

# Vorgehensweisen zum systematischen Testen auf Basis der PEGASUS-Methode

Tim Göhner  
Institut für Automatisierungstechnik  
und Softwaresysteme  
Universität Stuttgart  
Stuttgart, Deutschland  
st148771@stud.uni-stuttgart.de

Andreas Löcklin  
Institut für Automatisierungstechnik  
und Softwaresysteme  
Universität Stuttgart  
Stuttgart, Deutschland  
andreas.loecklin@ias.uni-stuttgart.de

Michael Weyrich  
Institut für Automatisierungstechnik  
und Softwaresysteme  
Universität Stuttgart  
Stuttgart, Deutschland  
michael.weyrich@ias.uni-stuttgart.de

**Abstract**— PEGASUS is a novel verification and validation process for automated driving systems. It is derived from the scenario-based approach known from software testing. The PEGASUS method consists of five main steps and results in a safety argumentation for the safety of automated driving systems. This paper presents an overview of available approaches for testing in the domain of automated driving systems. It focuses on the scenario-based approach and the PEGASUS method. The paper also discusses stakeholders, a possible value proposition and derives a possible use case for PEGASUS based on a lean startup approach.

**Keywords**—PEGASUS method, Automated vehicles, release of automated driving functions, scenario-based testing, verification

## I. EINLEITUNG

Im vergangenen Jahrzehnt wurden im Bereich der Technik des automatisierten Fahrens große Fortschritte erzielt. So sind viele Grundfunktionen bereits technisch möglich und auch in Prototypenanwendungen demonstriert. [1] Allerdings ist es nicht gelungen einen Weg zu finden mit dem sich die Sicherheit dieser Systeme eindeutig nachweisen lässt. Für eine Markteinführung wird ein solcher Nachweis zum Erlangen der Zulassung nötig. [1–3] Diese Schwierigkeit kann als Freigabeherausforderung für das automatisierte Fahren bezeichnet werden. [4]

Das Forschungsprojekt PEGASUS (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen) soll diese Freigabeherausforderung lösen. Hierzu arbeiten im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungsprojektes Partner aus der Industrie und Wissenschaft zusammen, darunter Automobilfirmen, Zulieferer, Prüfeinrichtungen sowie Forschungseinrichtungen. [1] Ziel ist es einen herstellerübergreifenden Prozess zu definieren, um die Sicherheit von hochautomatisierten Fahrfunktionen (SAE Level 3) nachzuweisen. [5] PEGASUS soll auch dabei helfen bereits entwickelte Funktionen aus Prototypen zeitnah in Serienprodukte zu überführen. [3]

Dieses Paper betrachtet die Vorgehensweisen zum systematischen Testen auf Basis der PEGASUS-Methode. Hierzu werden folgende Forschungsfragen gestellt:

Frage 1: Welche Ansätze zur Freigabe von automatisierten Fahrfunktionen sind möglich?

Frage 2: Was macht die PEGASUS Methode als Ansatz einzigartig zur Lösung der Freigabeherausforderung?

Frage 3: Welche Anwendungsfälle ergeben sich aus der PEGASUS Methode und für wen sind diese interessant?

Das Paper gliedert sich wie folgt: In Kapitel II erfolgt ein Überblick über mögliche Vorgehensweisen zur Freigabe von automatisierten Fahrzeugen. Anschließend wird in Kapitel III die PEGASUS Methode ausführlich anhand der fünf Grundelemente betrachtet. Zuletzt erfolgt in Kapitel IV eine Analyse der potenziellen Stakeholder und eine Beschreibung der Value Proposition sowie eine Anwendungsfallbeschreibung.

## II. ÜBERBLICK ÜBER MÖGLICHE VORGEHENSWEISEN ZUR FREIGABE VON AUTOMATISIERTEN FAHRZEUGEN

Folgende Vorgehensweisen und Methoden zur Freigabe von automatisierten Fahrzeugen sind aktuell denkbar.

### A. Funktionsbasierter Ansatz (*function-based approach*)

Beim funktionsbasierten Ansatz werden die Anforderungen des Systems funktionsbezogen für jede einzelne Funktion definiert und anschließend für jede Funktion auf dem Prüfgelände oder in der Simulation getestet. Dieser Ansatz ist weit verbreitet im Bereich von Fahrerassistenzsystemen (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS).

Die Schwierigkeit bei der Übertragung dieses Ansatzes auf die Freigabe von automatisierten Fahrzeugen ist die Definierung der einzelnen Funktionen. Diese lassen sich aufgrund der Vielzahl an möglichen Situationen und des im Vergleich zu Fahrerassistenzsystemen nahezu unbegrenzten Zustandsraums nur schwer definieren. [2]

### B. Distanzbasierter Ansatz (*distance-based approach*)

Der distanzbasierte Ansatz ist ebenfalls aus der Absicherung von Fahrerassistenzsystemen bekannt und basiert auf der Idee die Sicherheit über eine hohe Zahl an unfallfrei gefahrenen Kilometern nachzuweisen. Hierbei soll das automatisierte Fahrzeug um einen definierten Faktor, z.B. Faktor 2, sicherer sein als ein menschlicher Fahrer. Die unfallfrei in Feldtests zu fahrende Kilometerzahl wird hierbei über Unfallstatistiken von menschlichen Fahrern hergeleitet. [2]

