

68

BILD: SHUTTERSTOCK/SUWIN66

Rücksichtsvoll durch KI: Autonome Fahrzeuge stehen in ständigem Datenaustausch. Das soll Unfälle minimieren und den Verkehr effizienter und flüssiger machen; damit er zudem umweltfreundlicher wird, soll der Trend weg vom Individualverkehr gehen – anders als hier im Bild gezeigt.

AUTOS MIT INNEREN WERTEN

TEXT: THOMAS BRANDSTETTER

Die ersten selbstfahrenden Autos sind bereits im Einsatz. Allerdings ist bisher weder die Technik ausgereift, noch sind alle ethischen Fragen dazu geklärt. Außerdem ist es höchste Zeit, darüber nachzudenken, wie die neue Technologie künftig zu mehr Nachhaltigkeit im Verkehr beitragen kann.

Weniger Unfälle, nachhaltigere Mobilität und mehr Komfort – die Erwartungen an eine Mobilitätswende durch autonome Fahrzeuge sind groß: Sie sollen den Verkehr sicherer und nachhaltiger machen und dürften allen, die das Autofahren als lästig und nervenaufreibend empfinden, auch bequemer erscheinen. In Deutschland sind zwar noch keine fahrerlosen Autos auf den Straßen anzutreffen, doch der Trend scheint unaufhaltsam. Während in San Francisco eine autonome Flotte der Google-Schwesterfirma Waymo Praxistests absolviert, hat sich in Hamburg die Hochbahn AG als Betreiberin des öffentlichen Nahverkehrs die Sache zu eigen gemacht. Gemeinsam mit dem On-Demand-

Dienst Moia sowie den Fahrzeugherstellern Holon und VW planen die Hamburger, ihren Fuhrpark mit etwa eintausend Bussen bereits in den kommenden Jahren durch eine Flotte autonom gesteuerter Fahrzeuge zu ergänzen.

Auf dem Weg zum flächendeckenden Einsatz von Robotaxis gilt es allerdings noch einige Probleme zu lösen. So wirft eine autonom agierende Maschine, die im Straßenverkehr unter Umständen über Leben und Tod entscheiden muss, auch schwerwiegende ethische Fragen auf. Es wird wohl einer breiten gesellschaftlichen Diskussion darüber bedürfen, in welche Relation ein Fahrzeug etwa das Leben seiner eigenen Passagiere zu dem anderer Verkehrsbeteiligter stellen soll. Und auch der Nutzen der neuen Technologie für die Umwelt ist noch unklar. Die im Moment drängendsten Probleme sind aber immer noch Mängel der Technik. In San Francisco etwa häufen sich Beschwerden über fahrerlose Autos, die ohne einen

ersichtlichen Grund mitten auf den Straßen einfach stehen bleiben und beispielsweise Wege für Einsatzfahrzeuge blockieren.

„Für das autonome Fahren ist entscheidend, dass die Systeme lernen, auch komplexe Verkehrssituationen zu erkennen und daraus die richtigen Entscheidungen abzuleiten“, sagt Bernt Schiele, der sich als Direktor am Max-Planck-Institut für Informatik unter anderem mit Computer Vision befasst. Gemeinsam mit seinem Team hat er das KI-Modell MTR++ entwickelt, mit dem autonome Fahrzeuge effizienter darauf trainiert werden können, das Verhalten anderer Verkehrsbeteiligter einzuschätzen und dementsprechend zu reagieren. Damit haben die Forschenden bereits zweimal den ersten Platz der Motion Prediction Challenge von Waymo belegt – ein Wettbewerb, bei dem verschiedene KI-Systeme auf ein und demselben Datenset trainiert und danach ihre Vorhersagen verglichen werden. Kommen zum Beispiel mehrere



Mobilität für morgen:

Dieses vollelektrische On-Demand-Shuttle lässt während eines Testbetriebs im Juli 2021 die Hamburger Elbphilharmonie hinter sich.

