

**Automatisierung des Schienengüterverkehrs in der Schweiz –
Teilprojekt 5 „Finanzierung“**

**Vorläufige Kosten-Nutzen-Analyse der
digitalen, automatischen Kupplung.**

**Dokumentation Kalkulationsmodell für die
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

für das
Bundesamt für Verkehr BAV
Sektion Güterverkehr
z. Hd. Herrn Wolf-Dieter Deuschle
Mühlestrasse 6
CH-3063 Ittigen
Schweiz



hwh Gesellschaft für Transport-
und Unternehmensberatung mbH
Sophienstrasse 152
D-76135 Karlsruhe
Deutschland

www.hwh-transport.de

Karlsruhe, den 19. November 2022

Inhalt

1. Zusammenfassung	5
2. Einführung	7
3. Grundannahmen im Kalkulationsmodell	8
4. Mengengerüst – Annahmen zu Anzahl umzurüstender Schienenfahrzeuge	10
5. Annahmen zu Umrüstkosten von Schienenfahrzeugen	11
6. Annahmen zu Nutzen der Automatisierung des SGV in der Schweiz	12
7. Zwischenergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	14

Abbildungen

Abbildung 1: Entwicklung auf DAK umgerüstete Güterwagen im Migrationsverlauf	10
Abbildung 2: Amortisationsdauer je Technologie-Szenario	14
Abbildung 3: Abdiskontierte kumulierte Zahlungsflüsse je Jahr und Technologie-Szenario ..	15
Abbildung 4: Abdiskontierte Zahlungsflüsse (nach Umrüstkosten und Nutzen)	15
Abbildung 5: Zahlungsflüsse je Jahr und Technologie-Szenario ohne Abdiskontierung	16

Tabellen

Tabelle 1: Übersicht Technologie-Szenarien	8
Tabelle 2: Hochlaufkurve Umrüstung Fahrzeugflotte und Bereitstellung Hilfsmittel	9
Tabelle 3: Kostenannahmen für Schienenfahrzeuge und Eisenbahnpersonal	9
Tabelle 4: Annahmen zu Umrüstkosten der Schienenfahrzeuge	11
Tabelle 5: Umrüstkosten Schienenfahrzeuge je Technologie-Szenario	11
Tabelle 6: Template für die Erfassung des Zeitbedarfs je Zug – hier am Beispiel Ganzzug ..	13
Tabelle 7: Umrechnungsfaktoren Prozesskosteneinsparung vs. reale Einsparpotenziale	13

Abkürzungsverzeichnis

BAV	Bundesamt für Verkehr
CBM	Condition based maintenance
CH	Confoederatio Helvetica – Schweizerische Eidgenossenschaft
CHF	Schweizer Franken
DAK	Digitale Automatische Kupplung
DCF	Discounted Cash-Flow
EDDP	European DAC Delivery Program
ep-Bremse	Elektropneumatische Bremse
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
EWLK	Einzelwagenladungsverkehr
Schienengüterverkehr	SGV
Tfz	Triebfahrzeug
TS	Technologie-Szenario

1. Zusammenfassung

Gemäß der Motion Dittli 20.3221 soll durch das Bundesamt für Verkehr (BAV) ein Migrationskonzept für die Automatisierung des Schienengüterverkehrs (SGV) in der Schweiz erstellt werden. Migrationselemente für die Automatisierung des SGV sind die Digitale Automatische Kupplung (DAK), die automatische Bremsprobe, die (Teil-)Automatisierung der Nahbereichszustellung sowie die zustandsbasierte Instandhaltung. Das BAV hat hierzu im Herbst 2021 ein Projekt mit sechs Teilprojekten¹ initiiert. Das BAV hat die hwh Gesellschaft für Transport- und Unternehmensberatung mbH (hwh) beauftragt im Rahmen des Teilprojekts 5 „Finanzierung“ bei der Erstellung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf Basis der Discounted Cash Flow Methode² unterstützen. Im Moment sind noch nicht alle Zahlen erfasst, so dass es Abweichungen zu den Angaben in der Vernehmlassungsvorlage gibt. Die Bereinigung folgt in der Vertiefungsphase im 2023.

Im einem Kalkulationsmodell wurden sämtliche Erträge und Kosten für die Automatisierung des SGV in der Schweiz über einen Zeitraum von 25 Jahren erfasst mit einem Start der Migration im Jahr 2025 und einem Ende der Migration im Jahr 2030. Die Zahlungsflüsse wurden mit einem Zinssatz von 5% abdiskontiert sowie mit einer jährlichen Inflationsrate von 2% festgelegt.³ Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt auf Basis dreier Technologie-Szenarien:

- Technologie-Szenario 1 (TS1): DAK-Typ 2 (nur mechanisch/pneumatisch), automatische Bremsprobe, digitale technische Wageninspektion
- Technologie-Szenario 2 (TS2): wie TS1, aber mit DAK-Typ 4 inkl. elektrischem Energie- und Kommunikationssystem
- Technologie-Szenario 3 (TS3): wie TS2, aber mit DAK-Typ 5 inkl. ferngesteuertem Entkuppeln, elektro-pneumatischer Bremse, Automatisierung der Nahbereichszustellung, Zugintegritätsprüfung und Condition Based Maintenance.

Insgesamt wird von einem für den Schweizer SGV relevanten Bestand von 17,600 Güterwagen ausgegangen. Hiervon können 10,600 Güterwagen vergleichsweise einfach mit einer DAK ausgerüstet werden, 4,000 Güterwagen erfordern aus technischen Gründen einen höheren Umrüstaufwand. 3,000 Güterwagen können aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht umgerüstet werden. Jährlich sollen 500 Neubau-Güterwagen mit DAK und je nach Technologie-Szenario weiteren innovativen Komponenten ausgerüstet werden. Es wird zudem von 520 Triebfahrzeugen ausgegangen, wovon 206 Triebfahrzeuge vergleichsweise einfach, 225 Triebfahrzeuge nur unter erhöhtem Aufwand und 89 Triebfahrzeuge nicht umgerüstet werden können. Jährlich sollen 22 Neubau-Triebfahrzeuge mit innovativen Komponenten ausgeliefert werden.

