

# Steer-by-Wire via ISOBUS

*Satellitengestützte Navigationssysteme stellen einen viel versprechenden Lösungsansatz zur weiteren Automatisierung von landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen dar. Die Integration dieser Technik in die mechanische, hydraulische und speziell in die elektronische Struktur der Maschinen ist vor allem unter sicherheitskritischen Aspekten zu betrachten. Insbesondere moderne Traktoren bieten die Verwendung von ISOBUS mit deren weit reichenden Vorteilen. Deshalb wurde das Leistungsvermögen des ISOBUS Standards bezüglich der Anwendbarkeit für X-by-Wire Applikationen unter verschiedensten Gesichtspunkten untersucht. Im Speziellen wurden wichtige Merkmale von sicheren X-by-Wire Systemen betrachtet und bewertet.*

M.Sc., Dipl.-Wirt. Ing., Dipl.-Ing. (FH) Markus Ehrl ist wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik (komm. Leitung: Prof. Dr. Hermann Auernhammer) der Technischen Universität München, Am Staudengarten 2, 85354 Freising-Weihenstephan; e-mail: [markus.ehrl@wzw.tum.de](mailto:markus.ehrl@wzw.tum.de)

## Schlüsselwörter

Elektronische Kommunikation, ISO 11783, ISOBUS, Steer-by-Wire, X-by-Wire

## Keywords

Electronic communication, ISO 11783, ISOBUS, Steer-by-Wire, X-by-Wire

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 07SH24 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Einführung von satellitengestützten automatischen Spurführungssystemen war ein großer Schritt Richtung Robotisierung von Traktoren. Dies unterstreicht den generellen Trend hin zu Systemen mit immer mehr automatisierten Funktionen [1, 2].

Die Hauptgrundlage für die Automatisierung von einzelnen Funktionen ist die Vernetzung aller elektronischen Subsysteme zu einem verteilten System. Im landwirtschaftlichen Bereich definiert der ISO 11783 (ISOBUS) Standard ein offenes Kommunikationsprotokoll auf physikalischer Ebene sowie auf Applikationsebene und setzt auf das Controller Area Network (CAN) Protokoll auf [3].

X-by-Wire ist ein Konzept, in dem sicherheitskritische Funktionen von Maschinen wie das Lenken oder Bremsen vollständig über elektronische Systeme gesteuert werden. Das Kommunikationsnetzwerk ist hierfür das Rückgrat für X-by-Wire Anwendungen und hat essentielle Anforderungen, welche grundsätzlich von zeitgesteuerten Protokollen erfüllt werden [4].

Ziel ist die Betrachtung der Integrationsmöglichkeit von Steer-by-Wire in ISOBUS Netzwerke, welche grundsätzlich auf CAN basieren. Um dies zu erreichen, wurden grundlegende Prinzipien und Anforderungen von sicheren, fehlertoleranten und echtzeitfähigen Kommunikationssystemen analysiert.

Gerätegeneration werden diese Systeme dann in die Gesamtarchitektur integriert. Dies kann man für die gesamte Bandbreite der automatischen Spurführungssysteme im landwirtschaftlichen Sektor voraussetzen. Die meisten der hierfür notwendigen Komponenten wie Benutzerschnittstelle, Navigationsrechner, Proportionalventile und hochpräzise GPS Sensoren werden dem Traktor hinzugefügt, ohne oder nur mit geringfügiger Einbindung in die Gesamtarchitektur. Betrachtet man die erste Generation von automatischen Spurführungssystemen, so ist eine Integration in das ISOBUS Kommunikationssegment auf Basis standardisierter Kommunikation auf ideale Weise möglich, wobei das virtuelle Terminal (VT) als Benutzerschnittstelle optimal verwendet werden kann.

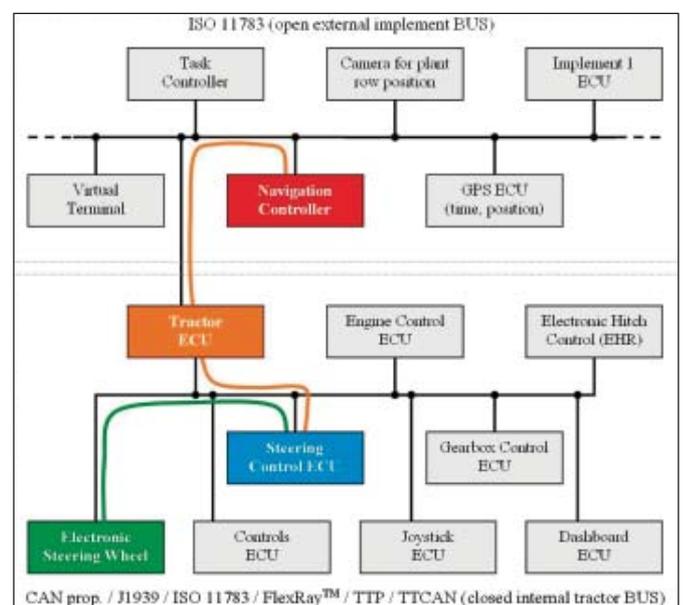
ISOBUS ist ein offenes, laufzeitvariables Netzwerk mit hohen Anforderungen an die Kommunikationssicherheit und Echtzeitfähigkeit. Bild 1 zeigt den Weg des Lenkwinkelsollwerts. Dieser läuft vom ISOBUS-Segment über die Traktor ECU (TECU) als Gateway in das traktorinterne Netzsegment hin zum Lenksteuergerät. Da für die Weiterleitung zwischen den BUS-Segmenten ein Gateway notwendig ist, entstehen an dieser Stelle nur ungenau vorhersagbare Verzögerungen.