Ein neu designtes Fahrzeug soll ab 2026 im Rahmen des Forschungsprojekts Alike je bis zu 15 Personen an ein Ziel ihrer Wahl bringen – ab 2030 auch ohne Fahrer.



FOTO: HOCHBAHN

70

Fahrzeuge aus unterschiedlichen Richtungen auf eine Kreuzung zu, ergibt sich eine Vielzahl von Möglichkeiten, wer wann in welche Richtung abbiegt und welche Bahn ein Fahrzeug dabei genau verfolgt. „In so einer Situation stehen alle Beteiligten miteinander in Beziehung und beeinflussen sich gegenseitig“, sagt Schiele. „Um die Systeme darauf zu trainieren, setzen wir deshalb auf Transformermodelle, die so ähnlich arbeiten wie jene, die auch hinter den großen Sprachmodellen stecken.“

Grundsätzlich basiert die künstliche Intelligenz (oder genauer: das maschinelle Lernen, wie es Schieles Arbeitsgruppe verwendet) darauf, dass sich künstliche neuronale Netze, die durchaus Parallelen zu biologischen Nervensystemen aufweisen, anhand großer Mengen von Trainingsdaten so lange selbst optimieren, bis sie schließlich die Zusammenhänge erkennen und zuverlässig die richtigen Ergebnisse liefern. Für die jüngsten,

beeindruckenden Leistungen von Chat-GPT und Co. wurde dieses Konzept noch um die Fähigkeit erweitert, Dinge auf effiziente Weise miteinander in Beziehung zu setzen. Wo ihre Vorgänger Sätze noch Wort für Wort analysieren mussten, um die Strukturen menschlicher Sprache zu ergründen, erlaubt es die Transformerarchitektur den neuen Sprachmodellen, ganze Sätze auf einmal zu betrachten. Dabei stellt der Transformer für alle Wörter gleichzeitig fest, wie stark sie zueinander in Beziehung stehen. Der Algorithmus lernt so, was einzelne Worte im Kontext bedeuten. Diese erst 2017 erfundene Methode hat nicht nur die Welt der Computerlinguistik auf den Kopf gestellt, sondern auch Einzug in das computerbasierte Sehen gehalten. Denn so wie die Bedeutung eines Wortes davon abhängt, wie es in einen Satz eingebettet ist, wird auch das Verhalten derer, die am Verkehr teilnehmen, von der Gesamtsituation bestimmt. Dazu analysieren die Systeme unterschiedliche

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die Technik selbstfahrender Autos ist noch nicht ausgereift. Wissenschaftler wie Iyad Rahwan erforschen zudem, wie KI im Straßenverkehr Menschenleben priorisieren soll und wie Vertrauen in diese Technologie entsteht.

Menschen vertrauen eher, wenn nachvollziehbar ist, warum die KI welche Entscheidung trifft. Bernt Schiele entwickelt daher neuronale Netze, die komplexe Verkehrssituationen besser erkennen und interpretieren.

Autonome Fahrzeuge könnten den Verkehr sicherer machen. Umweltfreundlicher machen sie ihn nur unter bestimmten Bedingungen, etwa wenn On-Demand-Shuttles den Individualverkehr reduzieren.

Verkehrssituationen und versuchen, das Verhalten der anderen Fahrzeuge zu verstehen. „Ein Sprachmodell liefert auf einen Prompt das nächste Wort eines Satzes“, erklärt Schiele. „Und unser System sagt auf die Eingabe, wo man selbst hinfahren möchte, die möglichen Bewegungsbahnen aller beteiligten Fahrzeuge an einer Kreuzung voraus.“