Da die meisten der hier betrachteten innovativen Komponenten bisher nur als Prototypen verfügbar sind, liegen seitens der Bahnindustrie keine belastbaren Angaben zu Marktpreisen vor. Im Rahmen des European DAC Delivery Program (EDDP) wurden Einschätzungen zu möglichen Beschaffungs- und Umrüstkosten für die verschiedenen innovativen Komponenten getroffen. Diese Angaben wurden weitgehend übernommen und in die drei hier betrachteten Technologie-Szenarien übersetzt. Dabei wurde auch danach differenziert, inwiefern das

¹ TP1 Bestandsaufnahme | TP2 Abstimmung mit Europa | TP3 Zielkonzept | TP4 Migration | TP5 Finanzierung | TP6 Botschaft

² Discounted Cash-Flow (DCF) oder Abgezinsten Zahlungsstrom beschreibt ein investitionstheoretisches Verfahren zur Wertermittlung, insbesondere im Rahmen von Investitionsprojekten. Es baut auf dem finanzmathematischen Konzept der Abzinsung (englisch *discounting*) von Zahlungsströmen (englisch *cash flow*) zur Ermittlung des Kapitalwerts auf.

³ Festlegung des Diskontierungszinssatzes sowie der Inflationsrate seitens BAV – im Kalkulationsmodell aber variabel einstellbar.

Fahrzeug vergleichsweise einfach oder nur mit höherem Aufwand umrüstbar ist. Die Kosten für die Beschaffung der innovativen Komponenten und Umrüstung der Fahrzeuge reichen von CHF 21,000 für einen einfach umzurüstenden Güterwagen im Technologie-Szenario 1 bis hin zu CHF 44,000 für einen schwer umzurüstenden Güterwagen in Technologie-Szenario 3. Bei den Triebfahrzeugen reichen die angenommenen Kosten von CHF 60,000 (einfach umrüstbares Triebfahrzeug TS1) bis hin zu CHF 250,000 (schwer umrüstbares Triebfahrzeug TS3). Während der Migrationsphase wurde von Zusatzkosten i.H. von CHF 30 Mio. für einen Parallelbetrieb von Schienenfahrzeugen mit DAK und Schraubenkupplung ausgegangen. Für Infrastrukturanpassungen wurde mit Gesamtkosten in Höhe von CHF 125 Mio. gerechnet.

Ohne Verzinsung der Zahlungsflüsse, aber unter Berücksichtigung der jährlichen Inflationsrate, ist über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren mit Kosten für die Umrüstung des Rollmaterials in Höhe von CHF 429 Mio. (Technologie-Szenario 1) bis zu CHF 707 Mio. (Technologie-Szenario 3) auszugehen. In Summe mit den o.g. Kosten für Infrastrukturanpassungen sowie dem betrieblichen Mehraufwand aufgrund des Parallelbetriebs von Schienenfahrzeugen mit Schraubenkupplung und DAK wurden Gesamtkosten in Höhe von ca. CHF 584 Mio. (TS1) bis CHF 862 Mio. (TS3) ermittelt.

In Zusammenarbeit mit sechs am Projekt beteiligten EVU wurde ermittelt, welche Zeiteinsparungen in den jeweiligen Prozessschritten je Technologie-Szenario und je Produktionsform Ganzzug, Einzelwagenladungsverkehr sowie Kombierter Verkehr im Vergleich zum Status quo erwartet werden. Diese Prozesszeiten-Einsparungen je Zug wurden mittels auch im EDDP verwendeter Umrechnungsfaktoren in reale Zeiteinsparungen umgerechnet und mit der Anzahl der jährlichen Züge der teilnehmenden EVU multipliziert. Für Technologie-Szenario 1 wird von einer Produktivitätssteigerung im Vergleich zum Status quo von 18% ausgegangen; in Technologie-Szenario 3 beträgt die Produktivitätssteigerung 34%. Über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren (ohne Abdiskontierung, aber mit jährlicher Inflationsrate) wird von einem gesamten Nutzen von CHF 1.0 Mrd. (TS1) bis zu CHF 2.2 Mrd. (TS3) ausgegangen.

Unter Berücksichtigung einer jährlichen Abzinsung sämtlicher Zahlungsflüsse (Kosten und Nutzen) in Höhe von 5% und einer jährlichen Inflationsrate von 2% kommt die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren zu folgendem Zwischenergebnis:

- Technologie-Szenario 1: Positiver Barwert in Höhe von CHF 86 Mio. und einer Amortisationsdauer von 20 Jahren
- Technologie-Szenario 2: Positiver Barwert in Höhe von CHF 549 Mio. und einer Amortisationsdauer von 11 Jahren
- Technologie-Szenario 3: Positiver Barwert in Höhe von CHF 518 Mio. und einer Amortisationsdauer von 12 Jahren.

2. Einführung

Gemäß der Motion Dittli 20.3221 soll durch das Bundesamt für Verkehr (BAV) ein Migrationskonzept für die Automatisierung des Schienengüterverkehrs (SGV) in der Schweiz erstellt werden. Migrationselemente für die Automatisierung des SGV sind die Digitale Automatische Kupplung (DAK), die automatische Bremsprobe, die (Teil-)Automatisierung der Nahbereichszustellung sowie die zustandsbasierte Instandhaltung. Das BAV hat hierzu im Herbst 2021 ein Projekt mit sechs Teilprojekten⁴ initiiert. Das BAV hat die hwh Gesellschaft für Transport- und Unternehmensberatung mbH (hwh) beauftragt im Rahmen des Teilprojekts 5 „Finanzierung“ bei der Erstellung eines Gesamtkostenplans sowie der Erstellung eines Business Cases zu unterstützen. In der vorliegenden Dokumentation wird der Zwischenstand bei der Erstellung eines Business Cases (Wirtschaftlichkeitsbetrachtung) mit Stand November 2022 vorgestellt.

