

# Blick in die **Zukunft**



**Oberstes Ziel bei der Entwicklung autonomer Fahrzeuge ist die Unfallvermeidung. Professor Matthias Althoff arbeitet an einem Verfahren, das autonomes Fahren zu fast 100 Prozent sicher macht. Seine Software kann in Sekundenbruchteilen Verkehrssituationen vorausberechnen – und so gewährleisten, dass das Auto nicht mit anderen Verkehrsteilnehmern kollidiert.**

Full Article (PDF, EN): [www.tum.de/faszination-forschung-28](http://www.tum.de/faszination-forschung-28)

## Looking into the Future

E

Self-driving cars must not endanger others. They need to be prepared for all possible traffic situations in order to avoid accidents and collisions. The aim of Prof. Matthias Althoff's research is to enable autonomous vehicles to interact more safely with other road users. His software makes independent decisions in real time, which enables hazards to be avoided seconds before they occur. In addition, the program constantly captures traffic data, analyzes events in millisecond resolution while driving, and predicts what will happen next. The software then calculates the range of possibilities for all nearby road users and determines different options while simultaneously calculating possible emergency maneuvers. An autonomous car controlled by the software can only proceed with a given route if no collisions are foreseeable and an emergency maneuver can also be performed. □

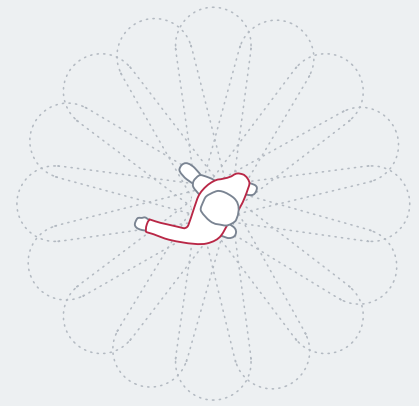
Link

[www.ce.cit.tum.de/air](http://www.ce.cit.tum.de/air)

**B**eim Autofahren kann viel Überraschendes passieren. Ein bremsender Vordermann, eine plötzlich kreuzende Radfahlerin, ein Fußgänger, der unvermittelt auf die Straße tritt – die Varianten, in denen sich Gefahren im Straßenverkehr auftun können, sind quasi unendlich. Sitzt ein Mensch hinter dem Steuer, kann dieser die Gefahrensituation meist adäquat einschätzen und entsprechend darauf reagieren. Er antizipiert das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer und nimmt in Gedanken vorweg, dass zum Beispiel die am Rand stehende Fußgängerin plötzlich auf die Straße treten könnte.

Autonome Fahrzeuge können bei derzeitigem Technikstand mit menschlicher Kognition nicht mithalten. Sie verlassen sich weitgehend auf erlernte und gespeicherte Muster und fahren nach starren Regeln – was ihre Flexibilität in komplexen Verkehrssituationen einschränkt und die Unfallgefahr erhöht. Vor allem müssen sie auf möglichst viele Szenarien vorbereitet sein, damit sie adäquat reagieren können.

Doch das zu bewerkstelligen ist alles andere als einfach. Aufgrund der riesigen Kombinationsvielfalt können nicht alle möglichen Szenarien im Vorhinein festgelegt werden. Kurvenenge, Kurvenkrümmung, Spurbreite, Fahrzeuganzahl, Fahrrichtungen, Geschwindigkeiten – die möglichen Varianten für die zentralen Parameter des Autofahrens erzeugen eine gigantische Menge an Kombinationen, die unmöglich alle getestet werden können.



„Reines Testen reicht nicht aus, um ein autonomes Fahrzeug abzusichern“, erklärt Matthias Althoff, Professor für Cyber-Physical Systems an der TUM. „Wenn man eine 95-prozentige Sicherheit haben will, dass das autonome Auto genauso zuverlässig fährt wie der Mensch, müsste es ungefähr 440 Millionen Kilometer gefahren sein. Das ist unwirtschaftlich.“ Abgesehen davon, so Althoff, wird ein Auto die meisten Szenarien und Kombinationen möglicher Verkehrssituationen nie erleben.

### Entscheidung in Echtzeit

Zusammen mit seinem Forschungsteam will Matthias Althoff erreichen, dass autonome Autos ähnlich agieren wie Menschen: Sie sollen künftig nicht mehr nur stur nach erlernten Regeln fahren, sondern in Echtzeit eigene Entscheidungen treffen und so – Sekunden im Voraus – Gefahren ausschließen.

Dafür müssen die Maschinenautos, ganz analog wie Menschen, vorausschauend fahren und Verkehrssituationen antizipieren können. „Um dieses Ziel zu erreichen, überlegen wir uns, was der andere Verkehrsteilnehmer alles machen könnte“, sagt Althoff. Bevor sich ein selbstständig fahrendes Fahrzeug in Bewegung setzt, berechnet Althoffs Softwaresystem die „Menge aller Möglichkeiten“ an Situationen, die Sekundenbruchteile später eintreten können. Diese „Erreichbarkeitsmenge“ ist der zentrale Kern des ganzen Konzepts.

