

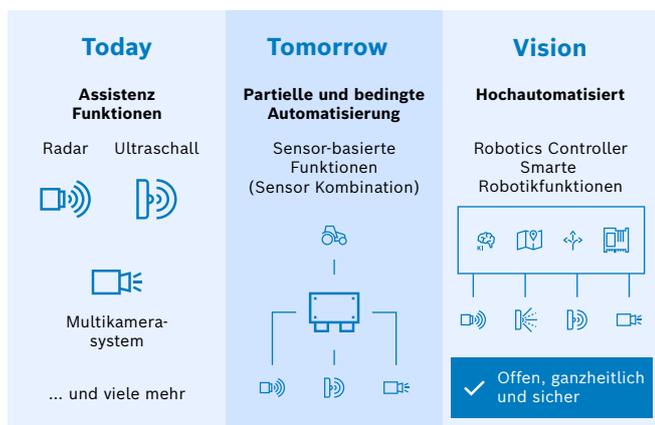


Whitepaper | Automatisierte Landmaschinen

# Vom Assistenzsystem zum autonomen Feldroboter

Die Herausforderungen in der Landwirtschaft nehmen immer weiter zu: Den steigenden Kosten stehen oftmals zu geringe Produktpreise gegenüber, hinzu kommen Arbeitskräftemangel, Ernteauffälle durch zunehmende Wetterextreme, immer weiter verschärfte Umweltauflagen und auf globaler Ebene die wachsende Erdbevölkerung. Innovative Technologien tragen dazu bei, die Landwirtschaft effizienter sowie nachhaltiger zu gestalten und damit viele der oben genannten Probleme zu lösen oder zumindest deren Folgen abzumildern. Das gilt besonders für Assistenzfunktionen für landwirtschaftliche Maschinen und Geräte – bis hin zur autonomen Feldrobotik. Zur Automatisierung in den unterschiedlichen Bereichen und Abstufungen hat Bosch Engineering einen Baukasten verschiedener Sensorsysteme entwickelt, aus dem die jeweils optimale Lösung zusammengestellt wird. Dabei sind die Sensoren die „Augen“ der Anwendung, die Steuerung ist die Datenverarbeitung und daraus abgeleitet die Umgebungswahrnehmung ihr „Gehirn“. Auch hier bietet Bosch Engineering Hardware- und Softwarelösungen, mit denen die Vision des vollautomatisierten Landmaschinenparks Schritt für Schritt Realität wird.

Durch die Entwicklung neuer Assistenzsysteme, die speziell auf die besonderen Anforderungen bei Landmaschinen ausgelegt sind, ist Bosch Engineering maßgeblicher Treiber der Automatisierung von Maschinen und Geräten im Agrarsektor. Auf dem Weg zur autonomen Landmaschine und zum Feldroboter von morgen verfolgt Bosch Engineering ein dreistufiges Einführungsszenario, bei dem der Automatisierungsgrad sukzessive zunimmt. Die erste Stufe sind heute schon verfügbare Assistenzsysteme und erste teilautonome Funktionen („Today“). In den nächsten Jahren folgen marktreife teilautomatisierte Maschinen und Geräte mit neuen und erheblich größeren Funktionsumfängen („Tomorrow“). Ermöglicht werden sie durch den erweiterten Einsatz von Umfoldsensoren. Die sensorbasierten Funktionen sind ein wichtiger und logischer nächster Schritt in Richtung Vollautomatisierung. Durch die gezielte Fokussierung auf einzelne Kernanwendungen und das kaskadierte Vorgehen können Erfahrungen in der Applikation der Sensortechnologien gesammelt und Endanwender von der Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit der neuen Systeme überzeugt werden. Die dritte, langfristig angelegte Stufe umfasst die Vollautomatisierung sämtlicher Maschinen für den Agrarsektor („Vision“).



