Herausforderungen für das szenariobasierte Testen von automatisierten Fahrzeugen

GfSE Online-Seminar

Dr. Christian Neurohr

OFFIS e.V. - Bereich Verkehr

im Übergang in das DLR Institut

Systems Engineering für zukünftige Mobilität

Oldenburg, Germany

15.12.2021

Institut
für Systems Engineering für zukünftige Mobilität

Motivation

> Die Einführung von automatisierten Fahrzeugen (AF) auf öffenlichen Straßen verspricht **ökonomische**, **gesellschaftliche** und **ökologische Vorteile**.

Motivation

- Die Einführung von automatisierten Fahrzeugen (AF) auf öffenlichen Straßen verspricht **ökonomische**, **gesellschaftliche** und **ökologische Vorteile**.
- Traditionelle, distanz-basierte Ansätze für das Testen von AF (SAE Level ≥ 3) sind aus statistischen Gründen **ungeeignet** für deren Homologation.

Motivation

- Die Einführung von automatisierten Fahrzeugen (AF) auf öffenlichen Straßen verspricht **ökonomische**, **gesellschaftliche** und **ökologische Vorteile**.
- Traditionelle, distanz-basierte Ansätze für das Testen von AF (SAE Level ≥ 3) sind aus statistischen Gründen **ungeeignet** für deren Homologation.
- Neue Methoden für die Verifikation and Validierung werden benötigt; ein vielversprechender Kandidat ist das **Scenario-basierte Testen** (SBT).

Motivation

- Die Einführung von automatisierten Fahrzeugen (AF) auf öffenlichen Straßen verspricht **ökonomische**, **gesellschaftliche** und **ökologische Vorteile**.
- Traditionelle, distanz-basierte Ansätze für das Testen von AF (SAE Level ≥ 3) sind aus statistischen Gründen **ungeeignet** für deren Homologation.
- Neue Methoden für die Verifikation and Validierung werden benötigt; ein vielversprechender Kandidat ist das **Scenario-basierte Testen** (SBT).
- Beim SBT werden **Testfälle** aus einer **handhabbaren Menge von Szenarioklassen abgeleitet**.

Prozessbild für das Scenario-basierte Testen

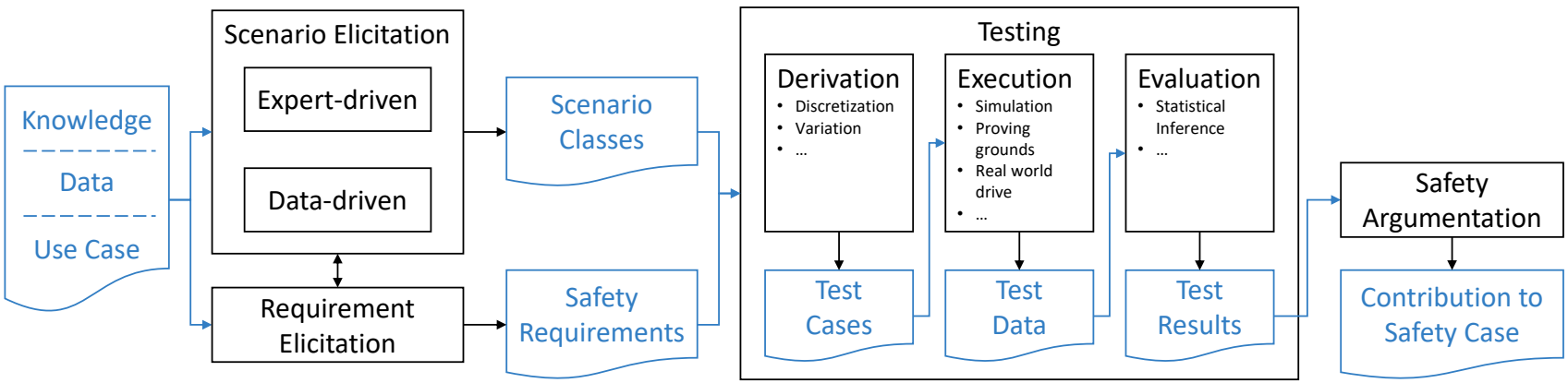
OFFIS

> SBT benötigt verschiedene vor- und nachgelagerte Schritte um den eigentlichen Testprozess.

Prozessbild für das Scenario-basierte Testen

> SBT benötigt verschiedene vor- und nachgelagerte Schritte um den eigentlichen Testprozess.

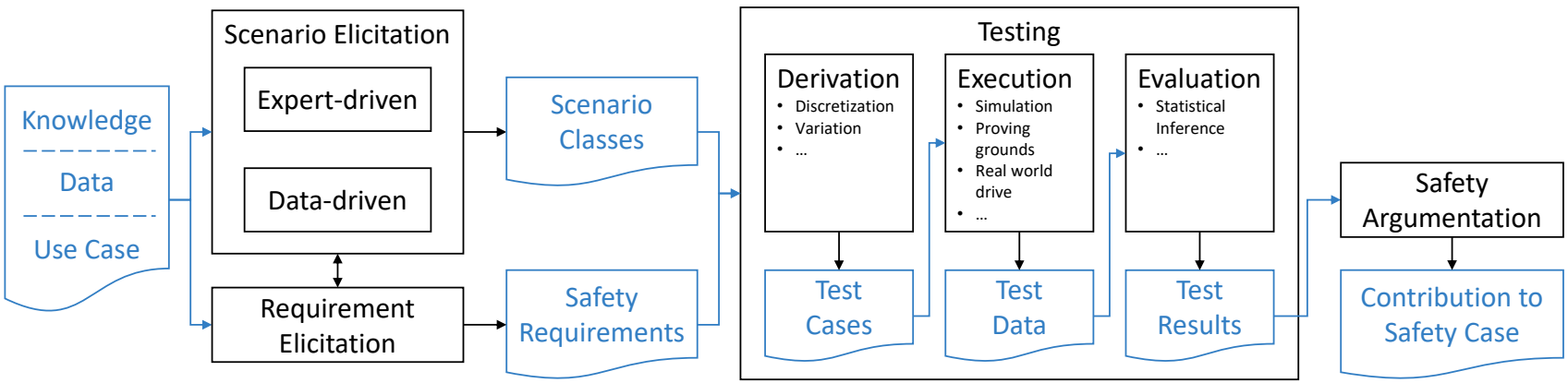
> Ein vereinfachtes Prozessbild für SBT, basierend auf den Resultaten der Projekte PEGASUS und ENABLE-S3, kann wie folgt aussehen:



Prozessbild für das Scenario-basierte Testen

> SBT benötigt verschiedene vor- und nachgelagerte Schritte um den eigentlichen Testprozess.

> Ein vereinfachtes Prozessbild für SBT, basierend auf den Resultaten der Projekte PEGASUS und ENABLE-S3, kann wie folgt aussehen:



> Rechtecke ≙ Prozessschritte, geschwungene Boxen ≙ Artefakte.

