

Bild: Albert Hulm

# Autos lernen hören

## Signalquellen orten, Klingeln und Rufe erkennen

**Moderne Autos nutzen längst Kameras, aber noch keine Audiosensoren. Forscher testen Mikrofone und Audio-KI am Fahrzeug. Die orten Einsatzfahrzeuge, die sich mit Martinshorn nähern, nehmen abgenutzte Bremsbeläge wahr und erkennen Sprachbefehle, etwa zum Öffnen des Kofferraums.**

Von Arne Grävemeyer

Die Zahl der Fahrassistenzsysteme in Pkw ist in den vergangenen Jahren schnell gestiegen. Kameras und Lidar helfen heute beim Einparken; sie registrieren, wenn der Wagen die Spur verlässt oder der Abstand zum Vordermann zu knapp wird. Mit der fortschreitenden Entwicklung autonomer Fahrzeuge wird voraussichtlich die Zahl der Außensensoren weiter steigen, damit die Systeme Verkehrssituationen möglichst vollständig erfassen können.

Anders als menschliche Fahrer, die in vielen Situationen nicht nur ihren Augen vertrauen, sondern auch auf Geräusche

achten, haben heutige Serienfahrzeuge keinen Sinn für akustische Hinweise. Die einzige Ausnahme bildet vielleicht ein Mikrofon für Sprachbefehle im Innenraum. Das wollen Forscher um Moritz Brandes am Fraunhofer-Institut für digitale Medientechnologie (IDMT) in Oldenburg mit ihrem Projekt „The Hearing Car“ ändern.

### Martinshorn schnell erfasst

Ein wichtiges Beispiel ist die Alltagssituation, in der sich ein Rettungswagen mit hoher Geschwindigkeit von hinten nähert und mit Martinshorn und Blaulicht auf sich aufmerksam macht. Autofahrer sind ver-

## ct kompakt

- Audiotechnik kann die Sensorik am Automobil ergänzen, die schon heute Kameras, Lidar und mehr umfasst.
- Autonome Fahrzeuge werden zuverlässig auf Einsatzwagen und deren Sirenen reagieren müssen.
- Außenmikrofone ermöglichen viele weitere Funktionen bis hin zum virtuellen Cabriofahren.

pflichtet, solchen Einsatzfahrzeugen ohne zu zögern Vorrang einzuräumen. Oft hören Autofahrer die Sirene deutlich früher, als dass ihnen das Blaulicht auffällt. Was aber, wenn das Radio spielt und sich zusätzlich die Reisenden im Innenraum unterhalten? Dann wäre es hilfreich, wenn das Auto mit eigenen Sensoren das herannahende Martinshorn erkennen und den Fahrer über das Infotainment-System darauf hinweisen könnte. Überdies verlangt das Gesetz zum autonomen Fahren von 2021, dass auch autonome Fahrzeuge im Notfall einem Einsatzfahrzeug ebenso unverzüglich wie ein menschlicher Fahrer Platz machen müssen.

„Die Sirenenenerkennung ist der wichtigste Türöffner für Außenmikrofone am

Auto. Zu dieser Funktion erhalten wir die meisten Anfragen aus der Industrie“, berichtet Brandes. Tatsächlich haben die Ingenieure aus Oldenburg zuerst Versuche unternommen, mit dem Mikrofon im Fahrzeuginnenraum auch die typische Sirene eines herannahenden Martinshorns zu erfassen und mittels einer darauf trainierten künstlichen Intelligenz in der Audiospur zu erkennen. Aber übliche Fahrgeräusche im Innenraum beziehungsweise dessen Schalldämmung, dazu Radiomusik und Gespräche machten die Erkennung mit der vorhandenen Audiotechnik viel zu unsicher.

Ein Mikrofon am Fahrzeugheck dagegen liefert wesentlich klarere Informationen über akustische Signale von hinten. Für die Erkennung unterschiedlicher Ereignisse haben die Forscher eine KI trainiert. Dazu unterteilen sie den aufgenommenen Stream in Blöcke von wenigen Millisekunden Dauer. Zu jedem dieser Blöcke liefert die KI eine Einzelentscheidung. Diese Einschätzungen summieren sich dann über die Zeit zu Tendenzen auf, bestärken sich gegenseitig oder widersprechen einander. Nach etwa einer halben Sekunde kann der KI-Erkennen bereits mit ziemlicher Sicherheit entscheiden, ob er ein Martinshorn gehört hat oder nicht.