„Today“, „Tomorrow“ und „Vision“ – die drei Stufen der Landmaschinenautomatisierung bei Bosch Engineering

Mit dem Ansatz von Bosch können Hersteller von landwirtschaftlichen Maschinen und Geräten schon heute durch die „Today“-Technologien den ersten Schritt zur Automatisierung gehen. Auf dieser Basis können sie dann Schritt für Schritt die Systeme für die nächsten Stufen („Tomorrow“ und „Vision“) entwickeln. Das schafft die ideale Ausgangssituation für eine spätere Einführung weitergehender Automatisierungsfunktionen bis hin zur Vollautomatisierung.

### „Today“

Schon heute verfügbar sind Assistenzsysteme, die den Landwirt bei der Bedienung des Traktors oder anderer Maschinen unterstützen, sodass er die Arbeiten

schnell und mit hoher Präzision umsetzen kann. Hierzu gehören auch Systeme zur Umfelderkennung. Die Funktionen sorgen für mehr Sicherheit, steigern die Effizienz des Arbeitsvorgangs und senken die psychische sowie physische Belastung des Maschinenführers. Die Systeme sind entweder so ausgelegt, dass sie durch akustische und/oder optische Warnungen und Anzeigen auf dem Display des Fahrzeugcockpits Hinweise geben oder die Maschine teilautomatisiert steuern. Ein Beispiel für den ersten Fall sind Sicherheitsfunktionen wie Kollisionswarnsysteme zur Front- oder Heckabsicherung von Traktoren oder Mähdreschern. Erkennen die Systeme Personen oder Gegenstände im Detektionsraum, geben sie entsprechende Warnungen aus und zeigen die genaue Position auf dem Display an, sodass der Landwirt auch unübersichtliche Bereiche seiner Maschine überwachen kann.

Bei einer Teilautomatisierung übernimmt die Elektronik mithilfe der Radar- oder Ultraschallsensorik ausgewählte Tätigkeiten wie die Spurführung, während die anderen Steuerungsaufgaben nach wie vor manuell ausgeführt werden. Ein Beispiel für eine Anwendung sind Maschinen im Weinbau. Bei einer manuellen Bedienung muss der Fahrer gleichzeitig die Fahrspur halten sowie den Arbeitsvorgang, etwa an einem Mähwerk, kontrollieren. Anders bei einer automatischen Fahrspurüberwachung: Das System misst den seitlichen Abstand der Maschine zu den Weinreihen und hält das Gerät genau in der Spur dazwischen, sodass sich der Fahrer auf den Arbeitsvorgang konzentrieren kann. Dadurch reduziert sich die Komplexität der Tätigkeit, wodurch sich die Geschwindigkeit im Arbeitsprozess und damit auch die Produktivität erhöht.

### „Tomorrow“

Automatisierte Systeme werden in den nächsten Jahren immer mehr Aufgaben in der Landwirtschaft übernehmen und sich in allen Segmenten und Größen-/Leistungsklassen etablieren. Die Systeme sind weiterhin so ausgelegt, dass sie den Maschinenführer bei seiner Arbeit in Teilbereichen unterstützen, bieten aber neuen und/oder erweiterten Funktionsumfang. Beim oben genannten Beispiel der Maschinen im Weinbau übernimmt die Elektronik dann nicht nur die Lenkung zur Querführung, sondern steuert auch Gas und Bremse, sodass der Landwirt auf der Maschine nur noch überwachende Funktion hat. Er ist nach wie vor an Bord, behält die Verantwortung für das Geschehen und kann jederzeit eingreifen.

Mit der wachsenden Zahl der Einsatzbereiche und der steigenden Marktdurchdringung nehmen die Anforderungen an die Software und Hardware der Automatisierung weiter zu. Die Endanwender müssen von der Robustheit und Leistungsfähigkeit der

Automatisierungssysteme langfristig überzeugt werden. Dazu müssen die Lösungen einfach zu bedienen sein, hohe Genauigkeit und Funktionssicherheit bieten, bei allen Witterungs- und Einsatzbedingungen eine maximale Sicherheit gegen Fehler sowie eine lange Lebensdauer aufweisen und auch wirtschaftlich rentabel sein. Aus Sicht der Maschinenhersteller müssen sich die eingesetzten Systemkomponenten zudem flexibel applizieren lassen, um einen breiten Einsatzbereich und die teilweise gegenläufigen Anforderungen der unterschiedlichen Anwendungen abdecken zu können. Die neue Generation des Automatisierungsbaukastens von Bosch Engineering ist speziell auf diese steigenden Anforderungen ausgelegt und bildet dank hoher Flexibilität und Skalierbarkeit ein solides technisches Fundament für die Automatisierungsstufen „Tomorrow“ und „Vision“.