Dabei verarbeitet die KI alle Informationen über Fahrzeuge und Fahrbahn gleichzeitig. Daher ist das Training, verglichen mit früheren Methoden, bei denen die einzelnen Akteure im Straßenverkehr und ihre Relationen zueinander noch separat modelliert werden mussten, deutlich effizienter. „Wenn das alles zusammen passiert, lässt das dem Netzwerk beim Lernen viel mehr Freiheit. Und das macht den Lernprozess wesentlich mächtiger“, erklärt Schiele. „Allerdings weiß man dafür aber nicht mehr so ganz genau, wie das Netzwerk die Relationen modelliert hat.“ Die mangelnde Interpretierbarkeit ihrer Ergebnisse ist ein grundlegendes Problem künstlicher neuronaler Netze. Während bei klassischen Computerprogrammen Zeile für Zeile genau nachvollziehbar ist, wie der Code funktioniert und was er tut, kennt man beim maschinellen Lernen zwar die Algorithmen, die ein neuronales Netz trainieren, doch wie genau das

Netz, also das Modell, im Hintergrund zu seinem Ergebnis kommt, bleibt ihm weitgehend selbst überlassen. Die Trainingsdaten geben gewissermaßen das Ergebnis vor, und der KI-Algorithmus optimiert eine hochkomplexe Funktion mit vielen Parametern. Ziel ist es, das Training so geschickt zu gestalten, dass das Modell auch im Anwendungsfall gute Ergebnisse liefert.

Erklärbare Entscheidungen

Für einfache Klassifikationsaufgaben funktioniert das zwar sehr gut, und ein neuronales Netz kann lernen, was etwa ein Fahrrad ausmacht, wenn es nur genügend unterschiedliche Bilder von Fahrrädern gesehen hat. Doch manchmal läuft während des Trainings auch etwas schief, und das Netz stützt die Klassifikation nicht auf das eigentliche Objekt, sondern auf andere Bildinhalte, die damit in Zusammenhang stehen. „In einer unserer Analysen haben wir zum Beispiel festgestellt, dass ein System Fahrräder manchmal nur deshalb gefunden hat, weil ein Mensch daraufsaß“, sagt Schiele. Solche Fehler, die auf Korrelationen mit anderen Bildinhalten basieren, sind bei herkömmlichen neuronalen Netzen nur schwer auf-

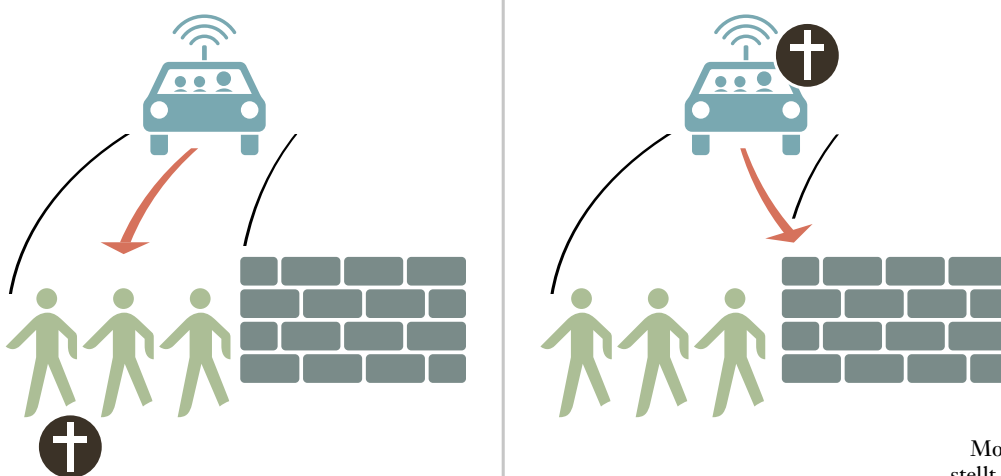
zudecken. „Das Ergebnis ist ja richtig, nur eben aus dem falschen Grund.“