Im Rahmen des TP5 wurde der Business Case für die Automatisierung des SGV in der Schweiz entwickelt. Hierzu wurde ein Kalkulationsmodell auf Basis der Discounted Cash-Flow Methode⁵ erstellt und zunächst grundlegende Annahmen, wie z.B. Zinssatz und Inflationsrate über die gesamte Laufzeit des Kalkulationsmodells sowie Annahmen zu Kostensätzen im SGV festgelegt (vgl. Kapitel 3). In einem zweiten Schritt wurde in Zusammenarbeit mit TP1 des Projekts Automatisierung des Schienengüterverkehrs in der Schweiz die Anzahl der umzurüstenden Fahrzeuge - das Mengengerüst für die Migration der DAK – ermittelt (vgl. Kapitel 4). In Anlehnung an Vorarbeiten des European DAC Delivery Programs (EDDP) sowie in Abstimmung mit im Projekt beteiligten Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) wurden anschließend die Kosten für die Beschaffung von innovativen Komponenten, wie z.B. der Digitalen Automatischen Kupplung (DAK) oder einer automatischen Bremsprobe, sowie die Kosten für den Einbau der Komponenten in die Schienenfahrzeuge abgeschätzt (vgl. Kapitel 5). Schließlich wurden mit den am Projekt beteiligten EVU eingeschätzt, welcher Nutzen bei der Automatisierung des SGV zu realisieren ist (vgl. Kapitel 6). Sämtliche ermittelten Inputparameter wurden in das Kalkulationsmodell eingetragen und sämtliche Kapitalflüsse diskontiert, um den Barwert der Investition inkl. der Amortisationsdauer über die gesamte Laufzeit zu ermitteln (vgl. Kapitel 7).

⁴ TP1 Bestandsaufnahme | TP2 Abstimmung mit Europa | TP3 Zielkonzept | TP4 Migration | TP5 Finanzierung | TP6 Botschaft

⁵ Discounted Cash-Flow (DCF) oder Abgezinster Zahlungsstrom beschreibt ein investitionstheoretisches Verfahren zur Wertermittlung, insbesondere im Rahmen von Investitionsprojekten. Es baut auf dem finanzmathematischen Konzept der Abzinsung (englisch *discounting*) von Zahlungsströmen (englisch *cash flow*) zur Ermittlung des Kapitalwerts auf.

3. Grundannahmen im Kalkulationsmodell

Im Kalkulationsmodell werden sämtliche Erträge und Kosten für die Automatisierung des SGV in der Schweiz über einen Zeitraum von 25 Jahren erfasst mit einem Start der Migration im Jahr 2025 und einem Ende der Migration im Jahr 2030. In Abstimmung mit dem Auftraggeber BAV wurden die Zahlungsflüsse mit einem Zinssatz von 5% abdiskontiert sowie mit einer jährlichen Inflationsrate von 2% belegt.⁶ Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt auf Basis dreier abgestimmter Technologie-Szenarien (vgl. auch Tabelle 1):

- Technologie-Szenario 1 (TS1): DAK-Typ 2 (nur mechanisch/pneumatisch), automatische Bremsprobe, digitale technische Wageninspektion;
- Technologie-Szenario 2 (TS2): wie TS1, aber mit DAK-Typ 4 inkl. elektrischem Energie- und Kommunikationssystem;
- Technologie-Szenario 3 (TS3): wie TS2, aber mit DAK-Typ 5 inkl. ferngesteuertem Entkuppeln, elektro-pneumatischer Bremse, Automatisierung der Nahbereichszustellung, Zugintegritätsprüfung und Condition Based Maintenance.

Tabelle 1: Übersicht Technologie-Szenarien

Annahmen Technologie-Szenarien			
Technische Funktionalität	Technologie Szenario 1	Technologie Szenario 2	Technologie Szenario 3
Automatisierungsgrad (D)AK2	ja	-	-
Automatisierungsgrad DAK4	-	ja	-
Automatisierungsgrad DAK5	-	-	ja
Automatische Bremsprobe	ja	ja	ja
Technische Wageninspektion	ja	ja	ja
Elektrisches Energiesystem	-	ja	ja
Kommunikationssystem	-	ja	ja
ep-Bremssystem	-	-	ja
Automation last Mile - Bildübertragung von der Lok	-	-	ja
Zugintegritätsprüfung	-	-	ja
Sensorik Condition Based Maintenance	-	-	ja

Quelle: Eigene Annahmen in Abstimmung mit dem BAV sowie den Projektteilnehmern

Weiterhin mussten Annahmen dazu getroffen werden, zu welchem Zeitpunkt Schienenfahrzeuge mit DAK und ggf. weiteren Automatisierungskomponenten umgerüstet werden sollen. Somit wurde festgelegt zu welchem Zeitpunkt Beschaffungs- und Umrüstkosten, aber auch Nutzeneffekte eintreten. Für Triebfahrzeuge wurde davon ausgegangen, dass bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt der Migration ein hoher Anteil der Triebfahrzeugflotte umgerüstet sein sollte. Somit wurde angenommen, dass im ersten Jahr der Migration bereits 30% der Triebfahrzeuge mit einer Hybridkupplung ausgerüstet werden, im zweiten Jahr 50%, im dritten Jahr 75% sowie ab dem vierten Jahr der Migration 100% der Triebfahrzeugflotte. Für Güterwagen wurde hingegen eine gleichmäßig verteilte zeitliche Umrüstung der Flotte angenommen, d.h. in jedem Jahr des sechs-jährigen Migrationszeitraums werden ca. 17% der Güterwagenflotte mit DAK und weiteren Automatisierungskomponenten umgerüstet.

Weiterhin wurde angenommen, dass zur erfolgreichen Migration der DAK auch Kupplungsadapter beschafft sowie sog. Kuppelwagen mit Hybridkupplungen umgerüstet werden sollten. Mittels Kupplungsadaptern und/oder Kuppelwagen soll das Fahren/Rangieren von gemischten Zügen/Rangiergruppen während der Migration ermöglicht werden. Da diese Hilfsmittel frühzeitig zur Verfügung stehen sollten, wurde angenommen, dass 50% der

⁶ Festlegung des Diskontierungszinssatzes sowie der Inflationsrate seitens BAV – im Kalkulationsmodell aber variabel einstellbar.

erforderlichen Kupplungsadapter und Kuppelwagen im ersten Migrationsjahr vorhanden sind. Bereits im zweiten Jahr sollen 100% der benötigten Hilfsmittel zur Verfügung stehen.