Das dahinterstehende Verfahren nennt sich Erreichbarkeitsanalyse. Es errechnet, welche Positionen zum Beispiel ein Auto oder eine Fußgängerin bzw. ein Fußgänger in den nächsten Sekunden einnehmen kann. „Diese Mengen zu bestimmen und das Ganze mit der Bewegungsplanung von anderen Fahrzeugen abzustimmen ist nicht einfach“,

erklärt Althoff. Weil diese Erreichbarkeitsmenge zudem aufwendig zu berechnen ist, begnügt man sich mit einfachen Modellen, die mathematisch besser zu erfassen sind. Gleichzeitig mit der Erreichbarkeitsmenge wird ein Notfallmanöver konstruiert. Das könnte etwa schnelles Abbremsen oder Gasgeben sein, sodass das Fahrzeug ohne Gefährdung anderer Menschen an einen sicheren Ort gebracht werden kann. „Wir haben immer ein Notfallmanöver vorrätig, das uns in einen sicheren Zustand bringt“, sagt Althoff. „Nur wenn eine Route ohne voraussehbare Kollision befahren werden kann und gleichzeitig ein Notfallmanöver möglich ist, darf sie befahren werden.“

### Bessere Reaktionen

Das theoretische Konzept hat Althoff zusammen mit seinem Team in einem Softwaremodul umgesetzt, das das Geschehen während der Fahrt permanent analysiert und prognostiziert. In einem ersten Schritt erfasst das Programm zunächst auf Basis der Kamera- und Radardaten in Millisekunden jede Verkehrsteilnehmerin und jeden Verkehrsteilnehmer in der Nähe.

Auf Basis dieser Daten berechnet es dann die Erreichbarkeitsmenge – also alle möglichen Bewegungen der Verkehrsteilnehmer, die in nächster Zeit ausgeführt werden können. Auf diese Weise blickt das Softwaresystem drei bis sechs Sekunden in die nächste Zukunft. Mit den Berechnungen ermittelt das Programm anschließend mehrere Bewegungsoptionen für das Auto – darunter auch das Notfallmanöver. Eine Einschränkung gibt es allerdings. Die Handlungen müssen sich außerdem in Einklang mit der Straßenverkehrsordnung befinden.

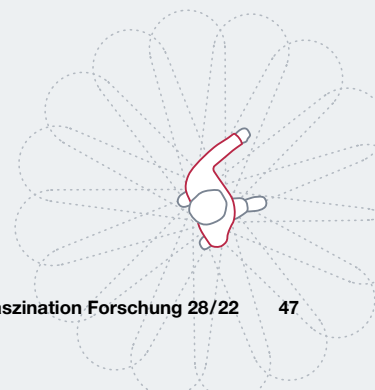
Der neue Ansatz könnte einen Paradigmenwechsel beim autonomen Fahren einläuten. Mit der Software von Althoff

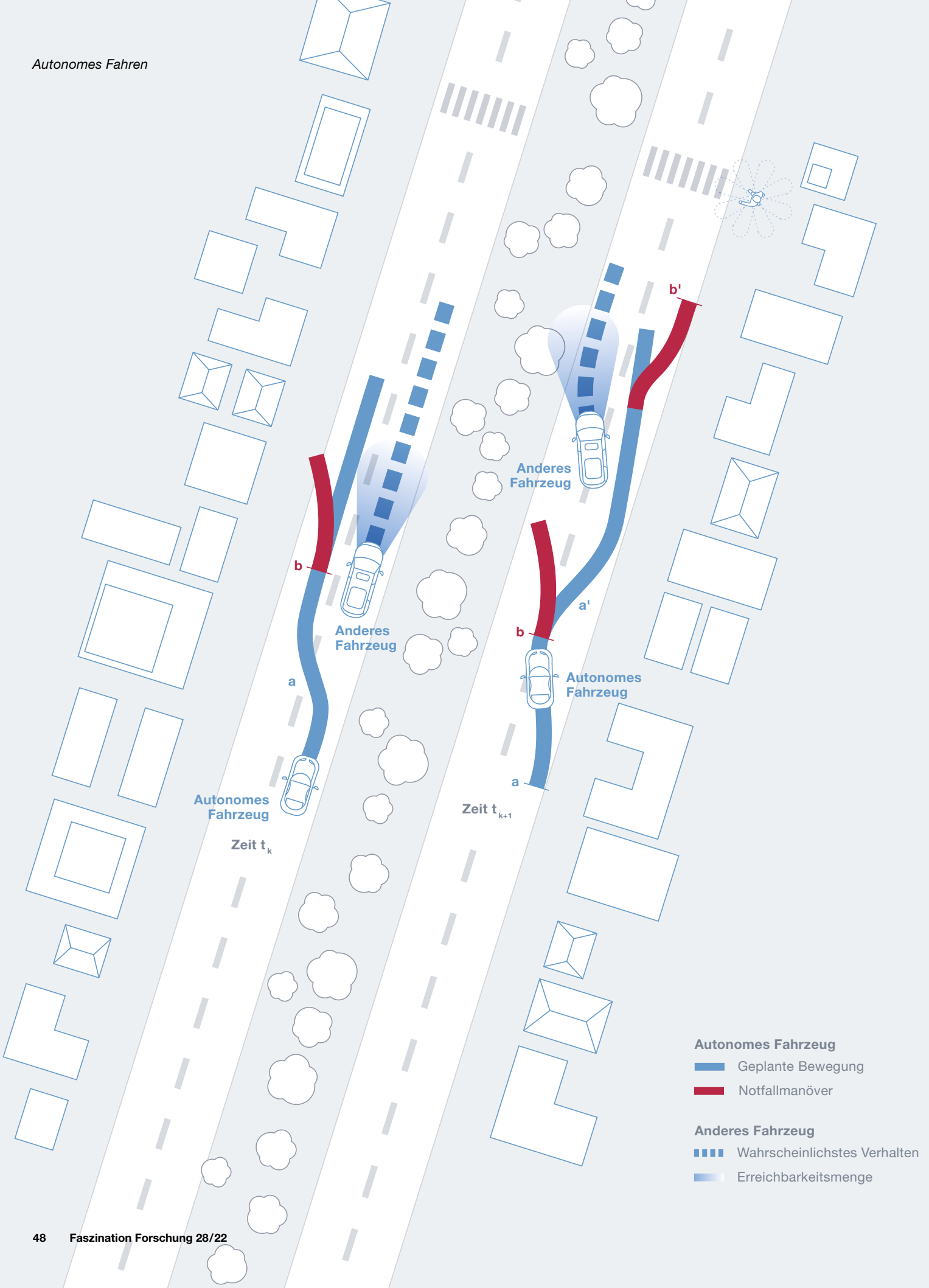
*„Reines Testen reicht nicht aus, um ein autonomes Fahrzeug abzusichern.“*