Analyse von fundamentalen Herausforderungen

Was sind fundamentale Herausforderungen und wie wurden diese identifiziert?

Analyse von fundamentalen Herausforderungen

Was sind fundamentale Herausforderungen und wie wurden diese identifiziert?

> Notwendige **Argumente** hinsichtlich angewandter **Prinzipien** and getroffener **Annahmen**, welche grundlegend für die Korrektheit, Konsistenz und die (statistisch hinreichende) Vollständigkeit des SBT-Prozesses sind.

Analyse von fundamentalen Herausforderungen

Was sind fundamentale Herausforderungen und wie wurden diese identifiziert?

- Notwendige **Argumente** hinsichtlich angewandter **Prinzipien** and getroffener **Annahmen**, welche grundlegend für die Korrektheit, Konsistenz und die (statistisch hinreichende) Vollständigkeit des SBT-Prozesses sind.
- **Durchsuchen** der wissenschaftlichen Literatur und der Ergebnisse von Forschungsprojekten hinsichtlich SBT von AF.

Analyse von fundamentalen Herausforderungen

Was sind fundamentale Herausforderungen und wie wurden diese identifiziert?

- Notwendige **Argumente** hinsichtlich angewandter **Prinzipien** and getroffener **Annahmen**, welche grundlegend für die Korrektheit, Konsistenz und die (statistisch hinreichende) Vollständigkeit des SBT-Prozesses sind.
- **Durchsuchen** der wissenschaftlichen Literatur und der Ergebnisse von Forschungsprojekten hinsichtlich SBT von AF.
- **Analyse** fundamentaler Herausforderungen hinsichtlich der methodischen Ingerität des SBT-Prozesses.

Fundamentale Herausforderungen:
Allgemeine

(G1) Der Begriff 'Szenario' und seine Konkretisierungen sowie deren technische Realisierungen sind hinreichend ausdrucksstark und eindeutig.

Fundamentale Herausforderungen:
Allgemeine

(G1) Der Begriff 'Szenario' und seine Konkretisierungen sowie deren technische Realisierungen sind hinreichend ausdrucksstark und eindeutig.

(G2) Falls die (mathematische) Glattheit einer Eigenschaft des Systems (d.h. des AFs) angenommen wird, so wird diese Annahme explizit gemacht.

Fundamentale Herausforderungen:
Allgemeine

(G1) Der Begriff 'Szenario' und seine Konkretisierungen sowie deren technische Realisierungen sind hinreichend ausdrucksstark und eindeutig.

(G2) Falls die (mathematische) Glattheit einer Eigenschaft des Systems (d.h. des AFs) angenommen wird, so wird diese Annahme explizit gemacht.

(G3) Der SBT-Prozess adaptiert Veränderungen der Verkehrswelt.

Fundamentale Herausforderungen:
Allgemeine

(G1) **Der Begriff 'Szenario' und seine Konkretisierungen sowie deren technische Realisierungen sind hinreichend ausdrucksstark und eindeutig.**

(G2) Falls die (mathematische) Glattheit einer Eigenschaft des Systems (d.h. des AFs) angenommen wird, so wird diese Annahme explizit gemacht.

(G3) Der SBT-Prozess adaptiert Veränderungen der Verkehrswelt.

Fundamentale Herausforderungen: (G1)

(G1) Der Begriff 'Szenario' und seine Konkretisierungen sowie deren technische Realisierungen sind hinreichend ausdrucksstark und eindeutig.

- Konsistentes SBT setzt ein **gemeinsames Verständnis** des Begriffs 'Szenario' voraus, unter Berücksichtigung verschiedener Standards (ISO/PAS 21448, DIN SAE Spec 91381, ...)

Fundamentale Herausforderungen: (G1)

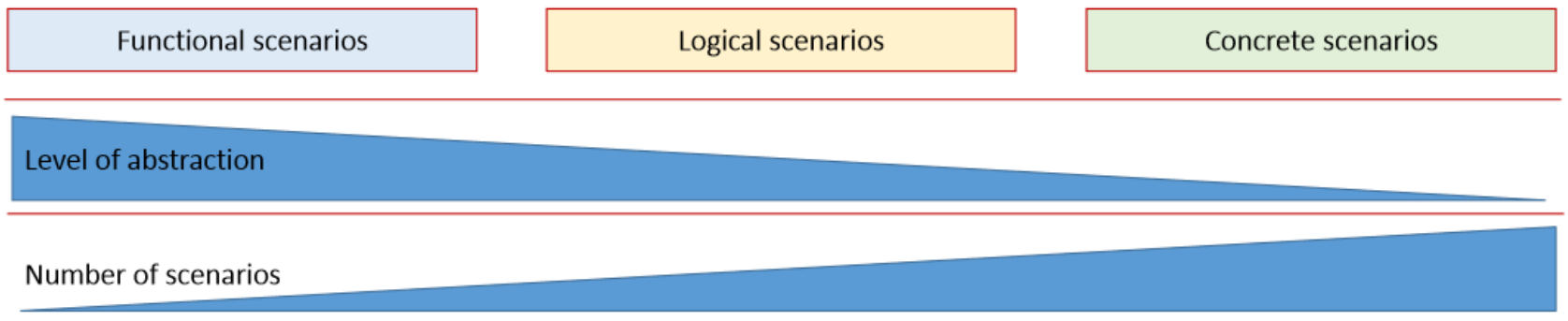
(G1) Der Begriff 'Szenario' und seine Konkretisierungen sowie deren technische Realisierungen sind hinreichend ausdrucksstark und eindeutig.

- Konsistentes SBT setzt ein **gemeinsames Verständnis** des Begriffs 'Szenario' voraus, unter Berücksichtigung verschiedener Standards (ISO/PAS 21448, DIN SAE Spec 91381, ...)
- Verschiedene **Konkretisierungen** von 'Szenario' haben unterschiedliche Anwendungen im SBT-Prozess.

Fundamentale Herausforderungen: (G1)

(G1) Der Begriff 'Szenario' und seine Konkretisierungen sowie deren technische Realisierungen sind hinreichend ausdrucksstark und eindeutig.

- Konsistentes SBT setzt ein **gemeinsames Verständnis** des Begriffs 'Szenario' voraus, unter Berücksichtigung verschiedener Standards (ISO/PAS 21448, DIN SAE Spec 91381, . . .)
- Verschiedene **Konkretisierungen** von 'Szenario' haben unterschiedliche Anwendungen im SBT-Prozess.



