



Autonome Roboterfahrzeuge

Robotertechnik und künstliche Intelligenz

Die autonome Mobilität ist eine der wichtigsten Anwendungen der modernen Robotik und der künstlichen Intelligenz. In keinem anderen Anwendungsbereich wird auch nur ein annähernd so hoher Forschungsaufwand betrieben. So gut wie alle Fahrzeughersteller sind in den letzten Jahren z. T. mit Milliardenaufwänden in dieses Gebiet eingestiegen. Dazu kommt eine fast unübersehbare Vielzahl von Firmen und Kooperationen, die sich von der informationstechnischen Seite her mit autonom fahrenden Autos beschäftigen. Vom kleinen Start-up-Unternehmen bis hin zum Multimilliardenkonzern will sich niemand diesen Megatrend entgehen lassen.



Bild: Waymo



Autonome Mobilität

In naher Zukunft wird in selbstfahrenden Autos der Computer die Kontrolle übernehmen. Dem Fahrer bleibt nur noch die Rolle des Passagiers. Einsteigen, Fahrziel eingeben, zurücklehnen, entspannen. Lenken, Gasgeben, Bremsen und Navigieren wird vom Fahrzeug selbst übernommen. Das vollständig autonome Auto hat die Verkehrssituation im Blick, erfasst aktuelle Wetter- und Umweltdaten und achtet auf andere Fahrzeuge und Fußgänger. Das Fahren wird aller Voraussicht nach schneller, sicherer und vor allem bequemer werden.

IT-Unternehmen wie Google und Apple werden zu neuen Konkurrenten oder aber auch zu Kooperationspartnern der Autohersteller. Google arbeitet bereits seit mehreren Jahren an autonomen Fahrzeugen. Ursprünglich wurden konventionelle Pkws mit zusätzlichen Sensoren, optischen Kameras, Laserscannern und Computersystemen ausgerüstet. Schließlich folgte ein spezielles Fahrzeug, das vollständig ohne Steuerelemente wie Brems- oder Gaspedale und Lenkrad auskam (Bild 1). In Kalifornien und Texas sind diese Google-Mobile seit geraumer Zeit auch auf öffentlichen Straßen unterwegs. Dort legten sie bereits Tausende von Meilen autonom im öffentlichen Straßenverkehr zurück. Google, bzw. die Mutterfirma Alphabet, will die Zusammenarbeit mit der Autobranche deutlich verstärken. Das Ziel ist ein Auto, das in jeder Situation vollständig ohne jeden manuellen Eingriff auskommt.

Inzwischen werden die Entwicklungen bei Waymo, einem eigenen Unternehmen zur Entwicklung von Technologien für autonome Fahrzeuge, fortgesetzt. Die Firma wurde im Dezember 2016 als Tochtergesellschaft von Alphabet gegründet.

Apple hat ebenfalls entsprechende Pläne. Als Vision steht ein elektrisch betriebenes, autonom fahrendes Auto im Raum, mit dem die Firma mit eigener Technik in den Autobereich vordringen will. Kooperationen mit Daimler und anderen Autobauern werden intensiv verfolgt bzw. auf den Weg gebracht. Auch hier sollen diverse Sensoren auf den Fahrzeugdächern und rotierende Laserscanner zum Einsatz kommen. Sensoren an den Hinterrädern und Kameras rund um das Auto sollen für verbesserte Sicherheit sorgen.

Serienreife Produkte werden aktuell für die Jahre zwischen 2020 und 2025 erwartet. Der inzwischen auch in Europa bekannte Fahrdienst Uber ist vor allem im Bereich selbstfahrende Taxen aktiv. Über Kooperationen erarbeitet das Unternehmen detaillierte Kartendaten und forscht an speziellen optischen Sensoren. Die Zusammenarbeit konzentriert sich auf verschiedene Robotiklabors, die im Bereich der selbstfahrenden Fahrzeuge führend sind.

Natürlich haben auch die klassischen Automobilhersteller das autonome Fahrzeug im Visier. Allerdings besteht hier auf der IT-Seite erheblicher Nachholbedarf. Verschiedene europäische Hersteller haben aber inzwischen bekannte Navigations- und Kartendienste übernommen, da hochpräzise Geodaten als Grundlage für zuverlässige autonome Wegfindung unverzichtbar sind.