Derselbe Erkennen des Fraunhofer IDMT kann inzwischen auch andere Geräuschquellen unterscheiden. Dazu zählen Autohupen, Fahrradklingeln, Rufe und



Bild: IDMT

**Das Mikrofon-Array am Heck verbirgt sich im grün abgedeckten Emblem des Transporters. Für weitere Tests haben die Ingenieure unter den Rückleuchten ein zusätzliches Mikrofon eingebaut, dessen unscheinbarer Mikrofonkanal zu sehen ist.**

sogar Kinderstimmen. Je nach Verkehrssituation oder Umfeld kann ein Informationssystem diese Klassifikationsentscheidungen unterschiedlich nutzen. Bei hohen Geschwindigkeiten auf der Autobahn sind eine Autohupe oder ein Martinshorn von großer Bedeutung, im verkehrsberuhigten Bereich des Wohnviertels hingegen lohnt es sich, zusätzlich verstärkt auf Radfahrer und die Stimmen von Passanten zu achten. Mit Blick auf den Datenschutz speichert das System des IDMT die Audiodaten und insbesondere Gesprochenes nicht, sondern puffert die Aufnahmen lediglich bis der KI-Erkennen sie klassifiziert hat.

Nicht zuletzt machen Landesgrenzen einen großen Unterschied, vor allem wegen der unterschiedlichen Sirenen von Einsatzfahrzeugen. Beispielsweise unterscheiden sich deren Signale schon in den Nachbarländern Frankreich und Österreich von ihren deutschen Pendanten. Entsprechend müssen die Entwickler ihre KI-Erkennen anpassen.

### Mehr Mikros in alle Richtungen

Um nicht nur Geräusche identifizieren, sondern auch orten zu können, haben die Oldenburger Forscher inzwischen ein kompaktes Array mit drei Einzelmikrofonen entwickelt. Obwohl die Mikrofone darin lediglich wenige Zentimeter Ab-



Bild: IDMT/Anika Bödecker

**Ab welcher Entfernung ist das Martinshorn erkennbar und wie gut gelingt die Ortung? Im Test nähert sich ein Einsatzwagen einem Versuchsfahrzeug.**



Bild: Fraunhofer IDMT/Hannes Käfer

**Wenn im Fahrgastraum Musik dudelt oder der Fahrer ein Gespräch führt, soll zukünftig ein Hinweis der Bord-KI helfen, die durch Außenmikrofone ein heran nahendes Einsatzfahrzeug erkannt hat.**

stand voneinander haben, gelingt es der Software dahinter, die Einfallzeiten akustischer Signale zu unterscheiden und die Richtung zu berechnen, aus der sie kommen. Allerdings sinkt die Genauigkeit der akustischen Ortung mit steigender gefahrener Geschwindigkeit, weshalb die Ingenieure darüber nachdenken, zusätzlich Bilder der Rückfahrkamera zu nutzen. Diese Aufnahmen könnten zudem in manchen Fahrsituationen helfen, Blaulicht zu erkennen, und damit die Warnung vor einem Einsatzfahrzeug absichern.

Mit drei Mikrofonen am Heck sind die Möglichkeiten der akustischen Außenwahrnehmung aber noch längst nicht ausgeschöpft. Die Forscher haben einen Volkswagen-Transporter als Versuchsträger mittlerweile mit einem zusätzlichen Mikrofonarray an der Front ausgestattet, um auch Geräusche von vorn wahrnehmen, identifizieren und ihren Ursprung orten zu können. Wenn zum Beispiel an einer Kreuzung die Ampel endlich auf Grün schaltet, aber von der Seite oder von vorn ein Einsatzfahrzeug heranhfährt, dann sollte der Fahrer ebenfalls gewarnt werden und warten, auch wenn die Heckmikrofone in diesem Fall kaum helfen.

