Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

HMG SYSTEMS ENGINEERING

MBPLE4Mobility

FKZ: 19I21025G

Schlussbericht HMG Systems Engineering GmbH

Version B

Approver	Approval date	Signature
H. Munoz	Fürth, 26.02.2026	**i.A.** Edwin Cruz Digital unterschrieben von Edwin Cruz Datum: 2026.02.26 11:22:18 +01'00'
Owner	**Release date**	**Signature**
Edwin Cruz Soler	Fürth, 26.02.2026	Edwin Cruz Digital unterschrieben von Edwin Cruz Datum: 2026.02.26 11:21:28 +01'00'

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

HMG SYSTEMS ENGINEERING

1 Änderungen, Prüfer und Versionen

Liste der Änderungen

Version	Issue date	Author	Change
PA01	16.01.2025	Edwin Cruz Soler	Erster Draft
PA13	28.01.2025	Edwin Cruz Soler	Überprüfung von A. Wilde und M. Saenz
PA17	06.02.2025	Edwin Cruz Soler	mit der finanziellen Beschreibung
PA18	13.02.2025	Edwin Cruz Soler	Kommentare von TüV
A	13.02.2025	Edwin Cruz Soler	Final Version
B	26.02.2026	Edwin Cruz Soler	Korrektur nach Förderungsprogramm Logo

Liste der Überprüfer

Reviewer	Role
Herna Munoz-Galeano	Geschäftsführerin

Liste der freigegebenen Versionen

Version	Freigabe Datum	Produkt Version
A	13.02.2025	MBPLE4Mobility - Schlussbericht HMG Systems Engineering GmbH
B	26.02.2026	MBPLE4Mobility - Schlussbericht HMG Systems Engineering GmbH

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

HMG SYSTEMS ENGINEERING

Inhaltsverzeichnis

1 Änderungen, Prüfer und Versionen 2
2 Einleitung 6
2.1 Zweck des vorliegenden Dokuments 6
2.2 Zielgruppe dieses Dokuments 6
2.3 Referenzen 6
2.4 Offene Punkte 6
3 Kurze Darstellung 7
3.1 Aufgabenstellung 7
3.2 Voraussetzungen 7
3.3 Planung des Vorhabens 8
3.4 Ablauf des Projekts 11
3.5 Wissenschaftlicher und technischer Stand 12
3.6 Fachliteratur 13
3.7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 13
3.8 Veröffentlichungen und Vorträge 14
4 Eingehende Darstellung 15
4.1 Detaillierte Darstellung der modellbasierten Test Factory 15
4.1.1 Konzept 15
4.1.2 Umsetzung des Konzeptes 17
4.1.3 Validierung und Anwendung 17
4.2 Anwendungsfall der HMG Model Based Test Factory 19
4.2.1 Test Modellierung 19
4.2.2 Parametrisierung 23
4.2.3 Variabilität 24
4.2.4 Traceability der Anforderungen 26
4.3 Ressourcen während der Projektdurchführung 28
4.4 Erzielte Ergebnisse 29
4.4.1 Eigenschaften und Vorteile der Model-Based Test Factory 30
4.4.2 Eignungsprüfung HMG 30
4.4.3 Technologischer Reifegrad 31
4.4.4 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses 31
5 Literaturverzeichnis 32

6 Zusammenfassung 33
Anhang 1: Detaillierter Ablauf des Projekts 34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitlinie mit den relevanten Meilensteinen 11
Abbildung 2: Sequenzdiagramme bei der Konzeptionierung der HMG Modellbasierte Testspezifikations Methode 16
Abbildung 3: Grafische Darstellung der Model-Based Test Factory. Vergleich mit der traditionellen Methode 16
Abbildung 4: Installation des Test Factory Plugins in MagicDraw und Bereitstellung der Module im Arbeitsbereich 17
Abbildung 5: Test Modell in MagicDraw 18
Abbildung 6: Importiertes Testmodell im Testmanagement Tool 19
Abbildung 7: Installation des Test Factory Plugins in MagicDraw 19
Abbildung 8: Bereitstellung der Module im Arbeitsbereich 20
Abbildung 9: Anforderungsmodell 20
Abbildung 10: Funktionsbibliothek im SystemUnderTest Modul 21
Abbildung 11: Testfall Modell im Test Model Modul 22
Abbildung 12: Verwendung von bibliotheksdefinierten Funktionen als Testschritte 22
Abbildung 13: Traceability Matrix. Anforderungen und Testfälle 22
Abbildung 14: Definition der globalen Parameter im Testmodell 23
Abbildung 15: Definition der lokalen Parameter im Testmodell 23
Abbildung 16: Variabilität bei der Nutzung von verschiedenen Parameterwerten im gleichen Testmodell 24
Abbildung 17: Variabilität bei der Generierung von verschiedenen Testspezifikationen aus dem gleichen 150%-Testmodell 25

Abbildung 18: Generierte Testspezifikation im XML Format. 25

Abbildung 19: Importierte Testspezifikation im Testmanagement Tool 26

Abbildung 20: Importierte Anforderungen im Test Management Tool 26

Abbildung 21: Export der Traceability-Matrix von MagicDraw in *.csv Format. 27

Abbildung 22: Import der Traceability-Matrix in das Testmanagement-Tool 28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste der offenen Punkte 6

Tabelle 2: Geplante Aufgaben pro Arbeitspaket AP 10

Tabelle 3: Relevante Meilensteine (im Vorhaben) zusammen mit den Fortschritten von HMG im Lauf des Projektes 12

Tabelle 4: Auswirkung der Ressourcen währen der Ablauf des Projekts 29

Tabelle 5: Eigenschaften und Vorteile der Model-Based Test Factory 30

Tabelle 6:: Kriterium der Eignungsprüfung von HMG 31

Tabelle 7: Entwicklung des technologischen Reifegrades durch HMG 31

Tabelle 8: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.07.2021 - 31.12.2021 35

Tabelle 9: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.01.2022 - 30.06.2022 37

Tabelle 10: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.07.2022 - 31.12.2022 39

Tabelle 11: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.01.2023 - 30.06.2023 42

Tabelle 12: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.07.2023 - 31.12.2023 44

Tabelle 13: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.01.2024 - 30.06.2024 47

Tabelle 14: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.07.2024 - 31.12.2024 49

2 Einleitung

2.1 Zweck des vorliegenden Dokuments

Dieses Dokument enthält den individuellen Abschlussbericht der HMG Systems Engineering GmbH (HMG) als Teilnehmer am Forschungsprojekt MBPLE4Mobility. Dieses Projekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter der Leitung des TÜV Rheinland Consulting GmbH gefördert.
Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit dem Gliederungsvorschlag aus Anlage 2 Muster Schlussbericht (zu Nr. 8.2 NKBF 98) erstellt. Diese Anlage ist Teil des Dokuments Nebenbestimmungen (für Zuwendungen auf Kostenbasis des Bundesministeriums für Bildung und Forschung an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben).

2.2 Zielgruppe dieses Dokuments

- TÜV Rheinland Consulting GmbH. Forschungsmanagement. Projektträger Bodengebundene Verkehrstechnologien (PT BVt)
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
- LEIBNIZ-Informationszentrum Technik und Naturwissenschaften Universitätsbibliothek
- Konsortialpartner

2.3 Referenzen

[1] MBPLE4Mobility Vorhaben Beschreibung. Antrag zur Förderung im Rahmen des Fachprogramms „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. 26.04.2021

[2] NKBF 98. Nebenbestimmungen (für Zuwendungen auf Kostenbasis des Bundesministeriums für Bildung und Forschung an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben). BMWK-Vordr. 0348a/07.15_2. April 2006

2.4 Offene Punkte

ID	Stichwort	Beschreibung

Tabelle 1: Liste der offenen Punkte

3 Kurze Darstellung

3.1 Aufgabenstellung

Am Anfang des Projekts hat HMG zwei Hauptziele definiert, die den Rahmen, für die von HMG übernommenen Aufgaben bilden.

1. Entwicklung und Implementierung einer Model-Based Test Factory für die automatische Erstellung einer Testspezifikation. Anwendbar für verschiedene Projekte und Kunden.
2. Durchführung eines Proof-of-Concept der Model-Based Test Factory durch die Anwendung auf ein neu entwickeltes System für teilautomatisierte Schienenfahrzeuge (GOA2).

Im Laufe des Projekts ist ein neues Ziel hinzugekommen und wurde erreicht:

3. Implementierung der Digitalen Transformation des Verifikationsprozesses für sicherheitsrelevante Systeme durch die Model-Based Test Factory.

3.2 Voraussetzungen

HMG hat im Rahmen der Beratungstätigkeit im Systems Engineering bei einem international anerkannten Konzern maßgeblich dazu beigetragen, sicherheitsrelevante Systemlösungen für Schienenverkehr und andere Sektoren zu entwickeln und zertifizieren. Hierdurch konnten umfangreiche Erfahrungen in komplexen und innovativen Projekten im Anforderungs-, Test-, Verifikations- und Validierungsmanagement gesammelt werden. Dabei war der Einsatz modellbasierter Methoden wie MBT ein wichtiger Aspekt. Jedoch fehlten Ressourcen, um die von MBPLE angebotenen Vorteile auf die früheren Systems Engineering Projekte anzuwenden.

Im Bereich des Systems Engineering bietet MBPLE innovative Vorteile insbesondere bei Modellierung, Variabilität und Rückverfolgbarkeit. Diese Vorteile reduzieren die benötigten Ressourcen erheblich. Allerdings gibt es bisher nur sehr wenige praktische Anwendungen von MBPLE. Auf dieser Grundlage hat HMG sich im Rahmen des Forschungsprojekt MBPLE4Mobility beteiligt. Damit kann HMG wichtige Erfahrungen für die Entwicklung und Implementierung einer MBPLE-Methode im Testbereich anzuwenden. Diese Methode soll die gesamte Entwicklungskette vom Anforderungsmanagement bis zur Validierung abdecken. Die Teilnahme von HMG am Forschungsprojekt war nur im Rahmen einer KMU-Förderung realisierbar.

3.3 Planung des Vorhabens

Die Arbeit von HMG wurde im Detail auf verschiedene Arbeitspakete verteilt, wie unten beschrieben.

Gruppe	AP	Arbeitspaketname	Arbeitsinhalt des AP HMG	Aufwand
AP1 -Definition von Modellierungskonzepten zur Wiederverwendung von Entwicklungsartefakten (MBPLE)	AP 1.1	Systemanforderungsanalyse	• Modellierung von Invarianten im Problemraum in Form von Essential Use Cases und Stakeholder Interessen zur Ableitung von domänenspezifischen, lösungsunabhängigen Kundenanforderungen. • Modellierung der Use Cases im Problemraum: die Domänen werden abgegrenzt, die Stakeholders identifiziert, ihre Interessen und die relevanten Use Cases ermittelt und sinnvoll strukturiert. Beim Gegenüberstellen der Use Cases und der Interessen werden Anforderungen abgeleitet und Konflikte zwischen den beiden identifiziert. • Spezifikation einer geeigneten Methode zur Beherrschung von Modellen und Variabilität bei der Systemanforderungsanalyse im Problemraum.	(5 PM)
	AP 1.2	Systemarchitektur	• Aus dem Problemraum (AP1) werden die relevanten Use Cases in den Lösungsraum übertragen und sinnvoll strukturiert. • Beim Gegenüberstellen der Use Cases und der Stakeholder-Interessen werden die abgeleiteten Anforderungen auf eine Funktionale Architektur abgebildet und Konflikte zwischen den beiden identifiziert. Damit wird das System funktional beschrieben und so die Definition von Produktvarianten vereinfacht. • Eine Methode für den iterativen Prozess der Definition von Anforderungen und deren Abbildung auf die Systemarchitektur wird entwickelt, mit den Partnern diskutiert und entsprechend implementiert.	(3 PM)
	AP 1.5	Integrationstest	• Überprüfung der Methode zur Modellierung von Test Cases unter Betrachtung der Produkt-Variabilität basierend auf Parametern und Konfiguration • Überprüfung einer Methode zur Schaffung einer wiederverwendbaren Test Suite. Die Test Suite soll sowohl beim Integrations- als auch beim Systemtest eingesetzt werden.	(3 PM)
	AP 1.6	Systemtest/Validierung	Entwicklung von Methoden und Prozessen, um die Durchgängigkeit und Wiederverwendung von Test Cases zu garantieren. Test sollten sowohl für den Integrationstest als auch für den Systemtest bzw.	(3 PM)

			Validierung im Kontext der hierarchischen Produktlinienarchitektur und Produktvarianten angewendet werden.	
AP2 - Spezielle Aspekte	AP 2.1	Anforderungsmanagement	Robustheit des entwickelten Modellierungsansatzes bzgl. Anforderungsmanagement prüfen: • Prüfen, ob das Modellkonzept bzgl. Produkt und Produktvarianten die Bedingungen des Anforderungsmanagements erfüllt • Ggf. das Modell/Modellkonzept entsprechend der Ergebnisse anpassen	(3 PM)
AP4 - Entwicklung von Werkzeugen/Prozessen	AP 4.1	Definition der Anforderungen an Werkzeuge/Prozesse	HMG wird an der Konsolidierung der Anforderungen an die Tool-Kette mitarbeiten. Die Ergebnisse aus den AP1 und AP3 werden einfließen, soweit sie den Use Case im Bereich des Schienenverkehrs betreffen. Ziel ist es eine durchgängige Tool-Kette zu bilden, um das erstellte Modellierungskonzept effizient anwenden zu können (seamless).	(2,5 PM)
	AP 4.2	Entwicklung Werkzeuge/ Prozesse für gemeinsame Aspekte	In diesem AP erweitert die HMG eine durchgängige Toolkette um den Aspekt der Wiederverwendbarkeit von Modellen. Ziele sind: • die in AP1 und AP2 entwickelten System- und Verhaltens-Modelle als Basis für die Testmodelle (Integrations- und Systemtest) zu übernehmen. • Traceability (von Test bis zum Systemspezifikation) zu garantieren. • Dokumentation, insbesondere für die Validierung des Systems, automatisch zu generieren.	(2,5 PM)
AP5 - Exemplarischer Nachweis SMO Modellierung des übergreifenden Systems	AP 5.1	Systemanforderungsanalyse	Anwendung der Model Factory zur • Identifikation von Anforderungen und Use Cases für den GoA2-Betrieb unter Betrachtung unterschiedlicher Produkt-Varianten. • Abbildung der Anforderungen und Use Cases auf eine funktionale Architektur. • Definition Konzept zur Traceability von Test Cases zu Anforderungen	(8 PM)

	AP 5.5	Integrationstest	Nachdem die Model Factory für die Testgenerierung des Systemtest entwickelt und bis die Prototypenreife erreicht wurde, werden Modelle von diesem Demonstrator auf einen ganz konkreten Fall angewendet. Dies erfolgt auf die Funktionalität des GoA-2. In dem Fall wird eine Testsuite für eine konkrete Implementierung modellbasiert generiert und für die Generierung der Tests für die Projektvarianten angewendet. Konkret heißt dies: • Spezifikation der Test Suite für Projektvarianten • Testvalidierung auf die spezifischen Teststände für die GoA-2 • Automatisierung der Durchführung einer Untermenge der Spezifikation (Smoke Tests) • Automatische Durchführung der Test und Reporting • Traceability von Test zu Anforderungen	(6 PM)
	AP 5.6	Validierung	• Erweiterung der Test Suite Spezifikation für Projektvarianten, um Ende zu Ende Tests • Validierung der aus der Modell Factory erstellten Tests • Automatisierung der Testdurchführung • Automatische Testdurchführung zur Validierung der GoA2-Anwendung • Traceability von Testfällen zu Anforderungen • Anwendung der implementierten Tool-Kette für die Generierung der Dokumentation	(21 PM)
AP7	AP 7	Überprüfung der Eignung	HMG wird die Model Factory aus drei Aspekten überprüfen. Zum einen, die technologischen Forschritte, die durch die Anwendung im Projekt erreicht wurden und zum anderen die Akzeptanz der Methode seitens der in die Entwicklung involvierten Mitarbeiter. Wesentlicher Aspekt ist inwieweit die Anwendung der Model Factory den Entwicklungsprozess durch Vereinfachung in der Handhabung der Komplexität beschleunigt und vor allem wie schnell diese Entwicklung in der Zukunft sein könnte.	(4,5 PM)
AP8	AP 8	Projektmanagement		(4,7 PM)

Tabelle 2: Geplante Aufgaben pro Arbeitspaket AP

3.4 Ablauf des Projekts

Nachfolgend wird eine Zeitlinie mit den relevanten Meilensteinen (im Vorhaben) zusammen mit den Fortschritten von HMG im Lauf des Projektes gezeigt.