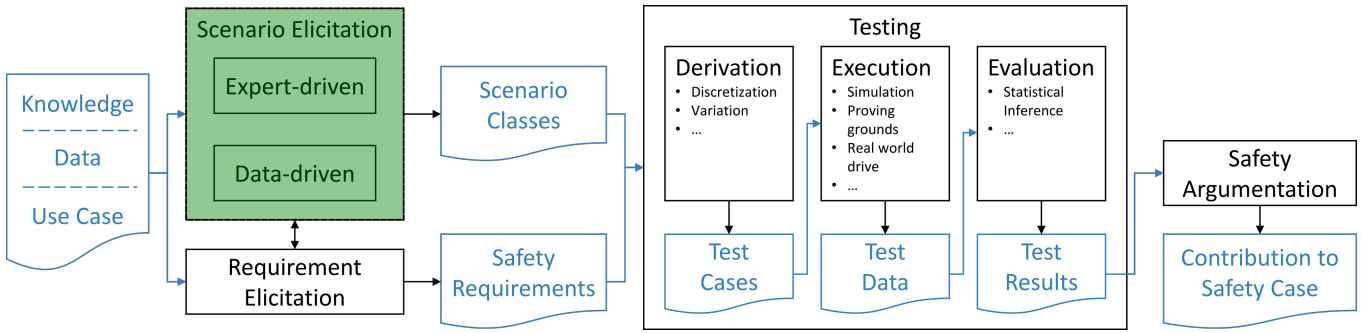
Menzel, Till, Gerrit Bagschik, and Markus Maurer. 'Scenarios for development, test and validation of automated vehicles.' 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). IEEE, 2018.

Fundamentale Herausforderungen: (G1)

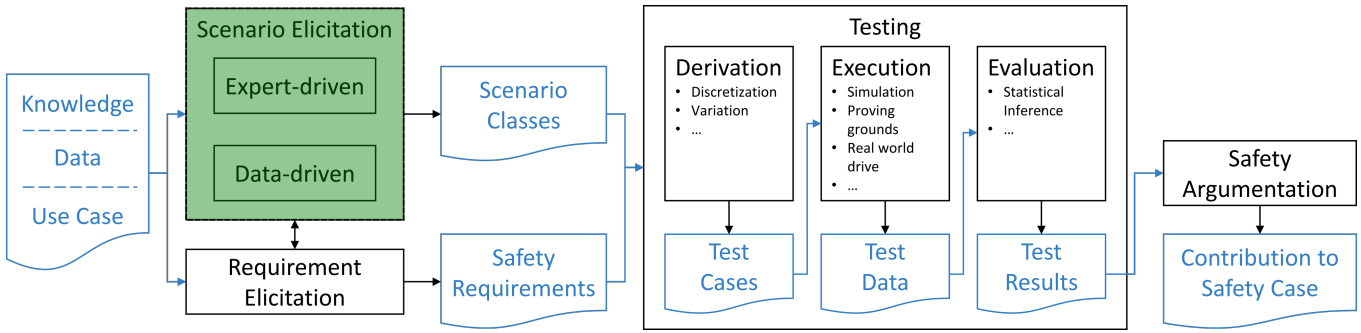
(G1) Der Begriff 'Szenario' und seine Konkretisierungen sowie deren technische Realisierungen sind hinreichend ausdrucksstark und eindeutig.

- Konsistentes SBT setzt ein **gemeinsames Verständnis** des Begriffs 'Szenario' voraus, unter Berücksichtigung verschiedener Standards (ISO/PAS 21448, DIN SAE Spec 91381, ...)
- Verschiedene **Konkretisierungen** von 'Szenario' haben unterschiedliche Anwendungen im SBT-Prozess.
- **Technische Realisierungen** dieser Konkretisierungen, z.B. OpenDRIVE(v1.6)/OpenSCENARIO(v1.x) für konkrete Szenarien, müssen hinreichend **ausdrucksstark und eindeutig** sein.

Fundamentale Herausforderungen:
Erhebung von Szenarien

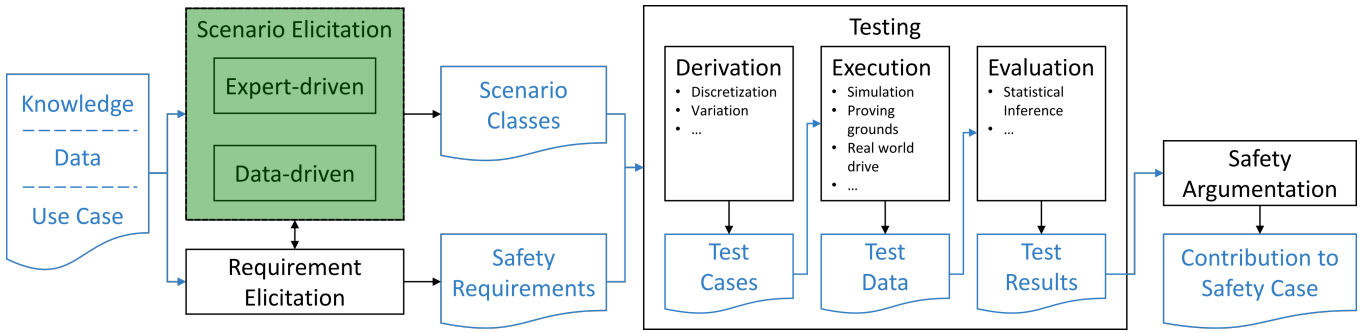


Fundamentale Herausforderungen:
Erhebung von Szenarien



(SE1) Experten-basierte Ansätze werden systematisch ausgeführt und durch Automation unterstützt.

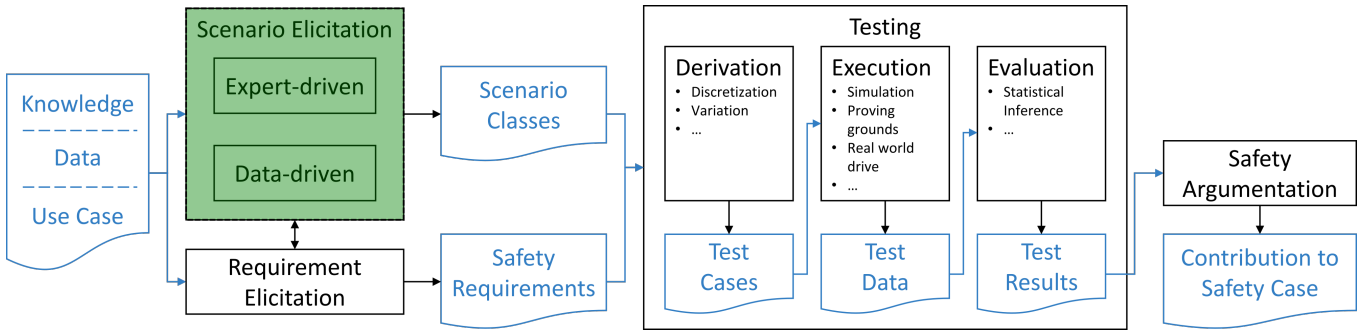
Fundamentale Herausforderungen:
Erhebung von Szenarien



(SE1) Experten-basierte Ansätze werden systematisch ausgeführt und durch Automation unterstützt.

(SE2) Eine Identifikation aller relevanten Phänomene wird durchgeführt, z.B. eine Kritikalitätsanalyse.