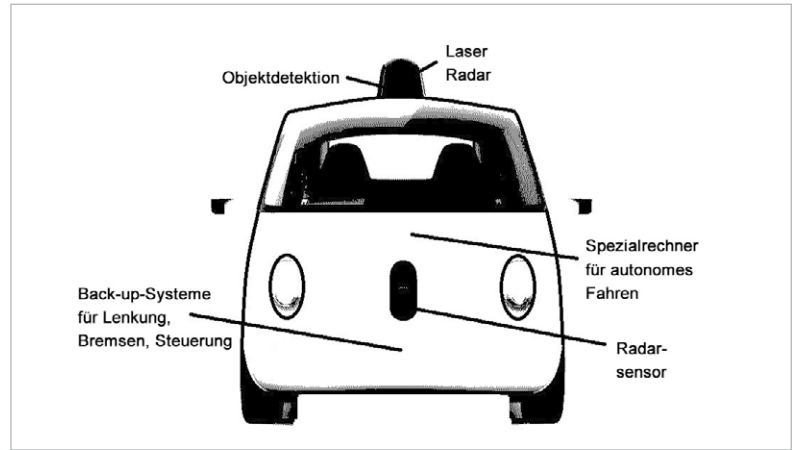


Bild 1: Prototyp des autonom fahrenden Google-Autos

Immer weiter optimierte Fahrassistenzsysteme nutzen die Daten von Ultraschallsensoren, Front- und Heckradars, Laserscannern und optischen Kameras. Die Lücke zum vollständig autonomen Fahren wird so stetig geringer. In den US-Bundesstaaten Florida, Nevada und Kalifornien testen Autohersteller laufend autonome Fahrzeuge im Straßenverkehr. Viele der so gewonnenen Ergebnisse finden sich bereits in Serienfahrzeugen wieder. Stauassistenten oder -piloten übernehmen so bereits bis zu Geschwindigkeiten von 60 km/h alle Fahrfunktionen. Einparkassistenten sind seit Längerem bei mehreren Fahrzeugen als Sonderausstattung verfügbar.

Neben Kameras ist eine Vielzahl weiterer Sensoren in autonomen Autos eingebaut. Sie basieren auf Licht- oder Laser-Lidar (Light Detection and Ranging). In beiden Fällen handelt es sich um optische Abstands- und Geschwindigkeitsmessungen, die vom Prinzip her mit dem bekannten Radar (Radio Detection And Ranging) verwandt sind. Statt Radiowellen senden die Sensoren optische Signale aus und nutzen deren Reflexion zur Erfassung der näheren und weiteren Fahrzeugumgebung. So erkennen autonome Autos alle Objekte, die sich in der Nähe des Fahrzeugs befinden. Idealerweise lässt sich mit einer kompletten Rundumerfassung ein vollständiges 3D-Bild der gesamten Umgebung des Autos erstellen (Bild 2).

IT-Sicherheit als zentrales Problem

Allerdings schützt selbst die beste Sensorik nicht vor allen Sicherheitsproblemen, wie verschiedene Forscher bereits mehrfach nachgewiesen haben. Bereits mit geringem Hardwareaufwand lassen sich die Systeme täuschen. So kann man beispielsweise zuvor detailliert aufgezeichnete Daten von Fahrzeugen, Fußgängern oder anderen Objekten wie etwa Gebäuden mit einer Art Laserpointer an das Lidar-System des autonomen

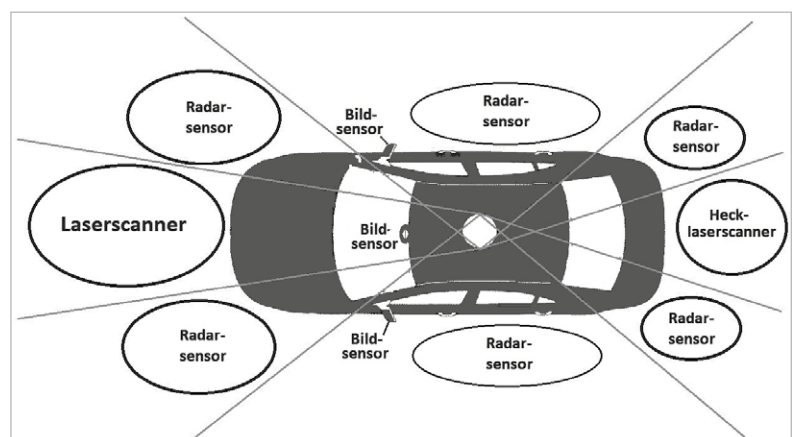


Bild 2: Sensoren an autonomen Fahrzeugen



Fahrzeugs senden. Dieses erkennt dann Hindernisse, die in der Realität überhaupt nicht vorhanden sind. Die Reichweite dieser Systeme kann bis zu über 300 Meter betragen. Diese Einflussnahme ist möglich, da die Daten der Lidar-Sensoren nicht verschlüsselt sind. Auch eine Plausibilitätskontrolle der Umgebungserfassung findet bislang nicht statt.