Abbildung 1: Zeitlinie mit den relevanten Meilensteinen

Datum	Meilen-stein	Name	Aktivitäten
Jul 21	-	Projektstart	• Projektstart
Jan 22	MS1	Modellierungskonzepte definieren	• Modellierung Kernmodell im Problemraum • Gemeinsames Use Case Modell Diskussion • MBT auf Basis des gemeinsamen Use Case Modells
Jul 22	MS2	Konzept bestätigen	• Kernmodell im Problemraum • Hierarchisches Ablaufmodell mit Use Cases, abgeleitet aus Kernmodell • Konfigurierbarkeit des Testmodells über Variabilität • Testcase-Generierung über Modellparametrisierung
Jan 23	MS3	Werkzeuge und Aspekte bereit für den Beginn des Nachweises	• Definition von Anwendungsszenarien Teststrategie für modellbasiertes Testen • Ableitung von Anforderungen aus der Funktionalen Anatomie der Model Factory • Werkzeug Anforderungen Refinement • Werkzeugentwicklung – Vergleich unterschiedliche Tools und Methoden
Jan 24	MS4	Konzepte überarbeitet	• Zwei Modellierungsalternativen als Basis von Modell • Neu: Konzept SystemUnderTest als Basis von Modell • Werkzeugentwicklung (Test Factory – Plugin für MagicDraw)

Jul 24	MS5	Start Eignungsprüfung	• Definition der Anforderungen FAnS basierend • Definition SystemUnderTest • Erstellung Traceability Matrix • Implementierung von zwei Alternativen für Modellierung • Implementierung Test Factory mit Projektvarianten
Dez 24	MS6	Projektabschluss	• Validierung und Smoketest-Durchführung • Validierung, Testdurchführung, und Automatisierung • Automatischer Import der Testspezifikation in Testlink

Tabelle 3: Relevante Meilensteine (im Vorhaben) zusammen mit den Fortschritten von HMG im Lauf des Projektes

Detaillierter Ablauf des Projekts

Anhang I enthält eine detaillierte Beschreibung der Aktivitäten, die von HMG in den einzelnen Arbeitspaketen 6-Monatszeitraum für 6-Monatszeitraum während der Laufzeit des MBPLE4Mobility-Projekts durchgeführt wurden.

3.5 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Grafische Modelle und moderne Modellierungswerkzeuge helfen im MBT-Kontext dabei, effizienter und korrekter über Testszenarien zu kommunizieren. Hiermit wird sichergestellt, dass die geforderte Funktionalität korrekt und im richtigen Umfang getestet werden kann.

In unterschiedlichen Fallstudien hat sich gezeigt, dass MBT signifikant mehr Fehler als nicht modellbasiertes Testen findet und den Aufwand für das Testen deutlich reduzieren kann [7]. In einer Umfrage von Binder et. al. haben 64% der Teilnehmer MBT als moderat bis extrem effektiv wahrgenommen und mehr als 70% der Teilnehmer wollen den Einsatz von MBT fortsetzen [8].

Im Bereich der Testspezifikation kann MBPLE (Model Based Product Line Engineering) die Effizienz durch die Anwendung von drei grundlegenden Konzepten verbessern: Modellierung, Variabilität und Rückverfolgbarkeit. Dadurch ergeben sich folgende Vorteile:

- Verbesserte Qualitätssicherung der Anforderungsbeschreibung und des Systementwurfs durch frühzeitige Einbindung der Testaktivitäten (MBT-Modelle können zur Überprüfung der Entwurfsartefakte dienen)
- Höhere Testabdeckung durch systematischere und transparentere Ableitung der Testfälle
- Verbesserte Rückverfolgbarkeit von Testfällen, Testergebnissen etc. auf Modelle und Anforderungen und damit erleichterte Testpflege

3.6 Fachliteratur

Zu diesem Zweck hat HMG verschiedene technologische Werkzeuge, wissenschaftliche Verfahren und allgemeine Fachliteratur verwendet, um die einzelnen Module zu konzipieren. Unter anderem sind dies:

1. Kernmodellierung (Core Modeling)
   - R. Kochseder, J. Rettner, W. Höfler, S. Horn, B. Dielmann, „Komplexität beherrschen mit Core Modeling“ Tag des Systems Engineering. Erlangen, 2016.
   - Constantine, Larry L.: Software for Use: A Practical Guide to the Models and Methods of Usage-Centered Design, Addison-Wesley, 1999
2. SysML
   - S. M. A. S. R. Friedenthal, A practical guide to SysML: The Systems Modeling Language., Waltham, Elsevier., 2012.
3. Testmodelierung
   - I. Schieferdecker, „Modellbasiertes Testen,“ OBJEKTspektrum, 2007.
   - A. Pretschner, „Zur Kosteneffektivität des modellbasierten Testens,“ MBEES. Informatik-Bericht (Giese H., Rumpe, B., Schätz, B.), Braunschweig, 2006.

3.7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während der Entwicklung der Test Factory konnte sich HMG auf die wertvolle Unterstützung aller Partner verlassen, insbesondere bei den Meilenstein-Überprüfungssitzungen.

Auf diese Weise wurden insbesondere Empfehlungen ausgesprochen:

1. Anforderungsmanagement durch MID
2. Geeignete Modellierungstechniken. Insbesondere SysML von der Hochschule München und FAU.

Hervorzuheben ist, dass SMO der Hauptpartner der HMG während der Projektdurchführung war und verschiedene Aktivitäten durchführte, die die erfolgreiche Umsetzung des Projekts ermöglichten:

1. Bereitstellung von Computerausrüstung
2. Bereitstellung von SW für die Modellierung und Konzeptentwicklung, insbesondere Magic Draw
3. Einrichtung eines Bereichs innerhalb des MagicDraw-Servers für die Implementierung und Entwicklung der Test Factory
4. Zugriff zu Entwicklungsunterlagen bestehender und zukünftiger Zugsicherungssysteme wie GoA2
5. Zugang zu Labors für die methodische und praktische Validierung der Testspezifikation in der Testumgebung des ICx-Projekts

3.8 Veröffentlichungen und Vorträge

Veröffentlichungen und Vorträge wurden erstellt. Im Berichtszeitraum wurde folgender Beitrag zur Konferenz und die gemeinsame Veröffentlichung aller Projektpartner für den "Systems Engineering Day 2022 in Paderborn" eingereicht:

> Arestova, A. et.al: „Forschungsprojekt MBPLE4Mobility: Mastering Complex Transportation Systems with a High Degree of Variability“, 2022

4 Eingehende Darstellung

Die zentrale Zielsetzung von HMG im Rahmen des MBPLE4Mo-Forschungsprojekts lässt sich, wie folgt formulieren:

> *„Entwicklung und Implementierung einer modellbasierten Test Factory für die automatische Erstellung einer Testspezifikation. Anwendbar für verschiedene Projekte und Kunden“*

4.1 Detaillierte Darstellung der modellbasierten Test Factory

Die Entwicklung und Umsetzung des MBPLE4Mo-Projekts von HMG wurde in drei Bereichen durchgeführt:

1. Entwicklung des *theoretischen Konzepts* der Testfabrik auf der Grundlage bestehender wissenschaftlicher Verfahren sowie eigener Entwicklungen.
2. *Umsetzung des Konzeptes* in eine kommerziell verfügbare Werkzeugkette.
3. *Validierung und Anwendung* der Test Factory in der Testspezifikation für ein System für teilautomatisierte Schienenfahrzeuge (GoA2).

4.1.1 Konzept

Als Hauptanforderung hat HMG die Entwicklung einer von jeglichen Modellierungswerkzeugen unabhängigen konzeptionellen Methodologie zur modellbasierten Testspezifikation definiert. Das Ziel war die Umsetzung der Methodologie nicht auf ein einziges Werkzeug zu beschränken, sondern sie flexibel mit auf dem Markt verfügbaren Werkzeugen für Modellierung und Testmanagement anwendbar zu machen.

Bei der strengen Konzeptionierung wurden allgemeine Modellierungswerkzeuge wie UML2-*Sequenzdiagramme* verwendet. Auf diese Weise wurden nicht nur der Informationsfluss, sondern auch die Informationstransaktionen konzeptionell gestaltet. Die Verwendung eines *Sequenzdiagramms* und verschiedener *Aktivitätsdiagramme* ermöglichte die Validierung des Konzepts durch verschiedene Desktop-Tests.

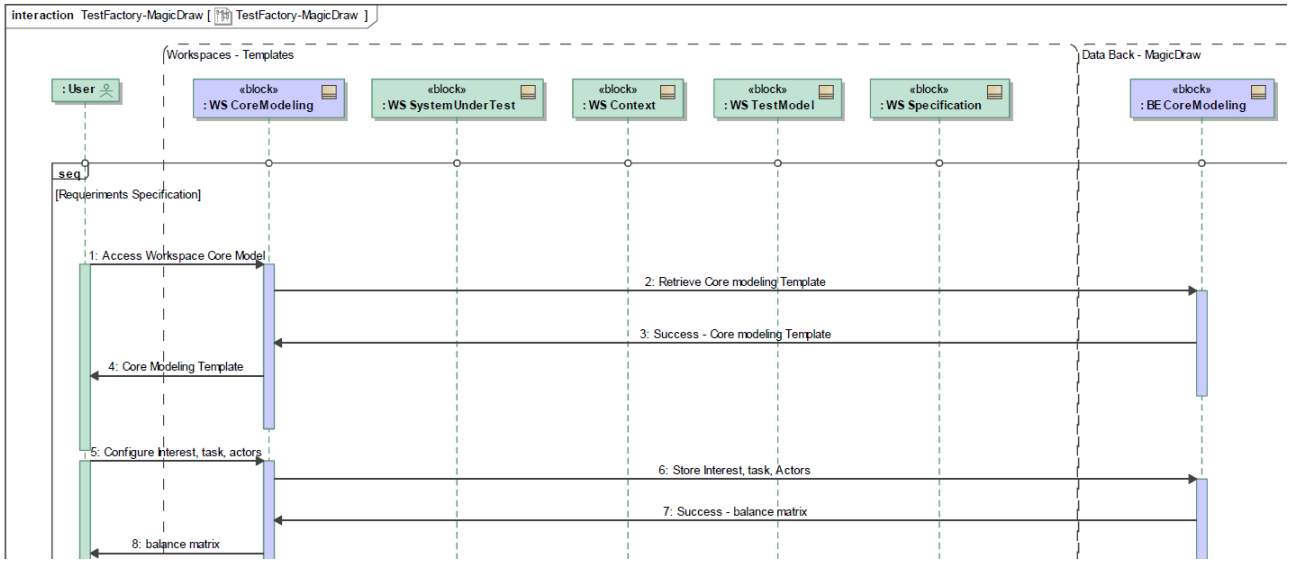

Abbildung 2: Sequenzdiagramme bei der Konzeptionierung der HMG Modellbasierte Testspezifikations Methode

4.1.1.1 Modellbasierte Testspezifikations Methode (Model-Based Test Factory Concept)

Die von HMG entwickelte Model-Based Test Factory besteht aus vier Modulen.

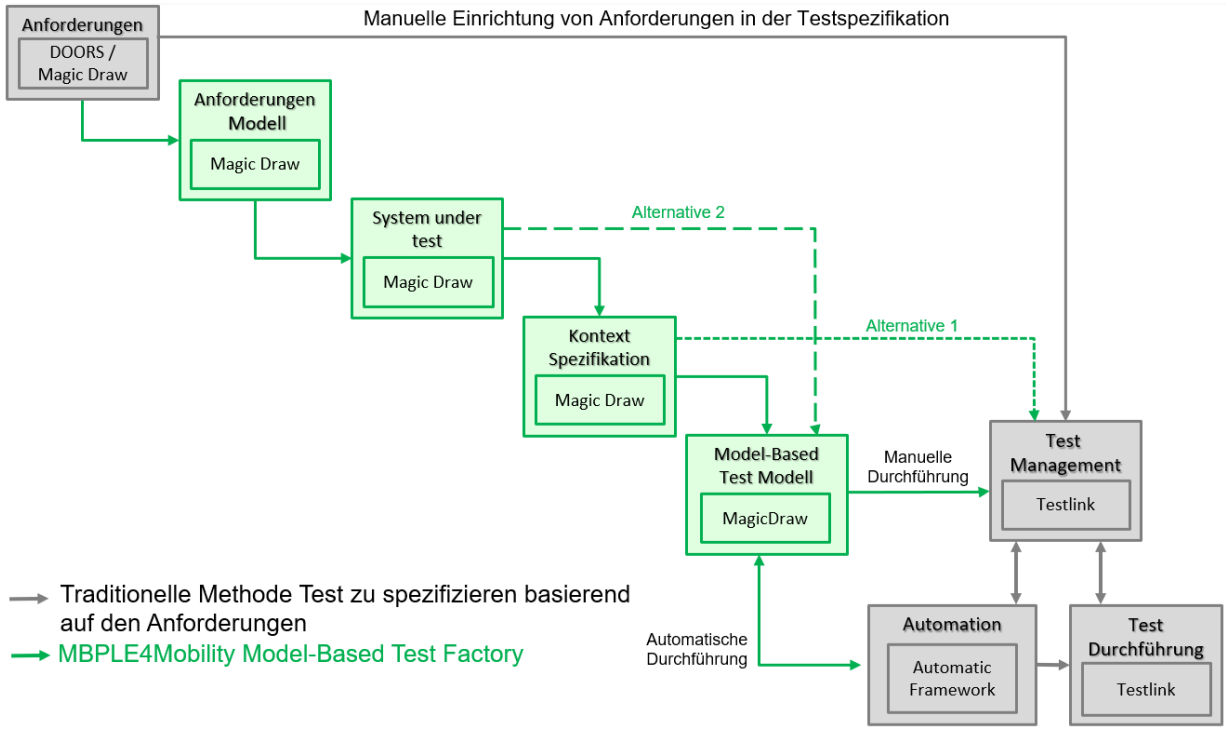

Abbildung 3: Grafische Darstellung der Model-Based Test Factory. Vergleich mit der traditionellen Methode.

1. *Anforderungen Modell*: Mit Hilfe der Core Modelling Methodologie werden Kunden-, Produkt- und Stakeholder-Anforderungen im Zusammenhang mit Interessen und Aufgaben berücksichtigt. Damit

wird ein Anforderungsmodell erstellt.

2. *SystemUnderTest*: Auf Basis des Anforderungsmodells werden Funktionen definiert, die in Use Cases gruppiert werden können und zusammen das SystemUnderTest ergeben.
3. *Kontext Spezifikation:* Im Modul werden bestimmte Szenarien modelliert. In dem so genannten Kontext- oder Szenario-Baum wird die Variabilität betrachtet.
4. *Model-Based Test:* Das Testmodell wird auf Basis, der bereits im Modul *SystemUnderTest* definierten Funktionen modelliert und parametrisiert, um ein 150%-Testmodell zu definieren. Um das Modell in einem 100%-Testmodell zu umwandeln, werden Parameterwerte zugewiesen.

Die Test Factory ermöglicht dann eine Testspezifikation zu exportieren, entweder für eine manuelle oder für eine automatisierte Testdurchführung. Für verschiedene Automatisierungs-Frameworks (z.B. Behave, Robot) enthalten diese Testspezifikationen die sogenannten Feature-Files.