Fundamentale Herausforderungen:
Erhebung von Szenarien

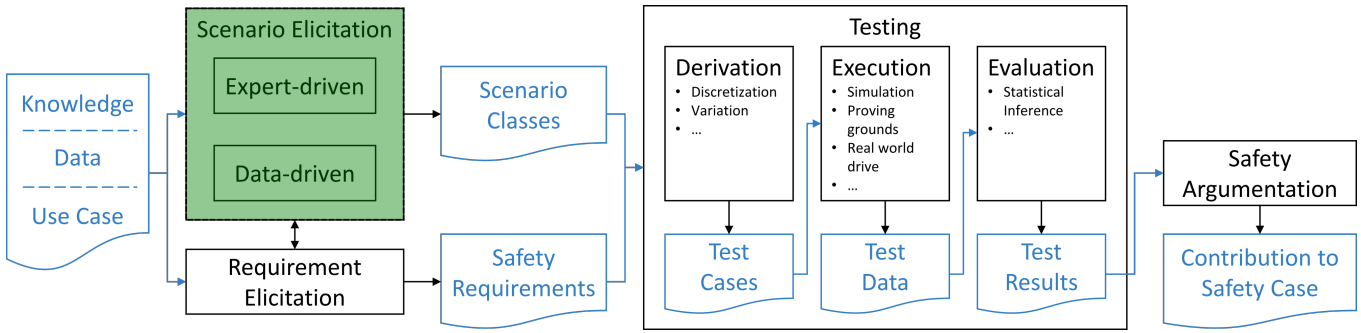


(SE1) Experten-basierte Ansätze werden systematisch ausgeführt und durch Automation unterstützt.

(SE2) Eine Identifikation aller relevanten Phänomene wird durchgeführt, z.B. eine Kritikalitätsanalyse.

(SE3) Daten-basierte Ansätze achten auf repräsentative Messstellen, Messgeräte und valide Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

Fundamentale Herausforderungen:
Erhebung von Szenarien



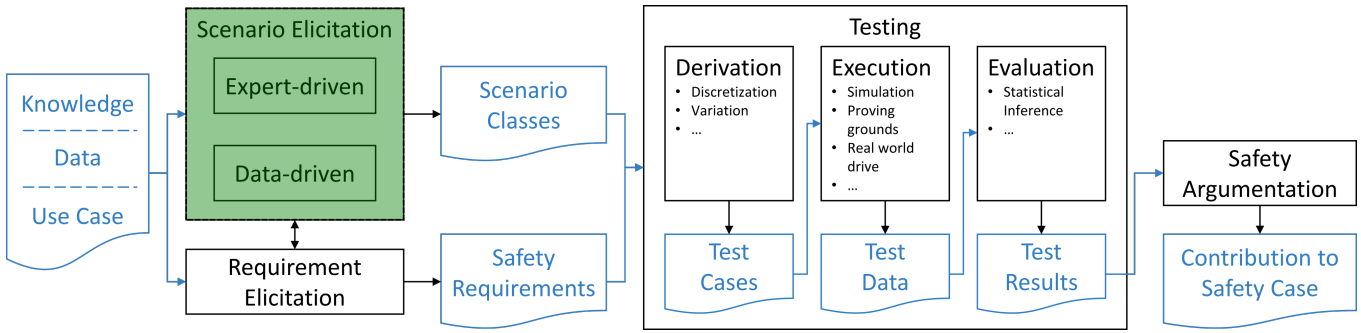
(SE1) Experten-basierte Ansätze werden systematisch ausgeführt und durch Automation unterstützt.

(SE2) Eine Identifikation aller relevanten Phänomene wird durchgeführt, z.B. eine Kritikalitätsanalyse.

(SE3) Daten-basierte Ansätze achten auf repräsentative Messstellen, Messgeräte und valide Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

(SE4) Eine Dekomposition des Testraums in Szenarienklassen wird entweder komplementiert von Evidenz für ihre Vollständigkeit oder von einer Argumentation für den Wegfall von Klassen.

Fundamentale Herausforderungen:
Erhebung von Szenarien



(SE1) Experten-basierte Ansätze werden systematisch ausgeführt und durch Automation unterstützt.

(SE2) **Eine Identifikation aller relevanten Phänomene wird durchgeführt, z.B. eine Kritikalitätsanalyse.**

(SE3) Daten-basierte Ansätze achten auf repräsentative Messstellen, Messgeräte und valide Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

(SE4) Eine Dekomposition des Testraums in Szenarienklassen wird entweder komplementiert von Evidenz für ihre Vollständigkeit oder von einer Argumentation für den Wegfall von Klassen.

Fundamentale Herausforderungen: (SE2)

(SE2) Eine Identifikation aller relevanten Phänomene wird durchgeführt, z.B. eine Kritikalitätsanalyse.

- Daten-getriebene Ansätze der Szenarienerhebung nehmen an, dass relevante Verkehrsphänomene Spuren in der Datenbasis hinterlassen.

Fundamentale Herausforderungen: (SE2)

(SE2) Eine Identifikation aller relevanten Phänomene wird durchgeführt, z.B. eine Kritikalitätsanalyse.

- Daten-getriebene Ansätze der Szenarienerhebung nehmen an, dass relevante Verkehrsphänomene Spuren in der Datenbasis hinterlassen.
- z.B. als **Ursachen von Unfällen** oder von **kritischen Situationen** in Beobachtungsstudien.

Fundamentale Herausforderungen: (SE2)

(SE2) Eine Identifikation aller relevanten Phänomene wird durchgeführt, z.B. eine Kritikalitätsanalyse.

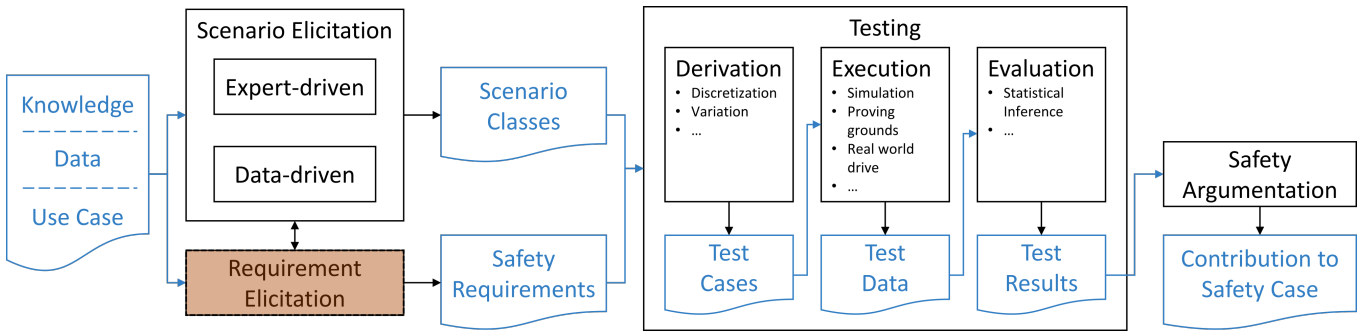
- Daten-getriebene Ansätze der Szenarienerhebung nehmen an, dass relevante Verkehrsphänomene Spuren in der Datenbasis hinterlassen.
- z.B. als **Ursachen von Unfällen** oder von **kritischen Situationen** in Beobachtungsstudien.
- Um eine automatisierte Analyse von Daten hinsichtlich solcher Phänomene zu ermöglich, müssen die Phänomene **formalisiert werden** und **im Datenmodell identifizierbar** sein.

