



© Denis Rozhnovsky | AdobeStock

Automatisiertes Fahren durch Drohnenaufzeichnung und Simulation absichern

Ground Truth im Fokus

Um automatisierte Fahrfunktionen mithilfe des szenariobasierten Testens entwickeln und absichern zu können, spielt das Verständnis über das Verhalten der Verkehrsteilnehmer eine grundlegende Rolle. Reale Verkehrssituationen durch Drohnen aufzuzeichnen hilft, große Mengen verwertbarer Daten zu gewinnen.

Dr. Raphael Pfeffer und Dr. Paul Spannaus

ur integralen und funktionalen Absicherung automatisierter Fahrfunktionen, also Level 2 und 3+, bietet sich ein szenariobasiertes Vorgehen an, das sich an Normen wie ISO 26262 oder SOTIF orientiert. Dabei gilt es, kritische Situationen – sowohl bekannte als auch unbekannt – zu identifizieren und das fehlerfreie Verhalten der Fahrfunktion abzusichern. Hierfür ist nicht nur ein Verständnis über das Verhalten der Verkehrsteilnehmer notwendig, es muss auch die statistische Relevanz von Szenarien berücksichtigt werden. Mit skalierbar erzeugten Top-View-Drohnenbeobachtungen – integriert in eine physikalische Simulation – sowie einer vollständigen Situationsrekonstruktion lässt sich eine umfangreiche Fahrzeug-Sensordatenbasis generieren. Die von den Umfoldsensoren gesammelten Daten reichen von logischen Objektlisten über physikalische, virtuelle Sensorinformationen wie Lidar und Radar bis hin zu Eigenbewe-

gungen wie Beschleunigungen, Lenkwinkel, Nicken und Wanken. Damit liegt für die Entwicklung und Absicherung automatisierter Fahrfunktionen eine belastbare und skalierbare Ground Truth vor.

Datengetriebene Entwicklung

Eine automatisierte Fahrfunktion muss dazu in der Lage sein, die Längs- und/oder Querverführung eines Fahrzeugs in allen vorstellbaren realen Verkehrssituationen fehlerfrei übernehmen zu können. Viele Situationen lassen sich dabei aus der Definition der Fahrfunktion funktional erschließen. Beispielhafte kritische Situationen sind zwischen parkenden Fahrzeugen hervorlaufende Kinder oder Einschervorgänge auf der Autobahn, die mit zu geringem Abstand durchgeführt werden. Viele dieser Situationen sind vorab bekannt und in entsprechenden Testkatalogen im Software-Entwicklungsprozess des Fahrzeugs nutzbar.

Sogenannte blinde Flecke, hervorgerufen beispielsweise durch unvorhersehbare Verhaltensweisen, sind hingegen nicht bekannt. Es ist unklar, wie viele mögliche kritische Situationen für eine konkrete Fahraufgabe sowie deren Software-Umsetzung existieren und wie wahrscheinlich deren Auftreten ist. So entsteht in der Fahrzeugentwicklung die Notwendigkeit zur Etablierung eines Ablaufs, der systematisch alle kritischen Situationsbeschreibungen überführt, ohne dabei Verkehrsteilnehmer zu gefährden.

So vielfältig Situationen im Straßenverkehr sein können, so unterschiedlich sind auch die Reaktionsmuster auf eine konkrete Situation. Eine Bestimmung ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit ist deshalb nur mit einer umfangreichen, den Verkehr nicht beeinflussenden Situationsbeobachtung möglich. Die daraus gewonnenen Situationen und Erkenntnisse bilden synthetisiert die Basis

für die Software- und Funktionsgestaltung des automatisierten Fahrens.

Prozessual verzahnen sich bei der virtuellen Entwicklung des digitalen Zwillings mehrere Elemente: das V-Modell aus der Fahrzeugentwicklung, die durch Anwendungsfälle beschriebenen Anforderungen an das Soll-System, die in diesem System möglicherweise auftretenden Fehler (ISO 26262) sowie die Sicherheitsansprüche der Sollfunktion (SOTIF) inklusive systematischer Schwachstellenreduktion und szenarienbasierter Absicherung. Mit dem digitalen Zwilling liegt eine Abbildung der Wirklichkeit vor, an die Entwickler konkrete Anfragen stellen können. Exemplarisch könnte das die systematische Suche nach kritischen Situationen sein, in denen hochskalierte Cluster-Simulationen und Optimierungsverfahren zum Einsatz kommen können. Auch die szenarienbasierte Absicherung des neu generierten Software-Flash-Containers im Daily-Build-Prozess oder die Suche kritischer Testfälle für Safety- und Security-Fragestellungen sind denkbar.