Matthias Althoff

können Autos besser auf unerwartete und vom Hersteller nicht vorhergesehene Zwischenfälle im Straßenverkehr reagieren. Das Münchner Forschungsteam konnte nicht nur zeigen, dass eine Datenauswertung in Echtzeit und eine gleichzeitige Simulation der künftigen Verkehrssituation theoretisch möglich ist. Sie konnte auch den mathematischen Nachweis erbringen, dass sie zuverlässige Ergebnisse liefert. Aktuell laufen auch Praxis-Tests im realen Straßenverkehr.

Klaus Manhart







---

### Prof. Matthias Althoff

---

erhielt seinen Abschluss als Diplom-Ingenieur in Maschinenbau und seine Promotion in Elektrotechnik im Jahr 2010, beide an der TUM. Von 2010 bis 2012 war er Postdoktorand an der Carnegie Mellon University in Pittsburgh, USA, und von 2012 bis 2013 Assistenzprofessor an der Technischen Universität Ilmenau. Seitdem ist er Professor für Informatik an der TUM. Seine Forschungsinteressen umfassen die formale Verifikation von kontinuierlichen und hybriden Systemen, Erreichbarkeitsanalysen, Planungsalgorithmen, nichtlineare Steuerung, autonome Fahrzeuge und Energiesysteme.

---

#### ◀ Das Unerwartete planen

Die Grafik veranschaulicht das von Althoff entwickelte Softwaremodul für sicheres autonomes Fahren. Im Ausgangsszenario will das autonom fahrende blaue Fahrzeug ein langsames Fahrzeug überholen. Analog wie ein menschlicher Fahrer geht der Host davon aus, dass der andere Wagen mit gleicher Geschwindigkeit weiterfährt und auf der Spur bleibt.

In Althoffs Konzept wird nun der Verhaltensraum des zu überholenden Fahrzeugs analysiert, sprich: was dieses machen könnte. Dies ist die Erreichbarkeitsmenge. Im Beispiel sind  $a$  und  $a'$  zwei Abschnitte der geplanten Bewegung. Gleichzeitig wird ein Notfallmanöver konstruiert ( $b$  und  $b'$ ). Das Manöver wird dann wichtig, wenn kein sicheres zukünftiges Verhalten mehr gefunden werden kann. In diesem Fall muss das Fahrzeug über das Notfallmanöver in einen sicheren Zustand überführt werden.

Erst wenn  $a$  und  $b$  verifiziert wurden, startet das autonome Fahrzeug – im Bild ist dies der Zeitpunkt  $t_k$ . Im Zeitschritt  $t_{k+1}$  macht das andere Fahrzeug einen unerwarteten und extremen Spurwechsel. Das ursprüngliche Notfallmanöver  $b$  ist weiterhin sicher, das autonome Fahrzeug muss aber nicht notwendigerweise abbremsen und zum Stehen kommen.

Dynamisch hat sich eine neue Lösung  $a'$  mit einem Notfallmanöver  $b'$  ergeben – die beide wieder sicher sein müssen gegenüber dem Verhalten des anderen. Wurde diese Lösung verifiziert, kann die neue Strecke gefahren werden.