Fundamentale Herausforderungen: (SE2)

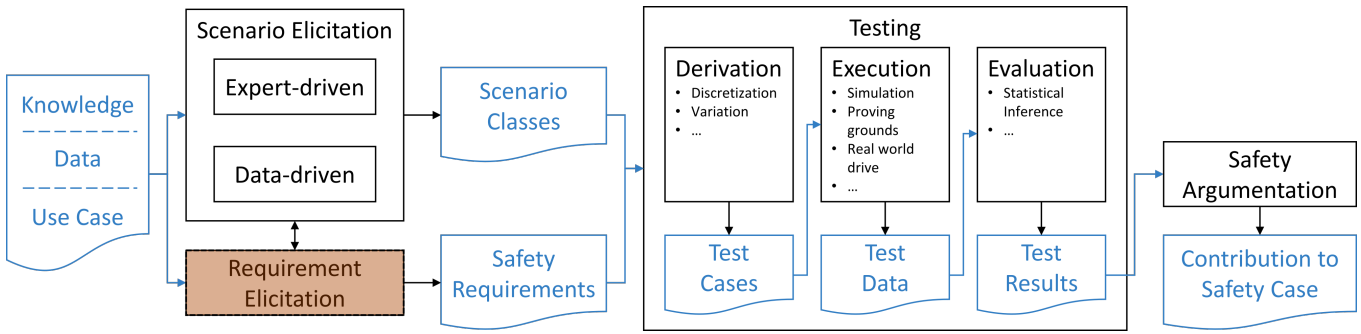
(SE2) Eine Identifikation aller relevanten Phänomene wird durchgeführt, z.B. eine Kritikalitätsanalyse.

- Daten-getriebene Ansätze der Szenarienerhebung nehmen an, dass relevante Verkehrsphänomene Spuren in der Datenbasis hinterlassen.
- z.B. als **Ursachen von Unfällen** oder von **kritischen Situationen** in Beobachtungsstudien.
- Um eine automatisierte Analyse von Daten hinsichtlich solcher Phänomene zu ermöglich, müssen die Phänomene **formalisiert werden** und **im Datenmodell identifizierbar** sein.
- **Manuelle Identifikation** von Phänomenen in Daten durch menschliche Experten ist **sehr aufwändig** und **fehleranfällig**.

Fundamentale Herausforderungen:
Erhebung von Anforderungen

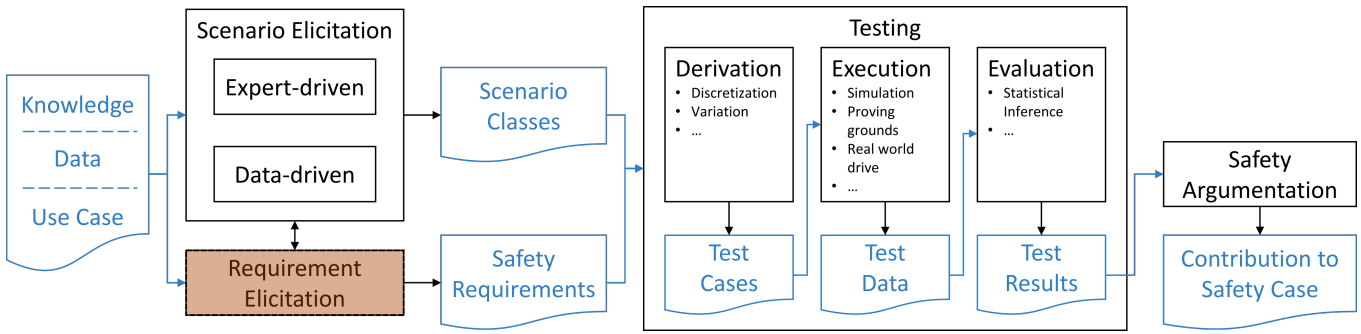


Fundamentale Herausforderungen:
Erhebung von Anforderungen



(RE1) Erhobene Anforderungen sind korrekt, konsistent, vollständig und valide.

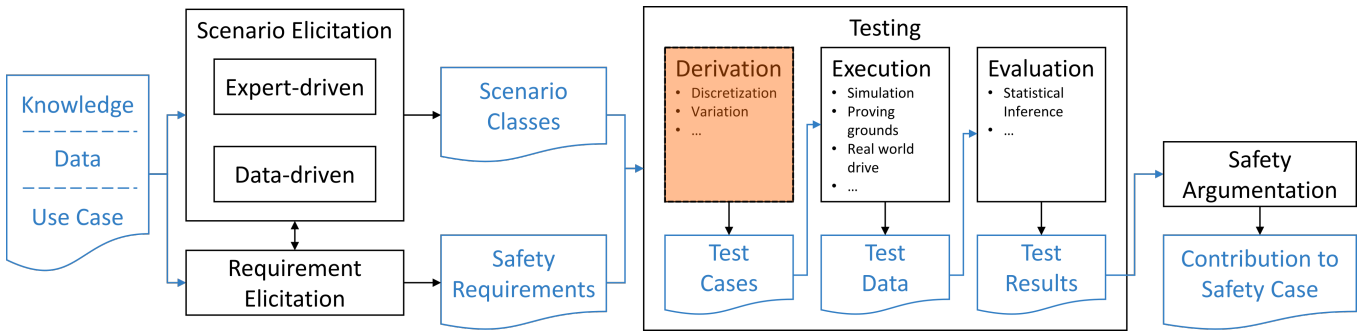
Fundamentale Herausforderungen:
Erhebung von Anforderungen



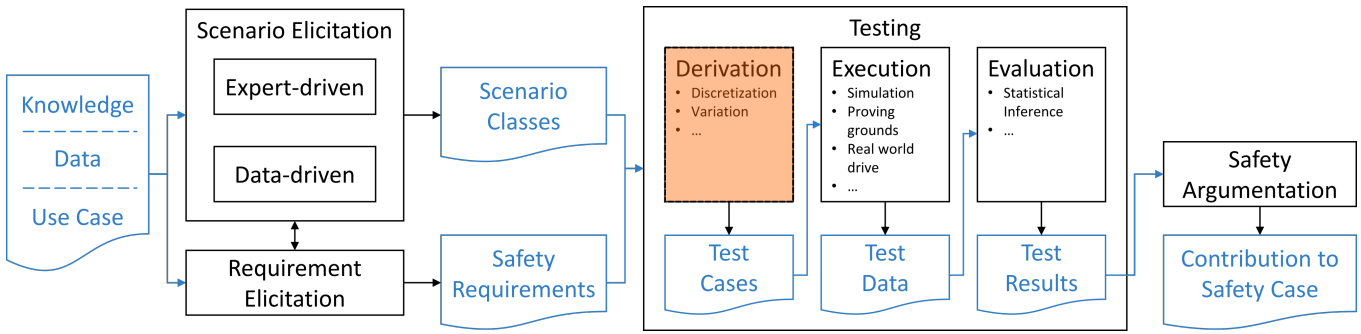
(RE1) Erhobene Anforderungen sind korrekt, konsistent, vollständig und valide.