## Architektur für Steer-by-Wire

Innovationen auf Basis von Elektronik werden in der Regel zuerst als in sich abgeschlossene Lösung ausgeführt. Erst in der zweiten oder dritten

Bild 1: Netzwerktopologie mit Navigationscontroller im externen ISOBUS Segment

Fig. 1: Network topology with the Navigation Controller in the external ISOBUS segment



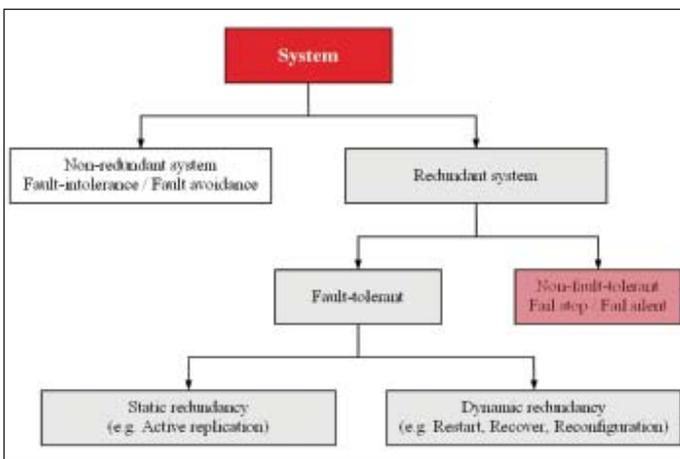


Bild 2: Systemredundanz

Fig. 2: System redundancy

### X-by-Wire Anforderungen

Sichere X-by-Wire Systeme sind in der Lage, wichtige Anforderungen wie Fehlertoleranz, Echtzeitfähigkeit, Zuverlässigkeit, Flexibilität und andere zu erfüllen [4].

Ein redundantes System kann Fehler erkennen und behandeln. Die Anforderungen an ein System bezüglich Redundanz sind in Bild 2 dargestellt. Ein Mangel des ISOBUS Kommunikationsprotokolls ist die fehlende Redundanz auf der physikalischen Übertragungsebene. CAN verhindert dies aufgrund der innewohnenden Fähigkeit der Fehlererkennung und darauf folgenden Botschaftswiederholung.

Zudem wird die Echtzeitfähigkeit des Kommunikationssystems für X-by-Wire Applikationen gefordert. In der Informatik spricht man von einem Echtzeitsystem, wenn ein Ergebnis innerhalb eines vorher fest definierten Zeitintervalls garantiert berechnet werden kann, bevor eine bestimmte Zeitschranke erreicht ist. Wenn in einem System bei einer Zeitüberschreitung ein kritischer Fehler ausgelöst wird, handelt es sich um „harte“ Echtzeitanforderungen, wenn dies nicht der Fall ist, um „weiche“ Echtzeitanforderungen. Ein Steer-by-Wire System hat „harte“ Echtzeitanforderungen. Zusätzlich muss eine Reaktionszeit angegeben werden, während der das Echtzeitsystem zu reagieren hat.

ISOBUS basiert auf CAN und stellt ein ereignisgesteuertes Protokoll dar. Der Arbitrierungsmechanismus von CAN stellt die Versendung der Botschaften nach deren Priorität sicher. Dieser Mechanismus macht CAN sehr robust und erlaubt eine hohe Flexibilität, ist jedoch nicht deterministisch. Die Latenzzeit und der Jitter einer Botschaft mit bestimmter Priorität können nicht garantiert werden, weil diese vom Gesamtsystemzustand abhängig sind. Für X-by-Wire Systeme muss die Übertragung von sicherheitskritischen Botschaften auch unter höchster BUS-Last deterministisch sein. Hierfür wird deshalb auf das Konzept der zeitgesteuerten oder hybriden Protokolle (zeit- und ereignisgesteuert) zurückgegriffen.

Eine weitere wichtige Eigenschaft ist die Möglichkeit, den BUS vor unautorisiertem Zugriff zu schützen. Dies ermöglicht eine aktive Verhinderung der Botschaftsüberflutung des gesamten Netzwerkes durch einen fehlerhaften Teilnehmer.

### Konsequenzen für ISOBUS

Aufgrund der physikalischen- und der Datensicherungsschicht von CAN kann mittels ISOBUS Kommunikation nur ein fail stop / fail silent System aufgebaut werden (Bild 2, rechts). Deshalb ist ISOBUS in der heutigen Form nur für ein X-by-Wire System geeignet, welches eine mechanische oder hydraulische Rückfallebene besitzt, was dem Safety Integrity Level (SIL) 3 entspricht [5].