### „Vision“

Langfristig werden vollautomatisierte Landmaschinen komplett ohne Maschinenführer auskommen. Sie fahren vom Depot automatisch zum Feld, erledigen dort ihre Arbeiten und kehren danach autonom zurück zum Betriebshof. Eine intelligente Flottensteuerung koordiniert dabei den Einsatz der Maschinen und Geräte, sodass ungewollte Stillstandszeiten minimiert werden. Auch die Maschinen selbst erhalten eine Intelligenz, um in allen erwarteten und unerwarteten Einsatzumgebungen und Szenarien die richtige Entscheidung zum sicheren Abarbeiten ihrer Aufgaben zu treffen. Die Basis für das dazu notwendige Automatisierungssystem bilden Software- und Hardware-Bausteine von Bosch Engineering. Die in die Maschinen und Geräte implementierte Intelligenz erleichtert deren Einsatz deutlich. Da für die Arbeiten nur noch wenig Fachpersonal zur Überwachung der Maschinenfunktion notwendig ist, lassen sich die Maschinen und Geräte 24 Stunden am Tag einsetzen, was die Auslastung zusätzlich steigert. Fahrzeugseitig lassen sich durch den Wegfall des klassischen Führerhauses komplett neue Designkonzepte umsetzen, die noch besser auf die spezifischen Anforderungen der Anwendung ausgelegt sind. In mehreren Forschungs- und Entwicklungsprojekten arbeitet Bosch Engineering bereits heute zusammen mit Partnern an vollautomatisierten Off-Highway-Systemen.

### Automatisierungssystem

Zur Umsetzung einer Automatisierung muss die Maschine die Umgebung wahrnehmen können, sozusagen „Augen“ erhalten, und diese Umgebung über ein „Gehirn“ richtig interpretieren können. Für eine Vollautomatisierung (Automatisierungsstufe „Vision“) sind unter anderem folgende Bausteine notwendig:

- ▶ Umfassendes Sicherheitskonzept
- ▶ Umfeldsensierung für ein 360°-Modell der Umgebung
- ▶ Planung der Maschinentrajektorie auf Grundlage des Geländeprofiles
- ▶ Arbeits- und Flottenmanagement über ein zuverlässiges Backend
- ▶ Genaue Lokalisierung der Maschinenposition
- ▶ Analyse der Situation zur richtigen Entscheidungsfindung
- ▶ Sichere, schnelle und präzise Bewegungskontrolle inklusive Aktorik
- ▶ Systemarchitektur und Security-Konzept nach dem aktuellen Stand der Technik

Bei „Tomorrow“-Systemen sind je nach Automatisierungsgrad und Anwendung nur Teile des oben genannten Technologiepakets erforderlich. Die Grundfunktion der Umfelderkennung mittels leistungsstarker Sensorik und deren Interpretation auf einer intelligenten Systemsteuerung muss aber auf jeden Fall integriert sein. Die Entwicklungsinhalte von Bosch Engineering umfassen viele Bestandteile, die für die heutige und künftige Automatisierung notwendig sind. Maschinenhersteller profitieren so von einem abgestimmten System, in dem alle Bausteine kompatibel sind und das mit dem Automatisierungsgrad „mitwächst“. Dank des flexiblen Baukastenkonzepts lassen sich wahlweise auch nur einzelne Komponenten des Gesamtpakets von Bosch Engineering als Hardware und/oder Software in ein vorhandenes eigenes Automatisierungssystem integrieren.

