca. 2.500 Wagen, welche sich im Betrachtungshorizont 18. bis 20. März 2019 in der Anlage befanden.

Für die Simulation der Migration in einer ZBA sind verschiedene Szenarien zu entwickeln, welche den Verlauf einer Migration und damit unterschiedliche Stände von Wagenumrüstungen abbilden. Die Szenarien basieren auf der Grundidee einer schrittweisen branchenorientierten Umrüstung. Dies bedeutet, dass sich die Umrüstungsreihenfolge an der sukzessiven Umrüstung einzelner Branchen orientiert. Da Güterwagen derselben Branche vermehrt zusammen in Zügen verkehren, soll auf Basis dieses Ansatzes eine möglichst rasche komplette Umrüstung von einzelnen Zügen bzw. Relationen vorangetrieben werden. Dies hat den Vorteil, dass ein Mischbetrieb von SK- und DAK-Wagen auf diesen Relationen begrenzt werden kann, und die ZBA hierdurch nicht weiter belastet werden. Zudem minimiert sich dadurch die Dauer eines Parallelbetriebs für Kunden mit Gleisanschlüssen bzw. Anschlussbahnen. Für die Simulation konnten auf Basis des Datensatzes zwei stark vertretene Branchen für die ZBA München-Nord identifiziert werden: die Automotive- und die Chemiebranche. Für die Simulation wurde entsprechend die in Abbildung 9 dargestellte Umrüstungsreihenfolge angenommen, welche exemplarisch für die ZBA München-Nord gewählt wurde.

Abbildung 9: Branchenorientierte Umrüstungsreihenfolge



Quelle: TU Dresden

Die Umrüstung der einzelnen Branchen erfolgt aufgrund beschränkter Werkstattkapazitäten demnach nicht komplett zu einem Zeitpunkt, sondern stufenweise. In den hier definierten Szenarien werden diskrete Umrüstungszeitpunkte betrachtet und branchenweise in 20 %-Schritten untersucht. Die Umrüstungen von Branchen bauen aufeinander auf. Die entsprechende Szenariodefinition ist in Tabelle 5 festgehalten.

Tabelle 5: Szenarien für Simulationen des Parallelbetriebs von SK und DAK

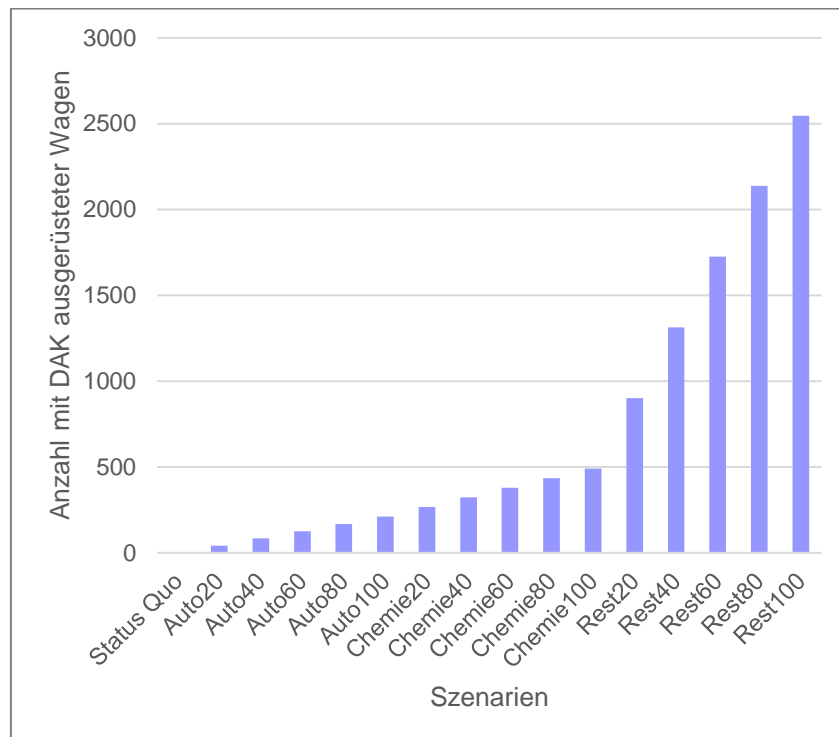
Szenario	Umrüstungsstand Wagen aus Automotive Branche	Umrüstungsstand Wagen aus Chemie Branche	Umrüstungsstand restliche Wagen
Status Quo	0 %	0 %	0 %
Auto20	20 %	0 %	0 %
Auto40	40 %	0 %	0 %
Auto60	60 %	0 %	0 %
Auto80	80 %	0 %	0 %
Auto100	100 %	0 %	0 %
Chemie20	100 %	20 %	0 %
Chemie40	100 %	40 %	0 %
Chemie60	100 %	60 %	0 %
Chemie80	100 %	80 %	0 %
Chemie100	100 %	100 %	0 %
Rest20	100 %	100 %	20 %
Rest40	100 %	100 %	40 %
Rest60	100 %	100 %	60 %
Rest80	100 %	100 %	80 %
Rest100	100 %	100 %	100 %

Quelle: TU Dresden

Gemäß Tabelle 5 ergibt sich damit eine Anzahl von jeweils 15 zu simulierenden Szenarien für die Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ und die Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ sowie die Simulation des Status Quo.

Die Umrüstung der Wagen innerhalb der Branchenumrüstung erfolgt zufällig. Das heißt, dass durch einen Zufallsalgorithmus ausgewählt wird, welche konkreten Automotive-Wagen beispielsweise in Szenario „Auto20“ bereits mit DAK ausgerüstet sind. Aufgrund dieser Zufallskomponente entsprechen die Szenarien zwar einer branchenorientierten, jedoch unkoordinierten Umrüstung. Dies entspricht einer „Worst Case“ Abschätzung, da durch die Zufallskomponente nicht gezielt ganze Züge komplett umgerüstet werden, sondern in der Regel einzelne Wagen von Zügen mit DAK ausgerüstet sind, während ein Großteil weiter mit SK verkehrt.

Abbildung 10: Anzahl umgerüsteter Wagen (für die untersuchten Betriebstage in der Anlage)



Quelle: TU Dresden

Die Szenariodefinition führt dazu, dass entsprechend der Anzahl an Wagen einer Branche sich die Anzahl der umgerüsteten Wagen mit DAK je Szenario ergibt. Diese ist in Abbildung 10 dargestellt. In der Grafik lässt sich erkennen, dass die Anzahl der umgerüsteten Wagen in den Szenarien entsprechend der Umrüstsreihenfolge ansteigt. Automotive- und Chemie-Branche stellen circa 20 % der gesamten Wagenanzahl. Hierdurch sind die Sprünge in den „Rest“-Szenarien relativ groß. Für die Simulationen stellt dies eine ausreichende Klassifizierung dar, um Erkenntnisse für eine Migration abzuleiten. In Vorbereitung einer konkreten Umrüstungsphase kann eine feinere Aufteilung der Schritte hingegen zweckmäßig sein, die nachfolgenden Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Auf Basis der in diesem Kapitel vorgestellten Szenarien erfolgt die Simulation eines Parallelbetriebs von SK und DAK in ZBA. Die Ergebnisse der Simulation sind Gegenstand des folgenden Kapitels.

4. Ergebnisse der Simulation des Parallelbetriebes

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Simulationen der Szenarien für die Betriebsstrategien „Gemischte Verkehre“ und „Getrennte Verkehre“ vorgestellt. Dabei wird insbesondere auf die betriebliche Machbarkeit der Szenarien eingegangen, wie auch auf den resultierenden Ressourceneinsatz. Das umfasst Aussagen bezüglich der erforderlichen Leistungsminuten zur Umsetzung des Betriebsprogramms in den Szenarien. Diese beziehen sich sowohl auf Personale (Rangierarbeiter zum Entkuppeln und Kuppeln von Wagen) als auch auf Rangierlokomotiven. Des Weiteren werden Auswertungen zu Infrastrukturbedarfen für die einzelnen Szenarien durchgeführt. Abschließend erfolgt zudem eine erste Abschätzung zu der benötigten Anzahl an Kupplungswagen für ein ausgewähltes Szenario.

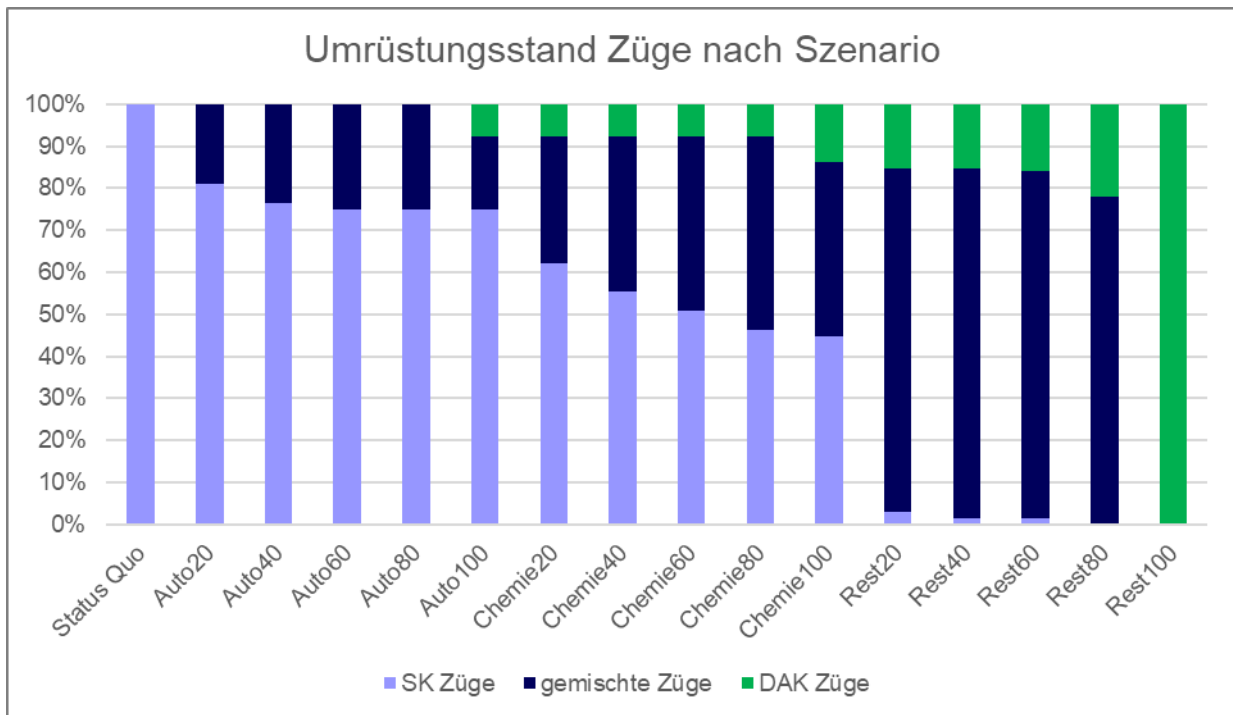
Die Ergebnisse werden separat für die beiden definierten Betriebsstrategien vorgestellt.