Setzt man Botschaften mit höchster Priorität voraus und kann präzise Zeitabschaltung garantiert werden, so sollte ISOBUS in der Lage sein, Echtzeitanforderungen mit einer Reaktionszeit von 100 ms zu erfüllen.

Eine Verbesserung des Zeitverhaltens von sicherheitskritischen Teilnehmern kann durch den Einsatz von Herzschlagbotschaften zur Zeitsynchronisation erreicht werden. Ein fehlerhafter Teilnehmer, welcher die BUS-Bandbreite vollständig auslastet, kann in CAN Netzwerken nicht aktiv abgetrennt werden. Sicherheitskritische Applikationen müssen hierbei auf die mechanische oder hydraulische Rückfallebene schalten.

Jeder Teilnehmer muss im Rahmen des Netzwerkmanagements eine einmalige und eindeutige Adresse besitzen. Im Falle von ISOBUS wird diese jedoch dynamisch während der Netzwerkanmeldung vergeben und ist nicht fest verdrahtet. Es ist deshalb für jeden Teilnehmer möglich, unter einer fremden Adresse Botschaften zu versenden. Dies kann zu schwerwiegenden Fehlern in sicherheitskritischen Anwendungen führen. Eine Lösungsmöglichkeit ist die Überwachung aller Teilnehmeradressen und die Meldung von Missbrauch.

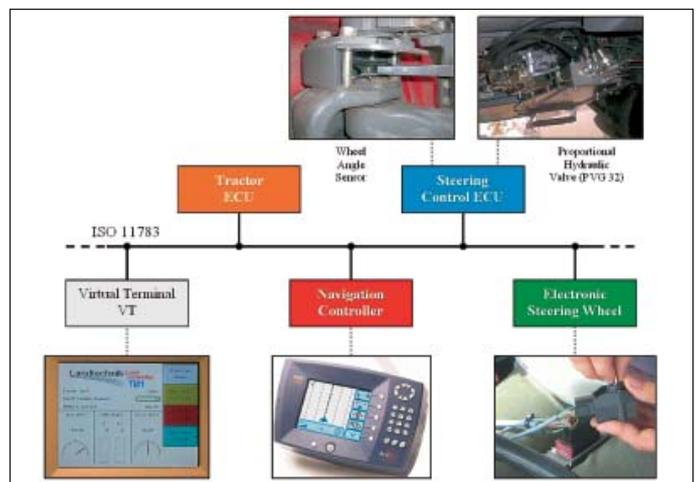


Bild 3: Schematischer Netzaufbau der Steer-by-Wire Applikation via ISOBUS

Fig. 3: Schematic network structure of Steer-by-Wire application via ISOBUS

### Testimplementierung von Steer-by-Wire via ISOBUS

Eine Steer-by-Wire Anwendung unter Verwendung von ISOBUS wurde implementiert und untersucht. Alle Komponenten dieser Testumgebung wurden als ISOBUS konforme Teilnehmer ausgeführt (Bild 3). Das System wurde in einen Fendt Vario 818 mit serienmäßiger ISOBUS Ausstattung (T-ECU, VT) eingebaut. Das Lenksteuergerät wurde als geschlossener Regelkreis mit einem Lenkwinkelsensor und einem PVG32 Proportionalventil von Sauer Danfoss als Aktor ausgeführt. Dieses Lenksteuergerät bringt volle VT Funktionalität mit und kann so bedient werden. Ein weiterer ISOBUS konformer Teilnehmer ist ein ebenfalls per VT bedienbares elektronisches Lenkrad mit Potentiometer zur dynamischen Sollwertvorgabe.

Die für Steer-by-Wire relevante Kommunikation wurde erreicht, indem mit dem elektronischen Lenkrad Sollwertvorgaben zum Lenksteuergerät gesendet wurden. Um die genannten sicherheitskritischen Probleme zu adressieren, wurden spezielle Kommunikationsmechanismen eingebaut. Eine Sollwertübertragung mit 10 Hz Zykluszeit wurde aufgesetzt. Parallel dazu wurden Herzschlagbotschaften zwischen Lenksteuergerät und elektronischem Lenkrad mit 5 Hz ausgetauscht. Ein Verschlüsselungs-/Entschlüsselungs-Algorithmus wurde auf die acht Datenbytes der Herzschlagbotschaft auf beiden Seiten angewendet [6]. Der Herzschlag dient einerseits zur gegenseitigen Synchronisation und Ausfallzeitüberwachung und stellt andererseits die Adresskonsistenz der Teilnehmer sicher. Alternativ dazu wurde der ISOBUS Name der beiden Teilnehmer zur Erhöhung der Sicherheit verwendet. Nach ersten Funktionstests wurde das System in umfangreichen Feldtests mit Geschwindigkeiten bis 30 km/h überprüft. Das System erwies sich unter den gegebenen Bedingungen als vollständig funktionsfähig und arbeitete fehlerfrei.