Für die Steuerung der Automatisierung steht ein zusammen mit Bosch Rexroth entwickelter Controller zur Verfügung. Alternativ können Maschinenhersteller auch nur einzelne Softwarebausteine von Bosch Engineering beziehen und auf dem eigenen Controller integrieren. Ein Beispiel hierfür ist die sogenannte Radar Sensor-Toolbox – ein Softwarepaket, das die Rohdaten aus den verschiedenen Sensoren des Systems vorverarbeitet. Auf dieser Grundlage lassen sich neue Automatisierungsfunktionen schnell und effizient entwickeln.

Die von Bosch Engineering angebotenen Systemkomponenten entsprechen den gültigen Normen wie der ISO13849 oder der ISO25119, sodass sie alle Voraussetzungen für einen sicheren Betrieb erfüllen. Softwaretreiber für das in der Welt der Automatisierung etablierte und bewährte Open-Source-Betriebssystem ROS2 (Robotic Operation System 2) geben hohe Flexibilität bei der Integration und machen die einzelnen Komponenten sowie das System zukunftssicher. Die Hardware und Software zur Automatisierung lässt sich nahtlos in das digitale Ökosystem BODAS (Bosch Rexroth Digital Application

## Komponenten Bosch Retrofit Kit



Solutions) von Bosch Rexroth integrieren. Mit BODAS steht den Nutzern ein Bündel an IT-Lösungen zur Verfügung, die die Produktivität und Effizienz erhöhen und die Automatisierung erleichtern.

Derzeitige Automatisierungsprojekte, die Bosch Engineering zusammen mit Maschinenherstellern umsetzt, umfassen alle Einsatzbereiche der Landtechnik:

- ▶ Autonome Traktoren (Zugfahrzeug)
- ▶ Sondermaschinen (Selbstfahrer) wie Sprayer oder Mähdrescher
- ▶ Implements (Anbaugeräte)
- ▶ Feldroboter (Vollautomatisierung mit zentraler Leitstellenüberwachung)

### Sensorik

Speziell für die Anforderungen der Landmaschinen-Automatisierung entwickelt Bosch Engineering den Sensorbaukasten weiter. Mit ihm lässt sich eine zuverlässige und robuste Automatisierung realisieren. Bei der Entwicklung der Software, die die Sensorsignale verarbeitet und interpretiert, greift Bosch Engineering auf Entwicklungsmethodiken zurück, die im Pkw- und Nutzfahrzeugbereich bereits etabliert sind. Unterschiede ergeben sich dabei vor allem durch die differierenden Umgebungs- und Einsatzbedingungen und die zu erkennenden Objekte, auf die die Software speziell trainiert wird.

Der Sensorbaukasten von Bosch Engineering umfasst unterschiedliche Ultraschall- und Radarsysteme sowie ein Kamerasystem. Die Komponenten sind flexibel konfigurierbar, sodass sich das System maßgeschneidert auf die Anforderungen der spezifischen Anwendung und Assistenzfunktion abstimmen lässt. Für die optische Ausgabe der Kamera-, Radar- und Ultraschallinformationen in einem zentralen Anzeigedisplay kombiniert Bosch Engineering die Signale

im Off-Highway Vision System. Für anspruchsvolle Assistenzfunktionen und für die Automatisierung werden die Daten der einzelnen Sensoren zentral zu einer Gesamtscene fusioniert, sodass die Steuerungselektronik einen genauen Überblick über die Umgebung erhält. Die Systeme vereinen hohe Funktionsicherheit und große Robustheit, auch unter widrigen Einsatzbedingungen.

### Multikamerasystem

Das Multikamerasystem von Bosch Engineering besteht aus einem elektronischen Steuergerät und vier digitalen Nahbereichskameras. Es bietet eine hohe Auflösung (1280 x 800 Pixel) und eine Rundumsicht um das Fahrzeug von 360°. Die verschiedenen Ansichten können auf einem Monitor im Vollbild- oder im Split-Screen-Modus angezeigt werden. Die Variante für die Erstausrüstung (Sight Assist) ist für eine Integration in neue oder zukünftige Fahrzeugkonzepte ausgelegt. Die Systemfunktionen umfassen beispielsweise einen an die Fahrzeuggeschwindigkeit gekoppelten Kamerazoom für die Draufsicht und eine lenkwinkelabhängige Fahrspuranzeige. Da Agrarfahrzeuge oft viele Jahre im Einsatz sind und die Integration eines Kamerasystems während der Fahrzeugentwicklung nicht immer möglich ist, bietet Bosch Engineering außerdem ein Retrofit-Kit an, in dem alle Komponenten inklusive Kabelbaum und Kamerahalterung enthalten sind. Diese Lösung zeichnet sich durch ein intuitiv bedienbares Display und eine einfache Inbetriebnahme – auch in Bestandsfahrzeugen – aus.