4.1.2 Umsetzung des Konzeptes

HMG hat verschiedene Kombinationen von Modellierungstools evaluiert und dabei festgestellt, dass MagicDraw alle Anforderungen der Test Factory in nur einem einzigen Tool erfüllen kann. Die Nutzung von einem Tool ist außerdem schneller, effizienter und günstiger.

Für die Test Factory im Forschungsprojekt hat HMG ein agnostisches Plugin in MagicDraw implementiert, dass jeder MagicDraw-Benutzer installieren kann. Jedes genannte Modul entspricht in der Implementierung des Plugins einem MagicDraw Workspace.

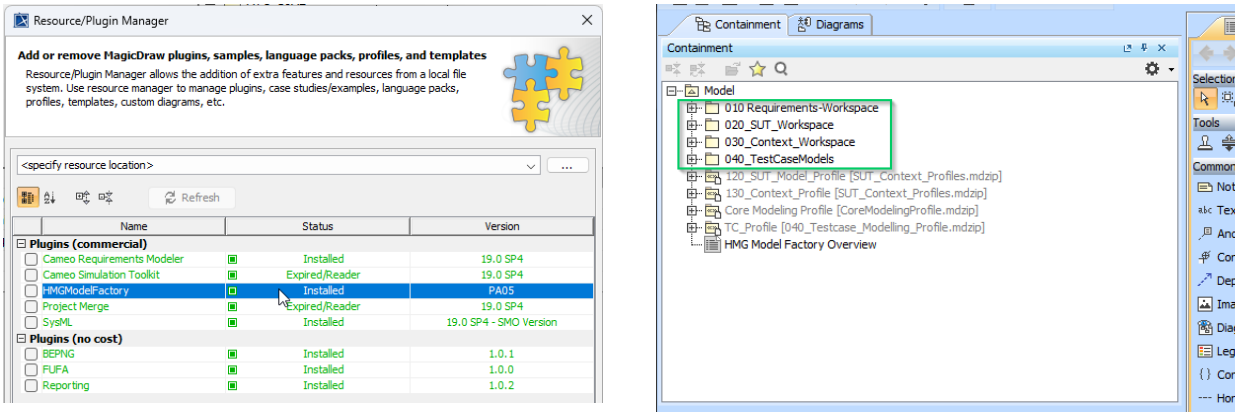

Abbildung 4: Installation des Test Factory Plugins in MagicDraw und Bereitstellung der Module im Arbeitsbereich

4.1.3 Validierung und Anwendung

Testfälle, die der GoA2 ATO entsprechen, wurden in der Test Factory implementiert.

Die Validierung in einer Testumgebung wurde aufgrund der Nichtverfügbarkeit einiger Komponenten in der Testumgebung des GoA2-Systems nicht vollständig abgeschlossen.

Als Verifikation wurde beschlossen, die Testspezifikation in der modellbasierten Test Factory eines ähnlichen Systems durchzuführen, das in einer bestehenden Testumgebung validiert werden konnte. Auf diese Weise wurde die Spezifikation für das Geschwindigkeitsbegrenzungssystem (System Limit) erstellt.

Diese Spezifikation umfasste:

1. Realisierung des Anforderungsmodells
2. Erstellung der Funktionsbibliothek. SystemUnderTest
3. Erstellung des Testfallmodells
4. Parametrisierung des globalen Modells zur Verwendung in verschiedenen spezifischen Projekten, z.B. ICx und MIREO
5. Definition von Variablen und Parametern:
    a. Globale Variablen: z.B. Geschwindigkeitsbegrenzung
    b. lokale Variablen: z.B Aktuelle Geschwindigkeit
6. Generierung und Export der Testspezifikation in XML aus MagicDraw
7. Import der Testspezifikation in das Testmanagement-Tool
8. Export und Import der Traceability-Matrix (TestCase vs. Requirements)

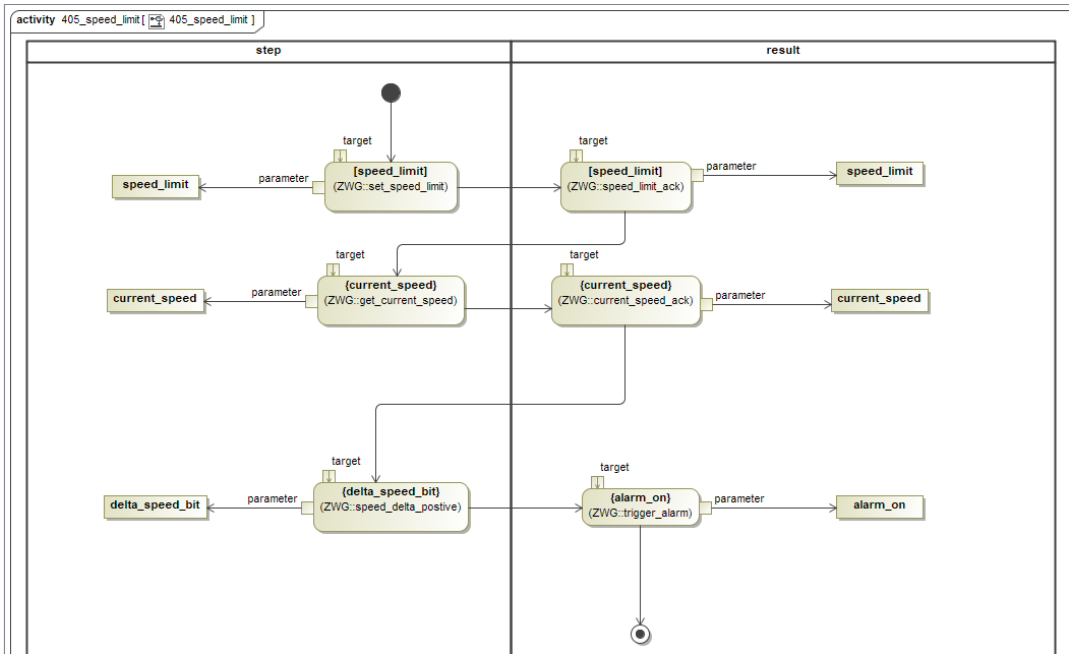

Abbildung 5: Test Modell in MagicDraw

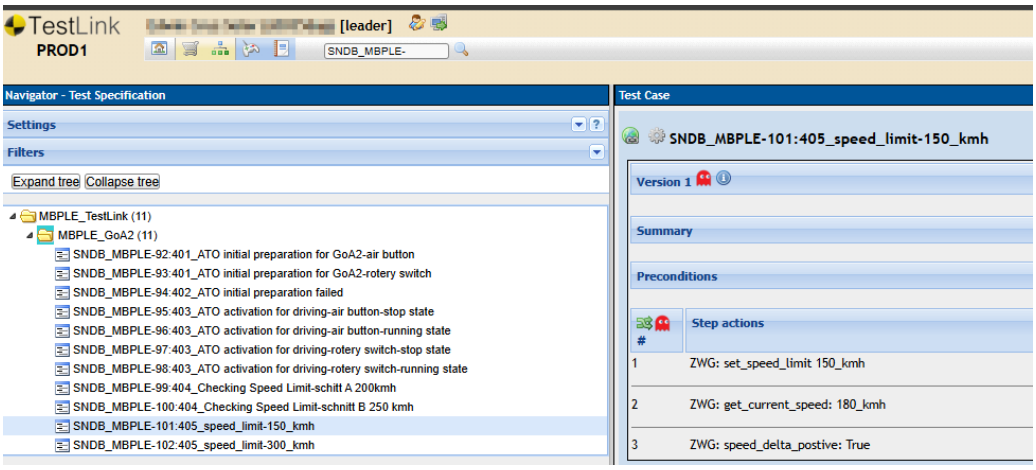

Abbildung 6: Importiertes Testmodell im Testmanagement Tool

4.2 Anwendungsfall der HMG Model Based Test Factory

Im Folgenden wird die praktische Anwendung der Model Based Test Factory für die Generierung einer Testspezifikation für die Geschwindigkeitsbegrenzungsfunktion eines Zuges ausführlich dargestellt.

4.2.1 Test Modellierung

Zunächst wird überprüft, dass die Installation des Plugins der Test Factory korrekt abgelaufen ist. Das Plugin stellt die Arbeitsbereiche der Test Factory zur Verfügung.

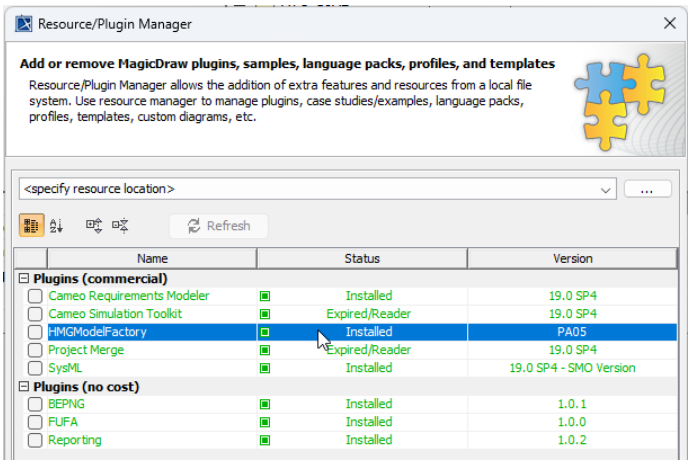

Abbildung 7: Installation des Test Factory Plugins in MagicDraw

Jedes Modul der Test Factory entspricht in der Implementierung des Plugins einem MagicDraw Workspace.

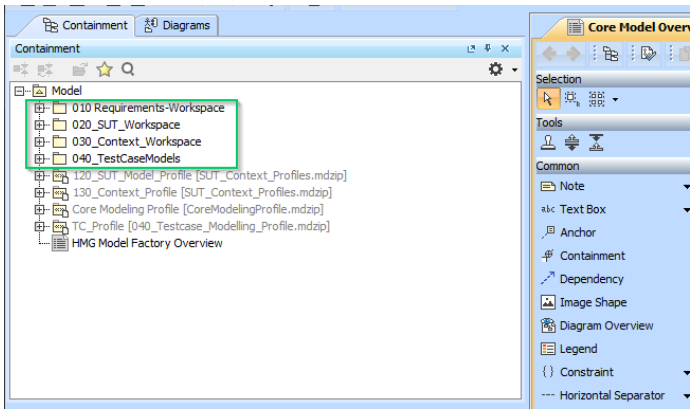

Abbildung 8: Bereitstellung der Module im Arbeitsbereich

Basierend auf den vorhandenen Anforderungen (Produkt-, Kunden- und aus dem Core Modell abgeleiteten) wird ein Anforderungsmodell erstellt.

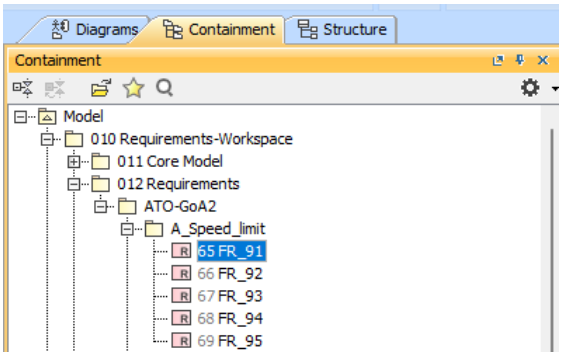

Abbildung 9: Anforderungsmodell

Nachdem die Anforderungen modelliert sind, werden die Funktionen definiert, die getestet werden können. Die Funktionen werden dann in einer Funktionsbibliothek gruppiert. Diese Gruppierung grenzt auch das *SystemUnderTest* ab.

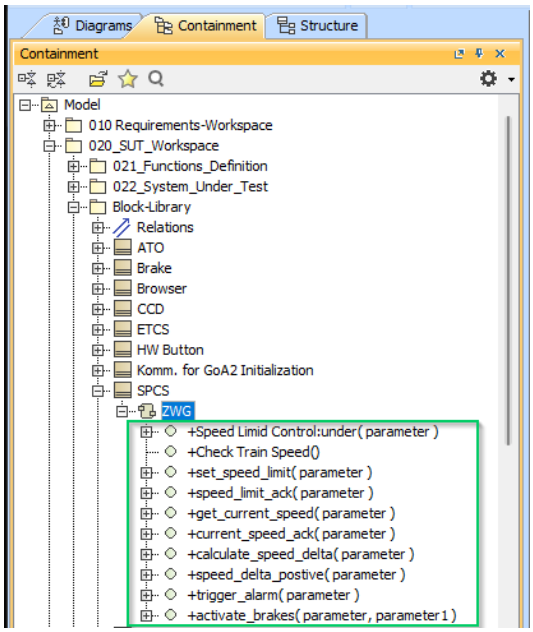

Abbildung 10: Funktionsbibliothek im SystemUnderTest Modul

Jetzt wird ein Testfall modelliert. Der erste Schritt besteht darin, ein Aktivitätsdiagramm zu erstellen.

Für die Modellierung der Testfälle wird eine grafische Darstellung mit Step-/Result-Spalten verwendet. Die Vorteile dieser Art der Darstellung sind:

1. Leichte Parametrisierung des Modells
2. Möglichkeit des Exports des Modells in einer Step-File Struktur für die spätere Testautomatisierung

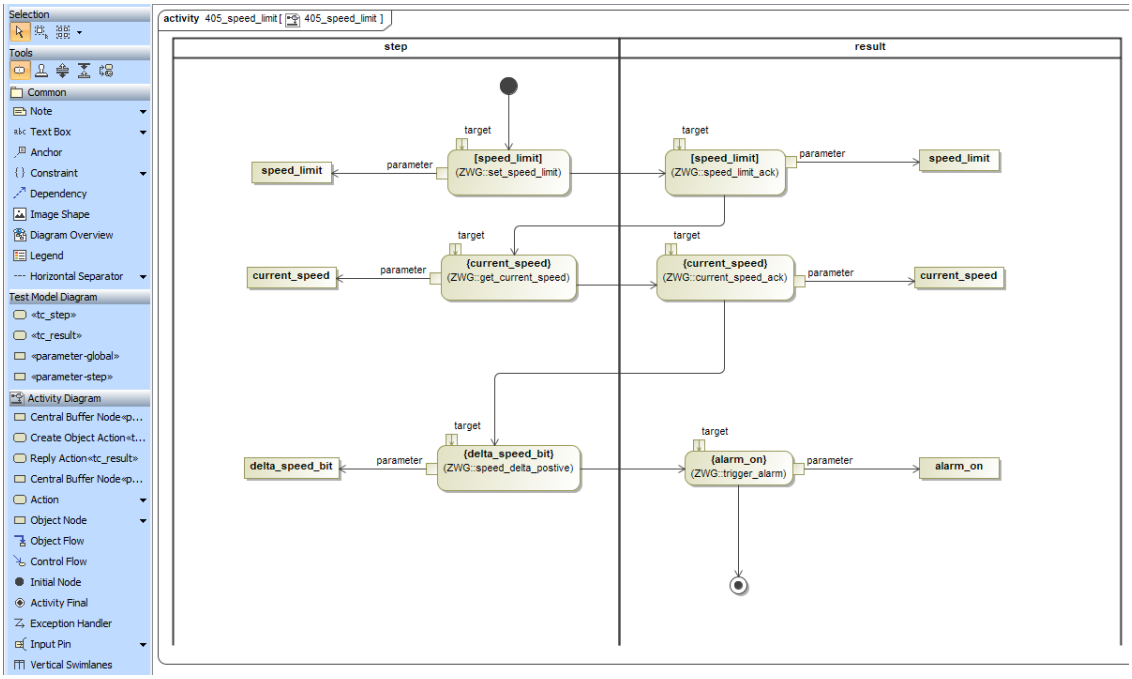

Abbildung 11: Testfall Modell im Test Model Modul

Durch Drag-and-drop ermöglicht die Test Factory die Verwendung von zuvor definierten Funktionen im SUT-Workspace bei der Modellierung eines Testfalls.