Fehlverhalten-Minimierung

Die Bundesregierung legt mit der „Verordnung zur Regelung des Betriebs von Kraftfahrzeugen mit automatisierter und autonomer Fahrfunktion und zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften“ fest, dass bei entsprechenden Fahrzeugen – neben der Pflicht der Hersteller zum Nachweis systematischer Methoden zur Fehlverhalten-Minimierung – auch der Fahrzeughalter zu einer quartalsmäßigen Systemprüfung verpflichtet wird. Damit der digitale Zwilling der realen Umgebung (**Bild 1**) belastbar ist, gilt es, ihn mit Beobachtungen aus der realen Welt anzureichern – insbesondere bei der Szenarienerfassung. Dazu lassen sich unter anderem rund um die Uhr Beobachtungen basierend auf Datenquellen vorhandener Infrastruktur realisieren. Systembedingt sind hier die perspektivische Verzerrung und Objektüberdeckung zu berücksichtigen. Aus der Fahrzeug-Egoposition ist die Wahrnehmung per Sensorik in Hinsicht auf Qualität und Sichtbarkeit limitiert. Eine mit Drohnen aufgezeichnete Top-View-Perspektive erlaubt die Beobachtung der tatsächlichen Situation mit allen Verkehrsteilnehmern einschließlich deren Bewegungen. Nur

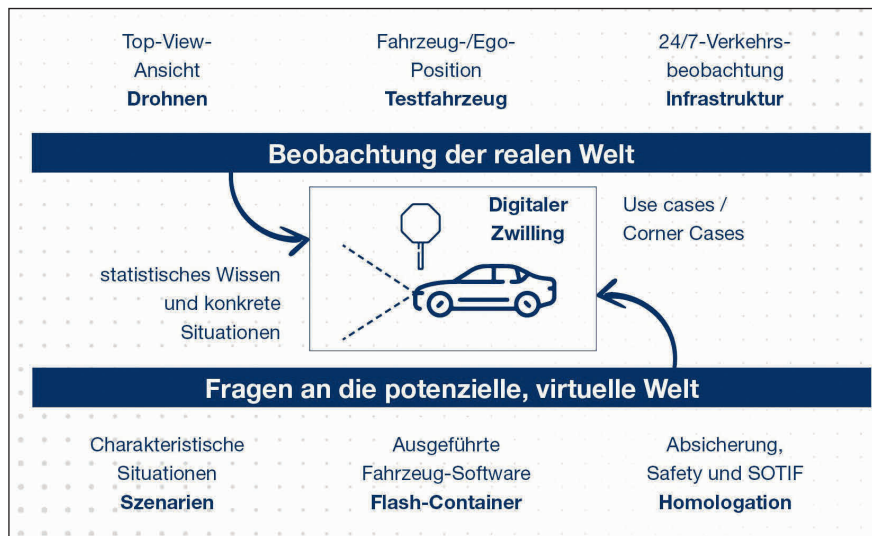


Bild 1: Abbildung der realen Welt durch den Digitalen Zwilling © IPG Automotive, Automatum

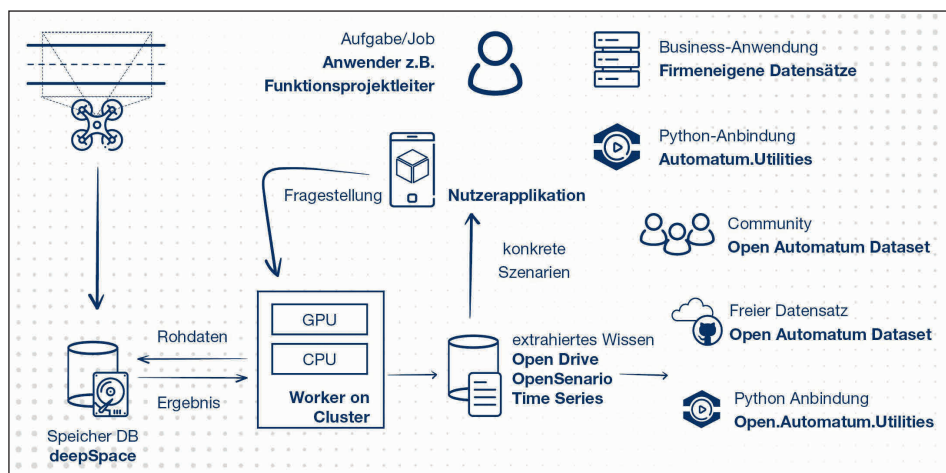


Bild 2: Workflow zur Wissensextraktion aus Drohnen- und anderen Daten © IPG Automotive, Automatum

die Drohnenflughöhe und die Kameraauflösung limitieren den Beobachtungsbereich der Verkehrsteilnehmer.