## Ultraschallsensorik

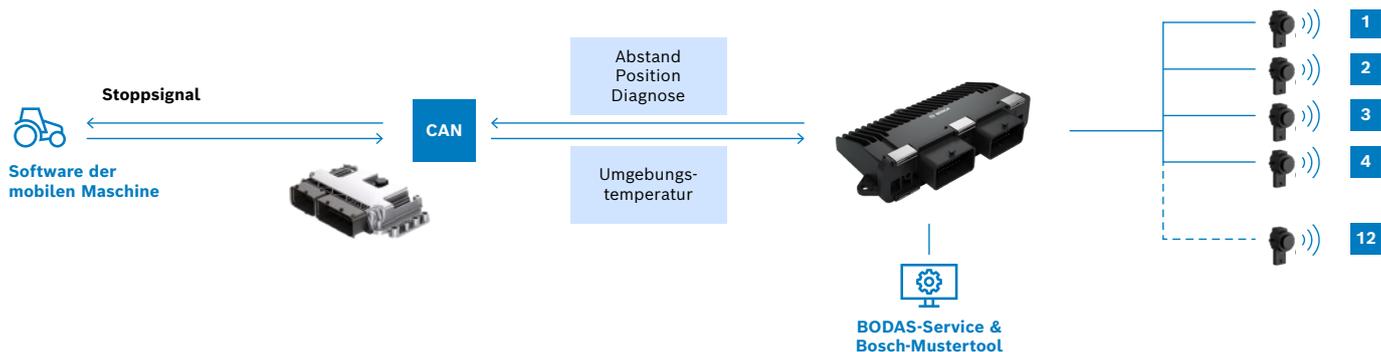
Ultraschallsysteme von Bosch Engineering für Landtechnik Anwendungen decken mit bis zu zwölf Ultraschallsensoren einen weiten Detektionsbereich bis zu einer 360°-Rundumsicht ab. Je nach Konfiguration messen die Sensoren nur die reine Distanz oder bieten zusätzlich eine Objektlokalisierung. Dazu bestimmt ein Algorithmus die Position des Objekts im Detektionsraum mithilfe der Triangulationsmethode. Sie beruht auf der Winkelmessung der Signale von zwei Sensoren mit überschneidendem Sichtfeld, die das gleiche Objekt erkannt haben.

Durch eine Safety-Zertifizierung nach ISO25119 kann das Ultraschallsystem einfach in das Sensor-Cluster eines Systems zur Umfelderkennung, das Anforderungen der Funktionalen Sicherheit erfüllen muss, integriert werden. Hierzu zählen zum Beispiel Anfahrtskontrollen oder Notbremsfunktionen für langsam fahrende Maschinen. Um die Schnittstelle zwischen erkannten Objekten im Sensorsystem und dem Anhalten der Maschine zu schließen, arbeitet Bosch Engineering an einem Safe-Stop-System.