Zudem sind intelligente Autos ständig mit dem Internet verbunden. Sie gleichen Standortdaten ab und tauschen Informationen mit anderen Fahrzeugen aus. Dies führt zu einem weiteren Schwachpunkt im System. Die traditionellen Autobauer haben zwar Erfahrungen in der klassischen Fahrzeugtechnik, Datensicherheit und Verschlüsselung lagen jedoch bislang nicht im Hauptfokus ihrer Entwicklungstätigkeit. Hacker demonstrierten bereits in mehreren Fällen, wie gefährlich diese Know-how-Lücken sein können. So wurde beispielsweise mittels Fernzugriff auf das Infotainment-System die Kontrolle über ein Fahrzeug übernommen. Hierzu musste lediglich eine manipulierte Firmware mit einer speziellen Codeergänzung eingeschleust werden. Daraufhin konnte das Auto selbst bei voller Fahrt gelenkt oder sogar die Bremsen abgeschaltet werden.

Auch weniger spektakuläre Fälle wurden bereits bekannt. Aufgrund einer Sicherheitslücke ließen sich Fahrzeuge mittels SMS-Meldung über ein Smartphone öffnen und schließen. Die Lücke wurde zwar geschlossen, jedoch hat der Hersteller später wieder übersehen, die verbesserte Software auch bei nachfolgenden Fahrzeugmodellen zu implementieren. Erst ein weiteres Update stellte die Sicherheit wieder her. Derartige Vorfälle tragen wenig zur Vertrauensbildung in die bisherigen Sicherheitsstandards bei.

Bevor autonome Fahrzeuge also tatsächlich in größerem Umfang zugelassen werden können, müssen die Autohersteller dafür sorgen, dass derartige Hackerangriffe von außen so gut wie vollkommen ausgeschlossen sind. Oftmals arbeiten inzwischen genau diejenigen Hacker, die öffentlichkeitswirksam in die Systeme eingedrungen waren, an den neuen Sicherheitsbarrieren. Der Traum vom autonomen Auto kann aber nur Realität werden, wenn die IT-Sicherheit wirklich gewährleistet ist. Auch der Datenschutz muss natürlich in Betracht gezogen werden. Sicher will niemand permanent in allen Details überwachbar sein, wenn er mit einem Auto voller Sensoren, GPS-Empfängern und Supercomputern unterwegs ist.

In den USA existiert inzwischen eine ganze Stadt, die nur der Entwicklung autonomer Fahrzeuge dient. Mit Mitteln verschiedener Autobauer und IT-Unternehmen aufgebaut, umfasst das Gebiet mehrere Hektar und ist einer typischen Stadt nachempfunden. Neben Kreisverkehren, Ampelkreuzungen, Gehwegen und Straßenlaternen sind auch Verkehrsschilder aller Variationen vorhanden. Hier werden vernetzte und vollkommen autonome Autos unter realistischen Verkehrssituationen getestet. Anstelle echter Menschen sind Roboterfußgänger auf der Straße unterwegs. Nicht nur die Verkehrssicherheit wird geprüft, sondern auch die Einflüsse verschiedener Störungen durch Hackerangriffe oder manipulierte Softwaresysteme.

Auch in Europa und Deutschland kommt die Forschung in Fahrt. Das „digitale Testfeld Autobahn“ des Verkehrsministeriums nimmt immer konkretere Formen an. Ein Teilstück der Autobahn A9 von München nach Nürnberg wurde für Testfahrten von Roboterautos freigegeben. Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen können die 160 Kilometer lange Strecke für automatisierte Testfahrten nutzen. Dazu wurde die Strecke speziell digital aufgerüstet. Mit über 25 Millionen Euro vom Bund und den beteiligten Unternehmen wurden zum Beispiel Systeme in Leitplanken und Pfosten integriert, die Radarwellen besser reflektieren und auch bei schlechter Sicht die Information übermitteln, dass hier die Fahrbahn zu Ende ist.

Auch erste Lkws werden für Testfahrten auf die Autobahn A8 bei Stuttgart geschickt. Während der Testfahrt wird der Autopilot aktiviert und übernimmt die Kontrolle über das Fahrzeug. Bis aber alle noch offenen Haftungsfragen bei Unfällen geklärt sind, werden die Lastwagen hauptsächlich im US-Bundesstaat Nevada auf öffentlichen Straßen getestet.