Dieser Ansatz ist für einfachere Fahrerassistenzsysteme geeignet. Allerdings wird bei fortgeschrittenen Fahrerassistenzsystemen schnell eine Grenze erreicht. Beispielsweise wären für einen Autobahn-Chauffeur 6,22 Milliarden Kilometer nötig, um alle möglichen Szenarien einmal zu durchleben und ein gleich gutes Fahrverhalten wie bei einem menschlichen Fahrer zu erreichen. [6]

Der distanzbasierte Ansatz ist somit „weder zeit- noch kosteneffizient und wäre mit den typischen Entwicklungszyklen für neue Serienmodelle nur schwer vereinbar.“ [3, S. 3]

### C. Schattenmodus Ansatz (*shadow mode approach*)

Die Idee des Schattenmodus Ansatzes ist es die Sicherheit von automatisierten Fahrfunktionen über den passiven Einbau der Funktionen in Serienfahrzeugen nachzuweisen. Hierzu wird die nötige Fahrfunktion in Serienfahrzeugen eingebaut und im Hintergrund ausgeführt. Auf Basis der realen Eingangsdaten werden Entscheidungen getroffen, die allerdings ohne Einfluss bleiben, da kein Zugriff auf die Steuerung des Fahrzeuges besteht. Dieser Ansatz wird unter anderem vom Automobilhersteller Tesla verfolgt und ermöglicht eine hohe Zahl an gefahrenen Testkilometern.

Dieser Ansatz betrachtet aber nicht alle Situationen. Kritisch ist insbesondere der Fall, wenn die im Hintergrund ausgeführte automatisierte Fahrfunktion zu einer anderen Entscheidung kommt, wie sie vom Fahrer getroffen wird. In diesem Fall kann nicht beurteilt werden, ob die im Hintergrund getroffene Entscheidung ebenfalls sicher gewesen wäre, denn es ist nicht ersichtlich, wie weitere beteiligte Fahrzeuge reagiert hätten. [2]

### D. Szenarienbasierter Ansatz (*scenario-based approach*)

Angelehnt an die Absicherung von Softwaresystemen bietet der szenarienbasierte Ansatz als systematischer und strukturierter Ansatz viele Chancen im Vergleich zum distanzbasierten Ansatz mit seinen zufälligen Testfällen. [6] Das Grundprinzip des szenarienbasierten Ansatzes ist es an ausgewählten Szenarien die Sicherheit nachzuweisen. Dabei werden alle Szenarien ohne signifikante Events, redundanten Szenarien und Szenarien mit nicht sicherheitsrelevanten Informationen, wie das Einscheren eines schnelleren Fahrzeuges vor dem eigenen Fahrzeug, nicht weiter betrachtet. Hierdurch verringert sich die Menge der in Simulationen, auf dem Prüfgelände und in Realfahrten nachzuweisenden Szenarien. [2]

Dieser Überblick über mögliche Methoden zur Freigabe von automatisierten Fahrzeugen zeigt, dass vor allem der szenarienbasierte Ansatz, durch die Reduzierung der zu prüfenden Szenarien auf die besonders kritischen Szenarien, geeignet zu sein scheint hochautomatisierte Fahrfunktionen abzusichern. Die PEGASUS Methode verwendet diesen szenarienbasierten Ansatz als Verifizierungs- und Validierungsansatz und wird im Folgenden erläutert. [1, 6]

## III. DIE PEGASUS METHODE

Die PEGASUS Methode ist im Rahmen des PEGASUS Forschungsprojektes gemeinsam mit Partnern aus der Industrie und Wissenschaft entwickelt worden. Sie ist das Ergebnis der in diesem Rahmen gestellten zentralen Fragestellungen: [3]

- Was muss ein automatisiertes Fahrzeug mindestens leisten?
  - Was leistet der Mensch (als Referenzmaß)?
  - Was kann und muss die Automatisierung leisten (und was nicht)?
- Wie kann nachgewiesen werden, dass das automatisierte Fahrzeug seine Aufgaben auch zuverlässig ausführt?

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen wurde das Forschungsprojekt in vier Teilprojekte (TP) unterteilt:

- TP1: Szenarienanalyse & Qualitätsmaß
- TP2: Umsetzungsprozesse
- TP3: Testen
- TP4: Ergebnisreflektion & Einbettung

Das Ergebnis dieser Teilprojekte ist die PEGASUS Methode, welche diese Fragen in verschiedenen Grundelementen aufgreift. So fließt die erste Frage in ein Qualitätsmaß in der Anforderungsermittlung ein. Über die Sicherheitsargumentation wird eine Antwort zur zweiten Frage gesucht. Anhand des Use Cases „Autobahn-Chauffeur“ wird die PEGASUS Methode zusätzlich in Form eines Proof of Concept validiert.

Zunächst wird die Grundidee der PEGASUS Methode genauer erklärt, bevor die einzelnen Grundelemente nacheinander beschrieben werden.