Tabelle 2 zeigt die Übersicht der angenommenen Hochlaufkurve für die umzurüstenden Schienenfahrzeuge sowie die Bereitstellung von Kupplungsadaptern und Kuppelwagen auf.

Tabelle 2: Hochlaufkurve Umrüstung Fahrzeugflotte und Bereitstellung Hilfsmittel

Migrationszeitraum: 6 Jahre						
Jahr	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Anteil umgerüsteter DAK-Wagen	17%	33%	50%	67%	83%	100%
Anteil umgerüsteter DAK-Triebfahrzeuge	30%	50%	75%	100%	100%	100%
Anteil Kupplungsadapter	50%	100%	100%	100%	100%	100%
Anteil Kupplungswagen mit 2x Hybridkupplung	50%	100%	100%	100%	100%	100%
Anteil Kupplungswagen mit 1x Hybridkupplung	50%	100%	100%	100%	100%	100%
Anteil Prellböcke umgerüstet	50%	100%	100%	100%	100%	100%

Quelle: Eigene Annahmen in Abstimmung mit dem BAV

Schließlich wurde unter den allgemeinen Annahmen auch ermittelt, welche durchschnittlichen Kostensätze für Schienenfahrzeuge und Eisenbahnpersonal in der Schweiz üblich sind. Zu diesem Zwecke wurden die am Projekt beteiligten EVU gebeten, Ihre Kostenparameter für Schienenfahrzeuge und Eisenbahnpersonal anonymisiert zu benennen. Aus den Antworten der EVU wurde für jeden Kostenparameter ein Durchschnittssatz gebildet.

Tabelle 3 stellt die getroffenen Annahmen für Kostensätze für Schienenfahrzeuge und Eisenbahnpersonal in der Schweiz dar.

Tabelle 3: Kostenannahmen für Schienenfahrzeuge und Eisenbahnpersonal

Kostenparameter	Kostensatz
Strecken Tfz-Führer pro Stunde	120,00 CHF
Rangierlokführer pro Stunde	100,00 CHF
Rangierer pro Stunde	90,00 CHF
Visiteur pro Stunde	120,00 CHF
Streckentriebfahrzeug elektrisch pro Stunde	180,00 CHF
Streckentriebfahrzeug Diesel pro Stunde	150,00 CHF
Rangierlokomotive pro Stunde	120,00 CHF
Güterwagen pro Tag	40,00 CHF

Quelle: Durchschnittliche Kostensätze auf der Basis von Rückmeldungen der am Projekt beteiligten EVU

4. Mengengerüst – Annahmen zu Anzahl umzurüstender Schienenfahrzeuge

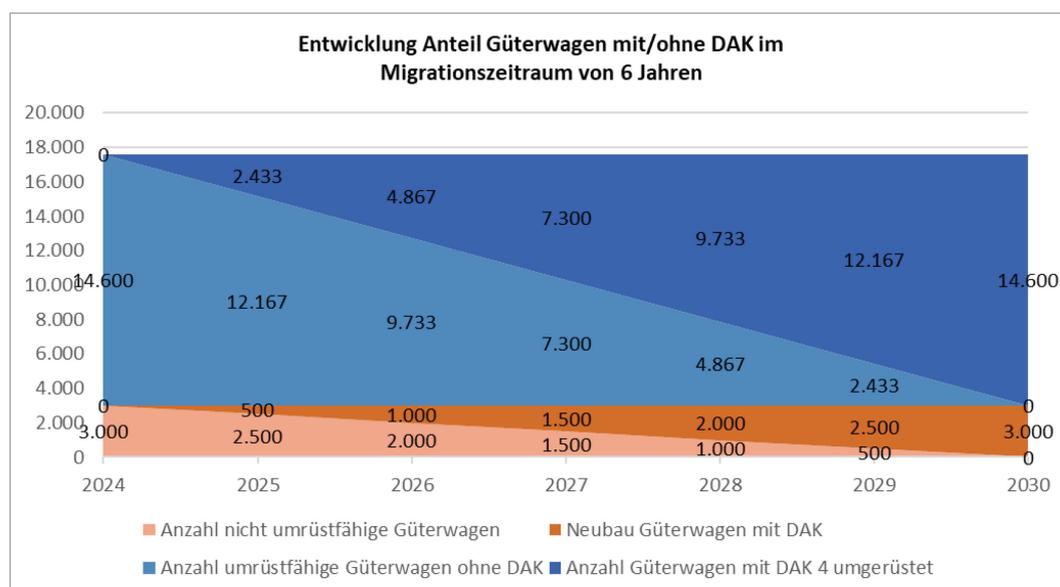
Die Anzahl der umzurüstenden Fahrzeuge wurde von Teilprojekt 1 ermittelt und für die vorliegende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Verfügung gestellt. Insgesamt wird von einem für den Schweizer SGV relevanten Bestand von 17,600 Güterwagen ausgegangen. Hiervon können 10,600 Güterwagen vergleichsweise einfach mit einer DAK ausgerüstet werden, 4,000 Güterwagen erfordern aus technischen Gründen einen höheren Umrüstaufwand. 3,000 Güterwagen können aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht umgerüstet werden. Jährlich sollen 500 Neubau-Güterwagen mit DAK und je nach Technologie-Szenario weiteren innovativen Komponenten ausgerüstet werden.

Es wird zudem in der Schweiz von 520 Triebfahrzeugen ausgegangen, die mit Hybridkupplungen ausgerüstet werden sollen. Hiervon können 206 Triebfahrzeuge vergleichsweise einfach, 225 Triebfahrzeuge nur unter erhöhtem Aufwand und 89 Triebfahrzeuge nicht umgerüstet werden. Jährlich sollen 22 Neubau-Triebfahrzeuge mit DAK sowie innovativen Komponenten ausgeliefert werden.

Weiterhin wurde angenommen, dass für die Migration 400 Kuppelwagen mit DAK und Schraubenkupplung und 500 Kupplungsadapter benötigt werden. Ebenso müssen 2,500 Prellböcke auf die Nutzung einer Mittelpufferkupplung/DAK umgerüstet werden.