Mit dem Open Automatum Dataset liegt ein kommerziell nutzbarer, freier Datensatz deutscher Autobahnabschnitte mit unterschiedlichen Kurvenradien vor, der eine 30 Stunden umfassende Aufnahme des Freiflussverkehrs auf einer Streckenlänge von ca. 250m samt Python Utility bereithält. Die Aufnahme enthält zudem Trajektorien der Objekte, Relativbeziehungen der Referenzobjekte auf ein beliebiges Egofahrzeug und die Beschreibung der statischen Welt. Dieser Datensatz zeigt, dass aus Drohnenaufzeichnungen Ground-Truth-Informationen der Szenarien entstehen, indem über lange Zeiträume hinweg mit Algorithmen komplexe Situationen mitsamt den Koordinaten aller Verkehrsteilnehmer bestimmt werden. Die Vogelperspektive ermöglicht dabei die Bestimmung der Fahrbahngren-

zung und der absoluten Objektbewegungen im Verkehrsraum. Damit sich nahezu unbegrenzt viele abgeleitete Szenarien generieren lassen, hat Automatum Data eine skalierbare Datenverarbeitungs-Pipeline entwickelt. Diese erlaubt es, Optimierungen der einzelnen Verarbeitungsschritte auf sämtliche assoziierten Daten anzuwenden oder umfangreiche Neudatenverarbeitungen durchzuführen. Aus Sicht des Anwenders ergibt sich damit beispielhaft die Möglichkeit, Fragen zum Verkehrsverhalten datengetrieben und damit belastbar zu beantworten sowie konkrete aufgezeichnete Szenarien zur Verifikation der Software oder der Funktion zu identifizieren. Exemplarisch könnten etwa alle Szenarien ausgegeben werden, bei denen die laterale Relativgeschwindigkeit einsicherender Fahrzeuge bei einer Autobahnfahrt bei hoher Verkehrsdichte im Stau weniger als 60 km/h beträgt. Grundlage für die konkreten Er-

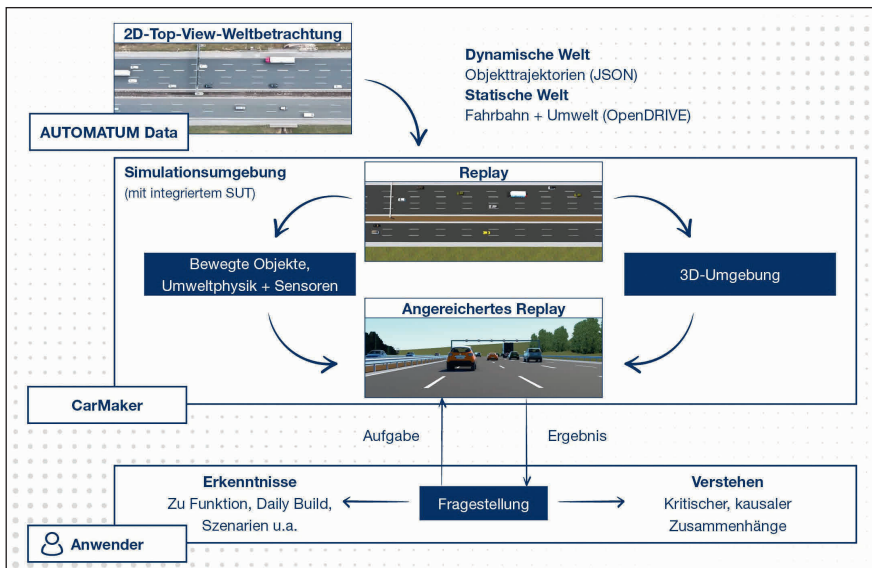


Bild 3: Automatisierte Verwendung von realen Daten in der Simulation © IPG Automotive, Automatum

gebnisse in Form von Szenarien ist das Durchsuchen der in der Datenbank verfügbaren Top-View-Datensätze. Je nach Funktion und Anforderungen kann zudem die Aufzeichnung des Verkehrs an den zu beobachtenden Fahrbahnstellen explizit beauftragt oder eigenständig mit Drohnen umgesetzt werden.

Die aufgezeichneten Verkehrsbeobachtungen werden initial im Datenspeicher deepSpace abgelegt. Sie werden je nach Prozessierungsschritt – KI-Objekterkennung, Trajektorien-Fitting, Perspektivenkorrektur, KPI-Ermittlung, automatisierte Fehlerkorrektur – in Containern auf GPU- oder CPU-Cluster-Einheiten verarbeitet. Die daraus resultierenden Ergebnisse werden in den Datenspeicher zurückgespielt. Der Anwender erhält auf dieser Grundlage konkrete und für die Fragestellung passende Szenarien mit dem extrahierten Wissen (Bild 2) der statischen und dynamischen Welt, beispielsweise im OpenDRIVE-Standard.