Zwei weitere Einzelmikrofone haben die Forscher in die Außenspiegel ihres Fahrzeugs integriert. Ihre Idee: Das Ohr am Außenspiegel kann helfen, Abbiegeunfälle zu vermeiden, und dabei kamera-gestützte Assistenzsysteme ergänzen.

Leider genügt das Rollgeräusch von Fahrradreifen nicht, um diese akustisch zu erkennen. Ein beim Abbiegen in die Enge getriebener Radler müsste schon durch Rufen oder Klingeln auf sich aufmerksam machen. Wenn die Innenlautsprecher in den Autotüren solche Mikrofonaufnahmen wiedergeben, weist dies den Fahrer schnell auf die Gefahr hin. „Wir kurbeln damit virtuell die Fensterscheibe herunter, in dem Moment, in dem der Blinker gesetzt wird, und machen den Fahrer so vielleicht die entscheidende halbe Sekunde früher auf eine Gefahr aufmerksam“, erläutert Brandes.

### Lauschen trotz Motor und Fahrtwind

Übrigens ist die Mikrofontechnik am Fahrzeug nicht nur für Wagen mit leisen Elektromotoren interessant. Die Mikrofonarrays können Geräusche auch noch gut auflösen, wenn das Auto mit einem gut gedämmten Verbrennermotor ausgestattet ist. Erst ein sportlich röhrender Auspuff würde die Erkennungsleistung deutlich stören. Generell gilt: Spätestens ab einer Geschwindigkeit von etwa 80 Kilometer pro Stunde überwiegen die Fahrgeräusche gegenüber dem Motordröhnen. Damit muss und kann die eingesetzte Audiotechnik in jedem Fall klarkommen, sind sich die Ingenieure sicher.

Ereignisse mit Mikrofonen zu erkennen trotz des Motorenlärms, der Reifen-

Fahrbahn-Geräusche und des Fahrtwindes, das ist die große Kunst. Das Know-how steckt zum einen in den KI-Algorithmen, die auch entscheidend für die Hörreichweite sind. Zum anderen basteln die Forscher an Mikrofonkanälen, die widerstandsfähig bei Wind und Wetter funktionieren. Ein puscheliger Mikrofonwindschutz, wie Fernsehreporter ihn gern im Außeneinsatz bei Sturmfluten nutzen, ist Autodesignern für das Fahrzeugheck sicherlich nur schwer zu vermitteln.

Die Ingenieure suchen daher nach besseren Hardwarelösungen und experimentieren mit unterschiedlichen Materialien, die sie in die Akustikkanäle der Mikrofone einbringen. Die müssen das Geräusch des Windes abfangen, das Wetter und sogar feste Wasserstrahlen in der Waschstraße oder bei der Hochdruckreinigung vor der Autowäsche. Alles muss wasserdicht sein und trotzdem gut Schall aufnehmen. Zusätzlich soll das Gesamtsystem eine Diagnose liefern, ob alle Mikrofone so arbeiten, wie sie sollen.

### Technische Fahrzeugdiagnose

Es gibt noch eine Reihe ganz anderer Situationen, in denen Mikrofontechnik am Fahrzeug bei der Analyse helfen kann. Beispiele sind der Nagel im Reifen, die Regennässe auf der Straße, Bremsverschleiß oder ein sich änderndes Motorgeräusch. Um damit zusammenhängende Probleme frühzeitig zu erkennen, testen die Ingenieure in Oldenburg Mikrofone im Radkasten. Hier fangen zwar keine Luftschallmikrofone Geräusche auf, dafür aber Körperschallmikrofone, eine Art Vibrationssensoren.

Die könnten einen eingefahrenen Nagel durch sein wiederkehrendes Klopfen in Abhängigkeit zur Reifendrehzahl erkennen. Einmal überhitzte Bremsbeläge verraten ihre Verformung ebenso durch typische akustische Muster wie ein beschädigtes, jaulendes Zahnrad im Antriebsstrang. Und eine regennasse Fahrbahn verrät ihre Aquaplaning-Gefahr nirgends so deutlich wie direkt am Autoreifen. Mit einem Sensor in jedem Radkasten ließe sich all das ständig überprüfen. Im Sinne von Predictive Maintenance könnte das Fahrzeug schon früh Hinweise für die nächste Wartung abspeichern. Bei heftigem Regen spielt das System sofort eine Aquaplaning-Warnung ins Informationssystem ein.