Deshalb entwickeln Schiele und sein Team spezielle neuronale Netze, die auch eine Fehlersuche zulassen. „Aktuell werden Netzwerke vor allem auf möglichst hohe Leistungsfähigkeit getrimmt und nicht darauf, ihre Entscheidungen auch zu erklären“, sagt Schiele. Das neue System des Max-Planck-Instituts dagegen liefert als Ergebnis nicht nur, was es auf einem Bild zu erkennen glaubt, sondern zeigt zusätzlich genau an, welche Pixel des Bildes für diese Entscheidung relevant waren. So kann es dem User schon während des Betriebs seine Entscheidungen erklären. Und wenn es etwa Bildinhalte wie die Person auf dem Fahrrad hervorhebt, die nicht zum klassifizierten Fahrrad gehören, deutet das sofort auf ein Problem hin. So kamen die Forschenden auch einem weiteren unzureichend trainierten Netzwerk auf die Schliche, das eine Straße nur dann als solche erkannte, wenn ein Auto darauf fuhr. „Wenn wir das Auto aus dem Bild nehmen, hat das Netzwerk die Straße nicht mehr gesehen“, berichtet Bernt Schiele. Nur wenn Netze auch interpretierbar seien, ließen sich solche Fehler frühzeitig erkennen. „Oder es hilft zumindest im Nachhinein dabei, den Fehler aufzudecken, wenn etwas falsch gelaufen oder gar ein Unfall

71



GRAFIK: GCO NACH MORALMACHINE.NET



Moralisch eindeutig? In diesem Beispiel stellt die „Moral Machine“ Teilnehmende vor die Wahl: Soll eine KI das Auto mit zwei Kindern und einer erwachsenen Person an Bord in eine Gruppe von drei Erwachsenen lenken oder besser in die Wand?

passiert ist.“ Für Iyad Rahwan, den Direktor des Forschungsbereichs Mensch und Maschine am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, ist gerade das eine wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz von autonomen Fahrzeugen. „Um bei den Menschen Vertrauen in diese neue Technologie zu erzeugen, ist es wichtig, dass wir die Autos fragen können, warum sie was getan haben“, sagt der Forscher, der sich in seiner Arbeit mit den ethischen Fragen am Schnittpunkt zwischen Computer- und Verhaltenswissenschaften beschäftigt. „Schließlich macht es ja einen Unterschied, ob ein Fahrzeug etwa einen Radfahrer einfach nicht gesehen hat oder ob es entschieden hat, ein gewisses Risiko einzugehen.“ Ersteres wäre ein rein technisches Problem, welches natürlich möglichst schnell behoben werden muss. Zweiteres könnte hingegen das Resultat einer Abschätzung der KI sein, ob sie den Schutz der eigenen Insassen über den anderer Beteiligter stellt.

72 Mit ihrer Plattform „Moral Machine“ haben Rahwan und sein Team die Szenarios, in denen eine KI im Straßenverkehr möglicherweise über Leben und Tod entscheiden muss, auf

die Spitze getrieben. An der Online-studie können alle teilnehmen, die Interesse haben. Darin fragen die Forschenden anhand vereinfachter, illustrativer Darstellung von gefährlichen Verkehrssituationen etwa, ob ein autonomes Fahrzeug, das keine Möglichkeit hat auszuweichen, eher ein Kind oder zwei erwachsene Personen überfahren soll. Oder ob die KI am Steuer das Auto vielleicht doch lieber vorher gegen eine Wand prallen lassen und damit das Leben der eigenen Insassen gefährden soll. „Solche Situationen werden in der Realität natürlich nur sehr, sehr selten vorkommen“, räumt Rahwan ein. „Aber die Menschen können nicht aufhören, über solche Fragen nachzudenken. Und wenn wir wollen, dass sie autonome Fahrzeuge nutzen, müssen wir darauf Antworten liefern.“

Mittlerweile haben über drei Millionen Menschen weltweit an „Moral Machine“ teilgenommen und 40 Millionen Entscheidungen in das System eingegeben. Wer selbst ein Verkehrsszenario bewerten will, hat online die Möglichkeit dazu. Einige der Ergebnisse waren durchaus erwartbar, wie etwa dass Kinderleben als schützenswerter erachtet werden als die von Er-