### A. Grundidee

Der Nachweis der Sicherheit erfolgt in der PEGASUS Methode durch den Ansatz des szenarienbasierten Testens. Es handelt sich hierbei um einen Safety by Testing Ansatz. Das Testobjekt wird als Black Box behandelt und nur auf der Systemebene beschrieben. [1] Die Grundidee der PEGASUS Methode ist es durch gezieltes Testen von Szenarien an der Funktionsgrenze des Systems dessen Sicherheit nachzuweisen. Dadurch unterscheidet sich das Vorgehen deutlich von einer stochastischen Felderprobung, wie dies für den funktionsbasierten und distanzbasierten Ansatz der Fall ist. In den nachfolgenden Abbildungen ist dieser Unterschied deutlich zu erkennen.

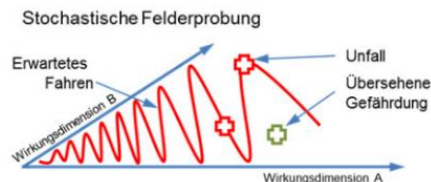


Abbildung 1: Herkömmliche stochastische Felderprobung [3, S. 9]

Bei der stochastischen Felderprobung ist es leicht möglich sicherheitskritische Gefährdungen zu übersehen, da die Erprobung zufällig erfolgt und nicht wie bei der PEGASUS Methode entlang der Funktionsgrenze getestet wird. Die Funktionsgrenze wird hierbei simulationsbasiert ermittelt und anschließend verifiziert. Die PEGASUS Erprobung ist schematisch in der folgenden Abbildung zu sehen.

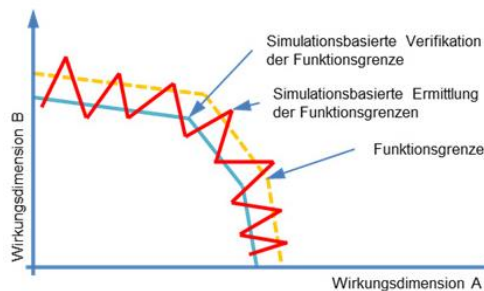


Abbildung 2: PEGASUS Erprobung an der Funktionsgrenze des Systems [3, S. 9]

Dadurch reduziert sich die Gefahr sicherheitskritische Fälle nicht zu entdecken deutlich. Durch systematische

Szenarienermittlung wird versucht eine hinreichende Vollständigkeit zu erzielen. [3]

Um diesen Testprozess systematisch und nachvollziehbar zu gestalten wurde die PEGASUS Methode, bestehend aus 20 Einzelschritten, entwickelt. Diese lassen sich in fünf Grundelemente gliedern. Der Prozessablauf beginnt links unten mit der Beschreibung des zu testenden Use Cases. Die PEGASUS Methode beginnt mit der Szenarienermittlung, gefolgt von der Anforderungsermittlung, der Datenbank und der Bewertung der hochautomatisierten Fahrfunktionen. Als Ergebnis der PEGASUS Methode wird eine Sicherheitsargumentation für den getesteten Use Case erstellt. Der Prozessablauf der PEGASUS Methode mit den fünf Grundelementen ist in der folgenden Abbildung zu sehen.

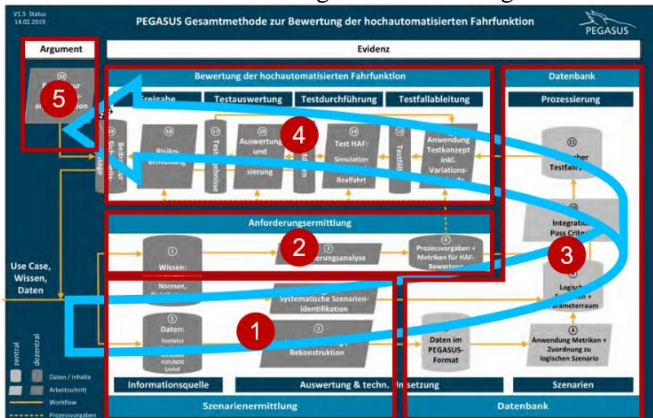


Abbildung 3: PEGASUS Methode mit markierten Grundelementen in Anlehnung an [1, S. 34]

Das Paper beschränkt sich auf die Betrachtung der Grundelemente, welche im Folgenden erläutert werden.

## B. Grundelemente der PEGASUS Methode

### 1) Szenarienermittlung

Ziel der Szenarienermittlung ist es für den gegebenen Anwendungsfall Szenarien an der Funktionsgrenze zu ermitteln. Hierzu werden Szenarien mit einem systematischen Ansatz datenbasiert und wissensbasiert ermittelt. Das datenbasierte Vorgehen ermittelt die Szenarien anhand eines definierten kritischen Parameters (KPI) aus Unfalldaten von Unfalldatenbanken wie der GIDAS, sowie aus Feldtestdaten, Prüfgeländefahrten und Simulationsdaten. Für das wissensbasierte Vorgehen wird Expertenwissen, sowie Wissen aus Gesetzen, Standards, Normen und Richtlinien verwendet, um die kritischen Szenarien herzuleiten. [6] Für die wissensbasierte Identifikation von Szenarien ist beispielsweise eine ontologiebasierte Szenarienermittlung möglich, um alle möglichen Szenarien kombinatorisch zu bestimmen. [1, 7]

Die identifizierten Szenarien werden in einem neu definierten PEGASUS Format in einer Datenbank gespeichert, welches in dem Grundelement Datenbank erläutert wird.