Abbildung 1 zeigt den Verlauf der Umrüstung der Güterwagenflotte im Migrationszeitraum. Dabei wird die bereits in Kapitel 3 aufgezeigte lineare Hochlaufkurve bei der Umrüstung der Güterwagen hinterlegt. In Summe soll am Ende des Migrationszeitraums im Jahr 2030 die gesamte Schweizer Güterwagenflotte mit 17,600 Güterwagen mit einer DAK sowie weiteren Automatisierungskomponenten ausgerüstet sein. Dabei wird einfachheitshalber angenommen, dass nicht auf DAK umrüstbare Güterwagen durch neue Güterwagen, die direkt mit DAK ausgerüstet sind, ersetzt werden.

Abbildung 1: Entwicklung auf DAK umgerüstete Güterwagen im Migrationsverlauf



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis Mengengerüst aus Teilprojekt 1

5. Annahmen zu Umrüstkosten von Schienenfahrzeugen

Da die meisten der hier betrachteten innovativen Komponenten bisher nur als Prototypen verfügbar sind, liegen seitens der Bahnindustrie keine belastbaren Angaben zu Marktpreisen vor. Im Rahmen des European DAC Delivery Program wurden Einschätzungen zu möglichen Beschaffungs- und Umrüstkosten für die verschiedenen innovativen Komponenten getroffen. Diese Angaben wurden weitgehend übernommen und in die drei hier betrachteten Technologie-Szenarien übersetzt. Allerdings erfolgte auch ein Abgleich der im EDDP getroffenen Kostenannahmen mit einigen der am Projekt beteiligten EVU, wodurch einzelne Kostenannahmen im Vergleich zum EDDP leicht abgeändert wurden.

Bei den Kostenannahmen wurde auch danach differenziert, inwiefern das Schienenfahrzeug vergleichsweise einfach oder nur mit höherem Aufwand auf die DAK umrüstbar ist. Die Kosten für die Beschaffung der DAK sowie der innovativen Komponenten und Umrüstung der Fahrzeuge reichen von CHF 21,000 für einen einfach umzurüstenden Güterwagen im Technologie-Szenario 1 bis hin zu CHF 44,000 für einen schwer umzurüstenden Güterwagen in Technologie-Szenario 3. Bei den Triebfahrzeugen reichen die angenommenen Kosten von CHF 60,000 (einfach umrüstbares Triebfahrzeug TS1) bis hin zu CHF 250,000 (schwer umrüstbares Triebfahrzeug TS3). Weiterhin wurden in Abstimmung mit den am Projekt beteiligten EVU Einmalkosten für das Engineering je Güterwagengattung und Triebfahrzeug-Baureihe angenommen.

Tabelle 4: Annahmen zu Umrüstkosten der Schienenfahrzeuge

	Umrüstkosten Technologie-Szenario 1	Umrüstkosten Technologie-Szenario 2	Umrüstkosten Technologie-Szenario 3
Kosten Rollmaterial	Kosten Umrüstung je Fahrzeug	Kosten Umrüstung je Fahrzeug	Kosten Umrüstung je Fahrzeug
Zusatzkosten für DAK bei Neubau-Güterwagen	13.000,00 CHF	13.000,00 CHF	17.000,00 CHF
Zusatzkosten für DAK bei Neubau-Triebfahrzeugen	80.000,00 CHF	80.000,00 CHF	80.000,00 CHF
Umrüstkosten je Güterwagen - leicht umrüstbar	21.000,00 CHF	32.000,00 CHF	39.000,00 CHF
Umrüstkosten je Güterwagen - schwer umrüstbar	31.000,00 CHF	37.000,00 CHF	44.000,00 CHF
Umrüstkosten je Triebfahrzeug - leicht umrüstbar	60.000,00 CHF	70.000,00 CHF	160.000,00 CHF
Umrüstkosten je Triebfahrzeug - schwer umrüstbar	80.000,00 CHF	90.000,00 CHF	2.500.000,00 CHF
Gesamtkosten Engineering Güterwagenflotte	5.000.000,00 CHF	5.000.000,00 CHF	5.000.000,00 CHF
Einmalkosten je Wagengattung (für Engineering)	50.000,00 CHF	50.000,00 CHF	50.000,00 CHF
Gesamtkosten Engineering Triebfahrzeugflotte	5.000.000,00 CHF	5.000.000,00 CHF	5.000.000,00 CHF
Einmalkosten je Triebfahrzeug-Baureihe (für Engineering)	250.000,00 CHF	250.000,00 CHF	250.000,00 CHF

Quelle: Annahmen in Abstimmung mit dem BAV und den Projektteilnehmern sowie aus EDDP WP5

Tabelle 5 stellt die Umrüstkosten für die Güterwagenflotte sowie für die Triebfahrzeugflotte für die drei Technologie-Szenarien vor. Dabei reichen die gesamthaften Umrüstkosten für die Schienenfahrzeugflotte von ca. CHF 429 Mio. im Technologie-Szenario 1 bis hin zu CHF 707 Mio. CHF im Technologie-Szenario 3.

Tabelle 5: Umrüstkosten Schienenfahrzeuge je Technologie-Szenario

	Technologie-Szenario 1	Technologie-Szenario 2	Technologie-Szenario 3
Umrüstung Güterwagen	-384.885.317 CHF	-492.698.000 CHF	-606.898.000 CHF
Umrüstung Triebfahrzeuge	-44.128.819 CHF	-46.129.017 CHF	-100.669.017 CHF
Summe	-429.014.136 CHF	-538.827.017 CHF	-707.567.017 CHF

Quelle: Eigene Berechnungen auf Annahmen zu Umrüstkosten und Mengengerüst

Während der Migrationsphase wird von zusätzlichen Betriebskosten aufgrund des parallelen Betriebs von Schienenfahrzeugen von DAK und Schraubenkupplung ausgegangen. Diese Zusatzkosten sind im aktuellen Projektstadium nur bedingt einschätzbar. In Abstimmung mit dem BAV wurden Zusatzkosten i.H. von CHF 30 Mio. während des Migrationszeitraums

aufgrund des Parallelbetriebs von Schienenfahrzeugen mit DAK und Schraubenkupplung ausgegangen.