Verknüpfung der Daten mit der Simulation

Das referenzierte Open Automatum Dataset erweitert die bei Nutzern gegebenenfalls auf anderen Messmethoden beruhenden Datensätze, die es ermöglichen, individuellen Anforderungen gerecht zu werden. Die Anbindung an die OpenAutomatum.Utilities ist für sämtliche Einsatzmöglichkeiten identisch, damit Optimierungen der Pipeline für alle Nutzer bereitstehen.

Die Grundlage für die Simulation bildet die 2D-Beschreibung der Automatum Data Pipeline in Form von Objektbewegungen in der x/y-Ebene, die durch eine statische Beschreibung der

Welt angereichert werden. Der voll automatisierte Übertrag in die Integrations- und Testplattform CarMaker erlaubt dann eine 3D-Betrachtung. So wird die Top-View-Beobachtung für anschließende Variationen und Analysen nutzbar.

Aus den von Drohnen beobachteten Szenarien mit statischen Elementen – etwa der Straße und den dazugehörigen Markierungen – sowie dynamischen Elementen, also alle bewegten Objekte mitsamt ihren Trajektorien, resultieren Szenarien für die Simulation (Bild 3). Diese lassen sich durch andere dynamische Elemente anreichern. So ist eine nennenswerte Skalierung der möglichen Ergebnisse erzielbar. An dieser Stelle findet die Toolbox ScenarioRRR von IPG Automotive Anwendung und etabliert folgenden Ablauf:

- Recording – Aufnahme einer validen Umgebung aus der Vogelperspektive,
- Replay – Wiedergabe der Simulation in CarMaker und
- Rearrange – Variation der Szenarien und Ableitung weiterer Szenen.

In der hier vorgestellten Anwendung stützt sich die Toolbox auf die von Automatum aufgenommenen Daten. Der Einsatz von standardisierten Formaten vereinfacht dabei den Datenaustausch. Die statischen Informationen zu Straße, Straßenmarkierungen und Verkehrszeichen können in der Simulation über das OpenDRIVE- oder ROAD5-Format direkt als Repräsentation der statischen Welt genutzt werden. Mit dem JSON-Format lässt sich das Verhalten der nun simulierten Objekte über die Zeit beschreiben.

Im ersten Schritt werden alle Objekte mitsamt ihren Trajektorien aus dem Da-

tensatz im Open-Loop-Verfahren in der Simulation abgebildet. Wahlweise kann anschließend jedes Objekt dabei auch aus der Ego-Perspektive betrachtet werden. Die Objekte fahren dann im Closed-Loop-Verfahren die ursprünglichen Geschwindigkeitsprofile nach. Dabei wird ein fahrdynamisch plausibles Verhalten augmentiert und zusätzliche Funktionen wie die Fahrzeugeigenbewegung mit allen korrespondierenden Sensorinformationen bereitgestellt. Die physikalischen Modelle der Umwelt runden die Simulation bei der Datenanreicherung von der 2D-Perspektive in eine vollständige 3D-Welt ab. Die Betrachtung der so erzeugten Szenarien mit verschiedenen virtuellen Sensorinstanzen, wie Lidar, Radar oder Kamera, generiert zusätzlich für die real beobachtete Situation eine virtuelle, aber belastbare Wirklichkeit.

Entsprechend basiert der digitale Zwilling auf realen Situationen. Über Variationen des direkten oder assoziierten Replays lassen sich verschiedene Fragestellungen an die umgesetzte Fahrfunktion, dem System-under-Test (SUT) und seiner gesamten Wirkkette, beantworten. Eine mögliche Fragestellung könnte sein, ob sich die Time-to-Collision unter einem definierten Schwellenwert befindet oder gleichzeitig sehr hohe Beschleunigungen bei einem anderen Verkehrsteilnehmer auslöst. Die resultierenden Werte können auf spezifische Corner Cases für bestimmte Fahrfunktionen hinweisen.

Schlussfolgerung

Der dargestellte Ansatz ermöglicht es, durch eine Kombination verschiedener Verfahren kritische Situationen gezielt herbeizuführen. Das ermöglicht die Erzeugung relevanter, jedoch in der Realität selten auftretender Szenarien auf Basis einer realen Datengrundlage. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine effiziente Absicherung automatisierter Fahrfunktionen. ■ (eck)

www.ipg-automotive.com



Dr. Raphael Pfeffer ist Manager Innovation bei IPG Automotive. © IPG Automotive



Dr. Paul Spannaus arbeitet bei Automatum Data in Kronach. © Automatum Data