4.1 Ergebnisse Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“

Zur Unterstützung der Bewertung der Ergebnisse der Simulationsuntersuchungen sei vorab nochmals erwähnt, dass ein gemischter Zug aus einem Wagenzug besteht, in dem Wagen sowohl mit DAK als auch mit SK ausgerüstet sind. Bei dieser Betriebsstrategie werden Züge als reine Schraubenkupplungszüge, gemischte Züge (SK- und DAK-Wagen) und reine DAK-Züge gefahren. Sofern in einem betrachteten Szenario in einem Zug SK- und DAK-Wagen vorhanden sind, wird dieser Zug als gemischter Zug in der Anlage behandelt. Bei ausschließlichem Vorhandensein von DAK handelt es sich entsprechend um einen DAK-Zug (bei reinen Schraubenkupplungswagen analog). Diese Einteilung bezieht sich sowohl auf Eingangs- als auch auf Ausgangszüge in der ZBA. Es sei darauf hingewiesen, dass sogenannte „Durchläuferzüge“ in der Simulation ebenfalls berücksichtigt werden. Ihre Prozessketten werden jedoch nicht verändert, weil diese Züge in der ZBA nicht aufgelöst oder gebildet werden.

In den einzelnen Szenarien kann für die Einteilung in SK-Züge, gemischte Züge und DAK-Züge jeweils der aktuelle Umrüstungsstand bestimmt werden (vgl. Abbildung 11). Dabei wird deutlich, dass bei einer unkoordinierten Umrüstung bei den „Gemischten Verkehren“ die Anzahl der gemischten Züge bis kurz vor der Komplettumrüstung sehr hoch ist. Darin liegt auch die Ursache begründet, dass bei dieser Betriebsstrategie während der gesamten Migrationsphase ein hoher zusätzlicher Rangieraufwand entsteht.

Abbildung 11: Umrüstungsstand Züge nach Szenario bei „Gemischten Verkehren“

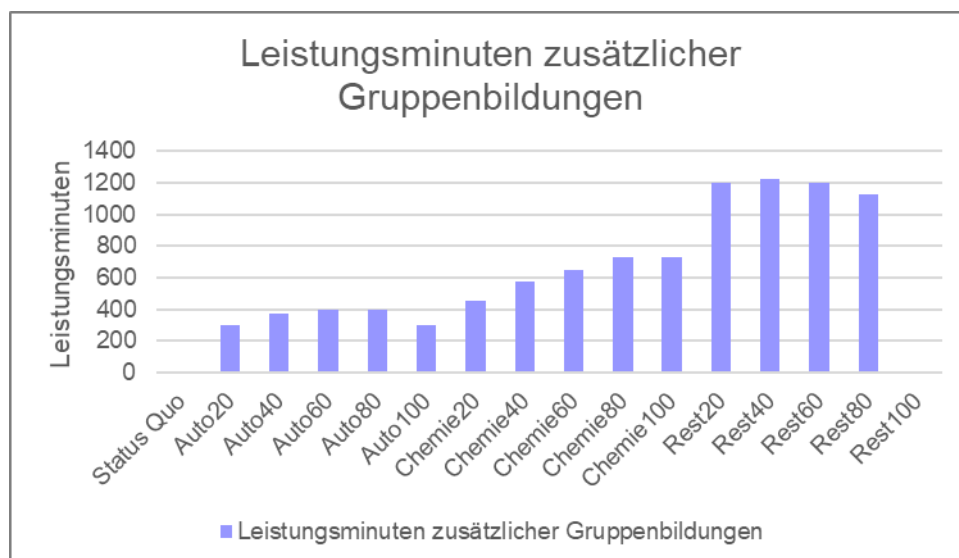


Quelle: TU Dresden

Die Vielzahl gemischter Züge hat zur Folge, dass eine hohe Zahl an zusätzlichen Gruppenbildungen in der Anlage durchzuführen ist. Diese Gruppenbildungen zum Zusammenführen von SK- und DAK-Wagen werden von Zugbildungslokomotiven durchgeführt und binden somit stark deren Leistungsminuten. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 12 dargestellt. Im Vergleich zu den bisherigen Leistungsminuten der Zugbildungslokomotiven im Status Quo ergibt sich eine Steigerung je nach Szenario zwischen 20 % und 75 %.

Zugbildungslokomotiven müssen bei der Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ aufgrund der zusätzlichen Gruppenbildungsprozesse einen hohen prozessualen Zusatzaufwand erbringen.

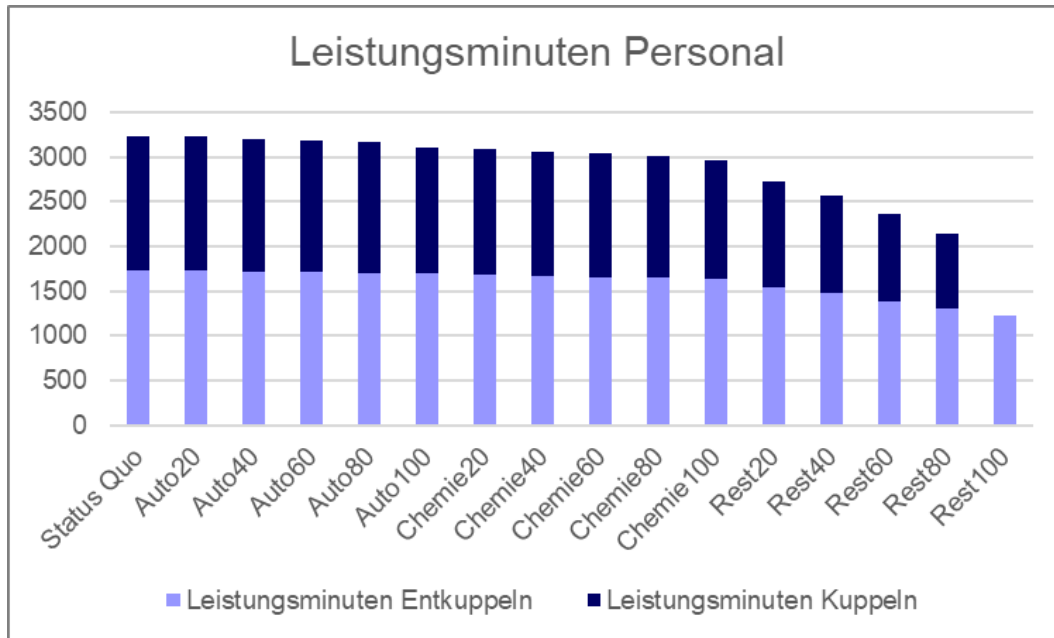
Abbildung 12: Leistungsminuten Rangierloks durch zusätzliche Gruppenbildungen bei „Gemischten Verkehren“ im Untersuchungshorizont (drei Betriebstage)



Quelle: TU Dresden

Anders verhält sich die Belastung der örtlichen Personale. Die Leistungsminuten von Rangierarbeitern für das Kuppeln und Entkuppeln von Wagen sinken mit jedem umgerüsteten Wagen in der Anlage (vgl. Abbildung 13).

Abbildung 13: Leistungsminuten Personale bei „Gemischten Verkehren“



Quelle: TU Dresden

Für das Kuppeln und Entkuppeln fallen weite und zeitintensive Fußwege in den Anlagen an, die in den Prozesszeiten berücksichtigt sind. Diese hohen Zeitanteile können erst eliminiert werden, wenn keine Prozesse mehr am Zug durchgeführt werden. Wenn ein Zug nur aus DAK-Wagen besteht, so entfällt der Prozess des Kuppelns für den Rangierarbeiter komplett. Ist jedoch noch ein zu kuppelnder SK-Wagen im Zug, so fallen auch die hohen fixen Zeitwerte für die Fußwege an. Aufgrund dessen entsteht der Effekt, dass erst bei Umrüstung ganzer Züge die Prozesszeiten für die Kuppler stark sinken, bis sie im Szenario „Rest100“ mit 100 % DAK Wagen auf 0 Minuten absinken. Wie oben ausgeführt, fällt ein Großteil der Ersparnis an Leistungsminuten erst an, wenn der letzte SK-Wagen eines Zuges umgerüstet ist. Daher zeigt sich der Effekt, dass erst im Szenario „Rest100“ mit 100 % DAK Wagen die Leistungsminuten stark gesenkt werden können.

Für den Prozess des Entkuppelns ist anzumerken, dass dieser nicht vollständig entfällt, sondern das Entkuppeln weiterhin am Zug realisiert wird (vgl. Kapitel 3.2). Somit sinken die benötigten Zeitwerte zwar signifikant, jedoch ist ein Entfall des Prozesses mit einer DAK des Typs 4, welche halbautomatisch entkuppelt, derzeit nicht möglich.

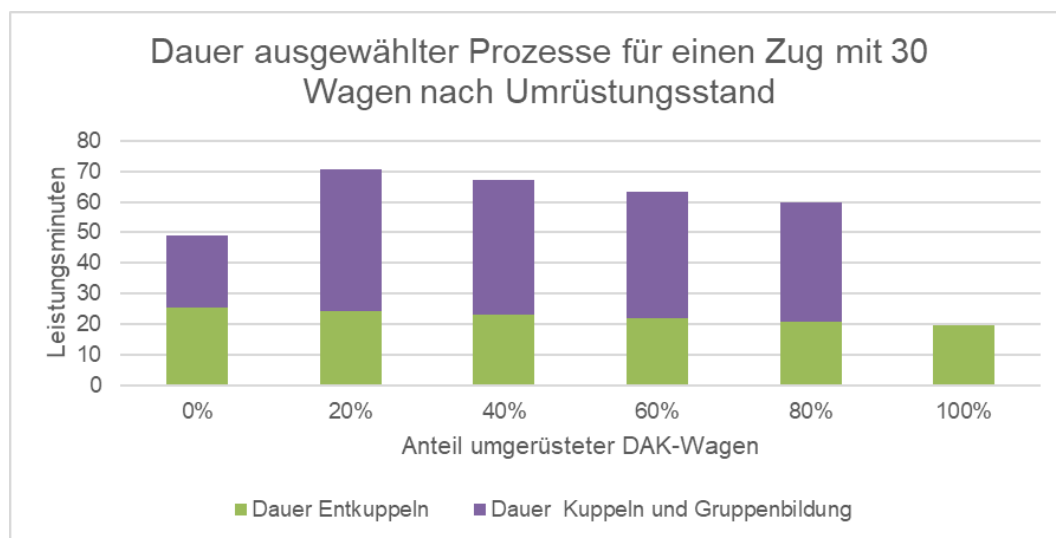
Es lässt sich auf Basis dieser Ergebnisse belegen, dass mit zunehmender Anzahl umgerüsteter Wagen örtliche Personale beim Kuppeln und Entkuppeln in der ZBA bei der Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ entlastet werden.