Im roboterfreundlichen Japan sollen bereits während der Olympischen Spiele im Jahr 2020 autonome Robotertaxis Personen zu den Spielstätten transportieren. Die japanische Regierung hat deshalb verschiedenen Unternehmen Testfahrten in Fujisawa in der Nähe der Hauptstadt Tokio genehmigt. Die Autos fahren jedoch nicht vollständig autonom, da immer noch eine Person am Steuer sitzt, die notfalls in das Geschehen eingreifen kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das autonome Fahren bereits in greifbarer Nähe ist. Die folgende Tabelle listet die fünf klassischen Stufen der autonomen Fahrzeugtechnik auf.

Level 1	Assistiertes Fahren	Assistenten helfen dem menschlichen Fahrer.
Level 2	Teilautomatisiertes Fahren	Einzelne Fahraufgaben werden vom Fahrzeug übernommen. Stau- und Einparkassistenten übernehmen Aufgaben in speziellen Situationen.
Level 3	Hochautomatisiertes Fahren	Autobahnstrecken können alleine vom Fahrzeug zurückgelegt werden. Der Fahrer muss aber das Steuer nach einer Aufforderung durch das Auto wieder übernehmen.
Level 4	Vollautomatisiertes Fahren	Verschiedene Anwendungsfälle können vollständig vom Fahrzeug selbst übernommen werden. Ein menschlicher Fahrer muss lediglich noch im Bedarfsfall eingreifen.
Level 5	Autonomes Fahren	Alle Insassen sind Passagiere. Weder Lenkrad oder Pedale sind vorhanden. Das Fahrzeug kann alle Fahraufgaben selbstständig ausführen.

Aktuell verfügen die meisten Fahrzeughersteller über Systeme, die bis zur Stufe 4 zuverlässig arbeiten. In Expertenkreisen gilt es als sicher, dass die fünfte Stufe ebenfalls in den nächsten vier bis fünf Jahren gemeistert werden kann.

Autonomes Fahren in den eigenen vier Wänden

Einen eigenen Roboter zu bauen ist bereits im Kindesalter ein Traum vieler Menschen. Ein Helfer, der das Zimmer aufräumt, den man sogar in die Schule oder zur Arbeit schicken kann, wenn man selbst gerade keine Lust dazu hat. Mit der zunehmenden Verfügbarkeit elektronischer und mechanischer Komponenten werden die Baupläne für derartige Projekte immer realistischer. Ein Blick in die verschiedenen Robotikforen im Internet zeigt, dass der Roboterbau nicht nur bei Jugendlichen im Trend liegt, sondern alle Altersklassen von zehn bis 80 Jahren erfasst hat.

Die Idealvorstellung einer menschenähnlichen Maschine, die Hausaufgaben erledigt oder lästige Tätigkeiten im Haushalt übernimmt, muss bei Eigenbauten jedoch vorerst zurückgestellt werden. Zumindest für Einsteiger ist der Bau humanoider Roboter zu aufwendig und meist auch

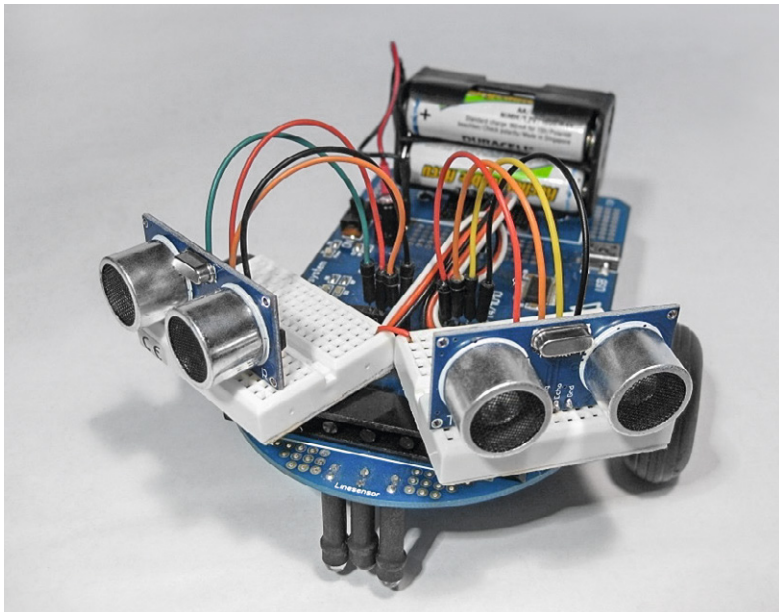


Bild 3: Autonomes Fahrzeug mit Ultraschallsensoren

zu kostspielig. Es ist sinnvoller, zunächst kleinere Projekte in Angriff zu nehmen. Aufgrund der großen Aktualität und des vergleichsweise einfachen Einstiegs bieten sich kleine mobile Roboterfahrzeuge an, die sich autonom in den eigenen vier Wänden bewegen. Nicht zuletzt aufgrund der Ähnlichkeit mit den „großen“ autonomen Fahrzeugen stellt dieser Bereich ein hochinteressantes Aufgabengebiet dar.