Auch an Lkw könnte die Technik, wenn sie einmal etabliert ist, Gefahrensituationen vorbeugen. Mikrofonsensoren könnten etwa helfen, Druckluftleckagen

zu detektieren, bevor die Bremsen nicht mehr gut funktionieren. Zusätzlich könnten diese Sensoren an einem Lastzug und am Trailer auch geplatze Reifen automatisiert erkennen.

Selbst an landwirtschaftlichen Maschinen, die in Zukunft vielleicht sogar von autonomen Schleppern übers Feld gezogen werden, könnten Audiosensoren mechanische Schäden frühzeitiger zu erkennen helfen.

### „Öffne den Kofferraum!“

Wenn Autohersteller in Zukunft tatsächlich auf Außenmikrofone an ihren Fahrzeugen setzen, dann wird das wahrscheinlich nicht nur der Verkehrssicherheit dienen. Die neue Technik dürfte zahlreiche neue Möglichkeiten eröffnen. Beispielsweise können die Mikrofone zusätzlich Sprachbefehle erkennen. „Öffne den Kofferraum“, kann der Fahrer dann rufen, wenn er mit vollen Händen aus dem Einkaufszentrum zurück zum Parkplatz gelaufen kommt.

Zusätzlich ist eine Stimmverifikation denkbar, die mithilfe der Mikrofonaufnahmen funktioniert und als Schlüssel dient. Allerdings schätzt Brandes die Verlässlichkeit der Stimmerkennung als relativ gering ein. Für sich allein genügt diese technische Möglichkeit wohl nicht. Immerhin kann über den Zeitabstand der Mikrofonssignale die genaue Position des Sprechers ermittelt werden. In Verbindung mit einem

Keyless-System, das ebenfalls die Position des Fahrers anhand seines Autoschlüssels mit RFID-Transponder zentimetergenau erfasst, kann ein Fahrzeug den Sprecher legitimieren und ihm auf Zuruf den Kofferraum, die Motorhaube, den Tankdeckel oder eine Tür öffnen.

Eine Sprachaktivitätserkennung könnte dazu dienen, Stimmen in unmittelbarer Nähe zum Fahrzeug zu bemerken und daraufhin im Rahmen eines Sicherheitskonzepts den Halter zu warnen oder direkt eine Polizeistreife zu rufen. Gerade, wenn der Wagen auf einem einsamen, unbeobachteten Platz abgestellt ist.

Im Falle eines Unfalls ist es auch denkbar, dass die Außenmikrofone sich mit der Kommunikationseinheit im Wageninneren verbinden. Das Auto ermöglicht dann eine Art Freisprechtelefonat, ganz gleich, ob der Fahrer einfach beim Reifenwechseln telefonieren möchte oder den Beistand eines Rettungssanitäters braucht, während er eine verletzte Person versorgt.

### Virtuelles Cabrio

Eine Mischung aus Komfort und Unfallverhütung stellt die Funktion „virtuelles Cabrio“ dar. Die Geräuschwelt, die sich den Außenmikrofonen bietet, könnte das Infotainment-System so auf Lautsprecher in den Kopfstützen übertragen, dass damit virtuell das Dach verschwindet. Der Fahrer bekommt auf diese Weise nicht nur mehr von seiner Umgebung mit.

Er kann auch beispielsweise beim Zurücksetzen besser hören, ob jemand „Vorsicht, ein Poller!“ ruft oder ob ein johlendes Kind in Richtung des Autos läuft. Der Fahrer bekommt also mit, was draußen ist, ohne dass er dazu ein Fenster öffnen muss. Diese Hinweise könnten die bestehenden visuellen Sicherheitssysteme beim Einlegen des Rückwärtsgangs ergänzen. Schon heute stellen einige Fahrzeugsysteme in diesem Fall die Musik leiser, damit der Fahrer im Zweifelsfall besser hören kann.