(RE2) Schlüsselelemente der erhobenen Anforderungen sind beoachtbar und messbar in der Verkehrswelt.

Fundamentale Herausforderungen:
Ableitung von Tests

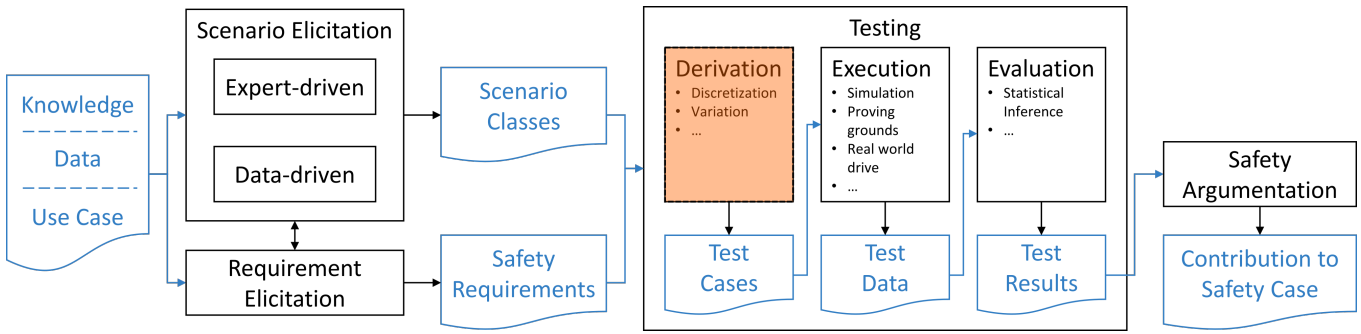


Fundamentale Herausforderungen:
Ableitung von Tests



(TD1) Diskretisierung des Parameterraums schließt keine wertvollen Testfälle aus.

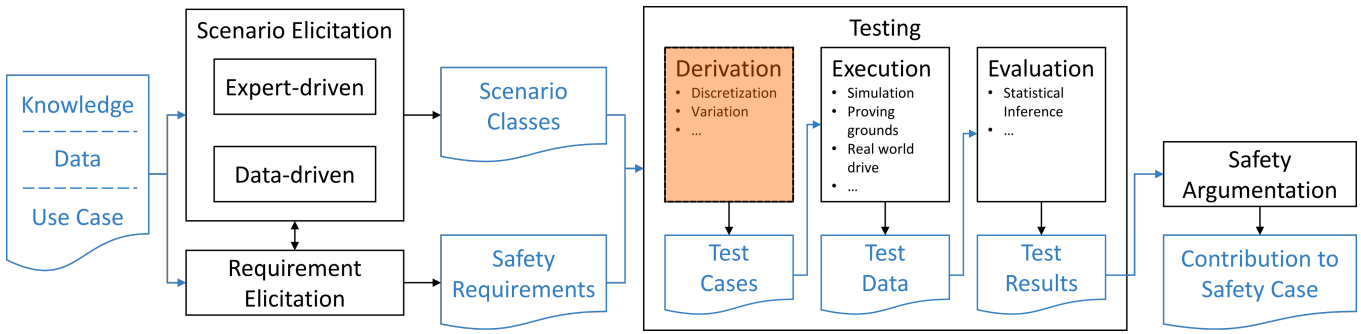
Fundamentale Herausforderungen:
Ableitung von Tests



(TD1) Diskretisierung des Parameterraums schließt keine wertvollen Testfälle aus.

(TD2) Die verwendeten Kritikalitätsmetriken sind valide.

Fundamentale Herausforderungen:
Ableitung von Tests

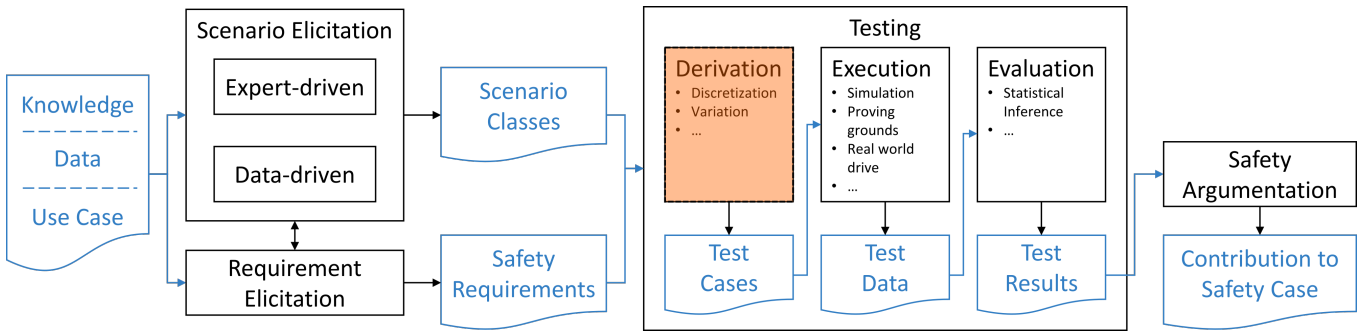


(TD1) Diskretisierung des Parameterraums schließt keine wertvollen Testfälle aus.

(TD2) Die verwendeten Kritikalitätsmetriken sind valide.

(TD3) Angemessene Zielwerte für Kritikalitätsmetriken werden verwendet.

Fundamentale Herausforderungen:
Ableitung von Tests



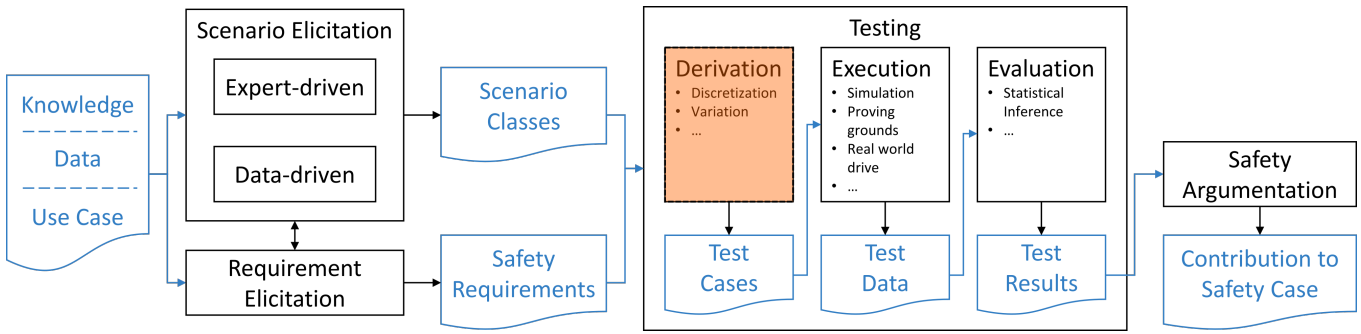
(TD1) Diskretisierung des Parameterraums schließt keine wertvollen Testfälle aus.