Kleinere Robotermodelle, die sich in einer „natürlichen“ Umgebung autonom bewegen, können in der Tat bereits eine echte Herausforderung bieten (Bild 3). Wohnungen sind üblicherweise mit Möbeln und anderen Gegenständen ausgestattet und stellen Roboterfahrzeuge vor ähnlich herausfordernde Probleme wie Fußgänger, Bordsteinkanten oder Laternenpfähle selbstfahrende Autos. Aber gerade hier liegt auch der besondere Reiz, da man sich für die Konstruktion und Programmierung derartiger Robots mit den gleichen Problemen befassen muss wie die Ingenieure der großen Automobilfirmen. Zudem bietet die Technik der Heimroboter die Möglichkeit, die Erfordernisse, aber auch die Gefahren und Probleme des autonomen Fahrens aus erster Hand kennenzulernen.

Gelingt es mithilfe von Sensoren und eigener Intelligenz die selbst konstruierten Roboter so weit zu optimieren, dass sie sich über längere Zeit hinweg kollisionsfrei in der Wohnung bewegen, kann man dies bereits als beachtlichen Erfolg verbuchen. Ist diese erste Hürde genommen, können weitere Aufgaben in Angriff genommen werden:

- Verfolgung von Linien oder Markierungen
- Suchen einer Lichtquelle in der Umgebung
- Bewegung entlang einer Wand
- Vermessung von Zimmern
- Verfolgen eines anderen Roboters oder einer Person
- Transport von Gegenständen
- Staubsaugen
- Rasenmähen
- etc.

Mit fortschreitender Erfahrung kann man dann sogar dazu übergehen, echte Helfer in Haus und Garten zu konstruieren. In Abhängigkeit von der Aufgabe, die der Roboter erfüllen soll, müssen dann unterschiedliche Konzepte verfolgt werden. Die folgenden grundlegenden Konstruktionsmerkmale spielen dabei eine zentrale Rolle:

- Gehäuse bzw. Chassis
- Antriebssystem
- Controller oder Prozessor
- Sensoren

Vor allem die Gehäuseform und die Art der Sensoren sind wichtig. Wenn der Fahrroboter einer Linie folgen soll, dann muss er natürlich auch über Sensoren verfügen, die Helligkeits- oder Farbunterschiede am Boden erkennen. Hier kommen häufig Infrarotsensoren zum Einsatz. Soll an einer Zimmerwand entlanggefahren werden, sind Sensoren an den Fahrzeugseiten erforderlich. Für das Verfolgen einer Person wären Bewegungssensoren oder sogar elektronische Kameras sinnvoll.

Die Kollisionsvermeidung ist eine der wichtigsten Grundlagen für autonomes Fahren. Die dafür im professionellen Bereich eingesetzten Sensoren wie Laserscanner oder Radarabtaster sind für den heimischen Gebrauch jedoch zu aufwendig und zu teuer. Hier greift man meist auf Infrarot- oder Ultraschallsensoren zurück. Für genaue Entfernungsbestimmungen im Bereich von wenigen Zentimetern bis hin zu einigen Metern ist die Ultraschalltechnik ein gut geeignetes Messverfahren. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall in Luft beträgt bei Raumtemperatur (20 °C) ca. 343 m/s. Für eine Distanz von 1 m ergibt sich also eine Laufzeit von ca. 3 Millisekunden. Diese Zeitspanne kann mit einem Mikrocontroller sehr genau gemessen werden. Über Laufzeitmessungen sind so Entfernungen sehr präzise erfassbar.

Ultraschallkapseln mit einer Frequenz von 40 kHz sind sowohl in professionellen Anwendungen als auch im Hobbybereich anzutreffen. Sie werden in vielen Bereichen wie etwa Parkassistenzsystemen für Kraftfahrzeuge oder auch in Ultraschall-Fernbedienungen eingesetzt. Prinzipiell ist es möglich, Sender und Empfänger mit Einzelkomponenten aufzubauen. Allerdings ist der Einsatz fertiger Module wesentlich einfacher und meist sogar kostengünstiger. Ein sehr weit verbreitetes Modul ist das SR-04 (siehe „Empfohlene Produkte“ am Ende des Artikels). Außer den Sender und einen Empfänger enthält das Modul auch die erforderliche Auswerteelektronik.