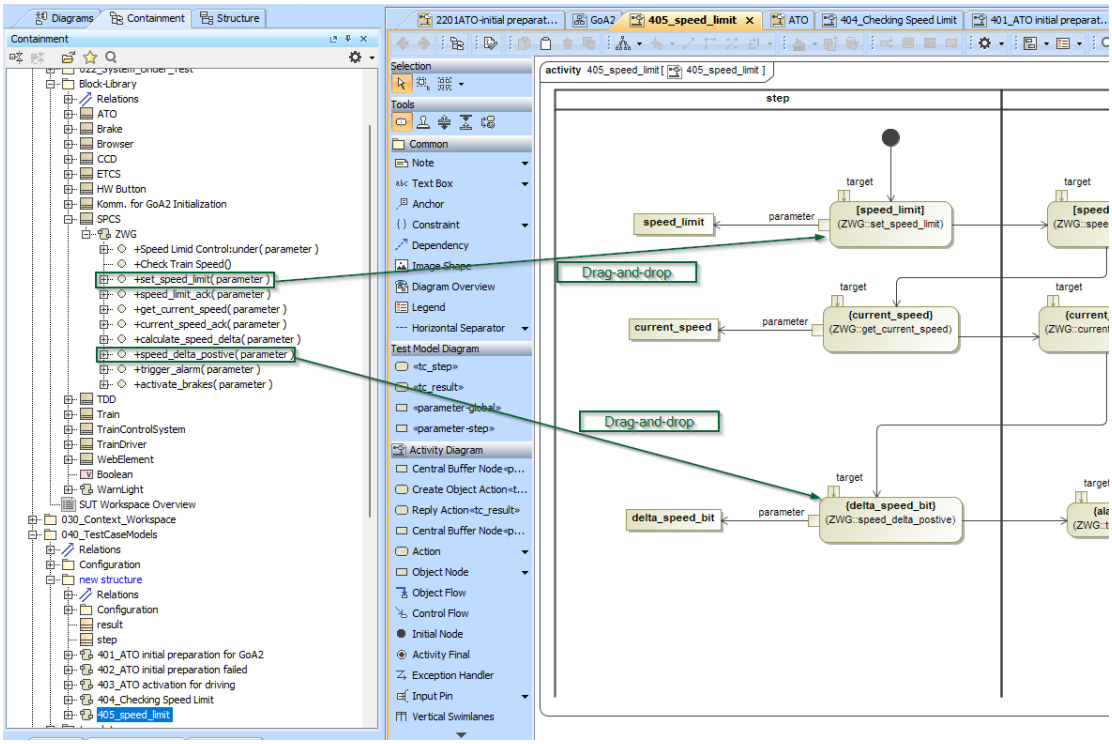

Abbildung 12: Verwendung von bibliotheksdefinierten Funktionen als Testschritte

Anschließend werden die Anforderungen mit den Testfällen in der Traceability Matrix verknüpft.

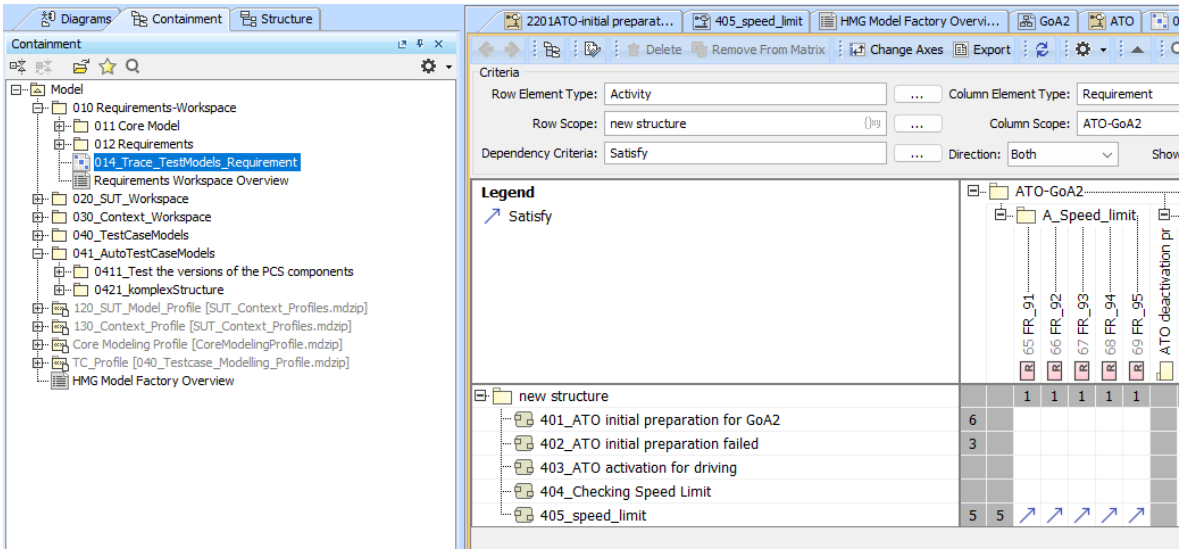

Abbildung 13: Traceability Matrix. Anforderungen und Testfälle

4.2.2 Parametrisierung

In diesem Modell wird die Verwendung von globalen und lokalen Parametern dargestellt. Die globalen Parameter sind ausschlaggebend für die Anzahl der Testfälle.

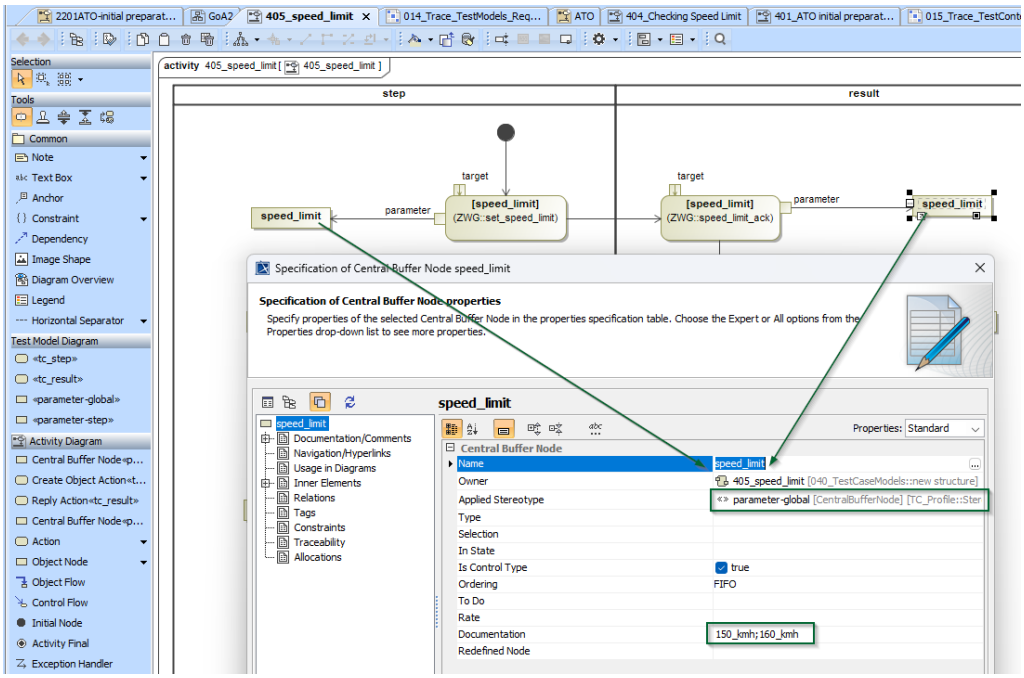

Abbildung 14: Definition der globalen Parameter im Testmodell

In diesem Fall die Höchstgeschwindigkeit des Zuges. Lokale Parameter sind Werte, die im Modell mehrfach verwendet werden.

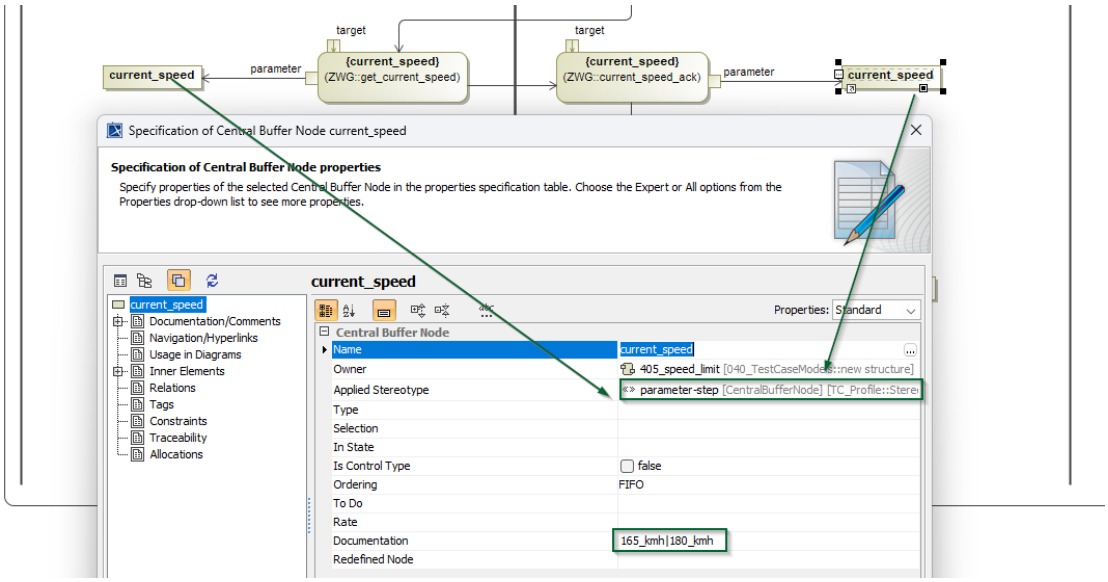

Abbildung 15: Definition der lokalen Parameter im Testmodell

In diesem Fall ist es mit Hilfe der MagicDraw-Werkzeuge möglich, die zuvor festgelegten Parameterwerte zu bearbeiten und zu überprüfen.

Auf diese Weise kann jedes der Modelle parametrisiert werden. Damit wird aus dem 150%-Testmodell ein SysML-basierter Testfall.

4.2.3 Variabilität

Die HMG Test Factory berücksichtigt die Variabilität verschiedener Projekte. Mit dieser Methode wird das 150%-Testmodell zu einem bestimmten Projekt angepasst.

Es wird eine Testspezifikation für ein Projekt generiert (z.B ICx). Anschließend kann aus dem gleichen 150%-Testmodell mit anderen Parameterwerten eine neue Testspezifikation für ein anderes Projekt generiert werden (zB MIREO). Dazu werden die Variablen definiert, die dem Modell zugewiesen werden sollen. In diesem Fall werden zunächst die Variablen für das ICx-Projekts berücksichtigt. Anschließend werden die Parameter für das MIREO-Projekt definiert (mit anderen Parameterwerten).

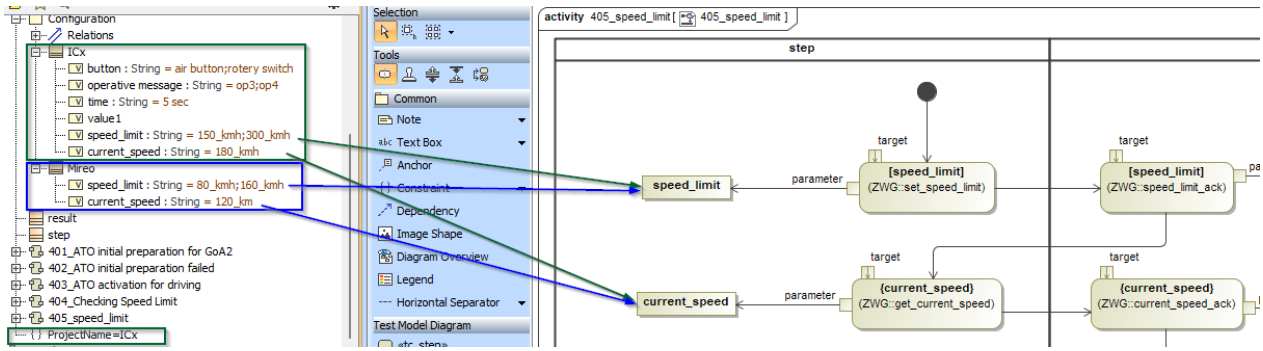

Abbildung 16: Variabilität bei der Nutzung von verschiedenen Parameterwerten im gleichen Testmodell

Der Test Factory Plugin ermöglicht es die Testspezifikation für unterschiedliche Projekte zu benutzen. Darum wird der Name des Projekts von ICx in MIREO geändert. Die Parameterwerte werden in der Spezifikation automatisch aktualisiert.

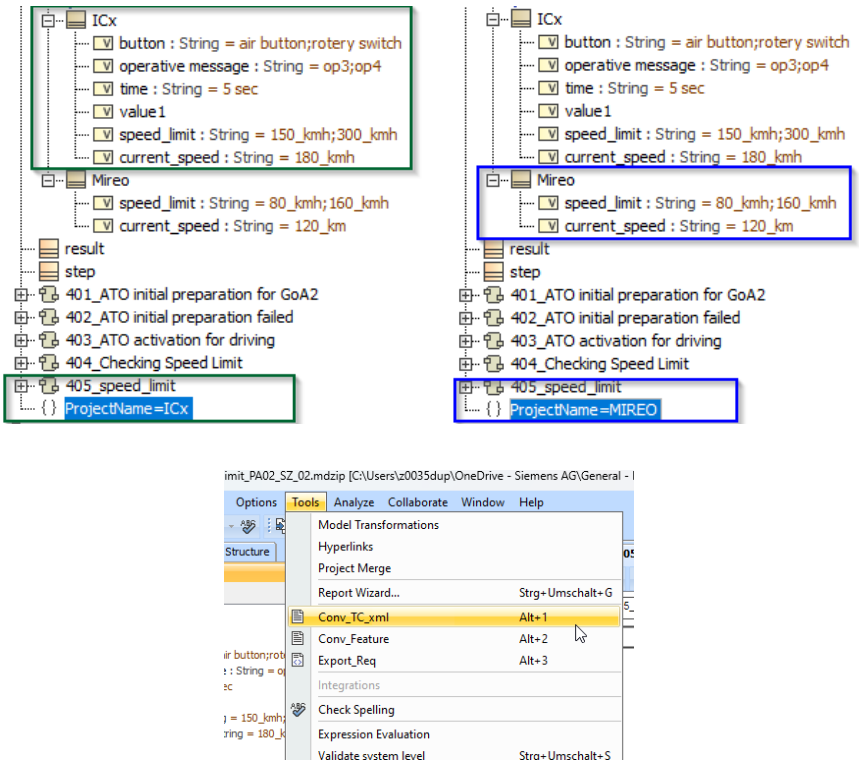

Abbildung 17: Variabilität bei der Generierung von verschiedenen Testspezifikationen aus dem gleichen 150%-Testmodell

Anschließend wird die Testspezifikation in einer XML-Datei für das ICx oder das MIREO-Projekt generiert und exportiert.

```
<testcase name = "405_speed_limit-150_kmh">
<steps>

<step>
<step_number>1</step_number>
<actions>ZWG: set_speed_limit 150_kmh</actions>
<expectedresults>ZWG: speed_limit_ack 150_kmh</expectedresults>
</step>
```

Abbildung 18: Generierte Testspezifikation im XML Format.

Die XML-Datei kann einfach in ein Testmanagement-Tool importiert werden. In diesem Fall TestLink.