(TD2) Die verwendeten Kritikalitätsmetriken sind valide.

(TD3) Angemessene Zielwerte für Kritikalitätsmetriken werden verwendet.

(TD4) Die Menge der kritischen Szenarien wird systematisch exploriert.

Fundamentale Herausforderungen:
Ableitung von Tests



(TD1) Diskretisierung des Parameterraums schließt keine wertvollen Testfälle aus.

(TD2) Die verwendeten Kritikalitätsmetriken sind valide.

(TD3) Angemessene Zielwerte für Kritikalitätsmetriken werden verwendet.

(TD4) **Die Menge der kritischen Szenarien wird systematisch exploriert**.

Fundamentale Herausforderungen: (TD4)

(TD4) Die Menge der kritischen Szenarien wird systematisch exploriert.

- Testfälle können aus Szenarioklassen abgleitet werden, indem Kritikalitätsmetriken zu kritischen Parameterkombinationen geführt werden.

Fundamentale Herausforderungen: (TD4)

(TD4) Die Menge der kritischen Szenarien wird systematisch exploriert.

- Testfälle können aus Szenarioklassen abgleitet werden, indem Kritikalitätsmetriken zu kritischen Parameterkombinationen geführt werden.
- Valide Kritikalitätsmetriken, angemessene Zielwerte und mächtige Optimierungsalgorithmen sind hierfür Voraussetzungen.

Fundamentale Herausforderungen: (TD4)

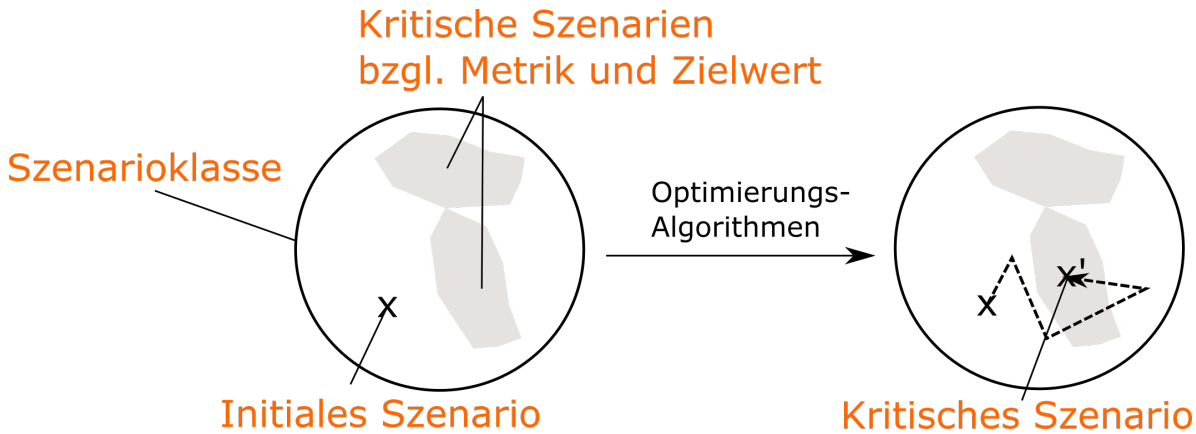
(TD4) Die Menge der kritischen Szenarien wird systematisch exploriert.

- Testfälle können aus Szenarioklassen abgleitet werden, indem Kritikalitätsmetriken zu kritischen Parameterkombinationen geführt werden.
- Valide Kritikalitätsmetriken, angemessene Zielwerte und mächtige Optimierungsalgorithmen sind hierfür Voraussetzungen.
- Trotzdem muss der kritische Szenarienraum systematisch erkundet werden. **Vorsicht vor lokalen Optima!**

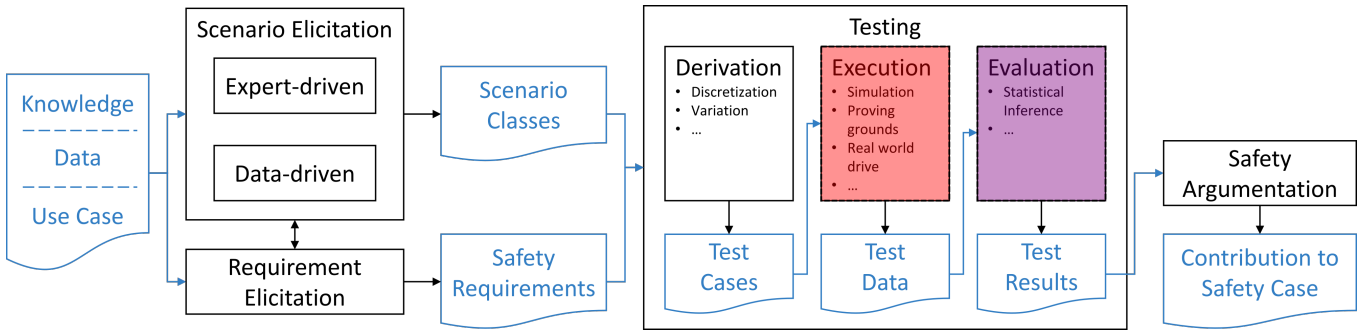
Fundamentale Herausforderungen: (TD4)

(TD4) Die Menge der kritischen Szenarien wird systematisch exploriert.

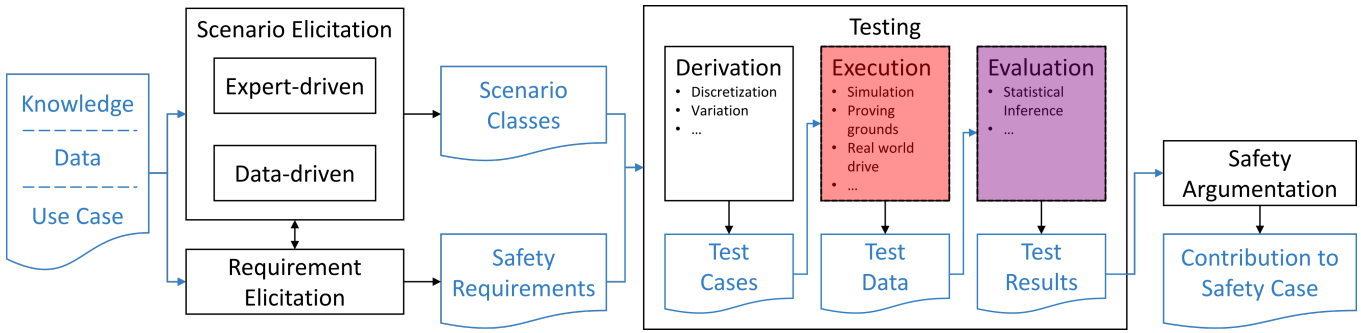
- Testfälle können aus Szenarioklassen abgleitet werden, indem Kritikalitätsmetriken zu kritischen Parameterkombinationen geführt werden.
- Valide Kritikalitätsmetriken, angemessene Zielwerte und mächtige Optimierungsalgorithmen sind hierfür Voraussetzungen.
- Trotzdem muss der kritische Szenarienraum systematisch erkundet werden. **Vorsicht vor lokalen Optima!**