wachsenen. Auch darüber, dass insgesamt möglichst wenige Menschen zu Schaden kommen sollen, selbst wenn das auf Kosten der Insassen geht, war man sich grundsätzlich einig. Das Problem dabei ist allerdings, dass niemand selbst in einem solchen Fahrzeug sitzen möchte. „Da existiert eine große Spannung zwischen dem, was Menschen für richtig halten, und dem, was Konsumenten bereit sind, anzunehmen“, sagt Rahwan. Und das sei ein Problem für die gesamte Gesellschaft; schließlich könne man davon ausgehen, dass eine flächendeckende Einführung autonomer Fahrzeuge insgesamt zu deutlich weniger Verkehrstoten führen würde. „Hier wird es wichtig sein, die Leute davon zu überzeugen, nicht nur an ihre eigene Sicherheit zu denken, sondern auch an das Allgemeinwohl“, meint Iyad Rahwan. Die plakativen Fragen von „Moral Machine“ mögen überspitzt sein, doch dass autonome Fahrzeuge wichtige Entscheidungen treffen müssen, steht außer Frage. „In der Realität wird es vor allem um statistische Fragen gehen“, meint Rahwan. So müssen Programmierinnen und Programmierer etwa entscheiden, ob ein Fahrzeug im normalen Betrieb eher in der Mitte einer



FOTO: WAYMO

Die autonomen Fahrzeuge von Waymo verfügen über drei Sensortypen, die jeweils eigene Aufgaben übernehmen. LiDAR-Lasersensoren und ein Radarsystem tasten die Umgebung dreidimensional ab, wobei die Radiowellen des Radars auch den Hamburger Nebel durchdringen können. Eine 360-Grad-Kamera auf dem Dach überwacht und kategorisiert die Umgebung bildlich.

Straße fährt oder eher am Rand. Das beeinflusst automatisch die Wahrscheinlichkeit, entweder in den Gegenverkehr zu geraten und einen schweren Unfall zu verursachen oder stattdessen vielleicht diejenigen einer größeren Gefahr auszusetzen, die am Fahrbahnrand mit dem Rad unterwegs sind. „Solche Entscheidungen werden sich langfristig in den Unfallstatistiken niederschlagen“, warnt Rahwan. „Und wenn wir wollen, dass die Menschen autonome Fahrzeuge annehmen, müssen wir einen Weg finden, die Sicherheitsvorteile, die sie bieten, gerecht zu verteilen.“

Weniger Individualverkehr durch KI

Darüber, dass autonome Fahrzeuge den Straßenverkehr insgesamt sicherer machen würden, scheint jedenfalls Einigkeit zu herrschen. Schließlich gehen die allermeisten Unfälle auf menschliches Versagen zurück, verursacht von solchen, die etwa zu schnell, unachtsam oder gar betrunken unterwegs sind. Ob und vor allem in welcher Form sich das autonome Fahren durchsetzen wird, steht dennoch auf einem anderen Blatt. „Die Hoffnung unter uns Forschenden ist allerdings, dass gemeinsam genutzte autonome Fahrzeuge nach und nach die privaten Pkw ersetzen werden“, sagt Michael Krail, der am Competence Center Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung das Geschäftsfeld Mobilität leitet.

Vor allem in Form von Ridepools, bei denen mehrere Anfragen von Fahrgästen, die in eine ähnliche Richtung wollen, gebündelt werden, könnte das den Anteil des Straßenverkehrs an der Klimaerwärmung deutlich reduzieren. „Wenn einen so ein Fahrzeug zu Hause vor der Tür abholt, dann hat das die gleiche Funktionalität wie der eigene Pkw“, sagt Krail. „Das könnte durchaus auch preislich attraktiv sein und sogar dem öffentlichen Verkehr Konkurrenz machen.“ Denn teuer sind an Taxis oder Shuttles mit weni-