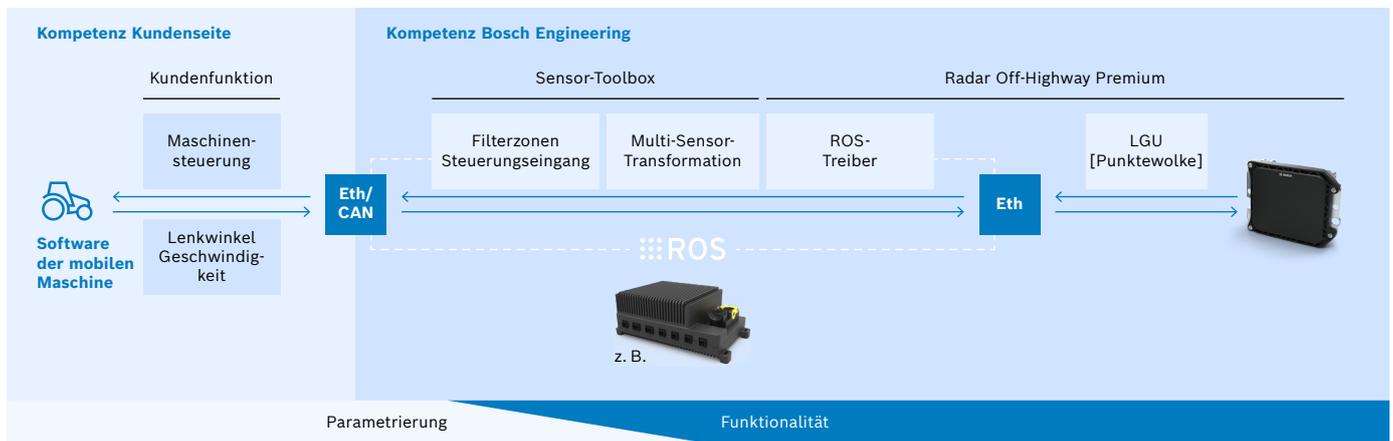


## Beispielanwendung Safe-Stop-System

Ziel des Konzepts ist, bei erkannten Hindernissen im Fahrweg ein Stoppsignal für die Fahrzeugsteuerung auszulösen. Maschinenhersteller können so die anspruchsvolle Notbrems-Assistenzfunktion als abgesicherte und zuverlässige „Plug-and-Play“-Lösung in ihre Anwendung integrieren, ohne eigene Kapazitäten für die Entwicklung binden zu müssen.



Schematische Darstellung Systemlayout Safe-Stop System



Schematische Darstellung Radar

## Radarsystem

Der Vorteil der Radartechnik gegenüber anderen Sensorkonzepten wie beispielsweise LiDAR ist die ausgesprochen geringe Empfindlichkeit gegenüber Witterungs- und Umwelteinflüssen wie Regen, Nebel oder Staub und damit eine hohe Funktionssicherheit bei vergleichsweise geringen Gesamtkosten. Bei der von 2024 an verfügbaren Radargeneration baut Bosch Engineering diese Vorteile noch weiter aus. Das komplett neu entwickelte High-Imaging-Radarsystem („4D-Radar“) basiert auf neuester Automobiltechnik und bietet eine zehnfach höher aufgelöste Punktwolke als bisher, sodass sich sehr nah beieinanderstehende Objekte im Detektionsraum (x-, y- und z-Koordinaten) noch sicherer unterscheiden lassen. Konkret werden Objekte, die von der Perspektive des Radarsensors aus betrachtet in einem Winkel von nur einem Grad nebeneinander liegen, noch getrennt erkannt. Das ermöglicht unter anderem eine sehr exakte Höhenmessung für die genaue Nachjustierung der Arbeitshöhe eines Geräts vom Boden während der Fahrt auf unebenem Gelände.



Um die Entwicklung von Automatisierungsfunktionen auf Grundlage des 4D-Radars zu vereinfachen, entwickelt Bosch Engineering das Softwarepaket für Radaranwendungen, die sogenannte Radar Sensor Toolbox, mit jeder Anwendung weiter. Die Radar

Sensor Toolbox ist ROS2 basiert und filtert aus der großen Menge an Sensordaten gezielt diejenigen heraus, die für die jeweilige Automatisierungsfunktion relevant sind. Hierzu gehören unter anderem die Messung der Höhe eines Implements und die Ermittlung der Spurmitte einer Maschine für Anwendungen in einem Obstgarten. Bei der Konfiguration einer neuen Anwendung müssen die Entwickler nur die gesuchten Parameter eingeben, um die Anforderungen an die Sensorik zu definieren, die Software bindet die erforderlichen Sensordaten dann selbsttätig ein und reduziert die Anforderungen zu Nutzung der Radartechnik aufseiten der Maschinenhersteller.