Fundamentale Herausforderungen: Durchführen- & Auswertung von Tests

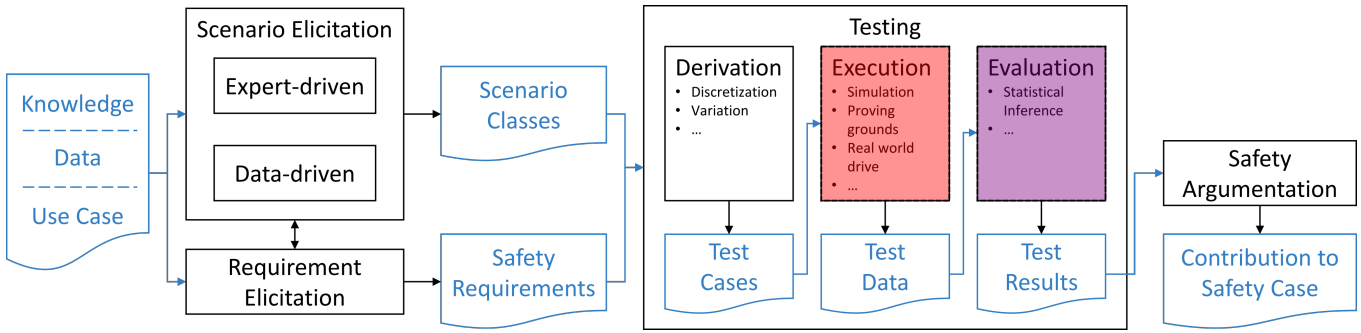


Fundamentale Herausforderungen: Durchführen- & Auswertung von Tests



(TX1) Die Simulationsumgebung, alle verwendeten Modelle und deren Interaktionen sind validiert.

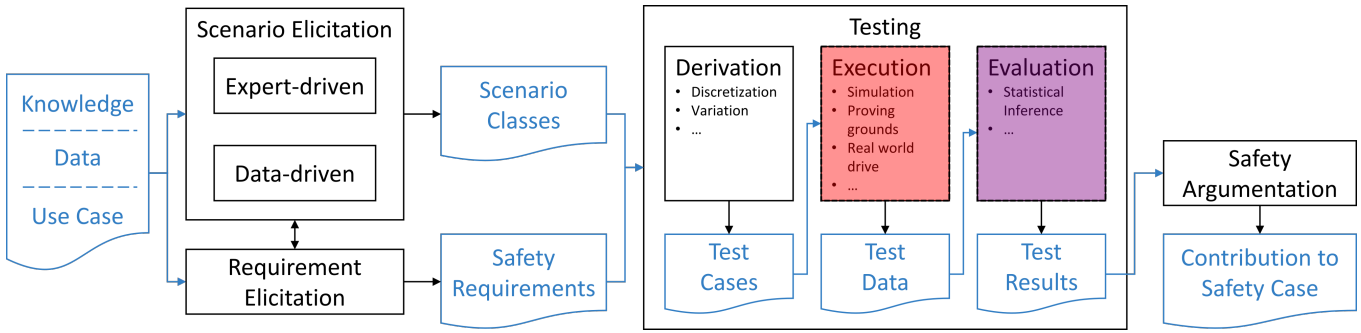
Fundamentale Herausforderungen: Durchführen- & Auswertung von Tests



(TX1) Die Simulationsumgebung, alle verwendeten Modelle und deren Interaktionen sind validiert.

(TE1) Ergebnisse von Tests werden nachvollziehbar zu einer Aussage aggregiert, die den Sicherheitsnachweis für das AF stützt.

Fundamentale Herausforderungen: Durchführen- & Auswertung von Tests



(TX1) Die Simulationsumgebung, alle verwendeten Modelle und deren Interaktionen sind validiert.

(TE1) Ergebnisse von Tests werden nachvollziehbar zu einer Aussage aggregiert, die den Sicherheitsnachweis für das AF stützt.

(TE2) Aussagen über Testabdeckung von Szenarioklassen werden unter Verwendung von fehlerfreien, statistischen Argumenten abgeleitet.

Zukünftige Forschung

Welche Forschungsfragen können basierend auf diesen Resultaten angegangen werden?

Zukünftige Forschung

Welche Forschungsfragen können basierend auf diesen Resultaten angegangen werden?

> Identifikation von weiteren Herausforderungen für SBT von AF (zur Vervollständigung der hiesigen Betrachtung).

Zukünftige Forschung

Welche Forschungsfragen können basierend auf diesen Resultaten angegangen werden?

- Identifikation von weiteren Herausforderungen für SBT von AF (zur Vervollständigung der hiesigen Betrachtung).
- Einbinden dieser Resultate in eine kohärente Sicherheitsargumentation für die Homologation von AF.

Zukünftige Forschung

Welche Forschungsfragen können basierend auf diesen Resultaten angegangen werden?

- Identifikation von weiteren Herausforderungen für SBT von AF (zur Vervollständigung der hiesigen Betrachtung).
- Einbinden dieser Resultate in eine kohärente Sicherheitsargumentation für die Homologation von AF.
- Erforschen adequater Methoden, da wo aktuelle Ansätze unzulänglich sind.

Zukünftige Forschung

Welche Forschungsfragen können basierend auf diesen Resultaten angegangen werden?

- Identifikation von weiteren Herausforderungen für SBT von AF (zur Vervollständigung der hiesigen Betrachtung).
- Einbinden dieser Resultate in eine kohärente Sicherheitsargumentation für die Homologation von AF.
- Erforschen adequater Methoden, da wo aktuelle Ansätze unzulänglich sind.

OFFIS (im Übergang zum DLR SE) arbeitet an diesen Fragen in zahlreichen Forschungsprojekten, u.a. VVMethoden, SET Level, KI DeltaLearning und KI Wissen.

Danke für die Aufmerksamkeit.

Weitere Fragen?

Kontakt: Dr. Christian Neurohr
Email: christian.neurohr@dlr.de

Relevante Veröffentlichungen

- Fundamental Considerations around Scenario-Based Testing for Automated Driving, IEEE IV (2020)
- Criticality Analysis for the Verification and Validation of Automated Vehicles, IEEE Access (2021)
- Criticality Metrics for Automated Driving: A Review and Suitability Analysis of the State of the Art, Preprint (2021)
- Paradigms in Scenario-Based Testing for Automated Driving, ISEEIE (2021)
- Identification and Quantification of Hazardous Scenarios for Automated Driving, IMBSA (2020)
- Identifikation und Quantifizierung von Automationsrisiken für hochautomatisierte Fahrfunktionen, Technical Report PEGASUS (2019)