Zur vertieften Erläuterung der betrieblichen Zusammenhänge und zur Unterstützung der Interpretation der in Abbildung 12 und Abbildung 13 aufgeführten Ergebnisse sollen die Prozesszeiten für einen Zug mit 30 Güterwagen für unterschiedliche Umrüstungsstände exemplarisch dargestellt werden. In Abbildung 14 werden hierfür die Prozessdauern für das Langmachen und Entkuppeln in der Einfahrgruppe sowie für das Kuppeln und ggf. die

Gruppenbildung in der Richtungsgruppe berechnet. Die Kalkulation der Zeiten erfolgt entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 3.2. Mit zunehmender Umrüstung verringert sich die notwendige Dauer für die Behandlung in der Einfahrgruppe (Langmachen und Entkuppeln). Da ein Großteil der Prozesszeiten auf Laufwege zurückzuführen ist sowie auf Prozesse, die unabhängig von der Kupplung durchzuführen sind, sind die zeitlichen Einsparungen eher gering.

Bei der Betrachtung der notwendigen Dauern für das Kuppeln und die Gruppenbildung wird ein anderer Effekt sichtbar. Das Bilden eines gemischten Ausgangszugs erfordert eine Gruppenbildung, die unabhängig von der Anzahl der Wagen einen Zeitbedarf von 25 Minuten verursacht. Dadurch ergibt sich während der Migration ein prozessualer Mehraufwand, der erst mit der Umrüstung des letzten SK-Wagens pro Zug verschwindet. Auf Zugebene wird hier deutlich, dass gemischte Züge einen erheblichen Mehraufwand bedeuten und erst die komplette Umrüstung eines Wagenverbands Effekte bringen kann.

Abbildung 14: Prozessdauern für Standardzug mit 30 Wagen nach Umrüstungsstand



Quelle: TU Dresden

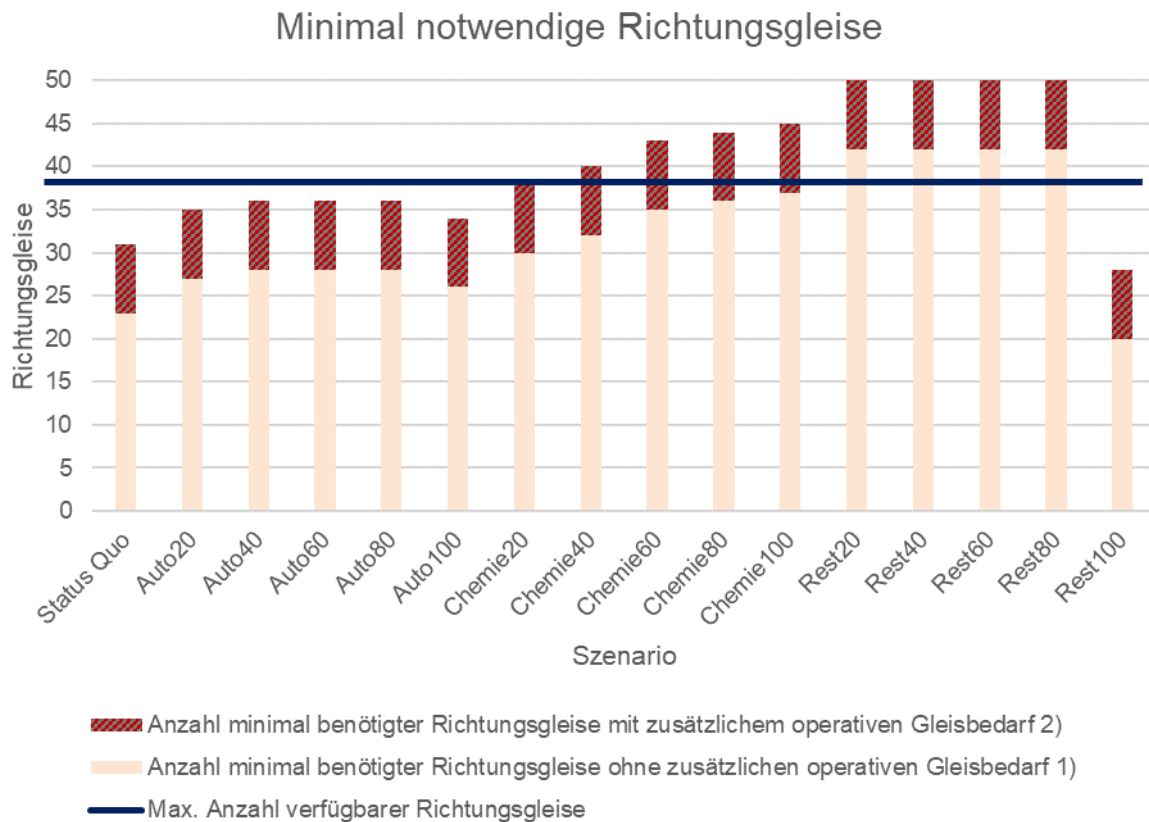
Bei der Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ kommt in einer unkoordinierten Umrüstung der Hauptteil der Effekte der DAK in ZBA erst bei vollständiger Umrüstung zum Tragen.

Da die Simulationen auf Basis realer Zuggerüste und Prozesszeiten durchgeführt wurden, war die Beobachtung des Verhaltens der Anlage hinsichtlich der Auslastung der Gleisinfrastruktur von besonderem Interesse. Dabei zeigte sich, dass der maßgebende Engpass für die Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ in der Anzahl und Länge der verfügbaren Richtungsgleise liegt. Dieser Engpass wird in der Praxis sogar noch verstärkt, da hier ein zusätzlicher Gleisbedarf aufgrund von internen Verkehren, Schadwagenverkehren und Prozessen für Sammelrelationen besteht. Dieser ergänzende Kapazitätsbedarf ist nicht Teil der Simulation und deshalb noch als zusätzlicher operativer Gleisbedarf einzuplanen.

Der minimale Richtungsgleisbedarf für jedes Szenario ist in Abbildung 15 dargestellt. Als Kapazitätsgrenze sind 38 Richtungsgleise vorgesehen. Die ZBA München-Nord verfügte in ihrer Konfiguration im Jahr 2019 zwar über 40 Richtungsgleise, für das Sammeln von Kupplungswagen werden jedoch zwei Richtungsgleise vorbehalten. In der Abbildung 15 ist ebenso ein konstanter Wert für zusätzlichen operativen Gleisbedarf eingearbeitet. Es soll darauf hingewiesen werden, dass die Vorhaltung von zwei Richtungsgleisen für

Kupplungswagen in den Simulationen eine betrieblich begründete Annahme darstellt. Ihre genaue Abschätzung obliegt im Bedarfsfall einer integrierten Prozessanalyse.

Abbildung 15: Minimaler Richtungsgleisbedarf mit Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“



Quelle: TU Dresden

1) Basierend auf Zugerüst aus Datensatz März 2019

2) Zusätzlicher operativer Gleisbedarf: Interne Verkehre, Schadwagen und Sammelrelationen.
Erste Annahme als Konstante, in weiteren Untersuchungen zu spezifizieren.

Die Ergebnisse der Simulationen zeigen konkret, dass die Umrüstungsszenarien der Automotive- und Chemiebranche unter den gegebenen Annahmen realisierbar sind. Unter Berücksichtigung des o. a. operativen Gleisbedarfes sind allerdings nur die Szenarien DAK-Umrüstung Branche Automotive gut realisierbar (211 DAK-Wagen). Die Szenarien „Rest20“ (902 DAK-Wagen) bis „Rest80“ (2.137 DAK-Wagen) sind bei einer unkoordinierten Umrüstung hingegen nicht durchführbar, da die Richtungsgleiskapazität nicht ausreicht, um die Vielzahl an Gruppenbildungen durchzuführen.

Aufgrund der Bedeutung der Steuerung einer Umrüstung soll an dieser Stelle nochmals betont werden, dass in dieser Studie zum Parallelbetrieb von DAK und SK in ZBA von einer unkoordinierten Umrüstung ausgegangen wird. Zwar erfolgt die Umrüstung grundsätzlich branchenorientiert, die Umrüstung der einzelnen Wagen in den Branchen wird jedoch nicht gesteuert, sondern erfolgt zufällig (vgl. Kapitel 3.3).

4.2 Grobabschätzung: Anzahl von Kupplungswagen in einer ZBA

Die Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ erfordert den bereits erwähnten Einsatz von Kupplungswagen. Diese Wagen stellen die Konnektoren von Wagengruppen mit SK und DAK dar. An dieser Stelle soll auf Basis eines Szenarios eine erste Abschätzung zur Anzahl der für den Betrieb benötigten Kupplungswagen getroffen werden. Für diese Betrachtung wurde aufgrund des hohen Anteils von gemischten Zügen das Szenario „Rest80“ gewählt. In diesem Szenario wird eine Zeitscheibe von 24 Stunden für die Abschätzung der benötigten Kupplungswagen betrachtet. Hieraus ergibt sich ein Zugerüst von 49 Eingangszügen und 40 Ausgangszügen.¹⁰ Von den 49 Eingangszügen verkehren in dem Szenario 38 Züge als gemischte Züge. Von den 40 Ausgangszügen sind 34 Züge gemischt (Modelltag Basis März 2019).

Der Betrachtung liegt zugrunde, dass in Abhängigkeit von der zeitlichen Lage (Ankunfts- und Abfahrtszeiten) von Eingangs- und Ausgangszügen Kupplungswagen mit einem Eingangszug in der Anlage ankommen bzw. sie mit einem Ausgangszug verlassen. Durch eine Flussrechnung kann somit die notwendige Anzahl der Kupplungswagen in einer ersten Näherung berechnet werden.