## Steuergerät Off-Highway Robotics Controller 2

Mit dem Off-Highway Robotic Controller der 2. Generation (ORC2) steht für Konzepte der Teil- und Vollautomatisierung eine leistungsstarke Hardware zur Verfügung. Das System bietet eine hohe Rechen- und Speicherfähigkeit, die auch genügend Kapazitäten für anspruchsvolle Automatisierungsfunktionen hat. Die Einbindung in die Fahrzeugelektronik erfolgt schnell und einfach über standardisierte Schnittstellen, auch die Sensoren von Bosch Engineering können durch vorinstallierte Treiber unkompliziert integriert werden. Die Hardware ist dabei für Funktionen des sogenannten Performance Level D (Maß für die Zuverlässigkeit einer technischen Sicherheitsfunktion) gemäß ISO25119 und ISO13849 ausgelegt und erfüllt alle aktuellen Safety & Security-Anforderungen. Softwareseitig bietet Bosch Engineering verschiedene Funktionalitäten und Module zur Automatisierung, die nach Bedarf zu einem Assistenzsystem kombiniert werden können. Diese reichen von Algorithmen zur Umfelderkennung über die Lokalisierung bis zu Pfadplanungsalgorithmen. Das gibt Maschinenherstellern die Möglichkeit, die komplette Automatisierung als in sich abgestimmtes und flexibel erweiterbares System in die Maschine zu integrieren und ihren Kunden, den Landwirten, ein attraktives, sicheres und robustes System anbieten zu können.

## Zusammenfassung und Ausblick

Die Automatisierung im Agrarbereich ist in vollem Gange und wird die Landtechnik in den nächsten Jahren stark verändern. Der Weg zur Vollautomatisierung ist evolutionär und führt über verschiedene Stufen der Teilautomatisierung. Um die Herausforderungen für die Maschinenhersteller bei der Implementierung neuartiger Systeme zu reduzieren, bietet Bosch Engineering ein komplett abgestimmtes, skalierbares und flexibel erweiterbares Hard- und Softwaresystem an. Die Entwicklungsdienstleistungen im Bereich der Landmaschinen-Automatisierung umfassen die komplette Bandbreite von der Bedarfsanalyse über die Konzeption, Entwicklung, Validierung & Verifikation bis zur Freigabe einer Funktion. Mit diesem „Rundum-sorglos-Paket“ ist Bosch Engineering einer der führenden Wegbereiter der Automatisierung von Maschinen und Geräten im Agrarsektor – und dies vom ersten Prototyp bis zur marktreifen Serienlösung.

### Weitere Infos

[www.bosch-mobility-solutions.com](http://www.bosch-mobility-solutions.com)

Die Bosch Engineering GmbH ist eine 100-prozentige Tochter der Robert Bosch GmbH mit Hauptsitz in Abstatt bei Heilbronn. Als Systementwicklungspartner der Automobilindustrie bietet das Unternehmen seit 1999 Entwicklungsdienstleistungen für den Antriebsstrang, Sicherheits-, Komfort- sowie E/E-Systeme vom Konzept bis zur Serie. Mit den Vorteilen erprobter Großserientechnik von Bosch entwickelt der Elektronik- und Softwarespezialist maßgeschneiderte Lösungen für vielfältige Einsatzgebiete von Personenkraftwagen über Nutzfahrzeuge, Off-Highway-Anwendungen bis hin zu Schienen- und Freizeitfahrzeugen, Schiffen und industriellen Anwendungen. Zudem bündelt die Bosch Engineering GmbH alle Motorsportaktivitäten der Bosch Gruppe.



Erfahren Sie mehr  
über OHW Lösungen



Bosch Mobility Solutions  
auf LinkedIn

### Bosch Engineering GmbH

Robert-Bosch-Allee 1  
74232 Abstatt  
Deutschland  
Tel. +49 7062 911-02

[www.bosch-engineering.com](http://www.bosch-engineering.com)