Die technischen Daten des Moduls sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Betriebsspannung:	5 V
Stromaufnahme:	Ca. 15 mA
Reichweite:	2 cm bis ca. 4 m
Messgenauigkeit:	0,3 cm + 1 %
Ultraschall-Abstrahlwinkel:	15°
Ultraschallfrequenz:	40 kHz

Neben Ground (GND) und der Versorgungsspannung ($V_{cc} = 5\text{ V}$) besitzt das Modul die beiden Anschlüsse „Trig“ für den Triggereingang und „Echo“. Mit Trig wird ein Ultraschall-Impulszug gestartet, der Echo-Pin liefert die Informationen zum empfangenen Schallsignal. Für die Anbindung des Moduls an einen Mikrocontroller oder einen Arduino sind lediglich vier Verbindungen erforderlich:

SR-04	Arduino oder Mikrocontroller
GND	Ground
Vcc	5 V
Trig	Pin 12
Echo	Pin 13



Ein Beispielcode für einen Arduino mit Ultraschallsensor SR04 könnte so aussehen:

```
/* Sketch zum Auslesen des Ultraschall-Sensor HC-SR04 */

/* Verbindung Sensor - Arduino:
Sensor   |   Arduino
-----
Trigger  |   pin 12
Echo     |   pin 13
Vcc      |   5V
GND      |   GND
*/

// Initialisieren der Variablen für den Sensor
byte trigger = 12;
byte echo = 13;

// Setzen der Laufzeit-Variablen
long duration = 0;
long distance = 0;

void setup()
{
    // Initialisieren des seriellen Ports 57600 Baud
    Serial.begin(57600);

    // Setze Sensor trigger als OUTPUT, echo als INPUT
    pinMode(trigger, OUTPUT);
    pinMode(echo, INPUT);
}

void loop()
{
    // Triggern des Sensors
    digitalWrite(trigger, LOW);
    delay(5);
    digitalWrite(trigger, HIGH);
    delay(10);
    digitalWrite(trigger, LOW);

    // Auswertung des Sensorsignals
    duration = pulseIn(echo, HIGH);

    // Die Entfernung in cm ist die Dauer geteilt durch 2 (nur Weg ZUM Objekt)
    // multipliziert mit der Schallgeschwindigkeit (C ≈ 331.5m/s)
    // angepasst an die Lufttemperatur (20°C)
    // C luft ~ 331.5 + 12 = 343m/s = 0.0343cm/µs
    distance = (duration / 2) * 0.0343;

    Serial.print(distance);
    Serial.println(", cm");

    // Eine Messung pro Sekunde
    delay(1000);
}
```

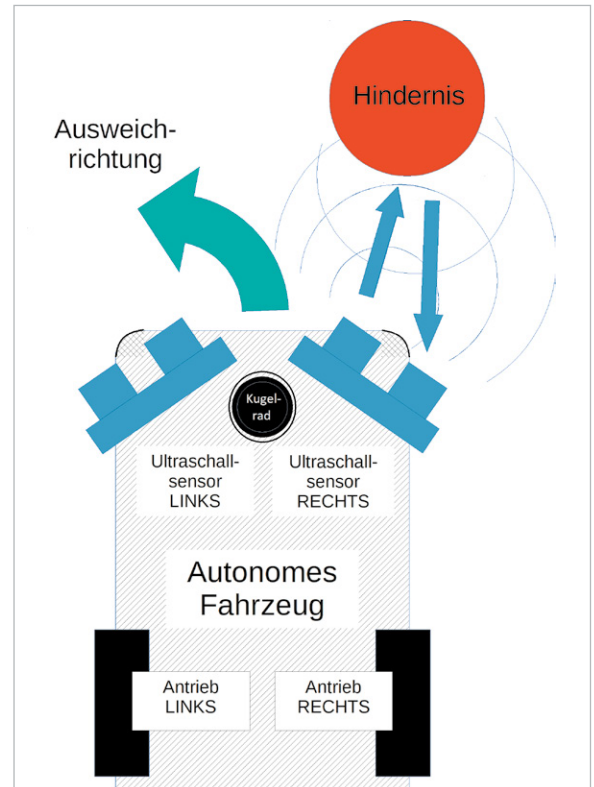


Bild 4: Ausweichsteuerung über zwei Sensoren

Viele Pkws verfügen inzwischen über Einrichtungen, die beim Einparken Blebschäden verhindern sollen. Häufig kommen hierfür Ultraschallsysteme zum Einsatz. Mehrere Sende-/Empfangskombinationen werden dazu in Front- und Heckpartien des Fahrzeugs eingebaut und ausgewertet. Mit einem AVR-Controller und passenden Ultraschallmodulen kann ein solches System auch im Eigenbau erstellt werden.