Weiterhin wurde in Abstimmung mit dem BAV abgeschätzt, dass für Infrastrukturanpassungen, wie z.B. der Umstellung von Prellböcken auf den Einsatz von Mittelpufferkupplungen sowie weiterer ggf. erforderlicher infrastruktureller Baumassnahmen, z.B. in Rangierbahnhöfen, während des Migrationszeitraums Kosten in Höhe von CHF 125 Mio. anfallen.

Insgesamt ergeben sich aus den obigen Kostenpositionen für die Umrüstung der Schienenfahrzeugflotte, der Umrüstung der Infrastruktur sowie der Zusatzkosten für den Parallelbetrieb Gesamtkosten in Höhe von CHF 584 Mio. für Technologie-Szenario 1, CHF 693 Mio. für Technologie-Szenario sowie CHF 862 Mio. für Technologie-Szenario 3.

6. Annahmen zu Nutzen der Automatisierung des SGV in der Schweiz

In Zusammenarbeit mit sechs am Projekt beteiligten EVU, die insgesamt für einen sehr hohen Marktanteil im Schweizer SGV stehen, wurde ermittelt welche Zeiteinsparungen in den jeweiligen Prozessschritten je Technologie-Szenario und je Produktionsform Ganzzug, Einzelwagenladungsverkehr sowie Kombiniertes Verkehr im Vergleich zum Status quo erwartet werden. Dabei wurden durch die am Projekt beteiligten EVU je Produktionsform unterschiedliche Fragebögen ausgefüllt und bewertet, wie viel Zeit heute mit der aktuellen Technik je Prozessschritt benötigt wird, und wie sich dieser Zeitbedarf je nach eingesetzter Technologie der drei Technologie-Szenarien entsprechend verändern bzw. reduzieren würde. Dabei wurde auch berücksichtigt, welche Personalrollen (z.B. Lokführer) sowie welche Technik (z.B. Rangierlok) an den jeweiligen Prozessschritten beteiligt sind. Auf diese Weise wurde für jedes am Projekt beteiligten EVU ermittelt, die Zeiteinsparung Zug und je Technologieszenario in den Produktionsformen Einzelwagenladungsverkehr, Ganzzug sowie Kombiniertes Verkehr ermittelt. Zusätzlich haben die beteiligten EVU auch ihre jeweilige Anzahl an pro Jahr gefahrenen Zügen in der jeweiligen Produktionsform bereitgestellt, so dass insgesamt eine Zeiteinsparung p.a. berechnet werden konnte.

Tabelle 6 zeigt exemplarisch den Erfassungsbogen für die Produktionsform Ganzzug für ein Technologie-Szenario. Da es sich bei den durch die EVU bereitgestellten Informationen um sensible Daten handelt, können diese im Rahmen der vorliegenden Dokumentation nicht offengelegt werden.

Tabelle 6: Template für die Erfassung des Zeitbedarfs je Zug – hier am Beispiel Ganzzug

Basisgruppe	Prozess	Subprozess	Personalrollen			Technik	Zeitbedarf IST- STATUS QUO	Zeitbedarf NEU für Technologie- Szenario	Delta IST - NEU Technologie- Szenario
Bedienpunkt / Kunde Abgang	Rangieren	Rangierbewegung	Lf	RI		Tfz			
	Zugvorbereitung	Zugbildung				Zv	Tfz		
		Technische Zuguntersuchung			Zu				
		Betriebliche Zuguntersuchung			Zu				
		Bremsprobe			Zu	Tfz	BPA		
		Rangieren	Rangierbewegung	Lf	RI		Tfz		
	Zugvorbereitung	Zusatzbremsprobe			Zu		Tfz		
		Abschluss Zuguntersuchung			Zv				
	Zugfahrt	Güterzug führen	Zug abfahrbereit melden	Lf					
			Zug gemäß FDV fahren	Lf			Tfz		
Bedienpunkt / Kunde Eingang	Güterzug zerlegen	Zug an 1...n Stellen trennen	Lf	RI		Tfz			
	Rangieren	Rangierbewegung	Lf	RI		Tfz			
	Wagen übergeben	Übergabe Wagen an Kunden		RI					
	Rangieren	Rangierbewegung	Lf	RI		Tfz			
	Wagen annehmen	Check-In-Daten prüfen			RI				
		Wagen annehmen			RI				
	Rangieren	Rangierbewegung	Lf	RI		Tfz			
							Summe pro Zug	Summe pro Zug	Summe pro Zug
							Anzahl Züge p.a.		
							Summe p.a.	Summe p.a.	Summe p.a.

Quelle: Eigene Darstellung

Die ermittelte jährliche Zeiteinsparung wurde anschließend auf die jeweiligen Personalrollen sowie eingesetzten Techniken umgerechnet und anschließend mit den in Kapitel 2 benannten Kostensätzen für Eisenbahnpersonal sowie für Schienenfahrzeuge multipliziert. Auf diese Weise wurde ein zumindest theoretischer Wert einer Kosteneinsparung bei Eisenbahnpersonal sowie bei der Nutzung von Schienenfahrzeugen berechnet. Da Prozesskosteneinsparung nicht eins zu eins in realen Einsparungen resultieren, wurden sog. Umrechnungsfaktoren verwendet. Für die Berechnung realer Einsparpotenziale wurden die durch das EDDP ermittelten und in untenstehender Tabelle gezeigten Umrechnungsfaktoren verwendet.

Tabelle 7: Umrechnungsfaktoren Prozesskosteneinsparung vs. reale Einsparpotenziale

Umrechnungsfaktor	
Rangierpersonal	100%
Rangierlok	40%
Streckenlok	20%
Triebfahrzeugführer Strecke	20%
Wagnutzung	20%

Quelle: EDDP WP5

Exemplarisch bedeuten die Umrechnungsfaktoren, dass eine ermittelte Prozesszeiteneinsparung für das Rangierpersonal zu 100% in ein reales Einsparpotenzial umgerechnet wird. Eine Prozesszeiteneinsparung für die Nutzung der Güterwagen wird jedoch nur zu 20% in ein reales Einsparpotenzial umgerechnet.