### 2) Anforderungsermittlung

In der Anforderungsermittlung erfolgt die Klärung der zentralen Frage, was ein automatisiertes Fahrzeug mindestens leisten muss. Der Vergleich mit der Leistungsfähigkeit des Referenzmaßes Mensch ist hier wichtig, da automatisierte Fahrzeuge auf der einen Seite nicht

zu einer Verschlechterung der Verkehrssicherheit führen sollen, aber zu hohe Anforderungen an deren Einführung auf der anderen Seite eine mögliche Verbesserung der Verkehrssicherheit nicht verzögern sollten. [3] Hierzu wird ein Qualitätsmaß für automatisierte Fahrfunktionen ermittelt, indem die menschliche Leistungsfähigkeit mit der Leistungsfähigkeit von automatisierten Fahrfunktionen in kritischen Verkehrssituationen verglichen wird. Dieses Qualitätsmaß hilft die Anforderungen an hochautomatisierte Fahrfunktionen zu definieren, ohne zu hohe Anforderungen an das System zu stellen.

Die Anforderungsermittlung erfolgt unabhängig von der Szenarienermittlung anhand von Wissen aus Gesetzen, Standards, Normen und Richtlinien. Der Vergleich mit dem Referenzmaß Mensch fließt ebenfalls in die Anforderungsermittlung ein. Die Anforderungen werden in einer Metrik gespeichert und später zur Evaluation der Szenarien beim Testen verwendet, um die Leistungsfähigkeit und die Qualität des Systems zu beurteilen. [6]

### 3) Speicherung und Verarbeitung von Informationen in einer Datenbank

In diesem Grundelement werden die Szenarien aus der Szenarienermittlung zu logischen Szenarien mit einem entsprechenden Parameterraum zusammengefasst. Zur Speicherung dieser Szenarien wurde im Rahmen des PEGASUS Projektes ein Modell mit sechs unabhängigen Ebenen definiert. Diese sind wie folgt definiert: [6]

1. Straße (Geometrie, ...)
2. Straßenausstattung und Regeln (Straßenschilder, ...)
3. Temporäre Veränderungen und Events (Baustellen, ...)
4. bewegliche Objekte (straßenverkehrsrelevante Objekte wie Autos, Fußgänger, ...)
5. Umgebungsbedingungen (Lichtsituation, Straßenwetter, ...)
6. Digitale Informationen (C2X, digitale Straßenkarte, ...)

Das PEGASUS Format ermöglicht die leichte Definition von logischen Szenarien mit einem Parameterraum und macht es möglich einzelne Parameter einfach zu variieren. So kann beispielsweise die Ebene 4 der bewegten Objekte fixiert werden und somit ein Szenario definiert werden, das die Kollision von Objekten provoziert und ein Handeln des autonomen Fahrzeugs auslösen soll. Die weiteren Ebenen bleiben variabel, weshalb nun mittels Simulation das Testen einer Vielzahl an Situationen beispielsweise unter Variation aller möglichen Wetterbedingungen möglich ist. [6] Ein weiterer großer Vorteil des maschinenlesbaren PEGASUS Formates im Vergleich zu der Darstellung der Daten in Textform ist die direkte Verwendbarkeit der Daten in technischen Prozessen wie Simulationen.

Des Weiteren werden in diesem Grundelement die logischen Szenarien mit den in der Anforderungsermittlung definierten Anforderungen (Metrik) verknüpft und für die logischen Szenarien sogenannte Bestehenskriterien (Pass/Fail) definiert.

### 4) Bewertung der hochautomatisierten Fahrfunktion

Das vierte Grundelement besteht aus der Durchführung und Bewertung der Tests. Aus den logischen Szenarien aus dem vorherigen Grundelement werden nun konkrete Testfälle abgeleitet, inklusive der Variationsmöglichkeit im Parameterraum. Diese werden zuerst in einer Simulation

durchgeführt. [1] Die Simulation wird genutzt, um kritische Testfälle zu finden. Ein Teil der Parameter, beispielsweise das Wetter, werden mit einer stochastischen Wahrscheinlichkeit variiert und anschließend als Black-Box Test durchgeführt. Anhand der Bestehenskriterien wird festgestellt, ob der Test bestanden ist oder nicht. Testfälle, die nicht oder nur knapp bestanden wurden, werden auf dem Prüfgelände validiert. Die Simulation kommt beispielsweise bei Situationen mit einer hohen Fahrdynamik und folglich speziellen Sensorphänomenen, welche nicht zwingend in den Sensormodellen enthalten sind, an seine Systemgrenzen. Mit Tests auf Prüfgeländen können auch diese Fälle abgedeckt werden. Feldtests im realen Straßenverkehr sind hingegen für das Testen einzelner logischer Szenarien ungeeignet. Sie dienen lediglich dazu Überraschungen, also bisher unbekannte neue Szenarien zu entdecken. [6]

Als letzter Teil der Bewertung von hochautomatisierten Fahrfunktionen folgt ein Vergleich der Testergebnisse und eine Risikoeermittlung anhand vordefinierten Verhaltenskriterien. Hierzu zählen (a) das Einhalten angemessener Sicherheitsabstände, (b) die Verhinderung und (c) die Abmilderung von Kollisionen. Hierdurch kann ein Beitrag zur Sicherheitsaussage geleistet werden. [1]

#### 5) Argumentation

Das letzte Grundelement der PEGASUS Methode ist die Formulierung einer Sicherheitsargumentation. Durch einen strukturierten und formalisierten Argumentationsansatz soll das Ergebnis einer kritischen Untersuchung standhalten und als Nachweis der Sicherheit und Zuverlässigkeit dienen sowie eine Freigabe von automatisierten Fahrzeugen ermöglichen. [6, 8] Das Sicherheitsargument besteht hierzu aus fünf Ebenen, die aufeinander aufbauen und eine Rückverfolgung von jedem Ergebnis einer höheren Ebene auf die Ziele niedrigerer Ebenen ermöglichen soll.