Eine vergleichbare Technik könnte auch für Baumaschinen wie Bagger interessant sein. Dort sitzt der Fahrer in einer abgeschotteten Kanzel und bemerkt nicht so leicht, wenn ihm jemand eine Warnung zuruft.

### Ziel Serienreife

Derzeit arbeitet ein Automobilhersteller gemeinsam mit dem Fraunhofer IDMT konkret an einer serienreifen Lösung für Außenmikrofone, die ein herannahendes Martinshorn erkennen. Die Forscher vermuten, dass damit ausgestattete Fahrzeuge innerhalb der nächsten drei Jahre auf den Markt kommen.

Zudem beschäftigt die Forscher seit Dezember 2022 das Gemeinschaftsprojekt K14Boardnet mit dem Ziel, ein verteiltes, kontinuierlich lernendes Bordnetzmanagement für Fahrzeuge zu entwickeln. Hier bringen die Oldenburger ihre Mikrofontechnik und die dazugehörige Erkennung-KI ein. Wie sich in einigen Anwendungen gezeigt hat, werden die Autos der Zukunft wahrscheinlich dadurch intelligenter, dass man die Beobachtungen der verschiedensten Sensoren am Fahrzeug miteinander in Beziehung setzt. Beispielsweise könnte ein zentrales Bordsystem die Richtung, aus der ein Martinshorn zu hören ist, zum Anlass nehmen, um Bilder der Rückfahrkamera anzufordern, auf denen ein zweiter Algorithmus nach einem Blaulicht sucht.

Mit diesem Projekt soll bis Ende 2025 ein Versuchsfahrzeug mit mehreren Demonstratoren entstehen. In Zusammenarbeit mit beteiligten großen Automobilzulieferern wie EDAG und Infineon will man bis dahin auch bereits Vorserienprodukte vorweisen können. Die Tür für Außenmikrofone am Fahrzeug der Zukunft steht offen. (agr@ct.de) **ct**

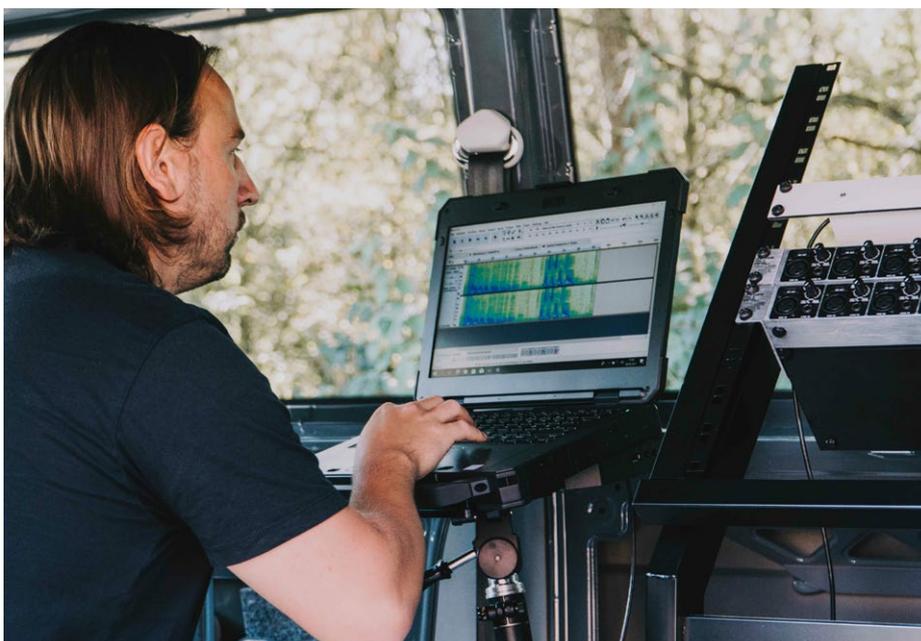


Bild: IDMT/Anika Bödecker

**Speziell für den Einsatz am Auto entwickelten Forscher Mikrofone, die trotz Fahrtwind und Wetter ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis aufweisen.**

**Projekt-Homepage The Hearing Car:**  
[ct.de/yx4c](http://ct.de/yx4c)