Für Technologie-Szenario 1 wird von einer Produktivitätssteigerung im Vergleich zum Status quo von 18% ausgegangen; in Technologie-Szenario 3 beträgt die Produktivitätssteigerung 34%. Über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren (ohne Abdiskontierung, aber mit jährlicher Inflationsrate) wird von einem gesamten Nutzen von ca. CHF 1.0 Mrd. im Technologie-Szenario 1, ca. CHF 2 Mrd. in Technologie-Szenario 2 bis zu CHF 2.3 Mrd. (TS3) ausgegangen.

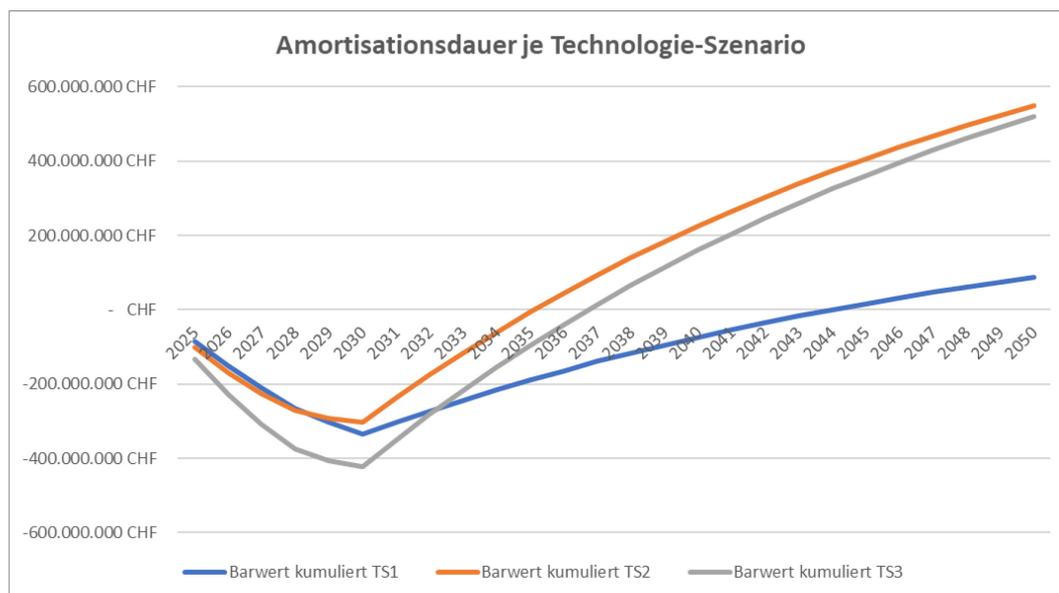
Weitere Nutzenaspekte, wie z.B. Verlagerungseffekte auf die Schiene und damit verbundene höhere Transporterträge für die EVU, die Erhöhung des Arbeitsschutzes oder die Steigerung der Attraktivität der betrieblichen Bahnberufe konnten (noch) nicht quantifiziert werden, stellen aber in jedem Fall weitere qualitative Nutzeneffekte dar.

7. Zwischenergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Unter Berücksichtigung einer jährlichen Abzinsung sämtlicher Zahlungsflüsse (Kosten und Nutzen) in Höhe von 5% und einer jährlichen Inflationsrate von 2% kommt die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren zu folgendem Zwischenergebnis (vgl. auch Abbildung 2):

- Technologie-Szenario 1: Positiver Barwert in Höhe von CHF 86 Mio. und einer Amortisationsdauer von 20 Jahren (Amortisation im Jahr 2045)
- Technologie-Szenario 2: Positiver Barwert in Höhe von CHF 549 Mio. und einer Amortisationsdauer von 11 Jahren (Amortisation im Jahr 2036)
- Technologie-Szenario 3: Positiver Barwert in Höhe von CHF 518 Mio. und einer Amortisationsdauer von 12 Jahren (Amortisation im Jahr 2037).

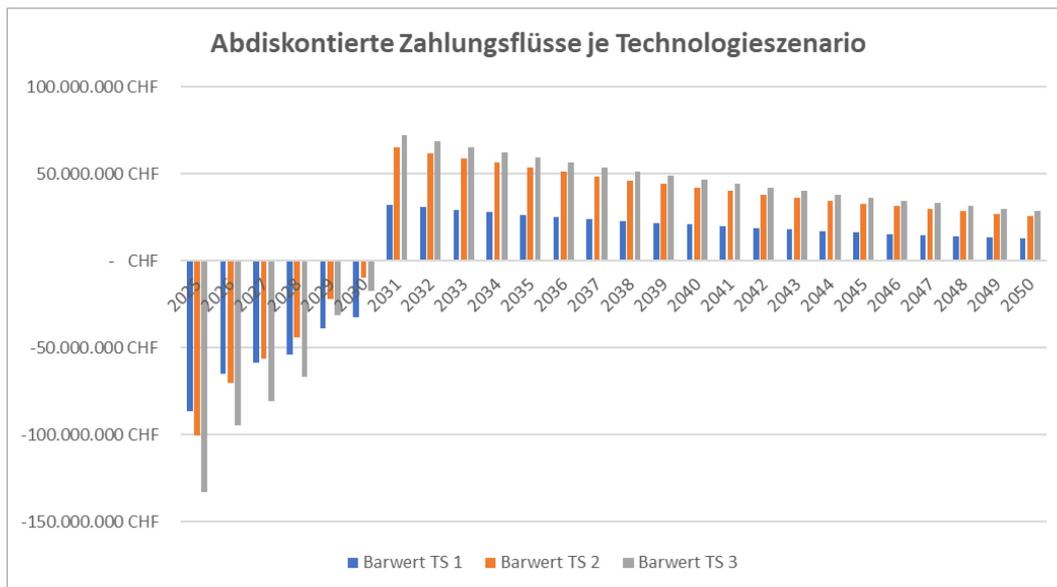
Abbildung 2: Amortisationsdauer je Technologie-Szenario



Quelle: Eigene Berechnungen

In Abbildung 3 werden die abdiskontierten Zahlungsflüsse (Saldo aus Umrüstkosten und Nutzen) je Jahr und Technologie-Szenario dargestellt. In den ersten Jahren der Migration sind die Zahlungsflüsse aufgrund der hohen Umrüstkosten wie erwartet negativ. Nach Abschluss der Migration sind die abdiskontierten jährlichen Zahlungsflüsse aus den Nutzeneffekten der Automatisierung des SGV in der Schweiz klar ersichtlich. Diese Zahlungsflüsse fallen im Technologie-Szenario 3 aufgrund des höheren Automatisierungsgrads entsprechend höher aus. Auffallend ist dabei auch der Effekt der Abdiskontierung der Zahlungsflüsse, so dass die positiven Zahlungsflüsse aus den Nutzeneffekten von Jahr zu Jahr geringer ausfallen.