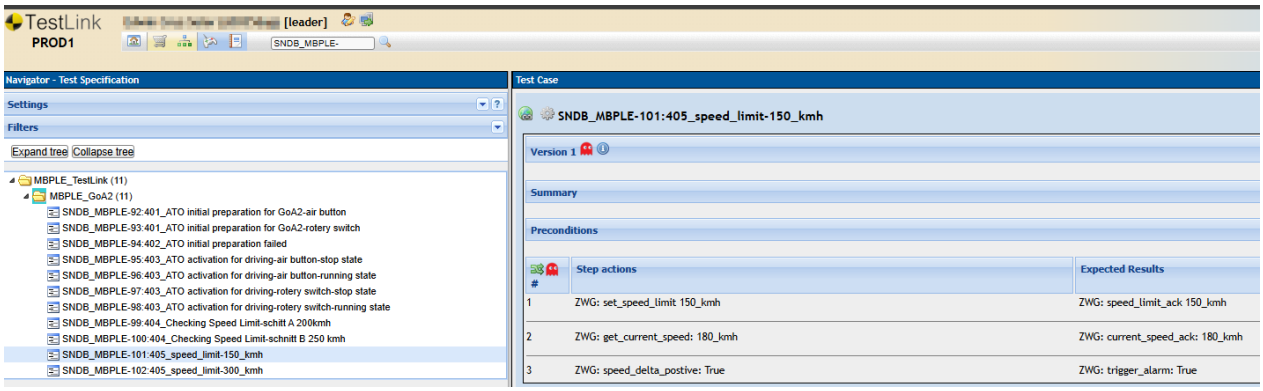

Abbildung 19: Importierte Testspezifikation im Testmanagement Tool

4.2.4 Traceability der Anforderungen

Die Test Factory von HMG kann die Anforderungen in eine flache Datei exportieren, so dass die Anforderungen in eine Anforderungsbibliothek importiert werden können, um ihre spätere Nachvollziehbarkeit zu erleichtern.

Durch die Ausführung des von HMG entwickelten Plugins werden die Anforderungen in eine XML-Datei exportiert. Diese Datei kann dann in das Testmanagement-Tool importiert werden. In diesem Fall TestLink.

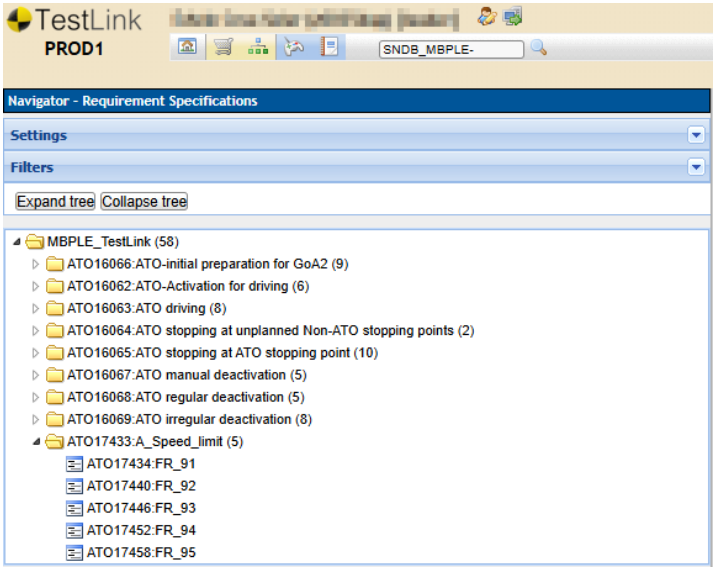

Abbildung 20: Importierte Anforderungen im Test Management Tool

Die HMG Test Factory kann die Traceability-Matrix (TestCase vs Requirement) exportieren, um die Traceability der Spezifikation im gleichen Testmanagement-Tool sicherzustellen.

Zunächst wird die Traceability-Matrix mit der entprechenden MagicDraw-Funktion in eine *.csv-Datei

exportiert.

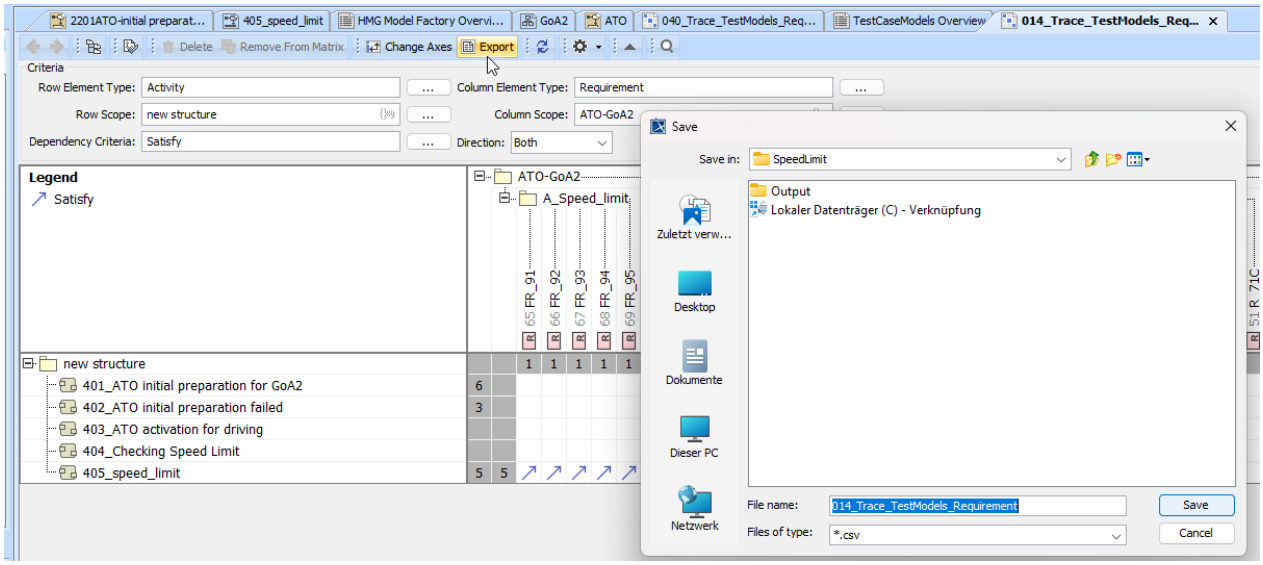

*Abbildung 21: Export der Traceability-Matrix von MagicDraw in *.csv Format.*

Über den Inhalt der Traceability-Matrix werden die Anforderungen mit dem entsprechenden Testfall im Testmanagement Tool verbunden. In diesem Fall Testlink. Dies ist eine Fähigkeit des Plugins der HMG Test Factory.

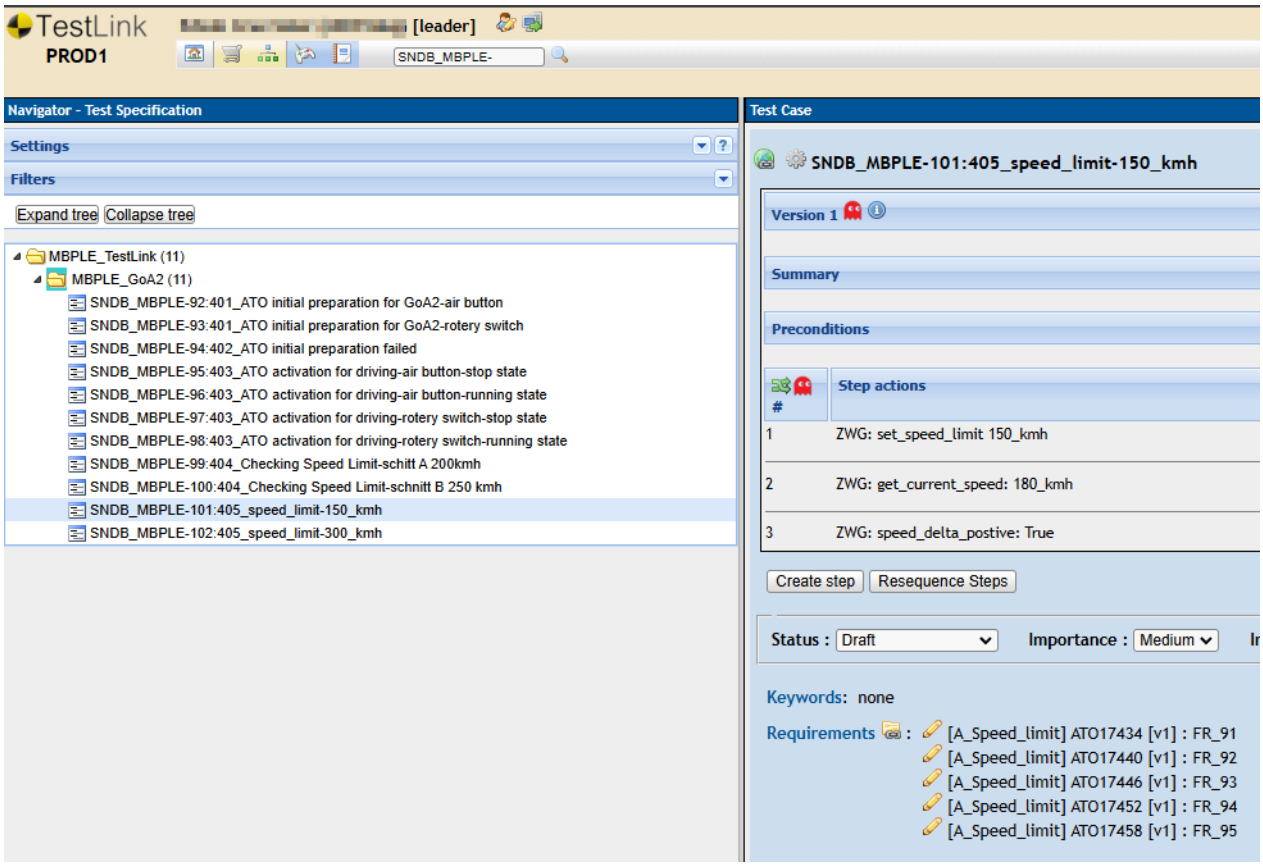

Abbildung 22: Import der Traceability-Matrix in das Testmanagement-Tool

4.3 Ressourcen während der Projektdurchführung

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Punkte zusammengefasst, die sich auf die Ausführung der Ressourcen während der gesamten Projektdurchführung auswirkten.

6-Monatszeitraum	Auswirkung der Ressourcen
01.07.2021 - 31.12.2021	Der Zuwendungsbescheid vom BMWI ist kurz nach dem geplanten Projektstart eingegangen, deshalb hatte HMG keine Möglichkeit, alle geplanten Mitarbeiter rechtzeitig im Projekt einzusetzen. Darüber hinaus hat sich rausgestellt, dass ein weiteres Arbeitspaket mit Fokus auf die Teststrategie und das Anforderungsmanagement notwendig ist. Thema der neuen Arbeitspakete ist die Erstellung eines integrierten Testkonzepts über alle Testebenen hinweg. Dieses Arbeitspaket wird ab Januar 2022 kreiert und kostenneutral finanziert. Die mit diesen Ausgaben verbundenen Aktivitäten des Jahres 2021 wurden in das Jahr 2022 verschoben und werden mit dem übrigen Budget gedeckt: 12 Personenmonate.

01.01.2022 - 30.06.2022	Aufgrund des derzeit angespannten Arbeitsmarktes konnten wir die für das Projekt benötigten neuen Mitarbeiter noch nicht einstellen, weshalb wir bisher geringere Personalkosten als geplant hatten. Derzeit führen wir eine intensive Suche durch und planen, dass wir im September 2022, zwei Mitarbeiter einstellen werden.
01.07.2022 - 31.12.2022	Aufgrund des derzeit angespannten Arbeitsmarktes konnten wir die für das Projekt benötigten neuen Mitarbeiter noch nicht einstellen, weshalb wir bisher geringere Personalkosten als geplant hatten. Trotz intensiver Suche hatten wir im September 2022 keine zusätzlichen Mitarbeiter für das Projekt gewinnen können. Erst im März 2023 erwarten wir Zuwachs für das Team.
01.01.2023 - 30.06.2023	Die Suche nach Fachpersonal war erfolgreich und ab April 2023 konnten wir 4 neue Mitarbeiter in das Team integrieren. Die Fortschritte bei den verschiedenen Arbeitspaketen belegen, daß das Projekt dadurch beschleunigt wurde.
01.07.2023 - 31.12.2023	In der zweiten Hälfte des Jahres 2023 konnten wir ein größeres Team für das Projekt einsetzen, wodurch wir die Entwicklung und Umsetzung der Plattform beschleunigen konnten. Allerdings wir müssen mit Personalfluktuationen rechnen, die uns dazu zwingen, unser Team immer wieder zu reorganisieren.
01.01.2024 - 30.06.2024	Aus dem Vergleich zwischen der Planung und der jetzigen Implementierungszustand, sind wir nicht in der ursprünglichen Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung. Unser Budget wird im 3. Quartal 2024 voraussichtlich vollständig verbraucht werden. Trotzdem werden wir unsere HMG Modellbasierte Test Factory bis Ende des 4. Quartals 2024 kostenneutral validieren.
01.07.2024 - 31.12.2024	Mit dem verbleibenden Budget wurden zwei Ressourcen zugewiesen, um die verbleibenden Aufgaben bis 3Q24 zu erledigen. 4Q24 wurde kostenneutral ausgeführt. (Ende des Projekts)

Tabelle 4: Auswirkung der Ressourcen währen der Ablauf des Projekts

4.4 Erzielte Ergebnisse

Mit der Entwicklung und Implementierung der Model-Based Test Factory wurden die bereits erwähnten HMG-Ziele in MBPLE4Mobility erreicht.

Mit dieser Implementierung hat HMG:

1. *digitale Transformation im Prozess der Testspezifikation und –generierung* implementiert.
2. *digitale Transformation in der Verifikation* (Fokus auf sicherheitsrelevante Systeme) umgesetzt und damit die *Innovationsfähigkeit der Firma* verstärkt und erhöht.
3. die Methode zur *Optimierung des Testens* bei großen, komplexen Schienenfahrzeugprojekten angewendet (MagicDraw Plug-in).

4.4.1 Eigenschaften und Vorteile der Model-Based Test Factory

Die entwickelte Methode sowie ihre Umsetzung durch eine Model-Based Test Factory haben die folgenden allgemeinen Vorteile:

HMG Test Factory Feature	Beschreibung	Vorteile
Test Case Modellierung	Die Test Factory wird mit einem systematischen Modellierungsprozess aufgebaut, um ein 150%iges Testmodell zu erhalten.	✓ Vollständigkeit der Testabdeckung
Variabilität und Parametrisierung (150%-Testmodell)	Umsetzung des Plattformkonzepts - Variabilität auf der Grundlage globaler und lokaler Parameter Hohe Wiederverwendbarkeit dank der Variabilität im Modell	✓ Zeitersparnis von 50% für die Generierung der Testspezifikationen ✓ Reduzierung Projektlaufzeiten und Kosten ✓ Konsistenz in der Testspezifikationen unterschiedlicher Projekte
Anforderungen Traceability	Modell kann in das Test Management Tool importiert werden	✓ Risikominimierung durch vollständige Rückverfolgbarkeit

Tabelle 5: Eigenschaften und Vorteile der Model-Based Test Factory

Die Modellierung, Parametrisierung, Variabilität und Rückverfolgbarkeit erhöhen die Wiederverwendbarkeit von Testspezifikationen, verbessern die Konsistenz von Projekten und sparen bis zu 50% Zeit und Ressourcen. Einsparungen führen zu einem geringeren ökologischen Fußabdruck.

4.4.2 Eignungsprüfung HMG

Im Vorhabens-Dokument hat HMG drei Kriterien zur Eignungsprüfung definiert.
HMG hat technologische Fortschritte im Rahmen der Digitalisierung, Variabilität, Wiederverwendbarkeit und Nachvollziehbarkeit.
Wie bei allen technologischen Fortschritten gibt es am Anfang Widerstand gegen neue Prozesse. Die Akzeptanz der Model-Based Test Factory liegt bei 75%.
Der zeitliche Aufwand für die Erstellung der Testspezifikation wurde um 50% reduziert, insbesondere durch die Wiederverwendbarkeit des Testmodells und die Berücksichtigung der Variabilität.

Kriterium	Nachweise
Technologischer Fortschritt	✓ Digitalisierung ✓ Variabilität der Testspezifikationen

	✓ Durchgängige Traceability
Akzeptanz	✓ Akzeptanz – 75%
Beschleunigung Entwicklungsprozess	✓ Zeit für Testspezifikation und ✓ -generierung reduziert um 50%

Tabelle 6:: Kriterium der Eignungsprüfung von HMG

4.4.3 Technologischer Reifegrad

Basierend auf dem Konzept der Model-Based Test Factory und dank der Prototyp-Implementierung und dem Test in einer realen Testumgebung ist HMG der Ansicht, dass ein technologischer Reifegrad (TRL) von sieben erreicht wurde.