Zunächst wird dazu definiert, dass in dem betrachteten Zeithorizont für jeden gemischten Eingangszug ein Kupplungswagen zur Verfügung gestellt werden muss. Der Eingangszug erfährt nach seiner Einfahrt die Eingangszugbehandlung. Nach dem Abdrücken steht der Kupplungswagen des Eingangszuges in den Richtungsgleisen zur Verfügung, um für einen Ausgangszug genutzt zu werden. Sofern aufgrund der zeitlichen Lage der Züge kein Kupplungswagen für einen Ausgangszug zur Zeit seiner Zugbildung zur Verfügung steht, wird der notwendige Bestand an zusätzlichen Kupplungswagen in der ZBA um einen Wagen erhöht. Für diese Abschätzung wurden konstante Zeitwerte zwischen Ankunft der Züge und möglicher frühester Bereitstellung für einen Ausgangszug, sowie letztmöglichem Zeitpunkt der Bereitstellung und Abfahrt angenommen.

Die Anzahl der benötigten Kupplungswagen im Szenario wird berechnet als Summe aus der Anzahl der gemischten Eingangszüge sowie der zusätzlich in der ZBA vorzuhaltenden Kupplungswagen. Für das Szenario „Rest80“ ergibt sich somit ein Bedarf an 48 Kupplungswagen (38 Kupplungswagen aus den Eingangszügen, 10 Kupplungswagen als Bestand in der Anlage).

Es ist anzumerken, dass eine Abschätzung der notwendigen Kupplungswagen auf Basis lediglich einer ZBA Wechselwirkungen im Netzwerk nur sehr bedingt abbilden kann. Neben den ZBA erfordert der Einsatz von Kupplungswagen auch entsprechende Abstellkapazitäten in allen Bahnhöfen an denen diese Wagen genutzt oder behandelt werden. Weiter ist adäquates Wagenmanagement notwendig, insbesondere die Wagentrafficplanung, -überwachung und -steuerung.

Die hier vorgestellte Flussrechnung ist somit als erste Indikation zu verstehen und um netzweite Betrachtungen zu erweitern. Weitere die Kupplungswagenanzahl beeinflussende Faktoren liegen u. a. in der Streuung der Behandlungszeiten sowie in der Schadenshäufigkeit der Wagen.

¹⁰ Sogenannte Durchläuferzüge, die in ZBA ihre Zugkonfiguration nicht ändern, wurden aus der Betrachtung ausgeschlossen.

Eine analoge Abschätzung der Kupplungswagen für „Getrennte Verkehre“ existiert nicht, da diese Betriebsstrategie ohne Kupplungswagen in ZBA auskommt.

4.3 Zusammenfassung „Gemischte Verkehre“

Insgesamt ergeben sich bei einer Umrüstung nach Branchen folgende Erkenntnisse zur

Umsetzbarkeit der untersuchten Migrationsszenarien „Gemischte Verkehre“

(am Beispiel der ZBA München Nord, 2019):

1. Die unkoordinierte Umrüstung der Automotive-Wagen (Szenarien „Auto20“ bis „Auto100“) konnte erfolgreich durchgeführt werden. Berechnet man zu den Simulationswerten den zusätzlichen operativen Gleisbedarf dazu, ist eine ausreichende Anzahl an Richtungsgleisen verfügbar. Die Simulationen zeigen, dass die Umrüstung der Automotive-Wagen somit trotz (und nur mit) Rangiermehraufwand machbar ist.
2. Die unkoordinierte Umrüstung der Chemie-Branche (Szenarien „Chemie20“ bis „Chemie100“) konnte exkl. Sonderprozesse und ohne interne Verkehre erfolgreich realisiert werden. Es wird deutlich, dass die Belastungsgrenze der ZBA in diesen Szenarien erreicht wird und die in Abschnitt 2.1 beschriebenen notwendigen Kapazitätsfreiräume für operative Notwendigkeiten nicht mehr freigehalten werden können.
3. Die Simulationen zur Umrüstung der restlichen Wagen (Szenarien „Rest20“ bis „Rest100“) zeigen, dass eine unkoordinierte Umrüstung der restlichen Wagen nicht realisierbar ist (mit angenommenen Prozessen und Ressourcen).

Auf Basis der in den genannten Simulationen gewonnenen Ergebnisse lassen sich

vier Kernaussagen für die Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“

verallgemeinerbar ableiten:

1. Eine unkoordinierte Umrüstung über einen mehrjährigen Migrationszeitraum führt zu einer schnellen Überlastung der ZBA. Durch die Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ entsteht ein erheblicher Rangiermehraufwand, welcher bei einer zu hohen Anzahl gemischter Züge die Kapazitäten einer Anlage übersteigt.
2. Die Effekte der DAK zur Reduzierung des Rangieraufwands treten erst bei Umrüstung aller Wagen innerhalb eines Zuges respektive einer Anlage auf. Der zunächst erwartete lineare Rückgang des betrieblichen Aufwandes in den ZBA entsprechend den Steigerungen beim Umrüstungsgrad tritt somit nicht ein.
3. Die erforderliche Anzahl der Kupplungswagen zur Umsetzung der Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ erzeugt über die gesamte Migrationsdauer einen erhöhten betrieblichen Aufwand in den ZBA.
4. Die Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ bietet Optimierungspotenziale. Es ist insbesondere zu prüfen, ob und mit welchem Aufwand die Anzahl der gemischten Züge reduziert werden kann, da der von ihnen verursachte Rangieraufwand denjenigen von kupplungsartenreinen Zügen deutlich übersteigt.

Den Simulationsergebnissen und Erkenntnissen zur Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ können die Ergebnisse und Erkenntnisse zur Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ gegenübergestellt werden.

4.4 Ergebnisse Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“

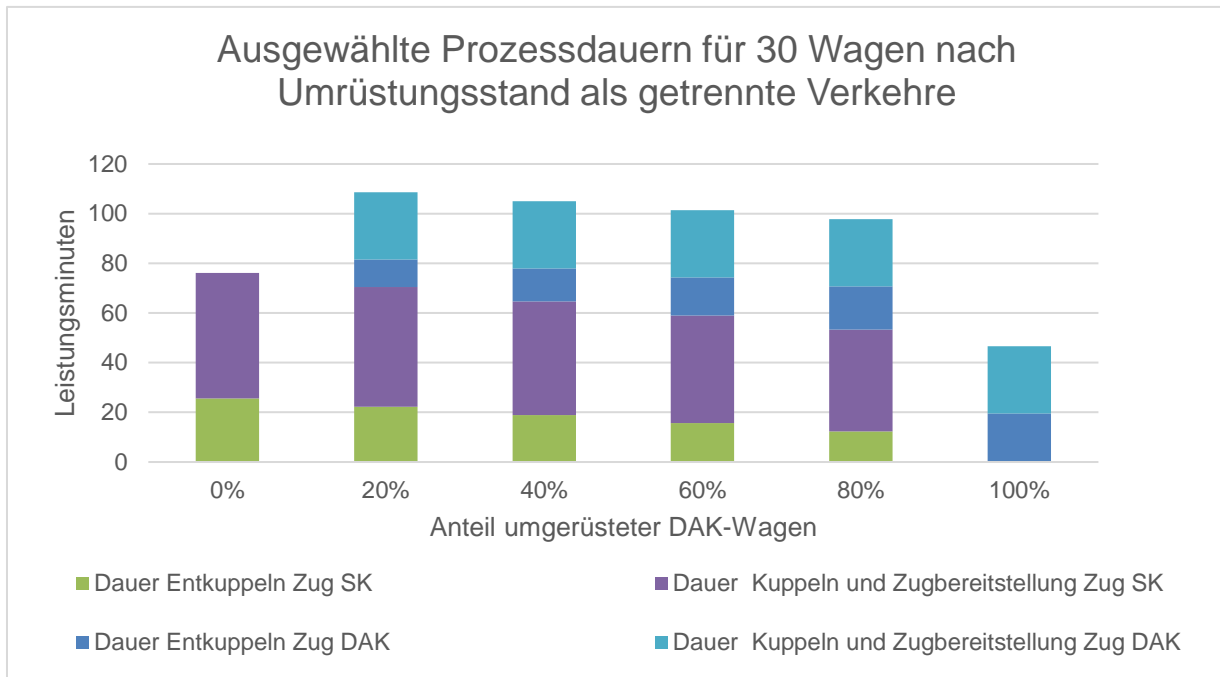
Bei der Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ werden SK- und DAK-Wagen verkehrlich getrennt. Züge bestehen somit ausschließlich aus SK- oder DAK-Wagen. Gemischte Züge sind in diesem Fall nicht zulässig. In den ZBA sind die Prozesse von SK- und DAK- Wagen betrieblich voneinander getrennt.

Vorteil dieser Betriebsstrategie ist es deshalb, dass keine gemischten Züge existieren und deshalb auch keine Kupplungswagen vorgehalten werden müssen. Dies führt dazu, dass die beiden für Kupplungswagen reservierten Richtungsgleise bei den Simulationen „Gemischte Verkehre“ in den Simulationsmodellen für die Szenarien „Getrennte Verkehre“ zusätzlich für Zugbildungen genutzt werden können. Dadurch erhöht sich die Kapazität in der Richtungsgruppe der Anlage. Des Weiteren entfallen die Prozesse zur Gruppenbildung von gemischten Ausgangszügen und der damit verbundenen Belastung von Zugbildungslokomotiven.

Nachteil dieser Betriebsstrategie ist es, dass einzelne Relationen nur suboptimal ausgelastet werden können, da die verkehrliche Trennung der Wagen die Bündelung von Wagenströmen erschwert oder über einen unvermeidbar langen Zeitraum verlängert. Deshalb wurde auch die o. a. zu erwartende Erhöhung des Zuggerüstes in den Simulationen zu dieser Betriebsstrategie berücksichtigt. Hiermit geht ein erhöhter Aufwand für den Einsatz von Streckenlokomotiven und Triebfahrzeugführern im Netzwerk einher. Außerdem belasten die größeren Zuggerüste für die jeweils getrennten Züge mit SK und DAK die ZBA, da entsprechend mehr Zugaufösungen und –bildungen erforderlich sind. Sämtliche Ressourcen der ZBA werden verstärkt beansprucht (Infrastruktur, Personale und Lokomotiven).

Für die Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ verdeutlicht Abbildung 16 beispielhaft ausgewählte notwendige Prozessdauern eines Eingangszuges mit 30 Wagen in der ZBA. Durch die notwendige separate Behandlung von SK und DAK-Wagen (zwei Züge) entsteht ein erheblicher prozessualer Mehraufwand gegenüber dem Status Quo (0 % DAK) und dem Zielzustand (100 % DAK). Darin resultiert bis zur Umrüstung des letzten SK-Wagens ein hoher Mehraufwand bei Zugsteuerung und Betrieb.