gen Fahrgästen vor allem die Fahrerinnen und Fahrer. Im Hamburger Projekt Alike werden sich noch Begleitpersonen in den Fahrzeugen befinden, aber spätestens ab 2030 soll die Flotte der Minibusse autonom unterwegs sein und könnte dann laut dem Karlsruher Institut für Technologie 250 000 Pkw ersetzen. Alle Hamburgerinnen und Hamburger sollen bis dahin innerhalb von fünf Minuten Zugang zu einem öffentlichen Verkehrsmittel erhalten können. Krail zufolge würden sich auch gut abgestimmte Kombilösungen anbieten. So könnte das Taxi einen etwa zum Zug bringen, und an der Zielstation wartet dann bereits wieder ein Shuttle zur Weiterfahrt. Genau das ist auch das Ziel des EcoBus-Systems, das ein Team des Max-Planck-Instituts für Dynamik und Selbstorganisation entwickelt hat und mit verschiedenen Verkehrsbetrieben testet (siehe *Max-PlanckForschung* 1/2019).

Aber wie nachhaltig ist ein einzelnes autonomes Fahrzeug unterwegs im Vergleich zu einem herkömmlichen Pkw? Es ist zwar anzunehmen, dass die Algorithmen vorausschauendes Fahren ermöglichen und damit je nach Antrieb Kraftstoff oder Strom sparen. Und spätestens wenn alle Fahrzeuge autonom und vernetzt unterwegs sind, sollte das den Verkehrsfluss verbessern und zu weiteren Einsparungen führen. Andererseits sind die künstlichen neuronalen Netze, die über unzählige Sensoren ihre Umgebung erfassen und die Fahrentscheidungen treffen, wahre Energiefresser. Und die Computerhardware aktueller Prototypen füllt oftmals noch den gesamten Kofferraum aus. „Derzeit ist dieser zusätzliche Stromverbrauch tatsächlich noch ein großes Problem“, meint Krail. Allerdings zwingt die Transformation zur Elektromobilität die Hersteller auch dazu, sich in Sachen Stromverbrauch zukünftig zu disziplinieren, da ihre Fahrzeuge ansonsten Reichweite einbüßen und sich schlechter verkaufen lassen. „Man kann also durchaus davon ausgehen, dass die Fahrzeuge, die dann irgendwann auf den Markt kommen werden, nicht mehr so viel Strom für Steuerung und Datentransfer benötigen werden“, sagt Krail. Was den-

noch bleibt, ist die Sorge um die Art und Weise, wie die neue Technologie in Zukunft tatsächlich genutzt wird. Denn auch wenn sich autonome Fahrzeuge als sicherer, komfortabler und womöglich sogar als kostengünstiger herausstellen, muss das nicht automatisch zu einer nachhaltigeren Mobilität führen. Schlimmstenfalls könnten Pkw auch einfach eins zu eins durch privat genutzte autonome Fahrzeuge ersetzt werden, die einen am Ziel absetzen – und wenn sie dort keinen Parkplatz finden, womöglich noch leer im Kreis fahren, bis sie wieder gebraucht werden. „Um solche Auswüchse zu verhindern, sollten wir die Entwicklung sehr genau beobachten und rechtzeitig geeignete Rahmenbedingungen schaffen“, mahnt Michael Krail. Schließlich soll die neue Technologie ein Teil der Lösung sein und nicht zu einem weiteren Problem werden.

←

73

GLOSSAR

MASCHINELLES LERNEN
klassifiziert große Datenmengen, erkennt Motive auf Bildern und trifft Vorhersagen. Menschen trainieren ein Modell, indem sie auf Bildern etwa händisch Bildelemente markieren und deren Bedeutung angeben. Wie gut das fertige Modell eigenständig Bildelemente auf unbekanntem Bildern erkennt, hängt von der Qualität des Trainings ab.

NEURONALE NETZE
werden im Deep Learning trainiert, einem Teilbereich des maschinellen Lernens. Das Netz verarbeitet Daten wie etwa Pixelwerte durch viele Schichten. Die oberen Schichten erkennen einfache Merkmale wie Kanten und Formen, die tieferen Schichten erkennen Konzepte wie „Straße“ oder „Mensch“. Vorteil: Das Modell erkennt eigenständig komplexe Merkmale in unbekanntem Bildern. Nachteil: Je komplexer das Netz ist, desto schlechter sind die Ergebnisse nachvollziehbar.