Die Argumentation beginnt hierzu auf Ebene 0, dem Akzeptanzmodell, welches mittels eines wissenschaftlichen Modells die individuelle und gesellschaftliche Akzeptanz von hochautomatisierten Funktionen beschreibt. Darauf aufbauend folgt auf Ebene 1 eine Ableitung übergeordneter Sicherheitsziele aus Berichten der deutschen Ethik Kommission für automatisiertes und vernetztes Fahren. Auf Ebene 2, der logischen Struktur, werden nun konkrete Sicherheitsziele definiert. Konkrete Sicherheitsziele beschreiben, welche Ergebnisse relevant für den Nachweis der Sicherheit und Zuverlässigkeit sind. Die nächste Ebene 3 soll die Frage klären, wie der Nachweis erbracht werden kann, dass die konkreten Sicherheitsziele aus Ebene 2 erreicht wurden. Dieser Nachweis erfolgt über die PEGASUS Methode. Auf der höchsten Ebene 4, der Evidenz, wird geschaut, welchen Beitrag das jeweilige Ergebnis aus der PEGASUS Methode zur Erreichung eines konkreten Sicherheitsziels leistet.

Dieser schichtenmäßige Aufbau der Sicherheitsargumentation macht den Nachweis der Sicherheit mit der PEGASUS Methode einzigartig, da es die Rückverfolgung von jedem erzielten Ergebnis im Testprozess hin zu den eigentlich auf Ebene 1 formulierten übergeordneten Sicherheitszielen ermöglicht. [1, 8]

Im nächsten Kapitel wird nun die PEGASUS Methode von einem weiteren Blickwinkel betrachtet. Nicht die technische

Umsetzung steht im Vordergrund, sondern die Stakeholder und Value Proposition der PEGASUS Methode.

#### IV. STAKEHOLDER UND VALUE PROPOSITION

Im Folgenden wird versucht anhand der Lean Startup Methode die technische Lösung der PEGASUS Methode aus Sicht des Kunden und problemorientiert zu betrachten. Die Lean Startup Methode verfolgt den Ansatz ein Produkt schnellstmöglich auf den Markt zu bringen, um möglichst früh Feedback vom Kunden zu erhalten. So lässt sich das Produkt iterativ am Kunden weiterentwickeln und Kosten sowie Zeit sparen. [9] Konkretes Ziel ist es also zu zeigen, ob die PEGASUS Methode ein tatsächliches Problem für den betroffenen Kunden löst und welche möglichen Anwendungen sich aus der Lösung heraus ergeben.

Hierzu werden zuerst die möglichen Stakeholder identifiziert und betrachtet, bevor die Value Proposition der PEGASUS Methode anhand des Customer Segment hergeleitet wird. Zum Abschluss wird ein aus der PEGASUS Methode sich ergebender möglicher realer Anwendungsfall identifiziert und beschrieben.

##### A. Stakeholder

Zur Identifizierung der Stakeholder wird die Frage gestellt, für wen die PEGASUS Methode interessant ist. Ein Anhaltspunkt bietet hier der Blick auf die beteiligten Projektpartner des PEGASUS Forschungsprojektes. An dem Forschungsprojekt sind 17 Projektpartner sowie fünf verbundene Partner aus Industrie und Wissenschaft beteiligt.[1] Diese Projektbeteiligten lassen sich zu Interessensgruppen zusammenfassen und ergeben so einen ersten, aber unvollständigen Überblick über die Stakeholder der PEGASUS Methode. Folgende Stakeholder ergeben sich hieraus:

- Automobilhersteller: *Daimler AG, BMW Group, Volkswagen AG, Audi AG, Opel Automotive GmbH, IPG Automotive GmbH*
- Zulieferer (Tier 1): *Robert Bosch GmbH, Continental Teves A & Co oHG*
- Simulationsfirmen: *VIRES Simulationstechnologie GmbH*
- Forschungseinrichtungen: *TU Darmstadt, TU Braunschweig, RWTH Aachen, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.*
- Technische Prüforganisation: *TÜV SÜD*

Eine Betrachtung der Projektbeteiligten zeigt, dass mit allein sechs Automobilherstellern die Automobilhersteller eine zentrale Rolle als Stakeholder darstellen. Aber weshalb arbeiten verschiedene konkurrierende Hersteller im Rahmen des Projektes zusammen? Der Grund ist, dass bei den Herstellern der Bedarf besteht die Zulassung automatisierter Fahrzeuge mit Hilfe von herstellerübergreifenden, anerkannten Prozessen und Methoden durchzuführen. Auch haben die Hersteller ein Interesse an einem gut in die Entwicklung integrierbaren Prozesses und einem kosten- und zeiteffizienten Verfahrens. Somit stellen die Automobilhersteller einen direkten Stakeholder dar.