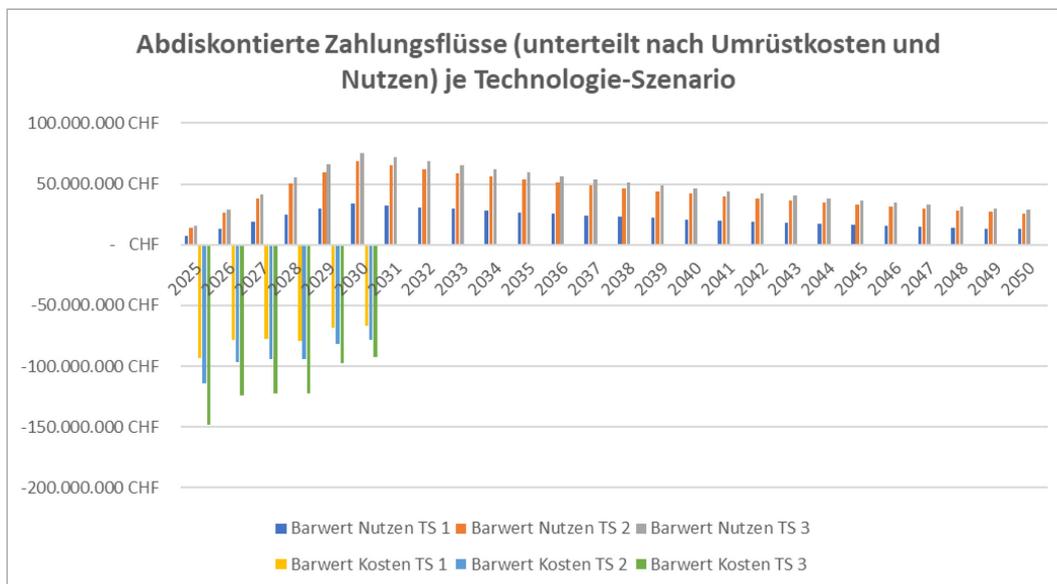
Abbildung 3: Abdiskontierte kumulierte Zahlungsflüsse je Jahr und Technologie-Szenario



Quelle: Eigene Berechnungen

Während in obiger Abbildung die Zahlungsflüsse als Saldo aus Umrüstkosten und Nutzen dargestellt sind, werden in Abbildung 4 die abdiskontierten Zahlungsflüsse für Umrüstkosten und Nutzen je Technologie-Szenario getrennt dargestellt.

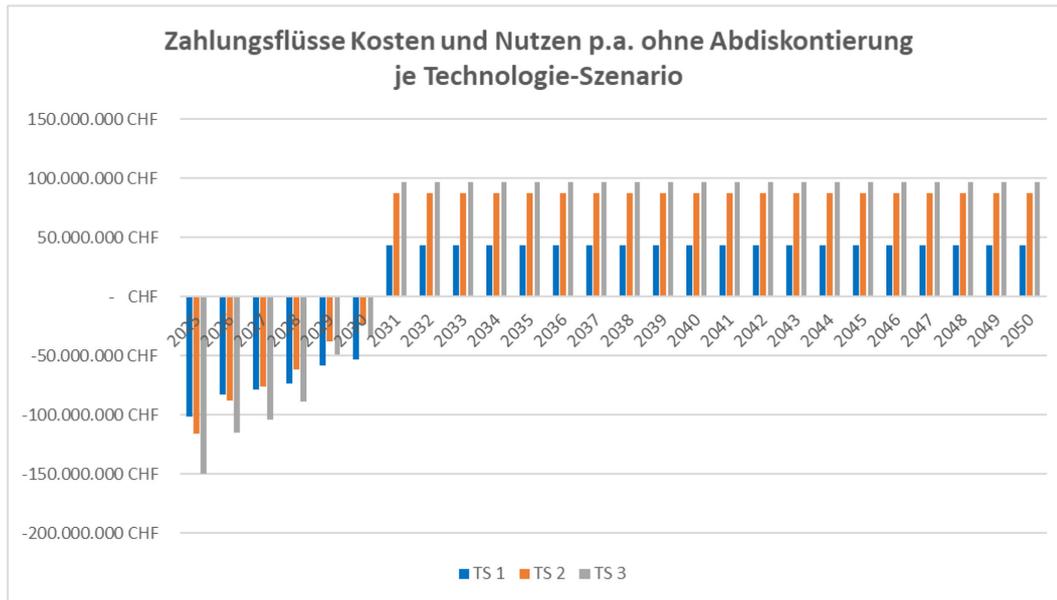
Abbildung 4: Abdiskontierte Zahlungsflüsse unterteilt nach Umrüstkosten und Nutzen je Technologie-Szenario



Quelle: Eigene Berechnungen

Die Höhe der Zinsen spielen in einem Kalkulationsmodell nach der Discounted Cash Flow Methode immer eine große Rolle. Entsprechend besteht im Kalkulationsmodell auch die Möglichkeit, die Höhe der Zinsen zu variieren. Bei einem angenommenen Zinssatz von null Prozent (also ohne Abdiskontierung) ergeben sich die in untenstehender Abbildung dargestellten Zahlungsflüsse.

Abbildung 5: Zahlungsflüsse je Jahr und Technologie-Szenario ohne Abdiskontierung



Quelle: Eigene Berechnungen