Technologiebereich im Projekt	Bewertbare Teilziele	TRL* zu Projektbeginn	TRL* zu Projektende
HMG für Modell basierten Test	Testmodellierung und automatische Generierung von Testfällen für Produkt-Varianten	1	7
HMG für Modell basiertes Systems Engineering	Test Model Factory	2	7

Tabelle 7: Entwicklung des technologischen Reifegrades durch HMG

4.4.4 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Veröffentlichungen und Vorträge wurden erstellt. Im Berichtszeitraum wurde folgender Beitrag zur Konferenz und die gemeinsame Veröffentlichung aller Projektpartner für den "Systems Engineering Day 2022 in Paderborn" eingereicht:

Arestova, A. et.al: „Forschungsprojekt MBPLE4Mobility: Mastering Complex Transportation Systems with a High Degree of Variability“, 2022

HMG beabsichtigt, die Model Based Test Factory für die automatische Generierung von modellbasierten Testspezifikationen und Variabilität zu patentieren. Zusätzlich die Erstellung und Veröffentlichung einer wissenschaftlichen Arbeit. Dies sind Aktivitäten, die im Jahr 2025 durchgeführt werden sollten.

5 Literaturverzeichnis

[1] MBPLE4Mobility Vorhaben Beschreibung. Antrag zur Förderung im Rahmen des Fachprogramms „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. 26.04.2021

[2] NKBF 98. Nebenbestimmungen (für Zuwendungen auf Kostenbasis des Bundesministeriums für Bildung und Forschung an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben). BMWK-Vordr. 0348a/07.15_2. April 2006

[3] R. Kochseder, J. Rettner, W. Höfler, S. Horn, B. Dielmann, „Komplexität beherrschen mit Core Modeling“ Tag des Systems Engineering. Erlangen, 2016

[4] Constantine, Larry L.: Software for Use: A Practical Guide to the Models and Methods of Usage-Centered Design, Addison-Wesley, 1999

[5] S. M. A. S. R. Friedenthal, A practical guide to SysML: The Systems Modeling Language., Waltham, Elsevier., 2012

[6] I. Schieferdecker, „Modellbasiertes Testen,“ OBJEKTspektrum, 2007

[7] A. Pretschner, „Zur Kosteneffektivität des modellbasierten Testens,“ MBEES. Informatik-Bericht (Giese H., Rumpe, B., Schätz, B.), Braunschweig, 2006

[8] R. V. Binder, B. Legeard und A. Kramer, „Model-Based Testing: Where Does It Stand?,“ Communications of the ACM, pp. 52-56, 2015.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes MBPLE4Mobilty hat die HMG Systems Engineering GmbH die Methodologie „HMG-Model Based Test Factory“ entwickelt und implementiert. Die Methodologie und ihre Umsetzung in einer Werkzeugkette ermöglichen die automatische Erstellung einer Testspezifikation, die für verschiedene Projekte und Kunden anwendbar sein kann. Das Methodologiekonzept wurde unabhängig von jeglichen Modellierungswerkzeugen definiert. Damit kann die Test Factory flexibel mit auf dem Markt verfügbaren Werkzeugen für Modellierung und Testmanagement angewendet werden.

Die Test Factory besteht aus 4 Modulen, die von den Systemanforderungen bis hin zur Testspezifikation für die manuelle oder automatische Testausführung miteinander verbunden sind. Durch die Core Model-Methodik ermöglicht die Test Factory die Analyse von System-, Produkt- und Kundenanforderungen zusammen mit Interessen und Aufgaben für die Erstellung eines sauberen Anforderungsmodells. Anschließend ermöglicht die Test Factory die Erstellung von Testmodellen mit SysML-Artefakten, die Funktionen verwenden, die in Bibliotheken gruppiert und entsprechend dem SystemUnderTest klassifiziert sind. Das Testmodell wird auf globaler und lokaler Ebene parametrisiert, wodurch ein allgemeines Testmodell oder ein 150%-Testmodell bestimmt wird. Durch die Zuweisung von Szenarien und projektspezifischen Parameterwerten wird automatisch anhand eines 100%-Testmodells eine Testspezifikation für das jeweilige Projekt generiert. Die Test Factory ermöglicht die Generierung von Spezifikationen für die manuelle oder automatische Testdurchführung.

Die Modellierung, Parametrisierung, Variabilität und Rückverfolgbarkeit erhöhen die Wiederverwendbarkeit von Testspezifikationen, verbessern die Konsistenz von Projekten und sparen bis zu 50% Zeit und Ressourcen. Einsparungen führen zu einem geringeren ökologischen Fußabdruck.

HMG hat die geplanten Ziele für das Projekt innerhalb des Zeit- und Kostenrahmens erfolgreich erreicht. Auf der Grundlage der erzielten Ergebnisse beabsichtigt HMG nach Abschluss des Projekts 2025, die Methode zu patentieren. HMG möchte die Methode wirtschaftlich verwenden und damit zur Verringerung des Aufwands für unsere Kunden anzubieten.

Das Projekt hat die BMWK-Ziele im Rahmen der Dekarbonisierung durch die Förderung modellbasierter Mobilitätsentwicklungsprojekte unterstützt.

Anhang 1: Detaillierter Ablauf des Projekts

Es folgt eine detaillierte Beschreibung der Aktivitäten, die in jedem abgeschlossenen 6-Monatszeitraum während der Projektlaufzeit durchgeführt wurden. Eine technische Beschreibung jedes Arbeitspakets ist ebenfalls enthalten.

Zeitraum	01.07.2021 - 31.12.2021
AP1 -Definition von Modellierungskonzepten zur Wiederverwendung von Entwicklungsartefakten (MBPLE	Ergebnis 1 – Entwurf eines integrierten Modellkonzepts für System- und Testmodellierung: Es wurde ein Modellkonzept entworfen, das eine durchgängige Modellierung des Intended Use bis hin zu Systemebenen mit graduellem und systematischem Übergang von Problem- zu Lösungsraum erlaubt. Dieser Übergang beginnt mit einem Modell der Problemdomäne („Kernmodell“), das Anforderungen in neutralisierter Form (nicht spezifisch für konkrete Kundenprojekte) repräsentiert. Das resultierende Use Case Modell bildet eine gemeinsame Basis für die nächsten, voneinander unabhängigen zwei Schritte: System- und Testmodell. Siehe hierzu die Abbildung MBPLE4Mobility_MBT_Konzept.pdf im Anhang. Das Modellkonzept wurde von HMG entwickelt und im Rahmen der Abstimmung mit den Projektpartnern angepasst. Ergebnis 2 – Erstellung des Problemraum-Kernmodells für den Betrieb von Zügen („Train in Operation“) mit der Methode „Core Modeling“: Als Vorarbeit für den Proof-of-Concept und als Basis für die Methodendiskussion mit dem Projektpartnern wurde durch HMG eine Skizze eines Problemraum-Kernmodells für den Betrieb von Zügen („Train in Operation“) erstellt, bestehend aus einem Aufgabenmodell (Essential Use Cases), Interessenmodell und einer exemplarisch gefüllten Balance Matrix. Das Problemraum-Kernmodell dient als Basis, um einen geeigneten Domänenausschnitt für den „Durchstich“ im Rahmen des Proof-of-Concept (AP 3) zu wählen. Darüber hinaus ermöglicht es die Identifikation der GoA2-Relevanten Themen und legt somit die Basis für ein GoA2-Kernmodell (AP 5).
AP2 - Spezielle Aspekte	Die Überprüfung des existierenden Anforderungsmanagements wurde begonnen. Die weiteren Inhalte von AP 2 sind für den Kontext des Proof-of-Concept (AP3) geplant.
AP 3: Evaluierung von MBSE mit PLE anhand eines einfachen Beispiels	Für das AP 3 wurde von HMG folgender Plan erarbeitet: 1. Auswahl eines geeigneten Use Cases (mit GoA2-Thematik) anhand des in AP 1 erzeugten Problemraummodells (Core Model); 2. Verwendung dieses Use Cases zum Erstellen des MBT Testmodells; 3. Exemplarische Ausleitung der Testspezifikation aus dem Testmodell; 4. Verwendung eines Variabilitätsmodells zum Explorieren der Konfigurierbarkeit und Parametrisierbarkeit des Testmodells.
AP4 - Entwicklung von Werkzeugen/Prozessen	Ergebnis 1 – Auf Basis der SMO-Toolkette sind die Anforderungen an die Toolkette identifiziert worden: 1. Für Core Modeling und Model-Based Testing müssen die entsprechenden Artefakte, Attribute und Diagrammtypen geschaffen werden. 2. Die Generierung von Testspezifikationen aus MagicDraw muss implementiert und ihre Übertragung nach TestLink umgesetzt werden. Ergebnis 2 – Identifikation des geeigneten Tools für die Erstellung der Modelle: MagicDraw. Ergebnis 3 – Identifikation des geeigneten Tools für das Test Management: TestLink

AP5 - Exemplarischer Nachweis SMO Modellierung des übergreifenden Systems Schienenverkehr	Als Vorbereitung für die Erstellung eines GoA2-Problemraummodells (Core Model) wurde von HMG ein flexibles Konzept für die gemeinsame Arbeit in Workshops über Videokonferenzwerkzeuge erarbeitet. Andere wesentliche Ereignisse - Erreichte Meilensteine Im Berichtszeitraum lag kein Meilenstein. - Veröffentlichungen und Vorträge Im Berichtszeitraum wurde keine Veröffentlichung eingereicht. Es wurden keine öffentlichen Vorträge gehalten.

Tabelle 8: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.07.2021 - 31.12.2021

Zeitraum	01.01.2022 - 30.06.2022
AP1 -Definition von Modellierungskonzepten zur Wiederverwendung von Entwicklungsartefakten (MBPLE	Ergebnis 3 - Anpassung des integrierten Modellkonzepts für System- und Testmodellierung anhand von Erkenntnissen aus dem PoC (AP3) Das Modellkonzept wurde anhand der Ergebnisse des „Proof of Concepts" angepasst und erweitert. Hierbei wird eine durchgängige Modellierung mit einem graduellen und systematischen Übergang von Problem- zu Lösungsraum weiterhin angestrebt. a) Es wurde festgestellt, dass die rechte und linke Seite des V-Modells voneinander unabhängige Modelle benötigen, damit wesentliche Aspekte der Normenkonformität, Sicherstellung der Testabdeckung und Reviews der Testszenarien sichergestellt werden können. b) Das im AP1 vorgeschlagene gemeinsame Use Case Modell" wird durch ein „integriertes Use Case Modell" ersetzt. c) Das MBT Konzept wurde um eine Top-Down Betrachtung erweitert.
AP2 - Spezielle Aspekte	Noch nicht angefangen
AP 3: Evaluierung von MBSE mit PLE anhand eines einfachen Beispiels	Ergebnis 1 - für die Teststrategie und Strukturierung wurden folgende methodische Aspekte identifiziert: a) Die Use Case-Struktur bzgl. Integrierbarkeit wurde aus Testsicht in ein hierarchisches Ablaufmodell definiert. b) Die hierarchische Ablaufstruktur kann auf der Basis des Core Modell als top-down definiert werden. c) Für eine eindeutige Test-Scope-Definition ist eine Ergänzung der existierenden Use Cases notwendig. d) Das Tracing von Requirements zu Use Cases und zu Testszenarien ermöglicht eine eindeutige Nachverfolgbarkeit. e) Die automatische Modellparametrisierung und Testgenerierung sind nicht für alle Test- Ebenen geeignet. Für die Auswahl der geeigneten Testebenen ist eine weitere Analyse notwendig. f) Um das Testmodell über das Featuremodell zu konfigurieren, kann ein 150% - Testmodell verwendet werden. g) Um die Testspezifikation endgültig zu definieren, können Features als Parameter für Alternativpfade verwendet werden. Folgende Schritte des bereits im ersten Zwischenbericht erstellten Plans könnten nicht durchgeführt werden, da die notwendigen Ressourcen nicht vorhanden sind: 1. Auswahl eines geeigneten Use Cases anhand des in AP 1 erzeugten Problemraummodells (Core Model. 2. Erstellen eines exemplarischen MBT Testmodells für den Use Case 3. Exemplarische Ausleitung der Systemtestspezifikation aus dem Testmodell 4. Verwendung eines Variabilitätsmodells zum Explorieren der Konfigurierbarkeit und Parametrisierbarkeit des Testmodells.

AP4 - Entwicklung von Werkzeugen/Prozessen	Auf Basis der PoC wurden User Stories identifiziert und spezifiziert, die als Basis für die Implementierung der Toolkette aus Sicht von MBT und unter Betrachtung von PLE notwendig sind.
AP5 - Exemplarischer Nachweis SMO Modellierung	Noch nicht in Bearbeitung

Tabelle 9: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.01.2022 - 30.06.2022

Zeitraum	01.07.2022 - 31.12.2022
AP1 -Definition von Modellierungskonzepten zur Wiederverwendung von Entwicklungsartefakten (MBPLE	Das integrierte Modellkonzept zur Repräsentation des „Intended Use“ (siehe vorangegangene Zwischenberichte) wurde weiter verfeinert: a) Das integrierte Use Case Modell wird realisiert in Form eines Aufgabenmodells im Problemraum (erstellt nach der Methode Core Modeling), das eng assoziiert ist mit einer Ablaufzerlegung in Form von Szenarien, die die Realisierung der Aufgaben im Lösungsraum beschreiben. Diese Top-down Ablaufzerlegung wird nach unten hin weitergeführt, wodurch eine Baumstruktur aus Szenarien entsteht, die die Verwendung der Systemfunktionalität bis hin zu einzelnen Teilsystemen oder Komponenten beschreibt. b) Durch die Herleitung des Szenariobaums aus dem Problemraum-Aufgabenmodell kann dieser den Bezug zum Intended Use in allen enthaltenen Szenarien verfügbar machen. Dies umfasst auch die Traceability zu Anforderungen, die ausgehend von der Struktur des Problemraummodells den einzelnen Szenarien zugeordnet werden. Hierzu wurde das Modellkonzept ergänzt um ein Konzept zur Repräsentation von Anforderungen im V-Modell. Im Sinne dieses Konzepts bildet die Ablaufzerlegung aus Aufgabenmodell und Szenariobaum zusammen mit textuellen Anforderungen (beispielsweise aus Kundenprojekten) die Gesamtmenge der Anforderungen, die gleichsam in der Mitte des „V“ steht und sowohl rechte Seite (Test) als auch linke Seite (Systementwurf) bedient. c) Die Modelle dieser Ablaufzerlegung sind jeweils als 150%-Modelle angelegt: Sie beinhalten die im Variabilitätsmodell vorgesehenen Varianten und können über das Modell zu 100%-Modellen transformiert werden. d) Für die rechte Seite des V-Modells (Systemtest, Teilsystemtest) kann der Szenariobaum für verschiedene Zwecke genutzt werden: a. Für die einzelnen Szenarien Entscheidungen treffen bzgl. Testvorgehen: Teststrategie (modellbasiert, automatisiert, manuell, risikobasiert, ...), Testarten (Verhaltenstest, Performance-Test, ...), jeweils benötigte Testumgebung. Basis für diese Entscheidungen sind die Abläufe im Szenario sowie die mit dem Szenario verknüpften Anforderungen. b. Ableitung von Testfällen aus den Szenarien, entweder direkt oder über die Erstellung von Testmodellen zu Szenarien (automatisierte oder teilautomatisierte Modelltransformation) c. Testmanagement: Nutzung des Szenariobaums als Übersicht über die Testabdeckung (sowohl planerisch als auch analytisch: Anzeige von Testergebnissen und anderen Performance Indicators in der Baumansicht) d. Validierung über die Traceability von Anforderungen zu Testergebnissen mit den Szenarien als Ankerpunkt.
AP2 - Spezielle Aspekte	a) Definition der Model Factory als Gesamtprozess des in AP1 erstellten integrierten Modellkonzepts für die Anwendung auf System- und Teilsystemtests. Dieser Prozess wurde mit dem Projektpartner Siemens Mobility (SMO) abgestimmt und als hierarchische Struktur aus Prozessschritten und deren Abhängigkeiten dargestellt („Funktionale Anatomie“). Diese Darstellung ist die Basis für die Ableitung von Anforderungen an die für die Realisierung der Model Factory benötigte Toolkette (siehe AP4). b) Für die zur Modellierung der Model Factory benötigten Artefakte und die damit verbundenen Artefakte des SMO-Systemmodells wurde in Zusammenarbeit mit SMO ein Metamodell erstellt. Dieses Metamodell wurde in ein Modell der Domain Engineering Artefacts integriert, sodass die Traceability zu bestehenden SMO-Systemmodellen analysiert und dargestellt werden kann.