Für eine effektive Anti-Kollisionssteuerung werden idealerweise zwei Sensormodule verwendet (Bild 4). Mit nur einem Modul ist zwar auch bereits eine Hinderniserkennung möglich, allerdings ist die genaue Lage eines im Fahrweg liegenden Objektes nicht bestimmbar. Mit zwei Sensoren dagegen kann ein effizienter Ausweichalgorithmus entwickelt werden.

Der Ausweichalgorithmus wird nun sehr einfach. Man muss lediglich die beiden Sensoren in regelmäßigen und möglichst kurzen Zeitabständen abfragen. Wird beispielsweise vom rechten Sensor ein Hindernis erfasst, muss das linke Antriebssystem abgebremst werden. Das Fahrzeug weicht entsprechend nach links aus. Anstelle der Ultraschallsensoren können auch Infrarotsysteme zum Einsatz kommen. Am Prinzip des Antikollisionsmechanismus ändert sich dadurch nichts. Im Downloadpaket zu diesem Artikel findet sich jeweils ein Beispielprogramm für die Ultraschall- und die IR-Version. Der Beispielsketch zur IR-Kollisionsvermeidung kann so auf die Ultraschallversion für zwei Sensorsysteme umgesetzt werden.

Mit diesen Methoden lässt sich bereits ein Fahrzeug aufbauen, das in der Lage ist, weitestgehend autonom durch eine Wohnlandschaft zu navigieren. Schränken, Stuhl- oder Tischbeinen kann ein solcher Roboter bereits recht erfolgreich ausweichen. Damit der Roboter auch sinnvolle Aufgaben über-



nehmen kann, muss er nur noch um eine Saug- oder Wischvorrichtung ergänzt werden. Derartige Roboter sind durchaus in der Lage, mit ihren kommerziellen Gegenspielern zu konkurrieren. Im einfachsten Fall kann man das autonome Fahrzeug auch mit einem starken Magneten versehen und es auf die Suche nach verloren gegangenen metallischen Gegenständen wie Muttern oder Schrauben schicken.

Bionik

Die Linienverfolgung wurde bereits in früheren Beiträgen (Teil 2 „Sensoren und Aktoren in der Roboterentwicklung“ und Teil 3 „Softwaretechnologien in der Robotik“) angesprochen. Einen Schritt weiter geht die Verfolgung einer Lichtquelle. Die Aufgabe ist sogar bereits ein klassisches Beispiel für die Bionik. Dieser Wissenschaftszweig beschäftigt sich mit der Übertragung von biologischen Systemen auf die Technik. Mit dem Aufbau eines lichtsuchenden Roboters kann man ein sogenanntes Augentierchen, lat. *Euglena*, simulieren (Bild 5). Diese Mikroorganismen bilden eine Gattung von Einzellern, deren charakteristisches Merkmal der sogenannte Augenfleck (lat. Stigma) ist. Dieser ist jedoch kein primitives Auge im eigentlichen Sinne, sondern ein Pigmentfleck, der einen Photorezeptor beschattet und so dem Augentierchen ermöglicht, sich in Abhängigkeit von der Lichteinfallrichtung zu bewegen. Die meisten *Euglena*-Arten verfügen über Chloroplasten, die ähnlich wie bei den Pflanzen zur Photosynthese verwendet werden. Deshalb ist es für *Euglena* lebenswichtig, Bereiche mit möglichst viel Licht zu erreichen. Der Photorezeptor erhöht zusammen mit dem Augenfleck also die Überlebenschancen des Tierchens ganz erheblich.

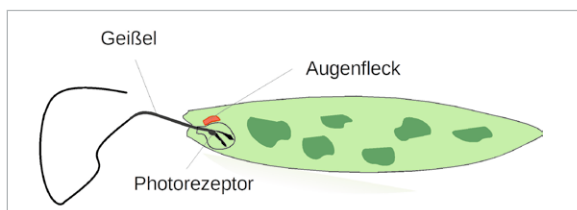


Bild 5: *Euglena* mit Augenfleck

Um das Verhalten von *Euglena* nachzuahmen, kann ein Lichtsuchroboter verwendet werden, der sich auf helle Lichtbereiche zubewegt. Diese Aufgabe ist bereits mit nur einem einzelnen Lichtsensor lösbar. Allerdings muss der Roboterorganismus dafür nach links und rechts pendeln, um die Richtung des hellsten Lichts zu erkennen. Ein Arduino-Sketch dazu findet sich im Downloadpaket.