Abbildung 16: Dauer ausgewählter Zugzerlegungs- und -bildungsprozesse nach Umrüstungsgrad eines Zuges mit 30 Wagen

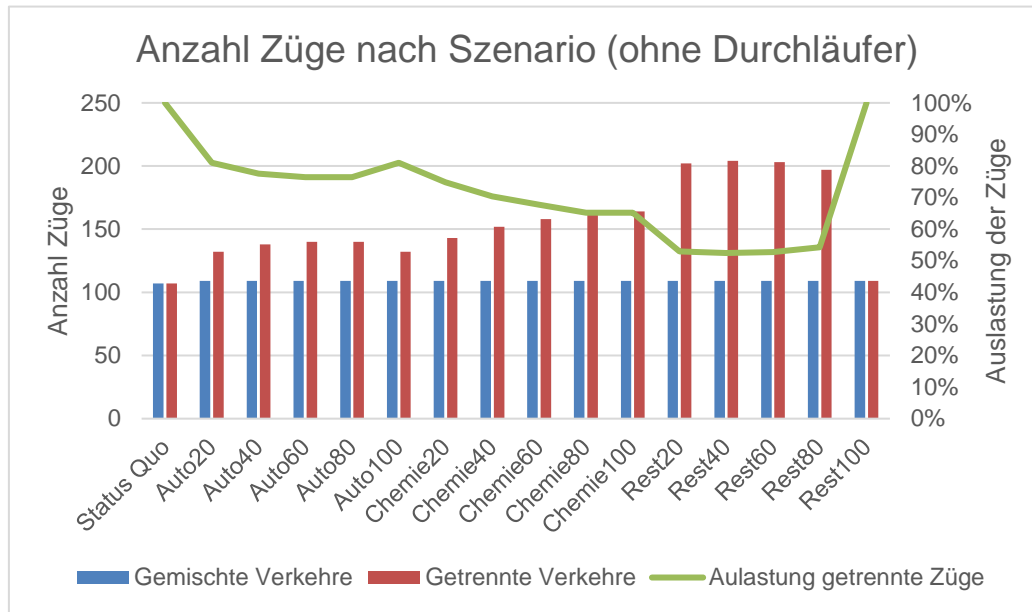


Quelle: TU Dresden

In den Simulationen der Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ muss das Zuggerüst aus dem Ursprungsdatensatz ZBA München 2019 für jedes Szenario mit DAK angepasst werden. Sofern ein erster Wagen eines Zuges als DAK-Wagen umgerüstet ist, so wird neben dem bereits bestehenden SK-Zug ein DAK-Zug in den Simulationsfahrplan eingefügt. In den Simulationen wird dieser in der gleichen zeitlichen Lage (Ankunft bzw. Abfahrt) angelegt. Der umgerüstete DAK-Wagen muss dann aus dem SK-Zug entfernt und dem DAK-Zug hinzugefügt werden. Danach erfolgt die Anpassung der Prozesszeiten entsprechend der oben aufgeführten Berechnungsvorschriften. Sofern sämtliche Wagen eines ursprünglichen SK-Zuges umgerüstet sind, wird der SK-Zug aus dem Fahrplan entfernt und lediglich der DAK-Zug bleibt bestehen. Veränderte Zug-Wagen-Zuordnungen werden in der Simulation aufgrund des Fokus auf eine ZBA und nicht auf das Netzwerk nicht betrachtet.

Die beschriebenen Anpassungen des Zuggerüsts sind für sämtliche Szenarien in Abbildung 17 dargestellt und mit der Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ verglichen. Aufgrund des Einsatzes von gemischten Zügen mit SK- und DAK-Wagen bleiben bei der Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ die Zugzahlen über den gesamten Zeitraum der Migration konstant. Bei der Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ hingegen steigen die Zugzahlen deutlich an, insbesondere bei den Szenarien „Rest20“ bis „Rest80“. Dies hat unmittelbare Auswirkungen auf die Auslastung der Züge im Vergleich zu den Zügen bei „Gemischten Verkehren“. Die Auslastung der Züge sinkt zum Teil erheblich.

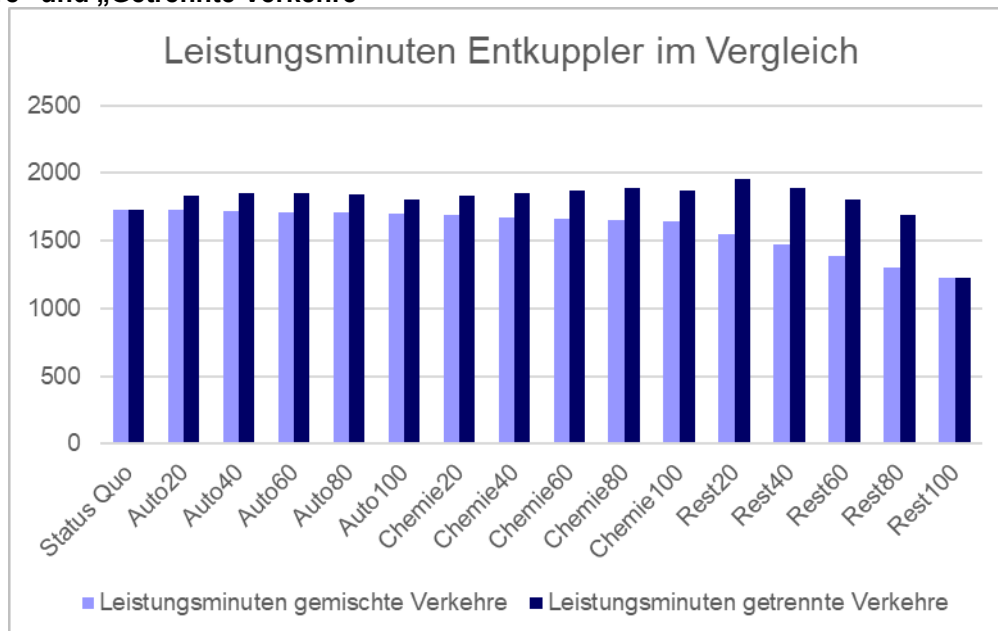
Abbildung 17: Anzahl der zu behandelnden Züge nach Szenario (ohne Durchläufer)



Quelle: TU Dresden

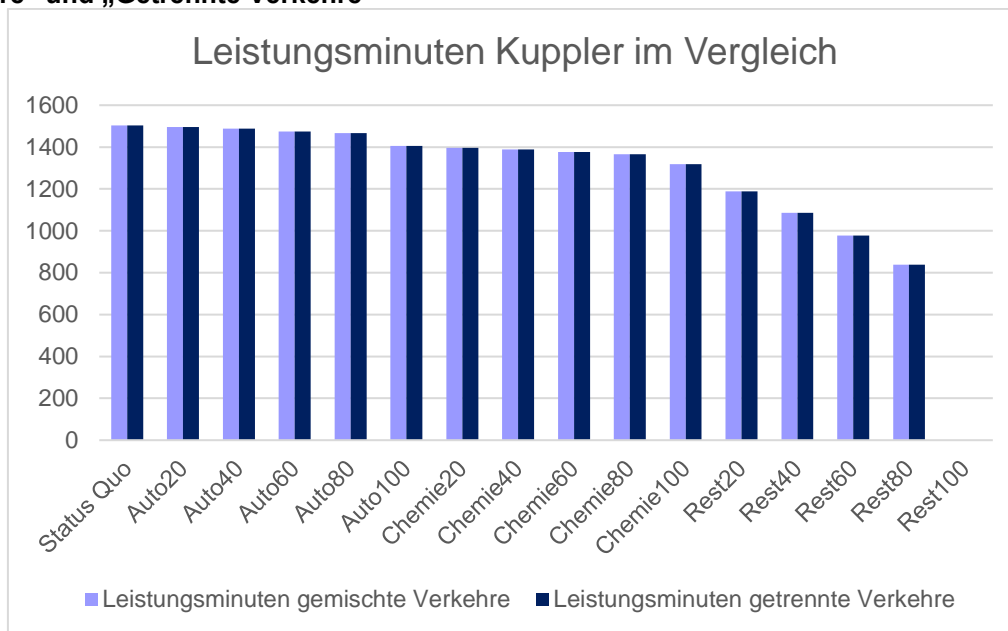
Der starke Anstieg der Zugzahlen bei der Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ lässt im Migrationszeitraum eine bedeutende zusätzliche Belastung der ZBA erwarten, da deutlich mehr Zugbildungen und -auflösungen durchzuführen sind. Dies zeigt sich auch in der Belastung von lokalen Personalen (vgl. Abbildung 18 und Abbildung 19).

Abbildung 18: Leistungsminuten Entkuppler im Vergleich der Betriebsstrategien „Gemischte Verkehre“ und „Getrennte Verkehre“



Quelle: TU Dresden

Abbildung 19: Leistungsminuten Kuppler im Vergleich der Betriebsstrategien „Gemischte Verkehre“ und „Getrennte Verkehre“



Quelle: TU Dresden

Bei der Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ nimmt die Höhe der Leistungsminuten der Rangierarbeiter zum Entkuppeln der Wagen während der Migration zu (im Gegensatz zur Betriebsstrategie „Gemischte Züge“). Erst bei vollständiger Umrüstung lassen sich dieselben Effekte wie bei der Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ in Form einer deutlichen Leistungsminutenreduktion feststellen. Dieses Ergebnis liegt darin begründet, dass bei der Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ zwar dieselbe Anzahl an Wagen entkuppelt werden muss wie in den Szenarien „Gemischte Verkehre“. Diese Anzahl an Wagen ist jedoch aufgrund des größeren Zuggerüsts auf mehr Züge aufgeteilt. Dadurch steigt die Anzahl an zu realisierenden Prozessen. Pro Prozess existiert ein bestimmter fixer Zeitwert, welcher für z. B. Fußwege zum und vom Zug anfällt. Diese Fixwerte müssen pro Prozess berücksichtigt werden, so dass bei der Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ insgesamt ein erhöhter Bedarf an Leistungsminuten anfällt. Die notwendigen Leistungsminuten zum Kuppeln der Wagen verhält sich wie bei der Strategie „Gemischte Verkehre“, das heißt, der Aufwand reduziert sich mit jedem umgerüsteten Wagen, aber der Großteil der Effekte fällt erst beim letzten umgerüsteten Wagen an.