AP 3: Evaluierung von MBSE mit PLE anhand eines einfachen Beispiels	Für den „Durchstich“ im Rahmen des Proof-of-Concept wurde das Teilsystem „GC1 – Fahren und Bremsen“ als geeignet identifiziert, weil das bestehende Systemmodell hierfür vollständig und auf dem aktuellen Stand des SMO-Modellierungskonzepts ist. Außerdem eignet sich dieses Teilsystem, weil es thematisch eng verwandt ist mit dem Inhalt des AP5 (automatisches Fahren, GoA2), sodass Erkenntnisse und Modellbestandteile des Proof-of-Concept für den Nachweis wiederverwendbar sein dürften. Ausgehend von dem im Rahmen von AP1 erstellten, skizzenhaften Aufgabenmodell (siehe Zwischenbericht 1) wurde ein Szenariobaum über vier Systemebenen bis einschließlich Teilsystem „GC1“ modelliert auf Basis der im SMO-Anforderungsmodell definierten Use Cases. Exemplarische 150%-Testmodelle wurden auf Basis einer Auswahl von Use Cases erstellt und die Generierung unterschiedlicher Test Cases durch Pfadanalyse in einem der Testmodelle demonstriert. Die Anwendung des Variabilitätsmodells zur Konfiguration des Testmodells wurde über Pfadverzweigungen realisiert, die entweder über Modelltransformation entfernt oder über Konfiguration der Parametrisierung berücksichtigt werden. Aus der Durchführung des Proof-of-Concept konnte eine Reihe von Erkenntnissen gewonnen werden: a) Um eine in sich schlüssige Szenariozerlegung zu erhalten, die insbesondere für die Testbarkeit der Szenarien optimiert ist, können bestehende Use Cases nicht direkt integriert werden (1:1-Zuordnung ist nicht durchgehend möglich). Stattdessen werden die Use Cases als Teil der Anforderungsmenge mit den Szenarien über die Traceability assoziiert. b) Szenarioschritte können automatisiert in Testfallmodelle überführt werden; zu deren Komplettierung müssen zugehörige System Responses dann aus Systemmodell oder Systembeschreibung entnommen werden. c) Integration von Varianten im Szenariomodell und Testfallmodell ist über Verzweigungen und Parametrisierung möglich.
AP4 - Entwicklung von Werkzeugen/Prozessen	Die aus dem Proof-of-Concept abgeleiteten User Stories (siehe Zwischenbericht 2 zu AP4) wurden durch funktionale Anforderungen verfeinert, die aus der Funktionalen Anatomie der Model Factory (siehe AP2) abgeleitet wurden. Diese Anforderungen wurden den verschiedenen Werkzeugen der Toolkette zugeordnet und bilden somit die Basis für Implementierungsentscheidungen. Weitere Schritte zur Realisierung der Toolkette konnten im Berichtszeitraum nicht unternommen werden, weil die personelle Ressourcenknappheit die Möglichkeiten dazu einschränkte. Um den Projektverlauf so wenig wie möglich zu gefährden, wurden die in AP5 erzielten Ergebnisse daher zunächst in einem nicht für die finale Toolkette vorgesehenen Werkzeug („Conceptboard“ (https://conceptboard.com/)) verschriftlicht und sollen nach Umsetzung der dort benötigten Anpassungen ins Zielwerkzeug (MagicDraw) übertragen werden.
AP5 - Exemplarischer Nachweis SMO Modellierung des übergreifenden Systems	Für die Anwendung der in AP1 und AP2 spezifizierten Konzepte wurde mit der Erstellung eines Problemraum-Kernmodells mit der Methode Core Modeling begonnen: a) Erstellung eines Workshopkonzepts in Abstimmung mit SMO b) Zusammenstellung eines Kernteams aus Wissensträgern für die Teilnahme an der Modellerstellung c) Abgrenzung der zu modellierenden Problemdomäne (Fokus & Scope des Modells) durch das Kernteam und Terminfestsetzung für den Workshop zur Erstellung des Aufgabenmodells (Workshop fand im Januar statt, außerhalb des Berichtszeitraums)

Tabelle 10: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.07.2022 - 31.12.2022

Zeitraum	01.01.2023 - 30.06.2023
AP1 -Definition von Modellierungskonzepten zur Wiederverwendung von Entwicklungsartefakten (MBPLE	Die Methode wurde für die Erstellung von Modelltestfällen aktualisiert und erweitert. Die Phasen Testmodellierung, Testspezifikation und Testdurchführung wurden konzeptionell definiert, die Schnittstelle zwischen die Phasen festgelegt. Es wurde eine Anpassung der Phasen der Methode vorgenommen, so dass die aus der Testmodellierung resultierende Testspezifikation sowohl bei der manuellen als auch bei der automatischen Testdurchführung verwendet werden kann. Der Umfang dieser Schritte wird im Folgenden detailliert beschrieben: a) Testmodell Auf der Grundlage von SysML wurde ein Testmodell erstellt, das die folgenden Prinzipien umfasst: 1) Die im Testmodell zusammengefassten Schritte entsprechen dem Aktivitäts- oder Workflow-Diagramm jedes Szenarios, das aus der Phase des Szenario-Modells stammt (siehe Zwischenbericht 3 zu AP1). 2) Testmodelle werden als Aktivitätsdiagramme beschrieben, die aus Testschritte bestehen. Die Reihenfolge der Ausführung dieser testschritte beschreibt einen Test-Pfad . Ein Testschritt kann entweder ein Benutzeraktion oder eine Systemreaktion sein. Ein Systemreaktion beschreibt der Antwort des Systems, der eine Benutzeraktion folgt. 3) Ein Benutzeraktion muss von einem Verifikationsschritt Systemreaktion begleitet sein. 4) Ein Systemreaktion wird von mindestens einer Prozessvariablen begleitet, die sein Verhalten bestimmt. 5) Ein Systemreaktion wird so definiert, dass er in Abhängigkeit vom Wert einer Prozessvariablen ausgeführt wird, die sein Verhalten bestimmt. 6) Ein Testfallmodell kann einen oder mehrere Test Case Set s enthalten. Jeden Test Case Set entspricht einen Test-Pfad. 7) Für jeden Test Case Set oder Test-Pfad gibt es eine Beziehung zu mindestens einer zu überprüfenden Anforderung. Mehrere Test-Pfad e oder Test Case Sets werden durch Entscheidungspunkte definiert, an denen Szenario-Variablen ausgewertet werden. b) Schnittstelle Testfallmodell nach Testspezifikation 1) Test Case Set können in einem flachen Dateiformat oder einem speziellen Format exportiert werden und müssen in ein Testmanagement-Tool importiert werden, um eine Spezifikation zu erstellen. Diese Testfälle enthalten die notwendigen Informationen für die Anforderungsabdeckung. 2) Testmanager können eine Auswahl der auszuführenden Testfälle nach dem Umfang ihrer Präferenz treffen. c) Entsprechung Testmodell Schritte zu Automatische Suite Step-files 1) Testschritte in einem Modell sind so definiert, dass sie als automatische Schritte in einer Programmiersprache implementiert werden können (Step-files). d) Mapping: Test Case Set zu Feature-file 1) Ein Test Case Set /Test-Pfad ist so definiert, dass sie/er als Feature-Datei in eine automatische Testsuite exportiert werden kann. 2) Ein Test Case Set /Test-Pfad ist so definiert, dass sie/er als Testspezifikation in ein Testmanagement-Tool exportiert werden kann.

AP2 - Spezielle Aspekte	a) Definition der Model Factory als Gesamtprozess des in AP1 erstellten integrierten Modellkonzepts für die Anwendung auf System- und Teilsystemtests. Dieser Prozess wurde als hierarchische Struktur aus Prozessschritten und deren Abhängigkeiten dargestellt („Funktionale Anatomie“). Diese Darstellung ist die Basis für die Ableitung von Anforderungen an die für die Realisierung der Model Factory benötigte Toolkette (siehe AP4). b) Mit Hilfe von Sequenzdiagrammen wurden Übersichten über die Datenflüsse zwischen den verschiedenen Komponenten der Model Factory dargestellt. Hiermit werden Artefakte zwischen Schnittstellen des Prozesses identifiziert. c) Diese Artefakte sollten vorzugsweise im Modellierungswerkzeug (z. B. MagicDraw) angepasst werden, um die Integration, den Informationsfluss und die Rückverfolgbarkeit während des gesamten Prozesses sicherzustellen.
AP4 - Entwicklung von Werkzeugen/Prozessen	a) Für die Auswahl eines geeigneten Werkzeugs für die Modellierung der Testmodelle und die automatische Generierung von Testfällen aus diesen Modellen wurde eine Teilmenge der Auswahlkriterien konkretisiert und verschiedene Werkzeuge auf dieser Basis evaluiert. Kriterien für die Bewertung von Werkzeugen zur Testmodellierung und Testfallerstellung: 1) Flexibilität Werkzeugentwicklung wird in Zukunft fortgesetzt Konnektivität, Importierbarkeit und Exportierbarkeit 2) Testmodell Testmodell im MBSE-Modellierungswerkzeug (MagicDraw) Das Werkzeug verwendet SysML als Modellierungssprache Testmodell als Aktivitätsdiagramm Testmodell als Zustandsmaschine Import von Sita/Behave-Schritten 3) Testfallgenerierung Flexible Testfallgenerierung auf Basis von Parametern (Pfadanalyse, Wahrscheinlichkeitsverteilung von Werten, ...) Export von Testfällen in ein Testmanagement-Tool (z.B. Testlink) Generierung von Feature-dateien 4) Rückverfolgbarkeit Ermöglicht die Rückverfolgung der generierten Testfälle zu den Anforderungen Rückverfolgung von Testmodellen zu Szenarien 5) PLE-Konfigurierbarkeit Testmodell verfolgbar und konfigurierbar mit Variabilitätsmodell (z.B. Feature Tree) Testparameter nachvollziehbar und konfigurierbar durch Variabilitätsmodell b) Folgende Modellierungstools wurden evaluiert: Tedeso, MaTeLo, MBTsuite und MagicDraw. Wegen der möglichen Traceability von Testfällen zu Anforderungen sowie von Testmodellen zu Szenarien wurde MagicDraw als Modellierungstool ausgewählt. c) Allerdings ist eine Anpassung von MagicDraw (ggf. durch ein Plugin) notwendig. Mit Hilfe von Sequenzdiagrammen wurden die Schnittstellen und Artefakte für die Anpassung von MagicDraw identifiziert. d) Weiterhin wurde ein Desktop Test für die Toolkette erfolgreich durchgeführt.

AP5 - Exemplarischer Nachweis SMO Modellierung des übergreifenden Systems Schienenverkehr (Fahrzeug + Landseite) bezogen auf den GoA2	a) Für die Anwendung der in AP1 und AP2 spezifizierten Konzepte wurde mit der Erstellung eines Problemraum-Kernmodells mit der Methode Core Modeling begonnen: 1) Auf Basis des im vergangenen Berichtszeitraum erstellten Workshopkonzepts wurde im Januar ein Workshop mit Domänenexperten von SMO durchgeführt, in dem ein erster Entwurf des Aufgabenmodells für den Scope „GoA2“ erstellt wurde. 2) Die dort identifizierten Aufgaben wurden anschließend in mehreren Interviews mit einem Triebfahrzeugführer validiert und ergänzt. Das Aufgabenmodell für die Fahraufgaben wurde somit fertiggestellt. b) Außerdem wurde mit der Umsetzung von Testmodellierung für die Generierung von Scripten für die automatisierte Testausführung in Form von Behave-Feature-files begonnen: 1) Per Reverse-Engineering wurden aus bestehenden Feature-files zu Tests im Kontext automatisiertes und manuelles Fahren (Automatisches Fahren und Bremsen, AFB) Testmodelle erstellt und analysiert, um Anforderungen für die Testmodellierung zu ermitteln. 2) Testmodelle für AFB wurden in verschiedene Modellierungstools u.a. zum Zweck der Auswertung der Modellierungsapplikation implementiert. c) Für die Bestimmung des „System under Test (SuT)“ wurden die Systembegrenzungen an den Beispielen „Manuelles Fahren / Bremsen“ und „ATO over ETCS (GoA2)“ identifiziert.

Tabelle 11: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.01.2023 - 30.06.2023

Zeitraum	01.07.2023 - 31.12.2023
AP1 -Definition von Modellierungskonzepten zur Wiederverwendung von Entwicklungsartefakten (MBPLE	Die Methode wurde für die graphische Darstellung von Systemrahmen und Systemkontexte aktualisiert und erweitert. Die Phasen des SystemUnderTest und der Kontextspezifikation wurden konzeptionell definiert, die Schnittstelle zwischen den Workspaces festgelegt. Es wurde eine Verbesserung der Methode vorgenommen, so dass die aus der Testmodellierung resultierende Testspezifikation sowohl bei der manuellen als auch bei der automatisierten Testdurchführung verwendet werden kann. Der Umfang dieser Schritte wird im AP2 detailliert beschrieben.
AP2 - Spezielle Aspekte	Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden die folgenden Ergebnisse erarbeitet: a. Die Definition der Model Factory als Gesamtprozess des in AP1 erstellten Modellkonzepts orientiert sich an den System- und Teilsystemtests: Dieser Prozess wurde als hierarchische Struktur von Prozessschritten und deren Abhängigkeiten dargestellt („Funktionale Anatomie“). Diese Darstellung ist die Basis für die Herleitung der Anforderungen an die für die Realisierung der Model Factory benötigten Toolkette (siehe AP4). b.Sequenzdiagramme: Es wurde eine Reihe von Sequenzdiagrammen entwickelt, um das Model Test Factory System zu beschreiben und das Implementieren in MagicDraw zu erleichtern. Diese Diagramme wurden auf zwei Ebenen ausgeführt. Die erste Ebene beschreibt den gesamten Prozess der Modell Test Factory, und die zweite Ebene stellt jeden Workspace detailliert modelliert dar. Anhand dieser Diagramme werden die Objekte, Nachrichten, Informationsflüsse und Schnittstellen identifiziert, die für die Beschreibung des Systems erforderlich sind. Sobald die Sequenzdiagramme entwickelt sind, ist es einfacher, die Module im Modellierungs-werkzeug zu modellieren. c.Testmodel: Im Modellierungswerkzeug werden das Konzept und die Struktur der Testmodelle, die auf dem Aktivitätsdiagramm basieren, optimiert. Somit wird die Übersicht des Use Cases behalten, die Modifizierung des Ablaufs erleichtert und die Wiederverwendbarkeit der Aktivität ermöglicht. Mit Hilfe von VTL (Velocity Template Language) werden die Testfälle im xml-Format exportiert, die später ins Testdurchführungssystem (z.B. Testlink) importiert werden. Abhängig von der Struktur oder den Variablen in den Testmodellen ist es möglich, mehrere Testschritte für eine Aktivität oder mehrere Testfälle für ein Szenario automatisch zu generieren.