Eine weitere durchgeführte detailliertere Analyse der Stakeholder ergibt allerdings, dass die Liste, die sich aus den Projektbeteiligten ergibt, nicht vollständig ist und ergänzt werden muss. Hierbei wurden folgende weitere Stakeholder identifiziert: Nicht beteiligt, aber direkter Stakeholder, ist die

Zulassungsbehörde, also in Deutschland das Kraftfahrt-Bundesamt. Als Entscheidungsbehörde hat diese ein Interesse an einem sicheren Verfahren. Als weitere Stakeholder lassen sich die Gesellschaft und der Fahrer beziehungsweise im Falle eines automatisierten Fahrzeuges der Mitfahrer identifizieren. Beide Akteure sind von der Einführung von automatisierten Fahrzeugen betroffen. Sie stellen daher Stakeholder für den Zulassungsprozess dar. Weitere identifizierte Stakeholder sind Versicherungen, deren Versicherungsmodell sich ändern könnte und Ethik Kommissionen, wie beispielsweise die Ethik Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren für die Definition ethischer Fragestellungen. Auch Sensorfirmen sowie Softwarefirmen können Stakeholder der PEGASUS Methode sein.

Diese Stakeholder lassen sich in direkte und indirekte Stakeholder unterteilen, abhängig davon, wie stark die Stakeholder mit dem Produkt, dem systematischen Testen zur Freigabe von automatisierten Fahrzeugen, interagieren. In der folgenden Abbildung sind diese in der Stakeholder-Map eingetragen.

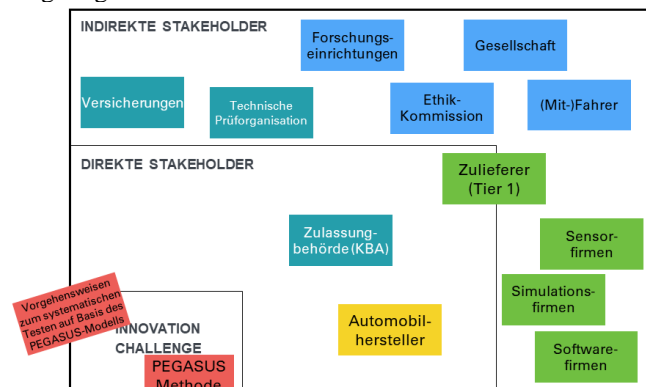


Abbildung 4: Stakeholder der PEGASUS Methode

Im nächsten Schritt wird anhand der direkten Stakeholder Automobilhersteller das Customer Segment betrachtet und überprüft, ob die PEGASUS Methode eine passende Value Proposition für das Customer Segment bietet.

### B. Value Proposition

Wie bereits im vorherigen Unterkapitel identifiziert, ist der Automobilhersteller ein zentraler direkter Stakeholder der PEGASUS Methode. Deshalb wird im Folgenden auch der Automobilhersteller als Stakeholder verwendet, um das Wertversprechen der PEGASUS Methode zu identifizieren und zu überprüfen. Für diesen Prozess wird ein Value Proposition Canvas verwendet, bestehend aus dem Customer Segment und dem Value Proposition.

Das Customer Segment besteht aus den Kundenaufgaben (Customer Jobs), den Schwierigkeiten (Pains) und dem Nutzen (Gains) den sich der Kunde, der Automobilhersteller, wünscht. Die Aufgaben des Kunden lassen sich in drei Bereiche aufteilen. Ein Automobilhersteller muss zum einen die Funktionen für automatisierte Fahrzeuge entwickeln, zum anderen deren Sicherheit nachweisen sowie den gesamten Prozess dokumentieren.

Bei der Lösung dieser Aufgaben gibt es verschiedene Schwierigkeiten. So stellt sich bei der Entwicklung der Fahrfunktionen die Frage, wie gut ein automatisiertes

Fahrzeug im Vergleich zum Referenzmaß Mensch sein muss. Die Klärung dieser Frage ist zentral für den Nachweis der Sicherheit von automatisierten Fahrzeugen. Im weiteren Prozess stellt sich dann die Frage, wie eine vollständige Absicherung der hohen Anzahl an möglichen Testfällen möglich ist, sowie die Frage wie der Testprozess selbst nachgewiesen werden kann.

Neben der Erfüllung der Kundenaufgaben und der Lösung der Schwierigkeiten hat der Kunde, der Automobilhersteller, auch Erwartungen an das Produkt, die ihm einen Nutzen (Gains) verschaffen. Hierzu zählt für den Automobilhersteller, dass das Verfahren sich für die Entwicklung von Serienfahrzeugen eignet und sich in den herkömmlichen Entwicklungsprozess integrieren lässt. Außerdem sollte der entwickelte Prozess zur Freigabe von automatisierten Fahrzeugen nicht nur für ein SAE Level geeignet sein, sondern möglichst für Funktionen aller SAE Levels anwendbar sein. Zusätzlich sollte das Verfahren möglichst kosteneffizient sein.

Aus diesem Customer Segment lässt sich das Wertversprechen entwickeln. Da in diesem Fall die Methode bereits für ein bestehendes Produkt, der PEGASUS Methode, genutzt wird, wird das Wertversprechen aus diesem Produkt identifiziert. Es wird überprüft, ob dieses die Aufgaben und Schwierigkeiten des Kunden löst. Das Value Proposition besteht aus den Produkten und den Dienstleistungen (Products & Services), den Schmerzkillern (Pain Relievers) und den Nutzenstiftern (Gain Creators).