4.5 Zusammenfassung „Getrennte Verkehre“

Insgesamt ergeben sich bei einer Umrüstung nach Branchen folgende Erkenntnisse zur

Umsetzbarkeit der untersuchten Migrationsszenarien „Getrennte Verkehre“

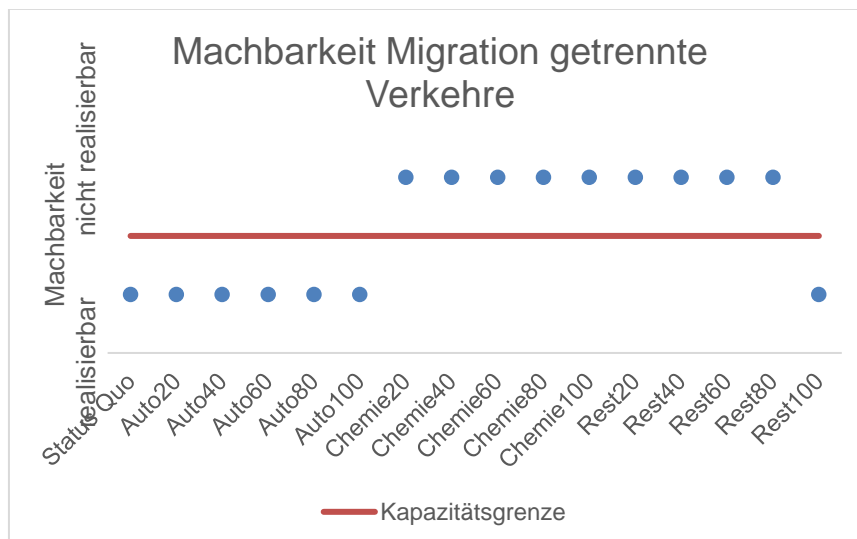
(am Beispiel der ZBA München-Nord, 2019):

1. Bei der Durchführung der Simulation hat sich gezeigt, dass lediglich die Szenarien zur Umrüstung der Automotive-Branche ohne Berücksichtigung von weiterem operativen Gleisbedarf lösbar waren. Hier wird jedoch bereits die Kapazitätsgrenze der ZBA erreicht.
2. Für die Szenarien zur Umrüstung der Wagen aus der Chemiebranche und der weiteren Wagen konnte keine betrieblich zulässige Lösung gefunden werden. Dies liegt insbesondere an der stark zunehmenden Zugzahl in diesen Szenarien, welche Ressourcen und Infrastruktur der ZBA überlasten.
3. Bei der Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ ist eine direkte Lokalisierung des Engpasses (wie beispielsweise die Richtungsgruppe bei der Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“) nur schwer möglich, da sämtliche Gleisgruppen verstärkt beansprucht werden.

Für eine erweiterte Bottleneck-Analyse zu den Engpässen in einer ZBA sind aufgrund des unter 3. genannten Zusammenhangs tiefergehende Untersuchungen notwendig. Erst eine weitergehende Untersuchung zu Mindestgleiszahlen kann zur Findung einer zulässigen Lösung mit minimalen Ressourcenbedarf beitragen. Diese zusätzlichen Untersuchungen sind nicht Teil dieser Studie zum Parallelbetrieb von SK und DAK.

Die Ergebnisse für die Machbarkeit der Migrationsszenarien „Getrennte Verkehre“ sind zusammenfassend in Abbildung 20 dargestellt. Für die simulierte ZBA wird die Grenze für ihre betriebliche Mehrbelastung deutlich.

Abbildung 20: Machbarkeit der Szenarien mit der Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“



Quelle: TU Dresden

Auf Basis der in den genannten Simulationen gewonnenen Ergebnisse lassen sich

drei Kernaussagen für die Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“

verallgemeinerbar ableiten:

1. „Getrennte Verkehre“ führen bei einer unkoordinierten Umrüstung ohne Anpassungen von Zuggerüsten zu einer starken Steigerung der Zugzahlen. Bei gleichbleibender Wagenanzahl ist eine geringere Auslastung der Züge die Folge.
2. Die Steigerung der Zugzahlen führt zu erheblichen Rangiermehraufwänden in der ZBA, welche sämtliche Ressourcen und Infrastrukturen der Anlage schnell überlasten.
3. Eine erfolgreiche Umsetzung der Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ bedarf einer Überlastungsvermeidung der Anlage. Dazu sind während des Migrationszeitraums eine Reihe von begleitenden Maßnahmen erforderlich, die darauf abzielen, die Anzahl der zusätzlichen Züge und den damit verbundenen Rangieraufwand zu minimieren. Auf mögliche Maßnahmen zur Reduktion des Rangieraufwands wird im folgenden Kapitel eingegangen.

5. Schlussfolgerungen für eine Migrationsstrategie

In den vorliegenden Simulationen wird der Fall einer branchenorientierten, jedoch unkoordinierten Umrüstung untersucht. Dies bedeutet, dass eine sukzessive Umrüstung einzelner Branchen über den Migrationszeitraum vorgenommen wird, um früh eine Clustering an DAK-Wagen zu erreichen. Innerhalb dieser Branchen erfolgt jedoch eine zufällige Auswahl (nicht gesteuert), welcher Wagen zu welchem Zeitpunkt umgerüstet wird.

Unter diesen Bedingungen zeigen die Simulationsexperimente zur Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“, dass gemischte Züge mit SK- und DAK-Wagen zu einem erhöhten Rangieraufwand führen. Dieser drückt sich insbesondere in erhöhten Richtungsgleisbedarfen und Leistungsminuten von Zugbildungslokomotiven aus. Bei der Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ steigt durch die verkehrliche Trennung von SK- und DAK-Wagen hingegen das Zuggerüst so stark an, dass Infrastruktur, Personale und Lokomotiven in den Anlagen insgesamt verstärkt belastet werden.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass bei einer unkoordinierten Migration ein steiler Anstieg des Rangieraufwands sowohl bei „Gemischten Verkehren“ als auch bei „Getrennten Verkehren“ zu verzeichnen ist. Bei der Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ ist unter diesen Bedingungen die Mehrzahl der Szenarien in der ZBA ohne eine Erweiterung der infrastrukturellen Basis nicht umsetzbar. Eine grundsätzliche Empfehlung stellt somit die Reduktion des Migrationszeitraums unter Beachtung der im Hauptbericht diskutierten Randbedingungen (Hagenlocher et al., 2020) auf ein Minimum dar (kurz: Notwendigkeit „Beschleunigte Migration“).

Der Rangiermehraufwand für einen Parallelbetrieb von SK und DAK im System Einzelwagenverkehr könnte durch eine extrem kurze Migrationsdauer auf ein Minimum beschränkt werden. Dies würde eine stark fokussierte Umrüstung sämtlicher Wagen in kürzester Zeit notwendig machen - mit den entsprechenden Produktionskapazitäten für eine Herstellung der erforderlichen Anzahl von DAK vor einer „Beschleunigten Migration“ und einer konzertierten Aktion bei den Herstellungskapazitäten im Güterverkehrs- wie auch im Personenverkehrsbereich für einen beschleunigten Einbau nahezu des kompletten Umfangs an DAK. Hierdurch könnte der erwartbare betriebliche Mehraufwand einer Migration deutlich reduziert werden. Eine beschleunigte Stärkung dieses Segments würde schneller greifbar werden.

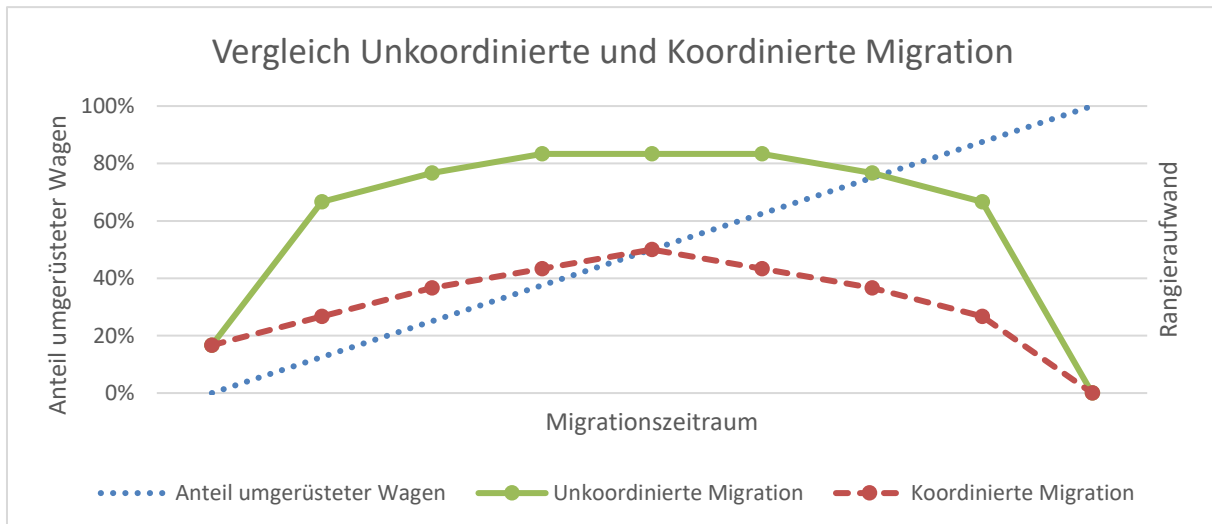
Eine über mehrere Jahre angelegte Migration und ein damit unumgänglich einhergehender Parallelbetrieb von SK- und DAK-Wagen ermöglicht hingegen eine Glättung des Herstellungsbedarfs an Kupplungen und Werkstattkapazitäten über die Migrationsdauer. In diesem Fall muss der Betrieb in den ZBA mit den dargestellten Mehraufwänden über einen längeren Zeitraum sichergestellt und eine Überlastung der Anlagen vermieden werden. Es wird deutlich, dass in einer Migration mit erhöhten Produktionskosten zu rechnen ist aufgrund des erhöhten Rangieraufwands zur Leistungserstellung (u. a. Einsatz von Kupplungswagen, erhöhter Ressourcenaufwand).

Sofern ein längerer Migrationszeitraum gewählt wird, sind Maßnahmen zu ergreifen, welche den Rangieraufwand begrenzen, um eine betriebliche Durchführbarkeit in den Anlagen zu erreichen. Dafür wird an dieser Stelle der Begriff „Koordinierte Migration“ eingeführt.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass ein hoher Rangieraufwand bereits bei niedrigen Umrüstungsständen erreicht wird und dieses Niveau erst wieder bei fast vollständiger Umrüstung verlassen wird. Eine Koordinierte Migration sollte somit diesen starken Anstieg

abschwächen und den Punkt des maximalen Rangieraufwands frühzeitig verlassen. Dieser Zusammenhang ist qualitativ in Abbildung 21 dargestellt. Die Simulationsergebnisse, die auf einer Unkoordinierten Migration innerhalb einer Branchenrüstung beruhen, entsprechen dabei der grünen durchgezogenen Kurve in dieser Abbildung.