Der Hardwareaufbau ist sehr einfach. Ein geeigneter Lichtsensor wie etwa der Phototransistor BPW40 wird an den Analogeingang A0 des Arduinos angeschlossen und am „*Euglena*“-Bot nach vorne ausgerichtet. Bild 6 zeigt einen Aufbauvorschlag dazu.

Dann wird nur noch eine Lichtquelle, wie etwa eine LED-Taschenlampe, benötigt. In einem abgedunkelten Raum wird die Taschenlampe auf den Lichtsensor ausgerichtet. *Euglena*-Bot beginnt nun mit pendelnden Bewegungen nach rechts und links. Anschließend bewegt sich der Roboter ein Stück in

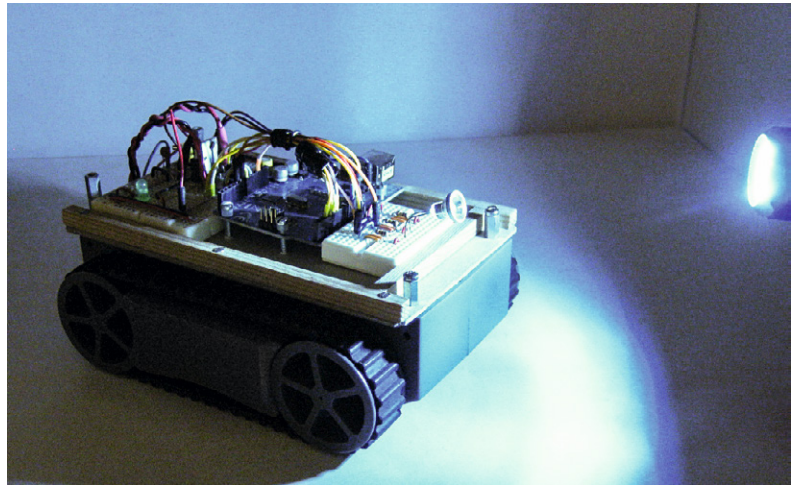


Bild 6: Lichtverfolger in Aktion

Richtung der Lichtquelle. Wird die Lichtquelle bewegt, folgt der Bot wie an einem unsichtbaren Band der LED-Lampe.

Dieses Beispiel zeigt, dass es vergleichsweise einfach ist, einen Roboter einer Signalquelle folgen zu lassen. Im großen Maßstab werden ähnliche Verfahren verwendet, um etwa Lastkraftwagen virtuell zu einer Lkw-Kette zu verbinden. Der gesamte Zug kann dann von lediglich einem einzigen Fahrer gesteuert werden.

Ausblick

Dieser Beitrag lieferte einen Überblick zum hochaktuellen Thema „autonomes Fahren“. Es wurde hauptsächlich auf die Sensoren und Verfahren eingegangen, die für die Fahrzeugsteuerung erforderlich sind. Natürlich ist für ein vollständig autonom fahrendes Auto auch ein erheblicher Softwareaufwand erforderlich. Inzwischen ist klar, dass das Problem nicht durch klassische Algorithmen alleine lösbar ist. Dazu sind die realen Situationen im Straßenverkehr zu komplex. Deshalb kommt auch hier in zunehmendem Maße die künstliche Intelligenz zum Einsatz.

Im nächsten Beitrag wird daher die künstliche Intelligenz im Vordergrund stehen. Anhand verschiedener Beispiele wird erläutert werden, wie moderne KI-Systeme lernen und so verschiedenste Aufgaben lösen können. Bild- und Mustererkennungsverfahren erlauben es Robotersystemen nicht nur Fahrzeuge zu lenken, sondern auch andere hochkomplexe Aufgaben zu übernehmen. Mit sogenannten „neuromorphen Chips“ wird sogar die Struktur des menschlichen Gehirns nachgeahmt. Damit erwerben Maschinen Fähigkeiten, die klassischen Von-Neumann-Architekturen verschlossen bleiben.

Dass diese Entwicklungen nicht nur Vorteile bieten, sondern auch erhebliche Gefahren bergen, soll dabei nicht verschwiegen werden. **ELV**

Empfohlene Produkte	Bestell-Nr.
Ultraschall-Abstandssensor	12 21 21
Arexx-Asuro-Minirobter ARX-03	09 73 14
Velleman-Roboterbausatz Allbot VR408	12 26 15
AREXX Roboter Fahrgestell ARX CH09	10 18 30
Nicai Systems Roboterbausatz Nibo 2	10 21 20
Nicai Systems Roboterbausatz NIBObee	10 21 12
AREXX AAR-04 Programmierbarer Arduino Roboterbausatz	10 71 95

Download-Paket:

Die Beispielpprogramme zu diesem Artikel können heruntergeladen werden unter www.elv.de: Webcode #10244