Das Produkt und die Dienstleistung der PEGASUS Methode bestehen aus der PEGASUS Datenbank mit den enthaltenen Testfällen, dem maschinenlesbaren PEGASUS Format und der PEGASUS Methode selbst als standardisiertes und reproduzierbares Testvorgehen.

Als Schmerzkiller leitet die PEGASUS Methode ein Qualitätsmaß für automatisierte Fahrzeuge anhand des Referenzmaßes Mensch her, um so der Frage Rechnung zu tragen, wie gut ein automatisiertes Fahrzeug sein muss. Außerdem wird versucht durch eine Auswahl von Szenarien an der Systemgrenze die hohe Anzahl der Testfälle zu reduzieren.

Zu den Nutzenstiftern, den sogenannten Gain Creators, lassen sich der hohe Simulationsanteil und die sich dadurch ergebende Zeit- und Kosteneffizienz nennen. Außerdem entsteht ein Mehrwert durch die Entwicklung der Methode übergreifend und gemeinsam mit den Industriepartnern, da so garantiert werden kann, dass sich die PEGASUS Methode ideal in die Entwicklungsprozesse der Automobilhersteller integrieren lässt. Ergänzend kommt hinzu, dass das Modell so herstellerübergreifend ist. Der letzte zentrale Nutzenstifter der PEGASUS Methode ist die PEGASUS Sicherheitsargumentation. Da sich jedes Ergebnis aus der PEGASUS Methode zurückverfolgen lässt auf die übergeordneten, aus der Ethik Kommission abgeleiteten, Sicherheitsziele bietet die Sicherheitsargumentation einen deutlichen Nutzen. So lässt sich der Testprozess selbst nachweisen und wird nachvollziehbar.

Das sich ergebende Wertversprechen ist in der folgenden Abbildung in Form der Value Proposition Canvas dargestellt.

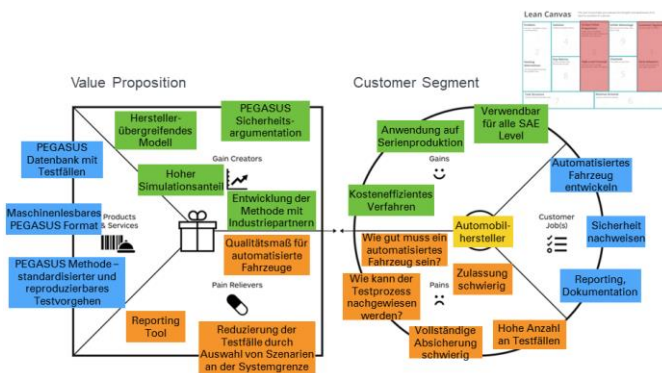


Abbildung 5: Value Proposition Canvas der PEGASUS Methode in Anlehnung an [10]

Im Folgenden wird das Wertversprechen eines möglichen Anwendungsfalls möglichst konkret gefasst.

### C. Möglicher Anwendungsfall „Softwaretool Führerschein für automatisierte Fahrzeuge“

Anhand eines möglichen Anwendungsfalls, welcher sich aus der PEGASUS Methode ergeben könnte, lässt sich das Wertversprechen nun möglichst konkret beschreiben:

Wir möchten für Automobilhersteller ein Softwaretool entwickeln, welches den Hersteller beim Erreichen der Zulassung unterstützt. Unser Tool stellt hierzu einen Katalog an Use Cases aus der menschlichen Führerscheinprüfung, sowie die zugeordneten maschinenlesbare Szenarien zur Verfügung, um für jeden Use Case eine Sicherheitsargumentation anhand der PEGASUS Methode zu ermöglichen.

Durch die Auswahl der zu testenden Use Cases an die menschliche Führerscheinprüfung ist mit einer entsprechenden Akzeptanz für den Sicherheitsnachweis zu rechnen. Mögliche abgeleitete Use Cases könnten sein:

- Autobahnfahrt/Autobahn-Chauffeur
- Überlandfahrt (außerhalb Siedlungsgrenze)
- Stadtfahrt/Stadtkreuzung

Die aus dem menschlichen Führerschein bekannten Nachtfahrten würden sich für jeden Use Case zum Beispiel über die Variation der Ebene 5, der Umgebungsbedingung, des PEGASUS Formats generieren lassen.

Die jeweiligen Use Cases würden jeweils mit der PEGASUS Methode durchgeführt werden. So ließe sich die Sicherheit für den jeweiligen Use Case nachweisen.

Mit dem Softwaretool ließe sich außerdem eine klare Übersicht darstellen, wie weit bereits der Nachweis erfolgt ist und welche Use Cases und Szenarien noch bis zur vollständigen Freigabe nachgewiesen werden müssten. Als Ergebnis könnte das Softwaretool bei erfolgreicher Durchführung aller Schritte einen „Führerschein für automatisierte Fahrzeuge“ erteilen.