Abbildung 21: Qualitativer Vergleich des Rangieraufwands einer Unkoordinierten mit einer Koordinierten Migration



Quelle: TU Dresden

Damit während eines langfristigen Migrationszeitraumes die Leistungsfähigkeit des Einzelwagenverkehrssystems weitgehend erhalten bleibt, ist eine abgeflachte Aufwandskurve anzustreben. Aufgrund der Simulationsuntersuchungen und den dazu durchgeführten Auswertungen schlagen die Verfasser für einen mehrjährigen Migrationsprozess und eine Abflachung der Aufwandskurve eine Steuerung der Migration auf verschiedenen Ebenen vor. Abbildung 22 zeigt hierfür drei Stufen für eine Steuerung der Migration bei einem koordinierten Ansatz

1. Steuerung des Migrationsprozesses,
2. Steuerung der Verkehre im Netzwerk,
3. Steuerung der Verkehre in den ZBA

und nennt wesentliche, zu steuernde Prozesse (Ebenenmodell).

Abbildung 22: Ebenenmodell für die Steuerung einer Migration



Quelle: TU Dresden

In diesem Ansatz umfasst die erste Ebene eine übergeordnete Steuerung des Migrationsprozesses. Hier sind die genauen Rahmenbedingungen der Migration zu klären und zu definieren. Dies umfasst die Festlegung der Dauer des Migrationsprozesses wie auch eine Reihenfolge zur Umrüstung von Wagen im Zeitverlauf. Von besonderer Wichtigkeit ist hier die Identifikation von geschlossenen Wagenverbänden, um die Umrüstung ganzer Züge zu fokussieren und Mischbetrieb zu reduzieren. Dabei kann neben dem in der Studie genutzten Branchenansatz auch ein relationsbasierter Ansatz unabhängig von der Güterwagenart gewählt werden, welcher Wagen, die auf gleichen Relationen verkehren, identifiziert (bezogene Umrüstung). Durch diese Maßnahmen ist in einer Migrationsphase erwartbar, dass bei einer Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ die Anzahl der gemischten Züge reduziert werden kann. Bei „Getrennten Verkehren“ könnte durch diese Maßnahme hingegen die Auslastung von einzelnen Zügen verbessert und somit ein Anstieg des Zuggerüsts begrenzt werden.

Die zweite Ebene umfasst die Steuerung der Verkehre im Netzwerk auf Basis der gegebenen Rahmenbedingungen zur Migration aus Ebene 1. Die Steuerung der Verkehre umfasst hier die kontinuierliche Adaption des gesamten Zuggerüsts im Netzwerk bei verändertem Wagenumrüstungsstand. Mit der Änderung des Zuggerüsts im Netzwerk geht die Anpassung der Wagenflüsse im Netzwerk einher. Grundsätzlich kann an dieser Stelle keine Empfehlung abgegeben werden, ob die Betriebsstrategie der „Gemischten Verkehre“, „Getrennten Verkehre“ oder eine Hybridvariante genutzt werden soll, da dies in Abhängigkeit des aktuellen Umrüstungsstandes stets neu zu bewerten ist. Es bestehen jedoch verschiedene Möglichkeiten, Wagen nach Kupplungsart räumlich und zeitlich zu entflechten. Es ist denkbar, dass ZBA unterschiedliche Anteile an SK und DAK Wagen zugeordnet bekommen (bis hin zu einer relationsgenauen Umrüstung). Somit können einige ZBA hauptsächlich DAK-Wagen behandeln, während sich andere Anlagen primär auf SK-Wagen fokussieren. Dies erfordert eine Anpassung des heutigen Richtzahlensystems, welches das Routing von Wagen durch das Netzwerk bestimmt. Dieses wäre um die Kupplungsart zu erweitern, um DAK- bzw. SK-Ströme gezielt über bestimmte Anlagen zu steuern (zum Beispiel: Wagen von München nach Gremberg werden mit SK über Nürnberg und mit DAK über Mannheim geführt). Eine Aufteilung

in ein DAK- und ein SK-System innerhalb des Einzelwagenverkehrs kann an dieser Stelle nur durchgeführt werden, wenn definierte Schnittstellen zwischen den Systemen bestehen, um die Kundenbedienung sicherzustellen. Dies bedarf separater Voruntersuchungen bei genauer Kenntniss der Mengenströme und einer Einbeziehung der Kunden des Einzelwagenverkehrsystems.

Eine weitere Möglichkeit stellt eine zeitliche Entflechtung der Verkehrsströme dar. Hierbei können bestimmte Intervalle des Betriebstages in ZBA für die Behandlung von Zügen einer bestimmten Kupplungsart vorgesehen werden. Werden so Eingangs- und Ausgangszüge auf der Netzwerkebene koordiniert, schafft man bereits früh eine hohe Auslastung reiner DAK-Züge und der Mischbetrieb kann reduziert werden. Diese Maßnahme reicht ggf. bis dahin, die Zerlegung von Zügen, die nicht zur gewünschten Kupplungsart passen, zeitlich zu verzögern (Kapazität in der Einfahrgruppe und/oder im Zulauf notwendig). Ein Best-Practice Beispiel hierzu lässt sich in Form der Drei-Wellen-Produktion von SBB Cargo finden.¹¹

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor bei der Netzwerkplanung ist eine genaue Berücksichtigung der Anlagenkapazitäten bei der Adaption der Zugerüste. Sofern die Anlagenkapazität überschritten wird, sind Änderungen auf der Netzwerkebene zwingend notwendig, um den Betrieb in den ZBA sicherzustellen. Hierbei sind insbesondere die Mehraufwände für die Bildung gemischter Züge (Betriebsstrategie „Gemischte Züge“), erhöhte Zugzahlen (Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“) und die zeitliche Lage der Zugfahrten zu beachten.

Die dritte Ebene stellt die Steuerung der Prozesse in den ZBA dar. Diese müssen aufgrund des geänderten Zugerüsts im Netzwerk ihre Rangierarbeitspläne ebenfalls kontinuierlich anpassen und Kapazitätsengpässe an die Netzwerkplanungsebene zurückmelden. Das genaue Zusammenspiel zwischen der Netzwerkplanung und den ZBA ist auf der planerischen und operativen Ebene bei den Infrastruktur- und Eisenbahnverkehrsunternehmen abzustimmen und herzustellen. Es ist evident, dass die identifizierten Rangiermehraufwände im Rahmen einer Migration einen erhöhten Ressourcenbedarf (Personale, Loks und Gleise) verursachen, welcher in Abhängigkeit des netzweiten Zugerüsts lokal unterschiedlich sein kann. Die benötigten Ressourcenbedarfe können mit Planungs- und Simulationstools, wie sie in dieser Untersuchung genutzt wurden, ermittelt werden. Somit kann eine gezielte Stärkung von besonders belasteten ZBA in der Migrationsphase erfolgen.

Die drei Ebenen des Modells sind folglich nicht isoliert zu betrachten, sondern hängen stark voneinander ab. Ein Austausch der Ergebnisse der Koordinierungen auf den unterschiedlichen Ebenen ist somit ein maßgebender Erfolgsfaktor für eine Migration.

Eine Umsetzung einer Koordinierten Migration bedarf einer zielorientierten, durchgängigen und bei der Umsetzung durch zusätzliche Informationsflüsse unterstützten Vorgehensweise. Auf Basis des vorgestellten Ebenenmodells für eine Migrationsphase wird zudem empfohlen, weiterführende Netzwerksimulationen zur Steuerung von Verkehren im Netzwerk und Szenarien hinsichtlich der Auswirkungen dieser Veränderungen des Zugerüsts auf ZBA zu untersuchen – auch (und dringend) unter Mitwirkung der Kunden des Einzelwagenverkehrs.

¹¹ SBB Cargo (2017).

6. Schlussbemerkungen

Im Einzelwagenverkehr wird die Einführung einer DAK als wesentlicher Enabler bei der Steigerung der Qualität der Verkehre, einer Reduzierung des betrieblichen Aufwandes und – mit Zukunftspotenzial – für eine Digitalisierung und Automatisierung der Betriebsprozesse bei allen europäischen Schienengüterverkehrs-unternehmen gesehen.¹² Pilotprojekte fokussieren bereits praktische Anwendungsfälle und eine technische Erprobung einer DAK im Betrieb.¹³

Bei Einführung einer DAK stellt sich die Frage, wie eine Migration im bestehenden Einzelwagenverkehrssystem in Europa erfolgen kann. Einen maßgeblichen Einfluss auf diese Entscheidung haben Faktoren wie die Geschwindigkeit der Verfügbarkeit einer DAK für Systembeteiligte sowie die Gestaltung eines Parallelbetriebs von SK und DAK in einem längeren Migrationszeitraum. Die Notwendigkeit eines Parallelbetriebs entsteht dadurch, dass nach aktuellem Stand der Technik ohne spezielle Adaptertechnologien keine direkte Kompatibilität zwischen SK und DAK besteht.

Die vorliegende Studie untersuchte deshalb für die Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems die Auswirkungen eines mehrjährigen Parallelbetriebs von SK und DAK auf eine ZBA bei Nutzung verschiedener Betriebsstrategien.

Die Untersuchungen erfolgten mit der Methode der Simulation. Hierfür kam eine Experimentalvariante des Tools „APP ZBA“ zum Einsatz. Im Ergebnis einer Forschungskoooperation mit der Deutschen Bahn ist eine Weiterentwicklung dieser Variante in Zugbildungsanlagen bei der DB Cargo AG im produktiven Einsatz. Als Simulationsmodellanlage für diese Studie wird in Abstimmung mit den Teilnehmern des Auftaktworkshops des Projekts die ZBA München-Nord in ihrer Konfiguration und mit den Regelprozessen aus dem Jahr 2019 verwendet.¹⁴ Die Simulationen wurden auf Basis von realen Betriebsdaten (Zugfahrten und Wagenaufkommen) aus dem Monat März des Jahres 2019 durchgeführt.

Die Simulation nutzt Szenarien, welche unterschiedliche Zeitpunkte während einer Migration einer DAK auf Basis der betrieblichen Abläufe in einer ZBA abbilden. Die Auswahl, welche Wagen innerhalb einer Branche zu welchem Zeitpunkt umgerüstet werden, erfolgt zufällig und ist somit nicht gesteuert.