AP4 - Entwicklung von Werkzeugen/Prozessen	Basierend auf das bereits etablierten Konzepts wurde ein modularer Prototyp in MagicDraw implementiert. Dieser Prototyp enthält angepasste Workspaces, die die Entwicklung von Modellen jeder Phase in der Werkzeugkette erleichtern. Die Entwicklung jedes projektspezifischen Moduls in den Vorlagen ist ein DSL-spezifischer Schritt (Domain Specific Language), der aus den von der Anwendung bereitgestellten UML-Tools abgeleitet wird. Der Prototyp wurde in einem Plugin verpackt. Dies kann über das MagicDraw - Erweiterungsmodul installiert werden. Sobald das Plugin installiert ist, stehen alle benutzerdefinierten Module für die inhaltliche Bearbeitung in zukünftigen Projekten zur Verfügung. Das Ziel ist es, ein vollständiges Modell zu finden, das die Rückverfolgbarkeit von Anforderungen durch die gesamte Model-Spezifikationskette ermöglicht und den Validierungsprozess erleichtert. Folgende kundenspezifische Module für den Prototyp wurden in MagicDraw implementiert: a. Anforderungsmanagement Mit der Core Model-Methode ist es möglich, Anforderungen zu definieren, zu ordnen und zu priorisieren. Dies basiert auf einem Aufgabenmodel, das unabhängig von der Lösung ist. b.System Under Test: Die Anforderungen werden nach Funktionsgruppen gruppiert. Funktionen sind definiert. c. Kontext-Spezifikation: Die Funktionen werden in einer hierarchischen Reihenfolge angeordnet, die eine Abgrenzung der nachfolgenden Tests ermöglicht (Test Scope). Je nach Funktionen wird die Variabilität des Systems berücksichtigt, um verschiedene Kontexte festzulegen. In einem bestimmten Kontext wird der Workflow dargestellt, der das Verhalten des Systems beschreibt. d. Modellbasierter Test. Ausgehend von einem bestimmten Kontext und dem Modellverhalten des Systems werden die Testmodelle erstellt. Dabei handelt es sich um die Aktivitätsdiagramme, die die Aktionen und Reaktionen des Systems grafisch darstellt. Bei jedem Schritt werden die globalen und speziellen Parameter definiert, und ausgewertet. Dieses Modul umfasst die Entwicklung eines Skripts, das die Testmodelle in die *.xml-Dateien konvertiert. Diese Dateien enthalten sowohl die Variablen als auch die jeder Variable zugewiesenen Werte für die entsprechende Generierung der Testfälle. Die Rückverfolgbarkeit der Anforderungen durch alle Module ist offen.
AP5 - Exemplarischer Nachweis SMO Modellierung des übergreifenden Systems Schienenverkehr (Fahrzeug + Landseite) bezogen auf den GoA2	Für einen Proof of Concept der Toolkette wurde das Notbeleuchtungssystem vollständig modelliert. Ziel war es, die Stärken und die Verbesserungsmöglichkeiten der Toolkette zu identifizieren. Der Prozess hat ein komplettes Modell von den Anforderungen bis hin zu einer XML-Datei mit den Testfällen ergeben, die in das TestLink-Testmanagement-Tool importiert werden können. Aufgrund der Parametrisierung der Modelle kann diese Datei leicht bearbeitet werden, um weitere automatische Step- und Feature- Dateien einzurichten (Testautomatisierung). Ende 2023 wurde eine Version der GoA2-Anforderungen und -Architektur geliefert, die es uns ermöglicht wird, als nächste Schritt die Modellierung des GoA2-Systems mit unserer gesamten Kette zu implementieren.

Tabelle 12: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.07.2023 - 31.12.2023

Zeitraum	01.01.2024 - 30.06.2024
AP1 -Definition von Modellierungskonzepten zur Wiederverwendung von Entwicklungsartefakten (MBPLE	Nach mehreren Treffen mit anderen Konsortialpartnern haben wir eine Möglichkeit gefunden, unser Konzept zu verbessern. Unser bisheriges Konzept sah vor, dass der Testingenieur in zwei Prozessschritten zweimal modellieren musste. Das heißt, der Ingenieur musste in zwei Phasen der Kette konzeptionieren: Kontextspezifikation und modellbasierter Test. Wir haben eine Lösung gefunden, die es ermöglicht, die konzeptionelle Modellierungsarbeit nur einmal durchzuführen und gleichzeitig die 150 %-Variabilität des Modells zu belassen. Hierfür haben wir zwei Alternativen ermittelt, die in AP2 erläutert und in AP4 umgesetzt werden. Jede der Alternativen hat besondere Vorteile. Ursprünglich war geplant, dass nur eine Alternative ausgewählt werden würde. Nach mehreren internen HMG-Workshops und dem Austausch mit Kollegen im Konsortium wurden jedoch beide Alternativen von potenziellen Nutzern mit unterschiedlichen Anwendungen akzeptiert. Dies ermöglicht es der HMG modellbasierten Test Factory, dem Benutzer zwei Alternativen anzubieten, was die Flexibilität des Konzepts erhöht und es dem Benutzer ermöglicht, die Alternative zu wählen, die seinen Bedürfnissen am besten entspricht.
AP2 - Spezielle Aspekte	Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden die folgenden Ergebnisse erarbeitet: 1.Zwei Modellierungsalternativen bei HMG Modellbasierter Test Factory Wie im vorangegangenen Punkt erwähnt, wurden zwei Modellierungsalternativen ermittelt. 1.1 Alternative 1 Hier wurde eine Bibliothek von Aktionen erstellt, die den vom SystemUnderTest abgegrenzten Funktionen untergeordnet sind. Auf der Grundlage eines Blockdiagramms (Verfügbar in Magic Draw) werden die Testaktionen so definiert, dass sie in die nachfolgenden Module Kontextbaum oder Modellbasierter Test übernommen werden können (Drag and Drop). Reihenfolge der Module in HMG Modellbasierter Test Factory Alternative 1 Use Case --> (Test-)Funktionale Anatomie und Aktionsbibliothek aufbauen --> Kontextbaum manuell modellieren --> Testspezifikation automatisch generieren Vorteile: •Übersichtlich •Konsistent •Wiederverwendbar •150%-Variabilität berücksichtigt 1.2 Alternative 2 Hier wurde ein Modul eingeführt, das automatisch ein Aktivitätsdiagramm erzeugt, wenn zuvor definierte Use Cases in einem MagicDraw-Dialogfeld eingetragen wurden. Dieses Aktivitätsdiagramm erlaubt es, direkt zum modellbasierten Test Modul zu springen, ohne einen Kontextbaum definieren zu müssen. Diese Lösung ist in Alternative 2 der HMG modellbasierten Test Factory eingebettet. Reihenfolge der Module in HMG Modellbasierter Test Factory Alternative 2 Use Case mit Beschreibung --> Aktivitätsdiagramme bzgl. UC automatisch generieren --> Aktionsbibliothek aufbauen --> mit der Methode Testmodel aufbauen -->Test-Case automatisch generieren Vorteile: •Nur einmal modellieren •Konsistent •Komplett wiederverwendbar

	•150%-Variabilität berücksichtigt •Höhe Flexibilität 2.Modellbasierter Test Um eine Variabilitätsabdeckung in einem 150%-Modell zu gewährleisten, wurde eine Methode vorgeschlagen, die aus lokalen und globalen Parametern besteht. Diese Parameter sind mit den in das Testmodell eingefügten Aktionen aus der Aktionsbibliothek verknüpft. Diese Methode ermöglicht die Wiederverwendung von Aktionen in verschiedenen Testmodellen. Dabei wird das 150%-Modell mit bestimmten Werten der Parameter zu einem konkreten 100%-Modell angepasst (projektspezifisch). Die Methode der lokalen und globalen Parameter ermöglicht auch die Gruppierung von parallelen oder aufeinanderfolgenden Aktionen. Dadurch kann die Erweiterung des Testmodells vereinfacht werden.
AP4 - Entwicklung von Werkzeugen/Prozessen	Auf Grund des bereits modifizierten Konzepts wurde der modulare Prototyp in MagicDraw angepasst. Dieser Prototyp enthält nun erweiterte Eigenschaften in den Workspaces, die die Entwicklung von Modellen jeder Phase in der Werkzeugkette erleichtern. Die Entwicklung jedes kundenspezifischen Moduls in den Vorlagen ist ein DSL-spezifischer Schritt (Domain Specific Language), der aus den von der Anwendung bereitgestellten UML-Tools abgeleitet wird. Der Prototyp wurde in einem Plugin verpackt. Dies kann über das MagicDraw-Erweiterungsmodul installiert werden. Sobald das Plugin installiert ist, stehen alle benutzerdefinierten Module für die inhaltliche Bearbeitung in zukünftigen Projekten zur Verfügung. Dieses Plugin wurde nach den Modifizierungen angepasst. Das Ziel ist es, ein vollständiges Modell zu finden, das die Rückverfolgbarkeit von Anforderungen durch die gesamte Model-Spezifikationskette ermöglicht und den Validierungsprozess erleichtert. Folgende Module für den Prototyp wurden in MagicDraw aktualisiert: a.System Under Test: Die Aktionsbibliothek wurde erfolgreich in MagicDraw implementiert. Diese wird als Blockdiagramm dargestellt, das für die nachfolgenden Phasen der HMG modellbasierten Test Factory zur Verfügung steht. Durch die Definition von UseCases in der MagicDraw-Schnittstelle wurde die automatische Generierung eines von jedem Use Case abgeleiteten Aktivitätsdiagramms implementiert und getestet. Diese Darstellung bietet eine editierbare grafische Beschreibung des Verhaltens des Systems oder einer bestimmten Funktion an. b.Kontext-Spezifikation: Das Skript zur automatischen Generierung der Testspezifikation wurde aktualisiert. Damit ist es möglich, aus der Kontextspezifikation automatisch eine Testspezifikation zu generieren und diese in das Testautomatisierungswerkzeug oder ein Testmanagementtool zu exportieren. Im Detail stellt jeder Pfad des Kontextbaums einen Testfall dar. Die Gruppe der Testfälle wird in ein xml-Format exportiert. Die Rückverfolgbarkeit der Anforderungen ist in Bearbeitung und damit werden wir uns in den nächsten 3 Monaten beschäftigen. c.Modellbasierter Test. Die Bearbeitung von globalen und lokalen Parametern, die mit einer Aktion im Testmodell verbunden werden, wurde angepasst. Mit MagicDraw ist es möglich verschiedene Parameter als Attribute zu den Aktionselementen hinzufügen. Auf diese Weise werden verschiedene Werte für diese Parameter in einer Liste definiert. Diese Funktion ermöglicht die Methode der Gruppierung der

	Aktivitäten im Testmodell. Es ermöglicht auch den Sprung vom allgemeinen 150%-Systemmodell zum spezifischen 100%-Projektmodell. Dieses Modul umfasst die Entwicklung eines Skripts, das die Testmodelle in *.xml-Dateien konvertiert. Diese Dateien enthalten sowohl den Parametern als auch die zugewiesenen Werte für die entsprechende Generierung der Testfälle. Die Rückverfolgbarkeit der Anforderungen ist in Bearbeitung und damit werden wir uns in den nächsten 3 Monaten beschäftigen.
AP5 - Exemplarischer Nachweis SMO Modellierung des übergreifenden Systems Schienenverkehr (Fahrzeug + Landseite) bezogen auf den GoA2	Für die Anwendung der Toolkette wurde das GoA2 - ATO vollständig modelliert. Ziel war es, die Stärken und die Verbesserungsmöglichkeiten der Toolkette zu identifizieren. Der Prozess hat ein komplettes Modell von den Anforderungen bis hin zu einer XML-Datei mit den Testfällen ergeben, die in das TestLink-Testmanagement-Tool importiert werden können. Aufgrund der Parametrisierung der Modelle kann diese Datei leicht bearbeitet werden, um weitere automatische Step- und Feature-Dateien einzurichten (Testautomatisierung). Das Dokument Fahrzeug-Anforderungs-Spezifikation GoA2 wurde Anfang des Jahres 2024 an HMG gesendet. Dieses Dokument enthält die bisher definierten Use Cases für das GoA2-System. Basierend auf diesem Dokument hat HMG folgende Aktivitäten durchgeführt. Diese Aktivitäten betrachten den Einsatz der HMG modellbasierten Test Factory bei der Erzeugung einer Testspezifikation für GoA2 in MagicDraw. •Formulierung der aus den UseCases abgeleiteten Anforderungen GoA2. •Abgrenzung des SystemUnderTest. Formulierung der Funktionen GoA2. •Festlegung einer Aktionsbibliothek GoA2. •Formulierung eines Kontextbaums GoA2 (150%-Modell). Kontextspezifikation. •Formulierung von Aktivitätsdiagrammen auf Basis der Aktionsbibliothek. (Verhalten GoA2) •Erstellung von modellbasierten Testfällen GoA2 (150%-Modell). •Festlegung von lokalen und globalen Parametern für die Erstellung eines projektspezifischen Modells (100%-Modell). •Automatische Generierung und Export der Testspezifikation im xml-Format. •Import der Testspezifikation in ein Testmanagement-Tool. Testlink. •Generierung einer Traceability-Matrix (Requirements - TestCases). Die Implementierung ist bereit, validiert zu werden. Die Validierung benötigt eine Testumgebung mit bestimmten Voraussetzungen. Der Konsortialpartner SMO arbeitet daran. Wir sind in Besprechungen, um einen Starttermin für die Validierung festzulegen. Die Validierung ist für HMG Teil der AP7-Eignungsprüfung.

Tabelle 13: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.01.2024 - 30.06.2024

Zeitraum	01.07.2024 - 31.12.2024
AP1 -Definition von Modellierungskonzepten zur Wiederverwendung von	Abgeschlossenes Arbeitspaket
AP2 – Spezielle Aspekte	Abgeschlossenes Arbeitspaket
AP4 - Entwicklung von Werkzeugen/Prozessen	Das agnostische HMG-Plugin wurde um die Traceability-Funktion ergänzt. Die Traceability-Matrix (Testfall vs. Anforderungen) kann aus dem Modellierungswerkzeug MagicDraw in ein flaches CSV-Format exportiert werden. Mittels einer von HMG entwickelten Pluggin-Erweiterung kann die Traceability-Matrix in eine Testmanagement-Software importiert werden. Die Vorteile: Auf diese Weise ist es möglich, aus dem MagicDraw-Modellierungstool heraus: a. eine diskrete Auswahl von Testgruppen nach den entsprechenden Anforderungen. b. zu prüfen, welche Anforderung durch einen bestimmten Testfall abgedeckt wird (100%-Modell). c. Zuweisung einer Anforderungsgruppe zu einem 150%-Testfallmodell. d. die Überprüfung der Anforderungen in einem beliebigen Modul der Testfactory durchführen. Abgeschlossenes Arbeitspaket
AP5 - Exemplarischer Nachweis SMO Modellierung des übergreifenden Systems Schienenverkehr (Fahrzeug + Landseite) bezogen auf den GoA2	Testfälle, die der GoA2 ATO entsprechen, wurden in der TestFactory implementiert. Die Validierung in einer Testumgebung wurde aufgrund der Nichtverfügbarkeit einiger Komponenten in der Testumgebung des GoA2-Systems nicht vollständig abgeschlossen. Als Verifikation wurde beschlossen, die Testspezifikation in der modellbasierten Test factory eines ähnlichen Systems durchzuführen, das in einer bestehenden Testumgebung validiert werden konnte. Auf diese Weise wurde die Spezifikation für das Geschwindigkeitsbegrenzungssystem (System Limit) erstellt. Diese Spezifikation umfasste - Realisierung des Anforderungsmodells - Erstellung der Funktionsbibliothek. System unter Test - Erstellung des Testfallmodells. - Parametrisierung des globalen Modells zur Verwendung in verschiedenen spezifischen Projekten,

	z.B. ICE und MIREO. - Definition von Variablen und Parametern * Globale Variablen: z.B. Geschwindigkeitsbegrenzung * lokale Variablen: z.B Aktuelle Geschwindigkeit - Generierung und Export der Testspezifikation in XML aus MagicDraw - Import der Spezifikation in das Testmanagement-Tool - Export und Import der Traceability-Matrix (TestCase vs. Requirements) Ein Videobeweis des Endprodukts und der Implementierung wurde aufgenommen und bei der Abschlussveranstaltung des Projekts präsentiert. Abgeschlossenes Arbeitspaket

Tabelle 14: Detaillierter Ablauf des Projekts im Zeitraum 01.07.2024 - 31.12.2024