## V. ZUSAMMENFASSUNG

Die PEGASUS Methode sowie das szenarienbasierte Testen eröffnet einen sinnvollen Weg, um zu einem reproduzierbaren und systematischen Ergebnis im Nachweis der Sicherheit von automatisierten Fahrzeugen zu gelangen. Die Formulierung einer Sicherheitsargumentation als zentraler Bestandteil der PEGASUS Methode ermöglicht einen nachvollziehbaren Nachweis der Sicherheit und die Abstraktion der Ergebnisse auf übergeordnete

Sicherheitsziele aus der Ethik Kommission. Dies sind gute Voraussetzungen für eine entsprechende gesellschaftliche Akzeptanz der Methode. Ein weiterer Vorteil ist, dass die PEGASUS Methode gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft entwickelt worden ist und daher die Integration in die Entwicklungs- und Prüfprozesse der Hersteller erleichtert wird.

Allerdings ist die PEGASUS Methode lediglich eine Prozesskette, deren einzelne Grundelemente wie die Szenarienermittlung noch in der weiteren Forschung genauer zu definieren sind. Ein weiterer offener Punkt ist die Anwendung der PEGASUS Methode auf SAE Level 4 oder 5 Fahrzeuge und Use Cases wie die innerstädtische Kreuzung. Ein Teil dieser Fragestellungen soll allerdings im Rahmen der laufenden Nachfolgeprojekte *V&V Methoden* [11] und *setlevel* [12] gelöst werden. Auch der hohe Simulationsanteil der PEGASUS Methode birgt Probleme bezüglich der Aussagekraft der Simulationsergebnisse, da diese stark von einer realistischen Darstellung der Simulation selbst abhängen können. [13]

## VI. LITERATUR

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Hg., „Schlussbericht für das Gesamtprojekt PEGASUS“, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.pegasusprojekt.de/de/lectures-publications>. Zugriff am: 21. November 2020.
- [2] S. Riedmaier, T. Ponn, D. Ludwig, B. Schick und F. Diermeyer, „Survey on Scenario-Based Safety Assessment of Automated Vehicles“, *IEEE Access*, Jg. 8, S. 87456–87477, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2993730.
- [3] D.-I. J. Mazzeza und D.-I. H.-P. Schröner, „Wie PEGASUS die Lücke im Bereich Testen und Freigabe von automatisierten Fahrzeugen schließt“, 2016. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.pegasusprojekt.de/files/tmpl/pdf/PEGASUS\\_Tagung\\_Methodenentwicklung%20Abstract.pdf](https://www.pegasusprojekt.de/files/tmpl/pdf/PEGASUS_Tagung_Methodenentwicklung%20Abstract.pdf). Zugriff am: 19. Januar 2021.
- [4] W. Wachenfeld und H. Winner, „Die Freigabe des autonomen Fahrens“ in *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, M. Maurer, J. Gerdes, B. Lenz und H. Winner, Hg., Berlin, Heidelberg: Springer, 2015, S. 439–464, doi: 10.1007/978-3-662-45854-9\_21.
- [5] H. Winner, K. Lemmer, T. Form und J. Mazzeza, „PEGASUS—First Steps for the Safe Introduction of Automated Driving“ in *Lecture Notes in Mobility, Road vehicle automation 5*, G. Meyer und S. Beiker, Hg., Cham, Switzerland: Springer, 2019, S. 185–195, doi: 10.1007/978-3-319-94896-6\_16.
- [6] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Hg., „PEGASUS METHOD: An Overview“, Braunschweig, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.pegasusprojekt.de/files/tmpl/Pegasus-Abschlussveranstaltung/PEGASUS-Gesamtmethode.pdf>. Zugriff am: 2. Dezember 2020.
- [7] G. Bagschik, T. Menzel und M. Maurer, „Ontology based Scene Creation for the Development of Automated Vehicles“ in *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Changshu, 2018, S. 1813–1820, doi: 10.1109/IVS.2018.8500632.
- [8] A. Maus, „PEGASUS Sicherheitsargumentation“, 2018. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.pegasusprojekt.de/files/tmpl/pdf/PEGASUS%20Sicherheit\\_sargumentation.pdf](https://www.pegasusprojekt.de/files/tmpl/pdf/PEGASUS%20Sicherheit_sargumentation.pdf). Zugriff am: 29. Dezember 2020.
- [9] STARTPLATZ, *Lean Startup Methode - STARTPLATZ*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.startplatz.de/startup-wiki/lean-startup-methode/> (Zugriff am: 13. Januar 2021).
- [10] Up To Eleven, *Value Proposition Canvas: Helferlein für dein Businessmodell*. [Online]. Verfügbar unter: <https://ut11.net/de/blog/der-value-proposition-canvas/> (Zugriff am: 14. Januar 2021).
- [11] VVM Projekt: *Verifikations- und Validierungsmethoden automatisierter Fahrzeuge im urbanen Umfeld*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vvm-projekt.de/projekt> (Zugriff am: 19. Januar 2021).
- [12] SET Level: *Simulationsbasiertes Entwickeln und Testen von automatisiertem Fahren*. [Online]. Verfügbar unter: <https://setlevel.de/> (Zugriff am: 19. Januar 2021).
- [13] M. Zhang, Y. Zhang, L. Zhang, C. Liu und S. Khurshid, „DeepRoad: GAN-based metamorphic testing and input validation framework for autonomous driving systems“ in *the 33rd ACM/IEEE International Conference*, Montpellier, France, 2018, S. 132–142, doi: 10.1145/3238147.3238187.