Unter diesen Bedingungen zeigt sich für die Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“, dass eine Umrüstung von SK zu DAK über einen mehrjährigen Migrationszeitraum zu einer schnellen Überlastung der ZBA führt. Durch die Vielzahl gemischter Züge entsteht ein erheblicher Rangiermehraufwand, welcher bei einer zu hohen Anzahl gemischter Züge die Kapazitäten einer Anlage übersteigt.

Die Simulationsexperimente mit einer Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ zeigen deutlich, dass lediglich die Szenarien zur Umrüstung einer Branche (hier der Automotive-Branche und nur ohne Berücksichtigung zusätzlicher operativer Sonderprozesse und interner Verkehre) lösbar sind. Allerdings wird bereits in diesem Szenario die Kapazitätsgrenze der ZBA erreicht. In den Szenarien zur darauf folgenden Umrüstung der Chemiebranche sowie von Wagen weiterer Branchen konnte keine zulässige Lösung gefunden werden. Dies liegt insbesondere an der stark zunehmenden Zugzahl in diesen Szenarien (getrennte Züge SK und DAK), welche Ressourcen und Infrastruktur der ZBA überlasten.

¹² Vgl. König & Hecht (2012); Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr (2019).

¹³ Vgl. DB Cargo AG; VTG AG (2020); SBB Cargo AG (2019).

¹⁴ Auftaktworkshop, Frankfurt am Main, 17.07.2019

Auf Basis sowohl der Simulationsuntersuchungen als auch der Auswertung ihrer Ergebnisse kann festgestellt werden, dass sowohl die Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“ als auch die Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“ Optimierungsansätze bieten.

Wesentliches Element dieser Optimierungsstrategien ist in beiden Fällen, den Rangiermehraufwand mit geeigneten Maßnahmen zu begrenzen, um die Leistungsfähigkeit des Einzelwagenverkehrssystems weitgehend zu erhalten. Hierfür wird von den Verfassern die Nutzung eines Drei-Ebenenmodells empfohlen, in welchem eine Migration auf verschiedenen Ebenen gesteuert werden kann (Steuerung des Migrationsprozesses, Steuerung der Verkehre im Netzwerk, Steuerung der Prozesse in den ZBA).

Insgesamt zeigt die vorliegende Studie, dass während eines Parallelbetriebes von Wagen mit SK und Wagen mit DAK in den ZBA ein erheblicher Rangiermehraufwand bei einer unkoordinierten Umrüstung von Wagen zu erwarten ist. Die Anlagen erreichen ohne zusätzliche Ressourcenbereitstellung (Infrastruktur, Personal, Lokomotiven) oder ohne eine funktionierende Steuerung der Migration und der täglichen Betriebsabläufe (im Netz, bei den Kunden des Einzelwagenverkehrs und in den Anlagen selbst) schnell ihre Kapazitätsgrenzen.

Die Ergebnisse der Studie stützen die Aussagen, dass eine Migrationsphase möglichst kurz zu gestalten ist.

Für eine Planung verschiedener Migrationsansätze werden weitere Untersuchungen zu möglichen Anpassungen im Einzelwagenverkehrsnetz und zu Machbarkeit und Effekten einer übergreifenden Steuerung für Netzwerk und ZBA benötigt. Dazu sollten auch die Kunden des Einzelwagenverkehrs einbezogen werden.

Eine intelligente Steuerung des Migrationsprozesses im Netzwerk und in den ZBA stellt einen wesentlichen Erfolgsfaktor dar, um die Leistungsfähigkeit des Einzelwagenverkehrs während einer Migrationsphase zu erhalten auf dem Weg von der SK hin zur benötigten DAK.

Quellenverzeichnis

Auftaktworkshop zum Teilprojekt 2.4 Simulation Parallelbetrieb von Schraubenkupplung und Digitaler Automatischer Kupplung (DAK) in Zugbildungsanlagen, Frankfurt am Main, 17.07.2019.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI (2020). Erstellung eines Konzeptes für die EU-weite Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr.

DB Cargo AG; VTG AG (2020). Automatische Mittelpufferkupplung. Abrufbar unter <https://www.innovativer-gueterwagen.de/automatische-mittelpufferkupplung/>.

Eisold, J., Freitag, O., König, R. (2017). Algorithmen für die Digitalisierung des Schienengüterverkehrs – Ein Vorteil auch für Mitteleuropa. In: Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), Oktober 2017, Nr.10, S. 14-17.

Hagenlocher, S., Wittenbrink, P., Leuchtmann, C., Galonske, B., Kehrmann, T., Hecht, M., Leiste, M., Discher, S., König, R., Pollehn, T., Ruf, M., Witte, S., Gehrke, S., Hess, R., Röckemann, K., Steinmetz, A. (2020). Erstellung eines Konzeptes für die EU-weite Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr, Schlussbericht.

Hecht, M., Leiste, M., Discher, S. (2020). Fachbericht Technik DAK, in: Erstellung eines Konzeptes für die EU-weite Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr, Fachbericht für für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI.

König, R., Hecht, M. (2012). Weissbuch Innovativer Eisenbahngüterwagen 2030. Die Zukunftsinitiative „5L“ als Grundlage für Wachstum im Schienengüterverkehr. Dresden, September 2012. Abrufbar unter http://www.innovative-freight-wagon.de/wp-content/uploads/TIS_Weissbuch.pdf.

König, R., Martin, U., Pollehn, T., Ruf, M., Hantsch, F., Molo, C. (2018): Weiterentwicklung von simulationsgestützten Leistungsuntersuchungen in Zugbildungsanlagen. Eisenbahntechnische Rundschau, Nr. 1+2, S. 41-46.

SBB Cargo (2019). Positive Zwischenbilanz für den 5L-Zug nach 30 000 Kilometer. Abrufbar unter <https://blog.sbbcargo.com/34787/positive-zwischenbilanz-fuer-den-5l-zug-nach-30-000-kilometer/>.

SBB Cargo (2017). «Der Aufwand hat sich gelohnt» – ein Jahr WLV 2017. Abrufbar unter <https://blog.sbbcargo.com/31732/wlv-2017/>.

Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr (2019). Weissbuch Intelligenter Güterzug (IG²). Vom Innovativen Güterwagen zum Intelligenten Güterzug. Die Roadmap des TIS zum wettbewerbsfähigen Schienengüterverkehr. Abrufbar unter https://tis.ag/download/tis_weissbuch_intelligenter_gueterzug/?wpdmdl=652&refresh=5ea6ac0d0faac1587981325.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Auswirkungen von Betriebsstrategien auf den Rangieraufwand in ZBA	8
Abbildung 2: Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“	16
Abbildung 3: Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“	17
Abbildung 4: Prozesskette zur Zugauflösung im Status Quo mit SK	18
Abbildung 5: Prozesskette zur Zugbildung im Status Quo mit SK	18
Abbildung 6: Überblick Zugbildung und -zerlegung	19
Abbildung 7: Prozesskette zur Zugauflösung für „Gemischte Verkehre“ mit SK und DAK	20
Abbildung 8: Prozesskette zur Zugbildung für „Gemischte Verkehre“ mit SK und DAK	20
Abbildung 9: Branchenorientierte Umrüstungsreihenfolge	22
Abbildung 10: Anzahl umgerüsteter Wagen in der ZBA	24
Abbildung 11: Umrüstungsstand Züge nach Szenario bei „Gemischten Verkehren“	26
Abbildung 12: Leistungsminuten Rangierloks bei „Gemischten Verkehren“	26
Abbildung 13: Leistungsminuten Personale bei „Gemischten Verkehren“	27
Abbildung 14: Prozessdauern für Standardzug mit 30 Wagen nach Umrüstungsstand	28
Abbildung 15: Minimaler Richtungsgleisbedarf mit Betriebsstrategie „Gemischte Verkehre“	29
Abbildung 16: Dauer ausgewählter Zugzerlegungs- und -bildungsprozesse	33
Abbildung 17: Anzahl der zu behandelnden Züge nach Szenario	34
Abbildung 18: Leistungsminuten Entkuppler im Vergleich der Betriebsstrategien „Gemischte Verkehre“ und „Getrennte Verkehre“	34
Abbildung 19: Leistungsminuten Kuppler im Vergleich der Betriebsstrategien „Gemischte Verkehre“ und „Getrennte Verkehre“	35
Abbildung 20: Machbarkeit der Szenarien mit der Betriebsstrategie „Getrennte Verkehre“	36
Abbildung 21: Qualitativer Vergleich des Rangieraufwands einer Unkoordinierten mit einer Koordinierten Migration	39
Abbildung 22: Ebenenmodell für die Steuerung einer Migration	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kombinationsmöglichkeiten von Eingangs- und Ausgangszügen in ZBA mit SK und DAK.....	15
Tabelle 2 Angenommene Prozessdauern für Status Quo (reine SK-Wagen).....	19
Tabelle 3 Prozessdauern bei gemischten Zügen.....	21
Tabelle 4 Prozessdauern von gänzlich auf DAK umgerüstete Züge.....	21
Tabelle 5: Szenarien für Simulationen des Parallelbetriebs von SK und DAK.....	23

Abkürzungsverzeichnis

APP ZBA	Automatisierte Prozessplanung in Zugbildungsanlagen
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
DAK	Digitale Automatische Kupplung
SK	Schraubenkupplung
SGV	Schienengüterverkehr
ZBA	Zugbildungsanlage

Anlage 1: Projektteam

Technische Universität Dresden

<https://tu-dresden.de/bu/verkehr>

Projektleitung: Herr Prof. Dr.-Ing. Rainer König

Projektmitarbeit: Herr Tobias Pollehn, M.Sc., Herr Moritz Ruf, M.Sc.

Die Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List" ist das größte akademische Kompetenzzentrum auf dem Gebiet der Verkehrswissenschaften in Deutschland mit einer über 60-jährigen Tradition in Forschung und Lehre in Dresden. Der systemorientierte Ansatz orientiert sich auf die Komplexität der Transport- und Nachrichtennetze und -prozesse und trägt so den dynamischen Herausforderungen der Transportmärkte Rechnung. Mit seinem interdisziplinären Lehr- und Forschungsnetzwerk aus Verkehrswirtschaft, Verkehrstechnik, Verkehrsinfrastruktur und Verkehrstechnik leistet es einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung aller Verkehrs- und Infrastruktursysteme, um den ständig wachsenden Mobilitätsbedürfnissen der Gesellschaft gerecht zu werden. Die Fakultät besteht aus 7 Instituten mit mehr als 20 Professoren und mehr als 250 Mitarbeitern. Insgesamt studieren rund 2.000 Studierende in den Diplom-, Bachelor- und Masterstudiengängen der Fakultät und in fakultätsübergreifenden Studiengängen.